

전자빔을 이용한 PCBs 함유 폐절연유 처리방법

이면주 | 한국원자력연구원 책임 연구원
mjlee@kaeri.re.kr

잔류성 유기오염 물질(POPs, Persistent Organic Pollutants)중의 하나인 PCBs(Polychlorinated Biphenyls)는 그림1과 같은 화학적 구조를 형성하고 있는 물질로써 독성이 강하고 환경 중에서 잘 분해 되지 않고 잔류하며, 생물에 농축된다. 이 물질이 인체에

농축될 경우 암, 간기능 이상, 갑상선 기능저하, 갑상선 비대, 피부발진, 손톱 및 피부착색, 염화좌창, 면역기능 장애, 기억력·학습·지능장애, 반사 신경 이상, 생리불순, 저 체중아 출산 등이 현상이 유발될 수 있는 것으로 알려져 있다.

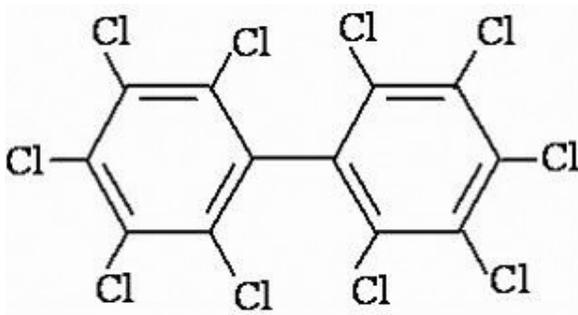


그림 1. PCBs의 화학적 구조

따라서 PCBs는 UNEP, 바젤협약 등 국제기구에서도 잔류성·생물농축성·장거리이동성의 특성을 가진 잔류성 유기오염물질로 분류하고 환경오염 및 관리문제를 국제적인 현안으로 다루고 있다. 또한 2004년 5월 발효되었고, 2005년 6월 현재까지 우리나라를 포함 151개국이 서명한 잔류성 유기오염물질의 관리에 관한 스톡홀름 협약에서는 2025년까지 PCBs 함유 제품을 사용 금지하고, 2028년까지 PCBs 함유 폐기물을 환경친화적으로 처리하도록 의무화하고 있다.

EU(2010년), 캐나다(2014년), 일본(2016년)등 세계 각국은 목표시한을 설정하고 PCBs가 함유된 제품과 폐기물의 단계적인 제거작업을 진행하고 있으며, 우리 정부에서도 2015년까지 PCBs를 근절할 목표를 세우고 있다.

폐기물 관리법적인 측면에서, 우리나라의 경우 PCBs가 2ppm 이상 함유한 제품의 재활용을 금지하고 있고 사용한 제품을 폐기하고자 할 때는 관련법에 따라 PCBs 농도를 분석한 후, 2ppm 이상을 함유한 폐기물은 지정폐기물로 분류하고 있다. 우리나라의 경우 변압기에 함유된 절연유가 PCBs의 주 오염원인 것으로 나타나 변압기 내 절연유를 중심으로 PCBs 함유 농도 조사, 적정관리 방안 및 처리방법에 고심하고 있다.

처리대상 법적 기준치 2ppm 이상의 PCBs 함유 절연유의 추정 누적물량은 발전회사가 시행한 표본조사를 기준으로 볼 때 대체로 19,500t 정도로 추정할 수 있으나, PCBs를 안전하게 처리할 수 있는 기술이 없어 현재는 외국기업에 위탁처리를 하고 있는 실정이어서 국내 환경문제뿐 아니라 외화낭비마저 유발되어 조속한 시일 내에 국내 실정에 적합한 처리기술의 개발과 이를 실용화하여 상용화하는 것이 시급한 실정이다.

절연유에 함유된 PCBs를 전자빔으로 분해하기 위하여는 그림2에서 보여주는 것과 같은 전자빔 가속기를 이용하여야 한다. 먼저, 전자빔을 형성하기 위한 전자들을 만들어야 하는데, 전자의 생성은 전자총(Electron Beam Gun)에서 이루어지게 된다. 전자총의 Filament에 전류를 흘려 Filament를 가열시키면, Filament의 온도는 약 2700℃의 고온으로 상승되며, Filament에서는 많은 수의 자유 전자를 방출하게 된다. 이때 전자

의 생성량은 Filament의 온도에 의해 결정되고, 고온일수록 많이 생성된다. 생성된 자유전자들의 속도 즉, 에너지는 양극(Anode)에 걸린 전위차로 조절하며 대상 물질 및 처리목적에 따라 조절할 수 있다.

산업용으로 사용되는 전자빔 가속기의 전자빔은 대개 100KeV - 10MeV의 에너지를 이용하며, 적외선(IR), 자외선(UV) 등의 전자파와 비교하여 에너지가 훨씬 높다.

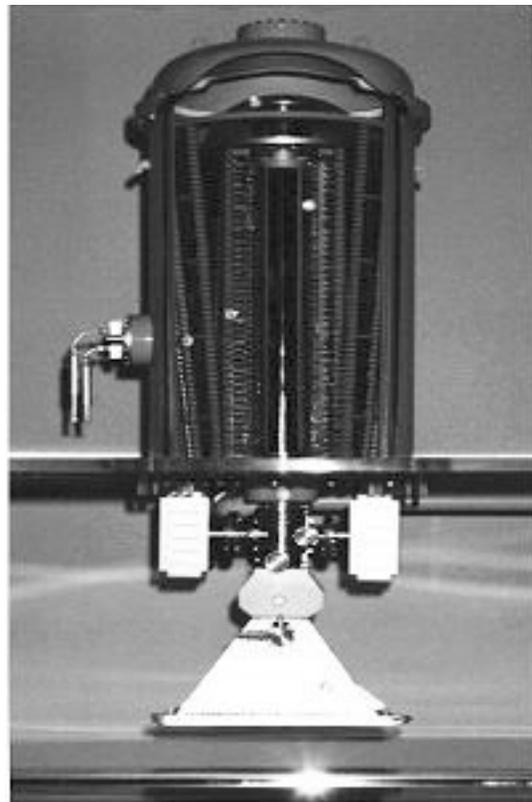


그림2. 전자빔가속기 모형

전자빔 가속기에서 전자는 광속에 가깝게 가속되며 가속된 전자들이 피조사 물질과 충돌하면 열에너지, 피조사 물질의 원자 또는 분자들의 이온화 에너지 및



Fig. 1 가속된 전자빔에 의한 PCBs의 탈염소화 반응기구

여기 에너지로 변환된다. 전자는 피조사 분자에 비해 매우 작은 질량을 가지기 때문에 충돌시 적은 에너지만 소실되며, 가속된 전자의 에너지가 모두 소진될 때까지 수많은 충돌을 하게 된다. 가속된 전자들에 의한 이와 같은 연쇄작용으로 1개의 전자로부터 생성되는 총 전자 수는 보통 약 십여 개에 이르며, 이와 같은 과정에서 수많은 이온, 라디칼, 여기상태의 분자 및 원자들이 생성되어 반응이 수초 내에 급격하게 일어나게 된다. 전자빔에 의하여 PCBs가 분해되는 반응을 도식화 하면 그림3과 같이 표현할 수 있으며, 양극의 전위차를 조절하면 결합에너지가 가장 작은 염소기만을 선택적으로 제거할 수 있다.

상기와 같은 이론적 근거하에 실제 (주)한전이 보유

하고 있는 폐절연유에 대한 전자빔 처리 결과는 표1과 같으며 고농도 또는 저농도에 관계없이 기준치 2 ppm 이하로 잘 처리할 수 있음을 알 수 있다.

전자빔을 이용한 PCBs의 처리기술은 전자를 이용하여 Biphenyl에 부착된 염소기만을 분리하는 방법으로 높은 열을 이용하여 PCBs를 함유한 절연유 전체를 완전히 분해하는 용융 또는 소각 방법이나, 여러 가지 화학물질, 첨가제 또는 촉매를 필요로 하는 기존의 물리/화학적 처리방법과는 달리, 높은 열이나 고압, 그리고 촉매나 화학물질의 첨가를 필요로 하지 않기 때문에 공정이 간단하며, 수 ppm에서 수 % 농도 범위의 PCBs를 상온과 상압에서 수 초 이내에 낮은

Fig. 1 가속된 전자빔에 의한 PCBs의 탈염소화 반응기구

구분	PCBs 농도 (ppm)	제조일련번호 (한전일련번호)	E-Beam 조사강도(kGy)	처리후 PCBs 농도(ppm)	
				LabFrontier	Eco-service
1	1.83	JP757111 (1311)	50	불검출	불검출
2	10.85	서울193P (580)	50	불검출	불검출
3	27.3	LYD1110 (1908)	50	불검출	불검출
4	98.91	B891726 (387)	50	불검출	불검출
5	853.18	15A0003 (758)	50	1.13	1.01
6			100	불검출	불검출
7			150	불검출	불검출
8			200	불검출	불검출

전기에너지로 2차 오염물질, 부산물 및 폐기물 등을 발생시키지 않고 처리할 수 있고, 처리한 후에는 재활용이 가능하므로 기존의 타 기술과 비교하여 매우 경제적이다.

또한 기존의 타 기술과 비교하여 공정이 간단하고, 상온과 상압에서 수 초이내에 처리되며, 낮은 전기 에너지만을 필요로 하고 부가적인 화학물질의 첨가를 필요로 하지 않기 때문에 폭발성, 2차 오염물질의 발생,

고온 및 가스취급에 따른 위험성을 내포한 기존기술과 달리 운전의 안전성이 매우 높다. 그리고 전자빔의 발생 및 사용원리는 TV의 브라운관 원리와 같으므로 단순히 전원스위치의 끄 과 켜 동작만을 숙지하면 되고, 모든 장치의 작동 및 동작확인이 원격으로 이루어지도록 시스템이 개발되어 있으므로 누구라도 운전이 가능할 정도로 매우 간편하다. 전자빔 발생장치의 수명이 매우 길어 일단 설치 후 별도의 추가적 보수 없이 장기간 사용이 가능한 매우 우수한 기술이라 할 수 있다.



- 1992년 인하대학교 박사
- 1992년 독일원자력연구소 연구원
- 1994년 일본원자력연구소 연구원
- 현 재 한국원자력연구원 책임연구원