

우리나라 RI/放射線 利用現況과 課題



金 載 祿
한국원자력연구소실장

1. 序 論

原子力 利用분야는 열에너지 利用과 放射線에너지 利用으로 大別된다. 前者에서는 原子力에 의한 電氣 生産위주로 後者에서는 産業, 醫療, 學術 등 여러 분야에서 根幹技術이나 道具技術로 각각 利用·開發되었다. RI/放射線利用 技術이 고유장점을 갖는 이유 두 가지는 다음과 같다.

- 1) RI는 각기 고유 붕괴반감기에 따라 붕괴하므로 일정시간 경과하면 放射能이 消失되며, 放射能에 비해 그 화학적 양은 무시된다.
- 2) 放射線은 물질을 투과할 수 있으며, 투과과정에서 여러가지 작용으로 그 에너지의 일부 또는 전부를 잃는다.

放射線利用에는 RI로부터의 放出放射線 利用과, X선, 電子線, 자외선 등 非 RI放出放射線利用 등 두 분야가 있음을 상기할 필요가 있다. RI放射線은 醫療 및 産業에서의 追跡子的 利用과 γ 線 조사産業으로, 非 RI放射線 중 加速電子線은 架橋電線, 熱收縮性 튜브 生産 등으로 利用되고 있다.

그러나 이들 두 利用형태를 嚴格히 구별하는 것은 무의미해질 수도 있는데, 그 이유는 다음과 같다.

- 1) RI의 放射性붕괴 속도도 電子殼의 영향을 받는다.
- 2) 陽子過多核種은 대부분 電子捕獲(E.

C.)으로 붕괴한다.

- 3) 加速電子는 制動放射線(Bremsstrahlung)을 발생한다 등.

오늘날, RI/放射線利用은 醫療, 産業, 學術 연구 등에서 利用技術水準이나 利用量으로 보아 매우 중요하다는 사실을 아무도 부인하지는 않을 것이다. 그러나 쾌적한 환경을 추구하게 되면서 RI/放射線 안전관리 규제도 이에 상응하리만큼 강화되고 있어서 우리는 RI/放射線의 고유 장점을 최대한 利用하려는 노력에다 최대한 안전하게 利用해야하는 노력을 더해야 하는 安全 第1主義時代를 맞고 있다.

이 글에서는 본 대회 취지 및 프로그램을 고려하여 産業的 利用 중 NDT, 및 醫療的 利用에 대한 논의는 除外하고 RI 産業, 利用, 電子線 利用 등의 現況과 課題 등에 대해서만 다루기로 한다.

2 利用現況

2.1 利用量

2.1.1 利用 量

우리나라 RI 利用量은 '80년대 후반부터 뚜렷한 증가를 보였으며 '86, '89년 등 2차에 걸쳐 대단위 γ 線 조사용 Co-60이 수입되어 증가폭을 크게 하였다. '86~'89년 사이의 年平均 利用量은 200 kCi이며 1990년도에는 53

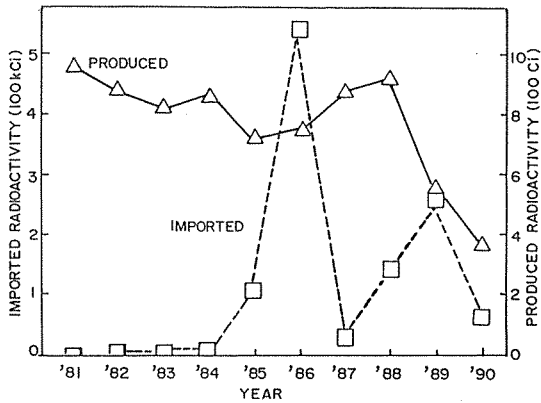


Fig 1, Import and production of RI in Korea (Statistics on RI, KAERI, KRIA, MOST ROK, '81~'90)

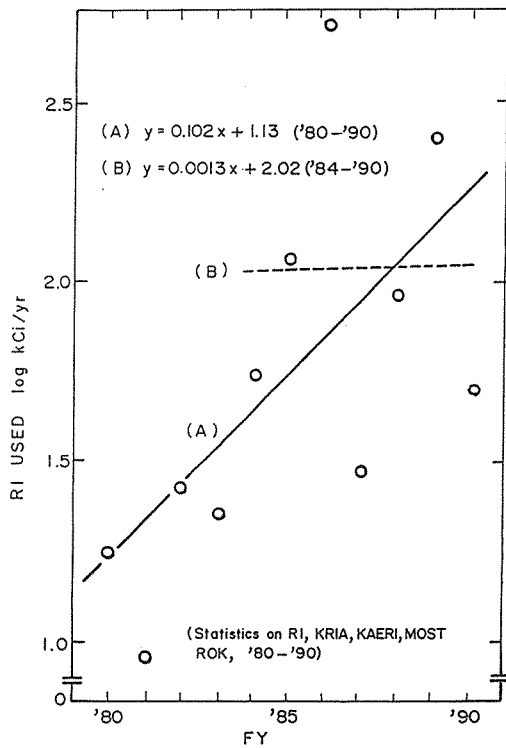


Fig 2. Annual demand of RI and its increasing trend

kCi(US\$ 8,500k 상당량)가 利用되었다.(그림 1, 2) 한편, 그림 3에서 보는 바와 같이 醫療用 RI의 放射能기준비율이 2.5%에 불과하지

만 금액 기준 비율은 72%에 달하므로써 그 高附加價值性을 보여주고 있다. 1990년대에 使用한 RI핵종을 살펴볼 때, 産業用 非密封 RI로는 H-3가, 密封 RI로는 Ir-192가, 醫療用 非密封 RI로는 Tc-99m이 각각 많이 利用되었다.

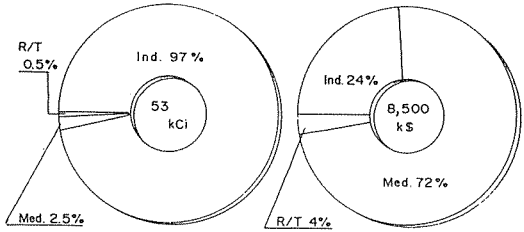


Fig 3. RI used in Korea in 1990 (Statistics on RI, KAERI, KRIA, '90)

2.1.2 生産

小型 研究爐를 運用하고 있는 韓國原子力 研究所(KAERI)는 國內 유일의 RI 生産기관인 바, 여건상 短半減期 RI 生産만이 용이하여 표 1에서 보는 바와 같이 醫療用 위주로 生産하고 있다. TRIGA-III 원자로의 中性子束 密度(ϕ)는 1×10^{13} 개/cm²/sec 이어서 선진외국의 대형 研究爐의 그것이 10^{14} 개/cm²/sec 인데 비해 적다. 따라서 RI 生産기본식($A = \phi N \sigma (1 - e^{-\lambda t})$)에 따라, 高比 放射能 RI, 長半減期 RI 등의 生産은 원천적으로 어렵거나 거의 불가능하다. 국산화율 底調(그림 4)의 原因은 다음과 같다.

- 1) 高比放射能 RI, 長半減期 RI 生産 곤란
- 2) 핵분열 생성물로부터의 有用 RI 분리 技術 未 開發
- 3) RI제품 관련 底邊技術 취약
- 4) 현 RI 시설의 노후화

한편, 우리나라 RI 生産現況을 요약하면 아래와 같다.

- 短壽命, 多需要 RI/표지화합물 위주 生産(27종)
 - 零細性
 - 生産 안전관리체제: 점진적 정착 단계
- 국내 주요 다수요 RI제품의 특징 및 現況

Table 1. RI Produced at KAERI in 1990

Nuclides		
Tc-99m	Cr-51	Ir-192
Mo-99	Ca-45	Na-24
I-131	TP-32	Co-60
Au-198		
Total 353 Ci		
Labelled Compounds		
¹³¹ I ^a	¹²⁵ I ^b	^{99m} Tc ^c
Hippuran	T3	HIDA
RIHSA	T4	Phytate
MIBG		MDP
Lipiodol		Sn colloid
		Sb ₂ S ₇ colloid
		pyrophosphate
		MAA
		DMSA
		HSA
Total 309 mCi ^a +400kit ^b +17,560vial ^c		

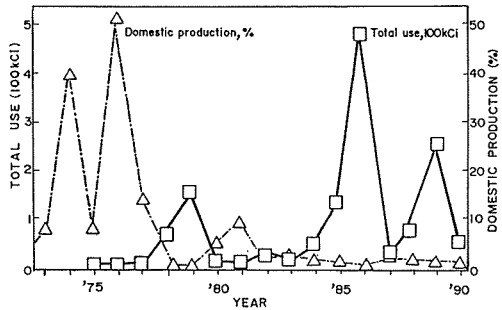


Fig 4. Yearly use of RI and domestic production rate (Statistics on RI, KAERI, KRIA, MOST ROK, '73~'90)

표 2. 國內 利用 主要 RI 製品 特徵 및 現況

利用분야	製品 類	主要 RI	特徵/現況
醫 療	RIA 키트	I-125	*, # (금액)
	Tc-99m 發生器	Mo-99(Tc-99m)	F.P, *, #
	Tc-99m 標識키트	-	자급율 60%
	기 타	I-131	자급율 ≈100%
產 業	γ라디오그래피線源	I-192, Co-60	# (放射能)
	滅菌/食品조사線源	Co-60	
	計器板産業用	H-3, Pm-147	
研 究	標識反應用	I-125	*, #
	生·醫學用	P-32, S-35	

* 要 開發

輸入比重 占有

자료 : KAERI, RI生産開發 관련보고서(~1990)

을 표 2에 요약하였다.

2.1.3 利用 形態別 現況

Tc-99m, I-131, I-125 등이 醫療的으로 많이 利用되고 있으며, 産業的으로는 Co-60을 利用하는 鎔鉛 및 食品조사 이외에 Kr-85를 利用하는 電子産業, H-3, Pm-147 등을 利用하는 計器産業, NDT, RI 게이지(NCS) 利用産業 등이 발전되어 있음을 알 수 있다.

放射性追跡子의 産業的 利用事例은 많지 않은 편이며 1988년과 1990년에 Na-24를 利用한 시멘트原料滯在時間分布 測定, 熔接棒原料混合速度 測定 등이 각각 1건씩 수행되었다. 重量計, 密度計, 水分計, 準位計, 硫黃計 등 여러가지 RI 게이지류가 利用되고 있으나 불행하게도 이들 核工學的 調整裝備(Nucleonic Control Systems, NCS)의 國內 産業은 없어 全량 수입사용하고 있으므로 게이지 內裝 RI의 放射能감쇠나 고장 등이 利用상 문제점으로 지적되기도 한다.

KAERI에서는 生産한 RI와 핫셀을 利用하여 RI 게이지 線源交替 技術支援을 수행하고 있으며 최근의 실적은 표 3과 같다. 현재 약 1,000개로 추정되는 대소 RI 게이지류가 利用되면서 原料/에너지 절감과 품질향상에 기여하고 있다. '80년대 후반에 와서 計器産業用 Pm-147 利用量이 약간 감소된 반면 같은 목적에 쓰이는 H-3의 증가추세가 뚜렷하다.

표 3. RI 小線源 技術支援 실적 (KAERI, '89 - '90)

RI 小線源			技術支援 內容	線源內裝 機器	支援機關	協力機關
核 種	製造元	數量				
Co-60	KAERI	8	代替裝填	準位計	력키화학(주)	한일원자력(주)
Fe-55	수입품	1	交替	두께계	삼화일루미늄(주)	(주)부경사
Co-60	KAERI	1	代替裝填	두께계	금강석영(주)	한일원자력(주)
Fe-55	수입품	1	交替	두께계	신성제지(주)	-
Am-241	수입품	1	交替	두께계	동부제강(주)	-
Pm-147	수입품	1	자료조사	두께계	연합철강(주)	-
Co-60	KAERI	5	代替裝填	두께계	포철(주)	-
Co-60	수입품	1	交替	두께계	풍산금속(주)	-
Cs-137	수입품	30	交替	두께계	광양제철(주)	-

NDT용 Ir-192와 醫療用 Tc-99m 역시 뚜렷한 증가추세이며 I-131 증가율이鈍화된 채 연간 50 Ci 정도가 쓰이고 있다.(그림 5) (표 4)

표 4. 우리나라에서의 主要 利用 分野別 RI 核種

이 용 분 야	RI 核 種
産 業	
· NDT	Co-60, Ir-192
· RI 게이지(NCS)	Kr-85, Cs-137, Am-241, Sr-90, Pm-147, Ni-63, Co-60, Cf-252
· 追跡子	Na-24, Tc-99m
· 放射線조사	Co-60
· 電子製品 品質調査	Kr-85
· 自發光패널	H-3, Pm-147
醫 療	Tc-99m, I-125, I-131, Au-198, Co-60, Cs-137
基礎科學 研究	I-125, P-32, C-14, H-3, Co-60, Ca-45, Cs-137

자료 : List of RI Using Organizations, MOST, 1989

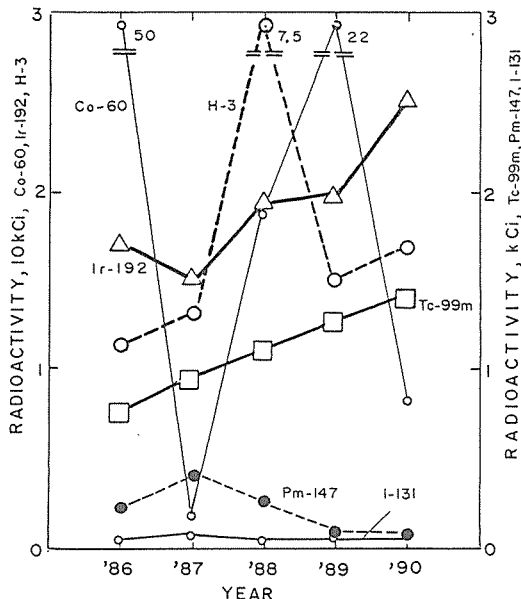


Fig 5. Yearly use of some Typical RIs

2.2. 電子線 利用

우리나라의 非 RI 放射線 利用産業의 주요 형태는 선진외국과 마찬가지로 電子加速器를

Table 5. List of EB Accelerators in Korea

Company or Institute	No. of Accelerator	Vol. keV	Beam Curr. mA	Application	Status
Gold Star Cable Co.	1	750	65	Crosslinking of wire, Shrinkable tube	In operation since 1985
	1	1,000	100		
	1	1,500	65		
Dae Han Electric Wire Co.	1	1,500	65	Crosslinking of wire	Under installation since 1990
Kyung Shin Industrial Co.	1	1,500	65	"	Under installation since 1990
Dae Won Cable Co.	1	1,000	65	Crosslinking of wire, Shrinkable tubes	"
Yeon Hab Electric Wire Co.	1	1,000	65	Crosslinking of wire	"
Yong Bo Chem. Co.	1	500	100	PE foam	"
Tong Il Industries Co.	1	800	65	PE foam	"
Kum Ho Tire Co.	1	1,000	65	Rubber Curing	"
KAERI	1	300	25	Research	In operation since 1975

표 6. 放射線조사工業 現況(선진국 對比)

技術 項目	γ 線		電子線	
	선진국	우리나라	선진국	우리나라
醫療用品 滅菌	A	A	A	C
식품조사	A	A	B	C
架橋電線	-	-	A	A
重合物 分解	A	B	A	B
熱收縮性 튜브	-	-	A	A
表面塗裝	-	-	A	C
公害물질 분해	C	C	B	C
架橋고무	B	C	B	C
無菌衛生包裝	A	B	A	C

A : 산업화, B : 산업화, 초기단계, C : 부분적 연구개발 단계

利用한 耐熱性 耐放射線性 架橋電線産業이다. 이 분야 연구개발은 1975년 KAERI에 소형 電子加速器가 설치된 이래 産業界와의 협력연구 등 일련의 기초 및 응용연구를 통해 시작되었다. 1985년 대형 電子加速器를 利用한 架橋電線生産이 국내 전선업체에서 시작되었으며 최근 수 개의 또 다른 업체에서

도 電子加速器를 도입하여 架橋電線, 熱收縮性 튜브, 架橋 고무 生産을 추진중이다.(표 5)

加速電子線 및 γ 線을 利用하는 放射線 조사 處理의 장점은 신속성, 無殘渣, 原形保存, 無加熱滅菌, 포장상태에서의 處理에 의한 2次 汚染機會의 원천적 제거, 플라스틱 포장재 사용 등의 장점을 갖는다. 따라서 표 6에서 보는 바와 같은 다양한 利用技術項目이 있으나 우리나라에서는 電子加速器에 의한 架橋電線과 熱收縮性 튜브제조, γ 線 조사에 의한 식품보존과 醫療品 滅菌 등 만이 産業化되었다.(표 6)

2.3 利用業體 및 免許所持者

1990년도 총 利用業體數는 666개이며 그 66%는 産業體, 14%는 의료기관, 20%는 교육, 연구기관이다. 利用業體數는 '70년대 중반 NDT 및 RI 게이저류가 보급되면서 급증하였으며 免許所持者 數는 '63년이래 급속도로 증가 하여 '90년말에 2,240명에 달하였다.

2.4 RI 利用 관련 要因들

RI의 高價, 취급장비와 設備費 부담, 전문 力부족 등은 사실상 RI 利用을 어렵게 하는 일반적 要因으로 작용하고 있다. 그 밖에도 근래에 다음과 같은 要因들이 고려될 수 있다.

利用 獎勵要因

- 선진국에서의 지속적 利用量 증가
- 우리나라 산업기술발전
- 우리나라 정부의 과학기술 드라이브 정책

利用 阻害要因

- 代替技術 續出

2.5 국제협력

우리나라는 IAEA가 추진하는 RI/放射線 利用 연구개발에 관한 亞·太地域 국가간 協力協定(Regional Cooperative Agreement, RCA)에 서명하였으므로 KAERI는 동 協力協定 관련 研究課題들을 여러 개 수행하고 있으며, 특히 RI/放射線의 産業的 利用에 관

한 UNDP/IAEA/RCA 사업에 참여하여 放射性追跡子, NDT, 放射線조사, 核工學的 調整裝置(Nucleonic Control Systems, NCS) 등 4개 小分野의 産業的 利用 활성화사업을 아·태국가들과 협력하고 있다. 동 사업은 RI/放射線을 利用한 공정개량, 原料/에너지절감, 生産성 향상등을 목표로하며 技術開發보다 오히려 개발된 技術의 産業界 이식을 위한 것이다. 정보전달과 力양성을 위해 세미나 개최, 技術示範 등을 수행하는데 최근 우리나라에서 개최한 UNDP/IAEA/RCA 사업관련 세미나 및 力과정 개최내용은 표 7과 같다.

표 7. RI/放射線 利用세미나 및 訓練課程 催 실적*('83~'91)

主 題	性格	開 催 日 字	開 催 場 所
放射線滅菌	A	'83. 10. 10-14	KAERI/서울
〃	A	'84. 9. 14-29	〃
〃	A	'86. 2. 10-11	〃
放射性追跡子 産業的 利用	B	'86. 2. 27-28	〃
核工學的 調整 裝置(NCS) 利用	B	'87. 9. 23-25	KRIA/서울
電子加速器 利用 架橋電線 生産	B	'87. 2. 9-10	KAERI/서울
RI/放射線 토목 學적 利用	B	'89. 8. 7-9	KICT/서울
電子加速器 利用 排煙 處理	B	'89. 10. 10-11	KAERI/대전
放射線滅菌	C	'89. 10. 30-11. 3	KAERI/서울
原電 NDT	B	'91. 1. 24-25	KAERI/대전

* UNDP/IAEA/RCA RI/放射線의 産業的 利用에 관한 亞·太地域 協力사업 講師支援: IAEA, 후원: MOST

A: 국제 力과정

B: 국내 세미나

C: 국내 力과정

3. 課 題

3.1 RI 生産

多目的 研究爐(KMRR) 및 同 RI 施設의 設置, 中·長期計劃에 입각한 RI 增産 등

으로 국내수요량의 30%이상(中期目標年度 1996이후)을 자급해야 한다.(표 8) 이를 위하여 RI 生産개발 방향을 아래와 같이 설정해야 한다.

- 생기, 치료용화합물, 密封 γ 線源등)
- 高 比放射能化
- 生産·보급을 전제한 품목선정, 집중 개발
- 生産안전관리 시설보강 및 안전관리 지침 준수
- RI 보급체제 정비

Table 8. RI Production Plant at KAERI (Mid-term goal year 1996)

	Under Production		Plan
Nuclides	I-131, Tc-99m, Au-198 Mo-99, S-35, P-32 Fe-59, Cr-51, Na-24		Sm-153, Re-186, Ho-166 Dy-165, Cu-65, K-42 Ir-192(HS)*, Co-60(HS)*
Compounds	I-131	Hippuran, Lipiodol RIHSA	MIBG, MAG-3, (IMP)
	Tc-99m	DTPA, HSA, MDP, P. P Phytate, G. H. HIDA, Sn-colloid DMSA, Sb2S7 MAA	IODIDA, IOTIDA, (MIBI)
	P-32	-	Trioctyl phosphate Cr-phosphate
	Sm-153	-	EDTMP
	Ho-166	-	FAMA
	Dy-165	-	HMA
	I-125	T3, T4	Monoclonal Abs, Cancer Markers
Total	27	20	

* High specific activity

3.2 RI 利用

RI 利用효과를 極大化하고 放射線被曝弊害를 極小化하기 위하여 아래와 같은 주요 課題가 집중적으로 수행되어야 할 것이다.

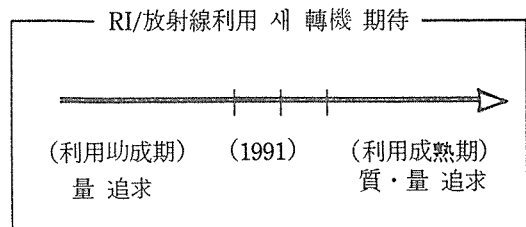
- 利用技術의 자체개발
- 안전관리 시설 보완 및 指針 준수

3.3 放射線發生裝置 利用

X線, 加速電子線, 자외선 등의 利用에서는 放射性廢棄物이 발생되지 않으므로 RI 利用의 경우에 비하여 안전하다고 볼 수 있으나 누설放射線에 대한 각별한 주의가 필요하며 標準조사 線量測定技術開發, 피폭량감측 대책 등이 강구되어야 한다. 그 밖의 주요課題는 RI 利用의 경우와 같다.

특히, RI 안전과 관련한 當面課題는 放射性廢棄物의 철저한 관리, 處理依賴, 허가된 내용내 사용, 보고 및 기록유지철저 등이다.

우리는 RI/放射線利用의 正道를 가기위한 日時的 過渡期에 와 있다고 보며, 하루속히 過渡期을 벗어나 利用 成熟期로 달려가야 한다.



4. 結 論

RI/放射線利用 30여년의 역사를 겪어 오는 동안 利用機關數 666, 면허소지자 2,200여명, 연간평균利用放射能 200kCi, 産業用 核工學的 調整裝置類 약 1,000개, NDT업체 약 20개, 醫療用品滅菌, 식품조사, 架橋電線등의 實用化/産業化, 核醫學技術 高度化 등을 이룩하여 인류복지와 産業發展에 큰 기여를 하고 있다.

다만, 生産개발투자에 의한 RI 國産化率提高, 이용기술개발, 시설보강, 効果弘報, 安全利用精神 涵養 등에서 急進展을 이루어야 하는 것이 당면한 課題이다. 安全規制는 別途次元의 利用造成策임을 모두가 인식하고 30여년간 아껴서 키워온 우리들의 자랑스럽고 독특한 技術을 한층 가꾸어 多段階로 上昇展開해 나가야 한다.