

[Technical Paper]

대형 유류저장탱크 전면화재 대응을 위한 대용량포방사시스템 연구

임주열 · 정영진^{*†}

강원대학교 산업과학대학원 대학원생, *강원대학교 소방방재공학과 교수

Study of High-capacity Foam Discharging Systems for Full Surface Fire of Big Oil Tanks

Joo-Yeol Im · Yeong-Jin Chung^{*†}

Graduate Student, Graduate School of Industry & Science, Kangwon National Univ.,

^{*}Professor, Dept. of fire Protection Engineering, Kangwon National Univ.

(Received October 25, 2019; Revised November 21, 2019; Accepted November 23, 2019)

요 약

유류탱크 화재는 화재진압이 쉽지 않다. 미국, 일본, 싱가포르 등의 국가에서는 오랜 시행착오 끝에 대형 유류저장탱크의 전면화재에 대응하기 위한 대용량의 포방사 시스템을 도입하였다. 본 연구에서는 American Petroleum Institute (API), National Fire Protection Association (NFPA), British Standard European Norm (BS EN)의 관련 기준과 일본의 법령 등을 바탕으로 대용량 포방사에 대한 기준과 방법 등을 연구하였고, 모형탱크 전면화재 진압 비교실험을 통해 대용량 포방사의 성능을 확인하였다. 그 결과 소용량의 노즐 여러 개를 사용하는 것보다 대용량의 노즐 하나를 사용하는 대용량 포방사가 화재진압 성능이 더 우수 하였고, 노즐의 배치를 달리하여 서로 다른 방향에서 방사하는 것보다 동일한 방향에서 집중 방사하는 것이 더욱 효과적이었다. 결국 대용량포방사시스템의 국내도입 필요성을 확인하였다. 그러나 대용량포방사시스템의 운용은 현장 여건에 따라서는 매우 제한적일 수밖에 없다. 따라서 시스템을 최대한 경량화 되고 이동이 쉬운 것으로 도입하여야 한다. 또한 주요 탱크별로 운영계획을 수립하면서 대구경 소방호스의 장거리 설치문제, 소방활동 공간의 협소문제 등 파악되는 장애요인을 현장 여건에 따라 해결해 나가는 것이 현실적 방안으로 보인다.

ABSTRACT

Oil tank fires need to be suppressed differently from other oil-related fires, due to the high-temperature flames and hot updraft above the tank, in the former case, that cause the destruction of large amounts of foam. We studied high-capacity foam discharge systems based on the standards of the American Petroleum Institute (API), National Fire Protection Association (NFPA), British Standard European Norm (BS EN), and the laws of Japan. The performance of a high-capacity foam discharge system was measured by conducting real fire experiments with model oil tanks. We concluded that lightweight and easily movable high-capacity foam discharge systems should be urgently introduced in domestic operations. Additionally, the obstacles faced by major tanks, such as long-distance installation of large-diameter fire hoses and narrowing of firefighting spaces, should be resolved depending on the conditions of the site.

Keywords : Atmospheric storage tank, Full surface fire, High-capacity foam discharging system

1. 서 론

1.1 연구배경 및 방법

2018년 10월 경기도 고양시 대한송유관공사의 저유소에 설치된 직경 28.4 m, 용량 4,900,000 L의 휘발유 지중탱크에서 유증기 폭발로 인한 전면화재(Full surface fire)가 있었

다. 소방에서는 대응 3단계를 발령하고 소방헬기 등 장비 243대와 인력 746명을 투입해 진화작업을 벌였으나 강한 화염과 높은 열기 탓에 진화작업에 어려움을 겪었고, 탱크에 있던 가솔린 2,663,000 L를 연소시키고 화재는 17시간 만에 진압되었다⁽¹⁾. 그동안 소방은 노후 소방차를 교체하고 고성능화확차를 보강하는 등 소방력 증강에 많은 힘을 쏟

[†]Corresponding Author, E-Mail: yjchung@kangwon.ac.kr, TEL: +82-33-540-3121, FAX: +82-33-540-3129

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

았지만 대형 위험물저장탱크 화재에 효과적으로 대응할 수 있는 체제를 여전히 갖추지 못하고 있음을 확인한 사고였다. 유류탱크 화재는 화재진압이 쉽지 않다. 특히 직경이 45 m 이상인 대형의 탱크는 2001년 미국 루지애나에서 발생한 직경 82.4 m 탱크를 제외하고는 과거 수십 년 동안 한 번도 화재진압에 성공하지 못했다⁽²⁾. 미국, 일본, 싱가포르 등의 국가에서는 오랜 시행착오 끝에 이러한 대형 유류저장탱크의 전면화재에 대응하기 위한 시스템과 진압법을 개발했다⁽³⁾. 이러한 선진 화재진압시스템과 진압기술의 성과와 효과성을 검증하고 우리나라 실정에 맞는 대형유류저장탱크 전면화재 대응책을 마련할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 대형탱크의 화재 시 특성과 전면화재 대응방안, 사고사례 등을 담기 위해 국내외 법령과 기준, 보고서와 선행연구들을 조사하고 실험을 통해 대응량의 포방사와 소용량의 포방사를 비교하였고 또한 노즐의 배치형태에 따른 진압효과를 분석하였다.

1.2 위험물저장 대형탱크 현황

소방청에서 발행한 “2019년도 위험물 통계자료”에 따르면 위험물안전관리법상 특정유해저장탱크로 정의되는 1,000,000 L 이상의 탱크는 전국에 3,835기가 설치되어 있다. 그 중에 고양저유소에서 화재가 발생했던 탱크 이상의 용량(5,000,000 L)을 가진 탱크는 1,760기가 운용되고 있다. 대부분의 탱크가 울산과 인천경기, 충남 그리고 전남에 집중되어 있음을 알 수 있다. 울산, 충남(서산), 전남(여수)에는 100,000,000 L 이상의 탱크가 75기가 설치되어 있다.

특히 울산지역은 5,000,000 L 이상의 탱크가 전국에서 가장 많은 720기가 설치되어 있고, 고양저유소 화재 탱크보다 20배 이상 큰 규모인 100,000,000 L 이상의 탱크도 40기에 이른다. 직경 45 m가 넘는 대형 원유저장탱크가 전면화재로 발전되는 경우 기존의 소방시설과 소방력으로는 대응이 불가능하다.

2. 대형 유류저장탱크 화재진압 전술

2.1 일본의 3점 포위방사 진압법

과거 일본의 탱크화재 진압은 3점의 장비를 활용한 포위

방사 진압법에 의존하고 있었다. 3점의 장비는 대형화확소방차, 대형고소방수차 및 포원액수송차를 활용하며 그 구성은 Figure 1과 같다.

대형화확소방차는 최대 방사능력 0.85 MPa에서 최대 3,100 LPM을 방사할 수 있고, 포원액수송차는 포원액을 1,800 L 저장하면서 포혼합장치를 탑재하거나 포원액을 4,000 L 이상 저장할 수 있는 전용폼탱크차를 사용하며 대형고소방수차는 1.0 MPa에서 최대 3,000 LPM의 방사능력을 갖춘 고가차를 활용한다⁽⁴⁾.

그러나 2003년 9월 26일, 북해도 이데미츠코우산(出光興産) 주식회사의 용량 32,778 kL 부상지붕식탱크 전면화재에서 3점 포위방사 진압법의 단점이 드러났다. 당시 일본은 3점세트 진압법으로 44시간 동안 사투를 벌였으나 별효과를 보지 못하였다. 방수성능 3,000 LPM 고소방수차 5대가 포위방사작전을 펼쳐 분당 15,000 L의 포수용액을 탱크에 방사하였지만 작전은 실패했다. 단위면적 1 m² 당 8.2 ~ 12.6 LPM의 방출률에 해당하는 양이지만, 분당 3,000 L로 방사되는 포수용액은 열기에 그대로 증발되었고 폼은 소포되었다.

이 사고를 계기로 일본은 유류저장탱크의 전면화재 대비가 필요하다는 인식을 가지게 되었고, 2004년 6월 「석유콤비나트등재해방지법(石油コンビナート等災害防止法)」을, 2005년 11월 같은 법시행령을 개정하여 방재체제를 강화함과 동시에 부상지붕식 탱크의 전면화재에 대응하기 위한 새로운 대응량포방사시스템을 같은 법에 따른 특정사업장에 의무화시켰다.

현재 일본은 분당 10,000 L에서 40,000 L의 방사능력을 가진 대응량포방사시스템을 전국 12개의 지구를 관할하고 있는 광역공동방재조직에 배치하고 있다. 직경 34 m 이상의 탱크를 보유한 사업장은 자체 또는 공동으로 방재조직을 구성하여 대응량포방사시스템을 배치하여야 한다. 2017년 기준으로 일본 전역의 12개의 지구에 직경 34 m 이상인 탱크는 1,330기가 설치되어 운영 중이다⁽⁵⁾.

2.2 싱가포르의 전면화재 대응전술

싱가포르도 탱크 전면화재에 대응량 방사포를 활용하고 있다. 그러나 법령상 의무비치 규정을 두고 있는 일본과 달

Table 1. Number of Tanks throughout Korea by Capacity

Area (Metropolitan city, Province)	Total	5,000,000~10,000,000 L	10,000,000~100,000,000 L	Over 100,000,000 L
Total	1,760	739	946	75
Ulsan	720	343	337	40
Chungnam	272	89	157	26
Jeonnam	398	139	250	9
Gyeonggi	270	100	170	0
Etc.	100	68	32	0

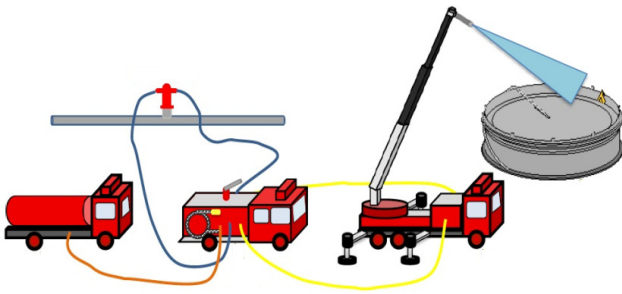


Figure 1. Japan's three point method.
 *Source: Training Manual of Disaster Prevention Headquarters of Petrochemical Complex, Fire and Disaster Management Office (2016).

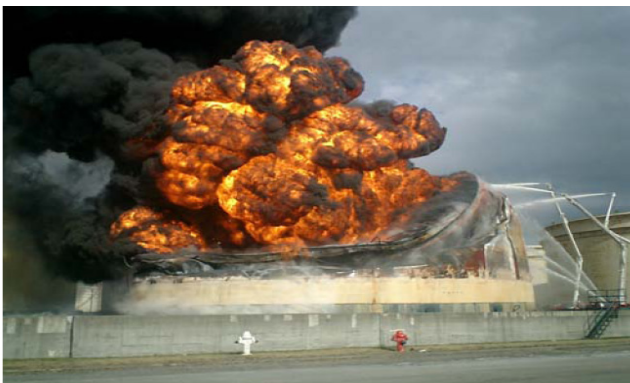


Figure 2. Three point and siege method failure.
 *Source: Disaster Prevention Measures at Petrochemical Complexes in Japan, Fire and Disaster Management Office (2017).

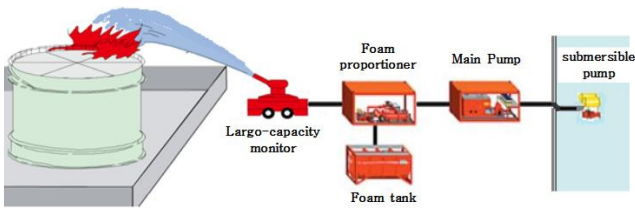


Figure 3. High capacity foam discharging system.
 *Source: Training Manual of Disaster Prevention Headquarters of Petrochemical Complex, Fire and Disaster Management Office (2016).

리, 싱가포르의 소방당국의 가이드라인으로 전술적 비치의 형태를 갖추고 있다. 싱가포르는 직경 45 m 이상의 탱크에 대해서 대용량 방사포 배치기준을 Table 2와 같이 정하고 있다⁶⁾. 탱크 규모에 따라 필요한 포수용액의 양은 증가하고, 이를 방사하기 위한 모니터 즉, 방사포 또한 대용량을 배치하고 있음을 알 수 있다.

여기서 방사포 배치방식에 주의하여야 한다. 직경 60 m 이상 80 m 미만 탱크의 경우에 싱가포르 소방 당국은 다음

Table 2. Singapore's Big Monitors Deployment Guidelines

Tank Diameter	Foam Requirement	Monitors to be Deployed
45 m~	4,000 GPM (15,140 LPM)	2 × 2,000 GPM
60~80 m	10,000 GPM (37,850 LPM)	1 × 6,000 GPM 2 × 2,000 GPM
81~110 m	26,000 GPM (98,410 LPM)	2 × 10,000 GPM 1 × 6,000 GPM

*Source: Oil Refinery Fires, Singapore Civil Defence Academy (2016).

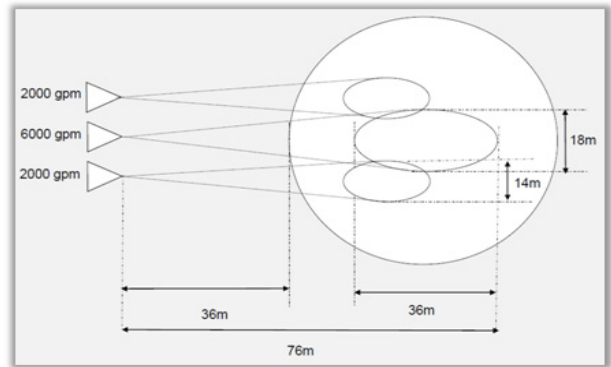


Figure 4. Singapore big monitors deployment.
 *Source: Oil Refinery Fires, Singapore Civil Defence Academy (2016).

Figure 4와 같이 대용량 방사포를 전술적으로 배치한다, 탱크를 포위해서 방사하는 기존의 방식과는 전혀 다른 전술이다. 그 이유는 한 곳에 집중시켜 배치하고 방사할 경우 더 큰 용량의 방사량 효과를 낼 수 있고 그만큼 복사열과 바람 등의 영향을 적게 받을 수 있기 때문이다.

3. 대용량 포방사에 의한 전면화재 진압법

3.1 고정식 포소화설비

탱크에는 고정식 포소화설비가 설치된다. 문제는 이 설비는 화재발생 시 파손되지 않았더라도 화재가 장기화되면서 열원에 노출된 탱크벽면이 훼손되면 상부 측벽에 설치된 고정포설비는 무용지물이 될 수 있는 것이다. 그리고 「위험물안전관리법」상 탱크에 고정 설치되는 고정포방출설비의 포수용액량은 전면화재에 대응하기에 태부족이다. Table 3을 보면 포수용액량은 방출률(LPM/m²)에 20분 내지 30분의 방출시간을 적용하고 있을 뿐이다. 1951년부터 2003년까지 발생한 대형 유류저장탱크 화재사례 중에서 고정포설비로 진화에 성공한 사례는 한 건도 없는 것으로 보고되었다⁷⁾.

Table 3. Fixed Foam Discharger Application Rate

Flash Point	Type									
	Type I		Type II		Type Special		Type III		Type IV	
	Time (min)	Rate (LPM/m ²)	Time (min)	Rate (LPM/m ²)	Time (min)	Rate (LPM/m ²)	Time (min)	Rate (LPM/m ²)	Time (min)	Rate (LPM/m ²)
~21 °C	30	4	55	4	30	8	55	4	55	4
21 °C~70 °C	20	4	30	4	20	8	30	4	30	4
70 °C~	15	4	25	4	15	8	25	4	25	4

*Source: Specific Guideline on Hazardous Material Safe Management



Figure 5. Topside application tactics with high capacity monitor.

3.2 대용량 포방사 전면화재 진압법

API는 전면화재를 “탱크의 액표면 전체에서 연소하는 화재”로 정의한다⁽⁸⁾. 전면화재는 고정지붕식 탱크 또는 부상지붕식 탱크에서 발생한다. 고정지붕식인 경우 폭발 등으로 인해 지붕이 이탈되거나 떨어져 나갔을 때, 부상지붕은 지붕이 가라앉았을 때 전면화재로 확대된다. 두 경우 모두 지붕이 파괴되면서 고정포소화설비도 함께 파괴될 수 있기 때문에 초기대응은 어려워진다.

일반적인 탄화수소계열의 유류저장탱크에서 발생하는 전면화재는 두 가지 진압전술이 있다. 상부 포방사 방식과 저부 포주입 방식이다. 상부 포방사 방식은 탱크 상부에 설치된 고정포 또는 반고정포 방출설비를 활용하거나 지상에서 대용량 방사포를 활용하는 방법이고 저부 포주입방식은 탱크에 설치된 주입관을 활용한다. 최근 연구에 따르면 대형 탱크의 전면화재는 여러 대의 방사포를 탱크 중앙에 집중방사하거나 대용량의 방사포를 활용하는 상부 포방사 방식이 최적의 전술로 평가받고 있다⁽⁹⁾. BS EN 13565-2에 따르면 직경 60 m 이상의 탱크 전면화재에 대용량 방사포 활용을 적극 권장하고 있다⁽¹⁰⁾.

3.3 방출률(Application rate)

상부 포방사 방식으로 대형탱크 화재를 진압할 때 중요한 것은 방출률이다. 방출률은 단위면적에 방사되는 포수 용액의 분당 방사량을 뜻한다. 일본에서는 공급률(供給率)로, 국내에서는 방출률로 번역되어 사용되고 있다. 미국은 단위면적 ft², 우리나라는 m²를 사용해 각각 GPM/ft², LPM/m² 단위를 사용한다. NFPA⁽¹¹⁾에서 고정포소화설비는 보통 4.1 LPM/m²의 방출률을 적용하지만 이동식 모니터는 6.5 LPM/m²을 적용한다. 그 이유는 탱크에 설치된 고정포와 달리 지상에서 탱크 상부로 방사하는 모니터는 화염의 대류열과 복사열 그리고 바람 등의 조건에 따라 손실이 발생하기 때문에 여유분을 반영한 것이다. 그리고 대형탱크에서 발생하는 화재는 보정계수 1.5를 적용해 그보다 강화된 9.8 LPM/m²을 적용한다.

참고로 NFPA의 기준은 최소 권고기준일 뿐이며, ChemGuard는 그보다 더 강화된 12.9 LPM/m²을 추천하고 있다⁽¹²⁾. 그리고 유럽 또한 대형탱크의 전면화재 대응을 위한 이동식 방사포의 방출률과 방사시간을 규정하고 있다. 미국의 NFPA 규정은 탱크의 규모와 상관없이 동일한 방출률을 적용하지만 유럽의 코드 EN 13565 part2는 탱크의 직경에 따라 방출률을 달리 적용한다.

일본과 싱가포르의 경우도 탱크의 직경에 따라 그룹을 나누고 각 그룹별로 상이한 방출률을 적용한다. Table 6과 같이 일본은 직경 34 m 이상부터 대형탱크로 보고 탱크 직경에 따른 그룹별 필요 분당 방사능력을 미리 정해놓았다. 일본의 방사시간은 120분 기준이다.

반면, 국내 규정은 한국산업안전보건공단의 기술지침 KOSHA Guide P-115-2012에서 대용량포방출설비를 규정하

Table 4. Foam Application Rates from NFPA

Fuel	Scenario	Fuel surface Application rate	Compensation design factor	Required application rate
Hydrocarbon	Deck spill	6.5 LPM/m ² (0.16 GPM/ft ²)	1.0	6.5 LPM/m ² (0.16 GPM/ft ²)
Hydrocarbon	Single largest tank	6.5 LPM/m ² (0.16 GPM/ft ²)	1.5	9.8 LPM/m ² (0.24 GPM/ft ²)

*Source: NFPA 11 Standard for Low-Expansion Foam, 2016 Edition

Table 5. Application Rate from EN Standard

Tank diameter (m)	Application rate	Time
~45 m	10 LPM/m ²	60 min
45 m~60 m	11 LPM/m ²	90 min
60 m~	12 LPM/m ²	90 min

*Source: BS EN 13565-2

Table 6. Japan's High Capacity Monitors Deployment

FRT diameter	Discharge capacity	Capacity per monitor
34 m~45 m	10,000 LPM	10,000 LPM
45 m~60 m	20,000 LPM	
60 m~75 m	40,000 LPM	20,000 LPM
75 m~90 m	50,000 LPM	
90 m~100 m	60,000 LPM	
100 m~	80,000 LPM	

*Source: Petroleum Complex Disaster Prevention Act Ordinance (1976)⁽¹³⁾.

고 있다⁽¹⁴⁾. 그러나 권고기준으로서 형식적인 규정에 불과한 실정이고 미국의 단위면적당 기준도, 일본처럼 탱크 직경에 따른 그룹별 기준도 아닌 획일적인 약 38,000 LPM 기준을 제시하고 있다. 개선이 필요한 부분이다.

4. 대용량 포방사 소화성능 비교실험

4.1 실험조건 및 방법

모형탱크에 실제 전면화재 조건을 조성한 후, 대구경 및 소구경 노즐의 방사량에 따른 화재진압 성능을 비교해보았다. 철제드럼 규격의 직경 585 mm와 높이 220 mm 크기의 탱크모형(액표면적 0.269 m²) 2개와 노즐구경 3 mm의 대용량 포방사장치 1개, 노즐구경 2 mm의 소용량 포방사장치 1개를 자체 제작하였다. 직경 58.5 m 탱크를 실제탱크로 가정한다면 직경비 1/100로 축소된 탱크모형이다.

방출율은 ChemGuard 추천 방출율에 1.5(여유율)을 곱하여 액표면적 1 m² 당 19.35 LPM/m²를 적용하였다. 실제 대용량 방사장치(노즐 1개)는 근사치인 5.3 LPM의 방출률을, 소용량 방사장치(노즐 3개)는 산출된 값의 3분의 1인 1.75 LPM을 적용하였다.

$$\text{Application Rate} = 0.269 \text{ m}^2 \text{ in area} \times 19.35 \text{ LPM/m}^2 = 5.21 \text{ LPM}$$

- High capacity nozzle radiation: 5.3 LPM application
- Low capacity nozzles radiation: 1.75 LPM application

방사장치 세팅을 위한 방사압은 방사량 계산식($Q = 0.653 D^2 \sqrt{P}$)를 사용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{Dynamic pressure for the low capacity nozzle (2 mm diameter)} \\ \sqrt{P} = Q / 0.653 \times D^2 \rightarrow P = \sqrt{(1.74 / (0.653 \times 2^2))} = 0.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Dynamic pressure for the high capacity nozzle (3 mm diameter)} \\ \sqrt{P} = Q / 0.653 \times D^2 \rightarrow \sqrt{(5.21 / (0.653 \times 3^2))} = 0.94 \text{ kg/cm}^2$$

그러나 실제 현장에서는 다양한 조건과 상황에 따라 차이가 발생하므로, 실제 방수테스트를 실시하여 계산 값을 검증하였다. 그 결과 각각의 방사장치에 필요한 최적의 방사압은 소용량의 경우는 계산 값과 거의 일치하였지만 대용량은 0.36 kg/cm²의 차이를 보였다. 실험에는 3차례 방수테스트의 최적 값을 적용하여 소용량 방사장치는 0.8 kg/cm²을 대용량 방사장치는 1.3 kg/cm²를 적용하였다. (Table 7 참조) 실험은 대용량과 소용량 포방사의 성능비교와 방사형태 즉, 노즐의 배치형태에 따른 성능비교를 하였다.

4.2 실험 결과

방사량에 따른 비교실험에서는 소용량 노즐(구경 2 mm, 방사압 0.8 kg/cm²)을 사용한 경우, 화재를 완전 진압하는데 11 min 40 s가 소요되었지만, 대용량 노즐(구경 3 mm, 방사압 1.3 kg/cm²)을 사용한 대용량 방사의 경우, 완전시간은 9분 30초로 소용량 대비 0.81배 단축되었다. 즉, 분당

Table 7. The Result of Discharge Test for Device Setting

Class	Test	Static pressure (kg/cm ²)	Dynamic pressure (kg/cm ²)	Flow rate (LPM)	Selection
Low capacity (2 mm)	1 st	0.5	0.5	1.30	
	2 nd	0.8	0.8	1.75	Optimal
	3 rd	1	0.9	2	
High capacity (3 mm)	1 st	2	1.1	4.7	
	2 nd	2.1	1.2	5.05	
	3 rd	2.2	1.3	5.35	Optimal

*Remarks

1. Static pressure : Hydrant-connected pressure gauge reading
2. Dynamic pressure : pitot gauge reading

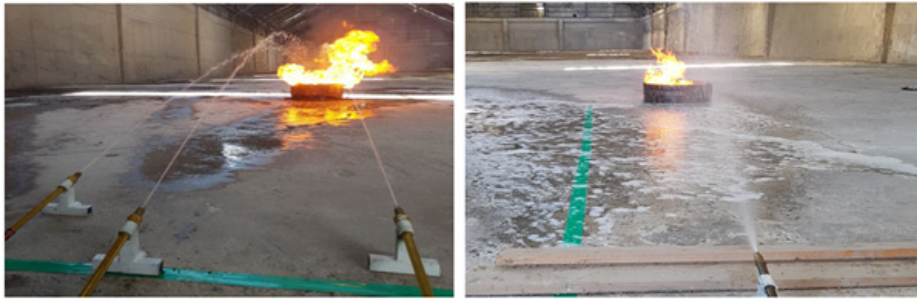


Figure 6. Low-capacity (left) and high-capacity discharging device (right).

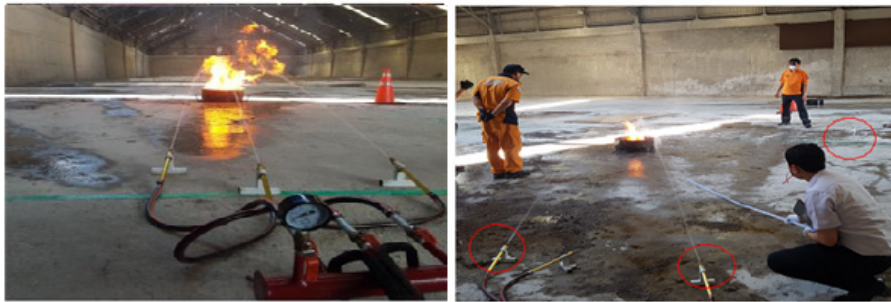


Figure 7. Concentration of nozzles (left) and dispersed placement of nozzles (right).

Table 8. The Result of Both Low and High Capacity Discharge Experiment

Division	Application rate	Nozzle pressure	Nozzle diameter	Radiation distance	Completion time
Low capacity	5.3 LPM	0.8 kg/cm ²	2 mm	3.4 m ~ 5.5 m	11 min 40 s
High capacity	5.3 LPM	1.3 kg/cm ²	3 mm	2.4 m ~ 6.2 m	9 min 30 s



Figure 8. Foam blanket status of low-capacity radiation (left) and high-capacity radiation (right).

방사량은 5.3 LPM으로 동일하지만, 소용량의 노즐 여러 개를 사용하는 것보다 대용량 노즐 하나를 사용하는 대용량 방사가 화재진압에 더욱 유리한 것을 확인하였다.

그리고 방사된 포수용액으로 인해 방사 후 탱크 액면이 높아졌는데 탱크액면의 높이 변화를 살펴보면, 소용량 방사시 17 cm까지 상승했으나 대용량의 경우 7.5 cm로 소폭 상승하였다. 대용량 방사의 경우 방사 폭이 커서 탱크외부에 소비되는 양이 비교적 많았고, 방사 시간도 단축되었기 때문이다. 방사거리의 경우, 소용량 방사는 최장거리가 5.5 m에 머물고 있으나 대용량 방사의 경우 6.2 m까지 이르고 있어

소용량 보다 방사거리가 1.13배 더 길고, 그만큼 방사폭도 넓었다.

또한, 대용량 방사 시 더욱 풍부한 포를 얻을 수 있고, 액면을 피복하는 양상 또한 고른 분포를 보이고 있으나, 소용량 방사의 경우는 포 형성이 원활하지 않을 뿐만 아니라 연소열에 의해 포가 쉽게 파괴되어 피복이 고르지 못하고 불길의 되살아나는 것이 목격되었다.

동일한 방사압, 방사량의 노즐을 사용하면서 노즐의 배치형태만을 달리한 비교실험에서 서로 다른 방향에 노즐을 배치시킨 경우는 방사되는 포가 서로 맞부딪히면서 쉽게

Table 9. Nozzles Placement and Outcome Comparison

Division	Application rate	Pressure	Nozzle diameter	Shortest radiation	Foam blanket status
Dispersion	6 LPM	1 kg/cm ²	2 mm	3.5 m~5.5 m	Loose
Concentration	6 LPM	1 kg/cm ²	2 mm	3.5 m~5.7 m	Tight

파괴되거나 액면 상에 이미 형성된 포 피막을 파괴할 수 있음이 확인되었다. 또한 액면 상에 작은 소용돌이를 일으키면서 불길을 확산시키는 것도 확인되었다. 포수용액끼리 맞부딪히면서 포가 파괴되는 것과 액면 상의 소용돌이를 막기 위해서는 노즐을 동일한 장소에 배치시켜 집중방사가 필요하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 대형탱크의 화재시 특성과 전면화재 대응방안, 사고사례 등을 담기 위해 국내의 법령과 기준, 보고서와 선행연구들을 조사하고, 실험을 통해 대용량의 포방사와 소용량의 포방사를 비교하였고 또한 노즐의 배치형태에 따른 진압효과를 분석하였다.

1) 대형 유류저장탱크의 전면화재는 기존의 화학소방차에 의한 포위방사 방식으로는 화재진압이 불가능하다. 효과적인 진압을 위해서는 대용량의 포방사를 활용한 집중방사 진압방식이 필요하다는 것을 확인하였다.

2) 직경 80 m 규모의 대형탱크 전면화재를 진압하려면 일본 기준으로 방사량 50,000 LPM을 확보해야 한다. 이를 위해서는 대용량 포방사 시스템의 도입이 필요하다. 그리고 직경 80 m의 대형탱크의 전면화재 시에 대용량의 상부포방사 전술을 전개하려면 포수용액을 50,000 LPM의 방사량으로 120 분까지 방사할 수 있어야 하므로 시스템은 다음의 조건을 충족하는 것이어야 한다.

(a) Non-Aspirated 방식의 대용량 방사포(방사능력 50,000 LPM 이상)

(b) 6,000,000 L의 소화용수(120분간 연속 방사량)

(c) 180,000 L의 포소화약제(3% 알콜형수성막포)

3) 6,000,000 L의 소화용수를 확보할 수는 있어도 이를 끊이지 않고 120분 이상 공급하기가 쉽지 않다. 울산 석유화학단지의 경우 최대 2.5 km의 해수공급을 통해 대용량포방사 시스템을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 하지만 대용량 포방사 시스템을 도입하더라도 현실적인 문제는 여전히 남는다. 우선 국내의 유류저장시설은 과밀화되어 있고 탱크 주변에 보유하고 있는 공지가 좁아 운용하기가 쉽지 않을 것으로 보인다.

5) 또한, 해외 사례에서 볼 수 있듯이 대형탱크의 전면화재는 낙뢰, 폭우, 지진과 같은 자연재난에 뒤따라 발생할 수도 있고 테러 혹은 전쟁과 같은 국가적 재난사태로 닥쳐올 수도 있다. 극심한 국가적 재난사태에서는 대용량포방

사시스템을 갖추고 있어도 제대로 활용하지 못할 수도 있을 것으로 예상된다.

이와 같이 대용량 포방사 시스템의 운용은 현장여건에 따라서는 매우 제한적일 수밖에 없으므로 현장의 장애요인들을 해결 또는 완화할 수 있는 방안을 함께 강구하여야 한다. 따라서 시스템을 최대한 경량화시켜 이동이 쉬운 것으로 도입하고 주요 탱크별로 운영계획을 수립하면서 대구경 소방호스의 장거리 설치문제, 소방활동 공간의 협소문제 등 파악되는 장애요인을 현장여건에 따라 해결해 나가는 것이 현실적 방안으로 보인다.

후 기

본 연구를 바탕으로 소방청에 대용량포방사시스템 국내 도입을 건의하였음.

References

1. National Fire Agency, “White Paper on the Goyang Oil Tank Fire Response”, pp. 12-33 (2019).
2. H. Persson and A. Lonnermark, “Tank Fires, Review of fire incidents 1951-2003, BRANDFORSK Project 513-021”, Sweden : SP Swedish National Testing and Research Institute, pp. 5-7 (2004).
3. United States Patent, “Method For Extinguishing Tank Fires”, Patent Number 5566766A, Retrieved from <https://patents.google.com/patent> (1996).
4. Fire and Disaster Management Office, “Training manual of Disaster Prevention Headquarters of Petrochemical Complex”, Ministry of Internal Affairs, Japan (2016).
5. Fire and Disaster Management Office, “Disaster Prevention Measures at Petrochemical Complexes in Japan”, Ministry of Internal Affairs, Japan, pp. 33-37 (2017).
6. Singapore Civil Defence Academy, “Oil Refinery Fires”, Singapore, pp. 40-75 (2016).
7. Protec Group, “Fire Protection for Fuel Storage Facilities”, Retrieved by <https://slideplayer.com>, p. 6 (2009).
8. American Petroleum Institute, “API RP 2021 Management of Atmospheric Storage Tank Fires”, 4th ed., Washington DC. p. 4 (2001).
9. American Petroleum Institute, “API RP 2021 Management

- of Atmospheric Storage Tank Fires”, 4th ed., Washington DC. pp. 16-17 (2001).
10. British Standard Institution, “BS EN 13565-2 Fixed Firefighting Systems-Foam Systems Part 2: Design, Construction and Maintenance”, London, UK (2009).
 11. National Fire Protection Association, “NFPA 11 Standard for Low-Expansion Foam”, 2016 Ed., Quincy, MA, USA, p. II-63 (2016).
 12. ChemGuard, “Storage Tank Protection High Flow Monitors, DATA SHEET #D10D03191”, REVISION: 09 (2005).
 13. Ministry of Internal Affairs, “Petroleum Complex Disaster Prevention Act Ordinance(No.129)”, Japan (1976).
 14. Y. H. Lee, “Guide on the Fire facilities for Refinery and Petro-Chemical Plant”, Korea Occupational Safety & Health Agency, pp. 13-14 (2012).