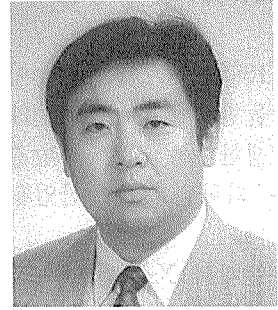


# 방사선 발생장치 사업의 전망



한 범 수

삼 성 중 공 업 (주)  
중 앙 연 구 소

## 1. 방사선 process의 현황

원자력의 평화적 이용에는 에너지의 이용과 방사선의 이용이 있으며, 이들은 상호보완적으로 발전해 나아가야 한다. 과거에는 많은 인력과 연구투자가 에너지 이용분야에 집중되었으나, 점차적으로 방사선의 산업 이용분야에 관심과 투자가 증대되고 있는 실정이다. 방사선 (X-선,  $\gamma$ -선, 전자선 등)은 공업, 농업, 의료용 등 넓은 분야에서 이용이 진행되어 왔다. 방사선이 물질과 상호 작용하면 물질 중에 이온이나 radical 등 반응성이 높은 활성종이 생성되어 화학반응을 일으킨다. 이 화학반응 자체나 그 결과로서 생기는 효과를 공업적으로 이용하는 process를 방사선 process라 부른다.

방사선의 상업적 이용이 기존에 사용되고 있는 다른 기술에 비해 유리한 특성을 많이 갖는다는 것은 많은 연구를 통해 입증되고 있으며, 방사선 조사의 이용이 가능한 분야는 광범위하다. 고분자물질을 합성하거나, 그 특성을 개선하기 위한 이용에서부터 의료용구, 화장품, 의약품 등의 멸균, 식품보존 그리고 환경산업 및 농업적 이용에 이르기까지 방사

선 조사기술의 잠재력은 대단한 것으로 평가되고 있다. 그러나 방사선 조사기술은 엄격한 사용상의 안전규제 이외에 잘 알려지지 않은 특유의 제한성과 단점을 갖고 있기 때문에, 실용화되어 널리 보급되는 과정에서 극복하여야 할 기술적 문제점을 안고 있다. 선진국들은 일찍이 이 분야의 중요성을 인식하여 오래 전부터 기술 개발을 추진, 고도의 산업발전을 꾀하여 왔다. 방사선조사기술에 대한 현재의 추세를 볼 때, 우리 나라에서도 여러 분야에서 방사선조사의 이용이 널리 보급될 전망이다.

산업적으로 주로 이용되는 방사선은 코발트-60이나, 세슘-137 방사성동위원소에서 방출되는  $\gamma$ -선과 방사선발생장치에서 발생하는 X-선, 전자선 등이다. 세슘-137은 에너지가 낮고 까다로운 핵연료의 재처리 과정을 통해 분리하여 생산해야 하며 누출시 환경오염의 우려가 크기 때문에 코발트-60에 비해 많이 사용되지는 않는다. 최근 들어 사용의 안정성과 용이성으로 인하여 방사선발생장치의 이용이 크게 증가하는 추세이다. 방사선발생장치는 크게 의료용 또는 산업용으로 이용되는 X-선 발생장치와 산업용 전자선 발생장치로 나눌 수 있다.

## 2. X-선 발생장치

1895년 W. Roentgen이 고속 전자가 물질과 충돌할 때 대단히 투과력이 강한 방사선이 발생한다는 사실을 발견한 후, 이러한 X-선은 의학용 또는 산업용으로 널리 이용되어 왔다.

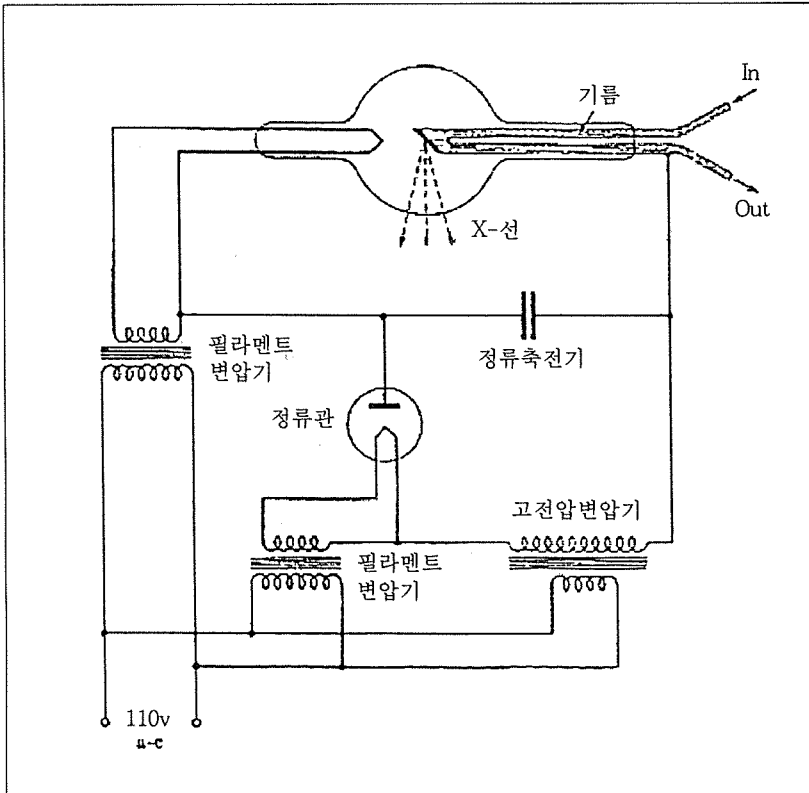
현재의 X-선관은 아직도 음극선으로 금속 표적을 때려서 X-선을 발생시키는 원리를 이용하지만 관련 기술들은 많은 진보를 하여 왔다. X-선을 발생시키는데는 표적에서 많은 열이 발생하므로 표적물질 속을 냉각수나 기름으로 냉각을 시킨다. X-선관 자체 외에도 음극선을 가속하기 위한 고전압원이 필요하다. 일반적으로 교류승압변압기를 사용하며, 대부분의 X-선 장치는 높은 교류 전압을 정

류하여 관에 일정한 고전압이 걸리도록 한다. 사용되는 전압은 X-선의 용도에 따라 다르지만 보통 1만볼트에서 10만볼트 사이를 사용한다.

국내에서는 1973년 X-선 진단장치를 처음 생산하기 시작한 이래, 1980년대 중반이후 X-선 촬영장치 등에 대한 기술개발 노력이 강화되면서 기술수준이 크게 향상되었다. X-선 장비의 국내 생산 현황은 (주)현대 방사선기기, 동강의료기기, 동아 X-ray, 이화 X-ray, 아시아 방사선 등에서 X-선 발생장치와 관련 제품들을 생산하고 있으나, 주요부품은 수입에 의존하고 있다. 최근에는 (주)라즈가 X-선을 이용한 디지털 유방암 진단기를 국내 최초로 개발하였다. 국내에서 많이 사용되고 있는 의료용 X-선 장비의 주요 수입처를 살펴보면, Shimadzu, Toshiba, Hitachi, Siemens, G.E

등이며 특히 일본의 강세가 보이고 있다. X-선 발생장치를 이용한 전세계 의료기기 시장규모는 90년 144억불에서 95년 197억불로 연평균 6.5%의 높은 성장율을 기록하고 있으며, 2000년과 2005년에는 각기 257억불과 343억불로 성장이 예상된다. <표 1>에는 주요 선진국의 X-선 장비들의 시장동향을 나타내었다. (참고문헌 1 참조)

의료 분야 이외에도 X-선의 산업분야 응용 역시 무시 못할 정도로 규모가 크며, 특히 공항 및 항만 출입시나, 각종 주요시설 보안감시용 또는



[그림 1] X-선 발생장치의 개략도

〈표 1〉 주요 X-선 장비 생산국의 시장동향 (단위 : 백만불)

국 명	연도별 품목명	1994	1995	1996	비 고
		미 국	X-선 시스템	1,463	
	산업용 X-선	90	96	89	
일 본	X-선 시스템	1,057	1,371	1,421	
	산업용 X-선	98	43	45	
	방사선 기기	186	170	180	
독 일	X-선 기기	271	299	302	
	산업용 X-선	38	45	46	
	의료용 방사선기기	18	23	24	
	산업용 방사선기기	22	23	22	
영 국	X-선 기기	114	122	121	
	산업용 X-선	9	11	12	
	의료/산업용 방사선기기	20	22	22	
프랑스	X-선 기기	170	198	202	
	산업용 X-선	24	28	29	

〈표 2〉 국내 X-선 기기 수요현황 및 전망 (단위 : 백만불)

구 분	실 적			예 측		
	1990	1995	1996	1997	2000	2005
수출전망	1	5	5	7	14	32
내수현황	54	106	88	100	165	238
생산전망	31	45	42	51	65	87
수입전망	24	66	51	56	114	178

선박 및 제품의 불량상태를 파악하기 위한 비파괴검사 등으로 수요가 급증하고 있다. 국내에서 사용되는 보안감시용 X-선 검사장치는 거의 수입 완제품이며, 일반 산업용도 수입의존도가 높다. 국내 X-선 기기의 수요 현황과 전망은 아래의 〈표 2〉에서 보는 바와 같이 선진국 (주로 일본, 미국 등)에 대한 의존도가 매우 크다. 특히 X-선 기기의 수입의존도는 2000년대에도 60% 정도를 차지하는 등 무역수지 역조에 계속해서 큰 비중을 차

지하게 될 전망이다.

전세계적으로 X-선 장비에 대한 개발방향은 피사체에 대한 방사선 피폭량을 최소화하기 위해 고효율화와 검출기 크기의 대형화로 지향하고 있으며 X-선 노출에 따른 장비의 수명과 안정성 등을 해결하는 방향이 모색되고 있다. 또한 대부분 시장상에 맞추어 기존의 장비를 그대로 사용할 수 있는 직접형 image plate를 개발하여 실시간(real time)으로 영상을 획득하는 방법을 채택하는 추세이

다. 국내에서도 한국전기연구소 등을 중심으로 digital X-ray system에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, X-선 image의 digital화는 자료를 전산화 정보화 하는데 매우 유익하고, 기존의 필름 현상 보관 이송에 따른 경제적 시간적 손실을 줄일 수 있는 첨단 산업분야라 할 수 있다.

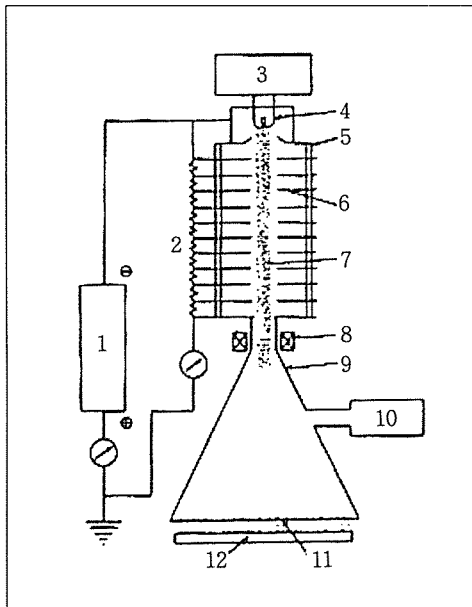
### 3. 전자선 발생장치

전자 또는 양성자는 전하를 띄고 있기 때문에 고전압을 이용하여 진공 중에서 가속시켜 고에너지를 갖게 할 수 있다. 이렇게 하여 고속의 전자선, 양성자선을 만드는 장치를 가속기라고 한다. 가속기는 학술연구, 방사성동위원소의 제조, 공업이용, 의학이용 등의 분야에서 크게 활용되고 있으며, 앞으로도 그 활용이 증가할 추세이다. 가속기는 가속되는 입자에 따라 전자가속기, 양성자가속기, 이온가속기 등으로 분류할 수 있으며, 가속시키는

원리에 따라, 포항의 방사광가속기와 같은 synchrotron 형태의 가속기와 진공용기와 두 개의 반원형 전극을 이용한 cyclotron과 같은 원형가속장치가 있으며, synchrotron은 주로 학술연구와 방사광을 이용하는 분야에 사용되고, cyclotron은 의료용과 동위원소 제조용으로 많이 이용된다.

산업용으로 이용되는 가속기는 주로 직류형 가속장치로서 고전압을 얻는 방식에 따라 Cockcroft-Walton방식과 Van der Graaff 방식 또는 정전방식 등이 있으며, 하전입자를 직선으로 가속시켜 직접 피조사물에 조사시킨다. 금속의 표면처리나 반도체 이온 주입 등에 사용되는 이온빔 가속 장치를 제외하고는 대부분의 산업에서 이용되는 방사선발생장치는 전자를 가속시켜 피조사물을 처리하는 전자가속기이다.

[그림 2]는 Cockcroft-Walton 방식의 전자 가속기의 개념도이다.



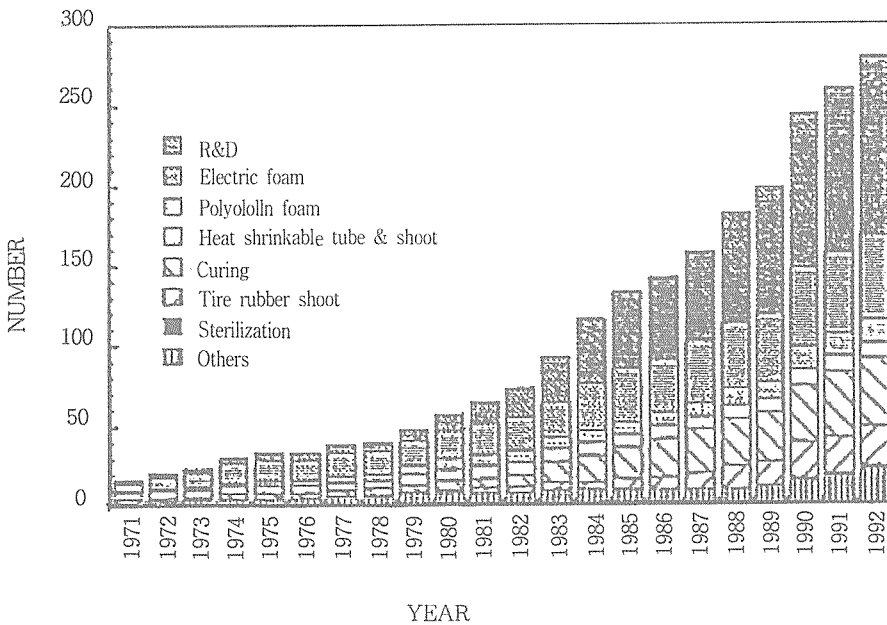
1. D.C. power supply
2. Column resistor
3. Filament power supply
4. Cathode
5. Accelerating tube
6. Electrode
7. Electron beam
8. Scanning coil
9. Scanning chamber
10. Vacuum pump
11. Window
12. 피조사물

[그림 2] Cockcroft-Walton형 전자가속기의 개념도

전자선 조사에 의한 화학효과를 이용하는 process는 고분자재료에의 응용이 압도적으로 많다. 고분자재료를 조사하여 새로운 부가가치를 주거나, 조사에 의해 특징 있는 고분자 재료를 합성하는 process이다. 고분자에 전자선을 조사하면, 가교와 붕괴가 또는 붕괴만 일어난다. 폴리에틸렌 등의 재료에서는 가교가 붕괴보다 우선하므로, 조사에 의해 그 내열성이 향상되고 기계적 강도가 커지며 용융 점도가 증대된다. 이러한 특징을 이용한 process로서 전선 피복재의 조사, 타이어 고무의 가교, 열수축성 튜브/필름이나 발포재(foam)의 제조 등이 세계 각국에서 실용화되고 있다. 한편 방사선 중합 반응에 의한 고분자 합성 프로세스에의 실용화도 진행되고 있다. 기초재료 표면에 도포한 monomer로 이루어진 도료를 전자선 조사에 의해 경화하는 수법은 EB curing이라 불리우며, 도료에 용제를 사용

하지 않으므로 용제 방출에 의한 환경오염 문제가 없고, 저온 process이므로 에너지 절약, 자원 절약형 기술로서 주목을 받고 있다.

전자선의 응용분야 대부분이 고분자재료의 개질, 합성에 관한 것이라면, 최근 이 범주에 속하지 않는 환경보존을 위한 프로세스가 각광을 받고 있다. 이것은 화력발전소나 쓰레기 소각장에서 배출되는 연소배기가스 중의 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>를 암모니아 공존하에 전자선을 조사하여 동시에 제거하는 기술이다. NO<sub>x</sub>와 SO<sub>x</sub>는 질산암모늄과 황산암모늄의 복합비료 형태로 회수되므로 비료로 이용할 수 있다. 이 process에서 이용되는 반응은 연쇄반응이 아니므로, 조사효율은 고분자재료관련 process에 비해 낮으나, 발전소에서의 배연가스량이 대량이며 이의 처리가 환경 문제로 크게 대두되고 있으므로 매우 유망한 분야이다. 최근 대출력 공업용 가속기의 개발이 진행되어 이



[그림 3] 일본에서의 전자가속기 보급 현황

를 이용함으로써 조사단가의 저감이 이루어지고 있으며, 기존의 탈황/탈질 기술과는 달리 건식 공정으로 동시처리가 가능하고 설치비와 부지, 운전비 등이 상대적으로 저렴한 장점이 있다. 이 배연처리 기술은 구미에서도 주목되어 러시아, 폴란드, 일본 등에 실증설비 규모의 pilot 연구가 진행되어 왔고, 중국, 일본, 폴란드 등지에 실플랜트가 운전 또는 건설 중에 있다. 국내에서도 수년 전부터 연구가 진행되어 pilot test를 마치고 실플랜트 건설 단계에 진입해 있다. 기타 폐수나 오물에 방사선을 조사하여 유해한 오염물이나 미생물을 분해 또는 살균하여 재사용하는 연구도 각국에서 경쟁적으로 진행되고 있으며, 러시아, 미국 등지에는 오염지하수나 슬러지 처리용 plant가 운전 중에 있다. 국내에서도 대구 염색공단내의 염색기술연구소에 하루 1000톤 처리규모의 pilot plant가 건설되어 운전 중에 있다. 앞으로는 염소를 대신한 상수

처리나, 종말처리장 처리수의 재활용 등에 대한 적용도 기대된다.

가까운 일본의 경우만 하여도 1970년대부터 전자선 발생장치의 활발한 산업이용이 이루어져서 [그림 3]에서 보이듯이 1992년도에는 280여대의 전자가속기가 산업에 이용되고 있었으며, 현재는 350대 이상이 폭넓게 사용되고 있다.(참고문헌 5 참조)

국내의 경우는 주로 전선/열수축튜브 제조 등의 고분자 개질 분야를 중심으로 20여대의 전자가속기가 사용되고 있으며, 대부분 일본(NHV사), 미국(RDI사)에서 수입된 제품들이었으나, 1995년부터 삼성중공업(주)에서 전자가속기의 국내제작이 이루어지면서 점차 국산품의 판매가 이루어지고 있다.<표 3>

방사선의 산업분야 이용의 발전은 가속기 기술의 진보와 무관하지 않다. 방사선프로세스 입장에서는 값싸고, 신뢰성 높으며, 사용하기 편한 가속기를 구하여 사용한다. 전자가

<표 3> 국내 산업용 전자가속기 보급 현황

용 도	도 입 기 관	대 수	도 입 년 도	제 작 사
전선/열수축 튜브 제도	LG전선	3	1985-	NHV(일)
	대한전선	1	1988	NHV(일)
	경신공업	1	1990	NHV(일)
	엔케이전선	1	1990	RDI(미)
	연합전선	1	1990	RDI(미)
	한일전선	1	1997	삼성중공업
	(주)우석	1	1997	INP(러)
발포수지	영보화학	2	1990, 1998	NHV(일)
	통일공업	1	1990	NHV(일)
고무 경화	한국타이어	3	1993-	NHV(일)
	금호타이어	1	1991	RDI(미)
기 타	한국테트라팩	1	1989	스위스
연구용	원자력연구소	1	1975	HVEC(미)
	삼성중공업	2	1992, 1995	삼성중공업
	염색기술연구소	1	1998	삼성중공업

속기에서 그 에너지가 300keV이하, 300keV~5MeV, 5MeV이상의 것은 각각 저에너지, 중에너지 및 고에너지 가속기로 분류한다. 고분자 재료의 조사 등에는 중에너지의 것이 주로 사용되며, 최근에는 400kw이상의 용량을 갖는 고출력 가속기의 개발도 이루어지고 있다. 전자선의 투과력은 감마선이나 X-선에 비해 약하므로 부피가 큰 대상물의 조사에는 적합하지 않다. 따라서 방사선 조사에 의한 의료기기 등의 살균이나 식품조사의 process에는  $\gamma$ -선원이 이용되었다. 그러나 최근 10MeV정도의 직류형 가속기가 공업용으로 개발되는 등 이 분야에서의 전자가속기 진출도 시작되었다. 또한 고에너지 가속기에서의 전자선을 금속표적에 조사하여 X-선으로 변환하는 기술 개발도 진행되고 있다.

전자선 외에도 고에너지 전자의 궤도 운동에서 인출되는 방사광은 여러가지 새로운 가능성을 지닌 선원으로서 주목을 받고 있다. 이의 산업적 이용은 대단히 매력적인 것이나, 선원이 대형화하여 경제성의 면에서 제약이 컸다. 그러나 최근에는 특수한 용도의 선원 compact화가 진전되어, 그 공업적 이용도 꿈은 아닌 것으로 되었다. 반도체의 미세 가공 기술에의 응용도 실용화에 가장 가까운 거리에 있어 장래가 주목된다.

#### 4. 향후 전망

과거에 방사선 process는 기존의 화학 공정의 일부를 대신해 주는 것만으로 인식되었던 적이 있었으나, 최근에는 다른 공정으로는 얻을 수 없는 특색 있는 공정으로 인식되어지고 있으며, 방사선발생장치 또한 과학과 공학이 결합된 첨단기술산업으로 부가가치가 높고 시장리드형 산업으로 인식되고 있다. 방사

선발생장치에 대한 시장 전망은 세계적으로도 매우 안정적으로 성장하는 매력적인 시장으로 보여지며, 이에 따라 여러 선진국에서는 많은 투자가 이루어지고 있다. X-선 기기와 전자선 발생장치를 포함한 차세대 방사선 기술은 전자, 재료, 의학 정보공학 등 여러산업의 복합적 특성을 지닌 기술로서 고부가가치의 첨단 산업이므로 선진 각국에서는 중점 육성 산업으로서 각광받고 있다. 하지만 우리나라는 복합산업기술의 미흡과 첨단기술의 부족, 시장확보의 어려움 등의 요인으로 아직까지 활성화되지 못한 산업분야이다. 다행히 최근 들어 국내에서도 X-선 기기와 digital X-ray system에 대한 활발한 연구가 진행되고 있으며, 전자가속기의 기술 개발과 산업 응용 분야의 보급도 활발히 이루어지고 있으므로 가까운 시일 내에 국내 산업분야에도 많은 파급효과가 있으리라 기대된다.

#### 5. 참고문헌

1. '차세대 방사선 의료기기 핵심기술개발', 1997.11, 통상산업부 중기거점 기술개발 연구기획보고서
2. '방사선 물리학', 강영호 외, 1993, 학문사
3. '방사선의 응용현황과 금후의 전망', 일본 원자력공업 제39권 제2호, 1993.
4. IAEA/KFDA Training Course on Dosimetry & Quality Assurance in Radiation Processing, 1997.11, 식품의약품
5. 'An overview of the Radiation Curing Market in Japan', T.Sasaki, T.Yoshida, Proceedings of Radtech International North America '94, May, 1994.
6. 'Applied Radiation Chemistry', R.J.Woods, A. K.Pikaev, John Wiley & Sons Inc., 1994.