Elastomers and Composites Vol. 46, No. 1, pp. 22~28 (March 2011)

특 집

전기차단성 소재 기술

신은미
LS전선 중앙연구소 분석연구그룹
접수일(2011년 1월 12일), 수정일(2011년 1월 25일), 게재확정일(2011년 2월 1일)

Technology of Electrical Barrier Material

Eunmi Shin
Analytical Research Group, Advanced R&D Center, LS Cable
(Received January 12, 2011, Revised January 25, 2011, Accepted February 1, 2011)

요 약 : 전기의 흐름을 막는 절연재료는 다양한 전기/전력기구에서 도체에 흐르는 전기를 차단하면서 도체와 외부를 분리/지지하는데 사용한다. 절연재료에는 유리, 절연유, 가스, 종이, 고분자가 있으며 현재는 주로 고분자 절연재료가 전선에 사용된다. 최근 환경규제 및 친환경 소재로의 변화에 따라 고분자 절연재료에 사용되는 물질들도 친환경 화하고 있다.

ABSTRACT : Various materials are used as electrical barrier materials, such as glass, insulating oil, gas, paper and polymer. These materials shut off electricity from conductor as a barrier and separate as well as support conductor from outside environment while using electrical equipment. Polymers are generally used for cable insulation material. Recently environmental regulation are reinforced and eco-friendly materials are in trend.

Keywords : insulation, polymer, XLPE, cable, eco-material

Ⅰ. 절연재료

절연재료는 전기의 흐름을 막는 물질로, 전자가 원자에 강하게 결합되어 있는 물질을 사용한다. 이러한 절연재료는 다양한 전기/전력 기구에 도체에 흐르는 전기를 차단하면서 도체와 외부를 분리하거나 도체를 지지하는 데에 사용된다.

유리, 종이, 테프론 등은 좋은 절연재료의 예이며, 고분자 및 대부분의 플라스틱 또한 전선이나 케이블의 절연재료로 사용되기에 충분하다. 고분자 재료들은 bulk resistivity가 낮음에도 불구하고 중/저전압(100 ~ 1000 volts)에서 사용할 경우에는 실질적이며 안전한 절연재료로써의 충분한 기능을 한다. 공기를 포함한 다양한 형태의 절연재료가 전기기구에 사용된다. 표 1에 예를 기술하였다.

고전압용 절연재료로는 유리, 도자기 또는 고분자 복합재료가 사용된다. 도자기 절연재는 clay, quartz 혹은 alumina와 광물로 만들어지며 높은 기계적 강도가 필요할 때 사용된다. 도자기의 절연 파괴강도는 약 4-10 kV/mm정도이다. 유리는 좀 더 높은 절연파괴강도를 지녔지만, 수분흡착이 쉽고 절연재료로 성형하기가 어렵다.

† 대표저자 E-mail: *exs56@lscable.com*

Table 1. 절연재료

기 체	공기, 질소, 프레온
액 체	절연유
	바니시
고 체	유리, 세라믹
	절연 컴파운드
	고무

위와 같은 이유로 유리나 도자기 절연재료보다 고분자나 고분자 복합재료가 절연재료로 더 많이 사용되며, 고분자 재료는 값이 싸고 성형이 쉬우며, 가볍다는 장점이 있지만, 유리나 도자기보다는 수명이 짧다는 단점이 있다.[1] 케이블, 그 중에서도 전력케이블의 발전사를 보면(그림 1) 초기에는 유침지나 저점도유를 이용한 OF 케이블이 사용되어 1950년대부터 주류를 이루어 오고 있으며 이차대전 후 고분자 화학의 발전으로 전력케이블도 고무나 플라스틱을 사용하게 되어 EP고무, 부틸고무와 polyethlene(PE)이 주 절연재료, 크로로프렌과 PVC가 피복체(Sheath)로 사용되고 있다. 1950년대 PE의 내열성을 높이는 수단으로 가교기술이 개발되어 현재 전력 케이블은 crosslinked polyethlene(XLPE) 절연, PVC피복 케이블(CV 케이

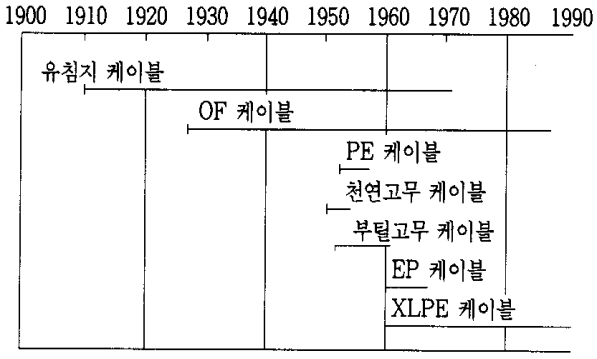

Figure 1. Developing history of power cable materials.

블로 표기)이 주류를 이루고 있다.[2]

여기에서는 케이블 절연재료로 가장 많이 사용되는 고분자 절연재료, 특히 최근 관심의 대상이 되고 있는 친환경 고분자 절연재료에 대하여 기술 하겠다.

Ⅱ. 고분자 절연재료

고분자 절연 재료는 세라믹 재료에 비해 무게가 가볍고, 내충격성이 우수하여 설치하기 쉬우며, 내오손 성능이 탁월하여 섬락, 정전 사고의 가능성이 줄어들기 때문에, 발전소에서 생산된 전력이 누설되지 않도록 절연시킨다. 때문에 가정과 산업 등의 전력 수요처에 안전하게 공급해주는 송전 및 배전 등의 전력개통 분야 뿐 아니라, 우리의 생활 가운데서 케이블, 애자, 접속재 등의 다양한 용도로 사용되고 있으며 사용량이 계속 증가하고 있다.[3]

고분자 절연재료로 주로 사용되는 물질은 아래와 같고 각 고분자 재료가 어떤 케이블, 어느 부분에 사용되는지를 그림 2[4]에 나타 내었다.

PE (LDPE, LLDPE, MDPE, HDPE), XLPE
PVC, XL PVC
Rubber (NR, EPDM, CR, SI, CSM, SBR, IIR)
TPE (TPE-O, TPE-E, TPE-SEBS, TPU)
Ethylene Copolymer (EVA, EEA)
Engineering Plastics (PP, PET, PBT, Nylon, PI, PEEK)
Fluoro Polymer (PTFE, PFA, FEP, ETFE, PVDF)
Thermo-setting Resin (Epoxy)

이와 같은 고분자 재료 자체는 케이블 절연재료로 사용하기 적당하지가 않다. 내열, 내마모, 내약품성, 내후성 등 케이블이 포설되는 환경에 견디어야하고 케이블로 생산이 가능하게 하는 성형성 등 여러 가지 특성이 부족하기 때문이다. 따라서 이와 같은 필요특성을 만족시키기 위하여 다양한 유/무기 재료와 섞게 되는데, 이렇게 섞인 재료를 컴파운드라 한다. 위에

1) HFPO:halogen free flameretardant polyolefin (FR filled EVA,EEA,EMA···)

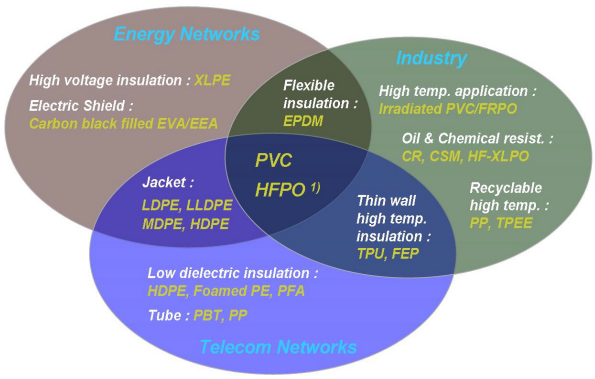

Figure 2. Polymers in Wire and Cable.

서 소개한 다양한 고분자 재료 각각의 고유특성에 따라 컴파운드로 제작되기 위해서는 사용되는 유/무기 재료들도 달라지는데, 통틀어 아래와 같은 분류를 할 수 있다.

1. 가소제(Plasticizer)

고분자의 유연성이나 가공성을 개량하기위해 사용되는 첨가제로, PVC의 경우 상온에서 단단하고 깨지기 쉬운 유리상 물질이지만 여기에 가소제를 첨가함으로써 용융온도 및 용융점도를 저하하여 성형가공하기 쉬운 상태로 만들 수 있다. 이와 같이 플라스틱의 부서짐을 제거하고 소성가공하기 쉽게 하는 것을 가소화(plasticization) 라고 한다. 대부분의 가소제는 활성이 없는 액체로서 용매의 기능과 유사한 역할을 하지만, 용제와 비교하여 분자량이 크고 휘발하기 어려운 점에서 용제와 다르다.

2. 안정제(Stabilizer)

유기물질이 열, 광선, 산소 등에 의해 화학변화를 받아 변질, 열화 하는 것을 방지하기 위해 사용하는 물질, 열안정제, 산화방지제, 자외선흡수제, 오존 열화방지제, 기타 등

3. 활제(Lubricant)

고분자의 가공시 유동성, 이형성을 용이하게 하기 위하여 첨가된다.

플라스틱을 성형 가공하는 동적인 상태에서 가공기계와의 마찰현상 및 수지 내에서 발생하는 마찰력을 조절해 주기 위해 활제를 첨가하며, 수지와 가공기기의 금속면과의 사이에 활제의 흡착층을 형성시켜 마찰력을 조절해 주거나(외부활제, 외부활성), 고분자 용융체내로 들어가 고분자 사슬간의 마찰을 조절해 준다. (내부활제, 내부활성)

4. 충진제(Filler)

고분자의 강도, 내구성, 작업성 및 기타 성질을 개선하거나 가격을 싸게 하기 위하여 수지에 첨가하는 비교적 비활성인 고체 물질을 말하며 보강용 충진제와 기능성 충진제로 구분한다. 예를 들어 전선용 컴파운드에는 전기 전열성을 좋게 하기 위해서 Clay를 사용하며, 탄산칼슘은 컴파운드 가격을 낮추기 위하여 사용한다.

5. 가교제(Crosslinking agent)

고무나 열 가소성 수지의 고분자 사슬을 이온결합 또는 공유결합을 만들어 연결하는 물질. 가교가 일어나려면 고분자 내에 가교를 일으킬 수 있는 지점, 즉 작용기나 이중, 삼중 결합이 존재해야 하며, 가교제도 한 개 또는 두 개 이상의 작용기를 가지고 있어야만 한다. 고무의 경우 황가교가 많이 사용되며, polyolefin의 경우 전자빔을 사용하는 조사가교도 있다.

6. 그 외 가공조제, UV 안정제, 안료 등

Ⅲ. 친환경 고분자 절연재료

2000년대 들어 환경문제는 세계적인 관심사로 부각되어, 지구 온난화, 오존층 파괴, 산성비, 환경호르몬의 문제, 토지, 수질 및 해양오염 등의 방지에 그린피스 등 소비자 단체에서 산업계에 문제를 제기하고, EU를 비롯한 국제사회에서 규격과 법규를 제정하여 문제를 일으키는 화합물의 사용을 금지시키고 있다.[5,6] 2003년 EU는 전기, 전자기기 폐기물의 안전한 처리와 재활용(recycle)율을 높이려는 노력의 일환으로 제조자의 폐기물 무료수거 의무 부여와 함께 제품 내에 유해 중금속과 일부 브롭계 난연제의 사용을 제한하는 법령인 "전기, 전자기기의 폐기물 처리지침(WEEE)"[7]과 "전기, 전자기기의 특정 유해물질 사용제한지침(RoHS)"[8]을 승인함으로써 국가 차원의 환경규제가 시작되고 있다.[9,10] 일본의 경우에도 1998년 일번전선 공업회에 의해 eco-material 케이블 관련 규격(JCS)이 제정된 이후 전선 제조업체들이 경쟁적으로 소위 "에코(eco)전선" 신제품을 출시하고있으며, 각종 용도의 전선 피복재료가 에코재료로 대체되고 있다.[11,12,13]

전선 및 케이블 절연재료 분야에서도 할로겐 원소나 중금속을 함유한 제품에 대해서는 환경오염의 문제가 대두되고 있다. 즉, 할로겐을 함유하는 대표적 수지인 PVC의 경우 소각처리 시 다이옥신의 발생, 매립 처분 시 재료 내 함유되어 있는 납 안정제로부터 납 이온이 침출되는 등 환경오염의 위험성이 제기되고 있으며, 최근에는 이에 더하여 PVC 가소제로서 널리 사용되고 있는 프탈산 에스테르가 내분비계 장애물질 즉, 환경호르몬으로서 의심되고 있다.[14] 또한 PVC 또는 할로겐 난연제가 함유된 절연 및 시스재료의 경우 연소시 독성가스와 연기를 다량 발생시켜 화재시 인명피해를 증대시킬 수 있다. 이에 전선업계는 halogen free(HF) 난연재료 및 케이블 개발을 지속적으로 연구하고 개발시켜 왔다.

1. 친환경 절연재료 설계

전선분야에서 친환경성의 중요한 평가 척도는 전선재료 내 유해중금속과 환경호르몬 추정물질의 함유 여부와 리사이클의 용이성이다. 따라서 전선용 절연재료(또는 시스재료)의 친환경 연구를 위한 주요과제는 1)할로겐 및 중금속 등 환경영향물질 배제, 2)리싸이클 가능한 재료로의 대체, 3) 화재시의 안정성 향상이다[13] 그러나 환경적인 측면만을 고려한 전선 재료의 설계는 가격 등 여러 가지 면에서 현실성이 없고, 또 과거에 사용하던 물질을 한꺼번에 전량 대체하기는 불가능하기 때문에, 규제 대상이 되는 물질의 폐기 및 대체물질 개발과 이에 따르는 가격경쟁력 확보 등이 친환경 전선 개발의 관건이다. 또한 환경적 측면에서 폐기되는 물질의 량을 줄이는 것, 즉 사용되는 재료의 량을 줄이는 것이 전선뿐만 아니라 재료를 사용하는 모든 산업체에 해당되는 친환경 재료개발의 하나의 주제로 자리 잡고 있다.

친환경 전선재료 개발의 이슈 중 첫 번째인 환경적 측면에서의 고려는 EU 등에서 규제하는 유해물질을 사용하지 않으면서도 전선으로써의 특성을 만족하도록 설계를 하는 일이다. EU에서 사용금지한 RoHS 유해물질은 처음에는 납, 수은 카드뮴, 크롬 6가, Polybrominated biphenyl(PBB) 및 Poly brominated diphenyl(PBDE)의 6대 물질이었으나, 최근에는 이들에 더해

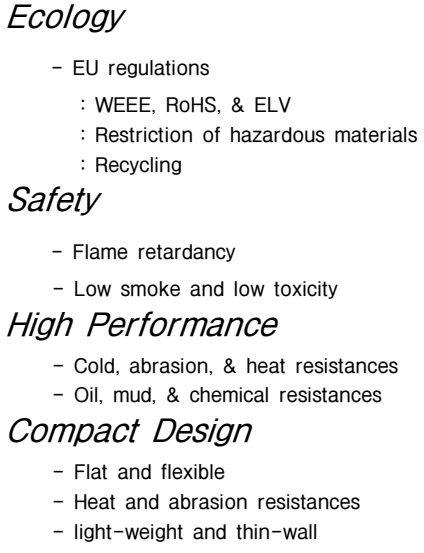

Figure 3. Main issues in development of environment-friendly cables[15]

Lead free PVC

- Non-lead stabilizer instead of lead stabilizer
- Automotive & electronic wires, telecom. cable

Dioxin free FR-PO

- PBB, PBDE free FR-PO
- Automotive & electronic wires, power cable

Halogen free FR-PO

- Chlorinated and brominated free FR (Low smoke, low toxic gas, low acid gas)
- Automotive and electronic wires, shipboard/ offshore cable and telecom. cable

HF-PP, HF-TPEE

- High heat resistance and recyclable
- Automotive and electronic wires

Figure 4. Core technologies.

PVC 및 프탈레이트 가소제도 사용 금지 물질에 포함되었다. 납, 카드뮴 등 4대 중금속 물질은 PVC 나 타 고분자에 안정제, 염료 등으로 광범위하게 사용되어 왔고, PVC와 브롬계 난연제는 할로겐 발생물질인 동시에 프탈레이트와 더불어 환경호르몬의 하나인 다이옥신(dioxin)을 배출한다.

납계 안정제는 가공시 PVC에 가해지는 열에 의한 분해를 막기 위해 컴파운드에 첨가시키며, PBB, PBDE 등 브롬계 난연제는 각종 고분자에 불에 잘 타지않는 즉 난연 특성을 주기 위해 광범위한 적용이 되어왔다. PVC 수지를 비롯한 할로겐 함유물질 및 주로 PVC에 사용되는 프탈레이트 가소제는 소각 폐기 시 환경호르몬 추정물질의 하나인 다이옥신을 발생시킨다고 알려져 있다. 따라서 이들 재료의 대체, 즉 halogen free 재료의 개발이 강하게 요구되며 결국 친환경 전선개발을 위한 중요한 과제는 HF난연 기술임을 알 수 있다.[15]

1.1 Leed Free 열안정제[10]

PVC는 고온 가공 시에는 그림 5와 같이 탈염소 및 분자쇠절단 반응에 의해 열화되어 기계적 특성의 저하와 함께 색이 변화되는 문제점을 갖고 있기 때문에 열 안정제를 필수적으로 첨가하여야 한다. 그림 5에서와 같은 열화반응은 일단 반응이 시작되면 분자 내에서 연쇄적으로 발생하여 PVC를 열화에 이르게 한다.

열 안정제를 첨가할 경우 그림 6에서와 같은 분자 내 염소치환 반응과 활성이 높은 HCl의 중화반응을 통하여 열화반응을 중단시킬 수 있다. PVC의 열 안정제 중 가장 성능이 우수하고 널리 사용되는 안정제는 Tribasic lead sulfate(TLS)로써 납 성분의 환경규제 대상 물질이다. 대체 첨가제로써 hydrotalcite ($Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16}4H_2O$), Ca/Zn 복합물 등이 사용되고 있으나 가격이 비싸기 때문에 가격과 성능의 향상을 위한 연구가 지속되고 있다.

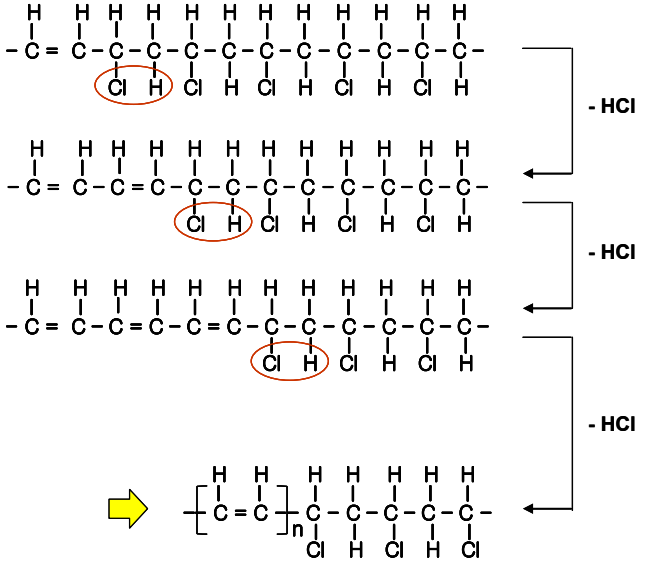

Figure 5. Reaction mechanism of thermal degradation of PVC.

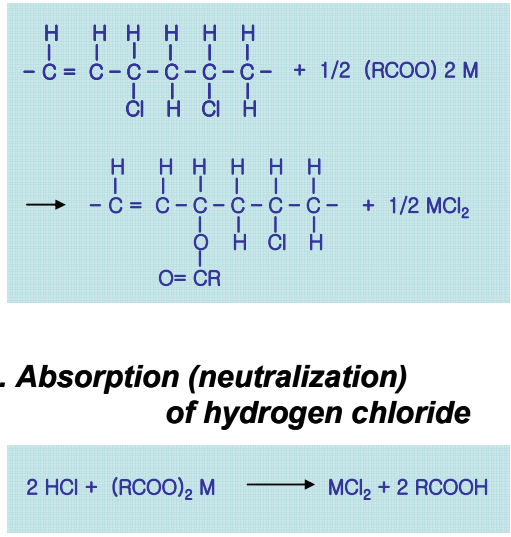

Figure 6. Reaction mechanism of thermal stabilization of PVC.

1.2 Dioxin Free 난연제

Dioxin은 독성이 강하고 환경호르몬으로 추정되는 물질이다. 환경호르몬은 내분비 교란물질이라고도 부르며 생체 내분비계의 정상 작용을 방해하는 외인성 물질로 환경 중 배출된 화학물질이나 오염물질 등이 체내에 유입되어 마치 호르몬과 같이 작용한다. 환경 호르몬은 생태계 및 인간의 생식기능 저하, 기형, 성장장애, 암 등 호르몬 분비기능에 변화를 일으키는

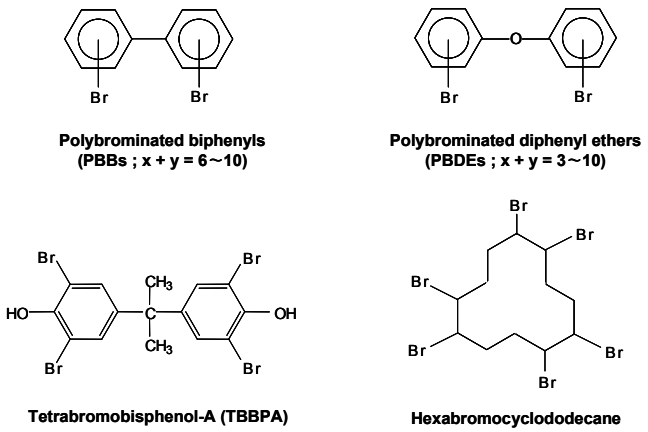

Figure 7. Brominated flame retardant system generating dioxin.

물질로, 세계적으로 생물종에 위협이 될 수 있다는 우려를 낳고 있다.[9]

전선재료의 난연제로 가장 많이 쓰이는 물질은 브롬계 난연제이다. 그 중 특히 그림 7[16]에 있는 PBB, PBDE, TBBPA (Trtrabromo Bisphenol A), HBCDD (Hexabromo cyclododecane)가 다이옥신 발생 물질로 지목받고 EU에서 사용 금지물질로 지정 되었다. 이들 난연제를 사용할 수 없게 됨으로써 Dioxin free 난연제의 개발 및 적용이 되고 있다. 현재 dioxin free 난연제로 상품화 되어있는 브롬 난연제는 Ethan-1,2-bis(pentabromophenyl) 등이 있으나 점차 Dioxin 발생유무와 상관 없이 할로겐 화합물을 전기전자 재료에 사용금지하는 움직임이 EU로부터 시작되고 있다. 이에 Haogen free 난연 컴파운드의 개발이 더욱 중요하게 된다.

1.3 Halogen Free 난연 컴파운드

Halogen free(HF) 난연기술은 환경유해물질인 할로겐을 함유하지 않는 친환경 재료기술이며 화재시 인명피해의 원인으로 지목되는 독성가스 및 연기발생을 억제함으로써 전선의 안전성을 향상시킬 수 있는 중요한 기술이다. HF 난연재료는 케이블 용도 및 요구 특성에 따라 표 2와 같이 구분된다.[10]

난연제(Fire Retardant, FR)는 화합물의 종류를 기본으로 4종류로 나누어진다.

Table 2. Classification of Halogen Free Compound

구 분		용 도
열가소성 컴파운드		전력, 통신 케이블 시스 선박, 해양 케이블 시스 Data 케이블 절연/시스
열경화성 컴파운드	화학가교	전박, 해양 케이블 절연/시스
	조사가교	전자기기용 전선 절연 자동차용 전선 절연

○ Halogen-containing FR
- Brominated FRs : aromatic,aliphatic,cycloaliphatic
- Chlorinated FRs

○ Phosphorous-containing FRs

○ Nitrogen-containing FRs
- melamine, melamine derivatives

○ Inorganic FRs
- Aluminium hydroxide, Magnesium hydroxide,
- Boron-containing compounds, Antimony oxides,
- Inorganic phosphorous compounds, etc.

이 중 HF 난연제로 가장 많이 사용되고 있는 물질은 Aluminium hydroxide(ATH)와 Magnesium hydroxide(MDH)이다. 이들의 난연 메카니즘은 3가지로 설명된다. 우선 ATH의 경우 약 200 ℃부근에서 분해되어 물과 aluminum oxide를 형성하는데, 물은 가스상에서 가연성 기체를 희석시키고, aluminum oxide는 고분자 표면에서 고상층을 형성하여 산소와의 반응을 차단한다. 또한 이 반응은 흡열반응으로서 고분자 재료의 온도를 냉각 시키는 효과를 갖는다. MDH는 ATH보다 높은 340

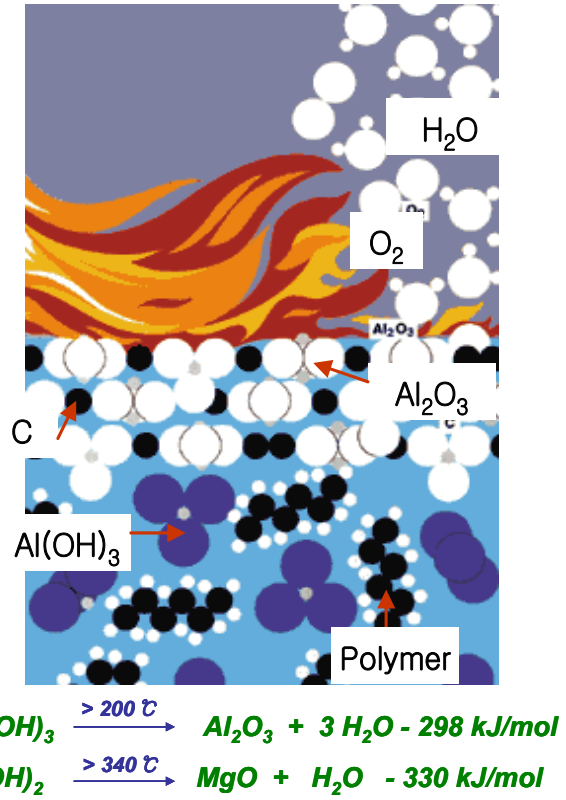

Figure 8. Mechanism of flame retardation of inorganic flame retardant.

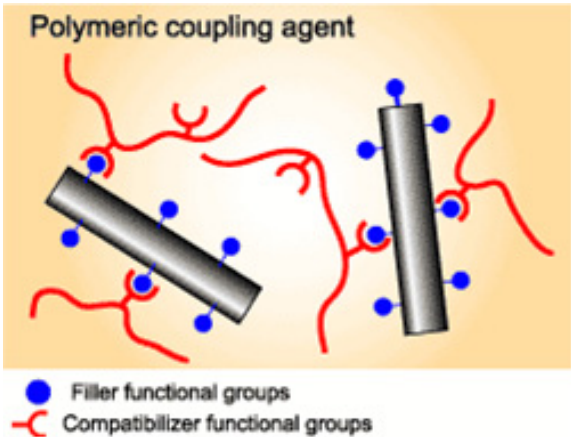

Figure 9. Chemical bonding between flame retardant and resins.

℃부근에서 분해되며 나머지는 같은 메커니즘으로 난연효과가 발휘된다.(그림 8)[16]

이들 난연제는 할로겐 난연제와는 달리 주로 고상에서 반응함으로 연소 및 분해과정에서 독성가스 및 연기를 발생시키지 않는 장점을 가지는 반면, 할로겐 난연제보다 난연효과가 떨어지므로 120 ~ 180 phr 정도로 많은량을 사용해야하므로 전선의 기계적 특성 및 압출 가공성의 저하를 가져온다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고분자의 개질, 난연제의 표면처리 및 난연조제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[17,18]

HF 난연 컴파운드에 있어 수지와 난연제 사이의 계면특성을 재료의 기계적 특성과 가공성 향상에 필수적이다. 난연제의 분산성, 기계적 특성 및 가공성의 향상을 위하여 친수성인 난연제의 표면을 지방산으로 처리하여 소수성으로 개질을 한다. 실란 커플링제의 표면처리, 무수 말레인산이 graft 된 고분자 수지 등을 활용하여 난연제와 수지를 화학적으로 결합시켜 기계적 강도를 높이는 방법의 사용도 증대되고 있다(그림 9).[1)]

최근에는 나노입자를 난연조제로 활용하는 연구도 많이 되고 있다. 나노 실리케이트를 고분자 재료에 분산시켜 컴파운딩 과정에서 단순 분산(Phase Separation)이 아닌 고분자 사슬 간에 삽입(Intercalated) 또는 박리(Exfoliated) 되게 만드는 방법이다. 나노 복합재료는 단순분산 복합재료에 비해 기계적 강도, 열 안정성, 내 약품성 및 난연성이 향상된다고 보고되어있다.[20]

Ⅳ. 기술동향

21세기 인류의 생명연장과 비례해 삶의 질 향상 및 쾌적한 지구환경에 대한 국제적 관심이 높아지고 있으며 행복하고 건강한 삶을 영위할 수 있는 환경조성이 무엇보다 중요하게 부각되고 있다. 이러한 가운데 2003년 하반기에 유럽의회는 폐기물의 안전한 처리와 재활용율을 높이려는 노력의 일환으로 제조자의 폐기물 무료수거 의무부여와 함께 제품 내에 유해 중금속과 일부 브롬계 난연제의 사용을 제한하는 법령인 폐전기전자제품 처리지침(WEEE)을 시작으로 올해부터 RoHS 폐자동차 처리지침(ELV) 친환경 설계지침(EuP) 신화학물질 관리정책(REACH) 등 각종 환경규제들이 줄줄이 발효된다. 특히, EU는 전기전자 자동차 화학분야의 수출액(지난해 268억 달러)이 총 EU 수출액의 71%를 차지하는 주요 수출 대상지역이어서 규제가 본격화되면 유해물질 제거와 시험분석, 폐제품 처리 등에 따른 추가비용 부담 발생으로 기업의 경쟁력이 떨어질 것으로 예상된다. 또 규제기준을 충족하지 못하는 경우 수출제한으로 경제적 피해뿐만 아니라 기업 이미지에도 큰 타격을 받게 될 것이다. 특히 자동차의 경우엔 올해부터 발효되는 ELV 규정에 의하여 차량중량의 85% 리사이클, 80% 회수/재이용과 수은, 납, 카드뮴, 6가 크롬 함유를 금지하고 있다. 현재 차량중량의 평균 76% 정도가 금속이며 현재 이중 98% 정도가 재활용 되고 있다고 보고되어 있는 반면 플라스틱의 경우에는 재활용률에 있어 문제가 된다. 가장 범용적으로 사용되는 자동차용 플라스틱 재료는 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE), 폴리우레탄(PU), 폴리염화비닐(PVC)이 있으며 이중 PP, PE, PU는 자동차용 플라스틱의 90%를 차지하며 재활용이 용이하다. 하지만 PE는 기계적인 물성이 PP(Polypropylene)에 비해 저하되며 PU(Polyurethane)는 가격적인 측면 때문에 점차 PP로 대체되고 있는 실정이다. 반면, 자동차 전선 재료의 대부분을 차지하는 재료인 PVC는 소각 시 다이옥신을 발생하여 폐암, 간암 등의 각종 암과 면역기능 손상 등을 유발하며 매립 시 분해되지 않는 플라스틱의 특성 때문에 환경적으로 매우 유해하다. 또한 사용온도가 100 / 125 ℃인 자동차용 고내열성 전선재료는 전자선 조사 가공 공정을 거쳐 가교시키므로 고분자 분자들 간의 결합력이 증가된 Crosslinked PVC (XL-PVC) 및 Crosslinked Polyethylene(XL-PE)를 사용하고 있는데, 이들 재료는 재가공/재활용이 되질 않아 전량 소각 또는 매립하고 있는 상황이다. 이러한 이유로 현재 자동차메이커들은 친환경적이며 재활용이 가능한 새로운 전선재료를 찾는데 심혈을 기울이고 있으며 이에 대한 대체 방안으로 PP (Polypropylene)를 이용한 친환경적이며 고내열성을 갖는 전선 개발이 성공하여 모든 국제적 규격치를 만족하는 재활용 가능한 친환경 자동차전선을 사용되어 지고 있다.

참 고 문 헌

1. http://en.wikipedia.org/wiki/Insulator_(electrical)
2. 유태준, "전력케이블의 절연재료", *고분자과학과 기술*, **9**, 381, (1988).
3. 고장면, "고분자 절연재료", *고분자과학과 기술*, **9**, 369, (1988).
4. 이건주, "전선용 컴파운드의 기술개발동향 Part I", *LS전선 자료*, **4월**, 13, (2010).
5. 정찬교, "환경문제", *화학세계*, **39**, 17, (1999).

6. 이건주, “고분자 절연재료와 설계기술 (4) : 친환경 전선 절연재료 개발 동향”, *전기전자재료*, **13**, 18 (2000).
7. European Union, “Directive on Waste Electric and Electronic Equipment”, Official Journal of the European Union, L37/24, 2003.
8. European Union, “Directive on Restriction of the use of certain hazard in Electric and Electronic Equipment”, Official Journal of the European Union, L37/19, 2003.
9. 옥치상, ‘인간과 환경’, *지구문화사*, 2001
10. 이건주, 임화준, 윤승훈, 박도현, 남진호, “친환경 전선 기술개발 동향”, *LG Cable Technical Review*, **10**, 7 (2003).
11. Brix S., Dubots P., Noel B., and Parasie Y., “Consideration of environmental impacts in the cable design”, *Jicable*, **A-10-3**, 325, (1999).
12. Terho M., “LCA for Telecommunication Cables”, IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, 109, (1996).
13. Nakayama A., Kimura H., Watanabe K., Kondo Y., Ota Y., and Iwata S., *Hitachi Cable*, **18**, 53 (1999).
14. Watanabe K., “전선 · 케이블과 환경문제”, Journal of Society of Rubber Industry, Japan **72**, 461 (1999).
15. LS cable 자료 ‘고분자 개론’ (2009) 64.
16. 이건주, ‘전선용 컴파운드의 기술개발동향 Part II’ *LS전선 자료*, **4월**, 12 (2010).
17. Cross M. S., Cusack P. A., and Hornsby P. R., “Effects of tin additives on the flammability and smoke emission characteristics of halogen-free ethylene-vinyl acetate copolymer”, *Polymer Degradation & Stability*, **79**, 309 (2003).
18. Sauerwein R., “New ATH developments drive flame retardant cable compounding”, Plastic Additives & Compounding, Dec., 22 (2002).
19. Hausmann K., “Polymeric coupling agents as property enhancers in highly filled polymers systems”, *Polymer & Polymer Composites*, **5**, 113, (1997).
20. Kawasumi M., Hasegawa N., Kato M., Usuki A., and Okada A., “Preparation and Mechanical Properties of Polypropylene－Clay Hybrids”, *Macromolecules*, **30**, 6333 (1997).