

진공주형형 몰드변압기의 난연성과 NAF S-Ⅲ에 의한 소화시간에 관한 연구

신효섭, 이수경*, 정용기**, 하동명***

(주) 한양TEC, 서울산업대학교 안전공학과*,

의제전기설비연구원**, 세명대학교 산업안전공학과***

1. 서 론

전기설비에서 광범위하게 사용하고 있는 유압변압기는 연소성과 환경오염의 문제등으로 인하여 에폭시 수지를 주재료한 진공주형형 몰드변압기로 발전하였다. 따라서 현재는 건축물의 옥내에는 광범위하게 사용되고 있다. 본 논문에서는 에폭시 수지를 사용한 진공주형형 몰드변압기를 시료로 사용하여 전기실과 유사한 환경에서 연소시험에 의한 난연성과 자기소화성을 확인하여 몰드변압기로 인한 소화설비의 불필요성을 입증하였고, 청정소화약제의 하나인 NAF S-Ⅲ소화제로서 소화실험을 시행하여 그 소화시간을 측정하고 연소 시험의 결과와 비교 평가하였다.

2. 몰드 변압기

(1) 출현 배경

산업의 고도화, 도시기능의 복잡화 및 도시인구의 과밀화의 영향으로 인하여 수변전 설비에 있어서 화재예방, 안전성, 공해방지, 유지보수의 경제성이 대두되었고 이에 대한 대책으로 건식화가 추진되어 몰드변압기가 사용되게 되었다.

- 1039년 : 미국에서 에폭시 수지 최초 사용
- 1960년 : 서독에서 몰드변압기 생산 계시
- 1965년 : 일본에서 몰드변압기 생산 계시
- 1967년 : 미국에서 몰드변압기 생산 계시
- 1981년 : 국내에서 수입·조립생산
- 1982년 : 국내 자체기술개발 몰드변압기 생산

(2) 구성요소

- 철심(core) : 고무자율의 냉간압연 규소강판
- 권선(Coil) : 구리 또는 알루미늄이 재료로 사용되며 고진공 상태에서 에폭시 수지로 고화성형
- 단철(Frame) : 철심과 권선을 지지하며, 소음감소가 목적
- 방진고무(Vibration proof Rubber): 진동차단
- 기 타 : 탭절환단자, 냉각팬, 권선온도검출보호장치, 상간리드, 바퀴

(3) 일반적인 특징

- 난연성: 에폭시 수지는 자기소화성이 있고, 권선 내외부 아크발생시에도 폭발하지 않는다.
- 내습 · 내진성 · 저소음 · 우수한 단락내력
- 안전성: 표면에 접촉시 인체 통전 전류가 낮아 안전성이 높다.
- 절연성: 교류 내전압특성, 임펄스 강도 우수

(4) 설치사례에 의한 장애현상

사례조사 대상인 A시 지하철의 경우 몰드변압기에 의한 장애는 과부하에 의한 권선과 철심에 응력변화로 내부 크랙이 발생되어 이것이 원인이 된 사고였으며, 몰드변압기가 직접화재의 원인이 되는 문제는 없는 것으로 판단되었다.

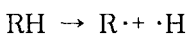
3. 이론

(1) 에폭시의 열반응

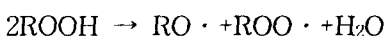
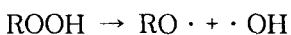
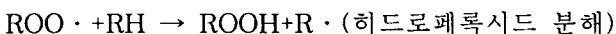
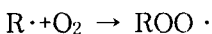
에폭시(EPOXY) 수지는 유기 고분자이므로 외부의 가열시 연소반응이 일어나고 이것을 열열화라고 한다.

- 열열화반응식

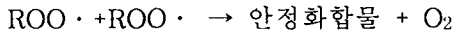
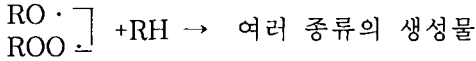
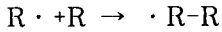
①개시반응 (빛 또는 열의 작용으로 프리라디칼 생성)



②생성반응



③ 정지반응



· 물드변압기의 내열성평가를 DIN에 의한 열열화 온도를 측정하면 에폭시 의최고 허용온도는 132℃ 이고 내열성 평가가 B종이다.

(2) NAF S-III 소화이론

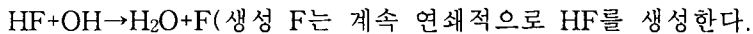
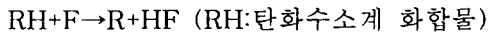
· NAF S-III 구성성분

명 칭	디클로 로에탄 (HCFC-123)	클로로디 플로로메탄 (HCFC-221)	클로로플 로로에탄 (HCFC-124)	이소프로 페닐-1- 메틸사이 클로hexan
분자식	CHCl ₂ CH ₃	CHClF ₂	CHClFCH ₃	C ₁₀ H ₁₆
구성비	4.75	82	9.5	3.75

표1. NAF S-III의 구성성분

· 소화원리

NAF S-III는 성분이 F나 Cl의 할로젠족 원소를 갖는 구조이다. 이것은 열 분해시 냉각작용과 함께 연쇄반응차단을 시행한다.



4. 소화 및 연소시험

이 시험은 소화약제로 소화시험을 실시하여 소화약제에 의한 소화여부를 파악하기 위한것이며 연소시험은 자기소화시간을 측정하고 난연성을 평가 하기 위한 것이다.

(1) 청정소화약제

· 종류

청정소화약제의 종류는 포플루오로부탄(FC-3-1-10), 하이드로클로로플루오로카본혼화제 (HCFC Blend A), 클로로테트라 플루오로에탄 (HCFC-124), 펜타플루오로에탄(HFC-125), 헵타플루오로프로판(HFC-227ea), 트리플루오로메탄(HFC-23), 불연성·불활성기체 혼합가스 (IG-541)등이 있다.

· 청정소화약제(NAF S-Ⅲ)량 산출
 NFPA 2001 및 「청정소화약제 종류 및 소화설비의 기술기준」(내무부 고시 1995-28)에 의거 산출한다.

(2) 실험설계

· 실험에 사용된 유사전기실의 도면은 다음과 같다.(체적 16.72m³)

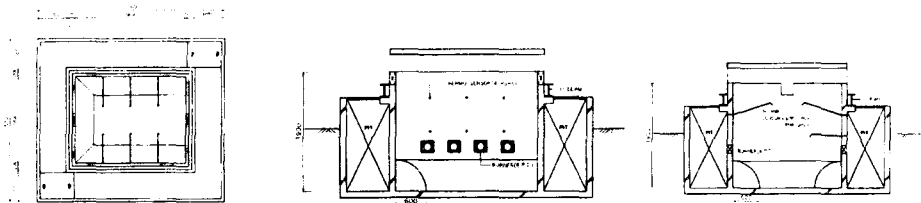


그림 1. 수평가열로의 평면도, 정면도, 측면도

· 시료의 시방

실험에 사용된 진공주형형 몰드변압기는 30kVA(저압권선)와 100kVA(고압권선)이다.

· 청정소화약제(NAF S-Ⅲ)의 특성

구분	분자량	비점 [℃]	빙점 [℃]	임계 온도 [℃]	임계 압력 [kPa]	임계부피 [cm ³ /mole]	임계밀도 [kg/m ³]	액체비열 [kJ/kg·℃]	증기비열 [kJ/kg·℃]
특성	9290	-38.3	-107.2	124.4	6.647	162	577	1.047	0.084
비고								-25[℃]	-760 [mm·Hg]

표 2. NAF S-Ⅲ의 물질특성

(3) 가열조건

KSF 2257에 규정된 연소시험 곡선에 일치하도록 하며 일정시간 경과후 1025[℃]를 유지한다.

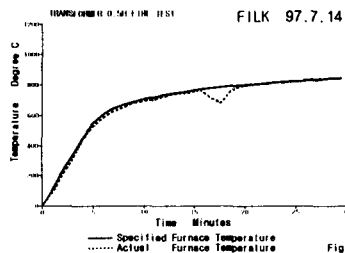


그림 2. 가열온도 곡선

(4) 실험 진행

- 1 단계 : 준비작업
- 2 단계 : 연소버너점화→시료착화확인→연소버너소화→화염전파
(총 26 분 소요)
- 3 단계 : NAF S-Ⅲ 분사→시료소화확인 (1분)

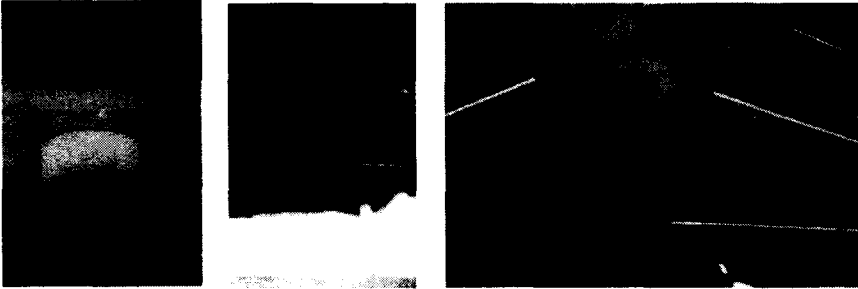


그림 3. 실험 진행 1, 2, 3 단계의 모습

(5) 연소실험

연소시험은 KSF 2257에 의한 연소시험 곡선에 일치하도록 하였으며 자기 소화시간을 측정하기 위한 것이다.

- 1 단계 : 준비→연소버너점화→시료착화확인(상단 1/4까지 화염진행확인)
→연소버너소화
- 2 단계 : 자기소화 시간측정

(6) 실험결과

특고압 몰드변압기에 대해, KSF 2257의 시험방법을 응용한 30분 가열시험을 실시하여, 시료의 연소·소화특성을 관찰하였다. 연소버너를 이용하여 시료에 점화 하였으며, 이때 가열을 일시중지한 후 2분만에 재가열을 실시하였으며, 이로부터 7분 경과시 시료의 착화를 육안에 의해 확인할 수 있었다. 이때 가열을 중지하고 화염이 시료표면의 전면으로 확산될 때까지 1분간 대기하다가 화염의 전면확산을 확인한 후 NAF S-Ⅲ 1통(6kg)을 분사하였다. 시료의 화염은 1분후 완전 소멸되었으며, 이로써 소화실험은 종료되었다. 연소시험인 경우 특고압 몰드변압기에 대해, KSF 2257의 가열시험을 실시하여 연소특성을 파악한 결과, 동일 시료의최초 착화시간은 6분이 소요되었고, 자체 화염 소화시간은 19분이 소요되었다.

5. 결 론

진공주형형 몰드변압기에 있어서 연소 시험과 NAF S-Ⅲ에 의한 소화시험의 결과로서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 몰드 변압기의 연소시험결과, 연소버너를 점화시킨 후 6분 경과시 점화되었으며, 화원 제거후 내부온도 1025[℃]의 상태에서도 19분만에 자기 소화되어 몰드 변압기 소재인 에폭시 수지의 난연성이 입증 되었다.

(2) 청정소화약제중 하나인 NAF S-Ⅲ를 사용한 소화시험 결과, 몰드 변압기가 발화되어 화염의 확산을 확인후 소화약제를 분사하였으며, 분사후 1분 경과시 완전소화 되었으며, 이를 근거로 다음과 같은 사항이 검토 되었다.

① 주변화재로 인하여 몰드변압기가 점화된 경우 청정소화약제중 하나인 NAF S-Ⅲ로 소화를 하는 경우 자기소화시간 19분보다 빠른 1분 내외에 소화되었다. 따라서 청정소화제중 하나인 NAF S-Ⅲ의 소화능력을 평가할 수 있었다.

② 본 실험에서 사용한 청정소화약제량은 산출량 5.78[kg]에 근접한 6[kg]을 사용하였으며, 이때에도 빠르게 소화되었으므로 몰드변압기가 설치된 변전실등에서 이를 적용하는 경우 계산량의 하향 조정이 필요할 것으로 판단된다. 이런 판단에 근거할 때 산정식 이상의 여유율을 가질 필요가 없는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Y.K Chung, J.W. Jung, J.C. Kim, H.R. Kwak, S.K. Lee, "A Study on the Risk Protection of the Mold Transformer" KIFSE, Nov. 1997
- (2) 광희로, 김재철, 정찬수, 정용기, 정종욱, 장성규, 몰드변압기의 방재 및 진단용 Monitoring System 개발에 관한 연구(연구보고서), 한국소방협회, 1997. 1.
- (3) NAF S-Ⅲ Design Manual, North American Fire Guardian Technology Inc. 1994.
- (4) 정종욱, 정용기, 김영춘, 김재철, 광희로, "몰드변압기의 진동신호 분석에 관한 연구," 방전 및 고전압연구회 학술대회 논문집, 1997. 5, pp.192-194
- (5) 前田昌彦, モールト 変壓器 の 今後 の 課題, 1993. 4.
- (6) 장성규, 몰드변압기의 방재 및 소방기준에 관한 연구, 숭실대학교 석사학위 논문, 1997. 6.
- (7) 청정소화약제의 종류 및 소화설비의 기술기준(내무부 고시 1995-28)
- (8) 정용기, 이순형, 박동화, 수·변전설비의 계획과 설계, 도서출판 의제, 1995. 5.
- (9) 정종욱, 정용기, 이재걸, 김재철, 광희로, 박중신, "몰드변압기의 이상권선의 진동신호 분석에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1997. 7, pp.1847-1849