

**폴리머 절연폐기물 열분해 특성에 관한연구**

**박철배**, 천성남, 이병성, 민동예  
한국전력공사 전력연구원

**The Study on the Character of Pyrolysis of Polymeric Waste**

Park Chul-bae, Chun Sung-nam, Lee Byung-sung, Min Dong-ye

**Abstract** - 전력기술의 발전함에 따라 절연소재 또한 급속한 발전을 가져왔다. 특히, 오랫동안 사용해온 자기제 절연물에서 시공의 용이성, 경량성, 내오염성 등과 같은 장점을 가진 폴리머 절연물로 대체 되어 사용되어져 왔다. 폴리머 애자는 1980년대 말에 최초로 사용되기 시작 하여 2007년 한 해 동안 약 100만 여개의 폴리머 애자가 배전선로에 사용되고 있다. 이러한 폴리머 절연재료는 그 수명이 20년 이상으로 보고되어지는바, 그 수명이 종기가 다가와 폐기되는 폴리머 양이 점차적으로 증가할 것이다. 본 연구는 폴리머 애자의 열분해 특성연구에 이어 현재 배전선로에 쓰이고 있는 전선류를 포함한 폴리머 절연 폐기물의 열분해 특성에 관한 연구를 수행하였으며, 향후 폴리머 절연 폐기물을 경제적으로 처리하여 자원화하기 위한 기초 연구로 활용하고자 한다.

표 1에서와 같이 폴리머 절연물은 대부분 탄소와 수소로 구성되어 있으며, 특히 접속재와 케이블에서 함량이 높고 애자류에서는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이러한 특성은 애자의 기계적 특성과 트레이킹 성능을 향상시키기 위해 구성성분 중 필러(filler)나 첨가제(ATH, Clay, FRP 등)가 많이 사용되기 때문이다. 폐기물처리의 가장 흔한 방식인 소각으로 이를 처리한다면 저온에서의 산화에 따른 오염물질의 발생이 필연적이며, 구성성분 중 황 및 염소는 황산화물과 염소계의 유독성 대기오염물질을 배출하게 될 것이다. 하지만, 현재 일부에서 개발 중인 고온 플라즈마 열분해 공정으로 이들을 처리 한다면 syn-gas 나 카본블랙(carbon black) 등과 같은 자원을 회수할 수 있을 것으로 판단된다.

**1. 서 론**

전력사업의 모든 분야에서 환경문제가 최대 이슈화되고 있어 환경을 무시할 수 없는 지표가 되었다. 환경문제에 대한 하나의 해결책으로 자원 재활용에 대한 관심이 높아지고 있으며, 폐기물 처리에 있어서도 재활용 및 자원 재순환의 개념을 도입하여 폐기물의 재이용 방법을 강구하거나 폐기물을 단순히 소각하는 처리방법을 넘어 열분해에 의한 에너지 회수기술에 관심을 가지기 시작하였다.

전력회사에서 폴리머 절연물 사용량이 급격히 증가하고 있다. 케이블, 애자류에 제한적으로 사용되던 폴리머 재료가 개폐기, 변압기, 각종 외함, 전주 등으로 급속히 확대되고 있어 향후 경제적이고 환경적인 처리문제가 대두될 것으로 판단된다.

폴리머 절연 폐기물의 성상이 대체로 일정하며 고열량을 가지는 잠재 에너지가 높은 재료임에도 불구하고 열분해 처리와 관련하여 기술개발이 늦은 원인은 발생량이 그다지 많지 않고 전국에 걸쳐 발생하므로 수거하는데 추가적인 비용이 소요될 수 있다는 판단 때문이다. 지금까지 대부분의 폐기물 처리공정이 일정정도 이상의 규모가 되어야만 경제성을 확보할 수 있게 되기 때문에 절연폐기물이 그다지 매력적인 처리대상이 되지 못해왔다. 하지만 환경문제에 대한 관심이 높아지고 자원의 재이용에 대한 요구가 급증할 뿐 아니라 그 결과로 오염물질의 배출이 최소화되는 점에서 소량의 자원도 효율적으로 재이용하는데 관심을 두고 있다. 그리고 폐기물 자원화 연구 분야에 많은 연구 인력이 활동하고 있으며, 처리공정도 단순화하여 처리비용이 점차 낮아지고 있다.

본 연구 폴리머 애자의 열분해 특성에 관한 연구에 이어 배전계통에서 사용되고 있는 폴리머 절연물에 대해 열분해 특성을 연구하였으며, 향후 폴리머 절연 폐기물의 재이용 기술의 기초 연구자료로 활용하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 원소분석**

전력사업을 위해 사용되고 있는 전선류를 포함한 폴리머 절연물을 대상으로 처리 및 자원화 공정의 적용가능성을 평가 하기 위해 표 1과 같이 원소 분석을 실시하였다. 원소분석은 Fisons사의 EA1108를 사용하였으며 1,800 °C에서 연소시킨 시료의 연소 기체를 고순도로 Cu로 환원시킨 후 GC에 통과시켜 각 성분의 양을 측정하여 표 1에 나타내었다. 제조사에 따라 약간의 차이는 있을 수 있으나 대체적으로 유사하다.

**<표 1> 폴리머 절연재료의 원소성분 분석 결과(%)**

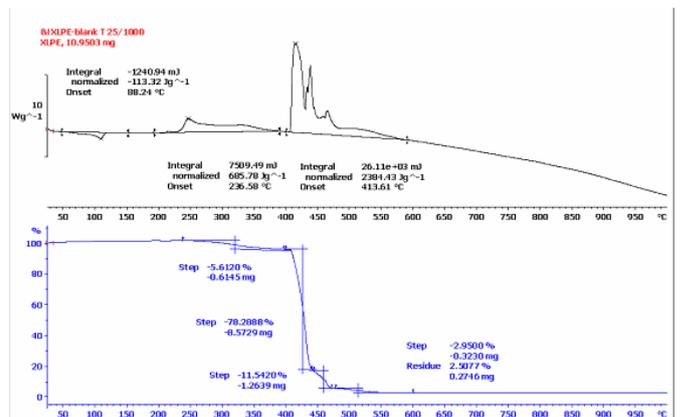
소재명	Nitrogen	Carbon	Hydrogen	Sulphur	Oxygen	Chloride
애자 rod (FFR)	0.07	20.91	2.33	0.01이하	6.53	0.0009
EPDM 애자	0.08	32.46	7.99	0.01이하	18.90	0.0023
Silicon 애자	0.01이하	12.55	5.61	0.01이하	11.73	0.0012
직선접속재 중간	0.08	59.21	10.02	0.01이하	1.01	0.0006
PVC	0.01이하	47.37	5.76	0.01이하	15.01	0.0023
직선접속재 표층	0.10	89.26	10.35	0.01이하	0.18	0.0011
XLPE	0.01이하	80.51	17.69	0.01이하	1.21	0.0022

**2.2 열분석**

폴리머 폐기물 종류에 따른 열분해 특성 데이터를 얻기 위해 열중량 분석계(Thermal Gravity Analysis : TGA)와 시차주사 열량계(Differential Scanning Calorimeter : DSC)를 이용하였다. 본 논문에서는 케이블 절연물인 XLPE에 대해서 기술하였다. 애자 절연물은 이전 문헌에서 연구되었으므로 제외하였다.

**가. XLPE (Cross linking-polyethylene)**

XLPE 는 순도가 높은 폴리에틸렌(Polyethylene, PE)에 유기가황제를 혼합하여 가교설비로 PE를 가교시켜 PE에 열경화성의 점단성 성질을 부여한 재료로 고전압 절연재료 즉 케이블에 사용되는 절연재료이다.

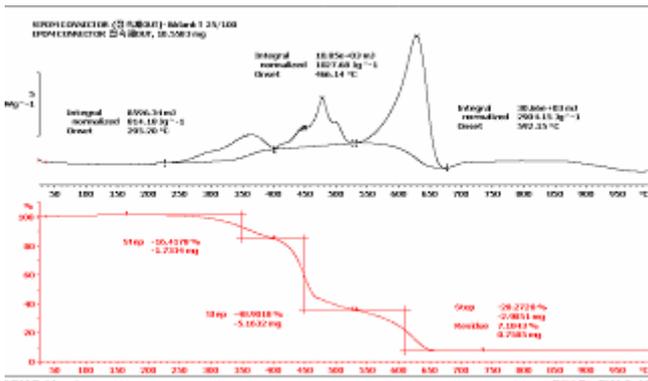


**<그림 1> XLPE의 TGA-DSC curve**

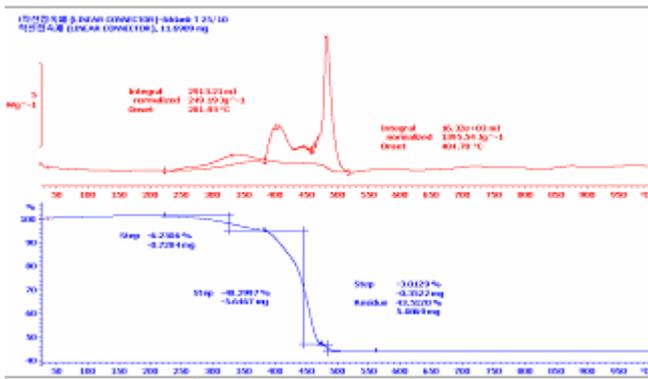
그림 1은 50 ℃ ~ 120 ℃ 근처에서는 흡열 피크(peak)가 있어 분해특성이 나타나긴 하였지만, 이후 발열 특성을 나타내면서 450 ℃ 이하에서 비교적 빠르게 분해 반응이 진행되어 600 ℃ 근방에서 열분해가 완료된 후 약 2.5 % 정도의 잔류물만이 남는 높은 열분해 특성을 보이고 있다

**나. 접속재**

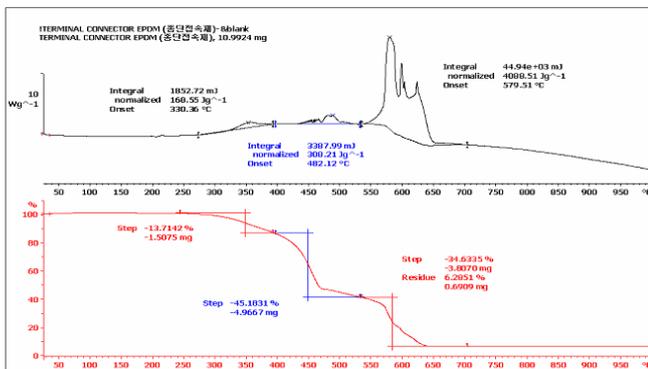
그림 2, 그림 3 및 그림 4는 각각 접속재의 표면, 중간 및 종단의 열분석 결과를 나타내었다. 접속재 표면은 650 ℃ 근방에서 열분해가 완료되는 산화성 발열 특성을 나타내며 이때의 잔류량은 7 % 정도로 낮게 나타났다. 직선 접속재 중간 시료는 550 ℃ 근방에서 열분해가 완료되나 약 43 %의 잔류물이 나타나 중간층과 표층사이의 재료적 차이를 나타낼을 알 수 있었다. 그림 4의 종단접속재의 경우에는 700 ℃ 근방의 상대적으로 높은 온도에서 분해가 완료되며 잔류량은 6.3 %로 낮게 나타났다. 이들 잔류량의 차이는 표 1에 나타난 원소성분의 결과와 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다.



<그림 2> 접속재 표면 시료의 TGA-DSC 커브



<그림 3> 직선접속재 중간 시료의 TGA-DSC 커브



<그림 4> 종단접속재 시료의 TGA-DSC 커브

**2.3 폴리머 절연물의 열분해 특성**

이상의 폴리머 절연재료의 TGA-DSC 열분석 결과로부터 이들의 개별 및 혼합처리를 위한 열분해 조건 산정을 위한 열분해 온도 자료를 표 2에 정리하였다.

<표 2> 재료별 열분해 조건 및 잔류량

Components	Phase 1		Phase 1		Phase 1		Phase 1		Final		
	T1 (°C)	Red. W(%)	T2 (°C)	Red. W(%)	T3 (°C)	Red. W(%)	T4 (°C)	Red. W(%)	Tf (°C)	Residue (%)	
FRP rod	240	1.3	330	15.2	410	16.1	530	8.6	530	41.2	58.8
EPDM (Insulator)	678	51.9							678	51.9	48.1
Silicone (Insulator)	380	16.2	530	29.5					530	45.7	54.3
Connector (Linear)	385	6.2	470	48.3	562	3			562	57.5	42.5
PVC	400	16.4	530	48.9	735	28.3			735	93.6	6.4
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

표 2는 폴리머 재료별 열분해 온도 및 잔류량을 표로 나타낸 것으로서 FRP rod의 경우에는 총 4단계의 걸쳐 열분해가 이루어졌고 EPDM의 경우는 2단계에 걸쳐 이루어졌다. 폴리머 절연물의 최고 열분해 온도는 750 ℃ 최저 온도는 600 ℃로 나타나 적정 처리 온도는 약 700 ℃ ~ 800 ℃로 판단된다. EPDM이나 실리콘(Silicone)으로 만들어진 애자나 접속재는 잔류물이 약 50 % 정도인데 이는 무기성분의 필러(filler)나 첨가제 때문인 것으로 보인다. 또한 케이블의 경우 특정온도에서 급격하게 열분해되는 특성을 보이는 것은 PE의 가교 결합이 끊어지면서 열분해가 가속화 된 것으로 생각된다. 폴리머 절연물의 열분해 온도 및 진행과정에 차이가 있기는 하지만 향후 혼합 처리시의 적정 열분해 온도는 약 700 ℃가 적절할 것으로 판단된다.

**3. 결 론**

전력사업에 사용하고 있는 폴리머 절연물을 대상으로 열분해 특성에 관한 연구를 수행하였다. 점차 증가하고 있는 폴리머 절연 폐기물을 처리하기 위한 공정개발에 필요한 데이터이다. 본 연구를 통해서 폴리머 절연물별 열분해 적정온도를 결정하였으며, 원소분석을 통해 자원 회수의 가능성을 확인하였다. 폴리머 절연폐기물의 처리 및 재이용을 위한 최적 공정 개발을 진행 중에 있다.

1. 폴리머 절연물의 원소분석 결과 탄소와 수소가 주성분을 이루었으며, 미량의 황(sulfur)와 염소(chloride) 성분도 존재하는 것으로 나타났다.
2. 소각에 의해 폴리머 절연물을 처리시 저온영역에서 황(sulfur)과 염소(chloride)에 의한 황산화물과 염소계의 유독성 대기오염물질을 배출될 수 가능성이 있을 것으로 판단된다.
3. 대부분의 폴리머 절연물의 조성이 유사하여 혼합 처리가 가능할 것이며, 열분해 온도는 800 ℃가 적절할 것으로 판단된다.
4. 폴리머 절연물별 열분해 가스의 조성에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이를 재이용하기 위한 공정이 개발될 것이다.

**[참 고 문 헌]**

1. Paul T. Williams : Analysis of products from the pyrolysis and liquefaction of single plastics and waste plastic mixtures
2. 한국전력공사 : 2008 배전실무
3. 한국전력공사 : 2008 자재 실무편람
4. Nigun Kiran Ciliz : Pyrolysis of virgin and waste polypropylene and its mixtures with waste polyethylene and polystyrene