

기초원천연구기획사업(MEST)

최종보고서 제출

한국연구재단 이사장 귀하

“민간 전문가 중심의 기초·원천연구분야 이슈별 정책·사업 발굴 기획”에
관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

2020 . 3 . 25 .

연구책임자 김승균 (인)

연 구 원 류인호 (인)

연 구 원 이효빈 (인)

연 구 원 송현주 (인)

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 최 기 영

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “ 민간 전문가 중심의 기초·원천연구분야 이슈별 정책·사업 발굴
기획에 관한 연구 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2020 . 3 . 25 .

연구기관명 : (주)이산컨설팅그룹

연구책임자 : 김승균

연 구 원 : 류인호

연 구 원 : 이효빈

연 구 원 : 송현주

※ 연구기관 및 연구책임자, 연구원은 실제 연구에 참여한 기관 및 자의 명의임.

목 차

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성	1
1.2. 연구의 내용 및 구성	2

2. 기초·원천연구분야 정책이슈 발굴

2.1. 개요	3
2.2. 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회 운영 결과	5
2.2.1. 제1차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회	5
2.2.2. 제2차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회	11
2.2.3. 제3차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회	17
2.2.4. 제4차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회	24
2.2.5. 주요 안전별 정책 제안	30
2.3. (심층분석 I) 글로벌 기술패권과 기술혁신	34
2.3.1. 분석 배경	34
2.3.2. 기술패권과 과학기술혁신에 관한 이론적 배경	36
2.3.3. 일본 디지털 소재분야 기술경쟁력의 원천	43
2.3.4. 미-중 패권갈등과 중국의 기술혁신	56
2.3.5. 시사점 및 결론	62
2.4. (심층분석 II) 미국정부의 기초·원천연구개발 지원 및 연구성과 기술사업화 현황	71
2.4.1. 분석 배경	71
2.4.2. 미국 기초원천연구개발 2020년 예산지원현황	72

2.4.3. 미국 기초원천연구 성과의 기술사업화 동향 및 사례 ..	82
2.4.4. 시사점 및 결론	92
3. 미래사회분야 정책이슈 발굴	93
3.1. 개요	93
3.2. 국가과학기술혁신포럼 운영 결과	95
3.3. 미래사회 예측을 통한 이슈 발굴	116
3.3.1. 미래사회 주제 선정	116
3.3.2. 미래사회 시나리오	123
3.3.3. 시나리오별 사회문제 및 주요기술	159
4. 결론 및 시사점	
4.1. 기초·원천연구분야 정책이슈 발굴 성과와 의의	165
4.2. 미래사회분야 정책이슈 발굴 성과와 의의	167
 붙임 1. 제1차 정책발굴자문위원회 회의안건	172
붙임 1-1. 책임있는 연구수행을 위한 R&D 관리방안	172
붙임 1-2. ‘기초-원천연구’연계를 위한 실행방안 추진계획	178
붙임 2. 제2차 정책발굴자문위원회 회의안건	184
붙임 2-1. 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안	184
붙임 2-2. ICT·기초원천연구 활성화 방안	188
붙임 3. 제3차 정책발굴자문위원회 회의안건	194
붙임 3-1. 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 개선방안 2단계	194
붙임 3-2. 생명연구자원 정책 발전방향	200
붙임 4. 제4차 정책발굴자문위원회 회의안건	205
붙임 4-1. 과기정통부 2기 정책 방향	205
붙임 4-2. 2020기초연구사업 중점 추진 방향	213

붙임 4-3. 수소기술개발로드맵 후속조치 방향	217
붙임 4-4. 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보 방안	229
붙임 5. 제1차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	244
붙임 6. 제2차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	268
붙임 7. 제3차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	276
붙임 8. 제4차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	295
붙임 9. 제5차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	320
붙임 10. 제6차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	331
붙임 11. 제7차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	349
붙임 12. 제8차 국가과학기술혁신포럼 발표자료	366

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

- 정부는 지속적으로 다양한 과학기술혁신 정책을 수립하고 있으나, 연구현장에서는 이에 대한 체감도가 낮으며, 그에 따른 정책 효과도 반감하고 있음
 - 이는 정부의 정책 홍보 및 소통 부족에서 기인하는 바가 크나, 정책의 수립 단계에서 전문가, 국민 보다는 정책의 공급자인 정부의 시각에서 정책이 기획되는 데 근본적인 이유가 존재
- 과학기술의 변화 속도가 빠르고, 민간의 혁신 역량, 국민의 과학기술 인식이 확대됨에 따라 과학기술혁신 정책의 수립 주체가 정부 중심에서 민간·전문가 중심으로 전환되고 있음
 - 개방형 혁신이 학술적인 관심을 넘어 민간 부문 및 공공부문에서 기술혁신 성공 사례로 확인되면서 지속적으로 확산되는 추세
 - 과학기술 정책과 관련된 이해당사자가 증가함에 따라 정책 추진과 관련된 사회적 합의가 중요하며, 이를 위해 민간전문가 중심의 의사결정 체계의 중요성이 증가
- 과학기술의 사회적 역할에 대한 요구가 증대되는 상황에서, 다변화되는 환경변화에 대응할 수 있는 과학기술혁신정책 제시 필요
 - 신성장동력 및 양질의 일자리 창출, 사회 현안 문제 해결, 국민 삶의 질 개선 등 과학기술에 대한 사회적 요구가 증대하여, 과학기술혁신 정책의 영역이 확대
- 과학기술 전 분야, 인문사회 분야의 민간 전문가 등이 참여하여 분야별 융합, 범분야(Cross-cutting) 정책 이슈 발굴 및 자문을 통한 정책 방향을 모색해야함
 - 민간전문가로 구성된 ‘국가과학기술혁신포럼’ 및 ‘기초원천연구분야 정책 발굴 자문위원회’ 구성 및 운영이 필요
 - 이를 통한 국가 과학기술혁신 정책의 주요 이슈에 대한 심층적인 분석과 주요 정책에 대한 사전검토를 통해 보다 전문적이고 시의성 있는 과학기술혁신 정책 수립이 필요함

1.2. 연구 내용 및 구성

- 최근 강조되고 있는 ‘국가 연구개발(R&D)의 사회적 역할 강화’에 부합하는 과학 기술 혁신방안을 도출하기 위해서는 과학기술혁신에 관계되는 민간 전문가와 함께 개방적으로 정책이슈를 발굴하고 정책방향을 도출함
- 정책이라는 것은 과거의 연장선에서 현재로 이어져 미래에까지 영향을 주기 때문에 현 정책의 문제점을 중심으로 이슈를 도출하기 보다는 과거 정책의 추진성과를 바탕으로 현재와 미래의 이슈를 동시에 분석하는 것이 필요
- 과거부터 현재까지 주요정책의 정책연구결과와 논문, 행사결과 등을 조사하고 주요 정책 이슈를 발굴·제안하기 위해, 민간 전문가 중심의 포럼 및 위원회를 다음과 같이 구성·운영하고자 함

연구영역	연구내용	연구방법
주요 정책 이슈 발굴	• 토론과 발제, 자문 등을 통해 정책 발굴	브레인스토밍, 이해관계자 인터뷰
이슈 및 분야별 민간전문가 발굴	• 발굴된 이슈 및 분야별 외부전문가를 논문분석을 통해 도출하고 DB화	문헌조사, 이해관계자 인터뷰
포럼 · 위원회 구성 및 운영	• 기초원천정책발굴자문위원회, 국가과학기술혁신포럼 구성 및 민간전문가 선정	—
기초·원천연구분야 정책이슈 심층분석	• 기초·원천연구분야 정책발굴자문위원회 자문 분석 및 주요 이슈별 심층분석	문헌조사, 전문가 자문
미래사회분야 정책이슈 심층분석	• 민간전문가를 통한 미래사회예측사례, 방법론 도출 • 미래사회시나리오 작성 • 민간전문가 미래사회 시나리오 분석	문헌조사, 키워드 분석, 심층인터뷰, 민간전문가 자문



[연구 추진 프로세스]

2. 기초·원천연구분야 정책이슈 발굴

2.1. 개요

□ 추진 배경

- 기초·원천연구 분야의 정책 및 연구기획을 통해 발굴된 과제에 대한 자문과 정책 방향에 대한 의견수렴 및 발전방향 제시

□ 자문위원회 운영(안)

- (목적) 주요 정책·사업의 추진 현황·성과에 대한 자문 및 의견수렴을 통해 현장 밀착형 정책 수립
- (구성) 국·과장, 민간전문가 자문위원 20명 내외(위원장 : 호선으로 선정)

연번	성명 (생년)	소속/직위	학력	주요경력	비고
1	손종렬	고려대 대학원 보건과학대학 교수	충북대학교 환경공학 박사	- 고려대학교 부설 보건과학연구소장 - 한국실내환경학회 회장 - 고려대학교 보건환경융합과학부 교수(현)	
2	한성옥	한국에너지기술연구원 책임연구원	이화여자대학교 고분자화학 박사	(사)대한여성과학기술인회 회장 - 국제여성과학기술인네트워크 위원장 - 한국연구재단 국책본부 단장 - 한국에너지기술연구원 에너지효율·소재연구본부(현)	
3	박현민	한국표준과학연구원 책임연구원	서울대학교 재료구조/시험 박사	- 미래창조과학부 미래성장조정과 과장 - 한국표준과학연구원 부원장 - 한국표준과학연구원 융합물성측정센터(현)	
4	홍형득	강원대학교 행정학과 교수	영 Manchester Univ. 과학기술정보통신정책 박사	- 강원도 4차산업혁명위원회 위원장(현) - 국가과학기술자문회의 위원장(현)	
5	임혜원	한국과학기술연구원 책임연구원	미 Chicago Univ. 신경생리학 박사	- 한국연구재단 뇌첨단의공학 단장 (사)대한여성과학기술인회 부회장 - 한국과학기술연구원 신경과학연구단(현)	
6	정재용	한국과학기술원 기술경영학 교수	영 Sussex Univ. 과학기술경영학 박사	- 기술경영경제학회 이사 - 미래전략연구원 센터장 - 한국과학기술원 기술경영학부 교수(현)	
7	이세준	과학기술정책연구원 선임연구위원	서울대학교 자원경제정책 박사	- 과학기술정책연구원 제도혁신연구단 - 선임연구위원(현)	
8	최상옥	고려대학교 행정학과 교수	미 Florida State Univ. 행정학 박사	- 고려대학교 행정학과 교수(현) - 고려대학교 과학기술협동과정 교수(현)	
9	신동익	충북대학교병원 신경과 교수	충북대학교 의학 박사	- 과기정통부 직할 기관평가위원 - 충북권역 뇌혈관질환 센터장(현)	
10	주 원	현대경제연구원	고려대학교	현대경제연구원 거시경제실장	

		경제연구실장	경제학과 박사	- 현대경제연구원 산업연구실장 - 현대경제연구원 경제연구실장(현)	
11	한정민	한국가스공사 수석연구원	한양대학교 자원환경공학 박사	가스연구원 이노베이션연구소 수석연구원(현)	
12	박상욱	서울대학교 지구환경과학부 교수	서울대학교 과학정책 박사	- 숭실대학교 행정학부 교수 - 서울대학교 지구환경과학부 교수(현)	
13	이승훈	제조혁신기술원 책임연구원	한양대학교 기계공학과 박사	- 한국산업기술대학교 연구교수 - 주식회사 로버 대표(현) - 제조혁신기술원 책임연구원(현)	
14	윤성혜	원광대학교 한중관계연구원 연구교수	중 정법대학 법학 박사	- 국회 입법지원위원 - 원광대학교 한중관계연구원 연구교수(현)	
15	양임정	부산대학교 물리학과 교수	미 Georgia Univ. 고체물리학 박사	- 부산대학교 대학원 부원장 - 한국여성과학기술단체총연합회 이사 (현) - 부산대학교 물리학과 교수(현)	

- (운영 방법) 주요 정책에 대한 계획 발표 및 실적을 발표하고 민간전문가 발제 후 자유 토론(1-2건내외)

회차	개최일	장소	회의 안건
1	'19. 05. 23(목)	서울 일비노로 소	- 책임있는 연구수행을 위한 R&D 관리방안 - 기초연구 성과를 연계한 기술 비지정 원천사업 추진(예타사업)
2	'19. 7. 18(목)	과천청사 국무위원 식당	- 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안 - ICT 기초·원천연구 활성화 방안
3	'19. 9. 26(목)	대전 롯데시티 호텔 C'Lounge	- 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 혁신 방안 2단계(안) - 바이오 지속 성장을 위한 생명연구자원 정책 발전방향(안)
4	'19. 12. 11(수)	서울 밀레니엄 힐튼 3층 멤버홀	2020기초연구사업 중점 추진방향 - 수소 기술개발로드맵 후속조치 방향 - 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안

□ 기대효과

- 다양한 분야의 민간전문가의 의견수렴을 바탕으로 새로운 정책 아젠다 발굴
- 기초·원천연구 분야 현장 밀착형 정책 발굴 및 제안

2.2. 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회 운영 결과

2.2.1. 제1차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회

가. 회의 개요

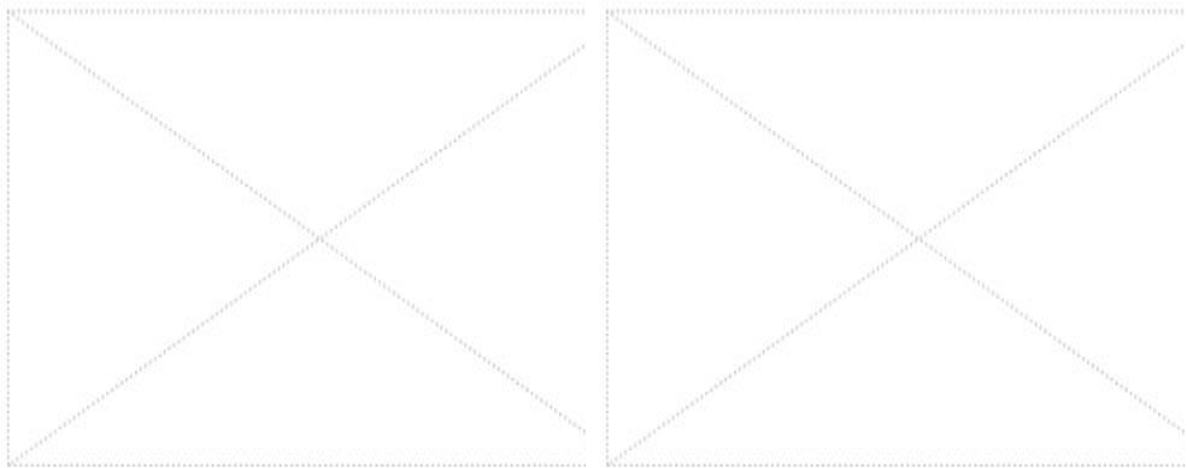
□ (일시/장소) '19. 5. 23(목) 11:30~13:30 / 서울 일비노로소

□ (참석자) 자문위원회 위원 10명, 과기정통부 8명, 운영기관 5명, 총 23명

구 분	성 명	소속기관 및 직책
자문 위원	홍형득	강원대학교 행정학과 교수(위원장)
	한성옥	한국에너지기술연구원 책임연구원
	정재용	한국과학기술원 기술경영학과 교수
	이세준	과학기술정책연구원 선임연구위원
	최상옥	고려대학교 행정학과 교수
	주원	현대경제연구원 경제연구실장
	한정민	한국가스공사 수석연구원
	박상옥	서울대학교 지구환경과학부 교수
	이승훈	제조혁신기술원 책임연구원
	윤성혜	원광대학교 한중관계연구원 연구교수
과기부	고서곤	기초원천연구정책관
	이석래	연구개발정책과장
	이주원	기초연구진흥과장
	서경춘	생명기술과장
	송완호	융합기술과장
	박병현	바이오경제팀장
	김영수	연구개발정책과 서기관
	박수진	원천기술과 사무관
운영기관	김승균	이산컨설팅그룹 대표
	이효빈	이산컨설팅그룹 부장
	류인호	이산컨설팅그룹 선임연구원
	조은솔	이산컨설팅그룹 연구원
	김근종	이산컨설팅그룹 연구원

□ 주요 논의 내용

- 책임있는 연구수행을 위한 R&D 관리방안
 - － 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정책 방안」, 「건강한 학술활동 지원을 위한 조치방안」에 대한 중점추진과제 및 시스템 구축 논의
- ‘기초-원천연구’ 연계를 위한 실행방안 추진 계획
 - － 기초연구 성과를 체계적으로 관리하는 R&D지원 체계 마련의 필요성 및 기초연구 성과 연계 원천연구 시범사업 추진 방안 논의



나. 회의 안전발표 요약

(1) 책임있는 연구수행을 위한 R&D 관리방안

□ 현황 및 추진 경과

- (현황) 현 정부는 ‘자율·창의적 연구를 위한 연구자 중심의 R&D’ 추진에 따라 기초연구 확대 및 각종 제도개선 추진 중이었으나, 부실학회, 연구비 횡령, 논문 부당저자(자녀 등) 등의 문제가 연이어 발생하면서 과학기술계에 대한 국민들의 실망과 우려가 고조
- － ‘자율과 책임’의 원칙 하에서 연구자의 사회적 책임이 요구되고 있고, 자율성 확대에 수반되는 연구현장의 책임성 확보가 필요
- (추진경과) 교육부·과기정통부는 부실학회 보도에 따라 대학, 과기원, 과기출연연 대상 참가자 실태조사(‘18.9.13 완료), 직무윤리 등 조치를 추진하였고 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착방안」 수립(‘18.12월, 과기정통부)

□ 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착방안」 주요 내용

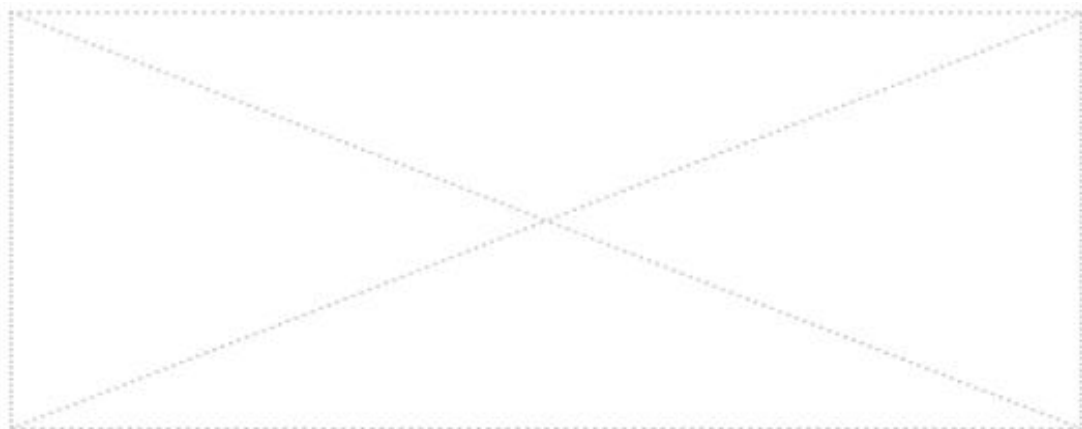
- (원인 진단) 규정, 제도, 거버넌스, 인식 측면에서 연구윤리, 연구 행정 등 연구자 중심 R&D에서 나타날 수 있는 문제 점검

○ (중점 추진과제) 총 7개의 중점 추진과제 도출

- ① 연구부정행위에 대한 제재기준 강화
- ② 연구기관 단위의 정부 R&D 제재 도입
- ③ 주관연구기관에 대한 연구비 관리책임 강화
- ④ 범부처 연구윤리 규범 제정
- ⑤ 연구비 부정사용을 초래할 수 있는 제도적 결함 해소
- ⑥ 연구윤리 관련 전담조직 신설 등 거버넌스 확립
- ⑦ 연구기관 차원의 연구윤리 확보를 위한 기능 확대

□ 「건강한 학술행동 지원을 위한 조치방안」 주요 내용

- (정보공유 플랫폼) 학술 정보 관리·공유·검증을 위한 ‘학술 정보시스템(가칭)’을 구축하여 과학기술계의 자정작용 지원
- KISTI, 과총, 연구재단이 참여하여 부실학회 문제를 해결을 위한 시스템 및 대응체제 구축 추진



- (대응체제) 부실학회 이슈 발생시 부실학회 여부 검토 및 조사, 조치 등을 위한 정부-전문기관-연구기관 간 대응체제 마련
- 정부 연구비를 받는 연구자라면 보편적으로 지켜야 할 연구윤리 규범을 마련하는 한편, 연구윤리 교육을 강화
- 부실학회 의심 신고(5건이상) 등 이슈 발생시 과총에서 부실학회 여부 검증 및 검증 결과 공개

(2) ‘기초-원천연구’연계를 위한 실행방안 추진계획

□ 추진 배경 및 현황

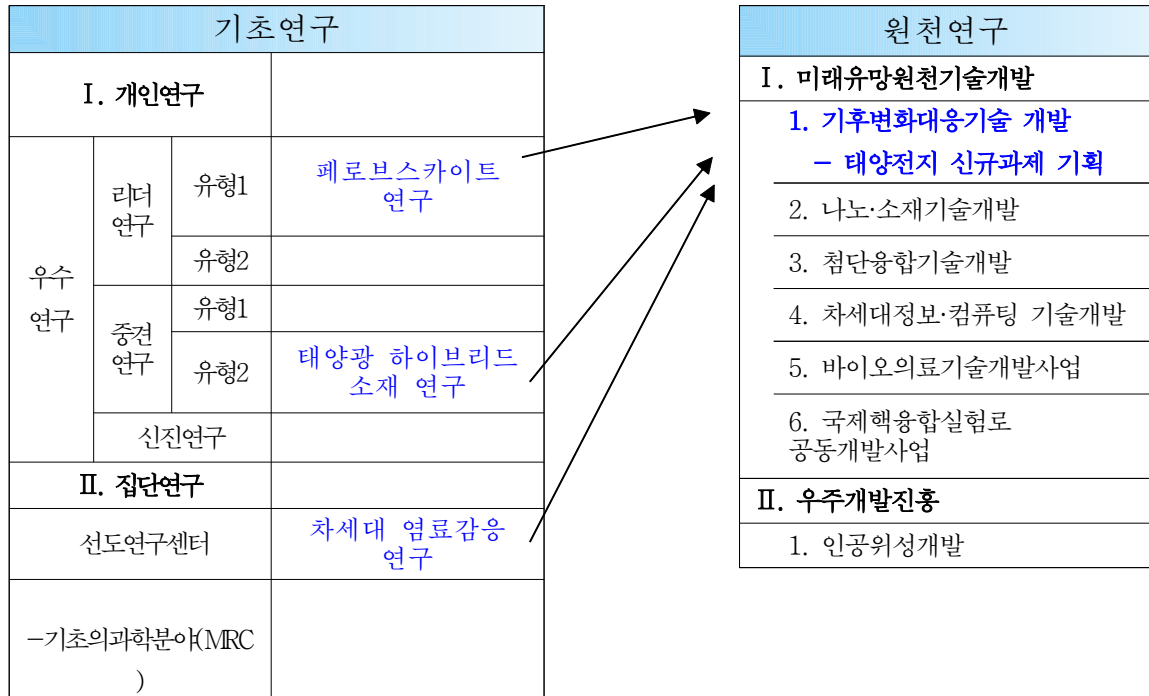
- (추진 배경) 국가 R&D를 통한 혁신성장 및 국민의 행복한 삶 구현을 위해서 R&D 투자 전략 고도화가 필요하고 연구자들의 창의성·다양성에 기반한 연구자 주도 기초연구에 대한 투자를 확대할 계획
- (기초연구 현황) 연구자 주도 기초연구 예산은 '19년 기준 1조 9,703억원으로 Bottom-Up 과제에 대해 지원을 하고 있으며 연구자 생애주기를 고려한 기초연구 지원체제로 개선
 - 논문, 특허의 연구성과는 우수하나, 활용성 높은 성과 창출은 미미
- (원천연구 현황) 미래유망기술(바이오, 나노·소재, 에너지·환경, 융합 등), 우주, 원자력, 국민생활개선 분야에 대해 '19년 기준 1조 7,790억원 규모로 기술수요조사를 바탕으로 Top-Down 방식의 지원
 - 원천연구의 최근 성과 대부분이 실험실 수준에서 정체되고 있고 사업화, 기술이전 등 가시적 성과가 부족한 상황
- (기초-원천연구 연계 현황) 기초/원천연구는 분류체계 및 지원체계가 상이하여 그간 별도로 운영됨
 - 기초연구를 통해 TRL 5 이상이 예상되는 성과를 보유하여 후속사업이 필요한 경우에도 원천연구 착수까지 최소 2년, 예타 규모의 경우 최소 3년 이상이 소요되어 연구단절 발생

□ 추진계획(안)

- 기초, 원천연구 성과관리 전문가(RB)를 지정하여 체계적 성과관리

구 분		현 행	개선 방안
RB 구성	기초연구	분야별 3~4인(동일업무 수행)	분야별 성과전담 RB 1인 지정
	원천연구	분야별 2~4인(동일업무 수행)	분야별 기획(성과) RB 추가선정
기획	성과물활용	최종보고서 미활용	기초연구 최종보고서 검토를 통한 성과, 연구자 정보 활용
	기술수요조사 시	특정기술, 상시기술 수요조사	특정기술, 상시기술 수요조사+기초 성과전담 RB수요조사

- 기초연구성과 연계 원천연구 시범사업 추진



- 기술 비지정 원천연구 세부사업 신설 → 예타 추진('19.하)
- 기초연구 성과가 끊임없는 지원을 통해 원천연구로 이어질 수 있도록 기술 지원 분야를 정해놓지 않은 기술 비지정 세부사업 신규 마련

다. 자문위원 토의 내용

□ 과기정통부의 부실학회 대응 방향

- 윤성혜 위원 : 현재 마련한 부실학회 선정 조건, 기준 등은 인문사회 계열에 부합되지 않은 경우가 있을 수 있어 다양한 분야의 연구자들에 의견수렴이 필요함
- 한성옥 위원 : 연구행정에서 발생할 수 있는 문제를 해결할 수 있는 방법으로는 ① 외부 가이드라인, ② 내부 연구윤리, 부실학회 교육 실시가 있으며 두 번째 방법을 선행하였으면함
- 이세준 위원, 한성옥 위원, 정재용 위원 : 부실학회가 발생하는 원인(학회 운영 프로세스, 성과중심 연구 등)파악이 명확하게 정의되고 제도가 수립되어야함
- 최상옥 위원 : 과기정통부에서 부실학회를 관리하는 것은 이중성이 존재할 수 있을 수 있기 때문에(연구자의 해외동향 파악, 경험치 증대 등), 연구비 사용에 대한 관리 강화, R&D 공동관리규정 단순화, 간소화가 필요함
- 최상옥 위원, 이승훈 위원 : '연구실 운영비 인정' 조치는 음성적인 부분을 양성적인 것으로 제도화하는 것이지만 연구실 운영에 대한 폐해가 존재할 수 있음. 특히 인문사회계열은 연구실 자체가 없기 때문에 현실에 맞고 원칙에 의한 보상체계가

필요함

□ 기초-원천연계를 위한 사업 추진 방향

- 최상욱 위원 : 기초원천분야에서 사회수요니즈를 발굴하고 정책으로 전환되는 과정까지 연계되는 것을 고려하여 ‘사회기술수요’라는 키워드를 가지고 사업 설계 필요
- 주원 위원 : 기초연구는 응용,개발 연구와 달리 성과를 창출하기 위해 하는 연구가 아니라서 성과로 사업을 판단하는 것은 한계가 있으며 기초연구 특성상 사회적 유행에 따라 많이 달라질 수 있어 과기정통부에서 변동성을 갖지 않고 자율성을 최대한 확보하는 측면에서 지원을 해야함
- 한성욱 위원 : 기초-원천을 연계하는 것은 의미가 있으며, 연구재단에서 지원하고 있는 ‘기초연구→중견연구’ 지원사업을 분석하여 해당사업을 확대할 필요가 있음. 또한 RB의 경우 분야가 매우 넓고 다양성에 대한 문제가 있을 수 있어 RB선정방안이 구체적으로 도출되었으면 함
- 박상욱 위원 : 기초연구부터 연구가 시작되고 후속까지 연계된다고해서 긍정적인 것이 아니고, 기초연구 특성상 다른 연구로 파생될 수 있으므로 연구자중심으로 판단해서는 안되고 기초에서 원천까지 호환성을 맞추는 것이 효과성이 있을지 의문임
- 홍형득 위원장, 최상욱 위원, 이세준 위원 : 기초연구사업의 지속적으로 추진됨으로써 중복사업에 대한 문제, R&D사업의 효과성 등 성과를 정확하게 분석하여 제시할 시기가 되었으며 Data에 의해 성과를 보여주지 않으면 설득력이 없을 수 있기 때문에 포괄적인 성과 제시, 기초-원천 연계를 해야 예타에 들어갈 수 있음
- 한정민 위원 : 기업에서는 원천연구를 중심으로 과제를 많이 하기 때문에 원천연구에서 기업을 참여시키는 방안도 고려해야함

2.2.2. 제2차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회

가. 회의 개요

□ (일시/장소) '19. 7. 18(목) 11:30~13:30, 과천청사 국무위원 식당

□ (참석자) 자문위원회 위원 12명, 과기정통부 8명, 운영기관 5명, 총 25명

구분	성명	소속기관 및 직책
자문 위원	홍형득	강원대학교 행정학과 교수(위원장)
	손종렬	고려대학교 보건과학대학 교수
	한성옥	한국에너지기술연구원 책임연구원
	임혜원	한국과학기술연구원 책임연구원
	이세준	과학기술정책연구원 선임연구위원
	최상옥	고려대학교 행정학과 교수
	박현민	한국표준과학연구원 책임연구원
	주원	현대경제연구원 경제연구실장
	한정민	한국가스공사 수석연구원
	박상옥	서울대학교 지구환경과학부 교수
	신동익	충북대학교병원 신경과 교수
	윤성혜	원광대학교 한중관계연구원 연구교수
과기부	고서곤	기초원천연구정책관
	이석래	연구개발정책과장
	김민표	원천기술과장
	서경춘	생명기술과장
	송완호	융합기술과장
	박병현	바이오경제팀장
	한우진	기후변화대응팀장
	김영수	연구개발정책과 서기관
운영기관	김승균	이산컨설팅그룹 대표
	이효빈	이산컨설팅그룹 부장
	류인호	이산컨설팅그룹 선임연구원
	조은솔	이산컨설팅그룹 연구원
	김근종	이산컨설팅그룹 연구원

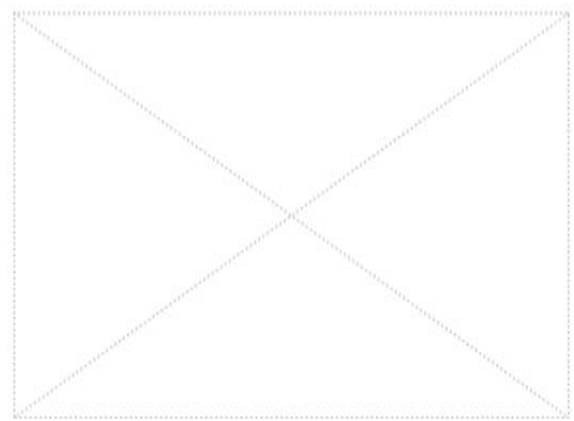
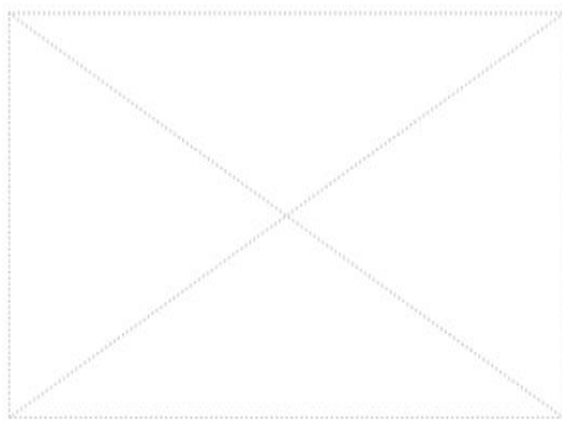
□ 주요 논의 내용

○ 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안

- 바이오 R&D 성과를 점검하고 성과창출 제고를 위해 평가위원 사전 공개, 연구책임자 책임성 부여 등 제도 개선 사항 논의

○ ICT 기초·원천연구 활성화 방안

- ICT 기초·원천연구 활성화를 위해 ①기초·원천 R&D 투자 확대 및 효율화, ②기초·원천 R&D 성과의 혁신 사다리 구축, ③개방·협업의 기초·원천 R&D 생태계 조성 추진전략 및 세부과제 논의



나. 회의 안전발표 요약

(1) 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안

□ 바이오 R&D 성과

- 바이오·헬스 분야 정부 R&D 투자 '94년 407억원 → '17년 2조6천억원(약 64배 증가)
 - (성장지원) 정부 R&D를 통해 민간의 R&D 투자를 견인하고 '14년을 기점으로 민간 투자가 정부 투자를 넘어 자생적 생태계가 조성
 - (인력양성) '06년부터 약 7만 명의 석·박사급 우수인력 육성하고 정부 R&D 10만여 명이 참여('18년 기준)하는 등 일자리 창출
 - (창업지원) 코스피·코스닥 상장 바이오·헬스 기업(89개) 중 32개 기업(시가총액 약 19조원)이 정부 R&D 투자를 토대로 주요 기술 확보
 - (신약수출) 정부 R&D를 통해 기업들의 기술수출 29건(200억원 이상)을 지원했으며, 글로벌 제약사로 대규모 기술 수출에 기여함

□ 성과창출 제고를 위한 제도개선 주요 내용

- (평가위원 사전 공개) 연 20억원 이상 국책과제의 경우 평가위원 명단 사전 공개, 종합평가의견 및 과제별 평가위원 명단 사후 공개 추진 등 평가 정보의 공개를 확대
 - '19년 신규 20억 이상 과제의 선정평가(발표) 시 평가위원 명단을 평가일 3~5일 이전에 사전 공개(성명, 소속기관)
- (연구책임자 책임성 부여) 대형과제 책임자의 연구 전념을 위해 바이오 분야 연 5억원 이상의 과제는 총괄·단위책임자의 참여율을 50%이상으로 적용
 - 원천연구사업은 대부분 30%이상, 기초연구사업은 중견과제(평균 1.2억원) 등의 경우 30%이상의 최소 참여율을 적용
- (성별과 젠더를 고려한 연구 가이드라인) 생명현상에 대한 정확한 이해를 위해 의·생명과학 연구 과정에서 성별을 생물학적 변수로 포함할 것을 검토할 필요
 - 美, NIH는 척추동물과 인간을 대상으로 하는 연구에서 성별을 주요 생물학적 변수로서 연구 계획에 포함하도록 결정
- (PI 참여를 위한 사전 교육) 연구자들의 R&D제도 및 정책에 대한 이해 부족 및 최근 부실학회, 연구비 횡령 등 문제가 연이어 발생하면서 연구현장의 책무성 강화, 사전예방 교육 등 관리 체계화 필요
 - '18년부터 기초연구사업 등 일부 사업 연구윤리 교육을 의무화, 연구회 산하 출연(연)은 직급별 의무교육 운영
- (5억원 이상 과제 포닥 참여) 실험실 연구에 핵심적인 포닥 등 Staff Scientist의 참여 확대를 통해 R&D 고도화, 우수인력의 활용도 제고 등 필요
 - 과기정통부 일부 사업*의 경우 연(12개월) 5억원 이상의 과제는 해당 기관 소속의 박사급 연구원을 필수 참여(참여율 50% 이상)

(2) ICT 기초·원천연구 활성화 방안

□ 추진배경 및 문제점

- (추진 배경) 그동안 ICT를 핵심 성장동력으로 육성, 세계 최고 수준의 인프라를 구축하고, 주요 품목의 시장 점유율 1위 등 세계적 산업 경쟁력을 확보했지만 글로벌 경쟁에 적시 대응을 위한 ICT 기초·원천기술 경쟁력 취약 문제 지속
- (문제점) 대부분이 개발단계에 집중되어, 기초·원천연구개발에 대한 투자가 부족하고, 대형성과 및 연구생태계 기반이 미비함

□ 역량분석

- 기존의 추격형 R&D 투자 관행과 지원 체계 분절 등 약점 에도 불구, 우수 연구역량(학술성과 등)·민·관의 투자여력 등 강점 보유

- 전주기적 지원체계를 바탕으로 민·관 투자를 확대 및 효율화하여 국내의 우수한 연구역량을 파급력 높은 ICT 원천기술로 연계·육성

▶ 수준 높은 ICT 학술성과 ▶ 고도화된 산업생태계·민·관 투자여력	S W	▶ 추격자형 R&D 투자관행 ▶ 기초·원천/응용·개발 지원 체계 분절
▶ 5G·AI·양자컴퓨팅 등 新유망분야 확산	O T	▶ 중국 등 글로벌 ICT 원천기술경쟁 격화

□ 추진전략 및 세부과제

○ 기초·원천 R&D 투자 확대 및 효율화

- (기초연구 지원확대 및 전략성 강화) 지원규모를 '17년 1,450억 수준에서 '22년 이후 2,900억원 규모까지 점진적 확대하고 ICT R&D 기술체계와의 연계를 통해 기초연구 전략성 확보
- (패키지형 원천연구) 기존 산업육성 관점의 ICT 기술개발 로드맵을 중장기 원천 기술 확보로까지 확대하고 ICT핵심기술과 기반기술을 동시에 지원하는 패키지형 전용 R&D 신설
- (ICT융합 선도모델) 자연과학자(수학·물리·생물 등)의 탐구역량과 공학자(전기·전자·컴퓨터 등)의 개발역량을 결합한 ICT 기초융합연구센터 신설

○ 기초·원천 R&D 성과의 혁신 사다리 구축

- (이어달리기 R&D) 유망 ICT 기초·원천 연구성과를 선별, 응용·상용화 단계까지 체계적으로 육성하는 이어달리기 전용사업 신설
- (벤처창업 활성화) 기술 보유자에 대한 창업지원과 R&D 지원을 연계하여 ICT 원천기술벤처(deep tech startup) 성장을 지원하고 ICT혁신기술 기반 제품의 실증 특례 도입 및 세액공제 적용 등 지원 제도 개선 추진
- (미성숙 원천기술의 초기실증) ICT 전문 출연연(ETRI·KETI 등) 및 인프라 보유 기관(나노팜 등)을 통해 대학 등 보유 원천기술의 시제품 제작 지원 및 초고성능 컴퓨터 기반 '디지털 실험실' 구축

○ 개방·협력의 ICT 기초·원천연구 혁신생태계 조성

- (R&D 협력생태계 조성) 산·학 공동 연구네트워크 구성 및 연구데이터 수집, 공유, 활용할 수 있도록 지원하고, 연구성과와 전략방향을 논의·공유하는 개방형 포럼 구성 및 운영
- (전문인력 양성) 이공계 연구중심대학원 육성을 통해 혁신성장분야의 ICT 핵심 인재를 배출하고, 핵심분야에 특화된 지원프로그램(시스템반도체, 인공지능)을 운영

다. 자문위원 토의 내용

□ 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안

- 임혜원 위원 : 평가위원 사전공개, 연구책임자 책임성 부여 등 제도 개선의 적용범위가 바이오분야만 적용되는 건지, 전체 R&D에 적용되는 건지 명확히 결정해야함
 - 평가위원 사전공개는 국내 과학기술 Pool이 협소하기 때문에 조심스러워야하며 부정적인 측면이 충분히 존재할 수 있음
- 박현민 위원 : 5억원 이상 과제 포닥참여 제도의 과제비 기준에 대해 젊은 연구자의 여건, 특성 등 고민이 필요함
- 손종렬 위원: 평가위원 공개, 연구책임자 책임성 부여 등 대부분 공감하고 있지만 현장에서 효과가 있을지 검증이 필요하고, 바이오 분야 연 5억원 이상에 대한 기준은 다시한번 고려가 필요함(10억원 이상이 타당함)
 - 대학의 포닥제도는 현재 여건이 매우 어려운 상태라 연구교수 등 다른 제도를 활용할 필요가 있음
- 박상욱 위원 : 바이오분야가 이공계 내에서 처우가 매우 좋지 않기 때문에 대학 실험실에서 Staff Scientist, 포닥 참여제도 등을 정말 원하는지 수요조사가 필요함
- 한성욱 위원 : PI 참여를 위한 사전교육 제도는 차별화된 교육 프로그램을 만드는 게 매우 중요함
 - 연구윤리, 제도는 의무교육을 받고 있고, KIRD에서 추진하고 있는 교육과 중복될 가능성이 높아 교육과정에 대한 검토가 필요함
- 신동익 위원 : 평가위원 사전공개는 평가위원 Pool이 작아 문제가 있을 수 있어 사전검토가 필요함
 - PI 참여를 위한 사전교육 부분에서는 연구비를 사용하는 방법에대한 가이드라인 범위를 넓이는 것에 대해 검토가 필요함
- 주원 위원 : “연구책임자 책임성 부여”에서 민간에서는 연구책임자가 연구·관리자 역할까지 수행하기 때문에 5억 원 이상 기준이 너무 과한 것이라 생각됨
- 한정민 위원 : 사전평가 공개 제도의 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 구분해서 검토가 필요하며, “연구책임자 책임성 부여”의 5억원 규모는 너무 작아 재검토가 필요함
 - PI사전교육은 모든 연구기관에서 하고 있는 것으로 알고 있지만, 제도적으로 정립되지 않아 연구기관 내에서 스스로 제도화할 필요가 있음
- 최상욱 위원 : 성과분석과 제도 운영에 대해 부합되지 않고, 특히 R&D를 통해 인력양성 효과가 있는지 신뢰성 검토가 필요함

- 이세준 위원 : 정확한 성과를 진단하고 전략이 도출되어야 하는데 바이오성과와 전략의 연결고리가 부족함
- － 일관된 통계(인용연도 등)와 문제점이 있는지 다시한번 분석이 필요
- 최상옥 위원 : 평가위원 사전공개는 부작용이 매우 클 수 있어, 사전 검증 또는 사후 점검을 통해 투명성을 강화하는 것이 나올 수 있음
- 이세준 위원 : 5억원 이상 과제, 성별과 젠더 가이드라인 등 사전 시뮬레이션이 반드시 필요하고 미국 등 사례에서 어떤 검토과정을 거쳤는지, 파일럿이 필요함

□ ICT 기초·원천연구 활성화 방안

- 손종렬 위원 : ICT분야 사업의 활용과 성과에 대해 확산측면에서 많은 홍보가 필요함
- 최상옥 위원 : R&D협업체계를 구축 시 정부가 민간에게 먼저 다가가야 협업이 가능함
- － 각 부처마다 ICT전문인력 양성을 하고 있지만 R&D측면에서 전문인력 양성이 효과가 있는지 연관모델 검토가 필요하고 융합센터신설에 대한 실효성도 고민 필요
- 이세준 위원 : ICT 기초·원천연구의 문제점에 대한 원인 출처가 명확하지 않아 원인분석을 명확하게 할 필요가 있음

□ 주요 논의사항에 대한 개선방안

- 평가위원 사전 공개
- － 최상옥 위원 : 과기정통부 특정사업만 평가위원을 공개하고 연구책임자 책임성 부여를 하는 과정이 왜 필요한지 정책 확산 노력이 필요
- － 박현민 위원 : 시범사업을 통해 나온 결과를 분석하여 확산 또는 축소를 결정해야함
- 5억원 이상과제 참여율 50%이상 적용
- － 홍형득 위원 : 5억, 50% 명확한 수치보다 총괄, 세부과제에 따라 비율을 조정하고 단순 규모보다는 다른 조항(인건비 비중 등)을 적용하는 것이 바람직해보임
- 5억원 이상 과제 포닥 참여
- － 한성옥 위원 : 포닥 인건비는 정규직 인건비와 같기 때문에 포닥을 의무화하는 것은 오히려 다른 정규직이 들어오지 못하는 마이너스효과가 발생할 수 있음, 포닥에게 정규직 전환같은 인센티브가 있어야함
- － 최상옥 위원 : “필수”라는 조건을 넣으면 파급효과가 크기 때문에 권고사항으로 수정할 필요가 있음
- － 홍형득 위원, 손종렬 위원 : 포닥이 참여하면 그 참여한 포닥이 다음 과제 연구책임자로 이동할 수 있는 트랙이 신설되었으면 좋겠음
- ICT융합센터 신설

- ICT분야는 수직적 계열화가 심하기 때문에 대기업과 기초원천연구를 같이 시작해야함(손종렬 위원)
- 국내 환경 특성 상 물리적으로 한 공간에 집중시켜야 효과가 발휘할 것임(주원 위원)

2.2.3. 제3차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회

가. 회의 개요

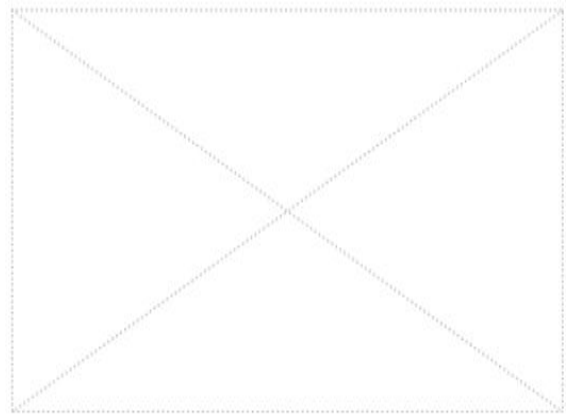
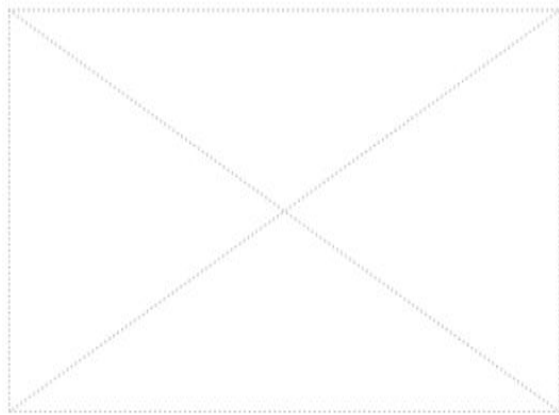
□ (일시/장소) '19. 9. 26(목) 11:30~13:30 / 대전 롯데시티호텔 C'Lounge

□ (참석자) 자문위원회 위원 7명, 과기정통부 8명, 운영기관 5명, 총 20명

구분	성명	소속기관 및 직책
자문 위원	손종렬	고려대학교 보건과학대학 교수
	한성옥	한국에너지기술연구원 책임연구원
	임혜원	한국과학기술연구원 책임연구원
	이세준	과학기술정책연구원 선임연구위원
	박현민	한국표준과학연구원 책임연구원
	한정민	한국가스공사 수석연구원
	신동익	충북대학교병원 신경과 교수
과기부	고서곤	기초원천연구정책관
	이석래	연구개발정책과장
	이주원	기초연구진흥과장
	이창선	생명기술과장
	송완호	융합기술과장
	정연웅	바이오경제팀장
	김영수	연구개발정책과 서기관
	곽정임	바이오기반팀 사무관
	양민영	원천기술과 사무관
운영기관	김승균	이산컨설팅그룹 대표
	이효빈	이산컨설팅그룹 부장
	류인호	이산컨설팅그룹 팀장
	조은솔	이산컨설팅그룹 연구원
	김근종	이산컨설팅그룹 연구원

□ 주요 논의 내용

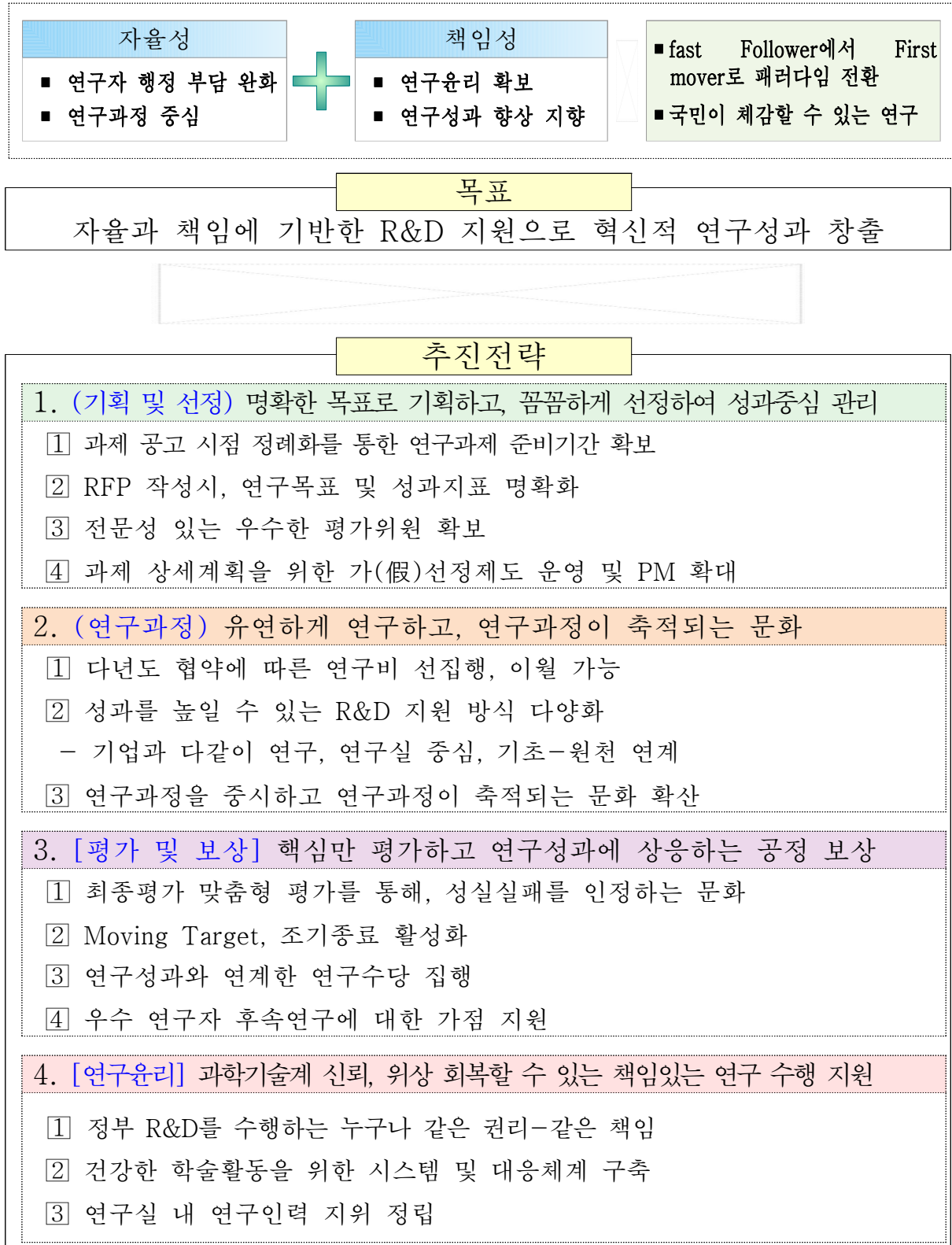
- 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 혁신 방안 2단계(안)
 - － 연구자의 책임성(연구성과, 연구윤리)을 향상하기 위한 방안을 마련하고 중점 추진과제를 중심으로 개선 사항 논의
- 바이오 지속 성장을 위한 생명연구자원 정책 발전방향(안)
 - － 바이오 연구가 지속 성장할 수 있도록 바이오 소재, 데이터 등 바이오 연구에 활용되는 필수 요소(재료)를 국가적으로 관리하는 방안에 대해 논의



나. 회의 안전발표 요약

(1) 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 혁신 방안 2 단계(안)

□ 개선방향



□ 중점 추진과제 주요 내용

- (기획 및 선정) 명확한 목표로 기획하고, 꼼꼼하게 선정하여 성과중심 관리
 - RFP 작성시, 연구목표 및 성과지표 명확화하고 전문성 있는 우수한 평가위원 확보
 - 상세계획 및 성과관리를 위한 가(假)선정제도 운영 및 PM 확대
- (연구과정) 유연하게 연구하고, 연구과정이 축적되는 문화
 - 다년도 협약기간 내에서 연구비 선집행, 이월이 가능하게 하고, 성과를 높일 수 있도록 R&D지원 방식 다양화
 - 전자연구노트 및 시점인증 등을 활성화 하여 연구과정을 중시하고 연구과정이 축적되는 문화 확산
- (평가 및 보상) 핵심만 평가하고 연구성과에 상응하는 공정 보상
 - 맞춤형 평가를 통해 성실실패를 인정하는 문화를 만들고 Moving Target, 조기종료 활성화
 - 연구성과와 연계한 연구수당 집행 규정을 마련하고 우수 연구자 후속연구에 대한 가점 지원 활성화
- (연구윤리) 과학기술계 신뢰, 위상 회복할 수 있는 책임있는 연구 수행 지원
 - 공동관리규정 개정, 학술공유시스템 구축, 연구실 내 연구자별 지위정립 방안 마련

(2) 바이오 지속 성장을 위한 생명연구자원 정책 발전방향(안)

1) 바이오 소재 자원

□ 추진배경 및 문제점

- 현재 운영되고 있는 소재은행(251개) 및 기탁등록보존기관(218개) 규모가 적절한지, 당초 기관 지정 목적에 맞게 운영되고 있는지 점검 필요
- 소재 관리 기관을 국가 기간 시설로 지정·관리하고 있음에도 일반 R&D 과제와 동일하게 단기(예, 5년) 지원하고 있어 소재 관리 목적 달성에 어려움
- 일부 연구자들이 R&D 소재 성과물을 기탁등록보존기관에 기탁하지 않고 해외 기관에 기탁하는 것으로 확인되고 있어, 바로 잡을 필요

□ 개선방향

- 지속 성장 가능한 소재은행을 합리적으로 육성
 - 소재 관리 기관에 대한 다양한 의견수렴과 분석을 바탕으로 분야 및 역할별 적정은행이 지정될 수 있도록 조정

- 소재 관리 기관이 국가 인프라로서 역할을 다 할 수 있도록 안정적으로 지원
- 소재 경쟁력 향상
 - R&D에서 생산되는 좋은(고품질) 소재가 국내 축적·공유될 수 있도록 제도를 보완
 - 연구자에게 소재와 연계 정보를 함께 제공하는 등 서비스 질 향상

2) 바이오 데이터 자원

□ 추진배경 및 문제점

- '14년, KOBIC을 바이오 데이터 총괄 수집기관으로 지정*하여 운영중이나, 범부처 데이터 수집 체계와 데이터 표준화 미비
- 일부 사업의 경우 별도 DB를 운영하여 관리하고 있으나, 소수 연구자만 활용하고 사업(과제) 종료 후 데이터 사장 우려가 있어 대책 필요
- 현재는 공개된 외국 데이터를 활용하고 있으나 일본, 유럽 등지에서 자국 데이터를 보호하기 위해 움직이고 있어 국내 독자적 데이터 확보 시급

□ 개선방향

- 데이터 총괄 수집·관리 체계 정비
 - 관계 부처 및 데이터 관리 기관의 역할을 명확히 해서 바이오 데이터 총괄 관리를 위한 범부처 거버넌스 정립
- 바이오 데이터 등록·공유 의무화
 - 대형국책 사업부터 소규모 개인 연구과제에 이르기까지 바이오 연구에서 생산되는 데이터 의무 등록 원칙
- 전략적 국제협력 추진
 - 국내외 협력 체계 구축하여 연구자들이 국가 바이오 DB에 데이터를 등록하면 국내외 저널에 논문 게재시 인정받을 수 있도록 추진

다. 자문위원 토의 내용

□ 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 혁신 방안 2단계(안)

- 한성욱 위원 : 전문성 있는 우수한 평가위원 확보
 - 에기연의 경우 평가위원 확보에 노력을 매우 많이 하고 있으며 대기업 위주의 산업체(LG, 두산 등) 임원급 은퇴자를 평가위원으로 위촉함
 - 산업적 측면에서 평가를 하기 때문에 심도 있고 전문성 있는 평가의견이 제시됨
 - 산업계 임원급(CTO이상) 평가위원 Pool 구축이 필요함

- 한성옥 위원 : 기업과의 공동연구 사업 신설
 - 산업계 + 대학 뿐만 아니라 출연연(1~2개)+대학+산업계가 같이할 수 있는 공동연구사업이 필요함
- 한성옥 위원 : 연구과정을 중시하고 연구과정이 축적되는 문화 확산
 - 매우 좋은 정책으로 연구실 히스토리를 잘 정리하고 언론과 연계한 결과물 홍보가 적극적으로 추진되었으면함(과기부의 연구지원이 산업계에 기여하고 있다는 것을 중기적 플랜으로 보여줄 필요가 있음)
- 이세준 위원 : 연구실 신뢰문화 구축
 - 정부뿐만 아니라 기관에서 자체적으로 캠페인 같은 형식으로 실행되어야 하고, 우수사례 공유도 적극적으로 추진해야함
- 손종렬 위원 : 성과를 높일 수 있는 R&D 지원 방식 다양화
 - 우수 연구자들이 모여 R&D사업을 같이 기획할 수 있도록 추진하는 것을 제안함
 - 출연연, 대학 각 기관이 독자적으로 연구하고 대기업은 보유기술을 비공개를 하는 성향이 강해 협력체제 구축이 필요함
- 손종렬 위원 : 평가에 대한 신뢰 구축 필요
 - 선정평가 시 연구자들이 이의신청하는 경우 블랙리스트에 포함되는 우려가 있기 때문에 이러한 것들을 개선할 수 있는 신뢰구축 필요
- 임혜원 위원 : 다년도 협약에 따른 연구비 선집행, 이월가능
 - 기존에 회계연도 분리에 대한 연구자들의 불만이 많았는데 이를 보완할 수 있는 정책이 수립되어 매우 긍정적으로 평가됨
- 임혜원 위원 : 연구실 내 연구인력 지위 정립
 - 출연연 내의 경우에도 인턴연구원, 연수생 등 용어가 너무 많아 지위에 대한 정의가 반드시 필요함
- 신동익 위원 : RFP 작성시, 연구목표 및 성과지표 명확화
 - 성과목표를 연구자가 제시하는 것은 바람직하지만 기술수준이나 연구수준을 객관화하는게 어렵기 때문에 이러한 부분은 정부에서 제시해주는게 바람직함
- 한정민 위원 : 전문성 있는 우수한 평가위원 확보
 - 산업계에서 생계형으로 나오는 평가위원, 전문성이 떨어지는 평가위원이 있기 때문에 평가위원의 질을 향상시킬 필요가 있음

□ 바이오 지속 성장을 위한 생명연구자원 정책 발전방향(안)

- 임혜원 위원 : 실문소재와 데이터에 대한 정책이 반드시 개발되어야 하지만 소재 은행에 위탁된 데이터 실물에 대한 활용도가 어느 정도일지 의문이기 때문에 데

이더 은행 DB활용도를 확보하는게 중요함

- 손종렬 위원 : 바이오 분야에 대한 관리주체를 과기부에서 어느 정도까지 관리할 수 있는지 파악하는 것이 필요함
 - 데이터 총괄 수집체계를 정비할 때 범부처 거버넌스 차원에서 역할 정립을 우선 실행하는 것이 매우 중요
- 손종렬 위원 : 바이오라는 용어보다 생명과학기술이라는 용어가 적합하고 바이오 지속성장이라는 표현이 맞는지 검토가 필요함
- 한성욱 위원 : 바이오라는 범위가 매우 광범위(인체바이오, 자연바이오 등)하기 때문에 용어와 콘텐츠를 맞추는 작업이 필요함
- 한성욱 위원, 박현민 위원 : 그동안 데이터 수집 관련된 사업, 유사사업의 성과 점검이 필요하고 소재은행에 관련된 현황분석을 상세히 할 필요가 있음
- 신동익 위원 : 연구자 관점에서 소재은행은 해외 데이터를 많이 이용하기 때문에 국내에서 소재은행을 하면 어떤 이점이 있는지 구체적으로 제시하는 것이 필요함
 - 연구 인센티브, 소재 구입 지원비 등
 - 소재은행별로 코디네이터를 두면 실제 실험을 할 때 적절한 소재정보를 제공, 추천받을 수 있을 것(연구자-코디네이터-소재은행)
- 이세준 위원 : 소재은행, 데이터 관리주체에 대해 거버넌스적 문제가 발생할 수 있으므로 4차 바이오특위 위원회를 활용하여 체계적인 전략 마련이 필요함

2.2.4. 제4차 기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회

가. 회의 개요

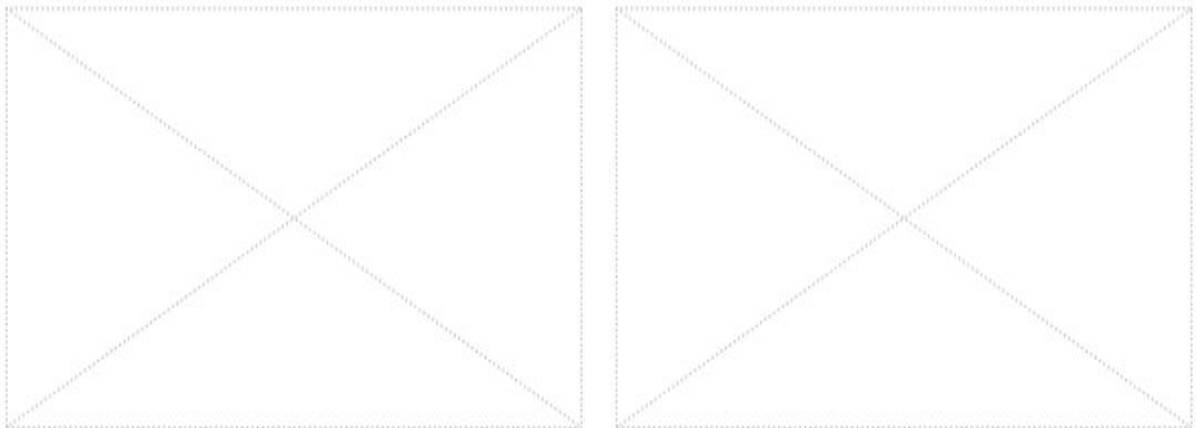
□ (일시/장소) '19. 12. 11(수) 11:30~13:30 / 서울 밀레니엄 힐튼 3층 엠버홀

□ (참석자) 자문위원회 위원 9명, 과기정통부 8명, 운영기관 5명, 총 22명

구 분	성 명	소속기관 및 직책
자문 위원	손종렬	고려대학교 보건과학대학 교수
	한성욱	한국에너지기술연구원 책임연구원
	임혜원	한국과학기술연구원 책임연구원
	이세준	과학기술정책연구원 선임연구위원
	양임정	부산대학교 물리학과 교수
	한정민	한국가스공사 수석연구원
	윤성혜	원광대학교 한중관계연구원 연구교수
	주원	현대경제연구원 경제연구실장
	이승훈	제조혁신기술원 책임연구원
과기부	황판식	연구개발정책과장
	이주원	기초연구진흥과장
	박진희	원천기술과장
	한우진	기후변화대응팀장
	정연웅	바이오기반팀장
	송완호	융합기술과장
	이선미	연구개발정책과
	양민영	원천기술과
운영기관	김승균	이산컨설팅그룹 대표
	이효빈	이산컨설팅그룹 부장
	류인호	이산컨설팅그룹 선임연구원
	조은솔	이산컨설팅그룹 연구원
	여동현	이산컨설팅그룹 연구원

□ 주요 논의 내용

- 「기초가 튼튼한 흔들리지 않는 과학기술 강국」을 위한 2020년 업무계획(안)
 - － 2019년 주요 성과 및 2020년 주요 과제 추진계획 발표
- 2020기초연구사업 중점 추진방향
 - － (개인연구) 기초연구역량을 발전시켜 연구성과를 창출할 수 있도록 수월성과 안전성 기반으로 지원할 방안에 대해 논의
 - － (집단연구) 대학 우수연구 인력의 성장을 위해 학문 분야별 특성에 맞게 조직화하는 방안에 대해 논의
- 수소 기술개발로드맵 후속조치 방향
 - － 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제 이행을 뒷받침하고자 범부처 기술개발 로드맵에 대한 검토
- 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안
 - － 소재·부품·장비 분야 기초·원천 R&D 투자 확대와 함께 수행방식 및 생태계 고도화 등 획기적 노력으로 기초·원천기술 조기 확보에 대한 논의



나. 회의 안전발표 요약

(1) 2020 기초연구사업 중점 추진방향

□ 2020년도 주요 개선사항

- (개인연구) 연구생애 전주기 기초연구역량을 발전시켜 세계적 연구성과를 창출하도록 수월성과 안전성 기반으로 균형있게 지원
 - － 연구현장의 예측가능성 제고를 위해 매년 일 정규모의 신규과제 선정
 - － 신진 연구자의 조기 연구정착 및 우수연구자로 성장을 위해 연구비 단가 상향 및

지원 확대

- 세계 최고수준의 연구자로 성장할 수 있도록 중견/리더 및 연구비 지원 확대
- (집단연구) 대학 우수연구 인력의 성장을 위해 학문 분야별 특성에 맞게 조직화 및 집중지원
- 융복합 연구의 활성화에 기틀이 되는 소규모 연구그룹, 기초연구실 지원 확대
- 신 분야 개척, 주력산업 등 다양한 연구그룹 지원을 위해 기초연구실 유형 신설
- (기타 개선사항) 기초연구실 유형 신설, 학문분야별 지원체계로의 전환, 연구 윤리의식 제고

(2) 수소 기술개발로드맵 후속조치 방향

□ 분야별 이슈 및 핵심기술 개발 전략

- 수소 생산
 - (이슈) 수소 수요 증가에 대비해야 하나 국내 수소 공급원인 부생수소는 생산량 확대에 한계가 있어 다양한 수소생산 기술 확보 필요
 - (전략) 수소 수요량 대응, 화석연료 수준의 가격 경쟁력 확보, 기후변화 대응을 위한 단계별 기술 개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환
- 수소 저장·운송
 - (이슈) 수소의 큰 부피로 운송비용 절감을 위해 대량 저장·운송 가능한 기술이 뒷받침되어야 하나, 수소기체를 압축하여 저장·운송하는 방식 외에는 개발 단계
 - (전략) 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진
- 수소 활용(수송수단)
 - (이슈) 경쟁국은 승용차 중심에서 상용차, 철도차량 등으로 기술을 확대해 가는 데 반해 우리는 아직 승용차 중심이며, 일부 부품은 수입에 의존
 - (전략) 타 분야로의 확장성이 큰 연료전지시스템을 전략적으로 활용하여 중복투자 방지 및 가격 저감을 유도, 독점성 높은 부품은 국산화 추진
- 수소 활용(발전·산업)
 - (이슈) 발전을 위한 연료전지시스템 제작·운영 기술은 세계 최고 수준이나 핵심 소재·부품의 수입의존도가 높고 경제성이 부족
 - (전략) 발전용 연료전지시스템의 경제성을 확보를 통해 설치비와 발전단가를 절감하고, 수입의존도가 높은 주요 소재·부품의 국산화 및 고도화 추진
- 수소 전 주기 안전·환경·인프라

- (이슈) 다른 분야와 비교하여 연구개발이 많이 진행되지 않아 유럽·일본·미국 대비 추격 단계에 있으며 해외 의존도가 높은 편
- (전략) 수소 전 주기 기술개발을 위한 기반이므로 '30년까지 완비 추진'

□ 향후 계획

- 기술로드맵의 이행력 강화를 위해 '범부처 수소 R&D 협의체'를 기반으로 주기적으로 현행화하고 기술개발 사업 추진 및 성과로 연계
 - 범부처 수소 R&D 협의체 운영을 통해 부처별 R&D 추진현황 및 성과 공유, 신규 R&D 투자 수요 검토 등의 역할을 수행
 - 범부처 수소 R&D 협의체를 중심으로 국내·외 기술개발 동향 및 기술 적용 IP R&D 보급 현황 등을 상시 검토하고, 5년을 주기로 기술로드맵 상의 기술개발 전략 재검토

□ 개선방향

- 지속 성장 가능한 소재은행을 합리적으로 육성
 - 소재 관리 기관에 대한 다양한 의견수렴과 분석을 바탕으로 분야 및 역할별 적정 은행이 지정될 수 있도록 조정
 - 소재 관리 기관이 국가 인프라로서 역할을 다 할 수 있도록 안정적으로 지원
- 소재 경쟁력 향상
 - R&D에서 생산되는 좋은(고품질) 소재가 국내 축적·공유될 수 있도록 제도를 보완
 - 연구자에게 소재와 연계 정보를 함께 제공하는 등 서비스 질 향상

(3) 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안

□ 성과 및 한계·시사점

- (성과) 소재·부품 기초·원천 R&D 증가, 지속적인 투자 확대로 소재·부품 연구역량과 기술수준도 향상
- (한계 및 시사점) 연구력 향상에도 불구하고, 고부가가치 핵심소재에 대한 일본 의존이 심화되는 등 산업적 부가가치로 이어지는데 한계
 - '미래소재' 중심의 지원으로 주력산업 분야 소재·부품·장비의 기술자립화는 여전히 부족
 - 정부 부처별 칸막이식 사업체계와 기초 및 개발연구 중심의 연구개발투자로 투자 공백 발생 및 연구성과의 상용화 연계 부족 야기
 - 산학연 협력 미흡으로 산업현장이 요구하는 기술개발에 취약하고, 나노랩 등 연

구인프라 활용을 통한 연구성과 상용화 지원도 한계

□ 추진 내용

- 주력산업 기술 자립과 미래 준비의 균형 지원
 - 주력산업 분야에서 경쟁력 강화가 시급한 전략 소재·부품기술 도출 및 개발을 지원하고, 미래 선도형 소재·부품기술 개발을 위한 선제적인 투자도 병행
- 기초·원천연구 지속 확대 및 응용연구 투자 강화
 - 소재·부품·장비 분야 기초·원천연구 투자 지속 확대와 산학연 융합 등 원천기술 기반 응용연구 지원
- 맞춤형 관리 및 부처간 협력으로 조기 성과 창출
 - 지원 유형을 구분하여 과제도출, 연구주체 선정 및 사업 관리방식 등 차별화하고, 연구성과 연계를 위한 협력 강화
- 국가 R&D자원의 연계·활용 강화
 - 대형 연구인프라를 활용하여 시험·검사·성능평가 지원을 확대하고 소재연구데이터 플랫폼 구축 및 수집·공유·활용 체계 마련
 - 공공연구성과 기반 첨단소재·부품 기업을 대상으로 기술사업화 지원을 강화하고 4대 과기원과 25개 과기 출연(연)의 역할 및 기능 활용 강화

다. 자문위원 토의 내용

□ 2020 기초연구사업 중점 추진방향

- 손종렬 위원 : 산학연의 협력 문제점 및 개선방향 제안
 - 현재는 연구개발의 협업이 되지 않는 상황이어서 협업의 환경이 마련되었으면 함
 - 특히 전공별로 산학연이 함께 연구할 수 있는 환경이 마련되었으면 하며, 산학연 단장들과 함께 협업에 대한 논의를 할 수 있는 자리가 개최되었으면 함
 - 산학연 모두 협력의 중요성을 인지하고 있지만 행동으로 이어지지 않고 있으며 정부의 20년 업무계획에도 협력기반을 강화하겠다는 의지는 보이지만 실제 융합연구의 시행개수가 없어서 실체가 없음
 - 협력의 문제는 산학연뿐 아니라 교내 랩 간의 연계에서도 부족함이 나타나는 것으로 보아 랩 간의 협력에 관한 제도의 필요성이 제기됨
 - 협력연구는 형식화된 시스템과 프로세스에 갇혀있어 협력연구를 진행하는 주체들을 유인하는 요소가 부족
- 이세준 위원 : 인센티브나 가점 제도 등을 유인요소로 하여 장기적 관점에서의 문제해결을 진행했으면 하고 협력의 우수사례를 통해 협업을 유인하는 것이 필요함

- 양임정 위원 : 전공이 다른 두 분야가 협력연구를 진행할 때 관점이 넓어지는 경우가 있음
 - 소재에 대한 투자는 장기적인 관점으로 보아야 성과가 나오는 분야이며, 소재는 작은 기업에서는 진행하기 어렵기 때문에 이러한 문제는 산학연 협업으로 풀다고 생각함
 - 학연의 협업에 있어서 모든 부분에서의 협업이 아닌 각자의 역할을 맡아 차별성을 가진 협업이 진행되는 것이 효율적인 협업이 될 것
 - 기초연구분야는 대학이, 응용연구분야는 출연연이 맡아 협업이 진행되었으면 하고, 실제 예산 집행도 이러한 부분이 고려되어있음
- 박진희 과장 : 앞으로 출연연을 주요 진행자로 하여 산학의 컨소시엄 성공사례를 다수 창출할 계획이며, 성공사례를 통해 인식 개선을 시작할 것임
 - 협력연구에 있어서 정보가 중요하기 때문에 자신이 가지고 있는 정보를 어떻게, 누구와 활용할 것인가를 알 수 있는 협력체계가 필요함
 - 기관 차원에서는 경쟁이 심하기 때문에 협력이 어렵지만, 개인 연구자 사이의 협력은 가능하다고 생각함

□ 수소 기술개발로드맵 후속조치 방향

- 한정민 위원 : 다부처 간의 융합을 진행하면서 협력에 초점을 맞추다보면 안전 · 환경 · 인프라 분야에 대해 소홀해질 수 있음
 - 융합을 진행하면서도 세세한 부분까지 전략적 관심을 가져야 함

□ 소재 · 부품 · 장비 기초 · 원천기술 조기 확보방안

- 이승훈 위원 : 성장가능성이 보이는 스타트업 기업에게 재무제표를 요구하여 선정에서 탈락하는 등 기초연구에 대한 연구자 또는 집단의 선정 · 평가 단계부터 기준 개정이 필요함
 - 수행연구집단의 특성을 반영한 평가 기준을 세울 필요가 있음
- 정연웅 팀장 : 바이오분야의 데이터센터를 설립하게 되면 새로운 데이터, 기존의 데이터와 가공 데이터 등 데이터의 흐름을 알 수 있게 되며 바이오분야의 연구 효율성을 높이고 협력까지 기대해볼 수 있음
 - 다만 우려되는 점은 데이터 제공에 있어서 규칙을 잘 지키는 사람과 안 지키는 사람이 존재할 것이며 전자의 사람은 상대적 박탈감 또는 제도에 대한 신뢰를 잃게 될 것임
- 이세준 위원 : 궁극적인 목표는 데이터 공유로 하되, 단계별로 진행되어 위의 문제가 발생하지 않도록 조심해야 함
- 한성옥 위원 : 연구자들이 데이터를 제공할 수 있도록 하는 새로운 방법들이 필요

할 것

2.2.5. 주요 안전별 정책 제언

안전	제안내용	제안자
부실 학회 대응 방향	- 인문사회계열 등 다양한 분야의 연구자를 대상으로 의 견수렴 추진 ‘연구실 운영비 인정’ 조치는 인문사회계열에 부합되지 않음	최상옥 고려대 교수 윤성혜 원광대 교수 이승훈 기술원 책임
	- 연구행정 개선을 위한 원인 파악 및 프로세스 마련 - 기존 학회 운영 프로세스에 대한 명확한 정의 필요	한성옥 에기연 책임 이세준 STEPI 선임 정재용 KAIST 교수
	연구비 사용에 대한 관리 강화 및 국가연구개발사업 관 리규정 간소화	최상옥 고려대 교수
기초-원 천 연계 위한 사업 추진 방향	- 사회수요 발굴을 통해 기초원천연구까지 연계되도록 사 업 설계 필요 ‘사회기술수요’ 키워드 반영 제언	최상옥 고려대 교수
	- 기초연구 성과평가를 위한 지표 개선 및 연구자 자율성 확보 필요 - 응용/개발 연구와 다른 평가지표 개발 추진 - 기초-원천 연계가 반드시 긍정적인 측면만 존재하는것 은 아님	박상옥 서울대 교수 주원 현대경제연구원 실장
	- RB 선정방안에 대한 구체성 확보 필요 - RB의 경우 분야가 매우 넓기 때문에 다양성 문제에 대 한 해결 방안 필요	한성옥 에기연 교수
	- 중복사업에 대한 문제, 신규R&D사업의 효과성 등 성과 분석을 통해 명확한 성과 제시 필요 - 설득력 확보를 위해 포괄적 성과 제시 필요	홍형득 강원대 교수 이세준 STEPI 선임 최상옥 고려대 교수
	원천연구 사업 설계 시 기업 참여 방안 검토	한정민 한국가스공사 수석

안전	제안내용	제안자
바이오 R&D 성과 및 제도 개선	- 평가위원 사전 공개 - 긍정적 측면과 부정적 측면에 대한 충분한 검증 필요 - 시범사업 결과 분석을 통해 정책적 확산 또는 축소 필요	임혜원 KIST 책임 최상옥 고려대 교수 박현민 KRISS 책임 신동익 충북대 교수
	- 연구책임자 책임성 부여 - 과제비, 참여율 기준에 대해 시뮬레이션을 통한 재검토 필요 - 기존항목 외에 인건비 비중 등 다른 조항 추가·대체 검토	홍형득 강원대 교수 손종렬 고려대 교수 주원 현대경제연구원 실장 한정민 가스공사 수석
	5억원 이상 과제 포닥 참여 - 포닥 과제 참여시 정규직 전환, 연속과제 수행시 연구책임자 임명 등 인센티브 검토	홍형득 강원대 교수 손종렬 고려대 교수 박상옥 서울대 교수
	- 성별과 젠더를 고려한 연구 가이드라인 - 미국 등 사례분석을 통해 검토과정, 파일럿 실시 필요	이세준 STEPI 선임 윤성혜 원광대 교수
	- PI참여를 위한 사전교육 - 기존 교육과 차별화된 교육 프로그램 개발 - 연구기관 내 사전교육 제도화 추진	한성옥 에기연 책임 신동익 충북대 교수 한정민 가스공사 수석
ICT 기초·원천 연구 활성화 방안	ICT분야 기초원천연구 추진사업의 성과확산 (홍보) 제고	손종렬 고려대 교수
	각 부처별로 시행되고 있는 ICT전문인력양성 사업을 검토하고 R&D측면에서 전문인력양성의 효과성 검증 필요	최상옥 고려대 교수 이세준 STEPI 선임
	- ICT융합센터 신설 - 대기업과 기초원천연구를 초기에 진행할 수 있도록 추진	최상옥 고려대 교수 이세준 STEPI 선임

안전	제안내용	제안자
R&D 프로 세스 혁신 방안	- 전문성 있는 우수한 평가위원 확보 -산업계(대기업) 임원급 평가자 Pool 구축 -산업계 출신의 평가위원 평가 전문성 향상	한성옥 에기연 책임 한정민 가스공사 수석
	- R&D지원방식의 다양화 -출연연+대학+산업계 공동연구사업 기획 -여러 우수연구자가 R&D사업 공동기획	손종렬 고려대 교수 한성옥 에기연 책임
	- 연구과정 추적 문화확산 -언론과 연계한 연구결과물 홍보가 적극적으로 추진 -기관에서 자체적으로 연구실 신뢰문화 확산 캠페인 추진(우수사례 공유 등)	이세준 STEPI 선임 한성옥 에기연 책임
	- 연구목표 및 성과지표 명확화 -정부가 주도하여 기술수준, 연구수준에 대한 객관적 성과목표 제시 방안 필요	신동익 충북대 교수
	- 연구실 내 연구인력 지위 정립 -연구인력 지위에 대한 용어정의가 반드시 필요	임혜원 KIST 책임
생명 연구 자원 정책 발전 방향	소재은행 DB활용도 측정 필요	임혜원 KIST 책임
	- 데이터 총괄 수집체계 정비 -범부처 거버넌스 차원에서 과기부 역할정립	손종렬 고려대 교수
	바이오에 대한 범위, 정의 등 용어 정립필요	손종렬 고려대 교수 한성옥 에기연 책임 박현민 표준연 책임
	연구자 측면에서 국내 소재은행 이용 시 얻을 수 있는 인센티브 제시	신동익 충북대 교수
	4차 바이오특위 위원회를 활용한 전략 수립	이세준 STEPI 선임

안전	제안내용	제안자
2020 기초연구 사업 중점 추진방향	• 산학연 협력 강화를 위한 인센티브 등 제도 마련하고 R&D기획 시 산학연단장들과 논의할 수 있는 자리가 마련되었으면 함	손종렬 고려대 교수
	• 산학연협력 우수사례 공유 -차별화된 산학연 협력 방법 강구 -기관 차원의 협력보다 개인연구자들 간의 협력을 강화할 수 있는 방안 필요	이세준 STEPI 선임
수소 기술개발 로드맵	• 다부처간 추진 시 주요 성과 부분에만 치중되어 인프라, 안전 등에 소홀해질 수 있으므로 세세한 부분까지 전략적 관심이 필요함	한정민 가스공사 수석
소재·부 품·장비 기초·원 천기술 조기 확보방안	• 수행연구집단의 특성을 반영한 평가 기준을 세울 필요가 있음 -Ex) 스타트업 기업의 경우 평가 시 재무제표 미반영	이승훈 기술원 책임
	• 바이오분야 데이터 공유 시 단계별로 추진과제를 설정하여 제도에 대한 신뢰성을 확보해야함 -데이터를 공유하는 방법에 대해 다양하게 고민해야함	이세준 STEPI 선임 한성옥 에기연 책임

2.3. (심층분석 I) 글로벌 기술패권과 기술혁신

2.3.1. 분석 배경

최근 각 국의 무역분쟁 전선이 확대되고 있다. 무역분쟁은 인류 역사에서 지속적으로 표출되어 왔으며 무역분쟁을 포함한 다양한 방식으로 해소되어 왔다. 특히 강대국들 간의 패권(Hegemony)을 둘러싼 경쟁은 연쇄적인 갈등 구조와 반응을 유발했는데, 패권교체기에 한국은 지정학적으로 복배수적인(腹背受敵) 상황에 놓여왔다. 역사적으로 중국의 원-명 교체기에는 홍건적의 침략으로 조선왕조가 개국되는 계기가 되었으며, 명-청 교체기에는 병자호란을 겪게 되었으며 이후에는 청나라와 일본과의 갈등관계 속에서 일본에 의해 침탈을 겪게되었다. 임진왜란도 전국통일 이후 국력을 축적한 일본이 중국(명)에 의해 주도되고 있던 동북아 패권질서에 대한 도전이었으며 두 패권국가의 충돌이 한반도 내에서 전쟁으로 표출되었다. 2차 세계대전에서 일본의 패망이후 이어진 한국전쟁을 겪으며 미국과 구소련이 형성한 냉전체제 하에서 한국은 미국과 군사적 동맹관계를 유지하며 급속한 경제성장을 이룰 수 있었다.

중국과 수교이후에는 중국과의 경제교류가 급격하게 확대되었으며 이제는 미국과 일본을 합한 교역액보다 중국에 대한 경제의존도가 큰 것으로 나타났다¹⁾. 한국은 군사안보적으로는 미국과, 경제적으로는 중국과의 관계 속에서 균형을 잡아나아가야 하는 상황에 놓여있다. 문제는 이 두 패권국가들 간의 갈등이 유발될 경우이다. 대표적인 사례가 2016년 미국 고고도미사일방어체계(THAAD, 이후 사드)의 한국배치에 따른 중국의 한국관광상품 판매금지, 수입제한조치, 위생검역 등과 같은 경제보복조치로 인해 한국은 GDP의 약 0.5%, 금액으로는 85조원 가량의 직접적인 피해를 입었다²⁾. 한국의 경제 성장에 대한 변수 중 하나로 한국과 직접적으로 관련된 갈등 뿐만 아니라 패권국가들 간의 갈등관계가 작용하고 있으며 이는 더욱 예상하기 어려운 변수임에 틀림없다. 문제는 이러한 갈등이 더욱 확대되고 있다는 점이다. 2018년 4월 미국정부가 500억 달러 규모의 중국산 수입품에 대해 25% 관세 부과를 발표한 이후 양국 간에 본격화된 무역전쟁은 타협의 접점을 찾지 못하고 있으며 무역적자 해소는 물론, 점차 기술 분쟁까지 분쟁범위가 확대되고 있다. 트럼프 대통령과 시진핑 주석은 일본 오사카 G20 회의를 이용해 열린 미중 정상회담에서 5월 초 협상을 재개하기로 합의했으나 단기적으로 이슈가 해소되기는 어려워 보인다.

뿐만 아니라 한국과 일본 양국은 직접적인 갈등관계 역시 고조되고 있다. 2019년 7월부터 일본경제산업성이 반도체와 디스플레이 공정에 필수적인 품목(포토리티스트(PR), 플루오린화 수소, 플루오린 폴리이미드(PI))에 대한 수출 규제를 시행했으

1)전체 교역액의 약 24.8%가 중국과 이루어지고 있으며 미국은 12%, 일본은 4.7%로 나타나(2017년, K-stat 기준)
2)2017년 '최근 한중 상호 간 경제 손실 점검과 대응 방안', 현대경제연구원

며, 한국을 외국환과 외국무역관리법에 따른 신뢰할 수 있는 대상인 '화이트 국가' 목록에서 제외했다. 규제시행 이전에는 일본이 대한민국에 해당 3개 품목의 수출에 대해 포괄적으로 허가를 받으면 일정기간(3년) 허가 심사를 면제하는 식으로 운영했으나, 규제 이후 이러한 우대 조치를 철폐하고 일본에서 한국으로 수출할 경우 개별 품목 별로 일일이 받아야 한다. 통상적으로 심사소요에 90일 정도가 소요되지만, 제품에 따라 심사 기간이 더 길어질 수도 있다. 이번 규제품목들은 특히 한국의 최대 수출품인 반도체 공정에 필수적인 품목을 전략적으로 통제한다는 점에서 주목받고 있다. 포토레지스트와 함께 반도체 공정에 쓰이는 불화수소는 일본 의존도가 50% 이상이며, 공급선 다변화가 신속하게 어려운 품목이다. 예를 들어 삼성의 차세대 공정인 EUV용 포토레지스트는 현재 공정에서는 일본에 전량 의존하고 있다. 8월 일본과의 직접적인 갈등은 경제적인 손실로 이어져 8월 2일 한국과 일본 정부가 규제를 확정된 이후 첫 개장일인 5일 한국의 코스닥지수는 6%이상 급락하여 사이드카가 발동되었다.

일본과의 갈등의 이면에는 소위 '가마우지 경제'라는 동북아시아의 일본중심 경제질서가 자리잡고 있다. 가마우지 경제는 1980년대 후반 일본의 고무로 나오키(小室直樹)가 출간한 '한국의 붕괴'에서 처음 언급되었는데, 동북아시아의 가치사슬 상에서 한국은 완제품 생산 역할을 담당하고 있지만, 원재료는 일본으로부터 수입하는 구조를 지칭한다. 한국의 수출규모 확대가 결과적으로는 일본으로부터의 수입증가로 귀결되기 때문에 결과적으로는 한국의 부가가치가 일본으로 전이되는 구조를 빚내고 있다. 즉, 원자재와 부품을 수입한 뒤, 조립·완성을 거쳐 완제품을 수출하는 과정에서 중간 가공 국가인 한국(가마우지)이 핵심 부품소재를 수입하는 일본(어부)에게 부가가치(물고기)를 상당수 뺏기는 상황을 지칭한다. 이러한 경제구조는 완성품 제작공정을 보유한 기업이 소재와 장비를 제작하지 못한다는 기술력 격차에 대한 가정을 내포하고 있다. 그 중에서 특히 반도체와 디스플레이 장비 산업의 경우 한국의 대 일본비중이 높다. 실제로 2018년 한국이 일본으로부터 수입한 제품은 반도체 제조용장비(62억달러)에 이어 반도체(45억 2천만달러), 철강(24억 5천만달러), 플라스틱제품(22억 5천만 달러), 정밀화학 원료(19억 달러) 순으로 나타났다. 일본이 2017년 우리나라에 수출한 반도체 관련 제품은 104억 달러어치로 일본의 한국향 수출액 가운데 18.9%를 차지한다.

전체 대일 무역수지는 1965년 국교 정상화 이후 만성적인 적자를 기록해왔다. 적자 폭은 2010년에 약 360억 달러를 기록한 이후 점차 격차가 줄어들어 2015년에는 202억 달러로 낮아졌지만 2016년 231억 달러, 지난해 283억 달러 등으로 다시 증가한다. 가마우지 경제체제 하에서 대일적자폭의 확대는 반도체 호황에 기인한다. 2018년 수출 증가율이 전년동기대비 57.4%에 이를 정도로 반도체 수출이 늘면서 일본으로부터의 제조용 장비 수입도 57억 달러에 이르며 127% 증가했다.

양 국가간의 교역비중과 일본의 대한 무역흑자규모를 고려해본다면 최근 일본의

규제조치는 이례적이라고 보여진다. 미국과 중국의 갈등이 누적된 대중국 무역적자에서 촉발했지만, 일본은 한국과의 무역흑자에도 불구하고 보복조치를 취했기 때문에 때문이다. 따라서 일본이 밝힌 표면적인 이유와 달리 이번의 보복조치의 근원적인 이유는 2018년 대한민국 대법원의 일제 강제징용 배상 판결과 대한민국 법원의 일본제철(옛 신일철주금) 자산 강제 환수 결정, 한일 후쿠시마 수산물 수입 분쟁 등으로 인해 양국 간의 외교적, 정치적 갈등이 고조된 결과로 보는 것이 타당하다. 일본측은 강제징용배상판결- '이춘식의 신일철주금소송'-을 을 배경으로 하고 있는데 보다 근본적인 배경은 1965년 한일 청구권 협상과 기본 조약과정에서 식민 지배에 대한 불법성과 청구권에 대한 포기라는 입장이다. 한일간의 강제징용 청구권 협상은 1951년부터 14년간 진행되어 왔으며, 한국 대법원의 판결은 1997년 신일본제철을 상대로 오사카 지방재판소에 소를 제기한 이후 약 20년간 이어져온 갈등이다.

이처럼 한국경제는 직간접적으로 패권국가들간의 갈등 뿐만 아니라 일본과의 역사적 갈등관계에 영향을 받고 있으며 이러한 갈등은 지속적으로 유지될 가능성이 높으며 역사적으로 이러한 패턴은 반복되어 왔다. 패권국가들간의 경쟁과 갈등이 고조되는 과정이나 해소되는 과정에서 다양한 정치적, 경제적, 지정학적 요인들이 복합적으로 작용해왔다. 본 연구에서는 패권국가들의 전환기, 형성기에서 국가의 기술력이 미친 영향에 대해서 살펴보고자 한다. 그동안 기술혁신 관 역시 중요한 변수로 작용했다. 산업혁명 이후 영국을 중심으로 패권이 형성되었고 2차 세계대전 이후 철강과 ICT 기술적 우위를 점하고 있던 미국이 패권국가로 자리잡았다는 점에서 기술력과 패권간의 관계는 보다 많은 연구가 필요하다.

2.3.2. 기술패권과 과학기술혁신에 관한 이론적 배경

가. 정치적 패권에 관한 기술혁신적 접근

그 동안 정치적 패권과 기술혁신에 대한 논의는 별개의 이슈로 다루어져왔다. 이론적인 관점에서 이 두 주제는 공역을 찾기 어렵지만, 단일한 이론적 접근으로 현실적인 이슈를 설명하기 어렵다는 한계도 동시에 존재한다. 특히 국가 간 무역교류에 있어 기술장벽은 유효한 방어수단으로 활용되어왔기 때문에 기술에 대한 이해와 헤게모니에 대한 연구는 동일한 프레임워크 내에서 이해되어야 한다. 국제정치 측면에서 정치 패권에 대한 연구는 국제정치경제질서의 안정성과 패권국의 역할에 대해 설명한 패권안정이론(Hegemonic Stability Theory)이나 혹은 강대국간의 패권경쟁을 설명하는 세력전이 이론(Power Transition Theory) 이 연구되었다.

패권안정이론은 국제질서에서 개방과 안정을 위해 패권국의 역할이 매우 중요하다

고 주장하였다(Webb and Krasner 1989). 세력전이이론에 따르면 패권국은 압도적인 능력(capability)과 의도(intention)로 위계적으로 형성된 국제질서를 이끄는 중심국가이다(Kugler 2011; Organski 1958). 강대국 중 하나가 산업화를 통하여 국력이 신장되어 패권국에 대한 도전세력으로 등장하게 되면서 체제내의 위기가 시작되며, 도전국가의 국력이 패권국을 따라잡는 세력전이 현상이 일어날 때 국가간 전쟁 가능성이 높아진다고 주장하였다. 패권을 압도적 힘의 우위에 토대한 지배 혹은 리더십으로 인식한 이 이론들은 패권국의 역할, 패권국 교체와 전쟁을 중심으로 국제정치경제질서에서 패권국의 존재에 대한 관심을 불러일으켰다. 하지만 이들은 특정 국가가 패권국으로 부상하는 조건에 대해서는 세부적으로 설명하지 못하는 한계점을 지니고 있어 이론적인 관점에서의 패권국가의 형성메커니즘이나 요인들에 대한 증거제시가 부족하다.

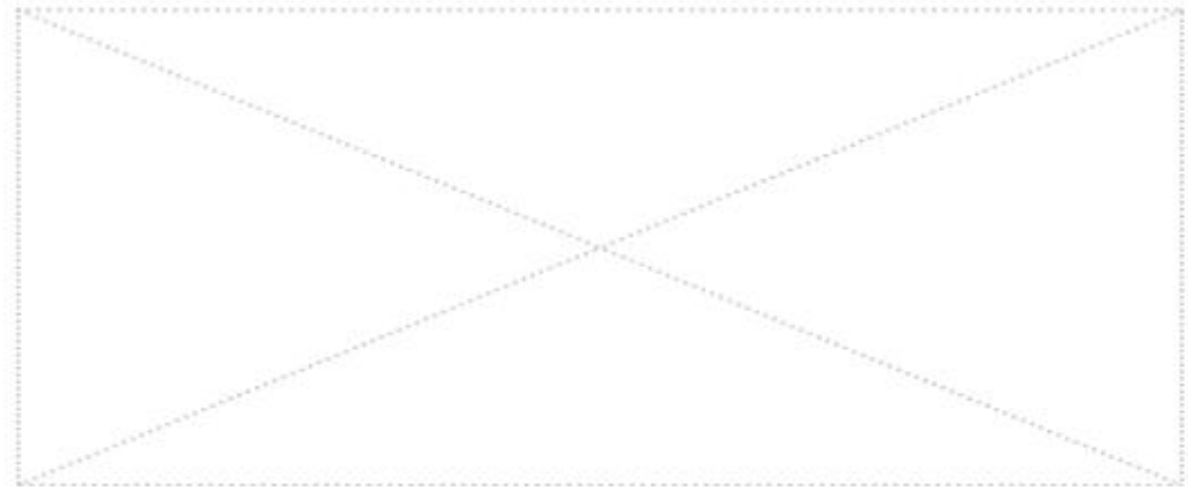
이러한 한계는 패권안정론이 등장한 시기와 관련성이 높는데, 본격적으로 학계에 등장한 시기는 2차 세계대전 직후 금본위 통화제도가 미국 달러로 전환되어가는 과도기였다. 달러가 기축통화로서의 위치를 공고히 하기 위해서는 미국경제의 성장이 뒷받침되어야 했다. 달러가 전세계에서 안정적으로 통용되기 위해서는 미국이 전세계의 물품을 구매하면서 결제통화로 활용되어 전세계로 확산되어야 했으며, 이를 위해서는 실물경제가 성장하면서 국가의 실질구매력이 확보되어야 한다. 2차 세계대전 이후 10여년간은 미국은 전시에 확보한 생산력과 승전국으로서의 지위를 바탕으로 호황을 누리면서 60년대 패권국가로 부상해가고 있었고 냉전시대의 한 축을 담당했다. 2차 세계대전 직후 미국의 경제력은, 유럽전체를 포함한 서구권의 국민총생산 중 3분의 2를 차지할 정도로 압도적이었다. 하지만, 70년대로 접어들면서 영국과 프랑스, 독일의 부흥과 일본경제의 부상에 자국내 시장의 점유율이 떨어지면서 미국의 상대적 패권국가로서의 위치는 잠식당하기 시작했다. 특히 기축통화국가로서 필연적인 결과라고 할 수 있는 누적된 무역수지 적자, 유로화의 거래증가 등 기존 미국을 중심으로 유지되어오던 국제질서에 의문을 제기하던 시기였다.

따라서 패권안정론은 태생적으로 편향되었다는 비판이 동시에 제기되었다. 즉, 미국이라는 패권국가의 등장이 전후 국제경제질서의 개방과 안정을 가져왔고 미국이 경상수지 적자를 감내하며 지탱해오던 안정적인 세계질서가 미국의 쇠퇴와 함께 국제질서의 불안정을 초래할 것이라는 주장은 곧 미국 패권의 정당화와 미국 패권의 쇠퇴에 대한 우려로 귀결된다. 즉, 패권안정론 자체가 미국 중심적인 논리라는 비판이다. 즉, 미국경제의 쇠퇴에 대한 우려가 국제경제도 불안정해지리라는 전망으로 이어지고, 국제경제의 안정이 미국에 의해 관리되었음을 상기시키며, 궁극적으로는 국제경제의 안정을 위해 미국경제가 복구되어야 할 필요성을 제기하려 했다는 것이다. 학계에서는 패권안정론이 미국에서 제기되었으며 패권을 공공재의 성격으로 파악하고 있다는 점, 미국쇠퇴론이 설득력을 잃고난 뒤에 더이상 논의가 진척되고 있지 않다는 점 역시 이러한 주장을 방증한다.

나. 장기파동이론

1925년 러시아의 경제학자 콘드라티예프(Kondratiev)는 1790~1920년 동안 경제지표들 (물가, 이자율, 저축율, 임금, 생산량 등)의 변화를 근거로 일정한 패턴이 약 50년을 주기로 파동으로 나타난다고 발표했다(Kondratieff 1935). 경기순환주기에 대한 주장은 처음은 아니었지만 그는 다른 학자들이 제시한 주기들 보다 긴 약 50년의 장기순환 주기(장기순환주기 혹은 K-파동이라고 불린다)를 주장했다. 다른 주기론들과의 차별점은 그는 순환주기를 형성하는 매커니즘에 대해 주목했다는 점이다. 특히, 기술 변화, 전쟁과 혁명, 새로운 패권국가들의 부상, 당시 기축통화로 통용되던 금 생산량 파동 등이 나타나게 된 배경은 내생적인(endogeneous) 요인들에 의한 것이라고 주장한다. 그가 주목한 것은 18세기 말 산업혁명을 주도하면서 자본주의 중심지로 부상한 영국의 부 축적과정, 19세기 말~20세기 초 전기와 내연기관 발명과 세계 제국주의 형성, 그리고 제2차 세계대전 이후 전자와 석유화학산업의 발달과 미국 중심의 새로운 자본주의 질서 및 냉전체제 성립 등 1900년도 초반의 국제경제질서가 재편되는 과정을 기술혁신에 의해 추동되었다는 것이다. 새로운 파동은 새로운 산업에서 투자와 고용기회를 만드는 혁신의 집단적인 상호작용에 의해 창발된다고 보았다. 파동은 GDP, 가격, 불황 등 일반적인 경기지표뿐만 아니라 선도 산업(leading sector)이 등장하고 부상하고 확산되면서 동시다발적으로 진행되면서 세계경제의 순환을 이끌고 패권국가들이 흥망이 결정된다고 보고있다. 즉, 혁신적 기술이 형성하는 추력이 상호작용을 일으키며 기존의 산업구조와 고용, 생산에 영향을 주어 기존의 패권국가에 의해 지배되던 경제질서가 새롭게 형성 혹은 강화되는 현상이 주기적으로 발생된다는 것이다.

파 동 은 호 황 기 - > 침 체 기 - > 불 황 기 - > 회 복 기 (Prosperity-Recession-Depression-Improvement)의 프로세스로 진행되는데, 초기단계에는 고용과 시장을 확대시키는 기술혁신이 집중되고, 시장이 성숙되면 이르면 원가절감을 위해 임금과 공정기술에 대한 투자가 동반되면서 경제호황을 이끈다. 이후 과잉생산에 대한 우려로 수요감소가 이어져 기업의 불확실성이 확대되면서 기술적 진보는 정체되고, 경기가 하향국면에 접어들게 된다는 것이다. 연속적으로 이러한 경제 위기는 새로운 기술혁신을 이끌게 되고 또 다른 호황이 이루어진다. 역사적으로 그는 현재까지 5차에 걸친 파동이 있었다고 분석결과를 제시하고 있으며, 선도적인 기술혁신이 특정한 지역이나 국가를 중심으로 창발되며 이를 주도하는 국가가 패권국으로 성장한다는 것이다.



[장기파동이론]

1) 1 차 파동 : 증기기관에 의한 산업혁명

그가 주장하는 최초의 장기순환은 영국, 프랑스, 미국의 통계에 근거한다. 이 시기에는 공장제, 증기기관, 운하가 혁신을 이끌었는데, 1820년대 후반의 공황이 전환점으로 작용했다. 1848~1851년 유럽의 혁명적인 위기와, 미 대륙에서의 멕시코 전쟁(1846~1848)과 미주리 협정(Missouri compromise)은 순환을 마무리하는 선명한 마침표였다. 1차 파동은 18세기 말부터 19세기 중반까지의 산업혁명기로 섬유공업과 증기기관이 이 시기를 주도했다.

2) 2 차 파동 : 철도, 제철산업

유럽 선진 경제권에서는 2차 장기순환이 뚜렷하게 나타났고, 이 순환이 끝날 무렵에는 세계 전체가 그 영향권에 들어갔다. 철도, 전신, 증기선, 화폐의 안정, 기계산업분야의 혁신이 경기순환을 주도했다. 경기가 고점에 이르렀던 1870년대 중반 이후에 미국과 유럽에서 금융위기가 발생하고, 이것이 1873~1896년의 장기침체로 이어진다. 1880년대와 1890년대에는 경제적·사회적 위기에 대응해 신기술이 발달하고, 이것이 3차 순환의 시작과 맞물린다.

3) 3 차 파동 : 전기, 내연기관

3차 순환의 핵심 기술은 중공업, 전기산업, 전화, 경영관리기법의 혁신에 의한 대량생산이다. 위기는 1차 세계대전이 끝났을 때 발생한다. 1930년대의 대공황에 이어 2차 세계대전 기간에 자본이 파괴되면서 하강기는 종결된다.

4) 4 차 파동 : 전자, 석유화학기술

4차 장기순환의 추동기술은 트랜지스터, 합성물질, 소비재 대량생산, 공장 자동화, 핵무기, 자동화된 생산기술이었다. 4차 파동은 역사상 가장 긴 호황이 펼쳐졌다. 오랫동안 경제가 불안정했다가 1973년 10월 오일쇼크가 발생했지만 큰 공황은 없었다.

5) 5 차 파동 : 정보통신 및 극소전자기술

4차 순환이 끝날 무렵과 비슷하게 5차 장기순환의 기본적인 요소들이 나타난다. 변화의 원동력은 네트워크 기술, 모바일 통신 등 정보통신 기술, 글로벌 시장화로 보고있다. 하지만 변화는 정체된 상태다. 경기순환이 멈춘 이유는 신자유주의와 관련이 있으며, 신기술 자체의 특징에도 원인이 있다. 4차 파동이 시작될 무렵에는 외부세계의 상당 부분이 폐쇄된 영역이었다. 냉전 시기에 세계 GDP의 약 20퍼센트는 시장 외부에서 생산되고 있었다. 1989년에 갑자기 새로운 시장이 열리고 새로운 노동력이 공급되자 파동은 연장됐다. 또 서구 국가들은 그전까지 접근할 수 없었던 중립국에서도 시장을 개척할 수 있게 됐다.

장기파동이론에서 제기된 기술혁신에 의한 경제적 변화, 이후의 국가패권과의 상호작용은 이후에도 영향을 미친다. 4차 산업혁명이라는 용어를 처음 정리해서 주창한 슈밥(Schwab)이 정의한 산업혁명 역시 새로운 기술혁신이 경제구조, 사회구조를 근본적으로 변화시키는 것이다. 1차 산업혁명은 수력과 증기를 사용한 기계기술이 '공장제조'라는 형태를 잉태했고 18세기 중반 증기기관의 등장으로 가내 수공업 생산체제가 공장생산체제로 변화된 '기계 혁명기'라고 불리운다. 철강산업도 1차 산업혁명에서 핵심 역할을 수행했다. 공장에서 대량생산된 제품을 구매하고 증기기관을 이용하여 상업과 무역이 확대되면서 본격적인 자본주의가 싹트게 되었다. 2차 산업혁명은 전기의 등장으로 에너지 혁명기라고도 불리며 '전기분해'와 '전기제련'이 가능해지면서 중화학공업의 기반이 마련되었다. 1870년~1914년 제1차 세계대전 직전까지의 2차 산업혁명은 철강, 석유 및 전기 분야와 같은 신규 산업과 분업화, 작업 자동화와 대량생산체제가 가능해진 시기다. 3차 산업혁명은 컴퓨터 및 정보통신기술의 발달로 인해 '디지털 혁명'이라고 불려진다. 3차 산업혁명은 아날로그 전자 및 기계 장치에서 디지털 기술로의 발전으로, 컴퓨터와 로봇 기술을 활용, 분업화된 생산모듈의 자동화를 실현하였고, 인터넷 발달은 물리적 공간 한계를 극복하며 글로벌화와 금융산업 발전을 이끌었다. 여기에 슈밥이 주장하는 4차 산업혁명은 물리적 세계, 디지털 세계, 생물학적 세계의 3자를 융합한 신기술이 주도하는 것이다. 따라서 유비쿼터스 인터넷, 극소의 센서기술, 머신러닝 등이며 이를 바탕으로 자율주행자동차, 퍼스널 모빌리티, 3D 프린팅, 첨단 로봇공학, 사물인터넷, 블록체인, 온디맨드 경제, 유전공학, 바이오기술이다. 슈밥이외에도 제레미 리프킨, 앨빈토

플러도 지칭하는 명칭은 다르지만 모두 동일한 연장선에서 기술혁명을 바라보고 있다.

장기과동 이론이 발표된 직후인 1930년대에는 크게 주목받지 못했지만 1970년대 후반에 들어와 다시 관심을 끌게 된 것은 1970년대 중반 이후라고 볼 수 있다. 당시 미국경제가 위기를 맞으면서 대량소비가 뒷받침하던 생산기술로 대표되던 소위 포디즘에 대한 한계가 부각되었다. 제2차 세계대전 이후 약 30여년에 걸쳐 장기 호황을 누리던 선진 자본주의 경제가 1973년과 1979년 두 차례에 걸친 석유파동을 겪으면서 경기 침체와 실업 사태가 심각하게 나타났다. 이는 1920년 후반 대공황을 통해 이미 경험한 세계경제 침체와 불황기가 또 반복될 것이라는 인식을 주게 되었다. 즉, 1970년대 후반 자본주의 경제가 새로운 위기가 '장기과동'을 연상시켰고 1930년대 직면하였던 경기 침체와 불황에 대해 슈페터가 콘트라티에프 파동으로 설명하고자 하였다. 제2차 세계대전 이후 다시 경기를 밀어올린 기술혁신은 정보통신기술이며, 생산방식에 있어서도 새롭게 등장한 유연 생산양식방식은 기존의 포디즘에서 포스트 포디즘으로 이행되면서 세계경제는 다시 회복되었다.

2008년 전/후 촉발된 글로벌 금융위기는 세계경제에 심각한 영향을 미치게 되었고, 이를 계기로 5차 장기과동이 끝나가고 있다고 보는 시각도 늘어나고 있다. 글로벌화로 인한 전세계 경기 침체의 동조화, 거의 제로에 가까운 이자율 등이 장기과동의 후퇴기에 경험하였던 징조들이라는 주장이다. 그럼에도 불구하고 장기순환 주기의 한계는 순환이 반복되는 구체적인 메커니즘에 대한 논의가 부족하다는 점이다. 기술혁신이 경제변화를 가져오는 것은 다른 이론들에서도 확인될 수 있으나 구체적인 방식에 대한 이해는 여전히 미흡한 실정이다. 프리만(Freeman)은 장기과동의 원인을 기술-경제 패러다임의 이동으로 이해하고, 경제발전은 각각의 장기과동에 대한 기반을 형성하는 기술적, 제도적 변화에 의해 발생한다고 주장한다. 프리만과 페레츠는 이전 기술혁명으로 인해 야기된 '동질성'과 '전문화'된 체계가 ICT 혁명으로 인해 '다양성'과 '유연성'으로 대체되고 있다고 지적한다. 이러한 배경에는 에너지 집약적인 대량생산방식 체제와 대량소비방식으로부터 전자기술, 컴퓨터와 이동통신 기술의 급속한 발전 등이 촉발한 통합된 정보집약적 생산프로세스 (디자인, 관리, 생산 및 마케팅이 유기적으로 연계된)가 이를 이끌고 있다고 주장한다.

다. 기업가정신과 혁신이론

이와 같이 콘트라티에프가 장기과동 이론의 단초를 제공하였지만, 장기과동 이론을 꽃피운 것은 슈페터(Schumpeter)에 의해서였다. 슈페터가 장기과동설을 접하게 된 시점은 1934년 「경제발전론(the Theory of Economic Development)」이란 저서를 완성한 후였다. 따라서 그는 기업가의 혁신활동에 초점을 두고 장기과동 이론을 구축하게 되었다. 슈페터는 콘트라티에프의 장기순환 이론을 배경으로 새로운 순환을 일으키는 동력은 사람, 즉 혁신하는 기업가들이라고 보았다. 반대로 어떤 시

기에 경기가 하락하는 이유는 혁신의 동력이 감소하고 자본이 금융 시스템 안에 갇혀 위험을 감수하지 않기 때문이라는 것이다. 슈페터의 관점에서보자면 위기는 자본주의 체제의 필수적인 한 부분이며, 위기가 발생하면 낡고 비효율적인 모델이 파괴(창조적 파괴)되고 새로운 질서가 형성된다는 것이다. 슈페터는 이러한 변화를 추동하는 동인(動因)을 기술혁신 이라고 보았으며, 특히 그가 주목한 점은 자본주의 발전과정에서 나타난 혁신의 역할이었다. 그의 주장에 따르면 자본주의 '발전'(development)이란 단지 부의 양적 증가만이 아니라, 생산에서의 질적 전환을 내포하며, 이러한 질적 전환을 가져오는 것이 바로 '혁신'(innovation)이라는 것이다. 그가 지칭하는 혁신은 완만하게 연속적으로 나타나는 것이 아니라 기업가의 혁신 동기 및 강도에 따라 특정 시기에 군집되어 비선형적으로 나타나며, 이것이 경기순환 주기를 유도하게 된다. 따라서 자본주의 경제발전이란 단선적, 연속적 과정이 아니라 순환주기적 과정이며, 한 단계 발전의 파괴적 교란이 새로운 장기 호황의 발전을 위한 창조적 혁신의 필수 전제조건이 된다는 것이다. 슈페터는 창조적 파괴(creative destruction) 과정을 통해 자본주의 경제발전이 이루어졌다고 간주하였으며, 따라서, 혁신과 창조적 파괴 개념에 기초하여 장기파동 이론을 더욱 공고히 하였다.

슈페터는 미국의 역동적인 자본주의 태동을 목도하면서 미국이 패권국가로 자리잡게 된 것은 19세기 후반 이후 전기, 철강, 전자, 석유, 자동차 부문을 선도적으로 이끌면서 세계정치구조와 규범체계를 구성하였기 때문이라는 것이다. 또한, 이후에 정보통신 기술혁신 역시 미국이 주도하면서 패권국 지위를 지속적으로 유지하고 있다고 보았다. 슈페터의 가장 큰 기여는 자본주의는 움직이기 때문에 존재한다는 것을 증명한 것이다. 기업가란 자본주의를 움직이게 하는 것으로, 기업가정신이란 기업가의 덕목이었고, 혁신은 기업가의 도구였고, 신용은 기업가가 혁신을 진행하기 위한 자원이었다. 슈페터는 「자본주의, 사회주의, 민주주의」에서 자본주의에 대한 이해를 바탕으로 자본주의가 사회주의, 민주주의와 어떤 관계를 맺고 있는지 분석했는데, 자본주의란 경직된 제제가 아니라 약동하고 변화하는 대상으로 파악하였다. 슈페터는 기업가 최대의 적은 기업가라고 인식하였는데, 이는 창조적 파괴가 파괴하는 대상은 이전의 기업가이기 때문이다. 따라서 순환적으로 다가오는 경제 불황의 그늘에서 벗어날 수 있는 해법은 혁신과 기업가 정신에 있다고 주장한다.

2.3.3. 일본 디지털 소재분야 기술경쟁력의 원천

가. 디지털 소재시장의 일본기업 독주

28조 엔을 훌쩍 뛰어넘은 반도체 시장, 가까운 미래에 30조엔의 시장을 형성할 플라스마, 액정, 유기EL 등 평판 디스플레이, 디바이스 시장에서 일본제품은 1980년대 - 90년대 초에 걸쳐 꾸준히 세계최고의 점유율을 지켜왔다. 디바이스 산업분야의 저력이 일본 디지털 소재산업을 육성하는데 동력으로 전이되었다고 볼 수 있다. 고성장을 계속하는 디지털소재분야에서 일본의 기업들은 장점을 살려왔다. 세계최고의 시장 점유율을 가진 주요 디지털 부품들도 많다. 반도체의 최대 주요부품인 실리콘웨이퍼 시장은 신에츠반도체가 세계최고의 점유율을 차지하며 독주하고 있다. 여기에 SUMCO, 고마쓰 전자금속 등의 업체를 더하면 일본이 세계 시장의 60% 이상을 차지하는 것으로 추정된다. 반도체 분야의 핵심인 포토마스크 역시 돗판인쇄(Toppan)가 최고의 자리를 차지하고 있으며, 다이넛폰인쇄가 버티고 있어 일본이 차지하는 전체 시장 점유율은 약 60%로 추정된다. 포토레지스트 역시 JSR이 세계시장을 주도하고 있으며, TOKYO OHKA KOGYO까지 합치면 일본의 세계시장 점유율은 65%수준이다. 전자 디스플레이분야에서는 일본이 더욱 압승. 액정 패널용 컬러필터에서 돗판인쇄가 세계최고이며, 다이넛폰인쇄, 스미토모화학을 합치면 세계 시장의 90%를 차지하고 있고, 편광판 역시 닛토전공(NITTO DENKO)이 세계최고의 점유율을 차지하고 있고, 스미토모호화학, 산리츠, 폴라테크노 등이 그 뒤를 따르고 있어 실질적으로 일본기업들이 독점하는 상황이다. 초박형 디스플레이에 사용되는 반사방지필름 역시 다이넛폰인쇄가 세계시장의 70%를 차지하며 수위를 달리고 있고, 역시 반도체 분야 필수품목인 액정필름, 도광판, 확산판 등에 쓰이는 고기능 투명수지필름(COP) 역시 닛폰제온이 세계 1위를 차지하고 있어 디지털/디스플레이 분야의 소재는 일본기업들이 압도적인 우위를 차지하고 있다. 실리콘웨이퍼 시장은 전세계저금로 약 900억엔 규모에 달하고 있는데, 세계 시장의 60%이상을 일본제품이 차지하고 있다. <반도체산업 신문> 의 조사에 따르면 300mm 웨이퍼 부문의 세계 시장 점유율 1위는 신에츠반도체(30%), 2위는 SUMCO(27%), 3위는 실트로닉(17%), 4위는 MEMC(15%) 등 일본제품의 총 점유율이 65% 수준이다. 1989년 일본 반도체의 세계 시장 점유율은 53%로 정점에 도달했다. 그 후 1990년대에 단숨에 추락하여 지금은 20%를 약간 웃돌 정도로 크게 후퇴한 상태다. 하지만 반도체 기초 소재인 실리콘 웨이퍼는 일본 제품의 선전이 돋보여 1980년대 후반세계 시장을 40~50%정도 점유하다가, 지금은 60% 이상까지 올라가 있다. 잃어버린 10년 이라고 불리는 1990년대에 일본의 실리콘웨이퍼업체들은 불황 속에서 버텨낸 결과 세계시장을 주도하고 있다.

"반도체는 더 이상 특수 산업이 아니다. 장치와 재료만 있으면 누구나 만들 수 있다. 따라서 거대 투자를 단행할 수 만 있다면 의사결정 속도 빠르고 인건비가 싼 국가가 성공할 수밖에 없다"

* 타이완 대형은행 간부, "전자재료왕국 일본의 역습"에서 발췌

반도체 산업의 구조는 초기와 달리 최근에는 장치기반 산업구조로 고착되었다. 타이완은 반도체 위탁생산(파운드리)에서 미국과 일본, 한국과 함께 반도체 생산에 독보적인 위치를 차지하고 있으며 국가가 주도적으로 대형프로젝트를 추진하거나 연구개발자금을 투입한 뒤 개발한 성과를 민간에 이양하는 방식으로 성장했다. 이와 더불어 세금 우대, 투자감면 등 국가의 지원정책도 성장에 큰 기여를 했다. 타이완의 반도체가 약진한 배경 중 하나는 반도체 공정기술이 성숙됨에 따라 절대적인 단일 제조 공정이 존재하지 않기 때문이다. 반도체 공정기술의 초기단계인 1990년 전후에 일본 반도체가 약 40%의 세계시장 점유율을 차지하며 반도체의 패권국으로써의 지위를 누리고 있었다. 당시에는 각 회사별로 극비의 제조 공정 기술 있어 반도체는 아무나 만들 수 없는 제품이었다. 하지만 이후 미국, 한국, 타이완 등의 반도체 제조업체들이 제조공정기술을 따라잡아왔다. 이제 시장의 게임은 어떻게 고가의 장비를 투자하고, 고품질의 소재를 사용하여 반도체를 제조하느냐로 넘어왔다. 머니게임으로 전환되면서 일본 핵심인력의 해외유출도 본격적으로 이루어져 기술격차가 줄어들어 리더국가들의 공정기술은 점차 평준화되어갔다. 오히려 반도체사업의 핵심역량은 마케팅과 투자규모로 이동하였다. 타이밍 좋은 설비 투자를 단숨에 실행하는 의사결정의 속도와 여기에 따른 글로벌한 시점에서의 마케팅 강화가 반도체사업의 승부를 결정짓게 되었다.

반도체생산 공정의 기술이 평준화되면서 일본기업들은 점차 가치사슬상의 상류로 이동하게 되었고 반도체 소재산업에서 기술적 우위를 점하면서 독점적인 지배력을 갖추게 되었다. 즉, 제조프로세스나 디바이스 구조에서 수주차가 없어져 반도체 제조의 핵심은 사업전략이나 반도체 제조장치와 제조용 디지털 소재로 비중이 옮겨지게 되었다. 디지털 소재는 반도체와 LCD, PDP, 유기EL 등의 디스플레이, PCB, 콘덴서, 태양전지 등의 전자부품, 에너지 부품 등 여러 부류로 나누어 볼 수 있다. 반도체 공정에 사용되는 재료는 실리콘웨이퍼를 필두로 포토레지스트 (에칭용 감광제), 포토마스크(회로를 찍는 원판), 각종약품, 용액, 초순수, 각종 재료가 되는 가스, 에폭시 수지, 리드프레임 등이 대표적이다. 이 밖에도 층간절연막"반도체 배선용 막", 각종 화합물 재료 등 백여 개 품목의 큰 시장을 이루고 있으며 약 30조엔의 규모이며, 이 시장에서 일본의 점유율은 약 60%이상이라고 추정된다. 액정디스플레이는 재료시장의 핵이다. 주요부품으로는 글라스기판, 컬러 필터, 액정 드라이버, 편광판, 각종 감광제, 액정보호막, 반사막 등이 있는데 이것 역시 수백 가지가 넘는다. 이들 재료 분야에서는 일본 제품이 70% 이상 세계시장을 점유하고 있다.

일본이 소재분야에 강한 이유에 대해 일본“화학공업일보”의 히로키타쿠미 기자는 아래와 같이 주장한다.

"일본의 디지털 소재 발전의 초석을 다진 것은 일본의 반도체업체나 LCD 업체이다. 이들은 디바이스 업체들과 협력 하면서 재빨리 독자적인 기술을 구축하게 되었다. 디바이스 업체나 세트 업체로부터 비공식적인 개발비나 갖가지 도움을 받았던 것도 사실이다. 기술자들도 고객 측과 활발한 교류를 나누고 있다. 일본 디지털 가전의 메카이고 세트업체, 디바이스 업체도 넘치도록 많다. 전 세계적인 일렉트로닉스계의 대격전지인 셈이다. 일본에서 이기면, 세계시장에서도 끄떡없다."

산업용 가스업계전문잡지인 "가스리뷰"의 편집장은 "질소나 산소와 같은 표준적인 가스 분야에서는 일본이 특별히 강한 면모를 보이지 않는다. 하지만 반도체 LCD 등에 쓰이는 특수 가스분야에서는 전 세계가 일본을 높이 평가한다. 세계 시장에는 대량생산에 뛰어난 가스 업체들이 많아도 일렉트로닉스용 가스 같은 섬세하고 손이 많이 가는 개발은 그리 내켜하지 않는다. 경쟁 업체들이 많아 일본의 가스 업체들은 살아남기 위해서 무엇보다도 부가가치가 높은 특수가스로 승부할 수밖에 없다."

액정적하법 (One-drop fill)을 확립하여 액정제조용 UV경화성 접착제 분야에서 세계 시장의 70%를 차지하고 있는 교리쓰 화학산업의 사장인 이시하라 미치오는 일본인의 국민성에 대해 언급한다. 일본국민의 연구분야에 대한 집착과 참을성이 소재분야에 적합했다는 것이다. 장기적인 연구개발과 투자가 성과가 창출될 때까지 지속되었다는 사례는 여전히 이어진다. 네거티브형 포토레지스트란 제품으로 전자재료 분야에 진출한 JSR은 1982년 당시 일본 내 최대 규모의 반도체공장에 제품이 공정 내에서 트러블을 일으켜 3 억 엔의 배상청구까지 받았다. 그 원인은 포토레지스트 용액탈수를 위해 사용했던 실리카겔이 제품에 혼입 된 것이었다. 그것이 반도체 공정에서 부풀어 오르는 불량을 일으켰고 전체 공정을 스톱시키는 결과로 이어졌다. 당시 JSR 내에서도 관련 사업을 그만둬야 한다는 목소리까지 있었다. JSR은 고무 사업만으로도 1000 억 엔 이상의 매출을 올리고 있었기에, 연간 1 억 엔 정도의 매출 수준이었던 포토레지스트 사업에 대해 회의론까지 제기되었으며, 공정 트러블에 따른 손해 배상까지 청구당한 결과 1983년에는 결국 매출이 제로로 떨어졌다. 그럼에도 불구하고 당시의 경영진은 사업을 존속시키기로 결정했다. 그 후 탈착과정의 재검토를 통해 네거티브형 포토레지스트의 양품률이 올라 다시 한 번 판매가 확대되면서 사업이 본격적인 궤도에 오르게 되었다. 그 후 포지티브형 포토레지스트에도 진출하였다. 이후 전자재료를 핵으로 하는 JSR의 다각화 사업은 2002년도에 895억 엔, 2003년도에 1,117 억 엔, 2004년 도에 1,226 억 엔 이라는 고 성장을 계속하다가 2005년도에 1,420 억 엔까지 치솟았다. 그리고 1983 년 당시에 매출제로였던 포토레지스트는 지금까지 줄곧 세계 챔피언이었던 도쿄응화공업을 제치고 넘버원의 자리(세계시장 점유율 25%)를 획득하였다.

반도체 소재기업의 특징 중 하나는 전쟁이전부터 설립된 기업이 기술력을 누적해 오다가 반도체 소재분야로 진출했다는 점이다. 다키가와 셀룰로이드가 설립된 건 1919년 10월이며 전쟁 이전의 공업 사회에서도 유명세를 떨치며 염화비닐, 폴리카보네이트 등으로 사업을 다각화해 나갔다. 다키가와 셀룰로이드는 그 후 타키론으로 이름을 바꾸었다. 타키론은 간사이 지방에서 골함석판 (물받이나 건축 자재 등)으로 그 이름을 알려왔고 현재는 카본나노튜브(CNT)를 생산하며 나노테크를 이용한 재료산업에 진출했다. 골함석판의 대명사로 불릴 정도로, 염화비닐과 폴리 카보네이트를 기초 소재로 삼아 고분자 나노크놀로지를 구사하며 각종 수지판, 물받이통 각종 공업용 플레이트, 엔프라재료, 성형품 등을 양산하고 있었는데, 최근에는 하이테크 시대에 반도체 제조 장치나 액정 제조 장치 등에 사용되는 제전 플레이트 생산기업으로 변모한 것이다. 그 중에서도 반도체세정 장치용 플레이트는 최고의 시장점유율을 기록하고 있다. 타키론은 세계최초의 난연성 규격으로 인정받은 화재 예방 FM 플레이트, 카본 나노튜브를 사용한 투명 제전수지 플레이트 시장 진출 등 첨단기술을 발판으로 독자적인 시장을 개척한다.

반도체 공정의 핵심 중 하나인 정전기 방지는 대전방지제를 도포하거나 금속 등의 도전물질을 섞는 방식으로 처리되었다. 도포법은 효과가 지속되지 않는 한계가 있었으며, 도전물질을 섞는 방식은 투명한 제품을 제조하기 곤란하다는 한계가 있었다. 타키론은 이 점에 주목하여 자사가 소유한 노하우를 동원해 획기적인 고성능 대전 방지판인 '타키론 제전플레이트 시리즈'를 개발한다. 투명성과 지속적인 대전 방지 성능을 겸비하여 매우 약한 정전기에 의해 달라붙는 미세먼지까지 방지했다. 이 기술은 클린룸 환경을 조성할때 활용되고 있으며 염화비닐, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌 테레프탈레이트, 아크릴, 알루미늄 복합판까지 범위가 넓고 색상, 두께도 다양하다는 장점이 있다. 이 제전 플레이트는 반도체 제조 장치, 액정제조장치 등으로 용도가 확대 되고 있다. 클린룸 파티션, 캐리어 클린 보관고, 데시케이터, 글러브 박스 등에 폭 넓게 채택 되었다. 특히반도체 제조장치의 유닛세정에서 타키론의 시장점유율은 일본 내 최고를 기록하고 있다.

이들 기업의 사례에서 공통적으로 발견할 수 있는 일본 디지털 소재기업들의 특징을 정리하면 아래와 같다.

1. 특화된 분야에서 세계최고 수준의 기술진입장벽 구축
2. 오랜기업 역사를 통해 확보한 자본력을 바탕으로 한 연구개발 투자 및 지속적 인내
3. 소규모 품목의 대량생산 및 대량소비 구조에 적합 (선택과 집중)
4. 동종업종 기업들간 공존을 통해 산업 수준의 인프라 구축

나. 슈퍼실리콘 연구소 사례

1995년 당시 주류를 차지했던 8인치(200밀리)의 4배 면적을 가진 400밀리 웨이퍼의 개발에 따른 리스크가 큰 상황이었다. 이러한 상황에서 일본 경제산업성과 실리콘 업체 경영진들은 기초연구분야부터 근본적인 대응을 하기로 선택한다. 기초응용연구의 단계에서 분명 위험 부담이 크지만 일본의 산업계를 위해 초대구경화에 필요한 첨단기술을 개발해야한다는 결론을 내리고 '기반기술연구촉진센터'와 일본의 7개 실리콘 업체 (신에츠반도체, 스미토모시텍스, 고마쓰전자금속, 미쓰비시머터리얼실리콘, 도시바세라믹스, 닛테츠전자, 쇼와전공)의 공동출자로 '슈퍼실리콘 연구소'가 1996년에 설립되었고 5년간 총 133억엔이 투자되었으며 40명이 투입된 민관 공동프로젝트이다.

웨이퍼제조기술은 지멘스의 다결정제조기술(1995년 독일), 실리콘 결정CZ법(1917년 폴란드)이 획기적인 기술이었고, 미국 GE의 대시네킹법(1956년 GE), 30년 이상 사용되어온 RCA 세정법(1970년)도 있었지만, 일본이 자장결정인상법(소니), 플라즈마화학기상 머시닝, 엘라ست릭 에미션 머시닝에 따른 초정밀가공법(오사카대), 울트라클린 테크놀러지(도호쿠대학) 등이 개발에 성공했다. 하지만 400밀리 웨이퍼 시제품을 성공하기 위해서는 기존의 방식으로는 한계가 있었다. 400밀리 실리콘 단결정 육성은 전세계 최초의 도전이었으며 단결정을 끌어올리는 장치 자체도 없어었다. 그래서 대형 CZ장치설계부터 시작했다. 400킬로나 되는 결정 중량을 유지하기 위한 장치설계 또한 새로운 방식이 필요했기 때문에 결정육성의 가능성을 검토하고 실험과정의 조건을 예측하는 시뮬레이션을 개발했다. 화로설계 자체부터가 대구경이 필요했기 때문에 내부구조부터 재설계할 필요가 있었다. 화로내의 온도분포, 예열 밸런스의 해석부터 시작해서 결국에는 가장 효율적인 핫존설계를 성공했고, 대형화된 결정 탓에 실리콘 용액의 대류가 격렬한 움직임을 보여 육성에 어려움이 있었기 때문에 MCZ 인상법이라는 방식을 개발했다. 대중량을 끌어올리는 방식도 새롭게 변경될 필요가 있었으며 약 250킬로의 하중을 넘어서는 마루야마 특허를 개발하여 휘어진 부분을 형성시켜 그 부분을 유지하면서 결정을 끌어올리는 방식을 채택했고, 결과적으로 초평탄도를 가진 400킬로의 웨이퍼를 완성했다.

슈퍼실리콘 연구소가 한국의 전통적인 산학협력과 다른 점 중의 하나는 동종업계에 종사하는 다른 기업들이 공통적으로 연구개발을 추진해나갔으며 산학연 방식이 아닌 민관공동추진 방식이라는 점에서 보다 이슈중심적이고 시장 중심적인 목표에 집중할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 한계점도 있었는데, 주요장치를 공동으로 개발하기로 한 회사들의 사업부진이 이어지면서 안정적인 팀구성이 유지되지 못할 수 있다는 불안감이 가장 큰 위협이었다. 이때 규모가 큰 신에츠, SUMCO, 고마쓰 등의 회사들이 협력해서 소규모 기업들을 지원하면서 프로젝트를 성공적으로 마무리

할 수 있었다.

Cell 칩개발과정에서 소니, 도시바, IBM은 공동으로 32나노 설계를 추진하고 있는데, High-k, Low-k란 저유전율 나노테크 재료의 개발은 일본의 반도체 대형국가 프로젝트인 MIRAI나 나스카에서 많은 성과를 내며 업계정상에 자리하였다. 2005년 12월 포토레지스트 개발의 선두 주자이자 생산액에서도 오랫동안 세계최고를 지켜온 도쿄응화공업이 발표한 나노코팅 재료는 업계에서 주목받고 있다. 이머션 리소그래피 기술은 노광장치의 렌즈와 실리콘웨이퍼 사이에 빛의 굴절율을 높이는 액체를 주입해서 해상도를 높이는 노광기술이다. 이에 대응하는 포토레지스트의 개발이 활성화되어 있어 기능성 톱코트 막 등 특징있는 솔루션을 추구하며 각 회사들이 경쟁을 벌이고 있다. 반도체용 포토레지스트의 세계시장 점유율을 두고 JSR과 도쿄응화공업이 최고의 자리를 두고 경쟁하고 있는데, 이 둘의 점유율은 세계적으로 50% 수준이다. 이외에도 스미토모화학, 후지필름일렉트룩터리얼즈 등이 그 뒤를 잇고 있다. 도쿄응화공업이 개발한 나노코팅재료는 레지스트 막에 비해서 열배나 미세한 에칭이 실현된 제품을 낮은 비용으로 제공한다. 이 방법은 레지스트 패턴을 보호막으로 코팅함으로써 낮은 비율의 레지스트 패턴으로 충분한 에칭 내성을 부여할 수 있다. 패턴이 뭉개지는 문제를 방지하면서 미세도를 잃지 않고 충분한 에칭 내성을 가지는 레지스트 막의 형성이 가능하다. 또한, 스피코트 방식을 채택하였기 때문에 반도체 프로세스에 그대로 적용이 가능하다. 우선, 보호막 형성제를 화학적으로 흡착하며 레지스트 패턴의 표면 위에 두께 1밀리 정도의 보호층을 형성한다. 레지스트 패턴을 형성한 실리콘 기반 위에 보호막 형성제를 포함한 코팅용액을 적하하여 반응시간동안 방치한다. 반응이 종료된 후에 세정용매를 적하하면서 기판을 회전시켜 표면을 세정한다. 이것으로 레지스트 패턴 표면위에 보호층이 형성된다.

이 연구는 기업과 일본의 이화학연구소가 진행하는 패러렐 모델을 구체화한 '산학 연계연구 프로그램'에 따라 연구소의 지적재산센터 내에 발족한 '차세대 나노패터닝 연구팀'의 연구성과를 바탕으로 한다. 이연구팀은 이화학연구소와 도쿄응화공업이 공동으로 2004년 10월에 발족시킨 것으로 습식나노코팅 기술을 기초로 차세대 미세가공 기술에 관한 기초연구에서 실용화 연구까지를 연계적으로 진행하는 것이 목적이다. 도쿄응화공업측에서는 이 연구성과를 'TSAR시리즈'로 진행하고 있다.

다. 일본 기술경쟁력의 역사적 근원

1) 영국의 영향

일본의 축적된 기술력이 어떻게 형성되어왔는지 파악하기 위해서는 일본의 역사적 배경에 대해 파악하는 것이 중요하다. 이 섹션에서는 그동안 상대적으로 알려져 있지 않은 일본의 근대사속에서 파악할 수 있는 일본의 경쟁력의 원천에 대해 살펴보

고자 한다. 에도막부 시대 약 250년 동안 서유럽 제국에서는 스페인이 패망하고, 네덜란드와 영국이 패권국가로 일어났다. 그리고 미국이란 신흥 대국도 등장했다. 그러나 이 기간 동안 일본은 내전도 없었고 또한 외국의 침입도 없는 태평세월이었으므로 국가적으로 불필요한 코스트를 지불하지 않으며 국부를 축적할 수 있었다. 독일이 30년전쟁에서 인구의 절반을 잃고 국토가 황폐하게 된 것을 생각한다면 일본은 상대적으로 행운이었다. 인구 규모도 2천 5백만 내지 3천 만 수준이어서, 식량난도 없었으며 큰 위기가 없었기 때문에 막부의 말기에 들어 와서는 신분제도가 점차로 붕괴되어 무사계급은 녹을 먹는 단순한 사무라이로 전락했다. 한편 부유한 상인들은 근대적인 금융제도와 상업제도를 구축해 나갔다.

메이지유신은 무사의 쉐리리맨화와 상인의 대두로 인해 누구든지 우수하기만 하면 된다는 사회 풍조를 낳았고, 이러한 풍조는 일본의 신 엘리트 집단에 의해서 선도되었다 그들이 선진 공업국을 모방하지 않을 이유가 없었다. 그것은 근대 독일에서 옹커 귀족이 몰락하고 프로이센의 육군 혁명과 농민해방에 의해서 신분에 구애받지 않는 신 엘리트가 등장한 것과 매우 유사했다. 독일의 신 엘리트도 프랑스 육군을 모방했고, 영국 해군을 모방했었다. 당시의 가장 선진국은 당연히 영국이었다. 따라서 일본은 우선 영국을 모방하기 시작했다. 일본의 정치 및 경제제도에 영국 시스템이 도입되었다. 명치창가(노래)에는 영국 민요가 많았고, 영국식 철도와 가로등도 근대화의 심벌로서 일본에 유입되었다. 발틱함대(러시아함대)를 격침한 전함 미카사호도 영국제였다.

그러나 영국형 국가 패턴의 선택은 자연히 이루어진 것은 아니었다. 안정(천황의 연호)시대의 일대 투옥사건을 전후하여 일본 국내는 통상문제로 여론이 비등했었다. 그것은 단순한 개방이나 쇄국이나 하는 문제가 아니라 개방하여 근대국가로 살아가는 경우 어떤 나라의 패턴을 선택할 것인가가 문제였다. 미국의 패리와 강화조약을 맺은 1854년은 크림전쟁이 발발한 다음 해였다. 즉 유럽에서는 터기가 쇠퇴하는 기회를 타고 러시아가 남하하여 영국과 충돌하고 있었다. 이 두 나라 간의 대립은 당연히 일본에도 영향을 미쳐 친영론과 친러론이 막부말기의 지사들 간에 커다란 논쟁거리가 되었다.

예를 들면, 러시아를 지지하는 사람들은 러시아 쪽이 통상주의의 영국보다는 위험이 적을 것이라고 주장했다. 당시 도쿠가와 막부는 미일 통상조약으로부터 시작하여 차례로 열강과 불평등한 통상조약을 체결하고 있었다. 친로파의 입장에서는 통상 공세를 걸어오는 영국은 지극히 위험한 존재로 보였다. 그러나 결과적으로 친로파는 패하고 명지 일본은 친영파가 외교의 조타수 역할을 담당하게 되었다. 팩스브리태니커의 통상 시스템에 참가하여 나라를 부유하게 만드는 것이 현명한 정책이라 생각했던 것이다. 정부의 이러한 친영정책으로 영국으로부터 기술자와 어드바이서가 속속 일본에 들어 왔다. 그들이 소위 말하는 고용 외국인이었다. 물론 분야에 따라서는 독일인, 네덜란드인 미국인도 초청되었다. 예를 들면 토목공사는 운하와

간척공사에 경험이 많은 네덜란드가 강하기 때문에 민부성(民部省) 초청으로 네덜란드인 기술단이 일본에 와서 하천의 개수, 요코하마 방파제 건설사업 등에 종사했다.

미츠비시 중공업의 전신인 나가사키 조선소도 네덜란드 기술로 건설했다. 본래 쇄국시대를 통해서 막부와 네덜란드는 밀접한 통상관계를 유지했었다. 네덜란드 왕국은 도쿠가와 장군가에 해군 훈련선을 증정하고, 그 수리공장을 1857년에 나가사키에 건설했다. 막부의 이 해군훈련소 부속 제철소는 명치 정부에 접수되어 공부성(工部省) 산하 관영 나가사키 조선소 되었다. 또한 미국인은 도로공사에 고용되고, 독일인은 화약공장, 화학공장 건설 등에 동원되었다. 인공염료와 유기화학 분야에서 독일은 압도적인 기술력을 자랑하고 있었다. 한편, 프랑스는 전통적으로 견직물 기술이 발달했다. 컴퓨터의 원형으로 알려진 자카드식 카드형 직물기도 리옹에서 발명되었다. 그 때문에 관영인 후쿠오카 제사공장은 프랑스인 기술자에 의해서 건설되었다. 생사는 오랫동안 일본의 대표적인 수출품이었다. 이 수출을 감당할 수 있는 양질의 생사를 일본이 만들 수 있었던 것은 오로지 프랑스인의 덕분이었다고 할 수 있다. 그러나 무엇보다도 친영정책을 택한 명치 신정부의 공이 컸다 고 볼 수 있다. 모든 분야에 압도적 숫자의 영국인이 고용되었다. 그 가장 좋은 예가 철도였다. 공부성이 고용한 393명의 영국인 중 256명이 철도관계 종사자였다. 공부성의 설립을 권고 한 모델도 역시 철도 기술자였다.

그들에게는 파격적인 급료가 지급되었다. 수석 기술자인 가길 등에게는 2천 엔이라는 믿을 수 없을 리만큼 많은 급료를 5년간 지불했다. 참고로 당시의 총리대신의 급료가 8백 엔이었으므로 고용 외국인의 급료가 얼마나 높았던가를 알 수 있다. 따라서 모델의 급료도 총리대신 보다 높은 8백5십 엔이었다. 철도 다음으로 외국인을 많이 고용한 곳은 광산이었다. 그러나 이 광산부문에 고용된 외국인 기술자들은 영국인만이 아니라 프랑스인, 독일인을 포함한 혼성부대였다. 에도(江戸)시대부터 일본의 금, 은 동은 유럽에서도 유명했다. 그러나 도쿠가와 막부 말기에는 그 대부분이 고갈되어 명치 신정부는 새로운 기술로 다시 발굴하기로 결심했다. 그리하여 이쿠노(生野) 광산에는 프랑스인 기술자가 초빙되고, 사도(佐渡) 금광과 다카시마(高島) 탄광에는 영국인 기술자가 초빙되었다.

명치 정부는 주로 부가가치가 높은 금과 은 생산에 힘을 기울여 동에 관해서는 별로 외국기술을 도입하지 않았다. 그러나 이것이 화근이 되어 관영사업은 실패로 끝났다. 모든 분야에서 영국인 기술자가 많이 고용되었으나 특히 철도와 기계, 건축 분야는 영국인의 독무대였다.

전기 산업의 역사는 모스 전신기의 발명으로 시작되었다. 워싱턴과 볼티모어 간에 처음으로 전신 회선이 부설된 것은 1844 년이었으나 그 10년 후인 안정 원년에 다시 일본을 방문한 패리의 현상품 중에는 전신기가 들어 있었다. 그 전신기의 전략

적 중요성을 인식한 명치 정부는 친영론에 따라 미국형 전신기술을 영국형 전신기술로 전환하여, 영국인 전신기술자의 지도로 관용 전신망을 확충했다. 동시에 영국에서 윌리엄 엘던이란 저명한 학자를 초빙하여 공부성 산하의 공학료에서 많은 전신 기술자를 양성했다. 엘던은 당시에 이미 세계적인 과학자였으며, 귀국 후에는 영국 전기학회의 회장이 되었다.

공부성 산하 공학료는 1873년 영국의 글라스고 대학에서 초빙된 다이엘에 의해 설립되어, 기계, 토목, 전신, 건축, 광산, 화학 등 6개 분야의 공학 교육으로 출발했다.

미국의 MIT가 1868년에 설립되었으므로 일본의 공학 교육은 불과 5년 밖에 차이가 나지 않는다. 다이엘은 영국류의 실학과 독일, 프랑스류의 이학(理學)을 융합하는데 노력함으로써 세계에서 유례가 없는 공학교육의 실험을 동양의 작은 나라에서 실시했다. 아마도 공학교육의 선진국인 독일이나 대학이 되었을지 유럽형 교육을 담당했었다면 일본은 이학 중심의 유럽형 대학이 되었을지 모른다. 이미 여러 차례 언급한 바와 같이 영국은 산업혁명의 발상국이었다. 그 때문에 고등공업교육이 육성되지 못했다. 이에 불만을 품고 있던 영국인에게 공학교육을 담당하게 한 것은 일본을 위해서는 참으로 다행한 일이었다. 이리하여 영국에서 대접받지 못하는 영재들이 대거 일본에 와서 공학료의 후신인 동경대학 공학부를 창설했다. 이 중에서 특히 영재가 육성된 곳은 전기공학 분야였다.

2) 미국식 기술도입

다양한 지위의 고용 외국인들이 국제정치에 전혀 등장하지도 않는 일본에 왜 몰려온 것일까. 그 이유는 두 가지로 생각할 수 있다. 첫째는, 고액의 급료였다. 대학을 막 졸업한 젊은 사람이 국장급 월급을 받을 수 있는 외국은 그렇게 많지 않았다. 두 번째 이유는 영국의 시장 마인드였다. 패권국으로서 영국은 세계의 구석구석까지 제국의 위용을 보이지 않으면 안되었다. 당시에는 어느 나라나 근대화를 이룩하려고 떨쳐 일어나는 시기였으므로 영국의 기술자는 어느 나라에서나 환영받았다. 한편 영국 기술이 전파된다는 것은 영국제품의 판로가 열리게 된다는 것을 의미했다. 통상 해게몬 영국으로서는 영국인 기술자가 세계 곳곳을 파고 들어간다는 것은 바람직한 일이었다. 게다가 일이라면 모르지만 동양의 작은 나라 일본은 장래 영국의 위협이 될 리가 만무하므로 기술을 전수해도 후환이 없다고 생각했다. 이리하여 많은 영국 기술자가 건너 왔다. 그들의 평균 제재 기간은 5년 이하였다. 따라서 그들은 국제 유랑 기술자에 불과 했고 19세기판 예수교 선교사이기도 했다.

영국 기술이 일본에 이식된 것만은 틀림없는 사실이나 오늘날 그 흔적은 그렇게 두드러지게 남아 있지 않다. 영국이 해게몬의 위치에서 전락했기 때문이라고도 생

각할 수 있겠으나 그렇지도 않다. 왜냐하면 영국의 쇠퇴는 훨씬 후인 쇼와(昭和)시대에 들어와서였다. 즉 영국이 쇠퇴하기 이전에 그들은 일본을 떠났다. 그것은 일본의 기술 이식이 완성되어 공학교육이 꽃피었기 때문 일 것이라고 말하는 사람들도 있다. 만약 그렇다면 그것은 일본의 능력을 과대평가한 말이다. 유럽 여러 나라가 몇 세기나 걸려 근대화를 이룩한 것을 동양의 작은 나라 일본이 20년 남짓으로 성취했다니 말도 되지 않는 소리이다.

관영기업이 실패했기 때문에 기술이 영국형에서 미국형으로 급속히 옮겨갔기 때문이라고도 생각할 수 있다. 관영기업이 실패하여 민영으로 이관되었기 때문에 코스트가 많이 드는 유럽, 특히 영국인 고용자를 배제하고 미국과 독일에 유학하고 온 자를 많이 채용했기 때문이었다고 할 수 있다. 사실 근대화의 큰 위업이 완성되기 이전인 1880년대에 대부분의 고용 이국인은 일본에서 홀연히 자취를 감추었다. 그 자리를 메꾸려 미국 기업과의 합작 회사가 급증했다. 이에 대해 좀 더 자세히 살펴 보겠다.

관영기업의 실패의 최대 표본은 광산업이었다. 다수의 외국인 기술자와 자금을 투입한데 비해서는 기대하는 만큼 생산이 들이 나지 않아, 정부는 모든 광산을 민간에 불하했다. 들면, 가마이시(釜石) 광산은 다니가에게, 아시오(足尾) 동광산은 후부 카와에게, 다카시마은 이와자기에게, 미이게(三池) 탄광은 미츠이에게, 사토(佐渡) 금광과 이구노은광은 미츠비시에게 각각 불하했다. 이들 광산 회사는 효율이 나쁜 영국 제 증기엔진을 버리고 전동기를 동력원으로 도입했다.

이로 인하여 수입 상사가 활기를 띄게 되었다. 오오구라(大倉) 재벌의 뿌리인 오오구라 상사는 독일계의 발전기를 수입 판매하고, 타나카(田中)상회는 웨스팅하우스 사의 정식 수입 대리 점이 되었으며, 요코하마상회는 GE 사의 대리점이 되었다. 이러한 상사를 통하여 광산 회사는 외국 전기 메이커와 합작사업을 시작했다. 우선 독일의 지멘스 사가 아시오 동광산의 후르가와에게 접근하여 합작 회사인 후지(富士)전기를 설립했다. 한편 미츠비시 광산은 미츠비시 조선소에서 사에 파견된 사람을 중심으로 GE 사 계열의 기술을 도입했다. 미츠이 광산도 계열 회사인 도쿄(東京)전기가 GE 사 계열이었기 때문에 GE사 계열 기술을 습득했다. 전신기 다음에 일본에 들어온 전기제품은 전등이었다. 놀랍게 도 에디슨의 전등 회사보다 불과 5년 뒤에 동경에 도쿄전등(도쿄전력의 전신)이란 회사가 설립되었다. 그러나 이때는 전등과 발전기는 모두 수입품이었다.

일본에서 최초로 램프를 시험제작한 기업은 공부성의 지원으로 해외 유학한 후지오카라는 사람이 설립한 백열사(白熱社)였으며, 질은 매우 조악했다. 그래서 GE 사가 자본 참여하여 램프 제조기술을 도입했다. 이 회사는 마츠다 상표의 전구를 판매하고 사명도 도쿄전기로 바꾸어, 도시바의 하나의 뿌리를 형성했다. 도시바의 또 하나의 뿌리인 시바우라 제작소는 타나카 상회가 모체였다. 타나카는 본래 나가사

기 조선소에서 네덜란드인으로부터 교육을 받은 총 제작업자였으나 긴자(銀座)에 타나카 상회를 설립하여 1875년에는 전기 제품의 제작 판매를 시작했다. 그레이엄 벨보다 불과 5년 늦게 전화기를 모방 시험제작할 정도로 기술을 빨리 습득했다. 당시 전기제품을 제작 판매하고 있던 기업은 이 타나카 상회 이외에 일본에서 최초로 발전기를 시험 제작한 미요시(三吉)전지가 있었을 뿐이었다.

이렇게 하여 일본에는 미국 기술이 밀려오기 시작했다. 이러한 계기를 만든 것이 관영 광산 회사의 불하였다. 광산을 불하받은 재벌계 회사들은 사원을 미국에 파견하여 기술뿐만 아니라 경영방식까지 습득했다. 재벌계 회사뿐만 아니라 웨스팅하우스는 야스카와 전기를 우스사에서 돌아온 야스카와(安川第五郎) 설립하고, 에디슨 밑에서 수업을 마친 이와다레(岩垂邦彦)는 웨스턴 일렉트로닉 사와의 합작 회사인 일본전기를 설립했다. 당초 웨스턴 일렉트로닉 사는 당시 일본의 최대 전화기 제조 회사였던 오기전기를 합병 흡수하고 싶었으나 여의치 않아 결국 신흥 회사인 일본 전기를 설립했다 한다.

공업계가 영국형으로부터 미국형으로 전환을 시작한 19세기 말에 일본은 드디어 근대 국가로서 태동을 시작했다. 청일전쟁 후 러일 간의 관계는 결정적으로 악화되었다. 그리하여 1902년 영국과 군사동맹을 체결하고, 그 2년 후에 일본은 러일전쟁을 시작했다. 연이어 1914년에 시작된 제1차 세계대전에서도 영국 측에 가담하여 독일을 상대로 싸웠다. 이 전쟁기간 동안 독일과 영국으로부터 부품 수입이 두절되었기 때문에 일본의 산업계는 발빠르게 미국형으로 옮겨가는 한편 국산화도 크게 촉진했다.

기술적으로 보면 러시아와 독일이 아니라 영국과 미국을 선택 한 것은 또 다른 의미에서 일본의 장래에 난기류를 뿌린 원인이 되었는데도 모른다. 그것은 일본이 영국형의 통상용 복제 생산 기술을 선택함으로써 러시아형, 즉 독일형의 안전보장형 기술을 선택하지 않았기 때문이다. 독일형의 안전보장형 기술이란 군사 기술만이 아닌 자국 특유의 기술, 즉 지정학적 입지에 합당한 기술을 병행 개발하는 것을 말한다.

통상형(通商型) 기술의 선택은 기술적인 자신만 있으면 틀림 없이 신속하게 나라를 부유하게 만드는 방책이었다. 그러나 언젠가 앞서가는 통상 대국인 영국이나 미국과 통상 마찰을 일으킬 수밖에 없다.

3) 전후 미국의 영향

제1차 세계대전을 전후하여 일본은 미국형 통상국가를 선택했다. 1930년대의 전반까지 거리에는 포드와 쉐보레의 버스와 택시가 범람하고 있었는데 군부는 그것을 국산으로 대체하려 했다. 중국침략과 만주사변을 일으킨 일본에 대해 미국은 군용

차로 손쉽게 개조할 수 있는 자동차를 수출하지 않을 것이라고 지레 짐작했기 때문이다. 그토록 좋았던 미일 사이가 점차 악화되기 시작했다. 자동차 부문에서는 기시(岸信介) 상공대신을 리더로 하는 군부와 상공성 그룹이 비밀리에 독일을 방문하여 자동차 공업의 자립대책을 조사했다. 히틀러는 포드를 모방하여 폭스바겐을 설립했는데, 바로 그 포드에 대항하기 위해 일본은 독일을 모방하는 자가당착적인 정책을 추구했다.

미국이 민생기술을 온존시키면서 군사목적에 전용하고 있는 사이에 일본은 모든 에너지를 항공기 제조와 함정 제조에 대형 끌어넣었다. 그 때문에 항공모함에 원자력 잠수함의 모체가 된 대형 잠수함, 발군의 선회능력을 가진 제로센 항공기 등 수많은 군사기술의 이노베이션이 꽃을 피웠다. 그 반면 민생 산업력에는 공백이 생겼다. 자원은 가공하지 않으면 사용할 수 없다. 그 가공을 가능하게 하는 것은 민생 산업력이다. 군사 기술력은 그 민생 산업력에 의존하고 있다. 미국은 그 가공력을 보존 발전시켰고 일본은 무모하게도 그것을 공동화 시켰던 것이다. 전쟁 동안 일본에서 가장 고갈된 자원은 민생부분의 인재였다. 전쟁에 패한 것은 이러한 의미에서 매우 다행한 일이었다. 군에 집중되어 있던 뛰어난 인재가 민간부문에 복귀했기 때문이다. 군부에 소집되었던 항공기 엔지니어들은 스쿠터와 환상의 자동차 스바루 1500의 제작에 복귀하고 만주에서 물자 동원계획을 담당했던 관료들도 관청으로 되돌아왔다.

새로 생긴 점령군사령부 과학기술부와 절충하기 위해 공업기술청을 만들고 정책 입안을 목적으로 기술 관료를 대량으로 채용했다. 전쟁 이전에도 전력과 광산을 감독하기 위한 기술 관료가 있기는 했으나 그들의 임무는 규제 행정이 주 업무였지 어떤 산업을 전략적으로 촉진시키건나 발전시키는 업무는 아니었다. 그러나 전후의 기술관료는 경제발전을 위하여 산업 기술력을 향상시키는데 주력했다. 이는 전후에 미국에서 과학기술 전문가를 중심으로 산업기술을 전담하는 연방 행정기관을 만들려고 노력한 버니바 부시의 주장이 미국에서는 실패했으나 일본에서는 이루어진 격이다.

1952년에는 이 공업기술청이 행정개혁의 일환으로 청에서 원(院)으로 격하되었지만 젊은 기술 관료들은 공작기계 등의 수입 보조금제도, 국산화 보조금제도, 기계공업 진흥임시조치법 등의 기계 산업 진흥법을 연이어 통과시켰다. 특히 1956년의 기계공업진흥법은 일본개발은행 융자를 설비 투자에 끌어내는 계기가 되게하여 군소 자동차부품 메이커의 기술력 향상에 공헌을 했다. 현재 일본 자동차의 품질이 우수한 것은 이 법의 덕분이라고 단언할 수 있다. 1958년에는 무역진흥회법이 통과되었다. 이 법률에 근거하여 JETRO(일본 무역진흥공사)가 설립되었다. JETRO는 해외의 기술정보를 수집하는 것을 주요한 소임으로 하고 있다. 그러한 의미에서 JETRO는 해외 주요 도시에 설치된 첩보 기관이었다. 그러나 그 첩보 대상은 군사가 아닌 민생기술이었다. 당연히 정보수집 임무에는 산업 조사원이란 타이틀로 통

산성이 파견한 전문가가 참여했다.

이렇게 하여 일본은 전쟁 전의 통상국가 체제를 착착 회복해 갔다. 예를 들면, 전쟁 전 자동차 생산의 피크가 1940년이었으나 전쟁 후 그 레벨에 도달한 것은 1955년경이었다. 불과 15년 의 공백으로 전쟁 전의 공업생산력을 회복한 것이다. 또한 1960 년대의 소득 배중계획에 따라 이공계 학과 붐이 일어나고, 우수한 인재를 이 공학부에 입학하여 졸업 후에 민간 생산 회사에 입사하는 것을 엘리트 코스로 쳤다. 전전 같으며 육사나 해사에 가야할 수재가 기업에 모여 통상국가 일본의 동량이 되었다.

이러한 일본의 전후 부흥은 확실히 유럽과는 성향을 달리한다. 유럽 각국이 마셜 플랜을 이용해 기계와 화학 등의 2차 산업 부흥에 힘을 쏟은 데 대해 일본은 경사 생산방식을 채용하여 기초 자재인 철, 석탄, 전력 증산을 우선 추진했다. 이 차이는 역연히 나타났다. 영국은 처음 철을 부흥시키지 않았기 때문에 전전의 조선 왕국을 회복하지 못했으나 일본의 조선업은 전전 수준을 대폭 능가하게 되었다. 동시에, 전력 회복에 힘을 쏟은 일본은 안정된 양질의 전력을 필요로 하는 정밀 기계공업이 발 빠르게 회복되어 정밀 전자 산업의 토대를 구축했다. 특히 정밀전자산업의 발전에는 주목할 만한 점이 있었다.전후 점령군은 일본의 통신기능이 열악한 데 놀라서 그것이 군정을 펴 나가는데 걸림돌이 되지 않을까 우려했다. 특히 전화 교환기에 사용되고 있는 진공관의 품질이 나빠 어찌할 방도가 없었다. 그리하여 미국으로부터 품질관리 전문가인 데밍 박사를 초청하여 진공관 제조공정의 개선을 장려했다.

이때는 이미 점령군의 명령으로 체신성의 전기시험소가 통산성으로 이관되고, 통산성에는 전기통신 기계국이 신설되어 있었다. 즉 점령군은 통산성에 대해 통신망을 뒷받침하는 전자 기계 공업을 발전시키도록 명령한 것이다. 결국 이 점령군 지령을 충실히 실행함으로써 일본의 전자 기계공업은 급속한 발전을 이루게 되었다. 우선 진공관 의 품질을 높이기 위해 각 회사는 통산성의 지도하에 한 대당 20개 이상의 진공관이 들어있는 텔레비전의 녹다운(상세하게 분해해서 속속들이 기술을 익히는 것)을 실시했다. 이로써 일본의 전자 메이커는 일거에 품질관리 기술을 습득하는 계기가 됐다. 포터블 라디오의 경우도 마찬가지였다. 진공관 제조에 아무런 경험도 없는 소니가 돌연 참여했다. 트랜지스터 라디오를 가능 하게 한 것은 그 전 단계의 소형 진공관을 사용하는 포터블 라디오용으로 개발한 여러 가지 부품의 개발이 선행했기 때문이라 할 수 있다. 미국에서는 보청기와 군용기 탑재용 소형 배선에 사용할 목적으로 트랜지스터가 발달했으나 일본에서는 라디오 와 텔레비전 등의 내구 소비재 형태로 발달했다. 이처럼 일본은 별다른 야심 없이 그저 점령군의 지령을 충실히 이행함으로써 산업 부흥을 추진하다가 첨단 기술부문에서 미국을 위협할 정도로 성장해 있었다. 그러한 미국 시장을 향하여 일본 제품은 눈사태처럼 흘러 들어갔다. 그리하여 닉슨 정권이 탄생한 1969년 전후부터 섬유마찰, 흑백텔레비전과 컬러텔레비전의 덤핑문제 등이 발생하기 시작했다.

2.3.4. 미-중 패권갈등과 중국의 기술혁신

가. 미중 무역전쟁의 특징

최근의 헤게모니를 둘러싼 갈등은 과거의 무력사용전쟁을 넘어 세계의 정치·경제적 지배권을 둘러싼 ‘규범과 질서의 전쟁’이라 할 수 있다. 21세기의 새로운 패권전쟁은 전면전쟁으로 공멸의 위험을 무릅쓰기보다는 규범과 질서의 지배권을 둘러싼 대결 구도로 봐야한다는 것이다. 본질적으로 신흥 강대국의 부상은 기존 패권국으로 하여금 언제나 위기의식을 불러일으키게 되고 견제의 대상이 될 수밖에 없다. 역사적으로 기존 패권국은 신흥 강대국에 대한 대응으로써 첫째, 부상하는 강대국의 부상을 ‘좌절’시킴으로써 자국의 상대적 이익과 권한을 지속적으로 유지시키고자 하거나 둘째, 부상하는 강대국의 부상 자체를 좌절시키기 어려울 경우 부상의 속도를 ‘최대한 지연’시키고자 하며 셋째, 부상하는 강대국의 부상과정과 결과를 자국의 이익에 맞도록 조절하기 위해 ‘관여’하는 전략을 취할 수 있다. 미국내 정권은 그동안 바뀌어왔지만 대중국기조는 늘 변함없는 견제가 그 중심에 있다. 그러나 중국의 경제적·군사적 영향력이 미국의 턱밑까지 추격하면서 트럼프 행정부 등장 이후 미국 내에서는 ‘아메리카 퍼스트(America First)’ 정책기조 속에서 중국의 부상에 대해 보다 적극적이고 공세적인 대응전략을 취하기 시작했다. 미국의 목적은 당초 중국에 대한 압박의 빌미로 삼았던 무역적자를 해소하는 것이 아니며 중국의 부상에 관한 의지와 능력을 ‘굴복’ 또는 ‘좌절’시키는 데 있는 것이며, 이를 수단화 한 것이 혁신기술에 대한 규제로 이어진 것이다. 미중 마찰이 패권경쟁의 서막이며 ‘국가안보’를 명분으로 한다는 점에서 뚜렷한 전환의 계기가 마련되지 않는 한 향후 분쟁 양상은 이슈와 영역을 달리하며 장기간에 걸친 격전으로 나아갈 가능성이 높다. 이미 미중 무역전쟁의 양상은 군비경쟁, 이념경쟁으로까지 격화되고 있으며 인공지능, 사이버, 우주 등의 영역에서도 주도권을 놓고 상호 경쟁이 가열되는 양상이다.

미중 무역전쟁은 단지 무역·통상 분야에만 그치는 것이 아니라 안보를 둘러싼 하이터크 기술전쟁, 금융전쟁, 군사안보전쟁으로 확대되고 있다. 실제로 미국 상무부는 화웨이에 대한 제재뿐 아니라 최근에는 중국의 슈퍼컴퓨터 제조와 관련된 기업 5곳에 대해 “국가안보와 외교정책 이익에 반하는 행동을 하고 있다”는 이유로 제재명단(black list)에 올렸다.⁴ 미국과 중국은 현재 핵무기, 암호, 미사일 방어 등 군사 목적으로 전용될 수 있는 슈퍼컴퓨터 기술에서 치열한 경쟁을 벌이고 있다.

미국의 중국 기업과 자본에 대한 압박은 첨단기술과 군사안보분야의 상관성을 고려할 때, 향후 분쟁 분야와 기업이 더욱 확대될 가능성이 높다. 트럼프 행정부가 ‘통신장비분야(화웨이)’와 ‘슈퍼컴퓨터분야(중커수광)’에 이어 다음의 목표(target)로 삼을 가능성이 높은 분야는 ‘고급 감시기술 분야’ 등으로 예상할 수 있다. 미국

은 고급감시기술과 관련하여 북미시장의 80%, 세계 시장의 75%를 장악하고 있는 세계최대 드론업체 DJI를 타깃으로 삼을 수 있는바, 중국산 드론이 백도어를 통해서 중국정부의 도청기 노릇을 할 수 있다고 우려하기 때문이다. 트럼프 행정부는 중국정부가 강력한 사회관리·통제시스템을 구축하는 데 핵심역할을 수행한 것으로 평가받는 중국의 세계 최대 감시카메라(CCTV)업체 ‘하이크비전’을 거래제한기업명단에 올리는 것을 검토하고 있다.

또한 미국과 중국의 분쟁 대상은 첨단 기술 분야에 이어 향후 금융(환율) 분야로 확대될 가능성이 있다. 미국은 중국에 대해서 오랫동안 환율절상을 요구하면서 ‘환율 관찰국’으로 지정하였고, 최근에는 수출을 늘리기 위해 자국 통화가치를 인위적으로 떨어뜨리는 국가들에 대해 상계관세를 부과하겠다고 밝힌 바 있다. 미국은 과거 1980년대 중반 ‘플라자합의’를 통해서 일본과 독일의 급속한 환율절상을 유도함으로써 경제 분야에서 일본의 추격을 따돌린 사례가 있으며 이러한 경험은 중국과의 무역분쟁에서도 충분히 고려될 수 있다. 특히 현재 중국을 상대로 무역협상의 실무지휘를 담당하고 있는 미국 무역대표부(USTR) 대표 로버트 라이트하우저는 ‘플라자합의’ 당시 미국 측 협상대표단의 부대표로 참여한 사례가 있다는 점은 의미심장하다. 물론 이와 같은 예상은 필자의 개인적 가설에 불과하지만 중장기적 관전 포인트의 하나로 관심을 가지고 바라볼 필요가 있는 것으로 평가된다.

중국은 미중 무역전쟁은 사실상 미국이 중국에 전쟁을 선포한 것으로써 단순한 무역·통상을 둘러싼 분쟁만은 아니라 판단한다. 왜냐하면 미국은 중국과의 무역 협상에서 지식재산권, 국유기업 개조 및 개발도상국 지위 박탈 등 무역 문제를 뛰어넘는 문제들을 제시하였기 때문이다. 또한 미국의 중국에 대한 도전은 보다 전면적인 것으로서 시간이 갈수록 구체화되는 것으로 파악하고 있다. 미국의 대중국 압박은 무역 분야를 뛰어 넘어 과학기술과 인문교류 분야로 확대되고 있는바, ▲중국 유학생 입국 제한 ▲전문가 비자제한 ▲타이완문제 야기 ▲2018년 ‘대만여행법’ 통과 ▲상그릴라 대화 및 인도·태평양전략 보고서에서 대만을 국가로 처음 언급한 점 ▲신장위구르 문제에 대한 개입 등이 그것이라고 본다.

나. 중국 기술혁신체제의 부상

1) 중국식 수직분열형 기술혁신체제

국가연구기관이나 대학의 연구개발 결과를 근거로 기업화에 성공하여 기술혁신을 이루기까지 이끌어 가는 과정은 매우 험난 하고 어려운 과정으로 대부분의 후진국이 이 최종 기업화 개발 과정에서 실패하기 때문에 기술혁신에 좌절하고 만다. 따

라서 중국이 어떤 전략을 택했기에 기술혁신에 성공하고 있는지는 매우 큰 관심의 대상이 될 수밖에 없다. 중국은 중국만이 구사할 수 있는 '수직분열형' 기술혁신 전략으로 이에 대처하고 있다. 수직분열형이란 하나의 제조기술을 그에 속한 하부 요소기술로 세분하여(수직분열) 개발 전략을 짜는 것을 말한다. 예를 들면 자동차 제조기술을 엔진, 타이어, 바디 등으로 세분하여 개발 전략을 짜는 것이다. 이렇게 세분한 후 요소기술별로 자체개발이 가능한 기술과 자체개발이 불가능 해 외부에 의존해야 할 핵심기술 등으로 분류해 개발전략을 짚는다. 문제는 핵심기술 부분을 어떻게 해결할 것인가이다. 이에 비해 핵심기술을 포함하는 모든 요소기술을 자력으로 개발하는 것을 '수직통합형' 방식이라 한다.

중국은 모든 핵심기술을 자력 개발로 해결하는 것은 시간이 걸리고 어려운 것이기 때문에 돌아가는 전략을 구사하고 있다. 중국이 갖고 있는 결정적 강점인 방대한 내수시장과 염가의 생산력을 미끼로 핵심부품을 선진국 기업이 중국에 들어와 생산 공급토록 유도하고 있다. 즉 전체 부품의 조립은 자사에서 하되 자체 기술이 없는 하위 계열 핵심부품은 선진국 기업이 중국에 들어와서 생산 공급토록 하는 수직분열 전략을 구사하고 있다. 핵심부품 공급을 의존하는 외국 자회사라 해도 일단 중국 영토 내에 들어와 있기만 하면 시간이 지나면 기술 자립할 수 있다는 계산이다.

중국의 자동차 시장은 이미 세계 최대 규모로 커졌으며 중국 자동차 메이커는 국내시장의 절반을 공급할 정도로 급성장했다. 그런데 자동차의 핵심부품인 엔진기술은 자력개발하지 않고 외 국인 투자 회사를 유치하여 공급받고 그것을 다른 부품과 조합 하여 자동차를 생산하고 있다. 에어컨의 경우도 마찬가지이다. 핵심부품인 컴프레서(공기압축기)는 외국인 투자 회사에서 조달 하고 있다. 이와 같이 최종 조립 및 판매는 자사에서 담당하나 기술요소별로 나누어 개발하기 어려운 컴포넌트(부품)는 선진국 기업에서 공급받아 제품 개발을 완성하기 때문에 기업화 속도가 매우 빠르고 연구개발 투자도 대폭 감소되는 이점을 갖고 있다. 짜깁기해서라도 우선 생산 능력을 갖추어 경제가 돌아가도록 해 놓고 부족한 핵심기술 부분은 시간을 갖고 차츰 해결하는 전략이다. 그러나 부가가치가 가장 높은 코어 부분이 빠졌다는 근본적 문제도 내포하고 있다.

일반적으로 선진국은 후진국에 핵심기술을 이전하기 꺼려한다. 그래서 핵심기술에 관한 한 후진국은 선진국이 '팔아주기'를 간절히 바라는 약자의 입장에 서게 마련이다. 그런데 중국의 경우는 그와는 반대로 오히려 기술을 '사준다.'는 강자의 입장에서 있는 현상이 벌어지고 있다. 이는 중국 기업의 배후에 있는 크나 큰 버팀목 즉 거대한 시장과 유능한 기술관료의 전략이 담긴 국가지원 정책이 존재하기 때문이다. 거대한 시장의 위력은 핵심기술을 보유한 선진국 기업의 입장을 대폭 약화시킬 수 있다. 중국은 그 강점을 이용하여 거대한 시장을 노리는 외국 투자 기업을 끌어들이고 그들 간의 경쟁을 유발함으로써 핵심기술 확보를 손쉽게 이루어 가고 있다.

그러나 제품의 품질에 결정적 영향을 미치는 핵심기술을 자체 개발하지 않고 수직 분열 방식으로 끼워 맞추어 비즈니스에 성공 했다고 하여도 기술개발력 자체가 선진국 수준으로 향상한 것은 아니기 때문에 기술혁신 체제가 제대로 갖추어졌다고는 할 수 없을 것이다. 이러한 기술혁신 모델은 품질은 부족하지만 가격 경쟁력이 있어 팔릴 수 있는 제품 생산은 가능할 것이고 팔리면 그 돈으로 다시 만들 수 있어 부족한 부분을 차츰 해결할 여유를 갖는다는 전략이다.

2) 중국의 3 단계 기술혁신 강화 전략

중국 정부도 이러한 문제를 잘 알고 있어 1985년 이후 3단계발전 전략을 추진하고 있는데 그 큰 방향은 국가가 기술혁신의 주역으로서 모든 것을 독점하던 사회주의 방식에서 경쟁적 환경 속에서 기업이 기술혁신의 주역을 담당하는 시장경제주의 방식으로 일대 전환하는 것이다.

제1단계 조치는 1985년 등소평이 취한 조치로 기술혁신의 모든 과정을 담당하던 중국의 거대한 국가연구개발조직에 있어 경쟁력을 상실한 연구기관을 과감히 폐쇄하는 내용이었다. 특히 이윤 창출과 직결된 산업기술로서 기업에서 개발해야 타당한 부분을 담당하던 연구기관을 과감히 정리하려 했다. 이로서 국가 연구기관은 기초연구에 보다 충실한 쪽으로 역할을 전환했다. 제2단계 조치는 1992년의 벤처기업 창업 촉진 조치였다. 이는 대학이나 국가연구기관의 기초연구 결과를 경쟁적 시장경제 환경 속의 기업으로 옮겨가서 기업화 및 산업화를 이루어 내는 시장 경제적 기술혁신 방식에 도전토록 하려는 의도였다. 이때를 시발점으로 대학이나 국가연구기관 주변에 벤처기업 설립이 가속화되었고 거대한 사이언스파크들이 형성되기 시작했다. 이 조치는 중국처럼 우수한 기술관료 조직이 존재하여 제대로 된 전략을 구사할 수 있을 경우에 성공한다고 생각된다. 1990년대 말에 우리도 이 전략에 도전했으나 역부족임을 실감했다.

제3단계 조치는 1998년의 '과학홍국' 조치였다. 이는 앞서 말한 수직분열형 기술혁신 체제의 완성으로 중국 나름대로의 하이테크형 기술혁신 체제를 완성하는 조치였다. 이는 대학이나 국가연구소의 연구결과가 기업에 이전되어 기업화에 성공함으로써 기술혁신 전주기를 완결하는 단계의 조치를 의미한다. 대부분의 후진국은 이 단계에서 좌절하고 말아 과학으로 국부를 이루는 '과학홍국'을 실감하지 못하는데 중국은 거대한 시장의 힘과 과학 우선 국가정책으로 이를 나름대로 극복했다. 이 과정에서 핵심기술을 자력으로 해결하는 중요 단계를 우회했다는 결점을 안게 되었으나 우선 국부를 이루는데 결정적 기여를 했다는 것이 더 중요한 의미를 갖는다. 경제가 발전하면 연구개발비의 증액이 가능하고 연구비의 증액은 시간이 지나면 핵심기술 자력개발 문제를 해결할 수 있기 때문이다.

이러한 중국식 '과학흥국' 조치는 기업주도의 기술혁신 체제 구축을 가능케 했다. 대학이나 국립연구기관의 기술 씨앗을 근거로 하이테크 기업이 다수 생겨나고, 그들이 그 씨앗을 길러 조기에 결실함으로서 자립하여 스스로 연구개발을 추진할 수 있게 되는 선순환이 이루어져서 명실공히 과학흥국이 달성된 것이다. 이러한 선순환의 결과는 국가 총 연구개발비 중 기업의 연구비 비중으로 확인할 수 있다. 중국은 이제 국가 전체 연구비의 70% 를 기업이 부담하고 있어 이는 선진국 수준의 비율에 달했음을 의미한다. 일반적으로 개발도상국의 기업연구투자 비율은 30% 이하 수준으로 인도, 태국, 말레이시아 등이 그러하다.

3) 정부의 연구비 투자 확대

계속 확대되는 무역흑자, 대량으로 유입되는 외화 유동성 등에 의해 중국의 외화준비고는 2006년에 일본을 추월하여 세계 1위 자리를 차지했다. 2009년 말 중국의 외화준비고는 2조4천 억 달러로 일본의 2배 이상이었다. 또한 2010년에는 GDP가 일본을 추월하여 미국 다음의 세계 제2위의 경제대국에 군림하게 되었다. 중국 대부분의 과학기술자들은 연구비가 풍족하다고 느끼고 있다. 연구개발에 필요한 자금은 언제나 손쉽게 지원받을 수 있다고 한다.

중국은 2000년대 들어 정부의 연구비 투자를 매년 20% 씩 증가시키는 초고속 투자 확대를 이루고 있다. 중국의 정부 연구비 투자는 2003년의 500억 위안(약 8조 원)에서 2008년의 1100억 위안(약 18조 원)으로 5년 만에 2배 이상 증가되었다. 이 기간 동안에 중국 정부는 한국 정부의 연구비 투자액(약 15 조 원)을 추월하고 말았다.

이러한 정부연구비의 초고속 증가는 중국 정부의 연구비 투자 확대에 대한 특별한 의지 때문이다. 중국 정부는 재정 수입 증가 속도보다는 연구비 투자 증가 속도가 확실히 빨라야 한다는 의지를 법으로 명문화하는 매우 보기 드문 특별 조치를 취했다. 어느 나라에서도 특정 예산 항목의 증가 속도를 법으로 명문화 사례는 찾기 힘들다. 1993년에 제정된 중화인민공화국과 학기술진보법에는 다음과 같은 규정을 명문화했다.

'국가 재정에 있어 과학기술경비의 증가율은 재정수입의 성장률을 상회해야 한다.' 이뿐 아니라 중국 정부는 민간 투자를 포함한 국가 전체의 연구개발비 투자 증액 목표를 정책 선언하는 조치도 취했다. 2007년 정책 발표에 의하면 국가 전체 연구개발비의 대 GDP 비율을 2007년의 1.4% 에서 2020년까지 2.5% 이상으로 증액할 것이라 선언했다.

중국 경제는 연 10%대의 성장속도를 지속하고 있는데 그에 비해 연구개발 투자의 증가율은 그 두 배에 해당하는 연 20 %대라는 경이적인 확대를 지속하고 있다. 2007년의 미국의 연구개발투자는 한화로 약 600조 원, EU가 490조 원, 일본이 270조 원, 중국이 84조 원으로 세계 4위였다. 주목해야 할 점은 과학 기술 투자규모의 성장속도다. 2008년에는 20%를 넘는 24.4% 로 증가했는데 이는 중국 정부가 창신국가(創新國家)라는 슬로건을 내어 걸고 과학기술에 기반을 둔 국가 발전을 추진하고 있기 때문이다. 중국이 이런 속도로 연구투자비 확대를 지속하면 2015년경에는 일본을 추월할 것이라 예상된다.

‘국가자연과학기금위원회’는 중국의 자연과학 분야의 연구활동을 지원하는 기관이다. 즉 기초과학 분야의 학술연구 활동을 지원하는 최대 기관이다. 학술연구 분야 이외의 연구활동에 대해서는 과학기술부, 교육행정부 등 각 부처에서 지원한다. 국가자연과학기금위원회의 예산은 2010년에는 한화로 약 1조 5000억 원(90억 위안)이었는데 연간 25% 씩 급증하고 있어 3년마다 두 배로 증가하는 속도다. 이는 중국 이 이제부터 기초과학 분야의 연구비를 빠르게 증액하는 조치를 취하고 있다는 것을 보여준다. 중국의 기초과학 분야 연구비 비율은 현재 약 5% 수준인데 이는 선진국 수준인 14~24% 수준에 비하면 낮은 수준이었다. 기초과학을 강화하는 것은 모방에서 창조로의 전환을 가속화하고 원천기술의 확보 능력을 강화 하겠다는 의지로 해석된다.

중국에서는 최근에 '창신(創新)' 또는 '자주창신(自主創新)'이란 말을 자주 들을 수 있다. 이노베이션을 의미하는 창신은 제11차 5개년계획(2006 2010년)에서 가장 많이 눈에 띄는 슬로 건 이었다. 2020년까지의 국가 과학기술정책의 기본방향을 규정한 '국가 중장기 과학기술발전 계획강요' 또는 후진타오 주석 및 원자바오 수상의 연설에도 자주 사용되 는 용어이다. 원자바오 수상의 연설에 등장한 사례를 보면 '자주창신 능력의 향상과 창신행 국가의 건설은 국가 발전 전략의 중핵이며 종합 국력 향상의 키포인트입니다.'라고 했다. 이와 같이 창신은 차세대를 향한 국가발전의 중요 전략으로 인식되고 있다.

가속화 되는 최첨단 연구 인프라 구축 요즈음 세계 최첨단 연구기기 메이커들은 뜨겁게 달아오르는 중국 시장으로 모여들고 있다. 대당 약 20억 원 수준인 DNA시퀀서(DNA sequencer)는 요즈음 생명공학 연구에 필수 불가결한 연구 장비이다. 그런데 일본 최고의 기초과학연구소인 이화학연구소는 이 장비를 5대 보유하고 있는데 중국과학원의 북경계놈연구소는 30대나 보유하고 있다. 암 진단용으로 사용되는 최신 장비인 PET(Positron Emission Tomograph)는 임상 의학 연구에 필수장비이다. 미국은 이를 약 3000대 정도 보유하고 있으며 일본은 그 15분의 1인 약 200대인데 중국은 2005 년부터 급속히 도입하기 시작하여 2007년에는 약 100대 정도로 불어났으며 2011년에는 일본과 비슷한 수준인 200대로 추산되고 있다. 또한 단

백질의 입체 구조 분석 등에 사용되는 약 10억 원 정도의 고가의 분석기기인 NMR(핵자기공명) 장치는 도처의 연구실에서 최근에 구입하여 새로 설치된 것을 볼 수 있다.

중국의 연구소나 대학에는 국가가 중점적으로 연구비를 투자하는 연구센터로 지정된 '국가실험실'이 9개가 있다. 그 중의 하나가 우리가 이제부터 건설하려는 장치와 같은 가속기 장치이다. 상해응용물리연구소에서는 약 2400억 원(14 억 위안)을 투자하여 2010년에 완공한 가속기를 국가실험실로 지정받아 보유하고 있는데 약 20만 평방미터의 대형 부지에 건설되었다. 이와 같이 중국의 연구 인프라는 급속히 최첨단 기기로 정비되고 있어 거의 선진국 수준에 접근한 것으로 보인다. 그러나 문제점은 이들 고가 첨단 대형 연구기기를 원하는 대로 원활히 운용하는 능력 즉 소프트웨어 인프라가 아직은 미숙한 수준이라는 점이다.

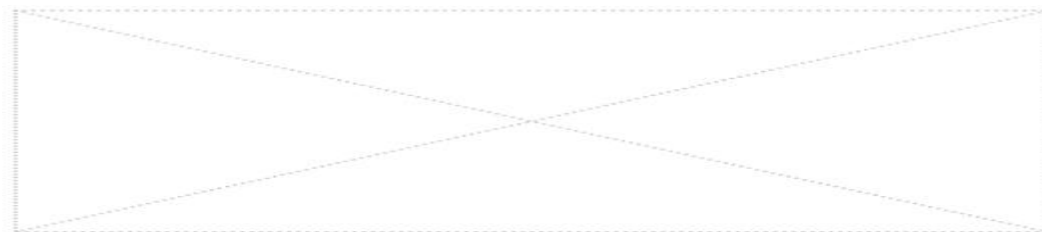
2.3.5. 시사점 및 결론

가. 국제 정치와 기술변화의 상호관계 및 동인

역사적으로 17세기의 중반에 영국과 독일의 기술확산을 촉진한 하이테크 민족인 위그노 교도들은 국제적인 종교전쟁에 승리한 승전국인 네덜란드, 영국, 독일 등으로 유입되었다. 기술력이 우수했던 이들의 유입은 새로운 기술을 잉태하는 시드의 역할을 하기 시작했으며 기업과 국가차원에서 기술의 새로운 질서가 탄생한다. 국제정세에서는 마이너리티였던 이들이 기존의 레짐을 뒤엎는 촉발자의 역할을 한 것이다. 기술혁신의 힘은 국제정치 지형을 변화시킨다는 관점에서 그 중요성이 강조되고 있다. 슉페터가 말한 바와 같이, 우선 기업가가 기술에 의해서 커다란 경제의 파동을 만들어 낸다. 예를 들어 19세기의 전반은 철도기술, 후반은 제철 등의 중공업기술, 20세기에 들어와서는 전기, 통신, 유기화학기술 등이 경제를 이끌었고, 20세기 후반에는 컴퓨터와 반도체 등의 소위 말하는 하이테크 정보기술이 경제의 커다란 파동을 이끌어 왔다. 기술혁신은 경제를 움직이고, 이는 다시 정치적인 패권국가 중심의 질서를 공고히 하거나 변화시킨다는 점을 고려할때 중국적으로 기술은 국제정치에 작용하기 마련이다. 이와 같이, 테크노 헤게모니는 기술 쪽에서 국제 시스템에 관여하는 형태를 설명하는 개념이다. 어떤 나라는 기술의 패권을 차지함으로써 경제적 • 군사적 패권을 차지하게 된다.

이들을 기반으로 하여 정치적 패권을 획득한다. 그 초반에 주변국에 대해서 비대칭적인 관계 (군사원조라든가 자국의 시장을 개방하는 것)를 구축한다. 이 비대칭적인 관계와 주변국의 존재라는 두 개의 조건에 의해서, 그 나라는 국제 시스템의 질서 메이커로서의 지위를 확립함으로써 테크노 헤게모니를 형성한다. 그러나 앞의

그림에서 보는 바와 같이 기술과 국제정치와의 관계에는 또 하나의 인과 루트가 존재한다. 그것은 반대방향의 피드백(feedback), 즉 국제정치가 기술을 움직인다는 인과루트이다.



[국제패권질서와 혁신의 상보관계]

이 루트는 두 가지 이유에서 지금까지 눈에 잘 띄지 않았다. 첫째는, 기술이 경제력을 높여 국제 시스템을 동요하게 하는 루트가 너무나도 상식적인 것이었기 때문에 다른 인과관계를 생각할 필연성이 없었기 때문이다. 두 번째는 기술문제에는 기술 전문가가 등장한다. 이들의 전공 특성상 국제정치나 국제 시스템에 대한 교육과 경험이 부족하기 때문에 국제정치가 기술에 작용한다는 발상을 하기 어렵기 때문이다. 그런데 과거 미-일, 현재 미-중 하이테크 마찰 등, 현재의 기술문제는 기술이 국력을 제고한다는 단선적인 방식으로서는 해소되지 않을 가능성이 높다. 군사기술 문제도 기술만으로는 올바르게 다룰 수 없게 되었다. 즉 국제 시스템의 움직임이 점점 더 기술에 복합적으로 관여하게 되었기 때문이다. 이는 시장이 균질하지 않고 변수가 더욱 다양해지는 글로벌화와 함께 더욱 복잡하게 강화될 것이다. 더구나 다양한 문화와 정치체제를 갖는 지역시장의 집합체이기 때문에 글로벌 전략을 생각하는 기업은 글로벌한 정치의 움직임이나 그 중의 일부인 로컬지역의 정치와 문화에 영향을 받게 된다. 문제는 국제정치는 기술이나 경제의 합리주의와는 달라서, 국민감정이라든가 역사, 지역의 국제관계라는 합리적이지 않을 수 있으며 예측 가능성이 높지 않기 때문이다. 갈등관계는 물리적인 충돌로 해소되는 경우가 많았기 때문에 전쟁과 같은 시스템 전체의 불안정성을 높이는 해소방식에 대한 우려가 상존한다. 기술혁신이 절벽에 봉착해 있는 요즈음 새로운 기술은 소수의 핵심기술력을 가진 마이너리티 레짐 이론에 따라서 그들의 기술이 체제에 흘러들어 메인 무대 기술로 발전할 것인가의 여부는 그것을 국제정치가 어떻게 담게 될 것인가에 영향을 받는다. 인공염료 기술이 하이테크 케미컬 기술로 성장한 것이라든가 컴퓨터가 발전하게 된 것은 제1차 세계대전이나 제2차 세계 대전이 있었기 때문에 가능했던 것이다. 또한 로켓기술이나 DAC (컴퓨터 이용 설계 시스템), CAM(컴퓨터 이용 제조 시스템) 기술이 발달한 것은 냉전이 있었기 때문이다.

문제는 이러한 여건 속에서 어떻게 기술이 축적되느냐이다. 이에 대해 테크노헤게모니의 저자는 에뮬레이션이라는 개념을 도입한다. 기술의 에뮬레이션(Emulation)이란, 기술의 모방+알파라는 의미를 갖는다. 모방(Imitation)은 개념은 기술인력이나 기술계약, 리버스엔지니어링, 불법적 복제 등을 포함한 다양한 방식으로 발생하

는데, 이에 대해서는 한국을 포함한 동북아 국가들의 경제성장을 설명하는 모형이기 때문이다

여기에서 알파가 일어나는 두 가지 경우를 살펴보면, 첫 번째 경우는 민간기업 간의 경쟁적으로 모방이 일어나 기술끼리 융합시켜 플러스 알파를 형성하는 경우이다. 예를 들어 19세기 후반의 일대 발명품인 백열전등의 경우를 보면, 인공적인 백열광 발생 기술은 영국인 한프리 데비가 발명했고 많은 사람들이 모방 경쟁을 했다. 그러나 하만 스프렌겔이 고효율의 진공펌프를 발명했을 때 전혀 다른 움직임이 나타났다. 이로써 백열전등의 필라멘트가 공기 중에서 산화하여 타지 않기 때문에 여러 가지 필라멘트 소재를 생각해낼 수 있게 되었다. 이 경우 진공펌프가 외부 기술이며, 기존의 백열등 기술과 결합하여 에플레이션으로 이행한다. 에플레이션이 발생하면 어느 나라가 돌연 대두된다. 미국의 GE사와 웨스팅하우스가 영국의 스완 전등 회사를 추월하여 급속히 부상한 것이 그 사례이다.

두 번째 경우는, 그 나라가 당면한 고유의 정책문제를 해결하려는 국가적 노력이 특정 기술을 급속히 발전하게 하는 경우이다. 예를 들면, 16세기 후반의 영국은 스페인이나 프랑스의 침략 위기에 놓여 있었다. 이로 인해 당시에는 후진국이었던 영국은 서둘러서 대포기술을 개발할 필요가 있었다. 결국 영국은 당시 대륙의 값비싼 청동제 대포를 염가로 대체할 수 있는 철제 대포 기술 개발에 성공하게 되고, 결국은 무기 대국이 되었다. 또한 19세기의 독일은 급속한 인구 팽창에도 불구하고 척박한 토지로 인하여 식량문제 해결이 심각한 문제로 대두되었다. 독일의 농업화학 기술의 발달은 이때가 계기가 되었다.

이를 종합해보면 현재의 과거 미-일 무역 마찰문제, 미국-중국 간의 전면적 갈등은 패권국가를 위한 혹은 유지하기 위한 국제정치와 기술혁신간의 상호관계를 떠나서는 생각하기 어렵다. 기술 측면에서 본다면, 그 전 세계를 두 진영으로 나누었던 냉전시대 역시 미국형의 테크노 헤게모니와 소련형의 테크노 헤게모니가 맞부딪쳐 생긴 균형상태로 볼 수 있다. 당시 소련은 제2차 세계대전 이후, 빠른 속도로 군사기술을 발전시키면서 민생기술의 공동화가 생기게 되었다. 소련은 동유럽의 체코슬로바키아 등에 민생품을 공급하게하고 그 대가로 석유와 천연가스 등의 연료를 지불함으로써 자기 진영 내에서의 헤게모니를 유지할 수 있었다.

이에 비해 미국은 세계대전이 끝난 시점에서 세계 GNP의 절반을 보유하고, 동시에 압도적인 군사력까지 소유하고있었다. 이런 상황에서 동맹국에 기술을 지원하여 비대칭성과 추종자가 있는 테크노 헤게모니를 실현해 나갔는데 1957년에 스푸트니크 쇼크로 인해 큰 정책기조가 바뀌게 된다. 당시 군사기술은 원자폭탄 등은 미국이 우위에 있었지만 로켓이라든가 위성 등은 소련이 압도적으로 강했습니다. 그래서 미국은 대대적으로 방향을 전환하기시작하는데 소련에 대응하기 위해 미국에서도 우수한 기술자들이 항공우주 분야를 지원하게 되었습니다. 군사기술로서 컴퓨터

를 연구하고, 로켓을 만들며, 아폴로 계획으로 NASA에 모여들었습니다. 이와 동시에 텔레비전과 자동차, 세탁기, 냉장고 등을 만드는 기술인력들의 공동화 현상이 나타나면서 동시에 일본의 민간기술이 급격히 미국시장으로 흘러들어가게 되었고 팍스아메리카나라는 체제가 유지되었다.

기술·산업적 측면에서 4차 산업혁명(4차 산업혁명)은 기술산업 간 융합을 통해 산업구조를 변화시키고 새로운 스마트 비즈니스 모델을 창출시킬 것으로 예상된다. 초연결성과 초지능화는 사이버물리시스템 기반의 스마트 팩토리(Smart Factory) 등과 같은 새로운 구조의 산업생태계를 만들어낼 것으로 전망된다. 독일은 4차 산업혁명에 대비하여 사이버물리시스템 기반의 '인더스트리 4.0(Industry 4.0)' 전략을 제시하였다. 인더스트리 4.0은 사물인터넷, 빅데이터, 3D프린팅 등 그 동안 발전해온 IT와 물리분야 기술들을 모두 활용하여 생산방식을 전면적으로 재편하는 것이다. 인더스트리 4.0이 지향하는 최종목표는 스마트 공장이다. 스마트 공장은 공장 내부뿐만 아니라 전후방 관련기업들을 모두 포함한 가치사슬에 참여한 모든 기업들과도 정보를 교환하여 최적의 생산을 지향한다. 사이버물리시스템은 생산과정의 주체를 바꾸게 되는데, 기존에는 부품, 제품을 만드는 기계설비가 생산과정의 주체였다면 이제는 부품, 제품이 주체가 되어 기계설비의 서비스를 받아가며 스스로 생산 과정을 거치는 형태의 산업구조로 변화한다는 것이다. 산업인터넷(industrial internet)은 산업현장의 기계들에 센서를 내장하고 제품 진단 소프트웨어와 분석 솔루션을 결합해 기계와 기계, 기계와 사람을 연결시켜 기존 설비나 운영체계를 최적화하는 기술을 말한다. 현재 산업인터넷의 가장 큰 효과는 장비의 결함을 발견하고 예상치 못한 고장을 미연에 방지하는 데서 나타난다. 그 밖에도 장비에서 제공되는 실시간 정보들을 자동으로 분석하는 모니터링 시스템을 통해 효율을 제고할 수 있다.

나. 연구개발 관점의 시사점

1) 기초 연구개발 프로세스의 머시러닝 기법 도입

기술혁신의 패턴은 공정기술의 혁신과 수반되는 경향성을 띄고 있기 때문에 연구개발 프로세스 자체에 대한 공정혁신을 유도하기 위해서는 AI 기술을 기초연구분야에 도입해야하며, 특히 일본과의 소재분야 격차해소를 위해서는 필수적인 기술융합 필요

경기순환 주기가 일정한 패턴을 그린다고 가정할 때 다음 파동을 이끄는 혁신기술에 대해 많은 학자들이 주목하고 있지만 명확하고 독보적으로 산업을 리드할 혁신적 기술에 대한 합의는 아직 이루어지지 않고 있다. 이들의 논의를 종합해보면 초연결성, 초지능화 특성을 가지고 있고, 이를 통해 사람과 사물이 상호 연결되고 보다 지능화된 사회로 변화시킬 것으로 전망 속에 구체적인 기술로는 사물인터넷, 클

라우드 등 정보통신기술의 발전을 기반으로 인공지능과 빅데이터가 융합되는 형태로 신산업이 창발될 것이라는 전망이 우세하다. 산업시장에서도 딥 러닝(Deep Learning) 등 기계학습과 빅데이터에 기반한 인공지능과 관련된 시장이 급성장할 것으로 전망되고 있다. 인공지능 시스템 시장은 2015년 2억 달러 수준에서 2024년 111억 달러 수준으로 급성장할 것으로 예측되고 있고(Tractica, 2015), 인공지능이 탑재된 스마트 머신의 시장규모가 2024년 412억 달러 규모가 될 것으로 보고 있다(BCC Research, 2014). 이러한 기술발전 속도와 시장 성장 규모는 '초지능화'가 제 4차 산업혁명 시대의 또 하나의 특성이라는 점을 말해주고 있다.

스마트화된 공정기술은 연구개발에도 그대로 응용될 수 있으며 이미 화학과 제약산업에 활용되고 있다. 전통적인 화학산업에 머신러닝기법을 적용함으로써 새로운 연구 툴로 활용되고 있으며 특히 그동안 기업 혹은 전문가의 노하우로 간주되어 온 소재합성/신물질 합성 분야에 혁신적 변화를 유도하고 있다. 영국 러더퍼드 애플톤 연구소의 키스 버틀러(Keith T. Butler) 박사, 바스 대학의 대니얼 데이비스(Daniel W. Davies) 교수, 옥스퍼드 대학 휴 카트라이트(Hugh Cartwright) 교수 등 5명의 화학자가 작성한 논문을 통해 머신러닝이 최근 화학연구 패턴을 어떻게 바꾸어놓고 있는지 연구자 입장에서 상세히 기술하고 있다.

신물질 합성은 그동안 직관(intuition)과 우연(chance) 그리고 무수한 시행착오(trial & error)가 발생하는 과정이다. 이로 인해 많은 화학자들이 많은 어려움을 겪어왔으며 화학선진국의 기술력은 이러한 과정을 거친 결과라는 관점에서 볼 때 앞으로 소재분야 R&D 프로세스에서 머신러닝은 기술격차를 더욱 벌어지게 하거나 혹은 줄일 수 있는 수단이다. 영국의 버틀러 박사는 현재 머신러닝의 수준이 화학자들이 놓치고 있는 것을 보완하고, 연구 속도를 빠르게 하는 정도라고 분석했다. 그러나 이 작업이 마무리되는 시점에서는 머신러닝 스스로 사람을 뛰어넘는 능력을 발휘할 수 있을 것으로 보고 있다. 실제로 최근 한국에서도 관련된 사례가 한국의 연구개발 현장에서도 보고되고 있다.

최근 KAIST 정유성 교수 연구팀은 머신러닝 알고리즘으로 하여금 기존의 수만개의 물질들과 그 물질들이 갖는 물성을 학습하게 한 후, 원하는 물성을 갖는 물질을 알고리즘(인공지능)이 역으로 생성하는 소재 역설계 모델이다.

하지만 기존에 제시된 소재 역설계 모델은 이미 알려진 소재 데이터베이스에 기반하여 원소를 치환함으로써 데이터베이스를 확장해 이론적 또는 실험적 방법을 통해 소재의 특성을 측정하여 새로운 물질을 설계하는 방법으로 기존에 데이터베이스에 존재하지 않는 물질을 설계할 수 없다는 단점이 존재했다. 고체 소재의 경우 이를 효율적으로 적용하기 위해 필요한 역변환이 가능한 표현자가 존재하지 않아 적용이 어렵다는 단점이 존재한다. 따라서 역변환이 가능한 표현자의 개발 및 이를 통한 기존 데이터베이스에 존재하지 않는 물질을 생성할 수 있는

역설계 모델 구축은 필수적인 일이다. 이 가운데 국내 연구진 KAIST(총장 신성철) EEWS대학원/생명화학공학과 정유성 교수 연구팀이 인공지능(AI)을 활용해 원하는 물성을 갖는 신소재를 역설계하는 기술로 수만 개의 물질을 학습시킨 뒤 AI를 통해 원하는 물성을 갖는 소재를 역설계하는 방식으로 4종의 신물질을 발견한 것이다.

이처럼 정 교수 연구팀은 AI 기술과 슈퍼컴퓨터 활용을 융합해 이러한 소재 개발 기간을 크게 단축할 수 있는 새로운 소재 역설계 방법을 개발하고 개발한 소재 역설계 방법은 기계(알고리즘)로 기존의 수만 개 물질과 그 물질들이 갖는 물성을 학습하게 한 후, 원하는 물성을 갖는 물질을 AI 기반 알고리즘이 역으로 생성하는 방식이다. 국내 연구진 KAIST(총장 신성철) EEWS대학원/생명화학공학과 정유성 교수 연구팀이 인공지능(AI)을 활용해 원하는 물성을 갖는 신소재를 역설계하는 기술로 수만 개의 물질을 학습시킨 뒤 AI를 통해 원하는 물성을 갖는 소재를 역설계하는 방식으로 4종의 신물질을 발견한 것이다.

보통 패턴 인식에서 분류에 쓰이는 모델은 크게 2가지로 생성 모델(Generative model)과 판별 모델(discriminative model)이 있다. 판별모델은 샘플 데이터 세트(sample data set)을 생성하는 모델이다. 다시 말해, 학습하는 데이터의 분포를 학습하게 된다. 반면에 판별 모델은 샘플을 생성하지 못한다.

연구팀이 개발한 신소재 역발견 모델은 생성모델 기반의 AI 기법을 이번 연구에서 '알려지지 않은 무기 고체 소재를 생성하는 데 최초로 적용해' 기존의 생성 모델을 고체 소재에 적용하기 위해 역변환이 가능한 3차원 이미지 기반의 표현자를 도입함으로써 현재까지의 소재 역설계 모델의 한계를 극복했고, 이를 iMatGen(image-based Materials Generator)이라 이름 지었다.

또한 연구팀은 개발된 소재 역설계 기법을 새로운 바나듐 산화물 결정구조를 예측하는데 적용했다. 이 학습 과정에서 기존에 알려진 물질을 제외해 학습하더라도 제외된 물질들을 역으로 재발견할 수 있음을 확인해 개발 모델의 타당성을 검증했다. 최종적으로 개발된 모델을 통해 학습된 연속 잠재공간을 다양한 방법으로 샘플링하고 역변환 함으로써 기존에 존재하지 않는 전혀 새로운 바나듐 산화물 결정구조를 예측할 수 있었다.

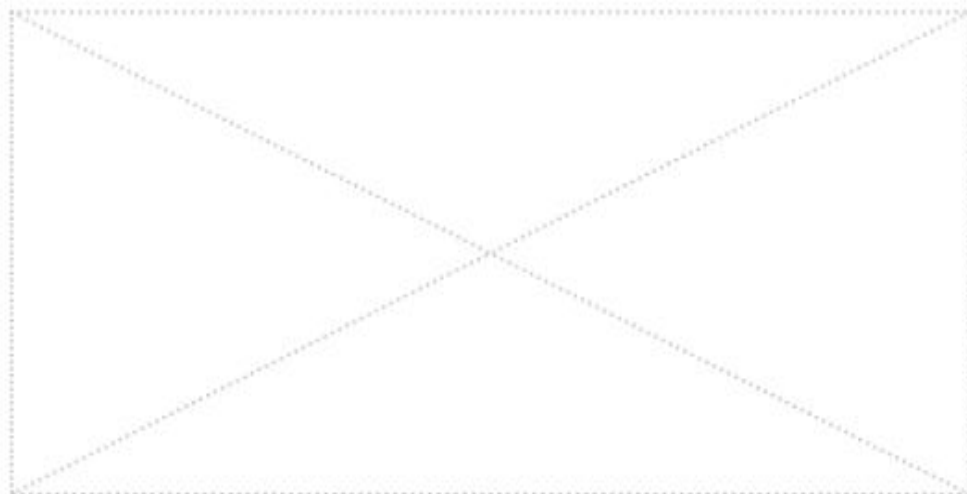
* 인공지능 신문사 2019년 10월 7일자발채(<http://www.aitimes.kr/news/articleView.html?idxno=14391>)

2) 기초연구의 생태계화 전략

기초연구 단계에서 주목받는 소수 주제에 대한 집중연구 보다는 추후 기술 망을 구성할 수 있는 기술군집 분야에 대한 연구플랫폼 형태로 추진함으로써 예측하기 어려운 기술수요에 대응

장주기 이론에 따르면 기술의 혁신은 군집형태로 발생하면서 다른 분야의 기술들과 융합되면서 급속한 변화를 이끄는 동인으로 작용한다. 최근의 기술진화의 복잡성을 고려할때 단일기술/단일 품목에 대한 연구개발은 성공하지 못할 가능성이 높기 때문에 기술 네트워크 형태의 연구개발 전략이 중요하다. 특히 기초연구의 경우 단일 기술에 대한 활용가능성이 높고, 융합가능성이 높기 때문에 화학소재산업의 경우 유효한 것으로 파악되고 있다.

일례로, 일본 RIKEN의 분광현미경 분야의 기술전략을 살펴보면, 일본은 분광과 관련한 모든 방식 (발광 분광, 라만 분광, 전기화학)에 대한 기초연구에 투자함으로써 분광학 기술 전체를 플랫폼 형태로 개발한다. 이 방식의 단점은 시장에서 어떤 기술에 대한 수요가 더 크고 유망한지 파악하기 어렵기 때문에 실패확율도 높지만, 역으로 장점은 어떠한 기술수요에도 대응할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 실제로 이러한 패키징 기술을 토대로 응용을 거듭해 도요타 리튬배터리 및 코니바사의 순수(물) 정화 시스템기술로 확장해 나간다. 그러나 한국은 기술수요가 클 것으로 전망되는 특정기술을 바탕으로 집중적으로 투자하는 방식을 선호하는데, 이는 산업현장에서의 이슈대응에는 유리한 것이 사실이다. 하지만, 업계의 수요가 라만분광 방식에서 갑작스럽게 단일분자 분광학방식으로 전환될 경우 기술적인 공백이 발생할 가능성이 매우 높다. 이 과정에서 일본이 한국과 다른 점은 성과지향적으로 연구가 한쪽(주류분야)으로 치우치는 것을 보완하기 위해 기존의 전통분야에 대한 투자도 동시에 진행한다. 한국 연구개발 현장의 성과지향적인 성향에 대한 시사점이 될 수 있다.



[단일분자 분광학 현미경 기술개발 전략]

한국은 업적을 중요하며 그렇기 때문에 연구분야가 주류분야에 쏠려 있는 경향이 있으며 일본도 주류분야에 몰리기는 해도 한국보다는 완만한 편이라는 것이다. 일본의 이러한 성향도 독일의 연구개발 전략으로부터 학습한 결과다. 독일의 경우, 첨단 기술 분야 투자에 관계없이 전통적으로 가지고 있는 기술에 대한 지원도 지속적으로 추진하고 있는데, 이는 결국 정부에서 비주류, 전통기술에 대한 정책을 세우고 지원하지 않으면 향후 비주류 분야가 이슈가 되었을 때 대응할 수 있는 방안이 없기 때문이다.

3) 기초 연구에 대한 정부의 인내와 시장창출

정부가 직접 기술을 개발함으로써 신산업을 육성하는 동력을 창출하는 방식은 발전주의 국가를 탈피하면서 분명 수정되어야 하지만, 기초연구에 있어 정부의 적극적인 역할(특히 인내자본의 역할)은 여전히 유효함

한국 정부가 추진해온 Fast catch-up 방식의 정책기조는 연구개발 정책에도 영향을 주었으며, 그동안 추진해오던 국가주도의 연구개발 정책에 대한 회의론도 제기되는 것이 사실이다. 이는 국가주도 연구개발에 대한 직접적인 비판이라기보다는 정부의 연구개발 방향에 대한 변화가 필요함을 시사한다고 해석하는 것이 합리적이다. 그러나 문제는 어떤 방향으로 기초연구정책이 나가야할지에 대해서는 뚜렷한 합의는 부족한 실정이다.

이에 대해 기초과학 관점에서 정부의 역할이 오히려 확대되어야 한다는 주장이 설득력을 얻고 있으며, 특히 기업이 하지 않는, 할 수 없는 고위험의 기초연구에 집중적으로 투자하는 것이 합리적이라는 주장이 제기되었다. 즉, 민간이 혁신을 주도하고, 국가는 단지 배후에서 환경만 만들어주면 되는가라는 질문에 대해 UCL의 마주카토 교수(Mariana Mazzucato)는 미국의 실리콘 벨리를 만들어낸 것은 벤처자본이 아니고, 국방부의 끊임없는 기술개발 요구와 투자가 주요했다고 주장한다. 마주카토 교수는 특히 일반적인 민간 벤처자본은 5년 이상의 장기적인 혁신이 필요한 것을 감당하려 하지 않는다고 지적한다. 민간 부문은 근본적으로 새로운 제품의 혁신과정을 피하려는 성향을 지니고 있기 때문에 장기간 인내할 수 있는 국가가 나서서 불확실하고 리스크가 높은 투자를 해야 한다고 주장한다. 냉전에서의 방위전략을 수립하는 과정에서 자연스럽게 국가의 요구사항이 산업계에 전달되었으며 공공구매 방식으로 혁신적인 기술에 대한 수요자 역할을 자처했기 때문에 오늘날 실리콘벨리의 기술력이 축적될 수 있었다고 주장한다.

스마트폰 시장을 개척한 아이폰을 예로 들면, 핵심이 되는 기술들은 모두 국방에

서 비롯되었다는 주장이다. 월드와이드 웹의 프로토콜은 국방데이터를 전송하기 위한 기술에서 파생되었으며, GPS기술 역시 군사위성을 이용하고 있고 무선통신 기술 역시 그 근간은 국방분야에서 오랫동안 축적된 결과라는 점을 고려하면 대부분의 기술이 민간이 아닌 국방분야, 즉 국가가 투자한 성과에서 비롯되었다는 점이다. 마주카토 교수는 이러한 기술투자 활동이 스마트폰을 구성하기 위해 창출되지는 않았으나 국가의 필요에 의해 기술이 진보되었고 이를 결국 애플이 엔지니어링 함으로써 스마트폰 시장에서 막대한 경제적 효과를 미국이 누리고 있다는 점을 강조한다. 이 뿐만 아니라 NASA가 달착륙을 위해 투자한 과정들, 핵개발에 투입한 기술들이 결과적으로는 기술헤게모니와 패권국가로서의 위치를 공고히하는데 결정적인 성과로 연결되었다.

이러한 사례들이 한국의 기초연구 정책에 기여한 시사점은 정부의 역할은 비록 현재의 시장에 투자하는 것도 중요하지만 현재는 존재하지 않는 시장에 대한 투자를 해나가는 것으로 볼 수 있다. 즉, 연구개발 과정에서의 실패에 대해 인내하는 기조를 이어나가는 것이 중요하다는 의미이다. 과거와 같이 새로운 성장동력 창출을 위해 직접 정부가 나서서 기술을 개발하고 단기성과를 거두는 방식은 지양하고 정부가 직접적으로 연구개발의 수혜자가 될 수 있는 시장을 열어주는 방식으로의 전환이 요구된다.

2.4. 미국정부의 기초·원천연구개발 지원 및 연구성과 기술사업화 현황

2.4.1. 분석 배경

트럼프 대통령은 FY2020의 R&D를 위해 약 1,341억 달러를 계획했으며, 이는 2018 회계 연도에 제안한 1,533억 달러보다 17억 달러(1.2 %) 감소한 것이다. 대통령의 FY2020 R&D 계획은 인플레이션을 감안하면, 2018 회계 연도 실질 수준에서 5.2% 감소한 것이다. 이 보고서는 R&D 및 관련 활동에 대한 대통령의 FY2020 계획에 대한 정부 및 관련 기관 분석을 제공하고자 한다. 그리고 R&D 재정 지원의 효율화 및 기술사업화의 확장을 추구하는 미국정부의 프로그램을 검토하고, 이에 대한 시사점 도출을 통해 한국정부의 기초기술개발 및 사업화 활성화 방안에 도움이 되고자 한다. 2020년 미국연방정부예산의 슬로건은 “보다 나은 미국을 위한 예산. 납세자 우선주의, 약속은 지켜졌다(A Budget for a BETTER AMERICA. Promised Kept. Tax Payers First)”로 정해졌으며 미국정부의 예산 효율을 극대화하는 것에 중점을 두고 있다. 세금납세자 우선주의라는 슬로건은 미국경제가 상승세인 점을 발판으로 2021년 재선에 도전하는 트럼프 대통령의 승리를 위한 기반이라고 해도 과언이 아닐 것이다.

미국은 사상가, 발명가, 기업가 정신을 바탕으로 한 글로벌 강국이라 할 수 있다. 자유시장주의와 대담한 아이디어에 힘입어 미국인들은 세계의 부러움을 사고 있으며, 과학 기술을 발전시키고 국가를 번영하고 강력하게 만드는 혁신 생태계를 만들어왔다. 미국은 전등(Light Bulb/Electricity)의 기적을 사람들의 집에 가져 왔고, 컴퓨터, 인터넷, 및 핸드폰/핸드폰기기를 선도함을 물론 우주항공기술개발도 앞장서왔다. 2017년 1월 트럼프 대통령 취임과 더불어 미국 연방연구개발(R&D) 투자를 기반으로 미국은 인공지능(AI) 및 양자 컴퓨팅에서 생명 공학, 고급 무선 통신 및 우주 상업화에 이르기까지 오늘날의 최신 기술을 선도하려고 노력중이다. 규제 완화, 과학, 기술, 공학 및 수학(STEM) 교육 및 인력 개발에 대한 투자와 함께 기본 및 초기 단계의 응용 연구에 중점을 둔 연방 R&D지원비는 국가의 혁신 기반을 강화하고 미국의 입지를 강화하여, 이를 바탕으로 일자리 성장, 지속적인 번영, 국가 안보 강화를 기대하고 있다.

2020년 미국 연방정부의 R&D정책 및 투자 관련해서 트럼프대통령의 사업가 철학이 녹아있다고 해도 과언이 아니다. 우선 군사 및 우주(Military & Space) 기술개발은 강화하고 타 분야는 투자 효율화 즉, 고위험·고영향력(Return on Investment)을 중심으로 산하 연방 R&D부서로 하여금 예산절감을 요구하였고 연구개발 결과의 산업과 시장과의 연계 활성화를 모색하였다. 트럼프대통령은 미국이 글로벌 리더쉽을 위해 과감히 시장규제를 풀고 기업의 투자 환경을 개선하는 동시에 세금을 절약하는 방향으로 목표를 설정하였다. 미국연방정부 R&D 우선 분야로 미국인의 안전,

인공 지능, 양자 정보 과학 및 전략적 컴퓨팅 분야의 미국 리더십, 미국 통신 네트워크 연결성 및 자율성(드론 및 자율자동차), 미국 제조, 미국 우주 탐사 및 상업화, 미국 에너지 지배, 미국 의료 혁신, 농업 분야의 글로벌 리더십이 강조되었다. R&D관련해서는 21세기 경제를 위한 인력 교육 및 훈련, R&D 인프라 관리 및 현대화, 기관 간 효율화 조정 및 기업과의 협업 극대화, 실험실에서 시장으로의 기술 이전, 산업계 및 학계와 협력의 방향성이 제시되었다.

2.4.2. 미국 기초원천연구개발 2020년 예산지원현황

트럼프 대통령은 FY2020 R&D에 약 1,341억 달러를 투자할 것을 계획하였다. 이는 2018회계 연도 대비 1.2억 달러(1.2%) 감소한 수치이다. 인플레이션에 맞게 조정하면 FY2020 R&D 계획은 2018 회계연도보다 5.1% 감소한 것으로 나타났다. R&D 지원은 몇몇 부서와 기관에 집중되어있다. 2018 회계 연도에 8개의 연방 기관이 총 연방 R&D 자금의 96.3%를 지원 받았으며 국방부(DOD, 38.6%)와 보건복지부(HHS, 27.2 %)가 전체 연방의 거의 3분의 2를 차지하고 있다. 8개 기관의 R&D지원비는 FY2020 계획의 97.2%를 차지하고 있으며, 국방부(DOD)는 44.3%, 보건복지부(HHS)는 25.1%를 차지한다.

대통령의 FY2020 예산 계획에 따라 대부분의 연방 기관은 R&D 자금이 감소하는 것으로 결정이 되었다. 그러나 국방부는 예외다. 국방부가 요청한 FY 2020의 R&D 자금은 2018 회계 연도보다 71억 달러(13.5%)가 추가되었다. 교통부 및 재향군인부(Department of Transportation and Veterans Affairs)는 R&D 자금이 약간 증가할 것으로 예상된다. FY2018와 비교하면, FY 2020 예산에서 R&D 자금이 가장 많이 삭감된 기관은 에너지부 (DOE 28억 달러, 15.8%), 국립과학재단(5억 5천 5백만달러, 9.0%) 및 국가항공 및 우주관리 (475백만달러, 4.0%)이다. 대통령의 FY2020 예산요청은 기초 연구에 대한 자금을 15억달러(4.0%), 연구에 적용한 43억달러(10.5%), 시설 및 장비에 50억 달러(12.8%)로 줄이고 개발 기금은 45억달러(8.3%) 줄었다.

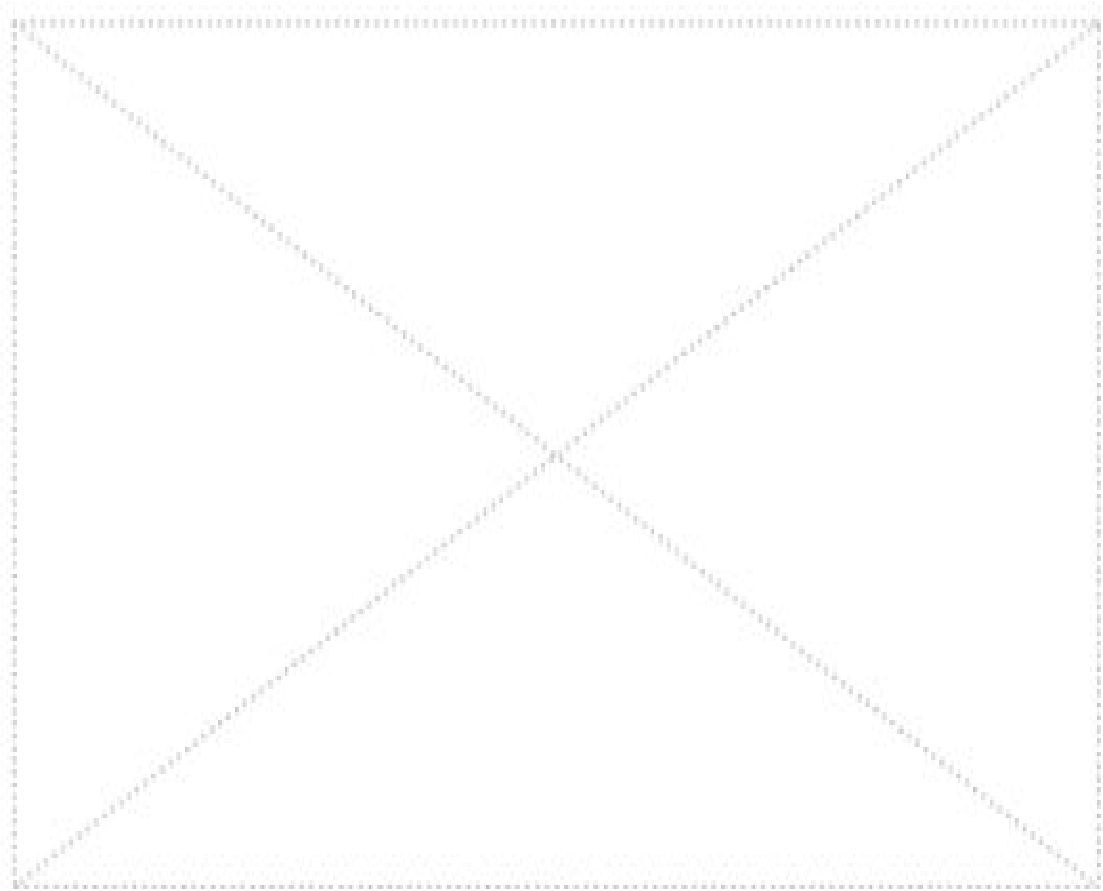
기초연구 자금 지원 부분이 제일 적게 삭감이 되었다. 현재 미국 국회는 미국 연구개발 (R&D) 및 연방 R&D 활동에 대한 지원 평가에 계속 관심을 갖고 있다. 연방 정부는 제트기 및 인터넷에서 통신 위성, 셰일 가스 추출, 질병방어에 이르기까지 과학적 혁신과 새로운 기술로 이끌 R&D에 지원하는데 중요한 역할을 해왔다. 최근 몇 년 동안 연방 부채, 최근 및 예상 연방 예산 적자 및 연방 예산 상한에 대한 우려가 연방 예산 전체의 맥락과 연방 R&D 포트폴리오 내에서 경쟁 요구에 따라 R&D 우선순위 결정에 어려운 결론을 내렸다. 미국 정부는 광범위한 과학 및 엔지니어링 R&D에 지원하고 있다. 국방, 보건, 안전, 환경 및 에너지 안보 문제 해결

과 같은 특정 문제, 지식을 전반적으로 발전시키는 것, 과학 및 공학 인력 개발, 세계 경제에서 미국의 혁신과 경쟁력 강화, 연방 정부가 자금을 지원하는 대부분의 R&D는 개별 자금 지원 기관의 고유한 임무를 지원하기 위해 수행된다. 연방 R&D 예산은 이러한 기관의 R&D 활동을 집계한 것이다. 중앙 집중식 R&D 자금은 없다. 연방기관 R&D 예산은 각 기관의 전체 예산 개발 프로세스의 일부로 내부적으로도 개발된다. 대행기관 예산은 미국예산관리국 (Office of Management and Budget, OMB)의 검토, 수정, 승인을 거쳐 대통령이 연례 예산을 의회에 제출한다. 그런 다음 각 연방 기관의 R&D 활동을 집계하여 연방 R&D 예산을 계상한다. 총회는 R&D 자금의 수준과 할당 (전체, 기관 내, 특정 프로그램)에 대한 결정을 내릴 때 국가의 R&D 우선 순위를 정의하는데 중심적인 역할을 한다.

최근 몇 년간 의회의 일부 의원들은 연방 적자 및 부채에 비추어 R &D 및 기타 목적으로 연방 지출 수준에 대해 우려를 표명했다. 다른 의회 의원들은 국가의 미래 경쟁력에 대한 투자로서 R&D에 대한 연방 지출 증가에 대한 지지를 표명했다. 의회가 FY2020 예산 책정 프로세스를 완료함에 따라 연방 R&D에 소비되는 연방 예산 금액과 사용 가능한 자금의 우선 순위 및 할당이라는 두 가지 중요한 문제가 있다. 천문학처럼 늘어나는 미국부채 때문에 예산 절감은 이제 필수가 되었다. 트럼프 대통령은 FY2020의 R&D를 위해 약 1,134억 달러를 제안했으며, 이는 2018 회계연도 1,533억 달러보다 17억 달러(1.2%) 감소한 것이다.

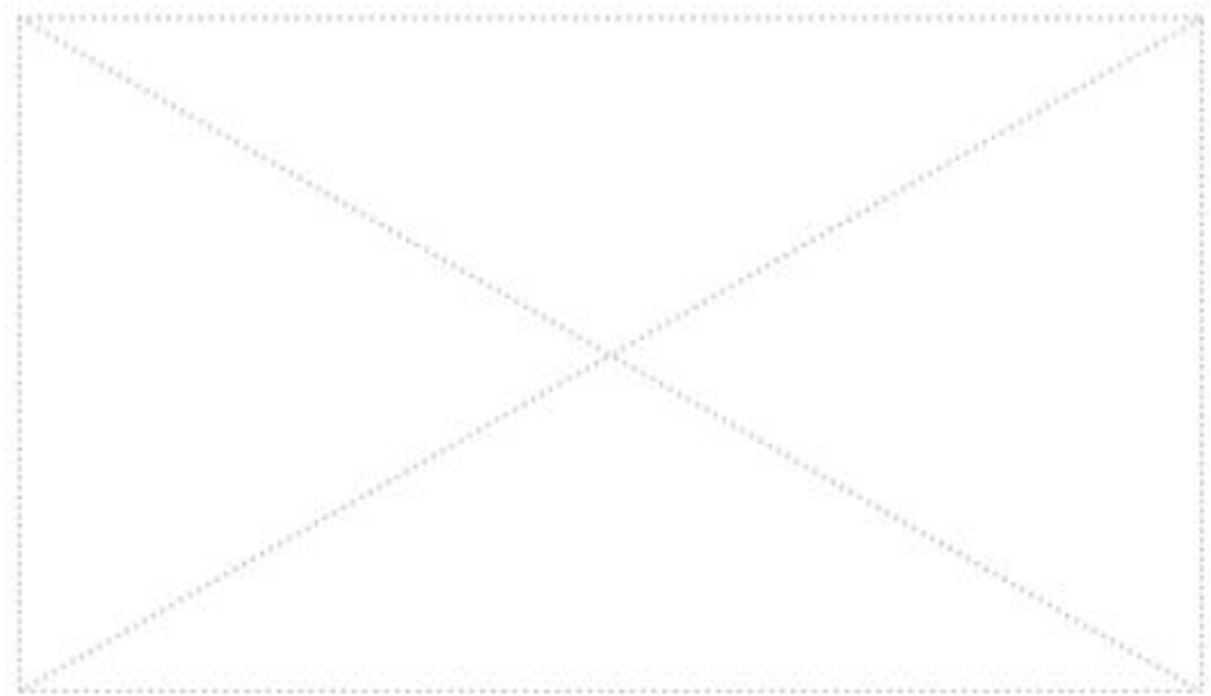
1) 연방 연구개발 개요(Federal R&D Funding Perspectives)

미국 내 8개 연방기관은 FY2020 회계연도 총 연방 R&D 자금의 97% 이상이 배정되었다. 국방부는 44.3%, 보건복지부 주로 국립보건원(NIH)은 25.1%, 에너지부(DOE)는 11.0%, 국가항공우주국(NASA)은 8.4%, 국립과학재단 (NSF)은 4.3%, 농무부(USDA)는 1.8%, 상무부(DOC)는 1.3%, 재향군인국(VA)은 1.0%로 배분이 되는데 국방부 예산만이 6.5% 증가하게 된다.



2) 연방 정부 연구개발비 구분 (Federal R&D by Character of Work, Facilities, and Equipment)

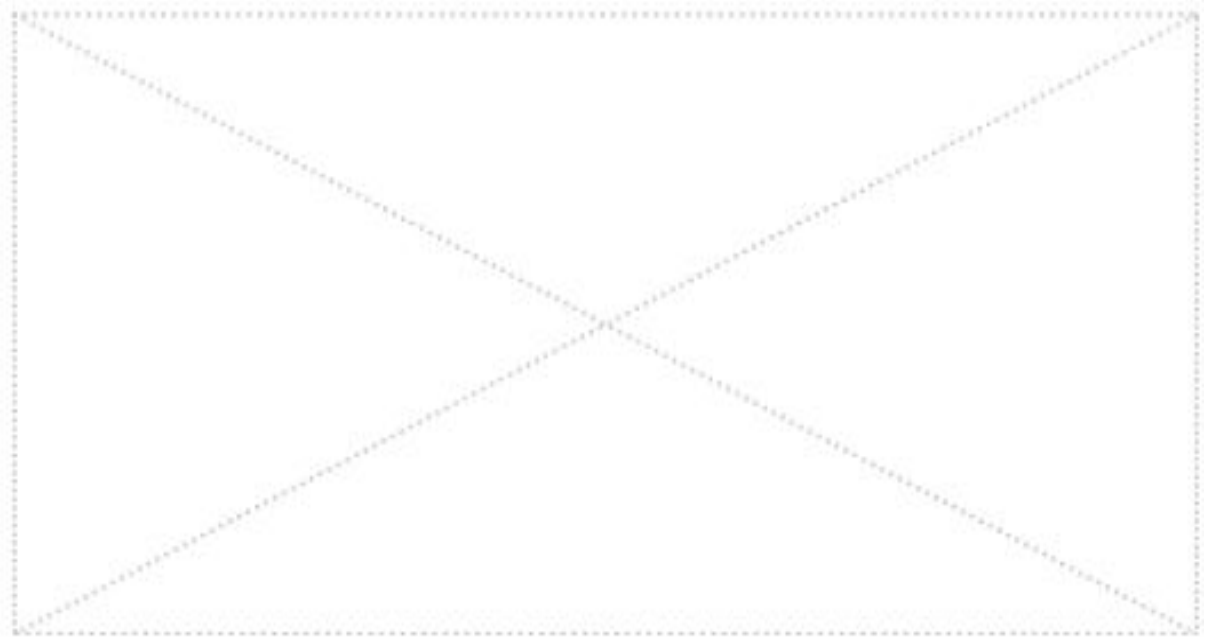
연방 R&D 자금은 기본 연구, 응용 연구 또는 개발과 같은 지원 업무의 특성과 R&D 시설 건설 및 주요 R&D 장비 확보를 위해 제공되는 자금으로도 확인할 수 있다. 트럼프 대통령의 FY2020 요청에는 2018 년에 비해 14억 5,523억달러 (4.0%) 감소한 기초연구에 대한 3억 5,164억 달러가 포함된다. 응용연구에 4,264억달러(10.5%) 감소한 4억 6,707억달러, 개발은 5,591,108억 달러로 45억 4,300억 달러(8.3%) 증가, 시설 및 장비는 33억 8,800만달러로 4억 9,900만달러 (12.8%) 감소했다. 결론으로 보면 개발 투자는 증가하고, 기초연구 예산 감소는 최소하고 응용연구는 기업과 부담을 같이 하는 전략이다.



3) 연방정부의 역할 (Federal Role in U.S. R&D by Character of Work)

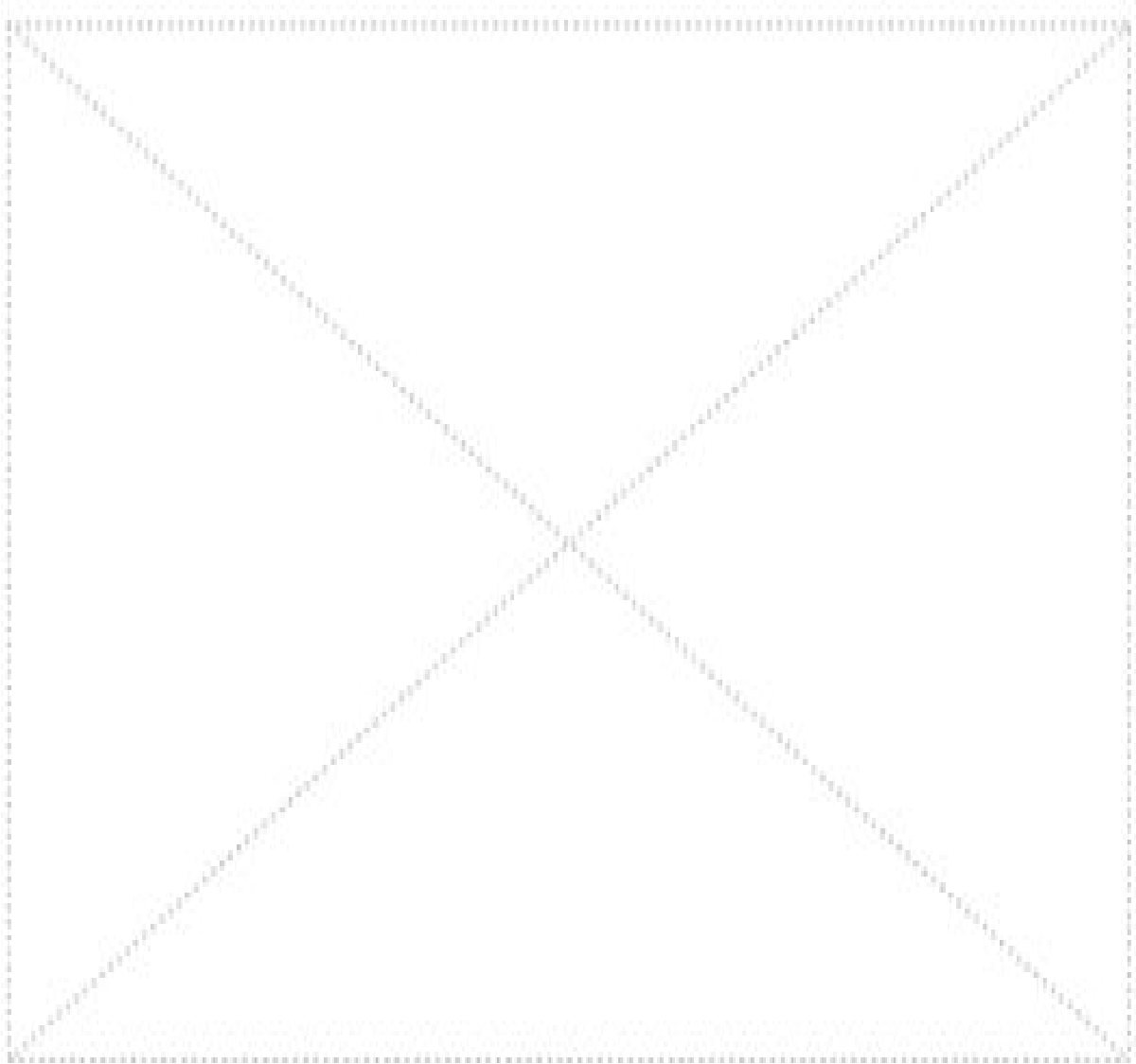
기초 연구(Basic Research)에 대한 공공 투자 및 민간 부문의 연구 수행을 위한 인센티브 (예: 세금 공제)에 대한 1차 정책은 경제학자들이 널리 보유하고 있는 것으로 민간 부문은 자체적으로 남겨두고 기초 연구에 투자하지 않을 것이라는 견해이다. 사회적 관점에서 이 견해에 대한 일반적인 주장은 사회적 수익(즉, 사회에 대한 혜택)이 사적 수익(즉, 수익 증대 또는 주가 상승과 같은 사적 투자자에게 발생하는 이익)을 초과한다는 것이다. 기초 연구에 대한 기업 투자를 방해할 수 있는 다른 요인으로는 상용 응용 프로그램 (시간 가치로 인한 잠재적 수익 감소)을 달성하기 위한 오랜 시간, 높은 수준의 기술적 위험/불확실성, 단기 수익에 대한 주주 요구 등이 존재한다.

연방정부는 2017년에 미국 기초연구의 42%를 지원함으로써 국가의 연구 중 가장 많은 지원을 했다. 30%는 주정부에서 지원했으며, 대학 및 기타 비영리 단체가 나머지 29%에 연구비를 지원했다. 미국의 응용연구의 경우 2017년에는 55%, 연방정부는 33%를 지원했다. 주 정부, 대학 및 기타 비영리 단체는 나머지 12%에 자금을 지원했다. 비즈니스는 또한 대다수의 개발 자금을 제공한다. 2017년 사업은 개발 자금의 85%를 차지했으며 연방 정부는 13%를 제공했다. 주 정부, 대학 및 기타 비영리 단체는 나머지 2%에 자금을 지원했다.



4) 연방기관들의 역할 (Federal R&D by Agency and Character of Work Combined)

연방 R&D 자금은 기초 연구, 응용 연구, 시설 및 장비에 대한 각 기관의 기여도를 결합한 관점에서 이해할 수 있다. 아래 표는 대통령의 FY2020 예산에서 제안한대로 각 범주에서 가장 많은 자금을 지원하는 3개의 기관을 보여주고 있다. 전반적인 연방 R&D 예산은 우주항공분야의 발전 지원, 새롭고 저렴한 에너지원 개발, 테러 단체 이해 및 저지 등 광범위한 국가 우선 순위를 반영하고 있다. 이러한 개별 우선순위와 각 개별 기관의 사명은 해당 기관의 R&D 지출구성(기초 연구, 응용 연구, 시설 및 장비)에 영향을 끼친다. 대통령의 FY2020 예산 요청에서, 주로 국립보건원NIH(National Institute of Health)이 수행하는 보건복지부(HHS: Department of Health and Human Services)는 기초연구에 대한 모든 연방 기금의 거의 절반 (47.7%)을 차지하고 있다. 보건복지부는 또한 대통령의 FY2020 예산 요청에서 연방 정부가 지원하는 모든 연구의 약 45.6%를 차지하는 가장 큰 연방 응용 연구 기금이 될 것이다. 국방부는 2020년 예산 요청에서 총 연방 개발 자금의 87.4%를 차지하는 주요 연방 개발 기금이 될 것이다. 에너지부(DOE)는 대통령의 FY2020 예산 요청에서 총 연방 시설 및 장비 자금의 50.5%를 차지하는 시설 및 장비의 주요 연방 자금 제공자가 될 것이다.



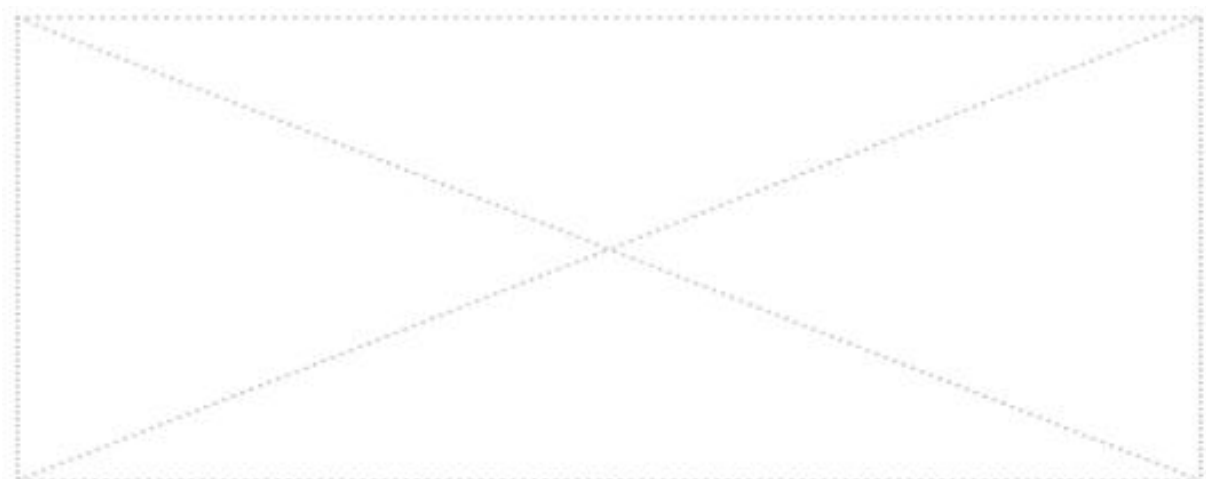
5) 다기관 R&D 이니셔티브 (Multiagency R&D Initiatives)

이러한 프로그램은 일반적으로 대통령 예산 발표 직후에 게시되는 목표, 활동, 자금 수준 및 기타 정보를 식별하는 연간 예산을 보완한다. 다른 다기관 R&D 이니셔티브(Initiative)는 그러한 근거 없이 대통령의 재량에 따라 운영되었으며 대통령의 재량으로 제거될 수 있다. 트럼프 대통령의 FY2020 예산은 이러한 분야에서 앞으로의 계획에 대한 구체적인 언급은 없다.

6) 네트워킹 및 정보 기술 연구 및 개발 프로그램 (Networking and Information Technology Research and Development Program (NITRD))

1991년 고성능컴퓨팅법(PL 102-194)에 의해 설립된 네트워킹 및 정보 기술 연구 및 개발 프로그램은 연방 정부가 슈퍼 컴퓨팅과 같은 분야에서 분류되지 않은 네트워킹 및 정보기술 R&D 투자를 조정하는 주요 메커니즘이다. 고속네트워킹, 사이버보안, 소프트웨어 엔지니어링 및 정보 관리, 2019 회계연도에 21개 기관이 NITRD회원이다. 비회원 기관도 NITRD 활동에 참여한다. NITRD 노력은 네트워킹 및 정보기술연구 및 개발에 관한 국가과학기술자문위원회(National Science and Technology Council)가 조정한다. 고성능 컴퓨터법(PL 102-194)은 2017년 미국 혁신 및 경쟁법(PL 114-329)에 의해 재 승인된 NITRD국장이 대통령의 예산 요청과 함께 연례 보고서를 의회에 전달할 준비를 하도록 요구한다. 이 연례 보고서에는 무엇보다도 현재 및 이전 회계 연도의 프로그램 예산 및 다음 회계 연도의 제안된 예산에 대한 자세한 정보가 포함된다. 최신 연례 보고서는 2018년 8 월에 발표되었으며 2019 회계 연도 예산 요청과 관련이 있다.

트럼프 대통령은 2019회계 연도에 NITRD연구를 위해 527억 7,600만달러를 요청했다. 2017 회계 연도에 NITRD 자금은 5,12억 6400만 달러였다. 대통령의 FY2020예산은 2018 회계연도(실제), 2019회계연도(예상) 또는 FY2020(요청)에 대한 NITRD의 총 자금 수준을 구분하고 있지는 않다. FY2020 NSF 예산 요청에는 FY2020에 대한 NITRD 자금으로 110억 달러가 포함되어 있으며, 이는 2018년(실제)보다 9,920만 달러(7.6%) 감소한 것이다.

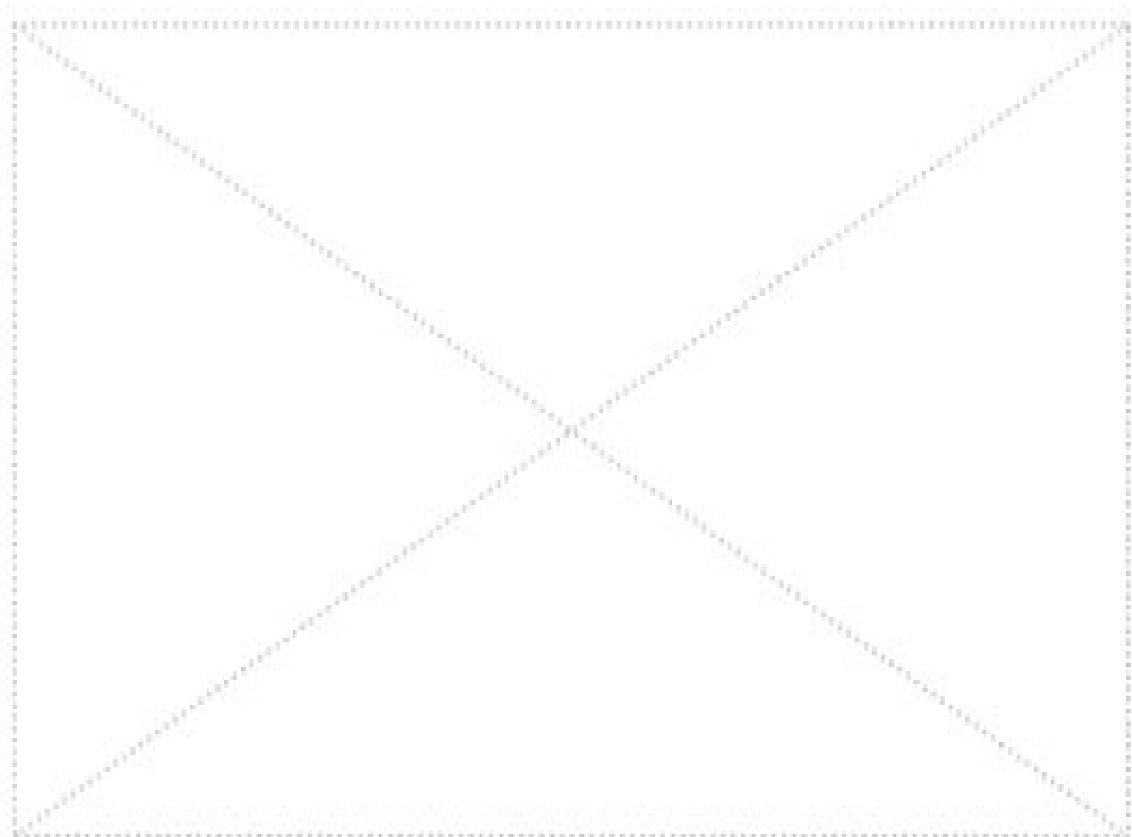


7) 미국 글로벌 변화 연구 프로그램 (U.S. Global Change Research Program (USGCRP))

미국 글로벌 변화 연구 프로그램은 연방 연구 및 응용 프로그램을 조정 및 통합하여 사람이 유발한 자연 변화의 글로벌 변화 과정을 이해, 평가, 예측 및 대응한

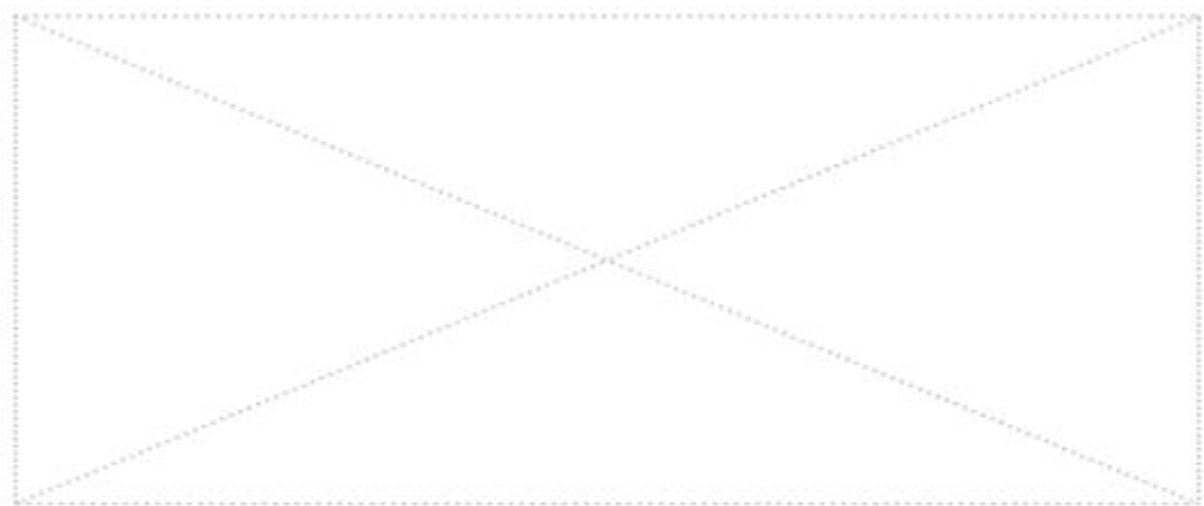
다. 이 프로그램은 전 세계 기후 변화 과학을 발전시키고 “연합의 연구, 교육, 커뮤니케이션 및 의사 결정 지원 프로그램을 통해 기후 및 지구 변화에 대한 인간의 반응을 알려주는 지식 기반을 구축하고 있다.” FY2018년에 13개 부서 및 기관이 USGCRP에 참여했다. USGCRP 노력은 글로벌 변화 연구에 관한 NSTC 분과위원회에 의해 조정된다. 각 기관은 USGCRP에 대한 기여로 활동을 개발하고 수행하며, 해당 활동을 위해 각 기관에 자금이 지원된다. 이러한 활동은 대통령의 연간 예산 제안 또는 의회에 대한 각 기관의 예산 정당성에서 USGCRP와 관련된 것으로 식별되거나 식별되지 않을 수 있다. 1990년 글로벌 변화 연구법 GCRA(Global Change Research Act) (PL 101-606)에 따라 글로벌 변화 연구에 참여하는 각 연방 기관 또는 부서는 매년 제안된 글로벌 변화 연구 활동의 각 요소와 그 일부에 대해 의회에 보고 해야 한다. 프로그램 각 요소에 할당된 예산 요청 또한 의회에 대한 연례 예산 요청에서 그러한 활동과 연례 글로벌 변화 연구 예산을 구분해야 한다. 전부는 아니지만 일부 참여 기관은 예산 정당성에 필요한 정보를 제공해야 한다.

대통령의 FY2020 예산은 2018회계 연도 (실제), 2019 회계 연도 (예상) 또는 FY2020 (요청)에 대한 USGCRP의 총 자금 수준을 구분하지 않는다. CRP법 또는 세출법에 따라 예산 보고서가 없으면, 기관이 공개적으로 보고 한 예산 당국 또는 지출은 일반적으로 USGCRP에 대한 완전하고 일관된 자금의 추정치를 독립적으로 구축하기에 충분하지 않다. 다음은 최근 몇 년간 USGCRP를 지원하는 연방 기금을 불완전하게 나타내는 선정된 기관에 대한 CRS 조사 결과이다.



8) 국가 나노 기술 이니셔티브 (National Nanotechnology Initiative (NNI))

2001년에 시작된 National Nanotechnology Initiative는 나노 규모에서 물질에 대한 이해(Understanding)와 통제(control)를 향상시키기 위한 여러 기관의 R&D 이니셔티브이다. 여기서 물질의 물리적, 화학적, 생물학적 특성은 개별 원자 또는 벌크(Bulk) 물질의 특성과 기본적으로 유용하는 방식이 다르다. 의회는 2003년에 21세기 나노 기술 연구 개발법(PL 108-153)을 제정하여 NNI의 일부 활동에 대한 입법 토대를 제공했다. NNI노력은 나노 스케일 과학, 공학 및 기술(NSET)에 대한 NSTC 분과위원회가 조정한다. 2019회계 연도에 대통령의 요청에는 16개의 연방 부서 및 독립 기관을 위한 NNI 자금과 나노 기술 연구 개발 예산위원회가 포함되어 있다. NSET에는 보건, 안전 및 환경 규제에 대한 책임이 있는 다른 연방 부서와 독립 기관 및 위원회가 포함되어 있다. 대통령의 예산 요청이 의회에 제출될 때 NSTC가 연례 보고서를 의회에 전달할 준비를 하도록 요구한다. 이 연례 보고서에는 현재 회계 연도의 프로그램 예산 및 다음 회계 연도의 프로그램 제안 예산에 대한 자세한 정보와 프로그램 성과와 관련된 추가 정보 및 데이터가 포함된다. 최신 연례 보고서는 2018년 8월에 발표되었다. 트럼프 대통령은 2019 회계 연도에 NNI 연구를 위해 139억 달러를 요청했다. 2017회계 연도에 NNI 자금은 155억 달러이다. NSF 예산 요청에는 FY2020에 대한 NNI 자금으로 3억 9,900만 달러가 포함되어 있으며, 2018년보다 1억 1,700만달러 (31.4%)가 줄었다.



9) 미국 인공 지능 이니셔티브 (American Artificial Intelligence Initiative)

2019년 2월 트럼프 대통령은 인공 지능(AI)의 국가적 리더십을 가속화하기 위해 미국 인공 지능 이니셔티브를 설립하는 행정명령 13859에 서명했다. 대통령 지시는 무엇보다도 AI를 기관의 R&D 우선 순위에 두는 것이다. 특히, 행정 명령에는 국방 항공, 상공부, 보건 복지부, 에너지 사무국 장, 항공 우주국(National Aeronautics and Space Administration) 및 국립 과학 재단 (National Science Foundation) 국

장에게 재량 자금 지원 및 기타 적절한 메커니즘을 통한 AI 관련 응용 프로그램을 개발할 것을 담고 있다. Analytical Perspectives에 따르면, 대통령의 FY2020 예산은 이 이니셔티브를 위해 에너지 부서, 국립 보건원, 국립 표준 기술 연구소 및 국립 과학 재단에 약 8억 5천만 달러를 지원할 예정이다.

10) 국가 양자 이니셔티브 (National Quantum Initiative)

2018년 12월, 트럼프 대통령은 "양자 정보 과학 (QIS) 및 기술 응용 분야에서 미국의 지속적인 리더십"을 보장하기 위해 명시된 목적으로 국가 양자 이니셔티브 (National Quantum Initiative Act) (PL 115-368)에 서명했다. 이 법은 QIS 및 기술 응용 프로그램의 개발을 가속화하기 위한 10년 계획 수립을 요구하고 있다. Analytical Perspectives에 따르면 대통령의 FY2020 예산에는 DOD, DOE, NIST 및 NSF에서 이 이니셔티브에 약 4억 6천만 달러가 포함되어 있다.

11) 기타 이니셔티브 (Other Initiatives)

법정 기반이 없는 다수의 대통령 이니셔티브가 오바마 행정부 말기에 운영되었지만 트럼프 대통령의 2018회계 연도, 2019회계 연도 또는 FY2020 예산에 대해서는 명시 적으로 다루어지지 않았다. 이 중 두 가지는 AMP (Advanced Manufacturing Partnership)의 일부이다. National Robotics Initiative (NRI) 및 Manufacturing USA (이전 명칭: NNMI (National Network for Manufacturing Innovation))이다.

트럼프 대통령의 FY2020 예산은 R&D에 우선 순위를 두어 제조의 발전과 이러한 공급의 발전을 국내 공급망에 통합하여 미국의 중요 제품에 대한 미국의 의존도를 줄인다. 예산 우선 순위에는 지능형 제조 시스템, 재료 및 가공 기술, 반도체 설계 및 제조의 발전, 식품 및 농업 제조의 혁신이 포함됩니다. 다른 이니셔티브에는 암 문샷(Cancer Moonshot), 두뇌 혁신 연구(Brain Innovation Research)를 통한 뇌 연구 (BRAIN) 이니셔티브, 정밀 의학 이니셔티브 (PMI=Precision Medicine Initiative), MGI (Material Genome Initiative) 및 청정 에너지 연구개발(Clean Energy R&D)를 위한 연방 기금을 두 배 확보하는 노력이 포함되어 있다.

2.4.3 미국 기초원천연구 성과의 기술사업화 동향 및 사례

가. 기초연구성과 기술사업화 현황:

미국의 국가연구소(National Laboratory)는 에너지부 소관으로 DOE를 통해 관리된다. 미국에너지부(DOE)는 17개의 국가연구소(National Laboratory) 중 16개를 GOCO(정부 소유 및 계약자 운영: Government Owned/Contractor Operated)로 유지한다. 미국 정부는 이러한 공공민간파트너십(FFRDC (Federally-Funded Research & Development Centers))을 통해 고유한 국가 임무를 수행한다. 한 가지 예외는 국립에너지 기술 연구소 (NETL)이다. DOE는 M&O(Management and Operations) 계약에 따라 FFRDC를 운영한다. 정부와 연구소 간의 관계의 계약 특성 및 비즈니스 수행 방식을 정의한다. 계약자는 개별 대학, 대학 컨소시엄, 개인 회사 또는 비영리 단체 일 수 있다. GOCO 모델은 맨하튼 프로젝트의 원래 실험실로 거슬러 올라간다. GOCO 연구원은 연방 직원이 아니며 GOGO(Government Owned/Government Operated) 과학자보다 더 많은 자유를 가지고 있다. GOCO 직원은 실험실에서 개발된 기술을 기반으로 저작권을 주장하고 업계와 상담하며 신생 기업에 참여할 수 있다. 그 외 타 기관인 국립보건원(NIH), 국가항공우주국(NASA), 8.4%; 상무부(DOC)산하 NIST 등 연구기관이 있고 기업과 기술이전 기회는 열려 있다. 이 보고서에서는 DOE에서 관리 운영되는 ARPA-E 및 TCF(Technology Commercialization Fund) Project에 대해 알아보기로 한다.

나. (사례1) 미국 정부지원 ARPA-E (High Risk High Impact) 프로그램 현황

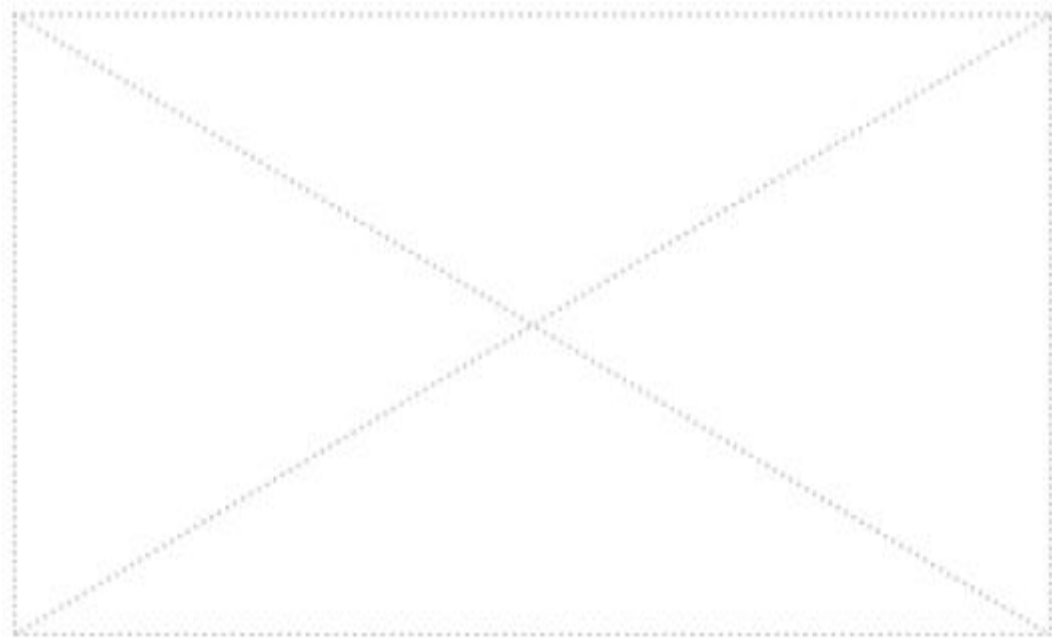
1) 주요내용 및 프로세스

ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy)는 민간 부문 투자에 비해 너무 잠재력이 높고 영향력이 큰 에너지 기술을 발전시킨다. ARPA-E 프로젝트는 미국 경제 안보, 국가 안보 및 환경 복지를 근본적으로 개선할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. ARPA-E는 미국의 에너지 연구원들에게 자금 지원, 기술 지원 및 시장 준비 능력을 부여한다. ARPA-E는 미국 경제 번영, 국가 안보 및 환경 복지를 크게 개선할 수 있는 에너지 문제에 중점을 두고 있다. 우리는 변화에 영향을 줄 수 있는 단기 연구 프로젝트에 투자하고 있다. 2007년 미국경쟁법은 미국 에너지부에 ARPA-E 설립을 승인했다. 그러나 ARPA-E는 2009년 초까지 미국 회복 및 재투자법을 통해 4억 달러의 자금을 지원받을 때까지 공식적으로 존재하지 않았다. 의회는 ARPA-E에 “프로젝트 이정표를 설정 및 모니터링하고, 연구 프로젝트를 신속하게 시작하며, 그러한 이정표가 달성되지 않으면 프로젝트를 신속하게 종

로 또는 재구성한다”라고 ARPA-E에 지시했다. 따라서 ARPA-E는 모든 프로젝트의 관리 및 방향에 실질적으로 관여한다.

ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy)라고 하는 에너지부 내에 설립이 되었고 이는 미국 국방부 산하의 DARPA[Defense Advanced Research Projects Agency]와 같은 조직을 모방하였다. ARPA-E는 국가와 경제에 활력을 불어 넣을 수 있는 새로운 방법으로 이어질 수 있는 창조적이며 혁신적 연구를 위한 기회를 제공한다. ARPA-E는 고위험, 고수익 연구 자금을 지원하여 "과학적 발견 및 최첨단 발명을 기술 혁신으로" 두고 ARPA-E는 지원하는 모든 유형의 기술 또는 연료에 대한 연구를 자유롭게 지원한다. 해당 기관이 이러한 종류의 연구를 식별하고 지원할 수 있는 입지를 확보하기 위해 이 법은 많은 연방 규칙 및 규정에서 제외되었다. 이 법은 또한 특히 에너지 수준과 관련하여 다른 에너지부(DOE) 사무실이나 프로그램과 다른 기관을 구성하고, 부서 내에서 비교적 자율적으로 위치하도록 시도하고 있다.

실험실에서 시장으로의 최종 전송을 위한 기술 준비는“기술-시장”또는“T2M”이라고 하는 ARPA-E의 사명 (아래 Figure 2 참조)의 핵심 요소이다. ARPA-E 프로젝트 팀은 계획의 개발 및 구현을 지원하는 Technology-to-Market Program의 기관 직원과 함께 기술-시장 계획을 준비하고 있다. 공정한지 아닌 지에 따라 ARPA-E는 때때로 700 명의 직원, 수백 개의 계약자 및 7개의 현장 사무소가 있는 훨씬 더 큰 연구 기관인 DOE의 에너지 효율 및 재생 가능 에너지 사무실(EERE)과 비교 및 대조된다. 의회는 임무를 완수하기 위해 의회에 의해 ARPA-E로 확대된 임무를 반영하여 이 기관은 대부분의 다른 연방연구자금 지원 기관과는 다른 몇 가지 중요한 구조적 특징을 보인다. 아래 그림은 ARPA-E의 이러한 특성과 주요 운영 기능에 대한 개략적인 정보를 제공한다. 이들 각각은 이 장에서 설명된다. ARPA-E는 고위험, 고수익 연구 지원 또는 DARPA를 모방하려는 최초의 정부 기관을 지원하는 최초의 연방 기관은 아니지만 DARPA 이외의 다른 선구자에게는 제공되지 않은 법적 및 자원적 이점을 누리고 있다.



[Schematic of ARPA-E's internal process for program creation, project selection, and performer management]

2) 미션 및 목표 (Mission & Goal)

의회는 법령에 따라 “에너지 기술 개발에 있어 장기 및 고위험 기술 장벽 극복”이라고 ARPA-E의 사명을 정의했다. 배출량, 모든 경제 부문의 에너지 효율 향상, 미국이 첨단 에너지 기술의 개발 및 배치에서 기술 주도권을 유지하도록 보장하기 위함이다. 또한, 이 법령은 ARPA-E가 다음과 같은 특정 수단을 통해 이러한 목표를 추구하도록 지시하고 있다.

“기초 과학 및 응용 과학의 혁신적인 발전을 식별하고 촉진한다”

“과학적 발견과 최첨단 발명을 기술 혁신으로 개발한다”

ARPA-E의 책임자는 “가능한 기술 적용을 통한 새로운 초기 에너지 연구” 및 “새로운 에너지 기술의 국내 제조를 위한 고급 제조 프로세스”의 목표 가속화를 통해 기관의 법적 목표를 달성할 책임이 있는데 ARPA-E는 산업계가 자체적으로 수행하지 않을 연구 기술 테마 및 특정 아이디어를 먼저 추구하기도 한다.

3) 인사 기관 (PERSONAL AUTHORITY)

ARPA-E의 이사(Director)는 최대 120명의 "공무원법에 관계없이 과학, 엔지니어

링 및 전문 인력을 고용 할 수 있다.”이사는 프로그램 디렉터(PD=Program Director) 활용과 관련하여 공무원법에 관계없이 할 수 있다. 이 권한은 ARPA-E 책임자가 과학자 및 엔지니어를 고용하여 프로그램 책임자로 신속하게 봉사하고 능력 있는 인력을 유치할 수 있도록 한다. 위에서 언급한 바와 같이, 프로그램 디렉터는 3년의 임명으로 제한되며, 이는 갱신 될 수 있다. 이 조항은 프로그램 디렉터가 재임 기간 동안 기술적으로 어려운 프로젝트를 수행할 의도로 ARPA-E를 통과하고 새로운 재능과 아이디어가 기관을 통해 순환 하도록 한다.

4) 프로그램 책임자에게 권한 부여

DARPA 프로그램 관리자와 유사하게 ARPA-E 프로그램 디렉터는 연구 주제를 식별하는데 폭 넓은 위도를 부여한다. 새로운 프로그램 만들기도 하고 이사에게 자금을 추천한다. 감독 프로젝트; 상업적 기회 식별; 프로그램 디렉터는 ARPA-E 프로젝트에 대한 “혁신적인 비용 분담 약정”을 식별하고 (연방 비용 분담 규정에 의해 정해진 제한 사항에도 불구하고) 수행자들이 “상업을 위한 메커니즘”을 식별할 수 있도록 지원해야한다. 수상자와 상업 단체 간의 파트너십을 포함한 성공적인 에너지 기술 개발 프로젝트의 응용을 포함하고 있다.

5) 기관 자율성

ARPA-E의 제도적 자율성은 기관이 가장 주목할 특성 중 하나이다. ARPA-E 최고 운영자인 이사는 상원의 조언과 동의를 얻어 대통령이 임명하며 에너지 장관에게 직접 보고한다. ARPA-E에 대한 예산 요청은 DOE의 나머지 예산과는 별개로 별도의 예산과 ARPA가 관리하는 에너지 변환 가속화 기금에 대한 의회의 예산 지출도 마찬가지로 부서 예산의 나머지 부분과 “분리되고 별개”로 처리된다. ARPA-E는 워싱턴 DC의 다른 건물에 사무소를 두고 나머지 DOE와 물리적으로 분리되어 있다.

6) 프로그램 종료

ARPA-E의 핵심 사명은 고위험고수익 프로젝트에 자금을 지원하는 것이기 때문에, 활성화 법안의 초안은 자금을 지원하는 일부 프로젝트가 목표를 달성 할 수 없음을 분명히 고려하고 있다. 결과적으로, ARPA-E의 이사는“이 프로그램에 따라 프로그램의 목표를 달성하지 못한 프로그램을 종료할 책임이 있다.” 프로그램 이사는 “수상자와 상업기관 간의 파트너십을 프로그램 재구성하거나 종료할 것을 권장한다.”2007년 미국 경쟁법에 관한 회의 보고서에는 ARPA-E에 대해 “국방부 고급

리서치 프로젝트인 DARPA 에이전시와 유사하게, 디렉터는 마일스톤을 설정 및 모니터링하고, 리서치 프로젝트를 신속하게 시작하며, 이러한 마일스톤이 달성되지 않으면 프로젝트를 신속하게 종료하거나 재구성하는 것이다”로 명시되어 있다.

7) ARPA-E의 연방 자금

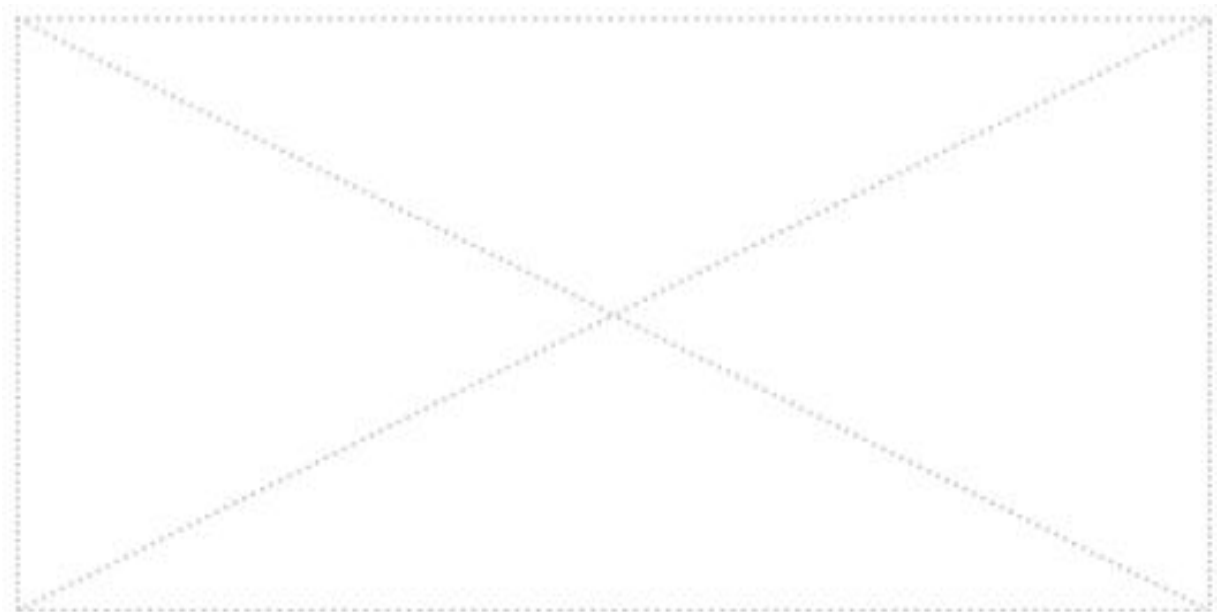
현재 20억달러 규모의 예산이 800개 프로젝트에 투입이 되었으며 이 중 145개 프로젝트가 29억달러의 기업으로부터 자금이 형성되었다. 위에서 언급한 바와 같이, ARPA-E는 2009년 Omnibus Appropriations Act가 2009년 1,500만 달러의 자금을 제공한 2009년 미국 복구 및 재투자 법(America Recovery and Re-investment Act, 2009)에 따라 4억 달러의 자금을 보강한 2009년부터 운영을 시작했다. "그 후 ARPA-E의 연간 예산은 연간 에너지 및 물 개발 및 관련 기관 세출 법에 따라 일반적으로 회계 연도 당 2억 8천만달러 수준으로 제공되었다.

8) 프로그램 작성 (PROGRAM CREATION)

이 연구 시점에서, 새로운 프로그램은 거의 전적으로 발생하는 것으로 보인다. 왜냐하면 예비 프로그램 디렉터는 그 위치에 대한 인터뷰의 일부로서 아이디어를 제시하기 때문이다. 프로그램과 프로그램 책임자가 승인되면 ARPA-E는“딥 다이빙”을 통해 새로운 프로그램을 시작한다. “딥 다이빙”- 에너지 관련 주제를 포괄적으로 탐색하여 가능한 기술 개발을 위한 잠재적 인 프로젝트를 나타내는 개별 주제를 식별하는 것을 목표로 한다. 하나 이상의 목표를 달성하기 위해 기관은 민간 부문이나 다른 연방 연구 프로그램에서 해결할 수 없는 기술 “공백”을 찾아내는 것이다. 이 공백은 Figure 3에 표시된 것처럼 두 가지 이상이 될 수 있다. 첫째, 여백은 모든 정부 및 민간 R&D 자금의 자금 조달 파이프 라인에 공백이 될 수 있다 (예: 기술 준비 수준 [TRL] 3의 특정 기술에 대한 자금 지원이 없음). ARPA-E 자금은 공백을 메우기 위해 이 격차를 해소할 수 있다. 둘째, 공백은 현재 기술적으로 가능한 것보다 훨씬 앞선 능력일 수 있으며 ARPA-E는 전략적 요구로 인식한다. ARPA-E 기술직원은 과학 문헌을 검토하고, 현장 방문 (대학, 회사)을 수행하고, 외부 연구를 의뢰하고, 회의에 참석하고, 웹 세미나에 참여하여 이러한 영역을 식별하고, 최신 기술을 조사하고, 주요 플레이어와 주요 기술 장애, 예를 들어, 이 기관의 최초 프로그램 책임자 중 한 명이 6 개월 동안 에너지 시스템 그리드를 조사하여 전력 시스템 그리드 연구에서 공백을 찾아내야 한다. ARPA-E는 관심 있는 주제에 대한 정보 요청 (RFI)을 발행하여 추가 주제 정보를 요청한다. 여기에는 답변이 잠재적 FOA를 평가하는데 도움이 될 수 있는 기술적 질문이 포함된다.

ARPA-E의 한 프로그램 디렉터는 프로그램 디렉터가 주로 비공식 프로세스를 통

해 새로운 프로젝트를 공식화 할 때 DOE의 지식 기반을 활용한다고 언급했다. 그들은 DOE 리서치 관리자 및 이사들과 만나 그들이 무엇을 하고 있는지 배우고 프로젝트 아이디어 초안에 대한 의견을 요청한다. 프로그램 디렉터는 프로젝트 주제 초안과 관련된 연구가 진행 중인 다른 장소에 대해 알고 있는지 여부를 DOE 동료에게 묻는다. ARPA-E가 기술 공백을 확인한 후 프로그램 디렉터는 기술 워크숍을 소집하여 관련 과학, 엔지니어링 및 상업 커뮤니티의 주요 전문가와 상담한다. ARPA-E직원은 다른 DOE 직원과 동시에 토론하여 기존 연구의 격차를 파악하고 최신 기술을 파악하며 부서 내부 전문 지식을 활용한다. 워크숍은 주어진 분야에서 최첨단 기술을 결정하는 또 다른 수단으로서 기술 커뮤니티가 공격적이지만 도달할 수 있다고 생각되는 중요한 과제에 대한 해결책을 논의하고 성능 목표를 결정하는 포럼을 제공한다. 모든 워크숍이 ARPA-E 프로젝트로 이어지는 것은 아니지만 특정 에너지 기술 분야의 프로젝트 방향을 알려준다. 각 워크숍이 끝날 때마다 프로그램 디렉터는 새로운 프로젝트를 제안 할 수 있지만, 진행하기 전에 Box 2-1에 제시된 질문에 만족스럽게 답변해야한다. 제안된 프로젝트는 건설적인 토론을 거쳐 모든 ARPA-E 프로그램 디렉터의 참여에 대해 토론한다. 이 토론을 바탕으로 프로젝트를 제안하는 프로그램 디렉터는 제안을 수정하고 피드백을 통합하며 ARPA-E 디렉터의 승인 받는다. 감독이 승인하면 새 프로젝트가 생성되고 FOA가 대중에게 공개되어 제안서를 초대한다.



[Schematic of ARPA-E's "white space" strategy]

다. (사례2) 2019년 Technology Commercialization Fund Projects 현황³⁾

미국에너지부(Department of Energy, DOE)는 OTF(Office of Technology Transitions)와 TCF(Technology Commercialization Fund)가 지원하는 77개 프로젝트에 2,400만 달러 이상의 자금을 2019년에 다시 지원한다고 발표했다. 민간 부문의 자금 지원으로 이 프로젝트는 유망한 에너지 기술의 상용화를 촉진하고 DOE의 국립 연구소와 민간 부문 회사 간의 파트너십을 강화하여 이러한 기술을 시장에 확산 이전을 목표로 하고 있다.

TCF는 유망한 에너지 기술을 장려하기 위해 2005년 에너지 정책 법에 의해 만들어졌다. 오늘 발표된 TCF 선정은 교육청의 연구, 개발, 데모 및 배포 활동 포트폴리오의 상업적 영향을 촉진하기 위한 DOE의 노력을 확대해나갈 것이다. OTT는 2015년에 미국 에너지(DOE)부의 연구개발 포트폴리오의 상업적 영향을 확대함으로써 미국의 경제, 에너지 및 국가 안보 이익을 증진시키기 위해 설립되었다.

DOE 시설(국립실험실, 공장 및 부지)은 TCF 신청자에게만 자격이 있다. 신청자는 프로젝트 당 두 가지 주제 영역 중 하나에서 프로젝트를 제안 할 수 있다. 주제 1 프로젝트는 6-18 개월이며 파트너를 참여시킬 필요는 없다. 주제 2 프로젝트는 12-36 개월이며 민간 부문의 파트너가 참여해야 한다. 제안서 자격 선언문 제출 마감일은 2019년 10월 10일 오후 5시이다.

미국 Perry에너지부 장관은 “기술 이전은 DOE의 사명에 있어 필수적인 요소이며 미국 납세자의 투자에 대한 최대의 수익을 보장하는데 도움이 된다”고 말했다. “기술 상업화 기금을 통해 우리는 민간 부문의 기업가를 국립 연구소의 연구원과 연결하여 국가의 안전, 경쟁력 및 에너지를 풍부하게 유지할 혁신과 기술을 제공하도록 돕고 있다.” 라고 언급하였다. 또한 “기술 상업화 펀드와 같은 이니셔티브를 통해 민간 부문과 협력하면 National Labs의 혁신가들이 미국 경제의 엔진에 연결될 수 있다.” TCF는 이러한 실험실에서 파생된 기술을 적용할 수 있는 효과적인 경로를 만들고 연구 투자가 국가 전체의 이익을 위해 미치는 영향을 극대화하는데 도움을 주는 역할을 하기도 한다.

미국에너지부Perry 장관은 OTT가 DOE 리서치 기업 전체에 걸쳐 임무를 수행 할 수 있는 권한을 더욱 강화함으로써 부서의 상업화 및 기술 이전 활동을 옹호했다. 이러한 노력을 이끌기 위해 장관은 Conner Prochaska를 DOE의 첫 상업화 책임자로 지명했으며 그는 OTT이사로도 활동했다. Perry장관은 2019년말 사임을 발표한 입장이지만 TCF 프로그램은 ARPA-E 프로그램에 비교해 적은 예산이 투입되고

3) TCF = National Laboratory와 기업 공동 기술사업화 지원

또한 1:1 기업 자금 매칭이 요구되어 성장가능성이 매우 높은 상황이다. FY2016부터 54개의 프로젝트에 1억9700달러 규모 정부지원금으로 시작된 이 프로그램은 기업 매칭 금액이 1억 6900만불이었고 FY2017 54개의 프로젝트에 12개 국립연구소(National Lab)의 1,900만달러의 정부지원금에 기업으로부터 3,400만달러의 매칭금액으로 확대 되었다. FY2018에도 정부지원금은 2000만불 규모로 시작이 되었다. FY2019년 정부지원금은 2,400만달러 규모이다.

최근 DOE는 2019 TCF 자금 지원을 위해 160개 이상의 응용 프로그램을 받았으며 프로젝트 팀은 여러 분야의 90개 이상의 서로 다른 파트너와 협력하고 있다. 2019년에 선정된 프로젝트는 총 17개의 국립연구소, NNSA(National Nuclear Security Administration)시설 및 6개의 외부 파트너와 총 24개의 참여 기관이 참여하고 있다. 10개 프로젝트에는 파트너가 1명 이상, 7개에는 파트너가 3명 이상이며, 문제 해결 및 상업화 프로세스 간소화를 위해 팀 중심 접근 방식을 사용하는 랩의 준비 상태를 보여주고 있다.

<2019년 Selected Projects>

1) Ames National Laboratory (Ames)

- Integrated technical and non-technical opportunity framing for Critical Materials Institute developed technologies - \$292,000
- Partners (4): Idaho National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Decision Frameworks, L.P.

2) Argonne National Laboratory (ANL)

- Innovate Together - Labs in Chicago - \$149,978
- Partners (1): Fermi National Accelerator Laboratory

3) Idaho National Laboratory (INL)

- Entrepreneurial Thinking: Historical and Observational Study (ETHOS) - \$187,000

- Partners (6): Argonne National Laboratory, Brookhaven National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Sandia National Laboratories, Enterprise Development Group
- Trailhead East @ Idaho National Lab - \$175,000
- Partners (1): Trailhead Boise
- Cybersecurity Technology Concentration and Commercialization - \$200,000
- Partners (4): Oak Ridge National Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, Sandia National Laboratories, Cyber CP

4) Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)

- Open Source Software: Seeds of Commercialization - \$250,000

5) Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL)

- Growing Entrepreneurship at PPPL - \$40,000

6) Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

- Technology Safari Program - \$72,000
- Partners (1): Tremonti, LLC
- Technology Transfer Researcher Liaison Program - \$580,000
- Partners (8): Brookhaven National Laboratory, Idaho National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, National Energy Technology Laboratory, National Renewable Energy Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, Princeton Plasma Physics Laboratory

7) Sandia National Laboratories (SNL)

- Accelerating Commercialization by Connecting Laboratory Inventions to Maturation (ACCLAIM) - \$75,000
- Partners (9): Brookhaven National Laboratory, Fermi National Accelerator Laboratory, Idaho National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Kansas City National Security Campus, Pacific Northwest National Laboratory, Savannah River National Laboratory, Thomas Jefferson National Accelerator Facility
- Diversity and Inclusion in InVentorship and EntrepReneurship Strategies and Engagement (DIVERSE) - \$150,000
- Partners (11): Ames National Laboratory, Argonne National Laboratory, Brookhaven National Laboratory, Fermi National Accelerator Laboratory, Idaho National Laboratory, Lawrence Berkeley National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Princeton Plasma Physics Laboratory, SLAC National Accelerator Laboratory, Thomas Jefferson National Accelerator Facility

8) Bay Area LINC (Lab Innovation Networking Center) - \$300,000

- Partners (4): Lawrence Berkeley National Laboratory, Lawrence Livermore National Laboratory, SLAC National Accelerator Laboratory, Stanford Technology Ventures Program.

2.4.4. 시사점 및 결론

2020년 미국 연방정부의 R&D 정책 및 투자 관련해서 트럼프 대통령의 사업가 철학이 녹여있다고 해도 과언이 아니다. 우선 군사 및 우주(Military 및 Space) 기술 개발은 늘리고 타 분야는 투자 효율화 즉, ROI(Return on Investment)을 중심으로 산하 연방 R&D부서로 하여금 예산절감을 요구하였고 연구개발 결과의 산업과 시장과의 연계 활성화를 모색하였다. 트럼프대통령은 미국이 글로벌 리더쉽을 지키기 위해 과감히 연방규제(환경, 농사 등)을 풀었고 기업의 투자 유치 환경을 개선하였다. 그리고 기업 법인세금을 줄이고 동시에 글로벌기업들의 미국 내 제조(Made in USA)유도로 방향성을 잡은 상황이다.

미국연방정부 R&D 우선 분야로 미국인의 안전, 인공 지능, 양자 정보 과학 및 전략적 컴퓨팅 분야의 미국 리더십, 미국 통신 네트워크 연결성 및 자율성(드론 및 자율자동차), 미국 제조, 미국 우주 탐사 및 상업화, 미국 에너지 지배, 미국 의료 혁신, 농업 분야의 글로벌 리더쉽이 강조 되었다. R&D 우선(Priority) 및 관행(Practice)과 관련해서는 21세기 경제를 위한 인력 교육 및 훈련, R&D인프라 관리 및 현대화, 기관 간 효율화 조정 및 기업과의 협업 극대화, 실험실에서 시장으로 기술 이전, 산업계 및 학계와 협력의 방향성이 제시되었다.

한국 정부의 총 예산대비 연구개발 투자 규모(%)는 이미 글로벌 최고 수준이다. 한국 정부도 매년 늘어나는 부채를 감안하면 R&D 투자 예산의 절감이 조만간 현실화 될 것으로 예상된다. 미국정부 역시 천문학적으로 늘어나는 부채액수에 신경을 쓰지 않을 수가 없는 상황이 되었고 트럼프대통령의 결단이 장기적으로 어떤 영향을 미칠지 아직은 모르지만 결국 미국내 기업들이 미국 안에서 성공하고 제조업도 활성화가 되어야 미국의 미래가 밝을 것으로 트럼프의 판단한 것들이 정책에 반영이 된 것으로 전문가들은 보고 있다.

3. 미래사회 정책이슈 발굴

3.1. 개요

□ 추진 프로세스

- 국가과학기술혁신포럼으로 미래사회예측 방법론을 개발하고 30년 후 미래 기술·사회 등을 예측·전망할 수 있는 미래사회 시나리오 도출

국가과학기술혁신포럼 개최	미래사회 주제선정 평가	SF작가를 활용한 시나리오 작성	전문가 시나리오 분석	미래사회 삽화 제작
8회 포럼 개최 (2019.4~2019.9)	미래사회 키워드 분석(42개 주제)	자유주제 시나리오 작성	시나리오별 사회문제 및 필요기술 도출	시나리오별 삽화 제작
민간전문가를 통한 미래사회예측 사례, 방법론 도출	미래사회 시나리오 주제선정 평가 (1차, 2차)	지정주제 (주제선정평가) 시나리오 작성	미래사회 기술테마별 주요기술 도출	미래사회 기술테마별 주요기술 삽화 제작

□ 국가과학기술혁신포럼 개최 현황

개최일	주제	발제자
‘19. 4. 10	미래 시나리오 및 정책과제 도출 연구 : 2050년의 경고를 중심으로(기술분야)	국회미래연구원 김유빈 연구위원
‘19. 4. 24	우리 사회에서 AI를 받아들이는 과정이 어떻게 변할것인가?	서울SF아카이브 박상준 대표
‘19. 5. 8	스마트팜 현황과 전망	STEPI 이주량 본부장
‘19. 5. 15	미래 시나리오 및 정책과제 도출 연구 : 2050년의 경고를 중심으로(인문사회분야)	국회미래연구원 김유빈 연구위원
‘19. 5. 22	SF와 미래기술 - 상상력과 가능성의 균형점을 찾아서	경희사이버대학교 정지훈 교수
‘19. 5. 29	홀로그램 기술과 미래사회	전자부품연구원 강훈종 박사
‘19. 6. 12	기술 실패 사례를 통해 학습하는 미래사회 접근 방법	고려대학교 김지연 교수
‘19. 9. 4	소설가가 바라본 미래 사회	곽재식 박사

□ 시나리오 작성 프로세스

- (개요) 시나리오 구성의 핵심키워드를 선정하고 이를 중심으로 시나리오(안)을 작성하고 삽화형태로 시각화



<미래사회 시나리오 작성 프로세스>

- (1단계) 경향신문 ‘미래의 눈’ 칼럼으로부터 과학기술 기반 키워드를 선별하고, 분석대상 42개 시나리오의 타당성 검증
 - 상기 시나리오를 3개 테마*로 분류하고, 민간전문가가 참여하여 분류별 가장 적합한 시나리오를 선정
 - * ‘사람’을 중심으로 ① 사람이 살고 있는 곳, ② 사람이 살기 어려운 곳, ③ 사람이 살지 않는 곳으로 구분
- (2단계) 미래사회 핵심키워드 및 선정된 시나리오를 기반으로 3개 테마별 미래 시나리오 초안 작성
 - SF 작가, 과학기술자, 미래학자 등이 참여하여 시나리오 작성
- (3단계) 작성된 시나리오에 대해 내외부 전문가의 검증 추진 및 수정
- (4단계) 미래사회 시나리오의 완성 및 시각화
 - 3개 테마별 미래사회 시나리오 기반 삽화 작성

3.2. 국가과학기술혁신포럼 운영 결과

3.2.1. 제1차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 4. 10 (수) 11:00 ~ 13:00

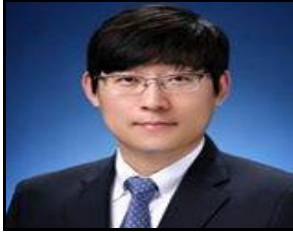
□ 장소 : 과기정통부 2층 중간소통방(222호)

□ 참석자 : 국회미래연구원 및 과기부·연구재단 담당자 등 11인

- (발제 및 토론) 김유빈 연구위원(국회미래연구원), 박성원 연구위원(국회미래연구원), 정훈 연구위원(국회미래연구원), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 강경인 단장(한국연구재단), 이상협 단장(한국연구재단)
- (총괄 및 운영) 이석래 과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 함화정 부연구위원(한국연구재단), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹), 최지선 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) 미래 시나리오 및 정책과제 도출 연구 : 2050년의 경고를 중심으로 [국회미래연구원 김유빈 연구위원]
- (논의 내용) 미래 과학기술분야 중심의 미래 영향 환경변수 파악 및 미래 예측을 통한 과기정통부 향후 정책 대응 방향 논의

	성명	김유빈
	現 국회 미래연구원 연구위원 前 국가핵융합연구소(NFRI) 연구원 前 삼성디스플레이 책임연구원	

경 력	
2018 ~ 현재	국회 미래연구원 연구위원
2013 ~ 2018	국가핵융합연구소 연구원
2013 ~ 2013	삼성디스플레이 기술전략팀 책임연구원
2009 ~ 2013	Samsung Electronics LCD CAE팀

[제1차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (미래연구 프레임) 다양한 미래시나리오 도출 및 돌발변수를 파악하여 예측하고 국민이 원하는 미래상을 파악하여 국정개혁방향 제시
- (미래 영향 환경변수 도출) 미래관련 키워드를 활용하여 문헌 및 SNS데이터 추출을 통해 빅데이터 분석
 - 출현 빈도가 낮은 키워드는 돌발변수로 활용
- (미래영향 환경변수) 빈도수가 가장 높은 이슈인 ‘사람’을 중심으로 이슈를 그룹화하여 미래영향 환경변수 13대 분야 도출
 - 도출된 13대 분야에 대하여 외부전문가와 공동연구진을 구성하여 시나리오 및 정책과제 도출 연구 수행
- (과학기술분야 주요 연구결과) 기후변화 및 환경, 에너지, 과학기술혁신(IT,BT,ST) 분야 별로 미래질문(주요 동인)과 돌발변수를 고려하여 결과를 예측
 - 양극단의 두 가지 축을 기반으로 최가능/가능/선호/위험 단계별 종합시나리오를 구성하여 정책개혁과제 제시

다. 논의 결과

- (에너지 분야) 국가 경쟁력에서 에너지가 중요하므로 저렴한 에너지 가격을 통한 경제발전과 친환경에너지 두 축을 함께 고려하는 것이 필요
 - 우리나라는 지질학적으로 육지이나 북한과 밀접한 지형적 특성을 고려하여 향후 주력 에너지 분야를 발굴 선택 및 육성(일본 주력 에너지 정책 벤치마킹 필요)
- (기후변화 및 환경 분야) 미세먼지와 같이 미래보다는 현실적 수준에서 국민적 관심도가 높은 주제를 포함함

- 환경과 에너지 분야를 통합하여 미래 이슈 및 정책(안) 제시 필요
- (과학기술혁신 분야) 우주분야의 경우 타분야와 다르게 연구기간을 장기적으로 설계하여 연속적이고 지속적인 연구개발 필요
- 리더십을 연계할 수 있도록 분야의 전문가 그룹의 활용이 필요
- (과학기술분야 영향 요인) 과학기술분야에 고령화, 저출산 등 사람중심 리스크나 융합기술 고려할 필요
- 기후변화/에너지/환경분야가 사람과 결합되므로 기술적 접근뿐만아니라 사회인문학적 접근도 고려하여 종합적 정책 연구 필요
- K-pop 등 문화적 측면을 고려하여 감성적인 부분도 반영이 필요
- (민간전문가 활용방안) 정부조직의 시스템 및 정책 변화를 중장기적으로 대응하려면 전문성과 노하우를 갖춘 민간전문가 그룹의 역할이 중요
- (질의추출 및 예측과정) 시나리오 구성 시 국민관점에서 미래질문을 추출하고, 델파이 분석을 통해 미래의 사회적 임팩트를 고려함
- 예측의 정확도보다는 발생 가능성을 고려하여, 정량적 분석 및 전문가 토론을 통한 합의에 의한 정성적 방법을 활용

3.2.2. 제2차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 4. 24 (수) 11:00 ~ 13:00

□ 장소 : 정부과천청사 과기정통부 222호 회의실

□ 참석자 : 과기부·연구재단 담당자 및 민간전문가 등 10인

- (발제 및 토론) 박상준 대표(서울SF아카이브), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 김상윤 수석연구원(포스코경영연구원), 이상협 단장(한국연구재단), 이준상 교수(연세대 기계공학과), 이상원 팀장(테크노베이션파트너스), 오창석 팀장(테크노베이션파트너스), 오동훈 대표(혁신공학연구소)
- (총괄 및 운영) 정병선 연구개발정책 실장(과기부), 이석래 연구개발정책과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 김주화 사무관(과기부), 이경아 연구위원(한국연구재단), 김승균 대표(이산컨설팅그룹) 류인호 연구원(이산컨설팅그룹), 최지선 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) SF로 전망하는 미래사회와 AI [서울SF아카이브 박상준 대표]
- (논의 내용) 미래과학기술 프로젝트 난제 브레인 스토밍 ‘우리사회에서 AI를 받아들이는 과정이 어떻게 변할 것인가?’

나. 주요 발제 내용

- (SF속 AI의 전망) SF 속에서는 AI를 인간의 적이나 친구로 대비하여 이분법적으로 묘사하고 있으나 현실은 극단적일 필요 없음
 - － 기술발전에 따른 강한 인공지능의 법인격화에 관하여 법률적 대처(기계세, 로봇세)를 고려할 필요
- (반려로봇) 대화형 인공지능의 발전에 따라 반려동물처럼 반려로봇이 활용될 가능성이 높음
 - － 대화형 AI가 미래 우리사회 1인가구의 유력한 시나리오의 하나로 적용될 것
- (AI의 사회화) AI는 빅데이터를 활용하므로 연산기능은 월등하나 사회성은 빅데이터만으로 해결하기 어려움
 - － AI가 사회에 수용되기 위해서는 어린이를 양육하는 것처럼 AI를 사회에 적응시키는 사회화 과정이 필요
- (AI 판사) 세계 각국에서는 판례 빅데이터를 구축하여 AI판사를 개발 및 활용하고 있음
 - － AI판사는 1차적으로 빠르게 빅데이터를 검토하여 판사보조의 역할을 하고, 최종적으로 인간이 판결하는데 도움
- (적응형 자동화) AI와 인간을 이분법적으로 접근하는 것이 아니라 AI를 인간에 어떻게 적용할 것인지를 AI 개발 전략으로 고려할 필요
 - － AI활용 시 인간을 완전 배제한다면 돌발상황 등에 대처가 어려우나, 협업으로 인간을 보조한다면 능률성 향상을 기대할 수 있음
- (미래세대와 AI) 20세기는 과학기술이 인간의 세대교체 속도를 앞지르는 크로스오버의 시대로 미래에 대한 시야를 확대하여 대비 할 필요
 - － 기성세대와 달리 미래세대는 과학기술에 대한 보수성이 낮아 변화에 대한 저항감이 적으므로 현재보다 AI 수용성이 높아질 것
- (미래 사회학으로서의 SF) SF는 일종의 미래 사회학으로 미래에 마주할 수 있는 정치적, 사회적, 심리적, 윤리적 문제를 상상해 볼 수 있는 탐험의 기회

다. 논의 결과

- (SF작가의 가치) 인간이란 무엇인가? 인간다운 사회는 과학기술이 어떻게 기여하여야 하는가를 고려
 - － 인문 철학적 가치를 과학 관점에서 성찰하고, 넓은 시야를 공유
- (AI의 현황) 미래도 중요하지만 현재 의료계의 경우 기술이 있으나 적용 대상 및 방법을 찾기 어려워 해결하지 못하는 문제도 다수 있음
 - － 학습된 AI의 정확도는 높으나 AI의 학습방식을 알기 어려운 문제가 있으므로 스스로 학습하는 AI를 규제 및 제어할 수 있는 발전도 필요
 - － 유럽에서는 조건이나 상황에 맞는 AI나 AI를 판단하는 AI 등에 대한 연구가 진행되고 있음
- (AI의 필요성) AI가 인간의 기술적 보조 역할을 수행하여, 저출산 고령화 시대에 로봇이 생산하는 부가가치를 통해 인간의 물리적 생산성을 보완할 수 있음
 - － 새로운 과학기술에 대하여 현 세대는 보수적 관성이 있으나 미래세대는 생산성을 높이는 사회적 변화에 대한 수용성이 높을 것
 - － 과도기에 필연적 시행착오는 발생하겠지만 세대교체가 되면서 자연스럽게 AI가 인간 사회의 일원이 될 것
- (AI의 활용) 기술발전으로 초연결 사회에 살고 있지만 인간은 초분리 개인주의 형태로 변화하면서 감정적 교감이 어려워짐
 - － 과학기술이 인간의 감정적인 부분을 충족시켜 줄 수 있는 대안으로서 활용되어 미래는 AI와 동행하는 새로운 사회가 될 것
- (과학기술의 방향) 과학기술은 수요를 파악하여 수요기반의 기술을 개발하거나 접목하는 방향으로 접근할 필요
 - － 과학기술을 통한 사회문제 해결, 인간 친화적인 AI 개발 등을 통해 긍정적인 근미래를 기대할 수 있음
- (정책의 역할) 과학기술정책은 미래사회에 어떻게 대비할 것인지 미리 고민하고, 사회수요와 과학기술 공급 간의 간극을 맞추는 역할을 할 필요
 - － 과학기술정책을 통하여 기술발전의 개발속도와 활용영역을 조절하고, 가치판단을 선제적으로 제시하여 국가적인 법제로 보완할 필요

3.2.3. 제3차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 5. 8 (수) 11:00 ~ 13:00

□ 장소 : 과기정통부 2층 중간소통방(222호)

□ 참석자 : 과기부·연구재단 담당자 및 민간전문가 등 16인

- (발제 및 토론) 이주량 본부장(과학기술정책연구원), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 오동훈 파트너(테크노베이션파트너스)
- (총괄 및 운영) 고서곤 기초원천연구정책관(과기부), 한우진 서기관(과기부), 이경림 팀장(과기부), 이영호 사무관(과기부), 김의중 사무관(과기부), 한재중 사무관(과기부), 이향수 사무관(과기부), 허대성 주무관(과기부), 김승균 대표(이산컨설팅그룹), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) 스마트팜 현황과 전망 [과학기술정책연구원 이주량 본부장]
- (논의 내용) 농업기술 현황과 미래 농업 예측 및 전망



성 명	이 주 량
생년월일	1973.00.00
現 과학기술정책연구원(STEPI) 본부장 前 현재경제연구원 연구위원 前 LG CNS 과장	

경 력	
2009 ~ 현재	과학기술정책연구원
2007 ~ 2009	현대경제연구원 연구위원
1998 ~ 2007	LG CNS 과장

[제3차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (농업 현황) 우리나라의 농업기술은 전 세계적으로 빠르게 진화하고 있는 상황이며, 다만 농업 발전에 대한 편견과 선입견을 타파하는 것이 가장 중요함
 - 농업의 목표는 음식물을 섭취하는 것(Feeding)의 문제이며, 인구의 증가에 따라 Feeding이 가능한지 여부가 미래 문제일 것임
 - 농업 생산성은 지속적으로 증가하고 있음(국가 식량 생산율에 25%만이 자국민에게 공급됨)
- (농업의 문제점) 일반적으로 후진국에서 선진국으로 가기 위해서는 농업 문제가 해결되어야 하며, 농업분야의 성공을 위해서는 원물을 생산하는 분야가 아닌 후방 산업에 집중해야함
 - 농업분야는 기후변화의 영향을 많이 받아 지리적 환경이 계속 변화하고, 시장 상황에 따라 다양한 작물에 대한 수출입이 발생함
 - 우리나라는 기후문제로 인해 시설투자가 많이 필요하여 농업 생산이 어려운 측면이 있고, 원물을 수출하는 것은 경제성이 낮아 가공품을 생산하는 것이 중요함
- (농업 발전 가능성) 우리나라의 경우 IT, BT 등의 기술적 수준이 높기 때문에 성공가능성이 높음
 - 과기정통부는 농업분야의 전후방산업(농자재, 비료 등)으로 지원 및 예산이 투입되어야함
 - 네덜란드, 덴마크 등 벤치마킹 필요
- (스마트팜 정의) 스마트팜은 농업의 최적화, 편리성 등을 통한 농산업의 혁신
 - IT와 BT 기술을 접목하는 것이 미래 농업임
- (스마트팜 기술) 현재 농업기술분야에 많이 사용되는 기술은 BT분야지만 향후 ICT기술이 접목되어 스마트팜 관련 기술이 증가할 것으로 예상됨
 - 소비자들의 소비패턴이 변화되면서 농업생산에 대한 트렌드도 변화되고 있음
 - 데이터를 활용한 비즈니스 모델이 구축되고, “생산→솔루션→데이터→생산” 같은 선순환 모델이 구축될 것으로 예상
 - 특히 생육정보를 정량화할 수 있는 피노타이핑(phenotyping)과 같은 기술이 중요할 것으로 예상됨(기후 등 환경조건을 센서로 측정)
- 과기정통부는 농업과 IT기술이 결합되는 통합적 기술을 개발 또는 지원할 필요가 있고, 특히 예측·관찰을 위한 기술개발이 필요함

다. 논의 결과

- (미래 농업 예측) 농업의 미래는 나쁘지 않지만 계층화가 심해질 것이며 무인농업(생력화)에 관련된 R&D는 다방면에서 진행되고 있음
 - 무인농업은 항상 경제성이 고려되어야 하지만 노동력을 줄이기 위한 R&D는 항상 필요함
- (기후 변화) 지구온난화로 인해 생산위치가 변화하고 있는데 이를 해결하기 위해 기술적으로 불가능한 것은 없음, 하지만 경제적인 요인과 품질, 가격 등 다양한 요인에 대한 해결이 필요함
- (일자리 문제) 농업분야는 기계화(시설농예, 축산 등)로 인해 고용창출이 급격히 감소되고 있음
- (과기정통부의 역할) 생산분야는 농림부 고유의 영역이고 과기정통부는 후방산업에 집중이 필요함
 - 국내는 시장규모가 작아 오히려 글로벌 시장에 농기계를 수출할 수 있는 기술을 개발할 필요가 있음
- (스마트팜 수용성) 국내 농민의 경제적 상황을 고려해보았을 때, 상위 10% 정도를 타겟팅해서 스마트화를 기획 또는 추진하는 것이 좋아보임
 - 스마트팜 기술을 적용하기에 최적화 된 아이템은 쌀이며, 농약 개발 또한 과기정통부가 접근하기 좋은 분야임
- (기술개발 영역) 농업분야 R&D에 가장 좋을 것으로 판단되는 Item으로는 센서(군)이며, 극한환경을 극복하기 위한 생산기술, 글로벌 시장을 이끌수 있는 기술로 센서에 대한 기술개발 및 투자가 필요함
 - 활용성이 높은 측면에서 드론분야 R&D도 필요함
 - 과기부 입장에서 피노타이핑 기술은 하이테크기술이 아니라 지속성 관점에서 접근해야하고 양질 전환이 필요한 분야임

3.2.4. 제4차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 5. 15 (수) 11:00 ~ 13:00

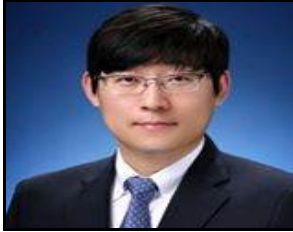
□ 장소 : 과기정통부 2층 중간소통방(222호)

□ 참석자 : 과기부·국회미래연구원 및 민간전문가 등

- (발제 및 토론) 김유빈 연구위원(국회미래연구원), 민보경 부연구위원(국회미래연구원), 이채정 부연구위원(국회미래연구원), 허종호 부연구위원(국회미래연구원), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 오동훈 파트너(테크노베이션파트너스), 이상원 책임(테크노베이션파트너스)
- (총괄 및 운영) 정병선 연구개발정책실장(과기부), 고서곤 기초원천연구정책관(과기부), 이석래 과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 고경철 사무관(과기부), 이하은 사무관(과기부), 이영경 사무관(과기부), 김애화 사무관(과기부), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) 13대 분야로 살펴보는 대한민국 2050 미래-인문사회 분야를 중심으로 - [국회미래연구원 김유빈 연구위원]
- (논의 내용) 미래 인문사회분야의 미래 환경변수 파악 및 시나리오 예측을 통한 과기정통부 정책 방향 논의

	성 명	김 유 빈
	現 국회 미래연구원 연구위원 前 국가핵융합연구소(NFRI) 연구원 前 삼성디스플레이 책임연구원	

경 력	
2018 ~ 현재	국회 미래연구원 연구위원
2013 ~ 2018	국가핵융합연구소 연구원
2013 ~ 2013	삼성디스플레이 기술전략팀 책임연구원
2009 ~ 2013	Samsung Electronics LCD CAE팀

[제4차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (연구 프레임) 국회미래연구원은 예측-선택-전략을 도출하는 연구프레임으로 미래사회 예측 및 전망
 - 빅데이터 분석, 군집분석 후 13개 분야의 미래 종합시나리오를 도출하고, 종합시나리오에 따라 회피전략, 지향전략, 대응전략 등으로 정책과제를 도출함
 - (주요 연구결과) 식량수자원, 국제정치, 북한, 경제, 정주여건, 사람, 인구사회, 정치행정분야의 주요 동인, 돌발 변수에 따라 유력한 시나리오에 따른 개혁과제를 도출하고 미래사회를 전망함
 - 식량수자원 : 기후변화에 따라 다양한 품목 개발로 식량 대응이 가능하여 미래 암울한 결과가 초래되지 않을 것으로 예상되나, 담수량과 수질에 따라 물 부족국가 가 될 가능성은 존재함
 - 국제 정치 : 미중관계의 정체가 지속될 것으로 예상되므로 미국 주도의 국제 체제가 우위를 유지하고 일본의 군사력도 지금의 수준으로 유지될 것으로 전망함. 미국 우위의 국제 체제가 지속되어 국제기구의 영향력이 점차 감소할 것으로 예상됨
 - 북한 : 김정은 정권이 향후 공고화될 가능성이 높기 때문에 입헌 군주제나 왕조와 같은 상징적 권력으로 변화할 가능성이 존재하고 시장경제 개방으로 경제 시스템이 변화할 것으로 전망됨
 - 경제 : 기술진보 수용에 따른 문제해결이 지연되고 소득성장에 따른 격차가 심화되는 연장형 시나리오가 발생할 가능성이 매우 높을 것으로 예상됨(기술 진보가 빠르고 정부 대응역량이 낮은 시나리오)
- ※ 경제분야 시나리오는 최근 중앙일보 기사(한국 저성장·중산층 붕괴...이대로 가면 동남아에도 밀린다. 2019.5.14.) 보도
- 정주여건 : 수도권 집중으로 고밀도 거주는 아파트와 같은 형태가 지속되며 아파트의 자산가치는 높아질 것으로 예상. 이에 따라 수도권과 지방의 부동산 격차로 인해 양극화가 심해질 것으로 새로운 교통수단의 발달도 기술적 경제성을 확보하지 못하면 고소득층의 특권으로 전략할 수 있을 것으로 예상됨(교통 기술의 발전이 소득수준과 상관없이 균등하게 이루어져야함)
 - 사람 : 근원적인 철학적 문제로 파국 시나리오*가 발생할 가능성이 있으며 과학기술발달에 따른 인간 중심 가치 구현을 위한 사회적 합의체가 중요할 것임
- * 생태계 급변으로 세계가 붕괴할 수 있고 문명의 이전상태로 돌아가 특권층을 제외한 양극화 형태가 발생할 수 있음
- 인구사회 : 삶의 질이 개인의 행복이 중요하는 사회로 변화하고 면대면 관계를 회피, 협력보다 경쟁하는 배틀그라운드 시나리오가 발생할 수 있음
 - 정치행정 : 지속되고 있는 분배 및 이념갈등이 더욱 심화될 것으로 예상되고 전자민주주의는 이러한 문제를 더욱 심화시킬 수 있는 가능성이 존재함

- (결론) 대부분 암울한 미래의 모습을 그리고 있음. 현재의 변화를 어떻게 유도하고 미래를 어떻게 대비할 것인가에 대한 경종의 의미
- 다양한 가능성을 13대 분야로 예측, 향후 국민의 의견 수렴에 활용 (사회적 합의를 통한 미래 형성(futuring)에 대한 새로운 모델 수립)
- 국회, 정부, 연구기관 등 다양한 정책 기관에 새로운 화두 제시 및 미래 대응력 제고

다. 논의 결과

- (협의체 조성) 양극화, 지역격차와 같은 문제가 향후 큰 이슈가 될 수 있을 것 같고 과학기술자문위원회보다 큰 협의체가 필요함
- (예측 방법론) 장기 미래는 불확실한 가능성이 크기 때문에 정량적 요소로 접근하는 것은 매우 위험함. 정성 또는 질적 분석을 하는 것이 가장 좋음(토론을 통해 합의점을 도출하는 방법)
 - 인문사회과학의 전문가는 대부분 미래예측에 경험이 없어 학문 특성상 현안에 대한 전문가로 구성할 수 밖에 없었기 때문에 AHP분석보다 델파이분석을 실시함
 - 미래사회를 예측하는 질문 수준(level)에 대한 차이는 있을 수 있지만 질문에 대한 결합이 더 중요하고 향후 결합을 통해 새로운 관점을 찾는 것에 초점이 맞춰져 있음
 - 장기 미래 불확실한 예측은 이슈의 결합을 통한 포워드 예측을 선호함(백워드 방식은 목표타겟을 만들고 거꾸로 실행하는 방식)
- (규제 이슈) 본 연구에서 제시한 정책은 실행단위의 내용이 포함되어 있지만 정책이 작동하기 위한 환경(규제, 인프라)에 대한 분석은 부재함
 - 국회미래연구원은 규제 문제를 직접 해결할 수 있는 권한은 없지만 공론화할 수 있는 장을 만드는 역할은 가능함
 - 향후 정책적 실행을 위한 환경 조성 연구는 차후 진행할 예정임
- (공론조사 방법) 국민참여단을 구성하여 권역별로 조사하고 가치가 상충되는 문제에 대해서는 추가설문조사를 실시함
 - 성인대상으로 온라인으로 실시하며 청소년도 포함하여 별도의 설문조사를 병행함
- 국회미래연구원 건의사항
 - 양극화 문제가 가장 클 것으로 과학기술 성장에 따른 반작용의 문제를 고민했으면 함
 - 불평등 문제뿐만 아니라 사회에 공유가능한 기술, 적정기술 등이 기술개발되는 것이 중요할 것임
 - 미래 예측을 전인하는 가장 중요한 것은 과학기술이며 과학기술이 어떻게 변할 것인지에 대해 파악이 수월하도록 '기술예측보고서'를 연속적으로 발간해야함(현재 기술예측보고서를 KISTEP에서 발간하고 있지만 정책과 연계된 보고서는 부재)
 - 과학기술 발전에 의해 국가체제가 위협받을 수 있으므로 과기정통부 내 타부처와 적극적으로 소통할 수 있는 전담부서를 만들어야함

3.2.5. 제5차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 5. 22 (수) 11:00 ~ 13:00

□ 장소 : 과기정통부 2층 중간소통방(222호)

□ 참석자 : 과기정통부, 한국연구재단, 민간전문가 등

- (발제 및 토론) 정지훈 교수(경희사이버대학교), 오동훈 파트너(테크노베이션파트너스), 이상원 책임(테크노베이션파트너스), 안화용 실장(한국연구재단), 이재섭 연구원(한국연구재단)
- (총괄 및 운영) 고서곤 기초원천연구정책관(과기부), 이석래 과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 송완호 과장(과기부), 이남우 연구원(과기부), 김애화 사무관(과기부), 김승균 대표(이산컨설팅그룹), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) SF영화, 상상력과 가능성의 균형점을 찾아서- [경희사이버대학교, 정지훈 교수]
- (논의 내용) 미래학 접근방법, SF 분석방법 등 미래사회 접근방법에 대한 심층 토론

	성 명	정 지 훈
	現 경희사이버대학교 미디어커뮤니케이션학과 교수 前 명지병원 IT융합연구소장 前 (전)우리들의료재단 우리들병원 임원	

저 서	
2015	호모사이언스씨의 위험한 고민
2015	상상력과 지식의 도약
2014	거의 모든 인터넷의 역사
2013	내 아이가 만날 미래
2012	스마트 IT, 스마트 혁명
2012	무엇이 세상을 바꿀 것인가
2011	오프라인 비즈니스 혁명
2010	거의 모든 IT의 역사: 세상의 패러다임을 바꾼 위대한 혁명
2010	제 4의 불: 휴먼에너지, 미래를 이끌어 갈 원동력

[제5차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (미래예측 현황) 미래학 초창기에는 글로벌 파워, 게임이론, 인구이론 등을 이용해 국가주도적 미래학으로 시작되었으며 우리나라는 국가경제5개년 개발부터 미래학을 통해 정책전략이 수립되었음
 - ‘국가경제가 어디로가는가?’에 대한 질문을 시작으로 환경학, 경제학, 사회학자들이 주로 미래학에 관심을 보였고, 현재 각 부처, 연구기관(KISTEP, STEPI 등)에서 많이 예측을 하고 있음
- (주요 예측방법) 미래학은 증명이 불가능하기 때문에 학문이 발전할 수 없으나 추세의삽법과 같은 기법을 가장 많이 활용하고 다음으로 시나리오플래닝 기법을 사용함
 - 시나리오를 가지고 사람들을 끌어드릴 수 있으면 그게 미래가 되는 것임(스티브 잡스, 엘런 머스크 사례)
 - 국내에서는 미래 비전을 제시하고 보여줄 수 있는 사람이 매우 부족한데 이유는 분석적으로 접근하고, 스토리가 없기 때문임
 - 할리우드는 감동이 매우 강력하게 작동하기 때문에 할리우드 SF극작가 협회의 구성원들은 미래 예측의 전문가이고 학회도 개최하기 때문에 주의깊게 살펴볼 필요가 있음
- (SF분석의 중요성) 영화를 보면서 실제로 저런 기술이 미래에 도입될 것이라는 기대심리가 작동되고 실제 기술이 구현되었을 때 저항감이 적어짐
 - 마이너리티 리포트 사례 : 시나리오플래닝을 MIT미디어학과랑 같이하여 과학기술·인문사회분야를 융합하여 가능한 기술을 셋업함
 - Star Trek, Douglas Caldwell 등 사례 참고
- (SF와 현실의 차이) SF는 CG효과로 다양한 각도로 짧은 시간만 보여주면 되지만 현실은 복잡성, 경제성 등의 이유로 인해 시장에서 성공하기 어려움
 - 예를들어 투명디스플레이 같은 경우 현재도 상용화가 가능하지만 보급이 안되는 이유는 활용성이 떨어짐(실제 작업환경이 불편함)
- (Dan Turner의 4단계 접근방법) 발견→테크트리 그리기→테크트리 전반에 대한 탐구→가치를 디자인과 연결
 - 발견 : 사용자의 가치 탐색
 - 테크트리 그리기 : 기술 빌드업, 휴리스틱 평가 원칙 적용
 - 가치를 디자인과 연결 : 표현과 상호작용 고려
- (학계 동향) 미래학회를 가면 젊은 세대와 미래 세대가 분리되는 현상이 발생하고 있으며 젊은 세대는 할리우드 영향을 많이 받은 시나리오를 중요시 함
- (시나리오 작성법) 정치, 규제 등을 고려해서 시나리오를 작성해야하고 중앙부처

보다 지자체가 훨씬 중요함

- MIT수업 사례 : SF작가들이랑 MIT와 협업해서 기술리뷰
- (글로벌 동향) 중국에서는 국가에서 주도적 SF쪽에 투자를 강화하고 SF작가 인력도 모으고 있음
- 미국은 산업계(헐리우드, 넷플릭스 등)가 주도하고 있음

다. 논의 결과

- (미래 사회 시나리오 추진 방향) 우리나라는 이공계분야의 SF작가 수가 적어서 과기정통부에서 과학자 중에 시나리오 또는 크리에이티브 콘텐츠를 만드는 사업 또는 과제를 추진하면 좋을 것임
 - 시나리오 구성 시 감동적인 요소를 꼭 포함시켜야함
 - 영화에서 나오는 기술을 가지고 연구과제를 하면 의미 있을 것임
- (협업 가능 조직) 우리나라 SF분야에서 협업 가능한 조직은 ‘SF협회’, ‘과학책방 갈다’가 가장 좋을 것이고 SF작가연대, 장르연합회는 연결성이 부족함
 - IITP에서 미래사회 예측과 유사한 과제(영화, 웹툰 등 미디어 분석)를 하였는데 요소기술 중심의 접근으로 설명력이 약함(연구책임자 : KAIST최문정 박사)
- (과학기술 융합을 통한 미래사회 접근) 글로벌 프로젝트로 추진하여 우리나라에서 미래사회에 대한 비전 메이킹을 하는 것으로 추진필요
 - 미국, 중국과 비교해서 우리나라가 미래를 전부 이끌기 어렵기 때문에 사이즈를 줄여서 미래시나리오에 역점적으로 추진하는 분야가 도출되어야함
 - 미래사회 시나리오 추천 분야 : IT, 로봇, 자동차, 테마있는 스마트 시티(문화콘텐츠, 도시문화 등)
 - 국내 전문가 추천 : 윤영희 작가(SF협회 부회장), 정재승 교수(KAIST) 등

3.2.6. 제6차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 5. 29 (수) 11:00 ~ 13:00

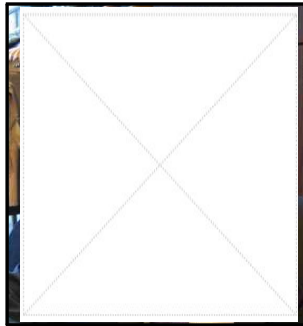
□ 장소 : 과기정통부 2층 중간소통방(222호)

□ 참석자 : 과기정통부, 한국연구재단, 민간전문가 등

- (발제 및 토론) 강훈종 박사(전자부품연구원), 김태근 교수(세종대학교), 임승욱 본부장(전자부품연구원), 유재형 본원장(한국조명ICT연구원), 구정식 센터장(구미전자정보기술원), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 이상원 팀장(테크노베이션파트너스), 박경민 전임(테크노베이션파트너스)
- (총괄 및 운영) 정병선 실장(과기부), 고서곤 국장(과기부), 이석래 과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 송완호 과장(과기부), 이남우 연구원(과기부), 강창원 사무관(과기부), 김주화 사무관(과기부), 김형래 사무관(과기부), 박태희 사무관(과기부), 장대현 사무관(과기부), 김승균 대표(이산컨설팅그룹), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) 홀로그램 기술과 미래사회- [전자부품연구원, 강훈종 박사]
- (논의 내용) 홀로그램 기술 및 서비스 현황, 홀로그램 산업 당면 현안 등 홀로그램 기술의 미래 전망

	성 명	강 훈 종
	現 전자부품연구원(KETI) 책임연구원 前 The European FP7 Real 3D Project (Researcher) 前 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원	

경 력	
2014 ~ 2019	한국광학회 이사
2019	Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics, General Chair
2017	OSA(미국광학회), Digital Holography & 3-D Imaging conference, General Chair
2014 ~ 2016	한국통신학회, 한국정보디스플레이학회, 한국광학회 분과위원장
2010 ~ 현재	전자부품연구원 책임연구원

[제6차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (홀로그래프 기술 현황) 영화 속에 나오는 홀로그래프 기술(스타워즈, 아바타 등)의 기술은 실현이 불가능한 기술임
 - 홀로픽 디스플레이는 아직 존재하지 않고, 홀로그래프 이미징 기술은 현재 개발 중에 있음
 - 홀로그래프 프린팅 기술은 사진 단계까지 개발되었으며 동영상, 모바일 단계까지 도달하지는 못함
- (홀로그래프 산업) 유사 홀로그래프가 공연, 광고판, 액자 등 디스플레이 산업에 활용되고 있지만 향후 홀로그래피가 갖고 있는 응용력은 더 넓을 것임
 - 디스플레이, 보안, 의료 등 여러 산업에 걸쳐 융·복합이 가능한 핵심 기술임
- (해외 기술 현황) 미국, 중국 등 홀로그래프 기술이 우리나라에 비해 매우 앞서있으며 프린터, 현미경, 콘텐츠 산업 등에 적용한 다양한 제품이 나와있음
 - 우리나라의 홀로그래프 산업은 매우 열악한 상태로 주로 해외에서 제품을 수입해서 제품, 콘텐츠를 만드는 상황
- (홀로그래프를 통한 미래사회) 홀로그래프 발전으로 디지털라이프의 혁신적 변화가 일어날 것이고, 산업 전반의 문제점을 해결하기 위한 핵심기술로 활용이 가능할 것
 - 반도체/디스플레이 : 홀로그래프를 이용한 고정밀 대면적 정밀측정검사
 - 건설/제조 : 홀로그래프 이미지에 의한 오류 감소 및 원가절감
 - 의료 : 홀로그래프를 통한 검진으로 국민의 안전하고 건강한 삶 보장 기여

다. 논의 결과

- 홀로그래프 R&D 기간이 오랜시간 지났는데 그 간 발전과 성과는?
 - 홀로그래프에 적합한 디스플레이 패널이 없음, 일반적으로 진공관, 트랜지스터, 홀로그래프 데이터는 일반 디스플레이와 다르기 때문에 디스플레이에 투자 및 개발이 필요함
 - 미국과 영국에서 개발하고 있는데 특별한 성과는 없고, 최근 연구자들이 가상의 물체를 디스플레이하는 쪽으로 편향되어있음
- 홀로그래프의 필요성
 - 참여적인 미디어 형태가 필요하고, 이러한 형태를 찾는 사용자가 증가하고 있음
 - 상호작용 때문에 참여가 증가하는 것은 사회문화적 트렌드임
- 홀로그래프의 기술적 전략
 - 국내 홀로그래프 산업군에 속한 기업은 20개 미만(제조업 기준)

- 국내에서는 홀로그램 기술에 대한 관심이 낮으나, 최근 기업에 니즈가 어느정도 생겨서 홀로그램 예타사업을 추진하게 됨

※ 예타에 빠져있는 부분 : 홀로그램 소재, 홀로그래픽 디스플레이

- 재료 및 소재 분야는 전량 수입하고 있기 때문에 디스플레이분야로 지속적인 투자 필요

○ 홀로그램 성공 사례

- LG디스플레이 사례 : 차세대 OLED패널 개발 후 불량난 픽셀에 대한 고민을 홀로그램 기술을 통해 해결할 수 있었음

○ 기타 다양한 의견

- 자동차가 홀로그램 기술을 촉진시킬 수 있는 매개체 역할을 할 것

- 현미경, 망원경 분야에서 새로운 패러다임이 생길 것

- AI홀로로봇에는 가상, 리얼리티 인터페이스 기술이 필요하고 특히 인터페이스 기술이 중요함

3.2.7. 제7차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

□ 일시 : '19. 6. 12(수) 11:00~13:00

□ 장소 : 과천 과기정통부 222호 회의실

□ 참석자 : 과기정통부 연구개발정책실장, TF 팀장(연구개발정책과장, 융합기술과장, 지역과학기술진흥과장), 한국연구재단 및 민간전문가 등

- (발제 및 토론) 김지연 교수(고려대학교), 송수연 대표(언메이크랩), 이천무 부장(국가과학기술연구회), 안화용 실장(한국연구재단), 조사연 단장(한국연구재단)
- (총괄 및 운영) 고서곤 국장(과기부), 이석래 과장(과기부), 한우진 서기관(과기부), 송완호 과장(과기부), 이남우 연구원(과기부), 장대현 사무관(과기부), 김승균 대표(이산컨설팅그룹), 류인호 연구원(이산컨설팅그룹)

□ 논의 내용

- (발제 주제) 기술 실패 사례를 통해 학습하는 미래사회 접근 방법 - [고려대학교 과학기술연구소, 김지연 교수]
- (논의 내용) 기술 실패 사례, 시민 참여 방법 등 미래사회 예측방법론 논의



성명

김지연

現 고려대학교 과학기술학연구소 연구교수
前 인터넷기업협회 정책실장

경력

경력	
2018	한국과학기술학회 연구이사
2017	고려대학교 과학기술학연구소 기획실장
2004	인터넷기업협회 정책실장

[제7차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (문화콘텐츠 분석) 특정 연예인의 성공은 인과적 분석이 불가능하기 때문에 특정 요소가 성공을 이끌었다고 볼 수는 없음
 - 단, 특정 연예인과 우호자들 사이의 상호적 구성을 통한 성공이라는 결과론적 해석은 가능
- (기술 혁신 분석) 혁신 연구 대부분은 성공의 조건을 찾기 위한 경제학자들에 의해 수행되고 있음
 - 성공 조건으로 여러 요소를 찾고 특정한 요소들이 성공을 이끌었다는 인과적 분석을 지향함
- (기술과 환경) 기술과 기술의 사용자를 함께 작동하게 하는 세계를 구축하는 것이 상호적 구성이 핵심임
 - 사용자들은 해당 기술을 사용함으로써 새로운 정체성을 형성하고 그 기술 안에서 자유를 향유함
- (미래 예측) 성공 사례를 인과적으로 분석할 수 없는 것과 마찬가지로, 미래는 예측에도 한계를 가짐
 - 예측의 한계성을 경험적으로 알기 때문에 선진국의 성공한 기술 도입을 모방함
 - 의존성보다는 사용자와 세계를 구축하는 것에 더 중점을 두어야 함

다. 논의 결과

- 1970년대 컴퓨터 산업 사례
 - 애플과 MS는 제품을 생산하기보다는 제품의 사용자를 생산하여 크게 성공하였음
 - 그에 반해 IBM은 제품의 사용자를 구성해내지 못하여 실패함
 - 따라서 해당 기술의 사용자를 발명하는 것이 기술과 환경의 상호적 구성임
- 미래 예측
 - 미래 예측에 있어서 무비판적 태도를 보이는 사람들이 다수
 - 미래를 예측하는 다양한 이론이 가지는 오류를 맹목적으로 따르는 태도
- 시민과학
 - 기술 발전에 있어서 전문가가 중요하지만, 전문가만으로 한정하는 것은 문제
 - 미국, 유럽 등의 과학연구 프로젝트의 시민참여가 미래 사회를 접근하는 핵심 방법일 것으로 생각됨

3.2.8. 제8차 국가과학기술혁신포럼

가. 회의 개요

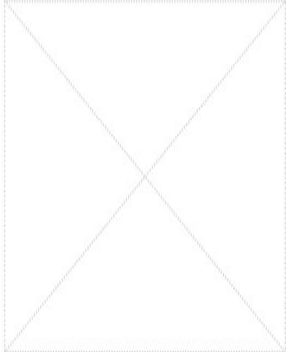
□ 일시 : '19. 9. 4 (수) 11:30~13:00

□ 장소 : 세종 과기정통부 4층 405호 회의실

□ 참석자 : 과학기술정보통신부, 한국연구재단, 민간전문가 등

□ 논의 내용

- (발제 주제) 소설가가 바라본 미래 사회-[공학박사 곽재식]
- (논의 내용) 로봇과 미래 일자리, 미래의 사회적 지침과 새로운 법규, 한국의 미래와 로봇

	성 명	곽 재 식
	現 소설가 및 과학교양서/인문교양서 작가 現 사빅코리아, Global Product Stewardship 부장 前 LG화학, 안전환경팀 과장	

경 력	
현재	사빅코리아, Global Product Stewardship 부장
2010-2014	LG화학, 안전환경팀 과장
2004-2010	분자설계연구소 주임연구원, 남앤드남코리아 팀장

[제8차 국가과학기술혁신포럼 발제자 약력]

나. 주요 발제 내용

- (기계의로의 대체) 용산 전자상가 등이 온라인으로 진출하면서 인간보다 기계에 더욱 편안함을 느낌
 - 기계가 사람을 대체할 것이며 회사는 기계 때문이 아닌 기계를 설치한 상대 경쟁사 때문에 사업을 영위하기 어려울 것
- (로봇 권리보호 결의안) 미래엔 로봇 보호법, 로봇권리보장 등 로봇에 관한 신설 법규가 생길 것으로 예상
 - 로봇에 대한 학대를 금지, 로봇복지법 등이 새로 생길 것으로 예상
- (인류의 미래) 인구 절벽 극복을 위한 육아로봇, 요양로봇이 발생할 것임
 - 인구 절벽은 한국의 문제일 뿐만 아니라 인류의 문제임
- (정부 주도의 미래) 정부는 미래를 위해 지원 연구를 확충하고 미래 관련 자료를 공개·공유해야 함
 - 정부 주도로 대학과 지역 관광지를 결합하는 등 지방분권을 통해 글로벌 주도를 실행해야 함

다. 논의 결과

- 미래에 신설될 법규들
 - 외계인 응대, 화성 부동산 개발 등 기존 분야의 법들이 새로운 주체를 대상으로 한 법이 개설될 것
 - 따라서 지금부터 새로운 법에 대한 검토가 필요함
- 인류의 미래를 위해 과학 기술의 방향성
 - 고차원의 기술을 사회적으로 낮은 계층에 있는 사람들에게 지원하는 것이 미래 과학기술의 방향성임
 - 육아·요양 로봇 등이 이러한 방향성에 적합한 로봇 형태
- 한국의 방향성
 - 미래기술 관련 위원회를 수립하여 새로운 주제를 발굴하고 발전에 기여해야 함
 - 정부가 과감한 자료 공개 등으로 추진력을 뒷받침해주어야 함

3.3. 미래사회 예측을 통한 이슈 발굴

3.3.1. 미래사회 시나리오 주제 선정

가. 키워드 분석

- ‘사람’을 중심으로 ① 사람이 살고 있는 곳, ② 사람이 살기 어려운 곳, ③ 사람이 살지 않는 곳에서 발생할 수 있는 미래사회 주제 및 키워드 분류
 - 예측기간(향후 30년), R&D 적정성 등을 고려하여 3개의 주제 선정
 - 대부분의 미래시나리오가 사람이 사는 곳에서 발생할 수 있는 시나리오로 구성
- 미디어 매체(신문)에 출현한 미래 시나리오 칼럼 분석
 - 국가과학기술혁신포럼에 참여한 SF전문가에게 자문을 구한 결과, 국민의 눈높이에서 미래사회를 전망하는 것이 중요
 - 키워드 분석 대상으로 경향신문 ‘미래의 눈’ 칼럼 선정

* 경향신문에서 최근 2년간(2017.1~2018.12) 미디어 매체 중 유일하게 연속적으로 미래사회를 예측하는 시나리오를 발간하여, 총 42개 칼럼에서 나타나는 미래사회 시나리오를 대상으로 키워드 추출

연번	칼럼 주제	주요 키워드	R&D 시나리오 적정성	사람이 사는곳	사람이 살지않 는 곳	사람이 살기 어려운 곳
1	과학과 신앙 사이	의료복지, 현대의학, 종교, 철학, 윤리문제	낮음			
2	기득권층은 인공지능 판사를 반대할까	인공지능,로봇,법,제도	낮음			
3	우주가 부른다	우주, 로켓, 발사체	중간		o	
4	인공지능에게 거짓말 가르치기	인공지능, 기술 수용성	낮음			
5	인공지능 댓글부대	인공지능, 사회현상, 윤리	낮음			
6	유전자 맞춤 아기의 시대	유전자 편집, 맞춤 아기, 의료 복지	낮음			
7	21세기 세대의 정서	과학기술, 사회문화, 사회현상 복잡성	낮음			
8	‘블록체인’을 통한 전자민주주의와 그다음	전자화폐, 블록체인, 인공지능, 데이터	높음	o		
9	“인공지능 로봇을 반려동물로 인정하라”	인공지능,로봇,법,제도	높음	o		
10	로봇 상속인 시대	인공지능,로봇,법,제도	낮음			
11	자율주행 시대의 자동차 보험	자율주행, 교통인프라	높음	o		

12	구텐베르크 마인드가 저무는 시대	미디어 매체, 사회 문화, 디지털 시대	낮음			
13	인간의 멘토가 된 AI	인공지능, 로봇, 빅데이터, 디지털 시대	중간	0		
14	새로운 흡수저의 탄생	인공지능, 윤리문제, 사회적 수용, 뇌과학	낮음			
15	생체에너지 혁명 이후	에너지, 생체전력, 에너지복지, 에너지혁명	높음	0		0
16	AI와 반려동물의 동맹	인공지능, 뇌과학, 동물	낮음			
17	이 이혼은 성립될까?	가상현실, 인공지능, 로봇, 법	낮음			
18	인공지능, 플모델로 손오공을 선택하다	인공지능, 윤리문제, 사회현상	낮음			
19	힘들고 올바른 연휴	사이버 공격, 해킹, 통신기술	낮음			
20	셋, 하나, 우리	뇌과학, 신경, 대인 관계	낮음			
21	나를 끄지 말아줘	건강, 디지털, 포스트휴먼	높음	0		
22	가짜 정보와 진짜 독버섯	정보홍수, 가짜뉴스	낮음			
23	날카로운 새 가위를 손에 쥐고서	유전자편집, 법, 생명윤리	낮음			
24	나를 팔고 무엇을 사야 할까	인공지능, 건강, 인공지능 진단, 의료빅데이터	중간	0		
25	회의적인 도시	기술수용성, 인공지능, 시민	낮음			
26	이제 거리에서 만나면 수화로 인사해요	환경오염, 미세먼지, 재난	높음	0		
27	인간적인, 너무나도 인간적인	디지털인간, 공감, 인간성	낮음			
28	넘어지고 일어나는 인공지능	인공지능, 알고리즘, 학습방법, 교육	낮음			
29	남극 상공에서 찾아낸 희망	환경문제, 빅데이터, 인공지능	낮음			
30	새해 첫 주의 어떤 절망	난치병, 뇌신경과학, 전자두뇌	높음	0		
31	느린물	과학기술 발전, 부작용	낮음			
32	낭만, 동경, 그리고 설렘의 시대	뇌과학, 인공지능, 공감능력, 인간성	낮음			
33	새 출발은 인공지능과 함께	인공지능, 나노머신, 뇌과학	낮음			
34	스승의 끝	인공지능 교사, 미래 교육	높음	0		

35	첨단 거울 속의 나	뇌과학, 소프트웨어, 정보기술, 두뇌, 사이퍼스페이스	낮음			
36	데이터로 이루어진 너	데이터, 개인정보보호법, 데이터 보호, 생성	중간	0		
37	인공지능과 함께 인터넷 방송을	인터넷 방송, 인공지능	낮음			
38	데이터 바다에서 '나'를 찾아라	빅데이터, 맞춤형서비스, 데이터 분석	높음	0		
39	이제 남은 암흑기는 없다	나노머신, 의학, 생명공학	높음	0		
40	우주에서 갓 태어나는 기계와 인간의 쌍둥이들	우주, 인간, 로봇, 공존	낮음			
41	인간, 창조품에 적응할 수 있는 존재	자동차, 자율주행, 기술수용성	낮음			
42	인공지능이라는 종족과 우리	인공지능, 문화, 사회구조변화	낮음			

나. 미래사회 시나리오 주제 선정 평가

□ 평가 개요

- 국가과학기술혁신포럼에 참석했던 민간전문가를 대상으로 과학기술기반 미래사회 시나리오 주제 선정평가를 추진
- 국민의 눈높이에서 미래사회를 전망할 수 있도록 미디어 매체(신문)에 게재된 기사*에 포함되는 시나리오를 중심으로 평가 실시

* 경향신문 '미래의 눈' 칼럼 활용(분석대상 42개)

제목	주요 키워드	미래사회 시나리오 적합성	시나리오가 발생 가능한 장소			평가 의견
			사람이 사는곳	사람이 살지않는 곳(우주, 미지세계 등)	사람이 살기 어려운 곳(극한환경 등)	

[미래사회 시나리오 주제 선정 평가 양식]

- 총 10명의 자문위원이 1차, 2차 온라인 서면평가를 통해 최종 3개의 미래사회 시나리오 주제를 선정함

연번	성명	소속	분야	평가 참석여부
1	이천무	NST	공공	○
2	김상윤	포스코경영연구원	기술사업화	
3	이준상	연세대	의학	○

4	김지연	고려대	과학기술학	○
5	정지훈	경희사이버대	의학, 미래학	
6	강훈중	전자부품연구원	홀로그램	
7	김강배	녹색기술센터	사회학	○
8	이주량	STEPI	농업	○
9	문영준	한국교통연구원	교통	○
10	서경원	원자력연구원	에너지	○
11	김태근	세종대	광기술	
12	김유빈	국회미래연구원	전기전자공학/과학기술정책	○
13	민보경	국회미래연구원	지리학	○
14	허종호	국회미래연구원	공중보건학	○
15	이채정	국회미래연구원	정책학	

□ (1차 평가) 42개의 주제 중 5개의 주제를 선별함

연 번	제목	주요 키워드	평가의견
1	우주가 부른다	우주, 로켓, 발사체	• 최근 로켓 개발에 민간기업이 참여하기 시작하면서 우주탐사에 대한 기술 발전 속도와 관심도가 급격히 증가하기 시작하여 경제성을 갖추기 시작함 • 우주탐사 및 개발은 무한한 잠재력과 가능성이 있으며, 한국도 나로호 발사성공으로 가능성을 보인 분야임. 향후 미래우주시대를 대비하여 우주에서 필요로 하는 다양한 기술개발이 필요함 • 우주탐사는 신대륙 발견을 위한 모험과 같다. 당시 스페인, 영국, 에스파냐 등 당대 최고 문명국은 항해술의 발달에 힘입어 대양에 모험가를 내보냈다. 생존귀환을 기약할 수 없는 선원들과 이들에게 막대한 자원을 스폰한 권력가와 자본가들에게 먼 바다에 있을지 모르는 값비싼 향신료와 황금의 나라가 주는 매력은 거부할 수 없는 무엇이 었다. 현대 있어서 우주탐사는 아직까지는 경제적 수익보다 우수에 대한 순수한 호기심, 혹은 지구 외의 인간이 살 수 있는 행성 탐사라는 목적이 강함. 그러나 로켓기술의 발달로 행성탐사의 경제성이 '+'가 되는 순간이 올 것임. 그 때가 된다면 세계 최고 선진국의 부호와 국왕의 스폰서 아래 신대륙을 향한 모험이 장려되었던 것처럼 우주탐사 역시 세계 최고 선진국과 기업을 중심으로 진행되는 각축장이 될 것임
2	인간의 멘토가 된 AI	인공지능, 로봇, 빅데이터,	• 인공지능이 발달하면 인간의 판단을 AI에 의존하게 될 가능성이 높음 • 강한 인공지능, 약한 인공지능의 구분을 떠나 인간이 이해하기 어려운 결정을 내리는 인공지능을 신뢰할 가능성이 높음 • 현재 시점에서도 충분히 발생하고 있는 것으로 자동차 운전시 평소에 가지 않는 방향으로 안내하는 내비게이션이 있다면 상당수 사람

		디지털 시대	들은 내비게이션을 따라 자동차를 운전할 것 이세돌과 알파고와의 대전을 기억할 것이다. 당시 많은 사람들이 알파고의 수를 읽지 못했다. 대국을 보는 내내 '알파고는 왜 이런 수를 두었을까?'라는 질문만 했고 경기가 끝나서야 이유를 알 수 없는 알파고의 한수가 승부를 가름하는 지점이었음을 뒤늦게 깨달았을 뿐이다. 앞으로 인공지능이 발전하면 바둑이 아니라 의료, 정치, 과학의 모든 분야에서 인공지능이 인간의 판단력을 대신하게 될 순간이 올 것이다. 그 때 되면 우리는 다시 이런 질문을 하게 될 지도 모르겠다. '인공지능은 왜 이런 판단을 했을까?' 예컨대 의료계에서 인공지능의 진단명과 인간의 진단명이 갈리게 된다면 그 때 우리는 어느 쪽의 판단을 따라 병을 치료해야 할 것인가? 인간의사? 인공지능? 사실 예측이 어렵진 않다. 기술이 발전하면 인간은 인간보다 인공지능을 더 신뢰할 가능성이 높다. 바로 이 순간에 인간은 인간이 받아들이기 어려운 결정일지라도 인공지능의 판단을 존중하고 따르게 될 것이다. 그리고 이러한 선택은 어쩌면 종교의 그것과도 닮아있다. 즉, '모든 것은 신의 뜻대로...'가 아닌 '모든 것은 인공지능의 뜻대로...'의 사고가 우리사회에 만연해질지도 모르겠다. 어쩌면 종교적 사고관이 중세 암흑시대를 불러온 것처럼 인공지능에 대한 의존은 현대인류의 이성과 판단력을 잠식하고 암흑시대를 불러올 수 있을 것이다. 아이러니 하게도 과학기술의 첨단이 오히려 인간의 지성과 이성을 저버리게 하는 원인이 되는 것이다. 그 때가 되면 기계를 파괴하는 러다이트가 인간 지성의 회복을 위한 르네상스 운동으로 격상될지도 모르겠다.
3	생체에너지 혁명 이후	에너지, 생체전력, 에너지 복지, 에너지 혁명	- 한국의 에너지복지 실현을 위한 기술적/제도적 장치 마련이 요구되며 특정 이익단체에 의해 좌지우지되는 우는 범하지 말아야 함 - 인체의 무한한 에너지를 이용하여 국가 전력 발전량을 끌어올 수 있으므로 에너지 부족 국가의 새로운 희망이 될 수 있음
4	이제 거리에 서 만나면 수화로 인사해요	환경오염, 미세먼지, 재난	- 환경오염과 미세먼지로 인한 피해와 위험성은 모두가 공감하고 있으나 문제를 해결하기 위한 과학적/기술적 방법은 아직 초기 단계이며, 인체에 대한 유해성이나 환경에 대한 위해성도 아직 정확히 밝혀지지 않아 우리 사회에 미세먼지 포비아가 만연되고 있음. 미래사회에서 미세먼지 해결에 대한 과학적인 해결책 마련이 시급함 - 중국 연안의 원자력발전소 내 원자력사고와 같은 재난이 발생하였을 때, 바로 이웃에 위치한 우리 나라의 국민 보호 및 국가 안보 확보를 위한 민관 협의체 구성을 위한 노력이 필요함
5	날카로운 새가위를 손에 쥐고서	유전자 편집, 법, 생명윤리	- 최근 중국 내 유전자편집 아기 관련하여 전세계적으로 충격을 줌, 우리의 경우 황우석 사태로 생명윤리법이 제정되면서 관련 연구들이 엄격하게 통제되고 있지만, 향후 유전자편집과 같은 기술 적용을 위한 생명윤리법 개정 및 동물권 확보에 대한 고민이 필요함 - 유전자 편집이 가능해진 현 상황에서 미래 생명공학 기술은 유전자 편집의 고도화를 통해 부작용이 없고, 기능을 더 강화하는 형태로 진화될 것으로 판단됨. 유전자 맞춤형 아기 등 생명윤리적인 문제를 내포하고 있지만 보수적인 관점에서 제한적인 치료목적 사용의 허용이 이루어 질 것으로 예상되므로 관련 기술에서의 경쟁력 확보가 필요함

□ (2차 평가) 5개의 주제 중 3개의 최종 주제를 선정함

연번	제목	주요 키워드	평가의견
1	인간의 멘토가 된 AI	인공지능, 로봇, 빅데이터, 디지털 시대	- 인공지능을 활용하는 사회는 4-5년안에 우리 앞으로 다가올 것으로 예상됨. 특히 아마존등 초대형 다국적 기업은 이미 인공지능을 활용해서 기존의 retail 시장을 급격히 바꾸고 있고 의학/병원 분야도 자율 수술 등 혁신이 이뤄지고 있음. - 인공지능 관련 산업의 부흥이 요구되는 시점에서 인간의 멘토를 AI가 대신하는 부분도 조만간 현실화 될 가능성이 매우 높음 - 현재의 AI가 적응형 자동화의 개념에 가까워졌다면 미래에는 이를 넘어 AI 자체가 독립적인 사고를 할 수 있는 주체가 될 수 있을 것으로 내다봄
2	이제 거리에서 만나면 수화로 인사해요	환경오염, 미세먼지, 재난	- 최근 통계청 자료에 의하면 폐암 및 폐렴으로의 사망이 전체 사망원인중 독보적 1위임. 대표적인 이유는 환경오염이고 특히 중국발 환경오염이 많은 영향을 미친 것으로 분석됨 - 미세먼지의 위험성 뿐 아니라 미세먼지의 해결책도 매우 중요한 시점임 - 더욱 인구밀도가 높아지고 오염이 심화되어 생태학적으로 불안해지고 세계 기후의 변경은 급속히 진행되어 인간의 건강과 안전에 문제를 일으킬 것임
3	날카로운 새가위를 손에 쥐고서	유전자 편집, 법, 생명윤리	- 유전자 편집 아기는 최근 바이오 분야의 최고의 이슈였음. 도덕적 논란으로 잠시 수면 아래에 있지만 기술이 있는한 중국등 개인정보에 덜 민감한 국가에서 계속 진행할것이고 궁극적으로는 많은 나라에서 활용할 수 있는 기술이라고 판단됨 - 유전자 편집으로 질병치료를 할 수 있는 이점이 있지만 피부색, 키, 몸무게 등 유전자가 관여하는 많은 부분에 있어 변화를 가져올 것으로 생각됨 - 유전자 편집은 인간의 사악한 욕망(히틀러의 인종차별에서 볼 수 있듯이)을 건드릴 수 있다는 측면에서 생명윤리 부분에 있어 심각한 문제를 일으킬 것으로 생각됨

다. 미래사회 시나리오 주제 도출

- 키워드 분석, 민간전문가 선정평가를 통해 도출된 미래사회 시나리오 주제는 다음과 같음
- ‘자유 주제’는 앞서 실시한 키워드 분석을 제외하여 주제를 제시하지 않고 SF작가가 자유롭게 미래사회를 예측할 수 있도록 추진

연번	주제	주요 키워드
1	인공지능	인공지능, 로봇, 빅데이터, 디지털 시대
2	환경	환경오염, 미세먼지, 재난
3	유전자	유전자편집, 법, 생명윤리
4	자유주제	SF작가가 생각하는 미래사회 모습

라. 미래사회 시나리오 작성

- SF작가 섭외, 시나리오 작성, 시나리오 검증회의를 통해 미래사회 시나리오를 작성하고, 이를 기반으로 미래사회 삽화를 제작함

추진 절차	세부 내용
SF작가 섭외	• 박창준 작가(SF기획자, 칼럼리스트 활동) - 저서 : 한국 창작 SF의 거의 모든 것, 화씨 451(번역), 라마와의 랑데부(번역) • 광재식 작가(화학자, 소설가) - 저서 : 140자 소설, 당신과 꼭 결혼하고 싶습니다, 역적전 • 김창규 작가(SF작가, 번역가) - 저서 : 우리가 추방된 세계, 태왕사신기, 별상
시나리오(초안) 작성	• 4가지 주제에 대해 시나리오 초안 작성
시나리오 검증 회의	• 내·외부 전문가 회의를 통해 시나리오 검증 및 보완 의견 - 대학, 출연연 기술 전문가 및 과기정통부, 이산컨설팅그룹
최종 시나리오 도출	• 시나리오 검증 회의에서 도출된 의견을 반영하여 최종 시나리오 작성
미래사회 삽화 작성	• 도출된 최종 시나리오를 바탕으로 미래사회 삽화 작성

[미래사회 시나리오 작성 추진 절차]

3.3.2. 미래사회 시나리오

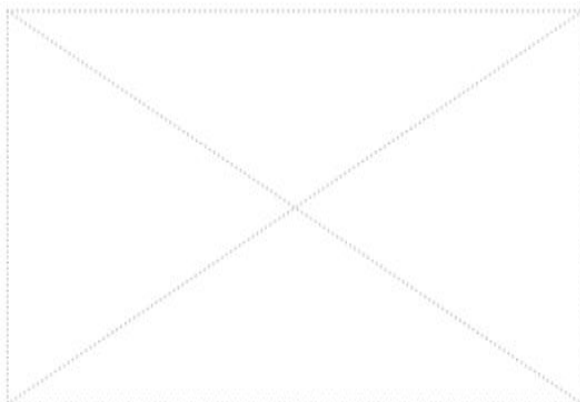
높은 수준의 기술을 낮은 곳을 위하여(사람이 사는 곳)

글 : 곽재식

그림 : 류선호

기선은 아침 일찍 일어나 단말기를 작동시켰다. 단말기는 알래스카 해안 지방의 현장에 연결되었다. 해안 현장에서는 건설 로봇들이 작업을 기다리고 있었다.

기선의 일은 서울에서 원격으로 건설 로봇들을 살펴보고 프로그램을 조작하는 일이었다. 인공지능 로봇들은 해안 지방의 독을 공사하는 일을 하게 되는데, 현장의 지형과 작업 조건에 따라 인공지능이 잘 학습할 수 있도록 초반에 사람이 도움을 주어야 하는 일이 필요했다. 알래스카 현장의 직원들도 어느 정도 작업을 알고는 있지만, 처음 투입되는 신형 로봇들은 그 로봇을 세계 이곳저곳에서 움직여 본 경험이 많은 기선이 도움을 주어야 한다.

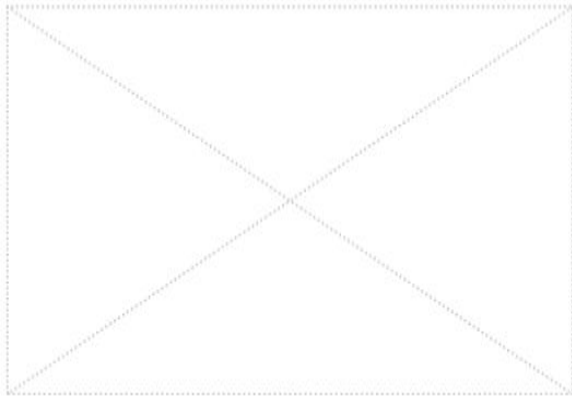


<현장에서 다양한 작업을 스스로 수행할 수 있는 인공지능 로봇 기술>

기선이 맡아 해야 하는 일은 요즘 부쩍 늘어나 있었다. 지구 온난화 때문에 기후가 변하고 해수면이 상승하면서 해변에 독을 높게 쌓아야만 하는 곳이 빠르게 늘어났다. 방파제 공사와 기후 변화에 대응하기 위한 튼튼한 독, 초대 공사를 위한 인공지능 체계는 기선의 회사의 판매 실적이 좋은 편이었다.

얼마 전까지만 해도 한국의 건설 회사들은 큰 위기를 맞고 있다는 이야기가 많았다. 인구가 증가하는 것이 급격히 느려지면서 예전처럼 아파트 건설이나 도시 재개발로 건설사가 돈을 버는 시대가 끝나가고 있다는 이야기가 많이 나왔다. 아파트를 살 사람들이 줄어드는 지어야 할 아파트의 숫자도 줄어드는 것이다.

그러던 중에 이 건설 회사들이 새로 살 길을 찾아낸 것이 기후 변화 대응을 위한 새로운 건설 기술이었다. 낮은 건물들이 홍수, 강풍, 지반 침하 같은 격렬한 기후에 잘 견딜 수 있는지 진단해주고 그것을 버틸 수 있도록 개조, 개량하거나 보강 공사를 하는 일부터 시작해서, 기후 변화로 강이 말라 붙을 만한 지역에 거대한 물길 공사를 한다거나, 해수면 상승으로 가라앉을 곳에 거대한 독을 세워 바닷물을 막는 공사를 하는 기술을 개발했다. 그런 기술로 새롭게 세계 곳곳에서 건설회사들은 적응해 나갈 수 있었다.



<지진, 홍수, 강풍, 해수면 상승 등의 격렬한
기후에 대비할 수 있는 건설 기술>

따지고 보면, 기선의 회사가 성공한 것은 탄소 배출을 줄여서 기후 변화를 막는다는 계획이 실패할 거라는 우울한 전망을 담담히 받아들인 결과였다. 기후 변화를 막을 정도로 대폭 탄소 배출을 줄이려면 전 세계의 모든 나라가 서로 협심해서 산업 구조를 재편해야 한다.

그러나, 민주 국가는 민주 국가 대로, 독재 국가는 독재 국가대로의 이유로, 전 세계가 하나로 단결한다는 것은 너무나 어려운 일이었다. 규제와 통제의 손길은 한 나라 안에서 이루어질 수밖에 없는 것이 현실이었지만, 변화와 영향은 전 세계에 걸쳐 있는 이런 문제를 간단히 풀기란 어려웠다.

다행히 세계적인 공감대가 천천히 늦게나마 형성 되면서 탄소 배출이 서서히 줄어들기는 했고, 기후 변화의 속도를 늦출 수가 있기는 했다. 그렇지만, 파국적인 기후 변화를 되돌리는 데에는 실패했다.

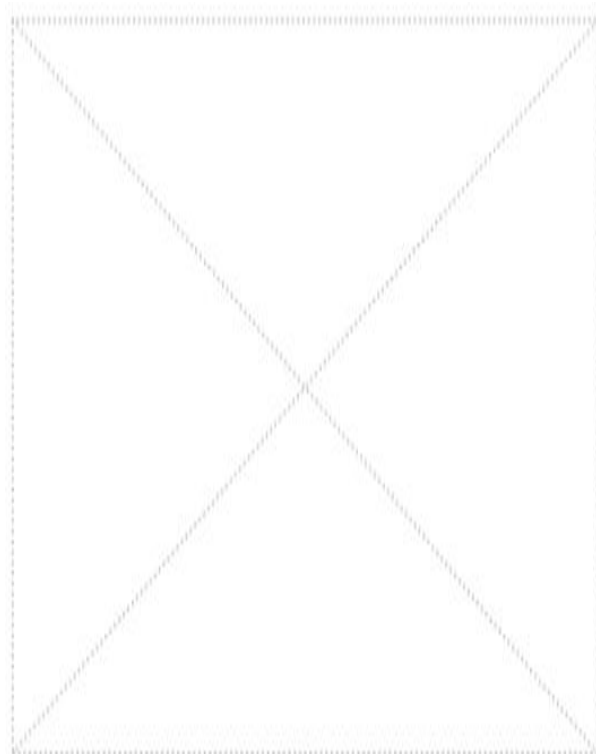
그러다 보니 기후 변화에 대응하기 위해 필요한 기술은 탄소를 흡수하거나, 탄소 배출을 어떻게든 줄이는 기술이 아니라, 기후 변화가 일어나고야 말았을 때를 위해 대비하는 기술이었다. 독을 쌓고 물질을 돌리는 기술이 기후 변화에 진짜 도움이 되는 기술이었다. 즉 정말로 돈이 되는 기후 변화 대응 기술은 탄소 저감 기술이나 탄소 활용 기술이 아니라, 기후 변화가 일어나고야 말았을 때를 대비하기 위한 기후 적응 기술이었고, 거기에서 기선이 일하고 있는 건설 회사는 성공을 거둔 것이었다.

물론 기후 변화를 예방한다는 기술이 모두 다 의미가 없었던 것은 아니다. 예를 들어, 기선이 아침 일을 마치고 병원으로 가기 위해 올라탄 스쿠테론(Scooteron)은 탄소 저감 기술의 산물이었다.

기후 변화를 막는다는 목표가 실패할 거라는 것을 받아들인 후, 기후 변화를 대비하기 위한 기술 회사들은 단지 탄소 배출을 줄이기 위한 목표만으로 기술 개발을 하는 것에는 한계가 있다는 점을 인정해야 했다. 그래서 그렇게 탄소 감축만을 목표로 할 것이 아니라, 탄소 배출을 줄이기 위한 기술을 다른 용도에도 쓰기 좋은 기술이 될 수 있도록 개발하는 쪽으로 방향을 바꾸었다.

단순히 전기 자동차가 탄소 배출을 덜 하니까 좋다는 식으로 기술 개발을 한 것이 아니라, 전기 자동차만이 가질 수 있는 다른 장점도 살리는 방향으로 기

술 개발 방향을 바꾼 것이다. 그렇게 해서 성공을 거둔 제품이 바로 스쿠테론이었다.



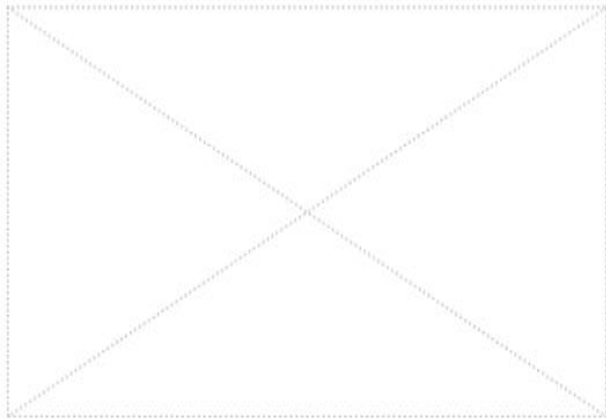
<미래 모빌리티 : 스쿠테론(Scooteron)>

전기 동력을 이용하면 휘발유 자동차보다 훨씬 더 작고 가볍게 제품을 만들 수 있고, 그러면서 에너지를 담아 두는 배터리는 하나만 쓰면서 여러 개의 모터를 장치 하는 것이 훨씬 간편해진다. 휘발유 자동차에 헬리콥터 처럼 날아올 수 있는 프로펠러 장치까지 다는 것은 복잡한 기계 장치를 이용해야 하지만, 전기 자동차라면 프로펠러 여러 개가 돌아가는 드론처럼 작고 가볍고 간단하게 장치를 꾸밀 수 있다.

스쿠테론도 그런 장점을 이용했다. 스쿠테론은 평소에는 스쿠터처럼 간단한 탈것으로 타고 다니지만, 교통체증이

너무 심하거나, 위급 상황에서는 잠깐 동안 드론처럼 장치되어 있는 주위의 프로펠러를 이용해서 하늘로 날아올 수 있다. 수많은 사람들이 미래 사회의 신기한 탈 것으로 하늘을 날아다니는 자동차를 생각했는데, 반중력 장치 같은 신비로운 기술이 새로 개발된 것 때문에 하늘을 날아다니는 자동차가 실용화된 것이 아니라, 엉뚱하게도 기후 변화를 막는 기술을 개발한다는 회사들이 더 효율 좋은 전기 자동차의 응용 방법을 찾다가 하늘을 나는 꿈이 실용화된 셈이었다.

스쿠테론의 비행이 실용화된 중요한 원인 중에서는 도심 한 가운데에서 누구나 비행을 시도하더라도 위험하지 않을 정도로 자동 인공지능 안전 조종 장치가 발달했던 것도 한 몫을 했다. 그렇기 때문에 스쿠테론이 하늘을 나는 모터사이클이라고는 해도, 아무렇게나 도심에서 자유롭게 하늘을 날 수 있는 것은 아니었다. 인공지능 안전 프로그램이 허락하는 경우에 한해서 아주 잠깐 동안만 도로에서 스쿠테론은 하늘을 날아올라 다른 차들을 추월하거나, 다른 차선으로 끼어드는 정도다. 만약 자유롭게 스쿠테론으로 하늘을 날 수 있는 것은 허가된 비행 자유 구역인 공터나 바닷가 같은 놀이 공간에서만 가능하다. 스쿠테론을 타고 가는 동안 딱 한 번 날아오르는 것을 경험한 기선은 주말에는 스쿠테론 비행 전용 해변에 가 볼까 하는 생각을 했다.



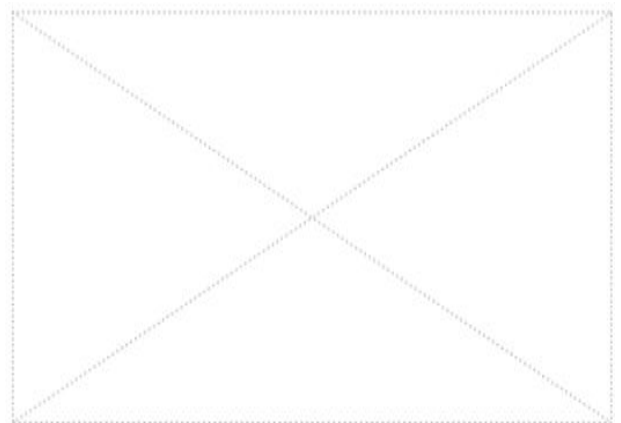
미래 자율주행차	교통체증 시 하늘을 날 수 있는 Flying car 기술
	진공튜브를 이용해 고속이동 할 수 있는 하이퍼루프 기술
미래교통 인프라	사고발생가능성을 미리 예측하고 결과를 안내하는 기술
	최저속도 제한 시속 200km 전용도로

기후 변화에 대비하기 위한 기술이 다른 목적으로 활용된 예는 다른 곳에서도 찾을 수 있었다. 기선이 병원 가는 길에 본 광고에 나오던 화성 개척 광고도 그 대표적인 예시였다.

많은 농업 연구 기관들이 21세기 초반 해도 주로 수입 농산물에 대해서 국내 농가가 어떻게 하면 버틸 수 있느냐 하는 문제에 답을 주기 위해 연구를 하곤 했다. 그러다 미세먼지 문제가 주목을 받으면서 하나 둘 농업 연구소들이 연구의 방향을 바꾸었다. 기후가 바뀌어 사막이 점점 더 늘어나게 되면, 아무래도 몽골과 고비사막에서 한반도로 불어오는 미세먼지는 많아질 수 밖에 없다. 최대한 황량한 땅에 식물과 나무를 많이 자라나게 해서, 사막을 줄여야만 미세먼지를 줄일 수 있었다. 그렇다

보니, 농업 연구 기관들이 척박한 땅, 사막에서도 잘 자라나는 식물을 개발하는 것을 목표로 연구를 해 보기 시작했다.

농업 연구 기관들은 잘 알려져 있지 않은 식물 품종을 널리 퍼뜨리거나, 식물의 유전자를 개량하는 방식으로 황무지에서 잘 자라나는 나무들을 만들어 내기도 했고, 미생물을 개량하거나 황량한 땅을 비옥한 땅으로 최대한 바꾸어 주는 세균을 새로 개발해 내는 방법을 써서 식물들이 황무지에서 더 잘 자라나게 만들기도 했다. 이런 방법으로 미세 먼지를 줄이기 위해 대단히 넓은 면적의 사막을 식물이 뒤덮인 땅으로 바꾸는데 성공했고, 비슷한 방법으로 더 날씨가 안 좋은 곳에서도 잘 자라나는 농작물을 개발해 내기도 했다.



환경 개선	사람이 살 수 없는 환경(사막, 다른 행성 등)을 사람이 살 수 있는 녹지로 바꿔주고, 식량 생산 증대에도 기여할 수 있는 식물/작물 개발 기술
	유전자 교정을 통해 극지 환경에서도 높은 생산성을 나타내는 쌀, 옥수수 등 우수품종 개발 기술

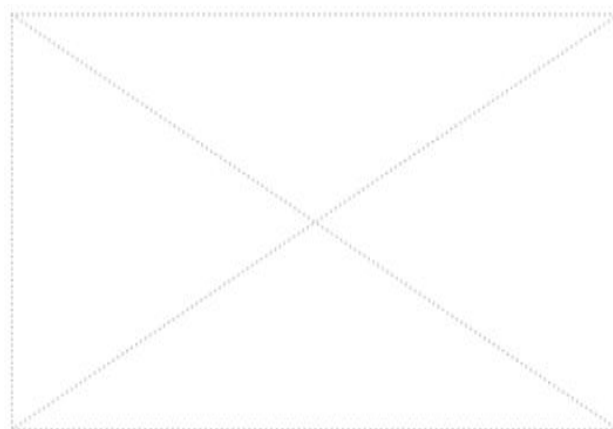
물론 이런 온갖 방법을 다 써서 사막에 풀과 나무를 자라나게 했지만, 그래도 정말로 확연히 미세먼지를 없애 버리는데 성공한 것은 아니다. 그저 미세먼지가 더 심해지지 않도록 겨우겨우 방어하는데 성공한 정도다.

그렇지만 이런 기술이 높은 수준으로 개발되는 바람에, 사막 밖에 없다고 생각했던 많은 나라에서 새로운 산업이 생겨나게 되었고, 전 세계에 식량 공급이 늘어나면서 굶주리는 사람들의 숫자는 확 줄어들게 되었다.

게다가 이렇게 황무지에 식물을 자랄 수 있게 하는 기술은 우주 개발에도 사용될 수 있게 되었다. 지구와는 전혀 다른 황량한 땅인 달이나, 화성에서 식물을 자라나게 해서 산소를 만들고, 농사를 지어 식량을 만들게 하기 위해서는, 이런 황무지에서 식물을 키우는 기술이 꼭 필요했다. 미세먼지를 막기 위해 연구했던 농업 연구 기관의 성과가 지금은 우주를 개척하는데 널리 사용되고 있다. 실제로, 지금 국제 협력단에서 건설한 화성에 있는 유인 기지에서 키우는 곡식과 잡초들은 전남 구례의 농업 연구소에서 개발한 기법을 주로 쓰고 있다.

이런 연구 성과는 우주 개발 연구를 위해 커다란 예산과 굉장한 기술 없이도 일단 손을 대 볼 수 있는 연구 분야였다는 점에서도 의미가 있었다. 쉽게 손대어 개발할 수 있는 분야이지만 성과물을 세계에 판매하기가 좋았다.

예를 들어 전라남도에서 우주 연구를 위해 노력하기 위해 애썼다고 했을 때, 화성까지 날아가는 로켓을 만든다거나, 달기지에 사람을 보내기 위한 우주선을 만드는 기술에서 선진국을 따라 잡기란 매우 어려웠다. 그렇지만, 화성에서 어떻게 식물을 기르고, 달 기지에서 어떻게 농사를 지을지 연구하는 실험은 씨를 뿌리고 비료에 무슨 미생물이 있는지 분석하는 작은 실험실 하나면 도전해 볼 수 있는 일이었다. 게다가 사막에서 자랄 식물을 개발해 미세먼지를 막는 연구와도 가깝다. 그런 식으로 다른 분야에서 성과를 거둘 수도 있으면서도, 먼저 발을 디뎌 볼 수 있는 작은 분야에서 우주 개발을 위해 미리미리 준비해 볼 수 있었다.

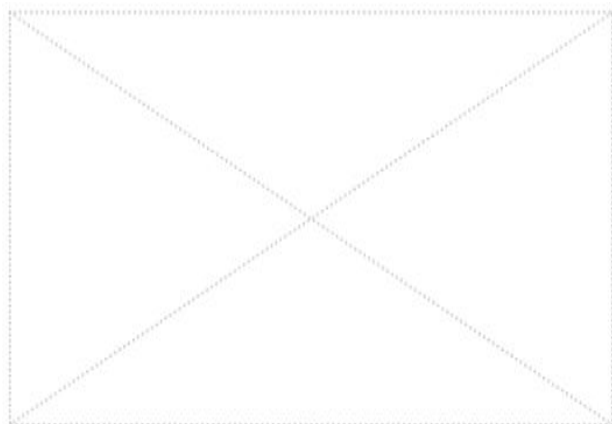


<사람이 없는 우주와 같은 극지에서 스마트 팜, 물 합성 기술 등 극한환경을 대비할 수 있는 기술>

화성 개척 사업에 관한 광고를 보는 동안 스쿠테론의 자동 운전으로 기선은 편안히 병원에 도착했다.

병원에서 기선이 찾은 곳은 인공발생기였다. 인공발생기는 부모의 세포를

이용해서 만든 수정란을 사람의 몸 밖에서 자라나게 하여 결국 출생할 수 있게 해 주는 장치다. 옛날 영화에 나오던 것처럼 전자장치가 달린 유리관 모양인 것은 아니다. 단순한 기계 장치인 것이 아니라, 태반이 안착할 수 있는 동물 세포를 배양해서 만든 세포 덩어리와 기계가 연결되어 있는 장치다. 식물로 비유해서 설명하자면, 유리컵 속에 담아 둔 씨앗이 저절로 자라나는 것이 아니라, 거기에 흙도 조금은 깔려 있는 형태에 가깝다.



<부모의 세포를 이용한 인공발생기 : 유전체 교정 및 합성 기술을 통한 인공장기 생산기술>

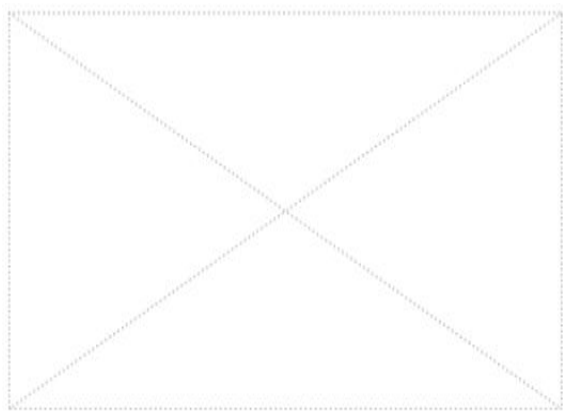
임신의 어려움과 출산의 위험에서 사람을 벗어나게 해 준 이 장치는 아직까지 완전히 모든 경우에 보급되어 적용되어 있지는 않다. 몇 가지 이유로 여전히 특수한 경우에만 활용되고 있는 장치이기는 하다. 그렇지만, 점차 기술은 발전하면서 안정되어 가고 있으며, 사람의 출생에 대한 문화도 변해가고 있다. 그렇기 때문에 얼마 되지 않아 대다수의 인구가 인공발생기를 이용해서 태어나는 시대도 곧 다가올 것으로 생각하고 있다. 어떤 사람들은 인공발

생기가 진정한 성평등을 가져오는데도 큰 도움이 되므로 더 빨리 보급해야 한다고 주장하고 있기도 했다.

기선은 인공발생기에서 자라나고 있는 태아의 모습을 살펴보았다. 그렇지만 기선이 병원에 찾아 온 가장 중요한 목적이 인공발생기 내부를 보려던 것은 아니다. 어차피 내부 모습은 카메라 영상으로 보는 것이고, 영상이야 인증만 받으면 집에서도 볼 수 있다. 굳이 기선이 병원을 찾은 것은 교육을 받기 위해서였다.

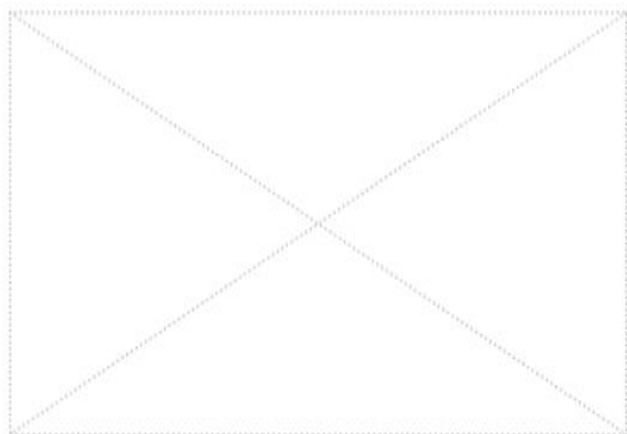
몇몇 교육가와 사상가들이, 인공발생기를 이용한 태아의 발생과 출생을 하게 되면 자식이 태어나는 순간을 과거에 비해 가볍게 여기게 된다고 주장하고 있었다. 인공발생기를 이용해서 자식을 갖게 되면, 자식에 대한 책임감이나 애착이 더 떨어질 거라는 이들 사상가들의 주장은 지금 사회에서 인기가 있었다. 낡은 시대의 산물이라는 비판이 없는 것은 아니었지만, 대부분의 나라들이 이런 사상가들의 주장을 정책으로 채택했다.

그래서 인공발생기를 이용해서 자식을 갖는 사람들은 최대한 책임감을 갖기 위한 교육을 받고, 애착을 느끼도록 훈련을 받도록 의무화되어 있다. 훈련의 성격상 아무리 귀찮아도 직접 찾아오고 직접 시간을 내는 것을 중시하기 때문에, 기선도 꼭 병원에 찾아 와서 교육에 참여해야만 했다.



<생명윤리 교육 이수 의무화>

기선은 돌아오는 길에는 집에 있는 첫째 아이의 모습을 살펴보았다. 기선이 없는 동안 첫째 아이는 집에 있는 육아 로봇을 중심으로 아기 돌보미가 돌보고 있었다. 육아 로봇의 흥미 유발용 동작을 첫째 아이는 흥미롭게 바라보며 재미있게 놀고 있는 것 같았다.



<요리, 육아 등 인간의 가사 부담을 덜어줄 수 있는 가사로봇 기술>

육아 로봇이 모든 비상 상황에서 완벽히 아기를 돌보는 것은 아니다. 그렇지만, 육아 로봇은 아기를 잘 안아 주고 잘 잠들 수 있도록 부드럽게 흔들어 줄 수 있고, 분유를 먹이고, 분유를 타고 분유병을 소독하는 일 정도는 모두 다

할 수 있다. 그렇다 보니, 예전에는 한 사람이 아기 두 명, 세 명 정도를 힘들여 돌볼 수 있었다면, 지금은 육아 로봇의 도움을 받아 한 사람이 훨씬 더 많은 아기를 돌볼 수 있게 되었다. 사람과 로봇이 함께 아기를 돌보는데, 사람은 로봇들이 아기를 잘 돌보는 지 감독을 하고, 로봇들이 해결할 수 없는 상황일 때 조치를 취하는 일을 주로 하는 식으로 사람과 로봇이 팀이 되어 움직인다.

이런 방법으로 육아는 훨씬 더 효율적으로 바뀌었고, 육아를 위한 비용도 획기적으로 낮아졌다. 때문에 육아를 위해서 삶을 희생해야 했던 많은 사람들이 자기 자신의 직업을 위해 일할 수 있게 되었고, 그러면서도 육아는 더 안전하고 더 교육 효과가 좋은 방식으로 이루어지게 되었다.

과거에 육아가 교육 수준이 높지 않은 장년층, 노년층의 일거리였던 시절도 있었지만, 지금은 산업 구조가 바뀌어 육아가, 로봇을 다루고 인공지능 프로그램을 조작하며 개선해 나가는 일이 되어 있어서, 대체로 전문직으로 평가되고 있다.

물론 TV 일일연속극에서 악역 시어머니들이 "사람은 사람이 돌봐야 하는 것이 법도이다"면서 육아 로봇을 함께 쓰면서 아기 돌보는 것을 맡기는 일에 반대한다는 이야기 따위가 한 때 나오지 않았던 것은 아니다. 그리고 정말 육아 로봇이 사람이 아기 키우는 비용을 총

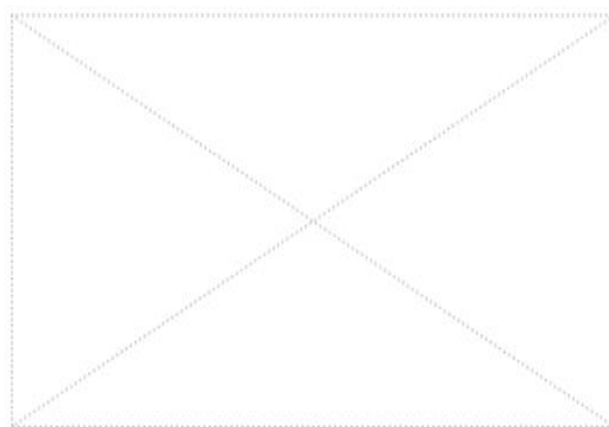
분히 낮춰 줄 수 있을까, 하는데 대해 기업들이 회의감을 갖고 투자를 게을리했던 역사도 있었다.

하지만, 인공발생기의 개발과 함께 육아 로봇의 개발이 결국 사회를 다음 단계로 이끌고 나갈 수 있는 완전한 변화라고 생각한 국가 기관과 공공의 꾸준한 투자로 이제는 육아 로봇은 보편화되었다.

아무리 사람 혼자서 아기를 돌보는 것이 더 인간적인 듯한 느낌이 있다고 한들, 잠이 부족해 가끔 아기에게 짜증을 내기도 하고 아기가 돌발 행동을 하면 문득 당황하기도 하는 사람보다는, 언제나 한결같이 아기를 대하고 방대한 의료 지식과 신생아 발달에 대한 지식을 갖추고 있는 인공지능 육아 로봇이 사람과 함께 아기를 키우는 것이 훨씬 더 낫다는 생각에 요즘은 누구나 공감하고 있다. 오히려 워낙 육아 로봇이 보편화 되어, "몇 년 생 아이들은 98버전 육아 로봇들이 양육했던 세대라서 감수성이 좀 부족하다더라, 몇 년 생 아이들은 99버전에 패치가 적용된 육아 로봇들이 키운 세대라서 인내심이 유난히 강한 것 같더라" 같은 우스갯소리 비슷한 소문이 도는 것이 사회 풍조였다.

집에 도착해 보니, 기선의 고양이가 집 앞에 나와 기선을 맞이해 주었다. 겉모습은 흔히 볼 수 있는 고양이와 똑같았지만 당연히 이 고양이도 로봇 고양이였다. 로봇 고양이라고 해서, 영특

하고 사람의 말을 잘 듣고 착한 행동만 하는 것은 아니다. 오히려, 사람의 마음을 자극하기 위해 행동이 정교하게 프로그램 되어 있는 인공지능을 갖추고 있어서, 일부러 사람 말을 안 듣기도 하고, 일부러 멍청한 행동을 하기도 하며, 일부러 장난을 쳐서 사람을 살짝 괴롭히기도 한다.



<동물과 소통이 가능한 증강현실 구현>

주인이 애착을 가질 수밖에 없도록 주인의 반응과 감정을 분석하여 정교한 수준으로 움직이는 고양이 로봇은 그렇게 일부러 조금씩 주인 말을 안 듣는 행동을 하는 등의 방법으로 주인이 더 귀엽게 느끼고 주인이 더 중요하게 여기도록 이끈다. 어떤 사람도, 진짜 고양이조차도 해낼 수 없는 방식으로, 사람의 심리 속에 파고들도록 고양이 로봇의 인공지능 프로그램은 움직인다.

처음에는 이런 로봇 고양이들은 주로 심리 치료를 위한 목적이나 인지 능력이 감퇴되고 있는 노인 요양을 위한 목적으로 개발되었다고 한다. 실제로 그런 목적으로도 큰 성공을 거두었다. 아

무 조치를 취하지 않았다면 분명히 연쇄 살인범이 되었을 인간들이, 로봇 고양이를 키우며 지내는 동안 사회의 성실하고 착한 일원이 되어 살아갈 수 있도록 유도하는데 성공했다는 연구 보고서는 지난 10년간 이 분야에서 직접도록 소개되던 주제였다.

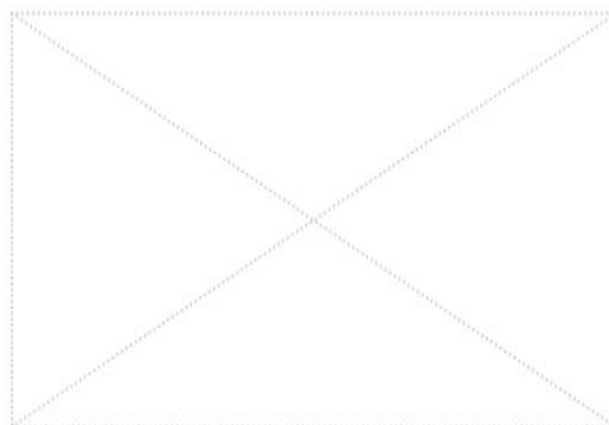
그렇다 보니, 이제 로봇 고양이, 로봇 여우, 로봇 토끼 같은 동물들은 일반 대중들에게도 정신 건강에 좋다는 이유로 널리 퍼져있다.

로봇 고양이와 놀면서 집에 들어가다 보니, 기선은 로봇 동물원에 가 보아야겠다는 생각을 해 보게 되었다. 기선은 첫째와 함께 로봇 동물원에 놀러갈 계획을 세운다.

로봇 동물원에 가면, 동물원에서 쉽게 볼 수 있는 얼룩말이나 공작새 같은 동물에서부터 세상의 온갖 희귀동물들이 로봇으로 똑같은 모습으로 꾸며져 움직이고 있다. 로봇으로 움직이는 동물이므로, 사람들은 동물을 쓰다듬고 가까이서 얼마든지 관찰할 수 있다. 심지어 동물원에 따라서는 로봇 호랑이를 타고 달리거나, 로봇 악어를 타고 물을 건너는 프로그램이 있는 곳도 있다.

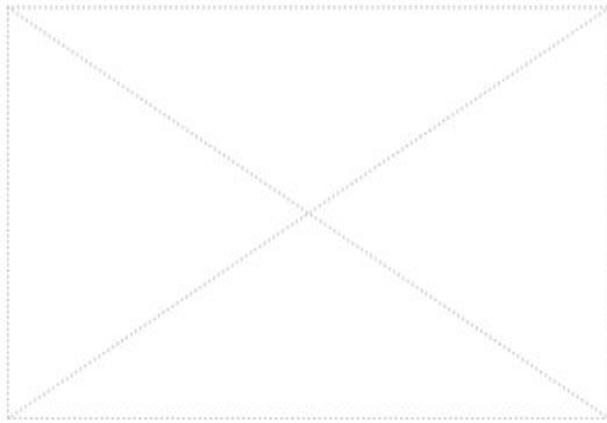
사람과 똑같이 생겼다거나 사람과 똑같이 행동하고 대화를 나누는 수준의 로봇을 만드는데에는 아직도 인공지능 기술의 갈 길은 멀다. 하지만, 몇몇 동물들을 그럴듯하게 인공지능으로 움직이게 하는 기술은 이미 충분히 완성된

기술이었다. 심지어 공룡이나 매머드 같은 멸종된 동물들이 로봇으로 복원되어 어슬렁거리며 돌아다니는 동물원도 있고, 용이나 피닉스 같은 상상 속의 동물들을 만날 수 있는 동물원도 몇 군데 생겨나 있었다.



<유전자 시퀀싱, 교정, 합성 등 차세대 유전체 기술을 이용한 매머드와 같은 멸종 동물의 복원>

로봇 동물원에서 돌아오는 길에 아무래도 저녁 먹을 시간은 나지 않을 듯하여, 기선은 가까운 지하철역에 가서 영양캔을 뽑았다. 최소한의 영양균형을 위해 먹어야 하는 영양소는 캔 하나에 담겨 있는 영양캔으로도 먹을 수 있다. 어떤 사람들은 가상현실 해킹 기술을 이용해서 음식은 영양캔만 먹으면서, 온갖 진수성찬을 다 먹는 느낌을 느끼려고 하기도 한데, 기선은 그런 취미는 갖고 있지 않았다. 시간이 없지만 배는 고프고 영양은 채워야 할 때, 공공기관에서 품질을 보증하는 영양캔이 유용하기 때문에 종종 먹을 뿐이다.



음 식	맛&영양소를 개인 맞춤형으로 조합하여 원하는 형태의 음식으로 만들어 낼 수 있는 3D 푸드 프린터 기술
	필수 영양소를 캡슐 형태로 압축해 식사 대용으로 간편하게 섭취할 수 있는 영양캡슐 기술

영양캔의 또다른 장점은 사실상 거의 무료라는 것이다. 식량 생산 기술이 극적으로 발전하면서, 이제는 이런 음식을 재배하는데 드는 비용이 굉장히 낮아졌다.

한때는 식물 재배 기술이 발전하면 훨씬 더 당도가 높은 과일이나 굉장히 아름다운 꽃을 만드는데 투자를 하던 시절도 있었다. 그렇게 해서, 부유층이 더 많은 돈을 주고 구입할 장난감 같은 것을 만들기 위한 기술을 서로 만들어 보겠다고 겨룬 것이다.

그렇지만, 기술의 방향이 어느 순간 달라졌다. 무슨 취향을 갖고 있을 지모를 몇 안 되는 부유층을 위한 기술보다, 수십억의 빈곤층, 식량 부족과 가난에 시달리는 많은 사람들에게 가치를 줄 수 있고 거기에서 경제 발전을 이루어낼 수 있는 기술이 더 크게 성장할

수 있다는 쪽으로 전환이 일어났다.

그런 식으로 사회가 발전하다 보니, 예전에는 정부에서 도로를 깔아 주고 학교를 세워주었던 것처럼, 지금은 사회에서 최소한의 굶지 않을 수 있는 음식은 공급해 주고 있는 시대가 되었다.

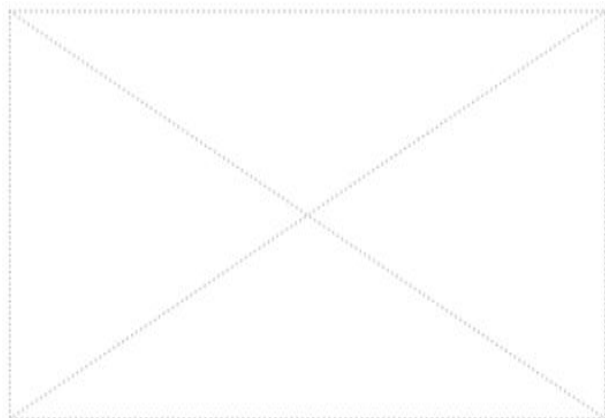
기전의 경우에는 식량뿐만 아니라, 사실 집도 거의 무료로 얻어서 지내고 있다. 예전에 인터넷 동영상 서비스를 광고만 보면 무료로 볼 수 있었고, 인터넷 검색 사이트도 무료로 사용할 수 있었던 것처럼, 요즘에는 기업의 여러 가지 상품 제공 계획이 대단히 복잡하게 나오고 있고 그것이 공공복지 서비스와도 연결되어 있어서, 집이나 옷을 무료로 가까운 값에 얻을 수 있는 기회도 제법 많다.

이것을 하이퍼 번들링이라고 하는데, 기전은 그 덕택에 기본적인 의식주는 아무리 인생이 잘못 돌아간다고 하더라도 항상 주어진다라는 안전망을 전제로 앞으로의 인생을 계획하고 있다.

기전의 앞으로 인생 계획에 걱정이 없는 것은 아니다. 평균 수명이 워낙 길어진 시대이다 보니, 대부분의 사람들이 60년이 되어 한번 은퇴를 하고 나면, 재교육을 받아 새로운 직업에 도전하여 다시 한 번 인생을 산다는 식으로 삶을 살고 있다.

요즘 대부분의 교육 기관, 대학, 대학원들은 어리고 젊은 학생들이 아니라

중장년층과 노인들을 고객으로 하고 있다. 게다가 교육 방식도 바뀌었다. 학교에 와서 그 학교 교수의 강의를 듣는 것 보다, 전세계에서 그 과목을 가장 재미있게 강의하는 교수의 인터넷 강의를 듣는 것이 잘 퍼져 있는 세상이다 보니, 그런 상황에서 살아남을 수 있는 방식으로 대학 교육, 대학원 교육도 체험, 도전, 개개인의 연구와 창작 중심으로 변모한 상황이다.



<홀로그램 기술을 이용한 전세계 온라인 교육(평생교육)>

로봇 기술자인 기선은 앞으로의 삶에서는 의료와 질병 치료 분야에서 무엇인가 일을 하고 싶다는 생각을 갖게 되었다. 그래서 나이는 좀 들었지만 기선은 여전히 입시라든가 진료 문제로 깊이 고민을 하고 지내고 있다. 요즘 시대에는 누구나 노인이 되어서까지 갖고 있는 고민이다.

기선이 의료 분야에 관심을 갖게 된 까닭은 부모님 때문이었다. 요즘은 대부분의 사람들이 대단히 느린 속도로 노화를 경험하고 있다. 평균 수명은 150세 정도로 늘었고, 노화도 마지막

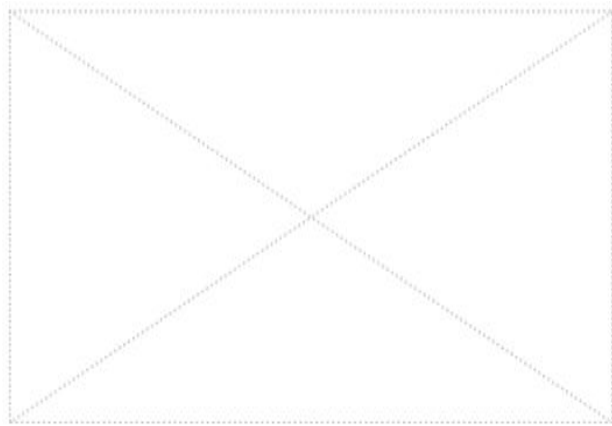
40년에 대부분 찾아오며, 적지 않은 사람들이 아예 노화를 전혀 경험하지 않는 세상도 곧 올 것이라고 믿고 있다.

그렇다 보니, 많은 사람들에게 이제 죽음은 굉장히 낯설고 먼 것이 되었다. 기선의 부모님은 굉장히 희귀한 병 때문에 90세에 돌아 가셨다. 얼마 전만 하더라도 90세면 장수라고 하던 나이였지만, 지금 시대에는 전혀 그렇지 않다. 전혀 노화를 경험하지 않는 사람들에게는 100세, 200세라 하더라도 죽음이 찾아오는 것은 젊은 나이에 경험하는 갑작스러운 죽음과 충격의 차이가 크지 않다. 실제로 기선도, 기선의 부모님도 정신적 고통이 상당히 심했다.

기선이 의료 분야에서 더 공부하겠다는 데 대해 완전히 결단을 내리지 못한 것은, 최근 들어 일반적인 의료가 아닌 다른 방법에서 직업을 얻는 것이 자신의 문제를 해결하는데 더 좋은 방법이 아닐까 하는 생각을 하게 되었기 때문이다.

평균 수명이 극도로 향상되고 노화가 거의 사라지게 된 세상이 되면서, 사회에서 철학, 종교, 명상의 기능이 갑자기 다시 새로운 의미를 얻게 되었다. 대다수의 사람들이 서서히 생명 기능이 감퇴하는 노화를 경험하고 그러던 마지막에 죽음을 받아들이게 되는 시대는 이제 끝나버렸다. 누구나 언제까지나 젊게 살다가 불의의 사고와 같은 느낌으로 죽음을 맞이하게 되는 시대가 되자, 죽음에 대한 공포와 삶의 의미는

예전과 다른 느낌으로 다가 오게 되었다.



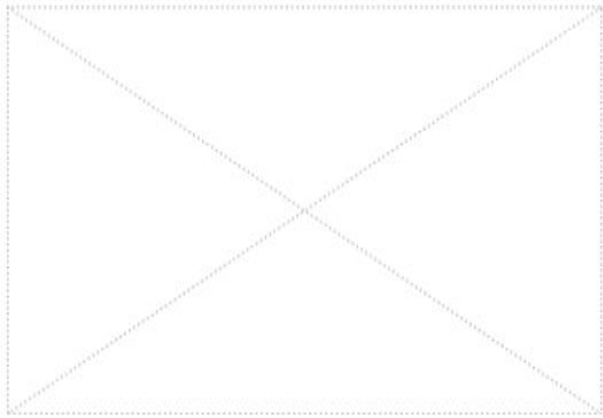
<가정 내 진단이 가능한 생체에너지 진단 기술>

갑작스러운 사고나 어느날 갑자기 생긴 희귀병으로 젊디 젊게 느껴지는 삶이 끝난다 하더라도, 정신적 충격을 심하게 받지 않기 위해 정서를 가꾸고 대비할 필요가 있었다. 때문에 평생 교육기관에서도 그렇게 마음을 가라앉히기 위한 정서 교육과 명상 교육을 강조하게 되는 시대가 되었다.

물론 그것만으로 사람들이 만족할 리가 없으니, 온갖 사이비 종교 꾸들과 피상한 철학을 주장하는 잡다한 사기꾼들이 한동안 들끓었고, 그런 사이비 종교꾼들과 사기꾼들을 몰아내기 위한 노력에도 많은 투자와 노력이 필요했다. 아직까지도 그런 문제는 완전히 해결되지 못했다. 그렇다 보니, 기선 역시 자신이 정말로 보람을 찾을 수 있는 분야는 그런 쪽의 분야에서 뭔가 사회를 보완해 나갈 기여를 하는 것이 아닌가 생각하게 된 것이다.

이것저것을 알아보고 그에 필요한 교육을 마친 기선은 육아 로봇의 도움과 함께 첫째를 재웠다. 그리고 여가 시간에는 자신이 보고 싶은 만화를 만들어 보았다.

인공지능이 발전한 시대의 소설, 만화, 회화는 예전과는 많이 달라졌다. 요즘에는 컴퓨터에게 "고흐가 그렸던 것처럼 튜립을 그려다오"라고 말하면, 정확히 그대로 그림을 바로 그려주는 시대가 되었다. 그렇다 보니, 그림을 그리는 재주라는 것은 컴퓨터 프로그램에 얼마나 더 참신한 명령을 내릴 수 있고, 인공지능 프로그램을 어떻게 여러가지 숫자를 이용해 세밀하게 조정할 줄 아느냐 하는 것으로 바뀌었다. 마치 직접 노래를 듣지 않아도 음악가들끼리는 악보만 서로 나누어 보아도 누구의 음악이 얼마나 아름다운 지 아는 것처럼, 요즘 미술가들은 "알파 스케치 프로그램의 88 옵션에 베타 인공지능 22 조정값을 이용해서 감마 표현 소프트웨어 99-10 기능으로 그림을 만든다"라고만 말해주면, 그 말만 듣고도 "이야, 그러면 정말 대단히 아름다운 그림이겠는데"라고 떠올릴 줄 안다.

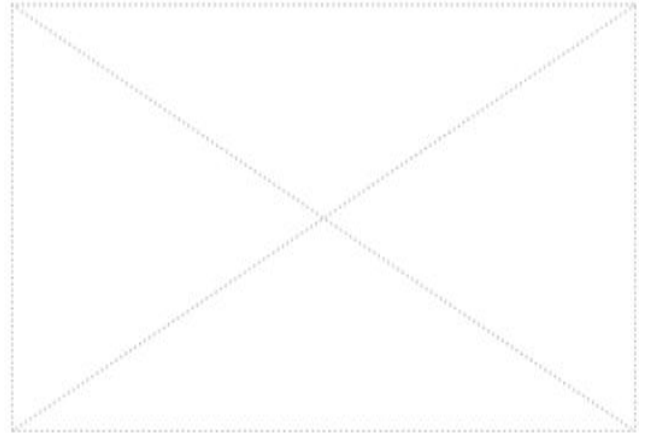


<자신의 생각을 공유하는 증강안경기술 :
상대에게 내가 느끼는 감각(후각,미각, 촉각)을
공유할 수 있는 원격 감각 전달 기술>

이런 시기이니 "국회의 정치인들을 배경으로 정치인들의 삶을 다루는데 그 과정에서 정치인들끼리 서로 연애하는 이야기"를 만들어 달라고 하면, 인공지능 소프트웨어가 적당한 줄거리로 이야기를 얼마든지 만들어서 뽑아내어 주는 시대이다. 프로그램을 조금씩 다듬어가며, 주인공은 어떤 성격인 것으로 하고 싶은지, 충격적인 반전이 몇 번 나오게 하고 싶은지, 얼마나 웃기게 진행할 지, 슬프게 진행할 지 같은 것을 선택하면 그에 맞춘 줄거리들을 프로그램이 몇 십 개, 몇 백 개라도 만들어 준다. 심지어 거기에 맞춰서 적당한 그림을 자동으로 그려 내어 그 줄거리를 만화로 표현한 것을 보여 주기도 한다.

기선은 그런 만화를 십 수 개, 수 십 개 만들어가면서, 정말 자기 취향에 딱 맞는 것이 나올 때까지 이리저리 조정해 본다. 가끔 인기 있는 작가라는 사람이 그렇게 인공지능 프로그램을 여러 가지로 세밀하게 조종한 끝에 정말 깊은 감동을 주는 절묘한 이야기를 뽑아

냈다면 공개하는 경우도 있는데, 기선은 그런 것을 다운로드 받아 보는 것 보다는 다양한 이야기들을 계속 이것저것 직접 조금씩 만들어가며 조금씩 보는 것을 더 좋아한다.



<생각하는 명령에 따른 결과를 보여주는
뇌파컴퓨터 기술>

만화를 보다 지친 기선은 화면을 수면용으로 바꾸어 표시해 두고 그것을 보다가 자연스럽게 스르르 잠들기를 택한다. 과거 보다 10배 더 선명한 화질, 더욱다 깨끗한 색상을 두고 무한 경쟁을 하고, 부유층의 화려한 사치품이 될 수 있도록 유리창문이나 거울이 컴퓨터 화면으로 변하는 기술을 두고 최첨단의 경지를 경쟁하는 것 보다, 누구에게나 와 닿는 방향으로 기술을 발전시켜야 한다는 방향의 변화에서 생겨난 기술이었다.

유리창이 컴퓨터 화면으로 변하는 몇몇 부유층에게만 유용할 것 같은 화면 기술 같은 것이 아니라, 오래 보아도 눈이 나빠지지 않는 화면을 만드는 것이 진짜 모두의 삶을 바꿔 놓는 혁신이

라는 생각으로 사람들이 도전한 끝에 성공했다는 이야기다. 이제는 옆드려서 오래 들여다보더라도 눈 나빠질 걱정이 없는 화면을 대부분 보고 있고, 잠이 들면서도 편안히 볼 수 있는 화면도 실용화 되어 유선이 사용하고 있었다.

기선은 이 모든 기술의 방향이 결국 비슷한 흐름을 따라 가고 있으며, 자신의 삶도 그 방향과 비슷하게 가고 있는 것 아닌가 하는 생각을 자기 전에 잠깐 떠올렸다.

어떤 부유한 사람 몇몇의 오락 취향을 딱 맞춰 주기 위해서 진짜처럼 생생한 가상현실 기술을 만들기 위해 투자하는 것 보다, 예전에 생산해 내던 태블릿 PC를 그 10분의1, 100분의1의 싼 값으로 만들어 내어, 어느 가난한 사람이라도 언제나 새로운 소식을 접할 수 있고, 무엇인가 원하는 것을 배울 수 있는 창을 열어 주는 기회를 만들기 위한 기술에 투자하는 세상이 그 방향 아닌가 싶었다.

끝.

시그마 베이비(사람이 사는 곳)

글 : 김창규

그림 : 류선호

효선은 자신이 어찌다가 이처럼 복잡한 일이 휘말렸는지 한적한 곳에 홀로 숨어 돌이켜보고 싶었다. 하지만 그러기에는 이미 너무 먼 곳까지 와 있었다.

물론 지금 당장 미친 사람처럼 소리를 지르고 뛰쳐나간다 해도 그를 중죄인으로 취급할 사람은 없었다. 남편인 성우야 단 한 마디도 그를 나무랄 사람이 아니었다. 애초에 성우가 전적으로 효선을 응원하고 지지한다고 약속하지 않았다면 시작하지 않을 일이기도 했다.

‘정말 그랬을까? 결국 남편 먹살을 붙잡고 여기까지 끌고 오지 않았을까?’

효선은 낮선 사무실 의자에서 묵묵히 곁을 지키고 있는 성우를 바라보았다.

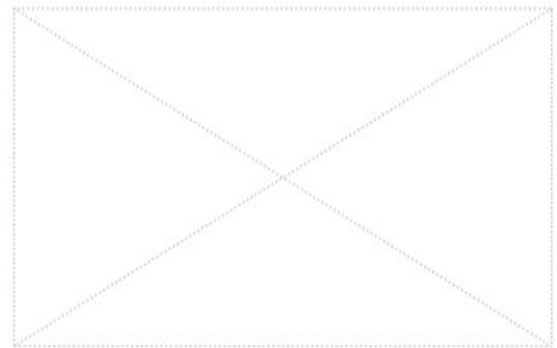
효선이 마음을 진정시키자 마치 알고 기다리기라도 한 것처럼 사무실 문이 열리고 부부가 만나기로 한 사람들이 안으로 들어왔다.

효선과 성우를 포함해 사무실에 모인 사람은 모두 다섯이었다. 효선이 가장 익숙한 얼굴은 부부의 변호사인 김유정이었다. 다른 두 사람은 유정이 추천해 오늘 처음 만나는 세무사와, 효선 부부

가 다니는 대학병원 유전자연구소의 선임연구원이었다.

김유정 변호사는 효선에게 눈짓으로 허락을 구하고 회의를 진행했다.

“여기 계시는 분들은 조사 과정에서 이번 일에 깊이 관여하게 됐어요. 해서 구구절절 모든 추이를 다시 말씀드리진 않을 거예요. 하지만 온라인 회의가 아니라 모두 한 자리에 모인 건 처음이니 정리는 필요하겠죠.”

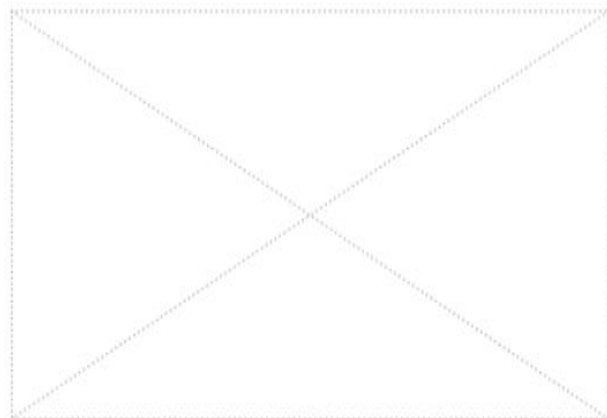


다른 네 사람이 모두 고개를 끄덕여 동의했다.

“요지는 간단해요. 여기 계시는 부부께서는, 아이를 낳을 생각이예요. 합계출산율이 0.4이고 기혼자출산율이 0.8인 요즘 이 부부를 돕는 게 이상한 일은 아닐 겁니다. 그러데 문제가 간단하질 않아요. 유전자 연구소 연구원께서 설명해주실 겁니다.”

발언권을 넘겨받은 연구원이 안경을 고쳐쓰고 말했다. “저희 연구소는 대학병원 부설이라 각종 의료수가 정책에 민감한 편입니다. 최근에 게놈 트래킹이라는 기술이 의료보험 적용을 받게 됐어요. 그 결과 많은 사람들이 검사를

받고 있습니다. 게놈 트래킹은 피검자의 유전자 결합 확률에 영향을 주는 인자가 발견되면서 새로 떠오른 기술인데요. 최소 두 세대의 완벽한 게놈맵을 확보할 경우 다음 세대에게 발현할 면역 결합이나 유전 질환을 5시그마 수준으로 예측할 수 있는 기술입니다.”

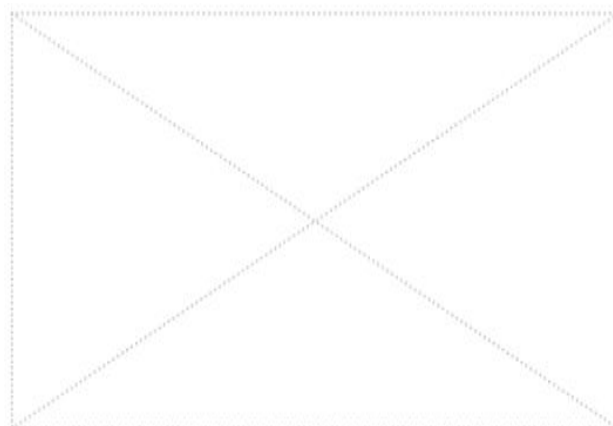


<인공 배아 기술(유전자 편집기술) : 게놈맵 분석을 통해 면역 결합, 유전질환 예측>

효선이 연구원의 말에 끼어들었다.“ 벌써 여러 번 들었는데도 시그마라는 용어를 이해하지 못하겠어요.”

연구원이 얼른 표현을 바꿨다. “5시그마면 99.9999 정확하다는 뜻으로 보셔도 됩니다. 물론 0.0001퍼센트의 오진율이 있습니다만....”

효선이 말을 이었다. “하지만 우리 입장에서는 0.0001퍼센트만 믿을 순 없죠.”



<인체삽입이 가능한 초소형 마이크로 수술로봇>

“맞는 말씀이에요. 꼭 유전 질환 발병률 뿐 아니라 어떤 일에서든 그렇게 낮은 확률만 믿고 일을 시작하는 사람은 없겠죠.”

연구원이 일행을 둘러보았다. 모두 자연스럽게 그의 말에 동의했다. 연구원은 이미 의뢰인에게 모두 통보한 사실임에도 머뭇거리다가 말했다.

“의뢰인 부부가 2세를 아무 조치 없이 출산할 경우, 남아는 89퍼센트, 여아는 72퍼센트 확률로 다운증후군을 갖고 태어나게 됩니다.”

효선 부부는 반사적으로 시선을 떨구었다.

김유정 변호사가 얼른 논의를 앞으로 끌고 나아갔다. “ 연구원님 말씀대로 ‘아무 조치가 없을’ 경우 그렇다는 얘기에요. 우리 목표는 그 ‘조치’를 결정하고 실행하도록 돕는 거예요. 연구원님, 말씀 계속해주세요.”

“사실 이제는 거의 상식에 가까운 얘기라 제가 길게 얘기할 구석이 없을 겁니다. 유전자 편집 기술은 이미 오래 전에 완성됐으니까요. 이론상으로는 모든 유전자를 대체한 아이를 태어나게 할 수 있습니다. 하지만 그건 어디까지나 이론이고요. 실제 유전자 편집 아기는...거의 태어나지 못합니다.”

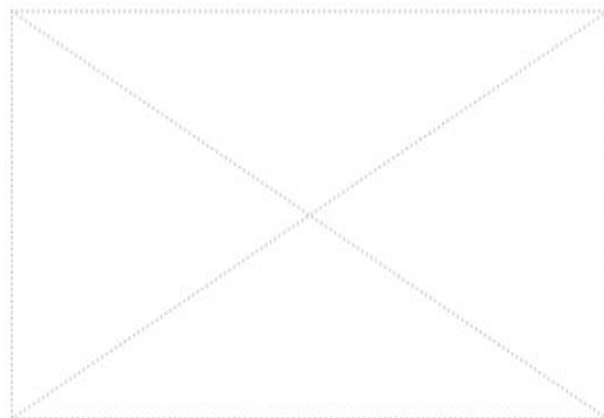
부부가 아이를 낳을 경우 아버지가 될 성우가 말했다. “불법이 아니라면서요? 전 아직도 이해가 잘 안 됩니다. 합법인데 왜 실행을 못하는 건가요?”

김유정 변호사가 착잡한 얼굴로 말했다. “우리 쪽에는 ‘현실적으로 불법’이란 표현이 있어요. 법은 유전자가 편집된 아기가 태어나는 걸 금지 하지 않습니다. 하지만 세부 조항과 시행령 등, 우리가 살면서 실제로 적용을 받는 하부 조항들이 거의 가시밭 수준이에요. 세무사님?”

세무사가 바톤을 넘겨 받았다. “제가 비록 세무사이긴 하지만, 지금부터 말씀드리는 것들이 전부 세금이란 뜻은 아닙니다. 또한 본래 세금이나 벌금은 단일한 역할만 하지 않습니다. 무언가를 정말로 ‘억제’하거나 어느 방향으로 유도하기 위한 세금도 있거든요. 지금부터 말씀드리는 용어들은 어디까지나 이해를 돕기 위한 별명이지 공식적인 명칭이 아님을 이해해주세요.

아까 시그마 얘기가 나왔으니 시그마세금부터 말씀드리죠. 5시그마가

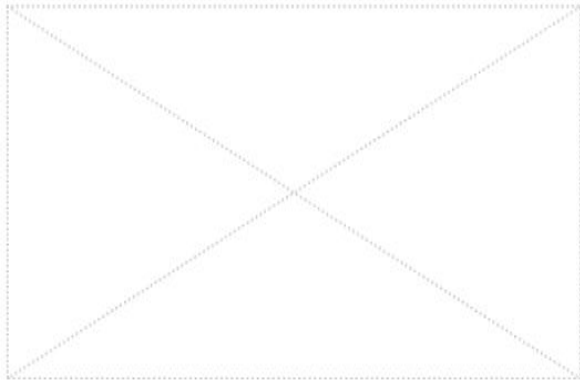
99.9999 퍼센트의 정확성이라는 건 이해하셨죠. 6시그마는 소수점 아래로 9가 10개입니다. 유전자 편집 기술은 편집 부위뿐 아니라 기술 성공률의 시그마로도 구분됩니다.



<손실된 인체장기를 원상태로 수복할 수 있는 바이오3D 프린팅 기술 및 녹내장, 선천성 청각장애 등 신경관련 장애를 완전히 해결할 수 있는 신경 회복 기술>

즉 성공확률이 99.9999999999 퍼센트인 편집기술과 99.9999 퍼센트인 기술이 별개 상품으로 존재해요. 그리고 각 상품에 따라 시그마세에 큰 차이가 있습니다. 수정체에서 일반적인 다운증후군을 제거하는 유전자 편집술의 경우 5시그마 기술은 약 7천2백만원, 6시그마 기술은 2억 3천만원 정도의 세금을 내야 합니다. 거기에 기술비, 입원비 등을 전부 합치면...나노 편집술 자체에 또 세금이 붙으니까... 산모가 건강한 경우 총 4억 7천이 필요합니다.”

성우가 목소리를 높였다. “이러면 돈 많은 사람만 건강한 아이를 낳을 수 있다는 것 아닙니까?”



“사실 이것만이라면 은행에서 유전자 편집아기 탄생금이라는 상품을 팔고 있습니다. 관련 세금등을 미리 대출해주고 아이가 성년에 이르는 날까지 분할 상환하는 거죠. 방금 부자들은 수월할 거라고 말씀하셨는데, 이게 또 그리 간단하지 않습니다. 유전자 편집으로 태어난 아이는 상속에 불이익을 받습니다. 최초 수정 상태 그대로 태어난 아이는 통상적인 상속세만 내면 됩니다. 하지만 유전자 편집으로 태어난 아이는 그렇지 않습니다. 가감출생에 따른 상속세 가감비율이란 게 있거든요. 다운 증후군을 제거하는 6시그마 편집술의 경우 상속세율이 190퍼센트 증가합니다. 더 무서운 건 상한선이 없어요.”

효선과 성우는 그동안 이메일과 화상회의를 통해 이 모든 얘기를 들은 바 있었다. 하지만 이처럼 오프라인 공간에 모여 상황을 종합해보니, 아이를 갖기란 단순히 어려운 정도가 아니라 인생 최대의 시험문제 같다는 생각이 들었다.

효선이 물었다. “결국 아이와 부모가 경제적으로 불이익을 받지 않으려면 첨단 검사로 아이의 건강상 문제를 예측

할 수 있어도 그대로 낳으라는 얘기잖아요? 장애를 갖고 태어나면 장애인을 위한 복지 혜택이 있다곤 하지만, 그게 도대체 무슨 의미가 있어요? 도대체 왜 이렇게 말도 안 되는 세법들이 생긴 거예요?”

김유정이 말했다. “유전자 편집 아기의 출생은... 부모 등 관계자뿐 아니라 거의 모든 사람들의 윤리 의식과 연결되어 있었어요. 그 점은 지금도 달라지지 않았고요. 문제는 윤리의 기준이, 특히 임신과 출산과 생명에 대해서는 차이가 클뿐더러 꽤 민감한 문제라는 데에 있어요. 기혼자 연합, 미래 기혼 준비 모임, 자연인권수호 단체, 신인권 설립 연맹 등의 민간단체부터 시작해서 종교 단체와 정당 등이 크고 작은 선거 때마다 토론회를 열고 입법에 영향을 주려고 애를 썼죠. 지금 들으신 것들이 그 결과예요.”

효선이 눈을 부라렸다. “그 많은 사람들이, 태어날 아이의 질병을 처음부터 제거하는 데에 이렇게 많은 장애를 만들어왔단 거죠”

“꼭 그렇게 나쁜 뜻만 있었던 건 아니에요. 궁극적으로는 인권을 갖지 못하고 태어나는 클론을 예방하는 게 문제였죠. 하지만... 저희도 다방면으로 알아봤는데, 현재로서는 저 모든 세금들을 다 피하는 방법은 없어요. 게다가 계류 중인 유전자 편집 아기 관련 과세/감세안들이 40개가 넘어요. 그 가운데 어떤 것들이 채택될지 알 수가 없으

니...저희도 답답할 따름이에요.”

모두가 착잡한 심정으로 입을 다물었다. 효선 부부를 제외한 세 사람은 저마다 유전자 편집 아기에 대한 생각과 의견이 따로 있었다. 하지만 지금 좌절을 목전에 둔 효선과 성우에게 연민을 품지 않는 사람은 아무도 없었다.

연구원이 눈치를 보던 끝에 천천히 손을 들었다. “저기....” 효선이 고개를 들고 말했다. “조금이라도 도움될 얘기가 있다면 해주세요. 뭐든 좋아요.”

연구원이 더듬거렸다. “당장 문제를 해결할 순 없겠지만요, 사실 게놈 트래킹 기술은 범용 시뮬레이션 인공지능을 특수 용도로 최적화시킨 결과예요. 그리고 시뮬 인공지능은 다른 분야에서도 많이 쓰고 있어요. 예를 들어서, 음.. ‘정책에 따른 입법부와 여론 반응 시뮬레이션’이란 것도 있어요.”

용어 속에 숨은 뜻을 가장 먼저 파악한 사람은 김유정 변호사였다. “연구원님, 혹시 유전자 편집 아기 관련 정책도 시뮬레이션 해봤어요?”

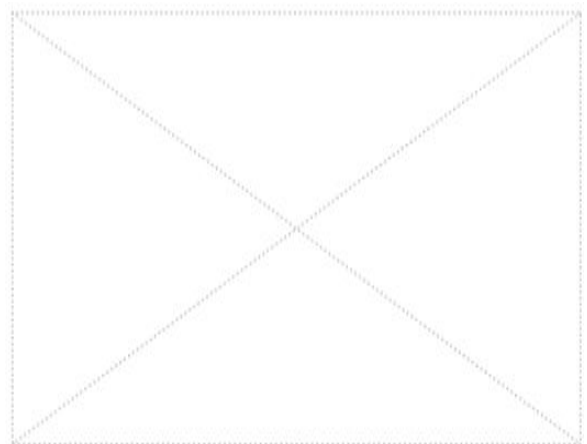
연구원이 껌연쩍게 웃었다. “예, 뭐, 둘러보긴 했어요. 사실 우리 누나도 의뢰인분과 비슷한 고통을 겪으셔서, 남 일 같지 않더라고요.”

“결과 갖고 왔어요?” 연구원은 살짝 고개를 끄덕이고, 변호사에게 인쇄된 종이를 넘긴 다음 효선에게 말했다.

“전혀 도움이 안 될지도 몰라요.” 변호사는 썩싸게 내용을 훑어보았다. 그의 표정은 미묘했다. 변호사는 입술을 달싹거리다가 결국 아무 말도 하지 않고 종이를 효선에게 넘겼다.

부부는 연구원이 뽑아 온 크고 긴 표를 뚫어져라 쳐다보았다. 그 안에는 현재 계류 중인 40개 법안 중 어떤 것이 몇 개나 통과되고 시행될지, 그 확률이 입법위 시뮬레이션 조건 및 시그마 편차 수치와 함께 적혀 있었다. 그리고 부부가 경제 부담을 최소화하면서 아이를 낳을 수 있는 해를 예측한 결과도 적혀 있었다.

인공지능의 계산에 따르면 효선과 성우는 지금 당장 정자와 난자를 냉동해 저장하고 7년 뒤 아이를 수정하는 것이 경제적으로든 유전학 적으로든 최적이었다.



<유전자 정보를 통한 건강 예측 기술>

효선과 성우는 연구원을 비롯해 둘을 도와준 이들에게 연신 감사를 표했다. 적절한 수수료를 전자이체로 모두 지불

한 효선은 맥이 풀린 듯 유정에게 말했다.

“아이를 낳으려고 이렇게 많은 걸 계산하고 고려하고 많은 사람의 생각에 영향을 받아야하다니, 이게 과연 좋은 일까요?”

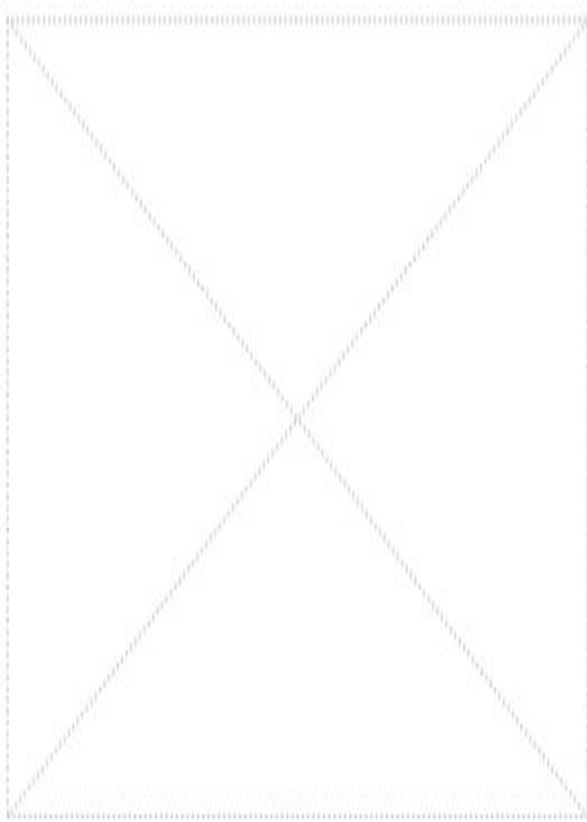
유정은 고개를 갸웃거리다가 대답했다.

“그걸 일개 변호사가 어떻게 알겠어요. 하지만 예나 지금이나 아이는 무수한 계산 끝에 태어났을 거예요. 그때도 자연은 확률에 따라 움직였을 테니까요. 그러나...이제 우리가 유전자 편집까지 계산할 수 있게 됐으니, 그 질문에 대한 대답도 우리 몫이겠죠.”

AI 말을 들었더니 부자가 되었어요!
(사람이 사는 곳)

글 : 박상준
그림 : 류선호

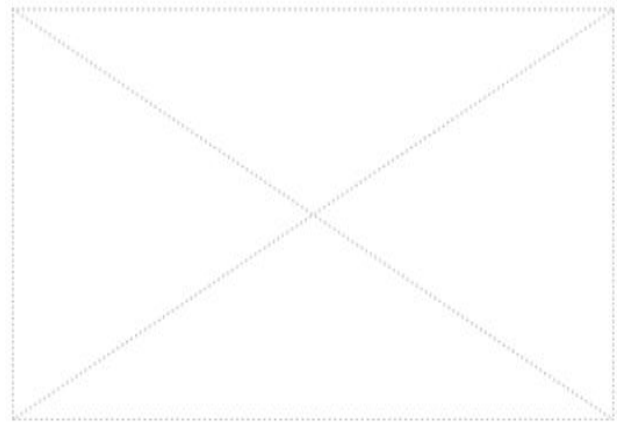
지금 모실 연사는 디지털 빅데이터 시대에 AI의 말만 듣고 사업을 시작해서 부자가 된 분입니다! 박수로 맞이해 주십시오~!



안녕하십니까, 저는 단칸방에서 무직자로 살다가 AI 덕분에 3년 만에 억대의 연 수입을 올리며 살고 있습니다.

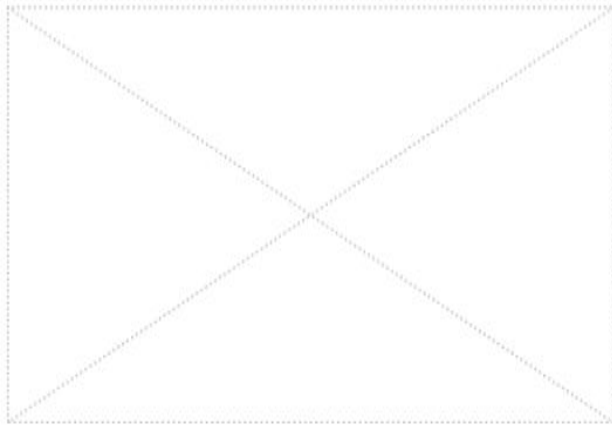
처음에는 정말 앞이 막막한 상태에서 이관사관이다 싶어서 마지막 남은 돈 털어서 AI투자 멘토링 프로그램을 샀

습니다. 개인 성향을 파악해서 맞춤형으로 자산 운용 코칭을 해준다더군요. 시작 금액도 최소 10만원부터 가능하니까 그래서 남들은 뭐 재미 삼아 해보기도 한데 저는 정말 막다른 코너에 몰렸던 상황이었거든요. 노숙자 되느냐 안 되느냐 기로에 서서...



<각 개인의 능력, 경험, 취향 등을 반영하여 정보를 제공해 주는 개인별 맞춤 인공지능 비서 기술>

근데 이게 처음 시작하니까 돈 얘기는 하나도 안 하고 생활 습관이나 신상 정보만 꼬치꼬치 캐묻는 거예요. 기상 시간이 언제고 하루 세끼 밥은 언제, 뭘 먹고, 취미나 여가시간엔 뭘 하며 보내고, 잠자는 시간은 언제고, 무슨 책을 읽고, 친구는 몇 명이고...



<인체에 삽입되어 배터리 교환없이 반영구적으로
혈당, 심전도, 혈압 등 다양한 생체정보를
실시간으로 감시/분석/전달하는 생체정보 기술>

당장 내일 아침을 거르냐 마냐 할 지경인데 무슨 바른생활 선생질 하려는 건지 황당했어요. 그런데 AI 사고 나서 그 다음날부터 구청이랑 노동청이랑 보건소랑 지역의 무슨무슨 시민단체랑 또 사회교육기관? 뭐 그런데서 계속 연락이 오더라구요.

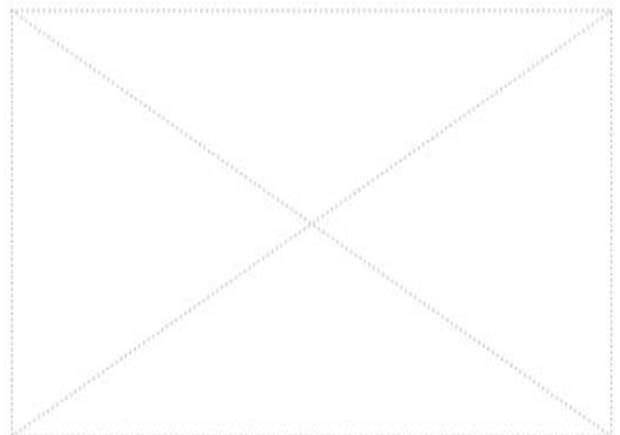
알고 보니까 AI가 내 상황을 체크해서 당장 공공 지원 받을 수 있는 이런저런 프로그램에 자동으로 등록하고 신청까지 해 놓았더라구요. 기초 생계비 무상 지원부터 시작해서 건강검진, 자격증 강좌, 시민대학... 요가 강좌까지 있었어요.

전에도 그런 것들 있는 건 알았는데 요구하는 서류가 많아서 귀찮기도 하고 또 자격지심인지 모르지만 담당 공무원들 대하는 게 영 자존심도 상하고 괜히 갑질할까 봐 신경도 쓰이고 그랬어요. 그러다 보니 솔직히 그런 거 알아볼 생각은 못 하고 있었지요.

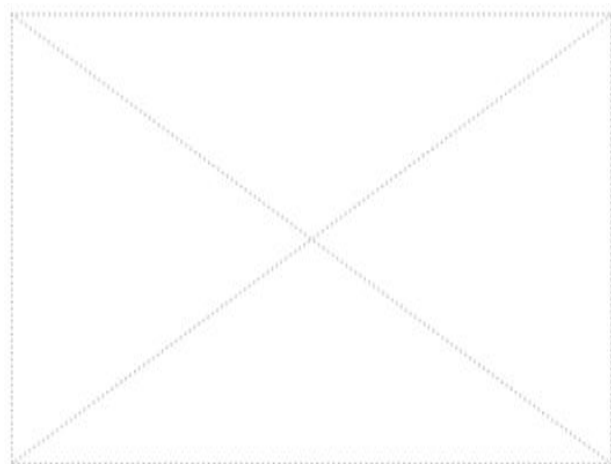
암튼 그래서 AI가 다 대신 신청해줘서 일단 6개월 동안 굶을 걱정은 사라졌어요. 근데 그동안 뭐 돈 벌 수 있는 기술을 배우라는 거예요. 나는 푼돈이라도 종자돈 삼아 어떻게 주식투자 같은 거 좀 해 볼까 했는데 AI는 무조건 안 된다는 거예요. 내 생활패턴으로 보건대 실패할 확률이 87%라나?

아니 그러니까 AI 말대로 고분고분 따라서 그대로 투자하겠다고 했는데 그건 또 법적으로 안 된다네요. AI투자는 개인이나 영리법인은 할 수 없도록 되어 있대요. 시장 안정성을 저해한다나. 암튼 그래서 정부나 공공기관에서 공적 자금 운용 용도로만 제한적으로 쓴다고 해요. 뭐 사람들 수군거리는 거 들어보니 해킹해서 쓰는 경우도 있다더구만. 근데 이건 걸리면 무조건 실행이에요. 그냥 쳐다보지도 마세요.

한달간 빈둥빈둥 놀았어요. 아니, 놀았다기보다 뭐 생산적인 일을 안 했죠. AI가 운동 부족이라고 자꾸 나가라길래 등산도 하고 자전거도 타고... 그것도 다 AI가 코스 추천이랑 시설 이용을 연결해줬죠.



그러고서 한 달 뒤에 AI가 뭔가 내용이 많은 문서를 주면서 읽어보래요. 알고 보니까 그동안 적성검사 같은 걸 한 거예요. 추천하는 직업이나 직종, 그런 일을 하기 위한 직업훈련, 관련 정보와 업계 전망 등등...



좀 어이가 없었어요. 그러니까 AI투자 멘토라는 게 결국 일해서 돈 벌어라 하는 거라고?

게다가 AI가 내 개인정보를 많이 알고 있더라구요. 솔직히 밝히고 싶지 않은 민감한 것들도 있는데 언제 그런 걸 다 알아내서는... 뭐 사실 처음 AI 구입할 때 신상정보 접근허용 조항에 동의하긴 했지만 그 정도로 깊이 팔 줄은 몰랐죠. 경찰에서나 알 만한 것들을... 근데 한편으로는 사람이 아는 것보다 AI만 알고 있는데 차라리 낫겠다 싶기도 해요. 요즘 해킹이나 개인 데이터 도용 범죄를 법으로 굉장히 엄하게 다스리는 이유가 다 있는 거죠.

AI가 준 제안서에는 제가 기본적으로 소규모 재택 비즈니스에 유리한 성격이

라고 나와 있더라구요. 사람을 고용해서 사업체를 꾸리는 것보다 1인 온라인 비즈니스가 낫다고요. 제가 동영상 플랫폼 콘텐츠 비즈니스를 시작한 계기가 바로 이겁니다.

아시다시피 유튜브를 비롯해서 그 비슷한 거는 이미 많이 있잖아요? 저는 그래서 그쪽은 시장 포화 상태라고 생각했는데 AI가 준 사회 전망을 꼼꼼히 읽다 보니 문득 떠오르는 게 있었어요. 아 이거 아직도 블루오션이구나!

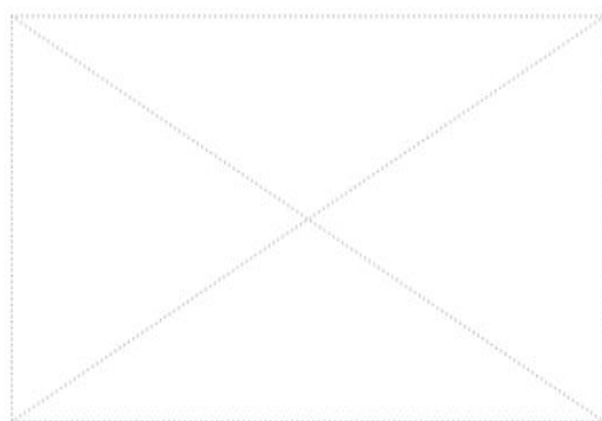
그래서 제가 ○○○에 특화된 정보 전달 1인 방송을 시작한 거죠. 처음 3개월간은 필요한 장비를 다 공공서비스 이용해서 무상으로 해결했고요, 관련 기술은 제가 열심히 공부했지요. 그 정도는 당연히 노력해야죠. AI가 분석해 준 대로 제가 그런 게 적성에 맞았는지 하나도 힘들거나 지루하지 않고 재밌더라고요. 정말 즐겁게 나만의 노하우를 쌓아갔어요.

두 달 동안 연습하고 리허설하고 시뮬레이션 돌려보고 그러고 방송 시작했는데, 신기하게도 첫날 이후 한 번도 매출액 그래프가 내려간 적이 없어요. 처음엔 운이 좋았다고 생각했는데 이젠 아니에요. AI는 처음부터 다 알고 있었던 거예요. 이런 사람이 이런 걸 하면 틀림없이 순조롭게 잘 될 것이다, 라고 판단한 거죠.

근데 6개월쯤 지나니까 좀 배부른 걱정이 생기기 시작했어요. 구독자 수는

자꾸 늘고 이런저런 요청은 많아지는데 혼자서 감당을 못하겠는 거예요. 나는 원래 조직 생활에 잘 적응 못하고 직원을 쓰는 것도 싫고 그냥 혼자 일하고 싶은데 어찌지? 덜컥 겁이 나더군요. 이러다 악플만 점점 늘고 한순간에 얼어지는 거 아닌가? 사실 자세한 말씀은 못 드리지만 제가 전에 비슷한 일을 저지른 흑역사가 있거든요. 처음부터 단칸방 무직자 신세는 아니었다는 말씀만 드리지요.

여기서 또 AI가 은인이 됩니다. 그동안 녹화된 영상들로 제 가상 아바타를 진짜하고 똑같이 만들어서 제가 새로 찍지 않아도 얼마든지 새로운 방송 콘텐츠를 만들 수 있게 된 겁니다. 새로운 정보는 늘 AI가 수집해 주고, 그걸 방송용으로 가공하고 구성하는 것도 AI가 해주고, 이젠 실제 방송분까지 만들어 주는 거죠. 저는 그냥 AI가 만든 결과물 컨펌만 하면 되고요.

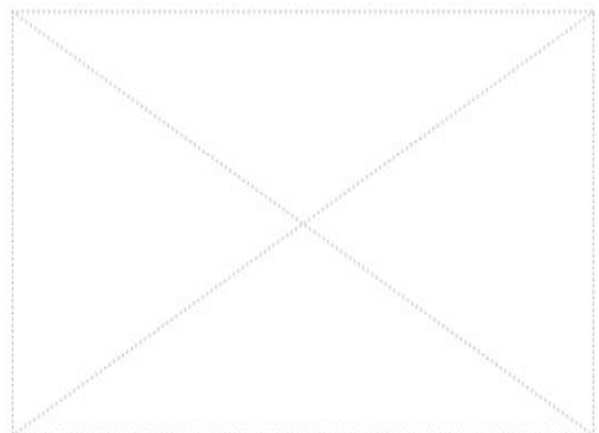


<원격에서 사람의 움직임을 실시간으로 재현하는 원격 아바타 로봇 기술>

처음엔 사람들이 속았다고 또 악플 달고 그럴 줄 알았는데, 아바타 방송이라

고 자막 깔고 나가니까 다들 재밌어해요. 진짜라 구별이 안 된다고. 그래서 나중에는 이벤트까지 했다니깐요. 자막 없이 방송 내보내고는 내가 진짜 출연한 거랑 아바타랑 가려내기 같은 거. 물론 선물 푸짐하게 주죠. 뭐 어차피 내가 진짜 출연한 것도 제 실제 모습하고는 많이 다르지만요,(웃음) 지금 보시는 제 모습도 분장 좀 한 겁니다.

그래서 지금 제 콘텐츠는 계속 늘어나고 쌓이고 있고요, 이젠 채널도 세 개가 되었지만 여전히 저 혼자서 운영하는 데 큰 문제는 없습니다. 옛날 같으면 사람이 할 일들이 이제는 AI로 다 커버가 가능해요.



뭐 이 정도가 제 성공담인데요, 여러분 여기서 주의하셔야 할 게 있어요. 아무나 다 AI사서 시키는 대로만 하면 저처럼 될 수 있는 게 아니에요.

일단 개인정보에 대한 허용 요구 범위가 꽤 넓어요. 이게 싫으신 분은 한계가 있을 수밖에 없어요. 한 마디로 AI 앞에서 벌거벗어야 해요. 그래야 시행착오를 최소화 할 수 있어요. 저도 사

실 고민 많이 했습니다. 한동안은 ‘이거 뭐 1984가 따로 없잖아? AI가 완전 빅브라더가 되는 거네’ 하고 불안하게 지낸 적도 있어요. 그렇지만 AI의 보안성을 믿고, 해킹 등 사이버 범죄에 대한 정부의 공공안전 대비를 믿어야 합니다. 사실 앞에서도 말씀드렸다시피 사람보다 AI를 믿는 게 차라리 더 안심입니다.

그리고 AI가 다 떠먹여주는 거 아니에요. 무엇보다도 여러분이 열심히, 성실하게 AI의 코칭에 따라 공부해야 합니다. 노오력을 하라는 게 아니고 최소한 손가락은 자기 손으로 들어야지요. AI에게 솔직하게 자기를 드러내기만 하면, 적성이나 성향을 제대로 파악해서 가장 어울리는 걸 추천해주니까 공부하고 연습하고 하는 게 너무 재밌어요. 지루하지가 않다니까요. 제가 볼 때 AI가 좋은 게 이거예요. 먹고살아야 하니까 하기 싫어도 한다가 아니라, 재밌게 즐기면서 돈도 벌 수 있는 아이템을 찾아준다는 거죠. AI만큼 개인별 맞춤형 서비스 잘 할 수 있는 게 없어요. 사람을 대하면 자꾸 이런저런 감정이 생기기 쉽잖아요? AI는 그런 게 없어 좋다는 거죠.

미세먼지와 환경오염
(사람이 살기 어려운 곳)

글 : 김창규

그림 : 류선호

소연이 여행에 필요한 물건을 마룻바닥에 늘어놓는 두 아이를 보고 당부했다.

“마스크는 너희가 쓰고 갈 것 말고 다섯 개씩 더 넣어야 돼. 열 개짜리 팩에 불량품이 하나 정도는 있으니까.”

아홉 살 난 아들 정규와 열다섯 살인 딸 정화는 각자 백팩에 넣을 물건을 분담하고 있었다. 소연은 그런 아이들을 뒤로 하고, 식수가 가득 찬 물통을 양손에 들고 차고로 이동했다. 6인용 SUV의 뒤쪽 공간은 새벽부터 소연이 챙긴 물품으로 반 이상이 차 있었다. 소연은 오른쪽 구석에 두 개의 물통을 끼워놓고, 이동 중에 통이 떨어지지 않도록 간이 벨트로 단단히 묶었다.

그리고 호신용으로 실어 놓았던 야구 배트를 물끄러미 바라보다가, 운전석 뒤의 좁은 공간으로 옮겨두었다. 배트를 휘두를 일이 생기지 않으면 무엇보다 좋겠지만, 서울까지 가는 동안 무슨 일이 생길지 알 수 없었다.

집 안으로 돌아가니 정규와 정화는 이미 백팩을 매고 소연을 기다리고 있었다. 소연은 가방을 맨 아이들을 이리저

리 살펴보고는 정화에게 말했다.

“비옷 두 개 가져와서 가방 옆주머니에 잘 넣어.”

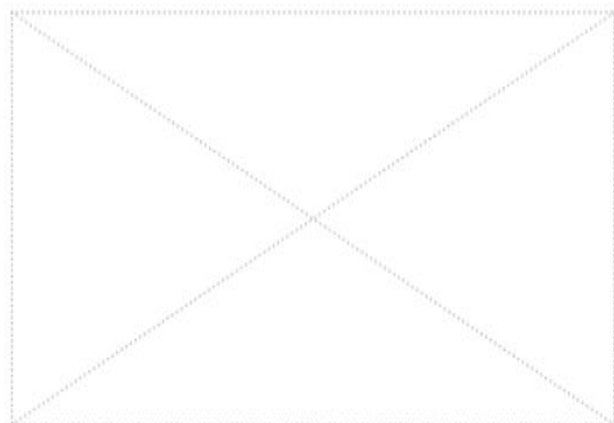
“가방 안에 있는데요.”

“걷는 도중에 갑자기 비가 내릴 수도 있잖니. 지난달에 비 맞아서 발진으로 고생한 거 기억 안 나? 찢어진 비옷 틈으로 물이 새서 그랬잖아. 언제든지 곧바로 입을 수 있게 여분을 옆주머니에 넣어 봐.”

정화는 묵묵히 소연이 시키는 대로 따랐다. 소연도 정화가 짜증을 참는다는 사실은 잘 알고 있었다. 그 짜증은 사실 두려움의 다른 표현이었다. 외출은 곧 위험이다. 소연네가 아무리 상대적으로 공기가 좋은 강릉에 살고 있다는 하지만, 집에서 나가는 순간 즉시 건강에 해가 되는 물질과 접촉할 가능성은 얼마든지 있었다. 산들이 장벽 역할을 하면서 서쪽을 막아준다고는 하지만 바람에 따라서 미세먼지가 산맥을 넘어오는 경우는 적지 않았다. 최근 들어 남해와 동해의 수온이 크게 올라갔기 때문인지 강수량도 부족 늘어났다.

그래도 비가 내리지 않고 미세먼지 수치가 기준치 근처인 날이면 아이들과 함께 밖에 나가 하늘을 보고 마스크 없이 공기를 호흡할 수 있었다. 소연이 온갖 불편함을 무릅쓰고 두 아이와 함께 강릉으로 이사한 것도 오직 그 때문이었다. 언젠가는 1년 365일 마스크를 쓰지 않고는 외출이 불가능한 날이 올

지 모르겠지만, 적어도 그때까지 아이들의 기억에 ‘바깥’이 어떤 것인지 남겨주고 싶었다.



<미세먼지로 인해 외부활동을 위해서는 일상적으로 마스크를 착용해야하는 사회현상>

대기 오염	자동밀착 마스크
	유해물질, 미세먼지 등 차단 의복
	환경에 맞는 유해물질 차단 자동차

“비웃까지 더 넣었어요. 이제 됐죠?”

여전히 기분이 좋지 않은 정화와 달리 정규는 자그마한 백팩을 맨 채로 이리저리 뛰어다니고 있었다. 보통 때와 다른 외출을 한다니 즐거운 모양이었다. 소연은 얄전히 있으라고 동생을 끌어당기는 정화를 보면서 며칠 전부터 작성해 왔던 쪽지를 다시 꺼내보았다.

서울에서 할 일 : 정화 중고등 교육과정 등록, 정규 초등 교육과정 등록. 두 아이 건강 검진. (당일 해결 가능하도록 사전 예약)

챙길 것 : 깨끗한 식수, 간식 거리, 비옷과 미세먼지 마스크 여분, 전기차 충전. 플래시.

정화는 진지한 얼굴로 종이에 집중하는 소연에게 물었다.

“그걸 왜 종이에 적었어요? 스마트폰에 넣어두면 될 텐데.”

“폰에도 적었어. 하지만 만에 하나 폰이 고장날 수도 있고....”

분실할 수도 있잖아. 소연은 그 말까지는 하지 않았다. 아이들이 괜히 걱정하게 만들고 싶지는 않았기 때문이다. 소연은 아직 체크되지 않았던 ‘비웃’ 항목에 마지막으로 표시를 했다. 이제 남은 건 출발하는 일뿐이었다.

두 아이가 안전벨트를 매자 차에 설치된 지능 소프트가 음성으로 그 사실을 알려주었다.

“탑승자 3인 모두 안전벨트를 착용했습니다.”

소연은 출발하기에 앞서 스마트폰으로 입력한 목적지가 자동차의 내비앱에 저장되었는지 확인했다.

“오늘 목적지를 전부 말해 봐.”

“첫 번째 목적지는 서울 중앙교육청 민원과입니다. 두 번째 목적지는 서울 종암종합병원입니다. 세 번째 목적지는 집입니다.”

“환경예보는 어때?”

“현 시간부터 내일 새벽 2시까지 환경예보를 확인합니다. 경기도 진입 예상 시간부터 세 번째 목적지에 도착하기까지 실외에서는 반드시 마스크를 착용하시기 바랍니다. 비가 내릴 확률은 오후 4시부터 60퍼센트를 넘습니다.”

어느 정도 예상은 했지만 날씨는 소연네 가족의 편이 아니었다. 하지만 두 아이가 제대로 재택전자교육을 받으려면 서울에 가서 등록하는 과정을 더 이상 미룰 수도 없었다.

소연은 차의 시동을 걸고 세상에서 유일하게 마음을 놓을 수 있는 공간인 집을 떠나 고속도로로 향했다.

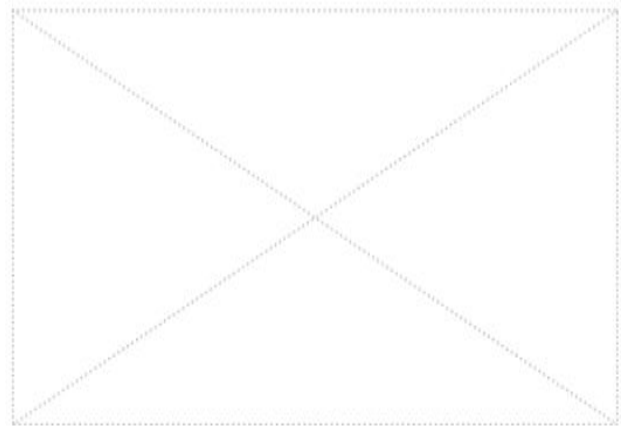
둘째 정규가 태어나기 직전까지만 해도, 그러니까 10년 전까지만 해도 거의 모든 차는 자율주행차였다. 자율차의 점유율이 높아질수록 교통사고가 점점 줄기 시작했고, 사람들은 너도나도 자율차를 구입했다. 정부의 자율차 지원 정책도 큰 몫을 했다. 그런데 어느 날부터인가 교통사고율이 다시 고개를 들기 시작했다. 고장 나는 자율차가 늘어나는 것이 원인이었다.

여러 해에 걸친 조사 끝에 미세먼지가 원인이라는 사실이 알려졌다. 미세먼지에 붙어 날아다니는 초미세 금속가루가 자율차의 핵심 전자유닛에 문제를 일으키고, 급발진을 비롯한 온갖 고장을 발생시켰다. 자율차 제조사들이 해당 조사 결과를 극구 부인하는 가운데 소비

자들은 다시 구형 차로 옮겨갔고, 결국 자율차 시장은 이름만 남게 되었다.

소연이 옛 생각에 잠긴 채 운전하는 사이, 내비 앱이 음악 소리를 줄이고 대신 경고를 울렸다.

“곧 양주와 마석 지역에 진입합니다. 현재 두 곳은 위험지역으로 분류되어 있습니다. 주변 상황에 특히 신경 쓰시기 바랍니다.”



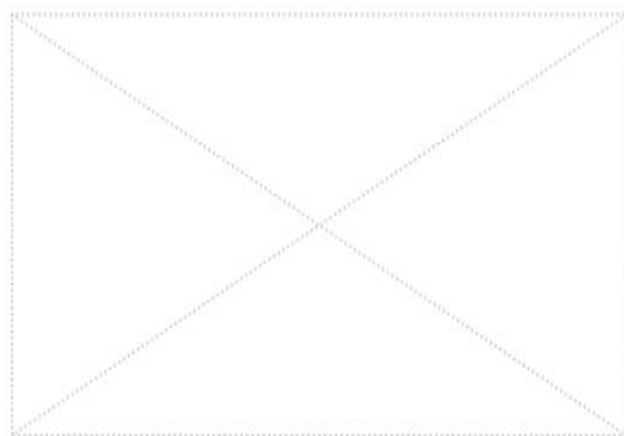
<미래사회의 우범지대 증가 현상>

소연은 룸미러를 올려다보았다. 두 아이는 아침 일찍 서둘러 피곤했는지 자고 있었다. 소연은 속도를 조금 낮추고 오른손으로 야구 배트를 집어 조수석 앞 공간에 꽂아 두었다.

미세먼지와 오염물질을 땅에 퍼붓는 비는 사람들을 강제로 이주시켰다. 서울은 미세먼지 농도가 그 어느 도시보다 높았지만 경제와 행정의 중심지였기 때문에 이주해 나오는 사람이 거의 없었다. 환경과 건강을 걱정하면서 삶의 뿌리가 서울에 탄탄히 박히지 않은 소연

같은 사람들은 강원도나 경남으로 이주했다. 하지만 마석이나 양주처럼 그 어느 쪽도 아닌 지역에 살던 이들은 어느 한쪽을 선택할 수밖에 없었다. 그 결과 한국에는 유령 마을이 늘어나기 시작했다. 거주 인구가 줄어들다 보니 자연스럽게 치안이나 소방 시설도 철수하게 되었던 것이다.

그 유령 마을은 주인들이 버리는 바람에 야생에서 번식한 개나 부랑자가 채우게 되었다. 한적한 시간이나 밤에 외롭게 차를 몰고 가는 사람들은 과격한 부랑자들의 공격에 희생되기도 했다. 경찰은 유령 마을 부근 도로에서 습격 사건이 일어날 때마다 형식적으로 수사를 했지만 야산으로 숨어버리는 부랑자를 현실적으로 잡아내기는 어려웠다.



치안 기술	범죄가 발생한 지역과 사람에 대한 정보를 바로 볼수 있는 기술(범죄지도 기술)
	위험지역 우범지대를 간파하여 대응하는 기술 - 자동차 내 범죄 대피안전장치 - 빅데이터로 건물, 인물에 대한 정보 제공

령 마을 부근을 지나는 사람들은 둘 중 하나를 택했다. 밤을 골라 헤드라이트를 아예 끄고 운전하든지, 과속으로 해당 지역을 최대한 빨리 벗어나든지. 소연은 헤드라이트 없이 국도를 달릴 만한 배짱이 없었다. 혼자서도 겁이 나는 일인데 아이들을 태우고 그러기란 불가능했다. 게다가 부랑자들이 손수 만든 장애물이라도 내놓는다면 암흑 속에서 차를 모는 건 자살 행위나 다름없었다.

시간은 아침 6시. 소연은 내비엠피에게 명령했다.

“외부 동작 감지 센서를 켜.”

자율차가 아니라고 해서 수십 년 전처럼 전적으로 눈과 손발에만 의존해야 하는 건 아니었다. 적어도 운전엔 도움이 되는 보조 장비들은 많이 보급되어 있었다. 감지 센서가 켜지자 차의 앞유리가 전자 HUD로 전환되었다. 야생동물이나 사람이나 도로 위의 다른 차량이 위협적인 움직임을 보이면 HUD 상에 해당 정보가 떠오르게 되어 있었다.

쓸데없이 걱정이 많은 건 아니었나 소연이 한시름을 놓을 즈음, 앞유리 오른 쪽 구석에서 빨간 사각형이 심하게 물결치기 시작했다. 앱도 경고를 잊지 않았다.

“행인이 진로 방향으로 움직이고 있습니다. 속도를 늦추세요. 속도를 늦추세요.”

그래서 교통량이 거의 없는 시간에 유

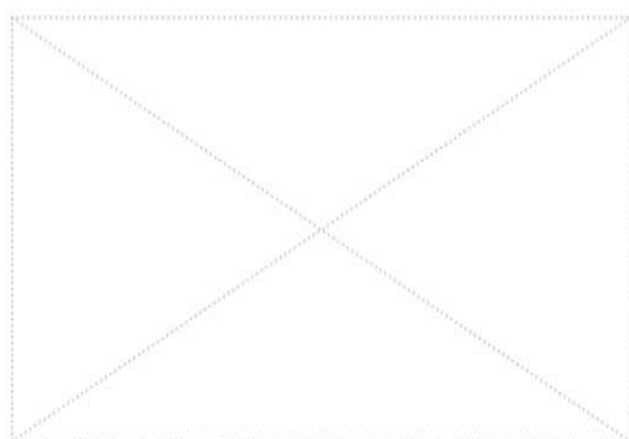
강릉이나 서울이었다면 앱의 말에 따라야 했다. 하지만 소연의 차는 아직 양주 꼬트머리에 있었다.

소연은 가속 페달을 힘주어 밟았다.

“늦추세요! 늦추세요!”

정규와 정화가 잠에서 깨어 소리를 질렀다. 특히 정규는 비명에 가깝게 소리를 높였다. 정화는 만이답게 얼른 상황을 눈치 채고 동생을 진정시켰다.

소연은 인터넷에서 읽은 적이 있었다. 도로를 노리는 요즘 부랑자들은 차가 근접할 때까지 숨어 기다리다가 조립식 장애물을 던진다고 했다. 지금 차를 향해 다가오는 사람이 바로 그런 부랑자인 것 같았다. 소연은 계기판 수치가 더 이상 오르지 않을 때까지 속도를 높였다. 차는 아슬아슬하게 부랑자를 제쳤다. 소연은 백미러를 통해 그 사람이 던진 조악한 장애물이 길을 막는 광경을 볼 수 있었다.



<인구감소로 인한 도시 유통화가 증가되어
유통도시 안전 보호 기술 개발>

미세 먼지 차폐	미세먼지 대응 초대형 공기정화 및 미세먼지 제거 기술
의복/건물 기술	외부 환경오염에 상대적으로 안전하고, 단열에 유리한 지하/해저도시 건설 기술

소연이 말했다.

“오다가 죽을 뻔 했어요.”

중앙교육청 민원과의 직원은 컴퓨터 화면으로 소연의 거주지 주소를 확인하더니 말했다.

“강릉에서 오셨으니 그럴 만도 하네요. 거긴 서울처럼 공기가 더럽지 않죠?”

“양주에서 부랑자에게 공격을 받았어요.”

직원은 정말 다행이지만 자신은 아무 힘도 없다는 표정을 지었다.

“부랑자를 목숨 걸고 피해야하고, 50미터 앞도 안 보이는 서울 공기를 휘젓고 다녀야하는데도 꼭 교육과정 등록을 해야 해요?”

소연은 항의를 하면서도 속 시원한 대답을 듣지 못할 거라는 사실을 알고 있었다. 자라나는 세대의 건강을 위해, 모든 의무 교육과정은 인터넷만 쓸 수 있으면 집에서 이수할 수 있었다. 정부는 재택 교육으로 절감된 세금을 교육 지원금이라는 이름으로 환급했다. 그 교육 지원금이 이 모든 불편의 시작이

었다. 폐질환이나 사고로 사망하는 아이들이 늘어났지만 부모들은 사망 사실을 제대로 신고하지 않았다. 지문 확인을 우회하는 앱까지 생겨났다. 모두 교육 지원금을 받기 위함이었다.

정부는 어쩔 수 없이 단위 교육 과정을 등록할 때마다 해당 학생이 직접 교육청에 와서 신고하라고 발표했다. 물론 거기에는 실제 청소년 인구를 파악하기 위한 목적도 있었다.

정규와 정화는 그나마 나은 편에 속했다. 마침 둘의 등록 연도가 겹쳐 한 번 방문해서 등록할 수 있었기 때문이다.

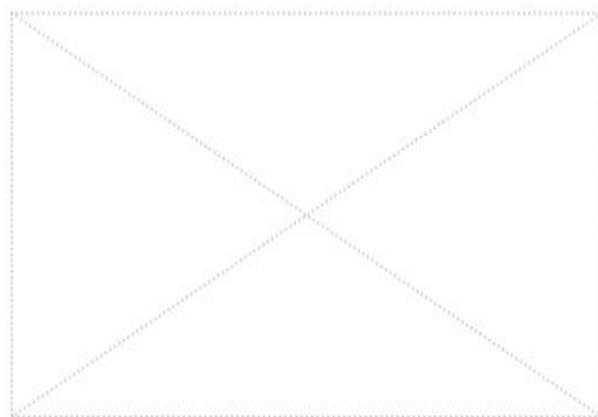
소연은 등록을 마치고 교육청 건물을 나서기 전, 모든 건물에 화장실과 더불어 필수적으로 설치되어 있는 외출 준비실에서 두 아이의 마스크를 꺼냈다.

“자, 이제 병원만 들렀다가 집에 가자.”

3년 만에 받는 종합 검진은 강릉에 살고 있는 아이들이 서울 아이들보다 얼마나 오염 물질의 침습을 덜 받았는지 점검해줄 터였다.

마스크를 밀착하기 전에 정화가 말했다.

“건강 검진을 받으러 오다가 오히려 몸이 더 안 좋아질 수도 있고 하마터면 죽을 수도 있잖아요. 정말 바보 같은 일이에요.”



<실/스테이플러 등의 전통 봉합방식 대신 외상부위에 붙이기만 해도 대부분의 상처를 회복할 수 있는 응급외상 패치 기술>

그래, 정말 바보 같지. 이 지경이 될 때까지 방치해 둔 건 다 어른들 아니겠니. 그래도 이 엄마가 해줄 수 있는 건 이것밖에 없구나. 소연은 그렇게 생각하면서, 두 아이의 마스크가 밀착되었음을 알리는 불빛이 깜빡거리는지 확인했다.

소연은 것처럼 긴 말을 마스크 착용 시 사용하는 공통 수화로 압축해 두 아이에게 전했다.

미.안.해.

소연과 정규와 정화는 주차 공간 부족으로 실외에 세워둔 차까지 걸어가는 동안, 그리고 집에 돌아가기까지 아무일이 안 생기기를 바라면서 외출 준비실에서 바깥으로 통하는 문을 열었다.

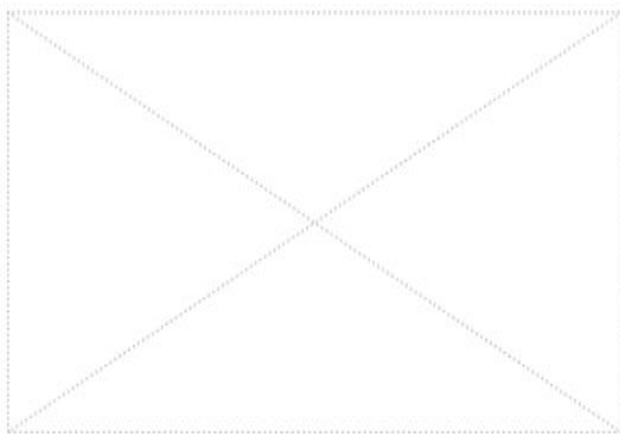
세컨드 라이프 인 스페이스
(사람이 살지 않는 곳)

글 : 박상준
그림 : 류선호

엄마 아빠, 안녕하세요?

어 그래, 별일 없지?

두 분 팔순 잔치는 꼭 참석하고 싶었는데 죄송해요.



<공간 모션감지(제스처)를 통한 스마트 기기 제어 기술>

아냐, 괜찮아. 왔다 간 지 얼마 안 되었는데 뭘. 여기 한 번 왔다 가면 돈은 둘째치고 몸이 축나잖아. 우리야 이제 여기서 살다 죽을 거니까 괜찮지만 너는 건강 챙겨야지.

뭐 우주방사선 말고는 딱히 신경 쓸 건 없잖아요? 그것도 요즘 왕복선은 차폐가 잘 되어서 괜찮대요.

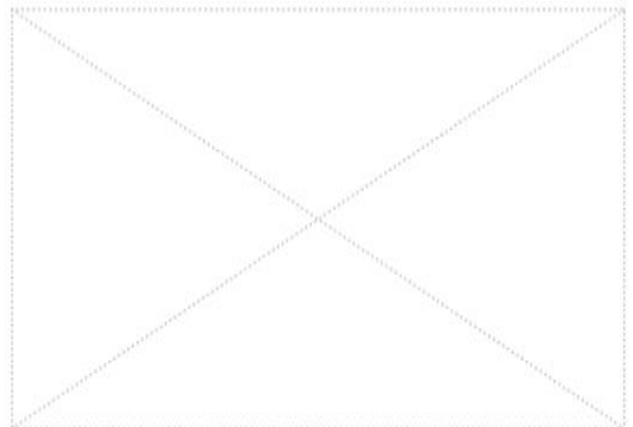
안 그래. 개인차가 나서 다 다르대. 조심하는 게 최고지.

아유, 그러면 엄마 아빠는 처음에 어떻게 거기 가서 살 생각을 했어요?

뭐 사실 우주도시 말고 달에 갈까 생각도 했어. 거긴 땅 속이라서 더 안전하거든.

그래요? 근데 왜 달에 안 가시고 우주 도시에...

달은 중력이 1/6밖에 안 되잖아. 인공 중력이라도 지구하고 비슷하게 맞춰져 있는 데서 사는 게 낫겠더라.



<비행이 가능하며 떠다니는 미래형 건축 인프라 기술>

아... 하긴 달에서 사는 사람들은 오래 있으면 지구에 오기가 힘들다죠. 거기서 태어난 사람은 말할 것도 없고.

그래, 어쨌든 사람은 중력이 좀 있는 데서 살아야 해.

요즘은 좀 한갓지게 지내시나요? 우주도시 처음 이민 가셨을 땐 투자액이 적어서 일 많이 해야 한다고 하셨잖아요.

그랬지. 돈을 적게 가져갔으니 몸으로 좀 때워야 했지, 하하... 얼마나 아파나 하루에 10시간씩 일했어. 그래서 시민권 따는데 걸린 시간을 최대한 줄인 거야. 사실 이번에 팔순 되면서 일하는 시간을 반으로 줄였지.

어휴... 80이면 지구에서는 은퇴하고도 한참 지났을 나이라고요.

심신이 멀쩡한데 은퇴하면 뭐하니, 심심하기만 하지. 물론 우주도시 특성상 은퇴 연령이 좀 늦기는 하지만 힘은 별로 안들어, 저중력 작업장이 많아서...

하긴 뭐 우주도시 가실 때 신체검사를 거뜬히 통과하셨으니.

너도 나중에 올 생각 있으면 지금부터 건강 관리 잘해라. 나라마다 다르지만 우리나라에서 우주도시로 오려면 건강요건이 켈 중요해.

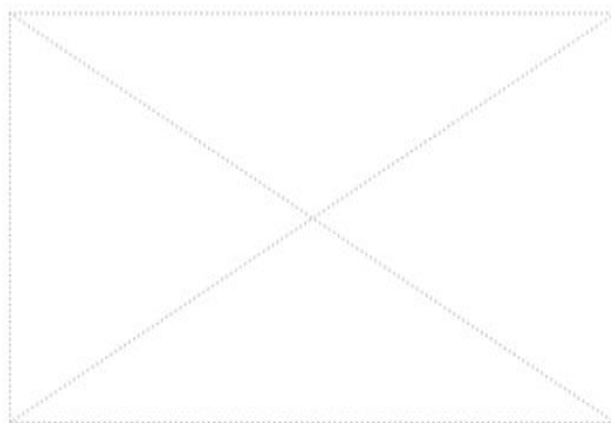
아 참, 여권 계속 갖고 있어요? 우주도시에서도 국적은 계속 대한민국이에요?

그래, 여기는 다국적 투자 시설이라 우리나라 지분만큼 발언권이 있어. 투자액은 정부 차원에서 물어놓은 게 꽤 되기 때문에 우리 같은 개인 이민들은 투자금보다 전문 직종이 유리한 거지. 우주도시 운영청에서 일하는 한국인들 비

율이 꽤 높단다.

정치적으로 낯발이 있어야지요, 해헛.

그것도 꽤 있지. 지금 부시장이 한국 사람이야.



아 그래요? 우주도시에 98개국 사람들이 산다더니 대단하네요.

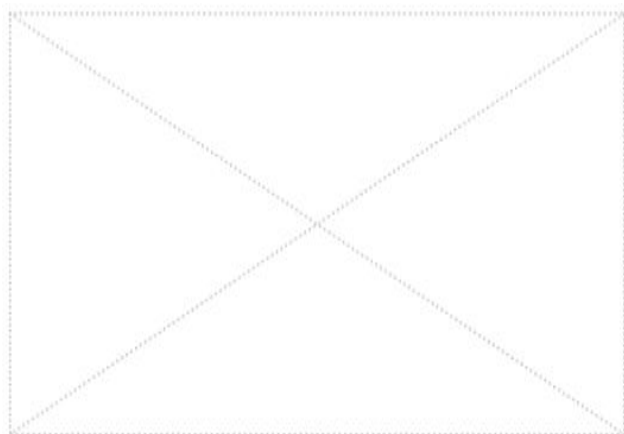
그렇지만 여기 사람들은 원래 국적은 아무도 신경 쓰지 않아. 지구에서 떠나 살다 보니 그런 게 덧없다는 공감대가 있지. 뭐 미국이나 중국 사람들은 아직 어깨에 힘이 좀 들어가 있긴 하 다만, 하하...

그런데 우주도시 이민 가려면 여전히 연령 제한이 60세 이상인가요?

그렇지. 몇몇 나라 제외하면 대부분 그렇게 적용되지.

그거 사실 기본권 침해 아닌가요? 누구든지 원하는 사람은 우주에 가서 살 수 있어야 하는 거잖아요.

우주도시는 기본적으로 지구 중력에서 거동이 불편한 노약자를 위해 지어진 거야. 처음에 유엔에서 글로벌 노약자 복지대책으로 이 사업을 주도한 이유가 있는 거지. 우리나라는 인구 구성에서 노년층 비중이 아주 높아서 처음부터 이 사업에 적잖은 지분을 투자한 거고. 그래서 관광은 얼마든지 가능하지만 거주하려면 연령 기준을 까다롭게 적용하는 거란다. 청년층이 우주에서 살고 싶으면 우주도시 말고 달에 가기를 권장하는 것도 그 때문이고.



<노약자를 위한 복지시설로 활용되는 우주도시> 네? 우주채굴이요?

하긴 저도 우주도시 갔을 때 쉽게 정붙일 곳은 아니란 느낌이 들었어요. 앓죄송해요, 엄마 아빠 살고 있는데...

하하, 괜찮아. 아마 나이 들면 너도 생각이 달라질 거야. 젊은 애들이 패기가 넘쳐 보여도 사실 땅에 발을 붙이고 살지 않으면 불안해하지. 여기 살아보니까 노인들은 하늘에 떠서 지구를 내려다보는 게 훨씬 정신 건강에도 좋은 것 같다.

그나저나 한번 내려왔다 가실 생각 없

으세요?

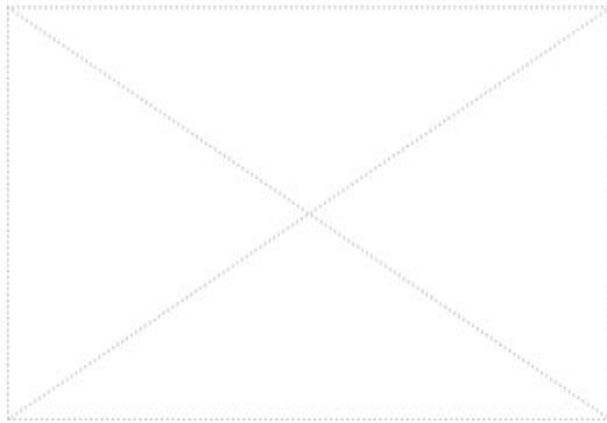
글쎄다... 뭐 어려운 일은 아닌데 갈수록 썩 내키진 않네. 사실 옛날에 너 유럽에서 유학할 때 한번 가본다고 비행기 열 시간씩 탔던 것보다는 훨씬 시간도 덜 걸리지만 어쨌든 마음이 지구를 떠나 있는 느낌이라 기분이 묘하네. 그냥 엄마 아빠는 하늘나라에서 잘 살고 있다고 생각하렴. 사실 요즘은 지구 말고 달에 가보고 싶단다.

달에요?

그래, 지구에서 살 만큼 살았고 이제 우주도시에서 살고 있으니 죽기 전에 다른 천체에도 가보고 싶은 마음이 자꾸 커지네. 솔직히 말하면 요즘은 우주채굴 직업 훈련을 신청해볼까 고민하고 있단다.

네? 우주채굴이요?

그래, 소행성들 다니면서 광산자원 조사하는 일이 생각보다 힘들지가 않대. 어차피 힘쓰거나 머리 쓸 일은 기계하고 AI가 다 하기 때문에 사람은 그냥 모니터만 하면 되거든. 너도 알다시피 엄마 아빠가 원래 우주에 대한 로망이 있잖아. 우주도시에서 이대로 살다 가느니 더 바깥 우주로 가서 해보고 싶었던 일 하다 죽는 것도 멋있잖아? 하하..



우주수송 기술	우주 공간 및 극지환경에서의 발전시스템 및 전력전송 기술
	타행성 탐사 및 자원 채굴 기술
	대기권 진입, 진출 전용 우주선 및 우주공간 전용 우주선

참... 엄마 아빠 못 말리겠네. 뭐 하긴
앞으로도 몇십 년을 더 사실 테니깐요.

우주채굴 훈련 초급 과정 수료증을 받
으면 무상으로 화성에 갈 수 있어. 그
리고 거기서 고급과정까지 끝내면 소행
성대로 나가서 실제 우주채굴인이 되는
거지. 지금부터 시작해도 3년이면 충분
하다는구나. 소행성대 채굴은 아직 8개
국 밖에 못 하고 있는 건데 작년에 한
국도 새롭게 뛰어들었어. 지금 우리가
하려고 하면 여러 가지로 혜택이 많아.

뭐 벌써 다 알아보셨네. 역시 엄마 아
빠 다우시네요.

태어나기는 지구에서였으니 죽는 건 우
주에서! 생각할수록 당연한 것 같지 않
니? 하하...

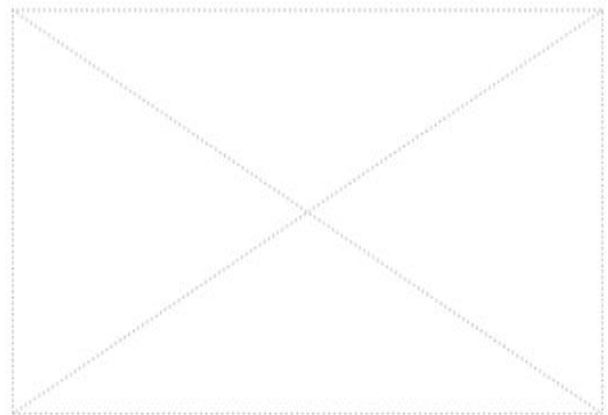
예, 어쩌면 앞으로는 그런 사고방식이
자연스러워 질 수도 있겠어요. 우리 애

들이 어른이 될 즈음이면...

손녀손자가 보고 싶으면 우리가 가는
게 아니고 애들을 우주로 불러야지. 요
즘 이웃들 보면 지구에서 가족 방문 많
이들 오더라.

어유 섭섭하셨구나. 팔순때 못 가서 다
시 한번 정말 죄송해요.

아냐 아냐, 정말 괜찮아. 나중에 애들
졸업하면 그때 같이 오렴.



<유인 우주 왕복 수송시스템 기술>

저 사실 이번에 우주경제학 전공으로
대학원 등록했어요. 뉴스페이스 시대
이후로 우주산업이 많이 발전하긴 했지
만 여전히 블루오션인 분야가 많더라구
요. 어쩌면 나중에 엄마 아빠 볼 기회
가 많아질지도 몰라요. 우주채굴 해보
시겠다니 뭔가 텔레파시가 통한 기분이
네요, 하하...

오, 그거 반가운 소리네! 우리도 여기
서 살아보고 일해보니까 아직 개발할
분야가 많이 보이더라. 너 원래 전공인
바이오 분야하고 우주생체공학도 유망
할 것 같아. 우주 환경에서 인체공학은

완전히 새로운 패러다임을 짜야 하거든? 지구에서 노약자나 장애인인 사람이 우주에서는 활동 폭이 엄청 넓어지는 것 알지? 그런 사람들은 힘들게 지구에서 살 필요가 없어. 언제 그 이야기 좀 자세히 해 보자.

예, 그래요. 그럼 제가 다음 주 초에 날 잡아서 연락드릴게요. 건강히 잘 지내시고 또 뵈어요.

3.3.3. 시나리오별 사회문제 및 주요기술

□ 시나리오별 사회문제 및 필요기술

○ 사람이 사는 곳

시나리오명	사회문제	필요한 기술
AI 말을 들었더니 부자가 되었어요(박상준)	보안문제	AI와 빅데이터에 개인 정보 거르는 기술
		해킹방어 기술
	외로움의 문제	인간적인 로봇 기술 개발
		상담 로봇 개발
		포켓몬과 같은 아날로그와 디지털 방식을 이용한 엔터테인먼트 개발
시그마 베이비	불임 난임 문제	인공배아 기술
		유전자 편집기술
	건강문제	유전자 정보를 통한 건강 예측
		평균 수명 및 건강 문제 해결
		로봇 외과 수술
높은 수준의 기술을 낮은 곳을 위하여	외로움 문제	원하는 꿈을 꾸는 증강 안경 기술
		동물과 소통이 가능한 증강 현실 구현
	교통문제	날라다니는 자동차 기술
		물로 가는 자동차 기술
		퍼스널 모빌리티 기술
		속도제한에 의한 사고 없는 도로 시스템 구축
	우주	미지 행성의 신물질 진단 및 고체, 액체, 기체 채집 기술
		우주도시 건설 기술
		타행성 탐사 및 자원 채굴 기술
	건강문제	생체정보 측정 기술
		영양성분 컨트롤 기술
		바이오 3D 프린팅 기술
		신경회복 기술

○ 사람이 살기 어려운 곳

시나리오명	사회문제	필요한 기술
미세먼지 와 환경오염	미세먼지 등이 심각하여 외부활동을 위해서는 일상적으로 마스크를 착용해야 하는 수준으로 심화	자동밀착 마스크
		유해물질, 미세먼지 등 차단 의복
		환경에 맞는 유해물질 차단 자동차
	저출산으로 인한 고령화 심화	노년의 안전과 물리적 보호에 특화된 로봇 노년층의 생활 도움 로봇
	인구감소로 인한 도시 유평화 증가	최빈층을 위한 최빈층 도시 유평도시 안전 보호 기술
	우범지대 증가	범죄지도 기술-범죄가 발생한 지역과 사람에 대한 정보를 바로 볼 수 있는 기술
		위험지역, 우범지대를 간파하여 대응하는 기술
		자동차 내에 범죄 대비 안전 장치
		가해자와 피해자 구분하여 공격하는 기술
		빅데이터로 빌딩이나 인물에 대한 정보제공

○ 사람이 살지 않는 곳

시나리오명	사회문제	필요한 기술
세컨드 라이프 인 스페이스	디지털 문해력 문제	신기술에 친숙하지 않은 이들을 위한 유저 인터페이스 기술 개발
		신규 참여자를 차별하지 않는 디지털 플랫폼 개발
	우주 탐사	우주 탐사기술 개발
		우주선 및 우주 공간 전용 우주선
		우주 공간 및 극지환경에서의 발전 시스템 및 전력 전송 기술
		심우주 통신망 구축

□ 미래사회 기술테마별 주요기술 도출

테마	기술군	주요기술
① 사람을 위한 기술	음식	- 필수 영양소를 캡슐형태로 압축해 식사대용으로 간편하게 섭취할 수 있는 영양캡슐 기술 - 맛 & 영양소를 개인 맞춤형으로 조합하여 원하는 형태의 음식으로 만들어 낼 수 있는 3D 푸드프린터 기술 - 특정 성분 없이도 해당 성분의 맛을 낼 수 있는 대체음식 기술 (예를 들면, 채식주의자를 위한 고기 없는 패티, 또는 지방 성분 없이 지방의 맛을 느끼게 해주는 기술 등) - 음식의 신선도를 유지하여 버려지는 음식의 양을 줄일 수 있는 신선도 유지 패키징 기술 1분 내에 음식에 들어있는 유해물질을 분석하는 기술
	건강관리	- 인체에 삽입되어 배터리 교환 없이 반영구적으로 혈당, 심전도, 혈압, 지질 등 다양한 생체정보를 실시간으로 감지/분석/전달하는 생체정보 측정 기술 - 소화기관 등에 삽입하여 특정 영양성분 과다 섭취 시 해당 성분을 인체 내 축적시키는 대신 바로 제거하거나 인체 외부로 배출시킬 수 있는 영양성분 컨트롤 기술 (비만, 당뇨 환자 등에 도움) - 인체삽입이 가능한 초소형 마이크로 수술로봇 1시간 내에 항원을 분석하여 질병 진단 및 처방하는 기술 - 가정내 진단이 가능한 생체에너지 진단 침대 기술
	치료	- 인간의 혈액을 완전 대체 할 수 있어, 수혈로 인한 다양한 사고/질병을 예방할 수 있는 인공혈액 기술 - 실/스테인플러 등의 전통 봉합 방식 대신 외상 부위에 붙이기만 하여도 대부분의 상처를 회복할 수 있는 응급 외상 패치 기술 - 손실된 인체 장기를 원상태로 수복할 수 있는 바이오 3D 프린팅 기술 - 녹내장, 선천성 청각장애 등 신경관련 장애를 완전히 해결할 수 있는 신경 회복 기술 - 혈관 내 삽입하여 스텐트 없이도 혈관 내 플라그를 제거할 수 있는 초소형 나노로봇 기술 - 지식을 단기간에 뇌에 저장시킬 수 있는 지식 증강 기술 - 유전체 교정 및 합성 기술을 통한 인공 장기 생산 기술
	뷰티	- 인체에 해로운 빛 (자외선 등), 가스 (대기오염가스) 등을 완전히 차단하면서도 과다사용 위험이 없는 화장품 기술 - 노화 방지 또는 늦출 수 있는 기술
	엔터테인먼트	- 원하는 꿈을 꾸는 증강 안경 기술 - 동물과 소통이 가능한 증강 현실 구현 기술 - 주변온도에 상관없이 일정한 체온을 유지시켜주는 기능성 합성 섬유

	인공지능	• 인공지능기반 사고, 범죄, 자살 방지 시스템 기술 • 인공지능 기반 만능 로봇 로우미 기술
	신물질	• 거리에 따라 초점을 자동으로 맞춰주는 렌즈(안경) 기술
② 사람과 사람 혹은 기계에 대한 기술	로봇기술	• 원격에서 사람의 움직임을 실시간으로 재현하는 원격 아바타 로봇기술 • 현장에서 다양한 작업을 스스로 수행할 수 있는 인공지능 로봇 기술 • 요리, 육아 등 사람의 가사 부담을 덜어줄 수 있는 가사 로봇 기술 • 각 개인의 능력, 경험, 취향 등을 반영하여 정보를 제공해 줄 수 있는 개인별 맞춤 인공지능 비서 기술
	커뮤니케이션	• 언어장벽 없이 대화 가능한 실시간 언어번역 기술 • 가상공간에서 오감을 생생히 느낄 수 있는 가상현실 기술 • 상대방에게 내가 느끼는 감각(후/미/촉각)을 공유할 수 있는 원격 감각 전달 기술 • 두 사람의 뇌 사이의 직접적인 정보 교환이 가능한 뇌간 통신 기술 • 생각하는 명령에 따른 결과를 보여주는 뇌파컴퓨터 기술
	미래형도시	• 비행 가능하며 떠다니는 미래형 건축물 인프라 기술 • 속도제한에 의한 사고 없는 도로시스템 기술 • 상대방의 행동을 분석하여 범죄행위 가능성을 예측하는 기술
	초실감공간	• 공간 모션감지(제스처)를 통한 스마트기기 제어 기술
	모빌리티	• 맞춤형 라스트 마일 퍼스널 모빌리티 기술 • 물로 가는 자동차 기술 • 날르는 자동차 기술 • 최저 속도 제한이 시속 200 km 인 자율주행 전용도로 구축 • 빌딩간(Building to Building, B2B) 이동 가능한 에어택시 기술 • 사고발생 가능성을 미리 예측하여 경고/안내하는 시스템
	스마트생산	• 개인 취향 맞춤 생산 가능한 3D 자동차 기술 • 인간과 상호 군집운용이 가능한 협동 로봇 생산시스템 기술 • 1리터로 1000 km 주행이 가능한 자동차 제작 기술 • 현재 가정에서 사용하고 있는 소비전력을 1/100로 줄이는

		기술
	미래 교육	• 전세계 온라인 교육 • 평생교육
	자동코딩	• 원하는 기능을 자동으로 구현해주는 인공지능 코딩 기술
③ 사람들이 살고 있는 도시, 환경에 대한 기술	기후변화대응 기술	• 지구 온난화 경감을 위한 고효율 탄소저감기술 • 탄소 배출 없는 수소 연료전지 발전 기술 • 바람, 습도 등을 조절하여 원하는 기상상황을 만들 수 있는 기후 조정 기술 • 지진, 홍수, 강풍, 해수면 상승 등의 격렬한 기후에 대비 할 수 있는 건설 기술
	깨끗한 공기	• 비화석 연료(전기, 수소)로 주행하는 친환경 자동차 기술 • 공기 중 화학물질을 분해할 수 있는 광촉매 공기 청정 기술 • 사막 등 황량한 환경을 녹지로 바꿔줄 수 있는 신품종 식물 개발 기술 • 초대형 공기정화 및 미세먼지 제거기술
	식수 확보	• 태양광을 이용한 해수 담수화 기술 • 태양광을 이용한 광촉매 수질 정화 기술
	모빌리티	• 완전한 자율주행 차 기술 • 교통체증 시 하늘을 날 수 있는 Flying car 기술 • 진공튜브를 이용하여 고속이동할 수 있는 하이퍼루프 기술
	주거	• 거주인의 생활 패턴을 인식하여 Home facility를 상황에 따라 자동으로 작동시키는 인공지능 스마트홈 기술 • 추가적인 에너지원 사용 없이 passive 방식으로 건물의 온도를 낮출 수 있는 냉방 기술 (예, Radiative cooling 등)
	에코에너지	• 무선전력 전송 기술을 통한 전력전송 기술 • 물로 충전이 가능한 배터리 • 유전체 교정을 통해 개량된 미세조류를 이용한 이산화탄소를 포집하는 동시에 초고효율 바이오 연료 생산

	신물질	• 신물질 열전소자를 통한 열교환 시스템 기술
	생명공학	• 극지 환경 생명체의 DNA 분석을 통한 인간 생명연장 기술 • 유전자 시퀀싱, 교정, 합성 등 차세대 유전체 기술을 이용한 매머드와 같은 멸종 동물의 복원
	환경 개선	• 외부 방사능 등에서 상대적으로 안전하고, 단열에도 유리한 지하/해저도시 건설 기술 • 사막, 다른 행성 등 척박한 환경에서도 잘 자라 이를 사람이 살 수 있는 녹지로 바꿔주고, 식량생산증대에도 기여할 수 있는 식물/작물 개발 기술 • 다른 행성을 지구와 유사한 환경으로 만드는 테라포밍 기술 • 유전자 교정을 통해 극지 환경에서도 높은 생산성을 나타내는 쌀, 옥수수 등 우수 품종 개발
④ 사람들이 살지 않는 극지 환경에 대한 기술	우주수송 시스템	• 유인 우주 왕복 수송시스템 기술 • 우주 도시 건설 기술 • 타행성 탐사 및 자원 채굴 기술 • 대기권 진입, 진출 전용 우주선 및 우주공간 전용 우주선 • 우주 공간 및 극지환경에서의 발전시스템 및 전력전송 기술 • 우주 공간내 중력 및 기압 조정 기술
	극한환경대비	• 방사능 차폐 의복/건물 기술 • 단열 의복/건물 기술 • 물 합성 기술 (수자원이 별로 없는 행성에서 식수 확보) • 사람이 없는 우주와 같은 극지에서의 스마트 팜, 스마트 공장

4. 결론 및 시사점

4.1. 기초·원천연구분야 정책이슈 발굴 성과와 의의

- ‘기초·원천연구분야 정책발굴 자문위원회’에서 주로 언급된 정책이슈와 자문위원 및 민간전문가 등이 제시한 주요 정책 방향을 연계함
- 정책이슈별 정책방향에 대한 과기정통부 현황을 검토하고 향후 추진방향 제시
- 정책이슈에 대한 정책방향(안)을 2020년 기초원천연구분야 정책 및 사업 기획에 반영하여 구체적인 세부추진계획을 수립할 수 있음

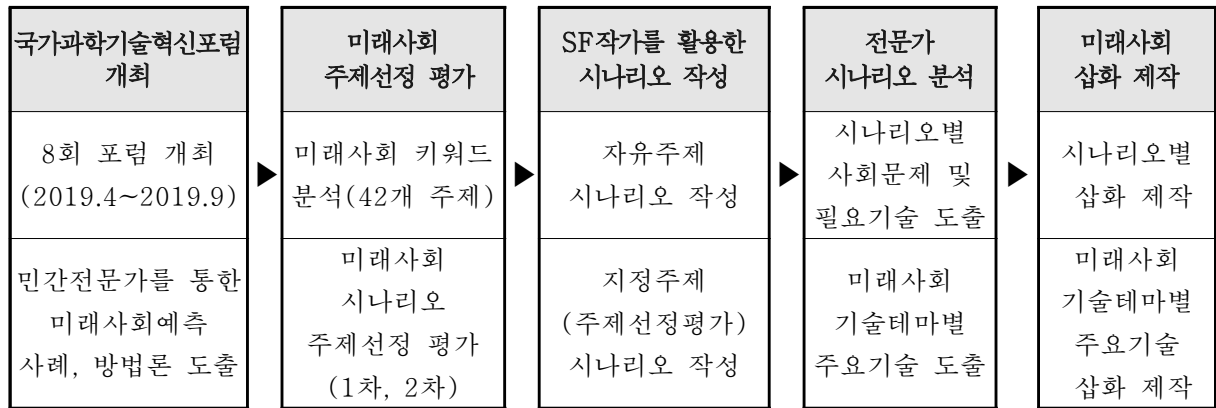
분야	정책이슈	→	과기부 추진현황	→	정책 방향(안)
기초 원천 연구 분야	연구윤리 강화 (부실학회 대응)	→	- 정보공유플랫폼(학술정보 시스템) 구축 - 정부-전문기관-연구기관 간 대응체계 마련 - 연구윤리 교육 강화	→	- 부실학회 발생원인(성과중심 연구, 운영 프로세스 등)에 대한 선행연구 후 제도 수립 - 이공계와 인문사회계열 특성을 고려한 별도의 기준 마련 - 연구기관 내부 연구윤리 강화
	기초-원천 연계 방안	→	- 기초, 원천연구 성과관리 전문가(RB)를 지정 - 기초연구성과 연계 원천연구 시범사업 추진	→	‘사회기술수요’를 고려한 성과연계사업 추진 - RB선정에 대한 구체적인 방안 도출(분야, 역할 등) - 기초-원천 연계 기존 사업(중복성) 검토, 효과성 등 성과 분석 필요
	평가위원 사전공개	→	연 20억원 이상 국책과제의 경우 평가위원 명단 사전 공개 등 평가 정보의 공개를 확대	→	평가위원 사전공개를 위한 시범사업 운영을 통해 나온 결과에 대해 효과성, 필요성 등에 대한 분석을 실시하고, 홍보 및 정책 확산 노력 필요
	5억원 이상 과제 포닥 참여	→	과기정통부 일부 사업*의 경우 연(12개월) 5억원 이상의 과제는 해당 기관 소속의 박사급 연구원을 필수 참여(참여율 50% 이상)	→	- 정규직 전환과 같은 별도의 인센티브 추가 - 참여한 포닥에 대해 다음 과제 연구책임자로 임명되는 트랙신설 필요

분야	정책이슈	→	과거부 추진현황	→	정책 방향(안)
	ICT융합센터 신설	→	산·학 공동 연구네트워크 구성 및 연구데이터 수집, 공유, 활용할 수 있도록 지원하고, 연구성과와 전략방향을 논의·공유하는 개방형 포럼 구성 및 운영	→	ICT분야는 수직적 계열화가 심하기 때문에 대기업과 기초원천 연구를 같이 시작해야함
	과제 기획 및 선정 혁신 방안	→	- 전문성 있는 우수 평가위원 확보 - 성과를 높일 수 있는 R&D 지원 방식 다양화	→	- 산업적 측면에서 평가할 수 있도록 대기업 위주 산업체 임원급 은퇴자를 평가위원으로 위촉 - 우수 연구자들이 모여 R&D사업을 같이 기획하는 제도 필요
	생명연구자원 발전 방향	→	- 관계 부처 및 데이터 관리기관의 역할을 명확히 해서 바이오 데이터 총괄 관리를 위한 범부처 거버넌스 정립 - 바이오 데이터 등록·공유 의무화	→	- 데이터 총괄 수집체계 정비 시범부처 거버넌스 차원에서 역할 정립 선 추진(4차 바이오특위 위원회 활용) - 바이오 분야는 광범위 하기 때문에 용어와 콘텐츠 정립 필요 - 국내 소재은행, DB 활용 시 혜택, 활용성 등 제시 필요
	산학연 협력 개선방안	→	출연연을 중심으로 산학연의 컨소시엄 성공사례를 다수 창출할 계획이며, 성공사례를 통해 인식 개선	→	- 산학연 단장급 협업을 논의할 수 협의체 필요 - 인센티브나 가점 제도 등을 유인요소로 하여 장기적 관점에서의 문제해결 방안 마련 - 협력에 있어서 모든 부분에서의 협력이 아닌 각자의 역할을 부여하여 차별성을 가진 협력 방안 마련

- ‘기초원천연구분야 정책자문위원회’에 대해 한시적 운영이 아닌 향후 연속적 운영을 통해 정책이슈·현안을 지속적으로 발굴하고 정책방향에 대한 의견수렴이 상시 필요함
- 향후 현안이 시급하고 중요한 정책이슈에 대해 긴급의견수렴, 단기시책 수립 등 정책수요를 뒷받침 할 수 있는 '외부전문가 TF 위원회' 또는 별도의 분과를 구성하여 정책방향 구체화 필요

4.2. 미래사회분야 정책이슈 발굴 성과와 의의

- ‘국가과학기술혁신포럼’운영을 통해 미래사회예측 방법론을 도출하고 미래사회시나리오를 작성하여 미래사회분야 정책이슈를 발굴하고 미래 기술, 사회문제를 예측함
 - 미래사회 시나리오를 통해 미래사회의 이미지, 니즈, 비즈니스 기회를 형상화하고, 현재 전혀 존재하지 않고 20~30년 이후 사회혁신 또는 기술혁신을 이끌어낼 수 있는 사회문제·미래기술 도출



[미래사회분야 정책이슈 발굴 과정]

- 미래사회 시나리오를 통해 14개의 사회문제를 도출하고, 사회문제를 해결하기 위한 40개의 미래 기술 도출

사회문제	사회문제를 해결하기 위한 미래 기술
보안문제	AI와 빅데이터에 개인정보를 구분하는 기술
	해킹방어기술
외로움의 문제	인간적인 로봇 기술
	상담 로봇 개발
	포켓몬스터(애니메이션)와 같은 아날로그와 디지털방식을 이용한 엔터테인먼트 개발
불임 난임 문제	인공배아 기술
	유전자편집 기술
건강문제	유전자 정보를 통한 건강 예측
	평균수명 및 건강문제 해결
	로봇외과수술
	나노칩을 통한 건강문제 체크
외로움 문제	원하는 꿈을 꾸는 증강안경 기술
	동물과 소통이 가능한 증강 현실 구현
교통문제	날라다니는 자동차 기술
	물로 가는 자동차 기술

사회문제	사회문제를 해결하기 위한 미래 기술
	퍼스널 모빌리티 기술
	속도제한에 의한 사고 없는 도로 시스템 구축
우주	미지 행성의 신물질 진단 및 고체, 액체, 기체 채집 기술
	우주도시 건설 기술
	타행성 탐사 및 자원 채굴 기술
건강문제	생체정보 측정 기술
	영양성분 컨트롤 기술
	바이오 3D 프린팅 기술
	신경회복 기술
미세먼지	자동밀착 마스크
	유해물질, 미세먼지 등 차단 의복
	환경에 맞는 유해물질 차단자동차
저출산으로 인한 고령화심화	노년의 안전과 물리적 보호에 특화된 로봇
	노년층의 생활 도움 로봇
인구감소로 인한 도시 유행화 증가	최빈층을 위한 최빈층도시
	유행도시안전보호기술
우범지대 증가	범죄가 발생한 지역과 사람에 대한 정보를 바로 볼 수 있는 기술 (범죄지도기술)
	위험지역, 우범지대를 간파하여 대응하는 기술
	자동차 내에 범죄 대비 안전 장치
	가해자와 피해자 구분하여 공격하는 기술
	빅데이터로 빌딩이나 인물에 대한 정보제공
디지털 문해력 문제	신기술에 친숙하지 않은 이들을 위한 유저 인터페이스 기술 개발
	신규 참여자를 차별하지 않는 디지털 플랫폼 개발
우주 탐사	우주탐사기술개발
	우주선 및 우주 공간 전용 우주선
	우주 공간 및 극지환경에서의 발전 시스템 및 전력 전송 기술
	심우주통신망구축

□ 4개 테마(‘사람을 위한 기술’, ‘사람과 사람 혹은 기계에 대한 기술’, ‘사람들이 살고 있는 도시, 환경에 대한 기술’, ‘사람들이 살지 않는 극지환경에 대한 기술’)에 대한 26개의 기술군을 도출하였음

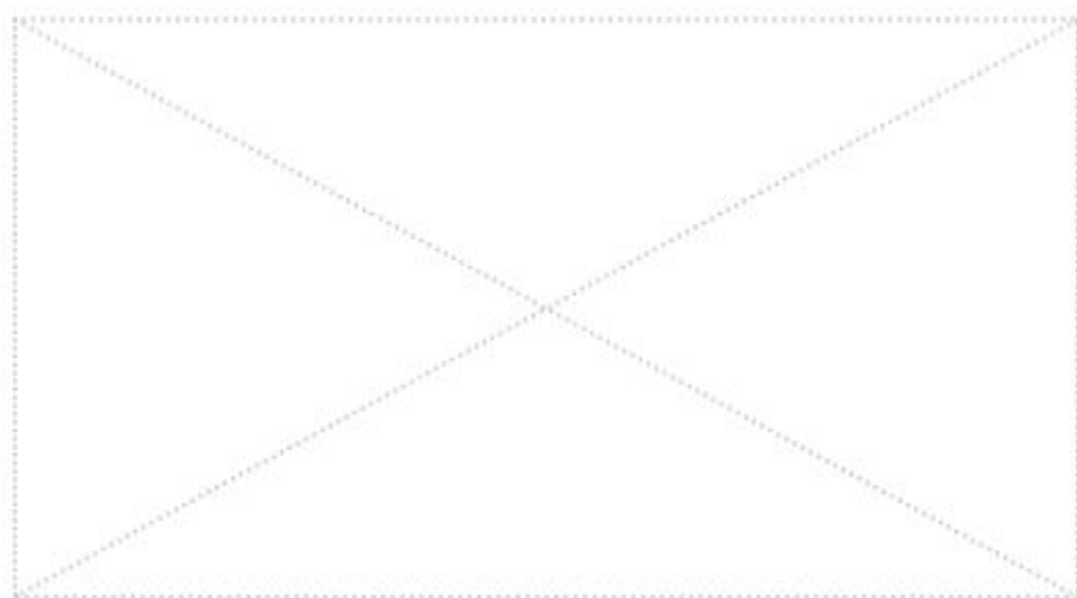
○ 4개 테마(대분류), 26개의 기술군(중분류), 86개의 세부기술(소분류) 도출

테마	기술군	세부기술
① 사 람 을 위	음식	- 필수 영양소를 캡슐형태로 압축해 식사대용으로 간편하게 섭취할 수 있는 영양 캡슐 기술 - 맛 & 영양소를 개인 맞춤형으로 조합하여 원하는 형태의 음식으로 만들어 낼 수 있는 3D 푸드프린터 기술 - 특정 성분 없이도 해당 성분의 맛을 낼 수 있는 대체음식 기술 (예를 들면, 채식주의자를 위한 고기 없는 패티, 또는 지방 성분 없이 지방의 맛을 느끼게 해 주는 기술 등)

한 기 술		- 음식의 신선도를 유지하여 버려지는 음식의 양을 줄일 수 있는 신선도 유지 패키지 기술 1분 내에 음식에 들어있는 유해물질을 분석하는 기술
	건강 관리	- 인체에 삽입되어 배터리 교환 없이 반영구적으로 혈당, 심전도, 혈압, 지질 등 다양한 생체정보를 실시간으로 감지/분석/전달하는 생체정보 측정 기술 - 소화기관 등에 삽입하여 특정 영양성분 과다 섭취 시 해당 성분을 인체 내 축적시키는 대신 바로 제거하거나 인체 외부로 배출시킬 수 있는 영양성분 컨트롤 기술 (비만, 당뇨 환자 등에 도움) - 인체삽입이 가능한 초소형 마이크로 수술로봇 1시간 내에 항원을 분석하여 질병 진단 및 처방하는 기술 - 가정내 진단이 가능한 생체에너지 진단 침대 기술
	치료	- 인간의 혈액을 완전 대체 할 수 있어, 수혈로 인한 다양한 사고/질병을 예방할 수 있는 인공혈액 기술 - 실/스테인플러 등의 전통 봉합 방식 대신 외상 부위에 붙이기만 하여도 대부분의 상처를 회복할 수 있는 응급 외상 패치 기술 - 손실된 인체 장기를 원상태로 수복할 수 있는 바이오 3D 프린팅 기술 - 녹내장, 선천성 청각장애 등 신경관련 장애를 완전히 해결할 수 있는 신경 회복 기술 - 혈관 내 삽입하여 스텐트 없이도 혈관 내 플라그를 제거할 수 있는 초소형 나노로봇 기술 - 지식을 단기간에 뇌에 저장시킬 수 있는 지식 증강 기술 - 유전체 교정 및 합성 기술을 통한 인공 장기 생산 기술
	뷰티	- 인체에 해로운 빛 (자외선 등), 가스 (대기오염가스) 등을 완전히 차단하면서도 과다사용 위험이 없는 화장품 기술 - 노화 방지 또는 늦출 수 있는 기술
	엔터 테인 먼트	- 원하는 꿈을 꾸는 증강 안경 기술 - 동물과 소통이 가능한 증강 현실 구현 기술 - 주변온도에 상관없이 일정한 체온을 유지시켜주는 기능성 합성 섬유
	인공 지능	- 인공지능기반 사고, 범죄, 자살 방지 시스템 기술 - 인공지능 기반 만능 로봇 로우미 기술
	신물 질	거리에 따라 초점을 자동으로 맞춰주는 렌즈(안경) 기술
② 사 람 과 사 람 혹 은 기 계 에 대 한 기 술	로봇 기술	- 원격에서 사람의 움직임을 실시간으로 재현하는 원격 아바타 로봇기술 - 현장에서 다양한 작업을 스스로 수행할 수 있는 인공지능 로봇 기술 - 요리, 육아 등 사람의 가사 부담을 덜어줄 수 있는 가사 로봇 기술 - 각 개인의 능력, 경험, 취향 등을 반영하여 정보를 제공해 줄 수 있는 개인별 맞춤 인공지능 비서 기술
	커뮤 니케 이션	- 언어장벽 없이 대화 가능한 실시간 언어번역 기술 - 가상공간에서 오감을 생생히 느낄 수 있는 가상현실 기술 - 상대에게 내가 느끼는 감각(후/미/촉각)을 공유할 수 있는 원격 감각 전달 기술 - 두 사람의 뇌 사이의 직접적인 정보 교환이 가능한 뇌간 통신 기술 - 생각하는 명령에 따른 결과를 보여주는 뇌파컴퓨터 기술
	미래 형도 시	- 비행 가능하며 떠다니는 미래형 건축물 인프라 기술 - 속도제한에 의한 사고 없는 도로시스템 기술 - 상대방의 행동을 분석하여 범죄행위 가능성을 예측하는 기술
	초실감 공간	공간 모션감지(제스처)를 통한 스마트기기 제어 기술
	모빌 리티	- 맞춤형 라스트 마일 퍼스널 모빌리티 기술 - 물로 가는 자동차 기술 - 날으는 자동차 기술 - 최저 속도 제한이 시속 200 km 인 자율주행 전용도로 구축 - 빌딩간(Building to Building, B2B) 이동 가능한 에어택시 기술 - 사고발생 가능성을 미리 예측하여 경고/안내하는 시스템

	스마트생산	• 개인 취향 맞춤 생산 가능한 3D 자동차 기술 • 인간과 상호 군집운용이 가능한 협동 로봇 생산시스템 기술 • 1리터로 1000 km 주행이 가능한 자동차 제작 기술 • 현재 가정에서 사용하고 있는 소비전력을 1/100로 줄이는 기술
	미래교육	• 전세계 온라인 교육 • 평생교육
	자동코딩	• 원하는 기능을 자동으로 구현해주는 인공지능 코딩 기술
③ 사람들이 살고 있는 도시, 환경에 대한 기술	기후변화 대응 기술	• 지구 온난화 경감을 위한 고효율 탄소저감기술 • 탄소 배출 없는 수소 연료전지 발전 기술 • 바람, 습도 등을 조절하여 원하는 기상상황을 만들 수 있는 기후 조정 기술 • 지진, 홍수, 강풍, 해수면 상승 등의 격렬한 기후에 대비 할 수 있는 건설 기술
	깨끗한 공기	• 비화석 연료(전기, 수소)로 주행하는 친환경 자동차 기술 • 공기 중 화학물질을 분해할 수 있는 광촉매 공기 청정 기술 • 사막 등 황량한 환경을 녹지로 바꿔줄 수 있는 신종 식물개발 기술 • 초대형 공기정화 및 미세먼지 제거기술
	식수 확보	• 태양광을 이용한 해수 담수화 기술 • 태양광을 이용한 광촉매 수질 정화 기술
	모빌리티	• 완전한 자율주행 차 기술 • 교통체증 시 하늘을 날 수 있는 Flying car 기술 • 진공튜브를 이용하여 고속이동할 수 있는 하이퍼루프 기술
	주거	• 거주인의 생활 패턴을 인식하여 Home facility를 상황에 따라 자동으로 작동시키는 인공지능 스마트홈 기술 • 추가적인 에너지원 사용 없이 passive 방식으로 건물의 온도를 낮출 수 있는 냉방 기술 (예, Radiative cooling 등)
	에너지	• 무선전력 전송 기술을 통한 전력전송 기술 • 물로 충전이 가능한 배터리 • 유전체 교정을 통해 개량된 미세조류를 이용한 이산화탄소를 포집하는 동시에 초고효율 바이오 연료 생산
	신물질	• 신물질 열전소자를 통한 열교환 시스템 기술
	생명공학	• 극지 환경 생명체의 DNA 분석을 통한 인간 생명연장 기술 • 유전자 시퀀싱, 교정, 합성 등 차세대 유전체 기술을 이용한 매머드와 같은 멸종 동물의 복원
④ 사람들이 살지 않는 극지 환경에 대한 기술	환경 개선	• 외부 방사능 등에서 상대적으로 안전하고, 단열에도 유리한 지하/해저도시 건설 기술 • 사막, 다른 행성 등 척박한 환경에서도 잘 자라 이를 사람이 살 수 있는 녹지로 바꿔주고, 식량생산증대에도 기여할 수 있는 식물/작물 개발 기술 • 다른 행성을 지구와 유사한 환경으로 만드는 테라포밍 기술 • 유전자 교정을 통해 극지 환경에서도 높은 생산성을 나타내는 쌀, 옥수수 등 우수 품종 개발
	우주수송시스템	• 유인 우주 왕복 수송시스템 기술 • 우주 도시 건설 기술 • 타행성 탐사 및 자원 채굴 기술 • 대기권 진입, 진출 전용 우주선 및 우주공간 전용 우주선 • 우주 공간 및 극지환경에서의 발전시스템 및 전력전송 기술 • 우주 공간내 중력 및 기압 조정 기술
	극한 환경 대비	• 방사능 차폐 의복/건물 기술 • 단열 의복/건물 기술 • 물 합성 기술 (수자원이 별로 없는 행성에서 식수 확보) • 사람이 없는 우주와 같은 극지에서의 스마트 팜, 스마트 공장

- 향후 연구과제로 테마별로 중요한 기술군 및 세부기술에 대한 기술개발 가능성, 혁신성, 사회적 파급력 등을 검토하여 가능성 있는 미래기술 발굴 필요
- 또한 향후 SF시나리오 외에 다양한 이해관계자가 참여할 수 있는(대국민 시나리오 공모전 형태) 다양한 미래사회 시나리오를 토대로 미래 전망 및 비전을 제시하고 그에 맞는 미래 기술, 법 제도 등 도출 필요
 - 시나리오 방법론을 통해 확정적인 단 하나의 미래의 모습을 그리기 보다는 주요한 환경 동인에 따라 실현 가능성이 있는 다수의 미래모습을 제시하고 그에 따른 전략적 대응방안 마련이 필요
- 미래사회를 전망하고 미래기술과 미래정책을 이끌어 낼 수 있는 새로운 프레임워크를 아래 그림과 같이 제안
 - 선행연구를 통해 사회혁신을 정의하고 사회혁신 및 경제발전 사례 조사를 통해 사회혁신의 필요성을 구체적으로 제시
 - 트렌드, 키워드 분석으로 미래사회 주제를 설정하고, 미래학자, 작가, 기술 전문가 등 다양한 구성원이 참여하여 델파이, 전문가패널, 설문조사, 워크숍 등 다양한 조사방법을 통해 미래사회 시나리오를 작성
 - 국민참여를 통해 공감대를 형성하고 미래 시나리오를 최종적으로 채택하여 미래상을 그려보고 이에 필요한 기술, 법·제도 등 정책적 지원방안을 도출



[미래사회분야 정책이슈발굴 프레임워크(안)]

붙임 1. 제1차 정책발굴자문위원회 회의안건

붙임 1-1. 책임있는 연구수행을 위한 R&D 관리방안

I. 현 황

- 현 정부는 ‘자율·창의적 연구를 위한 연구자 중심의 R&D’ 추진에 따라 기초연구 확대* 및 각종 제도개선** 추진 중

* ('17년) 1.26조원 → ('19년) 1.71조원 → ('20년(안)) 2조원 → ('22년) 2.52조원

** 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착방안('18.12월)」 등에 따라 공동 관리규정 개정 완료('19.3월), 과기정통부 처리규정 개정 추진('19.下 예정)

- 그 동안은 연구자 주도 R&D 확대 및 연구비 규정 간소화 등을 통해 연구자의 연구몰입을 위한 자율성 확대에 중점

- 한편, 부실학회, 연구비 횡령, 논문 부당저자(자녀 등) 등의 문제가 연이어 발생하면서 과학기술계에 대한 국민들의 실망과 우려가 고조

- ‘자율과 책임’의 원칙 하에서 연구자의 사회적 책임이 요구되고 있고, 자율성 확대에 수반되는 연구현장의 책임성 확보가 필요

II. 추진 경과

- 교육부·과기정통부는 부실학회 보도*에 따라 대학, 과기원, 과기출연연 대상 참가자 실태조사('18.9.13 완료), 직무윤리 등 조치 추진

* ('18.7.19) 해외 부실학회(와셋, 오믹스 등) 참가 사례 보도(뉴스타파, MBC 등)

- (조사항목) WASET, OMICS 참석현황(참가횟수, 출장비, 논문발표 수 등)

- (조치방향) 해당 기관 및 전문기관에서 ① 직무윤리, ② 연구부정*, ③ 연구비 부정사용**을 조사하여 징계, 출장비 회수 등 제재조치

- 관행적인 연구부정 근절 및 연구윤리 확립을 위한 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착방안」 수립('18.12월, 과기정통부)

- (주요 내용) 사전예방을 위한 제도개선, 범부처 연구윤리 규범 제시 및 제재기준 강화, 관리·감독체계 확충, 건강한 연구실 문화 조성 등
- (추진 경과) 후속조치 이행을 위한 공동관리규정 개정(`19.3월)

□ 연구기관으로서 대학의 연구윤리 역할 및 역량강화를 위한 「대학 연구윤리 확립 및 연구관리 개선방안」 수립(`19.5월, 교육부·과기정통부)

- (주요 내용) 대학 기관차원의 연구윤리 확보를 위한 책무성 강화, 사전예방을 위한 교육부터 사후조치까지 전단계의 관리 체계화 등

III. 「건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착방안」 주요 내용

□ 추진배경

- 연구자 중심 R&D 추진에도 불구하고, 최근의 부실학회 참가, 연구비 부정사용, 특히 부당이전 등의 문제로 국민의 실망과 우려 고조
- 연구자에 대한 신뢰 회복 및 혁신성장의 원동력으로서 과학기술 도약을 위하여 건강한 연구문화 및 선진 연구행정 정착 필요

□ 원인진단

- (규정) 연구윤리의 좁은 범위만을 고려하여 국민의 눈높이에 맞지 않는 연구윤리 규범 및 제재 기준
- (제도) 복잡한 연구비 규정 등으로 편법적 집행 발생 및 양적 실적 중심의 대학승진심사 등 평가제도
- (거버넌스) 정부 내 연구윤리 전담조직 부재, 연구기관의 연구윤리 확보 권한·책임 부족 등 추진체계 문제
- (인식) 공적 연구비 사용에 대한 연구자의 책임의식 및 관행적 연구윤리 위반 방지를 위한 연구계 자정노력 부족

□ 중점 추진과제

① 연구부정행위에 대한 제재기준 강화

- 연구부정행위 시 사안에 따라 정부 R&D 사업에서 영구 퇴출할 수 있는 수준으로 최대 참여제한 기한 상향(기존 5년)

② 연구기관 단위의 정부 R&D 제재 도입

- 기관의 연구비 관리 태만, 부정행위에 대한 부실한 조치 등에 대하여 기관 단위 참여제한, 연구비 일시중단, 간접비 축소 등 제재 부과

③ 주관연구기관에 대한 연구비 관리책임 강화

- 명확한 연구기관 책임 규정, 간접비 별도계정 관리, 행정인력 확충 등 연구행정은 기관이 책임지고 연구자는 연구에 몰입하는 환경 조성

④ 범부처 연구윤리 규범 제정

- 연구 진실성 뿐 아니라 연구자라면 일반적으로 지켜야할 연구윤리 규범을 범부처 규정으로 확립
- ※ (현행) 교육부, 과기정통부, 산업부 등 연구윤리 지침을 제각각 운영
→ (개선) 범부처 연구윤리통합지침 운영

⑤ 연구비 부정사용을 초래할 수 있는 제도적 결함 해소

- 학생인건비 총액 계상, 연구실 운영비 인정, 연구비 이월 활성화 등 연구자 친화적으로 연구비 규정을 개정하고,
- 연구책임자의 관리능력에 맞는 연구비 수주 및 연구전념을 위해 최소 참여율 또는 최대 총액 기준 등 도입 검토

⑥ 연구윤리 관련 전담조직 신설 등 거버넌스 확립

- 연구윤리문제의 범부처적 조정을 위한 연구윤리위원회 및 연구윤리 전담부서를 신설하여 추진체계 강화

⑦ 연구기관 차원의 연구윤리 확보를 위한 기능 확대

- 연구기관의 연구부정행위 관련 조사권한을 강화하고 연구부정행

위 판정 시 검증결과 보고범위 확대

- ※ (현행) 정부 R&D에서의 부정행위에 대해서만 소관 부처 장관에 통보
→ (개선) 추가적으로 모든 부정행위에 대하여 과기정통부 장관에 통보

□ 주요 추진일정

- 관련 법령(공동관리규정 등) 개정 : (연구비 규정) '19.3(완료), (제재강화) '19.12
- 범부처 연구윤리 규정 제정 : '19.下

IV. 건강한 학술활동 지원을 위한 조치방안

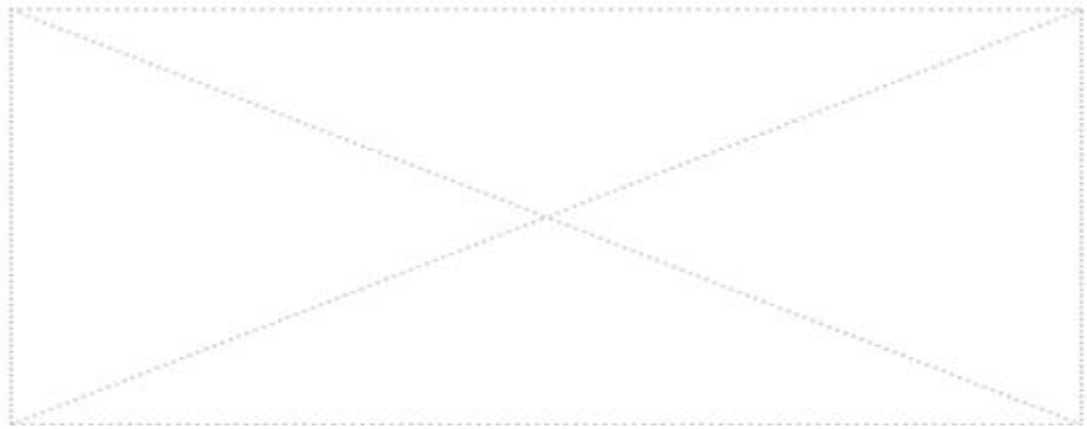
□ 배경

- 교육부·과기정통부는 부실학회 보도*에 따라 대학, 과기원, 과기출연연 대상 참가자 전수조사('18.9.13 완료), 직무윤리 등 조치 추진
* ('18.7.19) 해외 부실학회(와셋, 오믹스 등) 참가 사례 보도(뉴스타파, MBC 등)
- 과기계의 건전한 학술활동을 위한 자정작용을 지속적으로 지원하고, 부실학회 문제 해결을 위한 시스템 및 대응체제 구축 추진

□ (정보공유 플랫폼) 학술 정보 관리·공유·검증을 위한 '학술 정보시스템(가칭)'을 구축하여 과학기술계의 자정작용 지원

- (기능) 학술DB 및 플랫폼을 구축하여 신뢰할만한 학술정보 축적·공유, 부실의심학회 신고·검증(연구자·학술단체), 부실학회 탐지·예보

○ (구축방안)



- (KISTI) 학술DB* 수집 및 권장/비권장학회로 구분하여 정보 제공**, 정보공유 시스템 구축, 학술행사 참여 현황 정보 수집 및 공개
 - * (필수) ① 학술행사 주관단체명, ② 학술행사명, ③ 저널명
 - ** SCI, SCOPUS 등 공인학술지/비올리스트 등 부실의심학회 /WASET, OMICS 등 정부조사가 이루어진 학회 DB 등
- (과총) 학술정보시스템 內 과총신고센터 운영, 부실의심학회 제보 접수 및 부실학회 여부 판단, 학술 DB에 대한 권장/비권장 의견 제공 등
 - * 인문사회 분야에 대해서는 학총의 협조를 받아 검증
- 내부 소위원회 및 전문가를 활용하여 부실학회 검증 기준 마련, 학술대회 주관단체 단위로 부실여부 판단(연구재단, KISTI 자료 협조)
- (연구재단) 정부 연구비로 해외학회 참석시 ‘연구비통합관리 시스템’(‘19.下 오픈예정)에 등록*하게 하고, 학술정보시스템과 연계**
 - * (필수입력항목) 출장지, 학술행사 주관단체명, 학술행사명, 논문명, 출장계획보고서
 - ** (연계방안) 출장 등록시 학술정보시스템 API 활용하여 검색 후 등록, 학술행사 참여 현황 정보(학술행사명, 논문명 등)를 학술정보시스템에 제공
- 학회 참석내역 등록·관리를 통해 스스로 학회의 부실여부를 사전 점검하여 연구자의 경각심 제고, 사전·사후 모니터링 기반 구축
- (연구자) 학회 참석 전 정보 활용, 경험 공유, 부실의심학회 신고 등

□ (대응체계) 부실학회 이슈 발생시 부실학회 여부 검토 및 조사, 조치 등을 위한 정부-전문기관-연구기관 간 대응체계 마련

○ 정부 연구비를 받는 연구자라면 보편적으로 지켜야 할 연구윤리 규범*을 마련하는 한편, 연구윤리 교육을 강화

* 건전한 학술활동, 이해상충 배제 등에 대한 연구자의 의무와 정부·연구기관의 역할을 체계화·규범화

○ 부실학회 의심 신고(5건이상) 등 이슈 발생시 과총에서 부실학회 여부 검증 및 검증 결과* 공개 * 부실 인정(■확실/■신중), 불인정■

○ 부실 확실(■)로 판정시 ① 전문기관이 연구비통합관리시스템을 활용하여 `18.11월 이후* 참석자 조사 후 연구기관에 통보

* 부실학술활동 방지 가이드라인 배포 시기(`18.10월)를 고려, ①원칙:`18.11월~, ②다만 부실해진 시점 등을 고려하여 검증결과에 따라 기간 변동 가능

— ② 연구기관에서 참가사실 확인, ③ 참석자의 소명을 거쳐 조치*

* 연구부정/제재조치(연구기관·정부), 연구비부정/회수(전문기관 등)

※ 연구비통합관리시스템 개편 전(`18.11월~`19.下) 부실학회 참석한 경우는, 학회 사이트 검색(연구재단), 개별 출장기록 확인(연구기관)하여 보완

— 다만, 과총의 부실학회 검증 착수 이전, 연구기관 및 전문기관에 자진신고 및 출장비 반납한 경우, 조치시 감경 허용(재량)

○ 부실 신중(■)으로 판정시 판정시점 이후 참석자에 대해 제재하되, 부실학회(■/■) 판정 이후에는 연구비통합관리시스템에 해당 부실학회 출장 등록이 불가능

※ 부실판정 리스트는 정기적으로 재검토

붙임 1-2. ‘기초-원천연구’연계를 위한 실행방안 추진계획

1 추진배경

- 국가 R&D를 통한 혁신성장 및 국민의 행복한 삶 구현을 위해
서는 R&D 투자 전략 고도화 필요
 - '17년 기준 GDP 대비 총 연구개발비 비중은 4.55%로 세계
1위 수준으로 지속적 양적 확대는 어려운 상황
 - * 정부 R&D 투자 증가율(%) : ('11) 8.7% → ('13) 7.0% → ('15) 6.3% → ('17) 1.8%
- 국가 R&D 전체 규모와 별개로 연구자들의 창의성·다양성에 기
반한 연구자 주도 기초연구에 대한 투자는 지속 증가할 계획
 - * (국정과제 36) '17년 1.26조원 → '19년 1.71조원 → '22년 2.52조원
 - 기초연구 성과를 체계적으로 관리하는 R&D 지원 체계를 마련하여
R&D 투자 효과성 향상 및 국민이 체감할 수 있는 연구성과 창출 필요

2 R&D 현황 및 한계

□ 기초연구 운영현황

- (예산현황) 연구자 주도 기초연구 예산은 '19년 기준 1조
9,703억원으로 Bottom-Up 과제에 대해 지원

< 연구자 주도 기초연구지원 예산 현황 >

(단위: 억원, %)

구 분	'18년	'19년	증감액	증감률
과기정통부	12,394	14,604	2,210	17.8
교육부	4,525	5,099	574	12.7
합 계	16,919	19,703	2,784	16.4

- (지원체계) 우수 연구자의 연구단절 방지를 위한 재도약연구를 신
설하는 등 연구자의 생애주기를 고려한 기초연구 지원체계*로 개선

* 생애기본연구(1,340억원) » 신진(1,434억원) » 중견(6,470억원) » 리더(552억원)

- (성과현황) 연구자의 창의성에 기반한 과제를 선정·지원하여 논문, 특허의 연구성과는 우수하나, 활용성 높은 성과 창출은 미미
 - 응용·사업화가 가능한 기초연구성과도 다수*이지만 연구단절로 인해 파급력이 큰 성과창출로 이어지지 못하는 상황(최종성과보고서 미활용)

* ('18년 11월) 기초연구 중 응용·개발·사업화가 가능한 기초연구 주제 110개 이상 도출

□ 원천연구 운영현황

- (예산규모) 미래유망기술(바이오, 나노·소재, 에너지·환경, 융합 등), 우주, 원자력, 국민생활개선 분야에 대해 '19년 기준 1조 7,790억원 규모

< 원천연구 예산 현황 >

(단위: 억원, %)

구 분	'18년	'19년	증감액	증감률
미래유망기술	7,538	7,887	349	4.6
우주개발진흥	4,159	4,256	97	2.3
원자력진흥	2,055	2,161	106	5.2
국민생활개선	316	469	153	48.4
기타	2,800	3,017	217	7.7
합계	16,868	17,790	922	5.5

※ 기획심사평가비 및 보안사업 제외

- (성과현황) 원천연구의 최근 성과 대부분이 실험실 수준에서 정제되고 있고 사업화, 기술이전 등 가시적 성과가 부족한 상황

- 논문, 특허 성과 위주이며, 기술실시계약 체결건수 및 기술실시 계약체결금액은 162건, 173억원으로 기대에 미치지 못하는 상황

※ 2017 과학기술정보통신부 주요연구개발사업 성과분석보고서('19.2)

- (지원체계) 기술수요조사를 바탕으로 중점 투자방향을 도출하여 세부 기획연구를 진행하는 Top-Down 방식으로 지원(수행주체는 공모 또는 지정)

- 원천연구 과제 연구기간도 '13~'15년 선정과제의 평균 연구기간 58개월(777개) → '16~'18년 선정과제의 경우 평균 51개월(1,729개)로 장기에서 중·단기 연구로 변화하는 추세(회계연도 일치제도 도입 등)

□ 기초-원천연구 연계 현황

- 기초/원천연구는 분류체계 및 지원체계가 상이하여 **그간 별도로 운영**
 - 유사한 기초연구 성과를 종합하여 새로운 원천연구로 기획하는 체계 부재
- ※ 기초연구(5대 학문단) : 자연과학단, 생명과학단, 의약학단, 공학단, ICT 융합연구단
원천연구(9개 분야) : 뇌·첨단의공학단, 신약단, 차세대바이오단, 나노·소재단, 정보·융합기술단, 에너지·환경단, 우주기술단, 원자력단, 공공기술단
- 기초연구 최종보고서(연구성과활용계획서)를 제출하고 있으나 이에 대한 성과분석 체계가 없어 다수의 연구성과가 미활용
 - 기초연구를 통해 TRL 5 이상이 예상되는 성과를 보유하여 후속사업이 필요한 경우에도 원천연구 착수까지 최소 2년, 예타 규모의 경우 최소 3년 이상이 소요되어 연구단절 발생
- ※ (예) 우수성과 도출('17년) ⇨ 후속과제를 제안해도 18년 추진 불가('18년 사업은 '17.上 심의 완료) ⇨ 원천연구 기획·예산반영('18.상) ⇨ 신규과제 착수('19년)

☞ 기초연구 우수성과를 원천연구로 연계하여, 사업화 가능성을 고려한 연구를 진행하여 단기간에도 사업화 성과 창출이 가능한 체계 마련

① 기초, 원천연구 성과관리 전문가(RB)를 지정하여 체계적 성과관리

구 분		현 행	개선 방안
RB 구성	기초연구	분야별 3~4인(동일업무 수행)	분야별 성과전담 RB 1인 지정
	원천연구	분야별 2~4인(동일업무 수행)	분야별 기획(성과) RB 추가선정
기 획	성과물활용	최종보고서 미활용	기초연구 최종보고서 검토를 통한 성과, 연구자 정보 활용
	기술수요조사 시	특정기술, 상시기술 수요조사	특정기술, 상시기술 수요조사 + 기초 성과전담 RB수요조사

② 기초연구성과 연계 원천연구 시범사업 추진

- 기초연구 성과분석 전문가(RB)를 활용하여 연구성과 중 시의성 및 사업화 가능성 등을 고려하여 기존 원천 사업 내 과제로 신규 반영('20년 예산)

※(예) 기후변화대응기술개발사업, 바이오의료기술개발사업 등

< (예) 태양전지 분야 기초연구 성과물 활용연계 >

기초연구			
I. 개인연구			
우수 연구	리더 연구	유형1	페로브스카이트 연구
		유형2	
	중견 연구	유형1	
		유형2	태양광 하이브리드 소재 연구
	신진연구		
II. 집단연구			
선도연구센터		차세대 염료감응 연구	
-기초의과학분야(MRC)			

태양전지, 차세대
염료감응, 태양전지
소자 등 키워드
검색을 통해 추출된
태양전지 분야
기초연구사업 최종
보고서 분석

원천연구	
I. 미래유망원천기술개발	
1. 기후변화대응기술 개발 - 태양전지 신규과제 기획	
2. 나노·소재기술개발	
3. 첨단융합기술개발	
4. 차세대정보·컴퓨팅 기술개발	
5. 바이오의료기술개발사업	
6. 국제핵융합실험로 공동개발사업	
II. 우주개발진흥	
1. 인공위성개발	

태양전지, 차세대
염료감응, 태양전지
소재 등 키워드
검색을 통해 추출된
태양전지 분야
기초연구사업 최종
보고서 분석

- 최근 3개년 종료된 기초연구 성과 분석을 통해 연구성과, 시급성, 기술성숙도 등을 고려하여 원천연구 지원 필요 분야* 도출

* ('18년 11월) 기초연구 중 응용개발사업화가 가능한 기초연구 주제 110개 이상 도출

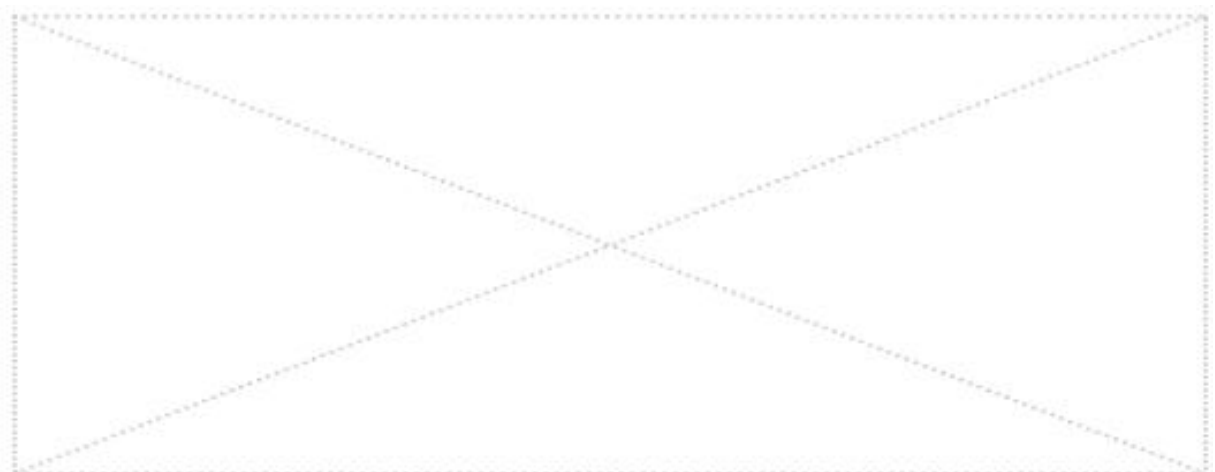
<기존 원천과제와의 차이점>

	기 획	선 정	평 가, 활 용
현 행	▪ 원천연구 PM 중심의 기획 ▪ 기술수요조사 중심	▪ 공모 또는 지정	▪ 단계·최종 평가 시 논문 등 단기적 성과중심의 평가
기 초 연 계	▪ 해당분야 기초연구 성과분석RB 참여 ▪ 기초연구 성과 기반으로 기획	▪ 공모 또는 지정 - 공모의 경우 해당분야 기초연구 최종평가 우수자에게는 가점 부여 - 기초분야 우수성과 연구자에게 지정도 검토	▪ 정량적 수치목표 달성 여부 평가 ▪ 우수성과 달성시, 산업부 등의 후속과제와의 연계 추진

③ 기술 비지정 원천연구 세부사업 신설 ⇨ 예타 추진('19.하)

- 기초연구 성과가 끊임없는 지원을 통해 원천연구로 이어질 수 있도록 기술 지원 분야를 정해놓지 않은 기술 비지정 세부사업 신규 마련
- (예타사업 신설 필요성) 기존 원천연구는 특정 기술 분야별로 사업이 구분되어 있어 다양한 분야에서 도출될 수 있는 기초연구 우수성과를 담기에는 한계
 - 또한, 기존 원천사업들이 일몰대상사업이므로 예산확대는 어려운 상황

< 기술 비지정 사업 운영(안) >



<토론사항 : 예타 기획시 고려사항>

- 기술 비지정 사업의 경우 사업의 필요성에 대한 명확한 제시가 중요
- 기초연구성과 중 원천기술사업 후보를 선정하기 위한 성과분석활동 포함
 - ※ 기초연구(씨앗)를 원천기술(큰 나무)로 잘 자라게 하기 위해서는 브릿징, 인큐에비팅, Translating 과정(사전 기획, 사전연구 R&D 등)을 통해 묘목 수준으로 성장하도록 할 필요
- 기존 원천기술개발사업과 차이점, 관계에 대한 명확한 제시 필요

4

향후계획

- ☐ 시범사업으로 선정된 분야 예산반영 추진('19.5~6월)
- ☐ 기초연구 성과를 반영한 원천기술개발사업 예타 신청('19.11월)

붙임 2. 제2차 정책발굴자문위원회 회의안건

붙임 2-1. 바이오 R&D 성과 및 제도개선 방안

1. 바이오 R&D 성과

◇ 바이오·헬스 분야 정부 R&D 투자 '94년 407억원 → '17년 2조6천억원(약 64배 증가)

① (성장지원) 정부 R&D를 통해 민간의 R&D 투자 견인

- 민간의 투자여력이 낮은 시기에 적극적인 R&D 투자를 통해 기술역량 축적
- '14년을 기점으로 민간 투자가 정부 투자를 넘어 자생적 생태계가 조성

[바이오헬스 정부·민간 R&D 투자 규모]

금액(억원)	'94년	'99년	'04년	'09년	'14년	'17년
정부투자규모(A)	407	1,222	4,572	9,586	21,241	26,051
민간투자규모(B)	-	-	4,302	8,974	24,349	33,164

② (인력양성) 고급인력 양성 및 일자리 창출

- 약 7만 명의 석·박사급 우수인력 육성('06년~), 정부 R&D 10만여 명 참여('18년 기준)

[바이오 인력양성 및 참여인력 규모]

인력(명)	'06년	'11년	'16년	'18년
신규 석·박사 인력	3,126	5,447	6,422	7,705
정부R&D 참여 연구원	15,022	47,351	104,088	104,181

③ (창업지원) 중소·벤처기업 창업 및 성장 지원

- '94년 이후 창업한 코스피·코스닥 상장 바이오·헬스 기업(89개) 중 32개 기업(시가총액 약 19조원)이 정부 R&D 투자를 토대로 주요 기술 확보

※ 정부 R&D투자(약 6,300억원)로 74개 기업(시가총액 약 37.2조원)이 초기 벤처에서 상장기업으로 성장

④ (신약수출) 글로벌 제약사로 대규모 기술 수출 달성

- '15년 이후 기업들의 200억원 이상 기술수출 35건(계약 금액 약 15.8조원) 중 29건에 정부 R&D지원 (범부처 협업을 통해 기초부터 임상까지 전주기 지원)

[연도별 신약 기술수출 건수 및 금액 (총액 200억원 이상)]

(단위: 조원)

구 분	‘15년	‘16년	‘17년	‘18년	합계
총 기술수출액 (건수)	7.5(11)	2.5(10)	1.4(6)	4.4(8)	15.8(35)
정부지원 신약 기술수출액(건수)	5.1(7)	1.9(9)	1.4(6)	4.3(7)	12.7(29)

2. 성과창출 제고를 위한 제도개선 논의 사항

① 평가위원 사전 공개(일부과제 시범적용)

- (검토배경) 연 20억원 이상 국책과제의 경우 평가위원 명단 사전 공개, 종합평가의견 및 과제별 평가위원 명단 사후 공개 추진 등 평가 정보의 공개를 확대
- (적용사례) ‘19년 신규 20억 이상 과제의 선정평가(발표) 시 평가위원 명단을 평가일 3~5일 이전에 사전 공개(성명, 소속기관)
 - * 기후(4월), 수소에너지(5월), 오믹스 정밀의료(5월), 탄소자원화 기술고도화(5월) 등 피평가자들에게 명단 개별안내
- (논의사항) 평가자 사전 공개를 통한 상호 견제 등 평가 공정성개선 효과 여부, 제도 보완 사항, 확대 필요성 등

② 연구책임자 책임성 부여(연구비 규모에 따른 참여율 최소조건)

- (검토배경) 대형과제 책임자의 연구 전념을 위해 바이오 분야 연 5억원 이상의 과제는 총괄·단위책임자의 참여율을 50%이상으로 적용
 - * (5억~4억) 40%이상, (4억 미만) 30%이상
- (적용사례) 원천연구사업*은 대부분 30%이상, 기초연구사업**은 중견과제(평균 1.2억원) 등의 경우 30%이상의 최소 참여율을 적용
 - * 일부 대형과제 총괄책임자의 참여율은 달리 적용(미래소재 13억, 50%, 미래반도체 29억, 40%)
 - ** 개인 : 리더(평균 6.8억, 70%), 중견(평균 1.2억, 30%), 신진(평균 0.5억, 20%),
집단 : 선도센터(평균 13억, 60%), 기초연구실(평균 4.3억, 40%)
- (논의사항) 연구현장에서 50%이상의 참여율은 과도하다는 일

부 의견이 있어, 적정 참여율 수준 및 확대 필요성 등

③ 성별과 젠더를 고려한 연구 가이드라인 마련

- (검토배경) 생명현상에 대한 정확한 이해를 위해 의·생명과학 연구 과정에서 성별을 생물학적 변수로 포함할 것을 검토할 필요
 - ※ 동물·세포실험, 의약품 개발 과정에서 성별을 고려한 연구가 부족하여 질병의 진단·치료·예방이 지연되는 사례가 보고되고 있음
- (관련사례) 美, NIH는 척추동물과 인간을 대상으로 하는 연구에서 성별을 주요 생물학적 변수로서 연구 계획에 포함하도록 결정
 - ※ '16년 이후 연구계획서에 성별을 생물학적 변수로 고려하여 암·수 모 두를 포함하거나, 그럴 필요성이 없을 경우 그 근거를 제시해야 함
- (논의사항) 우수 연구성과 창출을 위한 연구 가이드라인 마련 필요성 및 적용 방안, 정부(연구재단)·학계 간 역할 분담 등

④ PI 참여를 위한 사전 교육 추진

- (검토배경) 연구자들의 R&D제도 및 정책에 대한 이해 부족 및 최근 부실학회, 연구비 횡령 등 문제가 연이어 발생하면서 연구현장의 책무성 강화, 사전예방 교육 등 관리 체계화 필요
- (관련사례) 美 NSF, NIH 등은 참여 연구원 대상 연구윤리강령(RCR) 교육을 의무화(주로 온라인), 韓 '18년부터 기초연구사업 등 일부 사업** 연구윤리 교육을 의무화, 연구회 산하 출연(연)은 직급별 의무교육 운영
 - * RCR (Responsible Conduct of Research, 연구윤리강령)
 - ** (과기부) 기초연구사업(연구책임자), (교육부) 학술연구지원사업(연구책임자 및 연구원)은 국가과학기술인력개발원(KIRD)의 사이버 과정을 의무 수강
- (논의사항) 연구현장의 책무성 및 연구경쟁력 강화를 위해 PI 등에 대한 사전 의무 교육 프로그램 운영 필요성 등

⑤ 5억원 이상 과제 포닥(박사후 연구원) 참여

- (검토배경) 실험실 연구에 핵심적인 포닥 등 Staff Scientist의

참여 확대를 통해 R&D 고도화, 우수인력의 활용도 제고 등 필요

※ 국내 이공계 박사학위자 배출현황 : '17년 6,177명

('14) 5,523명 → ('15) 5,614명 → ('16) 5,978 → ('17) 6,177명

- (적용사례) 과기정통부 일부 사업*의 경우 연(12개월) 5억원 이상의 과제는 해당 기관 소속의 박사급 연구원을 필수 참여(참여율 50% 이상)

* 바이오의료기술개발, 재난안전플랫폼, 국민생활안전 등 생명과 및 국민 생활연구팀 소관 원천사업('19.2월 이후 신규공고 과제)

- (논의사항) 박사급 연구원 필수 참여 대상 과제의 확대 등 연구현장의 연구경쟁력 강화를 위한 제도 개선 방안 등

붙임 2-2. ICT·기초원천연구 활성화 방안

1. 추진배경

□ 그동안 ICT를 핵심 성장동력으로 육성, 세계 최고 수준의 인프라를 구축하고, 주요 품목의 시장 점유율 1위 등 세계적 산업 경쟁력을 확보

- * 한국의 ICT 발전지수(IDI) 순위 : 1위('13) → 2위('14) → 1위('15) → 1위('16) → 2위('17)
- * 세계 시장 점유율 1위 품목(점유율 %) : DRAM(72.3), OLED TV(65.6), 플래시 메모리(47.3)

□ 그러나 고도화되는 산업 수요와 글로벌 경쟁에 적시 대응을 위한 ICT 기초·원천기술 경쟁력 취약 문제 지속

- * 미국 대비 ICT 기술수준(IITP, '17): (EU) 90.7, (일본) 87.2 (한국) 83.5 (중국) 82.5
- ** '17년 기술무역수지(억원) : (조선업)△4,678, (전기/전자)△4,200, (정보/통신)515

⇒ ICT 산업의 지속적 성장기반 확충 위해 기초·원천연구 역량 제고
절실(“과기정통부 1차관(연구개발)·2차관(산업혁신)의 시너지 창출 대표 분야”)

2. 현황 및 문제점

□ (투자) 민간의 괄목할 만한 성장에도 불구하고, 정부 ICT R&D 투자 대부분이 개발단계에 집중, 기초·원천연구개발에 대한 투자 부족

- * '16년 정부 개발연구투자(1.6조원)는 기업부문의 ICT 연구개발비(27.1조원)의 1/17 수준
- * '16년 정부 R&D 투자 중 개발연구 비중(%), KISTEP, '18) : ICT(46.5) > 전체(36.8) > 바이오(20.6)

□ (성과) ICT 기초·원천연구는 타분야 대비 높은 연구생산성* 등 산업혁신으로의 발전 잠재력이 높으나 대형 성과창출 부족

- * 기초연구비 10억원당 논문(건): (ICT)21.7 ↔ (비ICT)6.9, 특허(건): (ICT)3.6 ↔ (비ICT)1.8

○ 중·소형 성과 위주*로 파급력 높은 원천기술 프로젝트 부족

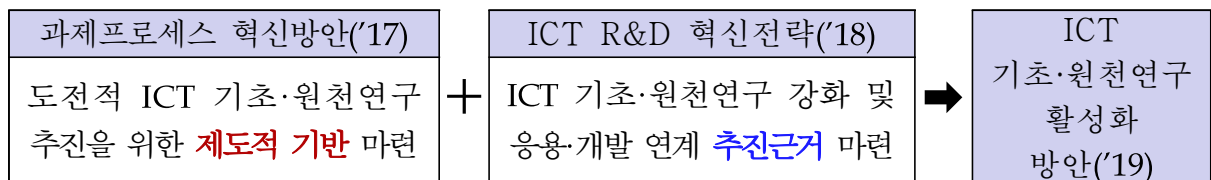
* ICT 기초연구 기술이전 건당 기술료(억원) : ('13) 0.647 → ('15) 0.3 → ('17) 0.295

□ (생태계) 원천기술 R&D 및 사업화를 위한 산·학·연 협력체계*, 신기술분야 전문인력 등 기초·원천 연구생태계 기반 미비

* ICT 기업 기술획득경로(%) : (자체연구) 70, (대학·기관) 13.7, (他기업) 8.9, (해외) 1.7

3. ICT 기초·원천연구 활성화 방안의 위상과 의미

□ (위상) 제도기반 마련 및 정책방향 제시 ⇨ 후속조치 이행·구체화



□ (의미) 화학적 조직융합과 전주기 R&D 연계의 대표적 성공 사례

- ① 과기정통부 내 과학기술+정보통신 융합 및 시너지 창출 대표사례
- ② 기초·원천연구와 응용·개발연구 간 유기적 연계의 선도모델

4. 역량분석 및 추진전략

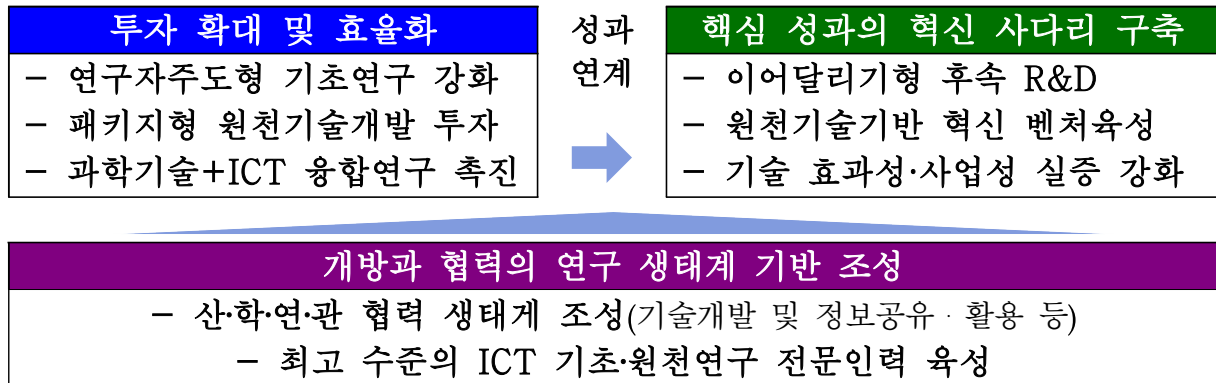
□ (역량분석) 기존의 추격형 R&D 투자 관행과 지원 체계 분절 등 약점에도 불구하고, 우수 연구역량(학술성과 등)·민·관의 투자여력 등 강점 보유

▶ 수준 높은 ICT 학술성과		▶ 추격자형 R&D 투자관행
▶ 고도화된 산업생태계·민·관 투자여력	S	▶ 기초·원천/응용·개발 지원 체계 분절
	W	
▶ 5G·AI·양자컴퓨팅 등 新유망분야 확산	O	▶ 중국 등 글로벌 ICT 원천기술경쟁 격화
	T	

⇨ 전주기적 지원체계를 바탕으로 민·관 투자를 확대 및 효율화하여 국내의 우수한 연구역량을 파급력 높은 ICT 원천기술로 연계·육성

□ (추진전략) ICT 기초·원천연구 활성화를 위한 종합적 대책 추진

- ①기초·원천 R&D 투자 확대 및 효율화, ②기초·원천 R&D 성과의 혁신 사다리 구축, ③개방·협업의 기초·원천 R&D 생태계 조성



5. ICT 기초·원천연구 활성화 추진전략 세부과제(안)

1 기초·원천 R&D 투자 확대 및 효율화

◇ 기초·원천연구에 대한 정부의 과감한 모험투자자(risk-taker) 역할 강화

1] 기초연구 지원확대 및 전략성 강화

- (규모확대) ICT분야 연구자주도 기초연구(개인·집단연구) 지원규모를 '17년 1,450억 수준에서 '22년 이후 2,900억원 규모까지 점진적 확대
- (전략성 강화) 기초연구 지원분야 선정 및 분야별 지원규모 산정 시 ICT R&D 기술체계와의 연계를 통해 기초연구의 전략성 확보

2] 패키지형 원천연구를 통한 연구의 파급력 제고

- (로드맵 수립) 기존 산업육성 관점의 ICT 기술개발 로드맵을 중장기 원천기술 확보로까지 확대(IITP+연구재단 협업 강화, '20~)
 - ICT는 물론 인접분야가 연계된 패키지형 연구주제·과제 도출 등
- (패키지형 연구) ICT 미래 유망분야 육성을 위해 ICT 핵심기술과

기반기술을 동시에 지원하는 패키지형 전용 R&D 신설(1+2차관 협업)

* (예시) 4D 지능형 센싱(소재·바이오 + AI), 몰입형 콘텐츠·미디어(인공지능 + VR)

- 대형성과 창출을 위해 전략분야에 대한 선도프로젝트 추진

분야	핵심기술	기반기술	비고
지능형 반도체	AI반도체 설계·공정	非CMOS계열 新소자	'20~'30, 1조(예타통과)
양자정보 통신	양자암호통신 및 상용기술	양자컴퓨팅, 알고리즘	'20년 146억원(非예타)
SW컴퓨팅	기반SW 원천기술	컴퓨팅 HW 설계기술	'21~'30, 0.7조 (2차관 협업)
첨단센서	통신 및 데이터처리	마이크로 연산, 유연소자	'21~'29, 0.5조 (산업부 협업)

③ 기초·원천 연구 분야 과학기술+ICT 융합 선도모델 창출

- (ICT+) 자연과학자(수학·물리·생물 등)의 탐구역량과 공학자(전기·전자·컴퓨터 등)의 개발역량을 결합한 ICT 기초융합연구센터 신설('21~)
 - (과학기술+) 첨단 ICT 유망 원천기술(AI·빅데이터 등)을 바이오·소재·천문 등 첨단 과학기술 연구에 접목한 선도사업 추진 확대
- * (바이오) AI 활용 신약개발 플랫폼('20, 56억원) / (소재) 계산과학 활용 미래소재 연구('20, 365억원)

2 기초·원천 R&D 성과의 혁신 사다리 구축

◇ 민·관 협업을 바탕으로 초기 원천기술의 끊김없는(seamless) 성장 지원

① 기초·원천 ⇨ 응용·상용화의“이어달리기 R&D”체계 구축

- (전용 R&D) 유망 ICT 기초·원천 연구성과를 선별, 응용·상용화 단계까지 체계적으로 육성하는 이어달리기 전용사업 신설(1+2차관 협업)

(1단계) 첨단유망기술선도	(2단계) 첨단유망기술육성
- 경쟁·개방형 공동기획 - 창의성·도전성 위주로 선정평가 - 산업전문가 컨설팅 실시	- 개방형 경쟁평가 - 성공가능성 및 산업과급력 평가 - 산·학·연 공동 응용·실증 R&D

- (관리체계) 연구재단·IITP 등 ICT 기획전문가(PM 그룹) 간의 정기 협의회 운영('19. 下)하고 연구성과·산업트렌드 공유

② 혁신 원천기술 기반의 벤처 창업 활성화

- (성장지원) 기술 보유자에 대한 창업지원과 R&D 지원을 연계하여 ICT 원천기술벤처(deep tech startup) 성장 지원(중소벤처기업부 협업)
 - (제도) 연구개발특구 내 ICT 혁신기술 기반 제품의 실증특례 도입(입법 추진 중) 및 ICT 원천기술에 대한 세액공제 적용* 등 적극 추진
- * (예시) '19년부터 양자컴퓨팅 분야에 대해 원천기술 세액공제 적용 신설 등

③ 미성숙 원천기술의 초기실증을 통한 기술완성도 제고

- (공공연구시설) ICT 전문 출연연(ETRI·KETI 등) 및 인프라 보유기관(나노팜 등)을 통해 대학 등 보유 원천기술의 시작품 제작 지원
- * 소재(정보·전자) 및 반도체 공공연구기관 협의회('19.4월~ 운영 중) 등 활용
- (가상실험실) 초고성능 컴퓨터를 기반으로 ICT 원천기술의 초기 실증을 위한 지능형 시뮬레이션 지원 '디지털 실험실' 구축('21., KISTI)
- * 첨단 제품의 거동, 결함, 수명 등 복잡한 특성에 대한 정밀예측, 분석 등

3 개방·협력의 ICT 기초·원천연구 혁신생태계 조성

◇ 지속적 기초·원천연구 혁신을 위한 기술개발·인력양성 생태계(Eco-system) 조성

① 산학연관의 ICT 기초·원천 연구개발 협력생태계 조성

- (산·학 기술협력) 주요 ICT 산업분야의 기술 고도화를 위한 중·장기(최대 15년) 산·학 공동 연구네트워크 구성 지원('21~)

- 정부는 씨앗자금 제공, 주요 연구비는 산업체 기여로 조달

《 美 과학재단(NSF) 산·학 협력연구센터(I/UCRC) 운영사례 》

- 산·학 연구체계 구성 및 운영을 위한 씨앗자금 지원 : 대학 당 \$60,000~\$90,000
- '18년 기준 60여개 센터 운영 중, 정부기여금 대 민간출자금 비율 10배 이상

- (연구데이터) 정부 ICT R&D 추진과정에서 축적되는 연구데이터를 수집하여 다양한 연구자가 공유·활용토록 지원('21년~)

- * 인공지능 분야 (가칭) 연구데이터 전문센터를 시작으로 점차적으로 확대

- (연구허브) ICT 기초·원천 연구자와 산업계가 연구성과와 전략방향 등을 논의·공유하는 개방형 포럼 구성 및 운영('19.下~, ETRI)

- 출연(연) · 대학 간 인력 교류도 활성화(ETRI↔특성화대 ⇨ 확대)

② 최고 수준의 ICT 기초·원천연구 전문인력 양성

- (대학 및 신진연구자) 이공계 연구중심대학원 육성을 통해 혁신성장분야(스마트시티, 자율차, 데이터 등)의 ICT 핵심인재 배출('20년~)

- 박사급 연구원 또는 비전임 교원인 신진연구자에게 3~5년간 안정적인 인건비를 지원하고, 태동기 ICT 유망 영역으로의 성장 유도

- * 연구 성과를 기반으로 기술사업화 · 창업 활동에 대해 2년 이내 추가 지원도 추진

- (핵심 분야 집중육성) 핵심 분야에 특화된 지원프로그램 운영

- (시스템반도체) 차세대 반도체 유망분야(바이오·에너지·반도체 등)에 특화된 석 · 박사급 융합전공(소자 + 설계 + 장비 + 응용분야) 신설('20년~, 5개교)

- (인공지능) 인공지능 핵심(Core) 지식과 각 분야와의 융합 역량(AI+X)을 갖춘 최고급 선도 연구자 양성을 위한 대학원 운영('19년 5개→'22년 10개)

붙임 3. 제3차 정책발굴자문위원회 회의안건

붙임 3-1. 연구성과 향상을 위한 R&D 프로세스 개선방안 2단계

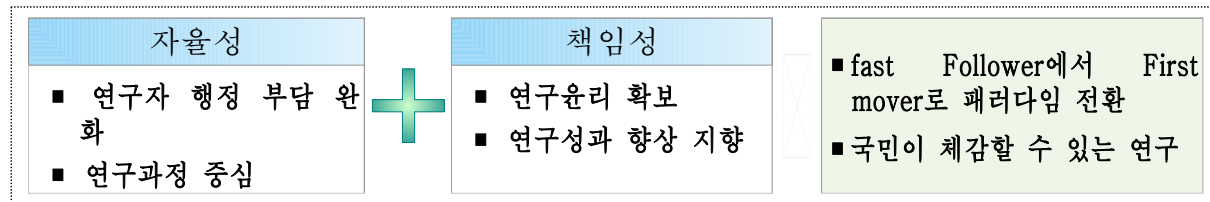
추진배경

- 사회, 경제적 기여도를 높일 수 있는 세계적 기술력을 확보하기 위해서는 국가 R&D 전략을 추격형(Catch up)에서 선도형(First mover)으로 전환할 필요
- 기술선도국(First Mover)으로 도약하기 위해서는 연구자의 자율성과 그에 비례한 연구자의 책임성이 조화로운 연구환경 조성이 중요
- ※ 문재인 정부에서는 ‘사람 중심의 연구환경 조성’을 위해 연구자의 자율성을 확대하는 동시에 책임성을 강화하는 정책을 추진 중
- ⇒ 기존 방안이 연구자 자율성 중심의 제도개선인 반면, 이번에는 이와 비례한 연구자의 책임성(연구성과, 연구윤리)을 향상하기 위한 방안을 마련

이행점검

	1단계 개선점('17.11~)		추가 개선필요사항
기획 및 선정	▶ RFP에 연구방법을 제한하지 않고 목표만 제시하여 RFP 간소화 ▶ 빅데이터 기반의 평가위원 자동추출 방식 도입 및 상피제 기준 완화	⇒	▶ middle-up 방식 RFP 수립 과정에서 연구 목표도 불명확해짐 ▶ 평가위원 확보의 어려움은 여전하고 선정 후 성과관리 체계 부재
연구 과정	▶ 다년도 협약 시 연구비 이월 허용, 연구 계획서 분량 축소 시행으로 연구자의 행정부담 완화	⇒	▶ 차년도 예산 선집행을 통해 연구비를 유연하게 쓸 수 있는 근거 마련 필요 ▶ 연구과정을 추적, 계승, 발전하여 성과창출의 기반 마련 필요
평가 및 보상	▶ 기초연구 최종 평가시 성실수행 과정만 평가(성공/실패 판정 폐지) ▶ 원천연구의 연차평가 폐지	⇒	▶ 성실실패를 두려워 않는 환경조성 ▶ 우수 연구자가 현재 연구에 매진할 수 있도록 후속지원 활성화
연구 윤리	▶ 공동관리규정 개정을 통해 연구비 부정사용을 예방, 관리할 수 있는 체계 마련 ※ 학생인건비 통합관리 제도화, 직접비로 연구실 운영비 계상 허용, 연구윤리 신고센터 신설 등	⇒	▶ 자율적 자정을 통한 연구윤리와 ▶ 연구실 내 연구자의 불안정한 지위, 경제여건 등에 대한 정책적인 대안을 제시해줄 필요

개선 방향



목표

자율과 책임에 기반한 R&D 지원으로 혁신적 연구성과 창출

추진전략

1. (기획 및 선정) 명확한 목표로 기획하고, 꼼꼼하게 선정하여 성과중심 관리

- ① 과제 공고 시점 정례화를 통한 연구과제 준비기간 확보
- ② RFP 작성시, 연구목표 및 성과지표 명확화
- ③ 전문성 있는 우수한 평가위원 확보
- ④ 과제 상세계획을 위한 가(假)선정제도 운영 및 PM 확대

2. (연구과정) 유연하게 연구하고, 연구과정이 축적되는 문화

- ① 다년도 협약에 따른 연구비 선집행, 이월 가능
- ② 성과를 높일 수 있는 R&D 지원 방식 다양화
 - 기업과 다같이 연구, 연구실 중심, 기초-원천 연계
- ③ 연구과정을 중시하고 연구과정이 축적되는 문화 확산

3. [평가 및 보상] 핵심만 평가하고 연구성과에 상응하는 공정 보상

- ① 최종평가 맞춤형 평가를 통해, 성실실패를 인정하는 문화
- ② Moving Target, 조기종료 활성화
- ③ 연구성과와 연계한 연구수당 집행
- ④ 우수 연구자 후속연구에 대한 가점 지원

4. [연구윤리] 과학기술계 신뢰, 위상 회복할 수 있는 책임있는 연구 수행 지원

- ① 정부 R&D를 수행하는 누구나 같은 권리-같은 책임
- ② 건강한 학술활동을 위한 시스템 및 대응체계 구축
- ③ 연구실 내 연구인력 지위 정립

중점 추진과제

< [기획 및 선정] 명확한 목표로 기획하고, 꼼꼼하게 선정하여 성과중심 관리 >

○ 과제 공고 시점 정례화를 통한 연구과제 준비 기간 확보

- 예산의 조기집행 등을 고려하여 상반기 공고는 유지하되, 회계연도 시작 전 기획에 착수하여 행정부담 완화를 통해 충실한 기획기간 확보

※ (1차) 11월~1월 기획, 1월 공고 원칙, (2차) 2월~4월 기획, 4월 공고 원칙

구분	1월	4월	5월	~	11월
공고 일정	1차 원천과제 공고	2차 원천과제 공고	2차 기초과제 공고	-	1차 기초과제 공고

○ RFP 작성시, 연구목표 및 성과지표 명확화

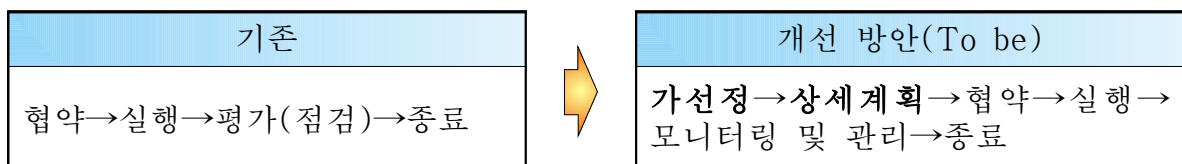
- 계량 가능한 목표 중심으로 기획하고, 목표 달성여부를 평가하기 위한 성과지표를 연구자가 제시(단순 논문, 특허 지표 지양)

○ 전문성 있는 우수한 평가위원 확보

- 국가 R&D 주요사업 수행자 및 주요 상 수상자의 평가 참여 독려하고, 우수연구자 중심으로 평가단을 미리 구성하여 이해관계에 있는 과제에 대해서만 평가를 하지 않는 방식 및 순위제 평가 도입 추진

○ 상세계획 및 성과관리를 위한 가(假)선정제도 운영 및 PM 확대

- PM과 연구자간 연구목표 및 성과지표 구체화, 예산 등 상세계획을 논의하는 가(假) 선정단계 운영 및 과제 모니터링 강화를 위한 PM 정원 확대



< [연구과정] 유연하게 연구하고, 연구과정이 축적되는 문화 >

○ 다년도 협약기간 내에서 연구비 선집행, 이월 가능

- 회계연도 일치로 인한 예산 집행 문제 등을 해소하기 위해 연구기관 자체 재원(간접비, 기술료 등)을 활용, 다년도 연구비 범위 내에서 선집행 허용, 연구비 사용실적 보고 및 정산 인정

* 과기정통부 소관 처리규정 개정('19.8월)하여 근거 마련

○ 성과를 높일 수 있는 R&D 지원 방식 다양화

- (기업과의 공동연구 사업 신설) 원천기술 개발부터 대기업-중소기업-출연(연)-연구자 다같이 연구하는 집단연구 사업 신규 추진

기준	변화(예시)
각자 역할분담 따른 이어달리기 (대학, 연구소) 원천기술 개발 → (기업연구소) 상용화 기술 개발	좌동 ⇒ 같이 연구하는 연구공동체(신설) (대학, 연구소, 기업연구소) 원천기술개발부터 공동으로 연구

- (기초연구실 중심의 장기 지원 사업 신설) 융합 연구를 활성화하고, 연구 성과를 계승·발전할 수 있도록 소규모 그룹연구 지원 확대

현행('19)		변화('21~)	
사업명	기초연구실(BRL)	사업명	국가지정기초연구실(NBRL)
연간 연구비	5억 이내	연간 연구비	10억 이내
연구기간	기본 3년(+후속지원 3년)	연구기간	기본 10년(+후속지원 10년)
대상	이공계 대학 교수 3~5인	대상	이공계 대학 교수 3~6인

- (기초-원천 연계사업 신설) 연구자 주도 기초연구 확대에 대응, 우수한 기초연구 성과 및 성과를 보유한 연구자에 대한 원천단계 R&D 후속지원을 위한 신규사업(예타 규모) 추진

구분	(신규1) 연구자 주도형	(신규2) 아젠다 주도형
기본 방향	Bottom-up	Top-down
	연구자 자율성과 창의성 최대한으로 보장하 되, 기술이전·사업화 등 성과창출여부 평 가 * 연구 초기 원천단계 진입을 위한 컨설팅 지원	격년마다 미래 성장동력 확보, 주력산업 혁 신, 사회문제 해결 3개 분야에 대한 아젠다 선정 → 관련된 기초성과 선별 → 신규 과 제기획 * 이슈발굴 및 과제기획위원회 상시운영
지원 규모	연 1~10억원 / 총 6년(1+3+2)	연 50억원/ 총 9년(6+3)

○ 연구과정을 중시하고 연구과정이 축적되는 문화 확산

- 전자연구노트 및 시점인증을 활성화하고, 현재의 사업 단위에서 연구실 단위의 성과관리도 병행하여 NTIS에서 연구실별 R&D 과제 수행 경과 등 연구실 히스토리를 제공토록 개선
- 우수성과, 인력 양성, 연구노트 지침 수행, 안전 점검 등을 기준으로 우수 연구실을 언론과 연계하여 선정·시상(매월)하여 확산

< [평가 및 보상] 핵심만 평가하고 연구성과에 상응하는 공정 보상 >

○ 최종평가 맞춤형 평가를 통해, 성실실패를 인정하는 문화

- 선정 시 연구자가 제시한 성과지표 달성 여부에 대해서 평가하여 불필요한 논문, 특허를 방지하고 성실실패를 폭넓게 인정

○ Moving Target, 조기종료 활성화

- 연구환경 변화에 따른 Moving Target의 허용범위 가이드* 및 조기완료(Early Exit) 규정마련('18.12)에 대한 인센티브 기준 마련
- ※ 연구 환경 변화로 인한 목표 변경 (○), 참여연구원 변경 등으로 인한 목표 변경 (×)

○ 연구성과와 연계한 연구수당 집행

- 연구성과를 점검하는 단계평가 결과에 따라 연구수당을 지급하도록 규정을 마련하고, 연구책임자, 계약직 연구원, 학생

등 전체 연구자를 대상으로 객관적 기여도에 따라 지급하도록 권고

○ 우수 연구자 후속연구에 대한 가점 지원 활성화

- 최우수성과 창출 시, 최종 평가 후 2년간 일부 사업이 아닌 해당 분야의 원천기술개발사업 선정평가 시, 무조건적 5%가점 부여 검토 (Free-Pass, 1회)

※ 최근 3년간 최종평가 최우수(S) 비율 : ('16) 13.3%, ('17) 8.9%, ('18) 7.1%

< [연구윤리] 과학기술계 신뢰, 위상 회복할 수 있는 책임있는 연구 수행 지원 >

○ 정부 R&D를 수행하는 누구나 같은 권리-같은 책임

- 공동관리규정을 개정하여 연구수행에의 전념 및 연구부정행위 조치 등에 대한 규정*을 출연연, 특정연구기관에도 적용하도록 개정

* 제27조(참여제한 기준), 제31조(연구부정행위 조치), 제32조(3책 5공) 등

○ 건강한 학술활동을 위한 시스템 및 대응체계 구축

- 학술정보 공유시스템을 구축하여 충분한 정보 제공 및 자정활동 지원, 연구부정방지위원회를 신설하여 부실의심학회에 대한 대응체계 구축

○ 연구실 내 연구자별 지위 정립

- 연구실 내 석/박사 학위과정 연구원, 비학위 연구원, 박사후 연구원 특성이 반영된 연구자 지위에 대한 명확한 정립* 필요

* 사회적 합의를 토대로 학생연구원에 대한 학생의 권리 및 연구자로서의 권리를 명확히 하고, 박사후 연구원 지위 보장을 위한 규정 마련

- 박사 취득 후 연구경력이 단절되는 것을 막고, 독창적인 연구를 주관할 수 있도록 독립된 연구기회 보장을 위한 방안 수립

붙임 3-2. 생명연구자원 정책 발전방향

1. 개요

- (개념) 생명연구자원은 암세포, 마우스, 유산균 등의 실물 소재 자원과 소재 자원의 유전체, 단백질 구조 정보 등의 데이터 자원을 포함
- (의의) 신약개발 등 바이오 연구에 활용되는 필수 요소(재료)로 연구 효율과 성과 향상을 위해 국가적으로 관리
- (목표) 바이오 연구가 지속 성장할 수 있도록
 - [바이오 소재] 안정적으로 유지·개발하여 보급
 - [바이오 데이터] 체계적으로 확보하여 연구에 활용할 수 있도록 제공

2. 주요 내용

【1】 바이오 소재 자원

☐ 현황 및 이슈

① '90년대, 바이오 소재 보급 시작

- 해외 소재 도입으로 인한 연구 지연을 해소하고 한국 특이성을 반영한 연구가 원활히 진행될 수 있도록 국내외 소재를 확보·보급
- 이후, R&D 지원 부처는 소관 분야 연구에 필요한 소재를 지속 보강하여 현재 총 251개*의 소재은행 선정·지원('19.6 기준)

* 동물 분야 49개, 식물 126개, 미생물 36개, 인체유래물 등 40개 운영('19년 예산 830억원)

<부처별 소관 구분>

구분	과기정통부	복지부	농식품부	해수부	환경부
분야	R&D 전반 (기초·원천)	보건·의료	농업	해양·수산	야생생물
대표 소재	인체유래 세포주 마우스, 원숭이 등	인체 조직, 혈청 병원체 등	벼, 토마토, 소·돼지 등	김 종자, 광어·우럭 등	멸종위기종, 외래생물 등

② '10년대, R&D에서 생산된 소재를 R&D로 환류

- 국가 R&D로 생산된 소재(성과물)가 사장되지 않고 연구에 재사용되도록 함으로써 소재 다양성을 확충

※ (근거) 생명연구자원법 제9조 및 국가연구개발사업 관리 등에 관한 규정 제25조

- 연구자들이 성과물 소재를 기탁할 수 있도록 자원별 기탁등록보존기관을 지정·운영(총 218개, '19.6 기준)

③ '18년, 주요 소재를 선별해 타겟형 집중 관리

- 다양한 소재 중 활용 수요가 많거나, 수입 대체가 시급한 소재를 집중 관리·육성하기 위해 10대 전략자원* 선정(1차 선정, '18.12)

* 생쥐, 원숭이, 돼지, 소, 인삼, 벼, 콩, 김, 락토바실러스, 세포주

- 현재, 전략자원별 특성을 고려한 관리·육성 방안**을 제안·이행할 전담기관을 지정 중

이
슈

- 운영되고 있는 소재은행(251개) 및 기탁등록보존기관(218개) 규모가 적절한 지, 당초 기관 지정 목적에 맞게 운영되고 있는지 점검 필요
- 소재 관리 기관을 국가 기간 시설로 지정·관리하고 있음에도 일반 R&D 과제와 동일하게 단기(예, 5년) 지원하고 있어 소재 관리 목적 달성에 어려움
 - 인프라 수준이 향상될 수 있도록 차별화된 지원방식 고민
- 일부 연구자들이 R&D 소재 성과물을 기탁등록보존기관에 기탁하지 않고 해외 기관에 기탁하는 것으로 확인되고 있어, 바로 잡을 필요

□ 개선 방향

① 지속 성장 가능한 소재은행을 합리적으로 육성

- 소재 관리 기관에 대한 다양한 의견수렴과 분석을 바탕으로 분야 및 역할별 적정 은행이 지정될 수 있도록 조정
- 소재 관리 기관이 국가 인프라로서 역할을 다 할 수 있도록 안정적으로 지원

② 소재 경쟁력 향상

- R&D에서 생산되는 좋은(고품질) 소재가 국내 축적·공유될 수 있도록 제도를 보완
- 연구자에게 소재와 연계 정보를 함께 제공하는 등 서비스 질 향상

【2】 바이오 데이터 자원

□ 관리 현황 및 이슈

- 사업 목적 및 규모에 따라 데이터 관리 형태 상이
 - (case 1) 바이오 데이터 생성·공유 목적의 R&D사업
 - ⇒ 사업별로 데이터 관리 시스템을 개별적으로 운영

[사례1] 다부처, 포스트게놈 다부처 유전체사업* : Genome InfraNet 등록
- 각 부처에서 유전체 데이터 수집 → KOBIC 전달 (Genome InfraNet)

* 7개 부처청이 공동 참여하여 유전체 분야 기초·원천 연구 등 지원('14~'21, 총 5,788억원)

[사례2] 복지부, 한국인유전체역학조사사업** : KoGES 시스템 등록

- 질병관리본부 국립보건연구원에서 유전체 데이터 수집·분양

** 한국인 질병연구 기반 구축을 위해 한국인 23만여명의 코호트('19. 8. 기준) 구축 및 운영('01~계속, 총 1,144억원)

[사례3] 울산시, 울산 만명 게놈 프로젝트*** : KOGIC 시스템 등록

- UNIST 게놈산업기술센터(KOGIC)에서 데이터 수집·관리

*** 한국인 맞춤형 표준유전정보 구축을 통한 한국형 정밀의료 구현('17~'19, 108억원)

- (case 2) 사업 목표달성 과정에서 바이오 데이터를 대량 생산 하는 대형 국책 사업*의 경우 ⇒ 연구주체가 자체적으로 보관

* 전주기 신약개발지원사업, 유전자 동의보감 사업 등

- (case 3) 개인 및 소규모 R&D 과제 ⇒ 연구자 개인이 보관

※ 논문 게재 등을 목적으로 공신력 있는 해외 데이터 센터에 등록

[참고] 해외의 바이오 데이터 관리 현황

○ 해외에서는 국가(또는 국가연합) 별 주요 데이터 센터 중심으로 바이오 데이터를 등록·저장·관리

- 센터에서는 데이터를 분석하는 많은 도구들을 개발하여 제공

○ 일반적으로 데이터 등록은 논문 게재를 위한 연구자들의 자발적 데이터 공개로 이루어지고, 이렇게 축적된 데이터는 연구자들의 필요에 따라 다운로드, 활용

○ 특히, 미국(NCBI), 유럽(EBI), 일본(DDBJ)은 데이터 항목을 표준화하여 국가 간 데이터 공유

<주요국 생명정보 기관 비교>

센터명	미국:NCBI (1988)	유럽:EBI (1992)	일본:DDBJ (1987)	중국:BIGD (2015)
상위기관	NIH (미국 국립보건원, National Institutes of Health)	EMBL (유럽분자생물학 연구소 European Molecular Biology Laboratory)	NIG (국립유전학연구 소 National Institute of Genetics)	BIG (Beijing Institute of Genomics)
담당부처	보건복지부	(범유럽 독립기관)	문부과학성	중국과학원
연간예산	1억7,320만 불 (1,846억 원)	7,320만 유로 (966억 원)	9억6천만 엔 (95억 원)	-
인원	301 명	547 명	38 명	68명
정보 보 량 *	유전체 (‘18.6) SRA (‘19.7)	740,263,174 sequences	925,936,158 sequences	75,980,825 sequences
	26 Petabytes	155 Petabytes (EBI전체)	3.8 Petabytes (30 PB 구축)	1.2 Petabytes (12 PB 구축)

이 슈	○ '14년, KOBIC을 바이오 데이터 총괄 수집기관으로 지정*하여 운영 중이나, 범부처 데이터 수집 체계와 데이터 표준화 미비
	* 생명연구자원법 제11조 및 연구성과 관리·유통 전담기관 지정 고시 ○ 일부 사업의 경우 별도 DB를 운영하여 관리하고 있으나, 소수 연구자만 활용하고 사업(과제) 종료 후 데이터 사장 우려가 있어 대책 필요 ○ 현재는 공개된 외국 데이터를 활용하고 있으나 일본, 유럽 등지에서 자국 데이터를 보호하기 위해 움직이고 있어 국내 독자적 데이터 확보 시급

□ 개선 방향

① 데이터 총괄 수집·관리 체계 정비

- 관계 부처 및 데이터 관리 기관의 역할을 명확히 해서 바이오 데이터 총괄 관리를 위한 범부처 거버넌스 정립

② 바이오 데이터 등록·공유 의무화

- 대형국책 사업부터 소규모 개인 연구과제에 이르기까지 바이오 연구에서 생산되는 데이터 의무 등록 원칙 (未 이행시 최종평가 반영 등)

- 사업 목적 및 규모에 맞는 '범부처 데이터 공유·이관 세부 기준' 마련

※ 데이터를 체계적으로 수집하기 위한 데이터 종류별 표준양식 및 데이터 검증 파이프라인 구축·제공

③ 전략적 국제협력 추진

- 국내외 협력 체계 구축하여 연구자들이 국가 바이오 DB에 데이터를 등록하면 국내외 저널에 논문 게재시 인정받을 수 있도록 추진

붙임 4. 제4차 정책발굴자문위원회 회의안건

붙임 4-1. 과기정통부 2기 정책방향

□ **(환경분석)** 국내·외 경제성장률이 둔화되는 가운데, 급변하는 기술로 시장의 불확실성은 커지는 상황으로 연구개발 패러다임도 변화 중

- 반도체 등 특정 품목의 수출 증가세도 점차 약화, 소재·부품·장비산업은 외형적 성장은 이루었지만, 높은 해외 의존구조(낮은 자체 조달률)
- 국민 삶을 위협하는 요인*이 다양해지고 있어, 사회적으로 예방·감시·대응을 위한 과학기술 기반의 해법 제시가 요구

* 미세먼지, 고령화, 감염병, 사이버테러, 대형재난·재해 등

□ **(2019년 주요성과)** 기초·원천 연구 체계적 정책수립 및 예산 확대를 통해, 국가과학기술 역량 강화를 지원→ 국가 혁신 동력을 제공 중

* (기초국 예산) ('18) 2.04조원 → ('19) 2.35조원 → ('20) 2.85조원 (정부안)

구분	주요 내용
① 대표 성과	▶ 기초연구 수혜율 지속 향상 : ('15) 21.8→ ('17) 30.0 →('19) 35.9% ▶ 신약 기술 수출액, 5.6조원 달성('17~) ▶ 나노2020사업 누적매출액 5,000억 달성('12~'19.9월말) ▶ R&D 프로세스에 대한 연구자 만족도 향상 ('18) 78.7% → ('19) 85.3%
② 기초·원천 R&D 전략 수립 및 체계적 이행	▶ (소·부·장) 기초·원천 R&D 분야 구체적 실행계획인 「산학연 융합을 통한 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안」 수립 (11월) ▶ (바이오) 바이오헬스를 혁신성장 주력산업으로 육성하기 위해 VIP 비전 선포식에서 범부처 「바이오헬스 산업 혁신전략」 수립(5월) ▶ (에너지·환경) 수소경제 구현을 위한 범부처 「수소 기술개발 로드맵」 (10월) 및 범부처 「미세먼지 관리 종합계획」 수립 (11월) ▶ (제도개선) 연구비 사용 규정을 표준화간소화*하여 연구에 몰입할 수 있는 연구환경을 조성하고 「R&D 프로세스 혁신방안 2단계」 수립

	(11월) * 연구실 운영비 정산 면제, 행정인력비 집행 허용, 연구비 이월 및 당겨쓰기 허용 등
③ 중장기 기술개발 사업 기획	▶ (예타통과, 5건) 초주기의료기기, 치매극복기술, 차세대지능형반도체기술(소자), 무인이동체원천기술, 나노미래소재원천기술 ▶ (예타기획, 8건) 신약, 재생의료, G-first, 융합선도연구, 국가연구데이터 활용체계 구축, 수소초주기 기술개발, 나노소재융합 2030, 기초-원천 연계 혁신시드 발굴사업
④ 연구생태 계 혁신 및 적극 현장소통	▶ (연구생태계 혁신) 부처 협업 기반 법률 제정(미세먼지법, 드론법), 공공조달연계(무인이동체) 등 사업화 지원, 규제개선(바이오), R&D 지원 방식 다양화 ▶ (연구성과 브리핑) R&D투자에 대한 국민들의 긍정적 인식 확산을 위한 연구성과 홍보 브리핑 실시(5월~, 방송 50건, 지면 74건 이상) ▶ (현장소통 활성화) 과학기술대토론회(7월), 분야별 성과대전(바이오, 나노, 융합, 기후, 무인이동체 등) 및 정책간담회·토론회 수시 개최

□ (반성) 기초·원천연구 예산 확대에도 불구하고, 연구원 1인당 연구개발비 규모 정체* 등으로 인해 확대된 예산에 대한 연구자 체감에는 한계

* '08년 이후 우리나라 연구개발비는 연평균 9.6% 증가. 반면, 연평균 1인당 연구개발비의 연평균 증가율은 4.0% 수준('17년 163백만원, KISTEP 연구개발활동조사보고서)

○ 주력산업 또는 급부상 분야(양자컴퓨팅, 수소 등)에 대한 핵심기술개발 지원 및 연구성과가 경제·사회적 파급으로 연결될 수 있도록 사업화 지원 부족

* (양자컴퓨팅) 일부 대학·출연연이 상향식으로 기초단계 연구를 추진하는 수준

□ '20년 주요 과제 추진계획

【 ① 사람을 키우는 기초연구 】

○ (기초연구지원) 연구주제·연구비·연구기간을 연구자가 주도적으로 제시하는 자유공모방식 기초연구 지원 지속 확대

※ ('19) 1.71조원 → ('20(안)) 2.03조원 (3,173억원↑) → ('22 목표) 2.52조원

- (사람중심지원) 신진연구자에 대한 지원 확대 및 우수한 공동연구 기회를 확대하는 등 사람을 키우는 R&D로 전환

※ 신진연구 예산 확대('19년 1,434억→ '20년 2,246억원(55.6%↑)), 기초연구실 연구그룹(3~4인) 내 신진연구자 1명 이상 참여 필수

- 핵심 연구 인력인 **박사후연구원** 대상 **펠로우십 지원**((가칭)세종과학 Fellowship*)으로 도전적·창의적 연구 지원

* 연구기관 소속에 구애받지 않고 주도적으로 연구할 수 있는 지원 체계 마련 추진('20년 세부 기획→ '21년 도입)

【 ② 도전을 응원하는 R&D 】

- 미래사회(산업, 국민생활 등)를 전망/예측하고, 장기적 시각에서 이를 실현하기 위한 **파급력이 큰 혁신·도전적 연구** 촉진

- (세계최초·최고기술) 산업계 수요 또는 Top-Down 방식으로 경제·사회 패러다임을 완전히 바꿀 수 있는 **초고난도 기술** 개발 지원

* (G-First 사업) '20년 54억 시범사업 추진 → 예타 결과에 따라 '21년 이후 본사업 추진

- (과학난제 해결) 집단지성을 통한 **과학난제 해결 도전**('20년 35억원) 및 **인간중심 미래 선도 융합시스템*** (12종) 개발('21~'30년 7,295억원) 추진

* 단순 기술개발 성과에 그치지 않고, 新서비스 모델 개발(+철학디자인제도개선 등)

- (SF를 현실로) 국민공감대를 바탕으로 선정하는 50년 후 실현될 수 있는 미래유망기술에 대해 상세기획 지원

※ 대국민 미래사회 시나리오 공모전(~'19. 11월, 400건 이상 접수) → 대표 기술 발굴, 최종 확정('20.3월) → '20년 분야별 신규 예타 기획

【 ③ 미래성장을 이끄는 R&D 】

[(바이오) 혁신성장과 국민 건강을 위한 바이오]

- (혁신성장을 위한 바이오 R&D) 신약, 의료기기, 정밀의료 등 바이오 산업 성장을 견인할 원천기술 개발 지원 확대

- 혁신 신약개발에 필수적인 타겟발굴·검증, 후보물질 도출, 기반기술 개발 지원을 강화하고, 범부처 전주기 의료기기 연구개발 사업* 착수

※ (목적) R&D→임상·인허가·제품화 전주기 지원, (기간) '20~'25, (규모) 1.2

조원

- 개인별 유전체·임상정보로 구성된 바이오 빅데이터를 2만명 규모로 시범 구축하여, 희귀·난치 질환에 대한 정밀의료 구현의 토대 마련
- 환경, 에너지, 식량 등 미래변화에 대응하여 바이오 플라스틱, 식물 공장 등 그린·화이트 혁신기술을 개발하고, 범부처 협력*을 추진

※ 미세플라스틱 통합관리 사업(0.8조원, 과기부·환경부·산업부 등 / '20.上 에타신청)

○ (국민 건강을 위한 바이오 R&D) 치매 등 국민 건강과 직결된 연구개발 지원을 강화하고, 국가 차원의 체계적인 바이러스 연구체계 구축 추진

- 국가치매책임제 강화를 위한 대규모 치매극복 기술개발사업 착수

※ 치매극복 연구개발 사업 : (기간) '20~'28(9년), (규모) 1,987억원

- 감염병 발생·유행의 체계적 대응을 위해 바이러스 전문 연구기관* 설립 추진

* 기반연구, 방역 국제공동연구, 백신·치료제 개발연구, 특화연구 인프라 구축 등 담당

○ (바이오R&D 생태계 조성) 바이오R&D의 공통기반 기술 발굴·육성, 생명연구자원 관리 고도화

- 여러 바이오 분야에 활용 가능하고, 바이오 산업 전반에 파급력이 높은 핵심 공통 기반기술* 발굴 및 확보전략 마련

※ 마이크로바이옴, 가상인체 모델링 기술, 인공세포 제작 기술 등

- 바이오 분야 연구 소재·데이터의 전략적 활용을 위해 바이오 분야 소재은행을 분야별로 구조화*하고, 연구데이터 관리 특화센터 설립 추진

* (기존) 소규모·품목별 소재은행(251개) → (변경) 분야별 통합 소재은행(10개 내외)

[(수소) 수소경제 활성화의 원동력]

- 수소 쉼주기(생산, 저장·운송, 활용, 인프라) 기술개발 로드맵('19.10) 이행을 위한 범부처* 공동사업 기획('20.上, 예타요구서 제출)
 - * 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부 등
- 수소에너지 초기 활성화를 위한 친환경(CO₂-free) 고효율 수소 생산, 안전한 저장기술, 차세대 연료전지 개발도 병행('20년 269억원)

[(에너지·환경) 지속가능한 성장을 위한 기후변화 대응]

- 깨끗하고 안전한 에너지로의 전환과 온실가스 감축을 뒷받침하기 위한 차세대 기술개발 및 국제협력 지원
 - (기술개발) 화석연료 대체를 위한 재생에너지, 온실가스로 유용물질을 생산하는 탄소자원화 등 R&D 투자 확대('19년 955억원 → '20년 1,024억원)
 - (국제협력) 개도국 협력사업 등 국내기술의 해외진출 확대를 위해 CTCN*(기후기술협력을 이행하는 국제기구)의 한국 지역사무소 유치('20년 20억원)
 - * 한국 정부 CTCN 이사국으로 활동 중('19~, 과기정통부 기초원천연구정책관 이사직 위)

[(무인이동체) 육·해·공을 누비는 우리나라 무인이동체]

- 차세대 무인이동체 시장을 대비하여 신개념 무인이동체 원천기술 개발, 기술실증 및 공공수요 연계 추진
 - 육·해·공 공통원천기술 및 신기술 융합플랫폼(Data + 5G + AI) 개발/실증을 통해 차세대 무인이동체 시장 선점 추진('20년 197억원)
 - 국내 무인이동체 중소기업의 민간투자 마중물 지원을 위해 공공수요 맞춤형 무인이동체 발굴·개발·조달 통합연계 추진('20년 42억원)

[(양자컴퓨팅) 가까운 미래에 현실화 될 꿈의 컴퓨팅]

- 다가올 양자시대를 대비하여 양자 프로세서(5큐비트급) 및 알고리즘, 응용소프트웨어 등 양자컴퓨팅 원천기술 확보('20년 84억원)
- 부족한 연구역량* 강화를 위해 선진자원을 활용·연계한 인력양

성 및 기반인프라 구축 등 R&D생태계 조성 추진('20년 64억원)
* 연구인력 100명(美 1,200명, 中 1,900명, 日 500명) / 국내 성능 테스트시설
부재

【 ④ 주력산업을 지켜내는 소재·부품·장비 원천기술 확보 】

[「소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안」 ('19.11월) 이행]

○ (Portfolio+Pipeline) 주력산업^① 기술 자립과 미래 준비^②의 균형 지원 관점에서, 기초·원천연구 지속 확대 및 응용연구 투자 강화

① 반도체, 디스플레이, 자동차 등 주력산업에서 기술 자립이 시급한 전략
소재·부품 중점 요소기술 개발 본격 투자('20년 426억원, 27개 과제 예상)

* 불소계 화합물 등 특정 품목 대체기술 또는 다양한 품목 구현 필수기술(100+α 핵심품목 연계)

- 기초연구성과 기반의 원천기술 개발 투자 강화('20~'31, 4,004억원 / 예타 통과)

- 既 개발된 기술의 완성도 제고('19추경~'23, 480억원)와 소재·공정·시스템
연계 package型 지원('20~'24, 2,066억원) 등 원천기술 기반型 응용연구 확대

② 선도형 소재·부품 미래기술(30개) 선점('20년 455억원), 기반 강화를 위한
첨단장비 개발과 원료 측정·분석기술 고도화도 선제 투자 준비('20~)

▪ 혁신적 물성 발견 및 기능 구현 확대(연구단 : 25개 → 28개) 등 지원

○ (Process) 맞춤형 관리^① 및 부처간 협력^②으로 조기 성과 창출

① 국내 산업수준 및 기술경쟁력 등을 고려하여 지원 유형 차별화*

* 기술수준 단기 제고를 위한 경쟁·도전형 / 역량을 갖춘 연구수행주체 정책지정 등 선도형

② 부처간(과기↔산업·중기) 이어달리기* 및 함께달리기** 등 연계 지원 강화

* 이어달리기 전용트랙(사업) 신설('20~) / 최종(과기) 및 선정평가(산업) 일원화 ⇨ 연구공백 방지

** 공동기획형(1단계 과기(연구) ⇨ 2단계 산업(기업)) R&D 추진('21~, 7,000억원)

○ (Platform) 국가 R&D자원의 연계·활용 강화

- 나노팩을 통한 시험·성능평가 지원* 확대('19추경~'22, 450억원) 및 연구데

이터 수집·공유·활용(열전소재·유기전지소재 등) 강화('20~'27)도 본격화

* 12인치 웨이퍼용 소재·부품 테스트베드(대전), 시스템반도체 시제품 제작 지원(수원-대전 연계)

- 4대 과기원, 25개 출연(연), R&D특구 등 연구생태계 기반요소 고도화 연계·촉진 견인으로 연구성과의 상용화(기초→응용→개발) 토대 강화('20~)

【 ⑤ 연구생태계 혁신으로 연구역량 강화 】

[목표가 명확한 사업 기획 및 선정]

- (개방형 기획 활성화) 원천연구 사업 기획 시, 학회 등을 통해 개방형으로 기획할 수 있도록 기획의 채널 다양화
- (성과지표 명확화) 신규사업 기획 또는 RFP 작성 시 국가 R&D(과제)를 통해 달성하고자 하는 목표를 명확하게 설정(단순 논문, 특허 성과지표 지양)
- (가(假)선정제도 운영) PM과 연구자간의 연구목표 및 성과 등을 상세 논의하는 가(假) 선정단계를 운영하여 성과관리를 체계화

[연구과정 중심 제도 개선으로 연구역량 강화]

- (연구데이터 공유·활용) 연구과정에서 생산·산출되는 연구데이터를 체계적으로 관리하고, 공유·활용하여 오픈 사이언스 기반 마련
- (연구비 선집행 허용) 연구기관 자체 재원(간접비, 기술료 등)을 활용, 다년도 연구비 범위 내에서 선집행 허용
- (연구과정 축적) 우수성과, 인력 양성, 연구노트 지침 수행, 안전 점검 등을 기준으로 우수 연구실을 선정·시상

[핵심만 평가하고 연구성과에 상응하는 공정 보상]

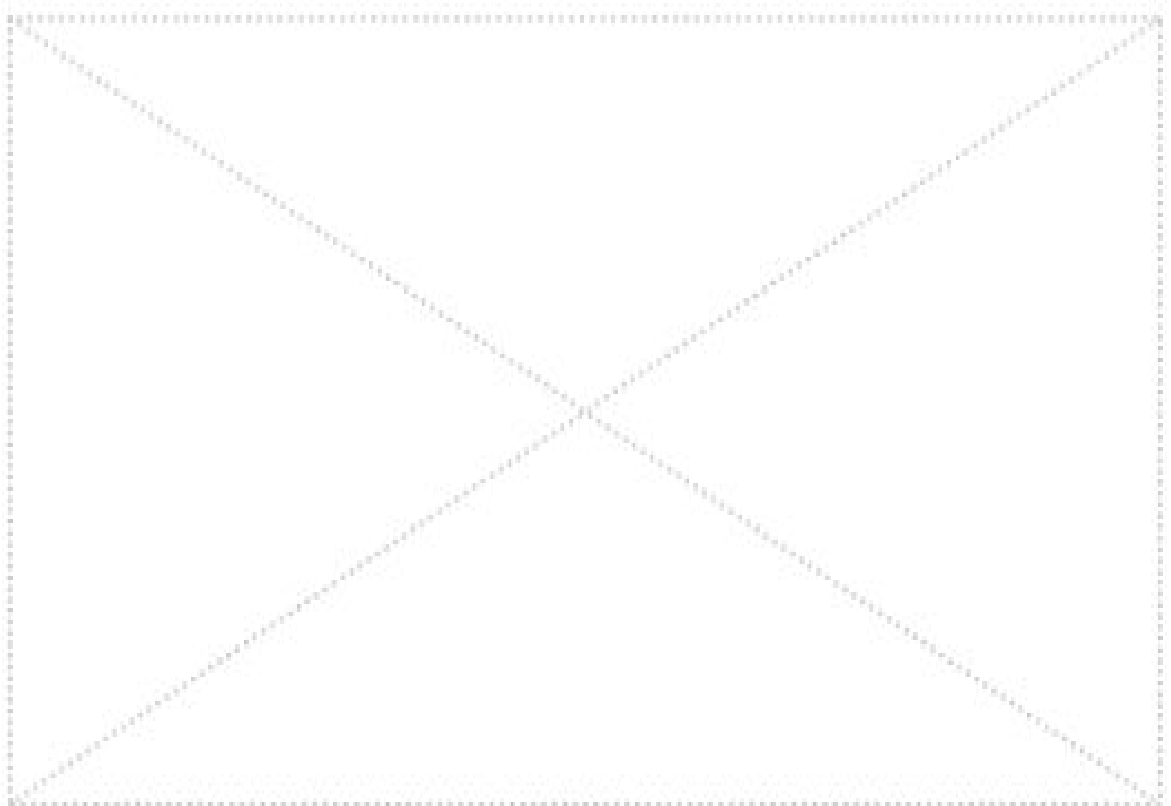
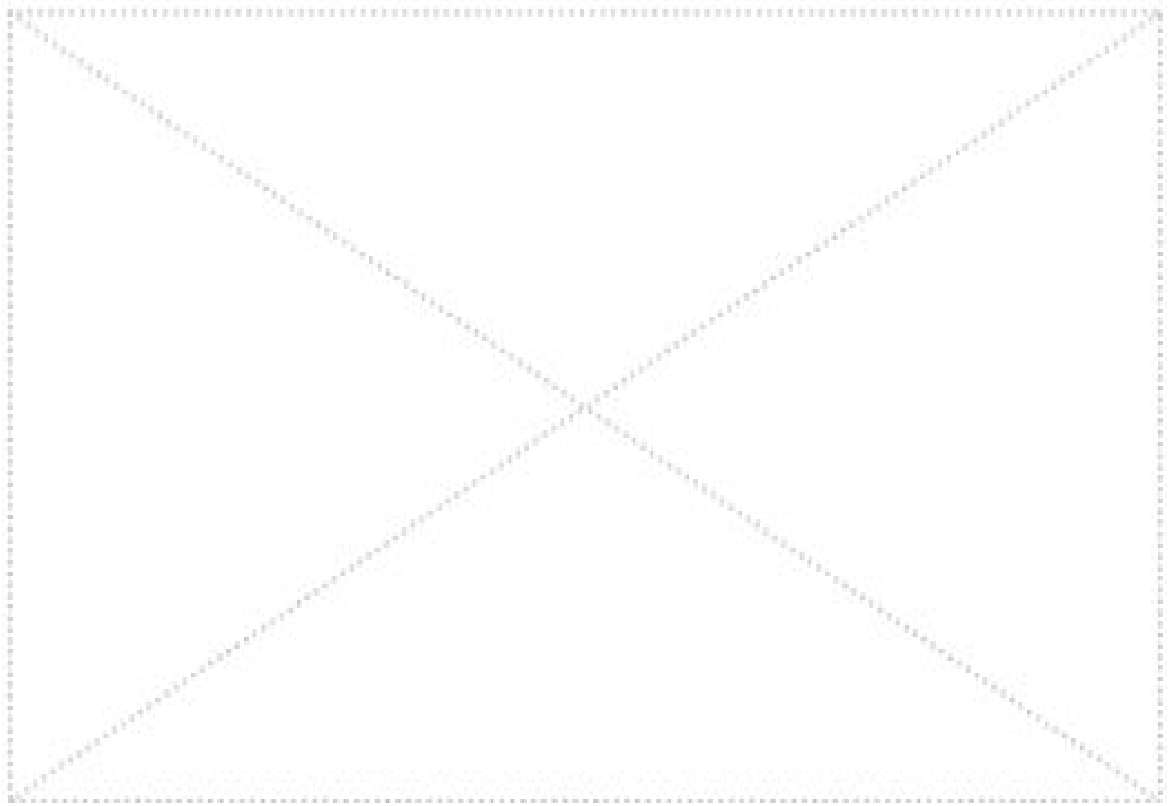
- 연차 점검은 전문가 컨설팅, 단계/최종평가는 맞춤형 평가로 추진
 - 중간발표회, 현장방문 등을 통한 전문가 컨설팅 강화 및 전담평가자를 지정하여 PM과 함께 성과지표에 따라 평가
- 우수 연구자 지원을 위해 최종평가에서 S등급을 받은 경우, 최종평가 후 2년간 해당 분야의 원천과제 선정 시, 무조건적 5% 가점 부여(1회)

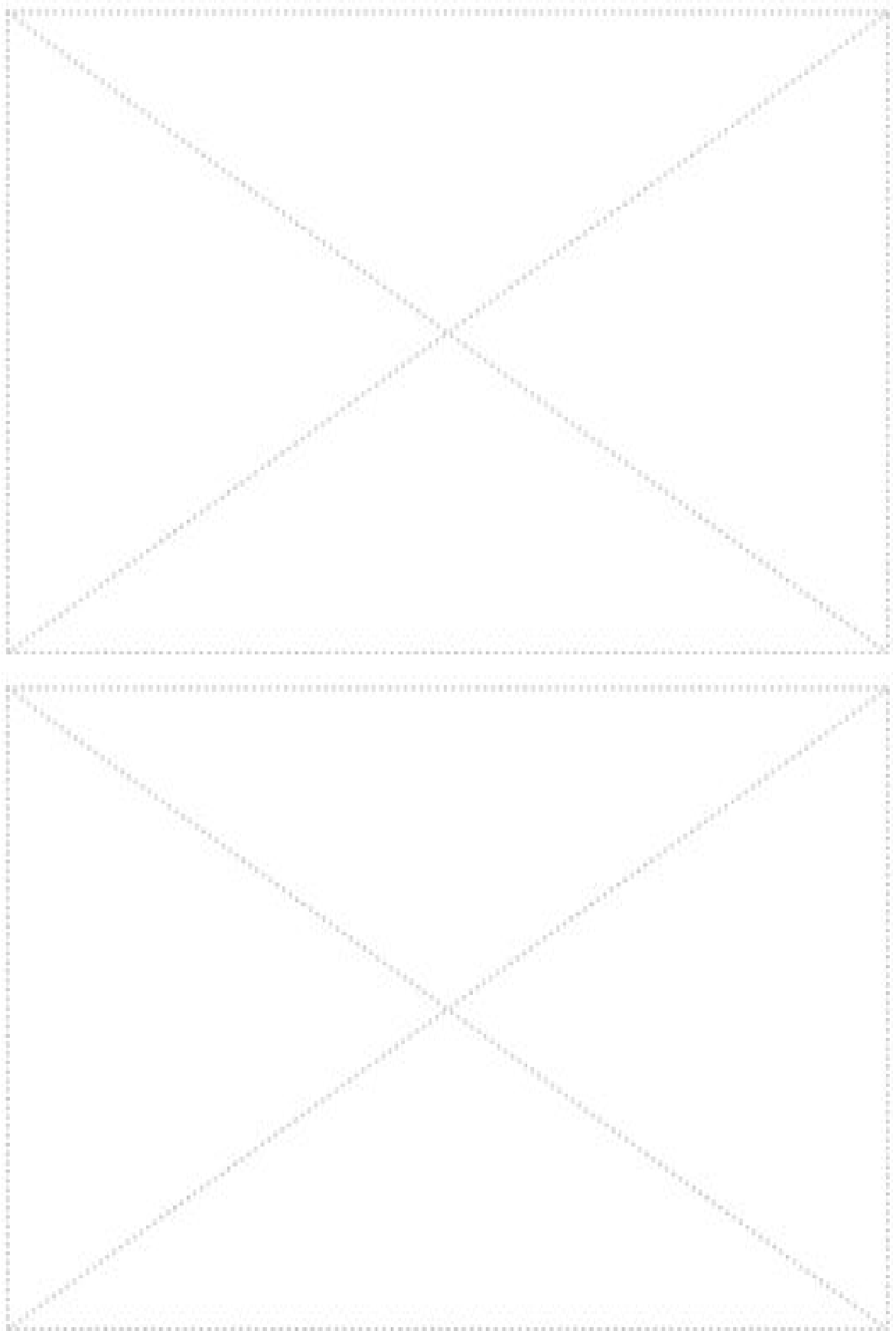
[연구윤리 확보를 위한 연구윤리 및 연구부정방지 관리체계 강화]

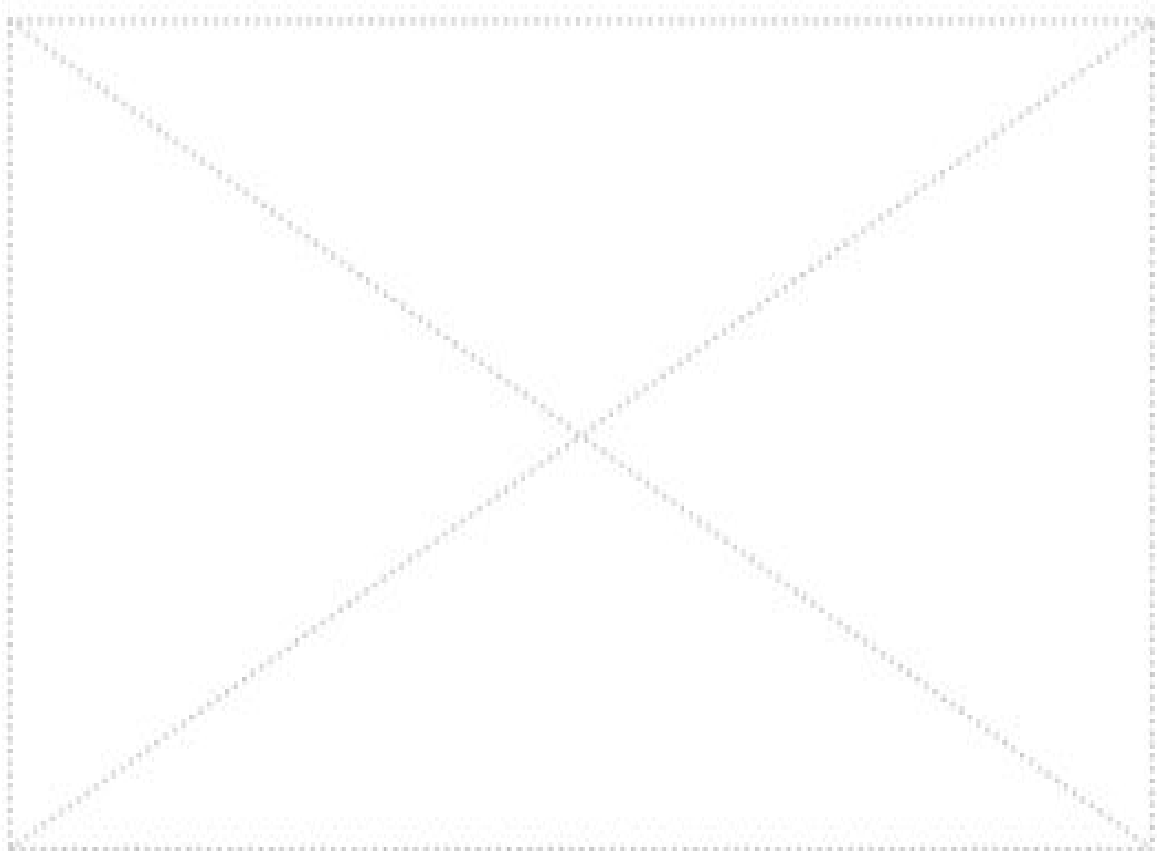
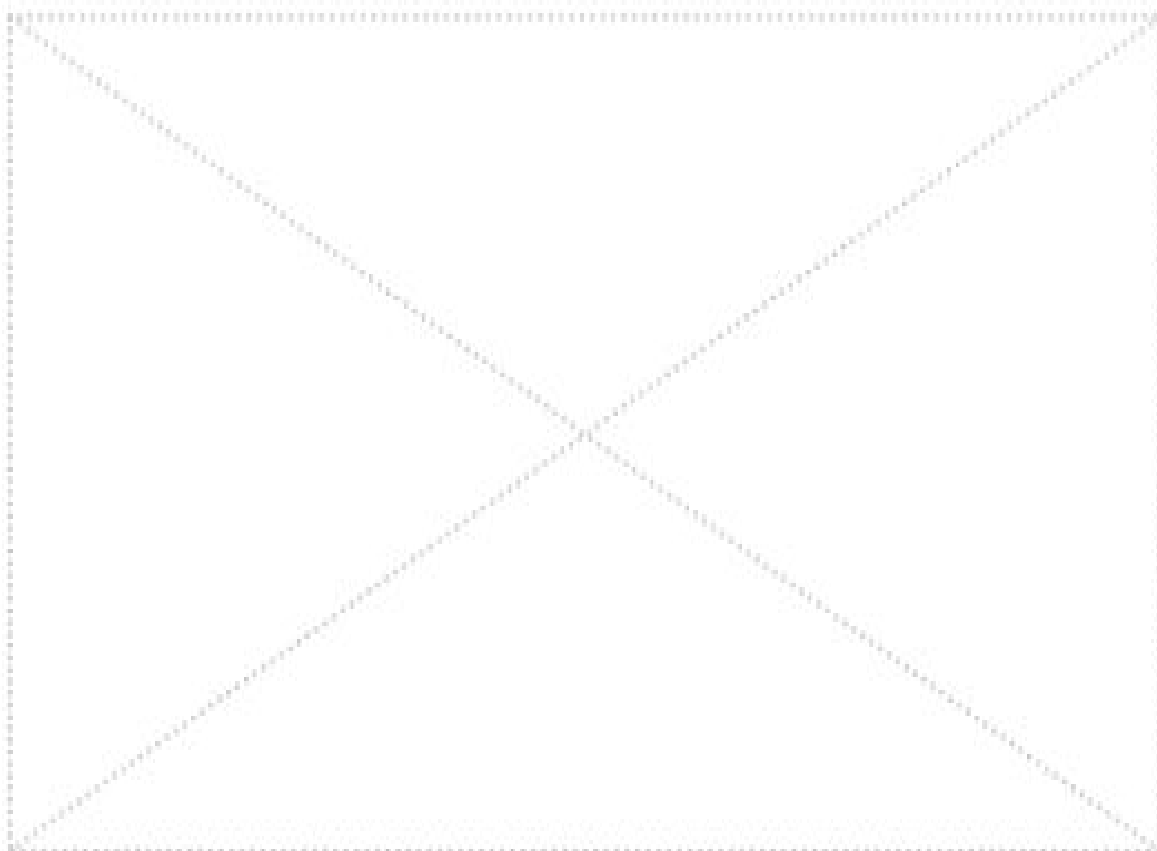
- (연구자·연구기관) 연구계 자발적인 연구윤리 규범 수립을 지원하고, 연구활동지원역량평가 등을 통해 기관의 연구윤리 역량 강화
- (부처·전문기관) 연구부정방지위원회*를 신설하여 연구윤리 확보를 위한 정책기능을 강화하고, 기관별 연구윤리 실태에 대해 철저히 관리감독

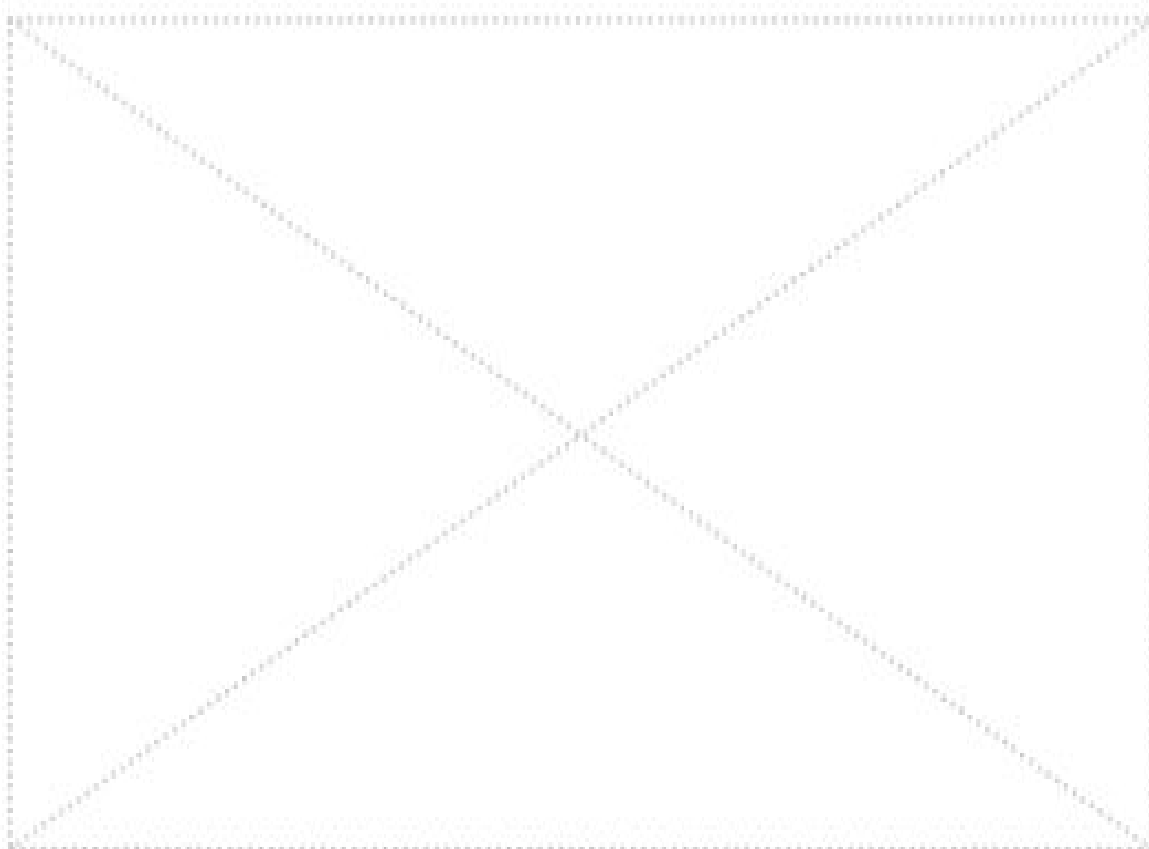
* (기능) 연구윤리 확보를 위한 정책방향, 연구부정 대응방안 등을 심의·자문, (구성) 기초원천연구정책관 등 심의위원 15명 + 10개 사업(분야별) 추진위 위원장 등 자문위원

붙임 4-2. 2020기초연구사업 중점 추진방향









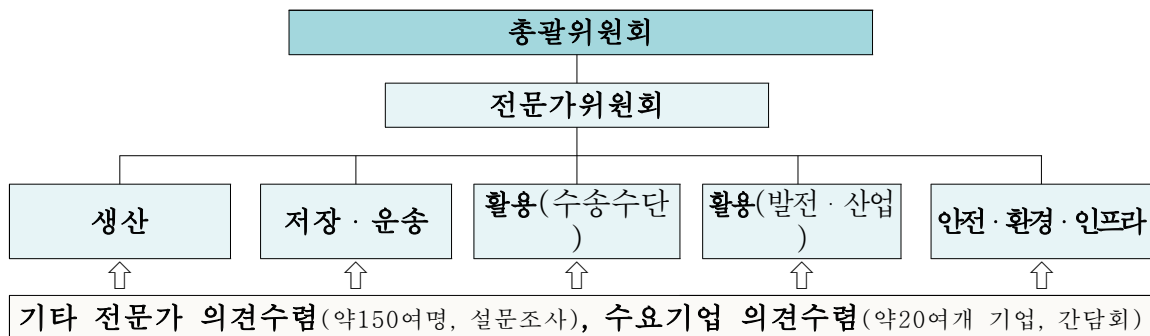
붙임 4-3. 수소기술개발로드맵 후속조치 방향

1 추진개요

- (목적) 수소에너지 분야 국내 기술경쟁력 제고를 통해 수소경제 이행을 뒷받침하고자 범부처* 기술개발 로드맵 수립 추진

* 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청

- (체계) 민·관합동 추진체계



총괄위원회	▷ (위원장) 과기정통부 기초원천연구정책관, 민간 위원장* * 한문희 충남대학교 에너지과학기술대학원 교수 ▷ (위원) 정부 6개 부처, 전문가위원회 총괄위원/5개 분과위원장 * 간사 : 한국연구재단 에너지·환경단장 ▷ (역할) 기술로드맵 진행상황 점검 등 전체 총괄
전문가위원회	▷ (구성) 산·학·연 전문가 약70여명 ▷ (역할) 분야별 기술 세분화, 세부기술별 진단, 기술개발 방향성 및 기술개발 필요분야 도출 등

2 추진경과

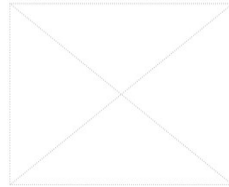
- 기술로드맵 수립 착수 및 민·관합동 추진체계 구성 ('19.2월)
- 기술분류체계 마련 (~'19.3월)
- 세부기술별 종합 진단 (~'19.5월)
 - * 국내/외 시장산업정책기술 동향 파악, 정부 투자현황 조사, 특허·논문 분석 등
- 단기/중기/장기 기술개발 추진전략 도출 (~'19.10월)
- 관계부처 의견수렴 ('19.10.14, 과기장관회의 실무회의), 공청회 (10.23, 10.25)

③ 기술분류체계 정립

- ◇ 「수소경제 활성화 로드맵」의 기본방향을 토대로 5개 대분류를 마련하고 각각의 과학기술적·산업적 특성을 고려하여 세부기술 분류

< 「수소경제 활성화 로드맵」 기본방향 >

전주기
안전성 확보



중소·중견
산업생태계 조성

- (생산) 수소를 포함한 화합물로부터 수소를 제조하는 기술로,
 - 제조 원료(화석연료, 폐자원/바이오매스, 물 등) 및 제조 방법(열화학적, 생물학적, 광화학적, 전기분해 등)을 기준으로 기술 세분화
- (저장·운송) 수소를 용도에 맞게 저장하고 운송·분배·공급하는 기술로,
 - 수소의 물리적·화학적 특성과 운송수단을 고려하여 기술 세분화
- (활용(수송수단)) 수소를 활용하여 발생한 전기로 모터를 구동하는 방식으로 운행하는 교통수단으로,
 - 육상용·해상용·항공용 수송수단 각각에 대해 연료전지시스템 출력과 용도를 고려하여 기술 세분화
- (활용(발전·산업)) 수소를 활용하여 전기와 열을 생산하는 발전 시스템으로,
 - 발전 설비용량 및 활용 분야, 타 시스템과의 융복합 등을 고려하여 기술 세분화
- (안전·환경·인프라) 수소 전 주기 기술개발을 뒷받침하기 위해 안전, 표준화/인증, 환경/경제성, 인프라 및 기술실증 등으로 분류

⇒ 5개 대분류 하위에 18개 중분류, 49개 소분류로 구분하였으며 전문가 설문조사, 산업계 간담회 등을 통해 분류체계 적합성 검토

< 참고. 수소 전 주기 기술분류체계(안) >

대분류	중분류	소분류
1. 생산	1-1. 연료 이용 수소생산	1-1-1. 개질 반응
		1-1-2. 가스화 반응
		1-1-3. 생물학적 전환 반응
	1-2. 폐자원/바이오매스 이용 수소생산	1-2-1. 가연성 폐자원 가스화
		1-2-2. 생물학적 발효
		1-2-3. 바이오매스 가스화
	1-3. 물분해 수소생산	1-3-1. 전기 분해
		1-3-2. 광 분해
		1-3-3. 열 분해
		1-3-4. 초고온가스로
2. 저장 · 운송	2-1. 물리적 수소저장	2-1-1. 기체 수소저장
		2-1-2. 액체 수소저장
		2-1-3. 물리흡착 수소저장
	2-2. 화학적 수소저장	2-2-1. 액상 수소화물 저장
		2-2-2. 금속 및 무기 수소화물 저장
	2-3. 수소 운송	2-3-1. 육상 수소 운송
		2-3-2. 해상 수소 운송
3. 활용 (수송수단)	3-1. 육상용 수송수단	3-1-1. 승용차
		3-1-2. 상용차
		3-1-3. 철도차량
		3-1-4. 건설기계
		3-1-5. 개인이동
	3-2. 해상용 수송수단	3-2-1. 연안선박
		3-2-2. 대양선박
	3-3. 항공용 수송수단	3-3-1. 드론
		3-3-2. 유인항공기
4. 활용 (발전 · 산업)	4-1. 수소활용 공통기술	4-1-1. 연료전지 소재
		4-1-2. 연료전지 엔지니어링
	4-2. 고정형 연료전지	4-2-1. 마이크로열병합
		4-2-2. 분산발전용
		4-2-3. 대용량 발전용
	4-3. 융 · 복합 발전	4-3-1. 융합(연계) 플랫폼 기술
		4-3-2. 연료전지 네트워크
	4-4. 수소터빈	4-4-1. 중대형 발전용
		4-4-2. 소형 발전용
5. 안전 · 환경 · 인프라	5-1. 안전기술	5-1-1. 소재 · 부품 · 시스템 안전
		5-1-2. 시설 및 설치 안전
		5-1-3. 사고 예방 기술
		5-1-4. 품질 및 측정 기술
	5-2. 표준화 및 인증 기술	5-2-1. 수소 모빌리티 표준화
		5-2-2. 수소 에너지 표준화
		5-2-3. 수소 공급 및 계량 표준화
		5-2-4. 시험인증 기술 표준화
	5-3. 환경 및 경제성	5-3-1. 환경성 평가
		5-3-2. 경제성 평가
	5-4. 수소 공급 인프라	5-4-1. 수소충전기술
		5-4-2. 수소병커링
	5-5. 수소사회 기반 구축	5-5-1. 수소 클러스터
		5-5-2. 수소도시 실증

4 환경분석

- (시장·산업) 수소 활용처 확대* 등에 따라 세계 수소시장 규모 확대 예상 ('17년 1,292억 달러 → '50년 2.5조 달러 : 연평균 6% 성장)

* (현재) 대부분 산업용 원료로 사용 → (향후) 수송·건물·발전용으로 확대

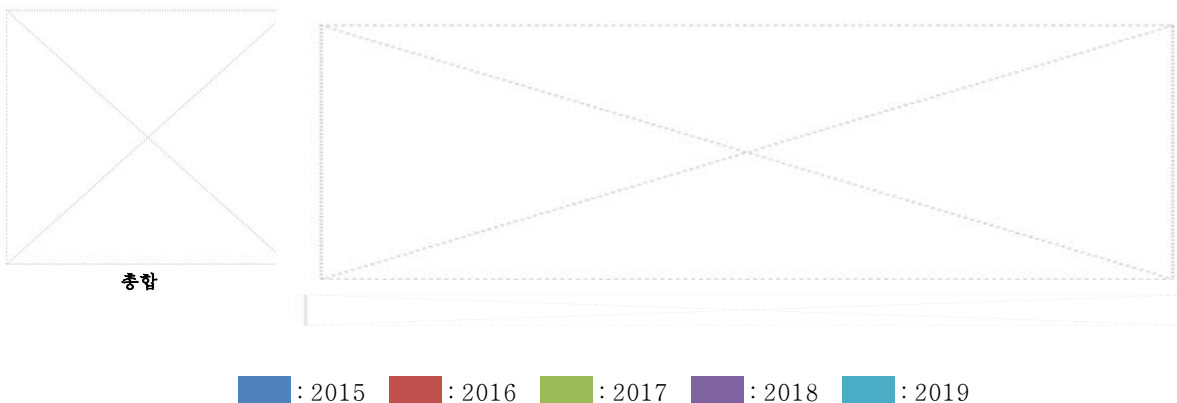
- (해외정책) 미국·일본·유럽·호주·중국 등 세계 주요국에서도 수소 기술 개발을 위한 국가차원의 전략* 수립·추진 중

* (미국) 「국가 수소에너지 로드맵('02)」, 「수소·연료 이니셔티브('03)」
 (일본) 「수소연료전지 전략 로드맵('14년 수립, '19년 개정)」, 「수소기본전략('17)」
 (유럽) 「수소 로드맵 유럽('19.2)」
 (호주) 「수소 로드맵('18)」, 「2030 호주 수소산업 비전('18)」, 「국가수소전략('19년 말)」
 (중국) 「중국제조 2025('15)」, 「차이나 수소 이니셔티브('17)」

- (국내정책) 「친환경 수소경제 마스터플랜('05)」 이후 지속적으로 기술개발을 추진해 왔으며, 올해 초 세계 최고수준의 수소경제 선도국가로의 도약을 목표로 「수소경제 활성화 로드맵('19.1)」 발표

< '15~'19 분야별 정부R&D 투자현황 (단위 : 억원) >

- ▷ 5개 부처(과기·산업·국토·해수·환경부)의 수소 R&D 투자규모는 '15년 469억원에서 '19년 936억원으로 약2배 확대되었으며, 인프라를 제외한 전 분야가 꾸준히 확대



- (특허) 일본의 출원 점유율이 30%로 가장 높고 우리나라 출원량은 일본의 1/4 수준이며, 중국이 급격히 성장 중 (최근 4년간 전체의 53%)

< 수소 전 주기 분야별 특허 출원 현황 >

구분	생산	저장·운송	활용(수송)	활용(발전)	인프라	계
전체 출원(건)	67,465	14,265	27,048	41,269	11,199	159,074
한국 (점유율, %)	4,383 (6.5)	1,021 (7.2)	3,826 (14.1)	3,362 (8.1)	802 (7.2)	13,394 (8.4)

※ '99.1월~18.12월까지 출원·공개된 수소산업 관련 한국·미국·일본·유럽·중국·WO(국제) 특허 약16만건 분석

5 분야별 이슈 및 핵심기술 개발 전략

【수소 생산】

◇ **(이슈)** 수소 수요 증가에 대비해야 하나 국내 수소 공급원인 부생수소는 생산량 확대에 한계가 있어 다양한 수소생산 기술 확보 필요

* 석유화학 공정에서 부산물로 발생하며 대부분 자체소비(반도체용, 의약품, 석유화학용, 공업용)

- 유럽·일본에서 이미 상용화된 천연가스 개질 기술은 기술 적용이 용이하며 수소량·가격 측면에서 이점이 있으나 이산화탄소를 발생

⇒ **(전략)** 수소 수요량(526만 톤/년('40)) 대응, 화석연료 수준의 가격 경쟁력(3,000원/kg('40)) 확보, 기후변화 대응(온실가스 저감)을 위한 단계별 기술 개발을 통해 친환경 수소로 점진적 전환

① 초기(~'25)에는 천연가스 개질 기술 개발을 통해 저가 수소 대량 생산 기술을 확보

☞ **(주요기술)** 거점형 수소생산기지(1,000Nm³/h 이상) 및 소형 온사이트 수소충전소(300~1,000Nm³/h) 구축을 위한 중·소형 개질 수소생산 시스템

② '30년까지 수소 생산량 증대를 위한 고효율·대용량 수전해 시스템(50kWh/kg-H₂, 100MW급) 기술을 개발하고, 태양광·풍력 등 다양한 재생에너지원과의 연계 실증 추진

☞ **(주요기술)** 수MW~수십MW급 고효율 알칼라인/고분자전해질 저온 수전해 시스템, 재생에너지 연계 P2H(잉여전력을 수소로 저장하는 기술로 대용량·장기 저장 유리)

※ 수소 생산 분야는 특히 기술혁신을 필요로 하며 세계적으로도 연구 활동이 활발히 진행 중이므로 다양한 기술 탐색이 필요

< 핵심기술 개발 전략 > * ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

중분류	현 수준	단기						중기		장기		목표
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
연료이용	시스템 설계, 소규모 실증	소형 개질 수소 생산 시스템 개발										시스템 효율 78%(HHV) ('30)
				중형 개질 수소 생산 시스템 개발								
물분해	1MW급 원천기술 및 스택기술 개발	알칼라인 수전해 시스템 개발										'30년 100MW급 시스템 개발 * 시스템 효율 50kWh/kg-H ₂ 재생전원 연계 수산화물 실증('30)
	고분자전해질 수전해 시스템 개발											
	설계 단계		재생에너지 연계 P2H 기술 개발									

【수소 저장 · 운송】

◇ (이슈) 수소는 상온(25℃ 내외)에서 부피가 크기 때문에 운송비용 절감을 위해 대량으로 저장·운송할 수 있는 기술이 뒷받침되어야 하나, 수소기체를 압축하여 저장·운송하는 방식 외*에는 개발 단계

* (액체수소) 수소를 영하 253℃까지 낮추어 액화. 기체 압축수소 대비 부피가 1/800 수준 (액상수소화물) 수소를 유기화합물과 화학적 결합. 상온저장 가능. 기술린과 성질 유사

⇒ (전략) 기체저장·운송 기술을 고도화하여 수소 운송량을 증대하고, 수소를 대량으로 안정성 있게 저장·운송할 수 있는 액체수소·액상수소화물 저장·운송 기술 개발 추진

－ 다만, 각 기술은 대규모 인프라 구축*이 수반되므로 기술 실증 전 경제성·환경성 분석('25년까지 프로그램 개발 예정) 등을 추진하고, 이를 기반으로 국가 수소공급 전략 수립 후 중점기술 재정비 필요

* (액체수소) 수소액화 플랜트, 저장탱크, 탱크로리, 운송선(수소수입 시)
(액상수소화물) 수소추출 플랜트, 운송선(수소수입 시)

① 차량용 저장용기 가격저감 등 기체저장·운송 기술 고도화(고압대용량)

☞ (주요기술) 차량용 고압기체저장 탱크 가격저감(100 → 45만원/kg), 중/장거리 수소 배관망(20 → 100bar), 튜브트레이러용 대용량 복합재용기(200 → 450bar · 1,500L)

② 독일·미국·일본에서도 활발한 연구가 진행 중인 액상유기수소화물 분야는 원천기술 확보, 상용화된 액체수소 분야는 제품화 추진

☞ (주요기술) 액상수소화물 수소 저장/추출 시스템(1,000Nm³-H₂/h), 수소액화 플랜트(50톤/일), 액체수소 저장탱크(80,000m³), 액체수소 탱크로리(3.5톤), 액체수소운송선 화물창(160,000m³)

< 핵심기술 개발 전략 > * ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

중분류	현 수준	단기					중기		장기			목표
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
물리적 수소저장	100만원/kg		고압수소 저장시스템 가격저감 기술 개발									45만원/kg
	0.1톤/일, 3m³/탱크1기		수소 액화플랜트 및 저장 기술 개발									50톤/일, 80,000m³/탱크1기
화학적 수소저장	유기수소화물 신소재 개발		액상수소화물 저장 및 추출 기술 개발 (유기수소화물 / 암모니아(추출))									1,000Nm³-H₂/h급 수소추출시스템
수소운송	200bar 튜브트레일러, 단거리 배관망		육상 운송비용 저감 기술 개발 (대용량 기체 / 대용량 액체 / 수소 배관망)									1,500L · 450bar 튜브트레일러, 35톤급 탱크로리 등
	원천기술 개발, 기본설계		해외생산 수소 이송용 선박 기술개발									160,000m³급 액체수소운송선

기술개발 현황 / 보급 실적 / 경제성·환경성 분석 이후 ▲ 국가수소공급 전략 수립 및 기술개발 재정비

【수소 활용(수송수단)】

◇ (이슈) 경쟁국은 승용차 중심에서 상용차, 철도차량, 건설기계, 선박, 드론, 유인항공기로 기술을 확대*해 가는데 반해 우리는 아직 승용차 중심이며, 일부 부품(축매, 이오노머 등)은 수입에 의존

* 미국은 건설기계, 유럽은 선박철도, 일본은 상용차, 중국은 양산기술 분야에서 우위

<참고> 수소차 핵심 소재·부품 기술개발 현황

- (막전극접합체) '15년에 국산화 성공, 핵심소재인 축매·전해질·이오노머는 수입(소수 기업) 의존
- (기체확산층) 최근 국산화 완료
- (고압용기) '15년에 국산화 성공, 핵심소재인 탄소섬유는 수입(일본) 의존

⇒ (전략) 수송수단에 모두 연료전지시스템이 적용되므로 타 분야로의 확장성이 큰 연료전지시스템을 전략적으로 활용하여 중복투자 방지 및 가격 저감을 유도하고, 독점성이 높은 부품은 국산화 추진

① 승용차/상용차용 연료전지시스템을 기반으로 플랫폼 기술을 개발·응용하여 다양한 수송수단에 적용*하고, 각 제품의 상이한 운영환경에 따른 성능을 구현하기 위한 기술 개발 추진

* 승용차 연료전지시스템 → 상용차 연료전지시스템 → 건설기계 적용(승용차용 확장) → 연안선박 적용(상용차용 모듈화) → 유인항공기 적용(승용차용 경량화)

※ 내연기관에서 전력기반으로 전환하는데 따른 전기동력 추진체 기술 개발 병행

☞ (주요기술) 철도차량·건설기계·선박용 연료전지 파워팩, 드론 연료전지시스템

- ② 소수 기업 의존도가 높은 연료전지 스택 소재(촉매, 이오노머 등), 상용차용 전장장치는 국산화 및 성능개량(고효율, 저가, 장수명)

< 핵심기술 개발 전략 > * ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

중분류	현 수준	단기					중기		장기		목표	
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35		~'40
육상용	국내 개발 및 실증 단계	연료전지시스템 모듈화 및 전장장치 개발										(철도) 내구 25년 (건설기계) 내구 2만시간
		(수소열차용 / 중대형 건설기계)							(고속철도용)			
해상용	R&D (대양선박은 기초연구)	수소선박 연료전지시스템 개발										시스템 가격 50만원/kW, 내구 20년
		(소형선박용)					(대양선박용)					
항공용	핵심 부품기술 해외 의존	수소트륜 시스템 개발									시스템 출력밀도 0.6kW/kg ('30)	
		(일반 및 특수목적용)				(대형플류트 운송용)						

【수소 활용(발전 · 산업)】

- ◇ (이슈) 발전을 위한 연료전지시스템 제작 · 운영 기술은 세계 최고 수준이나 핵심 소재 · 부품의 수입 의존도가 높고 경제성이 부족*

* 가정·건물용 연료전지 설치비 : 2,700만원/kW (일본 1,100만원/kW)

<참고> 발전용 연료전지 핵심 소재 · 부품 기술개발 현황

- (셀스택(가격비중 30%)) 전극 · 촉매 국내 기술개발 중, '19~'22년 중 확보 가능
- (연료변환기(가격비중 35%)) 촉매 전량 수입, 작은 시장규모로 국내기업 미진출

- ⇒ (전략) 발전용 연료전지시스템(가정 · 건물용, 분산 발전용, 대규모 발전용)의 경제성 확보를 통해 설치비와 발전단가를 절감*하고, 수입 의존도가 높은 주요 소재 · 부품의 국산화 및 고도화 추진

* (가정·건물용 설치비) 2,700만원/kW(현재) → 800만원/kW('30) → 600만원/kW('40)
(대규모 발전용 발전단가) 241원/kWh(현재) → 141원/kWh('30) → 131원/kWh('40)

- ① 연료전지시스템 핵심부품 모듈화, 양산화, 시스템 효율 향상 및 내구성 향상을 위한 기술 개발

☞ (주요기술) 마이크로열병합(가정·건물용) 소형 고효율 연료처리장치 및 연료전지시스템 분산 발전용 고효율·고신뢰성 시스템 모듈화 및 캐스케이딩 대규모 발전용 연료전지시스템 대용량 스택 및 시스템 개발

- ② 연료전지시스템 스택 소재(전극, 촉매) 및 주변장치(연료변환기, 기계적 구성장치)를 국산화하고, 이후 상용화 단계 진입 시 품질·가격 등 장애요인 극복을 위한 엔지니어링 기술* 개발('30년까지 선진국 수준)

* 관리비 절감을 위한 운영 최적화, 신뢰성 향상을 위한 품질관리, 부품시스템 설계 최적화

< 핵심기술 개발 전략 > * ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

중분류	현 수준	단기						중기		장기		목표
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
고정형 연료전지	시스템 가격 2,700만원/kW (PEMFC 기준)		마이크로열병합 소형화·제품 다양화									시스템 가격 800만원/kW ('30)
	효율 약 75%		분산 발전용 고효율·고신뢰성 연료전지시스템 개발									효율 90% ('30)
	발전단가 241원/kWh					대규모 발전용 연료전지시스템 개발						발전단가 141원/kWh ('30)

【수소 전 주기 안전·환경·인프라】

◇ (이슈) 다른 분야와 비교하여 연구개발이 많이 진행되지 않아 유럽·일본·미국 대비 추격 단계에 있으며 해외 의존도가 높은 편*

* (안전) 수소사고 예방과 안전성 평가를 위한 데이터베이스 구축률 선진국 대비 10%
(수소충전소) 부품 국산화율 약40%. 압축기는 국내외 제품 혼용, 고압부품은 해외 의존

<참고> 수소충전설비 부품 국산화 비율

- (250kg/일급 수소충전소) 약 53% (국내 압축기 적용 시, 건설비 제외, 가격비중 기준)
약 33% (해외 압축기 적용 시, 건설비 제외, 가격비중 기준)
- (500kg/일급 수소충전소) 약 28% (건설비 제외, 가격비중 기준)

⇒ (전략) 수소 전 주기 기술개발을 위한 기반이므로 '30년까지 완비 추진

- ① 안전성 확보를 위한 실증 데이터베이스 구축 및 평가시스템 도입, 국내 기술의 국제표준 전략적 선점과 더불어 국내 인증품목 확대
- ② 해외 의존도가 높은 수소충전소 기자재 국산화 및 수소추진선박 운항에 필요한 병커링(선박·항만설비에 수소 공급) 기술 개발
- ③ 수소 생산, 저장·운송, 활용 각 분야에서 개발된 제품을 실증지에 적용

☞ (주요기술) 안전 / 표준 · 인증 / 환경 · 경제성 / 충전설비 / 도시 · 클러스터 기반의 실증

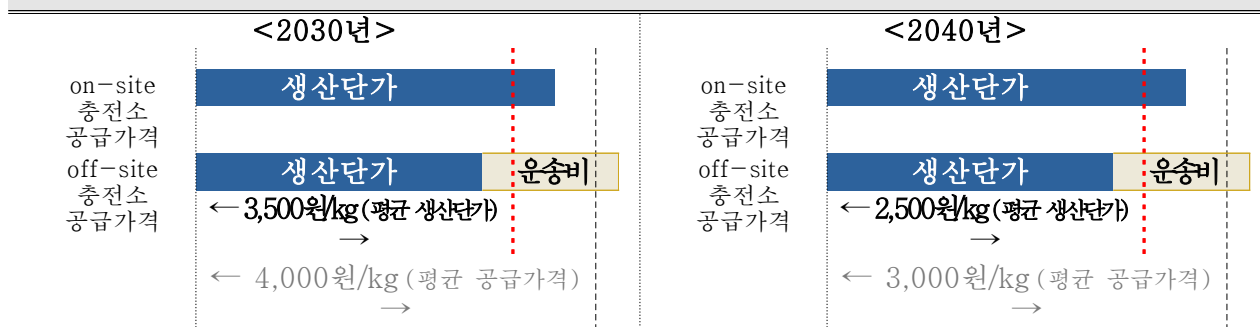
< 핵심기술 개발 전략 > * ■ : 정부의 집중지원이 필요한 기간

중분류	현 수준	단기						중기		장기		목표
		~'20	'21	'22	'23	'24	'25	~'28	~'30	~'35	~'40	
안전기술	선진국 의존											DB구축 100% 안전성평가 기술수준 98% 품질 표준/장비 개발 누적 10건
	안전성평가 기술수준 78%											
	품질 표준/장비 개발 2건											
표준화 및 인증기술	국제표준 미흡,											국제표준 15건 시험 인증 기준/장비 10건
	시험 인증 기준/장비 3건											
환경 및 경제성 평가	인벤토리 · 환경성 평가 기준 없음											수소 전 주기 통합 환경성 · 경제 성 평가 프로그램 구축
	수소분야 적용 경제성 평가 프로그램 없음											
수소 공급 인프라	국산화율 40%											국산화율 100% 63,000m³/주 병커링 터미널 설계
	유사연료 병커링 터미널 기조설계											
수소사회 기반 구축	사례 없음											밸류체인별 구축 도시 단위 건물/교통/기반 실증
	소규모 실증 진행 중											

⑥ 기술개발 최종 목표

세계 최고수준 기술력 확보로 수소경제 선도국으로 도약

1. 저가 수소 대량 생산 기술 상용화 및 그린수소 생산 기술 개발



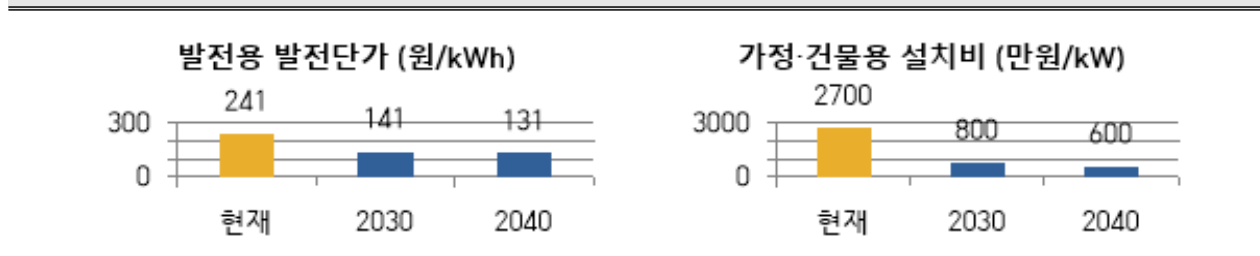
2. 다양한 저장·운송 핵심기술 확보 및 전략적 운송 인프라 구축

차량용 탱크 가격 '30년 45만원/kg (현재 100만원/kg)	충전소용 탱크 용기 '30년 type 4 복합소재 (현재 type 1 금속소재)	트레일러 운송비 '40년 700원/kg (off-site 기준)	배관망 구축 비용 '40년 4억원/km, 100bar (현재 10억원/km, 20bar)
--	--	---	---

3. 연료전지시스템 기반의 수소수단 저변 확대

현재	승용차	상용차	소형건설기계	
2030	육상수송수단			연안선박, 수소드론, 상용화
2040	대양선박	유인항공기		상용화가 가능한 원천·제품화 기술개발

4. 발전용 연료전지시스템 고효율·저가화 기술 확보



5. 수소 안전·제도 완비 / 표준 선점 / 보급 기반 확대

안전 확보를 위한 데이터베이스 구축률 '30년 100%	국제표준 제안 '30년 15건	충전소 구축비용 '30년 300만원/kg
-----------------------------------	---------------------	---------------------------

7] 향후 계획

◇ 기술로드맵의 이행력 강화를 위해 ‘범부처 수소 R&D 협의체’를 기반으로 주기적으로 현행화하고 기술개발 사업 추진 및 성과로 연계

○ ‘범부처 수소 R&D 협의체’ 운영

- (구성) 과기정통부(주관), 산업부, 국토부, 해수부, 환경부, 특허청 등 6개 부처 및 소관 연구관리전문기관*
- * 연구재단, 에너지기술평가원, 국토교통과학기술진흥원, 해양수산과학기술진흥원, 환경산업기술원, 특허전략개발원 등 6개 기관
- (역할) 부처별 R&D 추진현황 및 성과 공유, 신규 R&D 투자 수요 검토, 개발된 기술의 조기 적용을 위한 규제 개선사항 발굴 등

○ 기술로드맵 관리 및 활용

- ‘범부처 수소 R&D 협의체’를 중심으로 국내·외 기술개발 동향 및 기술 적용, IP R&D, 보급 현황 등을 상시 검토하고,

·이를 토대로 5년을 주기로 기술로드맵 상의 기술개발 전략 재검토

* (’25) 수소 생산·저장·운송 분야는 경제성·환경성 분석을 통해 기술개발 전략 재정비 필요

< 기술로드맵 개정 시 추진계획 >

현황 업데이트		기술로드맵 현행화(안) 마련		조정 · 확정
연구관리전문기관	▶	범부처 수소 R&D 협의체 민간전문가	▶	범부처 수소 R&D 협의체

- 기술로드맵에 제시된 중장기 기술개발 전략 및 중점 투자분야를 기반으로 범부처 R&D 사업 기획

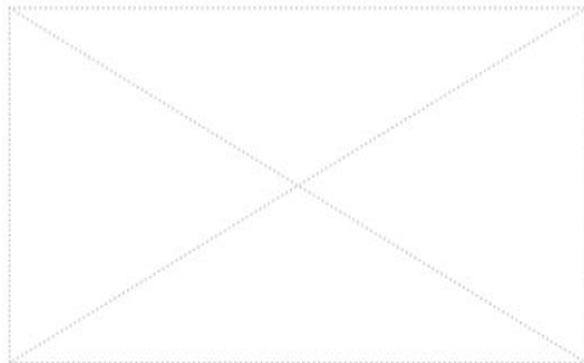
·수소 전 주기(생산, 저장·운송, 활용)·연구개발 전 단계(기초·원천, 실증, 상용화) 간 유기적 연계를 통해 가시적 성과 창출 가속화

- 그 외 각 부처가 필요로 하는 기술개발 사업 및 국제 공동연구 과제 발굴, 후속과제 필요성 판단 등에 활용

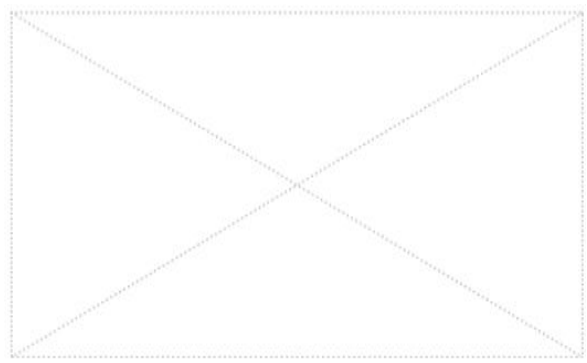
붙임 4-4. 소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보방안

I. 추진 배경

- 소재·부품은 부가가치 향상 및 신제품 개발을 촉진하고, 산업 전반에 파급되어 제조업 혁신은 물론, 융복합 신산업 창출을 견인
 - * 제조업 內 소재·부품 부가가치 비중(통계청) : 44%('01년) ⇨ 52%('17년)
- 특히, 산업이 고도화 될수록 소재·부품의 중요성은 더욱 증대



<산업 성장에 미치는 소재 기여율
추이>



<무기화되고 있는 희소 금속>

- 美·日 무역 분쟁, 일본의 對한국 수출 규제 등 글로벌 밸류체인이 약화되고 원천소재의 전략 무기화 가능성도 증대
 - 소재·부품의 자립화율 제고와 핵심 원천기술 확보 시급
 - * 소재·부품·장비 對日 적자(억불) : ('01년) △128 → ('10년) △308 → ('18년) △224

⇒ **소재·부품·장비 분야 기초·원천R&D 투자 확대와 함께 수행방식 및 생태계 고도화 등 획기적 노력으로 기초·원천기술 조기 확보 필요**

II. 방안의 위상과 의미

- 동 방안은 일본 수출 규제 이후 발표된 범정부 소재·부품·장비 대책*의 기초·원천 R&D와 관련 정책과제의 구체적인 실행계획(Action Plan)
 - * 소재·부품·장비 경쟁력 강화 대책(8.5) / 연구개발 투자전략 및 혁신대책(8.28) 등
- 아울러, 기존의 소재 분야 원천기술 R&D 전략(「미래소재원천기술 확보전략」 '18.4)에 대한 수정·보완 계획(Rolling Plan)

Ⅲ. 그간의 성과와 한계, 시사점

1 그간의 성과

- '01년 소재·부품특별법 제정 이후, '17년까지 소재·부품 R&D에 총 7조원이 투자되는 동안 소재·부품 기초·원천 R&D도 꾸준히 증가
 - * 소재분야 기초·원천 R&D투자(억원, 직접 수행 외) : ('14) 893 → ('16) 1,104 → ('18) 1,310

- 지속적인 투자 확대로 소재·부품 연구역량과 기술수준도 향상
 - * 소재분야 SCI급 논문 세계 4위(중국, 미국, 인도, 한국 순)

< 세계가 인정할 만한 대표적인 연구성과(예시) >

△우수 특성의 신물질 개발 후 기술이전 10억원 이상 △세계 최초 다이아몬드 구조 연구로 26년 난제 해결('90~'16) △세계 최초 페로브스카이트 태양전지 소재 개발 등

2 한계 및 시사점

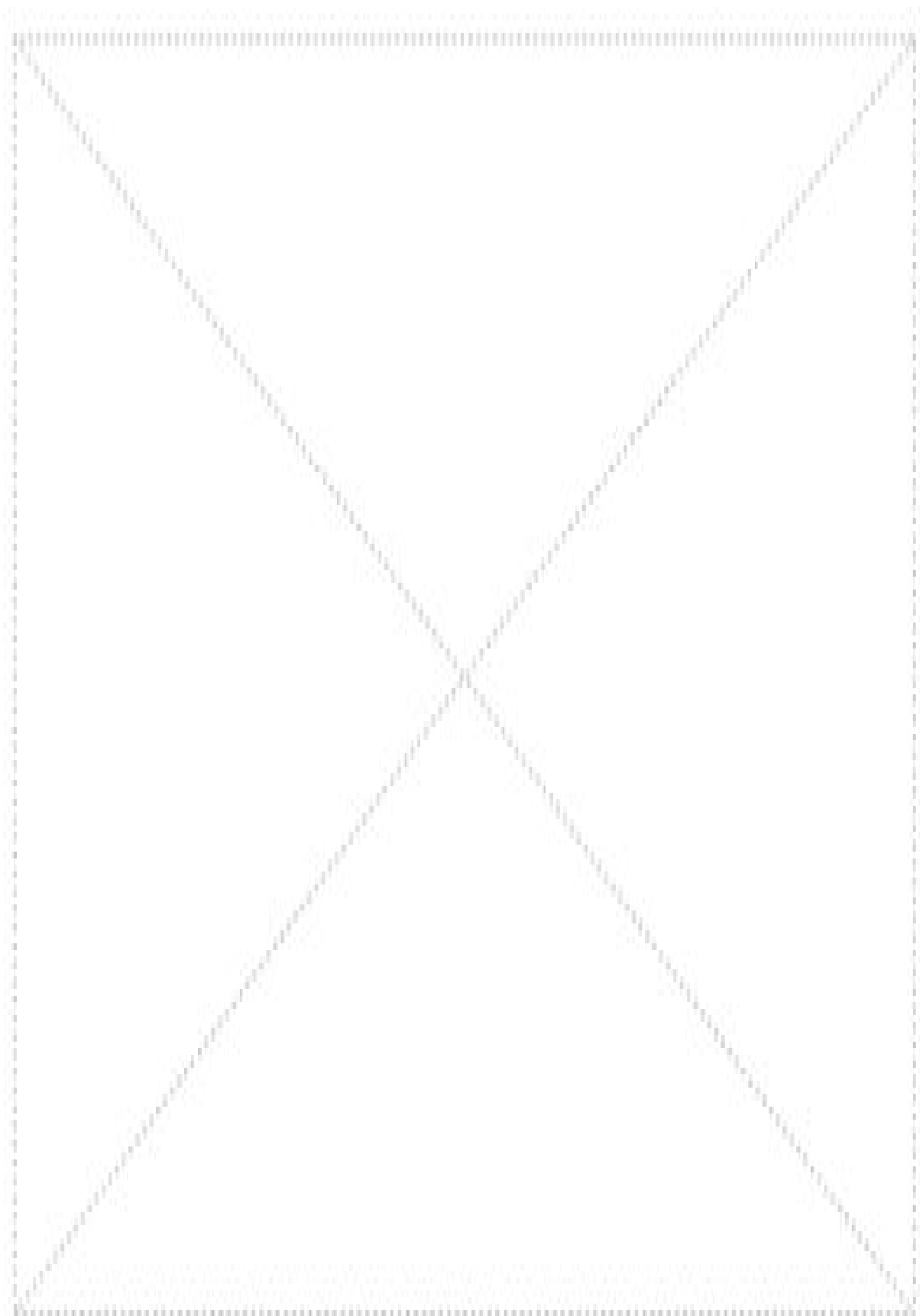
- 괄목할 만한 연구력 향상에도 불구하고, 고부가가치 핵심소재에 대한 일본 의존이 심화되는 등 산업적 부가가치로 이어지는데 한계
 - * 對日 수입 핵심품목('18) : 배터리 파워치 100%, TAC 필름 97%, 폴리이미드 필름 87%
 - 특히, 4차 산업혁명, 신산업·신시장 창출 등 '미래소재' 중심의 지원으로 주력산업 분야 소재·부품·장비의 기술자립화는 여전히 부족
 - * 반도체 소재·장비 기술자립화율(국제협회 SEMI, '17) : (소재) 50.3% (장비) 18.2%
- 정부 부처별 칸막이식 사업체계와 기초 및 개발연구 중심의 연구개발투자로 투자 공백 발생 및 연구성과의 상용화 연계 부족 야기
 - * 정부 소재 R&D(연구단계별, '17, 기타 외) : (기초) 30.5%, (응용) 17%, (개발) 52.5%
 - 산학연 협력 미흡으로 산업현장이 요구하는 기술개발에 취약하고, 나노랩 등 연구인프라 활용을 통한 연구성과 상용화 지원도 한계
 - * (사례) 현 나노랩(8인치 웨이퍼 기반)에서는 대기업 수준(12인치) 성능평가 제한

시 사 점 (4P)

- ① (**Portfolio**) 주력산업 기술 자립과 미래 준비의 균형 지원
- ② (**Pipeline**) 기초·원천연구 지속 확대 및 응용연구 투자 강화
- ③ (**Process**) 맞춤형 관리 및 부처간 협력으로 조기 성과 창출
- ④ (**Platform**) 국가 R&D자원의 연계·활용 강화

참 고 1

소재·부품·장비 기초·원천 R&D 주요 성과



IV. 추진 내용

1 (Portfolio) 주력산업 기술 자립과 미래 준비의 균형 지원

- 반도체, 디스플레이, 자동차 등 주력산업 분야에서 경쟁력 강화가 시급한 전략 소재·부품기술 도출(연말) 및 개발 지원

* 100+α 핵심품목 분석과 연계하여 ‘중점요소기술’ 발굴 추진중(과기혁신본부 협력)

- (중점요소기술) 특정 100+α 핵심품목의 대체 요소기술 또는 다양한 핵심품목의 성능 구현과 관련된 필수·기반기술*(기초·원천단계 연구 필요)

* (예시) 불소계 화합물, 차세대 반도체용 도금소재, 고부가 경량금속소재 등

- '19년도 추경을 통해 일부 요소기술(전자파 차폐소재 등 5개)을 既지원 중이며, 산업계 협업을 바탕으로 '20년부터 본격 추가 투자(27개 과제 예정)

* 산학연 공동 과제 기획 및 기술개발 단계별 역할 분담 체계 도입

- 기존의 신산업·신시장 창출 목적의 미래소재를 비롯한 미래 선도형 소재·부품 기술 개발을 위한 선제적인 투자도 병행

< 참고 > 미래소재 원천기술 확보전략 투자분야 (일부 발췌)

메가트랜드	대응소재	대응소재 구현에 필요한 기술
▶ 초 연결사회	모바일 AI용 소재	AI 초저전력 메모리 소재, AI용 로직소재 등
	IoT 복지서비스	자극 감응형 유전소재, 감각저장/구형 전자소재 등
▶ 건강한 사회	토탈라이프케어	바이오 배터리 소재, 인체이식형 바이오소재 등
	스마트약물전달	부작용 억제소재, 고감도 약물전달 매트릭스 등
▶ 지속가능한 자연 환경과 사회	오염 ZERO화	다중오염물 스마트 다공소재, 자가처리 오염분리막 등
	그린엔지니어링	그린 에너지 변환소재, 상온고용량 수소저장체 등
▶ 안전한 사회	블랙아웃대비	초고속완충 대용량 전지, 자가발전 세라믹스 등
	재난/방사선	극한 환경 자가치유 소재, 방사선 차폐/흡수소재 등

- 기존 소재분야 중심의 지원을 탈피, 부품·장비 등 신규 투자 추진

○ 주력산업(반도체 등) 분야 장비개발과 연계가 가능하고, 지원이 시급한 연구 장비 개발 및 조기 상용화('20, 73억원)와 첨단 연구인프라(방사광 가속기 등)를 활용한 검사장비 개발('20, 115억원) 등도 새롭게 투자

○ 소재·부품·장비 기술 자립의 기반이 되는 측정·분석기술 고도화 R&D도 산업계 및 연구계 의견 수렴을 거쳐 추진('21년~)

* (예시) 이차전지, 태양전지 등 기능성 소재의 제조·반응 과정 추적으로 성능한계 극복 연구

참 고 2

중점요소기술 유형 및 맞춤형 기술개발 전략(예시)

특화형 요소기술

특정 핵심품목 구현 중점 대체/필수기술

- (지원방식) 기업 참여 기반 경쟁형R&D로 기술의 완성도 제고

- (부처협업) 원천·응용기술 확보(과기부) → 고도화·상용화(산업부)

플랫폼형 요소기술

다양한 핵심품목 구현 중점 기반/필수기술

- (지원방식) 산학연 융합 기반 연계 package型 개발로 기술 신속 확보

- (부처협업) 기초·원천기술 및 응용·상용화 기술 개발 병행(과기+산업)

※ 실현성, 파급력 등을 종합 고려하여 중점 요소기술 30개 내외 선별 계획

□ 소재·부품·장비 분야 기초·원천연구 투자 지속 확대

구분	'19년도		'20년도 정부예산(안)
기초연구*	964억원	⇒	1,253억원
원천기술개발	667.5억원		1,681.8억원

* 개인 및 집단연구, IBS 등 포함('20년도는 추정치)

- (기초연구) 소재·부품 등 주력산업 관련 연구 저변 확대와 기초기술 확보를 위해 대학 중심 '기초연구실' 신규 지정(40여개, '20) 및 확대
 - 계산과학 등 新연구방법론을 적용, 새로운 물성을 발견하고 혁신적 기능을 구현하는 신소재 개발 확대(25개 연구단('19) → 28개 연구단('20))
 - * (예시) 계산과학·조합실험 등을 통해 소재 내 미세구조 설계·제어로 新물성 발현
- (원천기술개발) 나노·소재 기초연구성과를 기반으로 기술사업화로 연계 가능한 핵심 원천기술개발('20년~, 4,004억원 / 예타 통과)

□ 기술 완성도 제고와 산학연 융합 등 원천기술 기반형 응용연구 지원

- 既 개발된 기술의 완성도 제고를 통해 시급한 주력분야 소재의 기술자립 후속 연구 및 초기 실증(기업 참여 필수) 지원('19추경~, 480억원)
 - 반도체, 디스플레이, 이차전지 등 주요분야를 대상으로 5개 과제*를 선정하고, 추경을 통한 지원으로 연구 既 착수('19.9월~)
 - * mmWave 다기능 복합소재, OLED용 청색 발광소재, 차세대 이미지 센서용 수광 원천소재 등
- 산학연 융합을 바탕으로 소재·공정·시스템을 연계 개발(핵심기술융합 및 공정 확립 + 소재-시스템 연계)하는 package型 지원('20~, 2,066억원)
 - 역량 및 인프라를 갖춘 기관(3N*)을 우선 활용(출연(연) 중심)
 - * N-LAB(국가연구실), N-Facility(국가연구시설), N-TEAM(국가연구협의체) 등
 - < (예시) '반도체용 차세대 도금 소재기술' package형 지원 >

고속 TSV 공정·고밀착성 본딩 도금소재	+	반도체 패키지용 무독성 도금소재	+	초미세 다마신 공정용 도금 소재 및 공정	+	In line 모니터링 및 컨트롤 장치
A연구소, B연구소, C연구소, A대학		D연구소, B대학, A기업		E연구소, B연구소, B대학 주도 컨소시엄		B연구소, E연구소, B기업, A대학 주도 컨소시엄

⇒ 산·학·연 역할 분담 및 유기적 연계 체계 강화

* (대학) 기초연구 → (출연(연)) 응용연구 → (기업) 개발연구

참 고 3

산학연 협업 원천기술기반형 응용연구 사례('19 추경)

* 율촌화학 참여 과제

기술개발 과제

mmWave 전자패키지 소재

□ (과제명) 나노소재기반 밀리미터파 차폐/흡수/방열 다기능 복합소재 개발

□ (참여 기관) KIST + KAIST + 고려대 + (주)JMC + 율촌화학(주)

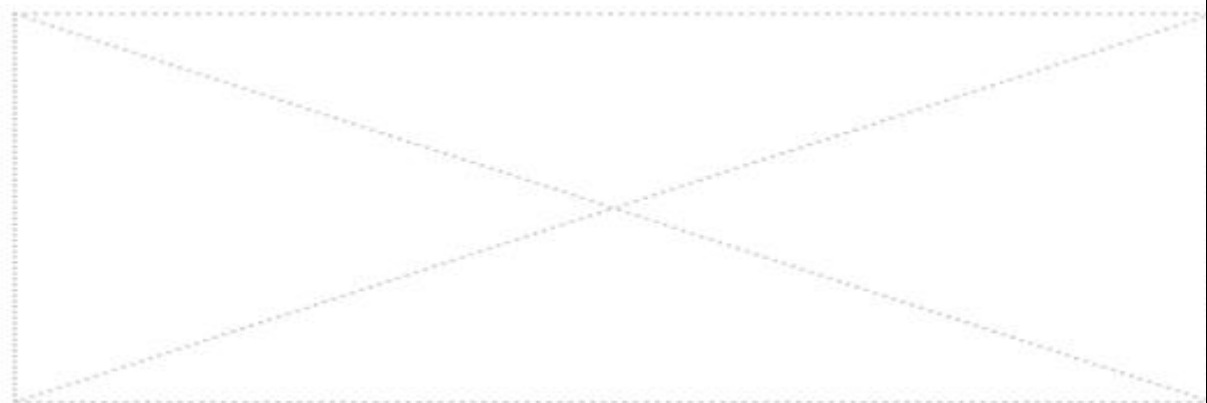
* (율촌화학) 포장(인쇄코팅), 필름(압출코팅), 전자소재(점접착코팅) 등 분야 소재개발 중견기업(年 매출 약 5,000억원)으로 5G, 2차전지 소재개발에 전략적으로 집중

□ (사업 기간/총 사업비) '19.9~'22.12 / 총 38억원

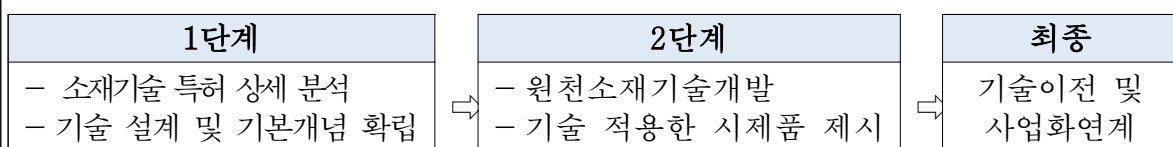
□ (사업 목적) 5G(6G) 및 초고속 통신기기 등의 본격적 활용·확산을 위한 초고주파(밀리미터파) 대역 대응(차폐/흡수/방열) 복합 소재 개발

○ 기존 금속 분말 또는 금속 나노소재 또는 자성소재에서 탈피한 새로운 개념의 신규 소재 개발 관련 원천기술 확보 및 조기 상용화

< 다기능 복합소재 원천기술개발 개념(안) >



○ 단계별 연구를 통해 원천기술 확보부터 사업화까지 진행



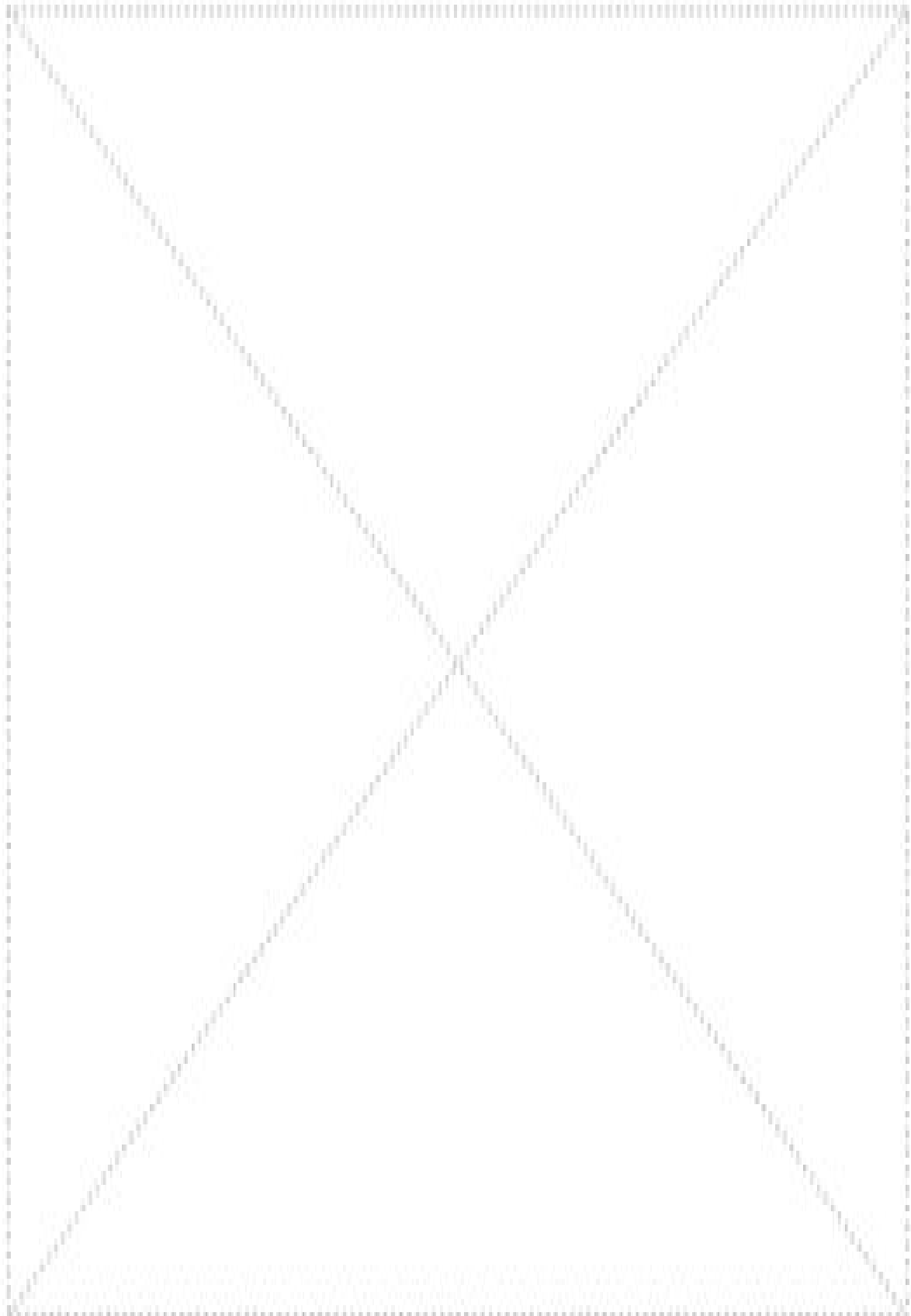
- 국내 산업수준 및 기술경쟁력 등을 고려하여 지원 유형을 구분하고, 과제 도출, 연구주체 선정 및 사업 관리방식 등 차별화



- 조기 기술수준 제고를 위한 경쟁형 R&D(동일주제, 복수연구단), 연구 창의성 극대화 도전형 R&D(창의적 연구주체 선정, 유연 관리) 등 활성화
 - 범정부 핵심 품목 기술자립을 위한 요소기술개발(선도형 R&D)은 전문가 집단 사업기획(하향식) 및 “정책지정형” 연구단 선정
 - * 관련 핵심기술 및 실증 인프라 등 보유 연구기관을 중심으로 신속 지정(fast-track)
- 과기정통부-산업부·중기부 연구성과 연계를 위한 협력 강화
 - “이어달리기” 전용트랙 신설(’20~, 과기정통부 A사업→산업부/중기부 B사업)을 통한 기초·원천R&D 성과 가시화 ⇨ 기업 주도 후속 R&D 연계
 - * 과제 최종평가(과기)와 선정평가(산업/중기) 일원화로 연구공백 방지도 도모
 - ** (과기) 기초·원천 R&D → (산업/중기) Tech-Bridge(’20~’27, 2,637억원) 활용 등 상용화 후속 R&D
 - 과제 공동기획·추진(1단계 : 연구기관 ⇨ 2단계 : 기업) 및 패키지형 지원(소재(과기) + 공정(산업))을 통한 “함께달리기” R&D 확대
 - * “함께달리기” 전용 R&D사업 과기·산업 공동(’21~’30, 7,000억원 규모 / 예타 예정) 추진
- 기업 참여 확대 및 IP전략 지원 강화 등 산학연 협력 기반 확충
 - 대·중견 수요기업의 R&D비용 출연·부담 기준 완화*로 참여를 유도하고, R&D 성과 구매 기업은 他지원 프로그램 선정평가 시 가점 부여(3% 이내)
 - * (현행) 대기업인 경우, 총 연구개발비의 50% 이상 → (개선) 25% 수준
 - 산학연 협업 R&D를 대상으로 대·내외 기업의 선행특허 대응 또는 핵심특허 선점·확보를 위한 특허전략 수립 지원 강화
 - 기존 ‘소재연구기관협의회*’(’19.4월~)를 산업계 및 대학이 참여하는 ‘(가칭) 소재혁신 전략협의회’로 확대·개편하여 산학연 협업 활성화 지원
 - * 재료(연)·화학(연)을 비롯한 출연(연), 세라믹(연), 전자부품(연) 등 12개 기관으로 구성

참 고 4

소재·부품·장비 맞춤 과제 지원을 위한 R&D유형(안)



- 나노패브 시설과 방사광가속기 등 첨단 소재·부품·장비 개발과 관련된 대형 연구 인프라를 활용하여 시험·검사·성능평가 지원 확대
 - 실제 반도체 공정과 유사한 환경의 12인치 공공 테스트베드 패브를 구축('19~'22, 450억원)하고, 대기업과 협력체계 강화* 등 실효성 제고
 - * 공공패브 검증 제품에 대한 대기업 우선 성능평가, 개발 정보 공유 등
 - 중소기업(팹리스)의 시제품 제작 및 도전적 연구개발(유연 공정) 지원
 - 방사광가속기, 연구용 원자로 등을 활용한 기술개발서비스* 제공 확대
 - * (예시) 새로운 소재에 대한 정밀한 물성 실험, 확인 및 예측 등
- 열전소재, 유기전지소재 등 유망 응용분야별 소재연구데이터 플랫폼 구축 및 수집·공유·활용 체계 마련('20~'27) 추진
 - * 기존에 축적된 약 240만건(KISTI)의 소재연구데이터 등 적극 활용
 - 중장기적으로 슈퍼컴, AI, VR 활용 소재연구 가상실험실 구축 연계
 - * 소재연구데이터 + 시뮬레이션 + AI + VR ⇨ 시간, 비용 획기적 절감
- 공공연구성과 기반 첨단소재·부품 기업을 대상으로 기술사업화 지원 강화
 - 소재·부품분야 강소특구*와 5개 기존특구(대덕·광주·대구·부산·전북)를 지역거점으로 활용, 전주기 기술사업화 지원(자금·세제·펀드 등)
 - * 경기 안산, 경남 김해·진주·창원, 경북 포항, 충북 청주 등 6개('19 기준)
- 4대 과기원과 25개 과기 출연(연)의 역할 및 기능 활용 강화
 - 4대 과기원 자율 참여로 구성된 소재·부품·장비 중소기업 지원 공동 기술자문단* 운영과, 산학 연계 인턴십 등으로 기업애로 해결 강화
 - * 기술자문, 장비공유, 공동 프로젝트 지원 등 기업지원 역량 결집으로 윈스톱 서비스 제공
 - 25개 과학기술 출연(연)의 소재·부품·장비 분야 우수 연구역량 및 인프라를 활용하여 소재·부품·장비 기업 지원 강화
 - * 소재·부품·장비 관련 인력 2,700여명, 예산 1,350억원, 논문·특허 등 보유('19.8월 기준)
 - 시험 성능평가 지원, 인력 파견 및 장비 공동 활용(정부사업 연계) 등

참 고 5

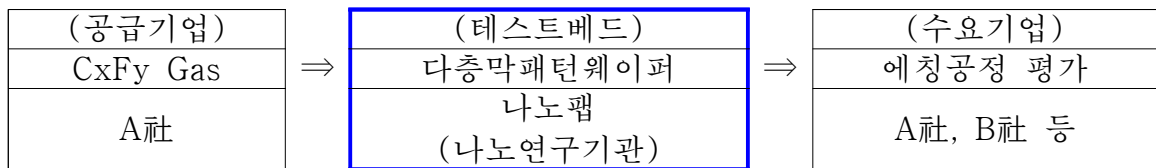
국가 R&D자원의 연계·활용 주요 예시

대형연구시설

공동 시험, 성능 평가 등 지원

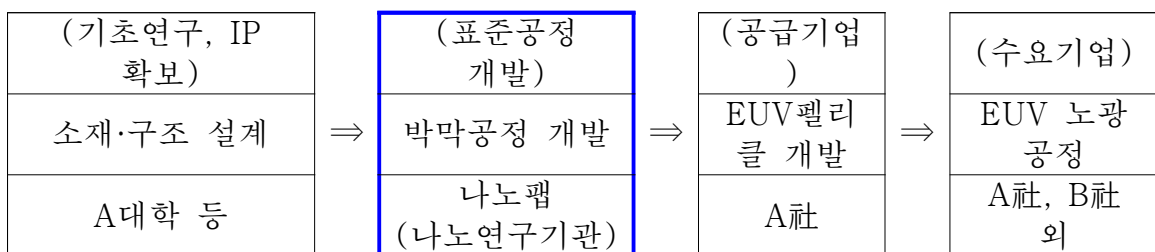
- 공공연구기관 인프라를 통해 수요기업과 공동테스트* 지원

* (공공팹) 기초 성능평가 : 양산 가능성 비교 검증 등 평가 및 피드백 수행
→ (민간팹) 양산 성능평가 : 공급-수요 기업 간 양산 적용, 실증 평가 연계



- 공공 인프라를 기반으로 한 산학연 협력* 연구개발 지원

* (예시) 산 : 참여기업, 학 : 주관기관, 연 : 인프라 제공 등



연구데이터

연구 기간 단축, 비용 절감 및 기술축적 가속화

- 합성방법·조건(시약/온도/시간 등), 구조·응용 특성평가 등 기존 정보

융합으로 첨단소재 발견 ⇨ 제조 ⇨ 보급 비용·시간 절감

* (예시) 무기물 소재의 밴드갭 실험 측정 값의 공개 데이터베이스를 가공·활용하여, 가상의 무기물 소재 조성에 대한 머신러닝 기반 밴드갭 예측 프로그램 개발 및 적용

연구기관 및 인력

대·중소기업 협력 및 연계

- R&D 기획부터 연구기관 전문인력이 참여하여, 대·중소기업 간 기술개발 단계·수준별 다자간 역할 분담 및 협업 지원

* (예시) (초기) 출연(연)과 대기업 공동 연구 → (중기~) 중소·중견 참여 점진 확대

참 고 6

4대 과학기술원의 소재·부품·장비 기술개발 지원

◇ 4대 과학기술원이 보유한 인적·물적 가용 자원을 효율적으로 활용하여 소재·부품·장비 관련 기업체 지원 추진('19~)

- * (개별) 각 기관 출연금 및 수탁과제 중 소재·부품·장비 관련 과제 활용, 기술개발 추진
- (공동) 과기원 공동의 인턴프로그램(CUop) 및 공동기술자문단 구성을 통한 기업 지원

기 술

보유 기술 공유 확대, 기업지원역량 활용 자문 제공

- 기업의 애로를 들어주고 필요한 지원(자문·기술·장비)을 제공하는 '4대 과기원 소재·부품 공동 기술자문단' 구성·운영

< 공동 기술자문단 주요 역할(안) >

- ① 기술자문, 장비공유, 공동 프로젝트 지원 등 기업 애로사항 해결
- ② 과기원의 기업지원 역량을 결집한 과기원 공동 지원
- ③ 과기원 공동사무국 주관으로 기업 애로사항 원스톱 서비스 제공

인 력

산·학 연계인턴십을 통한 기업애로 해결

- 과기특성화대학 공동 운영 CUop 프로그램*의 산학 인턴십에 소재·재료·반도체 관련 기업 우선 선정 및 학생 인턴 집중 배정

* Company-University Cooperation : 과기특성화대학의 현장중심 산학연계 교육 프로그램으로 인턴십(방학, 8주) 및 기업애로 해결 프로젝트(학기, 정규수업)으로 구성

※ 모집기업 수(겨울 학기) : KAIST 80개, GIST 10개, DGIST 8개, UNIST 5개

장 비

보유 공동장비 활용 강화 및 분석서비스 제공

- 각 과기원 소재 중앙연구기기센터에서 보유하고 있는 장비를 기업의 수요에 맞춰 개방, 분석 서비스 등 제공

< 4대 과기원 주요 개방 장비 및 분석 서비스 >

KAIST	분석실 하에 화학·재료그룹을 운영하여 관련 분석 서비스 제공(전문인력 22명)
GIST	기관 내 공동활용 장비 안내 및 전문인력을 통한 분석 서비스 제공(전문인력 14명)
DGIST	대기업 공정 지원 경험 바탕으로 반도체 부품·소재·장비 적합성 테스트 지원(FAB)
UNIST	연구지원본부(UCRF) 운영을 통해 -300여 종의 장비 지원(전문인력 56명)

참 고 7

25개 과학기술 출연(연) 소재·부품·장비 기술개발 지원

◇ 소재·부품·장비와 직간접 연관된 25개 과학기술 출연(연)의 우수 연구역량*을 바탕으로 개별/공동단위의 지원책 병행** 추진('19~)

* 소재·부품·장비 관련 인력 2,700여명, 예산 1,350억원 등 보유('19.8월 기준)

** (개별) 기관별 보유 인프라를 활용하여 품질 평가 등 지원 / 기존 예산으로 즉시 시행
(공동) 출연(연)의 국가/지역/국제 R&D플랫폼과 연동한 종합지원방안 마련·시행('20~)

< 주요 기관별 기술·인력·장비 활용 기반 기술력 제고 지원(안) >

표준(연)	교정시험 패스트트랙, 공정가스 품질평가, 반도체 공정가스 품질평가 등
기계(연)	기계류·부품 신뢰성평가센터 운영 등
재료(연)	일본 수출통제 목록, 향후 예상 통제분야 검토, 수행 가능 품목/기술 도출 등
안전성(연)	수급위험 대응물질 안전성평가시험 패스트트랙 운영 등

기 술

보유 기술 공유 확대, 기업 희망 기술 개발

- 출연(연) 보유기술 및 노하우 개방, 테스트베드 역할, 100대 소재 부품기술기업(GTS) 육성을 위한 출연(연) 전담팀 운영* 등 추진
* 소재·부품·장비 유관 출연(연)이 컨설팅, 신뢰성 평가, 실증 사업 협력 등
- '출연(연) R&D플랫폼'을 활용하여 중장기 정책 제언(국가), 지역조직 중심 현장밀착 기업지원(지역), 글로벌 공동협력(국제) 등 추진

인 력

전문인력의 중소·중견기업 파견 활성화

- 기업에서 필요(기술 고도화·이전)한 출연(연) 전문인력 파견 확대
* 수권 조정을 통한 자율정원 확대 등 인력 운영의 유연성 확대 선행 필요
- 출연(연) 공동 중소기업 기술지원 TF 운영* 등으로 전담 지원인력 확대
* 연구회 주도 9개 출연(연) 중소기업 지원 전담 부서장으로 운영

장 비

산업계 요구 기반 공동장비 활용 강화

- 소재·부품·장비 중소·중견기업에 맞춤형 시험·분석 서비스 제공을 위해 기초(연) 등을 중심으로 연구시설·장비를 외부에 개방

V. 추진 일정 및 향후 계획

- (Portfolio) 주력산업 기술 자립과 미래 준비의 균형 지원
 - 전략 소재·부품 「중점 요소기술」 (30개 내외) 도출 : ~'19.12
 - 선도형 소재·부품기술 개발을 위한 미래소재(30개) 전략 투자 : 계속
 - 연구장비 개발·고도화, 반도체 검사장비 개발 추진 : '20~

- (Pipeline) 기초·원천연구 지속 확대 및 응용연구 투자 강화
 - 소재·부품·장비 관련 주요 사업 시행계획 확정 : ~'19.11
 - 소재·부품 관련 기초연구실 신규 선정 : '20.2분기
 - 미래소재디스커버리 3개 연구단 선정 공고 : '20.1분기
 - 나노미래소재원천기술개발 사업(신규) 본격 추진 : '20.1분기
 - 소재·공정·시스템 package型 연구단 선정 등 : '20.1분기

- (Process) 맞춤형 R&D관리 및 부처간 협력으로 조기 성과 창출
 - 이어달리기 등 부처간 연계 전용트랙 신설 추진 : '20~
 - 기업 참여 확대, IP전략 지원 등 관련 규정 정비 : '19.12

- (Platform) 국가 R&D자원의 연계·활용 강화
 - 12인치 공공 테스트베드 구축 서비스 개시 : ~'21.上
 - 소재연구데이터 플랫폼 시범과제 선정 : '20.2분기
 - 강소특구 등 혁신클러스터 중심 기술사업화 지원 강화 : 계속
 - 25개 출연(연) 소재·부품·장비 종합지원방안 마련 : '20.1분기

첨 부	소재·부품·장비 기초·원천기술 조기 확보 방향
-----	---------------------------

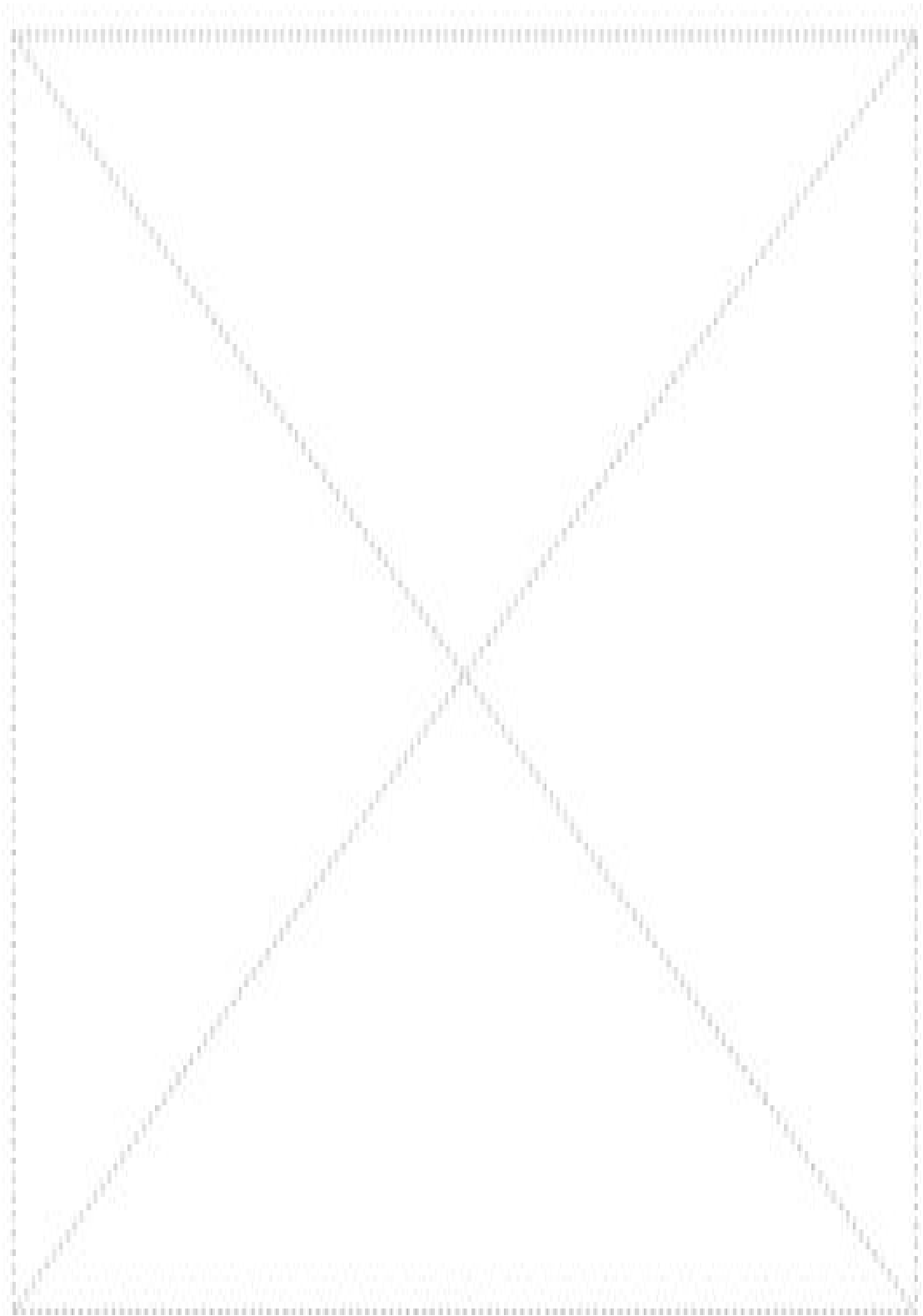
□ 소재·부품·장비 기초·원천연구 투자규모 변화

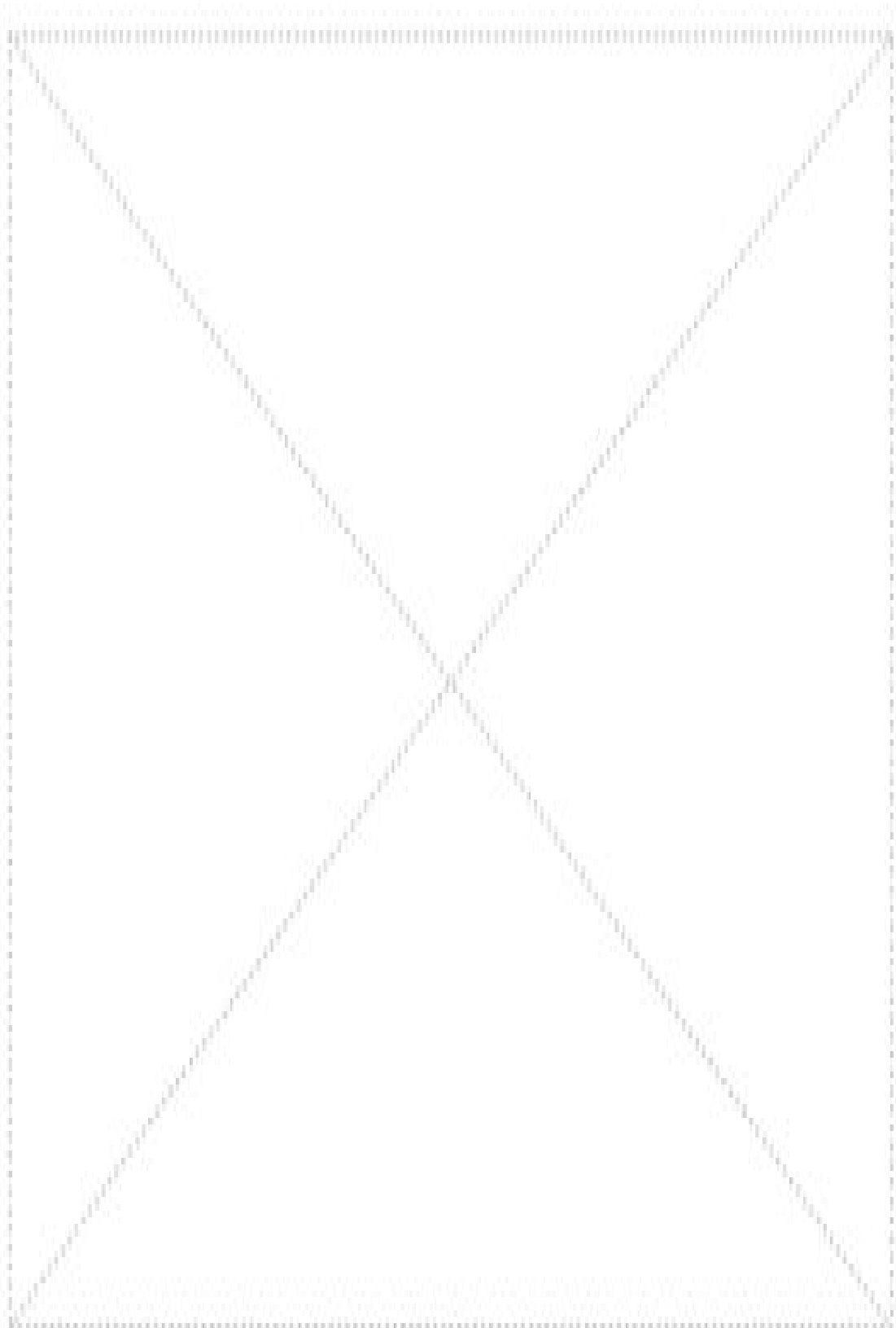
	'19년 본예산 1,770.5억원		'20년 정부안 3,851.8억원
기초연구	964억원	→	1,253억원
원천연구	667.5억원	→	1681.8억원
인프라	139억원	→	917억원

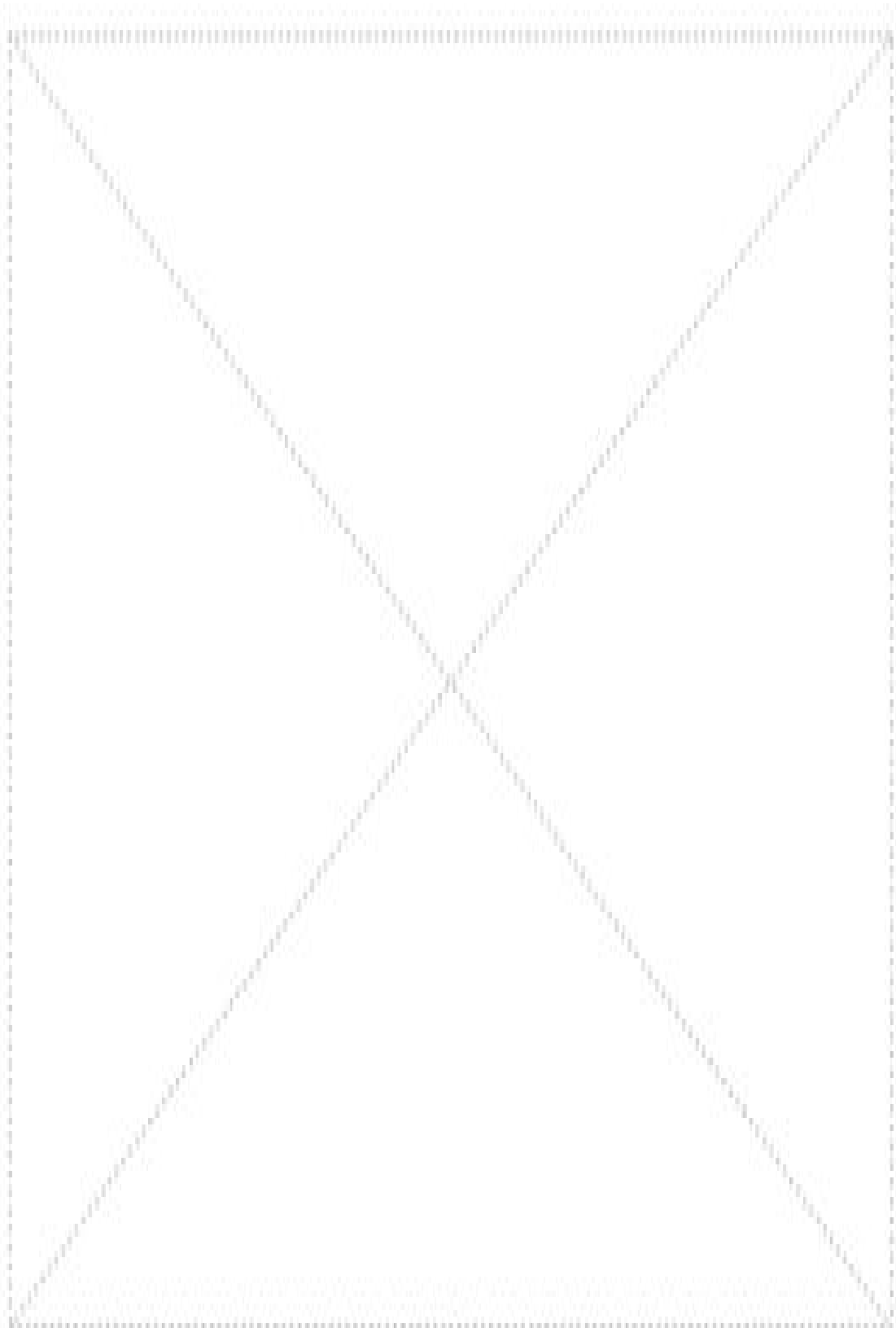
□ 4P 전략에 따른 소재·부품·장비 기초·원천기술 개발 방향

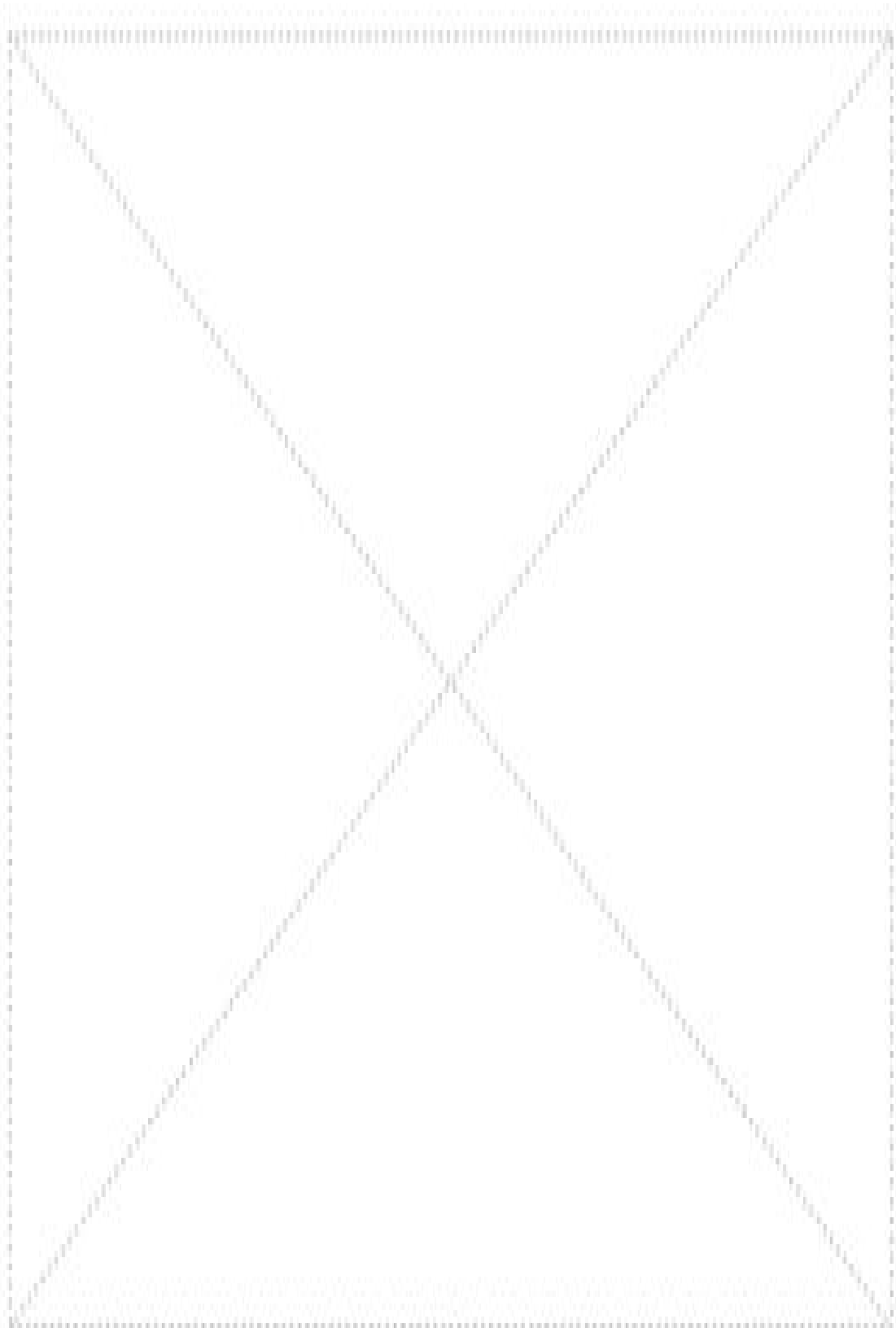
	기존 (As is)	개선 (To be)
<u>P</u> ortfolio	미래 준비에 치중	미래소재 투자 지속
	소재 분야 R&D 중심	주력산업 기술자립 신규 지원
		부품·장비 신규 투자
<u>P</u> ipeline	기초·개발연구 중심 지원	기초연구 지원 확대
	－ 응용분야 투자 공백	원천연구 지원 다각화
	－ 소재·공정·시스템 연계 부족	산학연 융합 package 등 원천 기반 응용연구 신규 추진
<u>P</u> rocess	연구주체간·부처간 연계 부족	부처간 이어달리기·함께달리기 활성화(전용사업 등)
	－ 과제 단위 연계 소극적	R&D지원방식 맞춤형 차별화
		산학연 협력 기반 강화
<u>P</u> latform	대형 연구시설 한정적 활용	나노팜, 방사광가속기 등 대형연구시설 활용 투자 확대
	－ 시설 노후화, 수요 연계 부족	
	연구데이터 축적 한계	연구데이터 플랫폼 구축 신규 지원
	제한적 R&D사업화 지원	소재·부품 강소특구 신규 지정·운영, 연구기관인력의 효율적 협력체계 마련

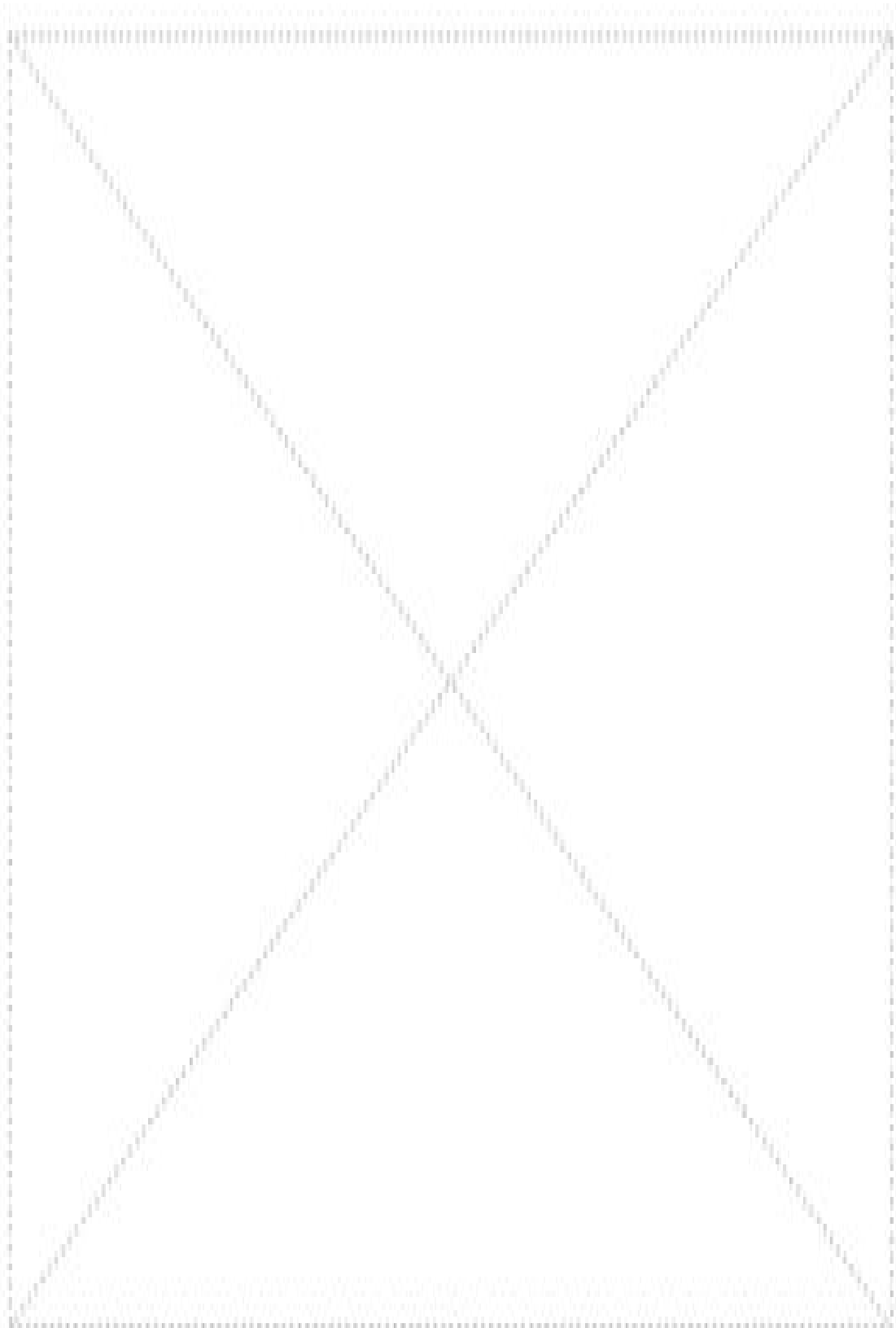
붙임 5. 제1차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

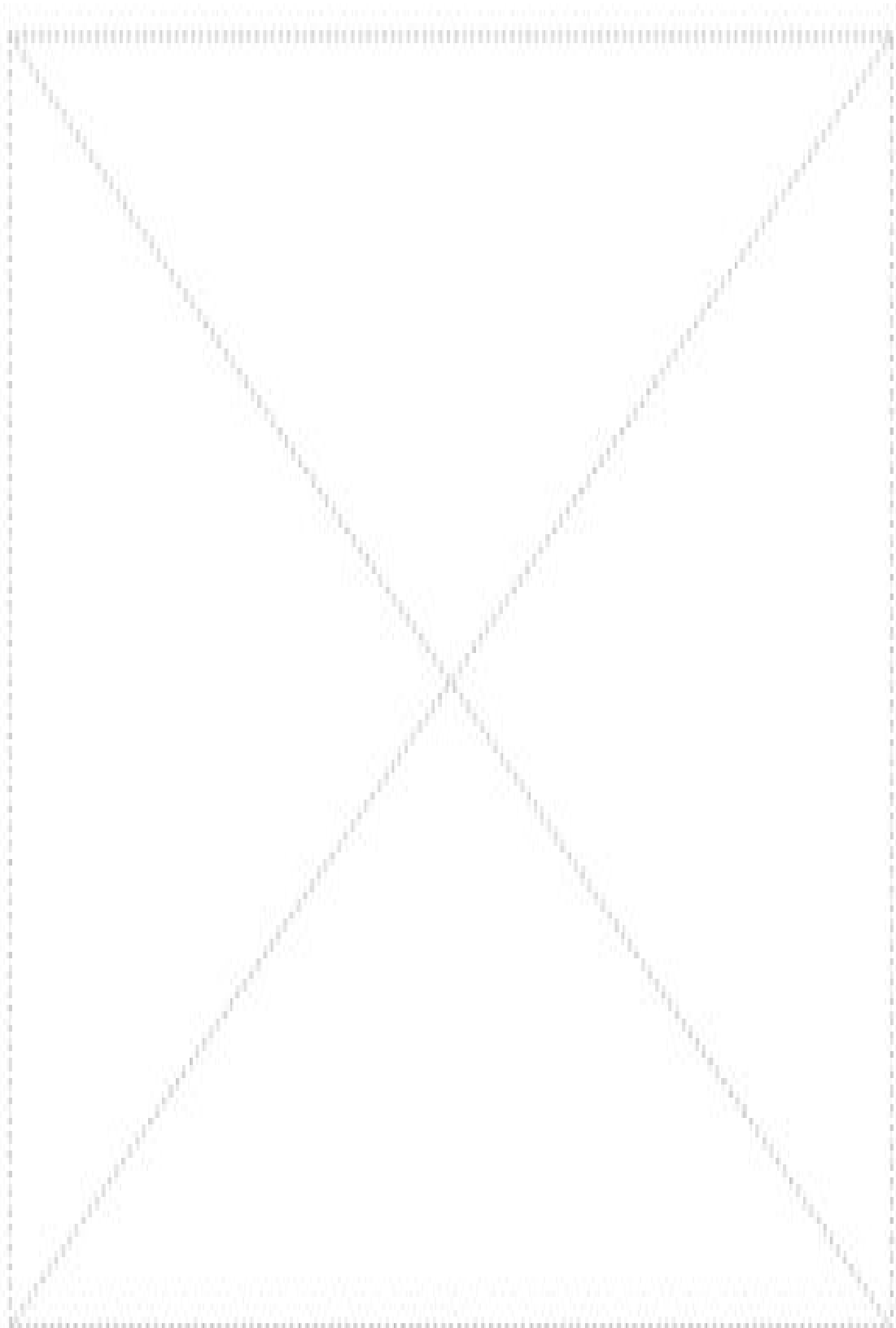


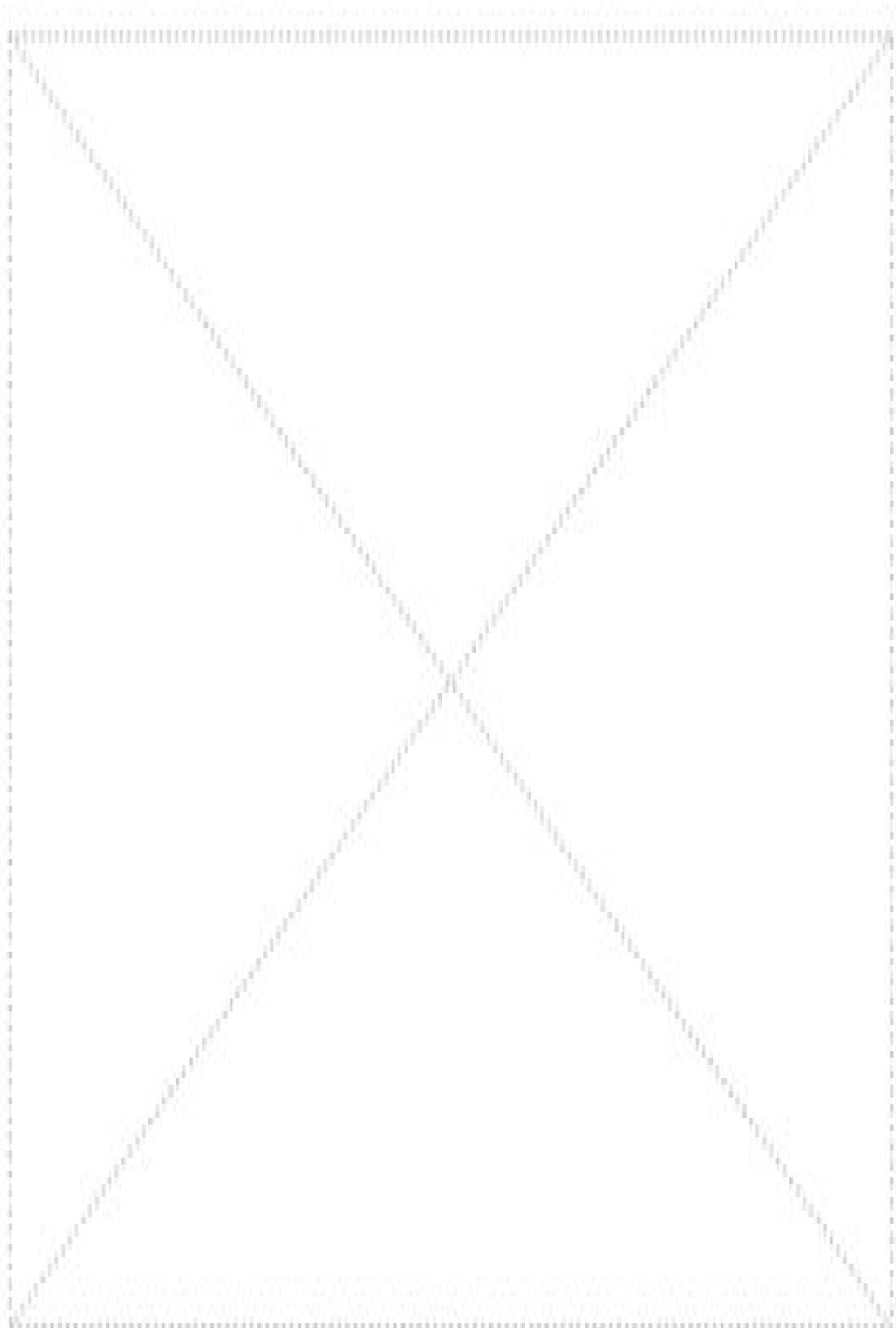


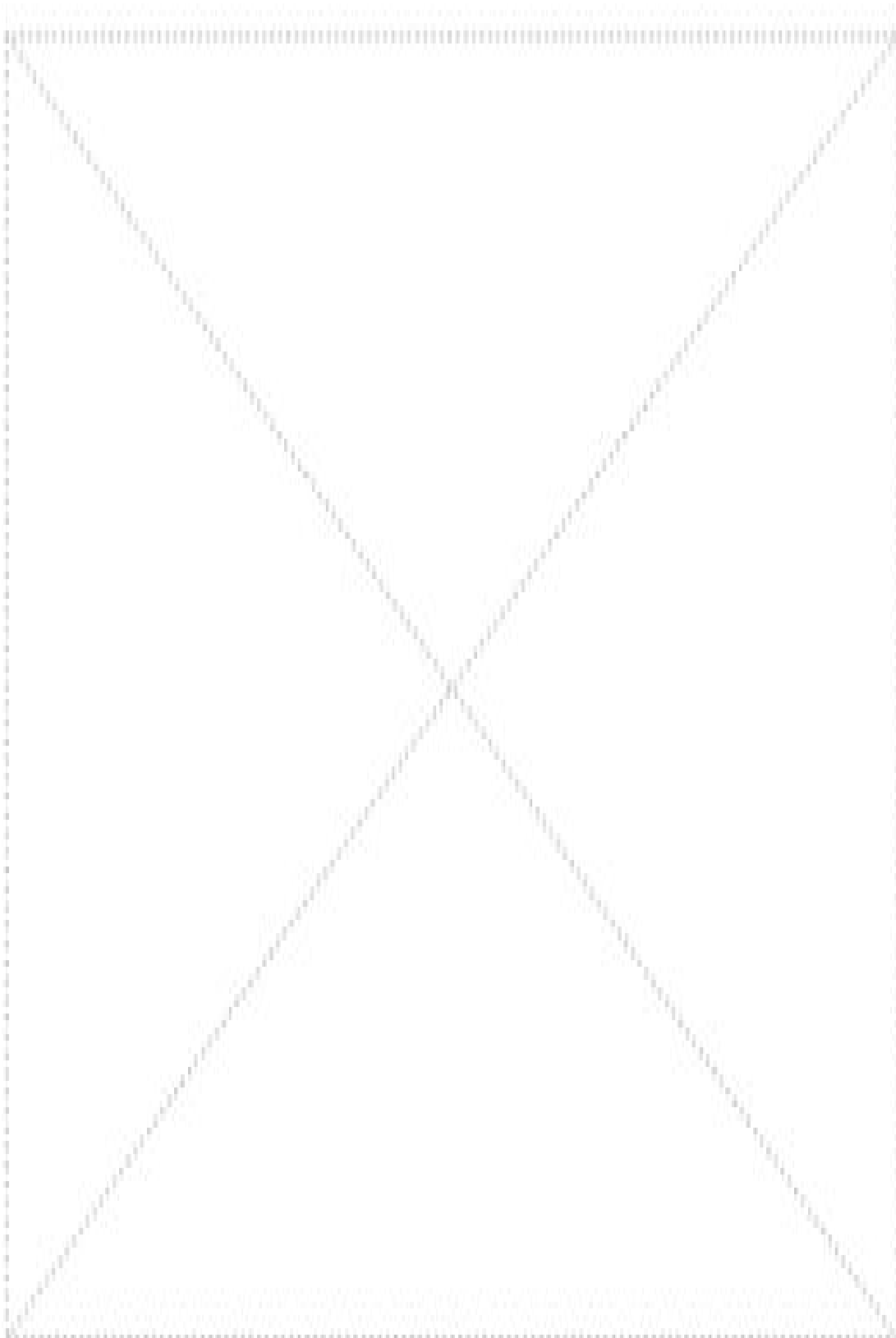


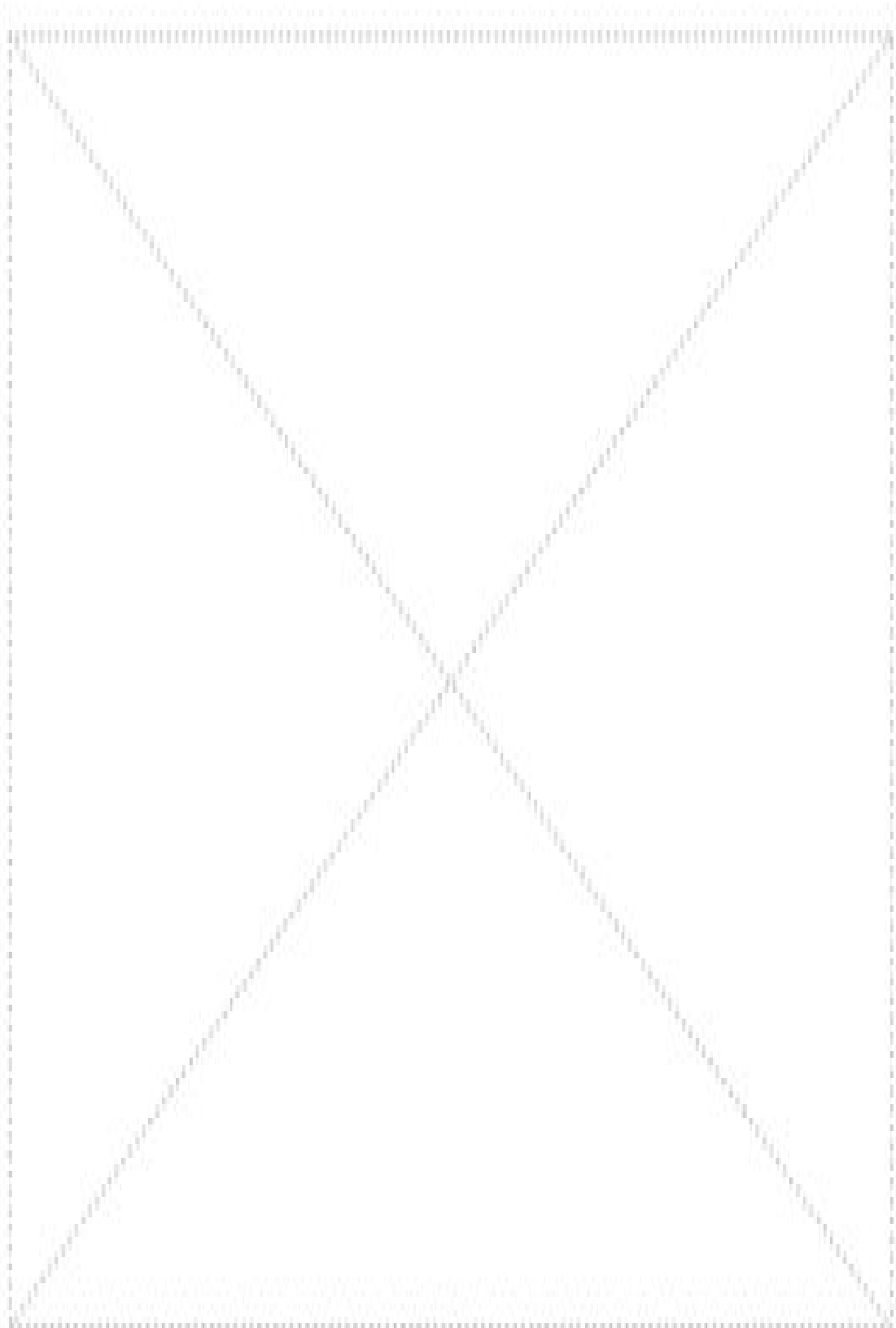


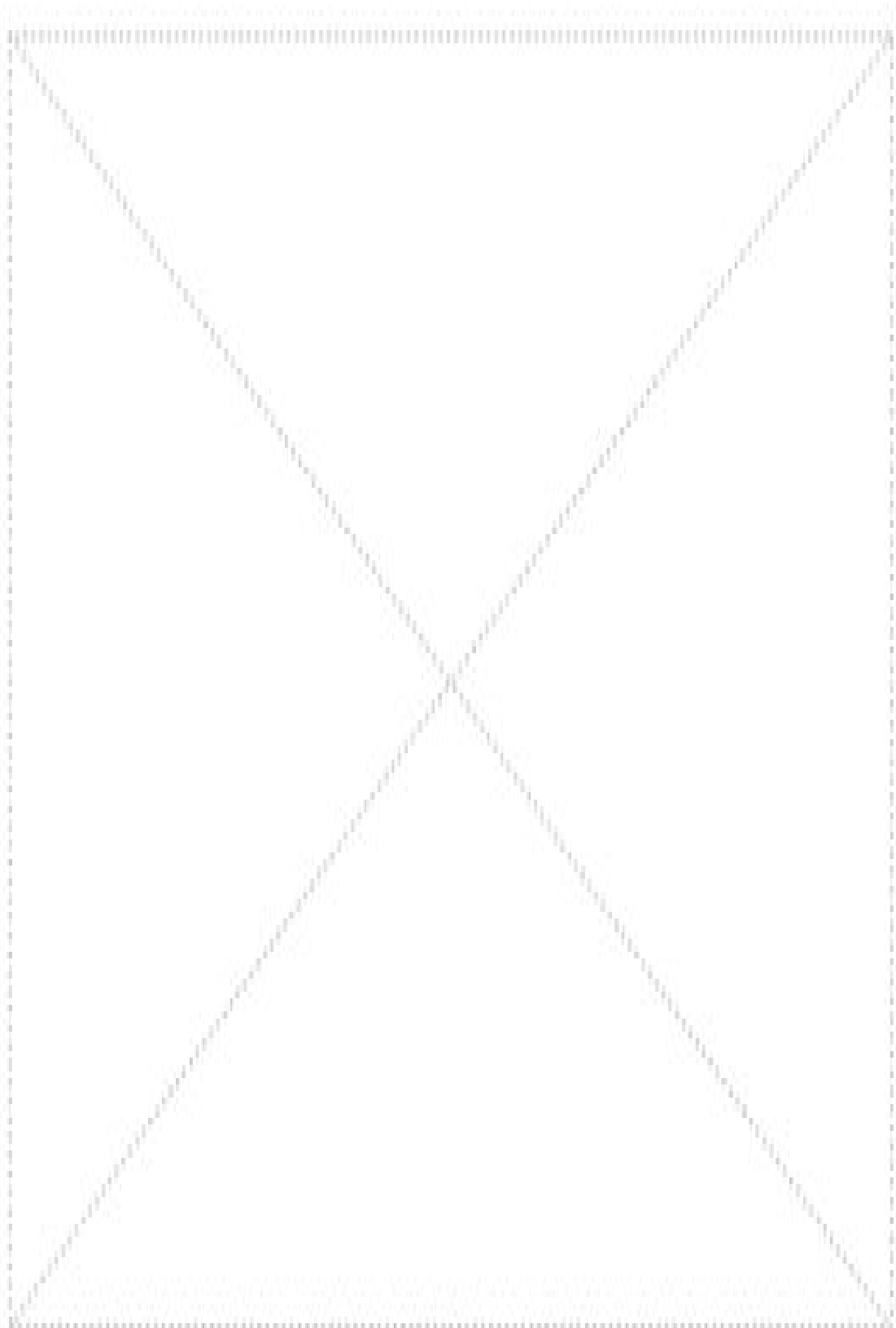


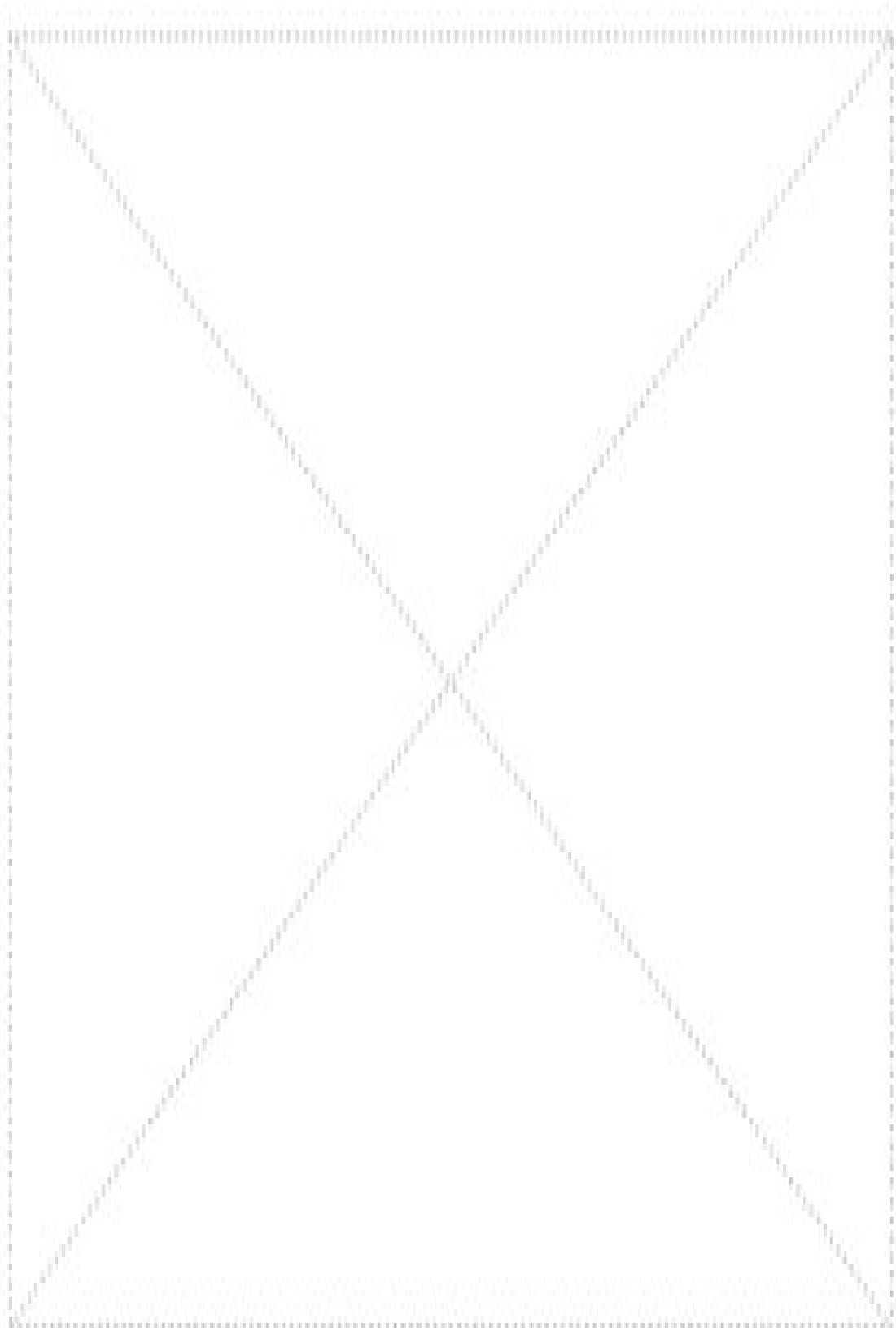


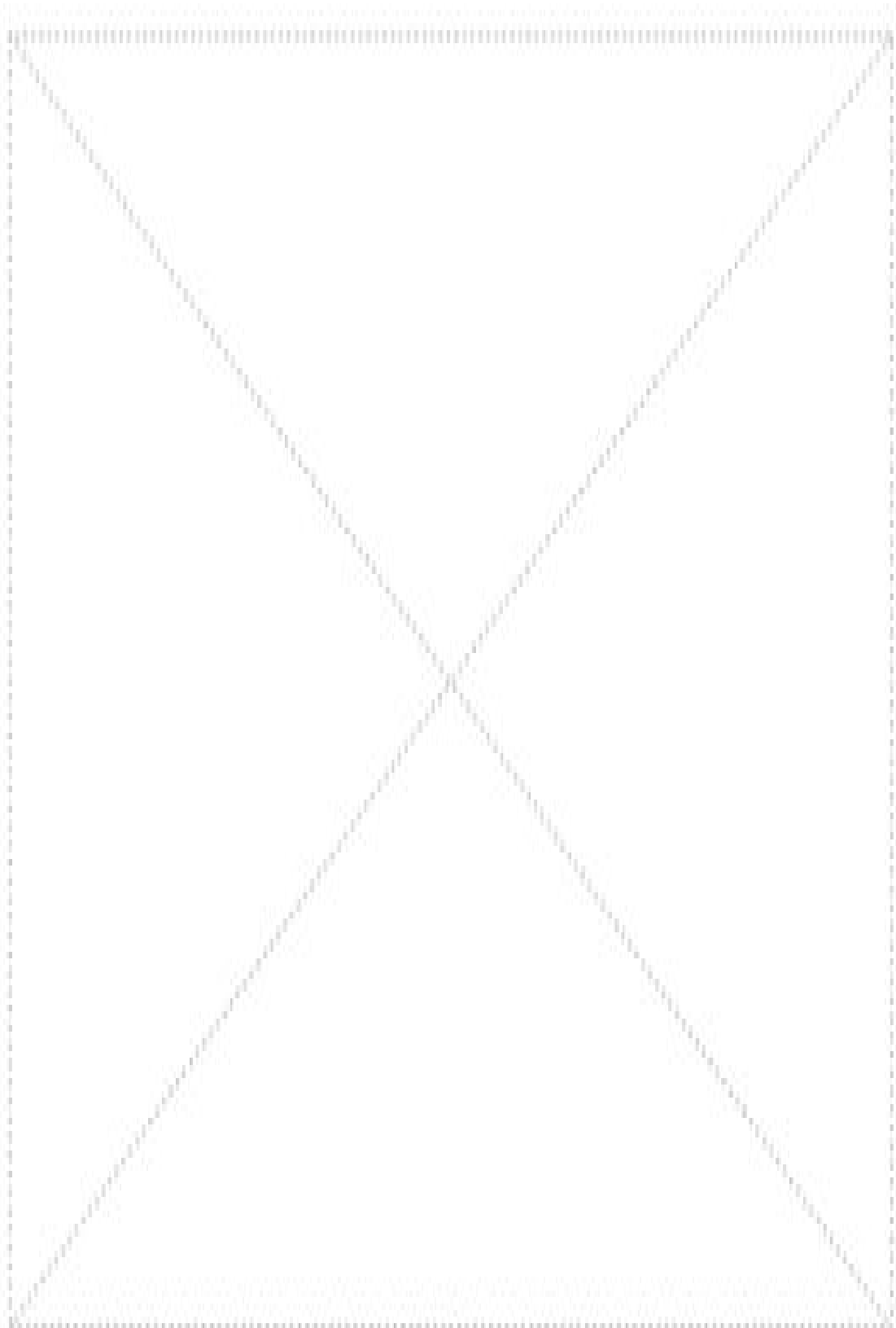


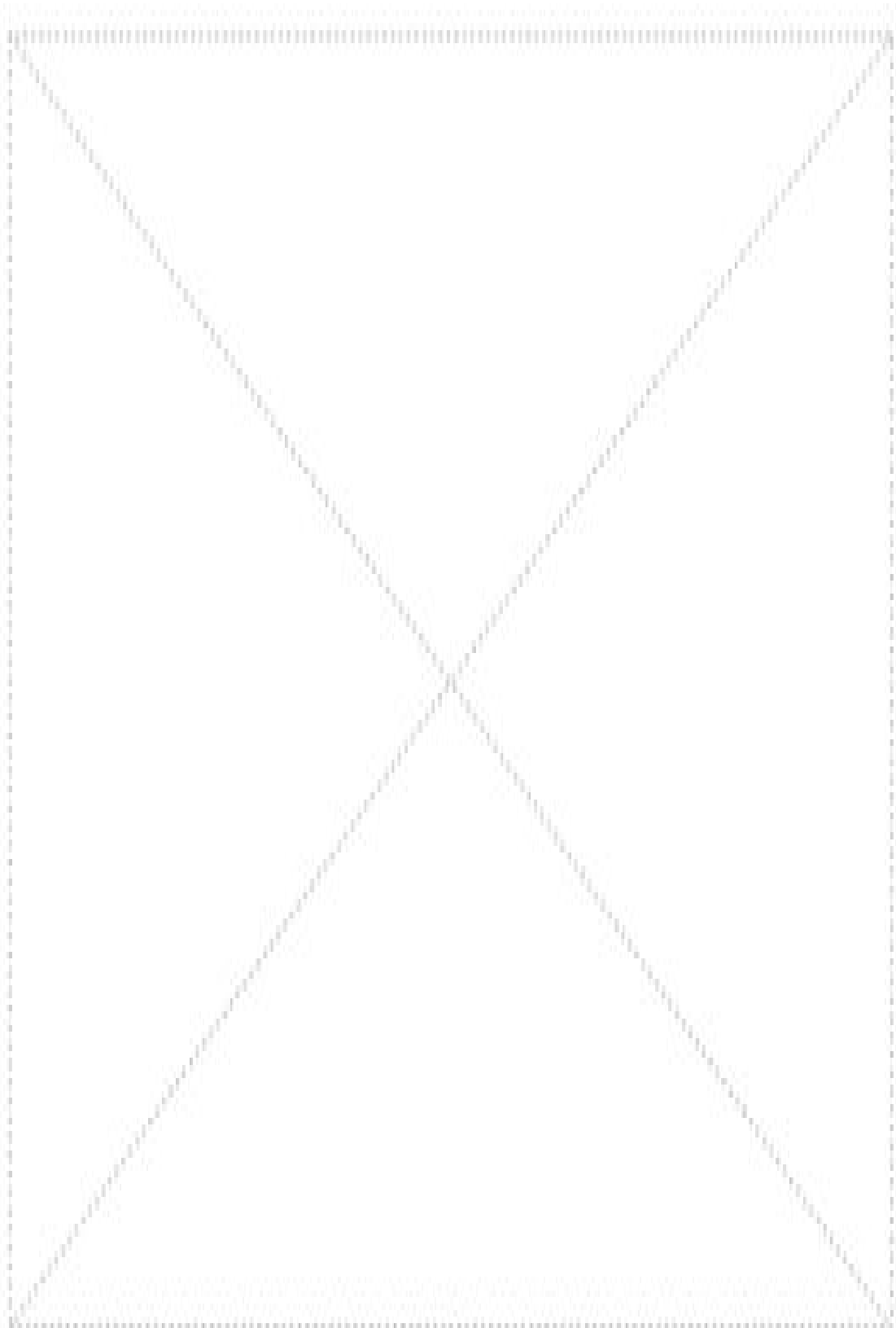


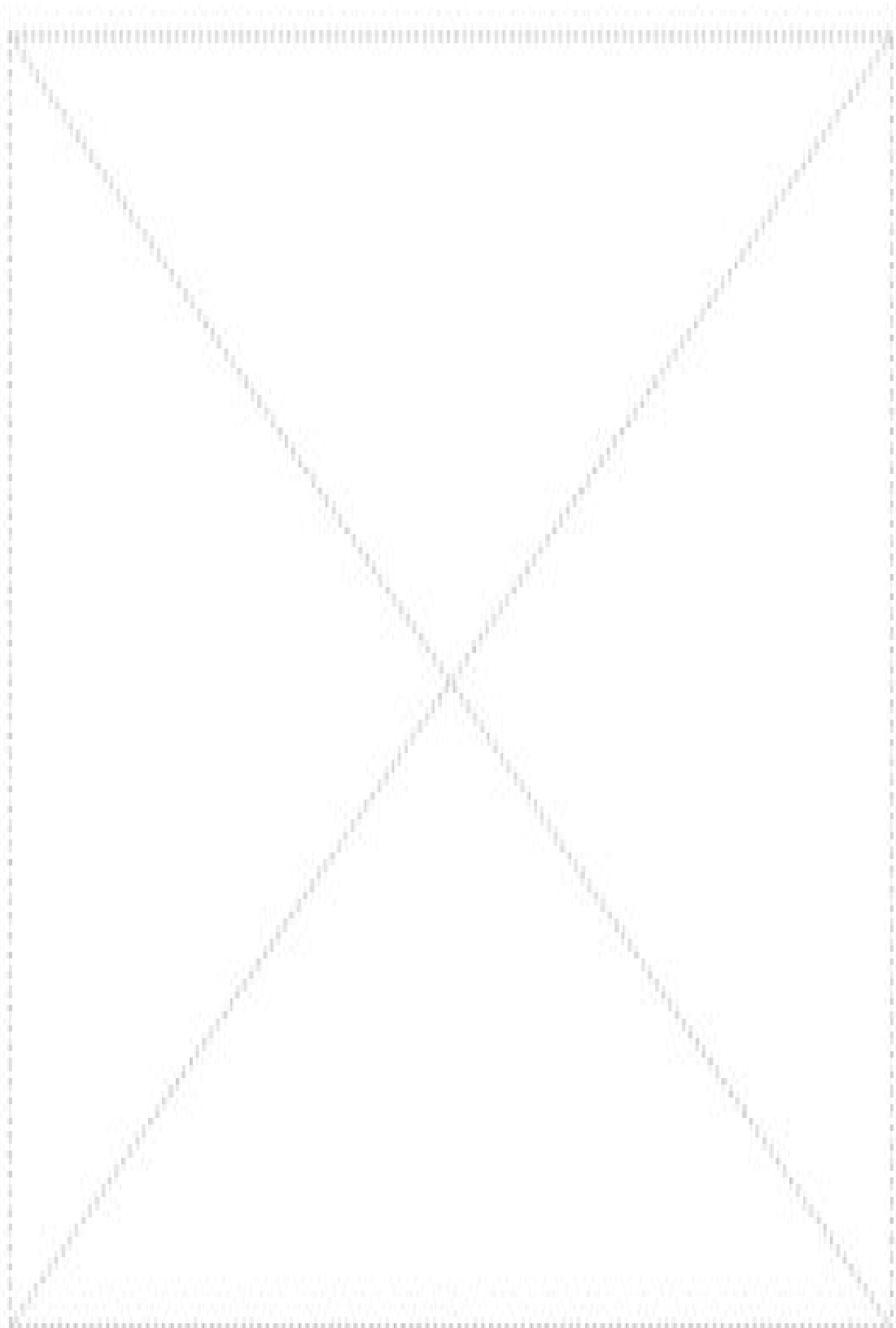


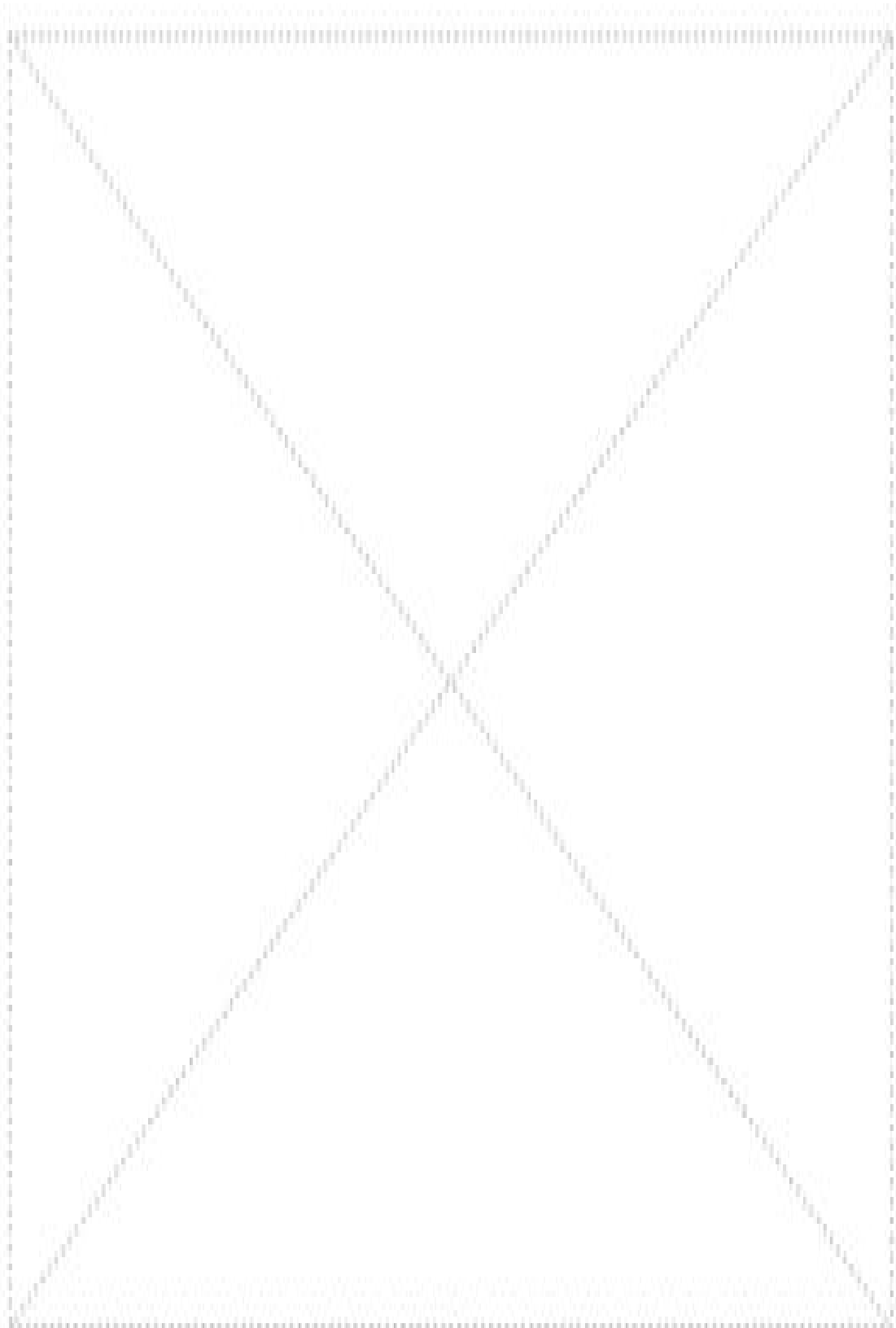


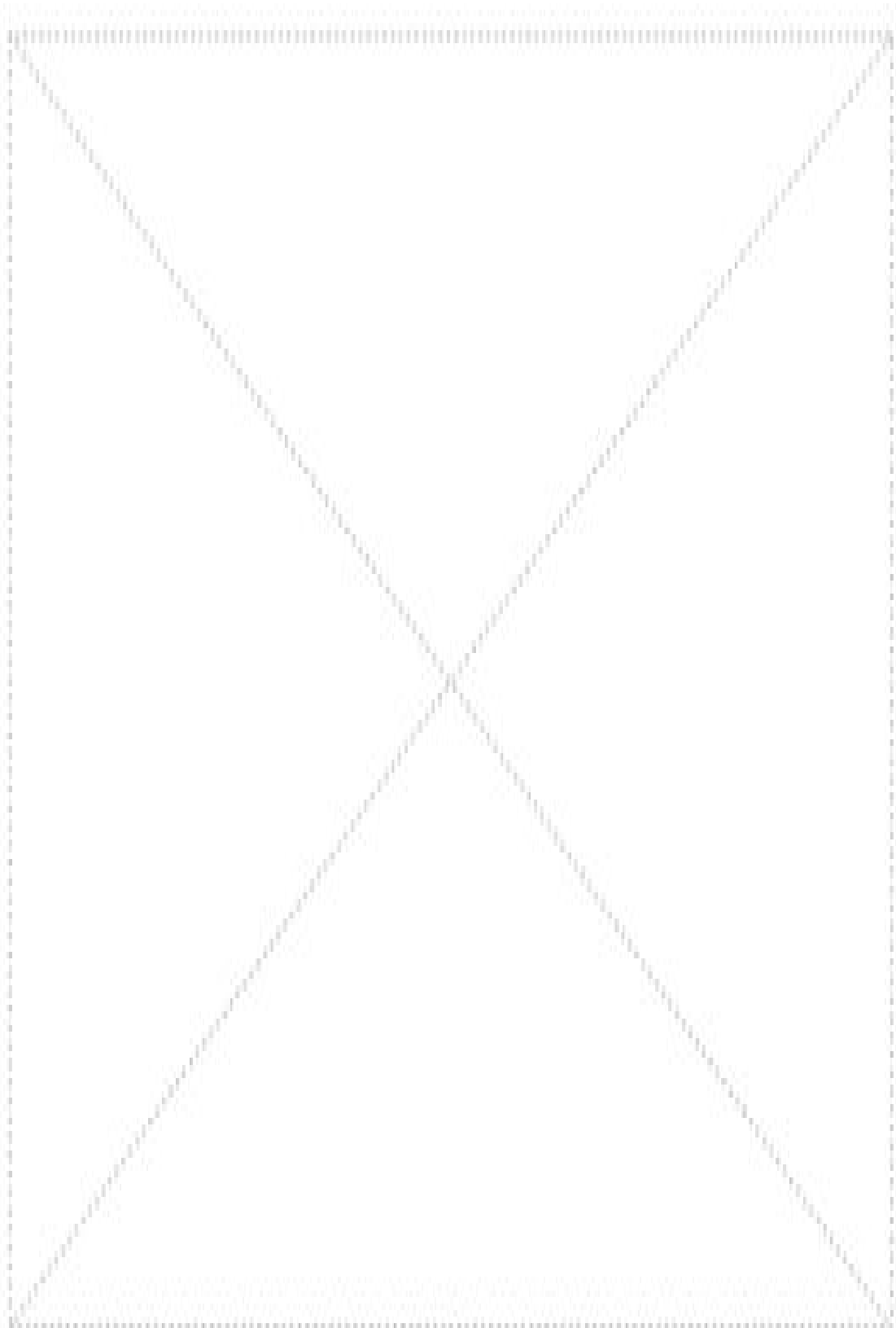


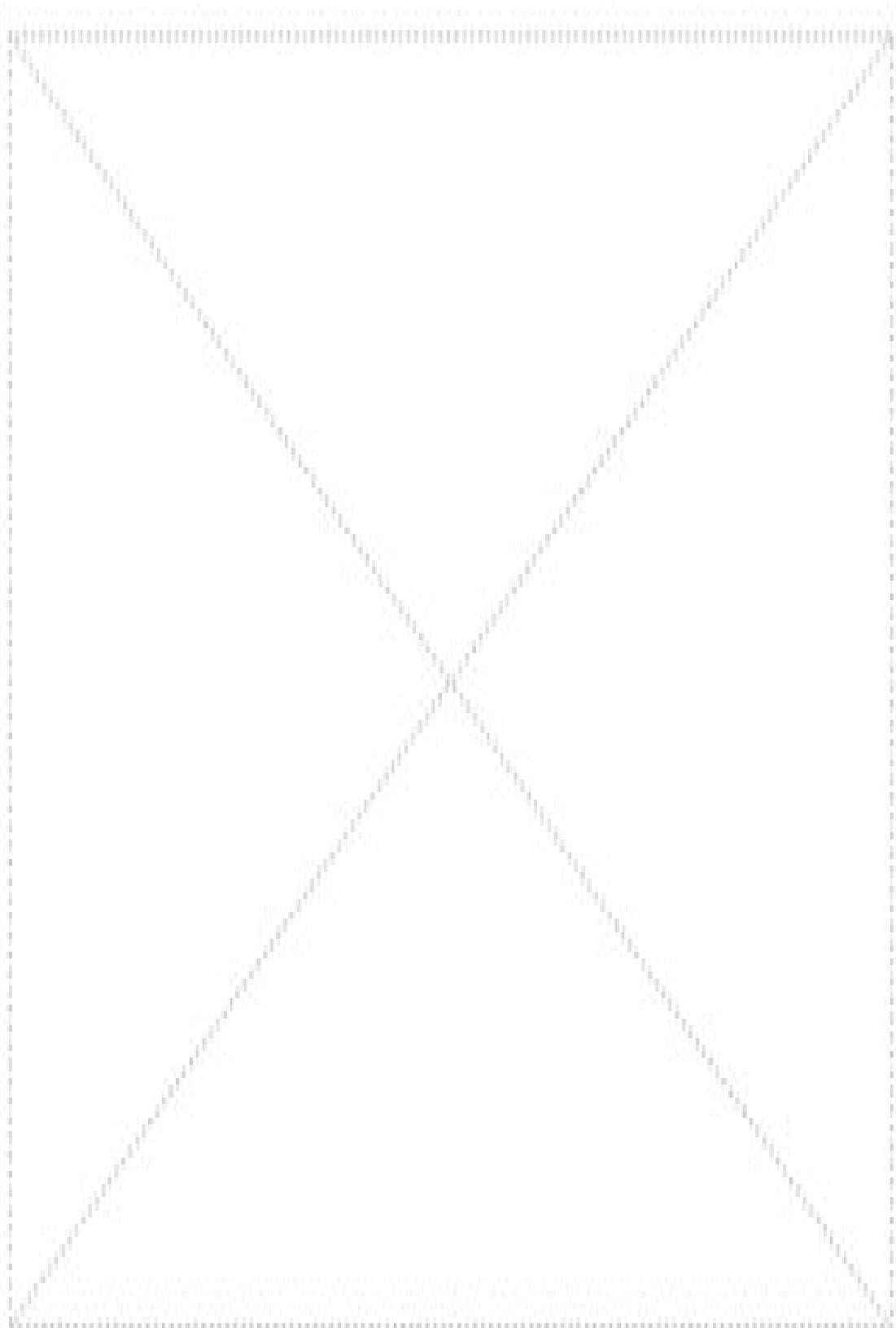


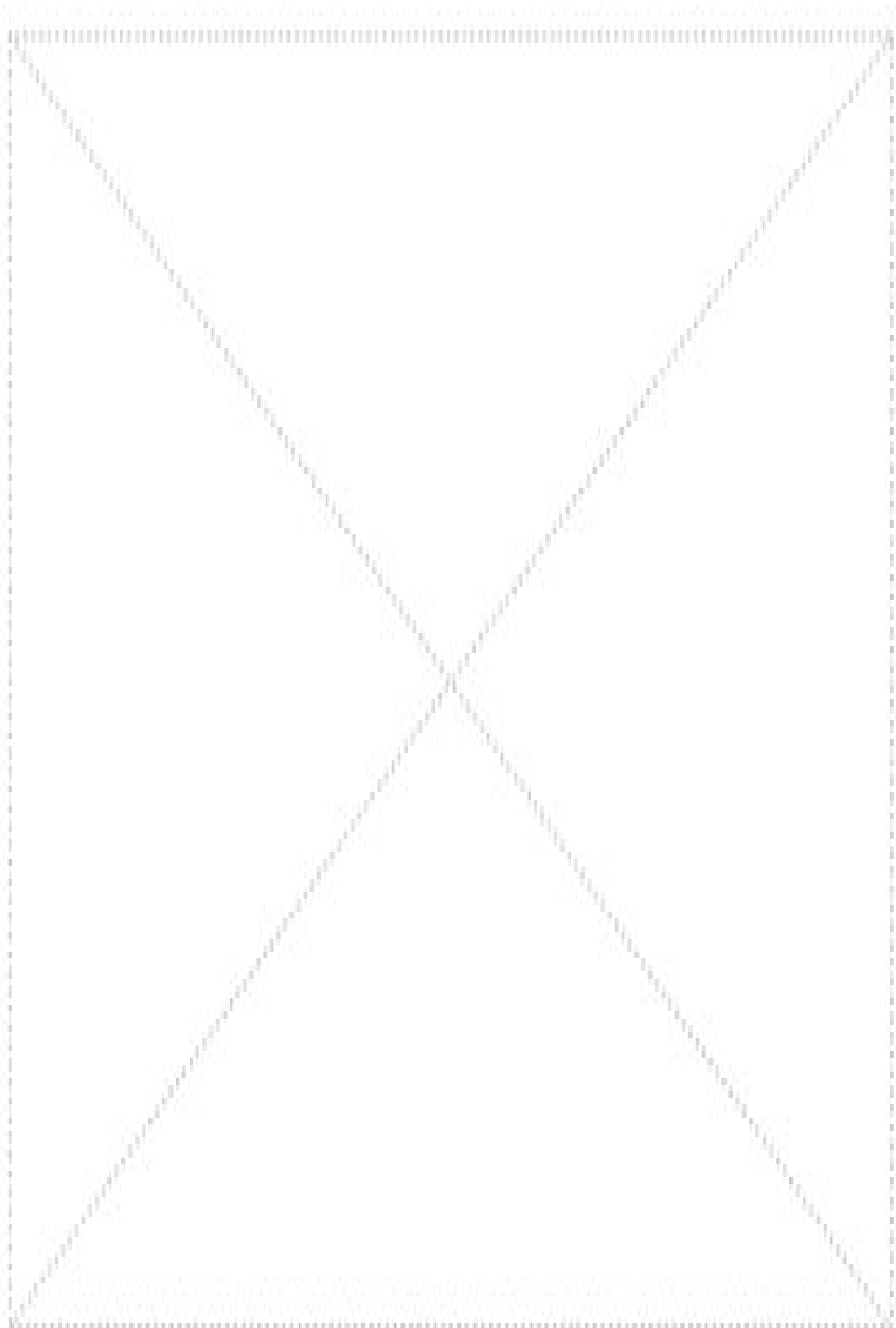


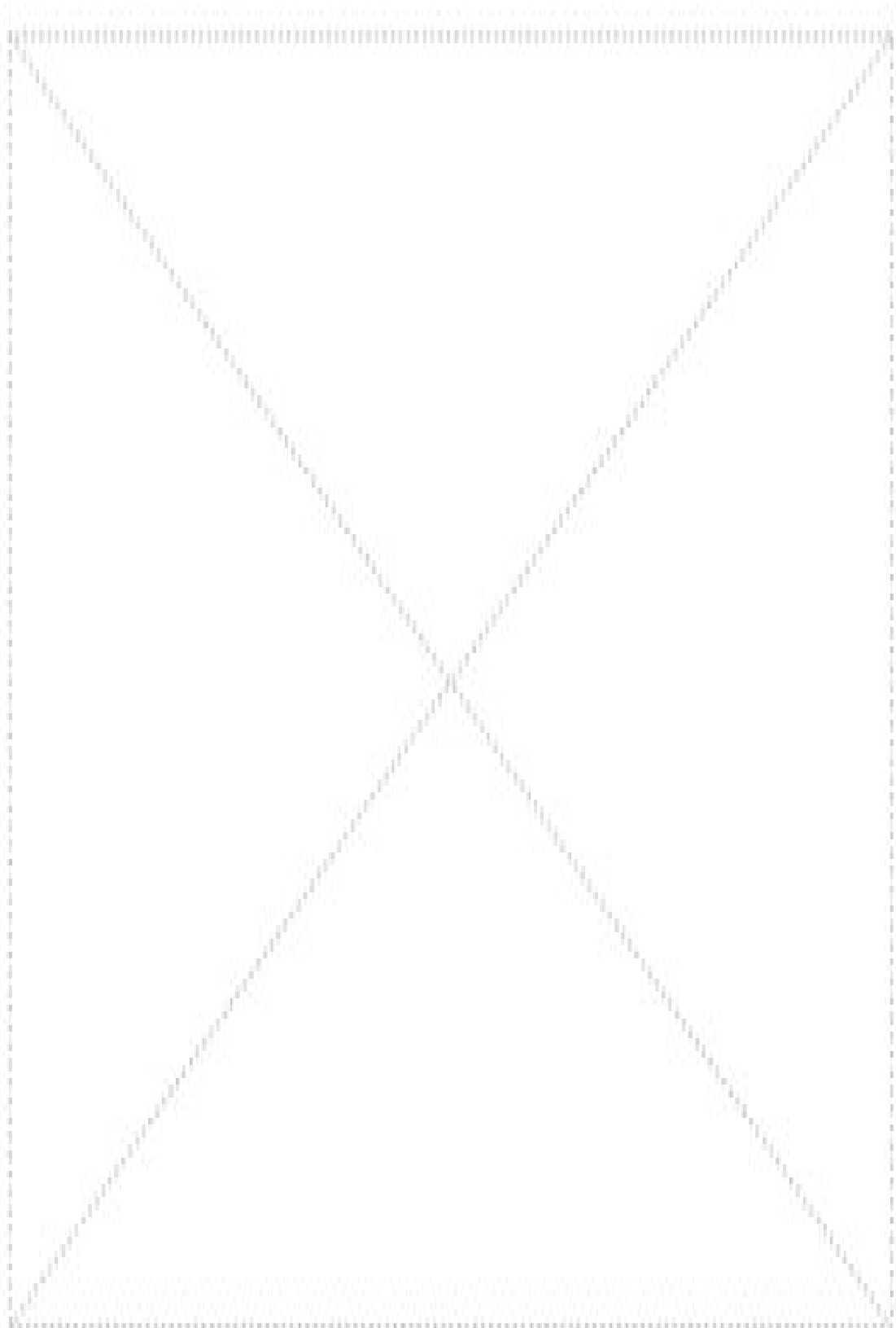


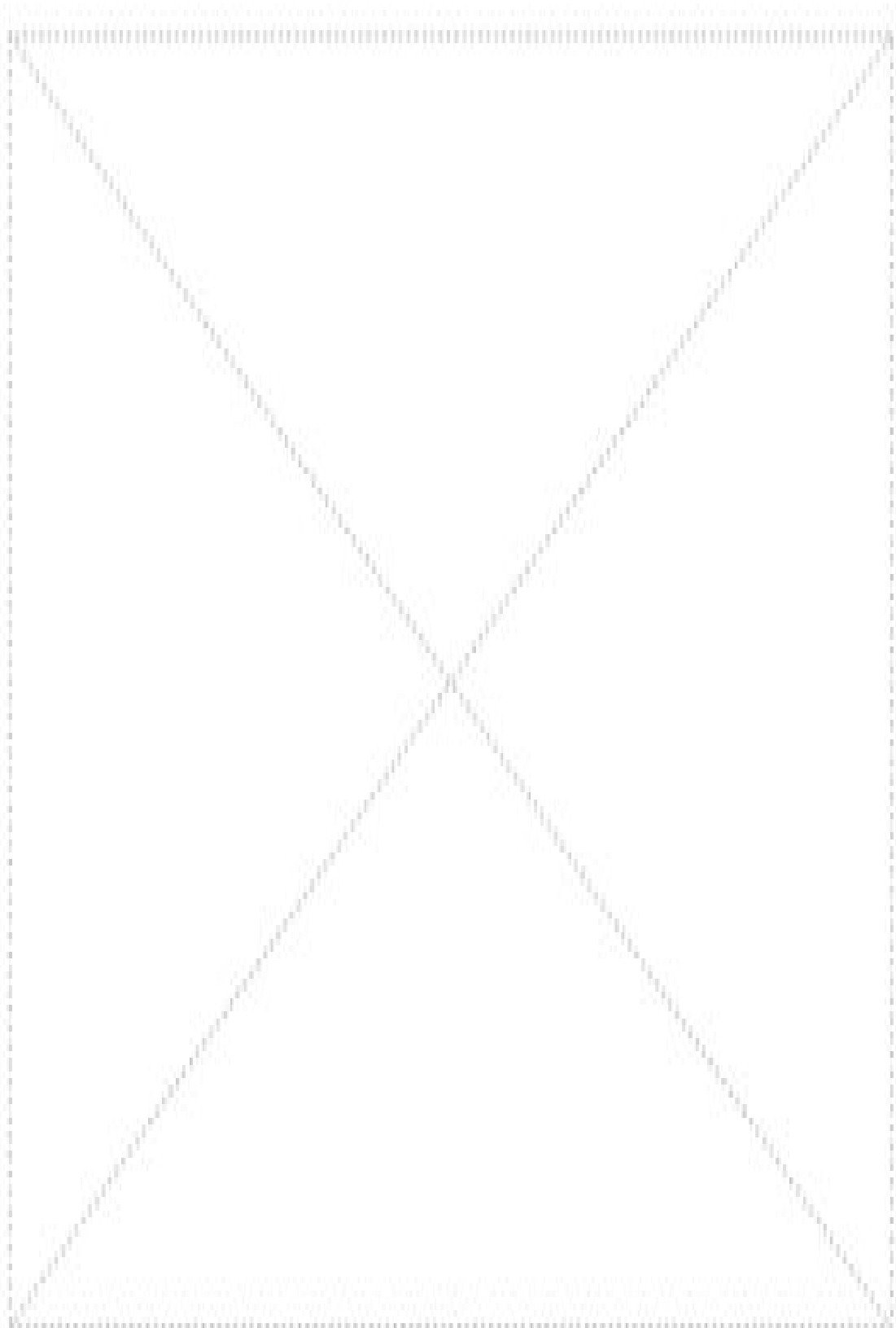


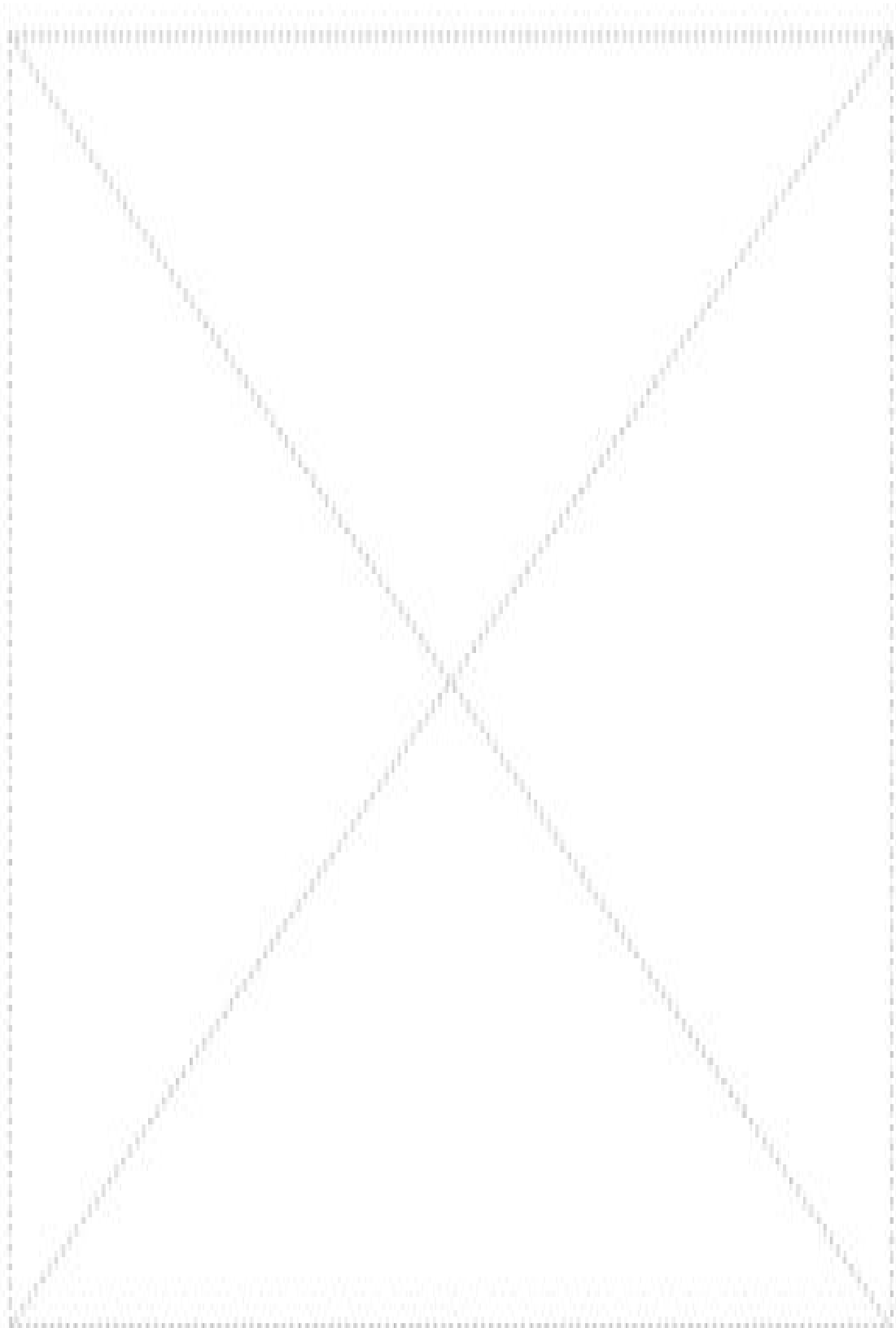


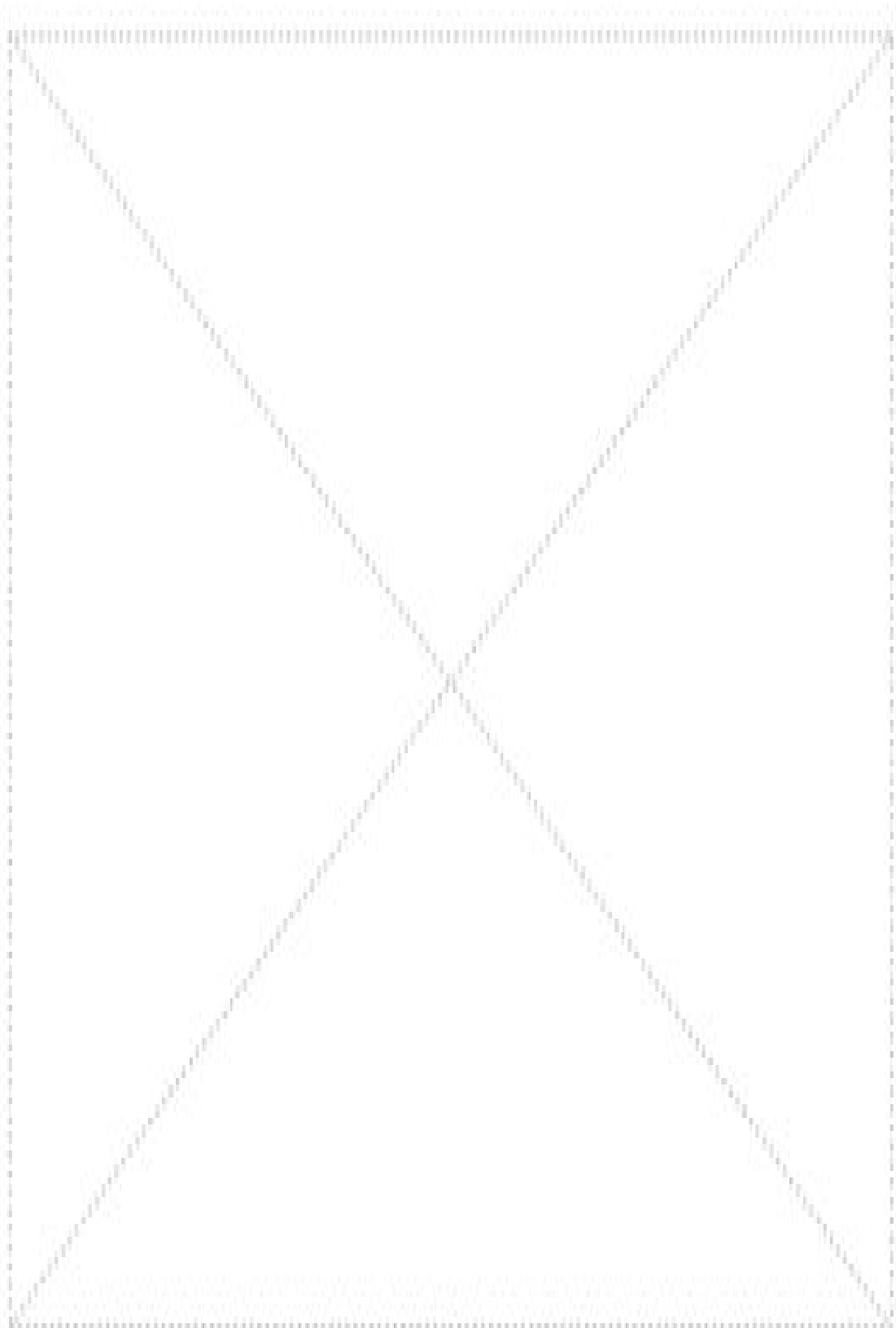


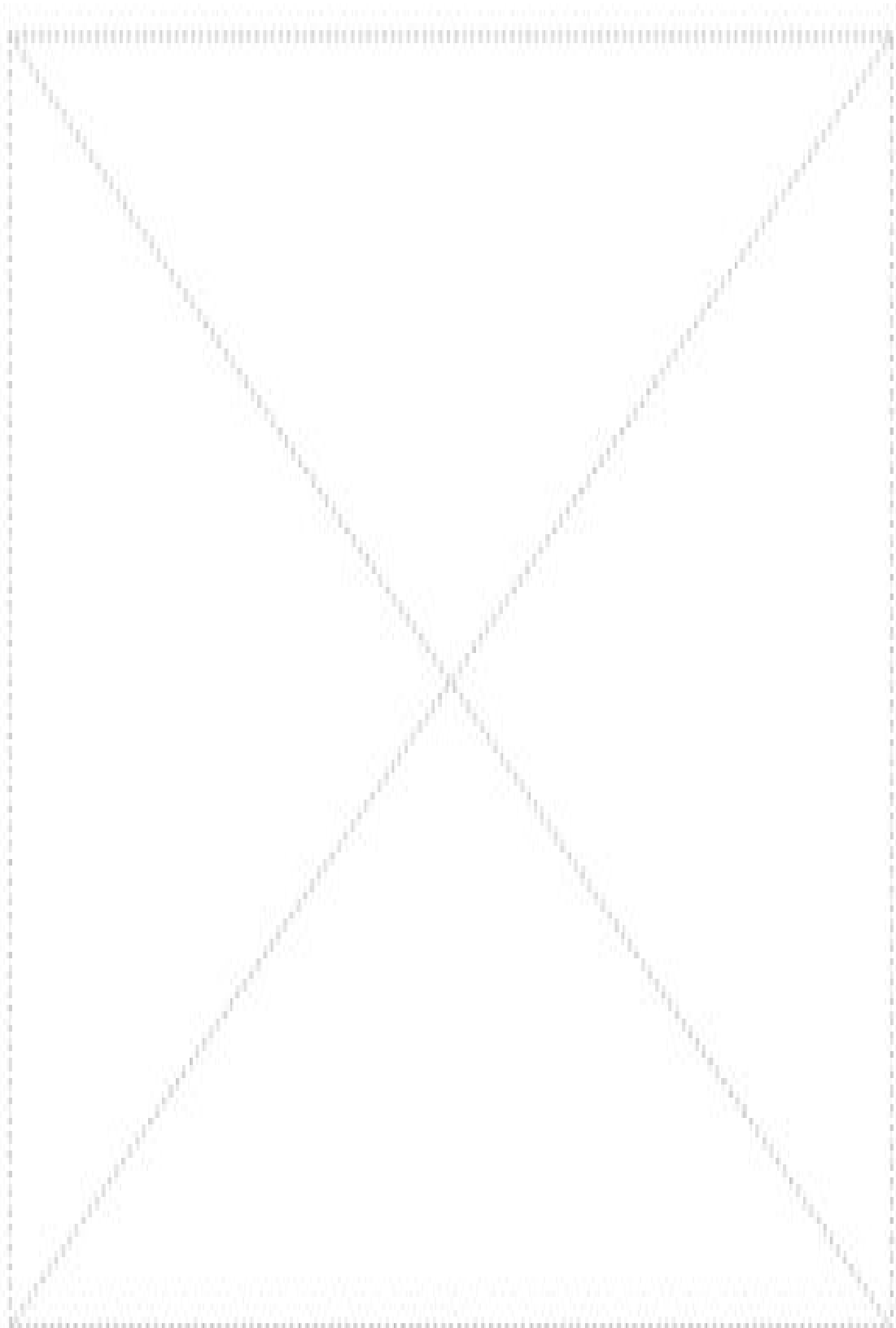




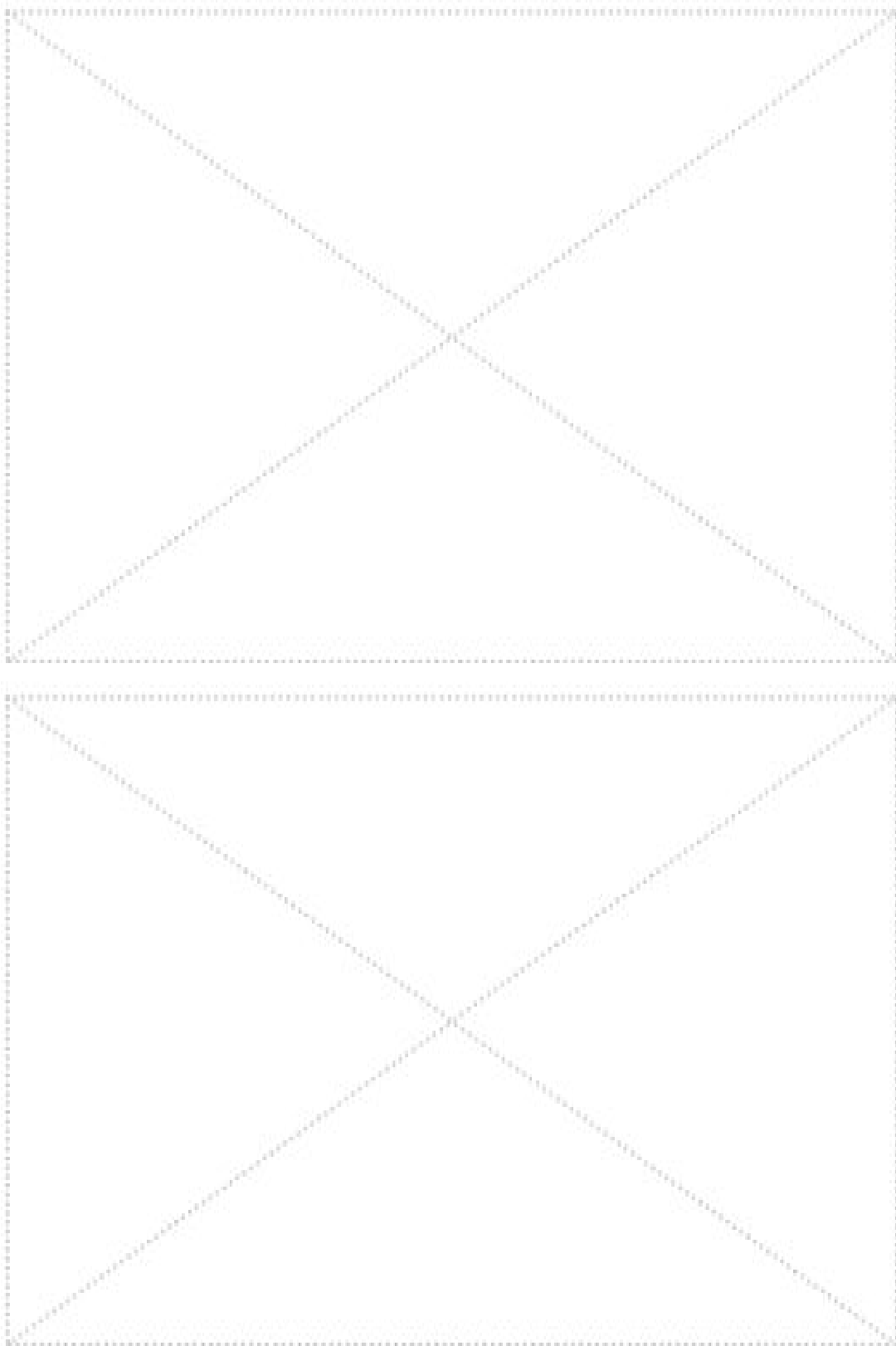


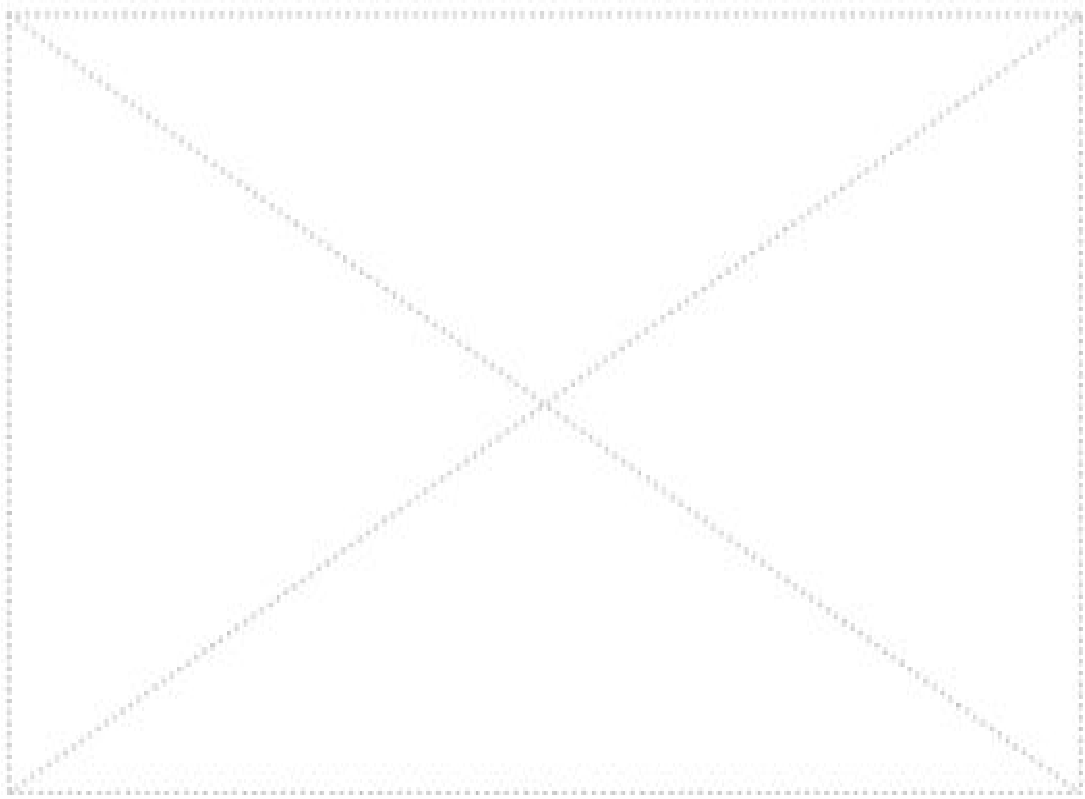
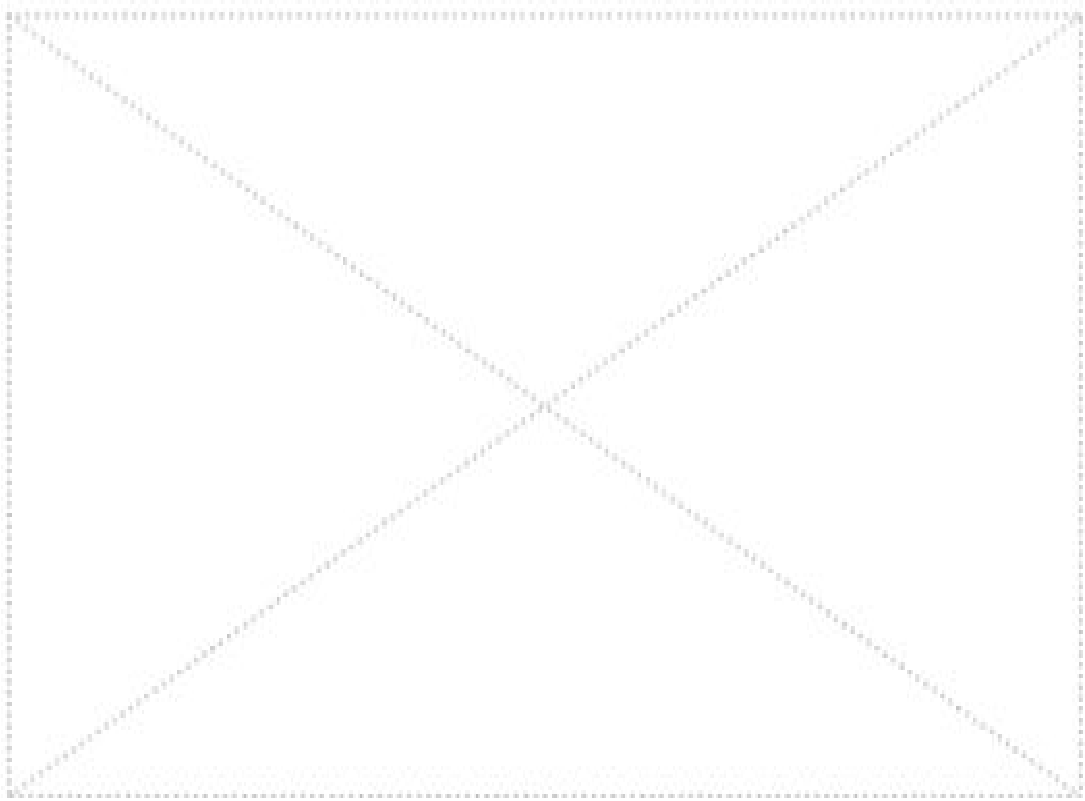


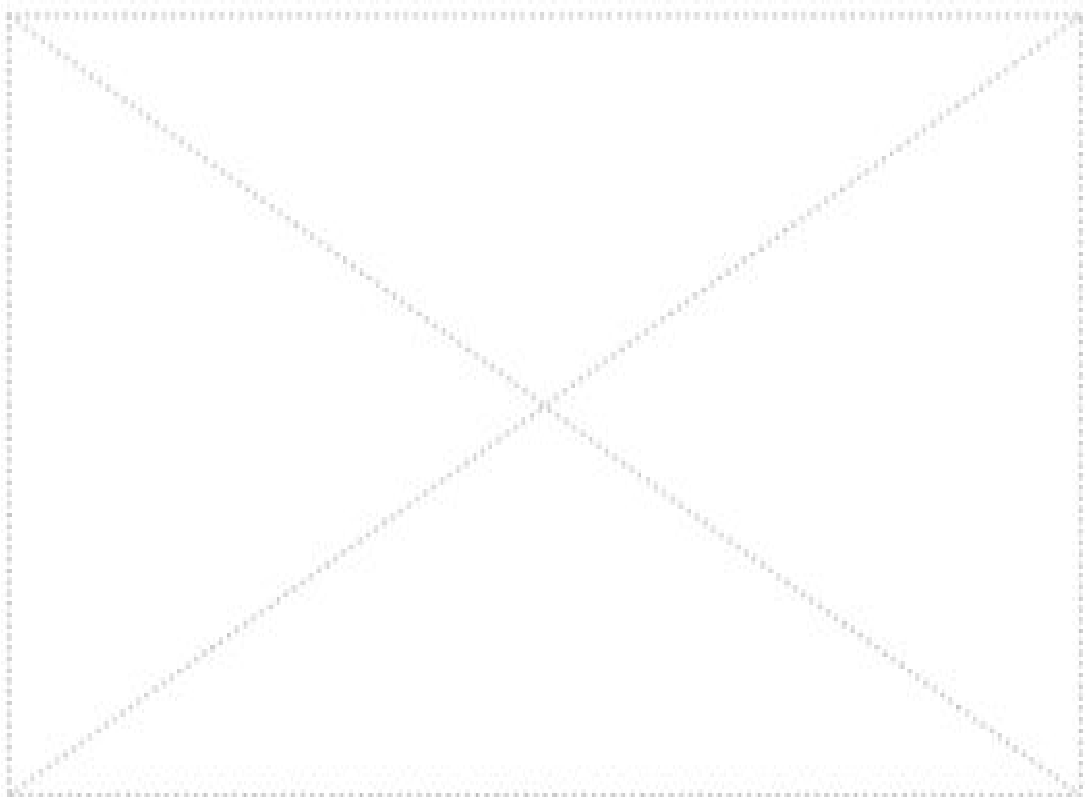
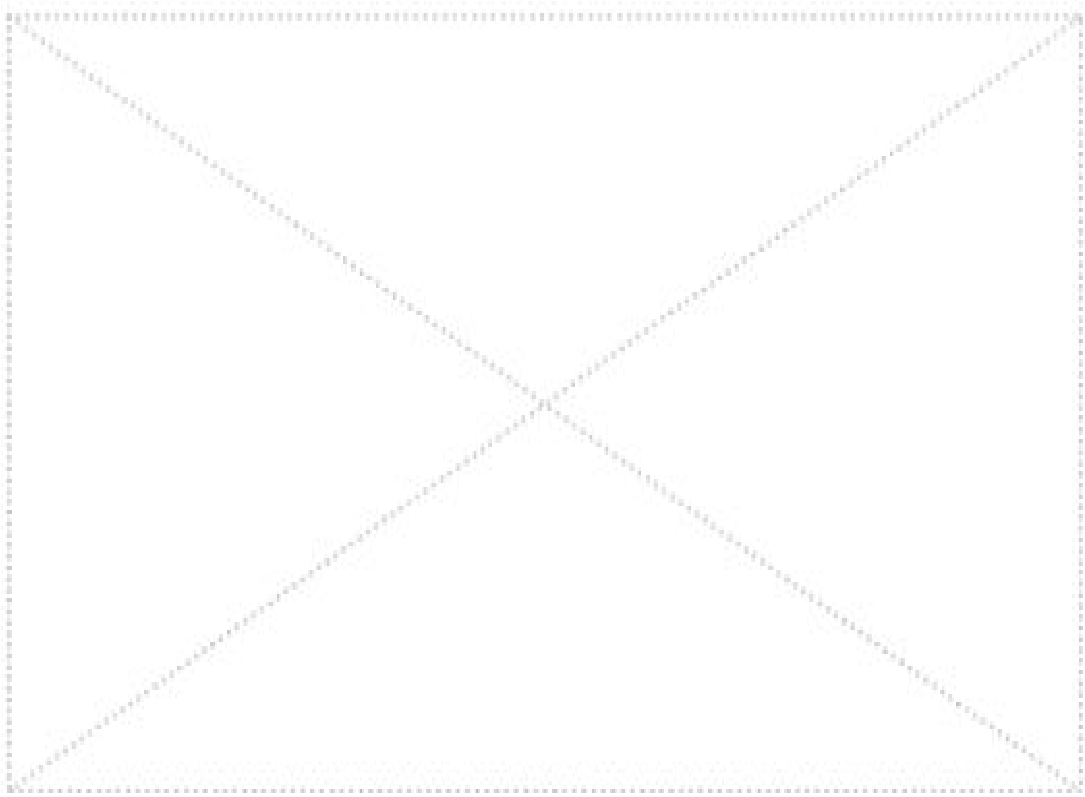


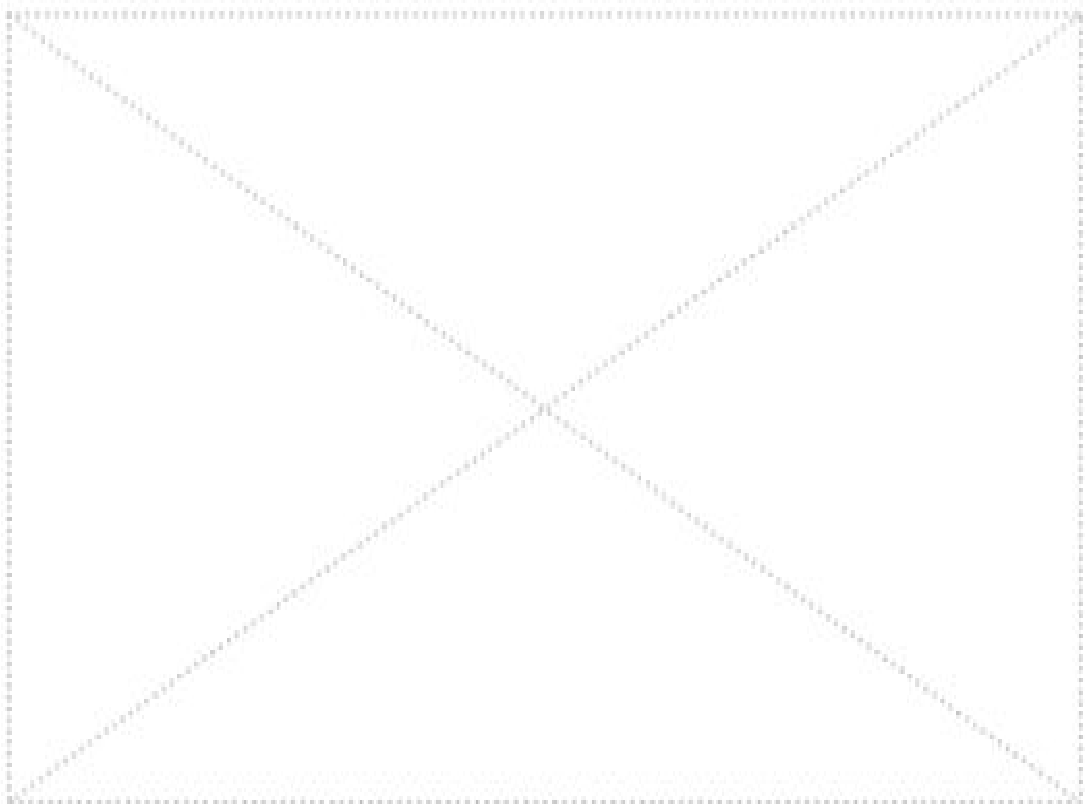
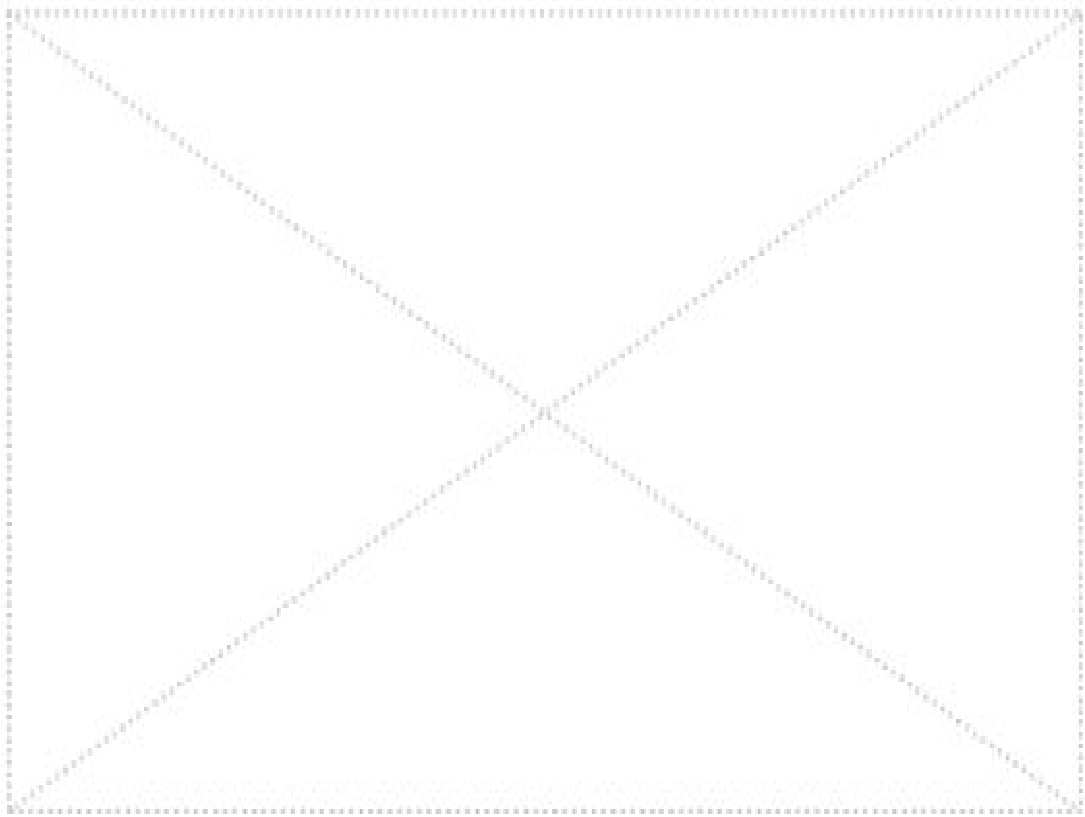


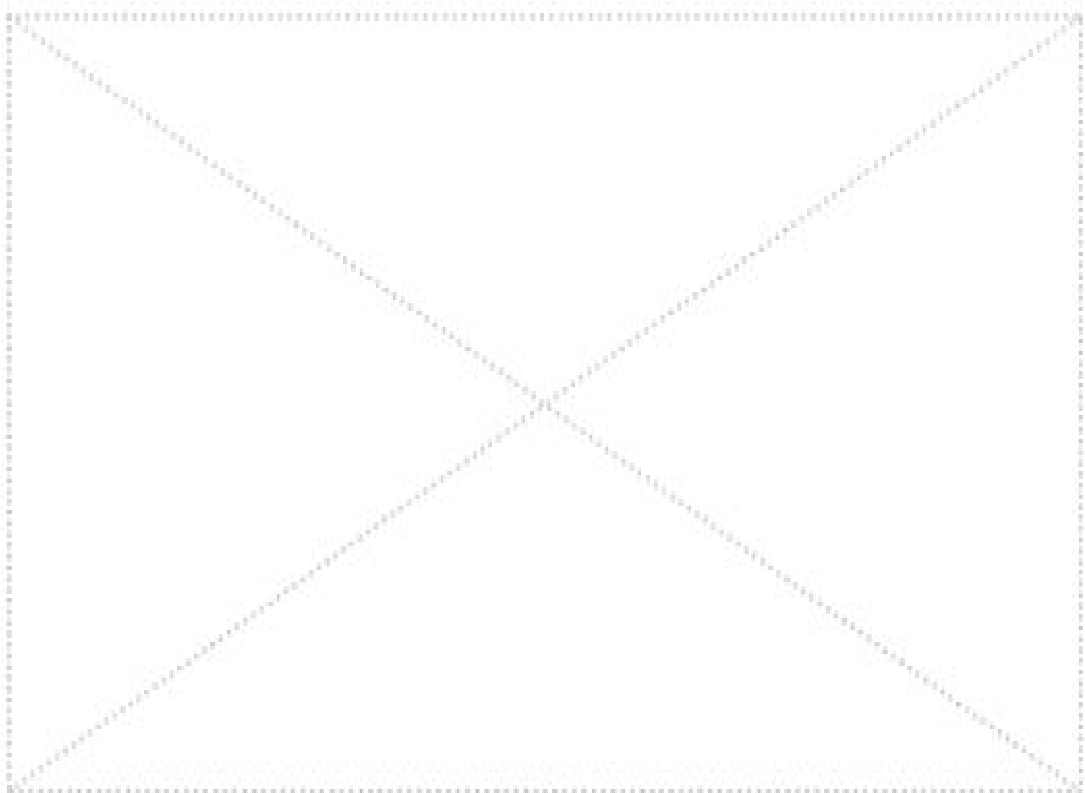
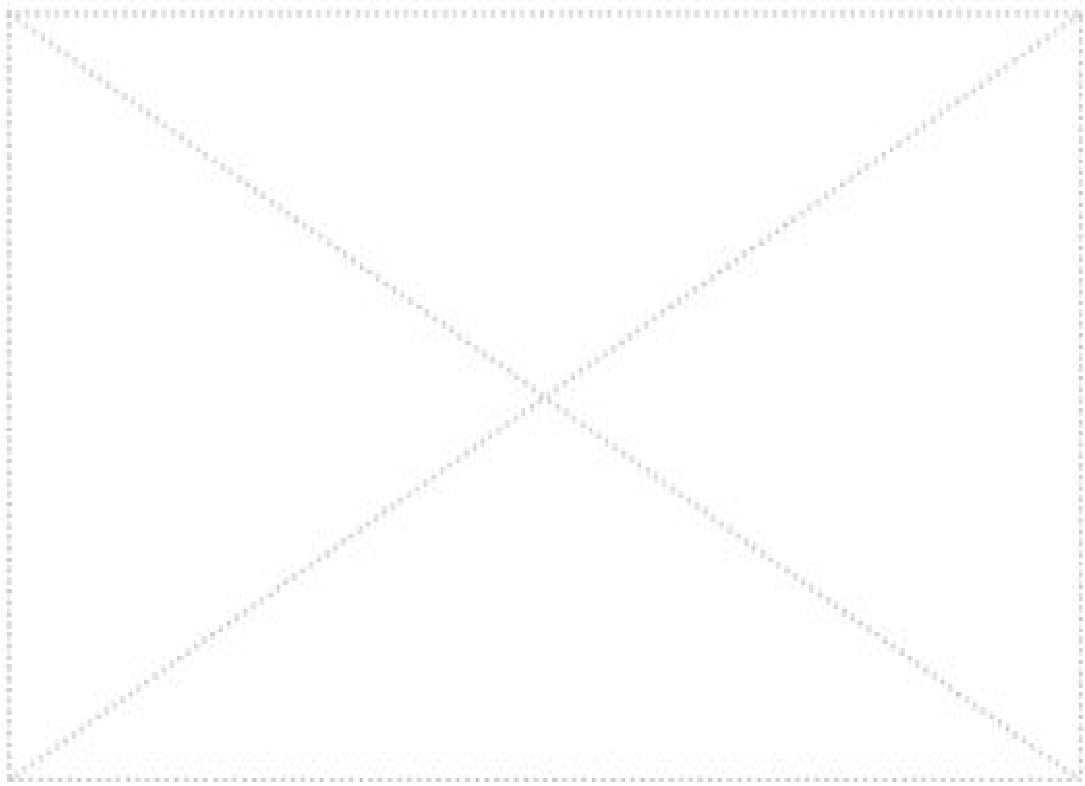
붙임 6. 제2차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

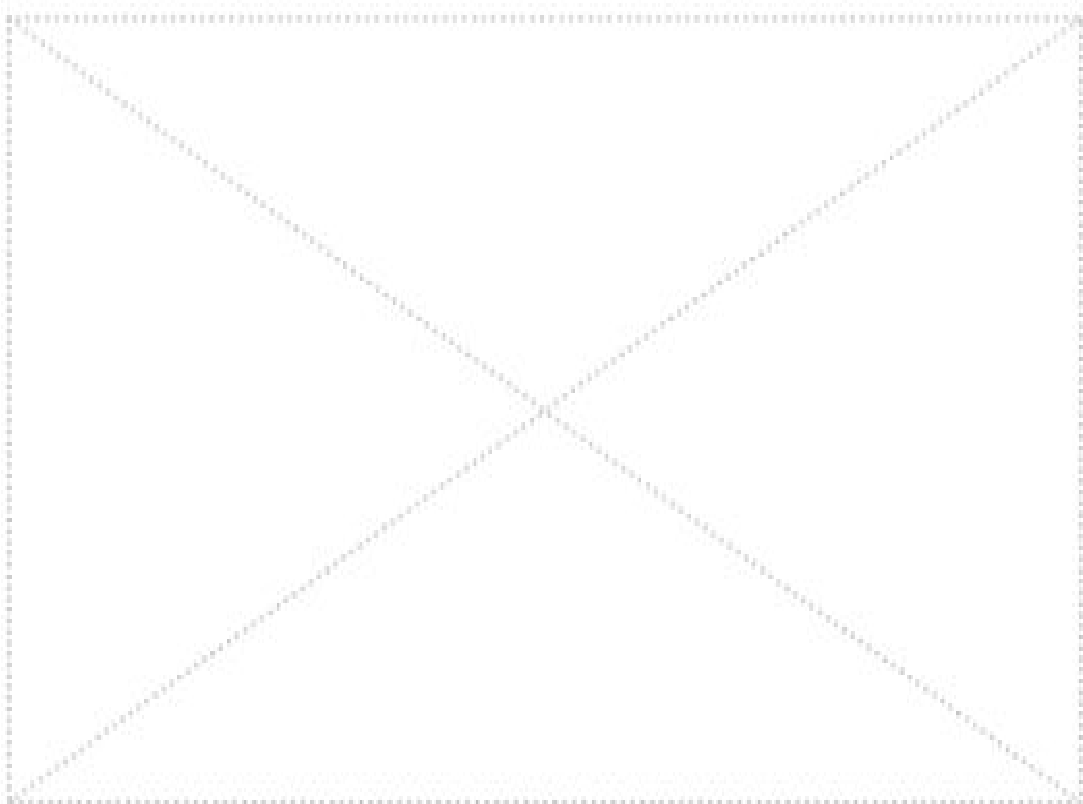
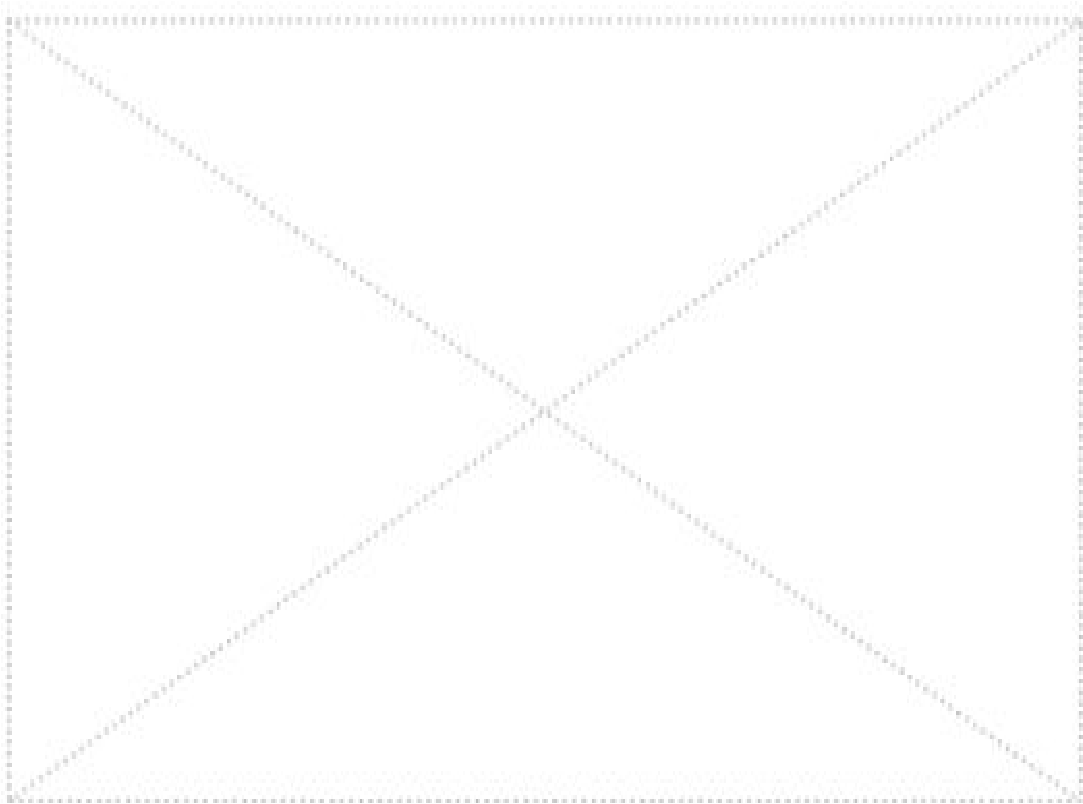


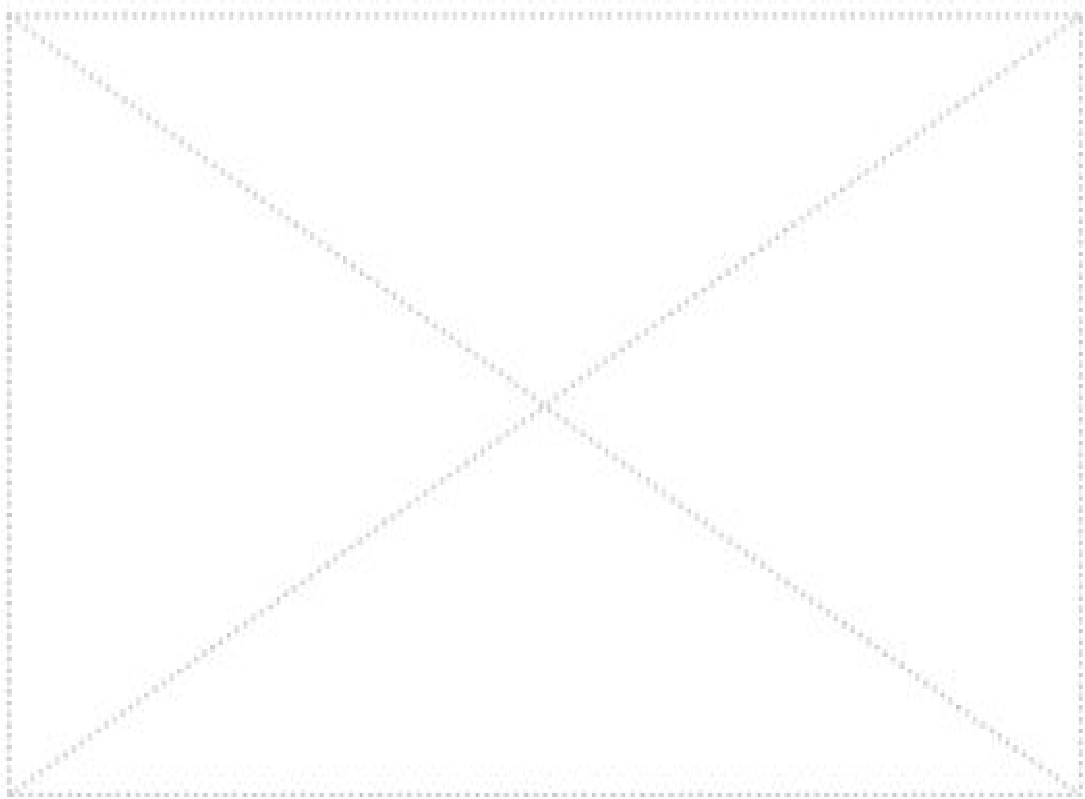
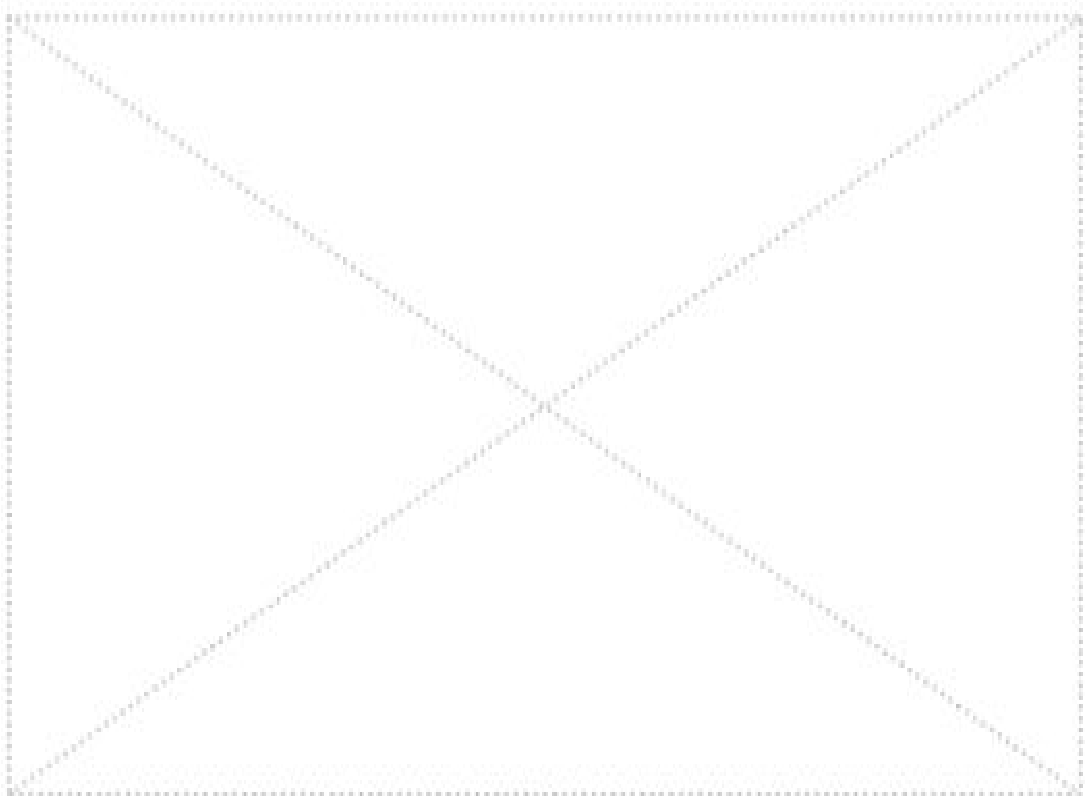


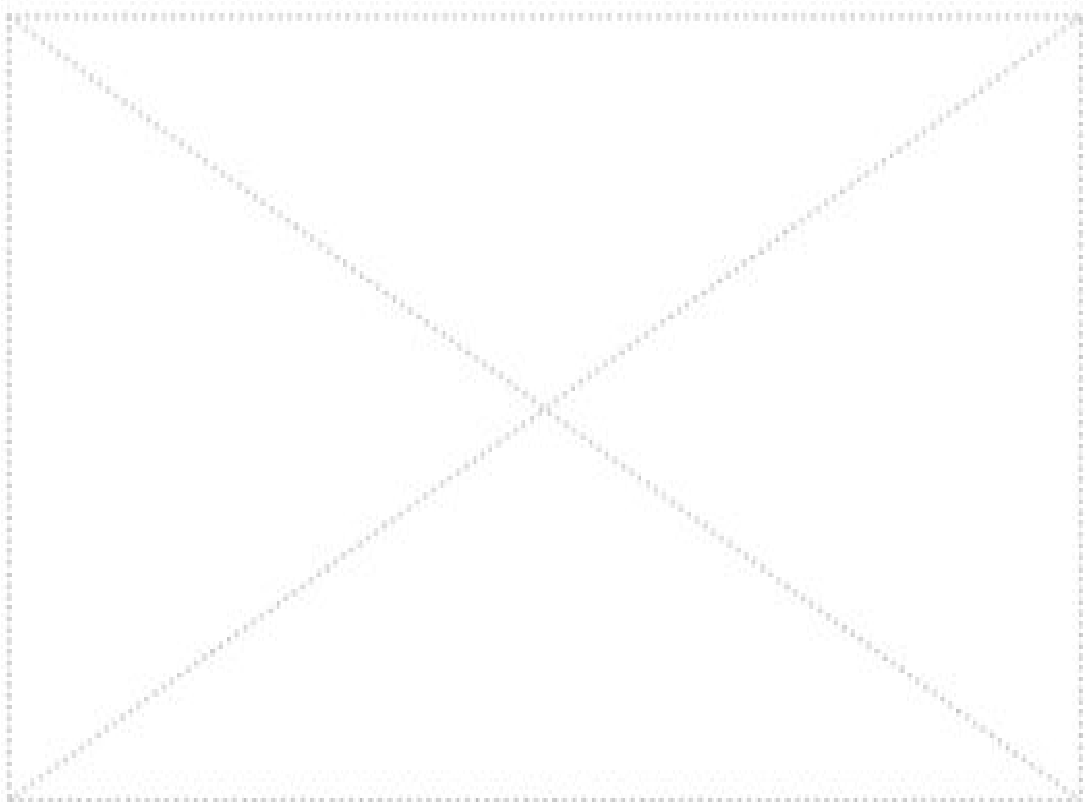
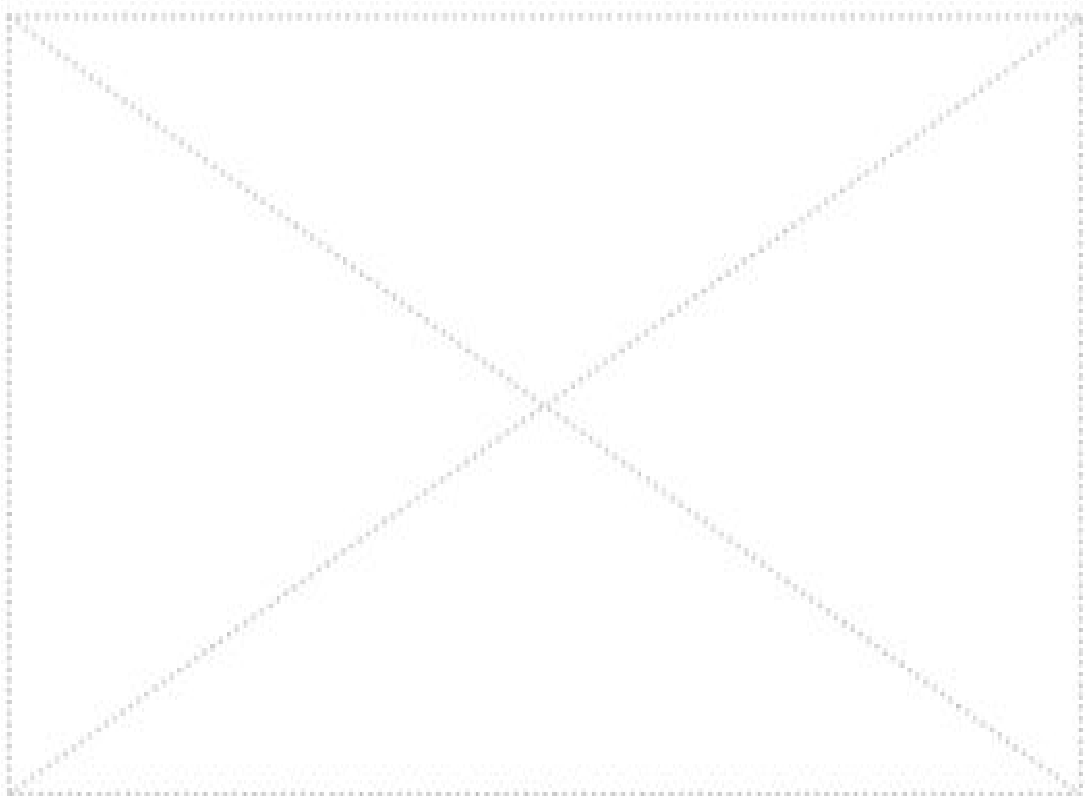




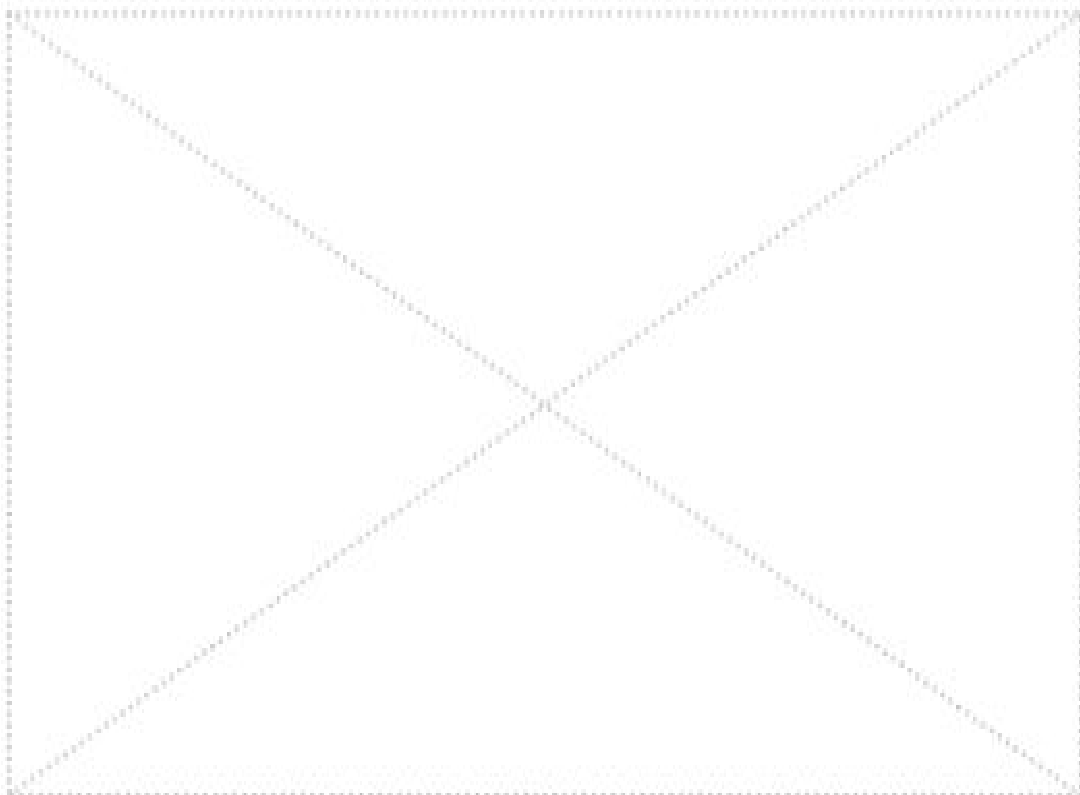
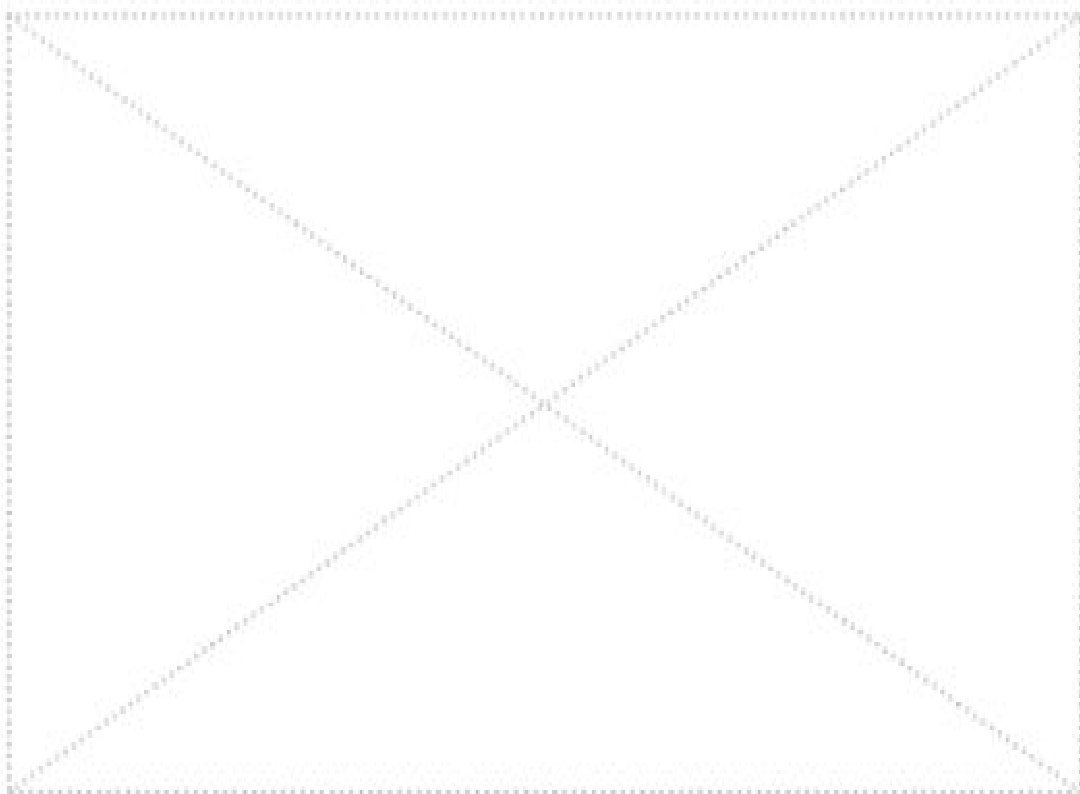


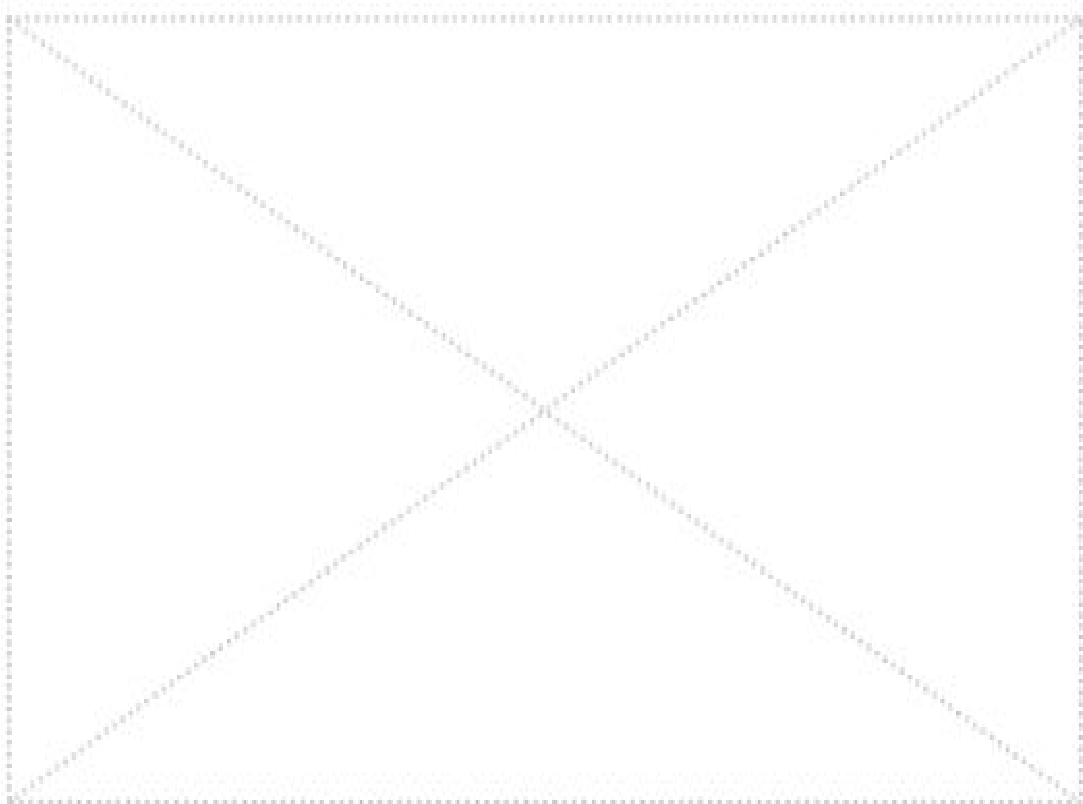
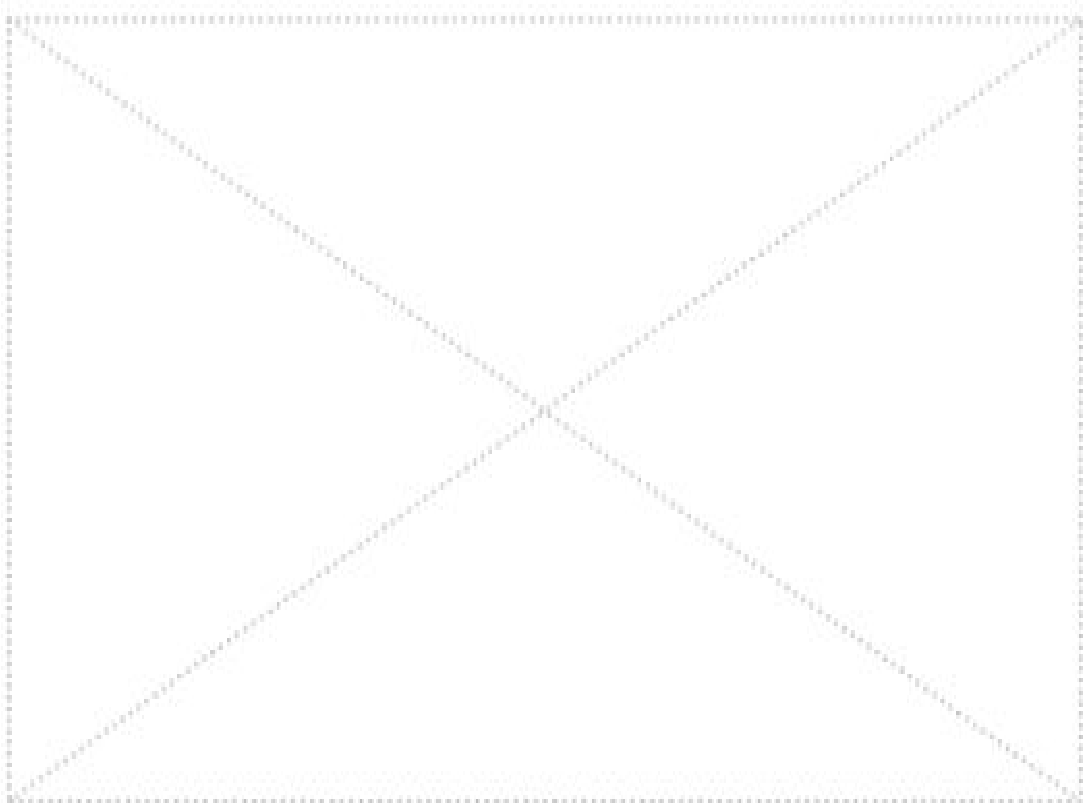


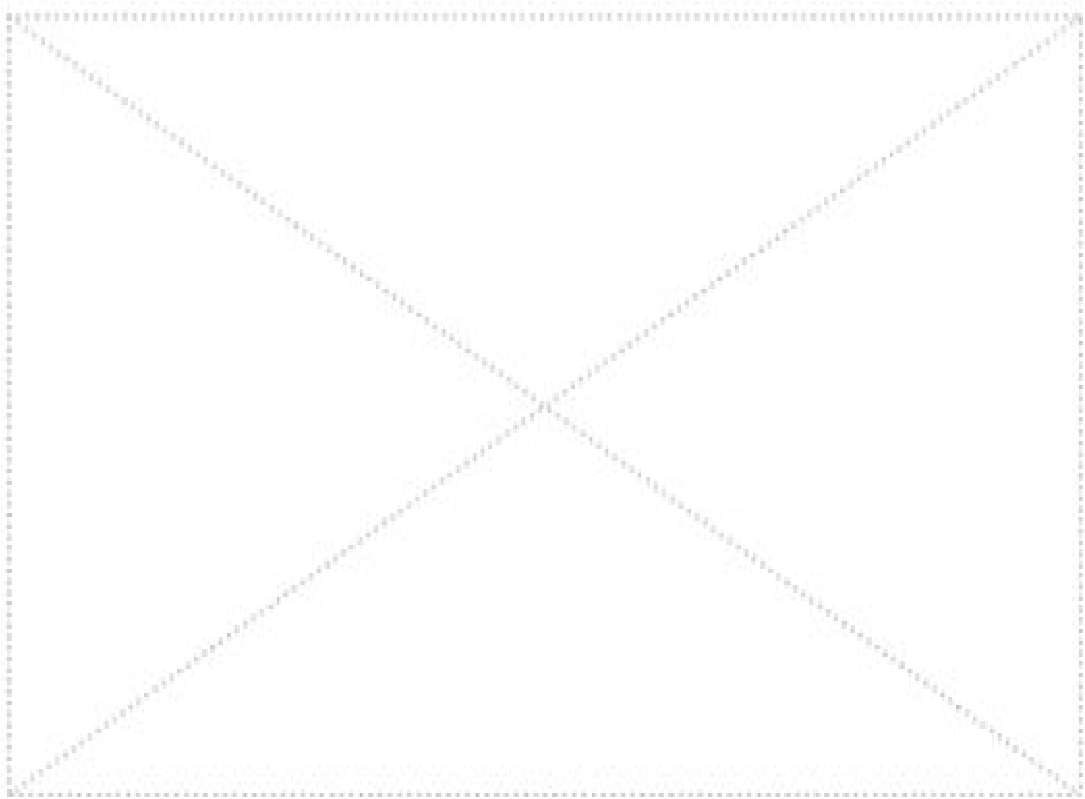
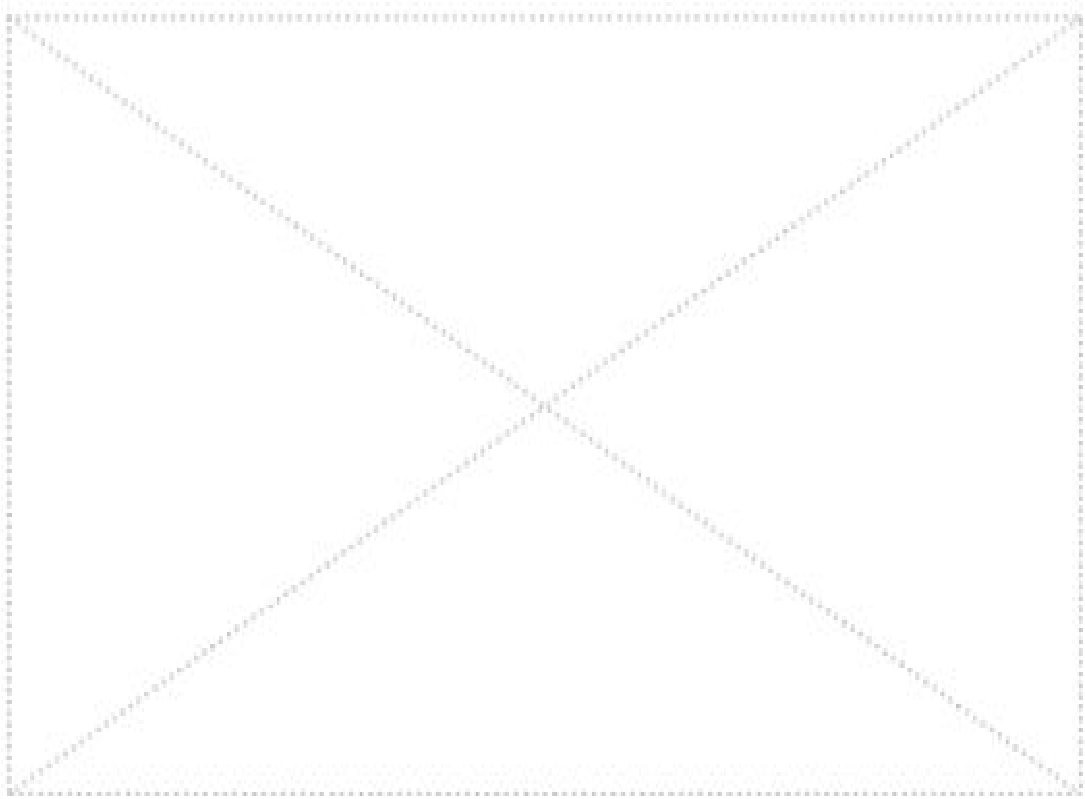


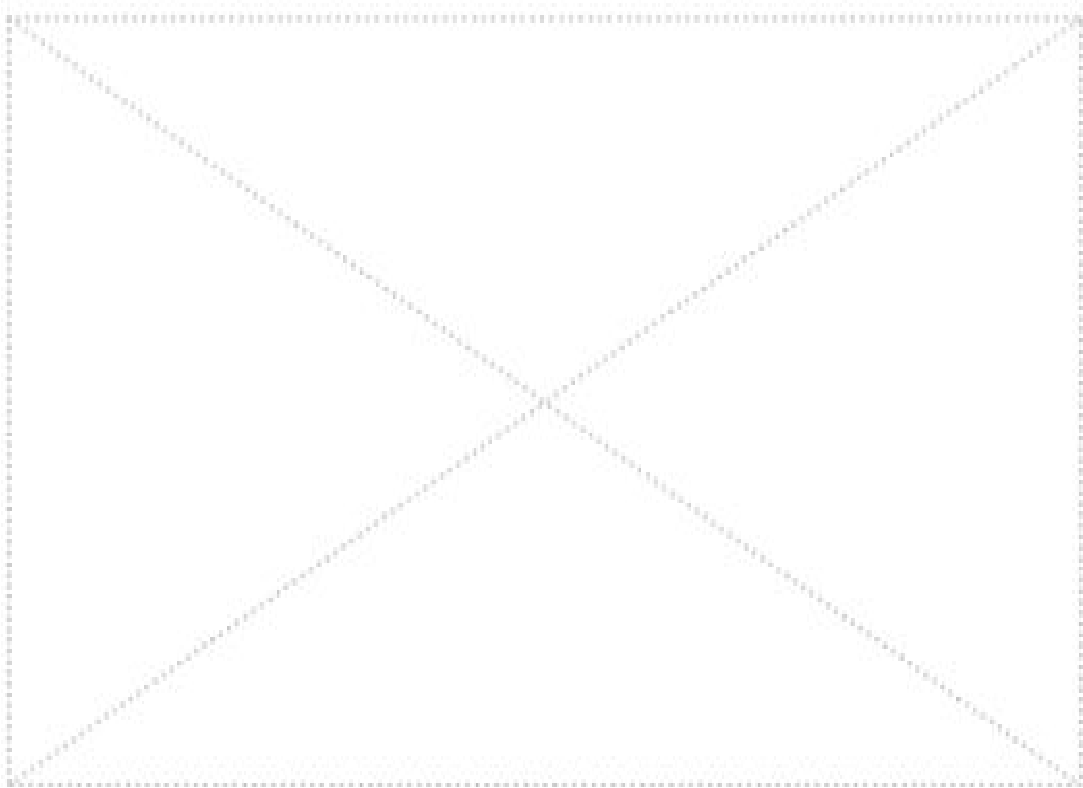
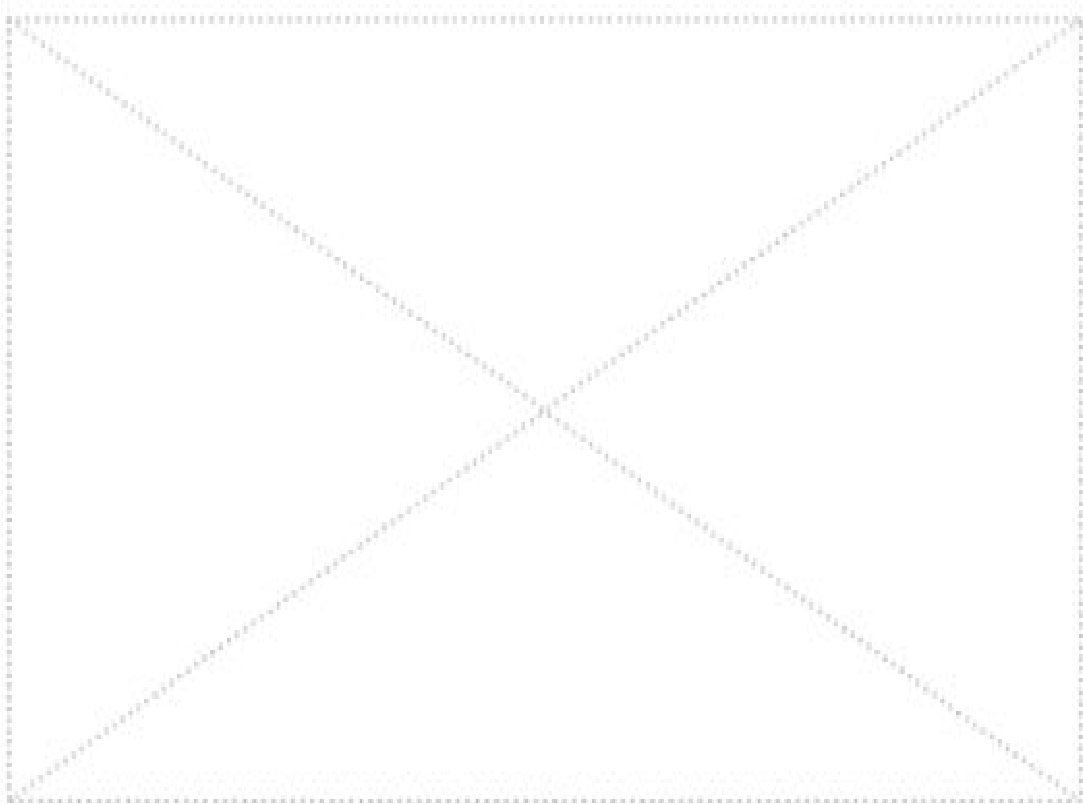


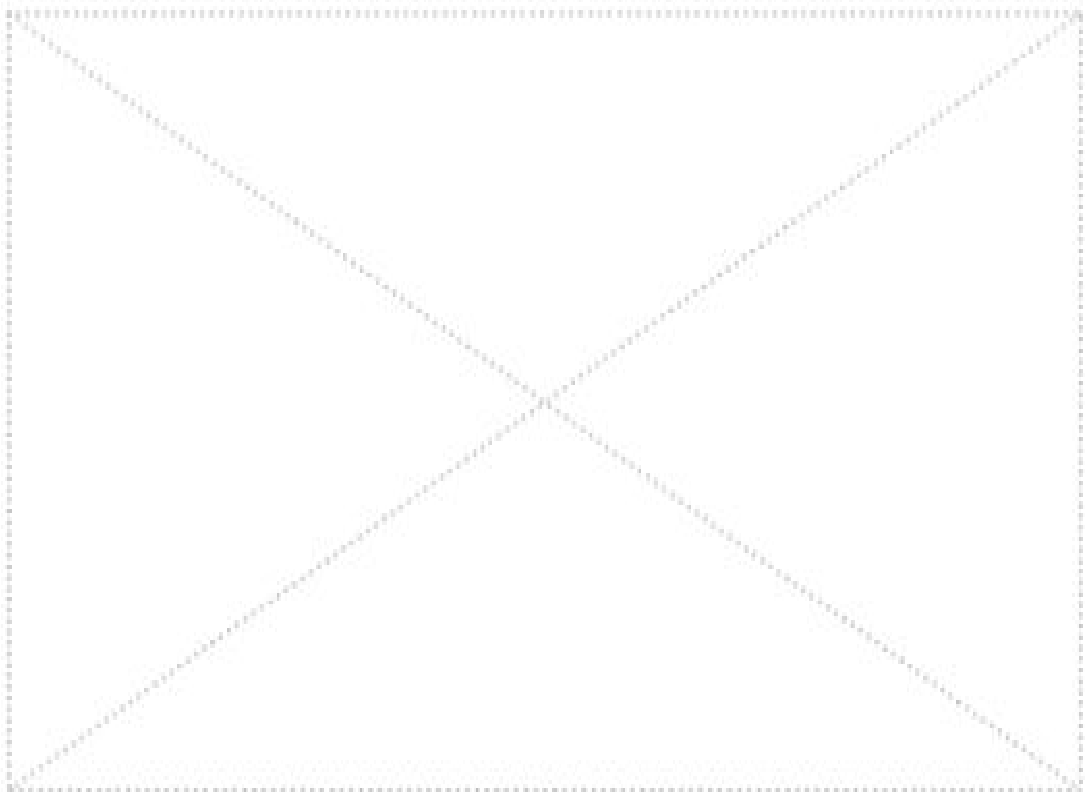
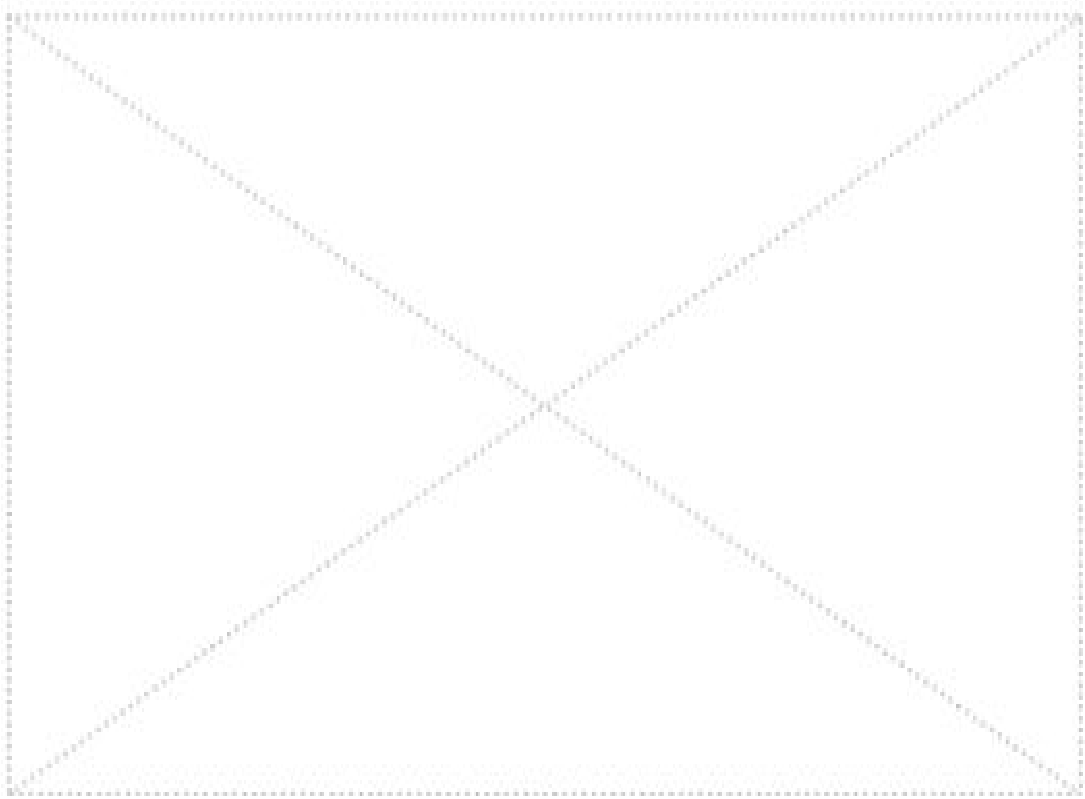
붙임 7. 제3차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

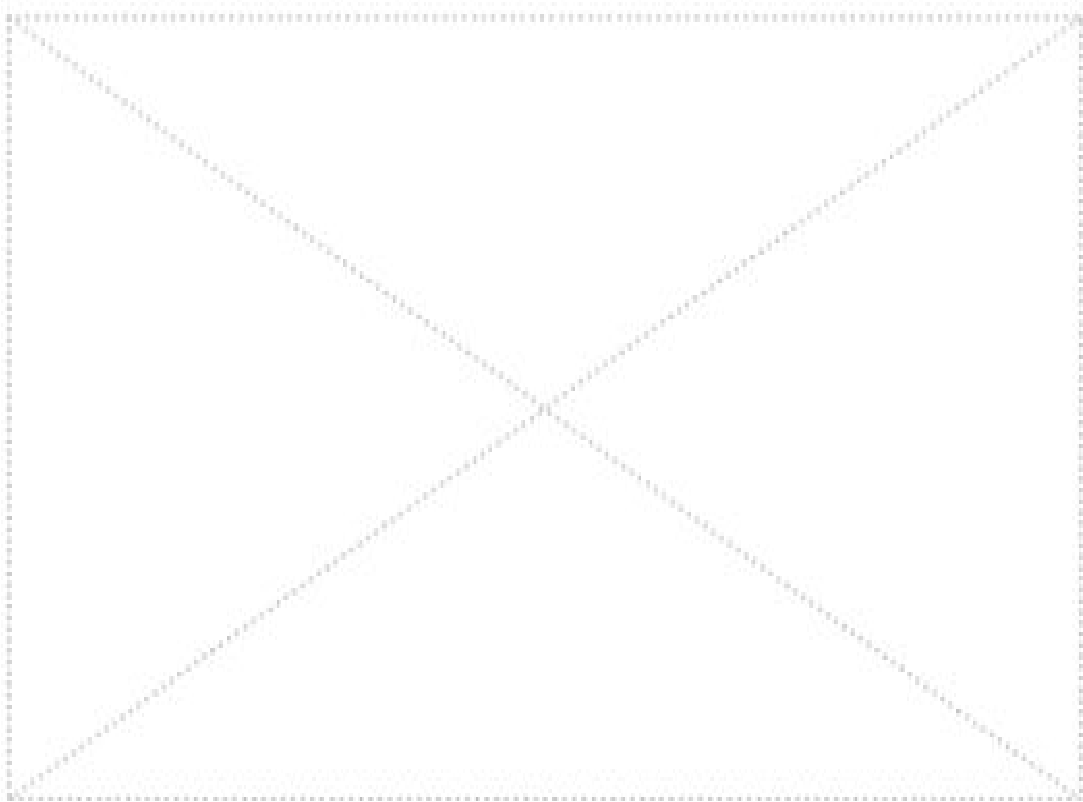
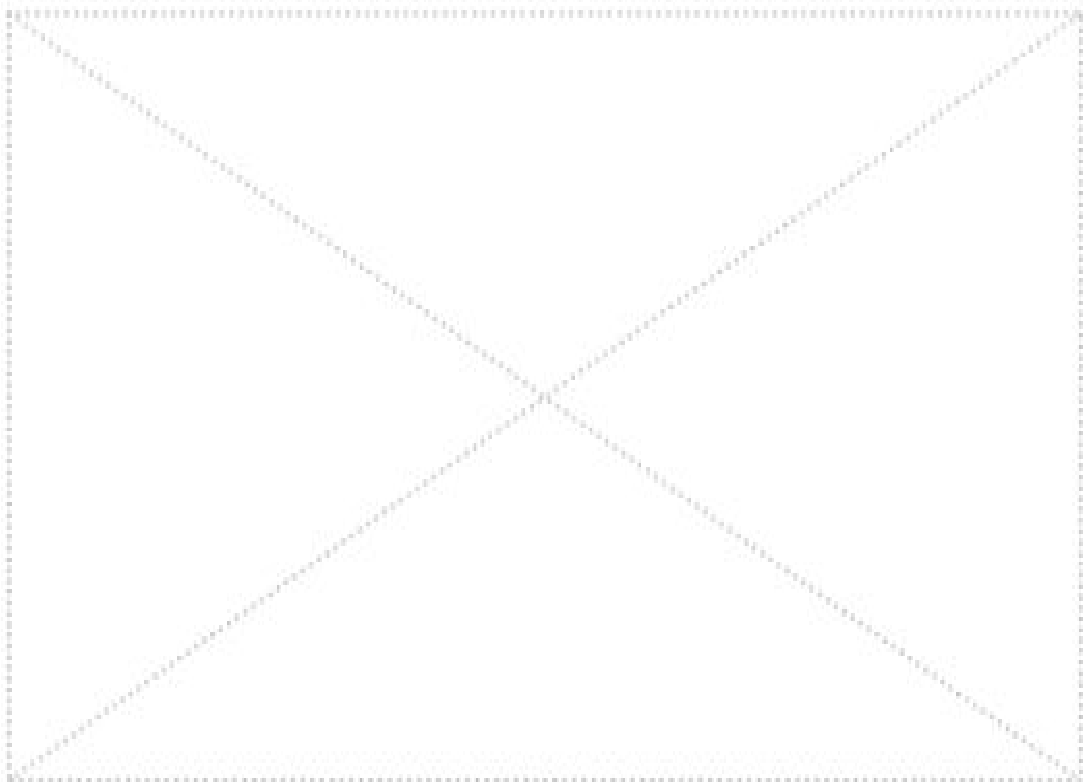


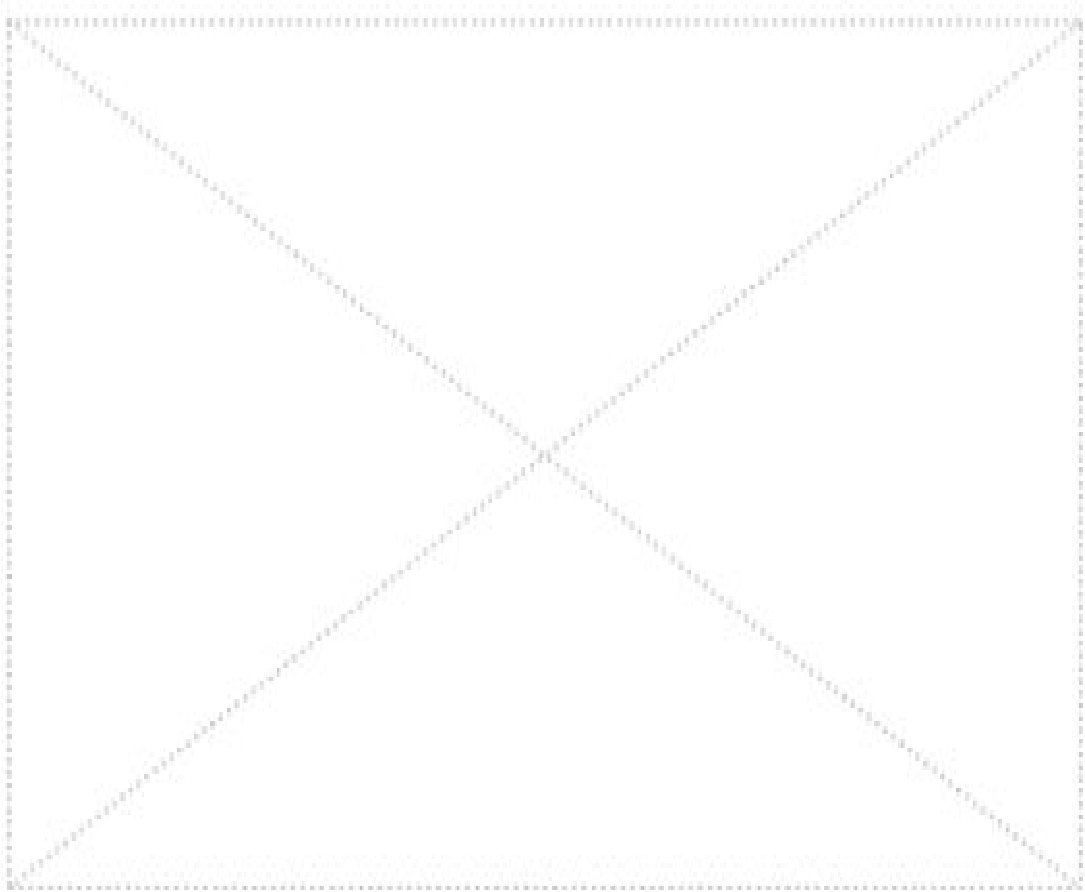
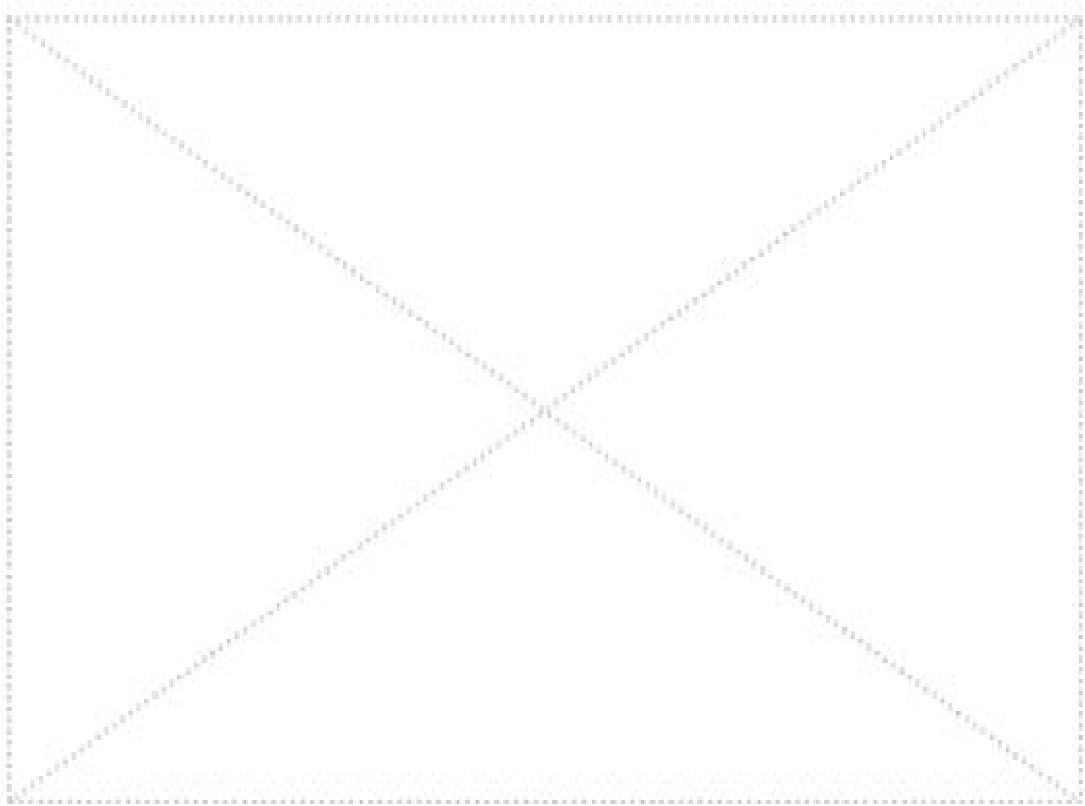


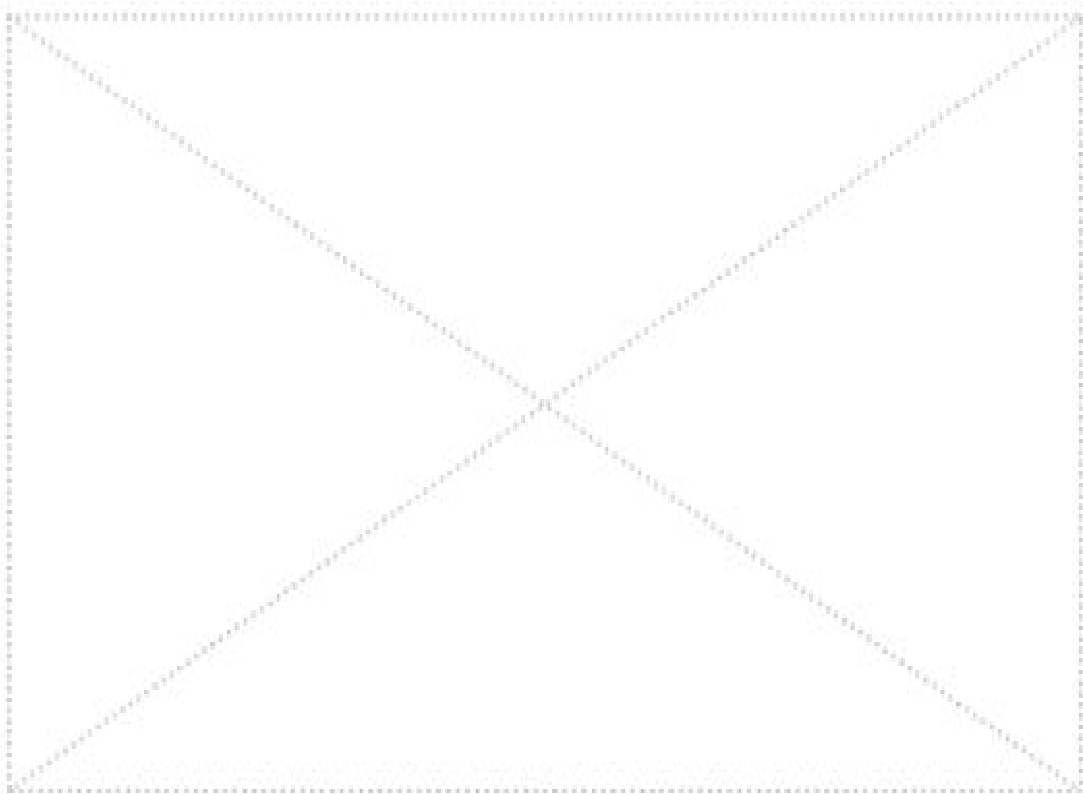
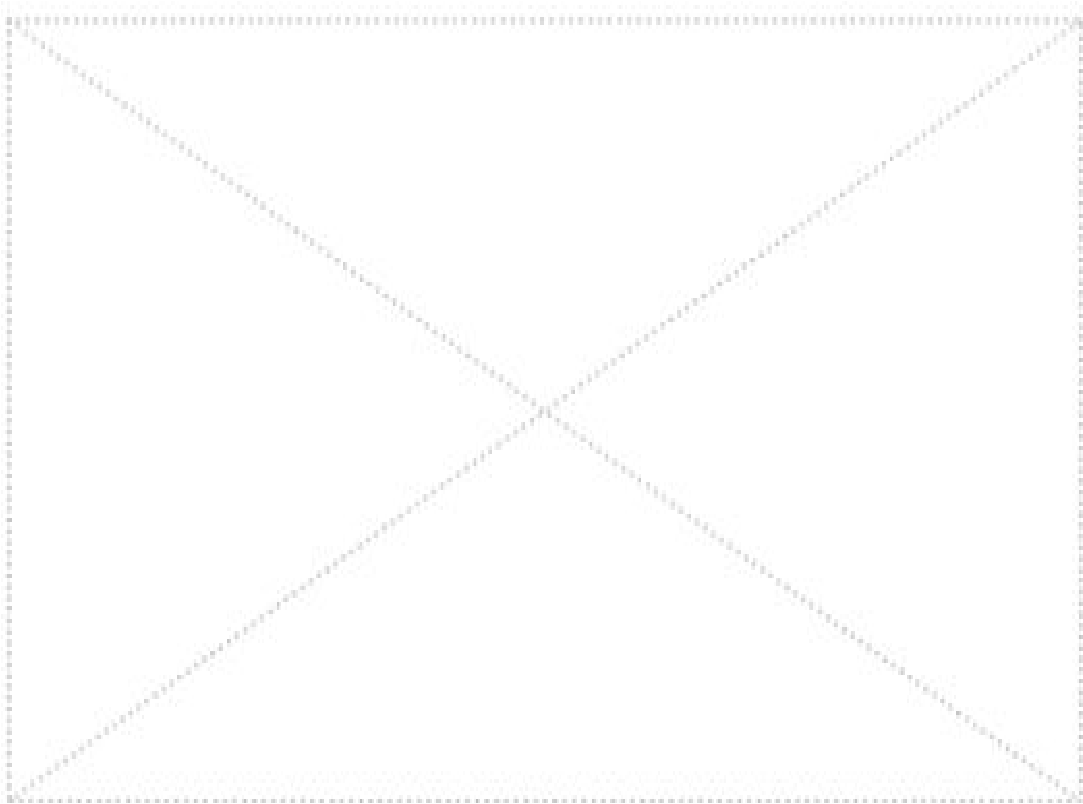


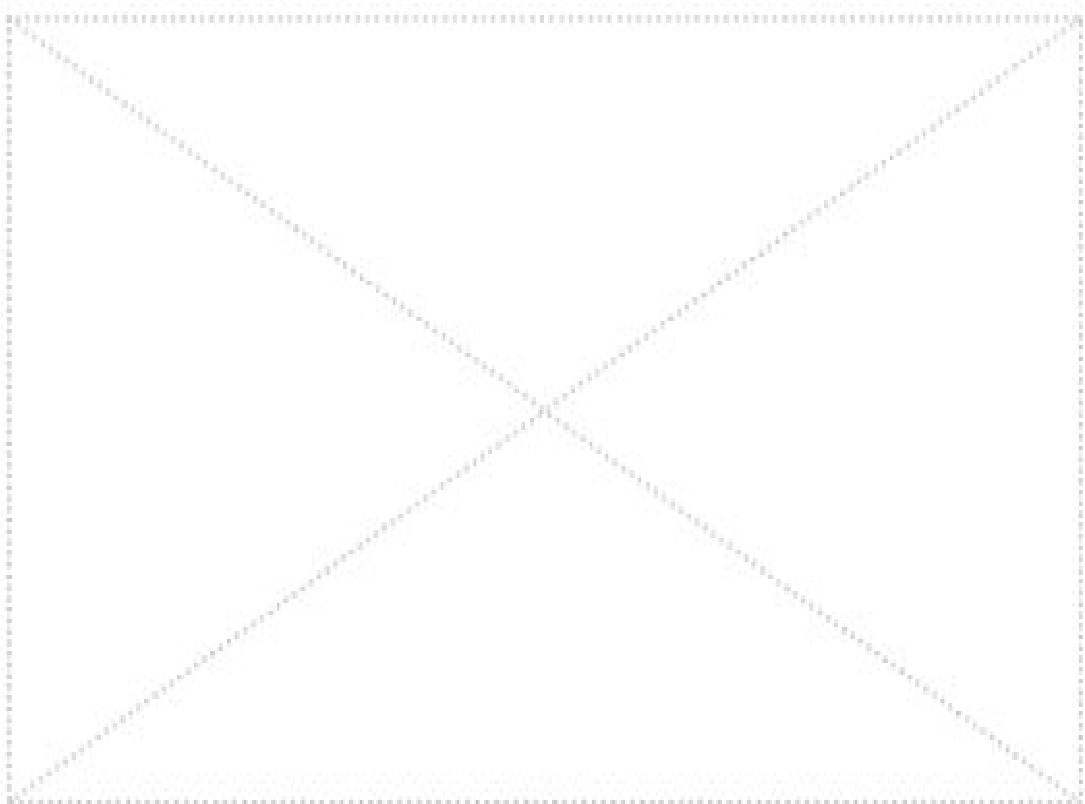
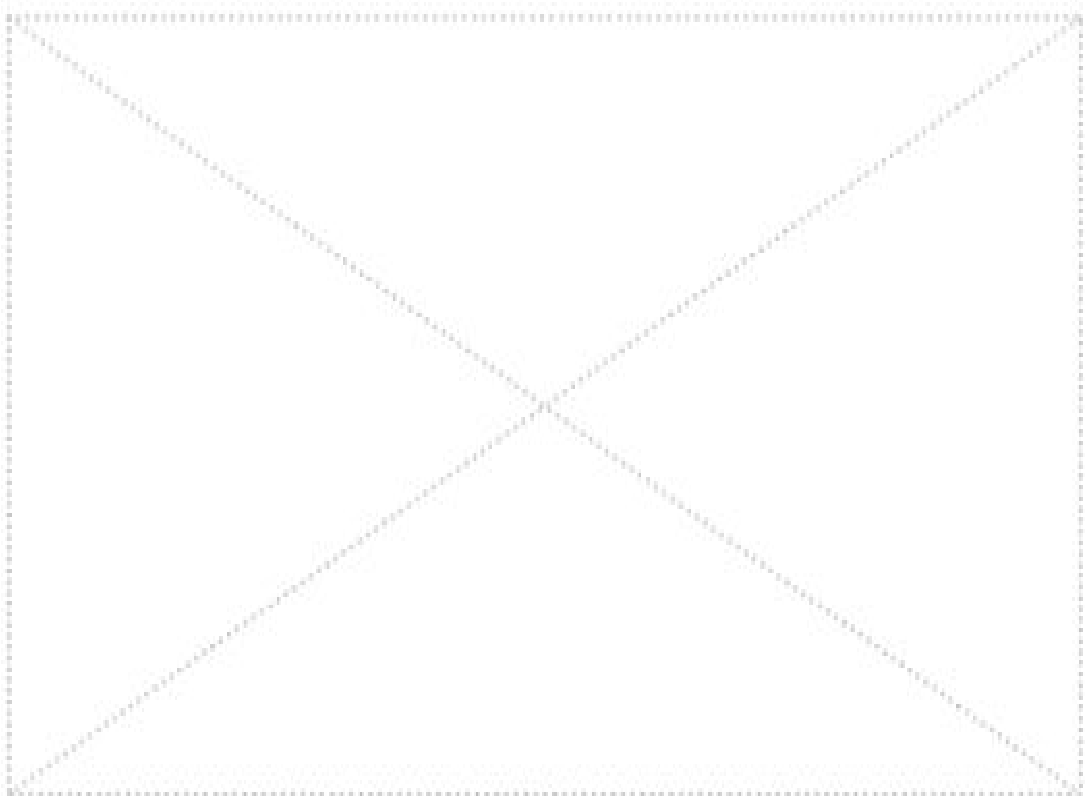


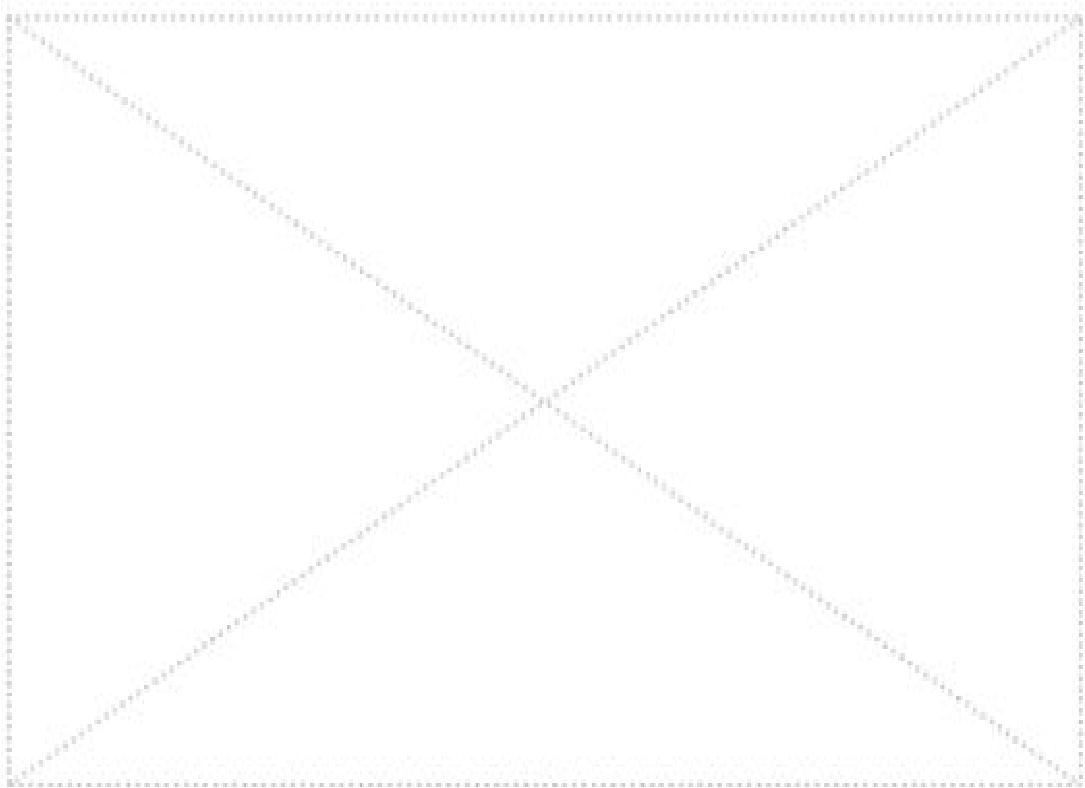
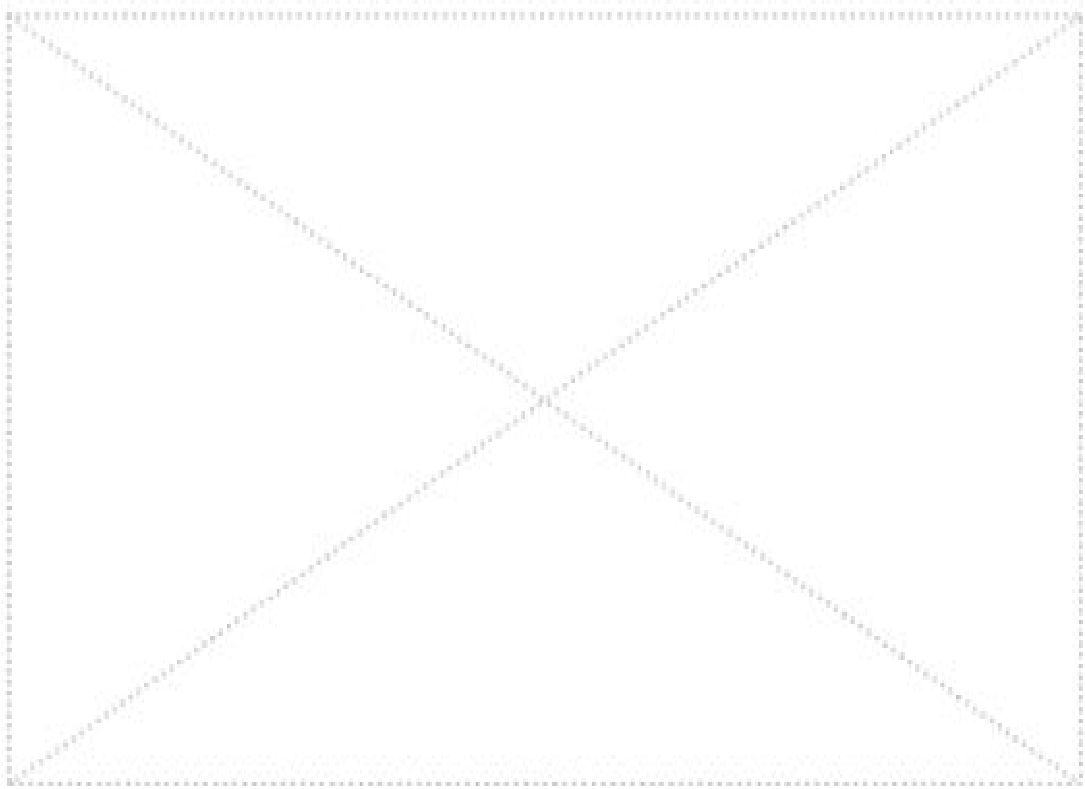


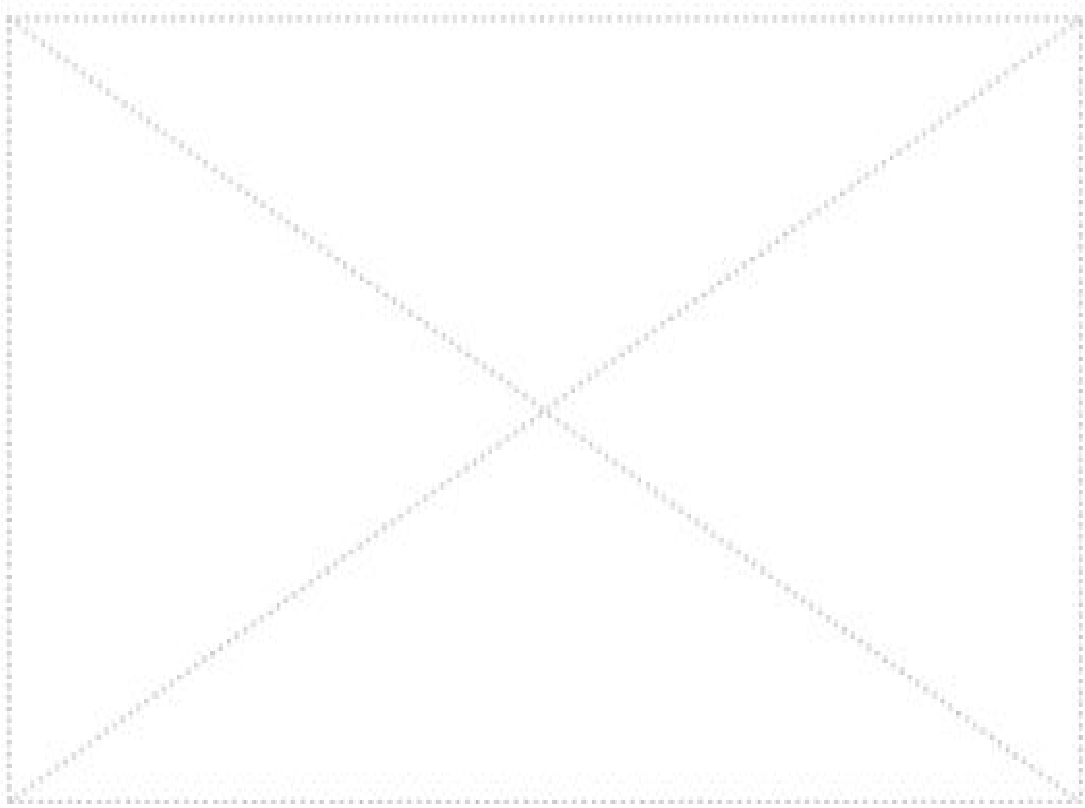
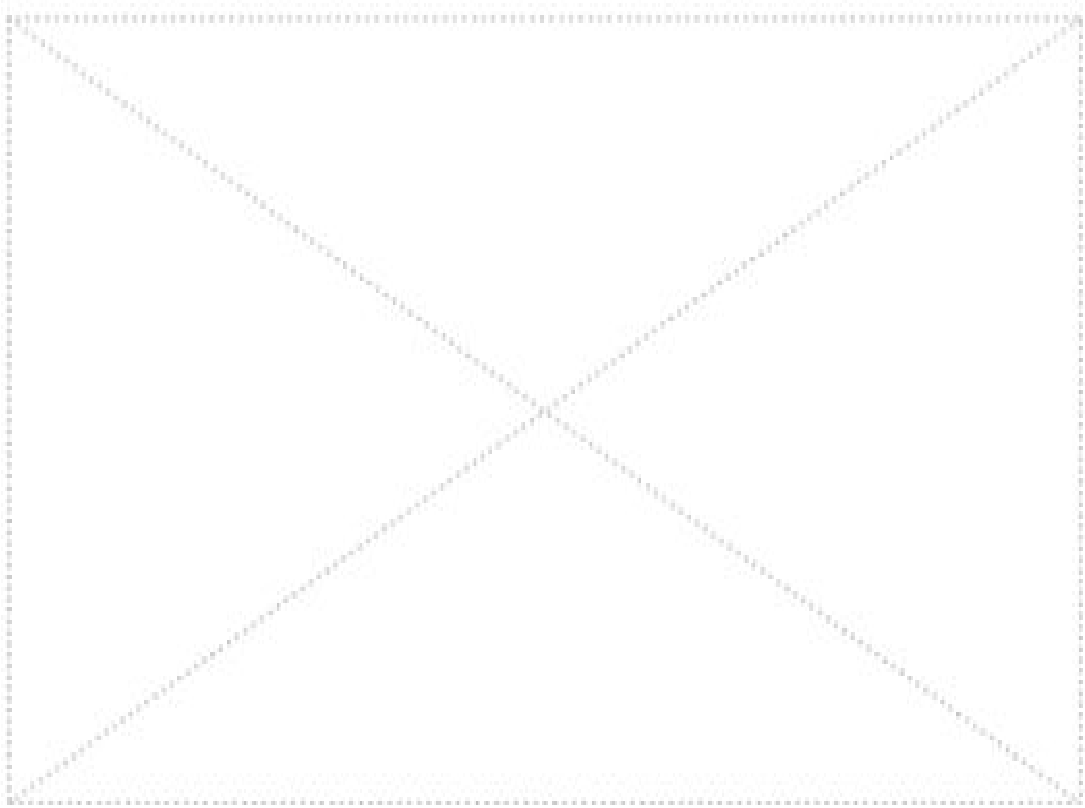


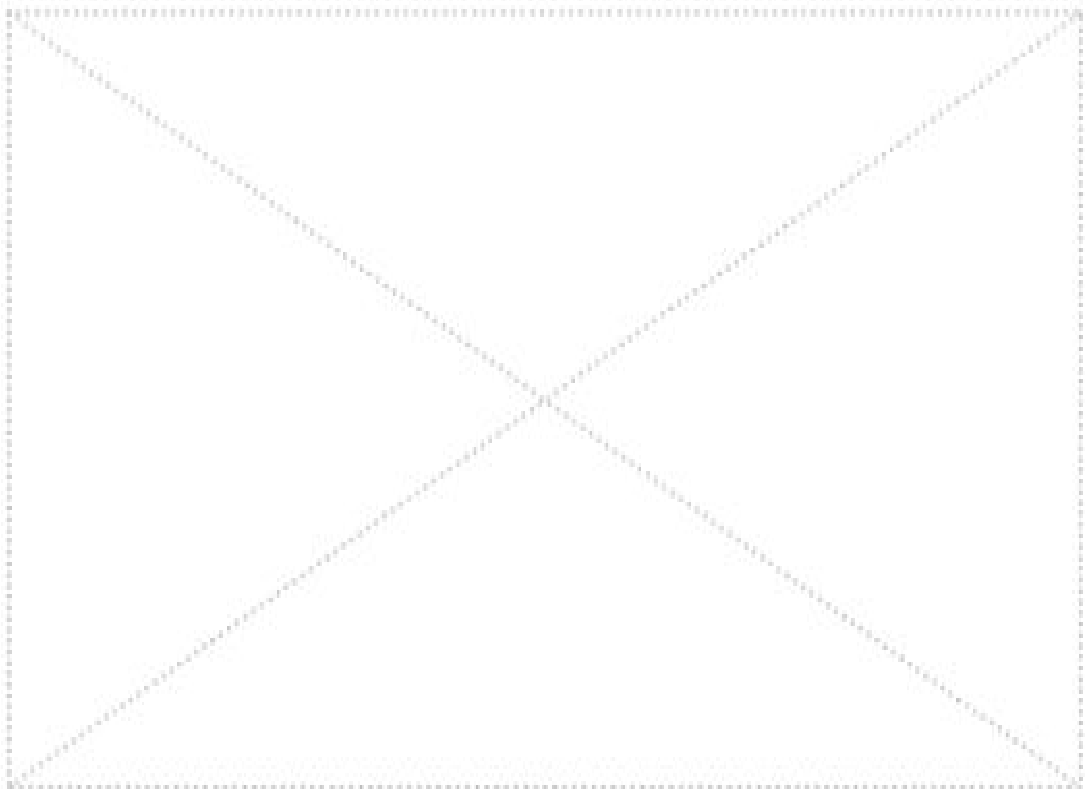
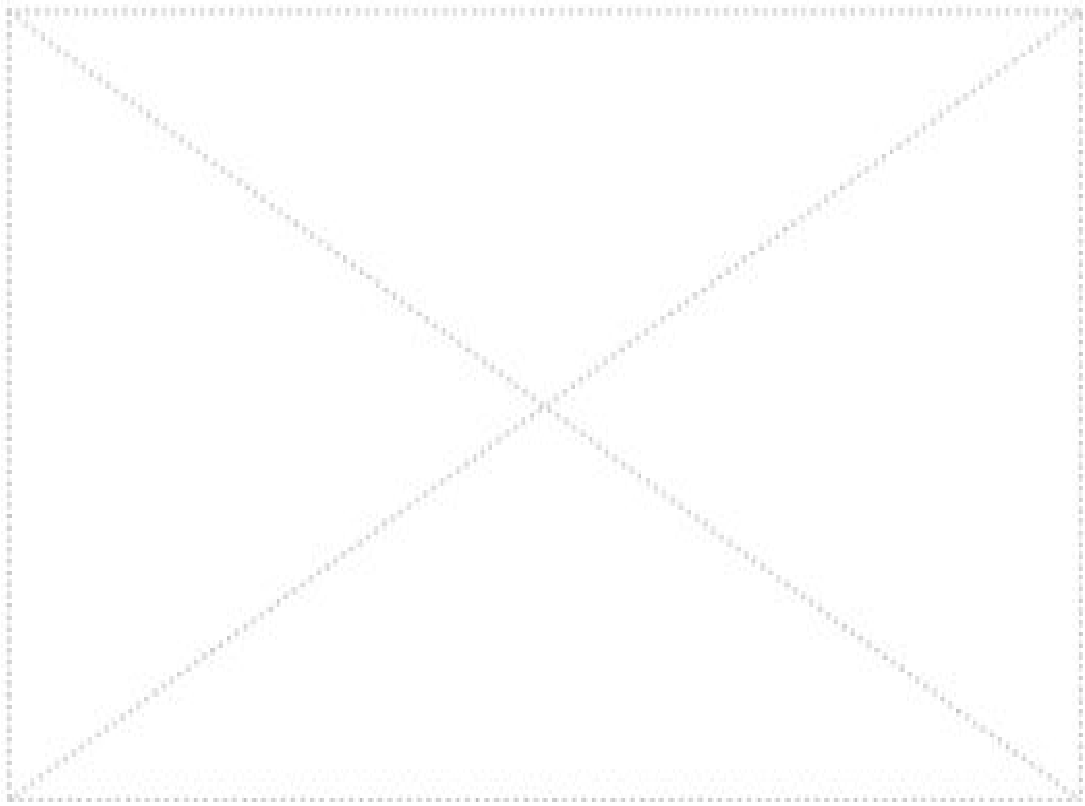


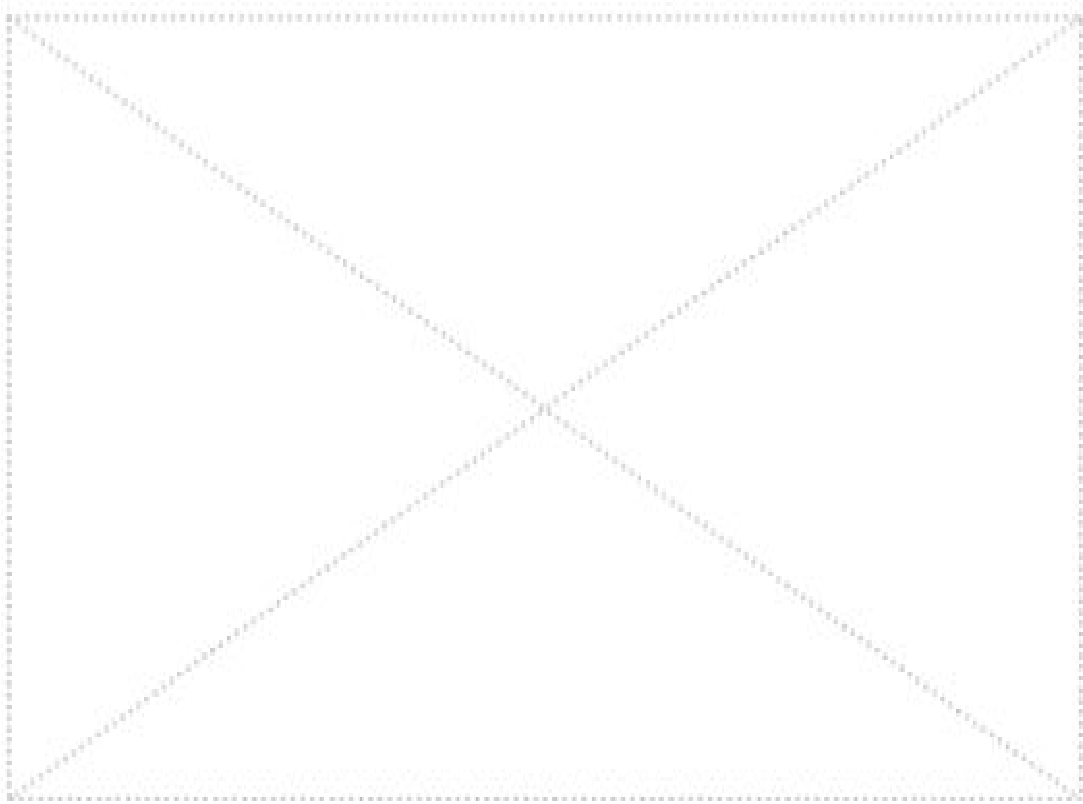
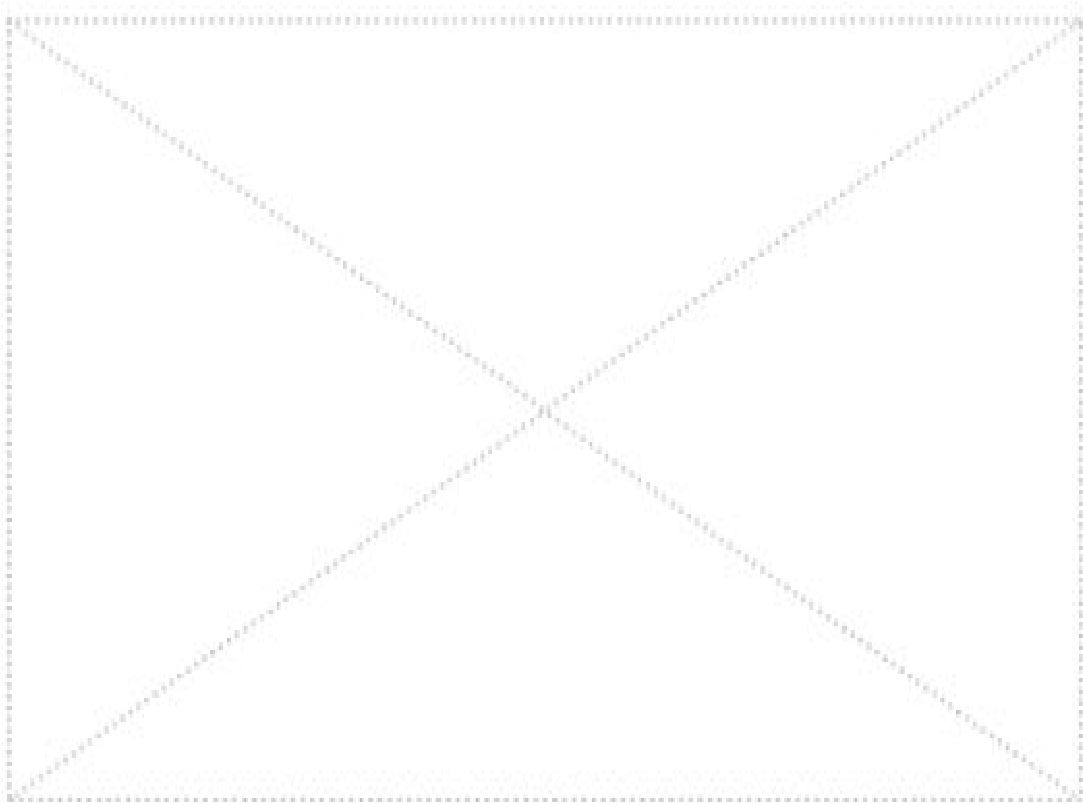


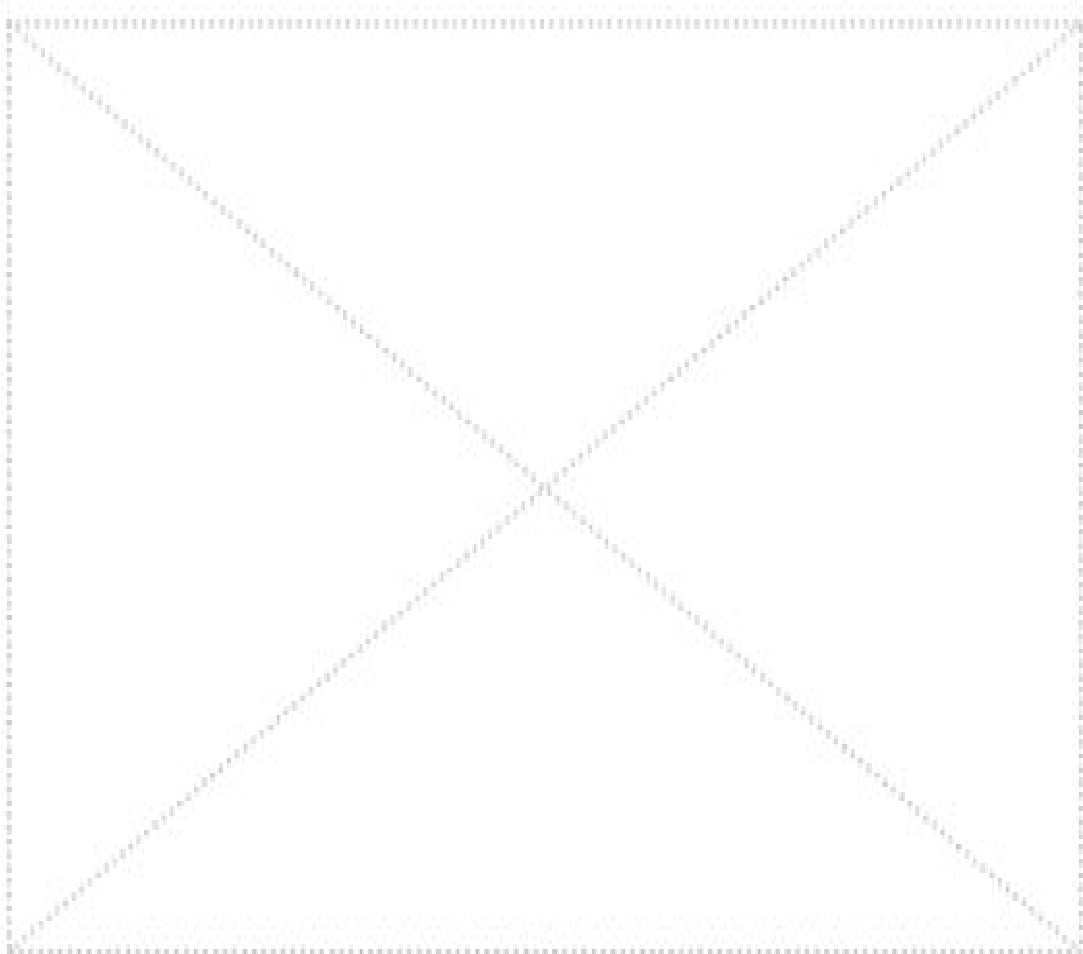
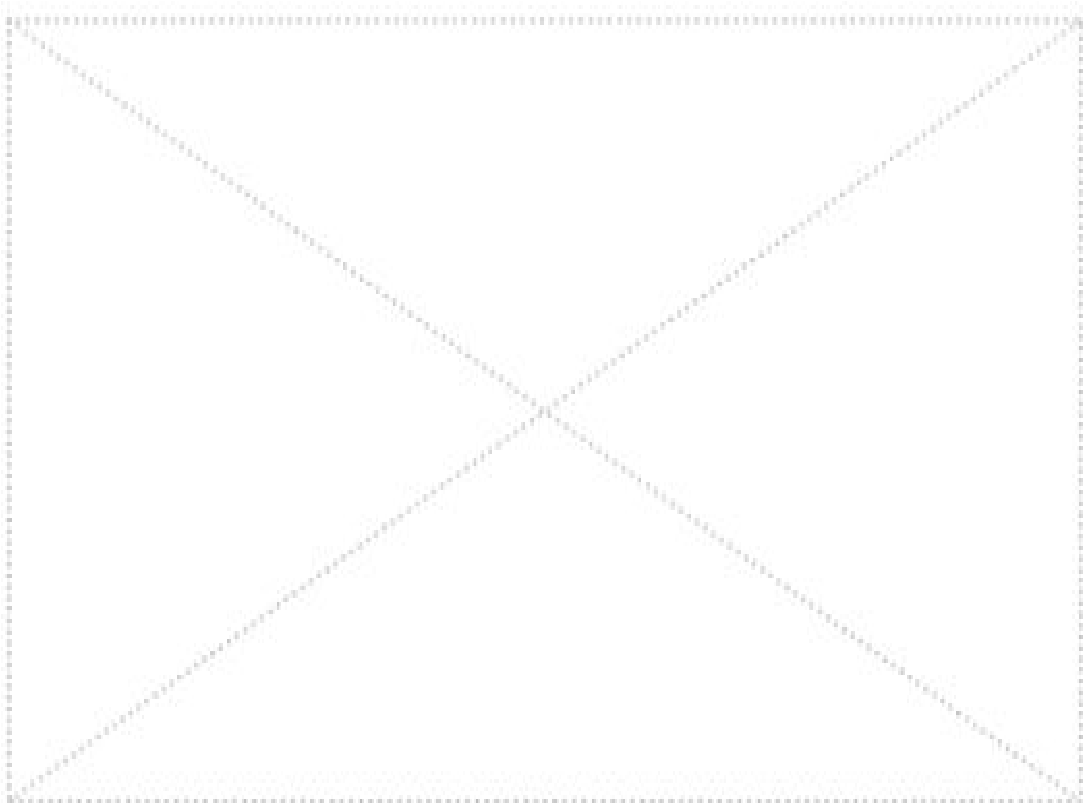


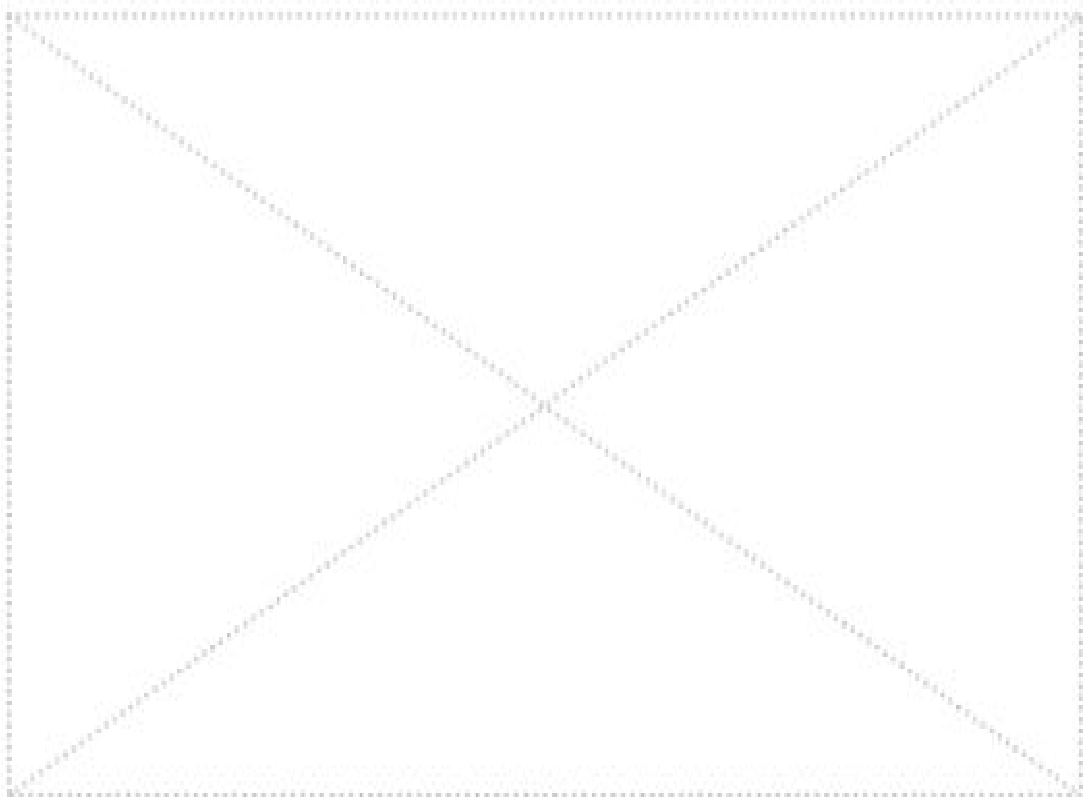
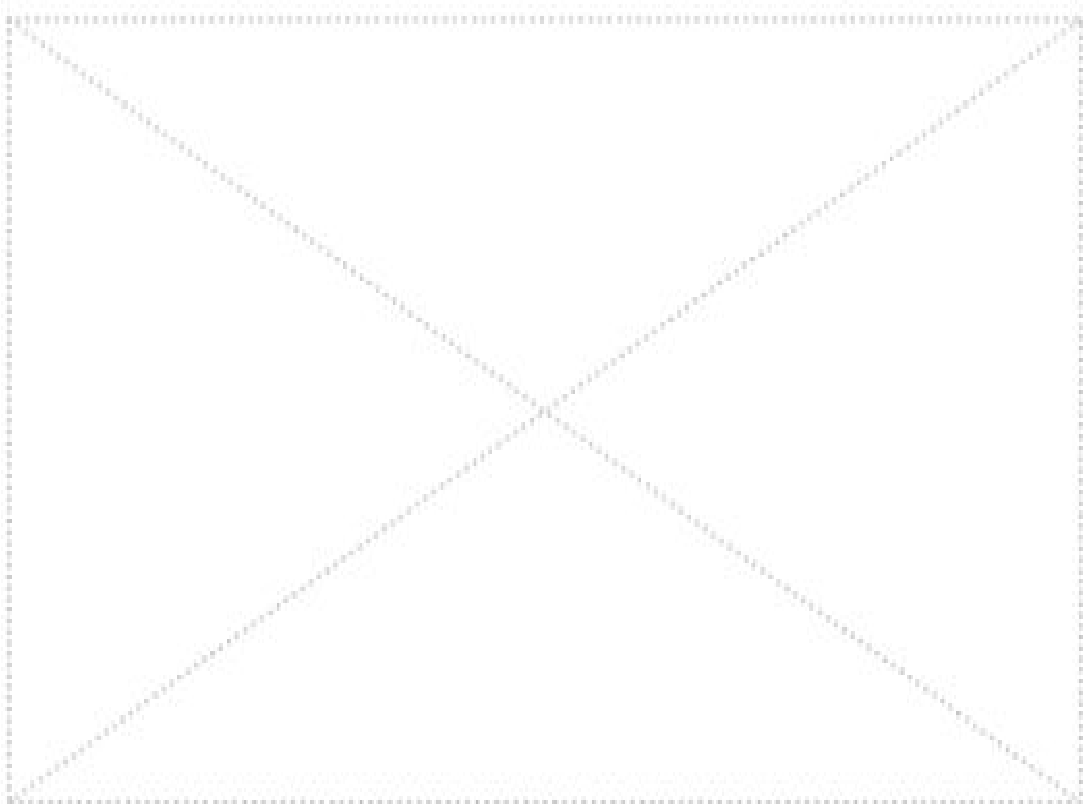


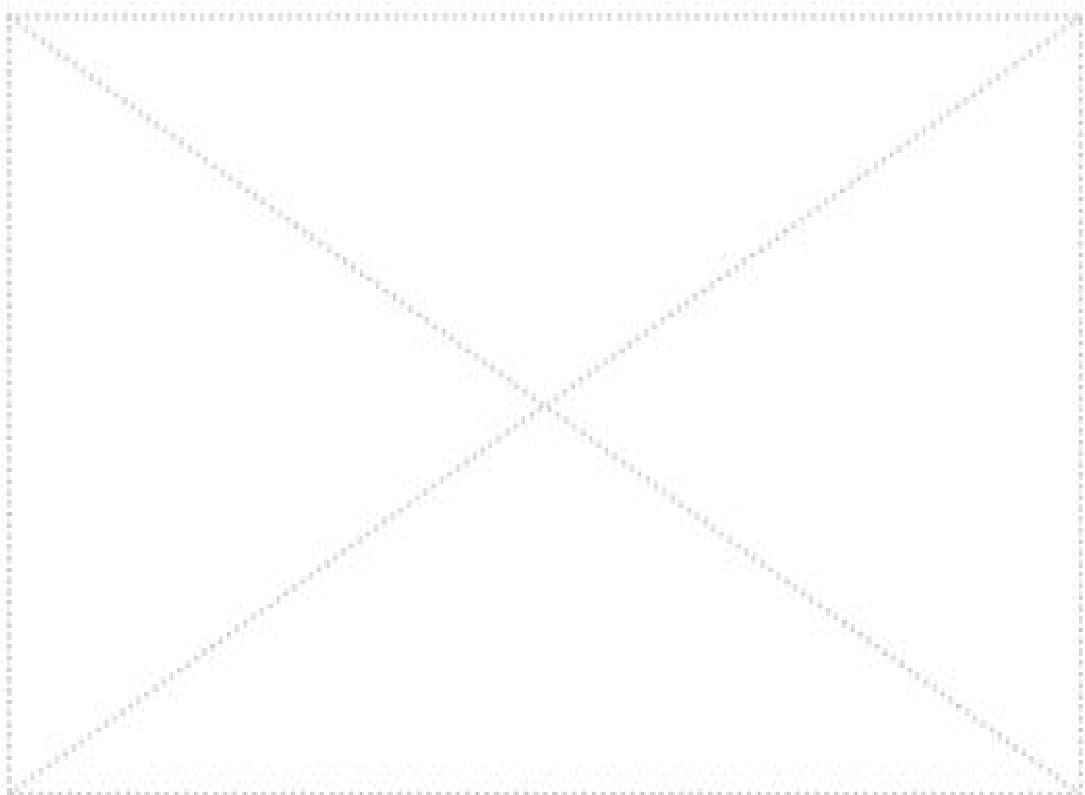
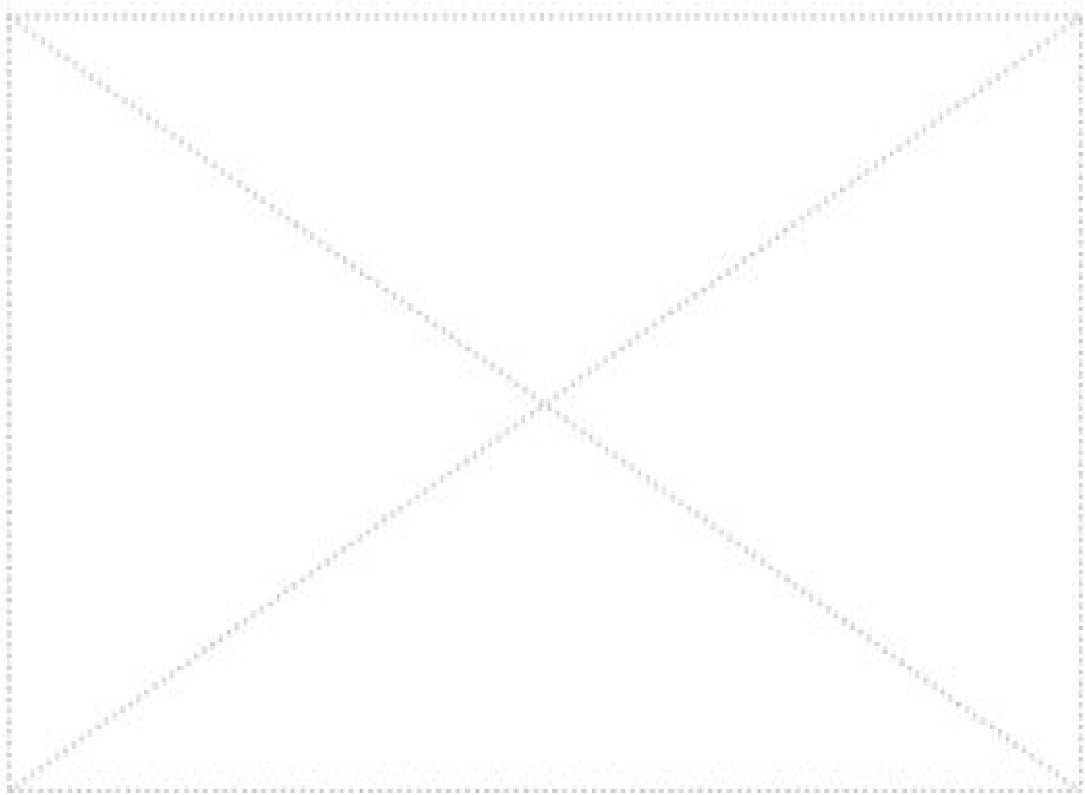


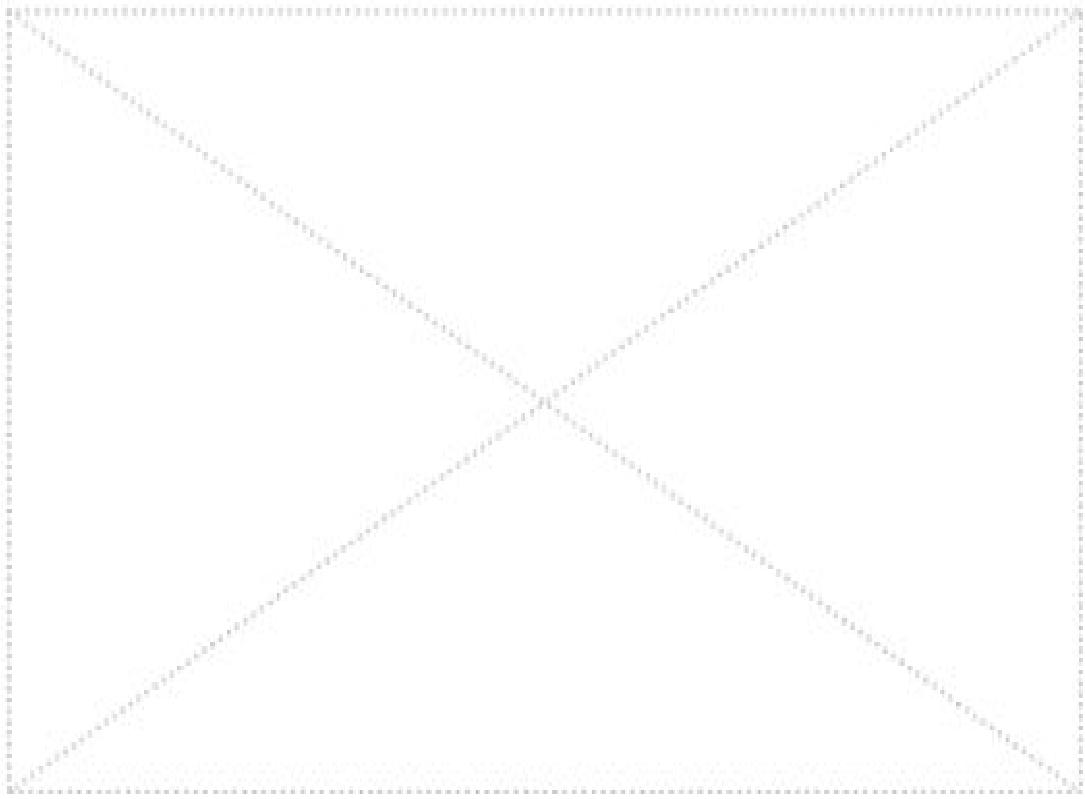
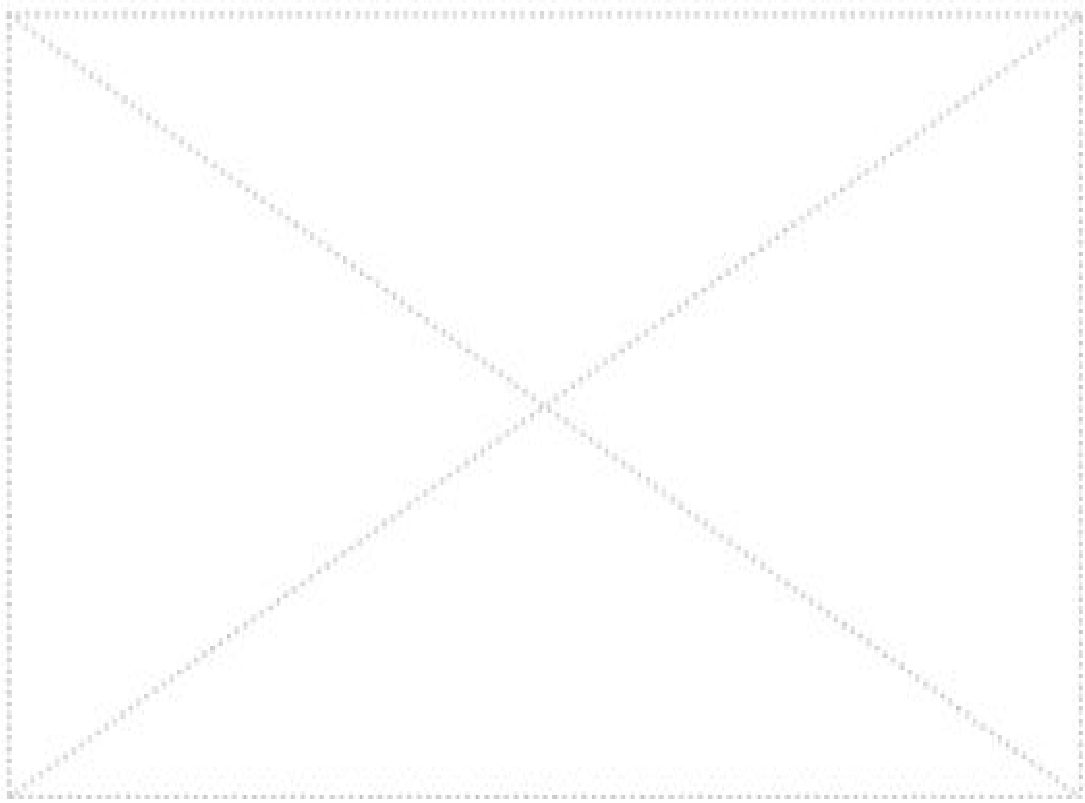


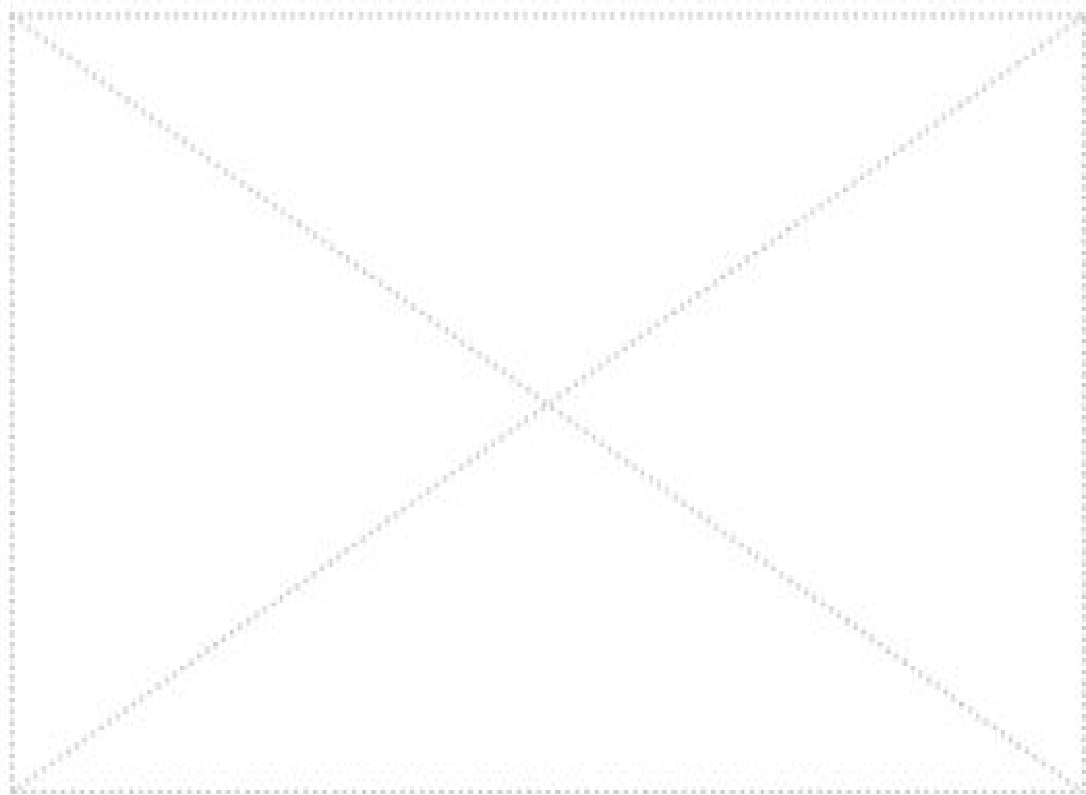
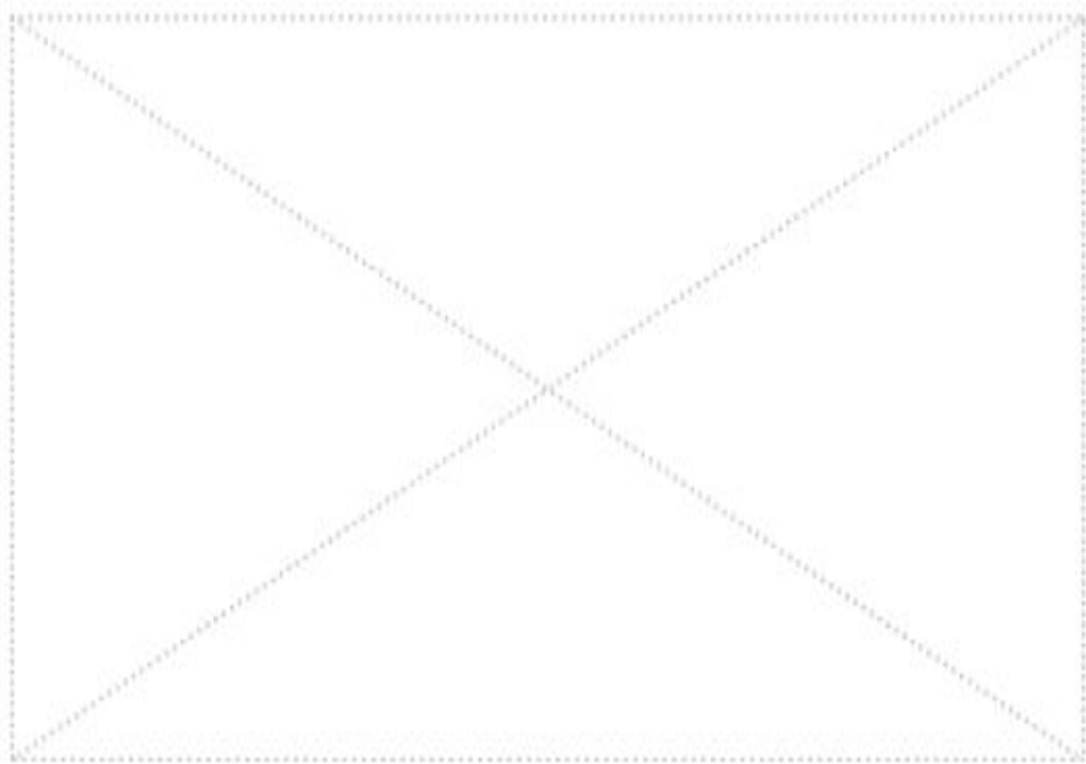


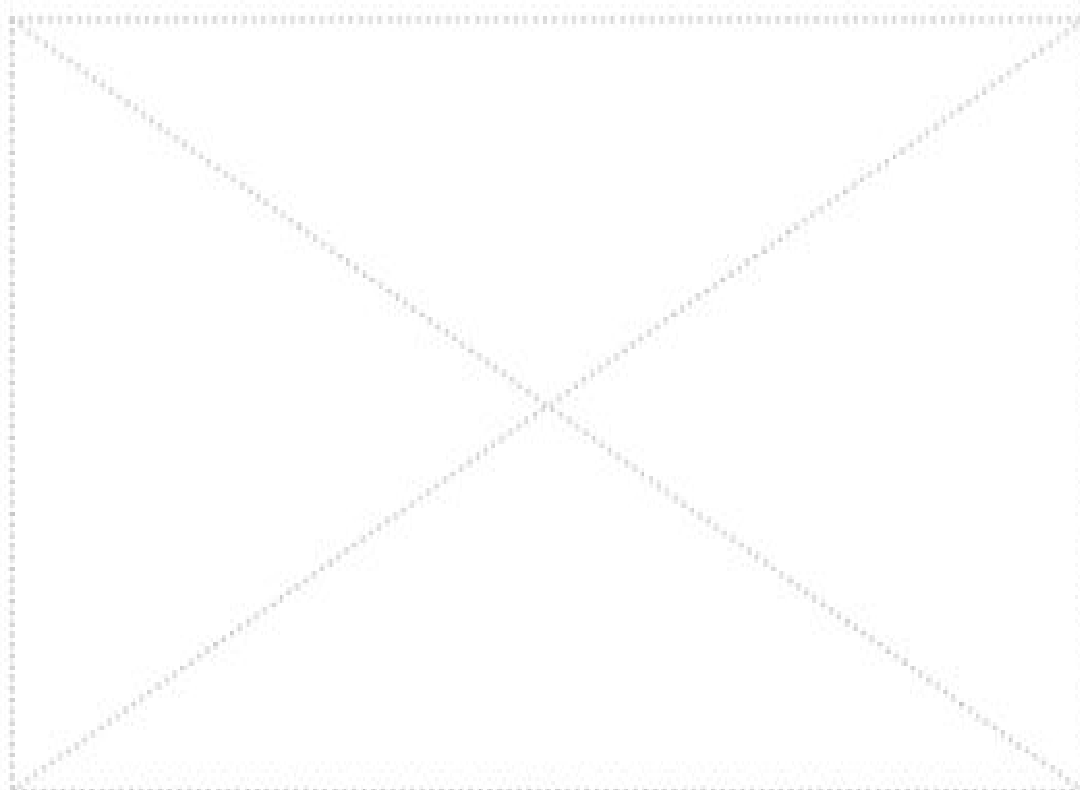




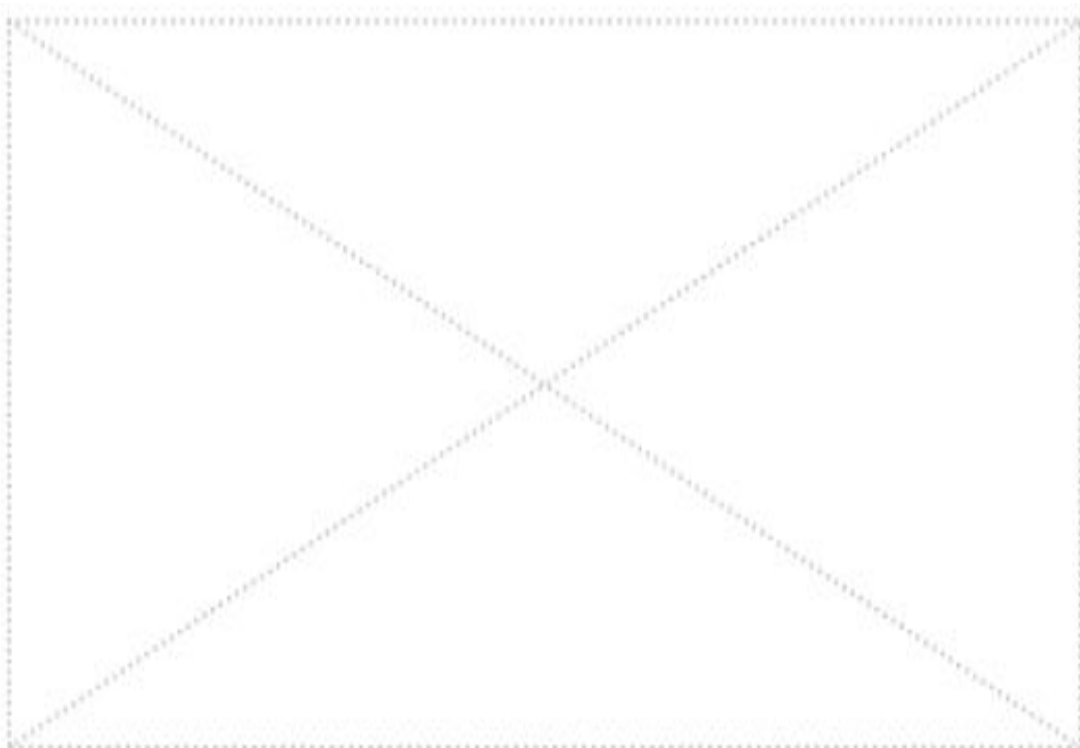
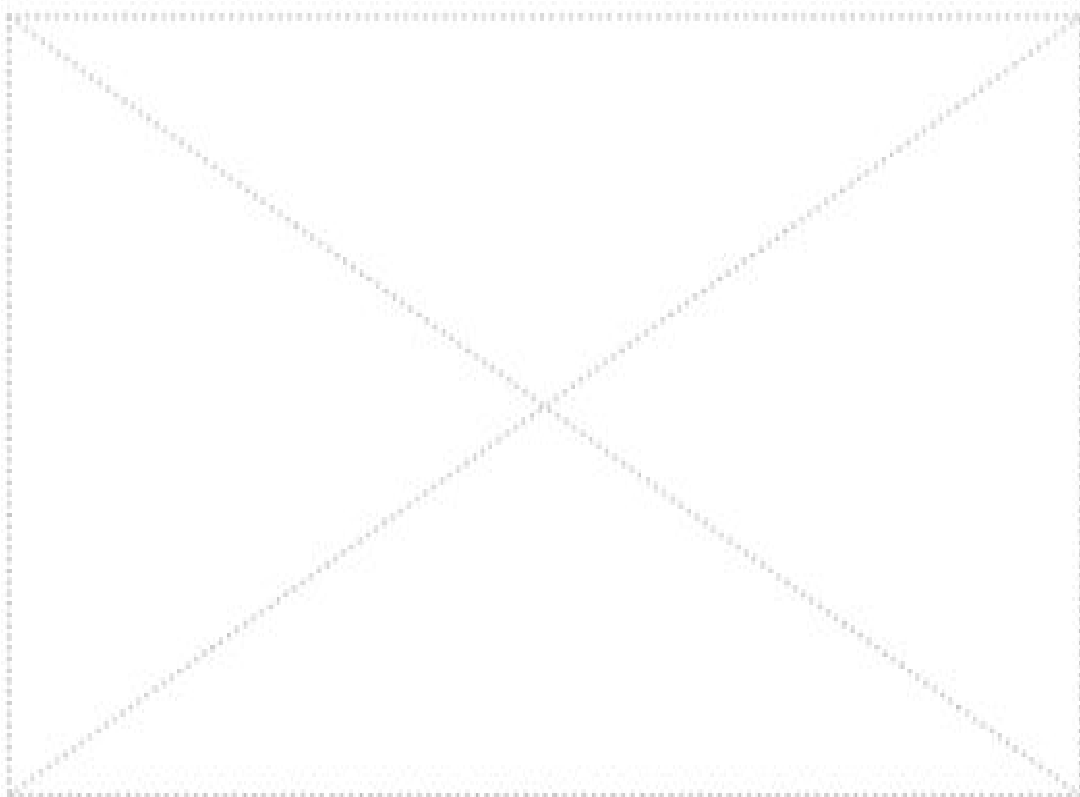


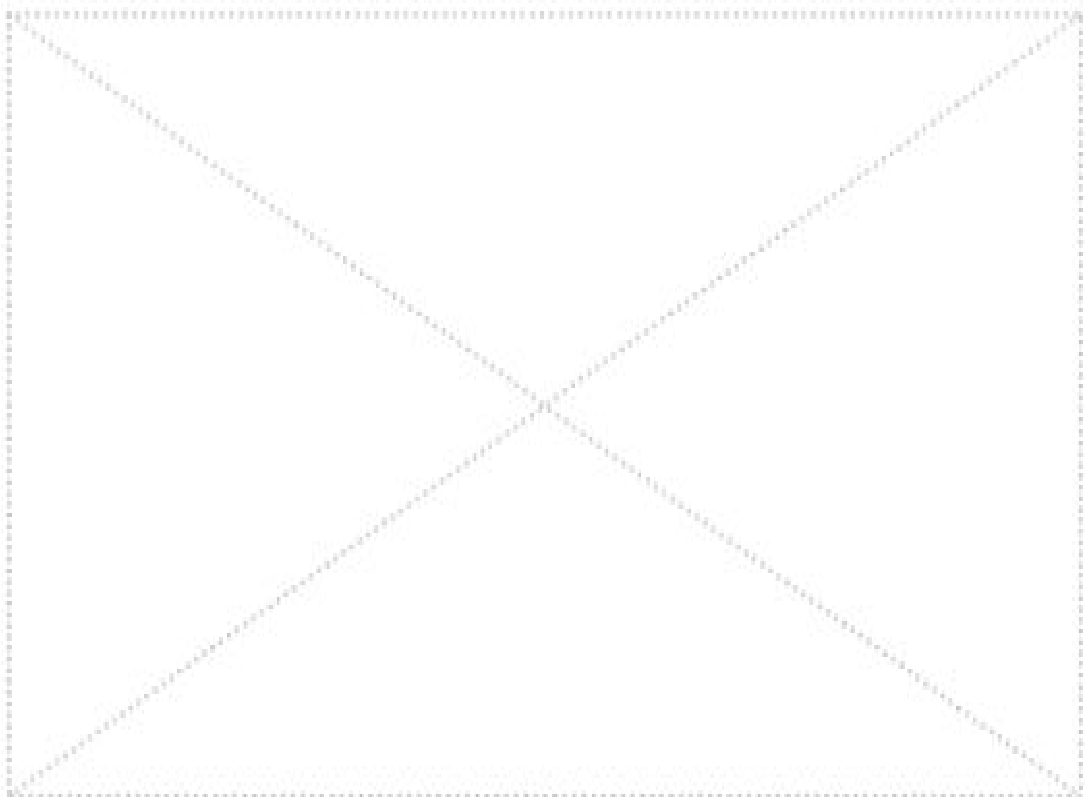
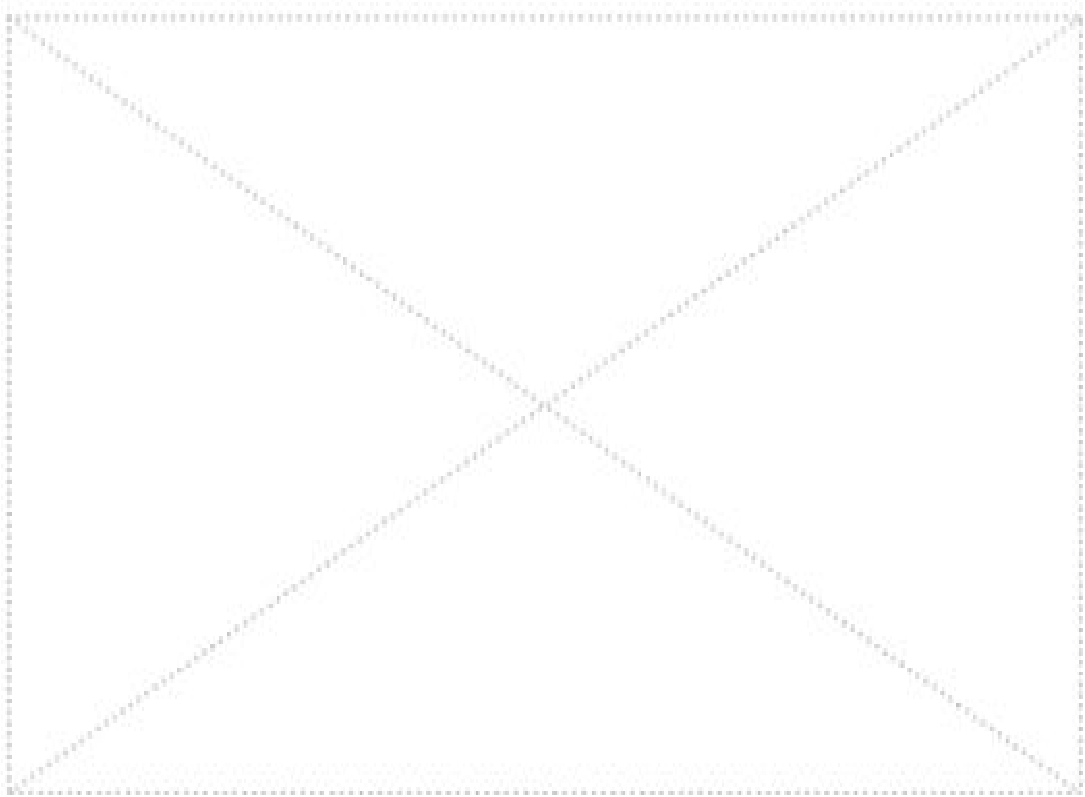


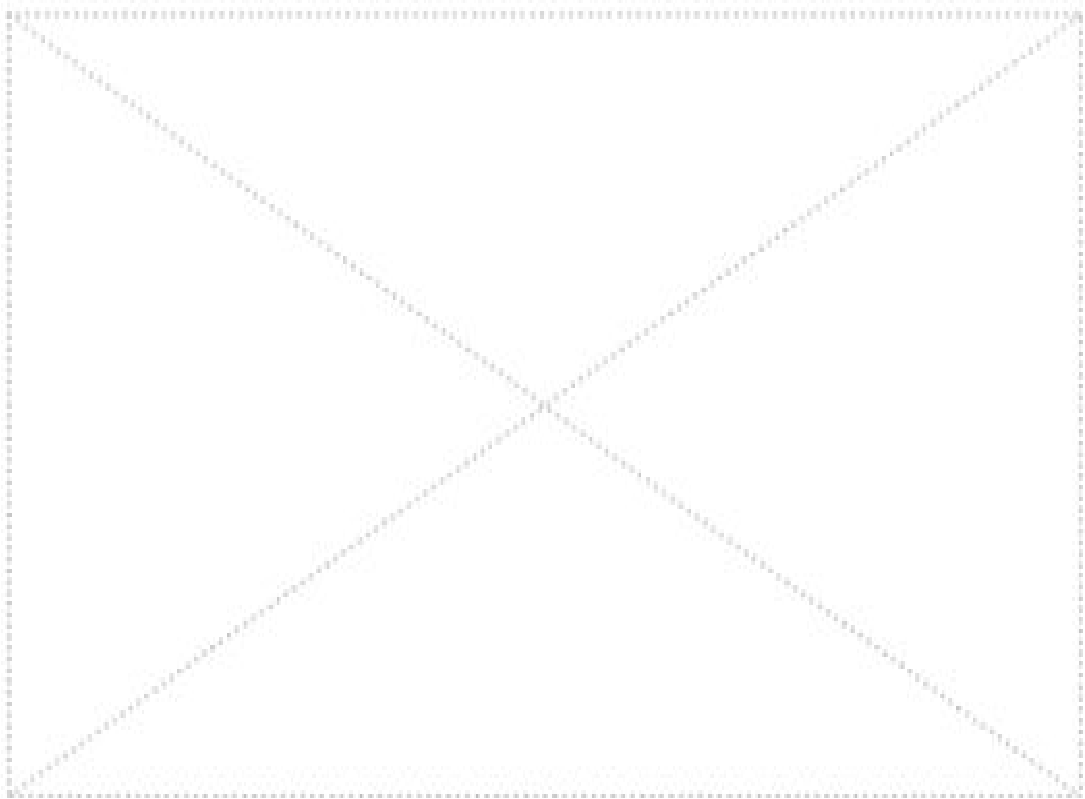
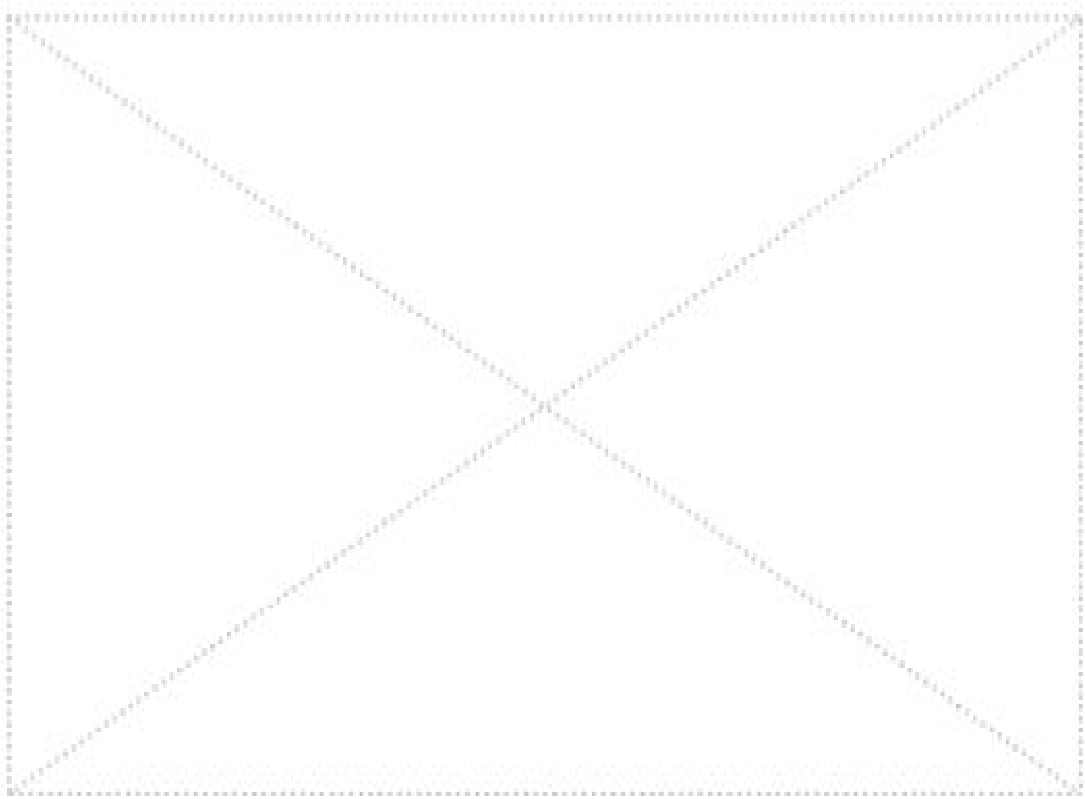


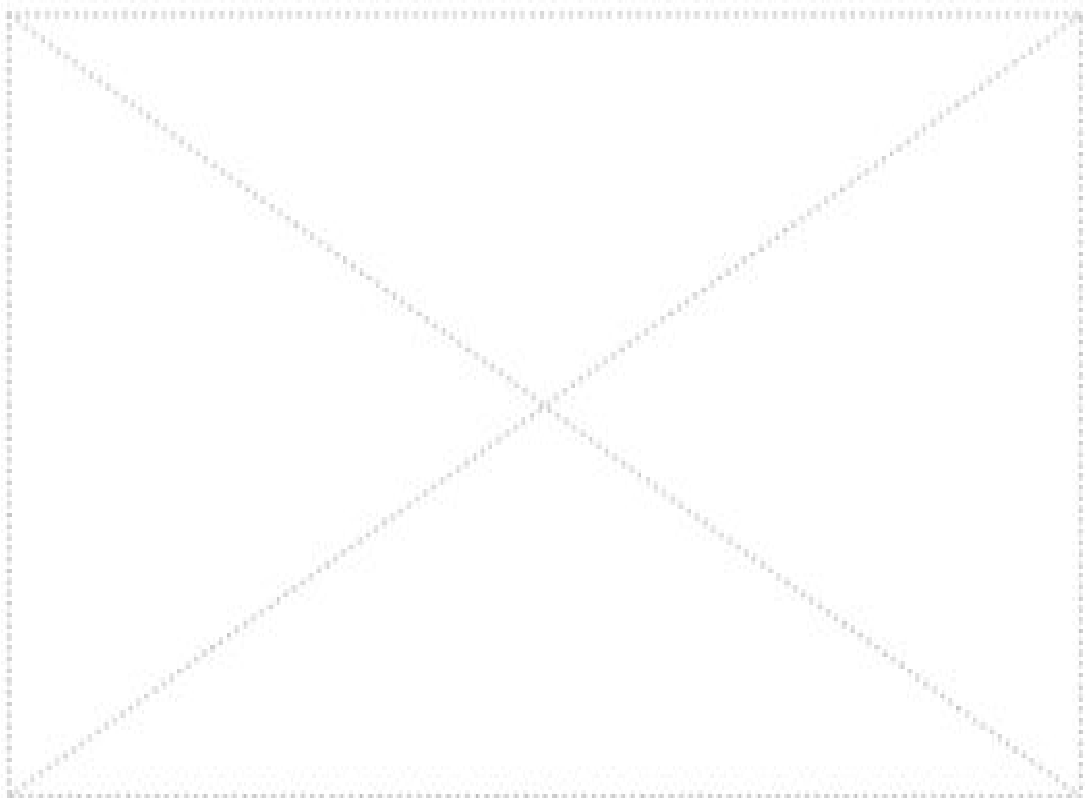
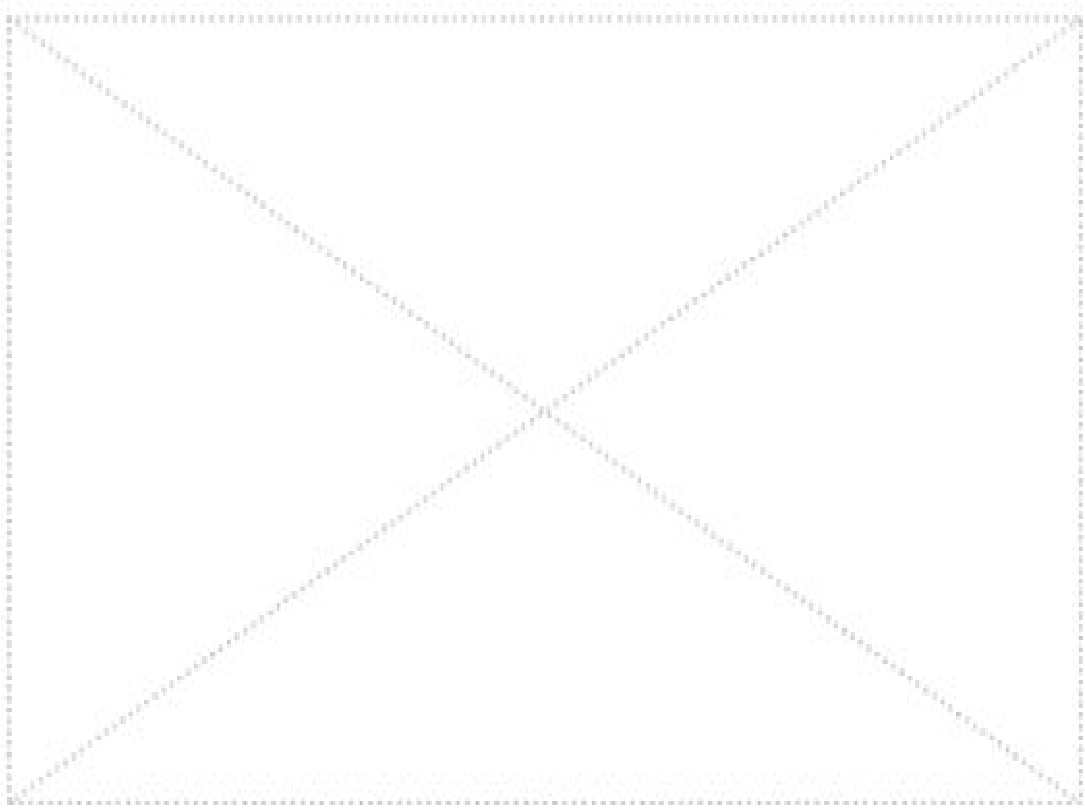


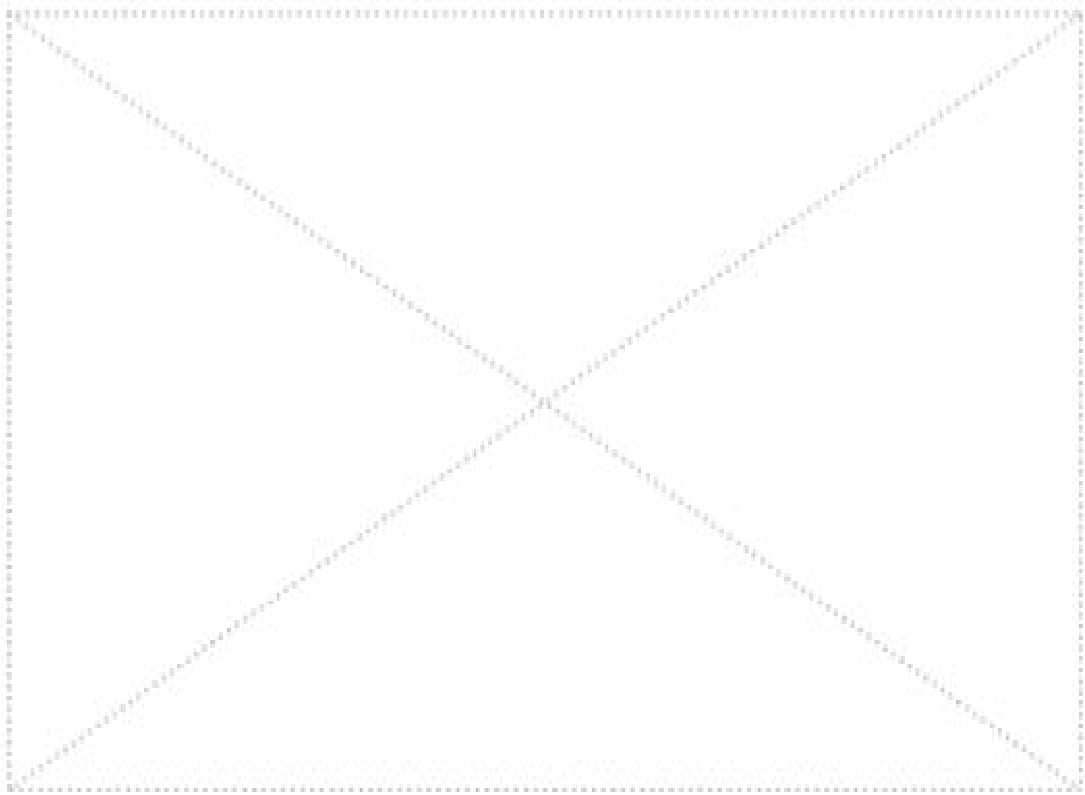
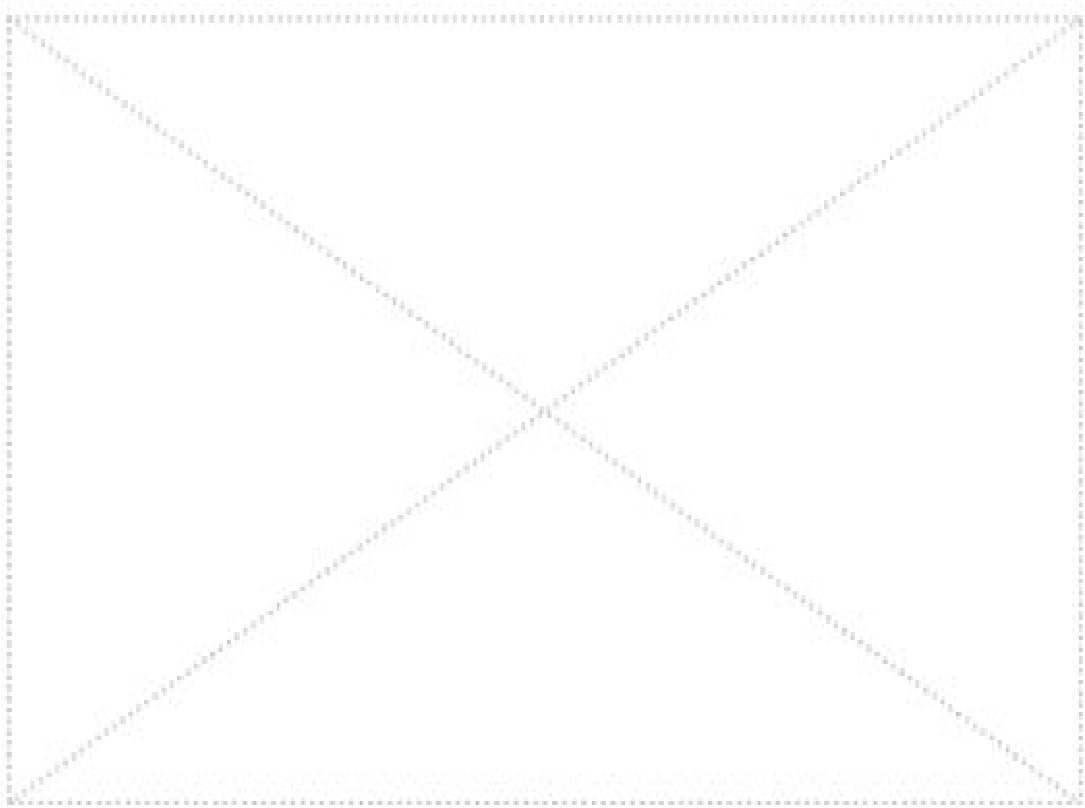
붙임 8. 제4차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

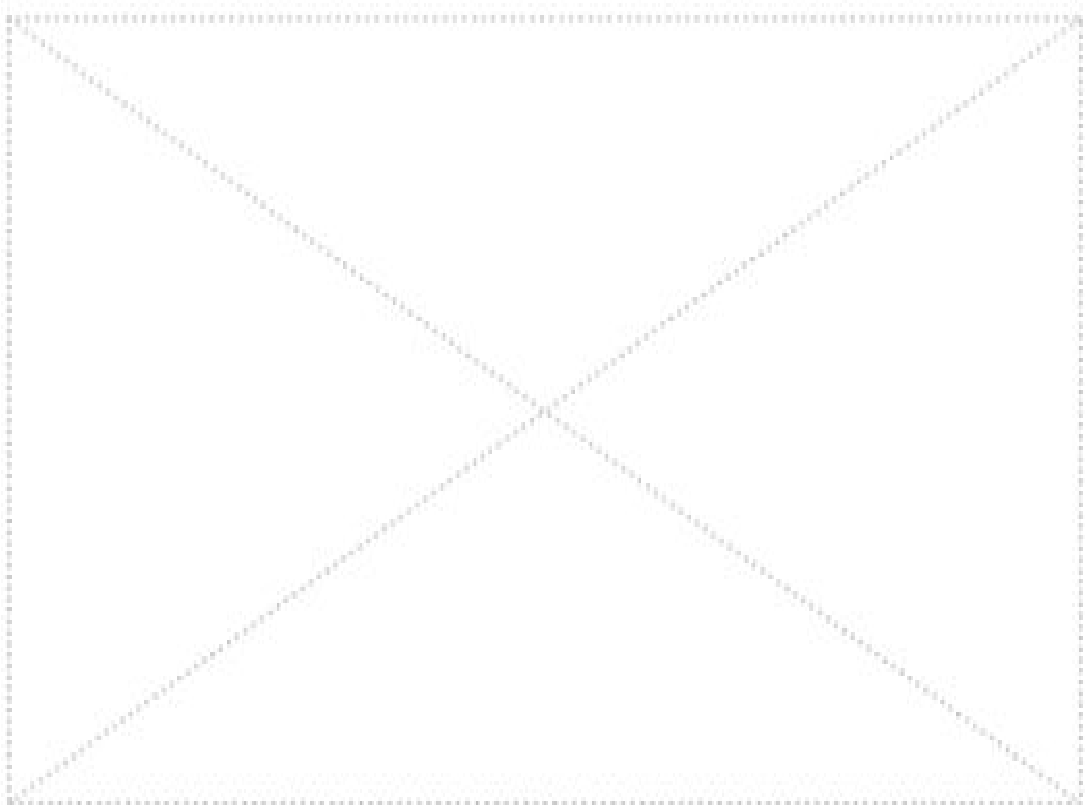
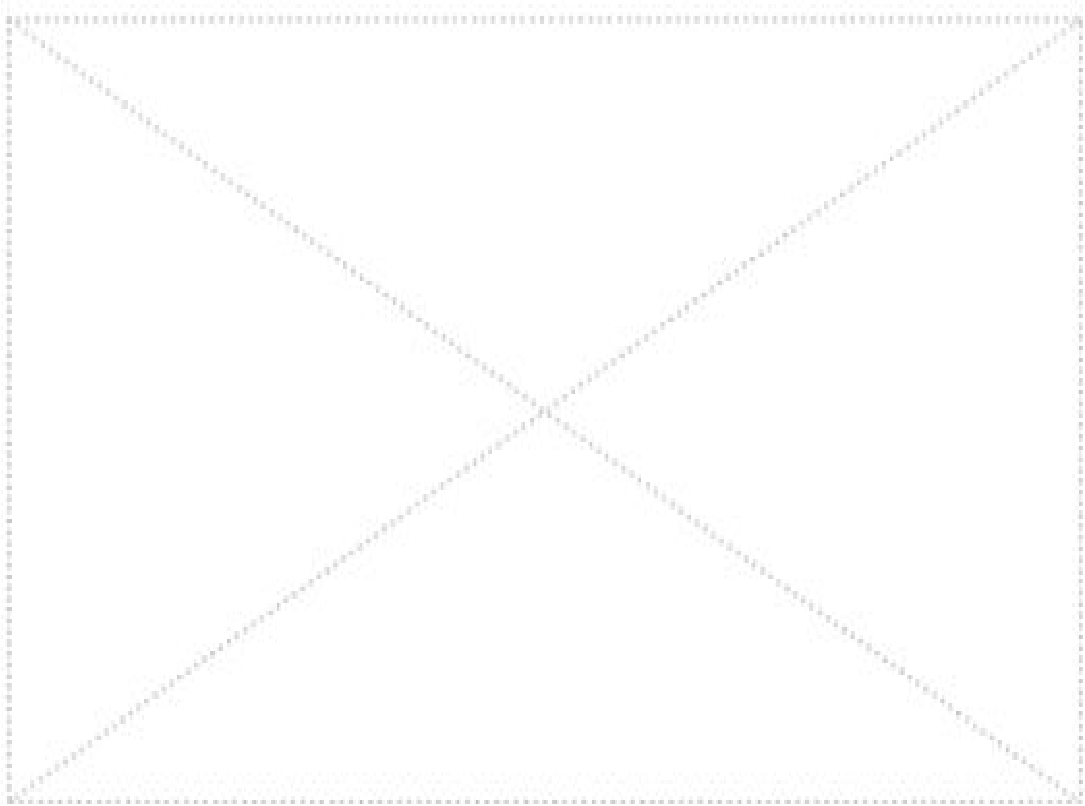


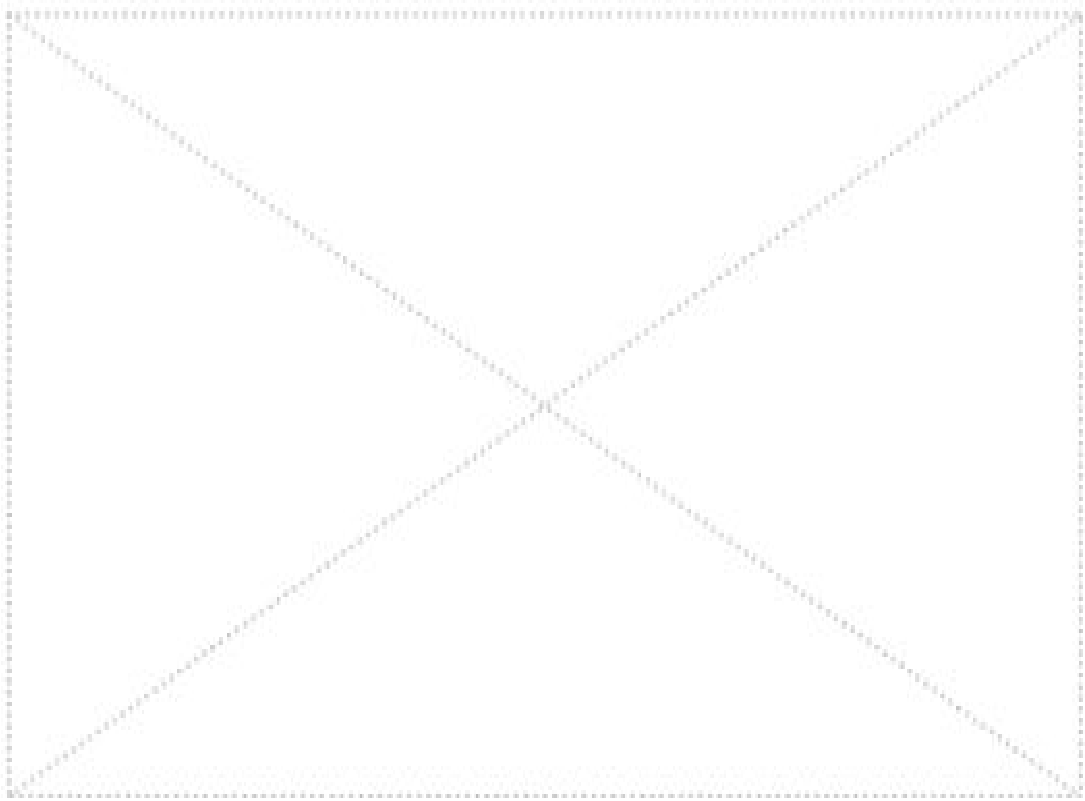
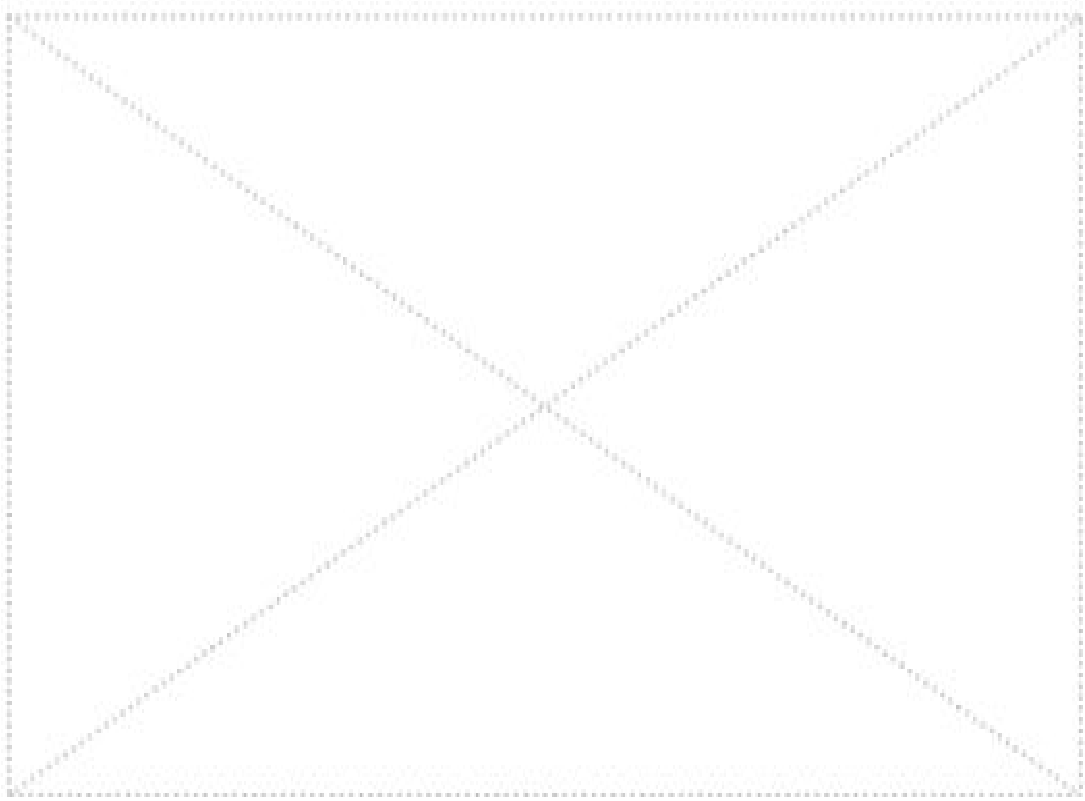


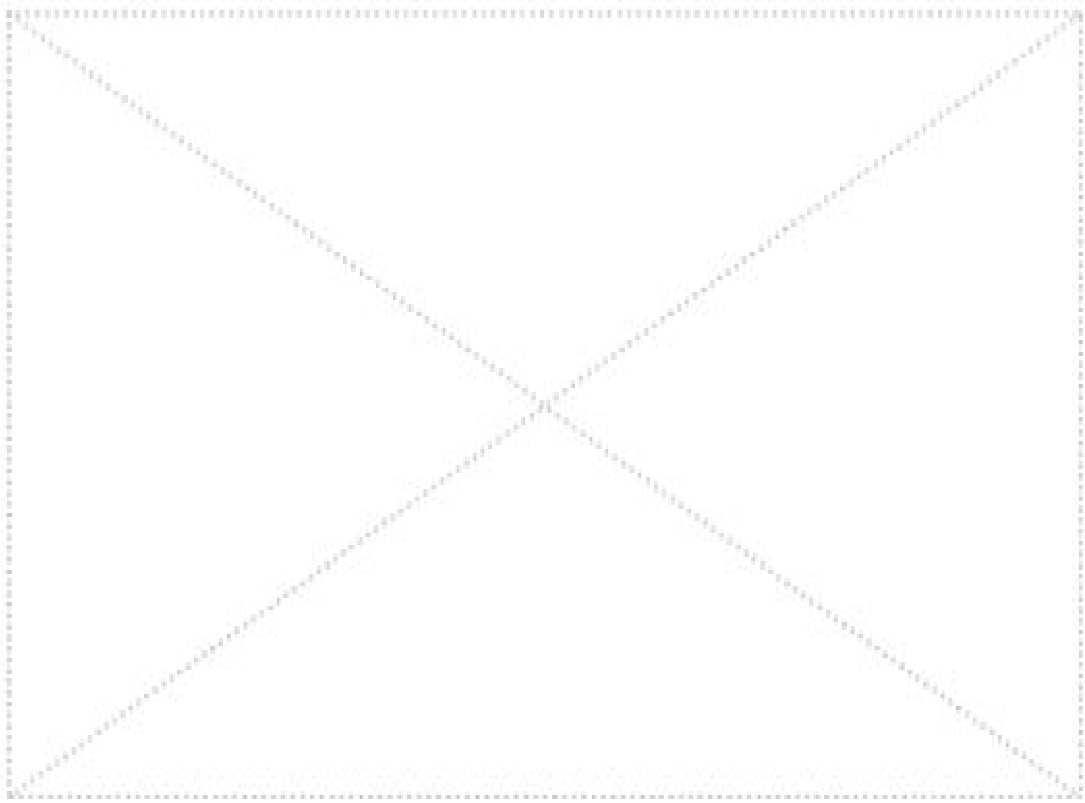
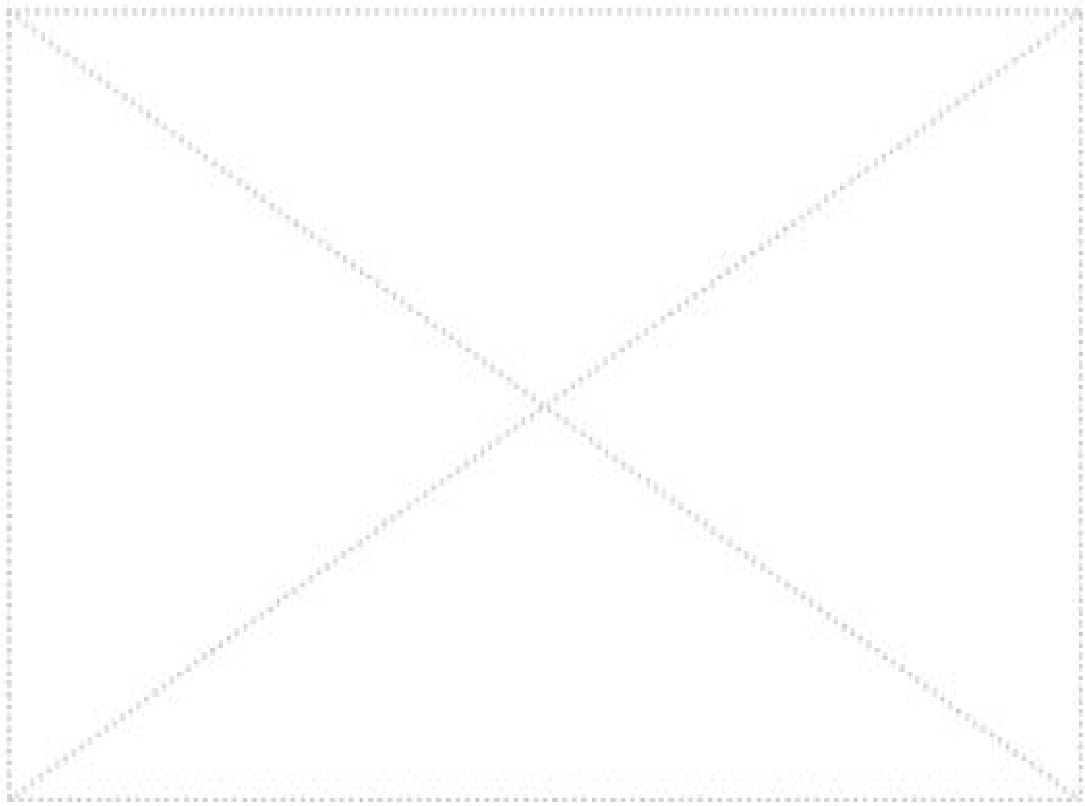


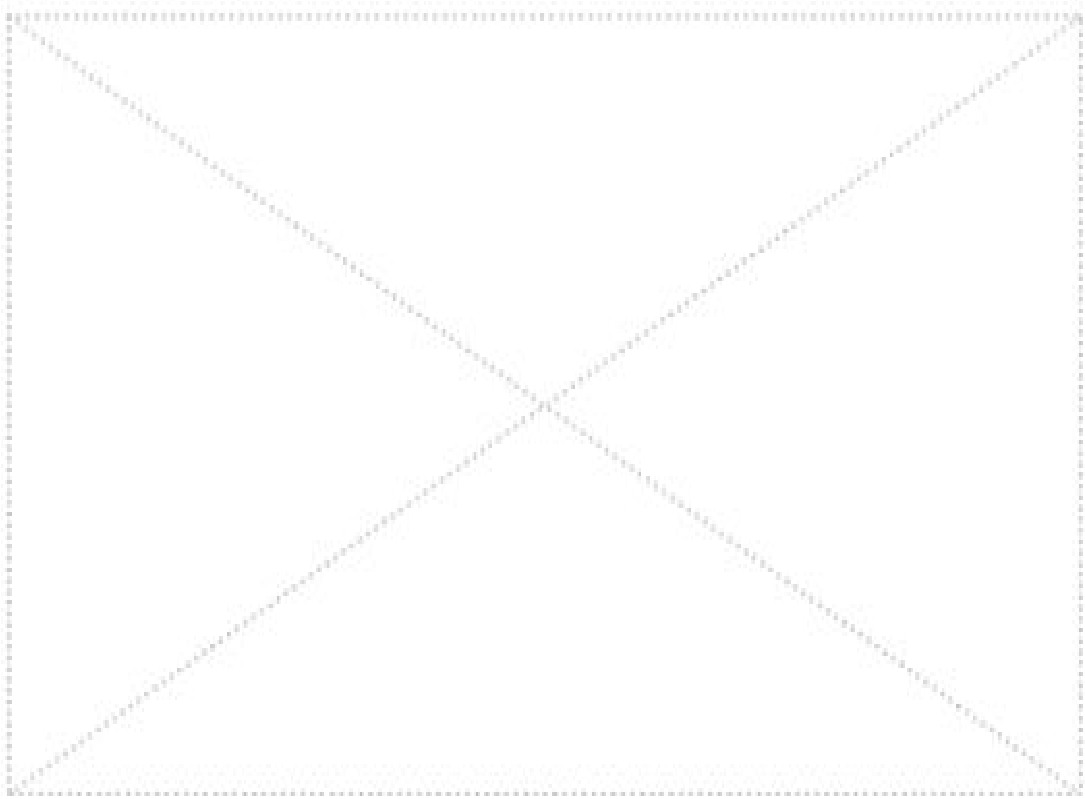
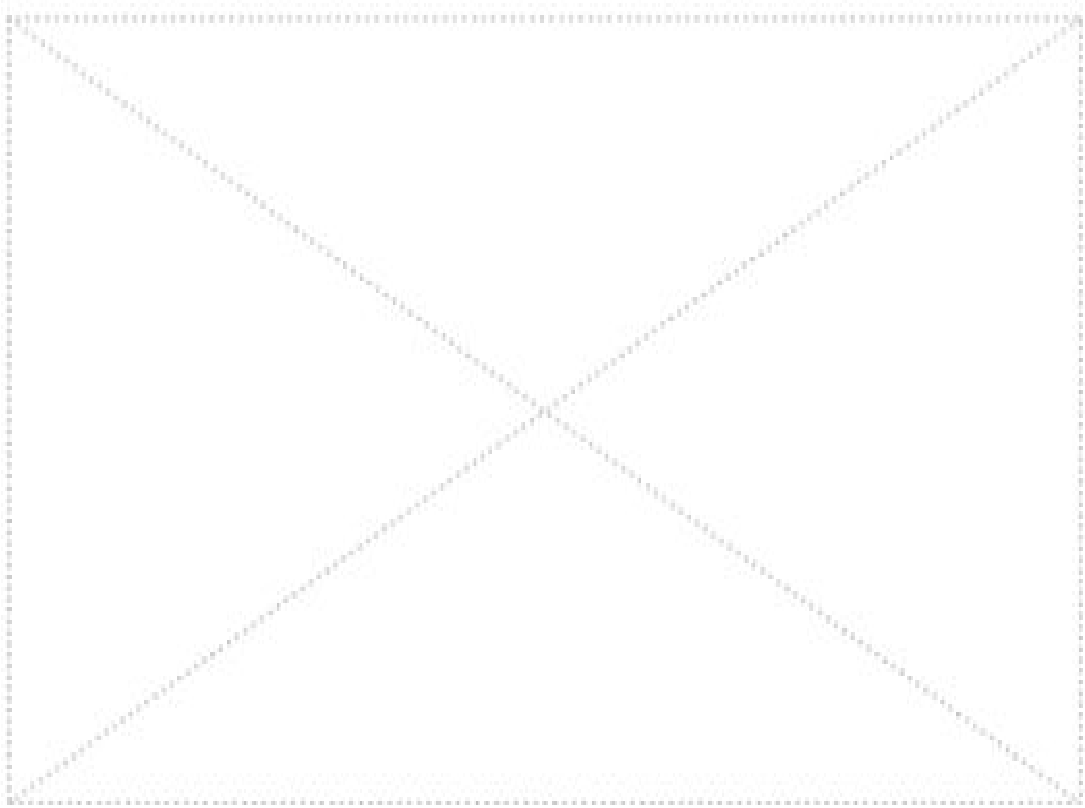


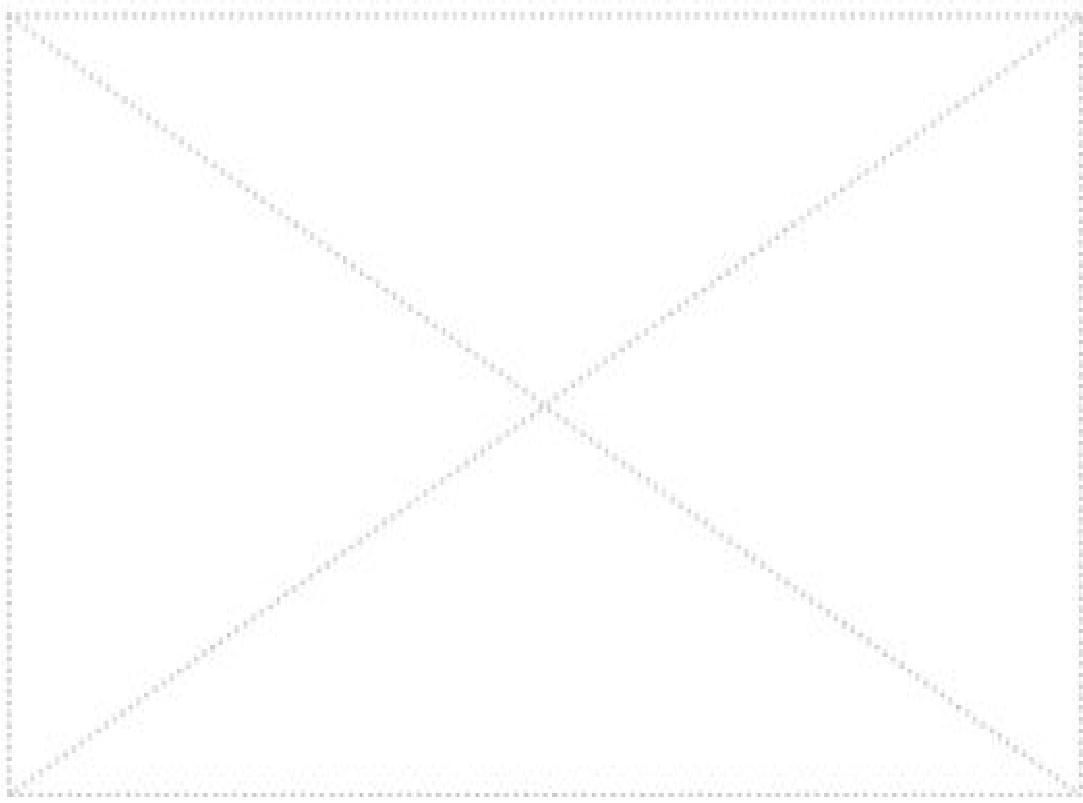
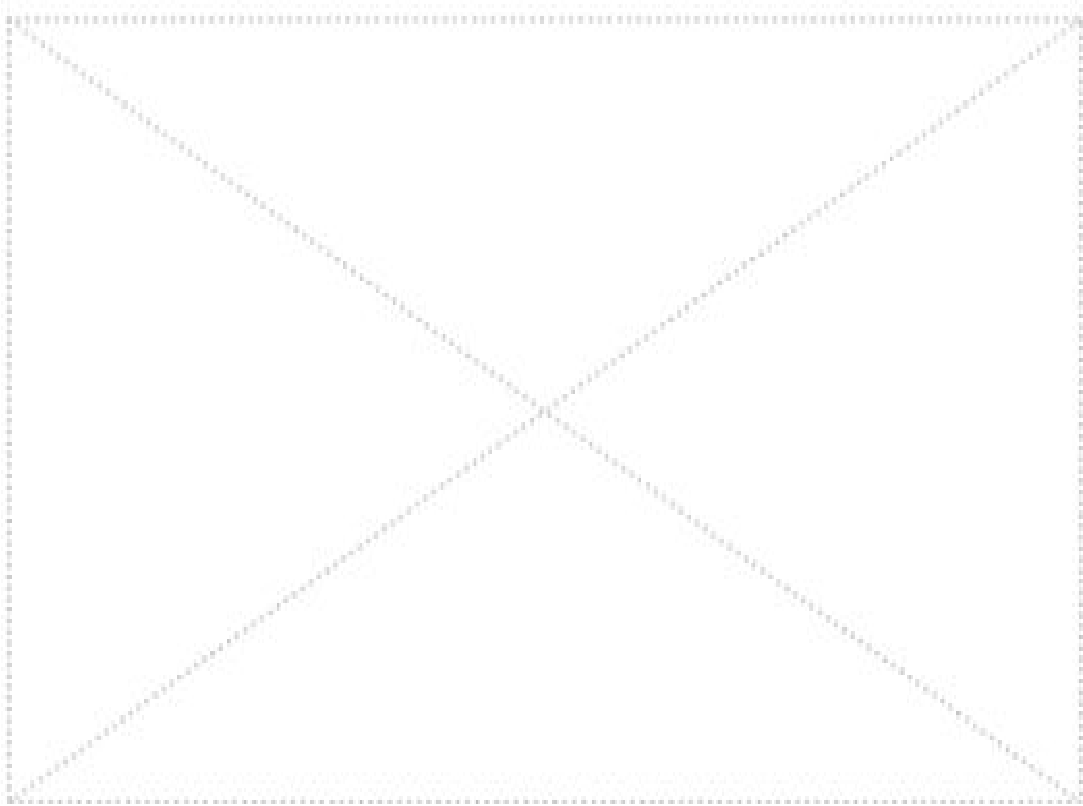


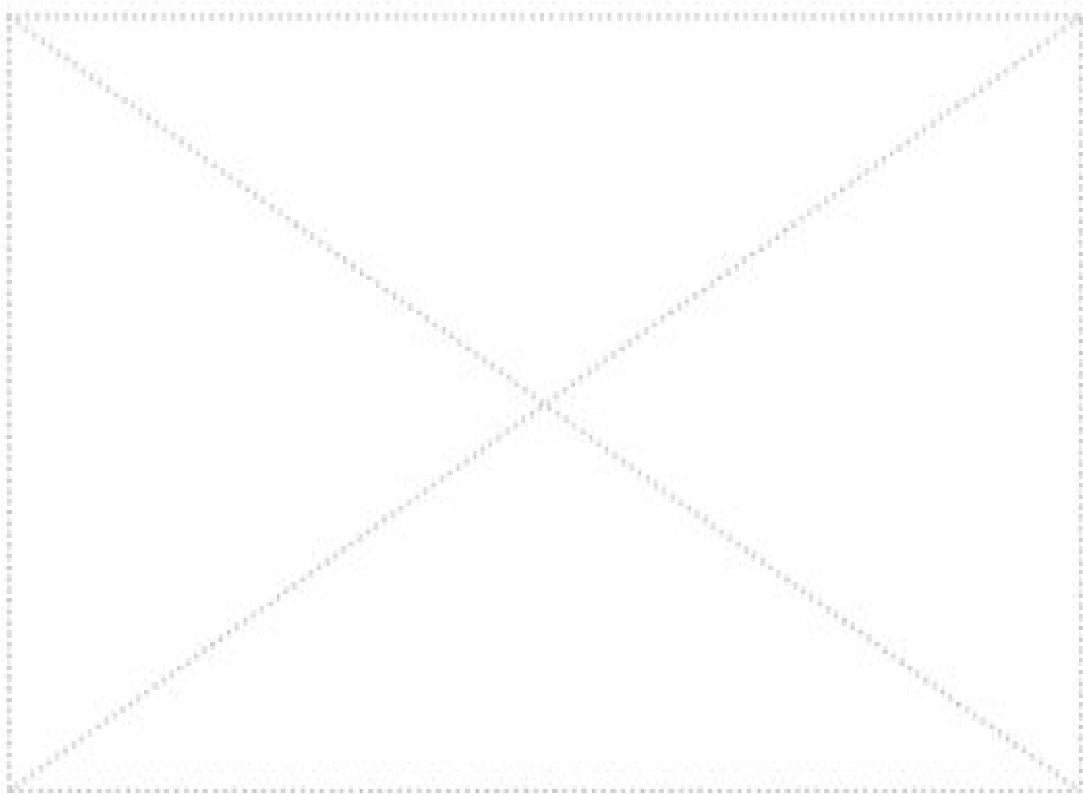
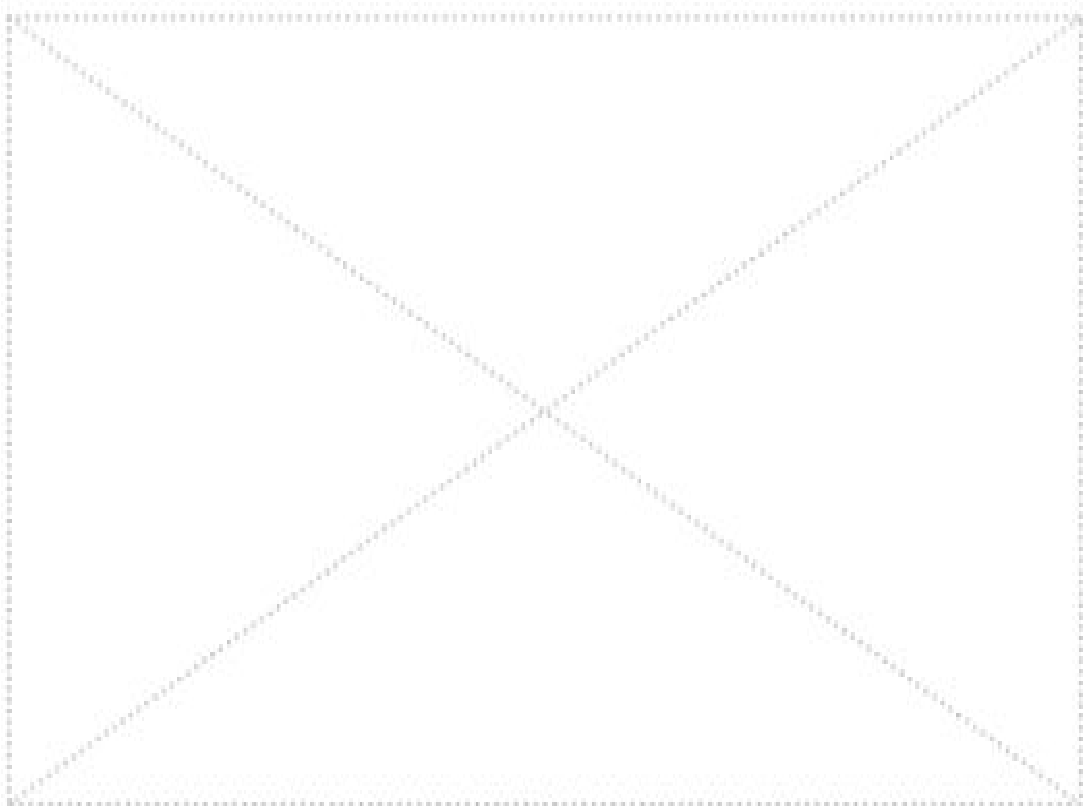


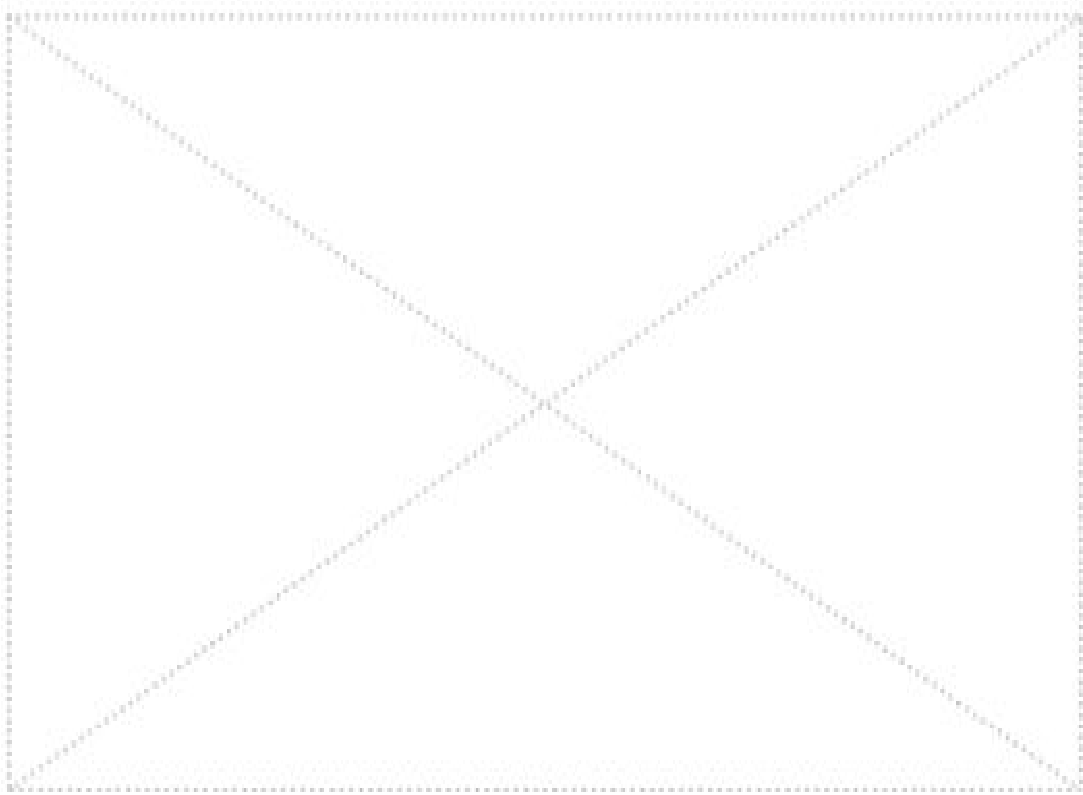
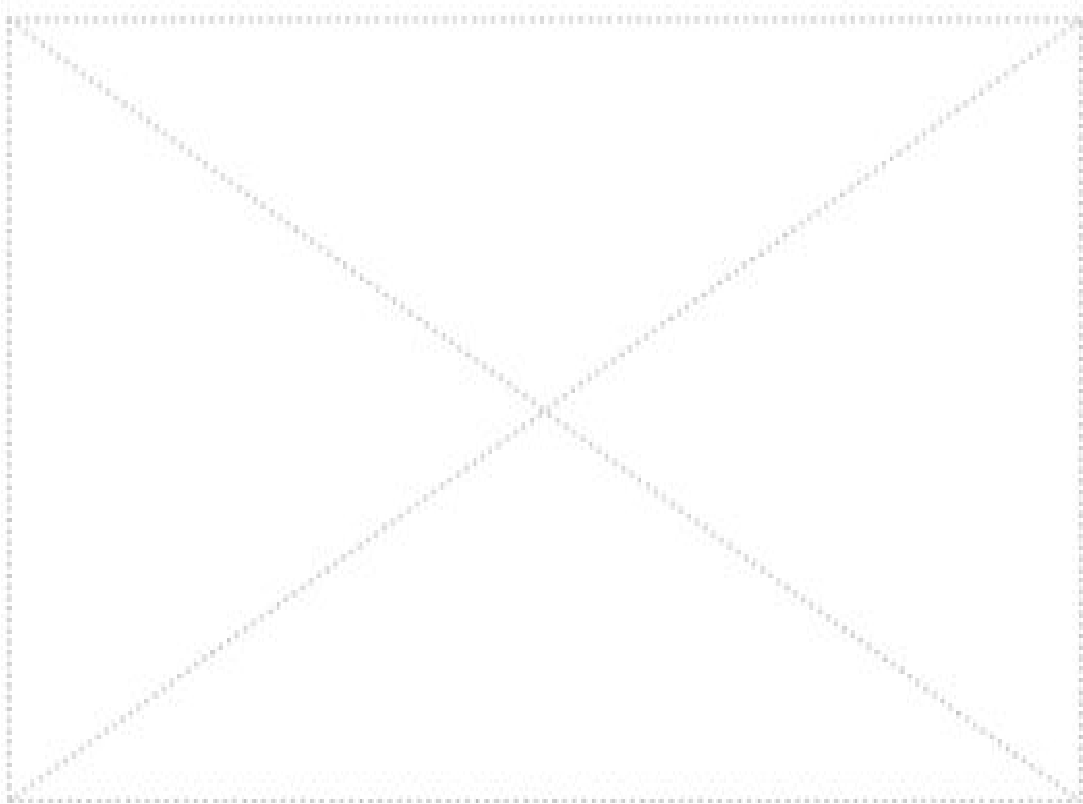


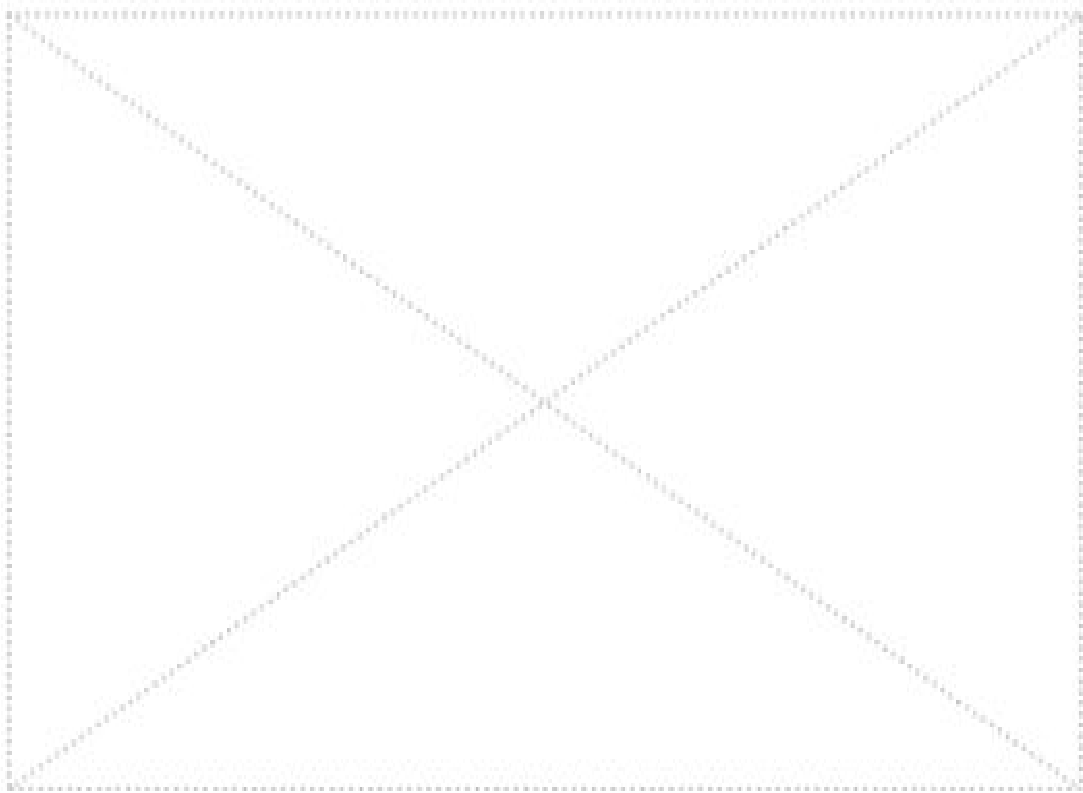
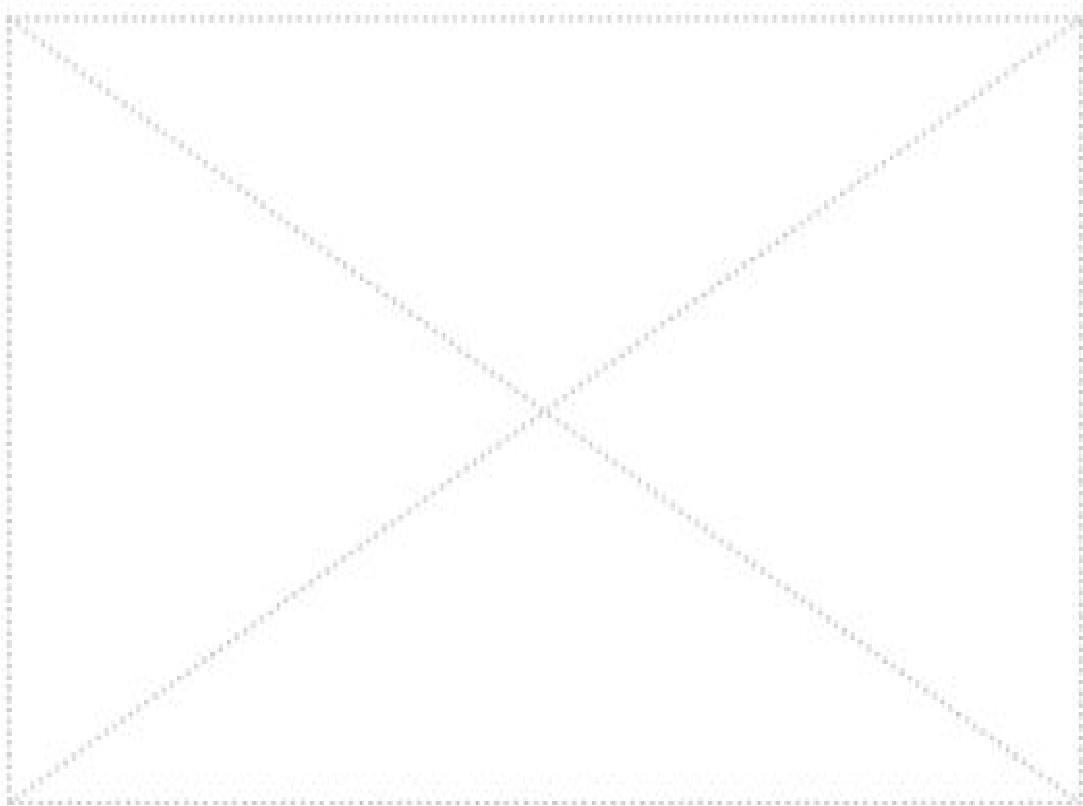


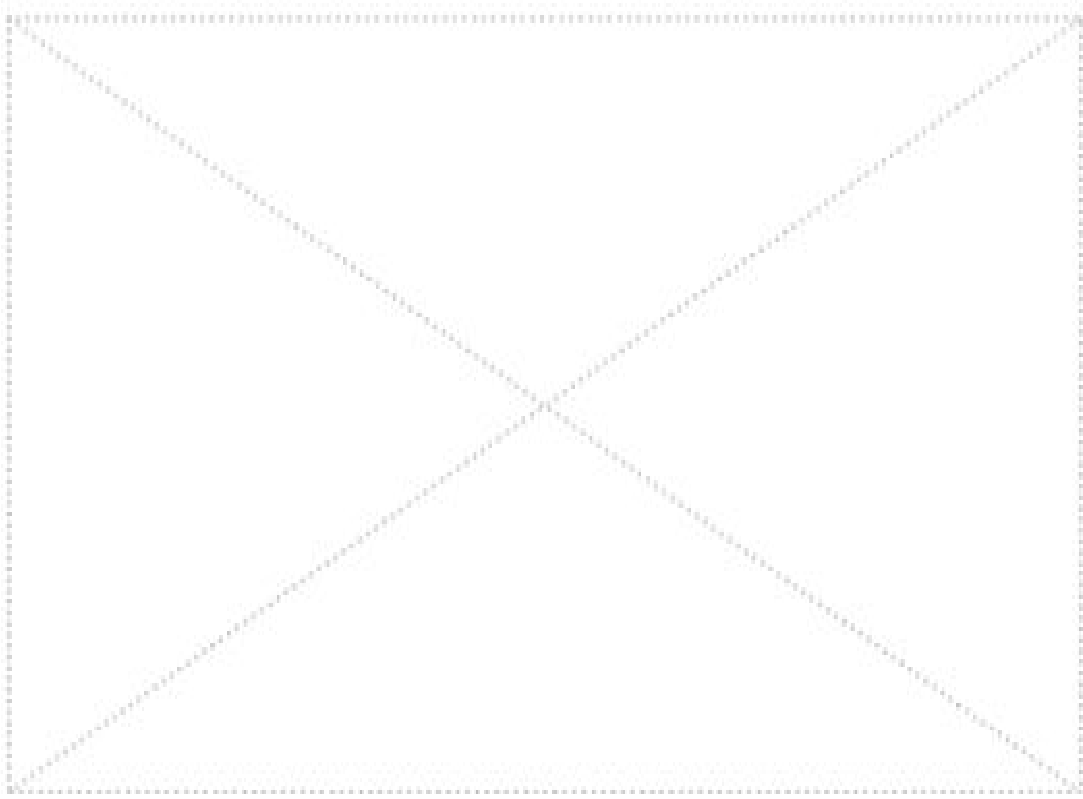
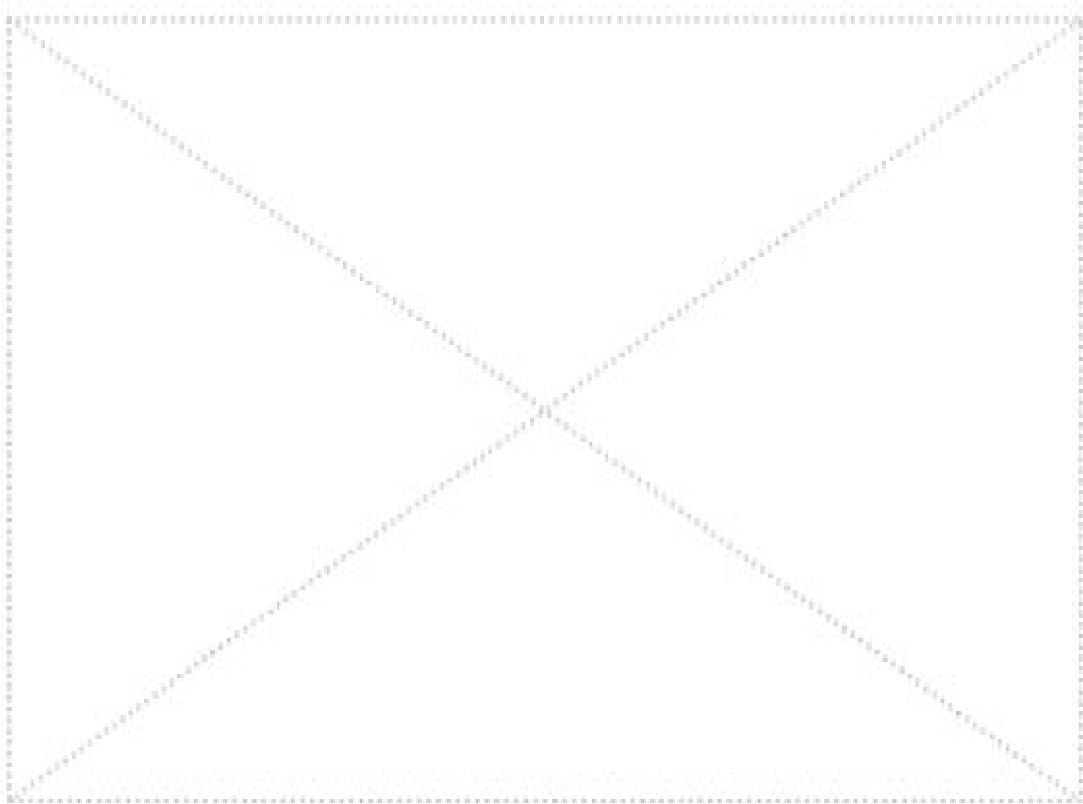


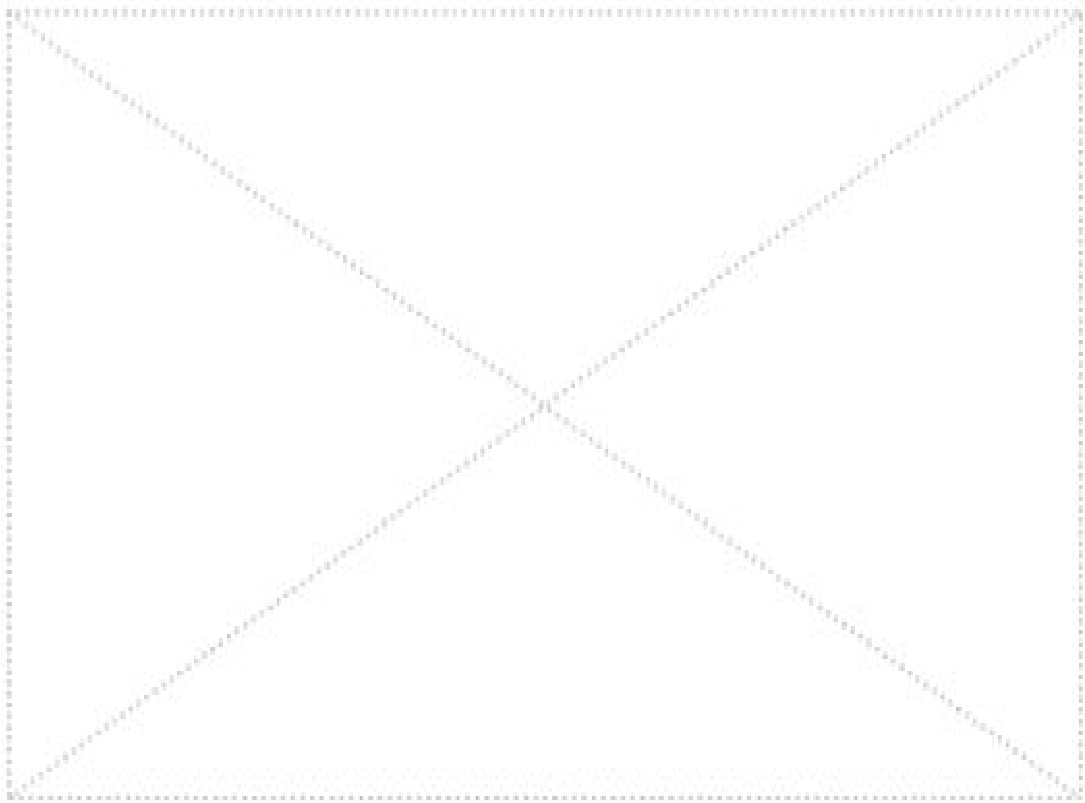
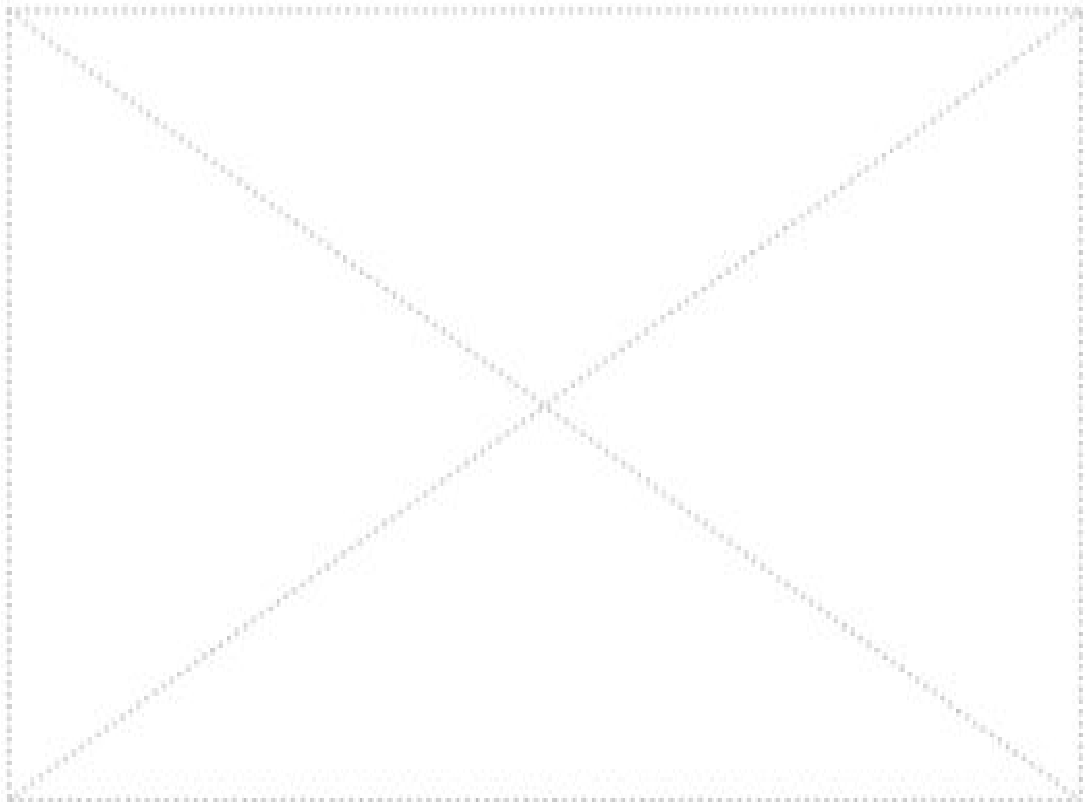


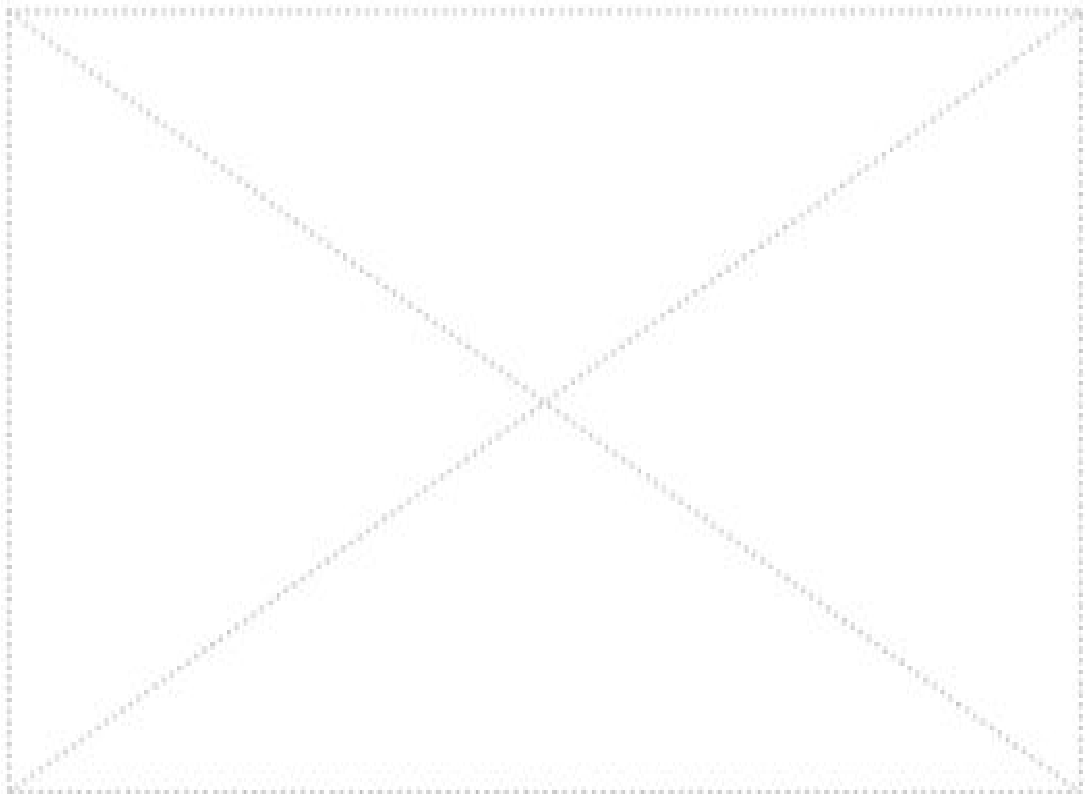
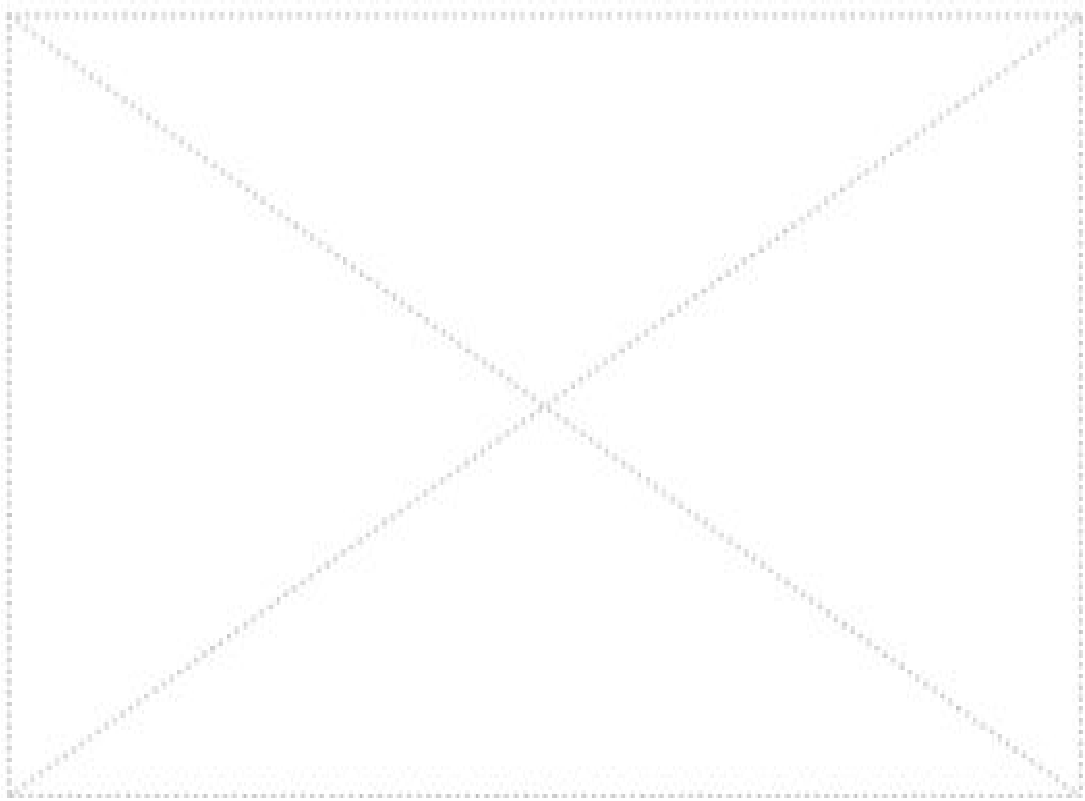


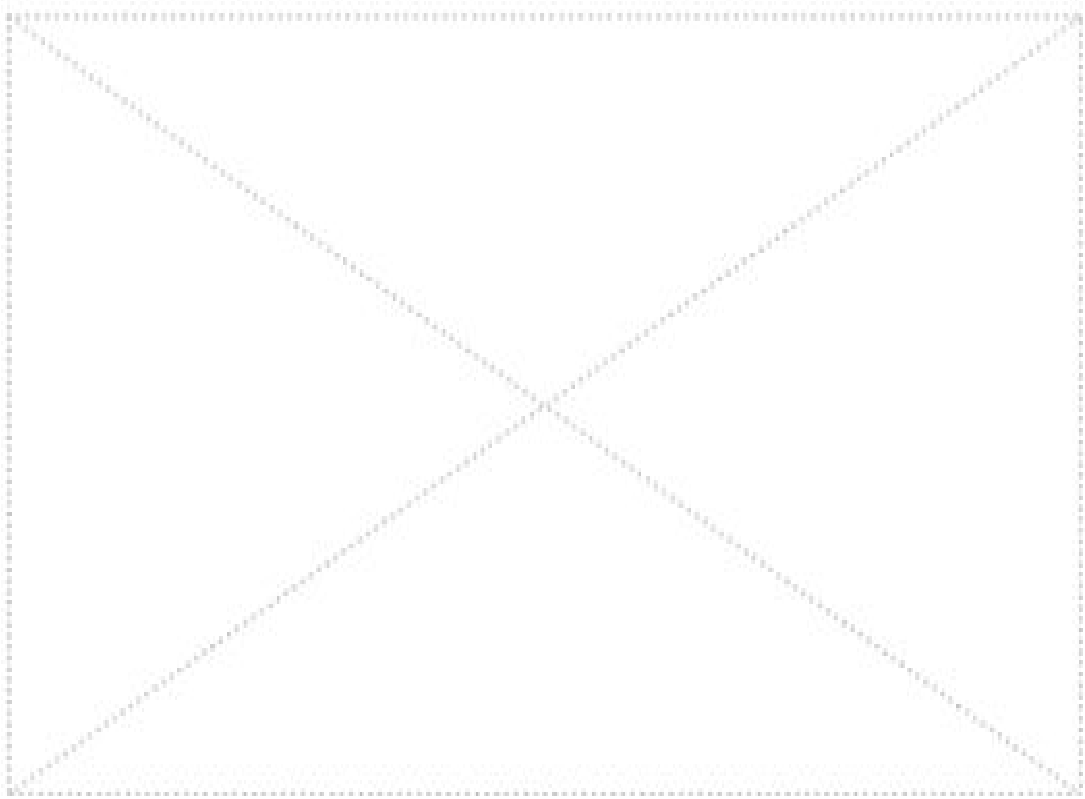
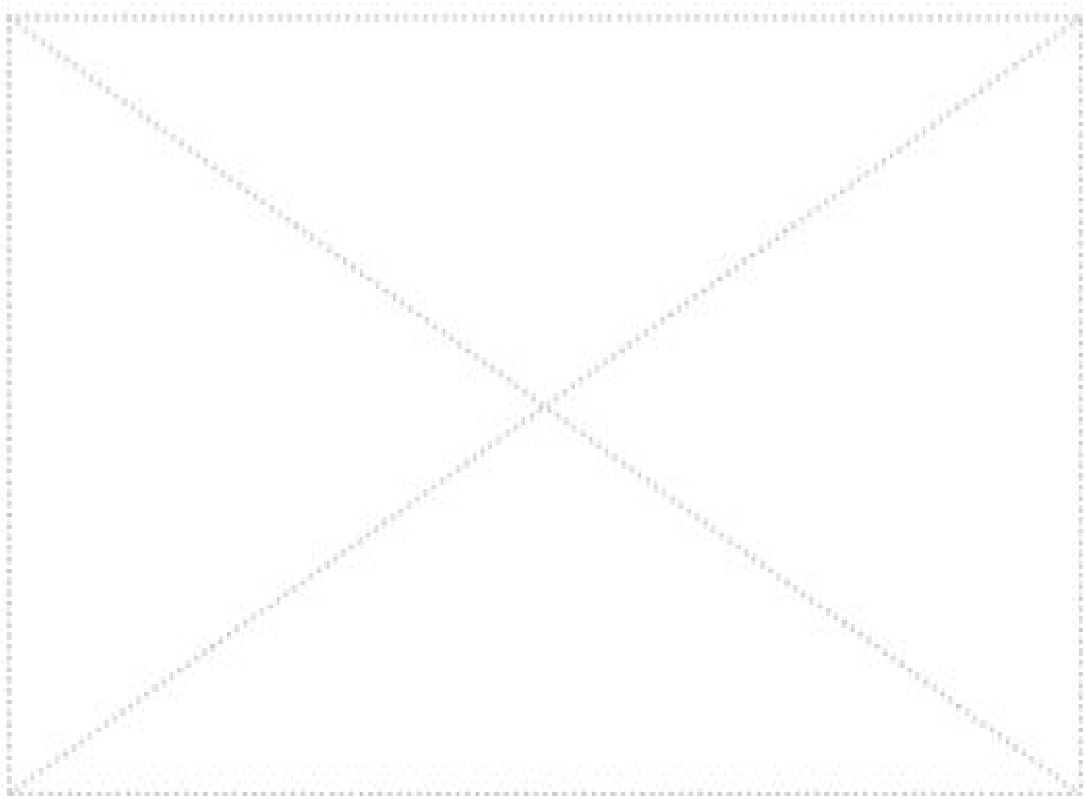


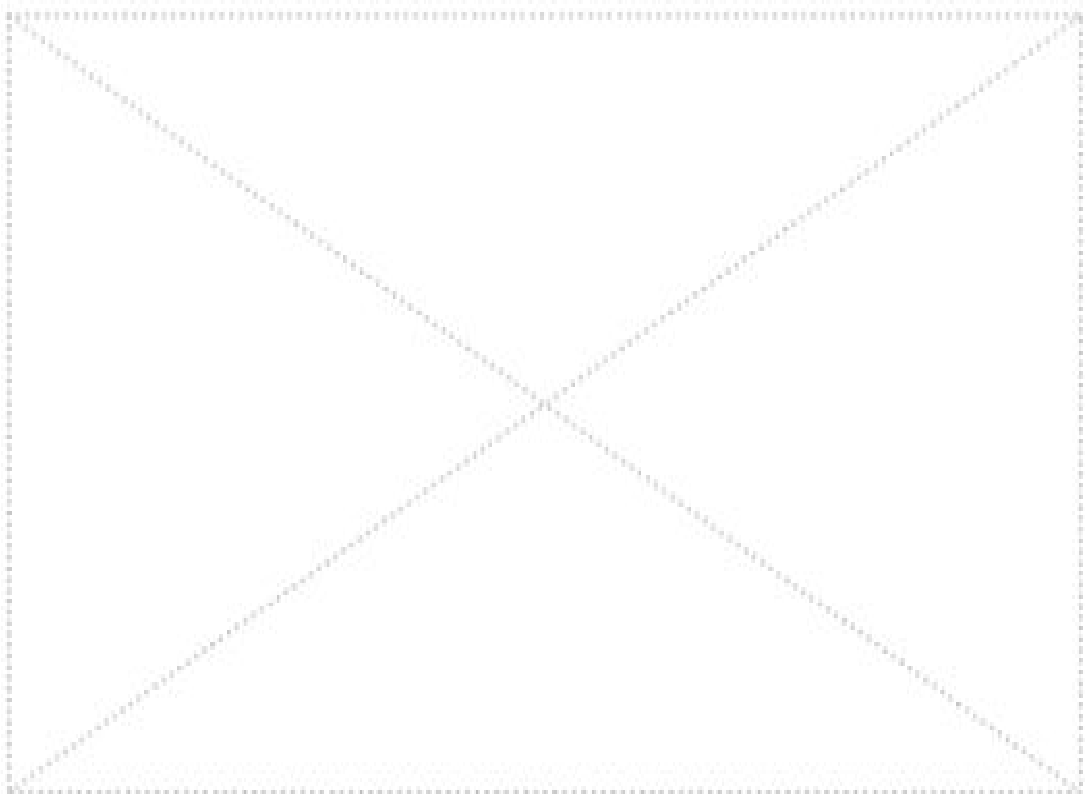
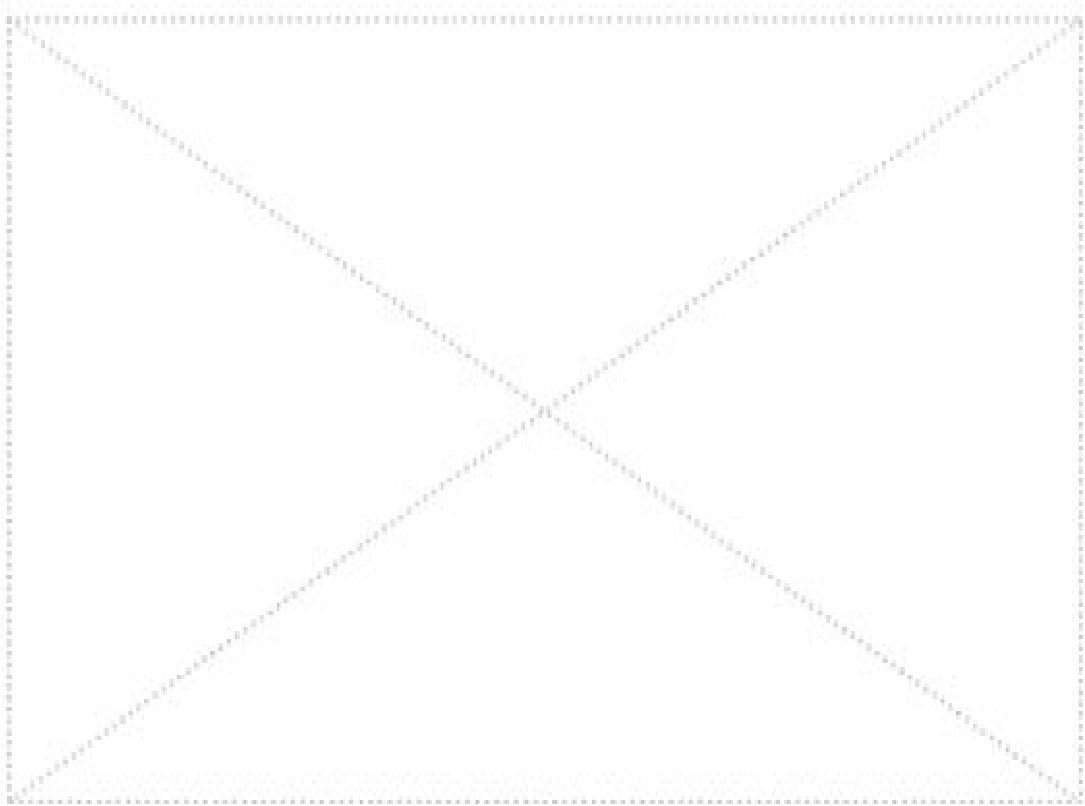


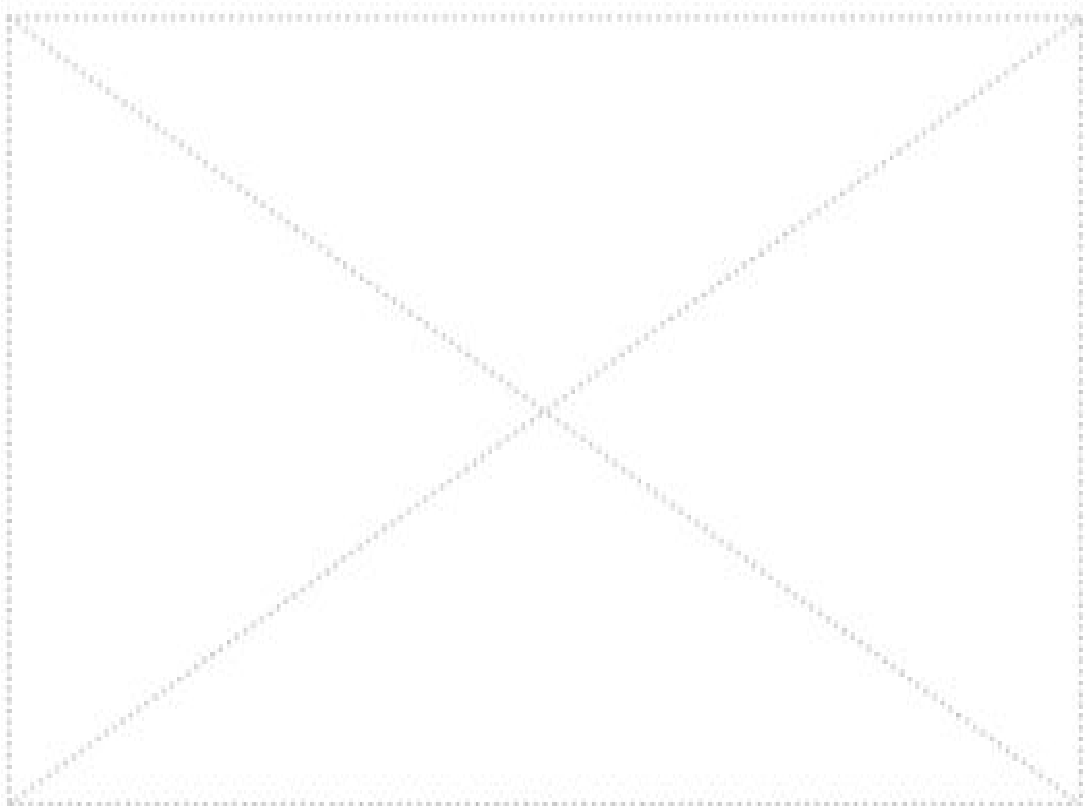
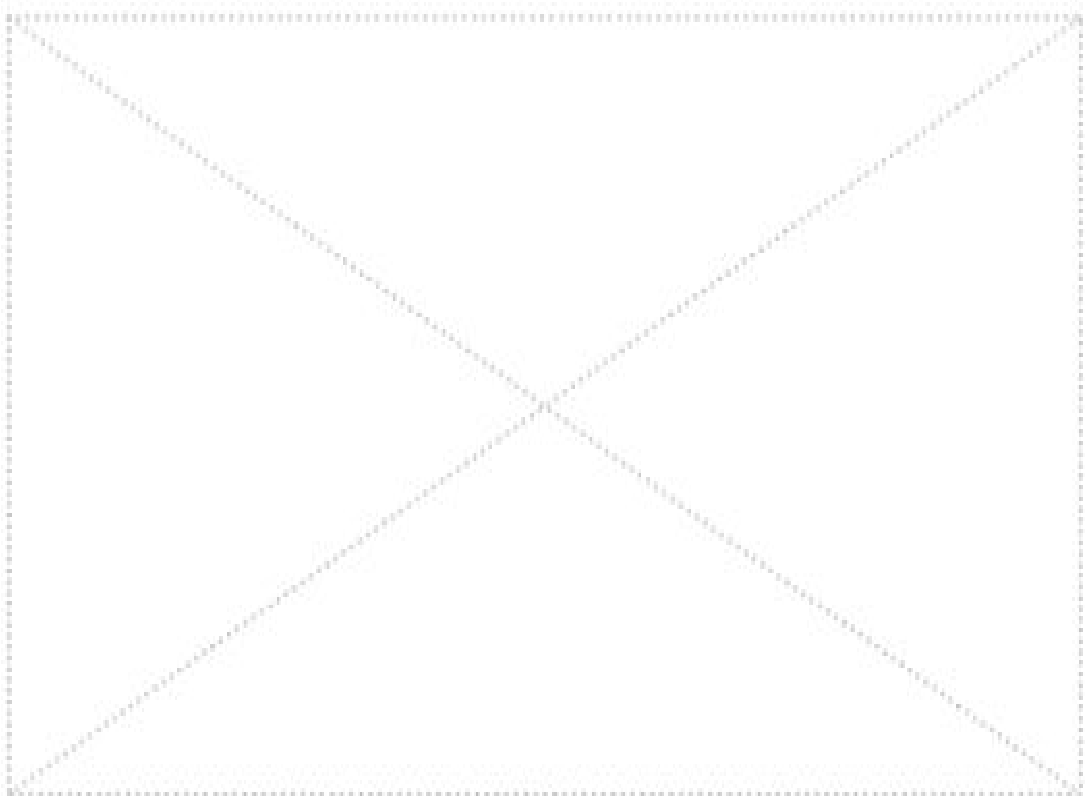


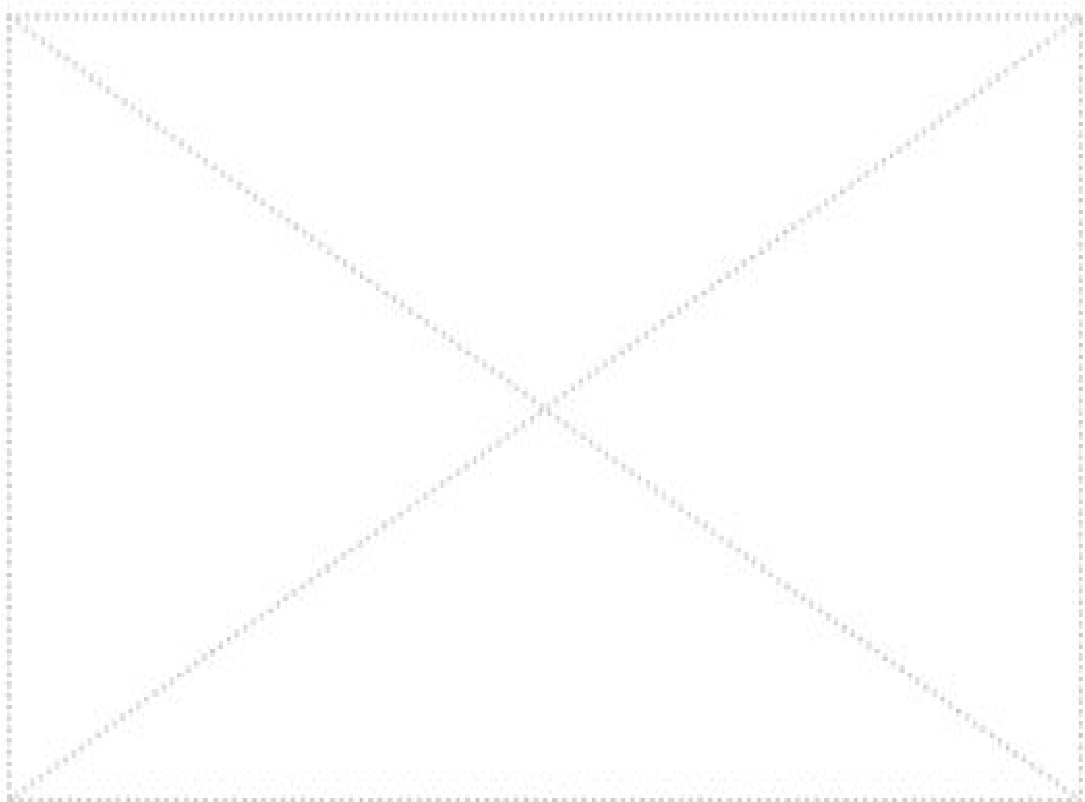
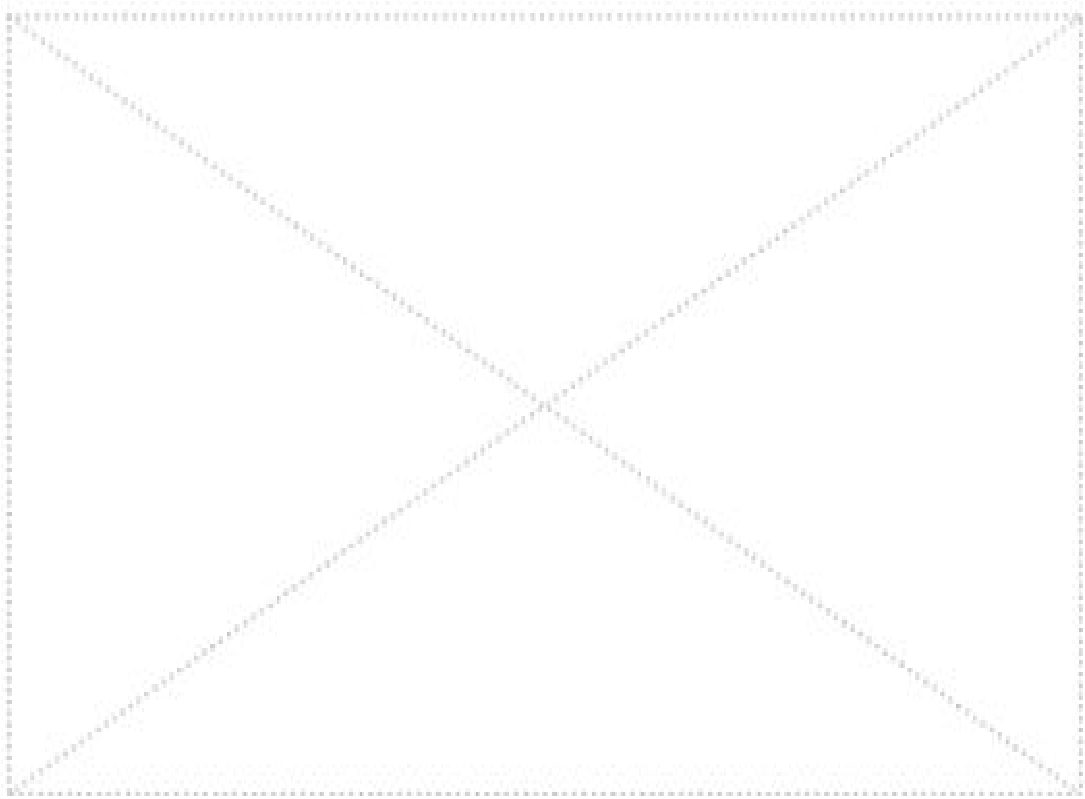


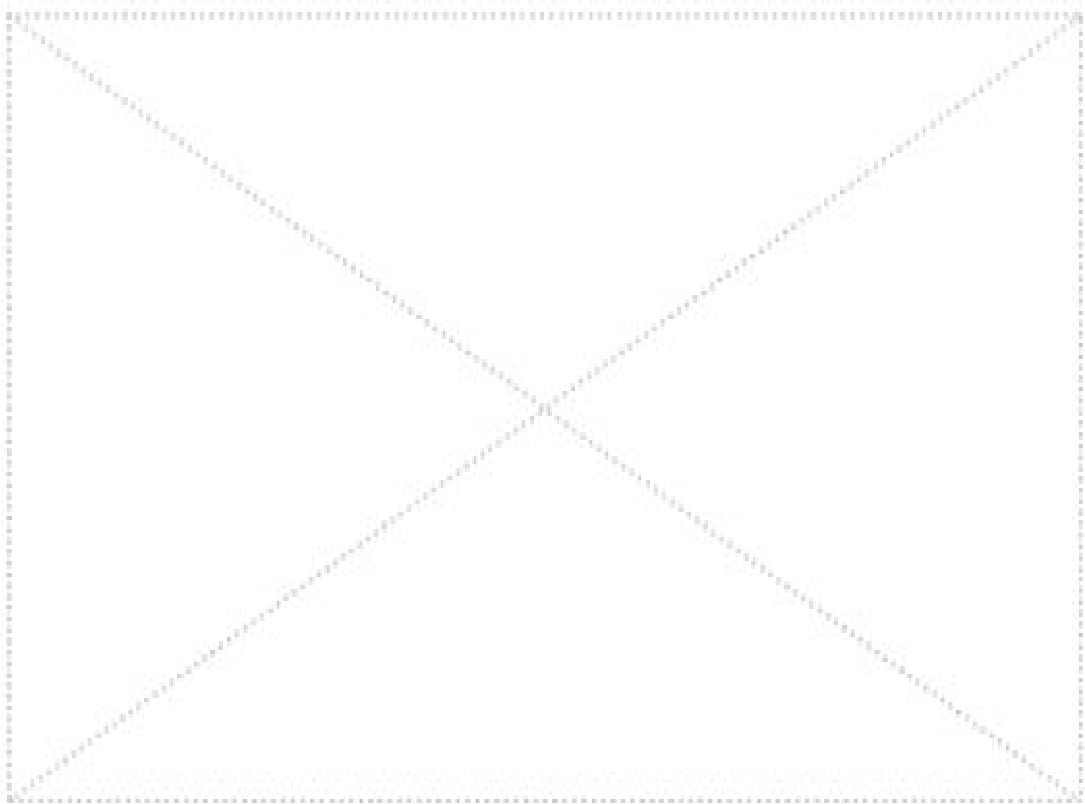
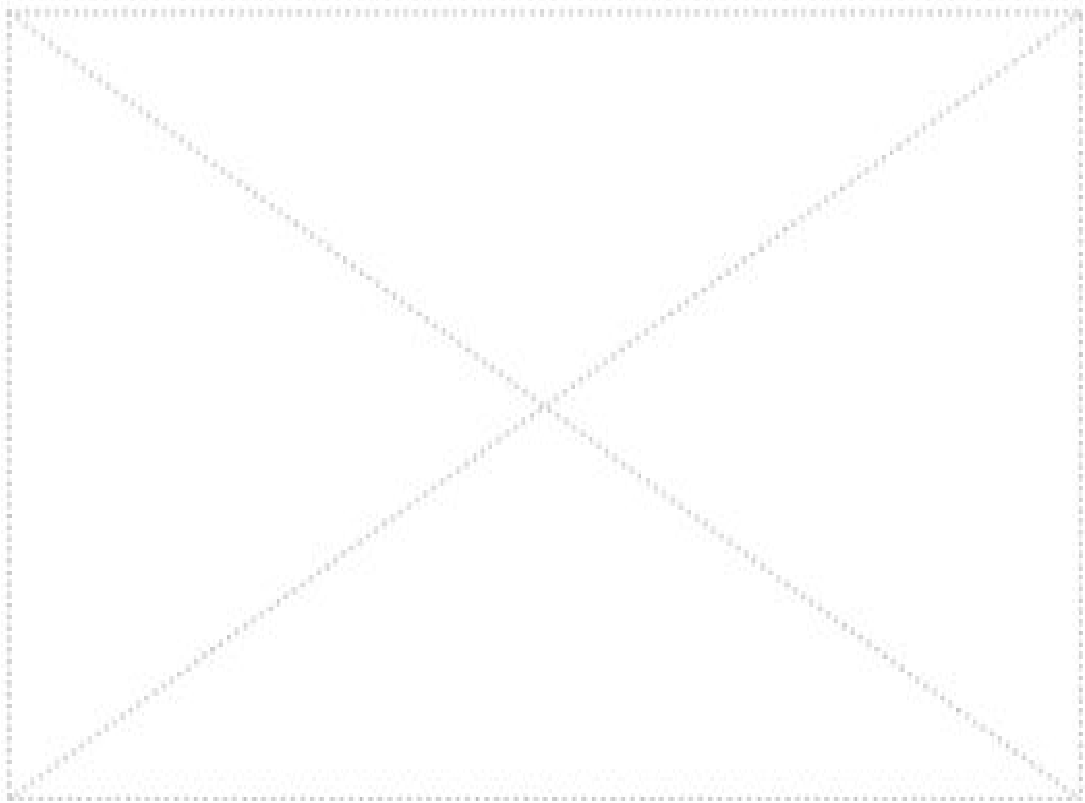


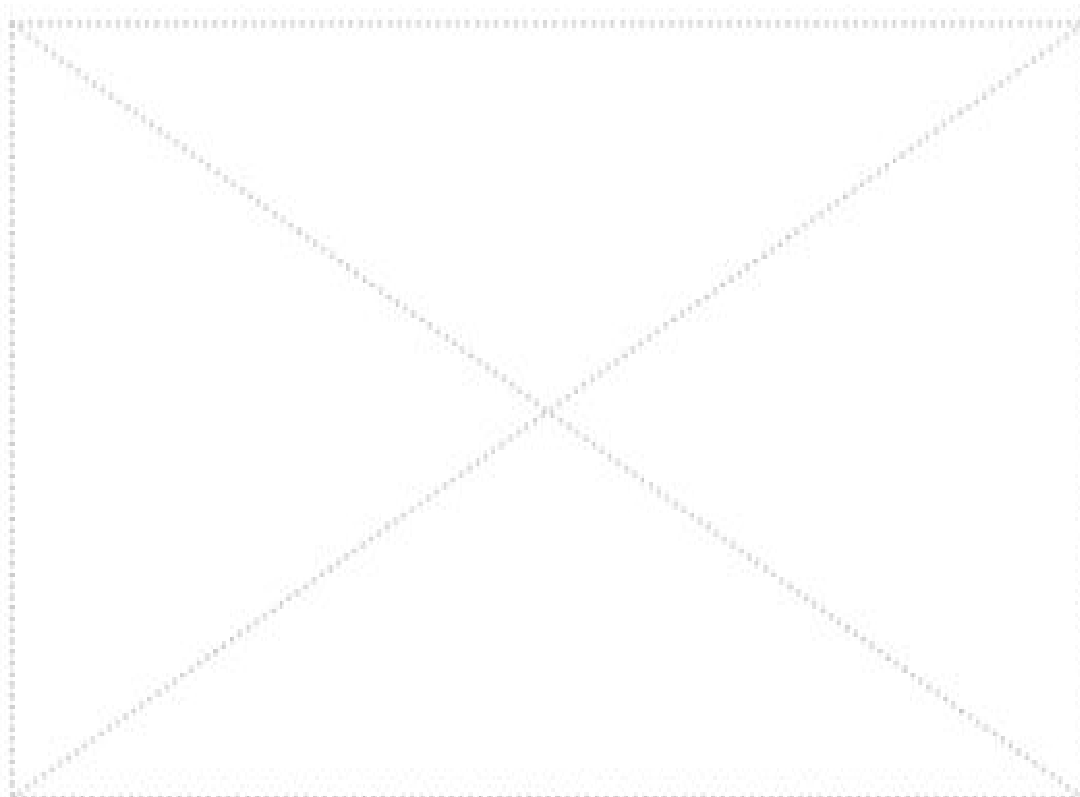
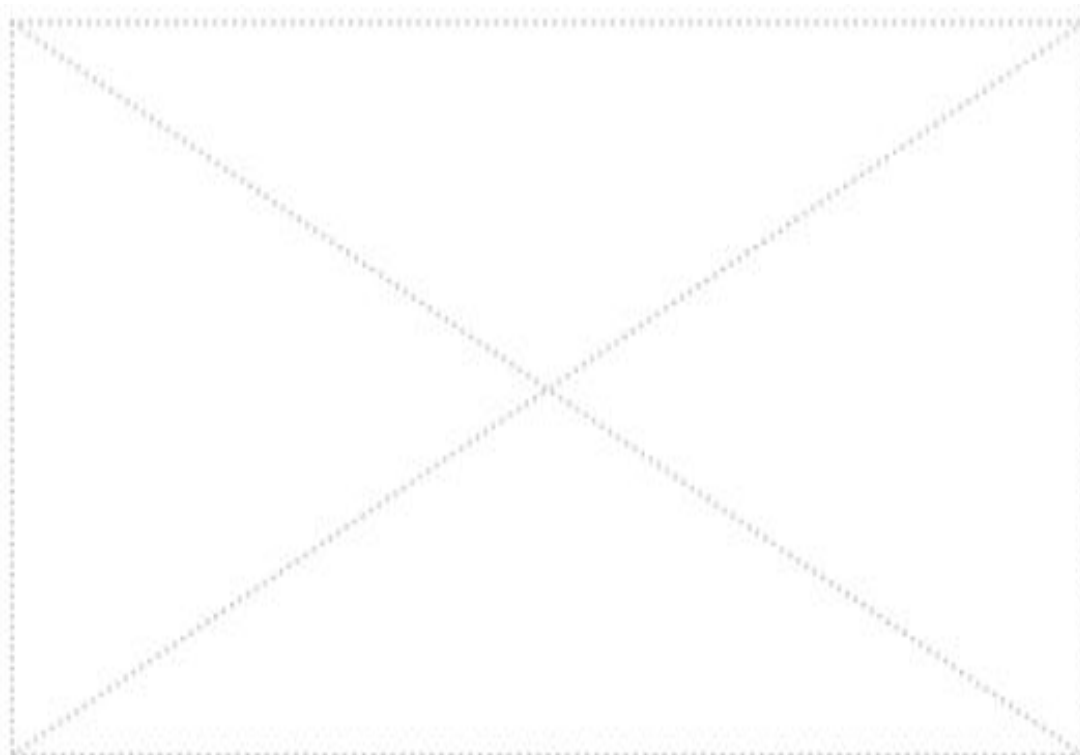


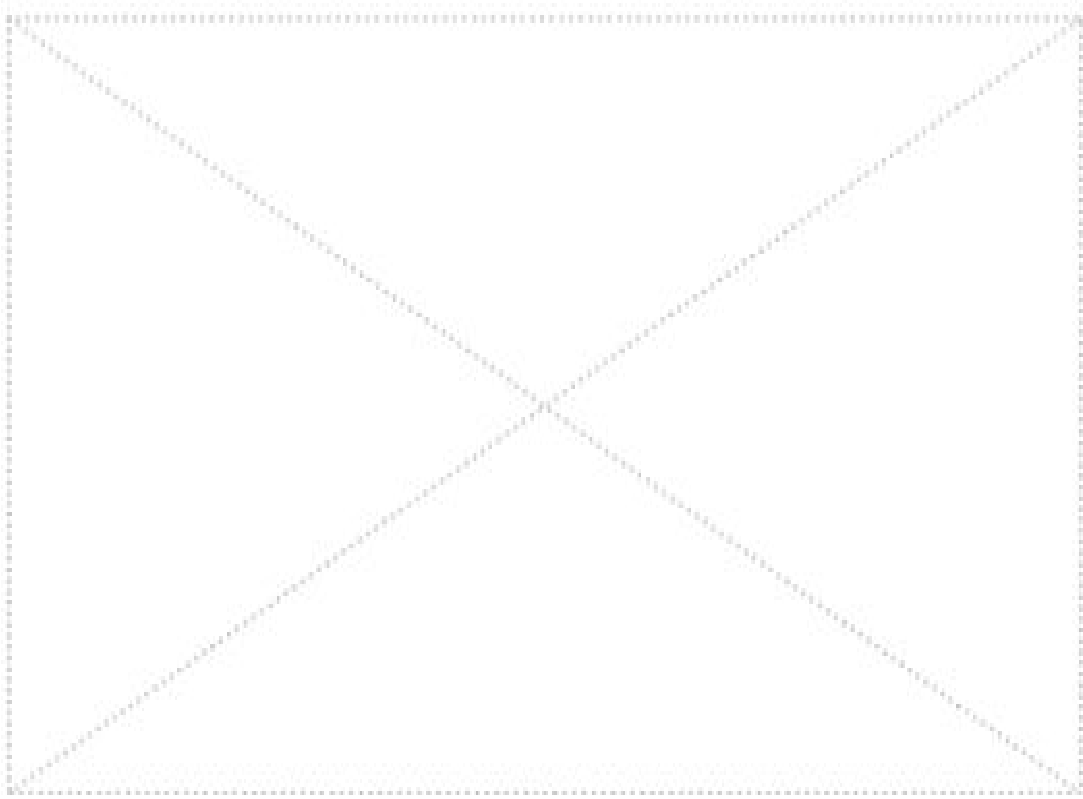
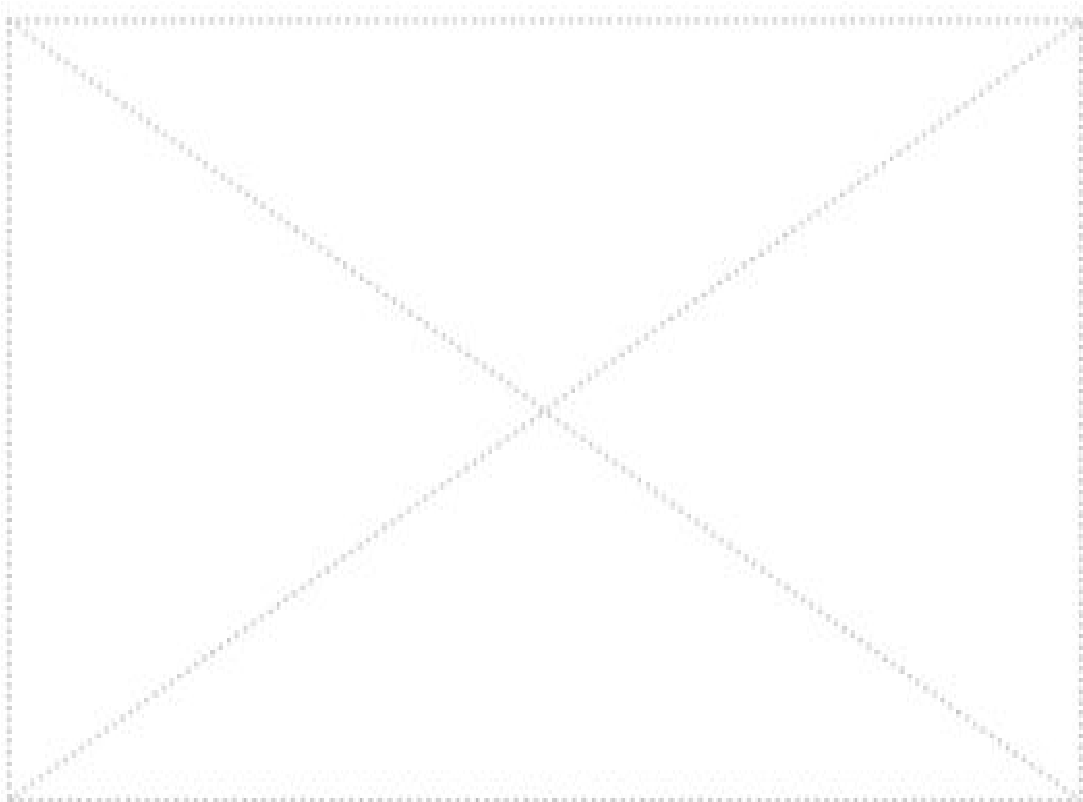


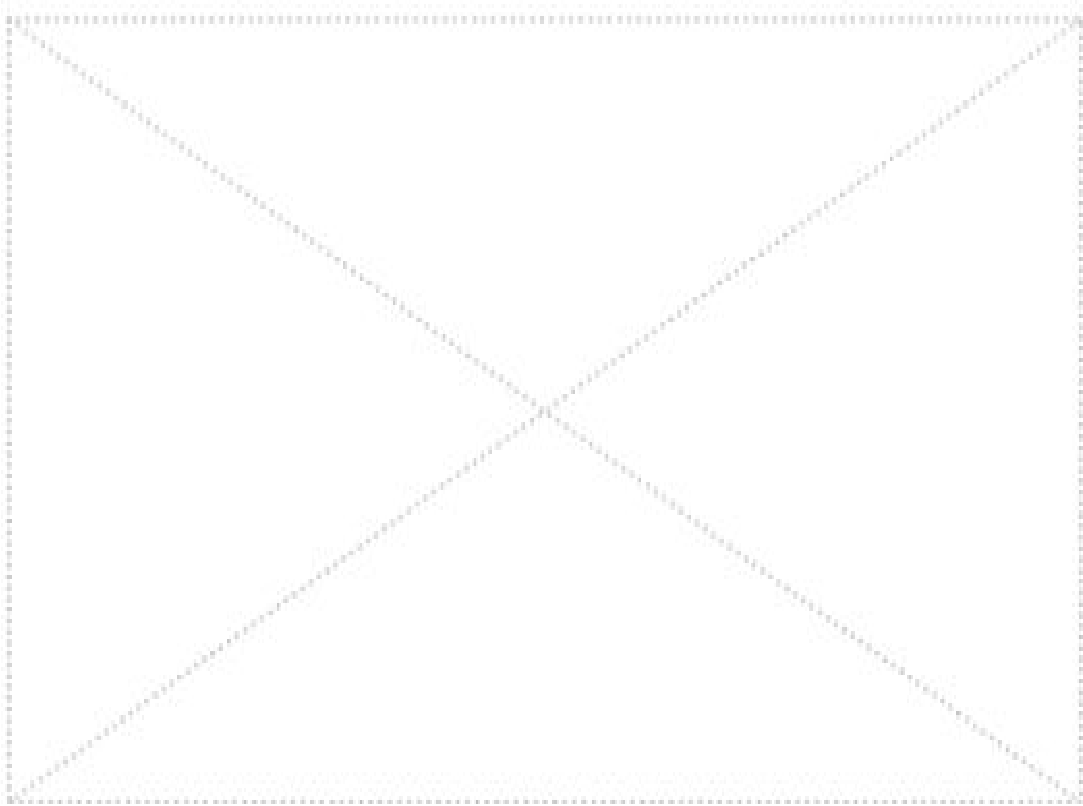




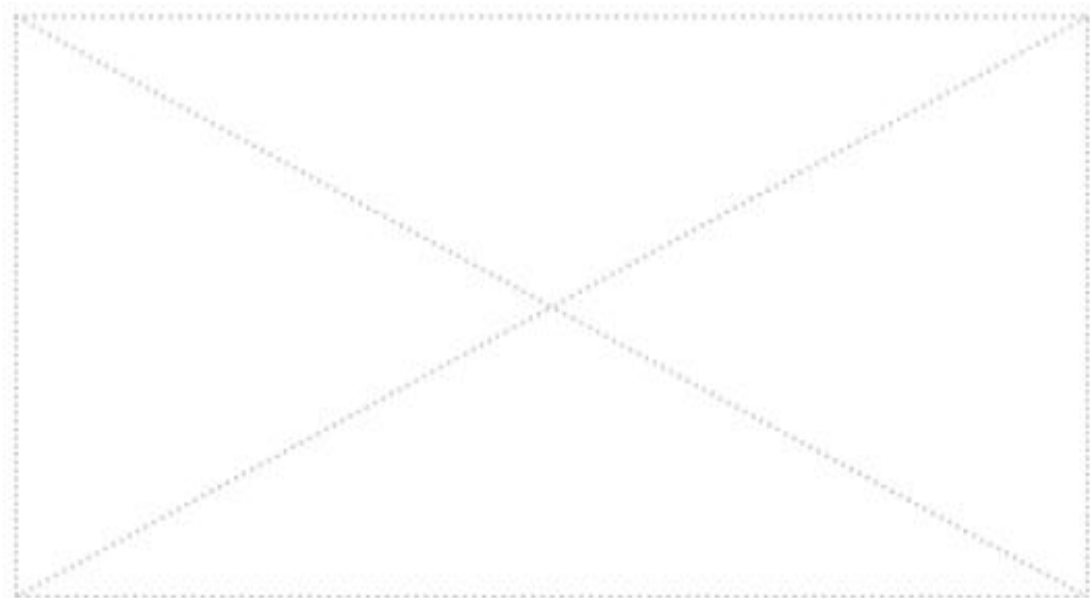
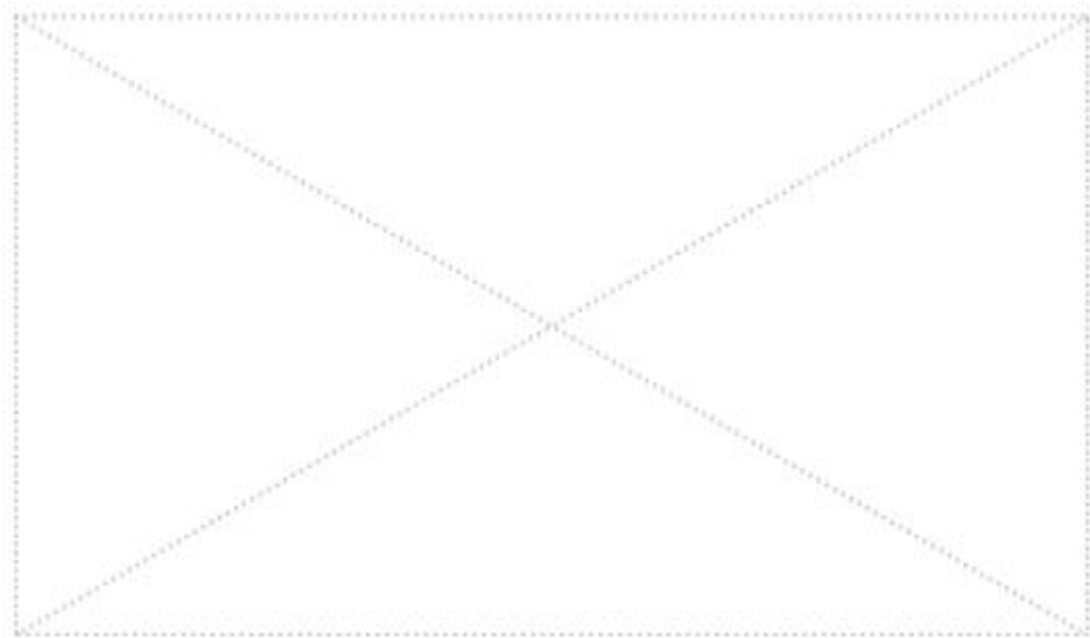


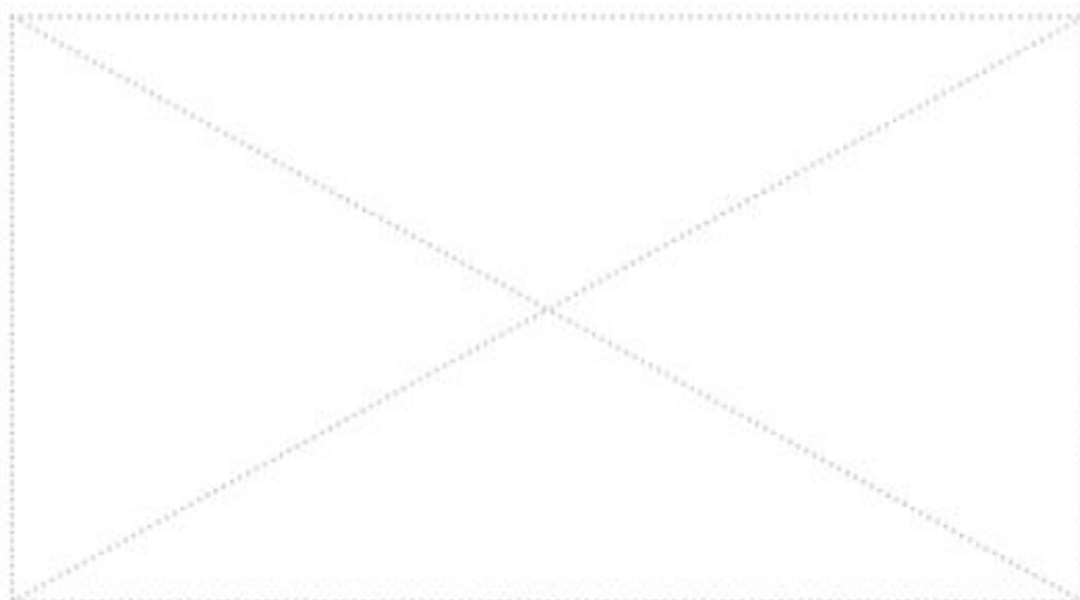
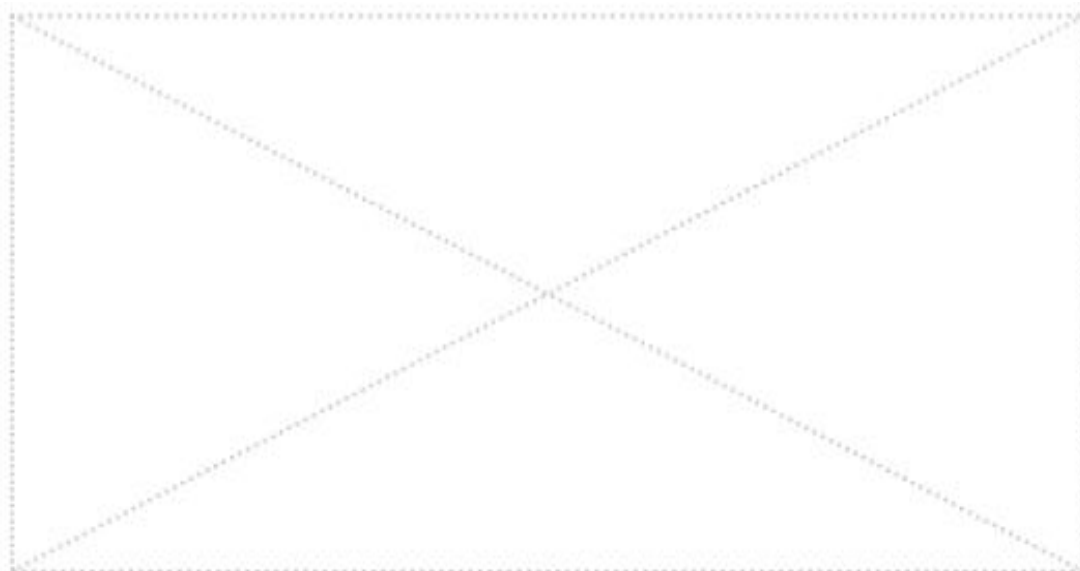


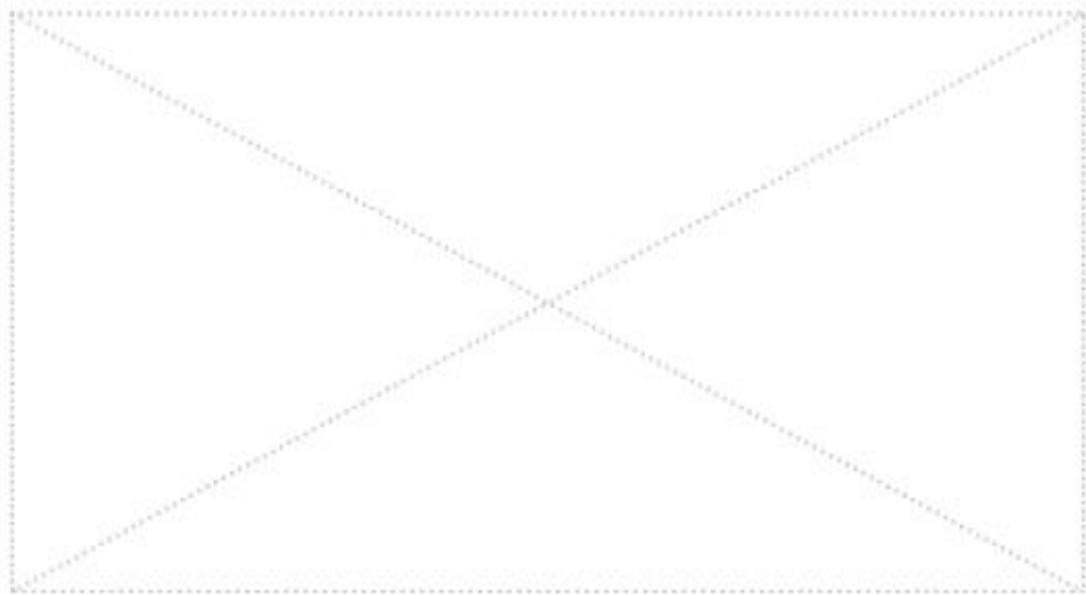
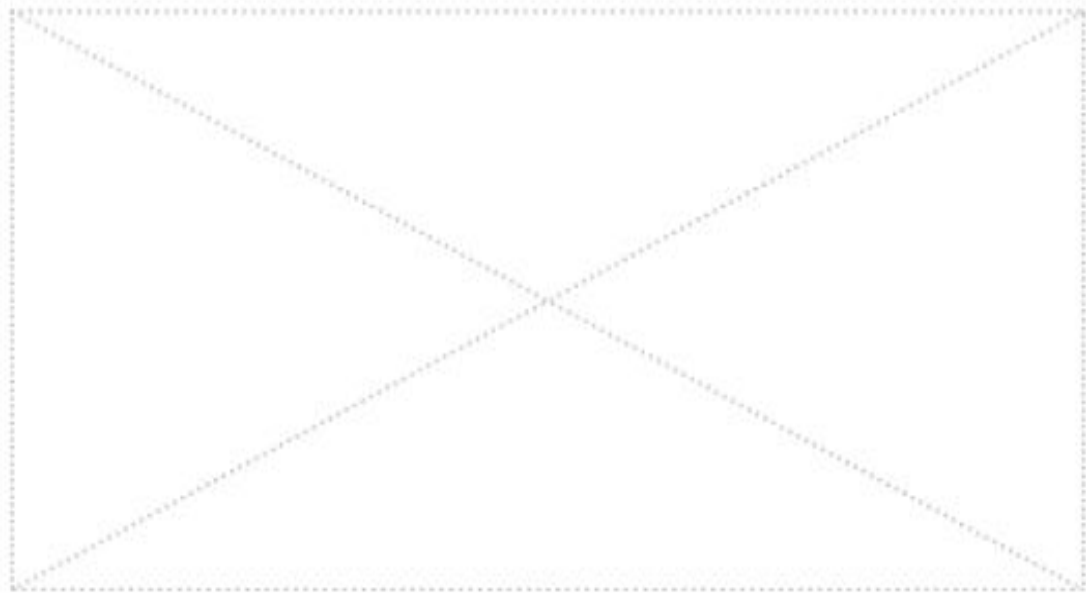


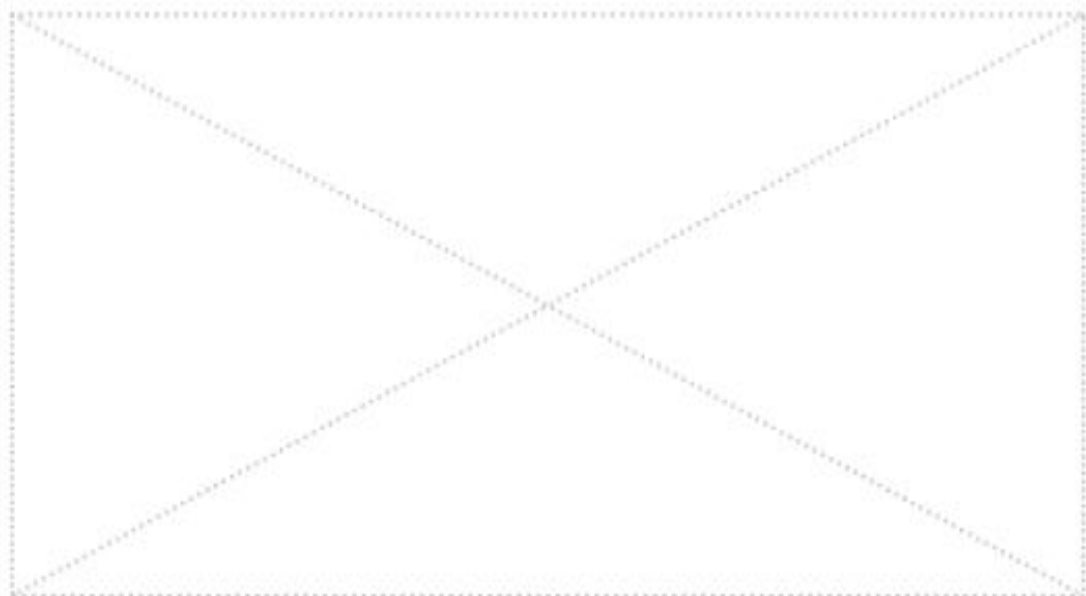
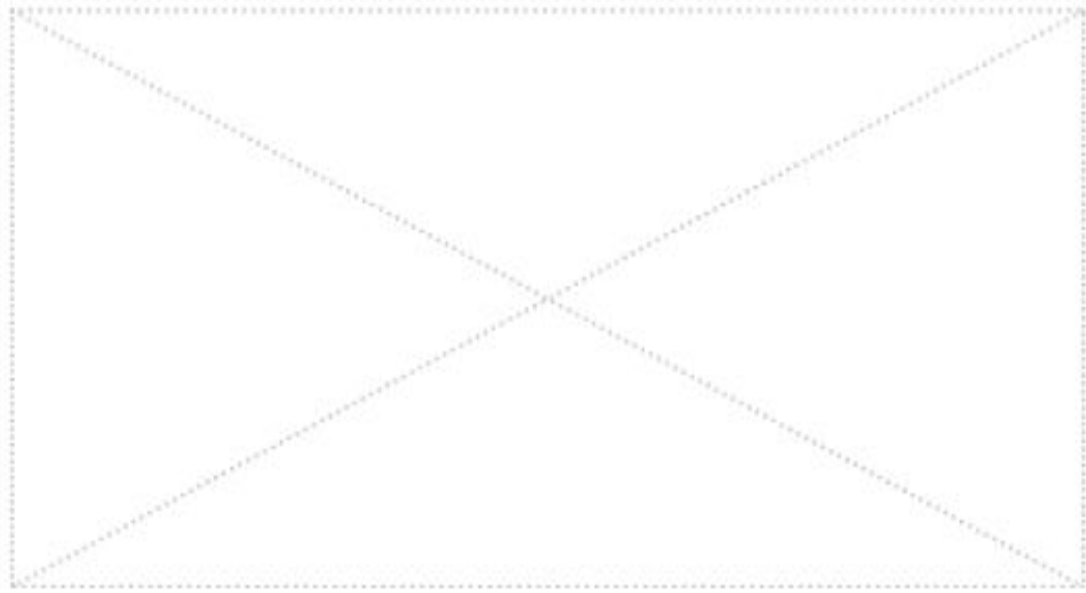


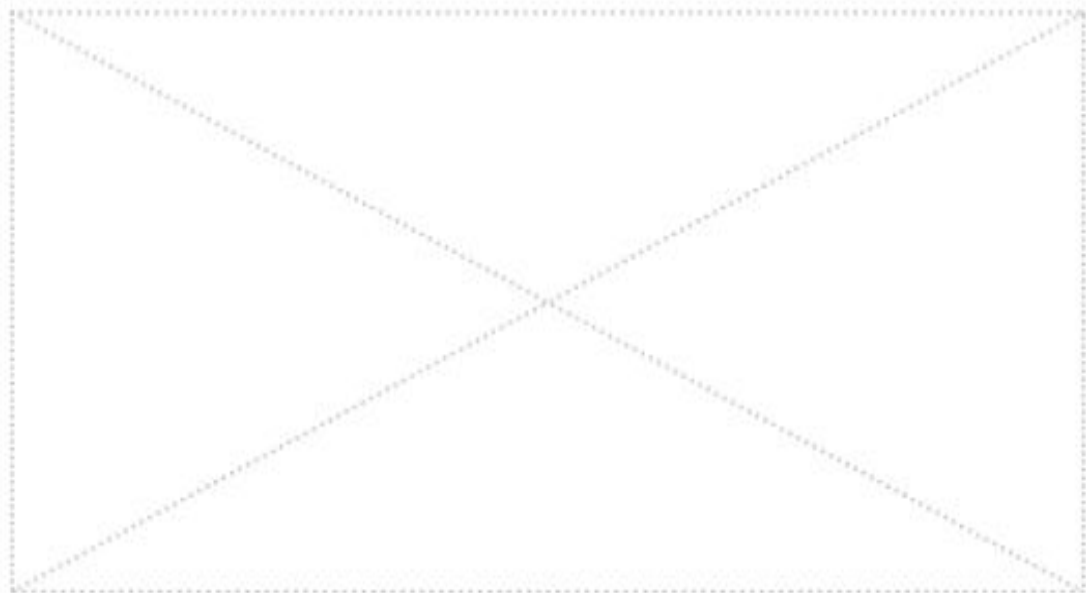
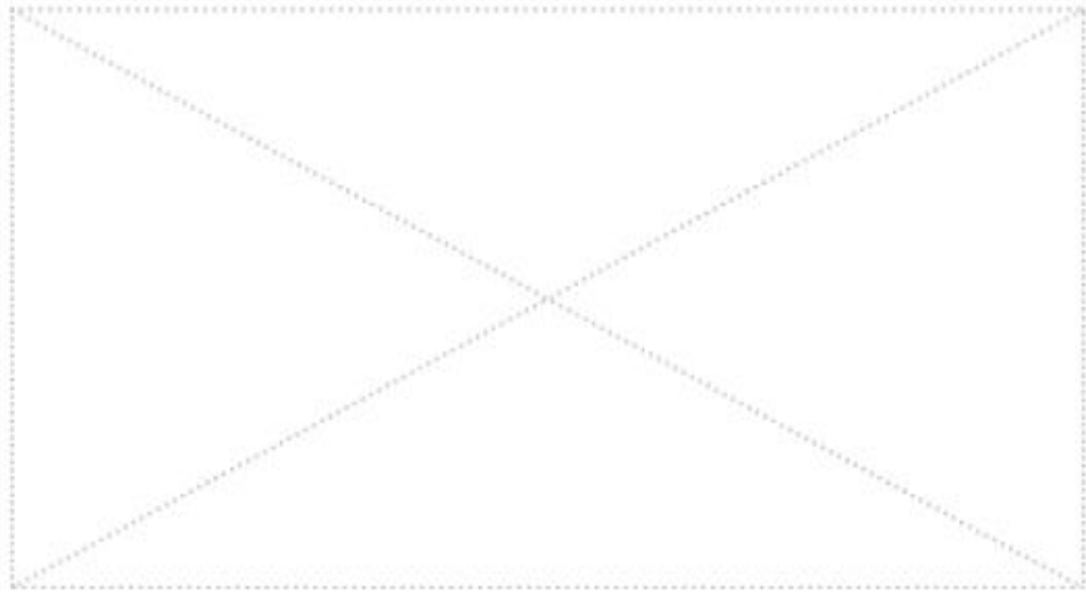
붙임 9. 제5차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

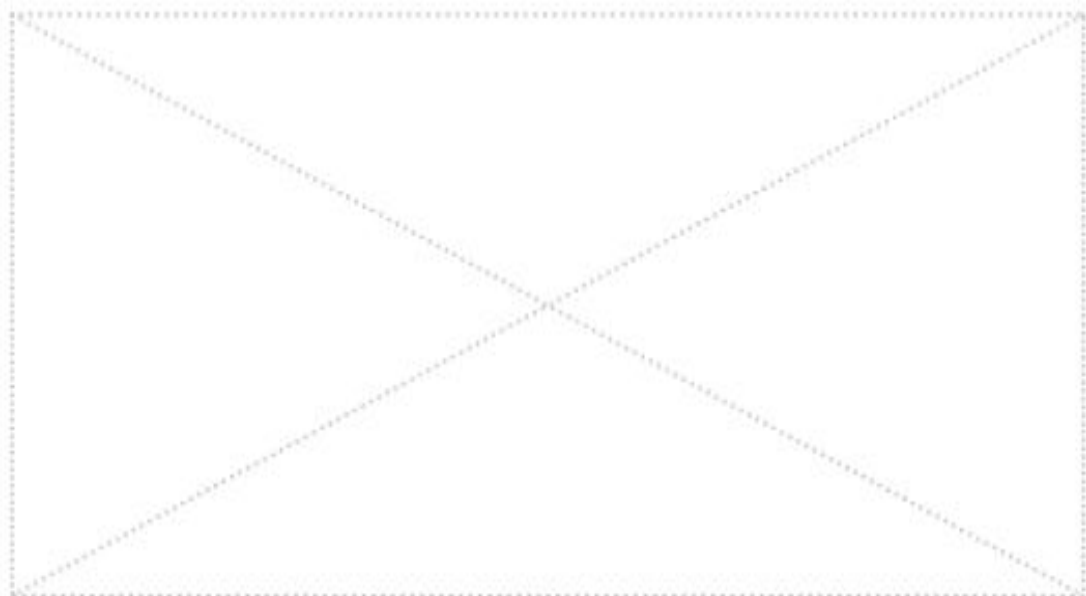
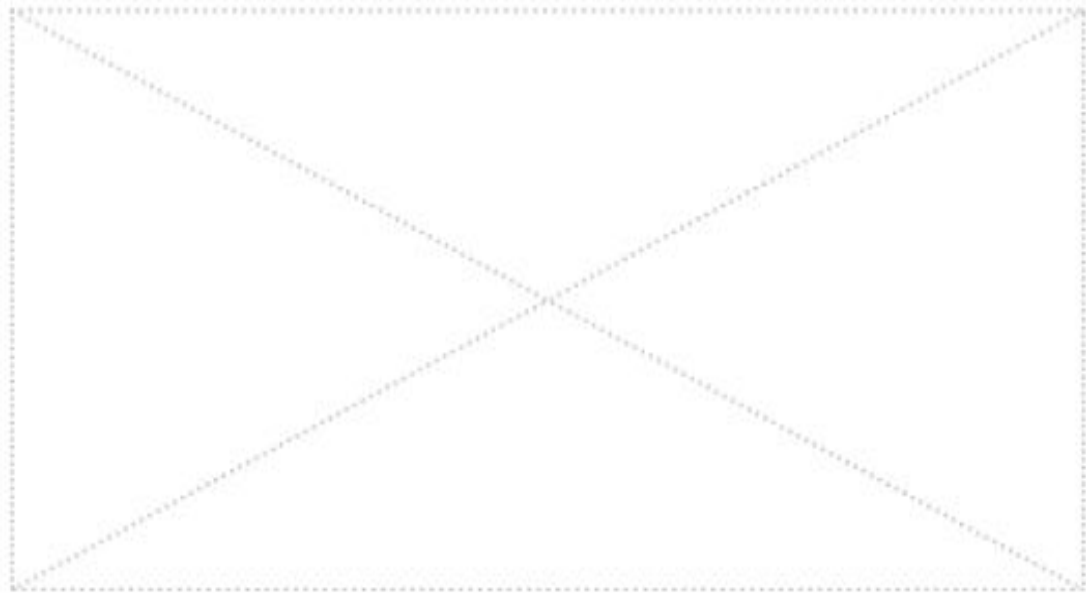


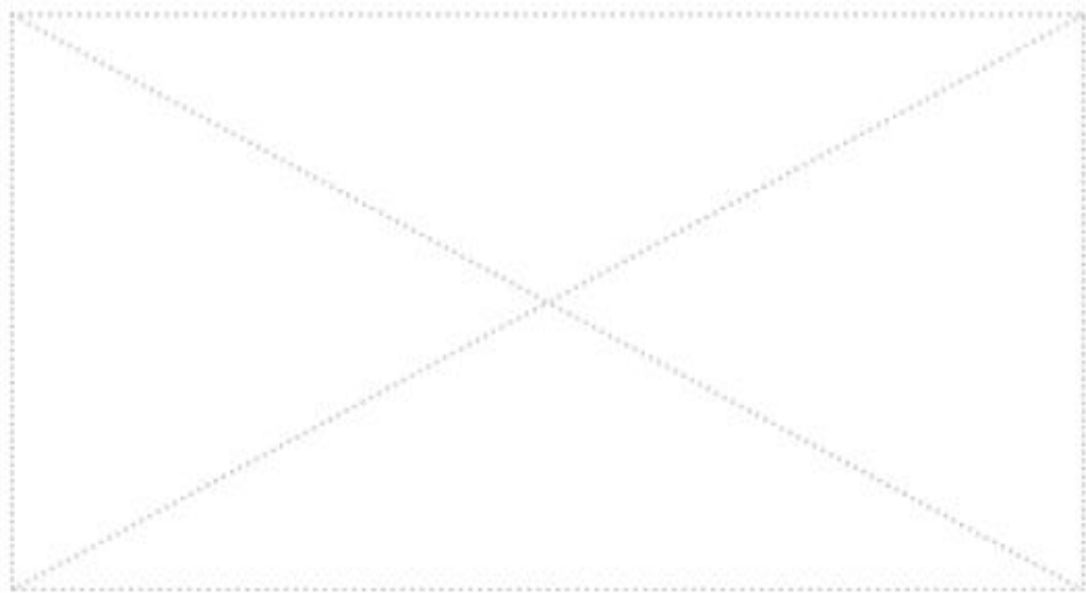
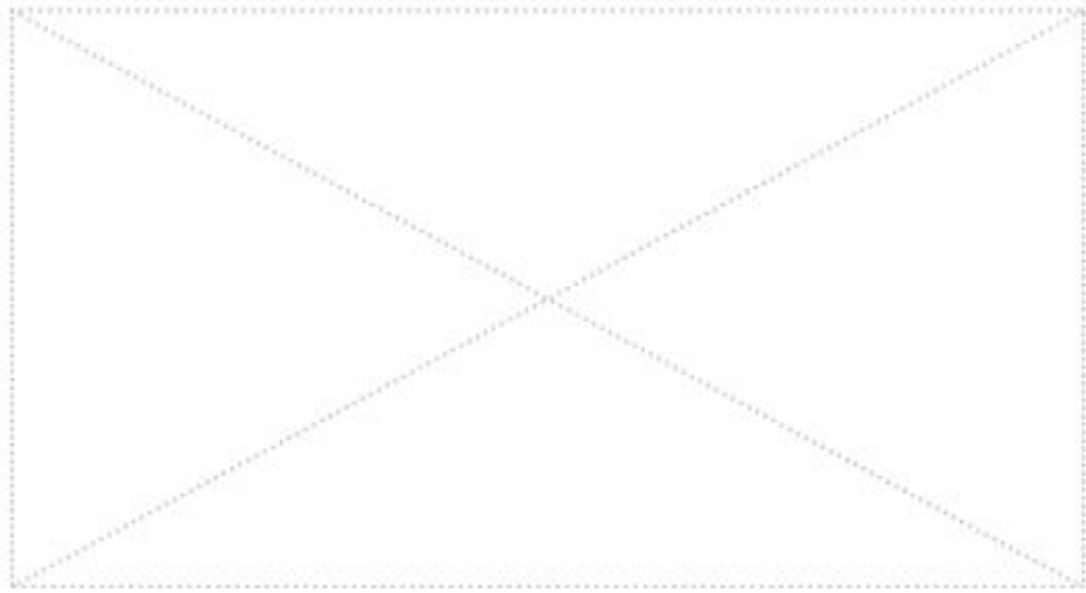


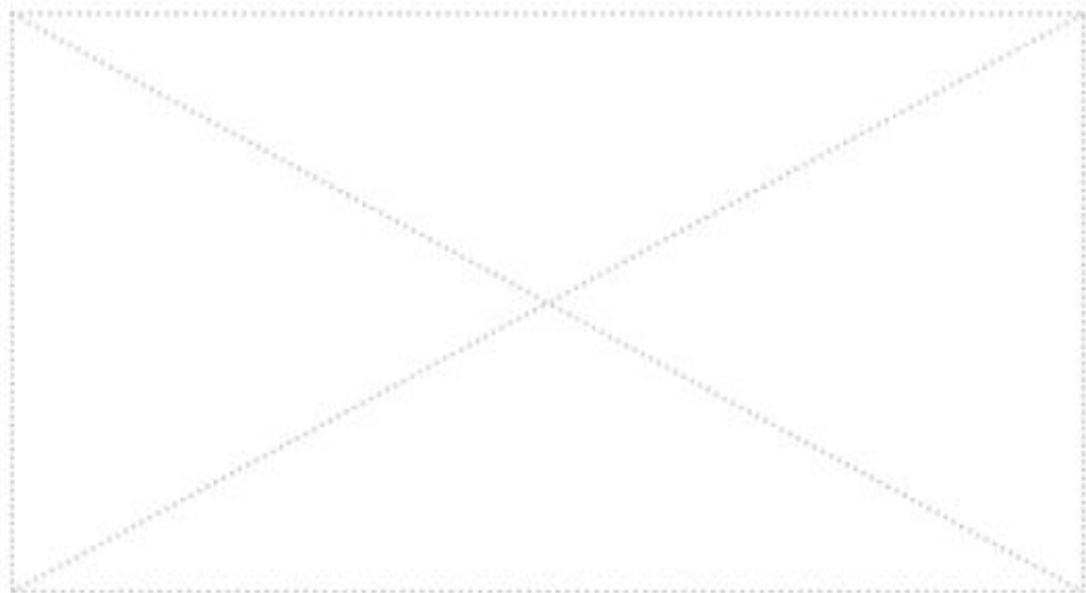
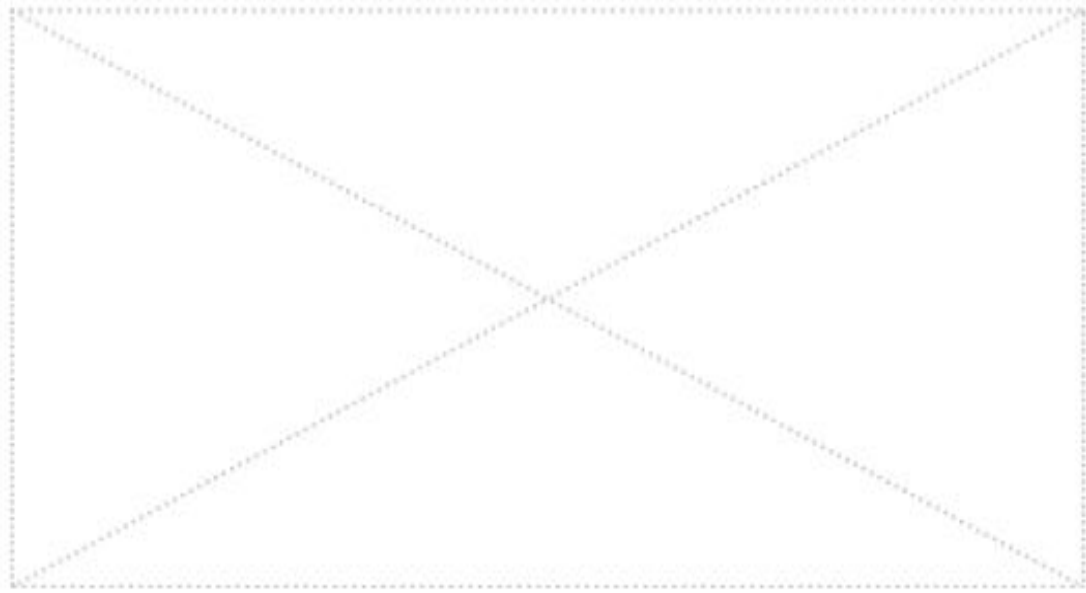


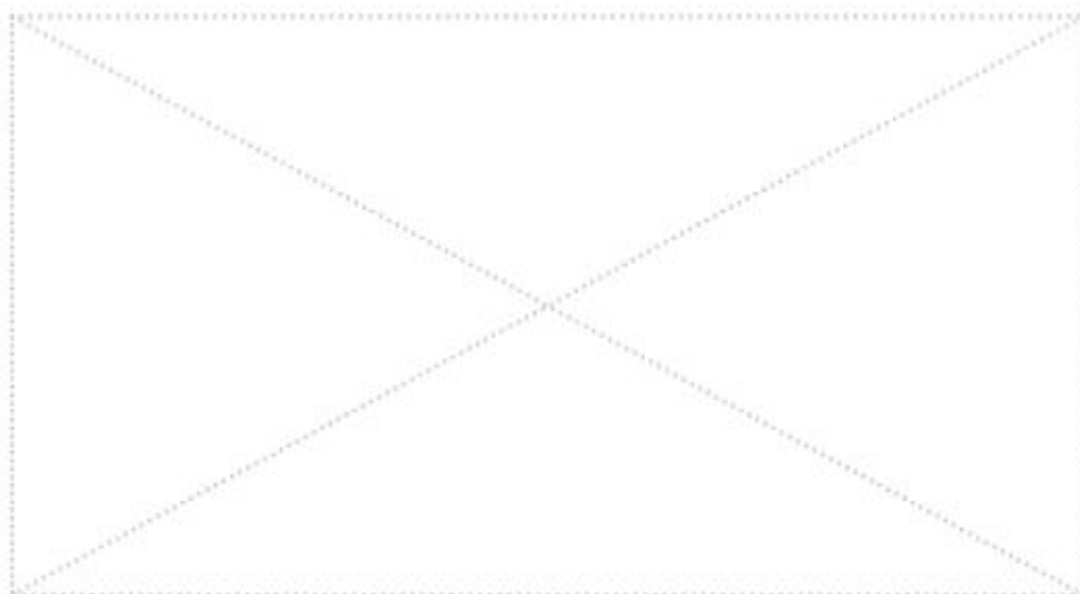
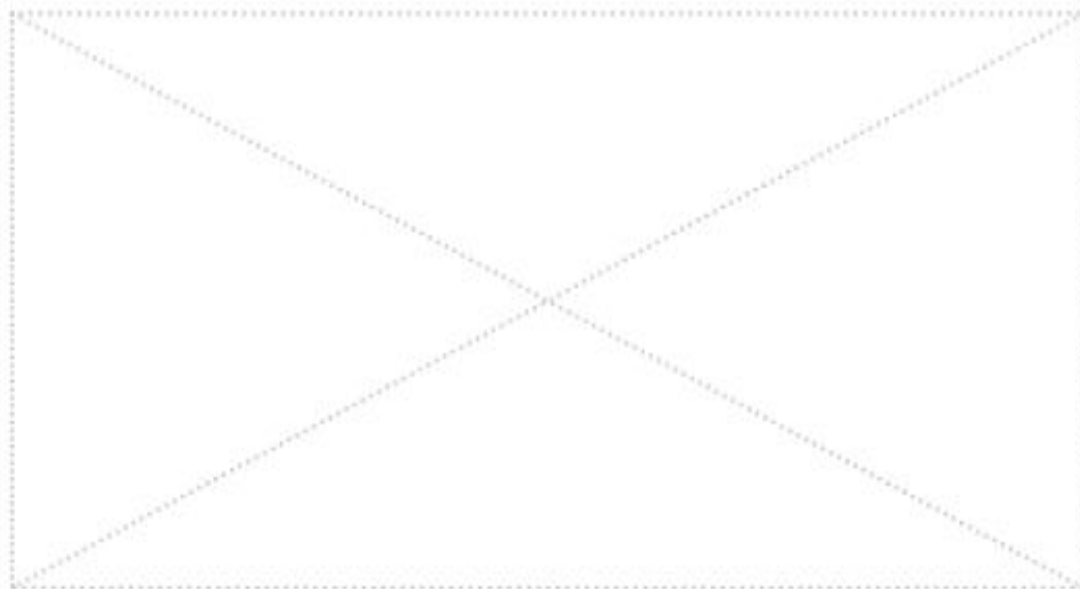


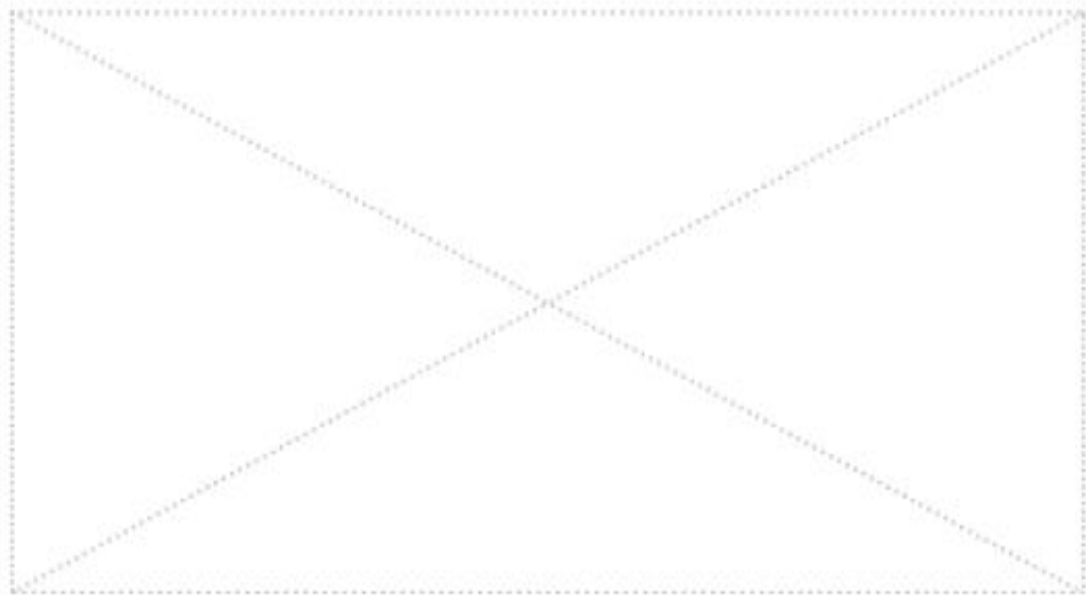
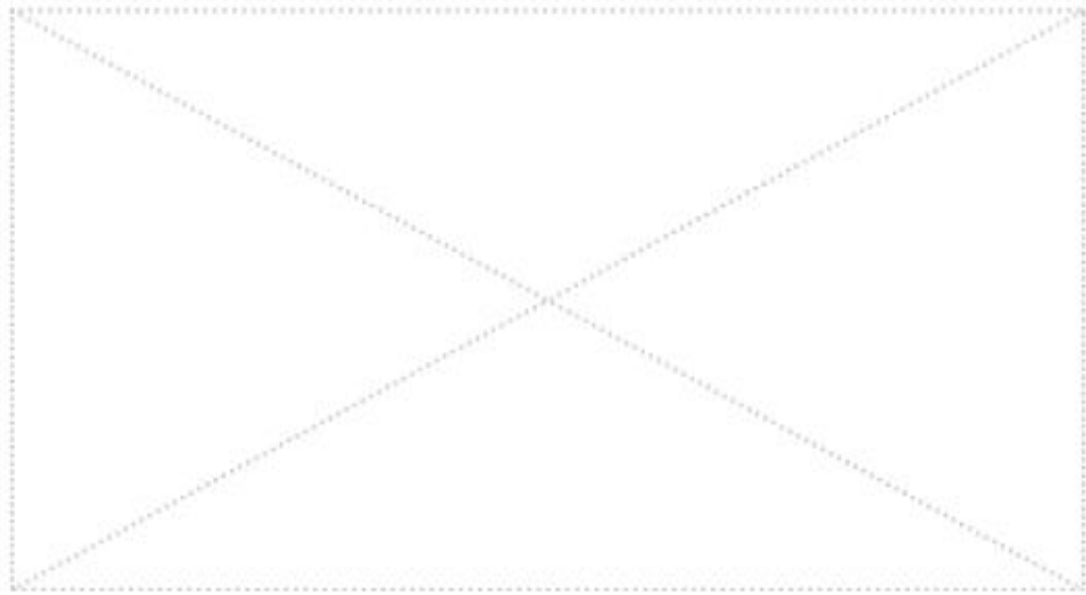


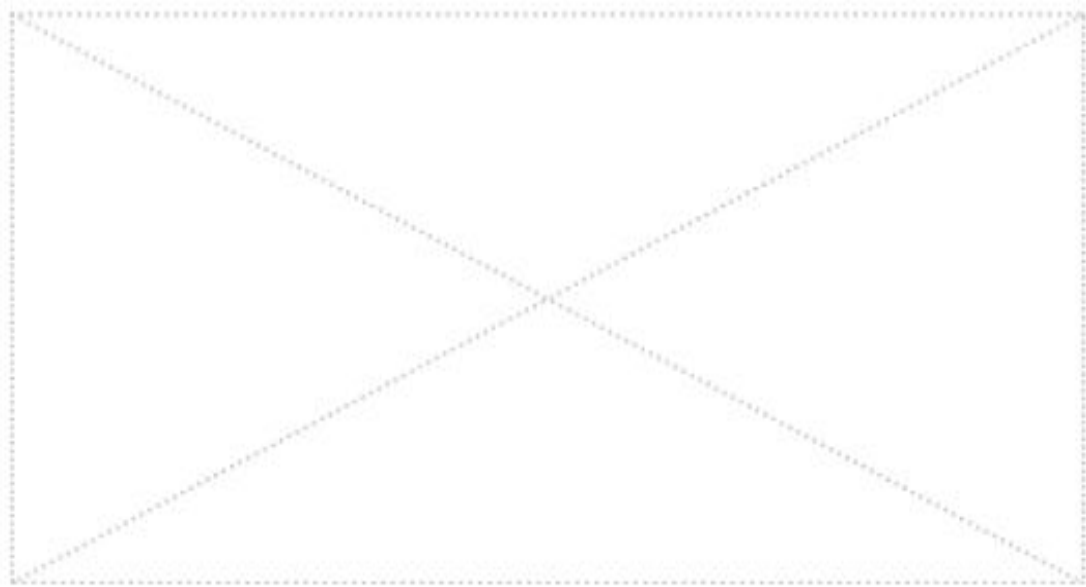
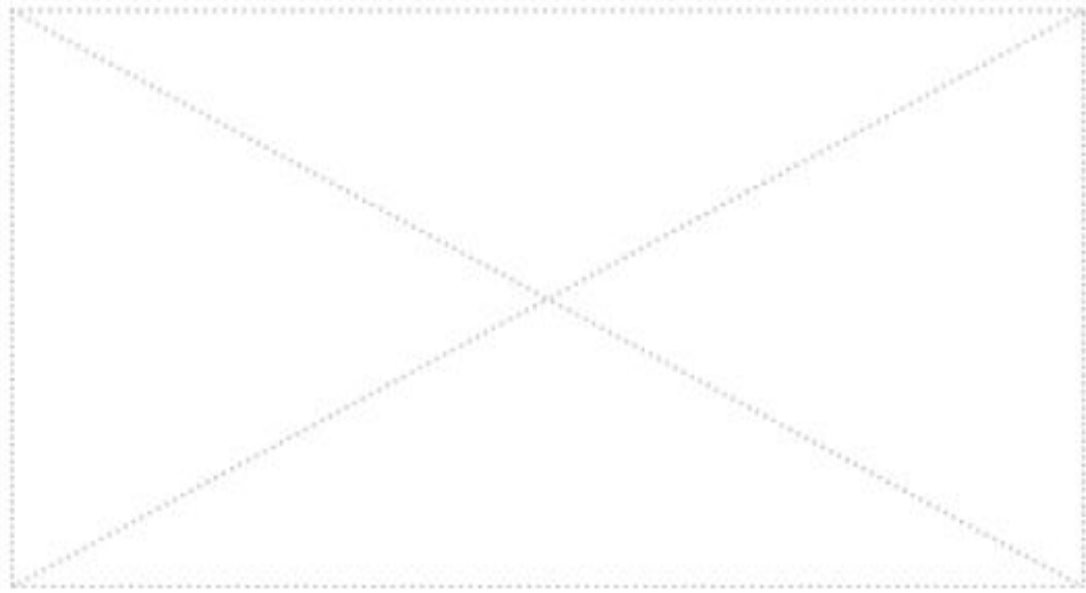




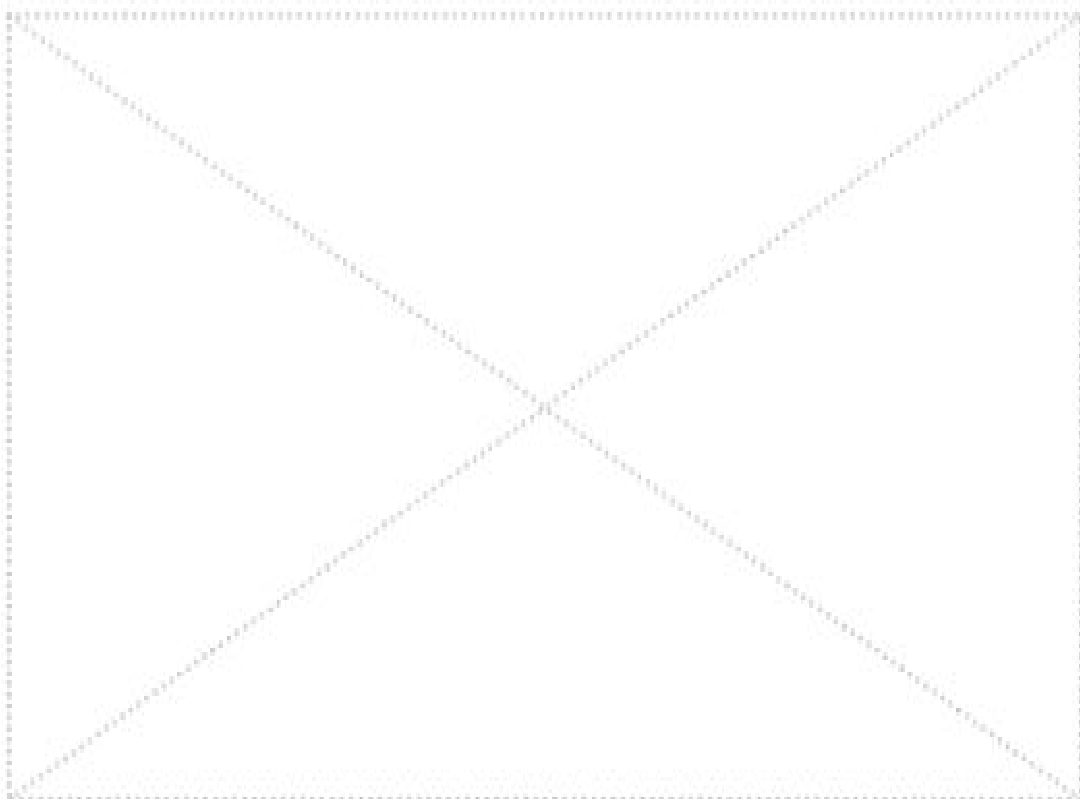
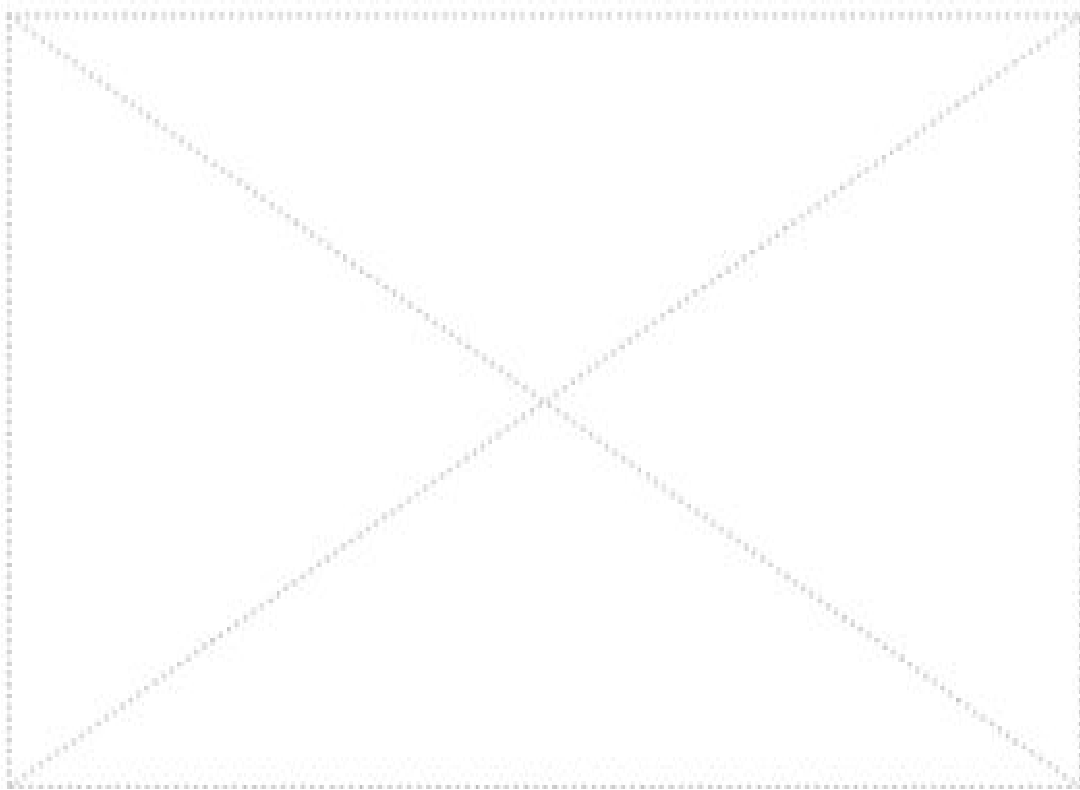


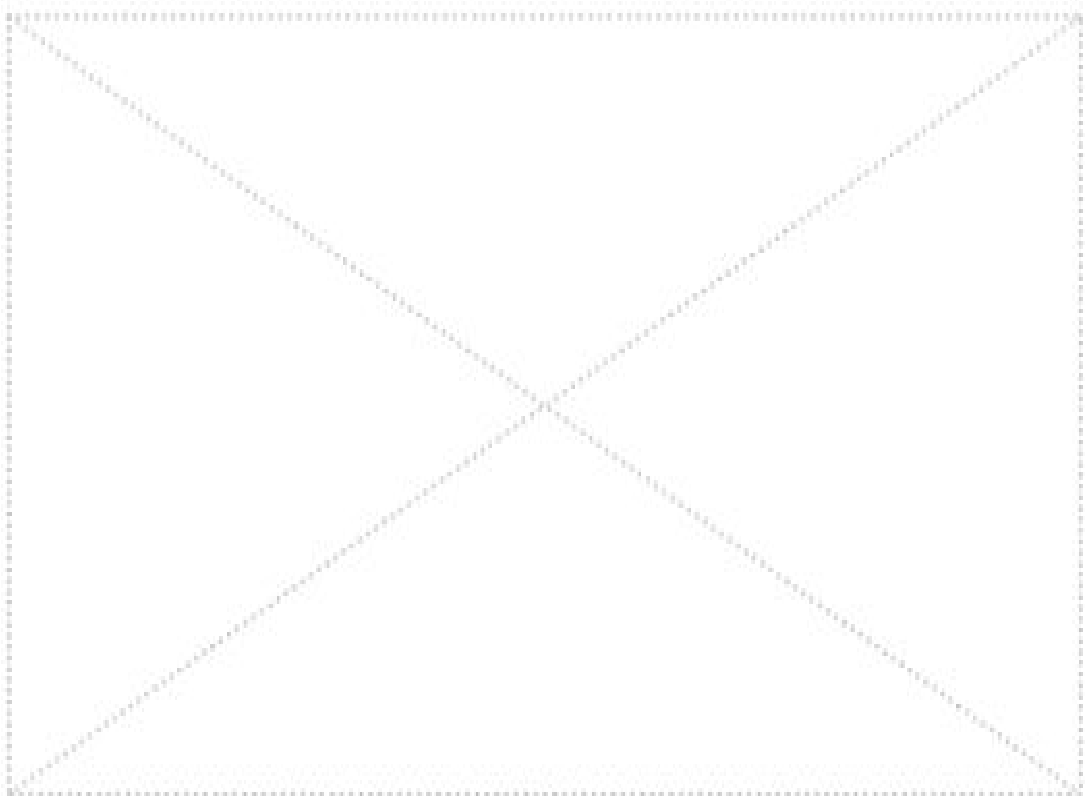
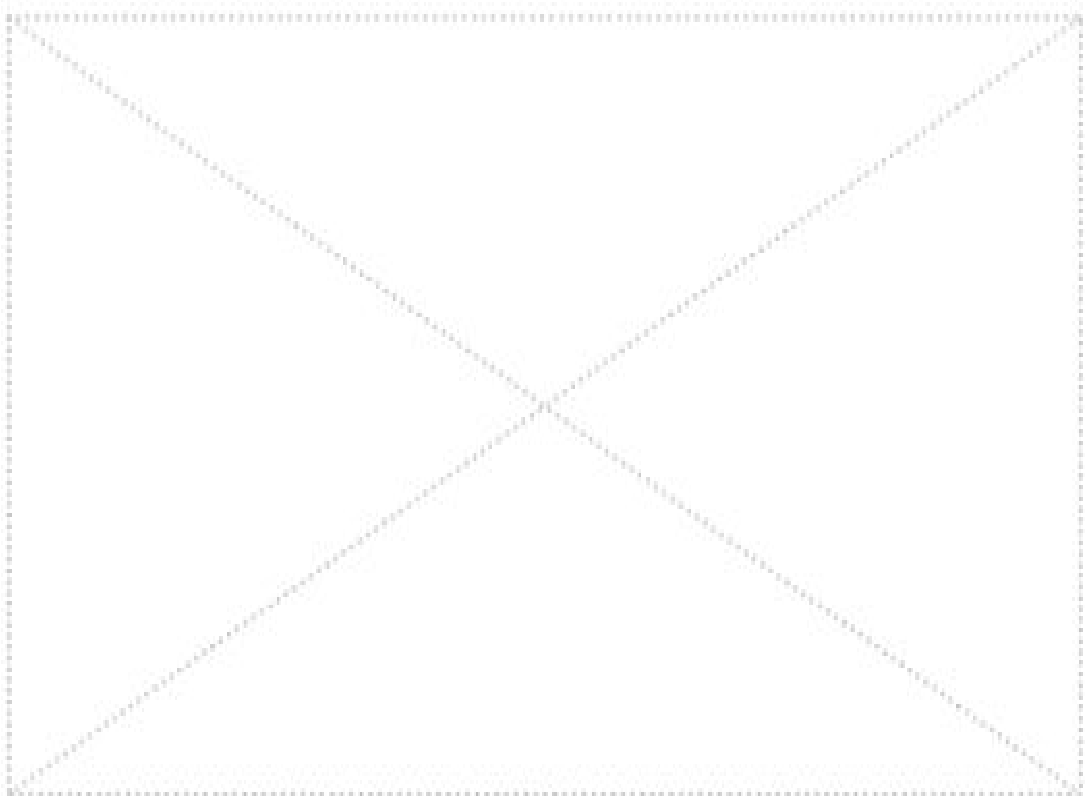


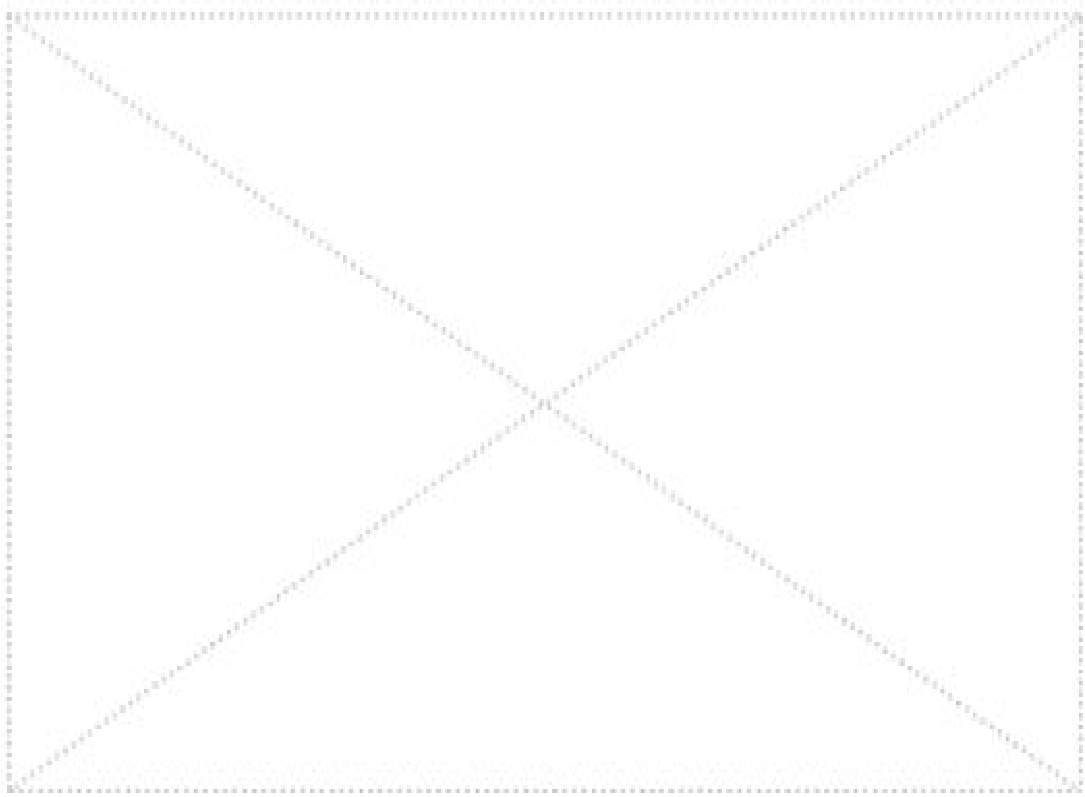
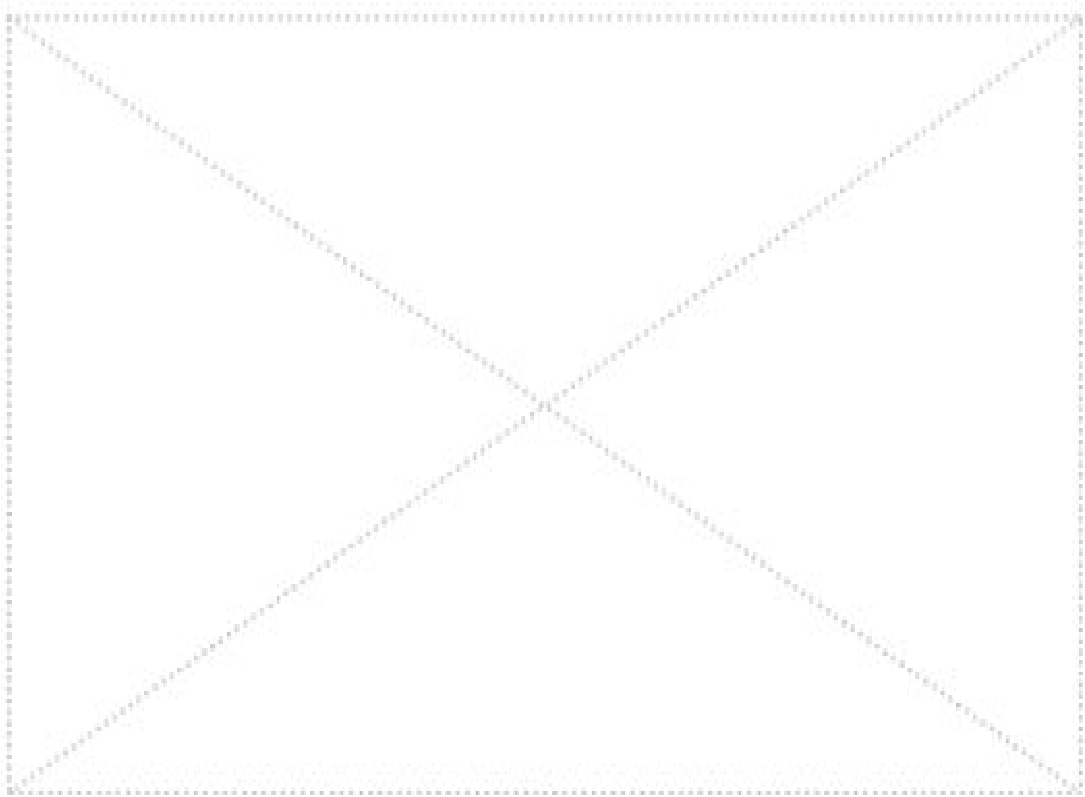


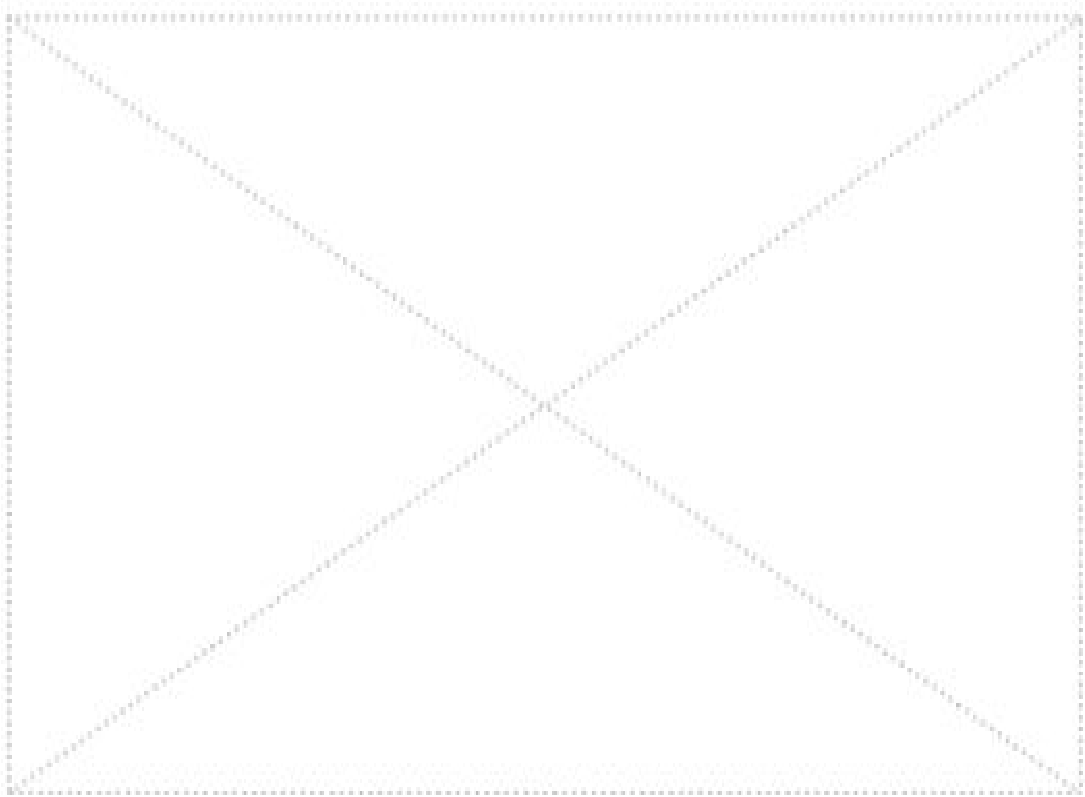
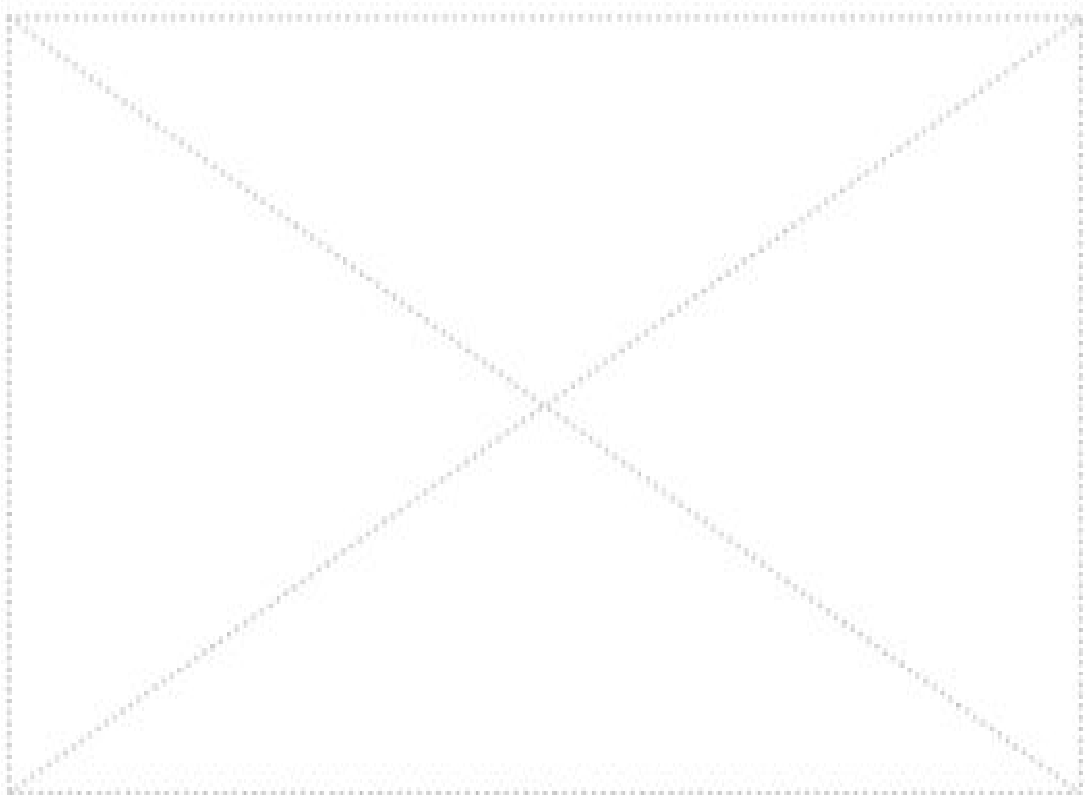


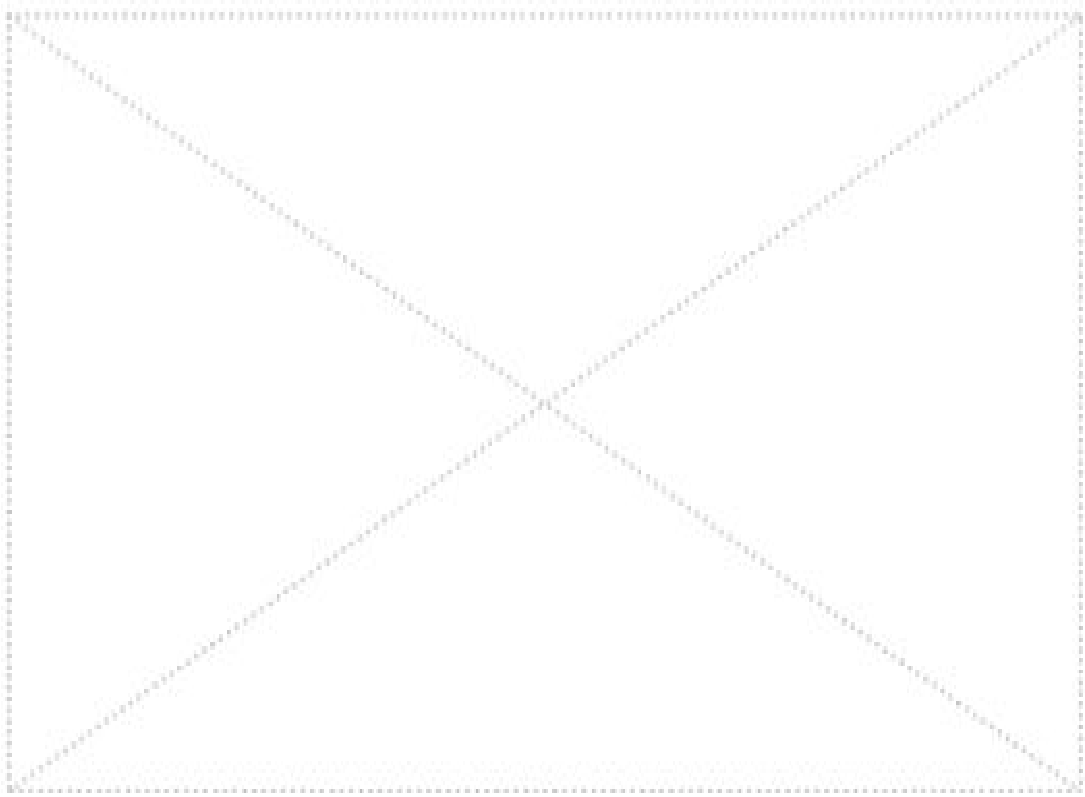
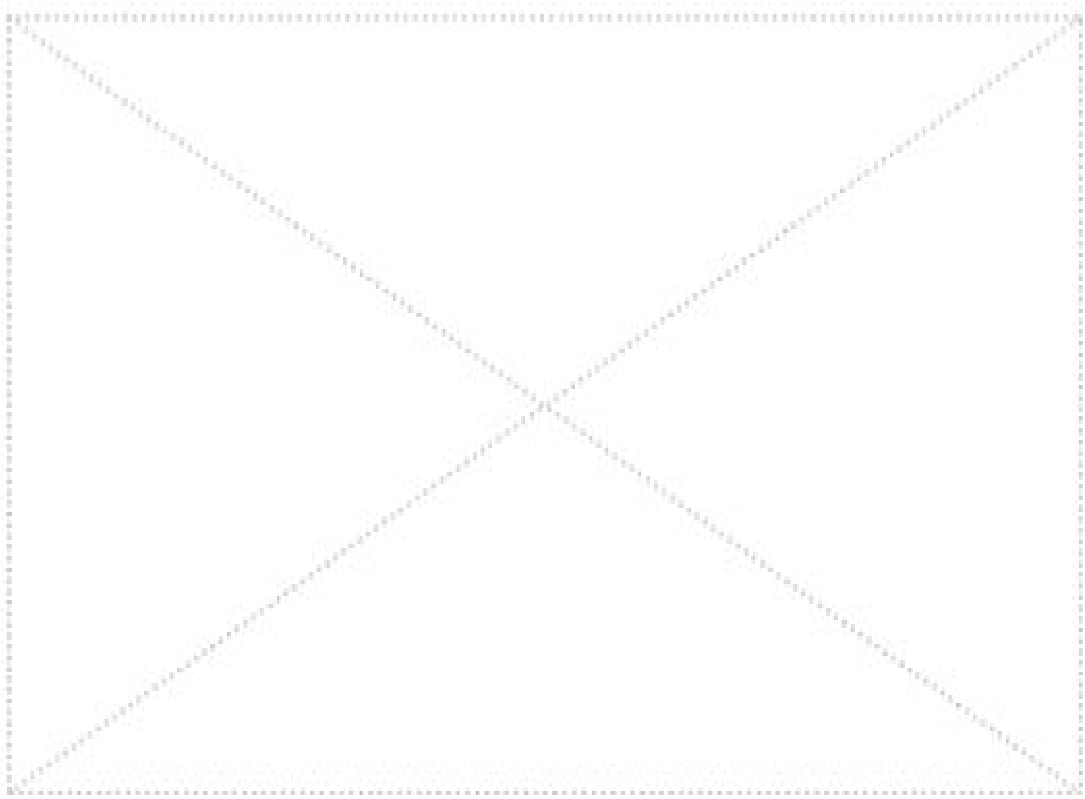
붙임 5-6. 제6차 회의 발표자료

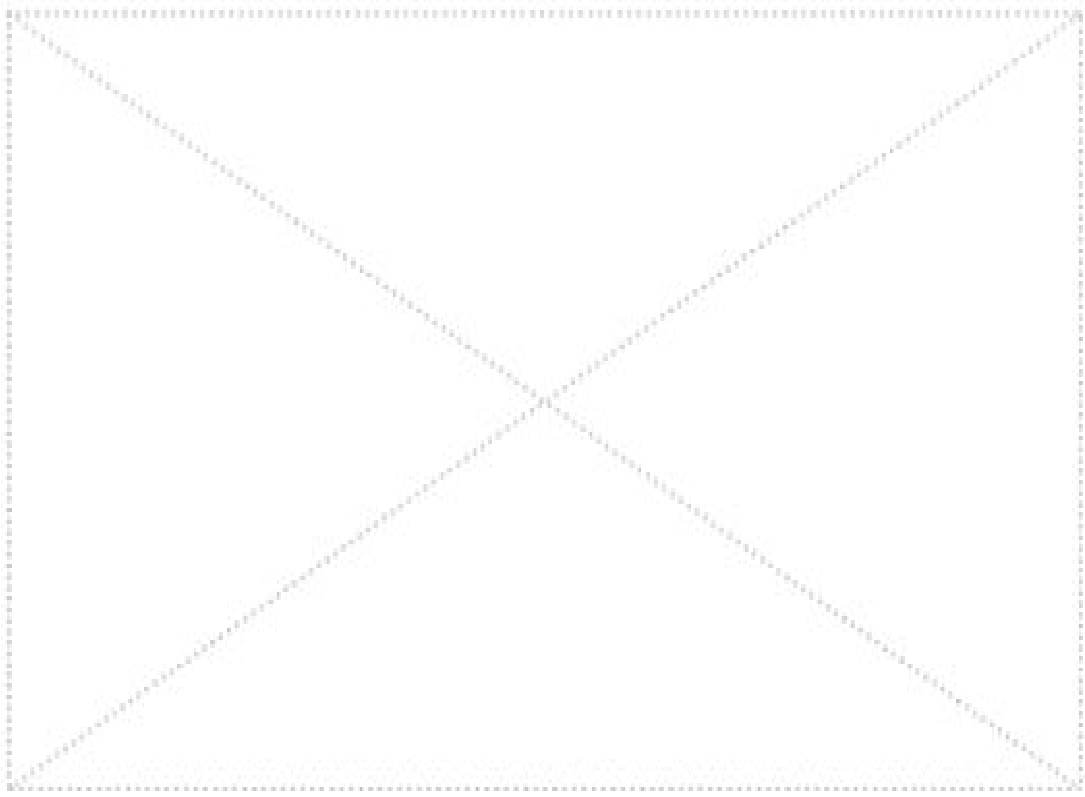
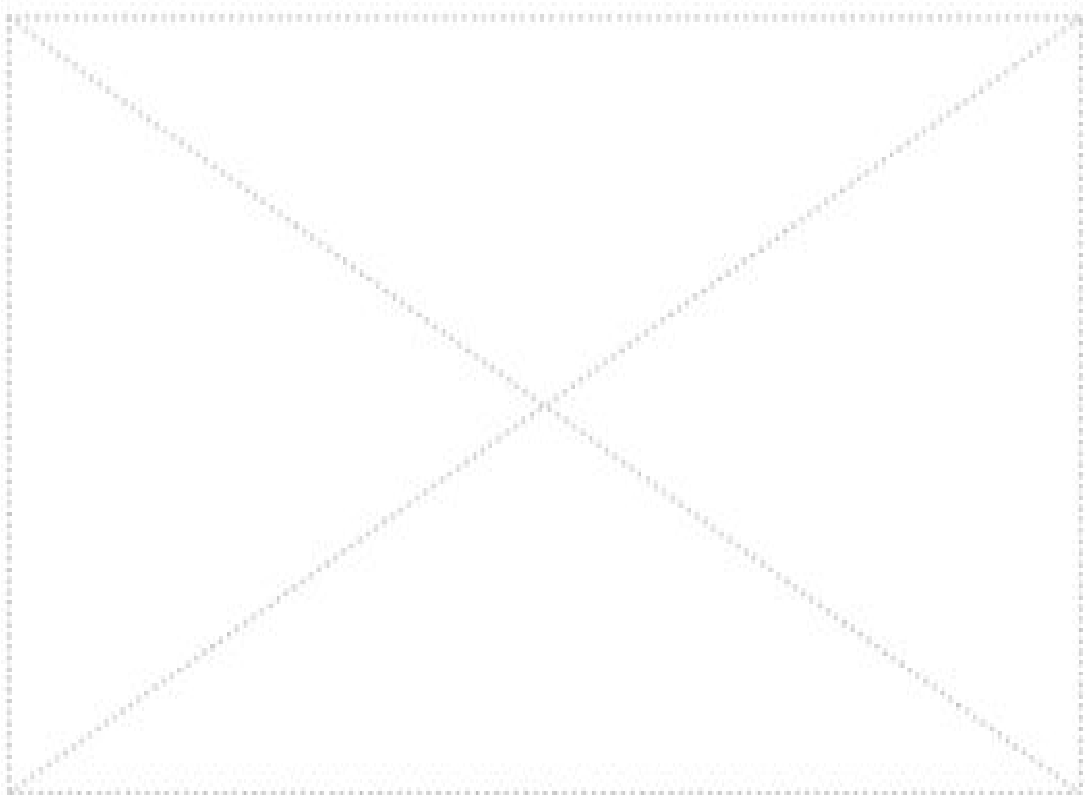


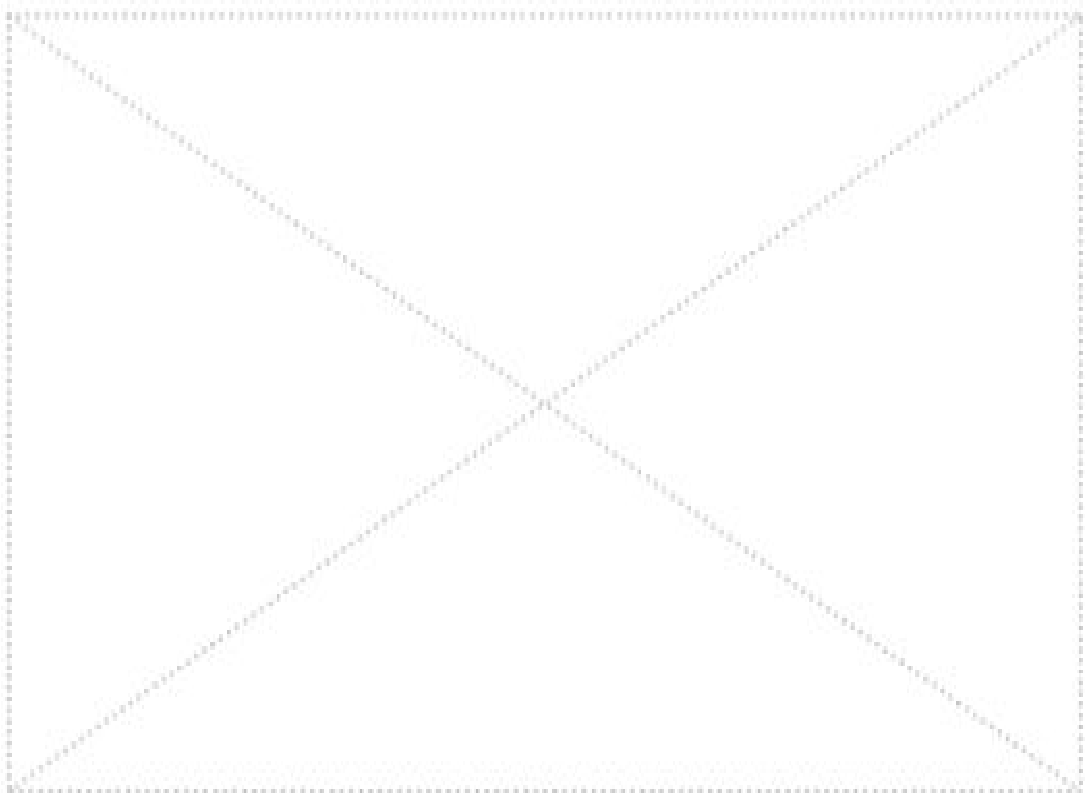
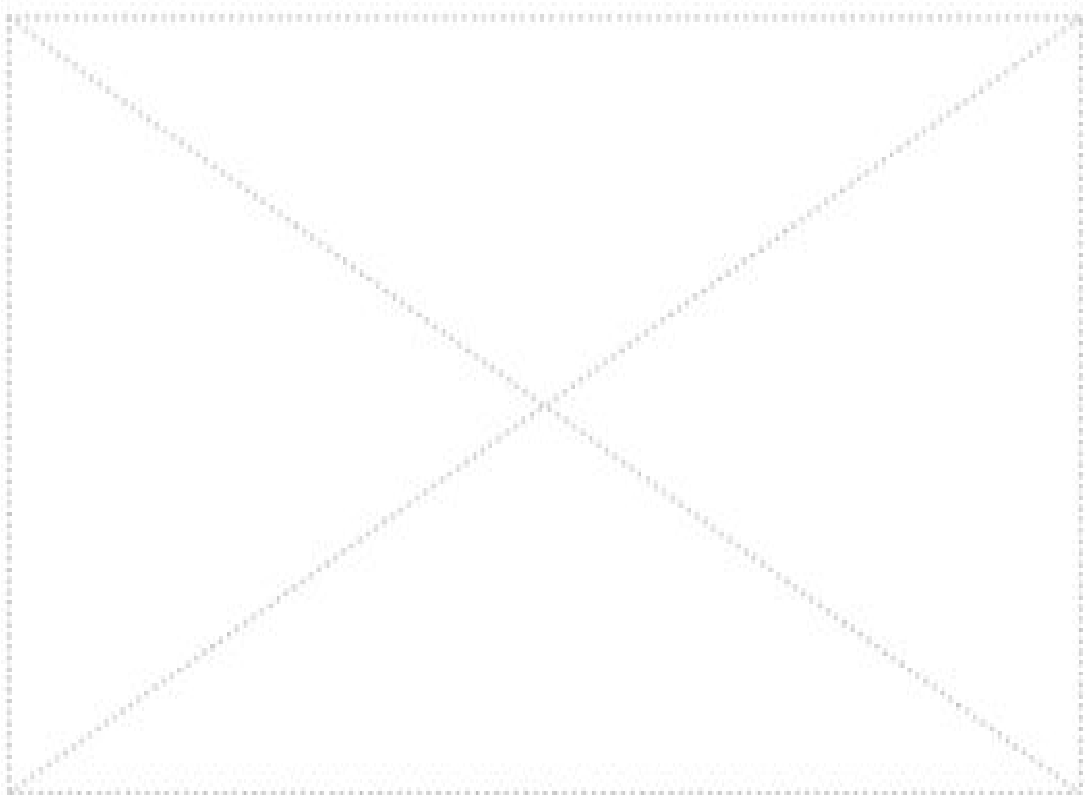


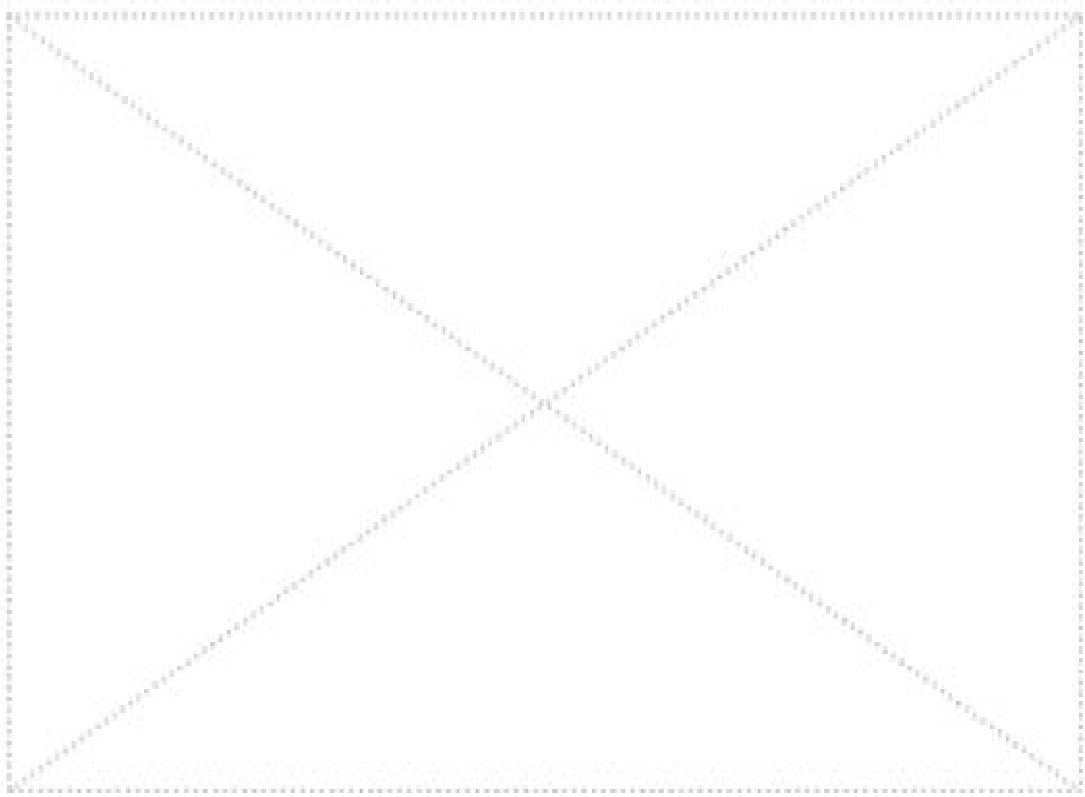
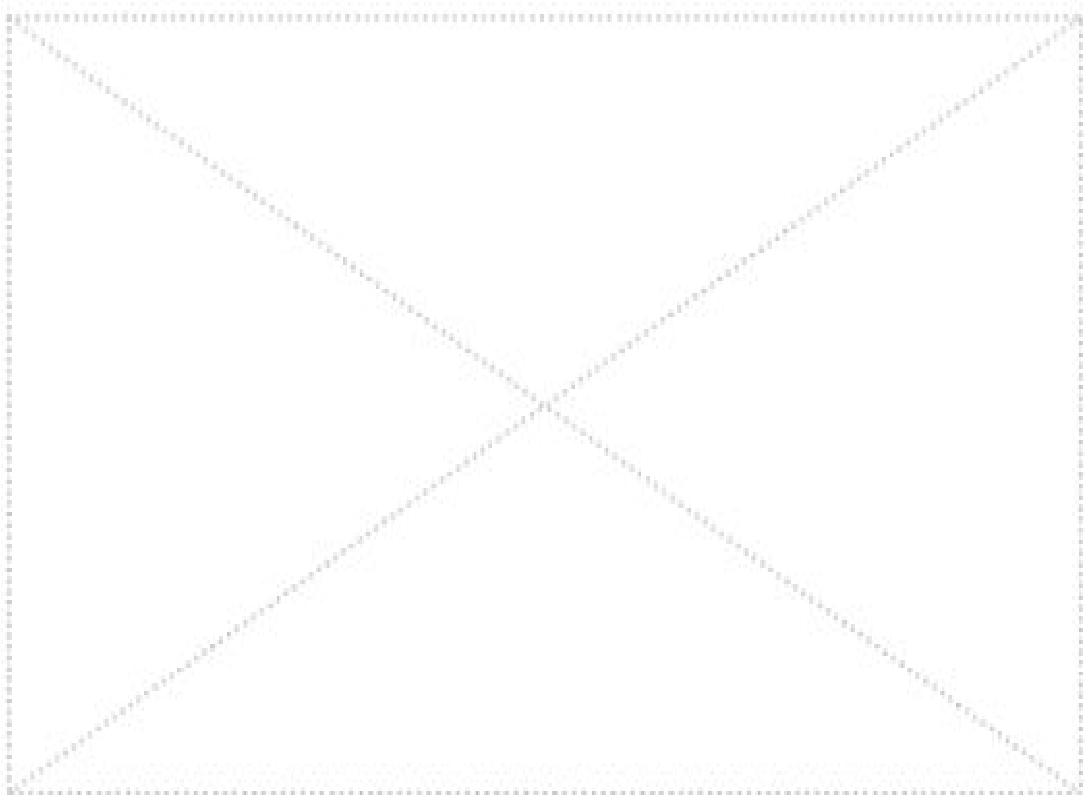


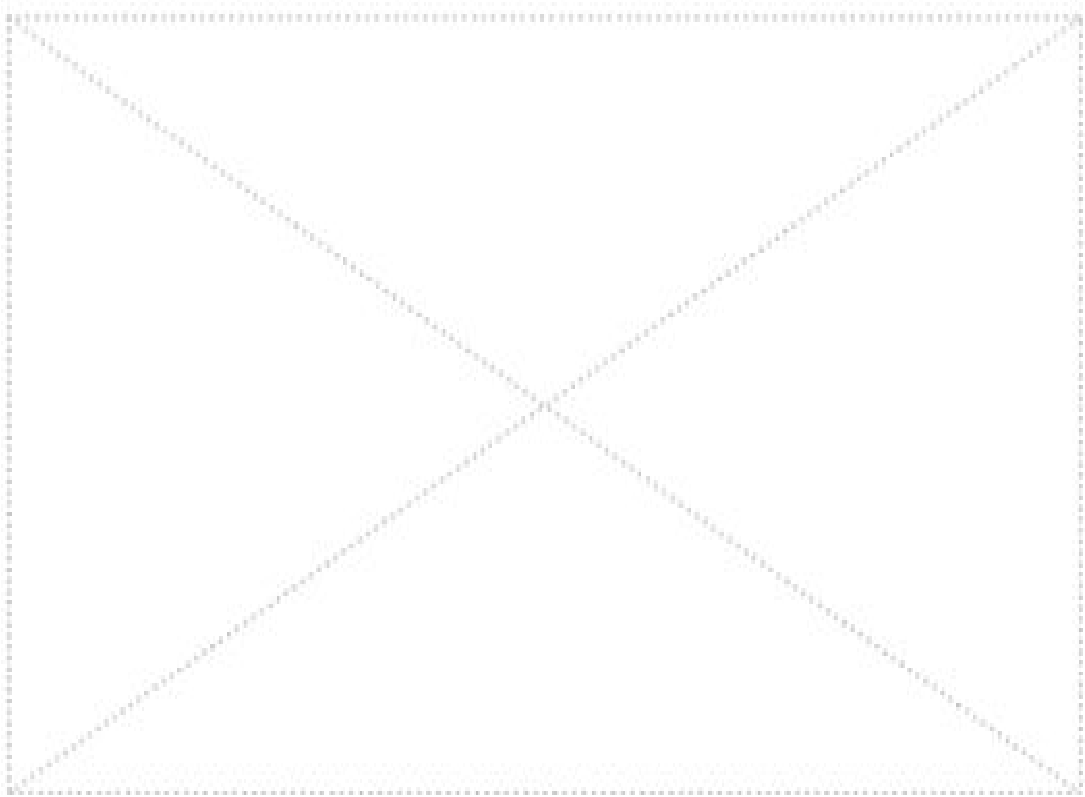
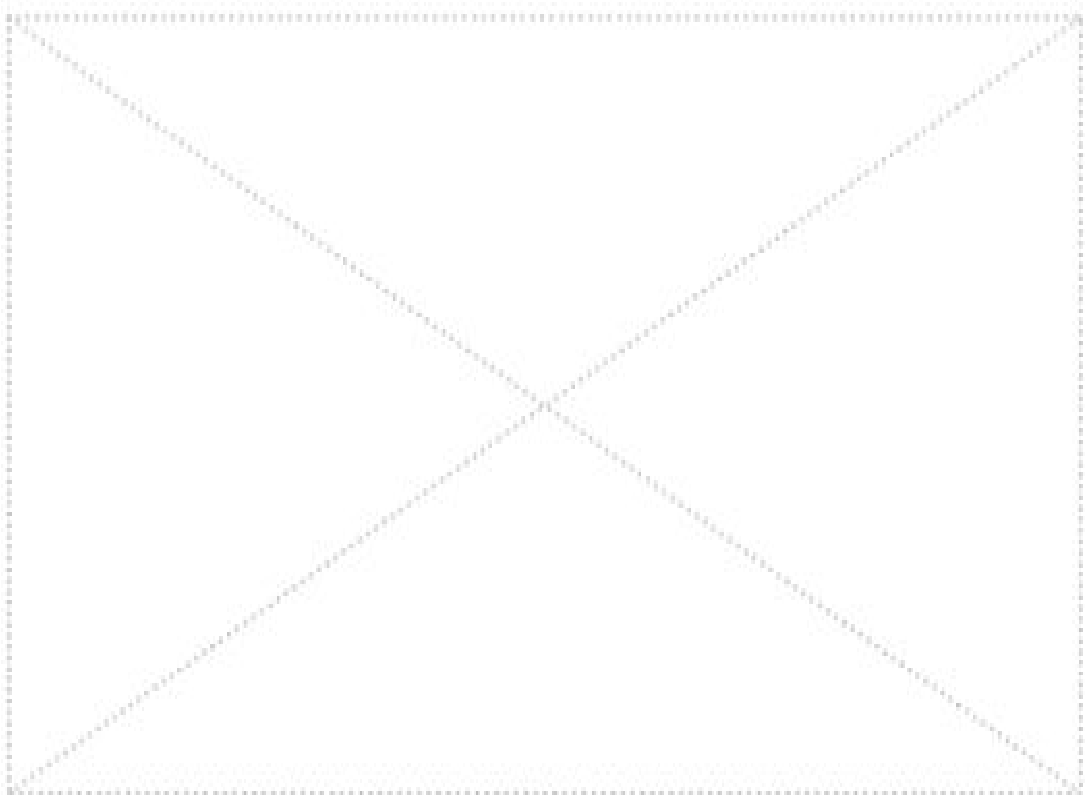


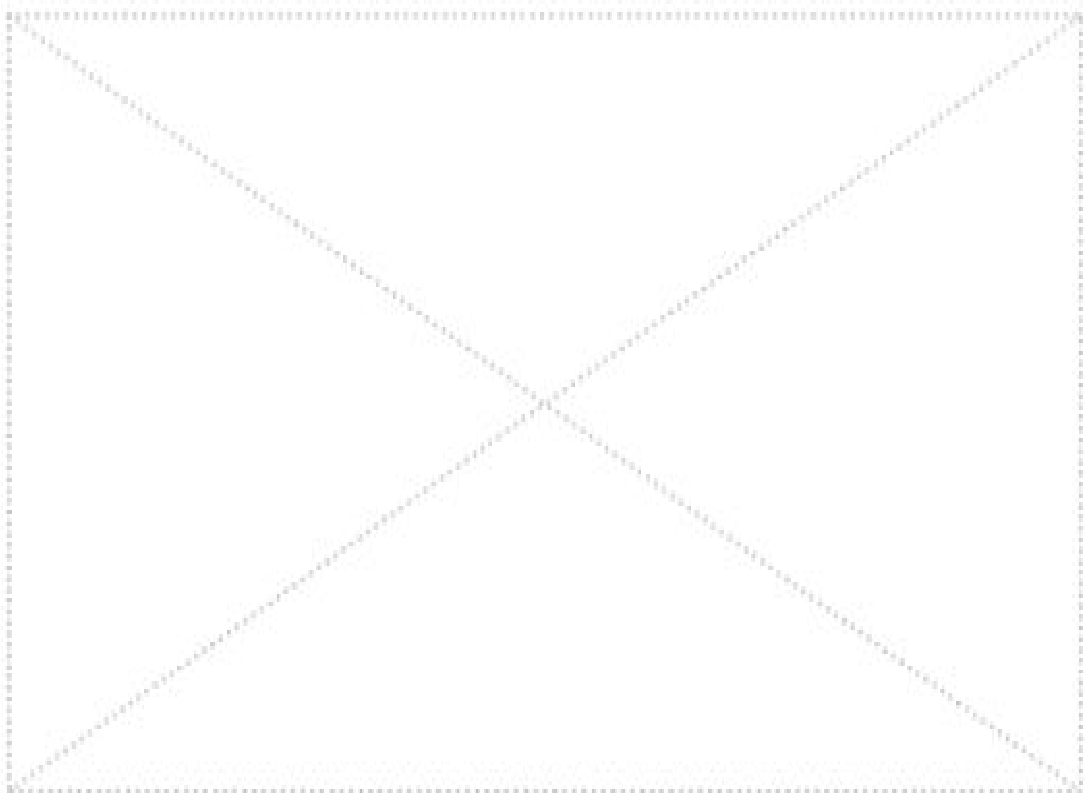
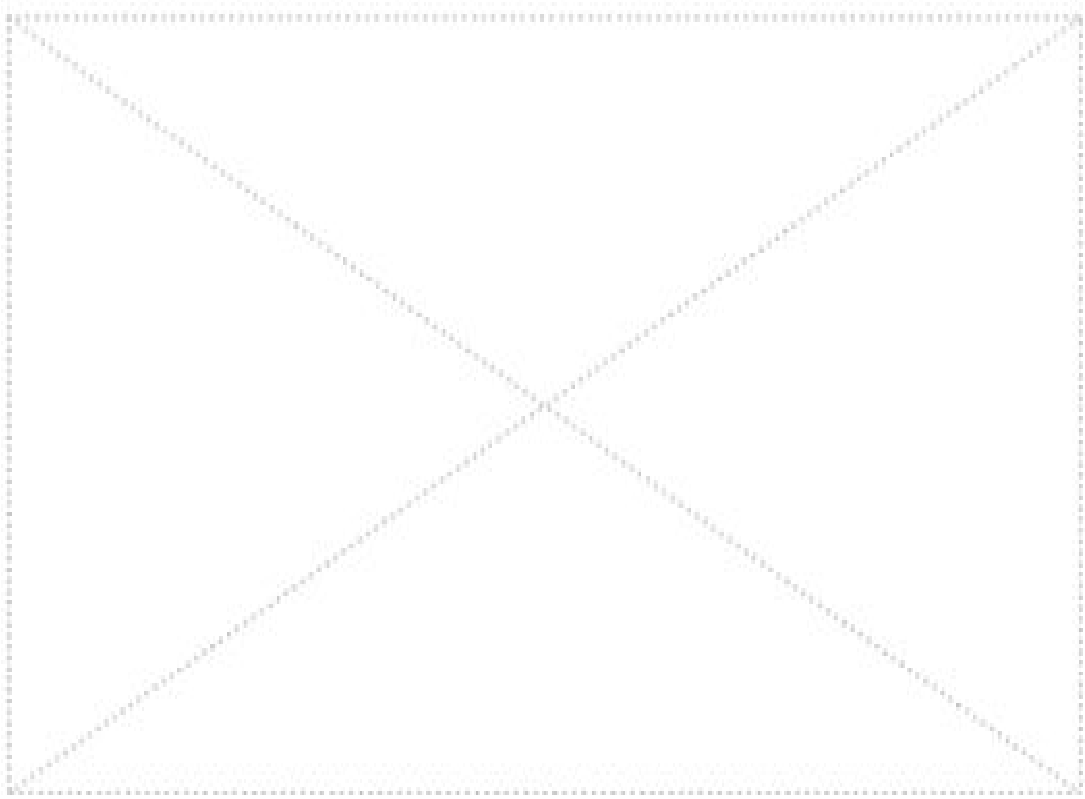


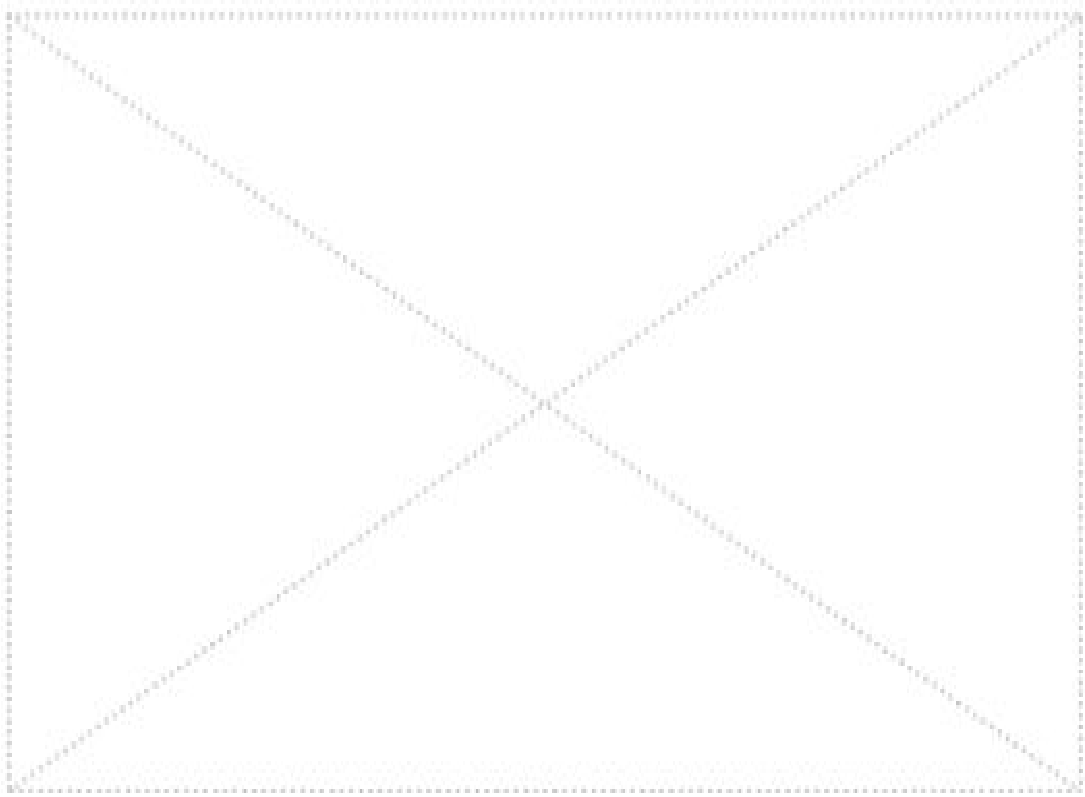
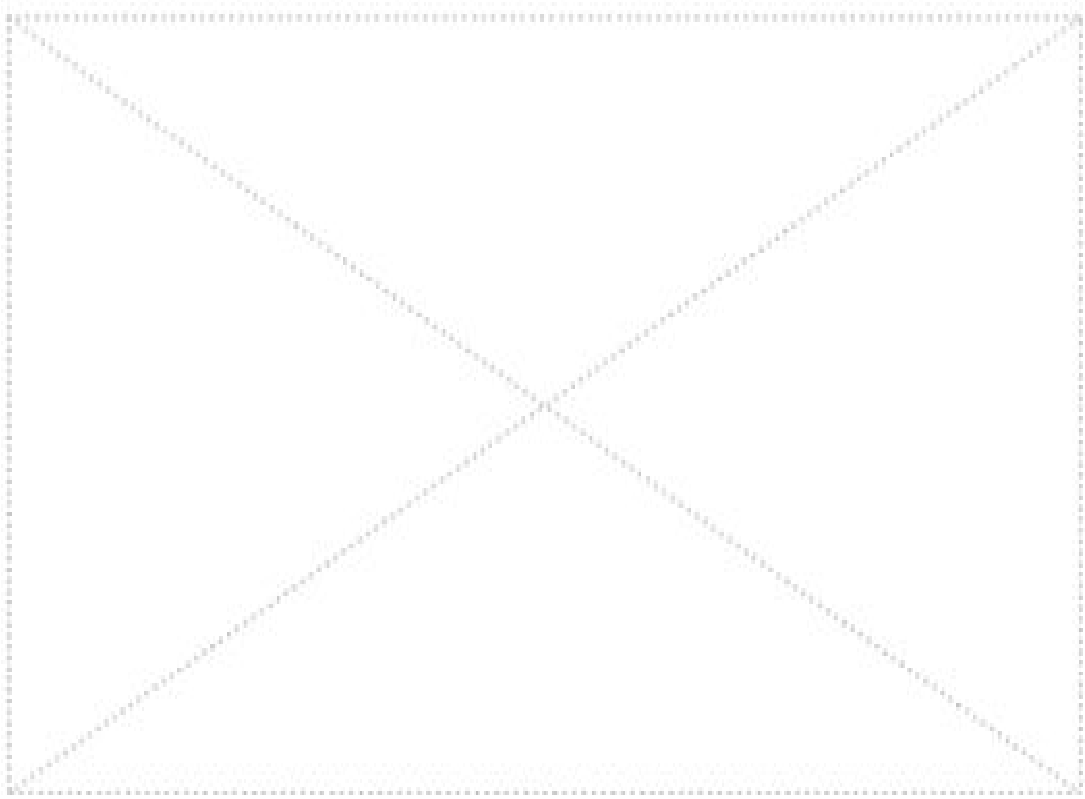


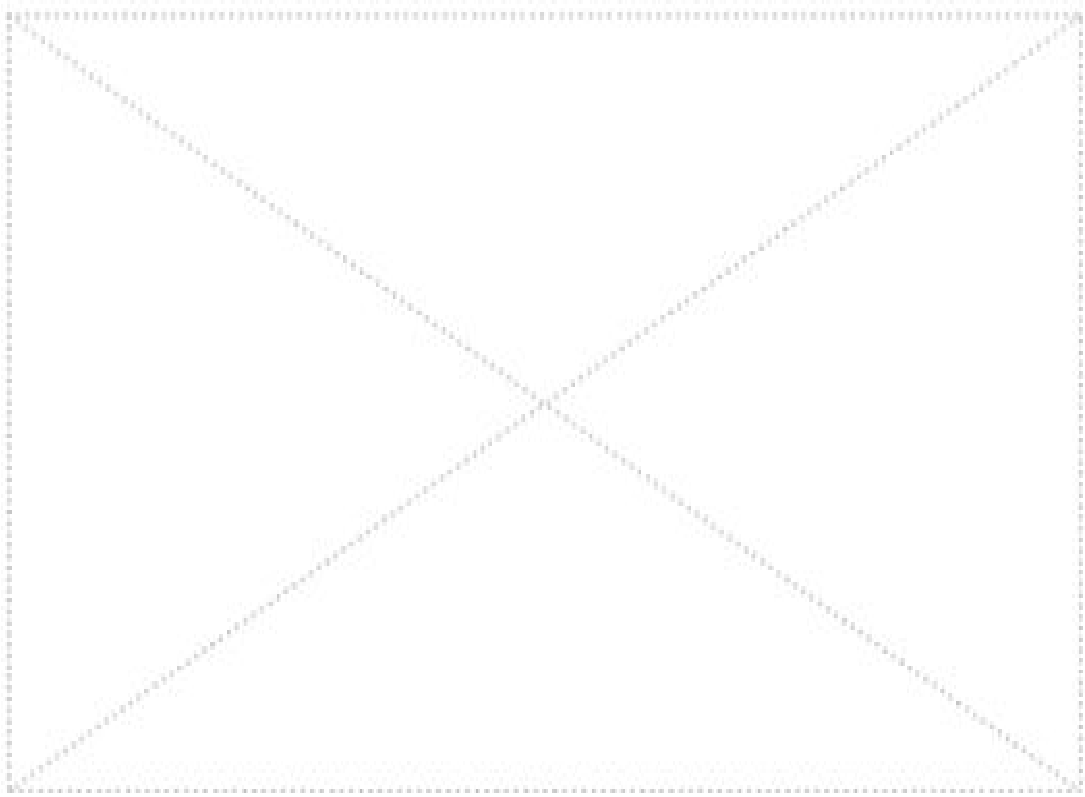
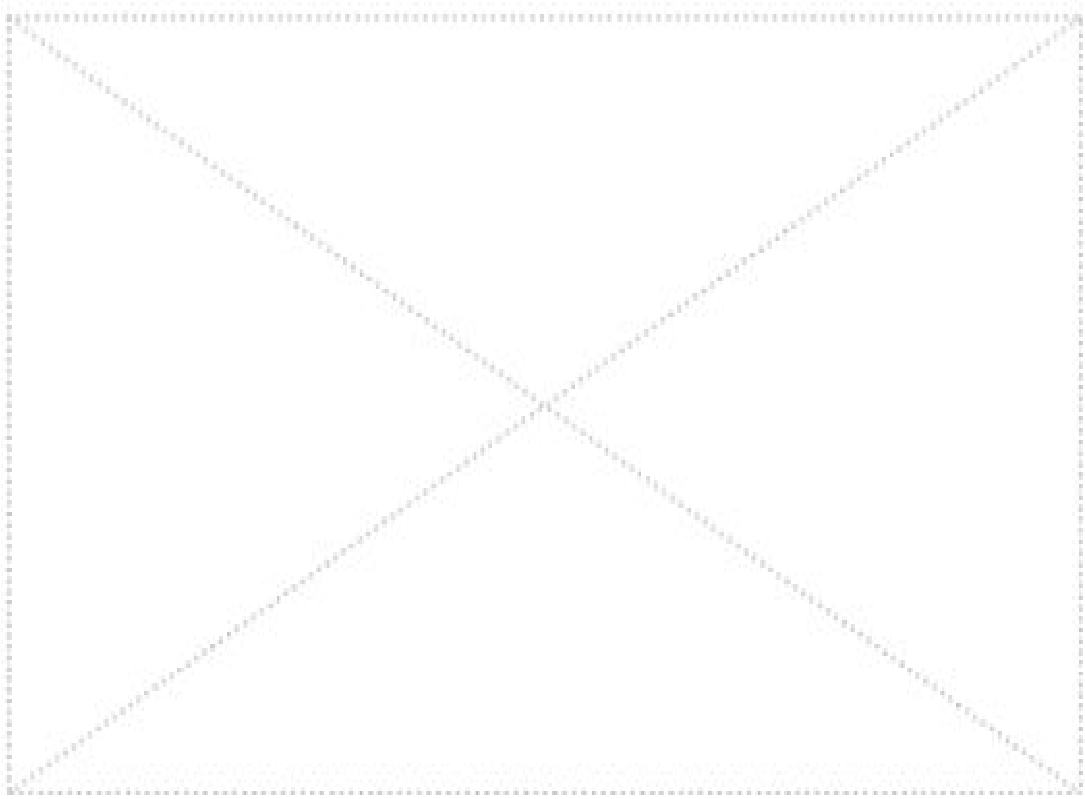


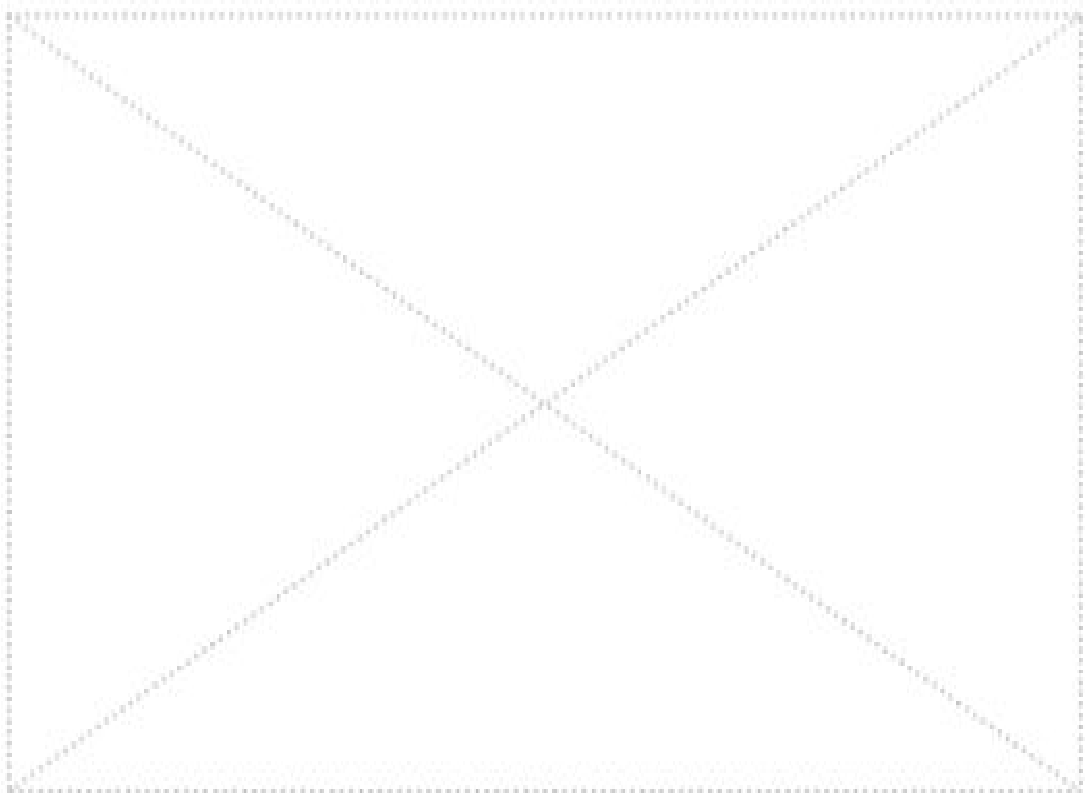
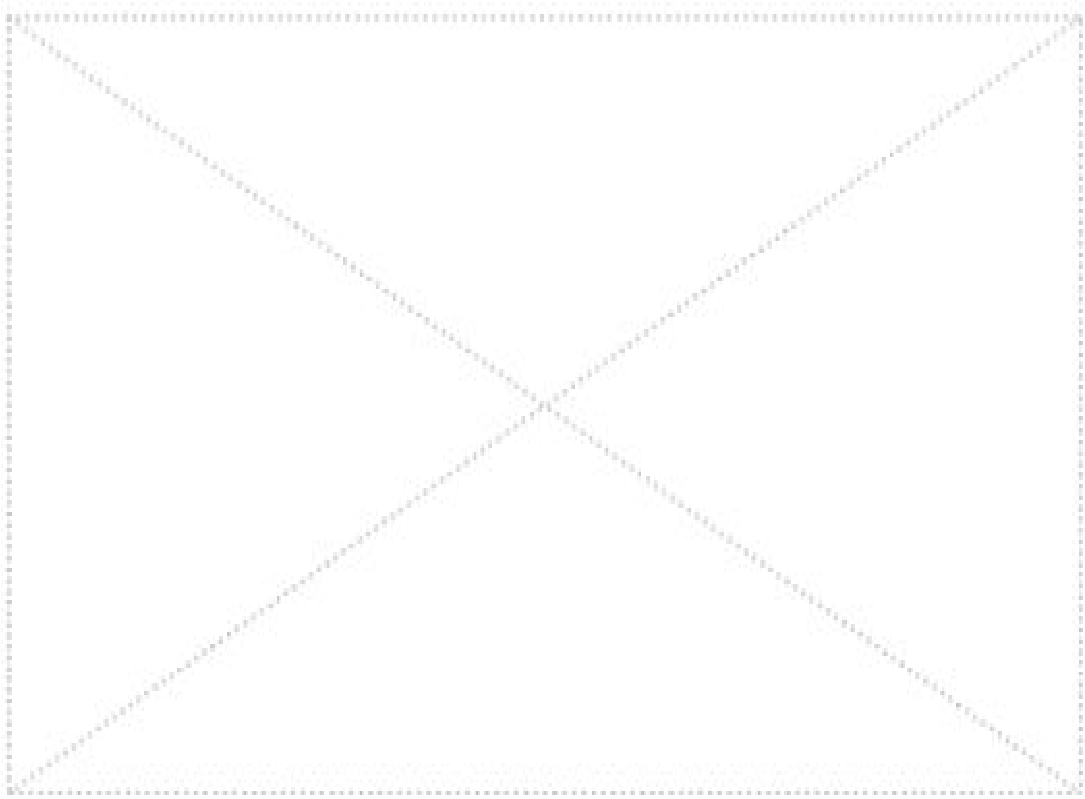


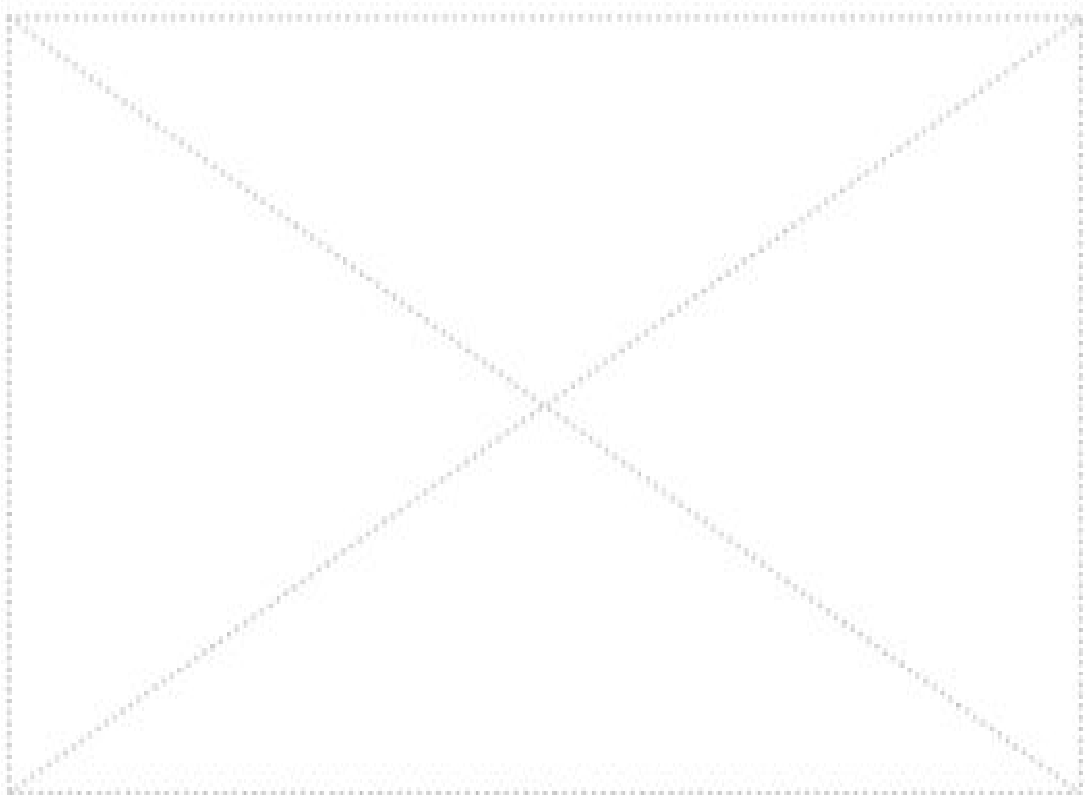
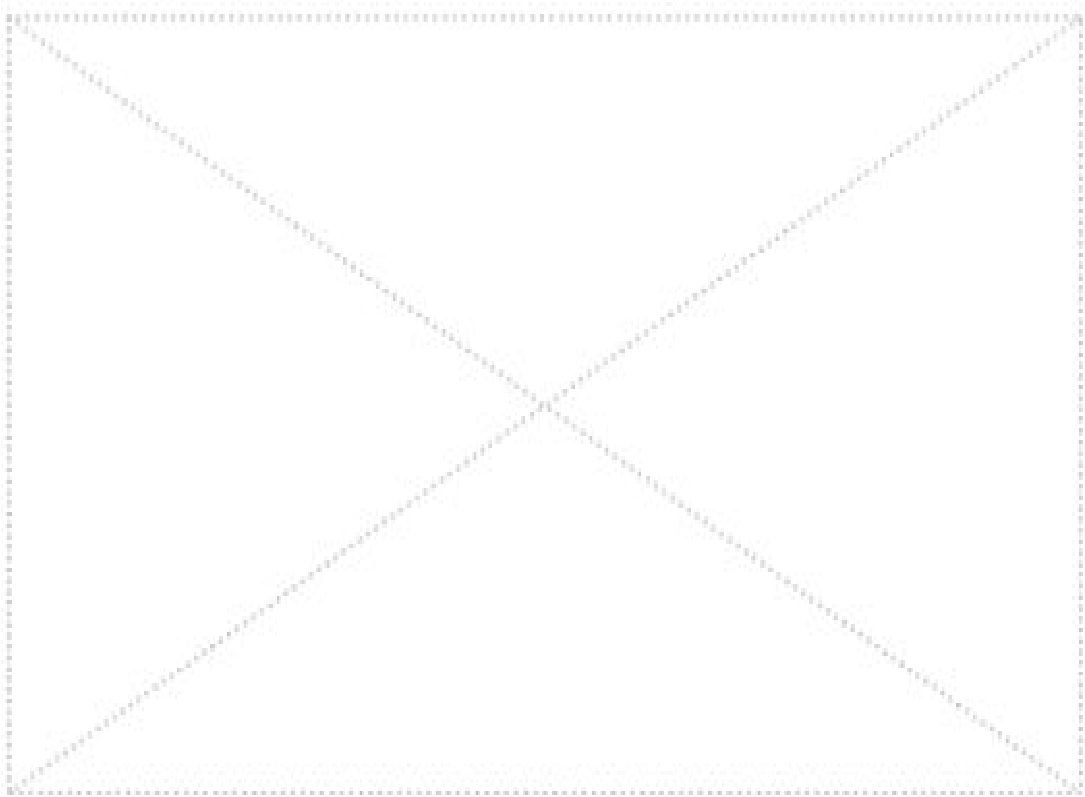


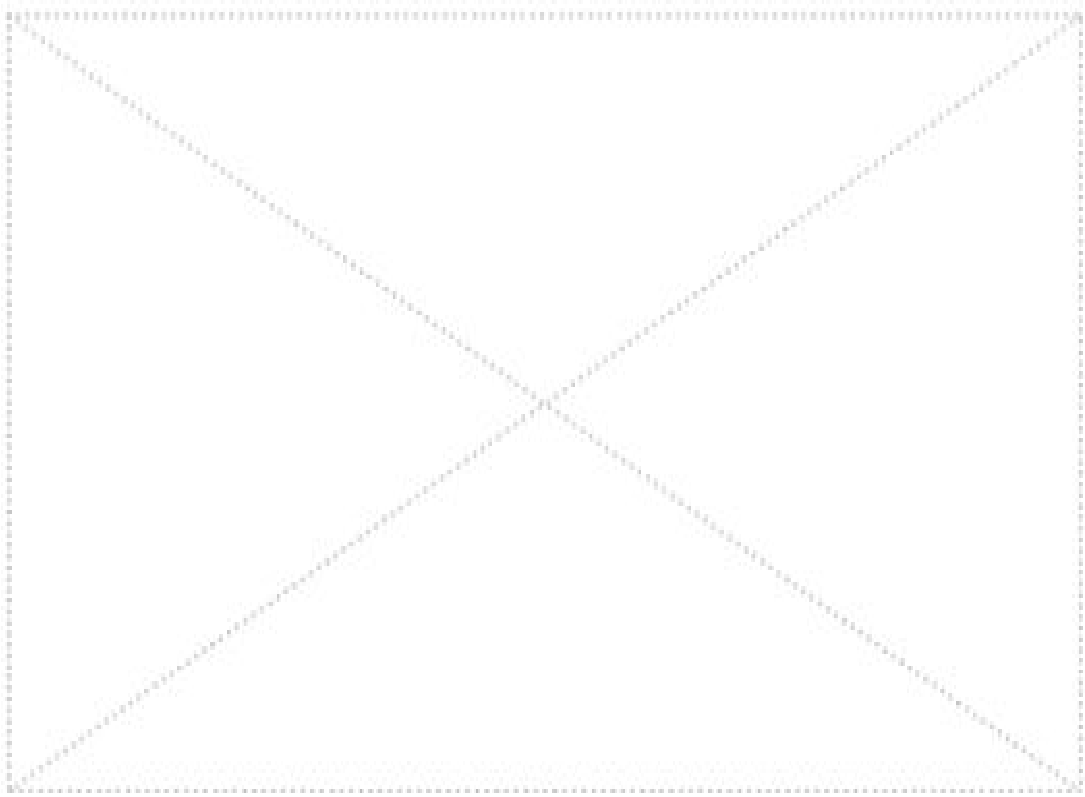
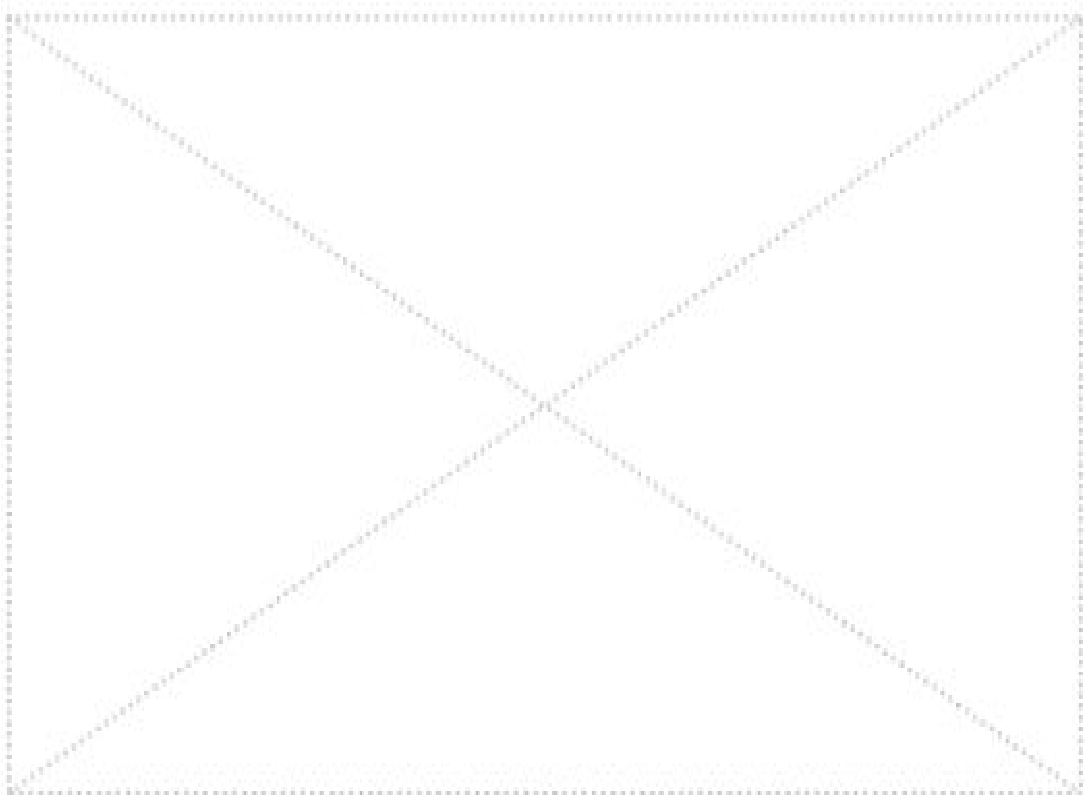




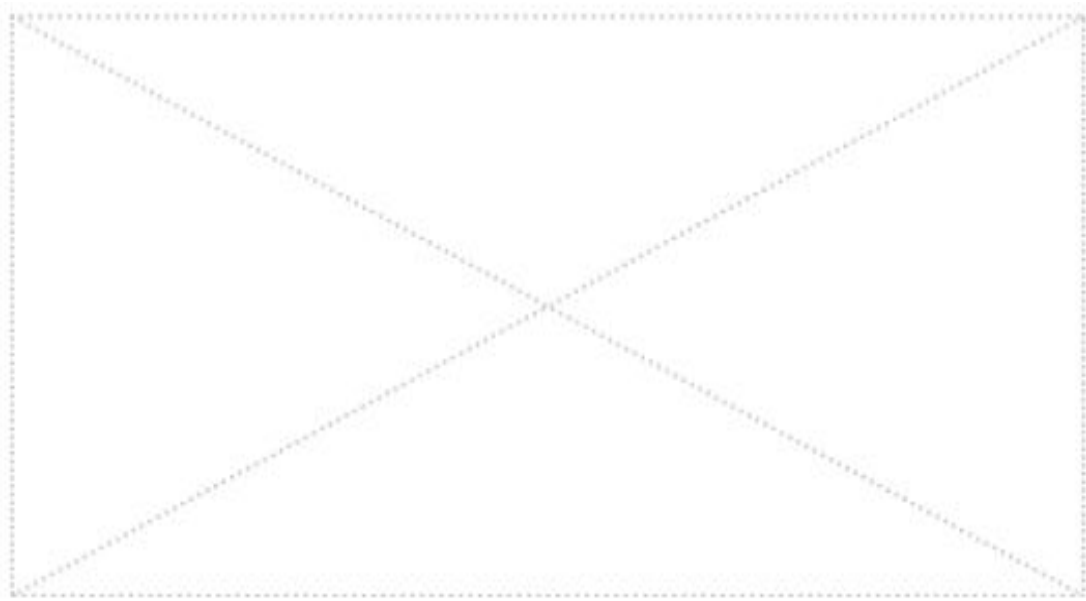
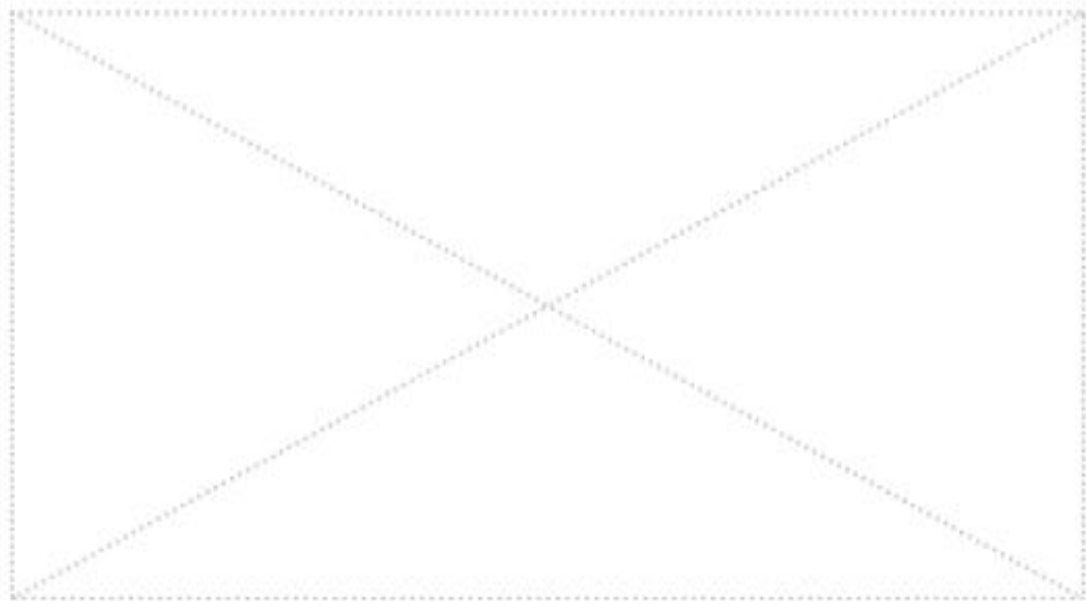


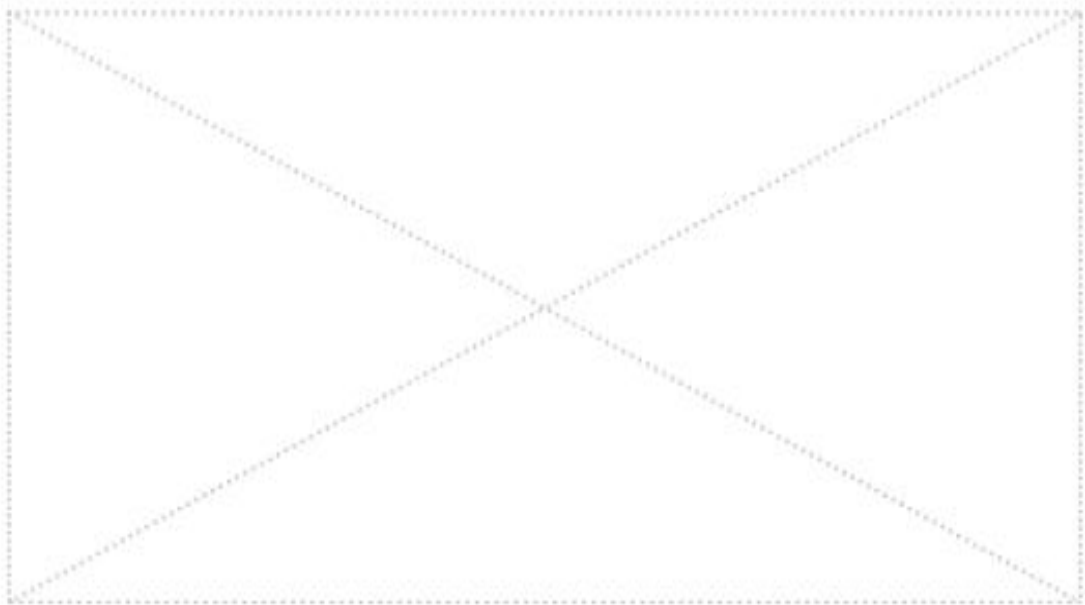
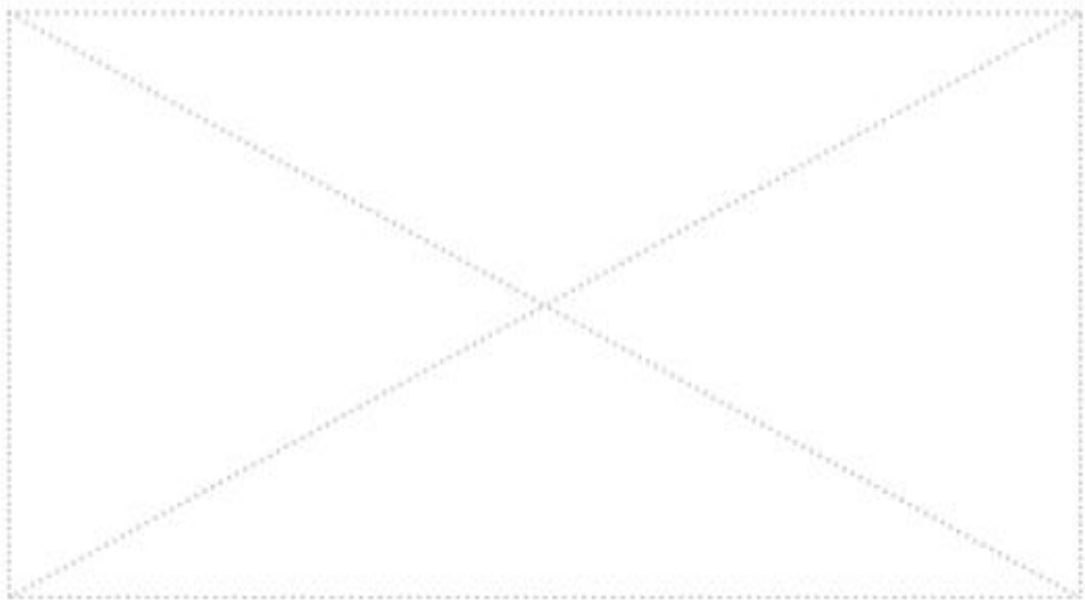


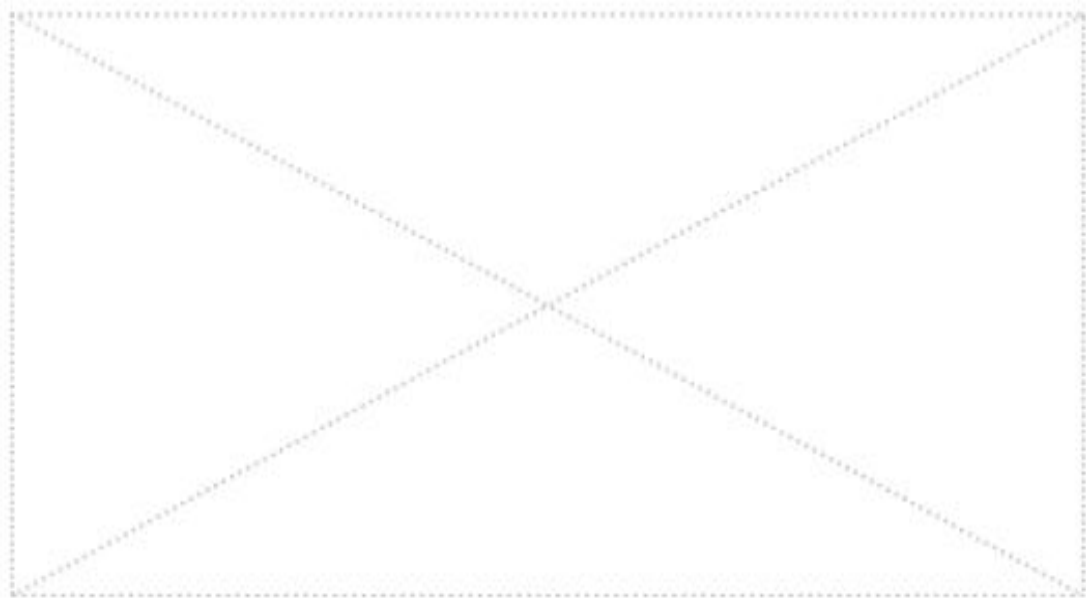
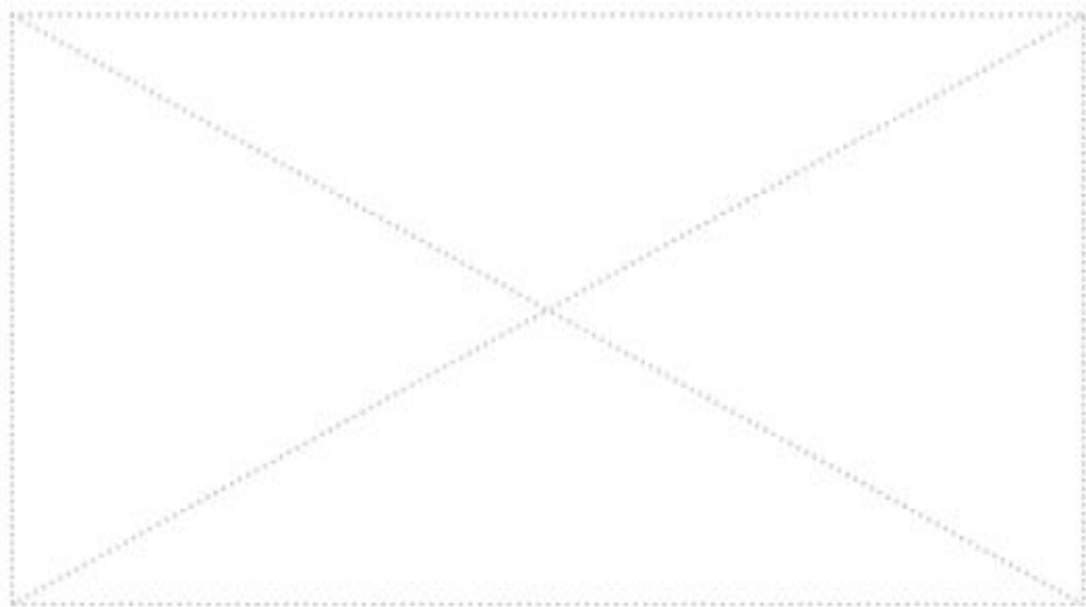


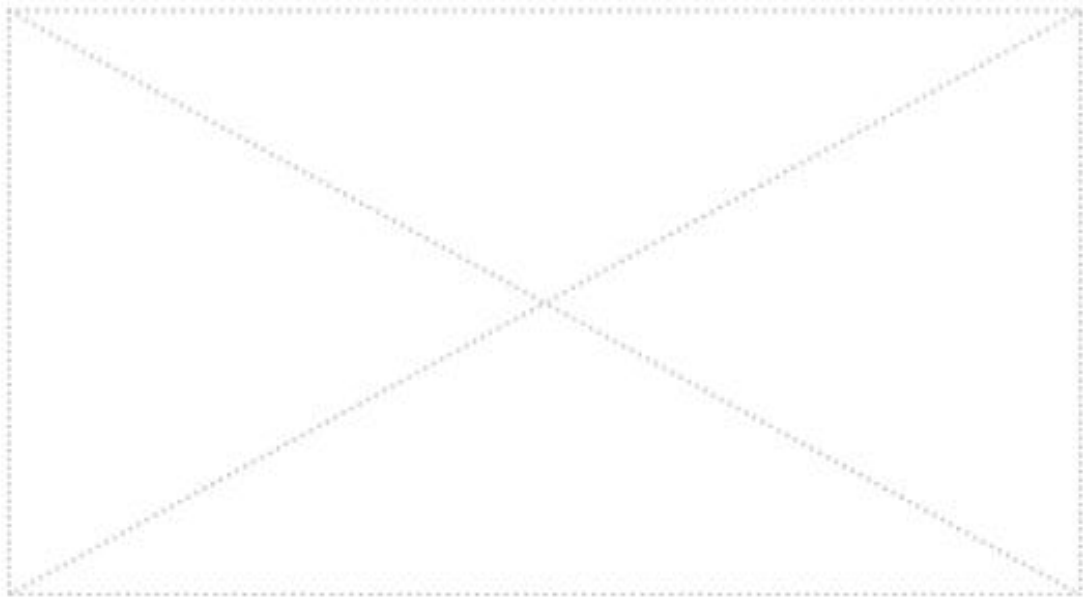
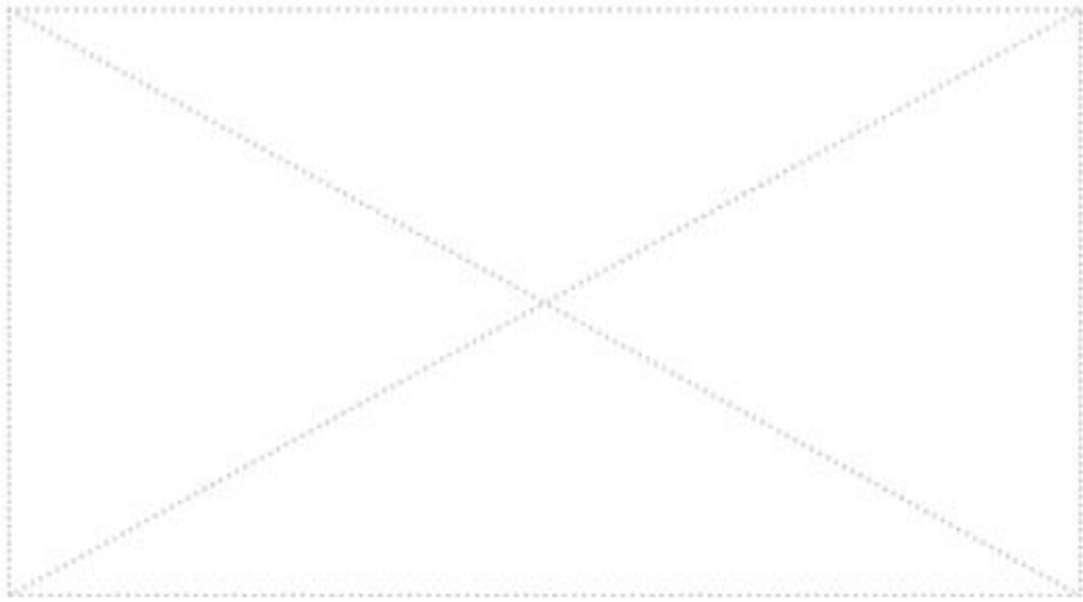


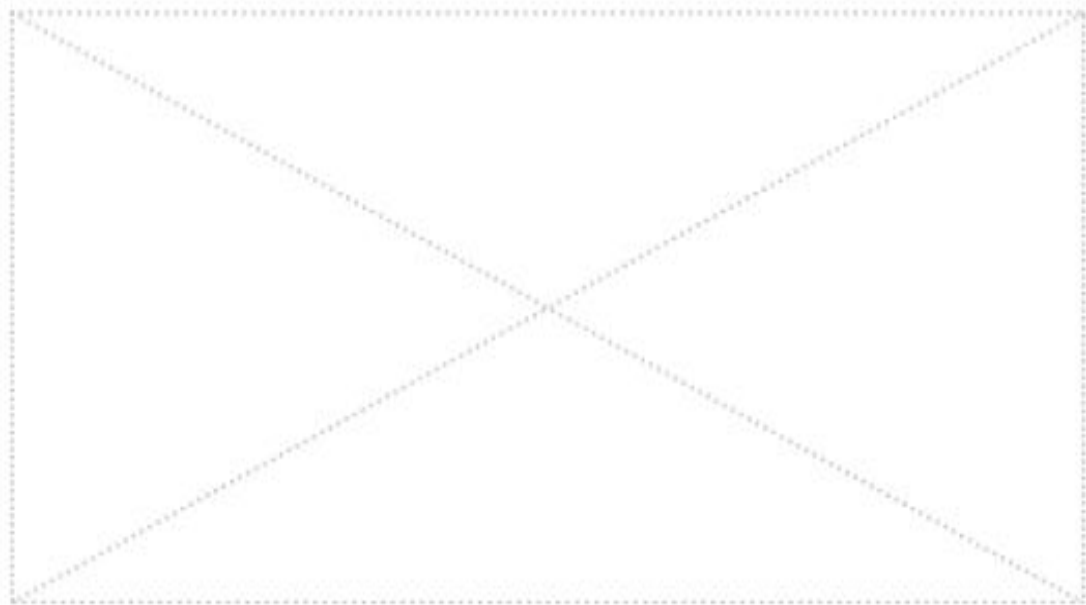
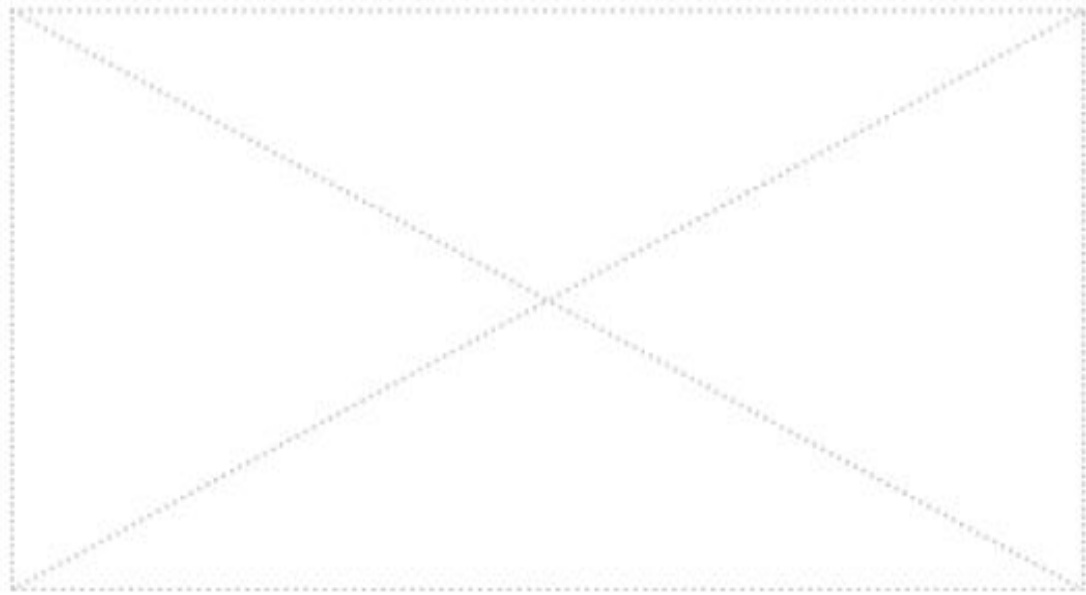
붙임 11. 제7차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

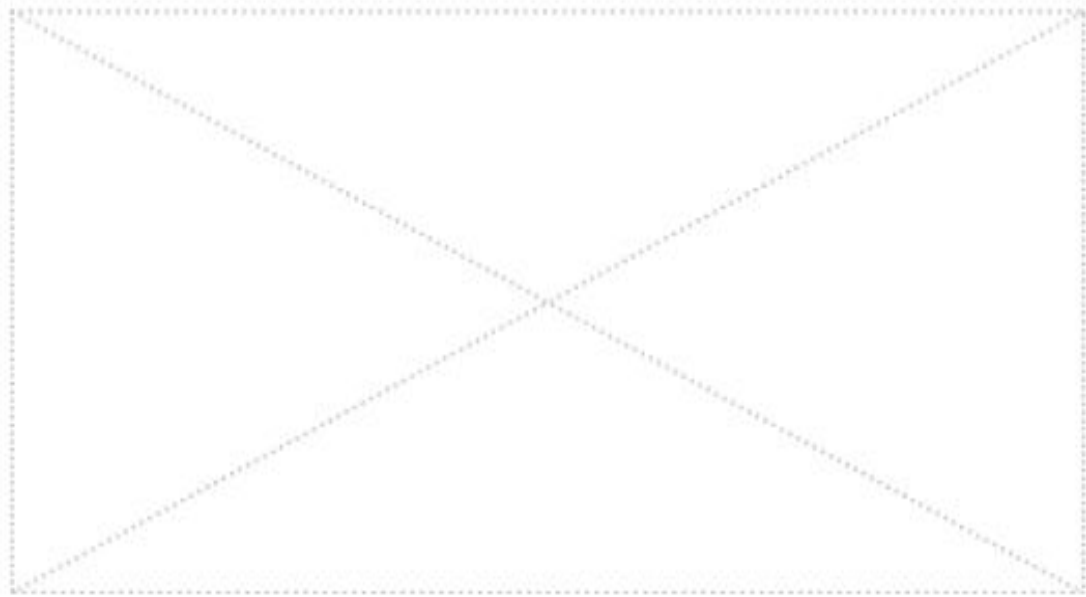
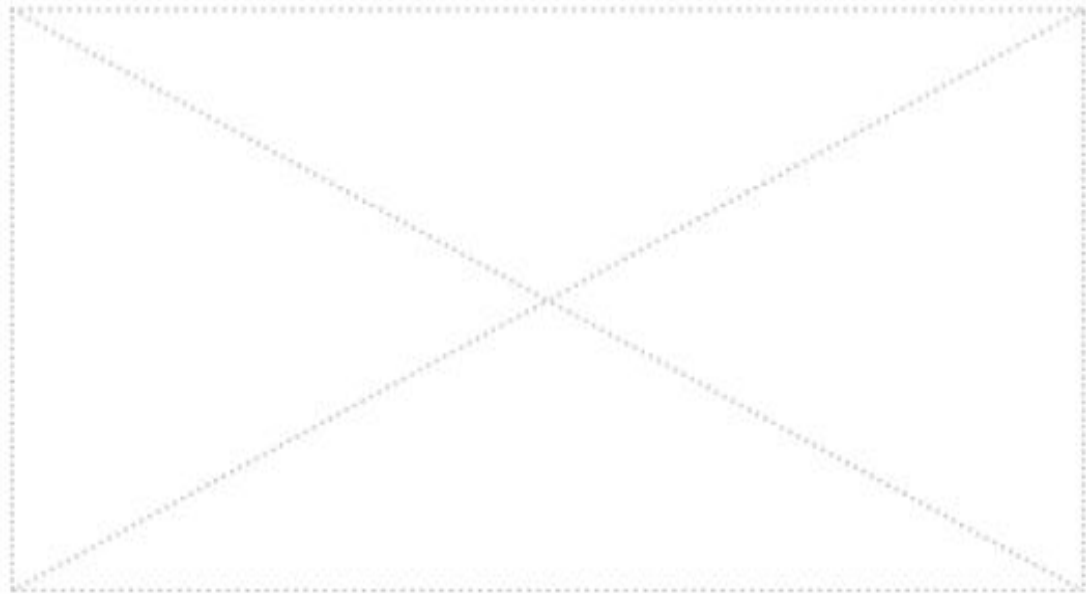


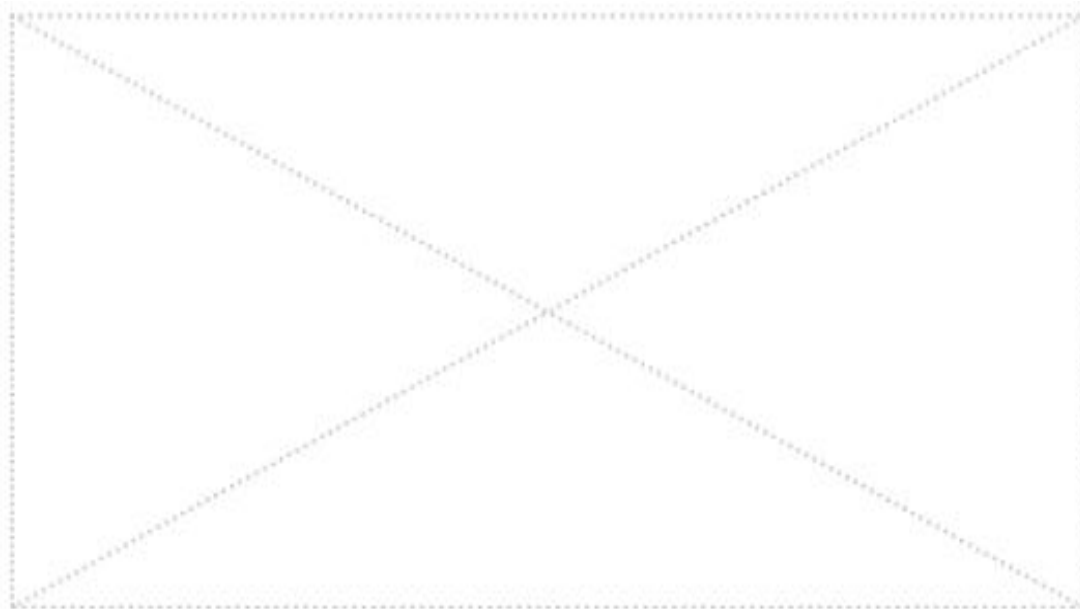
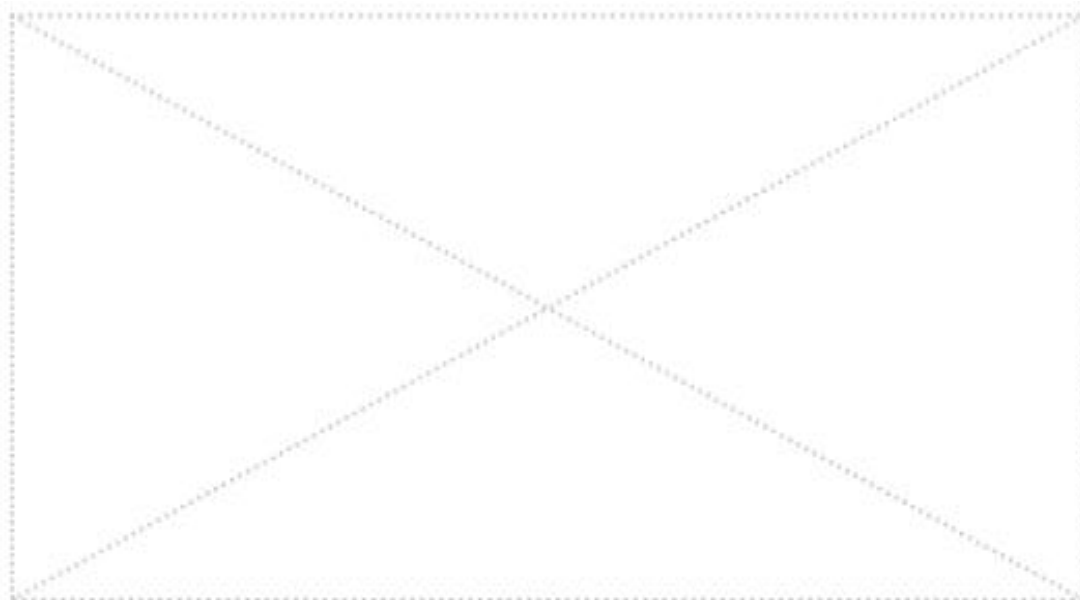


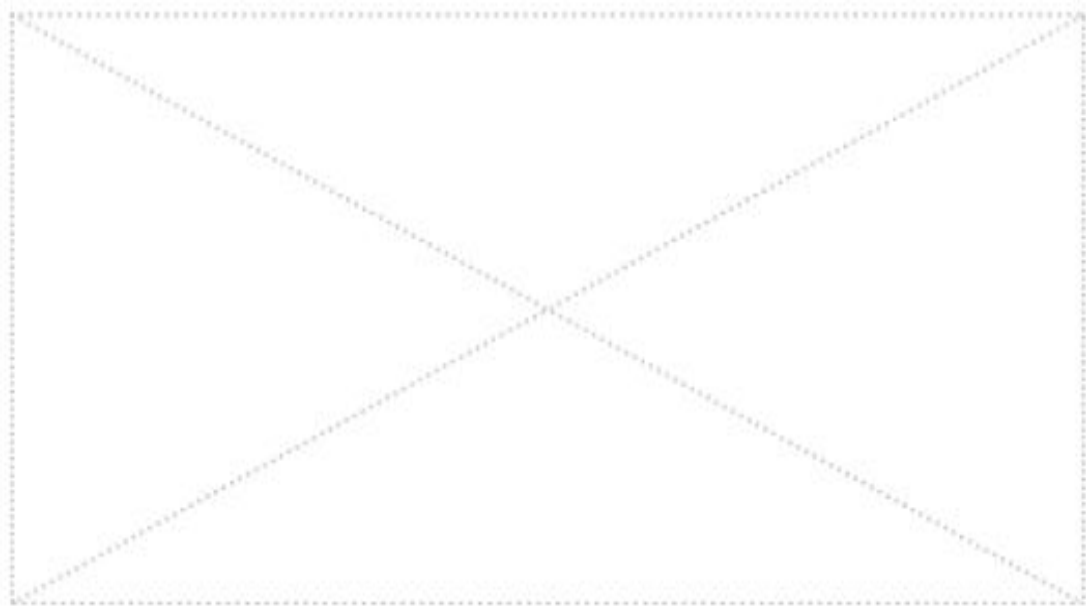
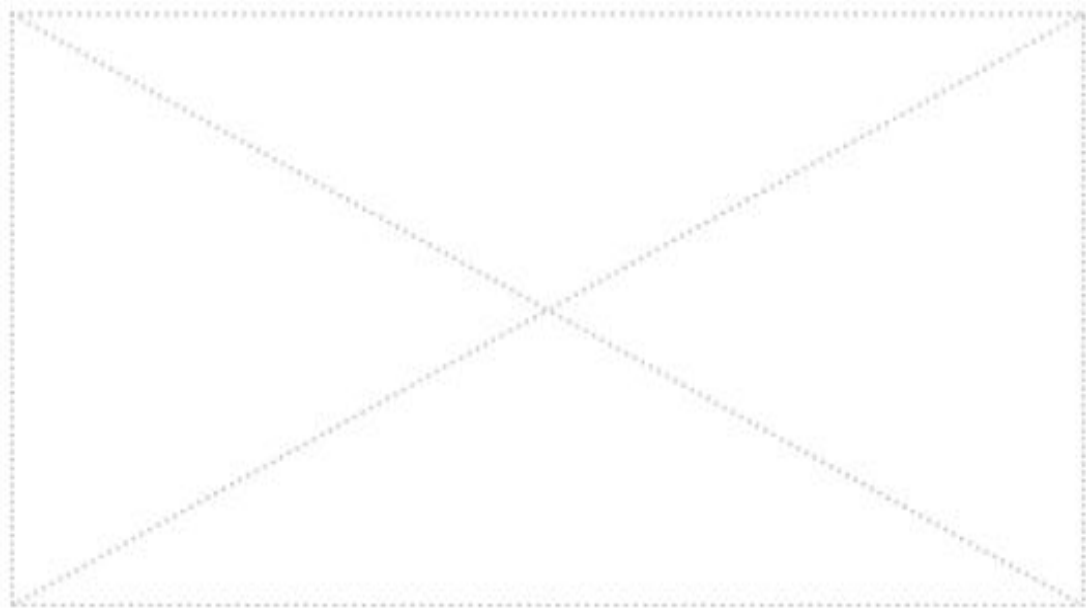


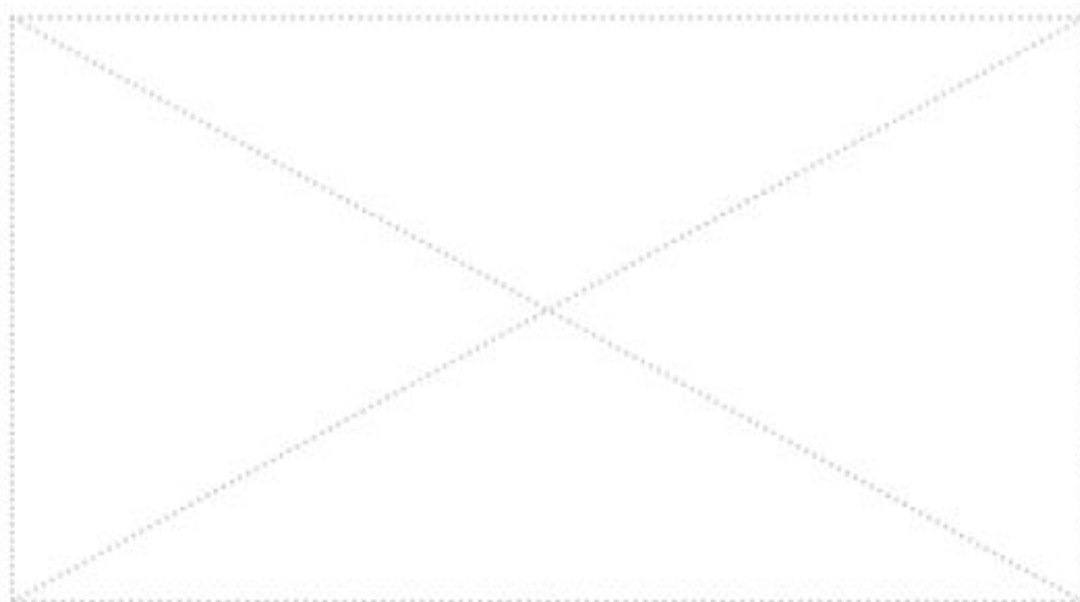
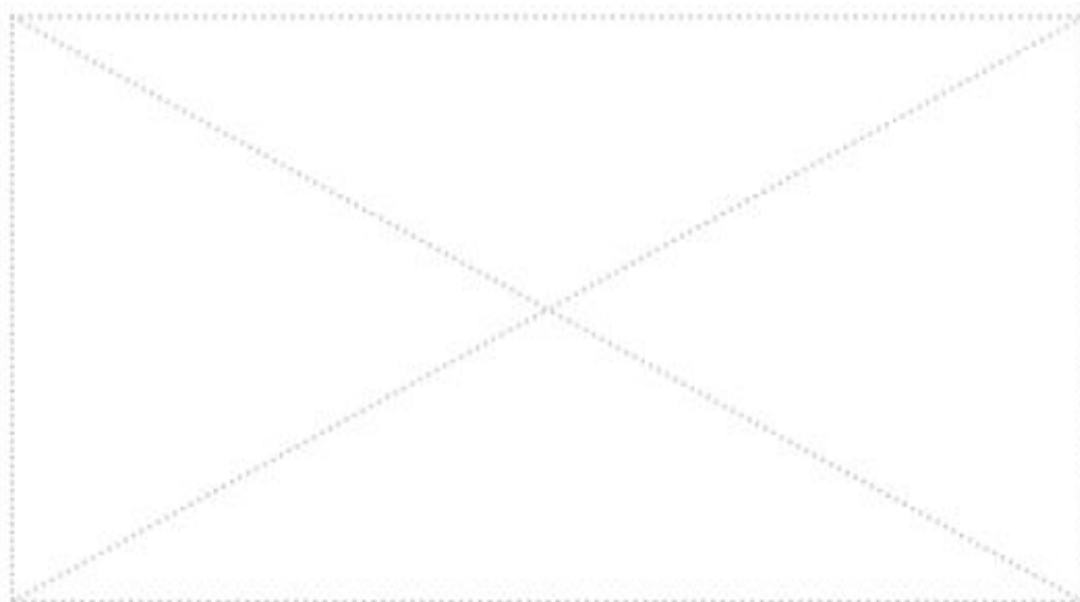


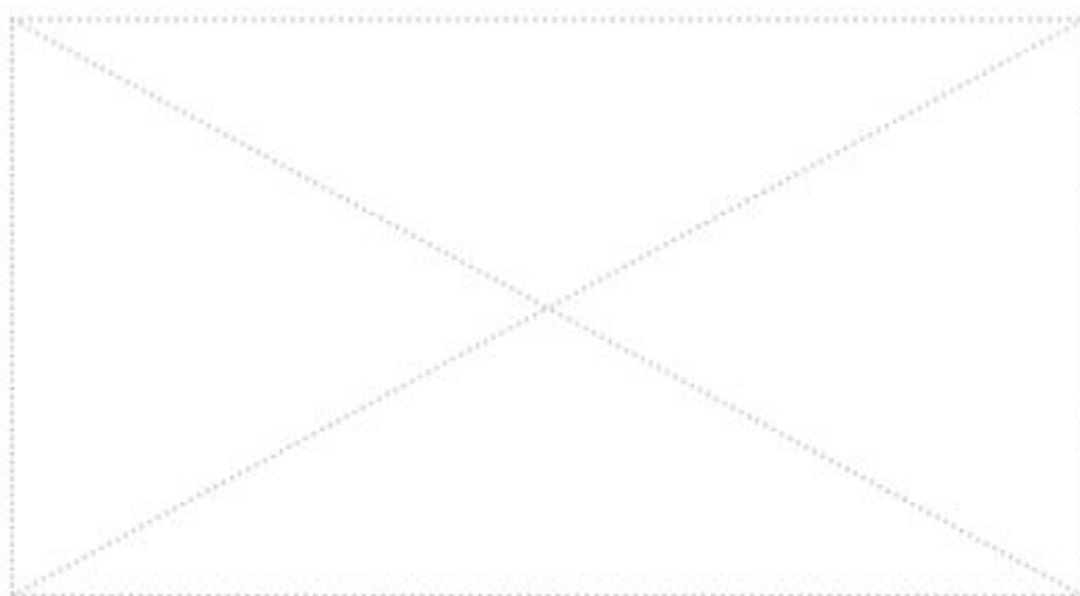
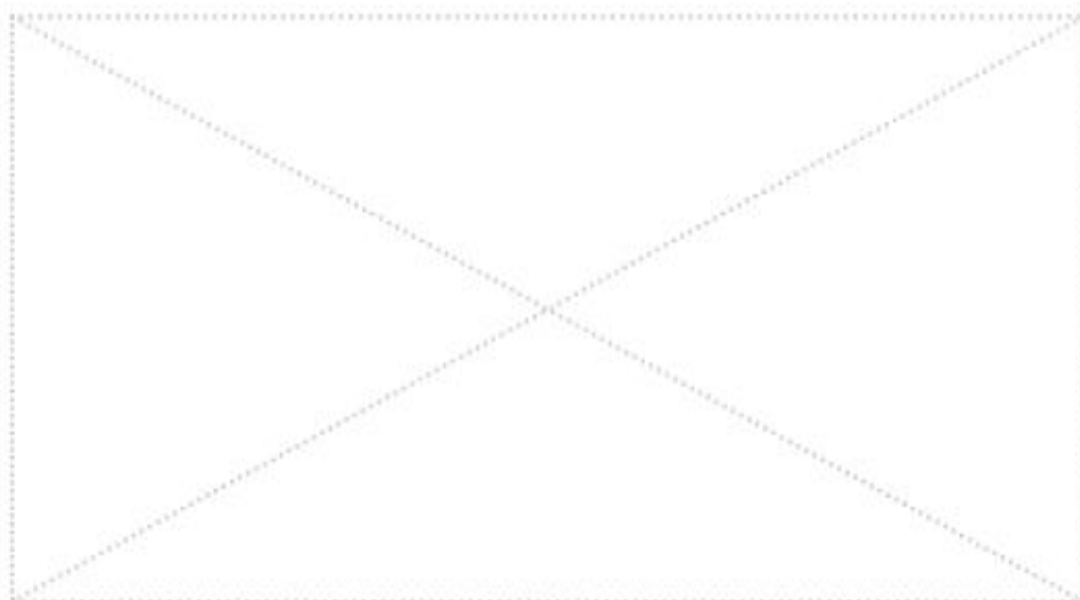


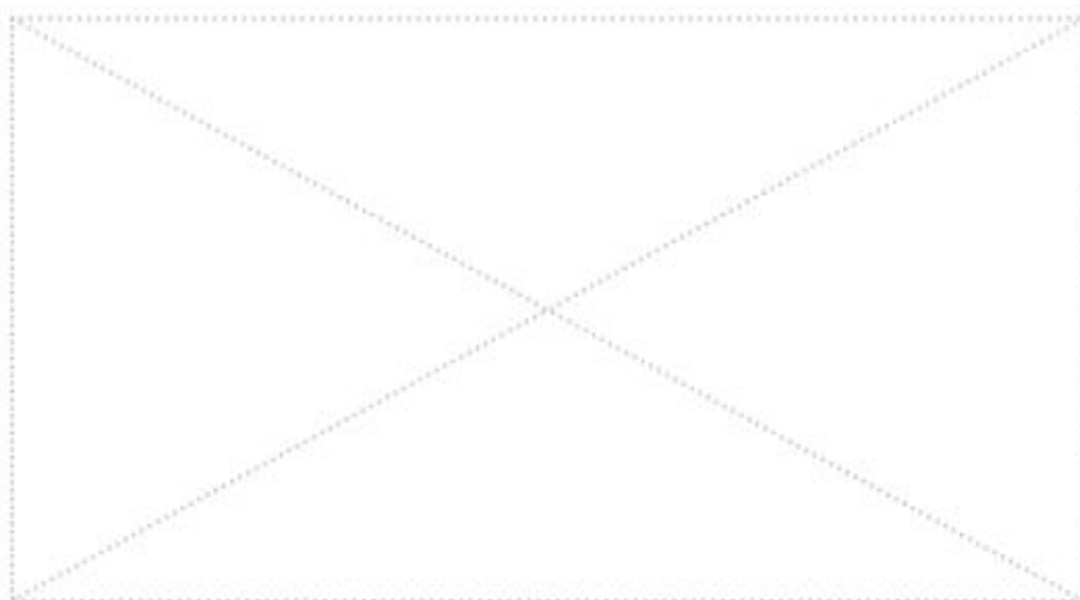
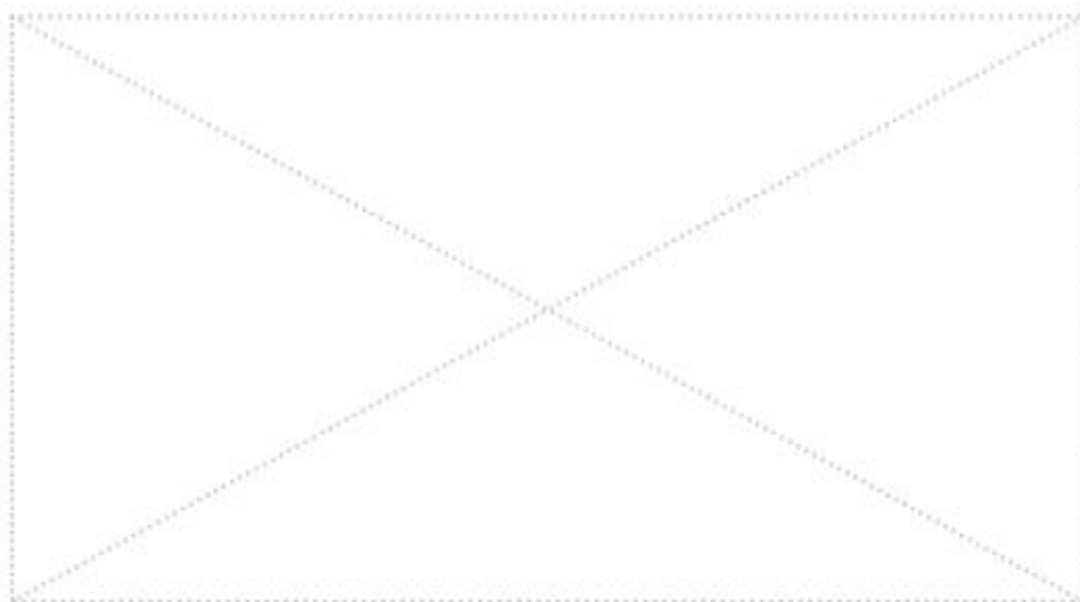


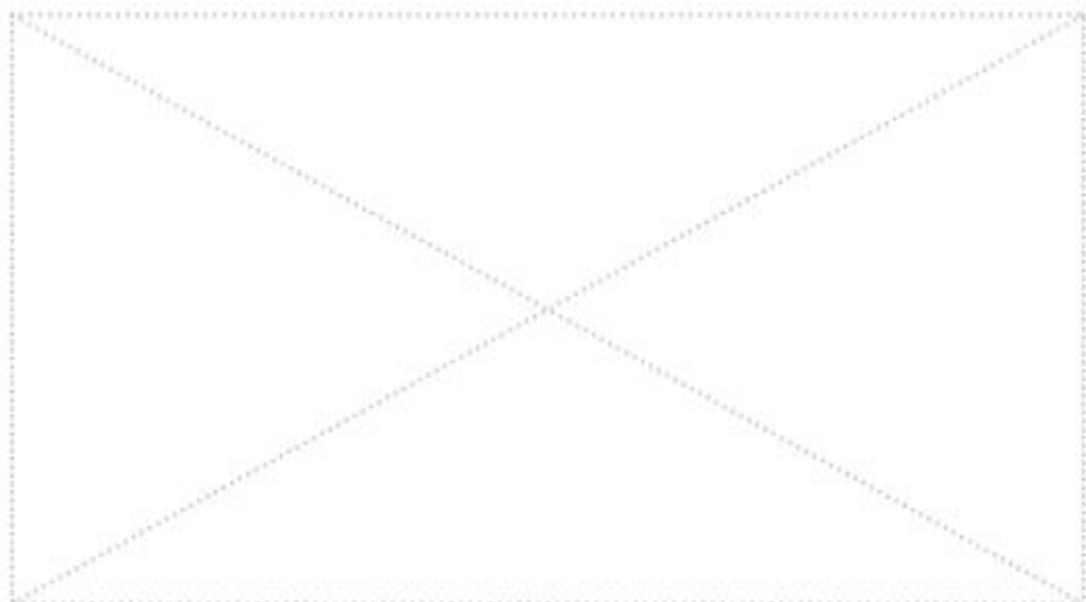
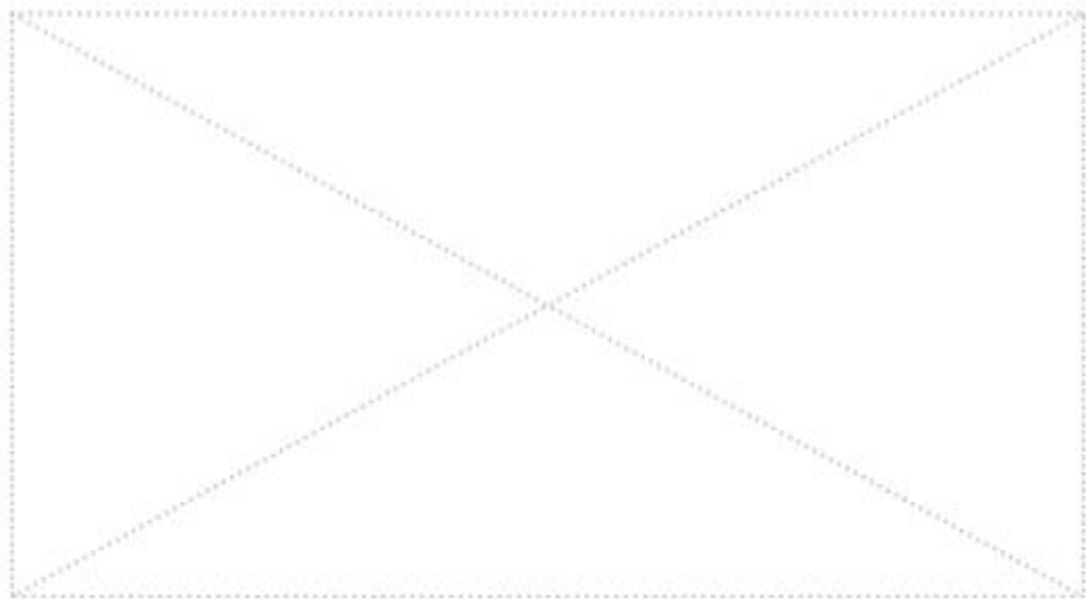


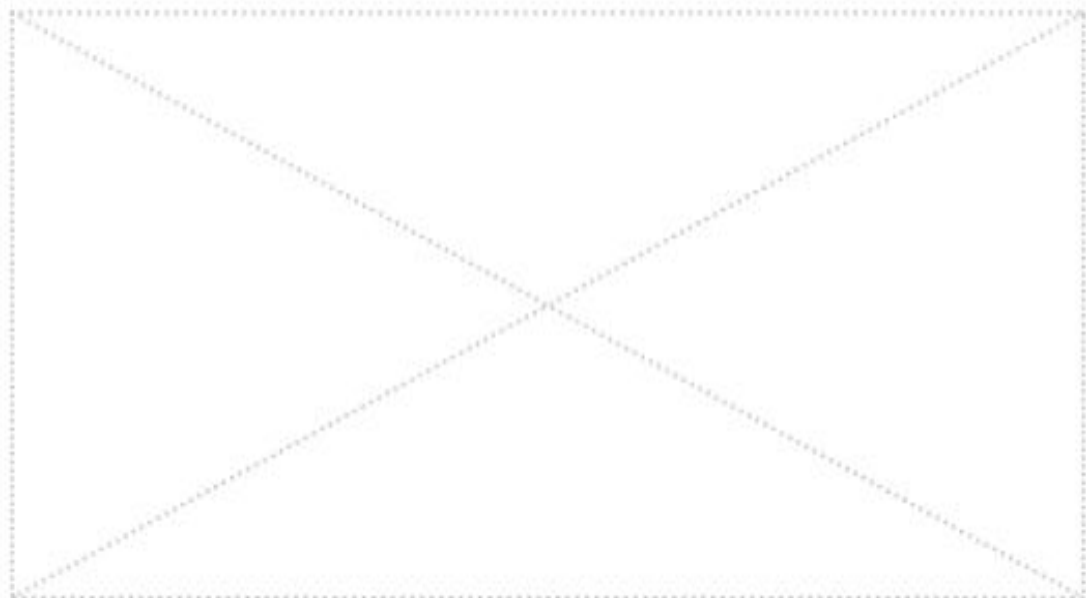
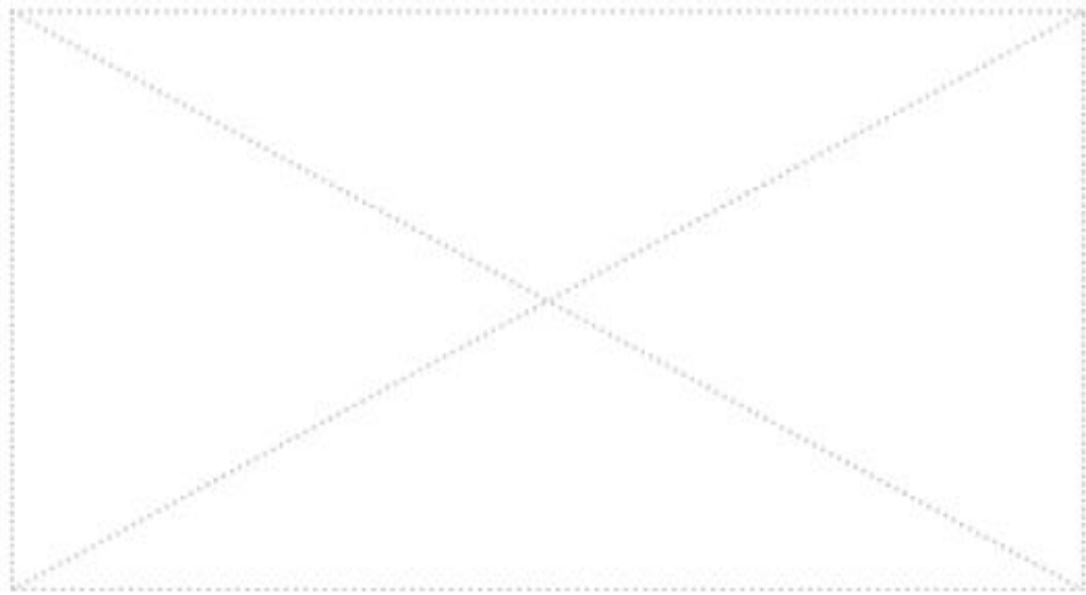


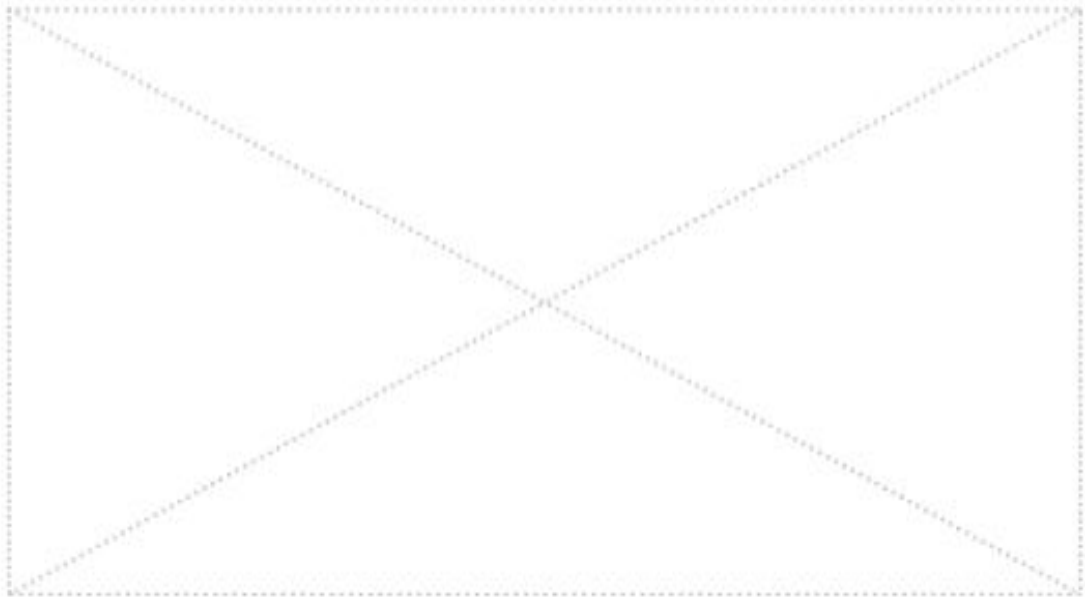
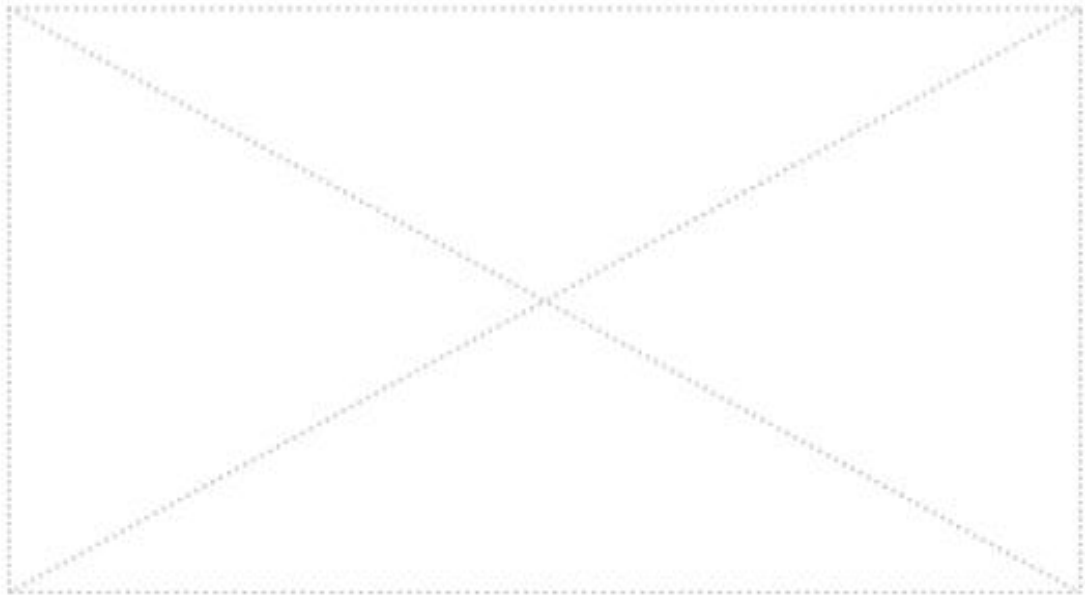


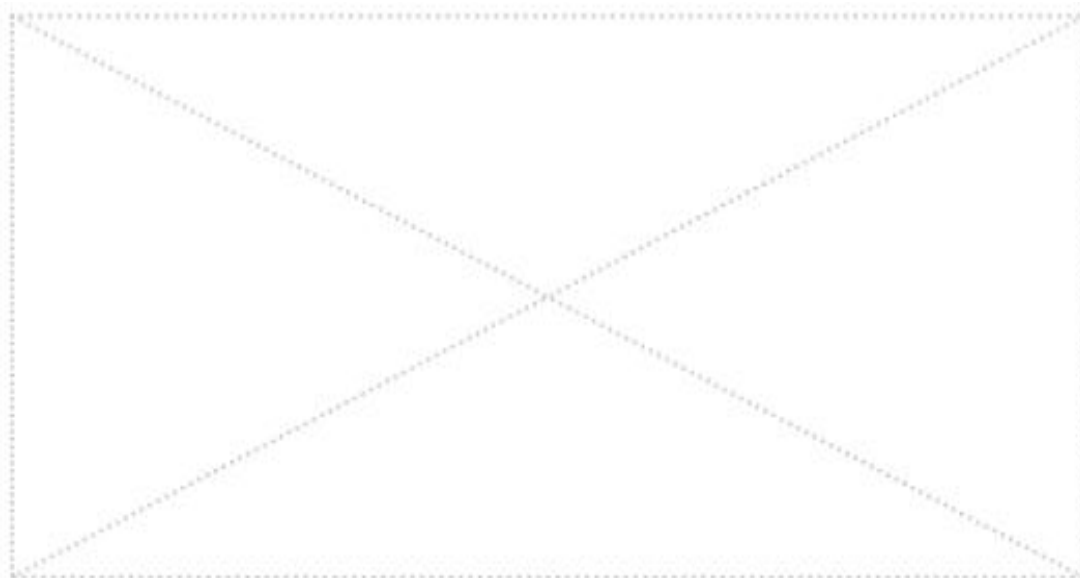
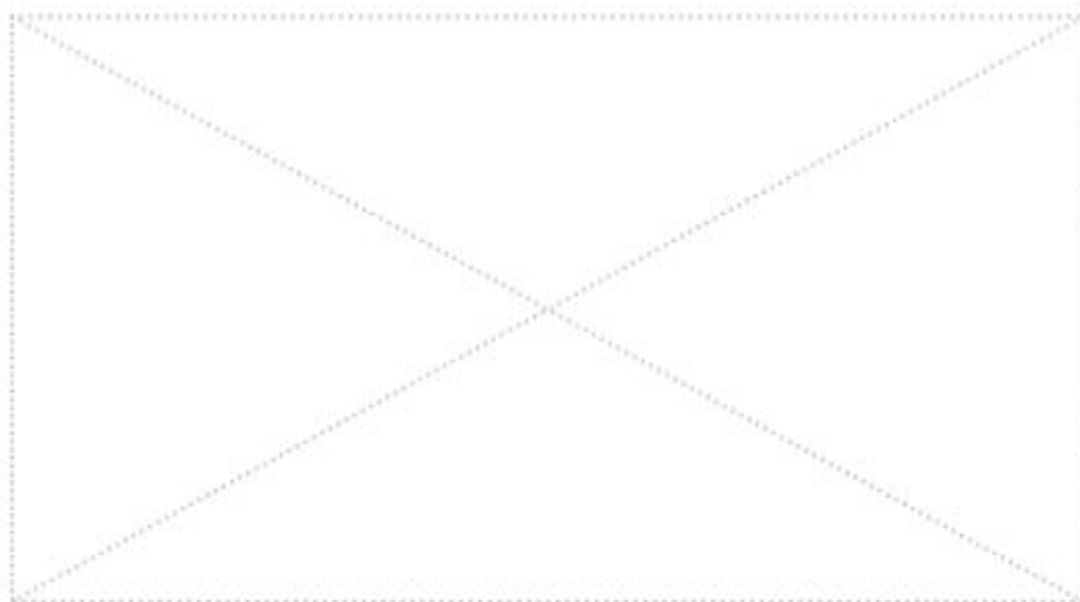


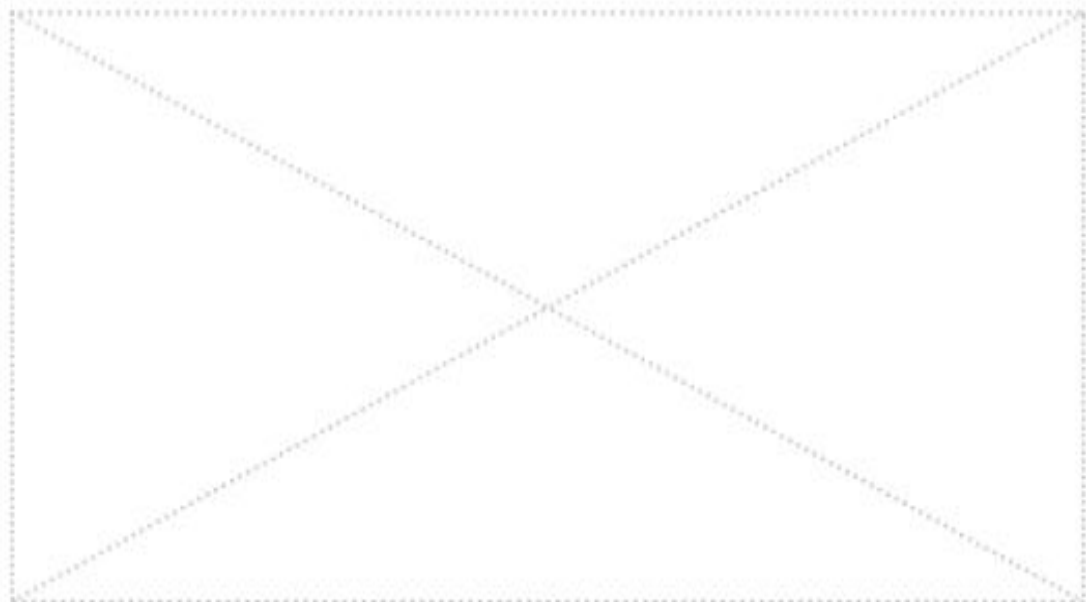
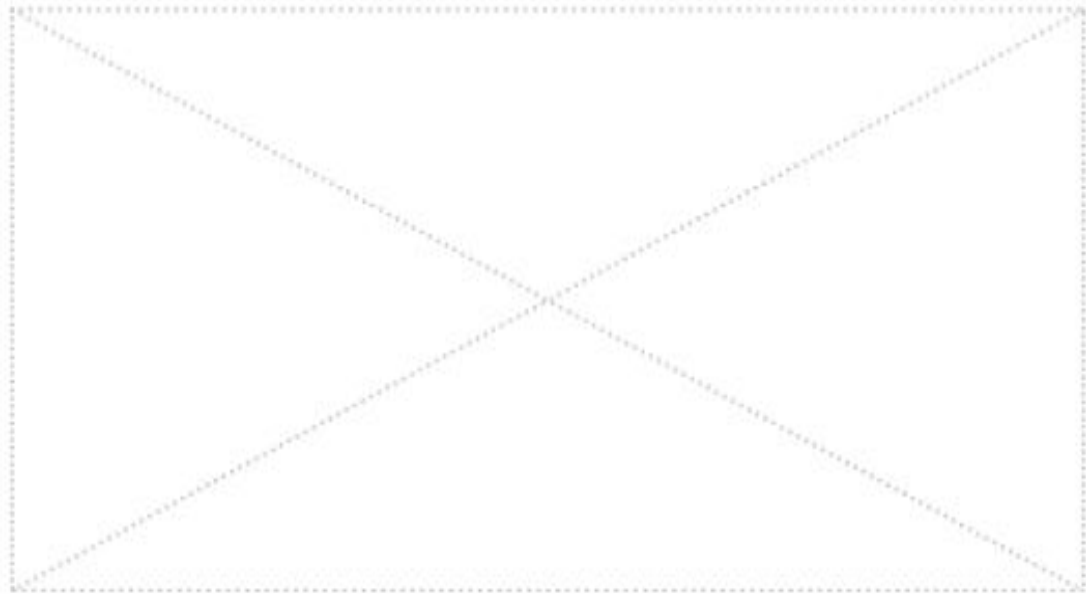


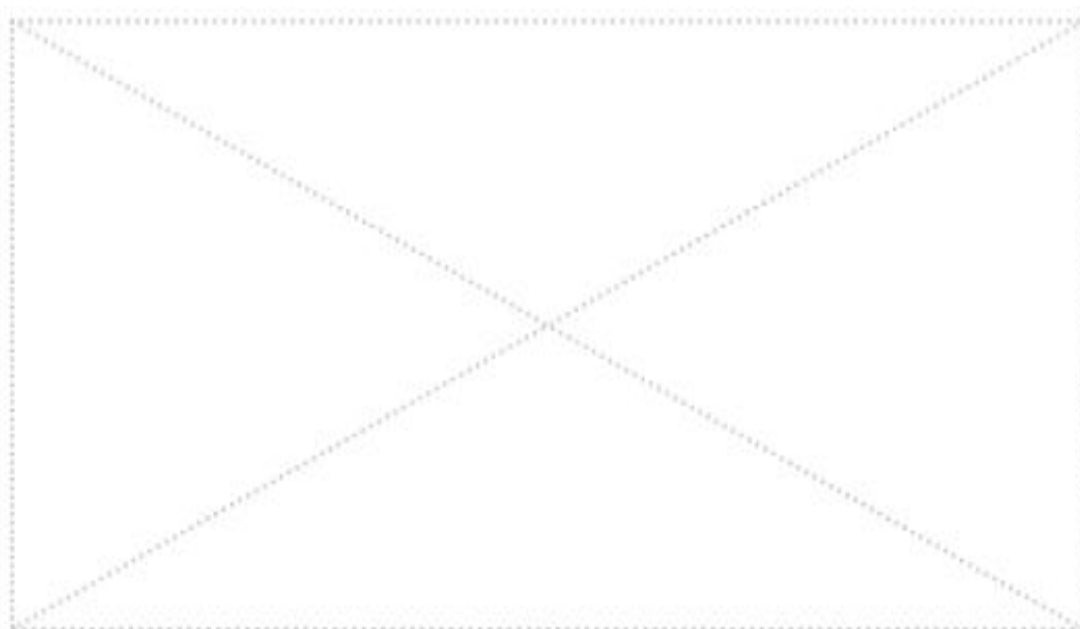
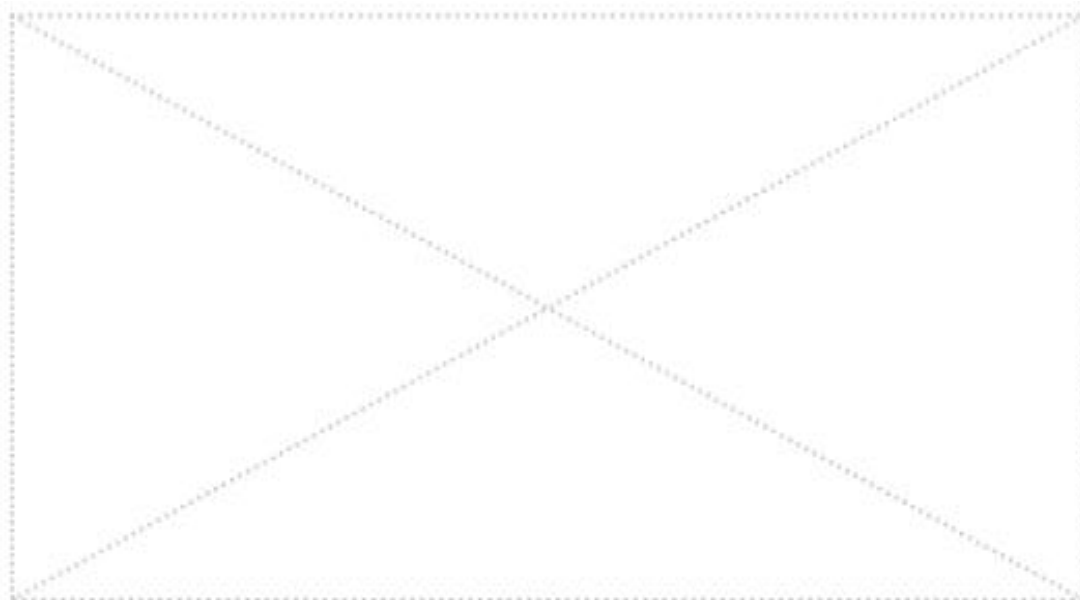












붙임 12. 제8차 국가과학기술혁신포럼 발표자료

