

지하 전력구내 OF 케이블의 화염전파속도 특성 실험

이재하 · 장성현* · 이용희* · 홍기배* · 유흥선

중앙대학교 기계공학과 · *충주대학교 열공학과

1. 서론

최근 국내에서는 여의도 공동구, 종로 공동구 화재 등과 같이 지중 송전계통인 지하 공동구 및 전력구 화재의 발생으로 인하여 경제적, 사회적 손실이 커지고 있다. 공동구 화재가 가져오는 파급효과는 국가 기간시설의 마비 등과 같은 손실을 최소화하기 위한 화재 원인 분석 및 화재 예방과 방재대책 마련이 시급히 요구된다.

선진국에서도 공동구 화재가 발생하여 큰 피해를 가져왔으며 이러한 피해를 최소화하기 위한 연구가 진행되어왔다. 미국에서 발생된 케이블 화재의 원인별 건수는 Table 1과 같으며 화재 발생원인을 케이블 및 케이블 접속부의 자체 연소에 의한 원인 및 용접불꽃으로 인한 발화, 그리고 전력구내 내부조명의 누전이나 환기구를 통한 인화성 물질의 유입에 의한 기타 요인으로 분석되었다.

일반적으로 전력구 화재는 크게 누전, 단락, 과전류 등과 같은 전기적인 문제로 인하여 전력구 설치물 자체에서 발화하는 경우와 외부의 요인에 의해 발화하는 경우로 나눌 수 있는데 전자의 경우 다양한 전기계통 제어장치의 도입으로 대책이 마련되고 있으나 후자의 경우 전력구 화재에 대한 체계적이고 기술적인 접근은 부족한 실정이다.

본 연구에서는 전력구내의 실증실험을 통하여 O.F 케이블의 화염전파속도를 측정하고 이를 바탕으로 화재의 성상과 전파속도를 예측하여 지중케이블 및 설비의 방재 대책과 지하 전력구 화재의 초동 진화 대책을 수립하기 위한 기초 자료로써 제시하고자 한다.

Table 1. 미국에서 발생한 케이블 화재 원인별 건수

발생연대	자료	화재 원인별 건수			
		케이블 자체열화	접속함에서 발화	용접, 용단등의 작업중 발화	기타 (원인불명)
1960	NFPA	9건	7건	4건	4건
1970	IEEE	3건	27건	4건	2건
1980	FM	120건		25건	62건
합계		160건		33건	68건

2. 전력구 케이블의 화염 전파속도 측정실험

2.1 실험장치

Figure 1은 전력구의 oil filed cable 케이블의 화염전파속도를 측정하기 위한 실험장치를 보여주고 있다. 지하 전력구는 철근콘크리트구조로 2m(H)×2m(W)×22m(L)의 크기이며, 전력구 양쪽에는 방화문(0.9×1.6m)이 설치되어있다. 외부요인에 의한 화재를 구

성하기 위하여 전력구내 누유된 절연유에 의한 케이블의 연소를 가정하였다. 따라서 전력구내 절연유에 의한 초기화재는 pool fire를 통하여 cable에 2차 점화를 유도하였다. 전력구내 화원과 실험용케이블은 한 쪽문으로부터 10m위치 벽으로부터 중심부에 위치하였다. 화원용 pool은 두 가지로써 0.4×0.25×0.07m와 0.4×0.3×0.07m이고 화원과 시편의 거리는 0.2m로 동일한 위치에서 수행하였다. 열전대를 K-type으로 사용하였고 온도측정은 NI Data logger에 의해 수집된 신호를 Lab View 6.0을 이용해 실시간으로 저장하였다. CCD 카메라를 이용하여 화염의 상태를 녹화하였다.

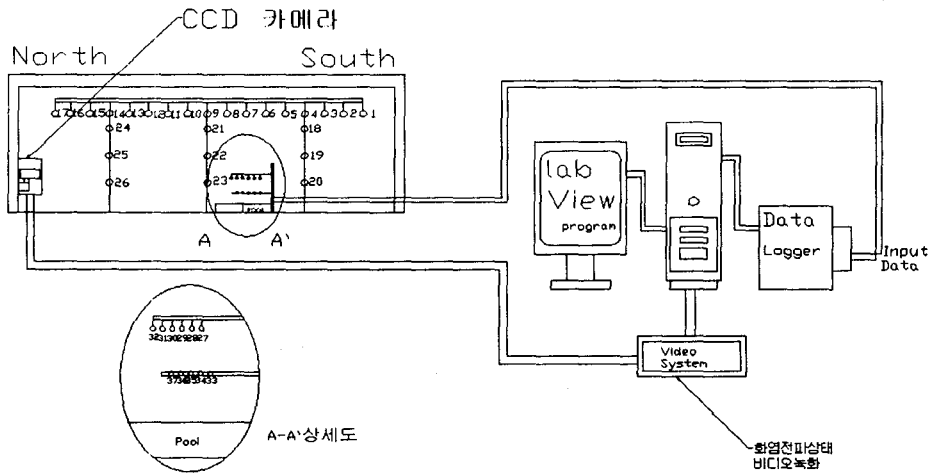


Fig 1. 전력구 O.F케이블 화염전파속도 측정용 실험장치

2.2. 특성실험

전력구 내에서의 oil filled cable케이블의 화염전파속도를 측정하기 위한 실험은 다음과 같이 실시하였다.

점화는 절연유면에 면섬유로 된 심지를 이용하여 유면 전체를 덮은 상태에서 점화하는 방법과 electric heater를 이용하여 절연유를 착화점까지 가열한 후 점화하는 두가지 방법을 이용하였다. 심지를 이용하여 점화시킨 경우는 초기점화는 간단하지만 항상 일정한 화염을 유지하면서 연소되었고 electric heater를 이용하여 oil을 가열 후 점화시켰을 때는 착화된 뒤 시간이 지남에 따라 화염의 크기가 점점 증가하는 것을 보였다. 심지나 기타 다른 물질로 oil filled cable 케이블의 피복재를 착화점까지 올리려면 인화에 필요한 열량으로 가열해야 연속적인 연소가 가능한데 면섬유나 기타 발열량이 적은 물질로는 상당한 면적을 필요로 하기 때문에 지하 전력구 내부에는 그런 요소들이 다량으로 존재할 수 없고 있다고 가정해도 그 양이 무시될 정도이기 때문에 이후 실험에서 배제하고 electric heater로 가열하여 유증기를 발생시켜 점화하는 방법을 택하였다. 절연유 함유량이 적은 건조된 상태의 케이블을 시편으로 사용, 화염전파가 일어나는지 관

찰하였다.

케이블을 구성하고 있는 절연유 외의 가연물들은 모두 고체로 구성되어있고 불연성 또는 난연성 재질이므로 케이블 화재의 발생과 화염전파 매체는 유체상태인 절연유라고 예상할 수 있다. 그러므로 절연유의 화염특성분석을 위하여 burning rate를 측정하였다. Burning rate의 측정은 Figure 2와 같이 load cell을 이용한 미소중량측정장치 위에 0.02×0.2×0.05m크기의 pool을 놓고 절연유를 2/3가량 넣고 electric heater로 착화점까지 가열한 후 점화한 상태에서 burning rate를 측정하였다. Table 2에 절연유와 핵산의 burning rate⁽⁶⁾ 및 착화점을 나타내었다.

$$\text{절연유의 Burning rate} = \frac{\text{연료감소량}}{\text{Pool단면적} \times \text{시간변화량}}$$

Table 2 핵산과 절연유의 착화점과 burning rate

구분	Flash Point	Burning rate (Kg/m ² · s)
핵산 (C ₆ H ₁₄)	-7	0.07~0.08
절연유(alkyl-benzene)	142	0.016

2-3 실험방법

케이블 화재에서 화염 전파속도를 측정하기 위하여 여러 가지 조건으로 실험하였다.

Table 3 에는 본 실험에 사용된 여러 가지 조건의 케이블의 가공상태, 길이, 수량, 절연유의 함유유무, 화원용 pool의 size, 화원으로 사용되는 연료의 종류 및 양 등을 나타내었다.

Figure 2(a)는 table 4의 2회 실험에 해당되며 화원 직상부에서 케이블 길이방향으로 5cm 떨어진 지점에서부터 화염의 온도를 측정하였다. Figure 3(b)는 table 4의 5에 해당되며 화원 직상부에서 케이블 길이에 대하여 방향으로 20cm 떨어진 지점에서부터 화염온도를 측정하였다.

케이블 상층부 표면에 설치되었던 열전대로부터 획득한 온도데이터의 평균값을 이용하여 케이블의 화염전파속도를 계산했다.

3. 실험결과 및 분석

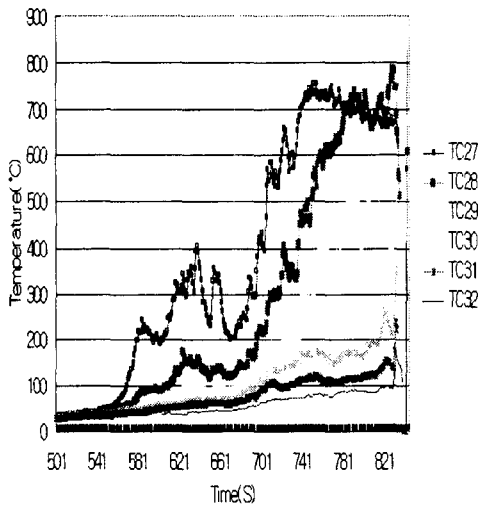
Table 3에 제시한바와 같은 여러 가지 조건으로 케이블의 화염 전파속도를 측정한 결과는 table 4에 정리하였다. Table 4에 O. F 케이블의 수와 절연유 가열시간, 연소시간 등에 따른 화염전파 속도 측정결과를 요약하였다.

Table 3 실험조건 및 실험에 사용된 케이블의 규격($\Phi 90\text{mm}$)

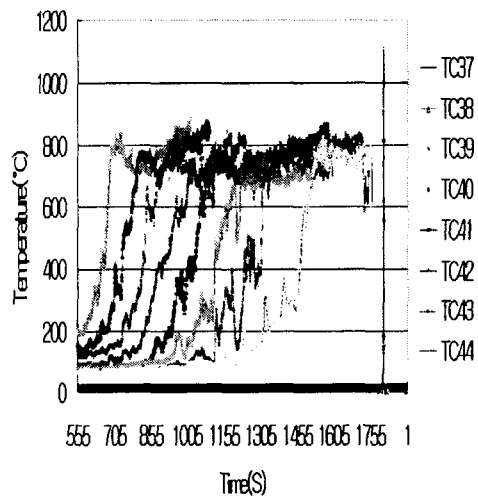
회차	케이블규격		Pool의 size 및 절연유량		케이블내 절연유 유무
	길이m	케이블 수량	화원 단면적	절연유량 (hexan의 량)	
1	0.75	3	0.4×0.3	2400	○
2	0.75	3	0.4×0.3	2400	
3	1.5	3	0.4×0.3	2400	
4	1.5	3	0.4×0.3	1200	
5	1.5	1	0.45×0.45	(10000)	×
6	0.75	1	0.4×0.25	3000	
7	1.5	1	0.4×0.25	1000	○
8	1.5	1	0.4×0.3	2400	
9	1.5	1	0.4×0.3	600	

Table 4 O. F 케이블(90Φ)의 화염전파속도, 절연유 가열시간, 연소시간

회차	내용	케이블의 수	절연유 가열시간 (sec)	연소시간 (hr)	케이블화염전파속도 (cm/s)
1		3	151	27분17초	0.093
2		3	190	9분30초	0.096
3		3	144	29분16초	0.091
4		3	75	29분25초	0.054
5		1	(hexan)	5분58초	-
6		1	120	9분12초	-
7		1	65	1시간26분	0.032
8		1	205	1시간 5분46초	0.032
9		1	70	1시간15분10초	0.028

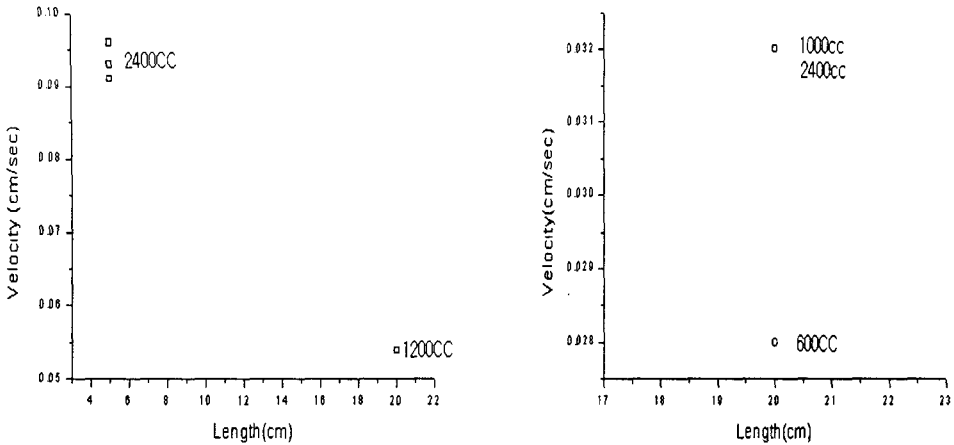


(a) 5cm



(b) 20cm

Fig. 2 O. F 케이블 상단의 화염 온도 분포 화원 직상부에서 (a)5cm(b)20cm



(a) 3개선

(b) 1개선

Fig. 3 화원위치에 따른 O. F 케이블의 화염전파속도

Figure 3의 (a)는 table 4의 1회, 2회, 3회, 4회 실험에 해당되며 oil filled cable 3개선을 사용했다. 화원 직상부로부터 5cm와 20cm씩의 거리를 각각 두고 실험한 결과로서 복사열이 화염전파속도에 영향을 미치는 것을 알 수가 있다. 화원으로부터 5cm일 때 화염전파속도는 $0.093 \pm 0.0023 \text{ cm/s}$, 화원으로부터 20cm일 때는 0.054 cm/s 를 나타내고 있다.

Figure 3의 (b)는 table 4의 7회, 8회, 9회 실험에 해당되며 복사열이 최대한 배제되도록 화원으로부터 거리를 20cm 떨어진 곳에 열전대 센서를 설치하고 케이블 수량을 1개만 사용했을 때를 나타냈다. 화원의 열량이 작아지면 화염의 전파속도도 느려지는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 현재 국내에서 많이 활용하고 있는 $\varnothing 90 \text{ mm}$ 의 O. F 케이블을 이용한 화재실험을 수행하여 지하 전력구에서 케이블의 화염 전파속도를 측정하였다.

케이블이 1개일 때가 3개일 때보다 전파속도가 느리게 나타났다. 3개선의 화염전파속도가 $0.06 \sim 0.09 \text{ cm/s}$ 로서 1개선의 $0.028 \sim 0.032 \text{ cm/s}$ 보다 2.1~2.8배정도 빠르게 나타났다.

실험결과 얻어진 화염전파속도는 화재 시 발생하는 재산피해의 규모와 유독가스나 soot의 양 등을 추산하는 중요한 파라메타가 될 수 있으며, 케이블의 화염전파속도는 케이블의 수, 케이블내의 절연유 함유량, 화원의 단면적 크기에 비례하고 셋 중에서 화

원의 열공급량을 결정하는 pool의 단면적에 의한 지배적인 영향을 받게 된다.

감사의 글

이 논문은 2003년도 충주대학교 학술연구조성비 지원에 의해서 연구되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 박승민, 김운형, 윤명오, “지하구 케이블의 연소특성실험”, 한국화재·소방학회, 제16권 제2호, 2002.
2. 조영길, “전력케이블의 화염전파특성에 관한 연구”, 건국대학교, 석사학위논문, 1998.
3. 서정필, 감왕곤, 신성권, 조경순, 홍진용, “Oil Filled 케이블용 절연유의 유전특성”, 한국전기전자재료학회, 추계학술대회 논문집, 1994.
4. 윤구섭, 정우성, 김철운, 김태성, “OF 케이블 절연유의 특성변화에 따른 경년열화진단”, 한국전기재료학회, 춘계학술대회 논문집.
5. 김운형, 김종훈, 박승민, 김태수, 민인홍, 전동일, 김상욱 “지하구 미분무수 소화설비 적용에 관한 연구”, 한국화재·소방학회, 제16권 제1호, 2002.
6. Quintiere, James G. “Principles of Fire Behavior” Thomson Learning, (1997)