

## 의료용 동위원소 생산전용로의 예비 경제성 분석

### Preliminary economic feasibility study of MIP(Medical Isotopes Producer)

문기환, 오수열  
한국원자력연구소  
대전광역시 유성구 덕진동 150

#### 요 약

의료용 동위원소인 Mo-99와 Sr-89를 생산하기 위해 수용액 핵연료를 이용하는 원자로(MIP, Medical Isotopes Producer)에 대한 경제성분석을 수행하였다. 이를 위해 시장지배력에 대한 낙관적 관점과 비관적 관점을 반영하여 두개의 시나리오를 설정하여 내부수익률과 투자회수기간에 대한 분석을 수행하였다. 그리고 자본비와 동위원소의 시장가격에 대한 민감도분석도 수행하였다. 분석결과, 내부수익률은 14.9% ~ 24.3%에 이를 것으로 분석되었고, 투자액은 4.8년 ~ 7.8년 정도면 회수될 수 있을 것으로 분석되어 의료용 동위원소 생산전용로인 MIP가 경제성 측면에서 투자 가치가 있음을 확인할 수 있었다. 마지막으로 본 연구에서는 의료용 동위원소로 Mo-99와 Sr-89의 생산에만 초점을 맞추었으나, 이외에도 생산이 가능한 동위원소(Sr-90, I-131, Xe-133, Cs-137 등)를 고려한 비용-편익분석이 이루어질 필요가 있다.

#### Abstract

Preliminary economic feasibility study of MIP(Medical Isotopes Producer), which is used liquid nuclear fuel to produce medical isotopes of Mo-99 and Sr-89, was performed. To do this, this study was estimated the IRR(Internal Rate of Return) and PBP(Pay-back Period) about optimistic and pessimistic cases for market penetration of asia and U.S.A. isotope markets. And sensitivity analysis is also performed about capital cost and price of Mo-99 and Sr-89. According to the results, IRR was between 14.9% and 24.3%, and PBP was between 4.8 years and 7.8 years. These suggest that MIP has economic merits. MIP can produce other medical isotopes such as Sr-90, I-131, Xe-133, Cs-137. So, it is necessary to do cost-benefit analysis considering production of these other isotopes.

## 1. 의료용 동위원소 시장

방사선기술은(Radiation Technology, RT)은 생명공학기술, 나노기술, 정보통신기술, 환경관리기술, 우주기술, 국방기술, 첨단의료기술 등 다양한 국가 과학기술을 발전시키는 요소기술로 그 중요성이 인식되고 있다. RT의 시장 규모는 표 1.1에서 알 수 있는 바와 같이 미국의 경우 142조 8천억원으로 미국 GDP의 1.4%를, 일본의 경우는 62조 4천억원으로 일본 GDP의 1.2%를 차지하고 있다. 우리나라의 경우는 1,863억원으로 GDP의 0.03%밖에 차지하고 있지 못할 뿐만 아니라 RI를 포함한 대부분의 방사선 치료기기, 방사선 계측기기, 방사선 발생장치 등을 거의 수입에 의존하고 있기 때문에 시장규모가 커짐에 따른 외화유출은 더욱 심각해질 전망이다. 이용 측면에서 볼 때 미국과 일본의 경우는 산업용, 의료용, 농업용의 순으로 시장규모가 크음을 알 수 있으나, 우리나라의 경우는 분야별 자료가 없는 실정이다.

표 1.1 주요국의 RT 이용 경제 규모 비교

	미국('97)	일본('97)	한국('01)
RT 시장규모	142조 8천억원	62조 4천억원	1863억원
GDP대비 RT 점유율	1.4%	1.2%	0.03%
RT분야 매출규모	산업분야: 46% 의료분야: 41% 농업분야: 13%	산업분야: 75% 의료분야: 23% 농업분야: 2%	분야별 자료 없음

한편 1920년대 방사성 추적자를 생체에 이용함으로써 세계적으로 동위원소가 의료용으로 처음 이용되었으며, 우리나라의 경우는 1959년 I-131을 갑상선 기능 항진증 치료에 이용한 것이 그 효시라 할 수 있다. 이와 같은 의료용 동위원소 시장은 생활수준의 향상에 따라서 지속적으로 성장하여 왔으며, 대체기술과 경쟁관계에 있는 의료용 동위원소를 제외하고는 앞으로도 지속적인 성장이 예상되는데 이는 표 1.2에 나타나 있다.

표 1.2 의료용 동위원소 이용 현황과 전망

분류	세분류	주요 동위원소	세계시장규모 (US\$, '96년)	전망	비고
Nuclear Imaging	Gamma Imaging	Tc-99m(Mo-99), Tl-201, I-123, Xe-133, In-111	10억	연5% 성장	시장 촉진성 기술이 계속적으로 개발
	PET	F-18, C-11, N-13, O-15 등	7500만	연15% 성장	
	골밀도검사	I-124, Gd-153, Am-241		하향	대체기술과 경쟁
방사성 면역조사		I-125, Co-57, H-3, Fe-59	8500만	하향	대체기술과 경쟁
치료용 방사성 의약품		I-131, Re-188, Sr-89, P-32, Ho-166	4800만	급속한 성장	2020년까지 60억불로 추산, 제약분야의 인프라 필요
치료용 밀봉선원	원격 Co 치료	Co-60	3500만	하향	대체기술과 경쟁
	Brachytherapy	Ir-192, Cs-137, I-125	3500만	연10% 성장	
	방사선 수혈용 혈액조사	Co-60, Cs-137	2500만	안정	

주 1) “방사성동위원소 국내 생산방안에 관한 연구”, p.19, 과학기술부, 1999.

2) Sr-89 제재 의약품인 Metastron 판매액 3,600만\$(1996년)

## 2. MIP 생산 동위원소 시장

### 가. MIP 생산 동위원소

인간의 삶의 질을 향상시키기 위해서는 인간의 질병을 효과적으로 치료할 수 있는 다양한 의약품과 치료제의 개발이 필수적이다. 이와 같은 현상은 의료용 동위원소 분야도 예외는 아니며, 이에 따라 영상 진단용 분야와 치료용 방사성 의약품 분야에 대한 수요가 꾸준히 증가할 것으로 예상된다.

이 중에서도 영상 진단용 Tc-99m의 모핵종인 Mo-99 수요는 현재 세계 의료용 동위원소 시장의 80% 이상을 점유하고 있고, 선행 연구(“방사성 동위원소 국내 생산방안에 관한 연구”, 과학기술부, 1999)에서도 이들 Mo-99/Tc-99m 핵종을 전략적인 국내 생산 가능 품목으로 제시하였다. 의료용 방사성 의약품은 진단용에 비해 시장 규모가 작으나 부가가치가 매우 높은 상품이기에 앞으로의 성장가능성은 매우 높다. 특히 최근에 개발된 암의 통증 완화제인 Sr-89도 주목받고 있는 의료용 동위원소이다.

한편 방사성동위원소 생산 방법으로는 원자로를 이용하는 방법과 가속기를 이용하는 방법이 있다. 현재 일반적으로 PET용의 가벼운 핵종의 생산에는 가속기(주로 양성자 가속기)가 이용되고 있고, 그 이외의 핵종 생산에는 원자로가 이용되고 있다. 그리고 원자로를 이용하는 방법은 특정 핵종을 표적으로 제작하여 중성자 핵반응을 일으킴으로써 목표 핵종을 생산하는 방법과 U-235의 핵분열을 일으켜 그 핵분열생성물 중에서 필요한 핵종을 분리 추출하는 방법이 있다. 현재 Mo-99 생산에는 후자의 방법 즉 fission Mo 방법이 이용되고 있고, 그 이외의 핵종 생산에는 전자의 방법을 주로 이용하고 있다. 이 두 가지 방법의 공통점은 따로 표적을 제작한 후 이를 원자로에서 조사한다는 것이다.

본 연구에서는 수용액 핵연료를 이용하는 원자로(MIP, Medical Isotopes Producer)에서 동위원소를 생산하는 방법을 고려하고 있다. 이 방법은 표적을 따로 제작하여 조사하지 않고 핵연료 자체가 표적을 겸하며, 그 안에서 핵분열생성물로서 생긴 Mo-99와 Sr-89 등의 방사성동위원소를 분리, 추출, 정제하는 방법으로서 대량 생산이 가능하다.

#### 나. MIP 생산 동위원소 시장 전망

전 세계적으로 볼 때, Mo-99의 공급은 수요를 초과하고 있지만, 캐나다를 제외한 대부분의 국가는 연구로에서 의료용 동위원소를 생산하고 있는 실정이다. 그리고 Sr-89의 경우는 러시아가 주요 생산국이다. 미국은 캐나다와의 지역적 근접성을 이용하여 수입에 의존하고 있고, 일본은 의료용 동위원소를 대량으로 생산할 수 있는 연구로가 없을 뿐만 아니라 기존의 연구로 개념으로는 경제성이 없고 고농축 우라늄 표적 사용에 따른 핵물질 확산 우려 등의 이유로 수입에 의존하고 있는 실정이다. OECD/NEA와 IAEA의 공동연구 결과에 따르면, 방사성동위원소 가격상승, 공급 불안정, 장거리 운반에 따른 손실과 안전성 등을 이유로 자국내 생산 및 공급, 권역별 back-up 체제 구축을 권고하고 있다. 하지만 아직까지 아시아 권역을 대상으로 의료용 동위원소를 공급할 수 있는 대량시설이 없는 실정이며, 특히 일본은 이들 생산시설의 필요성을 인식하고 있다. 더욱이 우리나라의 하나로는 2010년에 이용자가 포화상태에 이를 전망이고, 중성자를 안정적으로 공급해야 하는 제약요인으로 인해 동위원소 생산에는 한계가 있다. 이와 같은 국내외의 상황에 따라 동위원소 생산 전용로의 건설을 통해 국내 의료용 동위원소 수요를 충족시키는 물론 아시아 의료용 동위원소 시장을 선점하여 시설의 경제적 가치를 극대화할 필요가 있다.

본 연구에서 고려하고 있는 의료용 동위원소는 Mo-99(원료 및 Tc-99m generator)와 Sr-89이다. 본 연구의 경제성분석을 위해 사용된 시장 수요 증가율은 표 2.1과 같으며, 이를 위한 주요 가정은 다음과 같다.

- MIP(의료용 동위원소 생산 전용로)는 2009년에 가동되는 것으로 가정하였으며, 30년의 운전기간을 분석대상으로 하였음.

- 동위원소의 시장 수요 증가율의 경우, 2009년 이전까지는 최근의 수요 증가율을 반영하였음. 분석대상 기간인 30년 운전기간을 세 개의 기간('09-'20, '21-'30, '31-'39)으로 나누어, 경쟁 시설과 대체 시장이 출현할 것을 예상하여 수요 증가율이 둔화되는 것으로 가정하였음.
- 생산된 동위원소는 아시아권과 미국에 판매되는 것을 가정하였음. 단, 미국에는 Mo-99는 판매되지 않고 Sr-89만 판매되는 것으로 가정하였는데 이는 캐나다가 Mo-99의 대량공급 국가이기 때문임.
- Mo-99의 경우 원료와 Tc-99m 두 가지 형태 모두 같은 수요 증가율을 가정하였음.

표 2.1 의료용 동위원소의 지역별 수요 증가율 전망

(단위: %/yr)

동위원소	기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국
Mo-99	'03-'08	10.0	5.0	10.0	10.0	-
	'09-'20	6.0	3.0	7.0	6.0	-
	'21-'30	3.0	2.0	5.0	3.0	-
	'31-'39	2.0	1.0	3.0	2.0	-
Sr-89	'03-'08	12.0	7.0	15.0	12.0	7.0
	'09-'20	8.0	4.0	9.0	8.0	4.0
	'21-'30	5.0	2.0	7.0	5.0	2.0
	'31-'39	3.0	1.0	4.0	3.0	1.0

다. MIP 생산 동위원소 시장 점유율 및 가격 전망

본 연구는 MIP가 2009년부터 가동되는 것으로 가정하였는데, 가동 이후에 생산되는 의료용 동위원소가 아시아 및 미국 시장에서 어느 정도의 시장 점유율을 차지하느냐에 따라 MIP의 경제성은 큰 영향을 받게 된다. 그리하여 여기에서는 생산되는 의료용 동위원소의 시장 진입 가능성 형태에 따라 두 개의 시나리오를 설정하였는데, 이는 표 2.2와 같다.

- '경쟁 완화 시나리오'로서, 이는 아시아의 Mo-99와 Sr-89 시장은 물론 미국의 Sr-89 시장에서 초기부터 시장진입에 성공함으로써 낙관적인 공급목표를 달성하는 경우임.
- '경쟁 심화 시나리오'로서, 이는 아시아의 Mo-99와 Sr-89 시장 및 미국의 Sr-89 시장에서 초기부터 시장진입에 어려움을 겪어 비관적인 공급목표로 공급되는 경우임.
- 두 가지 시나리오 모두에 대해, '16-'20년 기간의 시장 점유율이 최고치를 이루고 점차 점유율이 감소하는 것으로 가정하였음. 이는 시장 수요 증가율에서 고려한 것과 같이 시장 점유율도 경쟁시설의 출현과 대체 시장의 출현 가능성에 영향을 받기 때문임.

표 2.2 시나리오별 시장점유율 전망

(단위: %)

기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국
2009~2010	100 (100)	25 (10)	25 (10)	25 (10)	6 (4)
2011~2015	100 (100)	30 (15)	30 (15)	30 (15)	9 (6)
2016~2020	100 (100)	35 (20)	35 (20)	35 (20)	12 (8)
2021~2025	100 (100)	30 (15)	30 (15)	23 (15)	9 (6)
2026~2039	100 (100)	25 (10)	25 (10)	25 (10)	6 (4)

주) 괄호 밖은 ‘경쟁완화 시나리오’, 괄호 안은 ‘경쟁심화 시나리오’의 시장 점유율임

한편 지역별로 의료용 동위원소 시장에서의 판매형태에 대해서는 다음과 같은 가정을 하였다.

- 국내의 경우, Mo-99는 전량 Tc-99m 형태로 판매됨.
- 일본의 경우, Mo-99의 원료 형태와 Tc-99m의 형태의 시장 진입은 90% : 10%로 가정함.
- 중국의 경우, Mo-99의 원료 형태와 Tc-99m의 형태의 시장 진입은 30% : 70%로 가정함.
- 기타 아시아 국가의 경우, Mo-99의 원료 형태와 Tc-99m의 형태의 시장 진입은 30% : 70%로 가정함.
- 미국의 경우, Mo-99는 판매하지 않고 Sr-89만 판매하는 것으로 가정함.

한편 MIP 생산 동위원소 시장 가격은 표 2.3에서 보는 바와 같이 감소하는 것으로 가정하였다.<sup>1)</sup> 이는 수요가 지속적으로 증가할지라도 공급 측면에서는 신규 설비의 출현과 대체 상품의 개발 등에 따라 경쟁이 이루어지고 이는 가격의 하락요인으로 작용할 수 있기 때문이다. 그리하여 본 연구에서는 Mo-99의 원료와 Tc-99m generator 그리고 Sr-89 모두, 기준가격에 비해 2009년~2020년 기간에는 연평균 5% 가격이 하락하고, 2021~2030년과 2031~2039년에는 각각 연평균 10%와 20% 하락하는 것으로 가정하였다. 또한 본 연구에서 사용한 Mo-99의 원료와 Tc-99m generator의 기준가격은 200\$/Ci(6-day)와 800\$/Ci(6-day)이며, Sr-89는 200\$/mCi(의약품 등급 기준)이다.

1) 표 2.3은 기준안에 대한 가격 전망이며, 민감도분석의 가격전망은 표 4.1과 같다.

표 2.3 동위원소 시장 가격 연평균 하락율 전망(기준안)

	Mo-99		Sr-89
	원료	Tc-99m generator	
2009~2020	-5%	-5%	-5%
2021~2030	-10%	-10%	-10%
2031~2039	-20%	-20%	-20%

### 3. 예비 경제성분석

#### 가. 주요 가정

MIP의 예비 경제성분석의 대상 기간은 2009.6~2039.6까지 30년으로 하였으며, 동 기간 동안 정액법으로 감가상각이 이루어지는 것으로 하였다. 법인세율은 25%, 환율은 1,200원/\$를 적용하였다. 그리고 MIP 생산 동위원소인 Mo-99와 Sr-89의 생산용량은 각각 1,500 Ci/week, 80 Ci/yr로 가정하였다.

#### 나. 비용 분석

MIP 관련 주요 비용은 아래의 표 3.1과 같이 크게 자본비와 운영비로 나누어 볼 수 있다. 먼저 자본비는 요소기술 개발, 설계, 인허가 심사 및 안전조치, 시설과 장비구입 등과 관련된 비용이 포함된 건설 및 시운전 비용으로 구성된다. 기준안의 자본비는 IAEA의 연구결과<sup>2)</sup>인 2,600만달러(hot cell과 부대시설이 제외)와 KAERI의 핵연료개발시설 95억원과 실증시설용 hot cell 관련비용 42억원 등을 고려하여 4,000만달러(480억원)가 소요될 것으로 추정하였다. 또한 운영비의 경우는 인건비, 재료비, 경비 및 예비비 등으로 구성되어 있다. MIP의 운전 시작 시점에서는 30명(운영요원 18명, 기술요원 6명, 행정요원 6명)의 인원이 필요한 것으로 가정하였는데 이는 하나로 경험의 통해 유추한 것이다. 이후에 2010~2020년까지 즉 시장 점유율이 최대가 되는 시점까지 행정요원과 운영/기술요원은 각각 연평균 3%, 1% 증가하는 것으로 가정하였는데 이는 임시직 채용 또는 숙련 직원의 인건비 이외의 인센티브라고 볼 수 있다.<sup>3)</sup> 그리고 인건비는 2002~2009년까지는 연평균 5%, 2010~2039년까지는 연평균 2% 인상을 가정하였다. 경비의 경우 10%의 예비비도 고려하였다.

2) IAEA, *Production technologies for molybdenum-99 and technetium-99m*, IAEA-TECDOC-1065, 1999

3) 인력의 증가율 적용에 따라 인력이 정수로 증가하지 않기 때문에 증가율의 의미를 임시직 채용 또는 인센티브 개념으로 해석하였음.

표 3.1 주요 비용 항목 설명

	주요 비용 항목	비 고
자본비	요소기술 개발비, 설계비, 인허가 심사 및 안전조치 관련비, 시설과 장비구입 등이 포함된 건설 및 시운전비 등	외국 자료와 국내 참고 자료를 이용하여 비용 추정
운영비	인건비, 재료비, 감가상각비, 설비/사무실 운영비, 예비비	소요인력 및 국내 자료를 참고하여 비용 추정

다. 수입 분석

의료용 동위원소의 시나리오별 연평균 총 판매량은 표 3.2, 표 3.3과 같다. 표 3.2는 Mo-99(원료 및 Tc-99m generator)의 판매량으로서 상업운전 초기인 2010년대 초중반에는 연간 17,000Ci 정도에서 2020년대 중후반부터는 연간 35,000Ci 정도 판매가 예상된다. 그리고 전체 Mo-99의 판매량 중에서 국내와 동남아 시장의 판매량 점유율은 60%:40% 정도이다. 또한 아시아 시장 중에서 중국시장이 가장 큰 비중을 차지하는데, 2010년대는 48% 정도를 2020년대 이후는 63% 정도를 차지할 것으로 전망된다.

표 3.2 Mo-99(원료 및 Tc-99m)의 시나리오별 연 평균 판매량 전망

(단위: Ci/yr)

기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국	계
2009~2010	7,946 (7,946)	2,949 (1,180)	3,014 (1,206)	686 (274)	- (-)	14,595 (10,606)
2011~2015	9,772 (9,772)	3,927 (1,964)	4,602 (2,301)	1,012 (506)	- (-)	19,313 (14,543)
2016~2020	13,077 (13,077)	5,312 (3,035)	7,530 (4,303)	1,580 (903)	- (-)	27,499 (21,318)
2021~2025	16,016 (16,016)	5,123 (2,562)	8,536 (4,268)	1,659 (829)	- (-)	31,334 (23,675)
2026~2039	20,618 (20,618)	4,997 (1,999)	10,705 (4,282)	1,779 (712)	- (-)	38,099 (27,611)

주) 괄호 밖은 '경쟁완화 시나리오', 괄호 안은 '경쟁심화 시나리오'의 시장 점유율임



그리고 표 3.3은 Sr-89의 시나리오별 연평균 판매량으로서 상업운전 초기인 2010년대 초중반에는 연간 20Ci 정도에서 2010년대 중후반부터는 연간 45Ci 정도 판매가 예상된다. 전체 Sr-89의 판매량 중에서 국내와 해외 시장의 판매량 점유율은 2010년대에는 12%:88%에서 2020년대 중반이후부터는 18%:82%로 다소 국내의 점유율이 증가할 것으로 예상된다. 미국이 2010년대에는 전체 판매량의 57% 정도를 차지하지만 2020년대 초반에는 48% 정도로, 2020년대 중후반부터는 36% 수준으로 줄어들 것으로 예상된다. 대신에 중국이 전체 판매량의 43% 정도로 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예상된다.

표 3.3 Sr-89의 시나리오별 연 평균 판매량 전망

(단위: Ci/yr)

기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국	계
2009~2010	2.0 (2.0)	0.7 (0.3)	5.7 (2.3)	0.5 (0.2)	10.7 (7.1)	19.7 (11.9)
2011~2015	2.6 (2.6)	1.0 (0.5)	9.4 (4.7)	0.8 (0.4)	18.5 (12.3)	32.2 (20.5)
2016~2020	3.8 (3.8)	1.5 (0.8)	16.8 (9.6)	1.3 (0.8)	29.9 (20.0)	53.4 (35.0)
2021~2025	5.1 (5.1)	1.4 (0.7)	20.9 (10.4)	1.5 (0.8)	25.7 (17.2)	54.8 (34.2)
2026~2039	7.8 (7.8)	1.4 (0.6)	30.6 (12.2)	1.6 (1.2)	20.1 (13.4)	61.8 (34.7)

주) 괄호 밖은 '경쟁완화 시나리오', 괄호 안은 '경쟁심화 시나리오'의 시장 점유율임

의료용 동위원소 판매에 따른 시나리오별 연평균 판매액은 표 3.4와 같다. 동위원소 판매액 기준으로 볼 때 2010년대에는 연간 160억 정도, 2020년대 이후는 연간 280억 정도의 매출이 예상된다. 매출액 구성은 국내가 2020년 중반까지는 50% 정도를 차지하지만 그 이후에는 65% 이상을 담당할 것으로 예상된다. 매출액 규모는 국내, 중국, 미국, 일본, 기타 아시아 국가 순으로 클 것으로 전망된다.

표 3.4 Mo-99와 Sr-89의 시나리오별 연 평균 판매액 전망

(단위: 억원)

기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국	계
2009~2010	77.0 (77.0)	10.4 (4.2)	34.4 (13.8)	6.0 (2.4)	24.4 (16.3)	152.2 (113.7)
2011~2015	95.1 (95.1)	14.0 (7.0)	53.9 (26.9)	8.9 (4.5)	42.1 (28.1)	214.0 (161.6)
2016~2020	128.0 (128.0)	19.1 (10.9)	91.5 (52.3)	14.2 (8.1)	68.3 (45.5)	321.1 (244.8)
2021~2025	149.5 (149.5)	17.5 (8.7)	102.3 (51.1)	14.4 (7.2)	55.6 (37.1)	339.3 (253.6)
2026~2039	180.2 (180.2)	15.8 (6.3)	127.0 (50.8)	14.9 (6.0)	40.2 (26.8)	378.1 (270.1)

주) 괄호 밖은 '경쟁완화 시나리오', 괄호 안은 '경쟁심화 시나리오'의 시장 점유율임

표 3.5는 시나리오별 총 판매액 중에서 Sr-89의 판매액 비중을 나타낸다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 중국 총 매출액의 42% 정도, 아시아 기타 국가 총 매출액의 22% 정도, 일본 총 매출액의 17% 정도, 국내 매출액의 7% 정도를 Sr-89가 차지할 것으로 전망된다. 미국은 Sr-89만 수출하는 것으로 가정하였기 때문에 총 매출액 전부가 Sr-89 판매에 의한 것이다. 그리고 전체 판매액 중에서 Sr-89의 매출액은 30% 이상을 차지할 것으로 예상된다.

표 3.5 시나리오별 총 판매액 중 Sr-89의 판매액 비중 전망

(단위: %)

기간	국내	일본	중국	아시아 기타국가	미국	계
2009~2010	5.9 (5.9)	16.3 (16.3)	38.0 (38.0)	18.9 (18.9)	100.0 (100.0)	29.5 (23.9)
2011~2015	6.2 (6.2)	16.7 (16.7)	39.5 (39.5)	19.9 (19.9)	100.0 (100.0)	34.3 (28.9)
2016~2020	6.8 (6.8)	17.4 (17.4)	41.8 (41.8)	21.4 (21.4)	100.0 (100.0)	37.9 (32.6)
2021~2025	7.4 (7.4)	17.7 (17.7)	44.1 (44.1)	23.1 (23.1)	100.0 (100.0)	34.8 (29.1)
2026~2039	8.6 (8.6)	17.7 (17.1)	47.8 (47.8)	25.9 (25.9)	100.0 (100.0)	32.5 (25.6)

주) 괄호 밖은 '경쟁완화 시나리오', 괄호 안은 '경쟁심화 시나리오'의 시장 점유율임

라. 경제성분석 결과(기준안)

기준안의 경제성분석에 대한 결과를 내부 수익률과 투자회수 기간 두 가지 측면에서 분석하였으며, 그 결과는 표 3.6과 같다. 표에서 보는 바와 같이 ‘경쟁 완화 시나리오’의 경우 투자회수 기간은 5.6년 정도 소요될 것으로 분석되었고, 내부수익률은 21.0%를 기록할 것으로 분석되었다. 그리고 ‘경쟁 심화 시나리오’의 경우는 7.4년 정도면 투자액을 회수할 수 있고, 내부수익률은 16.1% 정도 될 것으로 분석되었다.

두 시나리오를 종합해 볼 때 투자회수기간은 6.5년 정도, 내부수익률은 18.6% 정도 될 것으로 예상되어 경제성 측면에서는 투자의 가치가 있다고 판단된다.

표 3.6 기준안의 경제성 분석 결과

시나리오	내부 수익률(%)	투자회수기간(년)
경쟁 완화 시나리오	21.0	5.6
경쟁 심화 시나리오	16.1	7.4

4. 민감도분석

본 연구에서는 MIP의 자본비 감축효과와 시장가격의 두 중요 변수에 대한 민감도분석을 수행하였다. 먼저 자본비의 경우, 보수적으로 설정된 기준안 자본비를 20% 감축하는 경우를 상정하였다. 이는 수용액 핵연료를 이용하는 원자로에 대한 러시아 기술을 기준안보다 경제성 제고에 긍정적인 측면이 있을 수 있다는 기술진의 판단을 반영한 것이다. 그리고 장기적인 관점에서의 동위원소 시장가격은 시장의 미래 상황 즉 공급의 경쟁 가능성에 의해 크게 영향을 받을 수밖에 없다. 그리하여 여기에서는 기준안의 시장가격 하락률보다 경쟁이 더 심화되는 상황을 가정하여 표 4.1 같은 가격 하락률을 상정하여 이에 대한 민감도분석을 수행하였다.

표 4.1 동위원소 시장 가격 연평균 하락율 전망(민감도분석)

	Mo-99		Sr-89
	원료	Tc-99m generator	
2009~2020	-10%	-10%	-10%
2021~2030	-20%	-20%	-20%
2031~2039	-30%	-30%	-30%

가. 자본비 민감도분석

기준안의 자본비를 20% 절감(384억원)하는 경우의 민감도분석 결과는 표 4.2와 같다. 분석결과에 의하면, 기준안에 비해 내부수익률과 투자회수기간이 다소 나아짐을 알 수 있다. ‘경쟁 완화 시나리오’는 24.3%, 4.8년을, 그리고 ‘경쟁 심화 시나리오’는 18.7%, 6.4년의 내부수익률과 투자회수기간을 각각 기록할 것으로 분석되었다.

종합해 보면, 내부 수익률은 21.5%를 기록하고, 투자회수기간은 5.6년 정도 소요될 것으로 예상되어 경제성 측면에서 상당히 긍정적인 결과를 나타낼 것으로 분석되었다.

표 4.2 자본비 민감도 분석 결과

시나리오	내부 수익률(%)	투자회수기간(년)
경쟁 완화 시나리오	24.3	4.8
경쟁 심화 시나리오	18.7	6.4

나. 시장가격 민감도분석

기준안에 비해 공급경쟁이 더 심해져 공급가격이 표 4.1과 같이 하락할 경우의 민감도분석 결과는 표 4.3과 같다. 표에서 보는 바와 같이 ‘경쟁 완화 시나리오’의 경우 투자회수기간은 5.9년 정도 소요될 것으로 분석되었고, 내부수익률은 19.8%를 기록할 것으로 분석되었다. 그리고 ‘경쟁 심화 시나리오’의 경우는 7.8년 정도면 투자액을 회수할 수 있고, 내부수익률은 14.9% 정도 되는 것으로 분석되었다.

종합해 보면, 시장가격이 하락하더라도 투자회수 기간은 6.9년, 내부수익률은 17.4% 정도 될 것으로 예상되어 여전히 경제성 측면에서 긍정적임을 알 수 있다.

표 4.3 시장가격 민감도분석 결과

시나리오	내부 수익률(%)	투자회수기간(년)
경쟁 완화 시나리오	19.8	5.9
경쟁 심화 시나리오	14.9	7.8

5. 종합 결론

본 연구에서 설정한 두 개의 시나리오인 ‘경쟁 심화 시나리오’와 ‘경쟁 완화 시나리오’에 대해, 내부수익률은 14.9% ~ 24.3%에 이를 것으로 분석되었고, 투자액은 4.8년 ~ 7.8년 정도면 회수

될 수 있을 것으로 분석되었다. 이와 같은 분석 결과는 의료용 동위원소 생산전용로인 MIP가 경제성 측면에서 투자의 가치가 있음을 나타내 준다. 단지 앞에서 설정한 여러 가지 시장 상황에 대한 가정들(수요 증가율, 시장 점유율, 시작가격 등)에 대해 좀 더 세부적인 연구가 이루어져 입력 자료의 객관성을 높이고 시장상황을 충실히 반영시킬 필요가 있다. 그리고 본 연구는 다른 연구결과와 시설 등의 비용을 참고로 MIP의 비용을 추정하였지만 앞으로는 구체적인 설계사항이 반영되어 비용 추정의 정도와 객관성을 높일 필요가 있다. 마지막으로 본 연구에서는 의료용 동위원소로 Mo-99와 Sr-89의 생산에만 초점을 맞추었으나, 이외에도 생산이 가능한 동위원소(Sr-90, I-131, Xe-133, Cs-137 등)를 고려한 비용-편익분석이 이루어질 필요가 있다.

#### 참고문헌

IAEA, *Production technologies for molybdenum-99 and technetium-99m*, IAEA-TECDOC-1065, 1999.

“방사성동위원소 국내 생산방안에 관한 연구”, 과학기술부, 1999.