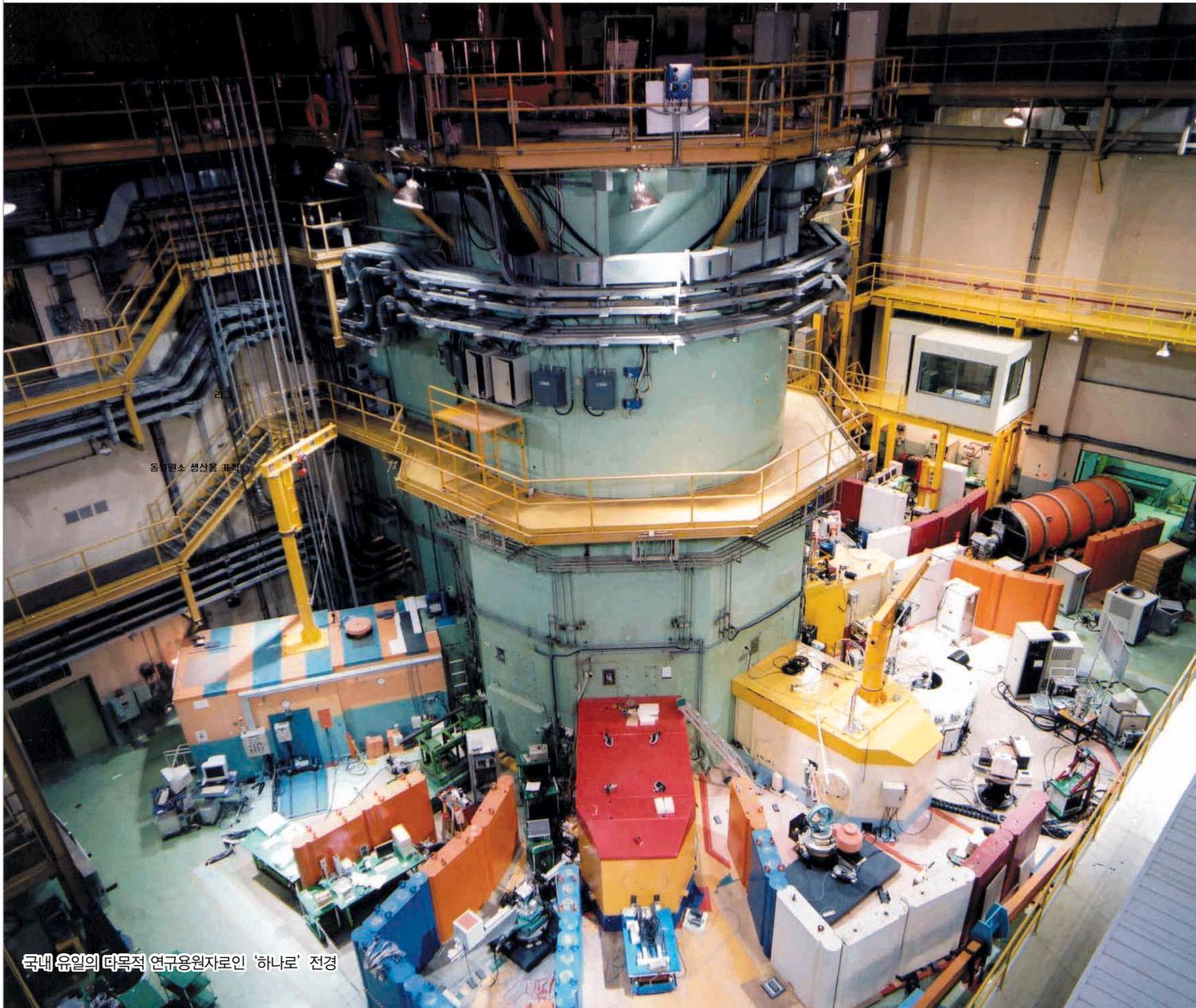


원자로에서 치료용 방사성동위원소 생산한다

글 | 이준식 _ 한국원자력연구원 선임연구원 jlee15@kaeri.re.kr



동위원소 생산용 플랜트

국내 유일의 특목적 연구용원자로인 '하나로' 전경

자연계에 존재하는 원소든 인공으로 만들어진 원소든 그 원소의 원자내에 같은 수의 양성자를 가진 원소는 같은 원소번호를 가지며 그 화학적 성질은 같다. 하지만 같은 원소번호를 가진 원소의 원자내에 다른 수의 중성자를 가진 것들이 있는 데 이러한 원소들을 동위원소라고 한다. 그 중에서도 특히 원자가 안정하지 못하여 방사선을 내는 원소를 방사성동위원소라고 한다. 이러한 방사성동위원소 중에는 라돈과 같이 자연계에 존재하는 것이 있는 반면에, 원자로나 사이클로트론을 이용하여 인공적으로 만든 방사성동위원소도 있다. 특히 인공적으로 만들어진 방사성동위원소는 우리의 실생활과 밀접한 의료 및 산업에 다양하게 이용되고 있다.

1968년 진단용 방사성동위원소 국내 처음 상용화

방사성동위원소는 퀴리 부인이 1902년 라듐을 발견하면서부터 알려지기 시작했다. 이후 방사성동위원소에 대한 연구가 활발히 진



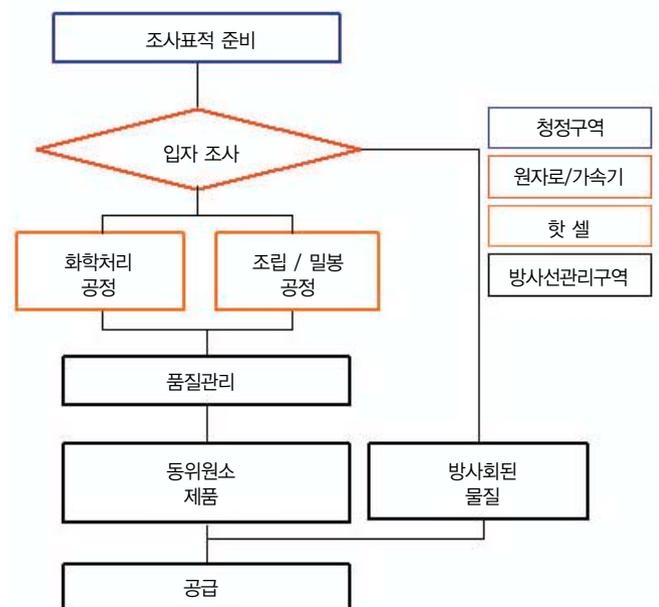
동위원소 생산시설내 핫셀작업 (위: 콘크리트핫셀, 아래: 납핫셀)

행되어 원자력 기술이 발전하게 되었다. 이와 더불어 방사성동위원소의 발견은 그 발견 초기부터 방사선을 이용한 치료 분야에 접목이 시도되는 등 의약적 관심을 받았다. 하지만 원자력 기술의 발전은 1953년 미국 아이젠하워 대통령의 '원자력의 평화적 이용계획' 발표이전까지 주로 군사적 목적으로 이용되었다.

이후 원자력의 평화적 이용분야에서 국제원자력기구(IAEA)는 핵분열생성물을 다루지 않으면서도 연구용원자로에서 방사성동위원소를 생산할 수 있는 (n, γ), (n, p)핵반응에 의한 생산기술 개발을 세계적으로 지원하여 왔으며, 한국도 1962년 국내 최초 연구용 원자로인 TRIGA Mark-II의 가동과 함께 방사성동위원소와 관련된 연구가 시작되었다.

현재 국내에서 소모되는 방사성동위원소의 양은 2005년 기준으로 약 65만7천 퀴리 정도이며, 사용량이 연평균 10% 이상 성장하고 있다. 이러한 방사성동위원소는 병원에서의 진단 및 치료, 산업 현장에서의 비파괴 검사, 식품조사나 멸균을 위한 방사선 조사, 산업공정용 게이지 등의 목적으로 주로 이용되고 있다. 또한, 원료, 에너지 및 인건비의 절감, 제품의 품질향상 및 고부가가치화, 산업 안전 등에 크게 기여하고 있다.

국내 방사성동위원소 생산기술 개발은 1962년 열 출력 100kW인 연구용 원자로 TRIGA Mark II 가동과 함께 시작되어 현재까지 40



일반적인 방사성동위원소 생산공정



'하나로'에서 방사성동위원소 생산을 위한 조사표적과 리그(조사표적 4개를 넣은 후 수직 조사공에 장전)



요오드-131 캡슐 및 용액

한국원자력연구원에서 공급 혹은 개발중인 방사성동위원소

구분	공급중	개발중 또는 예정
개봉 선원	¹⁹⁸ Au, ^{99m} Tc, ⁹⁹ Mo, ¹³¹ I, ³² P,	¹⁵³ Sm, ⁸⁸ Sr, ¹⁸⁶ Re
	³² P, ¹⁶⁶ Ho, ⁵¹ Cr, ¹²⁵ I, ³⁵ S	¹⁸⁸ Re, ¹⁷⁷ Lu, ⁹⁰ Y
밀봉 선원	¹⁹² Ir, ⁶⁰ Co, ¹⁶⁸ Yb	⁷⁵ Se, ¹⁷⁰ Tm, ¹²⁵ I

여 년간 지속되어 왔다. 1968년 당시 보건사회부로부터 방사성의약품 제조 공급허가를 받아 갑상선 질환 진단용 ¹³¹I와 간 질환 진단용 ¹⁹⁸Au 등을 병원에 공급한 것이 국내에서의 최초 상용공급이다. 이후 1972년 MW급 연구용 원자로 TRIGA Mark III가 가동되면서 실험실 수준 이상의 방사성동위원소가 개발되기 시작하였지만, 해외 선진국의 고성능 연구용 원자로를 이용한 생산능력에는 비교할 수준이 아니었다. 방사성동위원소 생산기술개발이 본격화되고 일부에 한해서 대량생산이 시작된 것은 1995년 열출력 30MW의 중형 연구용 원자로인 '하나로' 가동과 1996년 동위원소 생산시설 완공부터라고 할 수 있다.

'하나로'를 이용한 방사성동위원소 생산

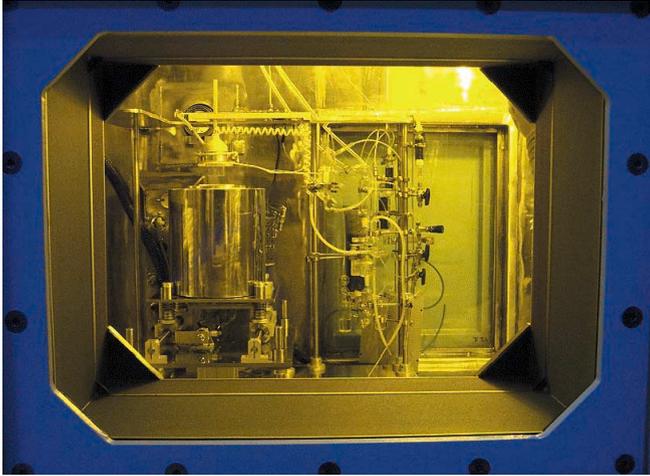
방사성동위원소 생산은 일반적으로 자연에 존재하는 표적물질에 입자를 조사시켜 핵반응을 유발시키는 것으로부터 출발하며 주로 원자로와 가속기에 의해 이루어진다. 이렇게 생성된 방사성동위원소는 물리적 혹은 화학적 처리를 통해 제품화되는데 방사선을 차폐하는 납이나 강화콘크리트로 된 핫셀에서 작업이 이루어진다.

'하나로'는 중성자속이 최고 5×10^{14} n/cm²/sec에 이르는 열출력

30MW의 고성능 연구용원자로로서 중성자를 발생시키는 장치라고 할 수 있다. 32개의 수직 조사공과 7개의 수평조사공을 가지고 있다. 방사성동위원소 생산을 위한 표적조사는 수직조사공에서 이루어지는데, 핵연료와 가장 가까이 있는 CT(Central Thimble) 조사공, IR(Inner region), OR(Outer Region), IP(Irradiation pipe) 조사공과 HTS(Hydraulic transfer system) 조사공이 있다. 이러한 조사공에서 표적을 조사하기 위해서는 표적물질을 조사표적 캡슐에 넣은 후 밀봉하고 다시 그 표적을 조사공 장전용 리그에 넣어야 한다.

한국원자력연구원의 동위원소생산시설에는 4기의 콘크리트 핫셀과 21기의 납핫셀로 이루어져 있으며, 각 핫셀에는 한 쌍의 원격 조작기가 설치되어 있다. 콘크리트 핫셀은 이리듐-192 비파괴선원과 같은 밀봉방사선원을 제조에 이용되는데, 콘크리트 두께가 약 1m로 10만 퀴리의 이리듐-192 선원을 한번에 처리할 수 있는 용량이다. 납핫셀은 벽이 10~15cm 두께의 납으로 되어 있으며, 저선량 방사선원 및 요오드-131이나 테크네튬-99m 발생기와 같은 의료용 방사성동위원소 생산에 이용된다.

현재 한국원자력연구원에서는 국내에 공급하고 있는 개봉방사선원은 ¹³¹I, ¹²⁵I, ⁸⁸Sr, ³²P, ⁵¹Cr 등이 있고, 밀봉방사선원으로 ¹⁹²Ir, ⁶⁰Co, ¹⁶⁸Yb이 있다. 이외에도 장비 교정용 선원 등을 개발하여 공급하고 있다. 특히 비파괴검사용 ¹⁹²Ir 선원, ¹⁶⁸Yb 선원, ¹³¹I 용액 등의 제품과 관련 생산기술은 해외로 수출까지 되고 있다. 따라서 본 글에서는 국내에서 생산되는 대표적 방사성동위원소인 ¹³¹I와 ¹⁹²Ir의 생산 공정에 대하여 보다 자세히 살펴보기로 하겠다.



요오드-131 건식증류장치

갑상선 질환 치료제 요오드-131(¹³¹I)

요오드-131(반감기 8일)은 원자로에서 생산되는 대표적인 방사성동위원소의 하나로서, 갑상선 대사에 관련된 물질로 병원에서 갑상선 진단 및 치료에 사용되고 있으며 용액과 캡슐 형태로 공급된다.

요오드-131 생산에 이용되는 표적물질은 산화텔루륨인데, 이 물질을 원자로에 조사하면 텔루륨-130(¹³⁰Te)이 중성자를 받아들여 텔루륨-131로 바뀌고 다시 베타선을 방출하면서 요오드-131로 바뀌게 된다. 이 방사성동위원소는 1962년 TRIGA Mark II 원자로 가동과 더불어 그 생산기술이 개발되기 시작하였다. 초기에는 텔루륨 표적에서 요오드-131을 추출하는 데 황산을 이용한 습식법을 이용하였지만, 오염과 피폭, 액체폐기물 발생 등의 이유로 1993년부터는 건식증류법을 개발하여 사용하고 있다. 개발된 건식증류법은 원자로에서 조사된 표적을 석영유리관에 든 전기로에서 760℃로 증류하여 0.1M 수산화나트륨 용액에 요오드-131을 포집하는 공정으로 되어 있다. 이 건식증류법의 개발을 통해 1회 30Ci 이상 생산할 수 있게 되었으며, 제조시간도 8시간 이내로 주당 최대 3회까지 생산할 수 있게 되었다.

이렇게 생산된 ¹³¹I 원액은 병원에서 진단과 치료에 이용될 수 있는 수 mCi에서 200mCi 용량의 소포장용액 혹은 캡슐로 제조된다. 이를 위하여 용액을 정밀하게 분배할 수 있는 장치를 개발하여 이용하고 있다. 이 장치는 핫셀 외부에서 간단히 원격조작할 수 있고, 고방사능 용액을 수십 μ L 단위로 수 mm 크기의 약 캡슐 안에 정확히 분주할 수 있다. 이와 같이 한국원자력연구원은 요오드-131 생산



요오드-131 용액분배 및 캡슐제조 장치

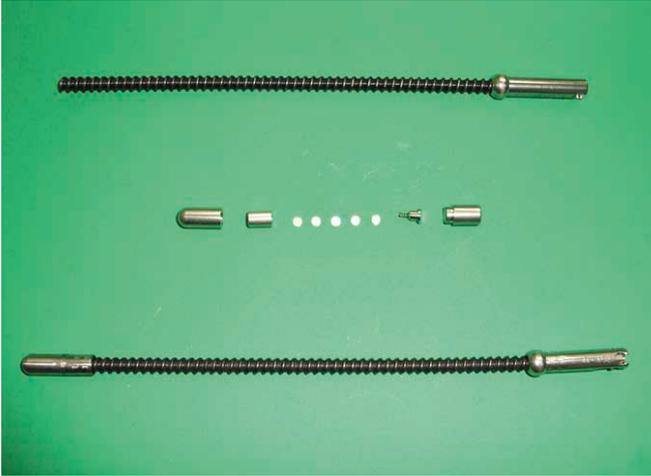
기술에 대해 40년 이상의 노하우를 축적함으로써 해외에서 우리 기술의 우수성을 인정받아 그 생산기술과 장치를 수출하는 수준에 까지 이르게 되었다.

비파괴검사선원 이리듐-192(¹⁹²Ir)

한국원자력연구원은 '원자력증장기연구개발사업'을 통해 비파괴 검사용 ¹⁹²Ir 어셈블리의 제조법을 개발하여 밀봉성능 시험, 안전성 입증을 거쳐 2001년 과기부로부터 특수형방사성물질 인허가를 획득하여 대량생산하고 있다. 선원 및 관련기술에 대해 국내·외 특허 획득, 국내 최초 국제원자력기구 (IAEA)의 방사선원 목록 등재, 2004년 '원자력안전마크' 획득 등 우수한 고유기술로 인정받고 있다. 또한 방사성동위원소 및 관련제품의 설계/개발, 경영 및 고객서비스 등에 대한 ISO 인증을 받았다. 1999년 중소기업(호진산업기연)에 기술을 이전하여 상업화하였는데, 2006년도에는 136,000 Ci의 방사선원을 제조하여 국내외로 공급하였다. 공급량 중 수출비중이 약 40%에 달하여 정부출연연구기관과 중소기업 사이의 모범적인 협력사례로 평가받고 있다.

이리듐-192 방사선원 생산에 사용되는 조사표적은 원판형 이리듐 디스크(직경 2.5mm~3.0mm×두께 0.25mm)다. 이리듐은 중성자 흡수 단면적이 커 두께가 두꺼워질수록 내부가 방사화되지 못하여 무게 대비 방사능량이 낮아진다. 따라서 원통형 내부 조사캡슐 외부 표면을 따라 배열되도록 함으로써 각 디스크마다 최대로 중성자를 흡수할 수 있도록 최적화하였다.

이리듐-192 방사선원 생산공정은 중성자 조사된 이리듐 디스크

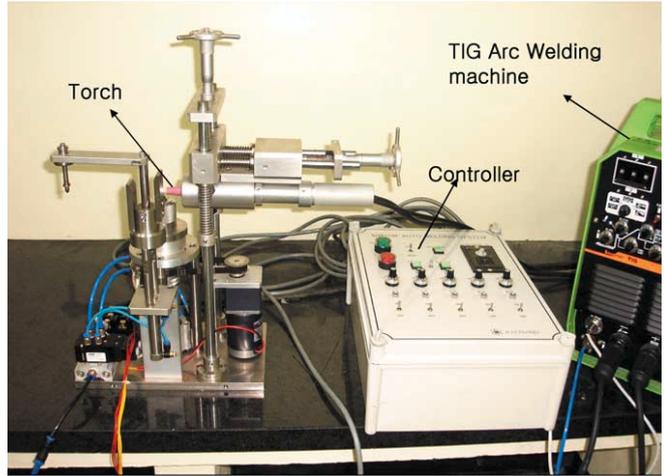


이리듐-192 비파괴검사선원 어셈블리

를 방사능에 따라 분류한 후 스테인리스 캡슐에 5~10개의 이리듐 디스크를 원하는 선량에 맞게 장입하여 용접한 후 다시 외부 스테인리스 캡슐에 넣어 밀봉하여 최종 캡슐을 만든다. 그리고 이 캡슐을 '피그테일'이라는 유연성이 있는 나선형 케이블에 압착하여 연결한다. 각각의 선원 어셈블리는 고유번호를 가지고 있어서 사용 후 폐기되더라도 관리할 수 있다. 이러한 작업은 반복용접 및 압착과 같은 단순작업이지만, 취급하는 부품이 너무 작고 높은 방사능을 띠고 있다. 따라서 납유리 차폐창 밖에서 원격 조작기를 통해 원격 작업을 하는 고도의 노하우가 필요하다. 더구나 제품의 품질에 이상이 있을 경우, 방사선 피폭과 같은 사고로 이어질 수 있기 때문에 용접품질이 우수해야 하며 높은 작업정밀도와 정확도가 필수적이다. 이 비파괴검사선원은 지난 7년 동안 1만 개 정도가 제작 공급되었다. 하지만 품질이상이나 결함이 보고된 적은 없으며, 이미 일부 장치를 해외에 수출하여 반제품을 공급하는 체계를 갖추는 성과를 올리고 있다.

난치병 치료용 방사성동위원소 개발 본격화

방사성동위원소의 이용분야가 지속적으로 확대되고 있지만, 특히 주목할 점은 최근 들어 의료적 이용분야에서 베타(¹⁶⁶Ho, ¹⁸⁸Re, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Y 등) 혹은 알파 방출선원(²²⁵Ac, ²¹³Bi, ²¹¹At 등)을 이용한 암과 같은 난치성 질환 치료제 개발이 본격화되고 있다는 점이다. 이러한 시도는 현재 미국과 유럽연합공동체의 일부국가를 중심으로 진행되고 있는데, 일부에서는 의약품 허가를 받아 공급되는 품목도 있다. 이에 반해 국내 방사성동위원소 생산기술은 현재까지 인프라



이리듐-192 비파괴검사선원 제조장치

구축 및 다수요 품목의 생산기술 개발에 집중되어 왔다. 그 이유는 선진국에 비해 최근에서야 '하나로'와 같은 고성능 연구용원자료가 가동되기 시작하였고, 국내 다수요 방사성동위원소의 수요를 먼저 충족시켜야 했기 때문이다.

한국원자력연구원에서는 이러한 치료용 방사성동위원소의 생산 기술을 개발하기 위한 연구를 올해초부터 시작하였다. 이 치료용 방사성동위원소 생산에 필요한 핵심기술은 방사성핵종의 순도를 높이기 위한 중성자 조사기술과 금속이온 분리기술이며, 방사성핵종에 대한 품질검사 기술도 필요하다. 이 연구가 성공적으로 수행되면 국내에서도 암치료제에 이용되는 치료용 방사성동위원소를 국산화할 수 있을 것으로 전망된다. 이와 함께 체내로 전달하는 약물들도 동시에 개발하고 있기 때문에 수년내에 가시적인 성과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 



글쓴이는 미국 시라큐스 대학교 화학공학과를 졸업했다.