

## 미래 방사선 응용 분야 기술과 산업 발전 방안 - 원자력 미래 포럼 연구용역을 통한 정책 제언 -



김용균

한양대학교 원자력공학과 교수

- 서울대학교 물리학 이학사
- 서울대학교 원자핵물리학 이학석사
- 서울대학교 핵물리학 이학박사

- 前 원자력진흥위원회 민간위원
- 前 국가과학기술위원회 전문위원

### 방사선 기술과 산업의 현황

방사선은 전자파 또는 입자선 중 직접 또는 간접으로 공기를 전리하는 능력을 가진 것으로서 대통령령으로 정하는 것이라 정의되어 있다. (원자력안전법 제2조 및 하부 법령에 의함.) 다만, 방사선 기술에 대한 법적 정의는 존재하지 않는다. 그러나 일반적으로 사용되는 정의는 방사선을 발생시키고 방사선의 특성(방사선과 물질의 상호작용, 전리작용 및 투과력 등)을 이용하여 의학·바이오·공업·환경 등의 다양한 분야에 적용하는 기술을 통칭한다. 즉, 산업, 연구, 의료 등의 분야에서 방사선(동위원소, 방사선발생장치) 등을 이용하여 제품, 공정개발에 활용하거나 기능을 창출하는 과학기술이다.

방사선 산업은 방사선기술이 직·간접적으로 활용되는 모든 산업 분야를 뜻한다. 방사선 기술 분류를 근거로 방사선 산업을 분류하는 방법은 매우

다양할 것이나, 하나의 방법은 방사선을 발생시키거나 계측하는 기술과 관련된 산업, 방사선을 이용한 조사 또는 분석기술을 근간으로 하는 산업, 방사선을 이용한 의료와 관계된 기술로 나누는 것이다. 이를 <표 1>에 나타내었다.

방사선과 물질과의 상호작용을 기반으로 하는 방사선 기술은 그 특성상 다양한 분야에 응용되어 왔으며, 생명공학기술(BT), 환경공학기술(ET), 정보통신기술(IT), 우주항공기술(ST) 등 타 분야와 융합을 통해 고부가가치를 창출해 왔다. 최근 들어 방사선기술의 이용 확대로 세계 방사선 시장 및 국내 방사선 산업은 지속적인 성장추세에 있으며, 세계 방사선 시장 규모는 연평균 5% 이상, 국내 방사선 이용 산업 매출액은 연평균 약 8.3% 증가하고 있다. 또한, 국내 방사선 기술 활용 연구 분야는 지속적으로 다양해지고 있어, 에너지 저장 소재 분야, 반도체 소재 및 반도체 소자 건전성 평가, 동물용 백신 개발, 3D 프린팅 기술 등 산업적 응용과

〈표 1〉 방사선 산업의 분류

| 대분류               | 소분류         | 내 용   |
|-------------------|-------------|---|
| 방사선<br>기반기술<br>산업 | 방사성동위원소 산업  | 원자로나 가속기를 이용하여 방사성동위원소를 생산하는 산업   |
|                   | 방사선 발생기기 산업 | 전자선, 엑스선 등 방사선을 인공적으로 발생시키는 기기를 만드는 산업<br>분류 방법에 따라 대형기기/소형기기, 입자발생/광자발생, 산업용기기/의료용기기로 분류할 수 있음 |
|                   | 방사선 계측기기 산업 | 방사선을 계측하기 위한 소재, 소자, 기기 또는 시스템을 만드는 산업  |
| 방사선<br>응용기술<br>산업 | 신소재 산업      | 방사선을 조사하여 무생물의 물성을 변화시켜 형질을 변화시키거나 새로운 소재를 만드는 산업   |
|                   | 생명공학 산업     | 방사선 조사로 발생하는 생물의 화학적 또는 유전적 변화를 응용하는 산업   |
|                   | 분석·검사 산업    | 방사선을 이용한 비파괴 검사나 성분 분석 등과 관련된 산업  |
|                   | 영상기기 기술 산업  | 방사선을 영상 신호화하여 활용하는 것과 관련된 산업<br>분류 기준에 따라, 1차원/2차원/3차원, 엑스선/감마선/중성자선, 산업용/의료용 등으로 분류할 수 있음      |
| 방사선<br>의료기술<br>산업 | 핵의학 산업      | 방사성동위원소를 이용하여 신체의 해부학적 또는 생리학적 상태를 진단·평가하거나 치료하는 것과 관련된 산업<br>표지화합물 관련 산업, 진단 및 치료 관련 신기술의 활용 등 |
|                   | 방사선 치료 산업   | 의료용 가속기나 동위원소에서 발생하는 방사선을 환자에 쬐어 치료하는 산업<br>엑스선 치료, 입자치료, 근접치료 등이 여기에 속함                        |
|                   | 영상 의학 산업    | 방사선을 이용한 진단이나 치료를 위해 영상을 합성하거나 분석하는 기술과 관련된 산업  |

관련된 연구가 진행되고 있다.

그러나, 라돈침대 문제 등 방사선과 관련된 사회적 이슈는 방사선 안전 분야 R&D를 강화할 필요성을 제기하고 있다. 또한, 문화재 보존, 미세먼지 저감, 악취 제거 등 환경문제 해결에도 방사선 기술은 매우 유용한 연구 결과를 내고 있다. 이와 같이 방사선 기술은 산업 성장을 견인할 잠재적인 동력을 확보할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 그러나 여전히 취약한 산업기반을 극복하고 미흡한 핵심부품 국산화 등을 추진할 수 있도록 집중지원이 필요하다. 다년간 축적한 우수 방사선기술의 사업화 지원 등 가시적 성과 창출을 통해 지속가능한 산업 생태계를 확보하여 국내 보유 강점기술 중심

으로 신 시장에 진출하는 정책적 지원이 필요하다.

### 방사선 산업 관련 국가 정책 현황

방사선 산업과 관련된 국가 정책은 제4차 과학기술기본계획(2018~2022), 제5차 원자력진흥종합계획(2017~2021), 제2차 방사선진흥계획(2017~2021) 등이 있다. 과학기술기본계획은 과학기술기본법에 따라 5년마다 수립하는 과학기술 분야 최상위계획으로 과학기술 발전에 관한 중장기 정책목표와 정책의 기본방향, 산업·인력·지역 등 과학기술혁신과 관련된 분야별 정책의 추진방향, 현 정부의 주요 정책기조 등이 포함된다. 원자

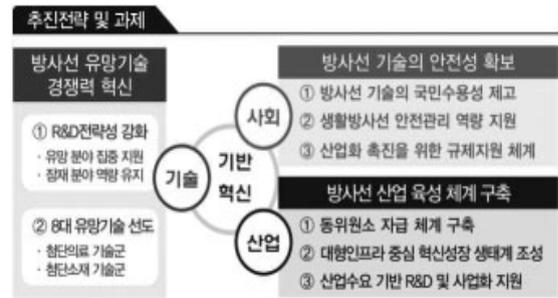
력진흥종합계획은 국가 원자력 이용정책을 일관되고 체계적으로 추진하기 위해 원자력진흥법 제9조에 의거하여 5년마다 범부처 차원에서 수립 및 시행하는 법정 국가계획으로서, 방사선 이용·개발의 부가가치 증대를 8대 정책방향의 하나로 제시하고 있다. 방사선 의료·바이오 신시장 창출, 방사선 인프라 고도화 및 기업지원 확대를 중점추진과제로 선정하여 방사선 시설·장비 구축 및 활용도 제고, R&D 및 기술사업화 지원 강화 등을 주된 내용으로 제시하고 있다.

방사선진흥계획은 원자력진흥종합계획 중 방사선 및 방사성동위원소 이용진흥 부분과 연계한 세부계획으로서 매 5년마다 수립되며, 미래성장이 예상되는 신산업을 발굴하고, 지속성장을 위해 핵심 원천기술 확보 및 기술 국산화에 주력하는 계획이다. 방사선 의료·바이오 산업이 세계적으로 경쟁력을 갖추도록 적극 지원하여 새로운 의약품 및 치료기술 개발을 선도하고, 방사선 연구기반을 구축하여 연구 성과 사업화 지원을 확대함으로써 방사선기술 신산업의 기본역량을 강화하는 전략을 포함하고 있다.

방사선 진흥을 위한 세부 정책으로 2019년 11월 제8차 원자력진흥위원회(이하 진흥위)에서 심의 확정된 미래 방사선 산업창출 전략이 시행 중이다. 방사선기술 특성을 바탕으로, 방사선기술 역할을 확대하여 원자력 신산업 창출을 추진하는 전략이다. 기술, 사회, 산업의 3대 방사선 활용 기반을 혁신하여 미래 방사선 산업을 창출하겠다는 계획으로서, 연구로, 가속기 등 인프라를 기반으로 한

동위원소 공급체계 구축 및 수출산업화, 대형방사선 연구 인프라 중심 권역별 방사선 융복합 클러스터 조성 등 연구개발이 산업으로 연계되는 생태계를 구축하는 것이다. 동 전략을 성공적으로 이행하는 데 향후 7년(2019~2025)간 약 8,000억 원의 예산이 소요될 것으로 예상되며, 과학기술정보통신부는 8대 유망분야 핵심기술 개발, 연구-산업 생태계 구축 등의 적정 투자 규모와 구체적인 사업계획을 확정하기 위한 예비타당성 조사를 추진 중이다 (그림 1).

### 방사선 핵심기술의 확보 현황



[그림 1] 미래 방사선 산업창출 전략 추진전략

지난 20여 년간 국내에서는 해외 의존도가 높은 방사선핵심기술을 연구 개발하여 국산화에 성공한 사례가 많다. 의료용 동위원소 생산기술, 방사선 육종기술 등 주요 방사선핵심기술의 개발을 통해 다양한 수입대체 효과를 발생하였다. 의료용 동위원소의 경우 Fission Mo-99 생산 국산기술로 세계 수요의 약 18%에 이르는 생산량(연간 약 900억 원)의 수입대체 효과, Cu-64와 Zr-89 국내 생산을 통한 연간 20억 이상의 수입대체 효과를 창출하였다.

기술이전을 통한 대표적인 매출창출의 사례로 컨테이너 검색기용 방사선 발생장치, 아토피 피부염 개선 등이 있다. 이중에너지 고주파 전자가속기 기술(컨테이너 검색기용 방사선 발생장치 관련 기술)을 2014년 9월 민간기업 RTX에 이전, 2015년 매출액 약 24억 원 발생한 바 있으며, 알레르기성 피부질환 예방 및 치료용 조성물 제조기술(방사선 이용 아토피 피부염 개선 관련 기술)을 2015년 아가방앤컴퍼니(주)에 이전, 연 70억 원 규모의 매출을 기록하고 있다.

한국원자력연구원의 고순도 정제기술 및 해모힘 제조기술을 바탕으로 대덕특구에 설립된 제1호 연구소기업 콜마 BNH(주)는 회사설립(2004년) 후 11년 만에 코스닥 상장에 성공(2015년)하여, 상장 시 시가총액이 1조 900억 원이었으며 2020년 말 기준으로는 1조 5,304억 원에 달하여 큰 성공을 기록하였다. 한국원자력연구원 4호 연구소 기업인 (주)아큐스캔은 컨테이너 검색기 핵심원천기술을 바탕으로 2016년 국가연구개발 우수성과 100선 선정되어, 인천/부산/평택항 컨테이너 검색기를 설치 완료(2020. 3.)한 바 있다. 한국원자력의학원 1호 연구소 기업인 (주)에이엠아이테크놀러지(2017. 5. 설립)는 방사성동위원소 생산용 사이클로트론 kirams-13 제작기술을 수출한 실적을 보유하고 있다.

### 미래 유망 기술의 선정

사업화 가능 기술을 선정하기 위하여 다음과 같

은 네 가지 관점에서의 가능성을 객관적으로 고려하였다.

- 1) 국내 수요가 많이 존재하나 수입 의존도가 큰 분야 관련 기술에 대한 투자 확대와 성과의 단기 사업화를 통한 수입 대체 효과 증진
- 2) 해외 시장에서 경쟁력을 가질 수 있는 기술과 산업의 수출 사업화를 통한 해외 시장 개척
- 3) 다년간 국가 예산을 투자하여 설치한 대형 방사선연구시설을 활용한 기술 개발과 성과의 사업화를 통하여 대형 인프라의 산업 발전에의 기여도 증진
- 4) 4차 산업혁명 기술을 활용하여 방사선기술을 고도화하고 상품을 개발함으로써 방사선 기술의 활용도 증진

위 사항과 전문가의 의견을 수렴하여 RI 의약품, 방사선 검사, 방사선 의료기기, 방사선 조사, 4차 산업혁명 연관 융합분야 등 5개 분야를 유망 분야로 분류하고 미래 유망 기술과 산업을 살펴보았다.

RI 의약품은 방사성동위원소가 의약품 구조 내에 포함된 진단 또는 치료용 방사성의약품과 방사성동위원소를 표지하여 신약의 안전성 및 유효성을 평가할 수 있는 기술을 포함한다. 방사성동위원소 기반의 활용기술을 신약개발 분야에 적용함으로써 신시장을 개척하고 고부가가치를 창출할 수 있다. 방사성동위원소 의약품 개발을 위한 원천기술 확보로 경제/산업적 효과와 궁극적으로 국민의 삶의 질 향상 및 건강사회 구현이 기대된다.

방사선 검사는 방사선을 이용하여 시험체의 다양한 특성을 검사하는 방법으로서, 소재를 파괴하

지 않는 비파괴 특성, 정밀 분석, 다양한 시료 응용성 등의 특징이 있으며, 엑스선을 활용한 인체 내의 질환 검사, 감마선을 활용한 소재나 구조물의 내부 결함 분석, 중성자를 활용한 소재 분석 등이 여기에 포함된다. 방사선 활용기술을 다양한 소재/분석/검사 산업과 접목함으로써 고부가가치 신산업을 창출하며, 국가 산업의 기본이 되는 소재, 부품 산업을 뒷받침하여 국가 경제 발전에 기여할 것을 기대한다.

방사선 의료기기는 방사선을 영상 신호화하여 질병을 진단하거나, 의료용 가속기 등에서 발생한 방사선을 활용하여 질병을 치료하는 장비를 개발, 혹은 최신의 방사선 치료기기에 정확성을 높일 수 있는 장비 개발 등을 포함한다. 해외에서 방사성동위원소 생산용으로 수출이 요구되는 35MeV 사이클로트론 개발을 통해 국내 정부출연연구소, 부품/통합기업 컨소시엄을 구축하며, 지속적인 국제교류 활성화를 통해 사이클로트론 기반 신성장 산업 생태계 조성이 기대된다. 또한, 동물 방사선치료에 최적화된 치료시스템 기술개발은 국내 최초로 시도되는 기술로, 방사선 신산업 창출 및 신시장 개척이 가능하다. 진단용 CT 관련 개발은 최신의 방사선 치료기기에 오차를 줄여 환자에게 정확한 선량을 조사할 수 있게 하며, 특히 광자계수형 영상 시스템 개발은 기존 시장을 장악하고 있는 글로벌 기업과 경쟁을 하지 않으면서 소재·부품 레벨에서부터 자체기술을 확보 가능하여, 부품기업-통합기업-병원 등 컨소시엄(공급자-수요자)을 구성함으로써 전략적인 제품개발 및 기술사업화를 통한

자생적인 산업생태계 조성이 가능하다.

방사선 조사는 고체상태에서도 쉽게 화학반응을 일으킬 수 있는 특징을 이용한 고분자 재료의 개질(modification) 분야와 식품멸균-검역관리 분야, 문화재 보존분야 및 항공우주, 국방, 전자, 의료바이오, 에너지관련 핵심 신소재 개발기술 분야 등을 포함한다. 방사선 조사는 문화재의 생물학적 손상을 야기하는 흰개미, 권연벌레 등 종류와 곰팡이들을 제어하는 기술로 이용이 가능하며, 화학물질을 이용한 농산물에 대한 검역을 대체할 친환경 검방역 기술로 활용도가 높다. 또한, 방사선 이용 첨단유무기 복합재료 제조와 에너지 저장/변환 소재 제조기술 및 대전력 반도체 등 고효율 전자소자용 소재 제조기술 개발 분야에도 활용이 가능하다. 탄소소재로 개념에 입각한 방사선 이용 미세면지 제거와 악취저감 기술개발에도 방사선 조사기술이 적극 활용될 가능성이 높다.

4차 산업혁명 연관 융합분야는 4차 산업혁명 핵심기술(3D 프린팅, 인공지능, 빅데이터, 드론 등)과 기술 융합을 통해 방사선 산업(기술) 혁신(고도화) 가능한 기술개발 분야를 의미한다. 방사선기술과 4차 산업혁명 핵심기술의 융합으로 미래 산업을 주도할 수 있는 첨단기술로 도약 가능할 것으로 기대된다. 현대 의학에서 진단 및 치료 등에 대체 불가능한 기술로써 의료 서비스 질 향상 등에 기여 가능하며, 방사선기술의 안전성 강화 등 방사선 이용 시 가장 큰 제약 사항인 접근성을 확대함으로써 고부가가치 산업으로 발전 및 성장을 주도하는 것이 가능하다.

### 방사선 미래 비전 달성을 위한 투자 전략

본 기획사업의 목표인 방사선 유망기술 사업화를 달성하기 위해서는 기존의 정부 지원 R&D 사업과는 차별화된 투자전략이 필요하다. 현재까지 원천기술 개발을 위하여 지원한 결과로 확보된 성과(기술 또는 인프라)를 상용제품 생산으로 연결하는 투자이므로, 시작품/시제품의 개발 및 시험 평가, 검증을 위한 R&D에 집중하여 투자하여야 한다. 따라서 TRL 7단계까지의 R&D를 지원하되 연구실 규모의 성능평가가 완료된 기술 분야를 중심으로 응용, 개발 단계의 과제를 지원하는 투자전략을 수립하였다.

개별 아이템 별로 기술사업화를 위한 소요 기간은 3-5년, 예산은 20억-90억원 규모로 필요할 것으로 추정하였다. 실제 환경에 기술을 적용하고 제품화하기 위한 R&D이므로 연구실 환경에서 원천기술을 개발하는 예산보다 큰 규모의 단위기술별 예산 투입이 필요하다. 따라서 기술사업화를 목표로 하는 정부 R&D 투자 규모가 향후 5년간 연 3,000억원 규모로 확대되어야 한다.

### 부처 간 협력체계 구축

방사선 산업 활성화를 위해 관련 부처별 역할을 고려한 다부처 협력을 통한 새로운 돌파구가 필요하다. 산업부는 현재 원자력발전 관련 기술만의 상용화 기술개발을 관장하고 있으나, 최근 원전 안

전 및 해체와 연계하여 방사선기술 산업화에 대한 관심을 증대하고 있다. 따라서 과기정통부, 산업부 등 부처별 역할 분담을 통한 방사선 기술의 사업화까지 연계 지원 체계를 수립하여야 할 것이다. 방사선기술 사업화 지원을 위한 다부처 협력 방안(안)은 다음과 같다.

- 과학기술정보통신부  
(역할) 기초·응용연구 지원, 출연(연) 및 대형연구 시설 활용 연구 지원  
(사업화 지원) 우수 원천연구 성과 실용화 연계 연구 지원(원천기술 보유 대학, 출연(연)과 주요 기업 중심 기술고도화 개발 연구)
- 산업통상자원부  
(역할) 원전안전, 해체 연계 방사선 기술의 상용화 개발, 신뢰성, 양산평가 등 지원  
(사업화 지원) 과기정통부 실용화 연계 연구 우수성과 상용화 기술개발 지원(기업 중심 상용화 기술개발 연구, 과기정통부 수행 연구의 주관기관 참여)
- 중소벤처기업부  
(역할) 방사선 강소기업 육성 지원 등 직접적인 기업 지원 정책  
(사업화 지원) 과기정통부, 산업부 상용화 기술 개발 성과 우수 기업 선정 지원(기업 정책자금 지원 등) **KMIF**