

전력산업분야에서 배출되는 폴리머 절연 폐기물의 자원화

천성남*, 박철배*, 추철민*
한국전력공사 전력연구원*

Resources of Polymer Wastes produced from Electrical Industry

Sung-Nam Chun*, Chul-Bae Park*, Cheol-Min Chu*
Korea Electric Power Research Institute*

Abstract - 발전소에서 만들어진 전력을 소비자까지 수송하는 송변전변 및 배전설비를 주 대상으로 하는 전력계통 설비의 운영에는 전력의 수송과 이를 위해 설치되는 각종 기자재로부터 인체 및 재산의 안전을 확보하기 위해 많은 종류의 절연체를 사용하고 있다. 지금까지 전력분야에서 사용되어 온 절연체는 자기재(porcelain)가 주종을 이루어 왔으나 재료기술의 발달과 함께 폴리머 절연체들이 속속 개발되면서 자기재에 비해 가격 및 시공성 등에서 이점이 많은 폴리머 절연체가 자기재를 대체하고 있다. 그러나 폴리머 절연체는 그들의 재질 및 사용 환경 등에 따라 일정 수명을 가지는 것으로 나타나 수명종기에 이르르면 폐기물로 배출되게 된다. 전력산업 중 배전분야에서는 2007년 구대한 기자재를 기준으로 연간 13만여 톤의 전력폐기물이 발생될 것으로 예측되었으며 이들은 PE, XLPE, FRP, PVC, EPDM, Silicone 등 유기성분이 약 40%, Cu, Al, 철 등 금속과 무기성분이 약 60% 인 것으로 조사되었다. 그러나 전선 및 케이블류를 제외한 기자재를 대상으로 한 분석에서는 유기성분의 함량이 90%에 이르며 이들은 석유화학공업의 원료로부터 만들어지는 특성상 높은 에너지를 함유하는 것으로 나타난 바, 이들을 적절하게 처리하는 방안의 확보는 폐기물의 처리 외에 폐기물로부터 에너지를 회수하여 자원화하는 것이 가능한 것으로 보여진다.

사의 일부로 우리나라 배전급 기자재를 대상으로 사용 및 폐기물 배출 현황을 조사하였다.

2007년 6월을 기준으로 우리나라는 공강 397,116 km의 선로와 7,895 천대의 지지물 그리고 1,822,224 대의 배전설비를 운영하고 있다. 표 1에는 1980년과 비교한 2003년 이후의 주요 배전설비 변화추이를 정리하여 나타내었다.

<표 1> 우리나라 주요 배전설비 현황

연도 구분	1980	2003	2004	2005	2006	2007
선로공강 *(C-km)	122,919	376,454	380,363	385,510	393,305	449,962
지지물 (천기)	2,029	7,171	7,261	7,412	7,608	7,895
변압기 (천대)	264	1,619	1,652	1,715	1,788	1,829

* : 지중선 포함(지중화율 12.7%)

1. 서 론

2007년 말을 기준으로 우리나라의 발전용량은 6,800만kW를 넘어섰으며 전력계통분야에서는 공강 29,526 km의 송전선로와 669개 발전소의 변전설비 및 공강 401,485km의 배전설비를 운영하고 있다. 전기의 생산에서부터 최종소비에 이르기까지에는 많은 기술이 적용되지만 이를 단순화 하면 전력기술은 크게 전기를 생산하는 발전기술과 이들을 전력의 소비자에게 수송하기 위한 송·배전기술 및 적정 전압으로 공급을 위한 변전기술로 나누어질 수 있다. 발전기술과 관련한 환경문제는 발전연료를 연소하는 과정에서 각종 오염가스를 배출하는 것과 관련된 것으로 현재 우리나라 대부분의 발전소에는 배연가스의 탈황 및 탈질을 위한 오염제어설비가 운영되고 있다. 발전소에서 만들어진 전력을 소비자까지 수송하는 송변전변 및 배전설비를 주 대상으로 하는 전력계통 설비의 운영에는 전력의 수송과 이를 위해 설치되는 각종 기자재로부터 인체 및 재산의 안전을 확보하기 위해 많은 종류의 절연체를 사용하고 있다. 전력계통분야에서 주로 사용되는 인 절연체는 자기재(porcelain)가 주종을 이루어 왔으나 재료기술의 발달과 함께 폴리머 절연체들이 속속 개발되면서 자기재에 비해 가격 및 시공성 등에서 이점이 많은 폴리머 절연체가 자기재를 대체하고 있다. 그러나 폴리머 절연체는 그들의 재질 및 사용 환경 등에 따라 일정 수명을 가지는 것으로 나타나 수명종기에 이르르면 폐기물로 배출되게 된다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 우리나라의 배전선로와 기자재는 매년 꾸준히 증가하고 있으며 고품질 에너지에 대한 요구가 높아지는 편을 감안하면 향후에도 증가세는 계속될 것으로 예상된다. 아울러 인체 및 설비의 안전에 대한 규정과 절차도 강화되는 추세이므로 이와 관련한 절연요구의 강도도 강화될 것으로 기대된다.

폐 폴리머 절연체 등의 처리방안을 수립하는 가장 기본 적인 단계는 배출되는 기자재의 양을 파악하는 데에서 시작된다. 불행히도 아직까지 배전기자재의 사용과 관련해 폐기되는 절연체 등의 양을 정량적으로 평가한 자료는 확보되어 있지 못하다. 폐기되는 배전기자재로부터 배출될 폐절연체 등의 양을 추정하기 위해 2007년 한해 동안 한전 배전분야에서 구대한 기자재의 양과 각 기자재에 포함된 절연체 등의 양을 조사하였다. 조사결과에 따르면 2007년 한해 동안 한전의 배전분야에서는 대분류 53개 총 142종에 기자재를 구매하였다. 배전기자재의 사용 후 배출되는 폐기물의 양이 구매량과 일치하는 것은 아니지만 기자재별로 동일 수명 종기를 가진다고 가하여 장기적으로는 매년도 구매량에 비례하는 폐기물이 발생하는 것으로 가정하고 이런 가정에 폴리머 폐기물 함량을 반영해 구한 폐기물 배출량을 표 2에 나타내었다. 표 2에 나타낸 폐기물 배출량 산정결과와는 각 종 기자재에 포함된 폴리머 재료의 함량을 제조회사의 자료 및 실험분석자료를 바탕으로 계산한 것이다. 폴리머 기자재류에 포함된 각종 금속류, 도체, 첨가제 등으로부터 연간 약 13만 톤의 총 처리 대상 폐기물이 발생될 것으로 예상되며 이들은 다시 피복재료의 유기절연물 4만6천여톤과 구리등 도체 위주의 금속이 8만 6여 톤에 이를것으로 예상된다. 이를 바탕으로 산정한 폐기물의 처리량은 일 445톤 정도되며 시간당 20여톤 정도에 이를 것으로 보여진다.

환경보전에 대한 일반의 인식이 높아지면서 전력분야에서 배출되는 각종 폐기물의 적정 처리를 위한 요구도 높아지고 선진국들에서는 이에 대처하기 위한 각종 처리 및 활용방안을 강구하고 있다. 전력분야에서 사용되는 폴리머 재료들은 고순도의 석유화학제품을 사용하기 때문에 높은 열량을 가지는 것으로 나타난 바, 이를 적정처리하면 폐기물의 처리와 물질 및 에너지 회수가 가능한 것으로 알려져 있다. 본 고(稿)에서는 전력분야에서 배출되는 폴리머 폐기물의 양과 조성을 평가한 결과와 함께 이들을로부터 자원을 회수하기위한 방안에 대한 검토결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 폴리머 기자재의 사용과 폐기물 발생

우리나라에서 전력설비용 기자재는 전압과 선로 운영주체를 기준으로 송변전 및 배전급 기자재로 대별되며 여기에 사용되는 기자재들은 종류가 많고 동일 종류내에서도 규격별로 그 수가 다양하다. 따라서 본 연구에서는 이들을 일반적으로 다루기에 한계가 있는 것으로 판단하여 조

전선 및 케이블의 경우에는 현재 고가의 도체를 회수하여 재이용하기 때문에 대체로 용이한 폐전선 및 폐케이블의 회수가 이루어지고 있어 고가의 도체가 함유된 폐기물을 제외하고 애자류를 주 처리대상으로 계산한 폐기물량은 연간 1만8천여 톤 정도로 줄어들며 이들은 90% 이상이 유기물인 것으로 나타났으며 이들을 처리하기 위한 공정의 규모는 일당 60톤, 시간당 2톤 정도로 계산되었다. 폐기물 처리고정의 경제성을 높이기 위해서는 일정규모 이상의 처리설비를 유지하는 것이 필요한데 이런 목적으로 폐 전선 및 케이블의 절연체에서 배출되는 폴리머 폐기물과 애자류를 혼합 처리하는 경우 연간 4만 8천여톤의 폴리머 폐기물 발생이 예상되어 이를 처리하기 위한 장치용량도 160ton/day(7ton/hr) 증가하고 유기물 함량도 95% 이상으로 높일 수 처리경제성을 제고할 수 있을 것으로 보여진다.

〈표 2〉 배전분야 폐기물 발생량 산정

성분	유기물						무기물 GF, Si 등	금속			기타 (ZnO)	합계	일일처리량 (tons/day)	시간당처리량 (ton/hr)
	PE	XLPE	FRP	PVC	EPDM	Silicon e		Cu	Al	Iron				
발생량(tons/yr)	14,852	26,818	184	3,750	663	139	579	64,861	20,039	1,080	73	133,038	443.46	18.48
구성비(%)	11.2	20.2	0.1	2.8	0.5	0.1	0.4	48.8	15.1	0.8	0.1	100.0		
소계(tons/yr)	46,405						579	85,980			73	133,038		
구성비(%)	34.9						0.4	64.6			0.1	100.0		

2.2 유기성 폐기물의 원소분석

배전분야에서 배출되는 폴리머 폐기물의 처리 및 자원화 공정에서의 적용 가능성을 평가하기 위해 폴리머 폐기물중 대표적인 재료를 대상으로 원소분석을 실시하고 그결과를 표 3에 나타내었다.

〈표 3〉 폴리머 폐기물 주요성분의 원소분석

시료명	성분(%)					
	질소	탄소	수소	황	산소	염소 (ppm)
Silicon 애자	0.01이하	12.55	5.61	0.01이하	11.73	12.0
EPDM 애자	0.08	32.46	7.99	0.01이하	18.90	23.0
직선접속재 중간	0.08	59.21	10.02	0.01이하	1.01	6.4
XLPE(케이블)	0.01이하	80.51	17.69	0.01이하	1.21	22.3
직선접속재 표층	0.10	89.26	10.35	0.01이하	0.18	10.9
PVC 자켓	0.01이하	47.37	5.76	0.01이하	15.01	22.9
애자 rod (FRP)	0.07	20.91	2.33	0.01이하	6.53	9.0

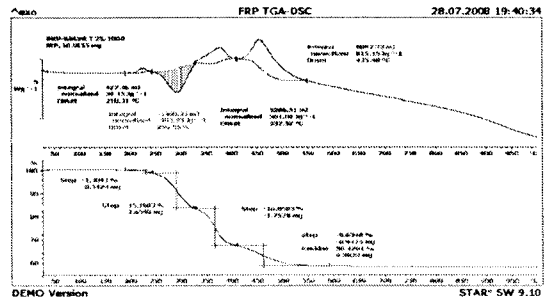
폐기물의 원소성분을 분석한 결과에 따르면 XLPE와 직선접속재 표층에 사용된 소재에서 탄소와 수소의 함량이 높게 나타났으며 직선접속재 중간층과 PVC 자켓을 제외한 나머지 소재들 대부분에서는 이들의 함량의 합이 50% 이하로 나타났다. 이는 애자의 경우 자연연화의 방지와 기계적 강도를 높이기 위해 ATH(Aluminum Trihydroxide)나 점토와 같은 무기물을 첨가하기 때문으로 보이며 애자 rod로 사용되는 FRP의 경우에는 강도 보강제로 유리섬유를 사용하기 때문으로 생각된다. 각 샘플 모두에서 질소분은 그다지 높지 않아 고온 열분해에 의한 처리에서 질소산화물의 발생은 그다지 우려되지 않는 것으로 보이며 황 및 염소 성분의 존재로 열적 처리를 하는 경우 오염 제어장치의 설치가 필요한 것으로 판단된다. 특히 염소성분이 높은 유기성 폐기물의 저온 열처리에서는 다이옥신과 유독성 오염물의 배출에 대한 염려가 있으므로 고온 열분해와 같은 열적 처리가 적합한 처리 대안으로 추천될 수 있다.

2.3 열분석 및 열분해 특징

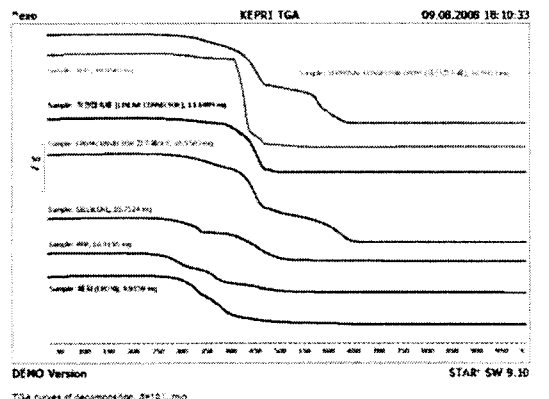
전력분야에서 배출되는 폴리머 폐기물의 열처리 가능성을 검토할 목적으로 7개의 대표 시료를 대상으로 열분석(TGA 및 DSC)을 수행하였으며 그림 1에는 열분석 결과의 일례로 FRP의 DSC 및 TGA 측정결과를 그림 2에는 전체 시료의 TGA 결과를 나타내었다.

〈표 4〉 폐기물 종류별 열분석 결과 종합

Components	Phase 1		Phase 2		Phase 3		Phase 4		Final		
	T1(°C)	Weight reduction(%)	T2(°C)	Weight reduction(%)	T3(°C)	Weight reduction(%)	T4(°C)	Weight reduction(%)	Tf(°C)	Weight reduction(%)	Residue(%)
FRP rod	240	1.3	330	15.2	410	16.1	590	8.6	590	41.2	58.8
EPDM(Insulator)	678	51.9							678	51.9	48.1
Silicone(Insulator)	380	16.2	590	29.5					590	45.7	54.3
Connector(Linear)	385	6.2	470	48.3	562	3			562	57.5	42.5
EPDM(Cable cover)	400	16.4	530	48.9	735	28.3			735	93.6	6.4
EPDM(Terminal cover)	390	13.7	490	45.2	705	34.6			705	93.5	6.5
XLPE(Cable)	400	5.6	440	78.3	475	11.5	600	3	600	98.4	1.6



〈그림 1〉 FRP의 DSC 및 TGA 분석 예



〈그림 2〉 시료 7종의 TGA 분석 결과

그림 1에서는 애자의 로드로 사용되는 FRP가 모두 4단계의 분해 과정을 거쳐 약 600 °C에서 유기물의 분해가 완료됨을 알 수 있으며 각 과정에서 수수되는 열량을 확인할 수 있다. 그림 2로부터 각 단계의 분해를 거치고 난 폐기물 잔류량을 확인할 수 있는데 FRP의 경우 초기무게의 약 60%가 잔류물로 남게 됨을 보여주고 있다. 각 폐기물 별로 열분석 실험을 통해 확인된 열분해 종료 온도와 잔류물 비율을 정리하여 표 4에

나타내었다. 표 4에 나타난 바와 같이 각 폴리머 폐기물은 폐기물의 특성에 따라 서로 다른 온도에서 서로 다른 단계를 거쳐 열분해가 일어날 수 있다. 따라서 이들 폐기물을 개별 열처리하는 경우 서로 다른 운전 온도를 유지할 필요가 있으며 혼합하여 처리하는 경우에는 최고 온도값 이상으로 유리하여 처리하는 것이 필요한 것으로 생각된다.

표 3과 표 4를 비교할 때 표 3에 나타난 원소분석 결과로부터 예상되는 폐기물의 감량 가능량보다 표 4에 나타난 열분석 결과로 평가한 질량 감소량이 크게 나타나고 있는 바, 이는 분석방법의 차이와 원소분석의 경우 6개 성분만을 측정 대상으로 한 한계 등이 원인으로 보아지며 보다 정확한 유기물 함량과 물질 및 에너지 회수량 산정을 위해 추가적인 분석과 검토가 이어져야 할 것으로 보여진다.

2.4 열분해 공정 구성

전력분야에서 배출되는 폴리머 절연폐기물들이 유사한 계열의 다중 폴리머 폐기물인 경우 높은 열량을 가지는 특성을 보이는 점을 감안하여 이들을 열분해하여 자원화할 수 있는 최적 공정 공정구성방안에 관한 검토를 수행 중이다. 현재까지 검토되는 주요 내용은 여러 가지 폴리머 폐기물들을 전 처리 공정을 최소화 하면서 동시 처리가 가능한 형태이면서 물질 및 에너지의 회수율이 높아 자원화를 달성하기 용이도록 하는 것에 중점을 두고 있다. 또한 열분해 처리 공정 이후에 남게 되는 최종 산물이 환경적으로 안정해야 하며 발생량이 적어야 한다. 또한 생성되는 산물의 자원화를 위해 소요되는 비용 및 에너지가 최소화 될 수 있어야 하는 등의 요구사항을 만족해야 한다. 이를 위해서는 앞에서 검토된 폐기물의 발생량과 배출특성 및 이들의 성상과 열적 특성 등이 충분히 반영되어야 하며 현재 이들을 고려한 공정의 설계가 진행 중에 있으며 이와 관련된 연구결과는 이어서는 논문에서 발표하기로 한다.

3. 결 론

우리나라 전력분야에서 배출되는 폴리머 폐기물의 정적처리를 달성 함은 물론 이들로 부터 자원 및 에너지를 회수하기 위한 방안을 수립하기 위한 일련의 연구의 하나로 본 연구에서는 우리나라 배전분야를 대상으로 폴리머 전력폐기물의 발생량을 평가하고 이들의 처리를 위한 기초 자료의 하나로 성상 및 열분석을 수행했으며 중요한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 2007년 배전기자재 구매 내역을 기준으로 평가한 연간 폐기물 총 발생량은 13만톤에 이를 것으로 예상되며 이중 유기물은 약 40%, 도체 등 무기물은 약 60% 이를 것으로 예상된다. 도체를 제외한 전선 및 케이블의 피복 등 절연물과 애자 등만을 대상으로 산정한 배출량은 연간 약 4만 8천여 톤을 처리하기 위한 시설의 규모는 7 ton/hr 정도 될 것으로 평가된다.

2. 폐기물의 원소성분을 분석한 결과에 따르면 XLPE와 직선접속재 표층에 사용된 소재에서 탄소와 수소의 함량이 높게 나타났으며 직선접속재 중간층과 PVC 자켓을 제외한 나머지 소재들 대부분에서는 이들의 함량의 함이 50% 이하로 나타났다. 반면 열분석 결과로 평가한 질량 감소량이 원소분석의 그것에 비해 크게 나타나고 있는 바, 이는 분석방법의 차이와 원소분석의 경우 6개 성분만을 측정 대상으로 한 한계 등이 원인으로 보아지며 보다 정확한 유기물 함량과 물질 및 에너지 회수량 산정을 위해 추가적인 분석과 검토가 이어져야 할 것으로 보여진다.

3. 폐기물 발생량, 배출특성, 원소분석 및 열분석 결과를 이용하여 이들의 적정 처리와 자원화를 이룰수 있는 공정을 설계 중이며 이 결과는 후속 논문에 발표할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 안태완 · 이동호 · 박이순 · 이상원 · 정한모, 고분자물성, 한국학술진흥재단
- [2] Deng Na, Zhang Yu-feng, and Wang Yan, Thermogravimetric analysis and kinetic study on pyrolysis of representative medical waste composition, Waste management(2007)
- [3] 한국전력공사, 전력설비 현황통계(2008)