

붙임 2 대표성과 후보 추천서 양식

2020년 대표성과 후보 추천 요약서

[1] 성과요약서

성과유형	기초·미래선도형() 산업화형(○) 국가·사회문제해결형 ()			
세부과제명 (세부과제번호)	ICT 창의기술 개발(20ZB1100) 임플란터블 엑스선 검사 및 치료 기술 개발(20ZB1160)			
성과목표	[5-4]의료 지능화 솔루션			
총연구기간	2012년 1월 ~ 2020년 12월			
총연구비	총 6,716 백만원		정부: 6,716 백만원 민간: 백만원	
성과책임자 정보	연구자 성명	직할부서	연구본부/연구실	직위/직급
	송윤호	소재부품원천연구본부	소재부품원천연구본부	본부장
성과정보				
성과내용	<p>1. 방사선 피폭량 50% 이상 줄이는 디지털 엑스선 소스 원천기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상용 수준의 수명(DC >500h)을 가지는 초고밀도, 고안정성 전계방출 나노 전자원 개발 - 세계최초, 유일의 완전 밀봉형 나노소재 디지털 엑스선 소스 기술 고도화 <p>2. 세계 최초 디지털 엑스선 소스 상용화를 통한 신시장 개척 및 국내 기업 경쟁력 강화</p> <ul style="list-style-type: none"> - 디지털 엑스선 소스를 적용한 세계최초 치과영상장비 글로벌 판매 확대 <ul style="list-style-type: none"> · 2020년 기준 세계점유율 6%, 누적 매출 200억원 이상 · 2020년 세계일류상품 선정(산업통상자원부&KOTRA 주관) - 국가 위기 상황(일본무역규제, COVID-19) 대응을 통한 글로벌 시장 경쟁력 강화 <ul style="list-style-type: none"> · 일본 등 선진국 독점의 아날로그 엑스선 소스를 디지털 엑스선 소스로 혁신, 대체하여 의료영상 및 산업검사의 핵심 부품을 국산화함과 아울러 글로벌 경쟁력 확보 · COVID-19 대응 흉부촬영용 포터블 엑스선 영상 검진 장치 출시 			
대표성과1	<ul style="list-style-type: none"> · 논문 : <i>Stabilized and Equalized Field-Emission Currents From Carbon Nanotube Emitters by Cascade Active-Current-Control</i>, Jeong-Woong Lee 외, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.67(3) 1192, IF 2.913 (2020) · 특허 1(S급) : 전자 방출 구조체 및 이를 포함하는 엑스선 튜브, 2020-0139137, 2020, 출원(한국,미국,중국,독일) · 특허 2(S급) : 차징 방지 가능한 엑스선 튜브 구조, 2020-0163945, 2020, 출원(한국, 미국, 중국, 독일) · 특허 3(S급) : 마이크로포커스 엑스선 튜브, 16/734632, 2020, 미국 등록결정(출원: 한국, 미국, 일본) 			
대표성과2	<ul style="list-style-type: none"> · 기술이전 1 : 나노전계 에미터 및 디지털 엑스선 튜브, 2020, 착수기본료 2억원(매출정률 3.75%) · 기술이전 2 : 고안정성, 고신뢰성의 전계방출소자 구동 기술, 2020, 착수기본료 1억원(매출정률 3.75%) · 기술이전 3 : 나노전계 에미터 세부 기술, 2020, 착수기본료 0.4억원(매출정률 1.25%) · 매출정률기술료 1 : 나노전계 에미터 및 디지털 엑스선 튜브, 2020, 매출정률 1,900만원 이상(협상 중) · 매출정률기술료 2 : 고안정성, 고신뢰성의 전계방출소자 구동 기술 외, 2020, 매출정률 100만원 			
<p>- 대표성과 선정 시 대상선정을 위해 직원투표(홈페이지 게시)에 동의합니다. 동의 ■</p> <p>※ 공개 항목 : 연구자, 소속, 직위, 성과명, 연구비, 성과내용 등 후보추천서 기재사항</p> <p>- 사실과 다른 내용이 포함되거나 중대한 오류가 발견된 경우에는 선정이 취소될 수 있음을 확인합니다.</p> <p style="text-align: right;">2020년 12월 16일</p> <p style="text-align: right;">확인자 송윤호 (인)</p>				

2020년 대표성과 후보 추천서

[2] 2020년 우수성과 내용

1. 성과명

더 안전하고 더 선명한 검사 영상을 제공하는 '디지털 엑스선 소스'

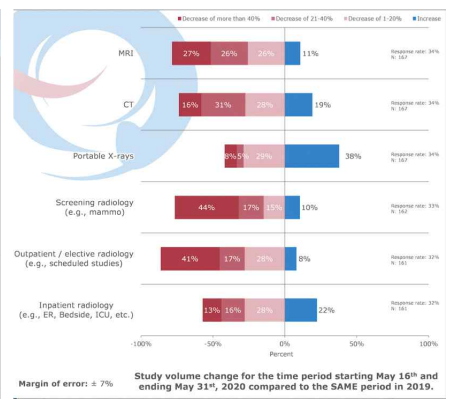
2. 성과내용

기술개발 목표달성도

기술적 선점이 필요한 분야

○ 디지털 헬스케어 시대를 대비하는 의료기기 분야

- 최근 의료 및 헬스케어 서비스의 디지털 환경 전환이 요구되는 상황에서 COVID-19 사태가 발생함에 따라 포터블, 모바일 엑스선에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있음. 기존 아날로그 기술에 비해 우월한 성능이 검증된 디지털 엑스선 소스를 통한 신시장 개척 및 기술 선점의 적기
- 기존 아날로그 기술에서 벗어나 제4차 산업혁명 시대의 디지털 헬스케어 시장을 선점하기 위해서는 엑스선 영상 의료기기의 핵심부품인 엑스선 소스의 디지털화를 통한 전-디지털(all-digital) 엑스선 응용 개발이 필요함



< 전 세계 COVID-19 발병 현황과 분야별 의료연구 현황 변화(출처: Johns Hopkins Coronavirus Resource Center, Imaging Technology News) >

○ 엑스선 영상 기반의 의료 및 ICT 산업 소재·부품·장비·디바이스 핵심기술 분야

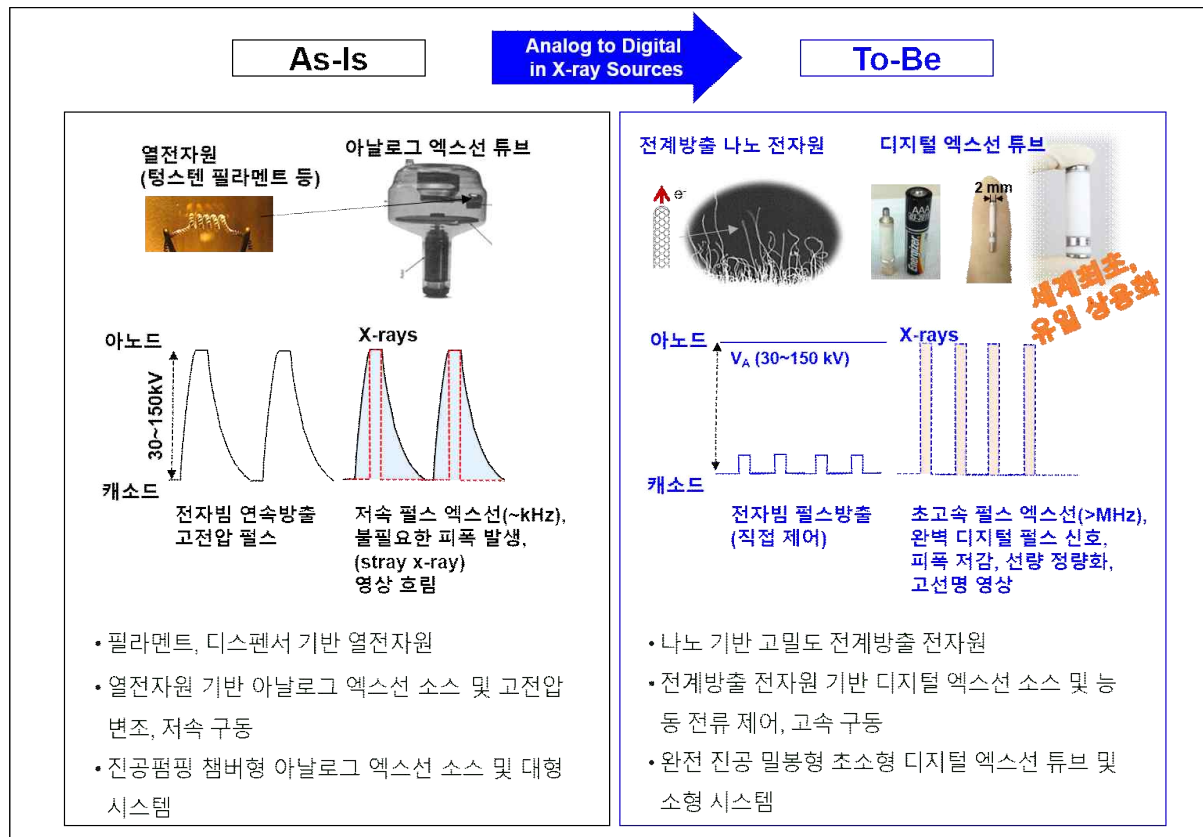
- 의료 및 산업 엑스선 영상의 핵심부품인 엑스선 소스는 해외 의존도가 극히 높고(약 90% 이상, 출처: 2018년 품목별 수출입 통계 자료), 120여 년 전에 발명된 아날로그 엑스선 소스를 현재까지 그대로 사용하고 있어 영상장치의 핵심부

품 기술개발은 정제된 채, 검출기 등 소스 이외의 영역만 디지털화가 진행됨
 - 소재·부품·장비는 우리나라의 주력산업으로 4차산업혁명 시대 핵심요소의 역할을 하고 있으나 반도체, 디스플레이 등 국가 핵심 산업경쟁력이 대내외적 변수에 의해 약화될 수 있는 상황임. 특히, COVID-19 사태를 맞이하여 국내 엑스선 의료기기 제조기업들은 큰 폭의 매출 성장을 보여주었으나 여전히 핵심부품 수급을 일본, 중국 등 해외 공급처에 의존하고 있음. 그 결과, 규모 성장에 따른 이익 성장이 제한되고 있어 디지털 엑스선 핵심기술의 조기 내재화가 요구되고 있음

□ 기술개발 목표

- 초고밀도 전계방출 나노 전자원 기반 디지털 엑스선 원천기술 개발
 - (목표 ①) 초고밀도, 고안정성 전계방출 나노 전자원 개발
 - 전계방출 나노 전자원의 특성을 강화, 상용 수준의 안정성 확보
 - (목표 ②) 나노소재 기반 완전 진공 밀봉형 디지털 엑스선 소스 기술개발
 - 전(全) 디지털 엑스선 혁신기기의 핵심부품 확보 및 응용 확대

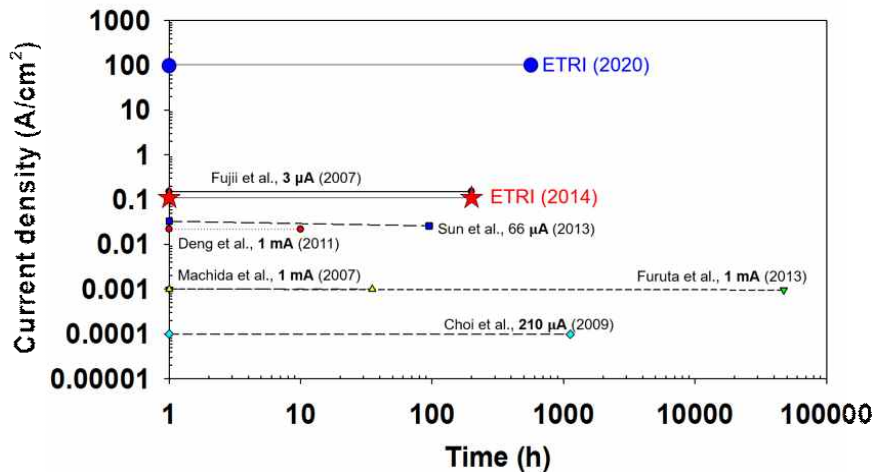
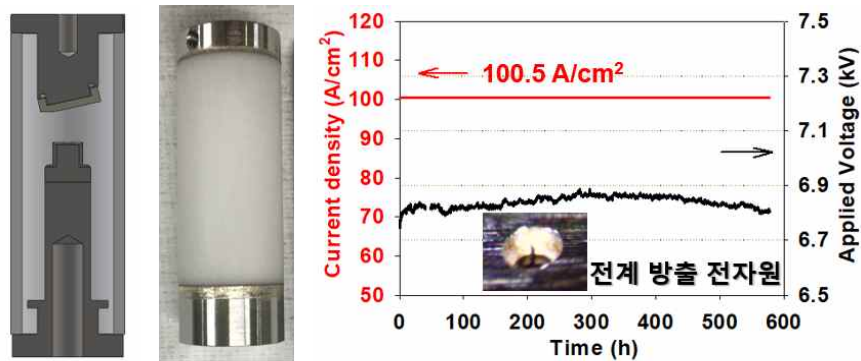
<기술개발 개념도>



□ 기술개발 목표의 달성성과 및 핵심기술 확보

[개발목표 ①] 초고밀도, 고안정성 나노전자원 개발

- ➔ (달성성과) 세계 최고의 방출 전류밀도 및 전자원 수명 확보
- ➔ (핵심기술 확보)
 - 탄소나노소재 기반 전계방출 나노 전자원 전류밀도 100.5 A/cm^2 이상 확보 (세계 최고)
 - 완전 진공 밀봉 튜브 내 연속 수명 특성 500 시간 이상 달성(세계 최고)



< 완전 진공 밀봉 튜브와 연속 수명 특성 비교 >

[개발목표 ②] 나노소재 기반 디지털 엑스선 소스 기술 개발

- ➔ (달성성과) 완전 진공 밀봉형 전계방출 디지털 엑스선 튜브 개발
- ➔ (핵심기술 확보)
 - 세계 최초, 유일의 나노 기반 완전 진공 밀봉형 디지털 엑스선 튜브 핵심 요소기술 고도화
 - 1) 소재
 - 나노전자원 : 진공 밀봉 엑스선 튜브 내 전류밀도 1 A/cm^2 이상
 - 절연체 : 고전압 절연 특성을 확보한 세라믹블랙(Ceramic black) 개발

2) 소자

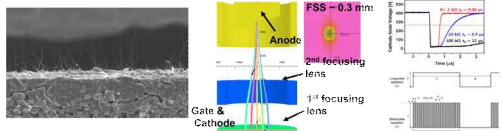
- 디지털 엑스선 튜브 설계 및 제작 : 전계방출 독립제어 및 전자빔 집속 다극형 구조와 세라믹 기반 진공 밀봉 기술

3) 제어

- 구동 기술 : 고유의 전계방출 전류제어 구동 기술 확보

● 세계 최초, 유일의 디지털 엑스선 튜브 상용화, 응용범위 확대

- 기술이전을 받은 중견 및 중소기업이 세계 최초로 디지털 엑스선 튜브를 제조하여 ①덴탈용, ②흉부용, ③수의용, ④산업용 응용제품으로 전 세계에 판매 증임



나노소재 기반 디지털 엑스선 소스 핵심기술



본 연구그룹에서 개발된 나노소재 기반 전계방출 디지털 엑스선 튜브



2020년 세계일류상품 선정 (산업통상자원부 & KOTRA 주관)

㈜바텍社 디지털 엑스선 소스
 좌: EzRay 시리즈 (세계 최초 CNT 기반 덴탈용 포터블 엑스선 소스)
 우: EzRay M (COVID-19 대응 흉부용 디지털 포터블 엑스선 소스)



㈜브이에스아이社 디지털 엑스선 소스
 전열: 응용 맞춤형 디지털 엑스선 튜브
 후열: (좌)산업용 고에너지 디지털 이온라이저(세계 최초, 최고 성능), (우)덴탈용 디지털 포터블 엑스선 소스(세계 최초 디지털 소스)



상용화 개발 중인 제품군
 좌: ㈜PICOPACK社 덴탈용 포터블 디지털 엑스선 소스
 우상: ㈜JPI헬스케어社 100kV급 포터블 디지털 엑스선 소스(덴탈용, 흉부용)
 우하: ㈜DIGIMED社 덴탈용 디지털 포터블 엑스선 소스

< (좌) ETRI에서 개발한 나노소재 기반 디지털 엑스선 소스 핵심기술과 튜브, (우) ETRI 기술 기반 기업 제품화 현황 >

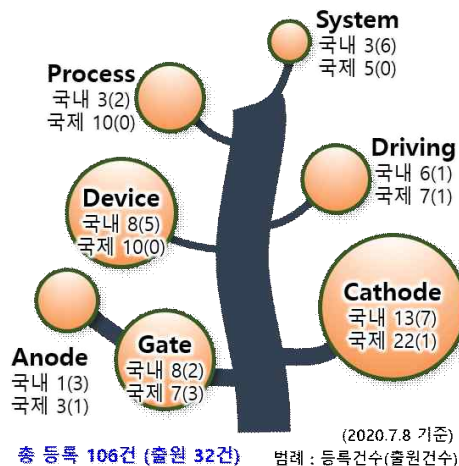
3. 우수성 및 차별성

기술수준 향상 성과

- 탄소나노튜브와 같은 나노물질에서 전계방출 물리, 열화, 대전 메카니즘 규명을 통해 초고밀도, 초미세 전자빔 방출을 구현 : 나노소재 기반 전자빔 기술을 상용화 수준으로 특성 확보
- 전(全)디지털 엑스선 영상 시스템을 가능케하는 나노소재 기반 진공 밀봉형 디지털 엑스선 소스 기술을 세계 최초, 세계 유일하게 확보
- 약 120년간 사용되어온 아날로그 엑스선 소스의 디지털화로 상용화에 성공하여 기술 패러다임 전환 가능성 제시
(2020년 기준 사업화 6종, 산업통상자원부&KOTRA 주관 세계일류상품 1종 선정)
- 기존 기술로 구현할 수 없는 소형 엑스선 소스 기술을 통해 의료 및 ICT 산업 분야로의 응용 확대 가능성 증대

기술수준 공인 성과

- SCI 논문 : 13편 게재(JCR I.F 상위 10% 2편, 상위 20% 6편 포함), 2020년 2편 투고(전계방출 소자 구동 기술 관련 1편 게재(IEEE TED, I.F 2.913), 전계방출 나노 전자원 제작 관련 1편 under revision(Nanotechnology, I.F 3.551))
- 학술대회 : 100여 건 발표(Plenary talk 1건, Invited talk 15건 포함, 학술대회 최고상 포함 논문상 7편 수상), 2020년 초청 1편, 일반 4편 발표(북미방사선학회(RSNA)2020 논문발표, 한국탄소학회 Poster award 수상)
- 지식재산 : 디지털 엑스선 튜브 관련 원천기술 확보(특허 130여 건 이상 - 소재, 소자, 제어, 시스템 전 분야), 2020년 국내외 출원 15건(S급 특허 3건 포함), 등록 5건



< 전계방출 디지털 엑스선 소스 관련 특허 포트폴리오 >

- 기술이전(총 14.25억원) : 기술이전 13건(착수기본료 13.4억원), 특허실시권 허여 2건(착수기본료 5천만원), 매출정률기술료 4건(3.5천만원 이상)
(2020년 기술이전 3건(착수기본료 3.4억원), 매출정률기술료 2건(약 2,000만원, (주)바텍과 튜브 단가 및 계약 연장 협상 진행 중)
- 수상실적 : 2건(2020년도 ETRI 올해의 연구자상 송윤호 본부장, 2020년 한국탄소학회 춘계학술대회 우수포스터상)
- 언론홍보 : 3건(방사선 피폭을 줄이는 세계 최초 디지털 엑스선 소스 개발(KBS 9시 뉴스 포함 9개 뉴스 방송 보도 및 조선일보 포함 20개 언론사 보도), 세계 최초 CNT 디지털 엑스선 소스 기술 상용화(YTN 비즈코리아), APS 홀딩스 ETRI와 디지털 엑스레이 사업 진출(ZDNet Korea 외))



< 디지털 엑스선 소스 기술 관련 언론 홍보 영상 >

4. 성과의 활용도 및 파급효과

경제 활성화 효과

기업 경쟁력 향상

- 기존 아날로그 엑스선 소스를 대체하는 디지털 엑스선 튜브 기반의 의료 영상 진단 및 검사 시스템 산업을 창출하고 있음
- 기술 진입 장벽이 높은 핵심부품 원천기술의 이전을 통해 세계 최초, 유일의 상용화 기술 확보로 국내 기업체의 글로벌 경쟁 우위 확보
 - (주)바텍: 세계 최초, 최경량 엑스선 검사장치 4종 사업화(치과용 3종, COVID-19 대응 가능한 흉부용 포터블 1종), CNT 기반 엑스레이 세계일류상품으로 선정(세계 시장 점유율 6%), FDA 인증 획득, 2017년 이후 누적 매출 200억 원 이상(2020년 예상 매출액: 100억 원)
 - (주)브이에스아이: 세계 최초 완전 디지털 엑스선 검사장치 2종 사업화(산업용 제 전 장치 1종, 치과용 포터블 1종), KFDA & CE 인증 진행 중, 2018년 이후 누적 매출 5억 원 이상
 - (주)JPI 헬스케어: 2020년 최경량 100kV급 흉부용 포터블 엑스선 장치 적용 중,

2021년 판매 예상

- (주)디지메드: 치과용 엑스선 검사장치 2종 적용 중, 2021년 판매 예상
- (주)고영테크놀러지: 2019년 수술용 O-arm CT 적용 중, 2021년 판매 예상
- (주)피코팩: 치과용 엑스선 검사장치를 전-디지털 토탈 솔루션으로 준비중, 2020년 제조 생산 시설 구축 완료 및 2021년 판매 예상
- 에이피에스홀딩스(주) : 2020년 기술이전 계약, 공항 보안 검사 장치 및 반도체 검사 장치 등으로 응용 계획
- (주)루샘 : 2020년 기술이전 계약, 국내 유일의 회전형 엑스선 튜브 제조업체로 아날로그 엑스선 튜브에서 디지털 엑스선 튜브로 교체 계획

산업 경쟁력 향상

- 세계 최초 디지털 엑스선 소스 기술의 상용화를 통해 **국내 산업의 기술 고도화, 혁신성장동력 발굴 및 관련 시장의 패러다임 전환 견인**
 - (주)바텍: EzRay 출시 3년 만에 구강 내 촬영 엑스선시장 세계 점유율 6% 확보
 - (주)브이에스아이: VX-30E(포터블 엑스선 소스) 출시 후 동남아 시장 점유 확대
 - (주)디알텍: 디텍터 제조 전문회사에서 ETRI 기술을 활용한 엑스선 기기 제조 회사로 전환 중
 - (주)PICOPACK: 디지털 엑스선 튜브의 고도화를 위한 Tech-Bridge활용 상용화 기술개발 사업 신규 수주(사업기간 2년(2020-21), 정부출연금 7.7억 원)
- 수입 의존도 90%가 넘는 의료/ICT산업 영상 검사의 **핵심부품 원천기술 확보를 통한 국내 기업의 해외 의존도 탈피 및 국내 엑스선 기술, 산업의 글로벌화**
 - 엑스선 튜브 수입 대체로 튜브 제조 원가 30% 이상 절감
 - 양산 체제 구축 후 규모의 경제를 통한 튜브 제조 원가 추가 절감 가능성 검증
- 기술 국산화를 넘어, 기존의 고착화된 상태에서 탈피한 **신기술을 제시함으로써 소재·부품·장비 산업체의 글로벌 경쟁력 제고**
 - (주)브이에스아이: VSH-15G(고에너지 정전기 제거장치) 출시로 (일)Hamamatsu photonics가 독점하던 시장구조 타파((주)브이에스아이는 저에너지 정전기 제거장치 출시로 일본 기업 독점 시장구조를 깨뜨린 경험이 있음)
- 기존 장비와 **차별화된 전-디지털 엑스선 영상 시스템 구현을 통한 의료/ICT산업 장비 분야의 신산업 창출 가능**
 - (주)바텍: 치과용 및 수의용 전-디지털 토탈 솔루션 출시
 - (주)PICOPACK: 치과용 전-디지털 토탈 솔루션 준비중
 - 고영테크놀러지: 기존 세계 1위 분야인 자동 광학 검사기(AOD)에 엑스선 검사기능 융합 제품(AOXD)과 의료 수술 로봇 개발 중으로 개발 완료 시 기술 초격차 실현 가능

경제적 파급효과

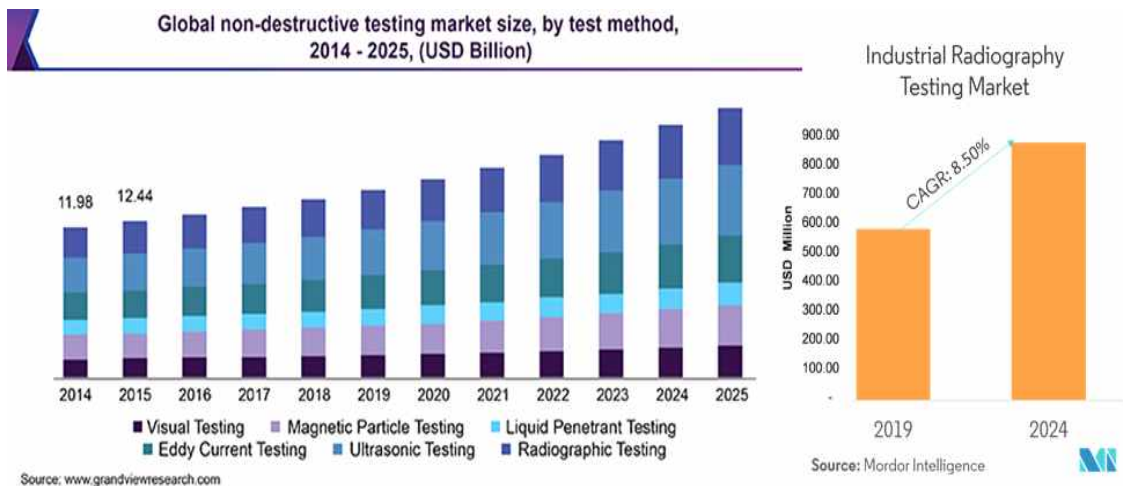
○ (시장 성장 전망)

- 의료 진단/검사 장비의 세계시장은 '17년 기준 약 300억 달러 규모에서 연평균 6.1%의 성장률로 ' 25년에 약 440억 달러 규모로 성장할 전망이다. 국내시장은 '13년 4조 6천억원 규모에서 연평균 7.6%의 성장률로 ' 22년에 약 8조 9천억원 규모로 성장할 전망이다.



< 세계 영상 기반 의료 진단/검사 장비 시장 규모 및 동향 예측(출처: Fortune Business Insights, Mordor Intelligence)>

- 또한 ICT 산업 분야의 엑스선 기반 비파괴 검사 장비 세계시장은 '19년 약 5.5억불 규모에서 연평균 8.5%의 성장률로 ' 23년 약 8억불 규모로 성장할 전망이다.



<세계 비파괴 검사 시장(좌) 및 산업용 엑스선 검사 시장 규모 및 동향 예측(출처: Grand View Research)>

○ (과급효과 전망)

- 본 과제를 통한 디지털 엑스선 소스의 세계 최초 상용화 이후 불과 4년 만에 이미 국내에서만 50억 원이 넘는 인프라 투자가 이루어졌고, 석/박사를 포함한 전문 인력의 고용 창출은 50명 이상임. 또한, 이전받은 기술을 본격적으로 사업화한 중견 기업이 2020년 기준 연 매출 100억 원을 달성할 것으로 예상되며(연평균 성장률 121.7%, 사업화~2019년 누적 매출액 164억 원), 현재 기술이전과 상용화를 준비 중인 4~6개 기업의 사업화와 시장 성장을 고려하면 본 디지털 엑스선 소스 기술은 향후 5년간 약 5,200억 원의 매출과 약 2,200명의 고용유발 효과를 창출할 것으로 전망됨 ('19년~'23년 예상 누적 기준, 아래그림 참조)



<디지털 엑스선 소스 기술의 시장 확산에 의한 매출 유발 예측>

○ (수출/수입대체 효과 전망)

- 현재 국내 의료기기업체의 엑스선 소스 핵심부품 수입 의존도는 90% 이상이며, 본 과제로 개발되어 상용화된 소형, 진공 밀봉형 디지털 엑스선 소스가 거의 수출로 매출이 발생하고 있음을 고려했을 때, 기대 수출액은 '23년 약 500억 원, 누적 기준 5,200억 원으로 예상됨. 또한 수입제품 대비 개발 부품의 가격을 고려했을 때, 수입대체효과는 누적 기준 7,900억원 규모로 예상됨

- 핵심부품인 엑스선 튜브의 내재화가 완료된 시점에서 ETRI 기술을 이전받은 기업에서 엑스선 튜브 제조 원가를 30% 이상 절감한 것으로 나타남. 향후 튜브 생산량이 늘어나면 그 효과가 더욱 클 것으로 전망됨

○ (국가/사회적 비용 절감 효과 전망)

- 디지털 엑스선 소스 기술은 기존 기술 대비 불필요한 방사선 피폭량을 혁신적으로 감소시켜 자연방사능 수준의 피폭으로 더 안전하게, 더 정확하게 암 검진 및 질병 진단을 가능하게 할 수 있어 암의 조기진단을 통한 국민 건강 증진과 사회적 의료비용 감소에 크게 이바지할 것으로 예상함

국가·사회적 파급효과

○ 해결해야 할 국가·사회문제

- 100세 건강시대를 맞이하기 위해서는 방사선 피폭에 의한 2차 암 발생 피해가 없는 안전한 조기 암 검진이 필수적으로 요구되며, 현재의 방사선 피폭을 혁신적으로 저감한 엑스선 영상 기반 검사 기술이 필요함
- 해외 의존도가 높은 국내 의료/ICT산업분야의 핵심부품원천기술의 국산화가 시급하며, 단순 대체를 뛰어넘어 혁신성장동력을 제공할 신기술이 필요함
- 특히, COVID-19 대유행을 계기로 의료안보체계와 디지털 헬스케어의 중요성이 더욱 부각되고 있음. 디지털 엑스선 소스 기반의 포터블, 모바일 엑스선 의료기기는 현장진료, 원격진료를 가능하게 하는 핵심기술임

○ 성과에서 개발된 기술적 솔루션

- 전계방출 나노전자원 기반 초고속, 디지털 엑스선 소스 개발을 통해 기존의 저속, 아날로그 엑스선 소스 대비 피폭량의 획기적 저감을 달성함 : 기존 대비 1,000배 이상의 디지털 고속 구동을 통한 저선량, 고선명 엑스선 영상 진단/검사 기술 가능
- 상용 수준의 기술 안정성 확보 및 엑스선 소스의 혁신적 소형화를 통한 새로운 형태의 엑스선 영상 시스템 기술 구현 가능함 : 디지털 엑스선 소스와 디지털 디텍터의 제어 통합을 통해 엑스선 영상 검진 장치의 전(全)디지털화

○ 국가·사회적 파급효과

- 개발된 디지털 엑스선 소스는 의료·바이오·ICT산업 등 범 분야로의 활용이 가능하여 응용 분야의 확대 및 신산업 창출이 가능함
- 더 안전하고, 정확한 조기 검진을 통해 국민의 건강관리, 더 나아가 건강하고 활기찬 삶을 구현할 수 있는 의료복지 및 인류에 실현이 가능함
- 국민이 체감하는 혁신성장동력 디지털 헬스케어에 대응하는 의료헬스 및 ICT 산업의 원천기술을 확보함
- 의료/ICT산업 고도화를 통한 4차산업혁명 대응 기반 강화 및 글로벌 기술 우위 확보와 더불어 신산업 창출에 따른 고용 증대 효과가 나타남
- 공항 출입국 시 휴대 수하물 보안 검색 장비의 국산화를 위한 국토교통부 사업(사업기간 5년(2021-25), 정부출연금 202.03억 원) 기획, 수주 예정으로 국민 안전을 보장할 수 있는 보안 검색 분야에 국가적 위상 상승 기대됨