

공동구의 미분무 소화설비의 적용

박승민, 김운형*, J. R. Mawhinney**

안국E&C, *경민대학 소방안전관리과, **Hughes, USA.

Water-Mist Suppression System on Underground Utility Tunnel

Seung Min Park, Woon Hyung Kim*, and J. R. Mawhinney**

Ankug E&C, *Kyung Min College, **Hughes. USA.

1. 서론

공동구는 국가 기능의 중추적 역할을 담당하며, 정보사회에 필수적인 매우 중요한 기반 시설인 통신시설 및 전력 시설들이 설치되어 운용되는 곳이다.

몇 차례 화재사고의 경험에서 알 수 있듯이 이러한 공동구에서 발생하는 화재는 피해는 매우 심각하며, 미치는 영향이 광범위하다. 특히 경제활동의 필수시설들인 전력, 통신, 초고속 통신망 등이 복구할 때까지 중지되어, 이로 인한 피해의 파급효과가 엄청나다. 그러므로 도시기반 시설인 공동구 화재의 경우 일단 발생하게 되면 최단 시간 내에 진화하고 복구하는 것만이 최선의 대책이라 할 수 있다. 본 연구는 지하공동구 화재의 특성을 알아보고 미분무소화설비의 특성을 고찰하여 공동구 화재에 대한 미분무 소화설비의 적용성에 대하여 논해보고자 한다.

2. 지하공동구 화재특성

국내에서 발생하였던 몇 차례의 화재사례를 분석하고 이를 통하여 공동구 화재의 특성을 알아보고자 한다.

2.1 공동구 주요 화재 사례

(1) 동대문 지하공동구 화재 (1994. 3. 10)

지하공동구내 배수펌프 작동을 조절하는 분전반이 타면서 케이블의 가연성 피복재에 착화되면서 발생하였다. 발생한 화재는 케이블이 타면서 급속히 확대되었으며, 케이블 연소시 발생한 연기와 유독성가스가 지하철환기구로 역류되었고, 고 발포 폼 소화설비를 투입하여 진압하였다.

(2) 남대구 전신전화국 지하통신구 화재 (1994. 11. 18)

통신구내에 케이블 난연화 공사(65%진척) 진행중 전기합선으로 추정되는 화재가 발

생하였다. 시외케이블이 20m 정도 연소하였으며, 121명의 인력이 동원되어 진화하였다.

(3) 여의도 지하공동구 화재 (2000. 2. 18)

가연성 케이블에 의해 화재확산속도가 급속히 진행되었다. 난방관 및 상수도 관의 외피가 가연성보온재로 시공되어있었기 때문에 더욱 연소가 빨리 진행되었다. 392명의 인원과 133대의 소방차가 투입되어 진화하였다.

2.2 지하공동구 화재 발생원인

(1) 케이블 자체에서 발생하는 경우

- 단락 점에서 발생하는 스파크로 인하여 주위의 인화성물질이 발화되는 경우.
- 가열된 도체주위에 인화성물질이나 가연성물질이 접촉하여 발화되는 경우.
- 지락지점에서 스파크가 발생하여 생기는 경우.
- 인입전선관 내 전선피복 손상으로 누전이 생겨 발화하는 경우
- 전선의 허용전류이상이 흘러 열 발화하는 경우

(2) 외부발화원에 의하여 발생하는 경우.

- 타 구역에서 발생한 화재가 케이블로 착화되는 경우
- 공사중 실수로 케이블에 착화되어 화재가 발생하는 경우.
- 케이블에 연결된 전기기기가 접속불량 또는 과열로 인하여 발화하는 경우.

2.3 지하공동구 화재의 특성

(1) 지하의 밀폐공간성

지하공동구는 어둡고 비좁아 진압시 어려움이 따르며 소방대원의 피해가 우려되고 지상의 지휘본부와 지하에 진입한 대원간의 연락이 어려워 화재상황을 파악하기가 곤란하다. 또한 화재가 진압되더라도 복구인원과 장비의 투입이 어렵기 때문에 복구 시간이 많이 소요된다.

(2) 연소 확대의 위험성

지하공동구내의 주요 가연물인 케이블은 외피가 폴리에틸렌이나 PVC이기 때문에 화재가 발생하면 연속적으로 연소확대가 될 위험이 있다.

(3) 연소가스의 유독성

케이블 외장재인 폴리에틸렌이나 PVC는 연소시 HCl, CO, CO₂ 등이 생성되어 단시간 동안 흡입하여도 인체에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

3. 지하공동구 관련 설계 규정

3.1 지하구(공동구)의 정의

전력·통신용의 전선이나 가스·냉난방용의 배관 또는 이와 비슷한 것을 집합 수용

하기 위하여 설치한 지하 공작물로서 사람이 점검 또는 보수하기 위하여 출입이 가능한 것 중 내무부령이 정하는 것. [소방법 시행령 별표1 제23항]

3.2 소방시설 적용 기준

(1) 동일구내에 설치된 각 특수 장소 간을 연결하는 것으로 50m 이상인 것.

- 자동화재 탐지설비

(2) 전력 또는 통신 사업용의 것으로 길이가 500m 이상인 것.

- 자동화재 탐지설비 · 연소방지 설비 · 무선통신보조설비* · 통합감시체계*

(* 도시계획법 제3조 제9호의 규정에 의한 공동구에 해당)

(3) 소방시설 주요기준

1) 감지기 : 정온식 감지선형, 차동식 분포형, 광전식 분리형 감지기, 기타 내무부장관이 정하여 고시하는 감지기.

천정 또는 케이블 선반 등 화재는 유효하게 감지할 수 있는 장소에 설치.

경계구역의 길이 : 700m

2) 연소방지 설비

- 구경 65mm의 쌍구형 송수구, 송수구로 주 배관에 이르는 연결배관에는 개폐 밸브를 설치하지 말 것.

- 방수 헤드의 설치위치는 천정 또는 벽면.

- 헤드 간 수평거리

연소방지 설비 전용 헤드는 2.0m 이하, 스프링클러 헤드는 1.5m 이하

- 살수구역

설치 개소 : 길이 방향 350m 이하마다 1개 이상, 살수구역길이 : 1.6m 이상

3) 연소방지 도료

지하구안에 설치된 케이블 · 전선 등에는 연소방지용 도료를 설치하여야 한다.

4. 미분무소화설비의 특성

미분무소화설비가 사용되게 된 동기는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 많은 양의 물을 사용할 수 없는 여건의 항공기나 선박 등에서 화재안전성을 확보하기 위한 설비의 필요성이고, 다른 하나는 물이 적합해 보이지 않던 전기화재나 가연성 액체화재진압용으로 하론 등 가스계 소화물질을 효과적으로 대체할 설비의 필요성이다. 특히 후자는 하론과 같은 가스계설비의 위험성을 물을 사용함으로써 안전하게 대처할 수 있다는 점에서 주목되어 왔다.

4.1 미분무소화설비의 소화특성

미분무설비 소화원리에 대한 기본적 설명은 1955년 초반에 제시되었다. 화재와 만나게 되는 미세한 미분무의 소화 작용은 화재를 둘러싼 연소 지역에 물방울의 증발효과와

함께 타고 있는 곳에 남아있던 공기의 희석에 탁월한 효과를 나타낸다. 물의 냉각 효과는 소화에 있어서 대다수의 경우에 중요한 요소가 된다. 소화를 하기 위해서는 스프레이에 함유된 물방울들은 상대적으로 작아야하며, 공급된 물의 양은 화재의 특성에 대해 적합한 것이어야 한다.

최근에는 소화에 작용하는 세 가지 메커니즘 즉 냉각, 산소치환, 복사열 차단으로 설명하고 있다.

미분무의 뛰어난 냉각효과는 연료와 가연물 주변의 냉각은 화재 확대를 줄이는데 도움이 되지만 냉각에 반드시 미세한 물방울이 필요한 것은 아니다. 그러나 미세한 미분무는 물을 작게 세분화함으로써 전체적으로 열을 흡수할 수 있는 표면적이 증대되고 증발력이 최대가 되어 뛰어난 냉각효과를 가지게 된다.

미세한 등급의 미분무수도 큰 물방울들이 가연물의 표면에 도달하기 때문에, 적시는 효과도 함께 가져올 수 있다.

두 번째인 산소의 치환효과는 팽창한 미분무수가 공기를 치환하여 화원근처의 산소비율을 급격히 줄임으로써 얻어진다. 이러한 산소치환효과는 소규모보다는 대규모화재에 더욱 효과를 발휘한다.

소화의 세 번째 메커니즘인 복사열차단은 화염으로부터 방출된 복사열이 미 증발된 물방울과 증기에 의하여 흡수된다고 할 수 있다. 즉 화염과 연료표면사이에 침투하는 미분무수가 열에너지의 흡수와 분산을 통하여 복사열의 효과를 줄여주는 것이다. NRCC의 화재실험결과는 미분무가 화원에서 실험실벽으로 발산되는 복사열의 70%이상을 감소시킨다고 하였다.

4.2 설계요소

시스템에 영향을 주는 요소로는 액적의 크기, 분출 밀도, 분사력이 있으며, 첨가제를 사용할 경우 효과가 달라지기도 한다.

(1) 미분무수 액적의 크기와 밀도

먼저 노즐의 형태와 압력, 그리고 방해물 등의 상호작용 때문에, 분사된 액적은 일정하지 않다. 그래서 NFPA의 미분무수시스템에 관한 기준에서는 $D_{vf} = N\mu$ (미크론)이라는 표기방식을 만들어내어 $D_{v, 0.99} = 1000\mu$ (즉 1 mm)에 해당하는 물방울들의 집합적 분포를 미분무수(Water Mist)라고 정의하고 있다.

미분무수 소화시스템은 노즐의 종류와 압력에 따라 발생할 수 있는 액적의 크기가 다양하기 하기 때문에 대상에 따라 선택을 해야 한다.

미분무수소화설비의 소화능력은 액적의 크기도 중요하지만, 공간크기에 대한 액적의 수나 양도 중요하다. 실질적으로 화원에 접근하는 물의 양은 화재가 발산한 열을 흡수하기 때문이다. 그러므로 미분무수의 분출밀도는 화재진압에 매우 중요한 요소로 단위체적당에 대한 분당 토출량 (lpm/m^3)으로 표현된다.

(2) 미분무수의 분사력

분무시 액적의 분사력에 의한 운동량의 중요성은 화재의 발생공간이 환기가 잘되는 비교적 큰 공간인지 아니면 환기가 잘되지 않는 구획내인지에 의해서 결정된다. 낮은

운동량의 미분무는 환기가 잘 안되는 구획된 공간에서는 매우 효과적이다. 폐쇄효과는 환기와 열의 억제를 가져와 팽창된 수증기가 공간내부에 쉽게 산소량을 줄일 수 있기 때문이다. 이는 가스계 소화설비의 total flooding과 같은 효과이다. 그러나 공간의 크기가 크고 환기가 잘되는 곳에서는 분무수가 화염에 의해 증발되어버려 타고 있는 연료의 주변까지 도달하지 못할 수 있다. 이와 같은 조건에서는 분무수가 충분히 화염 안으로 들어갈 수 있는 운동량을 가져야 한다.

(3) 방해물의 고려

초기의 연구자들은 미분무수가 대상 공간내에 방해물이 있는 경우라도 미분무가 주변의 구석까지 흘러 화원에 침투하여 화원을 냉각시키고 산소를 치환함으로써 화재를 소화시킨다고 생각했다. 그러나 NRCC의 실험결과 구획되지 않고 환기가 잘되는 곳에서의 화재에선 화재 쪽으로 움직이는 기류의 속도가 매우 낮음으로서 많은 양의 액적이 효과를 발휘하기 힘들어 소화하기 부족하다는 사실을 알아내었다. 그러므로 설계 시에는 장애물을 고려하여 설치위치를 선정해야하며 환기가 양호한 경우에는 액적이 크고 고밀도이면서 분사력이 큰 시스템을 설계해야 하며, 대상 가연물 표면까지의 거리를 줄여야 한다.

(4) 방출 지속력의 결정

최근에 많은 화재 실험은 특정 화재에 매우 낮은 수압으로 소화가 가능하다는 것을 보여 주었다. 그러나 대부분의 경우에 낮은 수압을 사용하는 경우 화재가 진화되자마자 소화 시스템이 자동으로 차단되는 일이 발생했다. 화재가 진압되었는지 안 되었는지 확인하기가 어렵기 때문에 물의 방출은 일정시간 지속하도록 하는 것이 중요하다. 구획내 조건에서 몇 가지 변수에 대응하기 충분한 분출 밀도와 분출 지속시간을 신중하게 설계하여야 한다. NRCC의 시험결과 방해물이 많은 경우 4분 정도까지 지속하는 것이 효과적이라 한다.

(5) 유량의 확보와 구획화

환기가 잘 되는 곳에서 전역 방출 방식의 전체 유량은 상당히 높다. 더욱이 수량이 2배, 3배, 4배가 되는 것은 방출량의 증가 배수만큼 저장량이 마련되어야 함은 물론, 2차 방출을 위해서도 충분한 예비량이 확보되도록 설계되어야 한다.

이러한 설계 문제에 대해 기술적인 응답은 특별한 화재 시나리오에 방출 될 수 있는 노즐 수에 제한된다. 다시 말해서 더 작은 구역(zone)으로 시스템을 세분화하는 것이다. 그러나 시스템을 구획하는 것은 정밀하게 화재를 감지하는 시스템은 물론 화재를 찾아내어 정확히 미분무 시스템을 작동시킬 수 있어야 한다. 정확하게 화재를 감지하도록 설계하고 오보가 일어나지 않도록 하여야 한다. 더욱이 복잡한 시스템의 밸브나 컨트롤이나 릴리즈의 부품들을 구획내에 설치할 때 신뢰성을 높일 수 있는 것으로 하여야 한다.

(6) 화재실험의 필요성

미분무수는 제조사의 노즐마다도 특성이 다르고 성능이 다양하여 설계가 용이하지 않다. 특수한 용도의 대상공간에 적용하고자 할 경우 해당되는 미분무 헤드 기술적으로 적합한지 여부를 판단할 시험이 필요하다. 헤드자체의 성능을 증명할 시험도 중요하

지만, 대상공간의 특성이 고려된 화재시나리오에서 적합한 성능을 보여주는지 여부를 판별할 수 있는 실험도 매우 중요하다. 화재 시나리오는 구획 넓이, 환기 정도, 미분무가 작동하기 전까지 화재가 지속될 시간, 연료의 유형, 차단의 정도 그리고 화재 크기와 같은 그러한 요소로서 결정된다. 화재 시나리오는 최소 노즐 방출과 유출 밀도, 노즐 위치와 공간 및 최소 스프레이 지속력과 화재 통계의 가능성과 같은 그러한 요소를 결정할 수 있도록 구성되어야 한다. 이러한 실험 결과의 기술적 검토를 통해 노즐의 적합한 배치를 결정할 수 있다. 또한 액적의 크기, 밀도, 분사력, 유량의 확보, 구획화 조건, 방해물에 대한 고려 등의 설계요소들을 공학적 타당성을 가지는 자료를 근거로 결정할 수 있는 것이다.

5. 미분무 소화설비의 공동구 화재에 대한 적용성

국가 기간망인 공동구에 대한 화재 대책은 일정구역의 구획화를 수행하는 것도 중요하지만, 국소적인 부분으로 화재피해를 최소화하고 최단시간 내에 화재 진압이 가능하도록 하는 것이 매우 중요하다. 공동구 화재는 일단 발생하면 전력선 피복이 빠른 연소확대를 가져오게 되므로 감지기의 설치만으로도 불충분하다고 할 수 있다. 그러므로 일단 화재가 발생되면 초기진압이 가능한 시스템을 도입하는 것이 매우 바람직하다. 지금까지 개발된 소화 시스템 중에서 공동구의 특성에 매우 적합한 것은 미분무수이다. 먼저 미분무수는 전기화재에 대하여 적용이 가능하다.

그리고 경제적인 면에서 매우 유리하다. 구획화를 하더라도 매우 긴 형태의 공간을 가지는 공동구에 가스계 소화설비를 설치하기에는 그 비용이 엄청난을 쉽게 생각할 수 있다. 스프링클러는 전기화재에 적합하지 않다는 것만으로도 고려할 수 없다. 또한 대규모의 수량 확보를 필요로 한다. 그러나 이에 비하여 미분무수는 소량의 물 밖에 소요되지 않아 유량확보가 용이하고 구획화가 필요 없어 경제적인 면으로도 유리하다. 그 이외에도 물을 살수하기 때문에 연기의 분진이나 유독성가스를 줄여주는 효과를 같이 기대할 수 있다. 그러므로 소방대원뿐만 아니라 복구를 위한 인원 투입이 유리하다.

공동구 특성에 최적화된 헤드와 시스템의 설계가 확보된다면 미분무수는 지하공동구 화재진압을 위한 가장 효과적인 소화설비라고 할 수 있다.

6. 토의

국내 공동구의 미분무 소화 설비 적용시 고려할 주요 사항은 다음과 같다.

- 소화설비의 목적
- 설계요소 - 연료종류, 구획효과, 입자등급, 모멘텀, 플럭스 밀도, 방사시간
- 시스템 비용 및 신뢰성 분석

참고문헌

1. 서울특별시, “지하공동구 설계기준 개발 및 안전관리 대책연구”, (2000)
2. 김상욱, “물분무 화재방호시스템”, 화재소방학회지 Vol. 1. No. 2. (2000)
3. NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems, (2000)
4. J. R. Mawhinney, A Review of Water Mist Fire Suppression Research and Development, 1996, Fire Technology, (1997)
5. 김운형, J. A. Milke, Water Mist Fire Suppression for Raised Subfloor Spaces, Int'l Symposium on Fire Science and Technology, Korea, (1997. 11).