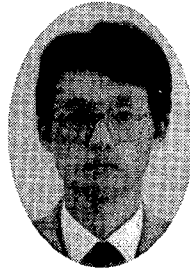


친환경 전선 절연재료 개발 동향



이건주

LG 전선 전선연구소 절연재료기술그룹 책임연구원

1. 서 론

환경문제는 세계적으로 초미의 관심사로 부각되고 있으며, 지구 온난화, 오존층 파괴, 산성비, 환경 호르몬 문제, 토지, 수질 및 해양 오염 등에 대한 환경 보전 활동이 활발히 진행되고 있다¹. 한편, 선진 기업들은 환경 문제를 단순히 법규 준수를 위한 방어적, 수동적 대응 차원을 넘어 환경 우수성이 수익성과 경쟁력 제고의 필수요건이라는 점을 인식하고 이를 회사의 궁극적 비전으로 확립하여 선행적, 적극적으로 대응해 나가고 있다.

전선 및 케이블 절연재료 분야에서도 할로젠 원소나 중금속을 함유한 제품에 대해서는 환경 오염의 문제가 대두되고 있다. 즉, 할로젠을 함유하는 대표적 수지인 PVC의 경우 소각 처리시 다이옥신의 발생, 매립 처분시 재료내 함유되어 있는 납 안정제로부터 납 이온이 침출되는 등 환경 오염의 위험성이 제기되고 있으며, 최근에는 이에 더하여 PVC 가소제로서 널리 사용되고 있는 프탈산 에스테르가 내분비계 장애물질 즉, 환경호르몬으로서 의심되고 있다².

한편, 전선 공업에서는 80년대 중반이후 “Halogen free 난연” 재료 개발을 위한 노력이 지속되어

왔다. 이는 PVC 또는 할로젠 난연제가 함유된 절연 및 시스 재료의 경우 연소시 독성 가스와 연기를 다량 발생시키기 때문에 화재시 인명피해를 증대시킬 수 있다는 우려가 지적 되었기 때문이다³. 이러한 “Halogen free 난연” 재료는 전선 소각시의 할로젠

표 1. 저독성 난연 폴리올레핀 전력 제어용 케이블 및 절연전선의 종류(KSC 3341)

| 종 류 | 기 호 |
|---|-----------------|
| 6.6kV 가교폴리에틸렌 절연 저독성 난연 폴리올레핀 시스 전력용케이블 | 6.6kV HFCCO |
| 600V 가교폴리에틸렌 절연 저독성 난연 폴리올레핀 시스 전력용케이블 | 600V HFCCO |
| 600V 저독성 난연가교폴리올레핀 절연 저독성 난연폴리올레핀 시스 전력용케이블 | 600V HFIXO |
| 600V 가교폴리에틸렌 절연 저독성 난연 폴리올레핀 시스 제어용케이블 | 600V HFCCO |
| 600V저독성 난연가교폴리올레핀 절연 저독성 난연폴리올레핀 시스 제어용케이블 | 600V HFIXO |
| 600V 저독성 난연폴리올레핀 절연전선 | 600V HFIO, HFIX |

에 의한 환경 부하의 문제점 개선은 물론, 인간의 안전을 고려했다는 관점에서 친환경 전선 개발의 근간이 되고 있는데, 이미 국내 통신, 전력 및 해양/선박용 케이블 등 일부 제품에 적용되고 있다. 또한 1998년 “저 독성 난연 전력, 제어용 케이블 및 절연 전선”이 KS 표준으로 제정 됨으로써(표 1)³, 향후 친환경 전선의 확대 적용이 예상되고 있다.

2. 친환경 전선

친환경 전선이란 원재료, 생산, 수송, 사용 및 폐기 등 전 과정에서 환경 영향성이 적은 제품을 일컫는다. 제품의 환경성 평가는 전과정 평가(life cycle assessment : LCA) 프로세스가 주로 이용되는데, 이는 제품의 생산에서 폐기되는 동안의 자원, 에너지 소비 및 환경 배출물을 파악하고 정량화하여 비교함으로써 제품의 환경성 정보를 제공한다. LCA에서의 주요 평가 영향 범주는 1) 무생물 자원 고갈, 2) 지구 온난화, 3) 오존층 고갈, 4) 광화학산화물 생성, 5) 산성화, 6) 부영양화, 7) 생태독성, 8) 인간독성 등이다. 이러한 평가 도구는 소비재의 환경성 평가에 우선 이용되고 있으며, 최근에는 전선의 경우에도 일부 품목의 LCA 평가 사례가 보고 된 바 있다^{4, 5}. 친환경 설계(design for environment : DFE)는 LCA의 평가 결과를 기초로 하여 이루어 질 때 보다 효과적으로 행하여 질 수 있다.

일본의 경우 1998년 “Eco-material”을 사용하는 “EM 전선 및 케이블”을 규격화하고 관공서 건물 신축에 우선 적용하고 있는데, 그 기본 개념은 환경 영향 물질 제거, 자원 및 에너지 절약, 분별 및 재생 용이, 화재시 안정성 확보 등이다⁶.

3. 친환경 절연 재료 설계

전선은 전력, 통신 및 전자/기기용 등으로 구분 할 수 있으며, 그 용도에 따라 각종 고무, 고분자 재료가 사용되고 있다(표 2). 전선용 절연재료(또는 시스 재료)의 친환경 연구를 위한 주요 과제는 1) 할로겐 및 중금속 등 환경 영향 물질 배제, 2) 리사이클 가능한 재료로의 대체, 3) 화재시의 안정성 향상이다⁶. 특히 친환경 설계시 제조 cost가 증가 함에도 불구하고 친환경 전선 연구가 활발하게 이루어지고 있는 것은 바로 전선의 난연 특성과 함께, 연소시의 독성, 부식성 가스 및 연기 발생량의 규제가 강화되고 있기 때문이다.

표 2. 전선용 절연 및 시스 재료

| 구분 | 재료명 |
|----|---|
| 절연 | XLPE(crosslinked polyethylene) |
| | EPR(ethylene propylene rubber) |
| | FR-EPR(flame retardant EPR) |
| | FR-XLPO(flame retardant crosslinked polyolefin) |
| | PVC(polyvinyl chloride) |
| | XL-PVC(crosslinked PVC) |
| | Silicone rubber |
| | NR(natural rubber) |
| | PVDF(polyvinylidene fluoride) |
| | ETFE(ethylene tetrafluoroethylene) |
| 시스 | PVC |
| | LDPE(low density polyethylene) |
| | HDPE(high density polyethylene) |
| | NR |
| | CR(chloroprene rubber) |
| | CSP(chlorosulphonated polyethylene) |
| | FR-XLPO |

3.1 할로겐 및 중금속 물질 배제

PVC 또는 폴리올레핀 수지에서 비교적 우수한 난연성을 발휘하는 특정 브롬계 난연제(decabromo diphenyl ether : DBDE)의 경우 다이옥신 발생 물질로 의심받고 있으며, 일부 유럽 국가에서는 그 사용이 금지 되고 있다. 이에 대한 대처로서 非 decabromo 타입의 브롬계 난연제를 사용하거나, 수산화 알루미늄(aluminium hydroxide : Al(OH)₃), 수산화 마그네슘(magnesium hydroxide : Mg(OH)₂)과 같은 금속수산화물 또는 인계 난연제 등이 사용될 수 있다⁷.

PVC의 열안정성을 향상시키기 위해 첨가되는 납 안정제의 경우에도 Ca/Zn 계 안정제 등 대체 물질이 개발되어 있으나, 경제적인 이유로 인하여 일부 용도에만 제한적으로 사용되고 있다².

이와같은 재료들은 궁극적으로 할로겐을 함유하지 않는 재료 즉, Halogen free 재료로 대체 될 수 있으며, 실제로 케이블 시스로 많이 사용되고 있는 PVC의 경우 폴리에틸렌 또는 Halogen free 난연 폴리올레핀의 사용이 점차 증가되고 있다.

3.2 리사이클 가능한 재료로의 대체

송, 배전 전력 케이블의 절연재료로 사용되는 가교 폴리에틸렌(crosslinked polyethylene ; XLPE)의 경우 리사이클이 어렵다는 점에서 폴리프로필렌 등으로의 대체 연구가 일부 진행된 바 있으나⁶ XLPE의 절연 성능 및 열적 안정성을 대체할 수 있는 재료는 아직 없는 실정이다. 한편, XLPE의 리사이클을 위한 연구로서 열분해에 의한 오일 추출 공정 개발이 진행되고 있다. 또한 제조 공정을 보다 청정화 하여 XLPE의 절연두께를 줄이는 노력 역시 자원 및 에너지 절약 측면에서 친환경 개발이라고 볼 수 있다. 조사가교된 PVC와 폴리올레핀 절연을 리사이클 가능한 열가소성 폴리올레핀(thermoplastic polyolefin ; TPO) 또는 폴리에스터(thermoplastic polyester ; TPE)로 대체하는 연구가 있다. 이는 리사이클이라는 환경 친화적 요소 이외에 가교 공정 생략을 통한 에너지 절약이라는 경제적 이점이 있다.

리사이클과 관련된 노력으로서 절연, 충실 및 시스템 재료를 가능한 동일재료 또는 상용성이 있는 재료를 사용함으로써 폐기 케이블에서의 분리작업을 용이하게 설계하거나², 분리 장치를 개발하는 등의 연구를 들 수 있다⁸.

표 3. 전선 난연성 평가를 위한 시험 표준

| FIRE PROPAGATION | SMOKE EMISSION |
|------------------|----------------|
| ASTM D2863 | ASTM E662 |
| IEC 60332-3 | IEC 61034 |
| IEEE 383 | |
| UL 1581 | |
| UL 1666 | |
| UL 910 | |
| TOXICITY | CORROSIVITY |
| NES 713 | IEC 60754754-1 |
| | IEC 60754-2 |
| | MIL C24643 |

3.3 화재시의 안정성 향상

Halogen free 난연 재료의 적용이 케이블 전 품목으로 확대 되면서 각종 전선 품목 및 시험 표준을 만족할 수 있는 재료 연구가 활발히 이루어지고 있다. 국

내에서 Halogen free 난연 재료를 적극적으로 채용하고 있는 품목은 전력 및 통신 케이블, 선박/해양 케이블 등이며, 유럽에서는 이외에도 LAN 케이블, 원자력 발전소용 케이블, 철도차량 및 자동차용 전선, 각종 전자/기기용 전선 등 전 품목에 걸쳐 사용하고 있다.

화재 안전성 평가는 난연(flame propagation), 연기발생(smoke emission), 연소가스의 독성(toxicity), 부식성(corrosivity) 등 4개 항목으로 구분 할 수 있는데, 전선의 난연성 평가에 많이 적용되는 시험 표준은 표 3과 같다⁹.

현재 사용되고 있는 Halogen free 난연재료는 주로 폴리올레핀 수지에 $Al(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ 등의 무기난연제를 충전한 것들이다. 이러한 무기난연제들은 기존 할로겐 난연제들에 비하여 난연 효과가 낮기 때문에 난연제를 다량 충전 시켜야 하는데, 이로 인하여 기계적 특성, 가공 특성이 떨어지는 단점을 갖는다. 이를 극복하기 위한 기술로는, 고분자 블랜드, 상용화제 또는 커플링제 등을 첨가하거나, 포화 또는 불포화 지방산으로 표면 처리된 난연제를 사용하는 기술, 그리고 적인, 붕소화 아연, 실리콘 등의 보조 난연제 관련 기술 등이 소개되어 있다².

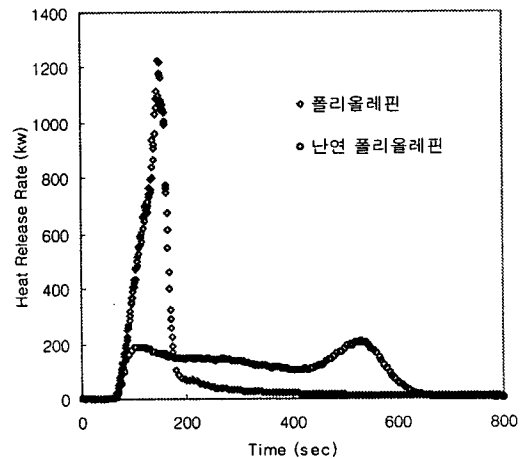


그림 1. 난연제($Mg(OH)_2$) 충전에 따른 폴리올레핀 수지의 Heat Release Rate 변화

각종 난연제는 난연 성능이 발휘되는 메커니즘이 다르다. 그러므로 보다 효과적인 난연재료 개발을 위해서는 연소 및 난연 메커니즘을 보다 심도있게 연구해야 한다. 최근 콘 칼로리메타(Cone calorimeter)

등의 설비가 개발되어 있어 이 부분의 연구가 활발히 진행되고 있다. 그림 1은 콘 칼로리메타를 이용하여 난연제(Mg(OH)₂)를 충전하지 않은 재료와 충전한 재료의 연소 시간에 따른 Heat Release Rate변화를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 난연제를 충전할 경우 초기에 연소가 억제되는 것을 볼 수 있다.

전선 난연 연구에 있어서 뺄 수 없는 부분이 케이블 구조에 따른 난연 성능에 관한 연구일 것이다. 이와 같이 전선 난연에 관한 연구는 재료, 케이블 구조 및 시험 방법에 관한 연구가 조화롭게 이루어져야 할 것이다.

4. 결 론

친환경 제품으로의 대체는 언제나 경제적 부담이 따른다고 알고있다. 실제 많은 산업분야에서 친환경 제품의 경우 제조 cost가 증가했기 때문에 생산자와 소비자 모두에게 외면을 당해왔다. 우리나라에서도 1990년대 들어 환경보존의 필요성과 중요성을 피부로 느끼며 환경의 중요성에 대한 인식이 사회 전반에 걸쳐 확산되고 있지만 이를 수용할 수 있는 사회적 분위기가 아직 성숙되어 있지는 못한 것 같다. 하지만 기업에서는 친환경 관련 기술의 개발을 더 이상 미룰 수 없는 것 같다. 이미 환경 문제는 선진국의 경우 무역

규제의 수단으로 활용되고 있으며 경쟁력이 되고 있기 때문이다. 친환경 제품 개발 및 생산의 노력은 기업의 책임이다. 그리고 이러한 노력은 보다 경쟁력 있는 기술 및 제품 개발을 통하여 보여주어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 정찬교, 화학세계, **39**, 17, 1999.
2. K. Watanabe, Journal of Society of Rubber Industry, Japan, **72**, 461, 1999.
3. KSC 3341, 1998.
4. Brix S., Dubots P., Noel B., and Parasie Y, JICABLE, 325, 1999.
5. M. Terho, IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, 109, 1996.
6. A. Nakayama, H. Kimura, K. Watanabe, Y. Kondo, Y. Ota, and S. Iwata, Hitachi Cable, **18**, 53, 1999
7. Taketa, T. Nemoto and T. Souda, Japan Plastics, **50**, 46, 1999.
8. Yukawa H. etc., JICABLE, 319, 1999.
9. W. Dufton, "Recent Developments in Polymers for Wire and Cable", RAPRA, 1995.