

지하공동구 화재 실험 및 시뮬레이션에 의한 화재 실험 예측 평가

Estimation of fire Experiment Prediction by Utility Tunnels Fire Experiment and Simulation

윤명오[†] · 고재선* · 박형주** · 박성은***

Myong-O Yoon[†] · Jae-Sun Koh* · Hung-Joo Park** · Sung-Eun Park***

서울시립대학교 건축도시조경학부 부교수, 지진·방재연구소 소장

*서울시립대학교 지진·방재연구소 책임연구원

**경원대학 소방안전관리과 조교수

***서울시립대학교 지진·방재연구소 연구원

(2000. 12. 22 접수/2001. 01. 20 채택)

요 약

지하공동구는 최근 통신의 발달로 인해 국가 중추기능으로서의 주요 역할을 하는 시설로, 사고시 신속한 대처가 힘들고 케이블 연소시 발생하는 유독가스에 의한 검은 연기로 공동구 내에 진입하여 소화하기가 힘들다. 따라서, 화재발생시 막대한 재산피해 및 통신의 두절 등 국가의 중추신경이 마비됨은 물론 시민 불편사항을 초래시켰다. 본 논문은 지금까지 발생되어온 공동구 화재를 바탕으로 실제 공동구 모형을 제작하여 화재를 재현함으로써, 과학적으로 화재의 성상을 분석하고 지하공동구 내에 소방설비를 갖춘 후에 일정온도에서 각각의 소방설비들이 제대로 작동하는지를 검증하는데 그 목적이 있다. 화재실험은 지하공동구 내에 정온식 감지선형 감지기, 방화문, 연결살수설비 및 환기설비를 설치하고 송·배전케이블은 일정구간 내화도료로 도장하며 난방관은 내화피복된 상태에서 실험하였다. 그 결과 최고 온도가 932°C로 측정되었고 일정온도에서 정온식 감지선형 감지기가 작동하여 화재위치를 정확히 수신반에 나타내었다. 그리고 송·배전케이블은 일정구간 내화도료로 도장한 것은 내화성능이 없는 것으로 나타났고, 내화피복된 난방관은 약 30분 정도의 내화 성능이 있는 것으로 나타났다. 컴퓨터 화재 시뮬레이션은 실제 화재 시험시의 화재하중을 입력하여 실시한 결과 최고 온도가 943°C로 실제 화재시의 최고 온도인 932°C와 거의 일치하였다. 따라서 공동구 화재하중만으로 화재 시뮬레이션을 실시하여 화재의 성상에 대한 예측이 가능한 것으로 판단되며 시뮬레이션으로 얻는 열방출량, 연기층의 높이, 산소, 일산화탄소, 이산화탄소의 농도 등의 결과 값들을 실제 화재 실험시의 값으로 적용시킬 수 있는 것으로 판단된다.

ABSTRACT

The utility tunnels are the important facility as a mainstay of country because of the latest communication developments. However, the utilities tunnel is difficult to deal with in case of a fire accident. When a cable burns, the black smoke containing poisonous gas will be produced. This black smoke goes into the tunnel, and makes it difficult to extinguish the fire. Therefore, when there was a fire in the utility tunnel, the central nerves of the country had been paralyzed, such as property damage, communication interruption, in addition to inconvenience for people. This paper is based on the fire occurred in the utilities tunnel in the past, and reenacting the fire by making the real utilities tunnel model. The aim of this paper is the scientific analysis of the character image of the fire, and the verification of each fire protection system whether it works well after process of setting up a fire protection system in the utilities tunnel at a constant temperature. The fire experiment was equipped with the linear heat detector, the fire door, the connection water spray system and the ventilation system in the utilities tunnel. Fixed portion of an electric power supply cable was coated with a fire retardant coating, and a heating tube was covered with a fireproof. The result showed that the highest temperature was 932°C and the linear heat detector was working at the constant

[†]E-mail: firewall119@hotmail.com

temperature, and it pointed at the place of the fire on the receiving board, and Fixed portion of the electric power supply cable coated with the fire retardant coating did not work as the fireproof. The heating tube was covered with the fireproof had the function of the fireproof about 30 minutes.

Keywords : Common utility tunnel, Precast concrete, Thermocouples, FPETool, Zone modeling, Heat release, Smoke lay

1. 서 론

공동구는 현대 정보화 사회의 필수적인 인프라 시설을 구축하는데 없어서는 안될 중요한 기반시설이다. 그러나 소방설비의 미비로 인해 화재 등의 재난발생 개연성이 높고 사고시 신속하고 효과적인 대처가 곤란하여 사실상 안전의 사각지대에 놓여 있다. 뿐만 아니라 화재 발생시 막대한 재산 피해와 시민불편이 발생하는 등 사회적 문제로 대두되게 되었고 최근 우리나라의 공동구에 연이어 발생한 화재는 무방비가 빚어낸 인재(人災)로서 국가적인 기간 시설이 공동구에 모여 있음에도 불구하고 기본적인 화재방재시설조차 갖추지 않

아 작은 화재를 진압하는데도 막대한 경제적, 시간적 손실을 초래하게 되었다.

따라서, 본 연구는 지금까지 발생되어온 공동구 화재를 바탕으로 실제 공동구 모형을 제작하여 각각에 조건에 대한 화재의 성상을 비교, 분석하고 적절한 소방설비를 소개하고자 한다.

그리고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 조건하에서 발생한 화재성상과 화재 실험을 통해 측정된 화재 성상을 분석하여 실제 화재실험을 하지 않고 입력조건만으로 화재의 성상을 예측할 수 있는지를 알아보하고자 한다.

2.1 실험 장치 및 실험 방법

2.1.1 실험장치

본 실험에 사용된 실험 배치도 및 실험 장비 개략도는 그림 1과 같으며 그 밖의 장치에 대한 설명은 다음과 같다.

표 1. 구조체 본체

구분	치수
구조체 크기	2 m×2 m
구조체 길이	30 m
구조체 두께	18 cm
개구부 위치	14.4 m
개구부 크기	1.32 m×1.3 m

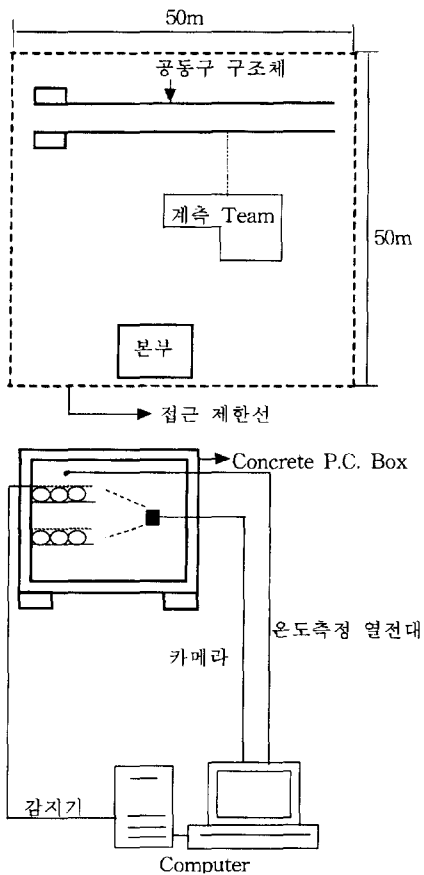


그림 1. 실험 배치도 및 실험 장비 개략도

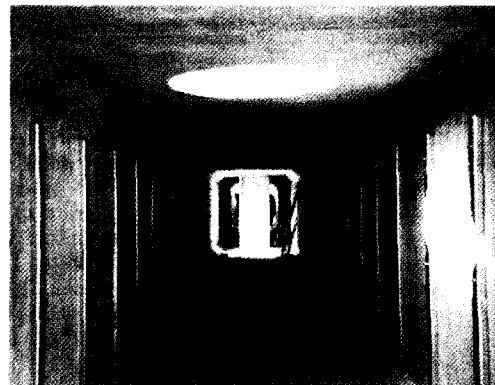


그림 2. 구조체 내부

(1) 구조체 본체

본 실험에 사용된 공동구 구조체는 PC.(Precast Concrete) Box로 그 세부사항은 표 1과 같다.

(2) 정온식 감지선형 감지기

기존의 지하공동구에 설치되어 있는 감지기로서 전선모양의 외관으로 일국소의 주위온도가 일정온도 이상이 되면 가용절연물이 녹아 전류를 흘려 정확한 화원의 위치를 수신반에 보내는 감지기이다.



그림 3. 구조체 옆면

표 2. 정온식 감지선형 감지기

구 분	세부내용
길이	직선거리로 10 m
온도	70°C, 90°C 각각 설치
위치 (표시)	송·배전케이블 트레이 상단 천장(104~114 m) 통신케이블 트레이 상단 천장(120~130 m) 배전케이블 트레이 단 사이(140~150 m)
방식	사행식(지그재그식) ⇒ 감지면적의 증대



그림 4. 정온식 감지선형 감지기

본 실험에서는 감지기가 화원의 위치를 정확히 거리로 나타내어 수신반에 표시하는지를 검증하며 그 세부내용은 표 2와 같다.

(3) 방화문

방화문은 화재시 인접지역으로의 연소를 방지하기 위하여 상당 시간동안 화기를 차단하기 위해 방화구획 선상 또는 방화벽의 개구부나 방화지구 내의 연소우려가 있는 부분에 사용되는 것으로, 본 실험에서는 구조체 내부 연소시 방화문 인접지역으로 화염의 전파 여부를 검증하며, 그에 대한 세부내용은 표 3과 같다.

(4) 연결살수설비

화재시 공동구 내부의 케이블이 연소되면서 연기와 심한 유독가스 및 실내의 온도가 가연물에 의해 급상승하기 때문에 소방대원이 직접 투입되어 진압하기 힘들다. 뿐만 아니라 인접으로 화염의 전파가 빨리 이루

표 3. 방화문

구 분	세부내용
위치	18 m
규격	갑종방화문으로 상시폐쇄형
두께	2 mm의 철판
관통부	내화보드로 마감 케이블과 내화보드간의 틈은 내화충진재(내화퍼티)로 충전



그림 5. 방화문

표 4. 연결살수설비

구분	세부내용
헤드구경	15 mm(상향식 개방형 헤드, 측벽형 개방형 헤드)
위치 (수량)	방화문 기준으로 0.3 m 이격 : 상향식 헤드 설치(1개) 상향식 헤드에서 1.35 m 이격 : 측벽형 헤드 좌우 설치(2개) 측벽형 헤드에서 2.7 m 이격 : 측벽형 헤드 좌우 설치(2개) 측벽형 헤드에서 1.35 m 이격 : 상향식 헤드 설치(1개)
Heat Draft Curtain	12 m
송수구경	65 mm의 쌍구형
송수구	개구부 외부에 설치

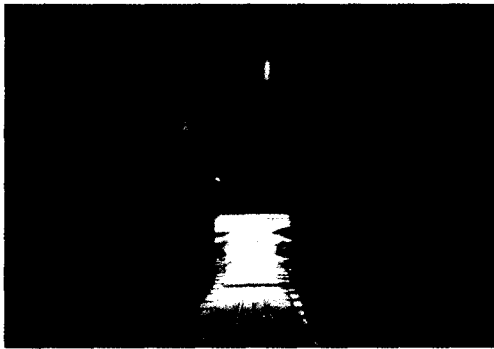


그림 6. 연결살수설비

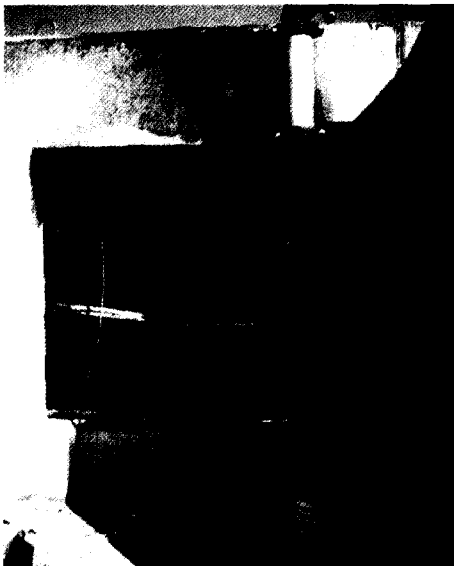


그림 7. 연결살수설비 설치 배관(개구부)

한국화재·소방학회, 제15권 제1호, 2001년

표 5. 환기설비

구분	세부내용
환기방식	반기계배연방식 - 흡기 : 자연환기(개구부) - 배기 : 강제환기(환기팬)
직경(D)	860 mm
위치(팬)	2.7 m, 28.7 m(각각 1개, 총 2개 설치)
용량	270 m ³ /min = 4.5 m ³ /s



그림 8. 환기팬 설치 위치

표 6. 수용물의 종류 및 수량

구분	세부내용
길이	각각 30 m
케이블	송전케이블 : 154 kV 8회선 배전케이블 : 22.9 kV 8회선 통신케이블 : 8조 16회선
난방관	직경(D) : 500 mm
트레이	수량 : 5개(5단) 설치간격 : 0.2 m

어지기 때문에 방화구획하여 방화문 출입구 안쪽으로 설치하였다.

화재발생시 그 구역만 살수하여 특정 방화구획된 구간을 포기함으로써 다른 구간의 피해를 막는 방법으로 설치되었다.

본 실험에서는 살수지역의 사각(死角)지역을 방지하기 위해 개방형헤드와 측벽형헤드를 같이 설치하였으며 그 세부내용은 표 4와 같다.

(5) 환기설비

설치된 지하공동구의 환기설비는 자연환기방식으로 환기구 크기 및 설치 간격에 대한 기준이 없다.

따라서, 본 실험에서는 환기설비 방식 및 그 설치기준에 대한 적절한 방향을 제시하고자 하며 그 세부내

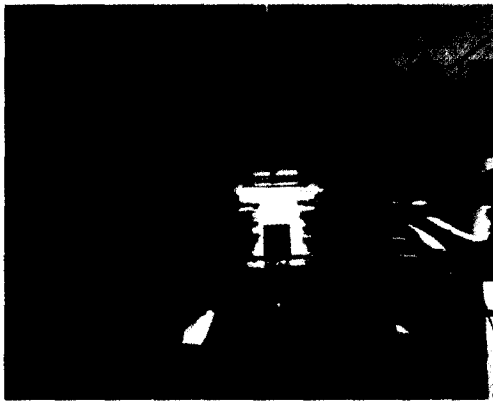


그림 9. 케이블 및 난방관 배치

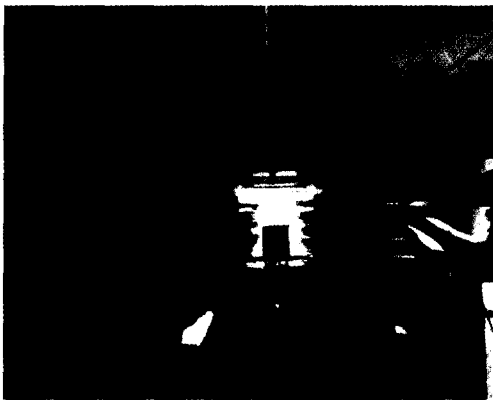


그림 10. CCTV 설치 및 레일 위치

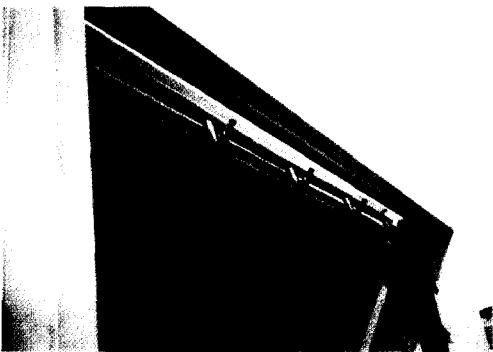


그림 11. 수막설비의 헤드 모양 및 설치 위치

용을 표 5와 같다.

(6) 전력케이블, 통신케이블 및 난방관

본 실험에 사용된 전력케이블, 통신케이블은 내화도료로 일정구간 도장하여 설치하였고 난방관 역시 무독성·무기질의 불연재료(Glass-Fiber)로 도포하여 설치

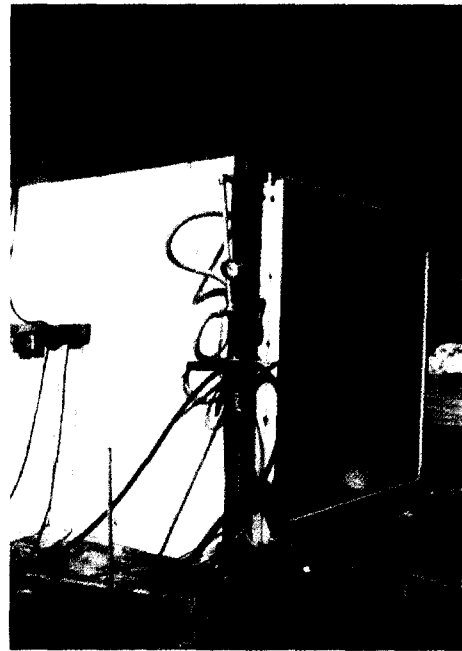


그림 12. 수막설비의 펌프 연결 모습



그림 13. 수막설비 작동시의 모습

하였다. 그 밖의 세부 사항은 표 6과 같다.

(7) CCTV

화재의 성상을 육안으로 관찰하기는 힘들기 때문에 구조체 내부에 철재 박스를 사용하여 CCTV를 내부에 삽입하고 앞쪽에 투명한 유리를 넣어 구조체 내부를 볼 수 있도록 장착하였다. 그리고 구조체 하단에 레일을 설치하여 그 위에 박스를 고정시켜, 박스의 뒤쪽에 철심을 부착하여 수동으로 작동하게 하였다.

방화문에서부터 철심을 수동으로 동작하여 화재 성상을 촬영하였다.

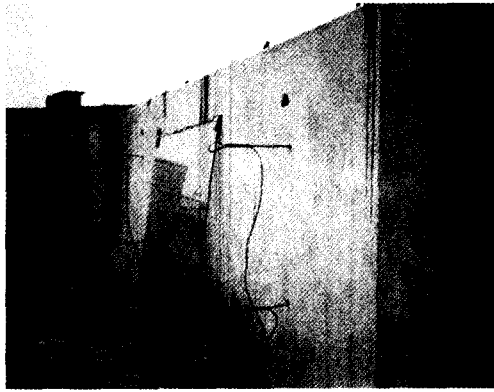


그림 14. 열전대 설치 및 배치



그림 15. LPG를 이용한 점화 모습

표 7. 열전대

구분	세부내용
형태	K Type
온도범위	-200°C~1300°C
열전대 길이	상단 : 1.2 m 하단 : 0.8 m
위치	거리 : 5 m, 7 m, 9 m, 21 m, 23 m 높이 : 1.5 m, 1 m
수치저장	데이터서틀(30 Channels)을 이용하여 파일로 저장

표 8. 데이터서틀의 채널 위치

구분	거리	높이
CH 1	5 m	1.5 m
CH 2	5 m	1 m
CH 3	7 m	1.5 m
CH 4	7 m	1 m
CH 5	9 m	1.5 m
CH 6	9 m	1 m
CH 7	21 m	1.5 m
CH 8	21 m	1 m
CH 9	23 m	1.5 m
CH 10	23 m	1 m

(8) 수막설비

구조체의 앞, 뒤에 문을 달지 않고, 강화유리를 부착하여 CCTV를 통해 내부가 보일 수 없는 경우를 대비하여 외부에서 육안으로 내부를 볼 수 있도록 설계하였다.

연소시 내부 온도가 고온이기 때문에 강화유리가 견

딜 수 있는 온도보다 훨씬 높으므로 강화유리의 파손을 방지하기 위해 양쪽 구조체에서 35 cm 안으로 하여 수막설비를 장치하였다. 이 수막설비는 강화유리의 파손을 방지할 뿐만 아니라, 상당한 고온에서도 견딜 수 있도록 설치하였다.

(9) 온도계측기

본 실험에서 화재발생시의 구조체 내부의 온도분포를 관측하기 위하여 그림 14와 같이 내부 각각의 위치에 열전대(Thermocouples)를 설치하였는데, 그 세부내용은 아래와 같다.

(10) 점화원

본 실험에서 사용된 점화원은 LPG로 토치램프에 점화하여 사용하였다.

2.1.2 실험 방법

1) 자연환기구(개구부)와 강제환기구(환기팬)가 설치되어 있는 조건 하에서 강제환기구의 환기팬을 화재와 동시에 작동시켜 화재성상변화를 관찰한다.

2) 정온식 감지선형 감지기가 작동온도에 도달하여 화원의 위치를 정확히 수신반에 나타내는지 검증한다.

3) 방화구획이 된 상태에서 감중방화문의 방화성능을 알아보고, 송·배전케이블에 일정구간 내화도료로 도장하고 난방관의 외피에 불연재료로 도포한 상태에서 내화성능을 확인한다.

4) 감지기가 작동된 후 실내온도가 최고온도에 도달하면 연결살수설비를 가동시켜 화재진압성능을 확인한다.

2.1.3 실험

(1) 점화

발화원인 LPG의 토치 램프를 사용하여 개구부(그림 15)에서 불꽃 점화하였다.

(2) 점화후 화재 성상

개구부에서 점화된 케이블이 연소하면서 계속 화염이 전파되었고, 점화와 동시에 환기팬이 기동되었다.

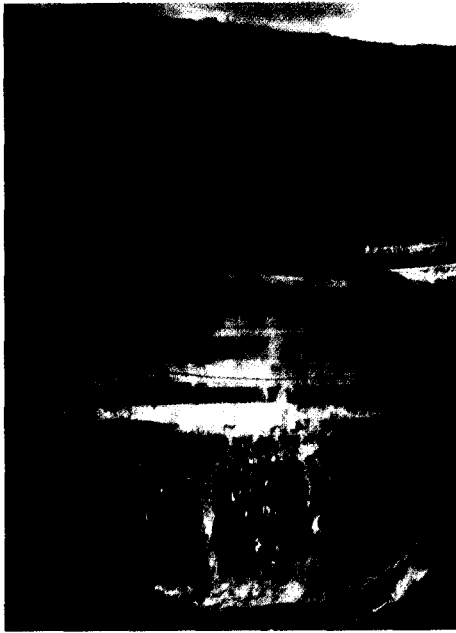


그림 16. 점화 후 개구부에서의 화재성상



그림 18. 화재 6분 후의 외부 연기 발생 모습

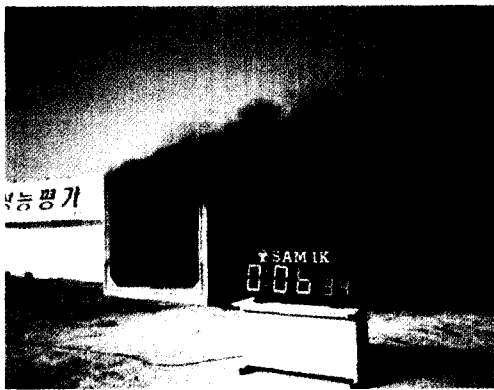


그림 17. 화재 6분 후의 연기 발생 모습



그림 19. 화재 10분 후 연결살수설비 가동 모습



그림 20. 케이블 전소 후의 모습 1

구조체 내부의 연소에 의한 검은 연기의 발생으로 인하여 그 내부를 전혀 볼 수 없었다. 화재시작 6분 후(그림 16, 17)에도 계속적으로 연기의 발생이 진행되었다.

뿐만 아니라, 내부의 온도가 최고 932°C까지 상승하였으며, 온도의 상승으로 인한 콘크리트 구조체 내부의 부분적인 콘크리트 파손이 계속적으로 진행되었다.

화재시작 10분 후에 연결살수설비를 가동(그림 19)하여 진압하였다.

(3) 진압후의 구조체 내부

진압후의 구조체 내부의 수용물들이 거의 대부분 전

소(그림 20, 21)되었으며, 콘크리트의 부분적인 파손이 상당히 광범위하게 나타났다. 방화문 이후의 공간에 대해서는 전혀 화염의 전파가 일어나지 않았다.

2.1.4 실험 결과

(1) 온도분포

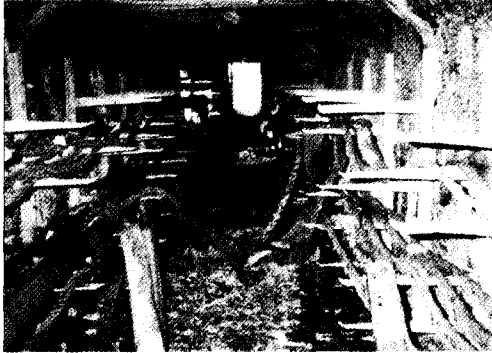


그림 21. 구조체 내부의 전소 모습 2



그림 22. 구조체 내부의 난방관 모습

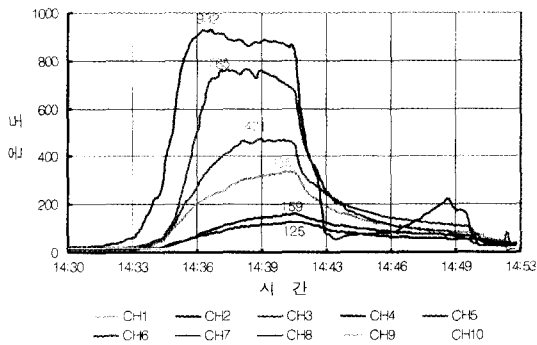


그림 23. 온도 분포

그림 23에서 보면, 화재발생 후 온도분포가 계속적으로 증가하여 약 7분 후엔 CH5의 최고 온도가 932°C까지 상승하였다.

CH1과 CH2는 발화원과 가장 멀리 위치한 열전대이므로 다른 열전대에 비해 그 온도의 변화값들이 거의 없었다.

한국화재 · 소방학회, 제15권 제1호, 2001년

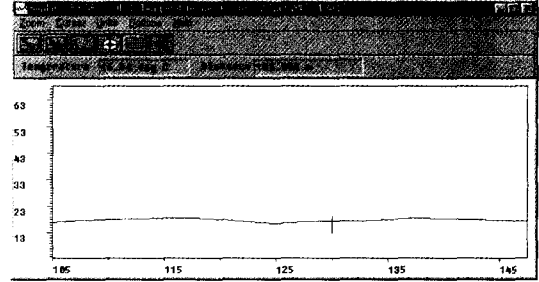


그림 24. 정온식 감지선형 감지기 초기 상태

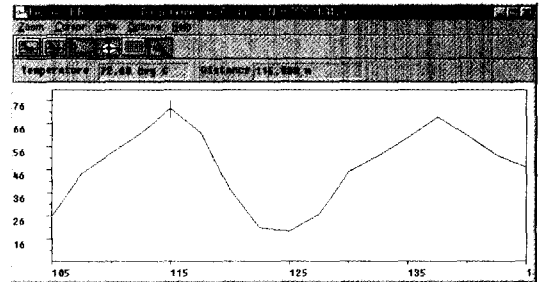


그림 25. 정온식 감지선형 감지기 작동 상태

CH3과 CH4는 실내의 중앙에 설치한 열전대로 최고 온도가 각각 471°C, 336°C로 나타났다.

CH5의 경우는 발화원과 가장 근접하여 설치된 상층부 열전대이므로 그 온도의 변화가 가장 크다. 그리고 CH6 역시 근접하게 설치된 하층부의 온도를 나타내므로 그 최고 온도가 765°C로 나타났다.

CH7~CH10까지는 방화문 뒷면의 실내온도로 그림 23에서 보면, 그 온도의 변화가 거의 일정하다. 따라서 본 실험에서 방화문 뒷면으로 화염의 전파가 일어나지 않았다는 것을 알 수 있다.

연결살수설비를 가동시킨 후 실내의 온도가 계속 떨어져 14:43분일 때 CH5의 온도가 약 51°C까지 내려갔다. 그러나 화재 진압후 실내의 온도 모두 100°C 내외로 여전히 고온의 상태를 보였다.

(2) 정온식 감지선형 감지기

실험에서 감지기 설치 거리는 구조체 내부에서 설치한 거리와 외부 수신반까지의 거리를 합한 것으로 표시되었다. 그림 24는 감지기 초기상태를 나타내며 가로축이 거리, 세로축이 온도를 나타낸다.

그림 24는 작동온도가 70°C로 설정되어있는 감지기의 화재발생시 작동상태를 나타내는 것으로 115 m 지점을 화재가 발생한 지점으로 표시하였다.

실제 화재실험시 개구부 하단쪽에서 점화하여 상층부로 전이되었는데 감지기 거리 상으로 약 115 m 지

점이므로 감지기 표시 위치와 동일하다.

따라서, 화재발생시 정온식 감지선형 감지기가 정확하게 화재위치를 나타내는 것으로 확인되었다.

(3) 송·배전케이블 및 난방관, CCTV

일정 구간 내화도료로 도장한 송·배전케이블은 화재 발생시 구조체 내부의 온도변화를 관찰한 결과, 난연효과가 전혀 없는 것으로 나타났고 난방관은 무독성, 무기질의 불연재료(Glass-Fiber)를 사용하여 외피를 마감하여 실험한 결과 진압 후(약 30분)에 도포한 외피의 형태변화는 거의 없었다. 따라서 실제 공동구에 시공시에 난방관은 불연재료로 도장하여 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

2.1.5 실험결과 요약

실제 공동구를 설계하여 실험한 결과 화재 발생후 최고 온도는 932°C로 측정되었다.

정온식 감지선형 감지기는 작동 온도인 70°C, 90°C에 화재 신호를 나타냈고 화재 발생 위치인 115m를 정확히 표시하였다.

일정 구간 내화도료로 도장한 송·배전케이블은 전혀 난연효과가 없는 것으로 나타났고, 불연재료로 도포한 난방관은 약 30분 정도의 방재성능이 있는 것으로 관찰되었다.

2.2 공동구 화재 시뮬레이션(Fire-Simulation)

2.2.1 시뮬레이션의 목적

화재 시뮬레이션은 실제 실험을 하지 않고 일정한 값을 입력하여 화재 성상, 실내온도, 열방출량 및 연기층의 높이 등을 예측하는 프로그램으로 성능위주의 소방설계를 검증하는데 많이 이용되고 있다.

화재 시뮬레이션 방법은 크게 2가지로 Zone Modeling과 Field Modeling이다.

Zone Modeling은 실의 단면도를 통해서 화재성상을 예측하는 것이고, Field Modeling은 3차원 공간에서 화재 성상을 예측할 수 있다.

Field Modeling은 Zone Modeling에 비해 사용하기가 매우 복잡하고 그 용도도 제한되어 있으므로 특수한 경우를 제외하고는 거의 사용되지 않는다.

따라서, 본 연구에서는 Zone Modeling의 하나인 FPETOOL을 이용하여 화재성상을 미리 예측하여 실제 공동구 실험에서의 화재성상과 비교·분석하는데 그 목적이 있다.

2.2.2 시뮬레이션의 개요

(1) FPETOOL 프로그램 개요(NIST in USA)

이 프로그램은 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 화재 시뮬레이

표 9. 화재 시뮬레이션 입력조건

구분	세부내용
재질	콘크리트 구조체(두께 : 180mm)
크기	2 m×2 m×18 m(구조체에서 방화문까지)
개구부	1.32 m×1.3 m
환기팬	직경(D) : 860 mm 용량 : 270 m ³ /min
화재하중	송전케이블(154 kV) : 8회선 배전케이블(22.9 kV) : 8회선 통신케이블 : 16회선
화재원인	케이블 누전에 의해 화재 발생
화원높이	바닥에서부터 0.3 m 상단
화원속도	Fast Fire

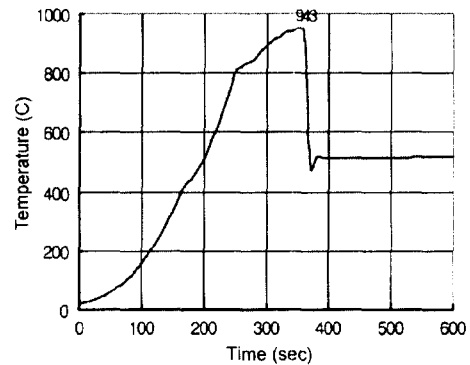


그림 26. 시간에 따른 실내온도 분포

션 프로그램으로서, 가상 시나리오를 작성해 이 프로그램에 적용시키면, 시간의 경과에 따른 온도, 연기층, 열 방출, 일산화탄소와 산소 농도의 변화를 볼 수 있어 위험 수준에 도달하는 시간을 알 수 있다. 이 프로그램의 사용 목적은 방화를 하기 전 화재의 성상을 파악하여 Consequence Modeling을 하는 것으로 인간이 화재로 인해 당할 수 있는 피해를 줄이기 위한 것이다. 따라서 위험수준에 도달하기 전에 각종 소방 설비나 공조설비 시스템이 작동할 수 있게 설비하여, 실제 화재가 발생하였을 때 재산피해나 인명피해를 줄일 수 있게 되는 것이다.

(2) FPETOOL의 이론적 배경

이 프로그램에 적용되는 열방출률(q)은 다음의 환기 지배형식으로 구해진다. m은 질량손실률과 연소열에 비례한다.

2.2.3 지하공동구의 화재 시나리오 조건

본 연구에서는 소방설비가 전혀 갖추어지지 않은 상태의 화재 성상, 실내온도, 열방출량, 가스농도 등을 보

고자 한다. 따라서 그 세부 내용은 표 9와 같다.

2.2.4 시뮬레이션 결과

FPETOOL프로그램을 이용하여 화재 시뮬레이션을 실행시켜, 시간의 경과에 따른 실내온도(°C), 연기층(m), 열방출량(kW), 가스농도(%) 등의 값을 얻었다.

(1) 실내온도

그림 26에서 보면, 화재발생 후 온도가 계속 상승 약 380초에 최고 온도인 943°C를 나타내며 그 이후부터 온도가 떨어져 실내온도가 514°C로 일정하게 유지된다.

일반적으로 화재성상을 분석할 때 약 600°C를 전실 화재(Flashover)로 규정하는데, 전실화재란 실내에 있는 모든 가연물질이 분해되어 가연성 증기를 발생하게 됨으로서 실내 전체가 전소하게 되는 상태를 말한다.

따라서, 380초일 때 실내 온도가 943°C를 나타냄으로 실내전체가 전소하였음을 나타낸다.

943°C이후부터 온도가 하강하여 514°C의 일정한 값을 유지하는데 이것은 환기팬이 기동되기 때문으로 실내 가연물질이 모두 소진된 상태에서 용량에 따라 결정된다.

실내의 온도가 화재발생 후 약 6분까지 급상승함으로 실제 화재발생시 지하공동구 내로 직접 소방활동을 위해 진입하기는 매우 어려울 것으로 판단된다.

(2) 열방출량

그림 27에서 보면, 화재발생 후 열방출량이 계속 증가하여 약 380초일 때 최고 6039 kW까지 방출한다. 그 후부터 3175 kW로 일정하게 유지된다.

열방출량은 온도와 비례하기 때문에 온도의 상승곡선과 비례하여 증가하는 것으로 나타난다.

(3) 연기층의 높이

연기층의 높이는 화재발생 후 실내에 축적되는 물질로서 일반적으로 건물높이를 기준으로 할 때 상승부에

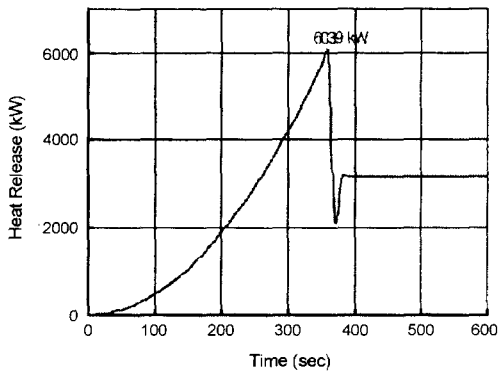


그림 27. 시간에 따른 열방출량

서 하층부로 내려오는 그래프로 나타낸다.

공동구 구조체의 높이가 2 m이므로 천장에서부터 바닥으로 연기가 차 내려오는 형상을 나타낸다.

그림 28에서 보면, 화재발생 후 연기층이 계속 하강하여 약 110초에서 1 m의 높이까지 분포한다. 110초 이후부터 일정한 값을 유지하다가 210초 후에 약간 줄어든 후 다시 증가하여 약 380초 이후부터는 0.9 m의 값을 유지한다.

연기층 역시 다른 온도 분포나 열방출량과 같이 환기설비에 영향을 받기 때문에 연기분포가 일정하게 증가하는 그래프가 아닌 부분적인 구간에서 감소하는 것으로 나타난다.

(4) 가스농도

그림 29은 시간에 따른 산소(O₂), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(O₂)의 분포를 나타낸다.

산소(O₂)는 20.9%에서 화재발생 후 계속 감소하여 230초 후에는 0%로 산소가 완전히 소진되었다.

이산화탄소(CO₂)는 0%에서 계속 증가하여 230초에

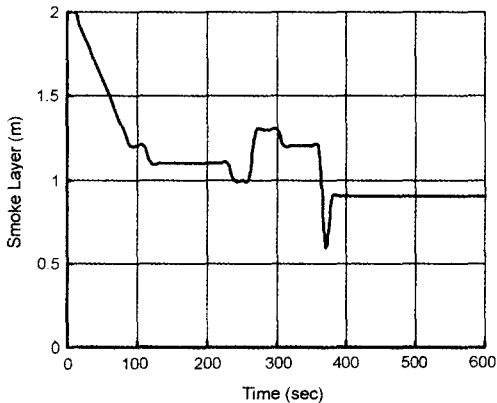


그림 28. 시간에 따른 연기층의 변화

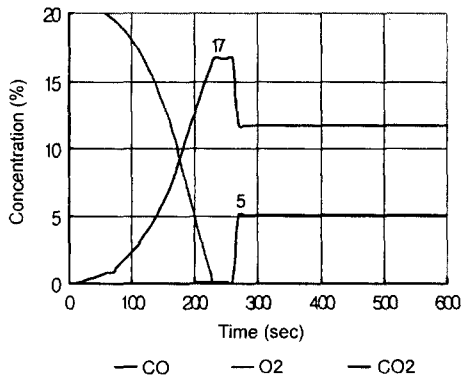


그림 29. 시간에 따른 O₂, CO, CO₂의 농도 변화

한국화재·소방학회, 제15권 제1호, 2001년

약 17%로 측정되었다. 그 후 약 60초 동안 일정한 값을 유지하다가 감소한 후 270초 후부터 12%로 일정한 값을 나타낸다.

일산화탄소(CO)는 화재발생 후 거의 변화를 보이지 않다가 230초에 급상승하여 5.1%의 값을 나타낸 후 일정하게 유지되었다.

2.2.5 결과

화재 시뮬레이션을 실행한 결과 최고 온도는 약 6분 후에 943°C, 최고 열방출량은 6039 kW, 최저 연기층의 높이는 1.1 m로 측정되었다.

각각의 가스농도의 최저치는 산소 0%, 일산화탄소 17%, 일산화탄소 5%로 나타났다.

시뮬레이션을 실행하여 얻은 최고 온도는 943°C(380초)로 실제 공동구 화재실험에서의 최고 온도 932°C(400초)와 거의 일치한다.

시뮬레이션에서 얻은 값과 실험을 통해 얻은 값이 거의 일치하기 때문에 열방출량, 연기층의 높이 및 가스농도 등을 추론할 수 있는데, 실제 실험에서의 열방출량은 6039 kW, 최고 연기층의 높이는 1.1 m, 최고 가스농도는 산소, 일산화탄소, 일산화탄소 각각 0%, 17%, 5%로 알 수 있다.

따라서, 실제 실험을 하지 않고 지하공동구의 화재 하중만으로 대략적인 실내온도, 열방출량, 연기층의 높이 및 가스농도 등을 예측할 수 있다.

3. 결 론

본 실험은 지하공동구 화재시 화재 성상을 알아보고 실험에 사용된 방재설비상의 설비들에 대한 화재안전 성능을 평가하였다.

그 결과, 화재 발생시 일정 온도에서 정온식 감지선형 감지기가 작동하여 발화지점을 정확히 수신반에 거리(meter)로 나타내었다.

일정 구간 내화도료로 도장한 송·배전케이블은 화재 발생시 전혀 내화효과가 없는 것으로 나타났고 불연재료로 도포한 난방관의 경우는 화재 발생후 약 30분간의 방염성능이 있는 것으로 나타났다.

방화문은 케이블 관통부를 내화충진재로 충전한 후 실험한 결과 화염의 전파가 방화문 이후로 전혀 전파되지 않은 것으로 나타났다.

연결살수설비는 공동구 내부에 측벽형헤드 및 개방형헤드를 사용하여 살수의 사각(死角)지역을 없앴으므로 살수 성능을 강화시킨 결과 화재의 진압효과가 큰 것으로 나타났다. 이것은 화재 발생시 내부의 온도가 고온으로, 실제 소방대원이 투입되어 화재를 진압하는 것이 불가능하기 때문에 방화구획 내에 연결살수설비를 설치하여 일정구간을 포기함으로써 화재의 지속적인 진행을 막을 수 있다.

컴퓨터에 의한 화재 시뮬레이션은 공동구 내의 화재 하중만으로 화재 성상을 예측하는 프로그램으로, 시뮬레이션 결과 값이 실제 화재 성상과 거의 일치함으로 화재 실험을 하지 않고 대략적인 화재 성상을 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 일본도로협회, 공동구설계지침(2000).
2. 한국토지개발공사 기술연구소, 공동구 설치에 관한 연구(1990).
3. W.J. Beogly. J.r., System Requirements for Underground Utility Installation(1971).
4. 대한국토계획학회, 도시계획편람(1984).
5. 한국전력공사, 전력구설계기준(1989).
6. 건설부, 상수도설계기준(1987).
7. 일본 주택정비공단, 수도권 도시개발본부, 요코하마시 미라토미라이 21 중앙지구 점용시설 기준설계 보고서(1984).