

## 난연도료의 도포 두께별 연소특성에 관한 연구 A Study on Combustion Characteristics in each Coating Thickness of Fire Retardant Paints

김 홍<sup>†</sup> · 박형주\*

Hong Kim<sup>†</sup> · Hyung-Ju Park\*

호서대학교 안전시스템공학과, \*호서대학교 대학원 안전공학과  
(2003. 7. 30. 접수/2003. 12. 1. 채택)

### 요 약

본 연구에서는 지하공동구 및 트레이에 설치된 케이블의 화재시 화염전파를 막기 위해 사용되고 있는 수성 및 유성계 난연도료의 도포 두께별 연소특성을 파악하기 위해 연기밀도(ASTM E 662)와 산소지수(ASTM D 2863) 시험법을 이용하여 실험을 수행하였다. 본 연구 결과, 난연도료의 연소특성은 다음과 같다. (a) 난연도료의 최적 두께는 수성계의 경우 1.5~2 mm, 유성계의 경우 0.2 mm 것으로 나타났다. (b) 연기밀도는 Non-flaming 방식보다 Flaming 방식에서 더 높게 나타났다. (c) 연기밀도와 산소지수를 측정할 결과 수성계 난연도료가 유성계 난연도료 보다 연소특성이 우수한 것으로 나타났다. (d) 수성 및 유성계 난연도료의 산소지수가 규격(30이상)에 만족함을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

This experimental study shows the combustion characteristics for each coating thickness of water and oil paint which are used as fire retardant paints that prevent fire propagation through cables in underground culverts and trays. To evaluate combustion characteristics, smoke density(ASTM E 662) and Limited Oxygen Index(ASTM D 2863) experiment method was used. As the results of this study, the combustion characteristics of fire retardant paints produced the following : (a) The most suitable coating thickness of fire retardant paint was 1.5~2.0 mm in water paint and 0.2 mm in oil paint. (b) Flaming method in experiments of smoke density were found to be higher than Non-flaming method. (c) Water paint has the fire retardant effect and characteristics better than oil paint in measurement results of smoke density and oxygen index. (d) The oxygen index of water and oil fire retardant was able to know that it was satisfied a standard (30 or above).

**Keywords :** Smoke density, LOI(Limited Oxygen Index), Fire retardant paints, Coating thickness, Cable, PVC(Polyvinyl chloride)

### 1. 서 론

현대 생활의 에너지 사용과 지식 정보화에 있어서 기본적인 전송로로 사용되는 전선·케이블은 고밀도화, 대용량화되면서 지하공동구 및 인텔리전트 빌딩내에서 대량으로 사용되고 있다.

전선·케이블의 절연 및 피복재료는 PE(또는 XLPE), PVC, EPR, NEOPRENE, HYPALON 등의

Polymer로 구성되어 있기 때문에 화재 발생시 화재의 전파로 역할을 하게 된다. 따라서 이들 화재는 에너지 및 정보의 전송에 치명적인 손상과 인명피해를 주어 현대 생활에 있어서 예상할 수 없는 혼란과 경제적인 손해를 주고 있다.<sup>1)</sup>

국내·외 케이블 관련 화재 사례를 살펴보면 국외의 경우 일비곡 대로 지하공동구 화재(1974년, 일본), World Trade Center 화재(1975년, 미국), 뉴욕전화국 지하케이블 화재(1975년, 미국), TV·라디오 센타 화재(1979년, 벨기에), 신문회관 화재(1979년, 일본), 나

<sup>†</sup> E-mail: kimhong@office.hoseo.ac.kr

고야 지하철 화재(1983년, 일본), 동경 지하통신케이블 화재(1984년, 일본)가 발생하였으며, 국내의 경우 동대문 지하구 화재(1994년), 남대구 전신전화국 지하통신구 화재(1994년), 서울 여의도 지하공동구의 화재(2000년) 등이 발생하여 막대한 재산상의 손실과 인명피해를 입혔다.<sup>2)</sup>

이러한 피해와 잠재적인 위험을 줄이기 위해 전선 및 케이블의 피복 재질을 비난연 재질에서 난연화 및 할로겐화 재질로 변경하여 사용하고 있으며, 부가적으로 화재시 전선 및 케이블을 통한 화염전파를 막기 위해 케이블 표면 위에 난연도료를 도포하고 있다. 난연도료는 크게 발포성 난연도료와 비발포성 난연도료로 나눌 수 있는데, 이 중에서 폴리우레탄계를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>3)</sup> 수용성 폴리우레탄계의 발포성 난연도료는 현재 개발이 완료되어 시판중에 있으며, 유리질계의 반응형 난연제 성분을 도입한 비발포성 폴리우레탄계 난연도료에 대한 연구는 진행중에 있다.<sup>4,6)</sup>

국내에서 전선 및 케이블에 사용되고 있는 난연도료는 유성계 난연도료와 수성계 난연도료로 구분되며, 도포방법으로는 화재가 발생할 우려가 있는 전선 및 케이블 표면 위에 붓 또는 스프레이를 이용하여 직접 도포한다. 그러나 난연도료의 도포방법 등이 각 제조사별로 상이할 뿐만 아니라 그 실효성이 명확하게 검증되어 있지 않으며, 지금에 와서야 전기설비기술기준과 행정자치부 등에서 전선·케이블 등에 도포하는 연소방지도료에 대한 기준<sup>7,8)</sup>이 마련되고 있는 실정이다. 또한 전선 및 케이블의 위험성에 대한 국내 연구에 있어서도 전력용 케이블의 연기 유독성 실험,<sup>9)</sup> 전력용 케이블의 열 방출량 측정,<sup>10)</sup> 내화전선의 내화특성 연구,<sup>11)</sup> 소방용 전선의 연기밀도특성에 관한 연구,<sup>12)</sup> 지하구 케이블의 연소특성 실험<sup>13)</sup> 등으로 최근에 와서야 기초적인 연구가 일부 진행되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 전선 및 케이블의 피복재료인 일반 PVC Sheet 위에 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 수성 및 유성계 난연도료를 붓을 이용하여 일정 두께별로 도포한 후 연기밀도, 산소지수를 측정하여 연소특성을 파악하고 난연도료 별 최적의 도포두께를 제시하는데 있다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료

저압 및 고압 케이블의 피복재료로 사용되고있는 Pellet type의 일반 PVC compound를 약 140°C에서

20분간 150 kg/cm<sup>2</sup>까지 서서히 압력을 가하여 Sheet (200 mm×250 mm×2.0 mm)를 제작하였다. 제작된 Sheet 위에 국내에서 생산되고 있는 K사의 유성계 난연도료와 M사의 수성계 난연도료를 붓을 이용하여 가로, 세로로 교차시키며 도포하는 방법으로 유성계 난연도료의 경우 0.1~0.4 mm까지 0.1 mm의 간격으로, 수성계 난연도료의 경우 0.5~2.0 mm까지 0.5 mm의 간격으로 도포하고 실온에서 1주일 이상 자연 건조시킨 후 연기밀도(ASTM E 662)<sup>14)</sup>와 산소지수(ASTM D 2863)<sup>15)</sup>를 측정하는데 필요한 크기로 절단하여 사용하였다.

### 2.2 실험장치 및 방법

#### 2.2.1 연기 밀도(Smoke Density)

연기밀도는 ASTM E 662기준에 따른 Fig. 1과 같은 측정장치를 사용하였다.

실험 시편은 2.1항의 조건에 적합하게 난연도료가 도포된 PVC Sheet와 일반 PVC Sheet로 75 mm×75 mm의 크기로 절단하여 사용하였다.

실험방법은 Pilot flame의 작동 유무에 따라 Flaming과 Non-flaming 방식으로 나눌 수 있다. Non-flaming 방식의 경우 ASTM E 662의 7.1.3항에 규정된 시편홀더에 시험중 시편이 시편홀더에 녹아 붙지 않도록 하기 위해 시편홀더와 시편이 겹치는 부분에 0.04 mm의 알루미늄 박판을 설치한 후 고정한다. 시편을 부착하지 않은 시편홀더를 시험대 위치에 고정시킨 다음 Fig. 2의 가열로를 점화하여 복사열량이 2.5±0.05 W/cm<sup>2</sup>이 되도록 조정된 후 광선투과장치와 시험기록계를 작동시키고, 장비의 기준점(영점)을 조정한다. 시험장치의 가열로 인가전압을 조정된 후 광선투과장치를 작동함과 동시에 시험장치의 배출구를 차단하고, 시편을 부착한 시편홀더로 교환한 다음 시험개시 후 20분 동

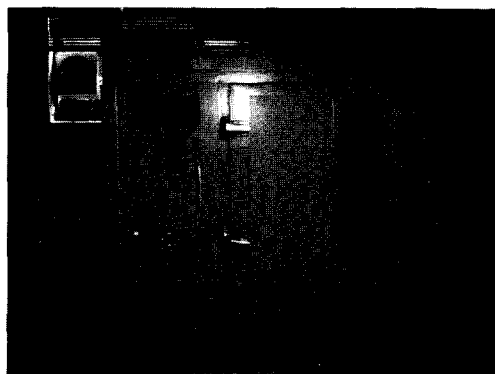


Fig. 1. A picture of smoke density chamber.



Fig. 2. A picture of radiation heat furnace.

안 가열로를 소화한 다음 연기밀도는 ASTM E 662 X4.2.2항에 규정되어 있는 다음의 식 (1)을 이용하여 산출한다.<sup>14)</sup>

$$D_s = G \times \left( \log \frac{100}{T} + F \right), \quad G = \frac{V}{A \times V} \quad (1)$$

여기서  $D_s$  : 광학밀도[-]

T : 광선 투과율[%]

F : 광선투과때 필터를 사용하면 "0", 필터를 사용하지 않으면 "1"

A : 시편의 노출면적[m<sup>2</sup>]

L : 광선투과 길이[m]

V : 시험장치의 챔버 체적[m<sup>3</sup>]

식 (1)에서 광선투과때 필터를 사용할 경우 F = 0이 되고, ASTM E 662 X4.2.2항에 규정된 G = 132를 적용하면 식 (1)은 다음 식 (2)와 같이 간단하게 표현된다.

$$D_s = 132 \times \log \frac{100}{T} \quad (2)$$

### 2.2.2 산소지수(Oxygen Index)

산소지수는 산소·질소 혼합기의 혼합비를 임의로 변화시킬 수 있는 연소성 시험기인 Candle type flammability tester로 ASTM D 2863기준에 따른 Fig. 3과 같은 측정장치를 사용하였다.

시험시편은 2.1항의 조건에 적합하게 난연도료가 도포된 PVC Sheet와 일반 PVC Sheet로 6 mm × 120 mm의 크기로 절단하여 사용하였다.

실험방법은 가스통으로부터 공급된 산소와 질소는 수직으로 놓인 유리 컬럼의 아래에서부터 위쪽으로 흘러보낸다. 이때의 유량을 일정하게 10 l/min(평균 유속 4 cm/sec)로 유지시킨다. 시편을 유리 컬럼의 중앙에

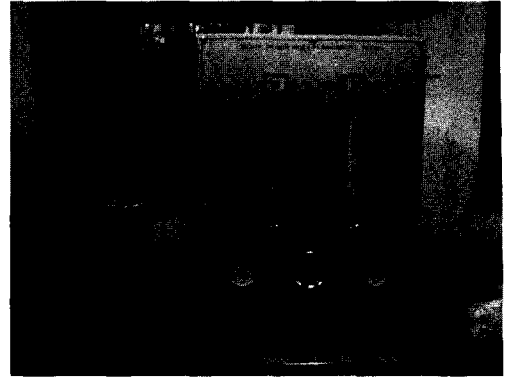


Fig. 3. A picture of Oxygen Index apparatus.

흐름과 평행인 상태로 놓고 Pilot flame을 사용하여 시료의 윗부분에 10초 동안 점화시킨다. 이때, LOI는 점화된 시료의 불꽃과 연기가 30초 이내에 없어지는 최소의 산소량일 때의 값을 취한다. 그리고 최종적으로 연소 초기부터 소멸이 될 때까지 화염이 발생될 때의 산소 농도를 한계 산소농도라 한다. 산소지수는 다음의 식 (3)을 이용하여 산출한다.

$$O.I = \frac{[O_2]}{[N_2 + O_2]} \times 100 \quad (3)$$

여기서 O.I : 산소지수[%]

O<sub>2</sub> : 산소의 유량[l/min.]

N<sub>2</sub> : 질소의 유량[l/min.]

## 3. 실험결과

### 3.1 연기 밀도(Smoke Density) 실험

Fig. 4와 Fig. 5는 수성계 난연도료를 일반 PVC Sheet위에 0.5~2.0 mm의 두께로 도포한 시편과 일반 PVC 시편을 Non-flaming 방식과 Flaming 방식으로 연기밀도를 측정된 것으로 연기밀도(Ds)을 시간에 따라 나타낸 그림이다.

Fig. 4의 경우 복사열에 노출된 일반 PVC 시편의 연기밀도는 연소초기에 급격히 상승하다가 일정한 수준에 수렴하였으며, 수성계 난연도료의 경우에는 연소초기에 도포두께에 따라 1.5 mm < 2.0 mm < 1.0 mm < 0.5 mm의 순으로 증가하였다. 일반적으로 난연도료의 도포두께가 두꺼워 질수록 연기 밀도가 낮을 것으로 예상했으나, 실험의 결과 1.5 mm보다 2.0 mm에서 연기 밀도가 높게 나타났다. 이는 Non-flaming 방식의 특성상 복사열에 의해서만 연소를 시키기 때문에 난연도료의 도포두께가 두꺼워 지면 도포량이 증가하게 되

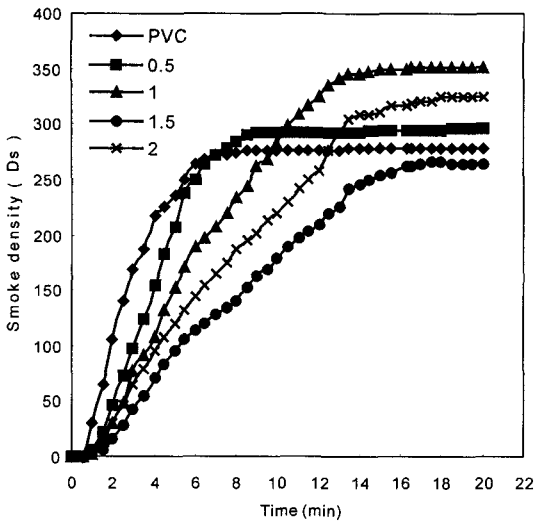


Fig. 4. Smoke density of the samples in various time (water fire retardant paint, Non-flaming).

고, 연소시 연기와 미연소 가스의 발생량이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 5의 경우 일반 PVC 시편의 연기밀도가 Non-flaming 방식에 의한 결과와 같이 연소초기에 급격히 상승한다는 것을 알 수 있었으며, 수성계 난연도료의 경우에는 연소초기에 도포두께에 따라 2.0 mm < 1.5 mm < 1.0 mm < 0.5 mm의 순으로 증가하였다.

Non-flaming 방식과 Flaming 방식에 의한 시간에 따

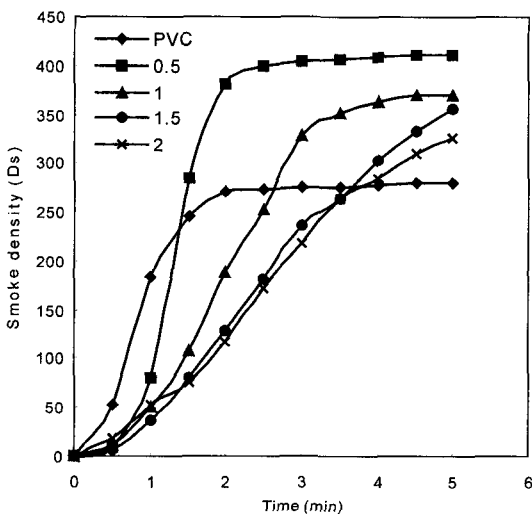


Fig. 5. Smoke density of the samples in various time (water fire retardant paint, flaming).

른 연기밀도를 비교해 볼 때 Non-flaming 방식의 경우 연기밀도가 일정한 수준에 수렴하는 시간이 8분~12분 사이였으나, Flaming 방식의 경우에는 2분~5분으로 짧은 시간내에 연기가 다량 발생하였음을 알 수 있다. 이는 Flaming 방식의 경우 복사열과 Pilot flame을 열원으로 사용하기 때문에 시편의 열분해가 Non-flaming 방식에 비해 활발하여 짧은 시간내에 많은 연기가 발생한 것으로 사료된다. 따라서, 실제 화염이 동반되는 케이블 화재시 화재 초기에 연소확대는 방지할 수 있으나 다량의 연기가 발생하여 진화활동에 많은 어려움이 발생할 것으로 예상된다.

Non-flaming 방식과 Flaming 방식에 의한 연기밀도 실험결과 적정한 수성계 난연도료의 도포 두께는 1.5~2.0 mm임을 알 수 있었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 유성계 난연도료를 일반 PVC Sheet위에 0.1~0.4 mm의 두께로 도포한 시편과 일반 PVC 시편을 Non-flaming 방식과 Flaming 방식으로 연기밀도를 측정 한 것으로 연기밀도(Ds)을 시간에 따라 나타낸 그림이다.

Fig. 6의 경우 유성계 난연도료의 도포두께에 따른 연기밀도는 2.5분을 기준으로 0~2.5분 사이에는 0.4 mm, 0.3 mm < 0.2 mm < 0.1 mm 순으로 증가하였으며, 2.5분 이후에는 0.2 mm < 0.1 mm < 0.3 mm < 0.4 mm의 순으로 증가하였다. 이는 화재초기에는 난연도료에 의한 열전달 및 연소억제의 효과가 있었으나, 일정시간 후에는 난연도료의 도포량의 증가에 따라 부풀음 탄화층의 두께가 두꺼워져 불완전 연소가

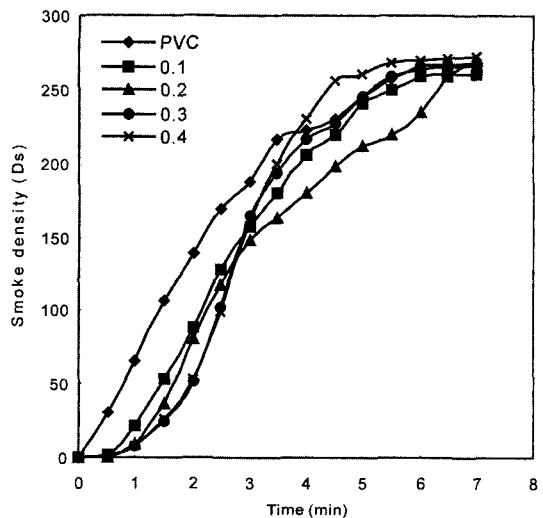


Fig. 6. Smoke density of the sample in various time (oil fire retardant paint, Non-flaming).

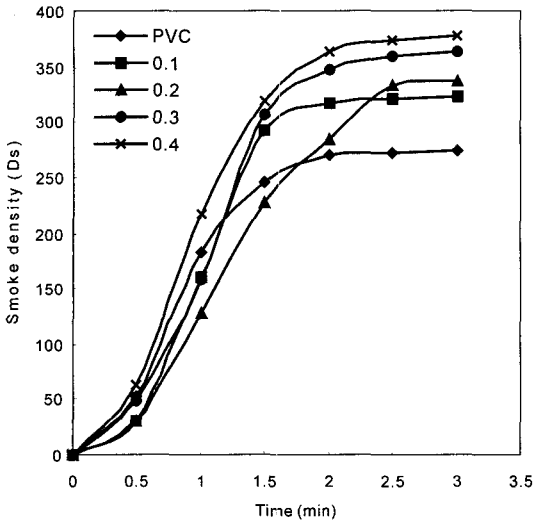


Fig. 7. Smoke density of the sample in various time (oil fire retardant paint, flaming).

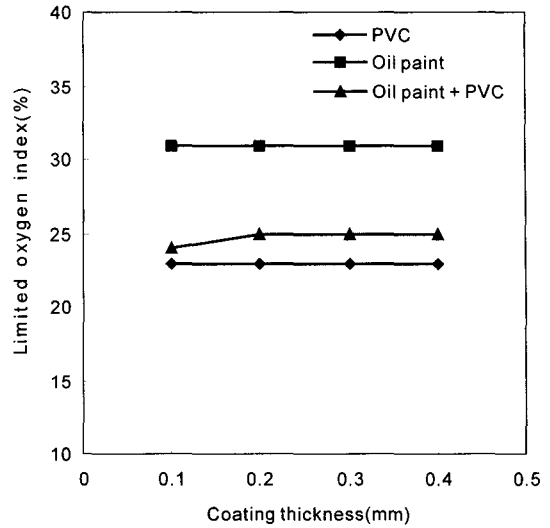


Fig. 8. Oxygen index of the sample in each coating thickness (PVC, oil flame retardant paint).

일어난 것으로 판단된다.

Fig. 7의 경우 유성계 난연도료의 도포두께에 따른 연기밀도 변화의 경향은 전체적으로 비슷하였으며, 난연도료의 도포두께가 0.2 mm일 때가 연소초기에 연기 발생량이 가장 작은 것으로 나타났다. Non-flaming 방식과 Flaming 방식에 의한 시간에 따른 연기밀도를 비교해 볼 때 Non-flaming 방식의 경우 연기밀도가 일정한 수준에 수렴하는 시간이 5.5분~7분 사이였으나, Flaming 방식의 경우에는 2.5분~3분으로 짧은 시간 내에 발생하였음을 알 수 있다.

따라서, 유성계 난연도료의 경우에도 수성계 난연도료와 같이 실제 화염이 동반하는 케이블 화재시 화재 초기에 연소확대는 방지할 수 있으나 다량의 연기가 발생할 것으로 예상된다. 또한, Non-flaming 방식과 Flaming 방식에 의한 연기밀도 실험결과 적정한 유성계 난연도료의 도포두께는 0.2 mm임을 알 수 있었다.

### 3.2 산소지수

Fig. 8과 Fig. 9는 수성 및 유성계 난연도료를 일정한 두께로 제작한 시편을 이용하여 산소지수를 측정함으로써 도포두께에 따라 산소지수의 변화가 없이 각각 50, 31로 나타났다. 이는 난연도료의 산소지수 규격(LOI 30이상)을 모두 만족하는 수준임을 알 수 있었다. 또한 일반 PVC Sheet 위에 도포된 난연도료의 도포두께에 따른 산소지수는 각각 26~29, 24~25로 나타났다. 수성 및 유성계 난연도료의 산소지수 실험에서 가장 높

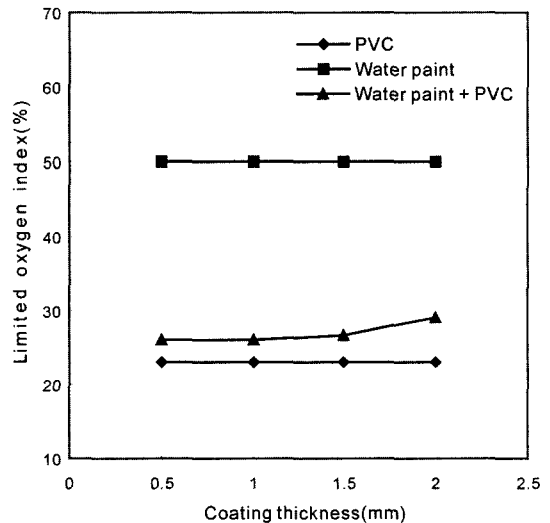


Fig. 9. Oxygen Index of the sample in each coating thickness (PVC, water flame retardant paint).

은 도포두께는 수성의 경우 1.5 mm~2.0 mm, 유성의 경우 0.2 mm 이상에서 나타났으나, 산소지수의 큰 차이점을 발견할 수 없었다. 산소지수에 대한 전체적인 측정결과는 Table 1과 같다.

산소지수 측정시 전체적인 연소현상을 보면 우선 10초간의 점화 후 검은 연기와 끄울음이 많이 발생하였으며, 불꽃 소멸 후 약 6~10초 사이에 연기까지 완전하게 소멸하는 현상을 보였다.

**Table 1.** Oxygen index of the sample in each coating thickness

Coating thickness of oil paint (mm)	Oil paint + PVC	Oil paint	Coating thickness of water paint (mm)	Water paint+ PVC	Water paint	PVC
0.1	24	31	0.5	26	50	23
0.2	25	31	1.0	26	50	23
0.3	25	31	1.5	27	50	23
0.4	25	31	2.0	29	50	23

### 4. 결 론

연기밀도, 산소지수 시험을 통한 난연도료의 도포 두께별 연소특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 난연도료의 최적 두께가 수성계의 경우 1.5~2.0 mm, 유성계의 경우 0.2 mm임을 알 수 있었다.
- 2) Flaming 방식에서의 연기 발생량과 밀도가 Non-flaming 방식보다 다량 발생함을 알 수 있었다.
- 3) 수성계 난연도료가 유성계 난연도료 보다 특성이 우수함을 알 수 있었다.
- 4) 수성 및 유성계 난연도료의 산소지수가 각각 50, 31로 규격(30 이상)에 만족함을 알 수 있었다.

### 참고문헌

1. 유태준, “전력케이블의 절연재료”, 고분자과학과 기술, Vol. 9, No. 5, pp.381-388(1998).
2. “전기통신 및 기계시설 화재 진압 대책”, 제주도소방서 (2000).
3. 김성길, “수성난연도료의 제조기술 및 응용”, 삼화페인트공업(주) 기술자료집, pp.123-146(1998).
4. E.-K. Park, I.-M. Yang, D.-W. Kim, K.-H. Hwang, and H.-S. Park, “Synthesis and Characterization of PU Flame-Retardant Coatings Using Tribromo Modified Polyesters”, Polymer (Korea), Vol. 25, No. 3, pp.391-398(2001).
5. W.-B. Im and H.-S. Park, “Preparation and Physical Properties of Polyurethane Flame Retardant Coatings by Phosphate-Containing Modified Polyester/TDI-Adduct”, J. of Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 15, No. 3, pp.77-84(1998).
6. I.-M. Yang, S.-R. Kim, H.-J. Park, H.-S. Hahm, J.-P. Wu, and H.-S. Park, “Physical Properties and Flame Retardancy of PU Coatings Polymerized with Two Different Types of Isocyanates and Dichloro-Polyester Polyol”, Polymer(Korea), Vol. 26, No. 2, pp.193-199(2002).
7. “케이블의 화재 확대 예방시설 기준”, 한국전기안전공사 검사지침, 제7장(2002).
8. “연소방지 도료등의 도포 및 성능에 관한 기술기준 제정 (안)”, 행정자치부 고시 제 2002-9호(2002).
9. 김운형, 김종훈, 민인홍, 전동일, “전력용 케이블의 연기 유독성 실험”, 한국화재·소방학회, 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.259-263(2001).
10. 김운형, 김태수, 김상욱, “전력용 케이블의 열방출량 측정”, 한국화재·소방학회, 2001년도 추계학술대회 논문집, pp.280-283(2001).
11. 박찬호, 정창기, 이복영, 김기욱, 정재희, “내화전선의 내화특성에 관한 실험적 연구”, 한국화재·소방학회, 2002년도 추계학술대회 논문집, pp.54-59(2002).
12. 윤현주, 유동일, 사공성호, 김학진, “소방용 전선의 연기 밀도 특성에 관한 연구”, 한국화재·소방학회, 2003년도 추계학술대회 논문집, pp.150-156(2003).
13. 박승민, 김운형, 윤명오, “지하구 케이블의 연소특성 실험”, 한국 화재·소방학회 논문집, Vol. 16, No. 2, pp. 75-80(2002).
14. ASTM E 662, “Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials”, ASTM(1993).
15. ASTM D 2863, “Standard Test Method for Measuring The Minimum Oxygen concentration to support Candle-like Combustion of Plastics (Oxygen Index)”, ASTM(1991).