**KIGAS** Vol. 24, No. 4, pp 18~24, 2020 https://doi.org/10.7842/kigas.2020.24.4.18
(Journal of the Korean Institute of Gas)

# 건물 화재 시 LPG소형저장탱크 보호용 화재 저항 재료 성능 실증

**김승환 · 김경식 · 허승건 · †이재훈**
한국가스안전공사 에너지안전실증연구센터
(2020년 5월 25일 접수, 2020년 7월 28일 수정, 2020년 7월 29일 채택)

# Experimental validations of fire-resistant materials for protecting LPG small storage tank from building fires

**Seung-Hwan Kim · Kyung-Sik Kim · Seung-Geon Heo · †Jae-Hun Lee**
*Energy Safety Empirical Research Center, Korea Gas Safety Corporation*
*Yeongwol-gun 26203, Korea*
*(Received May 25, 2020; Revised July 28, 2020; Accepted July 29, 2020)*

## 요 약

본 연구의 목적은 화재사고가 발생한 건물에 인접한 LPG 탱크용 방화벽의 적용성을 검증하는 것이다. 제안된 방화벽 재료는 (1) 두께 10 mm 목재합판, (2) 내화도료를 도포한 목재합판, (3) 두께 75 mm Expanded Polystyrene, (4) 두께 75 mm 유리섬유 충진 샌드위치 판넬, (5) 두께 75 mm Autoclave Lightweight Concrete이다. 화원은 1 m 정사각형으로 120-140 g/s의 LPG를 균일하게 분사하여 방화벽과 후단의 탱크를 가열한다. 적용성은 시험 후 방화벽의 구조적 건전성 확인, 방화벽 양면 및 탱크표면 온도, 탱크 인근 복사열을 분석하여 판단한다. 그 결과, ALC 방화벽이 유일하게 구조 건전성을 유지하였고 저장탱크 온도를 가작 적게 상승시켜 폭발 방지 적용성을 확인하였다. 본 실험 결과를 활용하여 방화벽의 성능평가 기준 마련에 필요한 핵심인자를 도출하였다.

**Abstract** - The purpose of this study is to validate thermal hinderance effects, i.e., feasibilities, of fire-proof structure for LPG tank exposed to fire from adjacent burning building. The panel materials suggested for the fire-proof structure are (1) 10 mm-thick wood, (2) wood with fireproof coating, (3) 75 mm-thick Expanded Polystyrene, (4) 75 mm-thick glass wool filled sandwich panel, and (5) 75 mm-thick autoclaved lightweight concrete. The square planar fire source of 1 $m^2$, a matrix of nozzles releasing 120-140 g/s of LPG, is used to heat up the wall and the tank beyond, mimicking heat transfer from burning exterior wall finishes. The feasibility is tested by inspecting structural integrity after test, and then by examining temperatures at both sides of panels and tank's front surface as well as heat fluxes. As a result, it can be concluded that, among the suggested sample materials, fire-proof wall with ALC panel only showed the feasibility for explosion prevention with the proven evidences of structural integrity and least increase in temperature of tank.

**Key words** : fire-proof wall, LPG tank, building fire, thermal hinderance, heat flux

## I. 서 론

소형저장탱크(이하, "저장탱크")란 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙에 "액화석유가스를 저장하기 위하여 지상 또는 지하에 고정 설치된 탱크로서 그 저장능력이 3톤 미만인 탱크"로 정의되며, 우리나라에서 다중이용시설 등에 연료공급을 목적으로 흔히 사용하고 있다[1]. KGS FU432 [별표20]에 따라 건물 개구부와 탱크 충전구는 탱크의

†Corresponding author:sasimi@kgs.or.kr
Copyright ⓒ 2020 by The Korean Institute of Gas

충전용량에 따라 0.5-3.5 m 이상 이격하여 설치된다[2]. 대부분의 경우 탱크 외면과 건물 외벽은 평균 1-2 m 정도 빈 공간을 갖는다고 할 수 있다.

건물 외장재는 화재가 발생할 경우 인접 LPG 탱크를 급격히 가열하며, 이는 재난급 폭발 사고의 원인이 될 수 있다. 경기도 광주시에서 2017년 화재로 인해 LPG탱크가 폭발하였고, 같은 해 충북 제천시 스포츠센터 화재사고에서 소방대원이 건물 진입 및 인명구조 대신 LPG탱크 폭발 방지를 위해 탱크에 살수를 실시한 행위가 사회적 이슈를 만들기도 하였다.

해당 사고 이후 건물 화재로 인한 LPG탱크의 과열을 지연시킴으로써 폭발의 위험을 낮출 목적으로 방화벽 설치에 대한 연구가 수행되었다. 방화벽 재료에 대해 Table 1과 같은 5가지 안으로 쉽게 구할 수 있는 내화재료를 기준으로 제시하였다. 본 실험에서는 상기 방화벽의 열전달 지연 효과(thermal hinderance effect)에 대한 최소 성능을 30분으로 설정하였다. 이는 대한민국 소방청이 2018년에 발표한 「화재통계연감자료」의 분석에 근거한다. 자료에 따르면, 소방대원이 현장에 도착하여 소방활동을 개시하는 데 통상적으로 화재 발생 이후 30분이 경과하는 것으로 나타났다[3]. 같은 이유로 플랜트용 차단밸브의 화재저항 성능 평가 시험(API 607/ISO 10497)의 성능 지표도 30분으로 설정되어 있다[4,5].

해당 실증연구는 LPG탱크의 폭발을 방지하는 장치에 대한 내용으로, LPG탱크 위험성 평가 분야의 새로운 방향성을 제시하고 있다. 지난 20년간 국내외 연구동향을 조사한 결과, LPG탱크의 위험성 평가는 가연성 가스 확산, 제트화염, 증기운 폭발, BLEVE 등 사고 발생 이후에 대한 열 피해 및 과압 피해를 예측하는 데 한정되었다[6-9]. 피해예측은 주로 PHAST 또는 FLACS 등을 이용한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 수행된 사례가 대부분이며, 해외에서 시도한 BLEVE 현상 재연도 축소 시험을 통해서만 가능하였다[10].

본 연구에서는 재연성이 우수한 LPG 제트버너를 평면화하여 발생하는 화염원을 이용하여 건물 외벽에 화재를 발생시킬 경우 화염이 저장탱크를 가열하는 상황을 모사하였다. 시험 초기 저장탱크는 주변에서 쉽게 구할 수 있는 건물 외장재로 만들어진 방화벽 판넬로 보호되며, 방화벽의 화재보호 대책 적용성(feasibility)을 검증하였다. 가열 중 방화벽 전후면 및 저장탱크 표면에서 온도를 측정하여 기록하였고, 방화벽 후단에서 열 유속(heat flux)을 측정, 기록하였다. 자세한 사항은 이후 본문 및 Fig. 1을 참조한다.

## Ⅱ. 시험재료 및 장치

방화벽은 두께 6 mm, 100x100 mm angled steel을 사용하여 프레임(가로, 세로 2 m)을 제작하고, Table 1에 제시된 내화재료 판넬(panel)을 사용하여 마감하였다. 판넬 원판은 높이 2.0 m, 폭 0.6 m로 재단하였다. 이를 가로 방향으로 적층하고 프레임의 테두리와 중간 수평 막대에 나사못을 사용하여 고정하였다.

Table 1에 명시된 내화재료 선정 시 다음의 사항을 고려하였다. 첫째, 기존의 소형저장탱크 설치 장소의 특성을 반영하여 공간 확보 및 시공의 편의성을 위해 판재를 사용하였다. 둘째, 방화벽

설치를 위한 기초공사를 최소화하기 위해 재료의 경량화에 중점을 두었다. 이러한 이유로 벽돌조적이나 강판제 등은 시험대상에서 제외하였다.

실험에 사용된 화염원은 건물 외장재 연소를 모

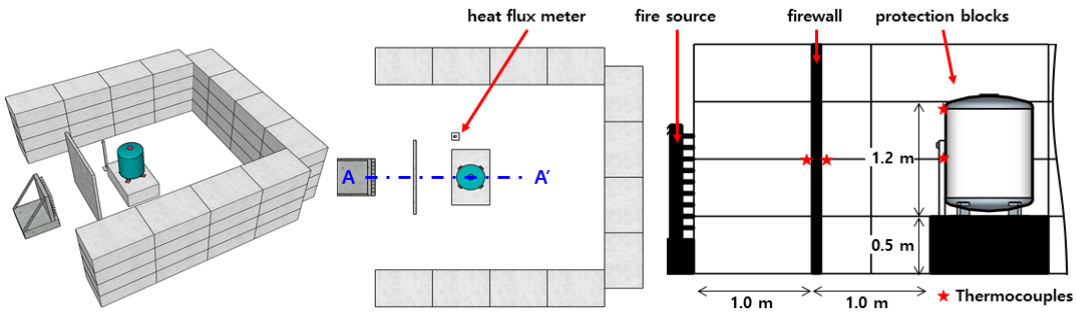



**Fig. 1.** Setup of the fire test series with the firewall materials proposed to thermally protect LPG tanks at the different viewpoints: (a) iso, (b) top and (c) A-A' section.

**Table 1.** Suggested materials for the firewalls of LPG tank against building fire accident

| | Panel Materials | Thick (mm) | Abbr. |
|---|---|---|---|
| 1 | Layered wood | 10.0 | LWD |
| 2 | LWD, fire retardant paint coated | 10.0 | LWC |
| 3 | Expanded Polystyrene | 75.0 | EPS |
| 4 | Glass wool filled sandwich panel | 75.0 | GWS |
| 5 | Autoclaved Lightweight Concrete | 75.0 | ALC |

사하도록 Fig. 2에 제시된 수직형 LPG 제트버너를 사용하였다. 버너는 한 변이 2 m인 정사각형에 400개의 LPG 제트 노즐($\phi$=1.0 mm) 매트릭스를 포함하고 있으며(Fig. 2참고), 이번 실험에는 1/4 면적만을 사용하였다. 버너 노즐과 노즐 사이에는 연소에 필요한 공기 통로가 구성되어 있고, 원활한 공기 공급을 위해 지름 30 in. 중심 풍속 300 m/min 송풍팬 2대를 버너 후방에 설치하였다. 연료는 LPG를 사용하였고, 정격 사용량은 130±10 g/s로 설정하였다. 이는 화염시험에 관한 해외 시험기준 중 Table 2에 제시한 본 실험과 유사한 기준을 분석하여 결정하였다[11-13]. 사전 시험을 실시한 결과, 이 가열 조건은 방화벽이 없는 상태에서 저장탱크 표면을 900±100 °C의 온도와 15±1 kW/m$^2$의 열 유속을 인가하는 것으로 나타났다. 복사열에 대한 피해영향은 국내외 기준에서 제시하고 있으며, 12 kW/m$^2$ 이상의 열 유속은 시설에 심각하고 회복 불가한 손상을 일으키는 강도이다[14,15].

저장탱크의 용량은 170 kg으로 높이가 1.2 m, 지름이 0.76 m이며, 강판 두께는 5 mm이다. 약 10년간 사용 중인 용기를 구매하였고, 내부의 잔여 가스를 모두 비우고, 수돗물로 1회, 질소를 이용하여 24시간 퍼지(purge)를 실시하였다.

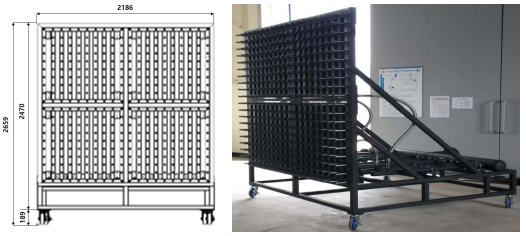
시험 공간의 바닥은 한 변이 5 m인 정사각형이며 저장탱크를 중앙에 위치시켰다. 시험 공간의 3면(저장탱크의 좌우측 및 뒷면, 즉 비 가열면)은 철근콘크리트 방호블록(1.5×1.0×0.5 m)으로 적층하여 높이 2 m의 보호벽을 만들었다. 이는 열의 확산과 저장탱크 폭발 시 파편 방사를 방지한다. 실제로 저장탱크는 건물과 건물 사이에 설치되어

건물 화재 시 열이 건물 사이에 누적되는 현상이 발생할 것으로 판단된다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 저장탱크 중심선의 연장선에 방화벽의 중심과 버너의 중심을 위치시켰다. 저장탱크 전면과 버너 노즐 팁과의 거리가 2 m가 되도록 버너를 위치시켰고, 그 중심에 방화벽의 전면(버너 방향)을 위치시켰다. 화원의 하단은 지면에서 0.3 m 떨어져있다. 온도는 k-type 열전대(sheath형: STS316, $\phi$=3.2 mm, L=5 m)를 방화벽 전, 후단 중심에 각 1개, 저장탱크 표면에 2개를 설치하여 측정하였다. 저장탱크 표면에 설치된 2개의 열전대의 수직 위치는 실린더와 상부 돔(dome) 용접부와 실린더 중심이다. 탱크 표면에 입사하는 열유속(Heat flux)은 Gardon Gauge형 산업용 열유속 센서(모델: SBG01-100, serial No. 12496, Hukseflux Thermal Sensors B.V.)를 구매하여, Fig. 1이 나타내는 지점에 화원을 정면으로 바라보도록 설치하였다. 센서의 정격 측정범위는 100 kW/m$^2$(sensitivity 0.122±0.008 $\mu$V/(W/m$^2$))이다. 냉각액으로는 수돗물을 사용하였다.

**Table 2.** Comparisons of the heating methods and conditions according to the fire test standards

| | NFPA 285 | ISO 13785-2 | ISO 13785-1 | This Study |
|---|---|---|---|---|
| Fuel | LPG | LPG or Wood | LPG | LPG |
| Intensity | 398 kW/m$^2$ | 120 g/s or 800℃ [5,520 kW/m$^2$] | 100±5 kW/m$^2$ | 130±10 g/s [5,980 kW/m$^2$] |




(a) (b)

**Fig. 2.** Fire source for the test series: (a) design & schematics, and (b) fabricated burner.

실험 데이터는 Graphtec GL840을 통해 기록 및 저장되었으며, 각 열전대는 k-type 전용 실드(shielded) 연장선 30 m을 이용하여 연결하였고,

SBG01은 10 m 전용 케이블이 중간 신호 증폭기(KN-2210W, Konics, 대한민국)에 연결하고, 여기서 전압신호가 전류(4-20 mA) 신호로 변환되어 데이

**Table 3.** Firewall(LWD, LWC, EPS) burnout Heat-flux

| Firewall Type | Burst Heat flux | Burn Down |
|---|---|---|
| LWD | 17 kw/m$^2$ | O |
| LWC | 24 kw/m$^2$ | O |
| EPS | 27 kw/m$^2$ | O |
| GWS | - | X |
| ALC | - | X |

터로거로 전송되었다.

## Ⅲ. 실험결과 및 고찰

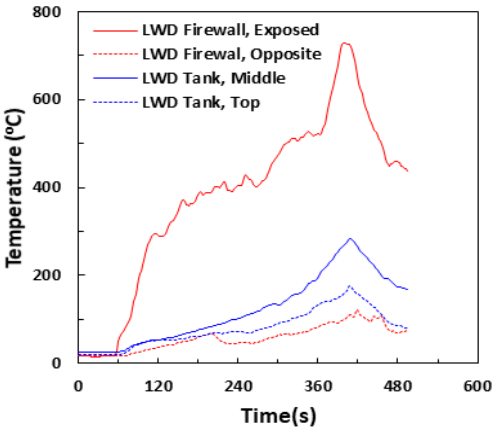
LPG 버너를 실험의 화원으로 사용할 때 고려해야할 요소는 연소가스 유동에 따른 풍하중이 건물 외장재가 연소할 때 발생하는 난류 유동과 상이하다는 점이다. 건물 외장재의 경우 발화원 근처에 연소열에 의한 상승기류가 형성되는 것이 일반적이나, LPG 제트버너는 LPG의 분사에 의한 수평 기류도 발생하기 때문에 열 하중 이외에 유동 하중이 가중될 수 있다. 이를 정량적으로 평가하기 위해, 130 g/s의 프로판(약 2.95 mol/s)이 화염으로 분출될 때 풍속을 추산하였다. 이상기체 상태방정식을 이용하여 1 atm, 1,100 K에서 부피유속은 0.266 m$^3$/s이며, 1 m$^2$의 평면 버너를 통해 분출되므로 선속도는 0.266 m/s(또는 0.96 km/h)이다. 프로판의 순 연소 방정식으로부터 부피비로 7배의 가스가 생성되므로, 버너 노즐에서 선속도는 6.7 km/h이며 부력 및 분산(dissipation)에 의해 방화벽 전면에서는 이보다 작은 값이 나올 것으로 추측할 수 있다. 이 속도는 구조물에 큰 풍하중을 유발할 것으로 판단되지 않는다. 다만, 가연성 재질의 방화벽(firewall)인 경우 난류를 형성하여 발화를 가속화 시킬 수는 있을 것이다.

표준 버너를 이용하여 5종류의 firewall에 화염을 인가한 결과 LWD, LWC 재질은 3분 내외에서 발화하여 시험 시작 6분 전 · 후로 전소하였고, EPS재질은 15분 내 전소하여 열 차단 기능을 완전히 상실한 것으로 나타났다(Fig. 4). 특히, EPS는 난연성 인증 제품이었으나 LPG 제트 버너에 의해 전소하는 현상이 발생하였다. 따라서, 이 세 가지 재료에 대한 더 이상의 열 해석은 불필요한 것으로 판단하여 이후 논의에서 제외하였다.

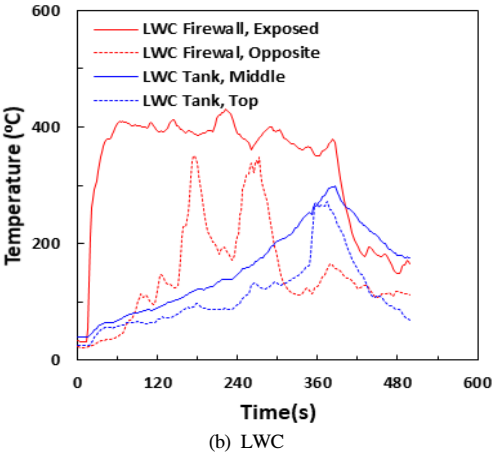
방화벽 재료 중 30분 이상 분출 화염을 인가하여도 초기 구조를 유지하는 재료는 GWS와 ALC다. GWS는 화염 인가 20분 후부터 부분적인 휨 현상이 육안 관찰되었으나, Fig. 5와 같이 방화벽 배면과 탱크표면에 급격한 온도 상승이 없어 열 차폐 성능은 유지한다고 판단되며 최고 Heat flux는 19.6 kW/m$^2$로 측정되었다. ALC 재료는 실험 후에도 원형 그대로의 구조를 유지하였고, 재사용이 가능할 것으로 판단되었으며 최고 Heat flux는 17.48 kW/m$^2$으로 측정되었다(Fig. 3).

Fig. 6에서, ALC 방화벽 전면의 평균 온도는 준

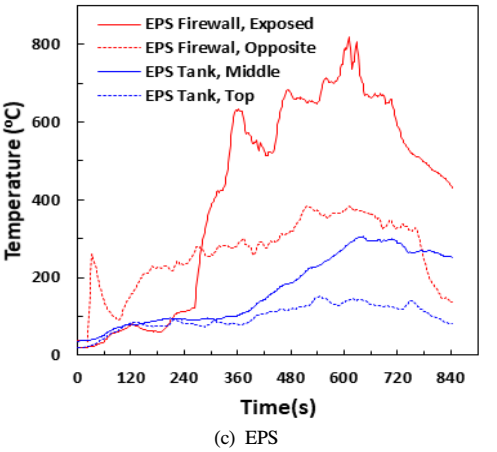
**Fig. 3.** Photos of firewalls used in the tests: (a) LWD, (b) LWC, (c) EPS, (d) GWS, (e) ALC.




(a) LWD




(b) LWC




(c) EPS

**Fig. 4.** Temperature profiles in the tests with the firewalls: (a) LWD, (b) LWC and (c) EPS.

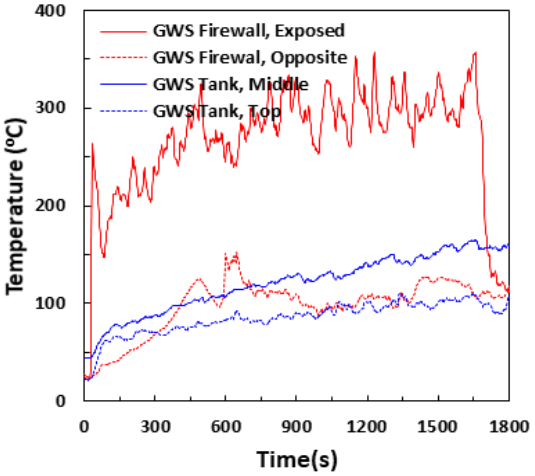



**Fig. 5.** Temperature profiles during the test with the GWS firewall.

정상상태(Quasi-steady state)인 150-1,800초 구간에서 1,005 °C이며, 이 기간 동안 탱크 표면 온도는 최대 115 °C까지 상승하였다. 이 온도에서 프로판의 증기압은 45 bar이다. 이는 저장탱크의 파열 예상압력인 60 bar보다 낮기 때문에 즉시 탱크 폭발이 발생할 것으로 판단되지는 않으며, 탱크에 장착된 과압 방지밸브가 개방되어 압력 상승을 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이에 반해, Fig. 5처럼 GWS 방화벽 사용 시 탱크 표면 온도가 150 °C 이상 증가할 경우 탱크 내부 압력 증가속도와 과압 방지밸브의 방출성능 및 가스 충전량에 따라 탱크 폭발 위험성이 훨씬 커질 수 있다. 참고로, 저장탱크의 예상파열압력을 60 bar 이상으로 설정한 근거는 KGS AC111에 따른 설계압력(1.8 MPa) 및 내압시험압력(2.34 MPa)과 KGS AC211에 따른 파열시험압력(내압시험압력의 9/4배)을 조합하여 보수적으로 추론한 값이다.

상기 해석에서 200 °C 이하에서는 탱크 재료의 인장강도 등 열 물성 변화를 고려하지 않았다. 그러나 Fig. 7에 나타낸 열유속 결과를 분석하면 방화벽을 넘어온 열이 탱크 재료에 미치는 영향을 판단할 수 있다. ALC 방화벽의 경우 탱크 표면 열 유속은 평균 5.47 kW/m$^2$이고, GWS 방화벽의 경우 9.55 kW/m$^2$이다. 앞서 기술한 바와 같이, 12.5 kW/m$^2$의 열 유속은 시설에 심각하고 회복 불가능한 손상을 일으킬 수 있는 강도로, ALC 방화벽은 화재로부터 열전달을 효과적으로 차단하여 탱크가 받는 열유속을 한계값 미만으로 낮출 수 있으나, GWS는 평균값이 한계값에 너무 근접하고, 일부 시간 구간에

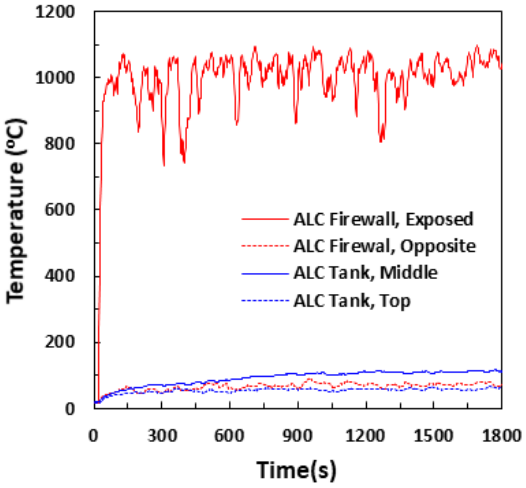



**Fig. 6.** Temperature profiles during the test with the ALC firewall.

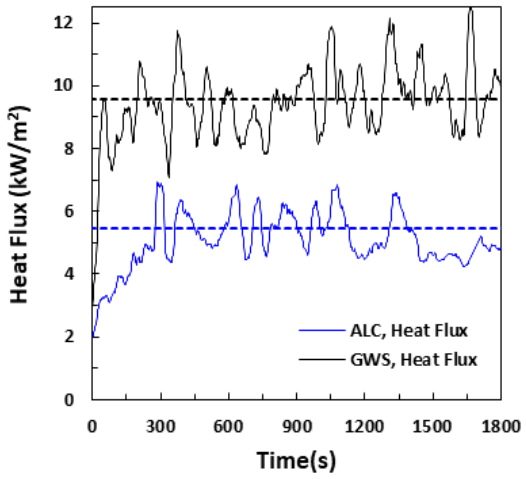



**Fig. 7.** Heat flux data (36 s rolling-averaged) in the tests with the firewalls: GWS and ALC.

서 한계값을 넘기도 하여 열차단 효과를 보장할 수 없는 것으로 판단된다.

연료 소비량이 130 g/s로 일정해도 온도 및 열유속 측정 결과가 불규칙한 현상(Fig. 6과 Fig. 7)은 대용량 야외 화재시험에서 일반적이다. 여러 원인 중 노이즈가 포함되며, GTR No. 13 등의 화염시험에서는 rolling 평균 필터를 사용한다. Fig. 7은 36초 rolling 평균 필터를 적용하여 노이즈를 제거한 결과이며, 각각의 peak는 실제 저장탱크에 입사되는 열유속으로 볼 수 있다.

이상, 화재에 의한 재료 손상 여부 및 열 차단 기능 상실 여부, 온도, 열 유속 데이터를 종합하였을 때, LPG 탱크에 대한 방화벽 재료로서 ALC만 적합한 것으로 판단된다. 이상, 화재에 의한 재료 손상 여부 및 열 차단 기능 상실 여부, 온도, 열 유속 데이터를 종합하였을 때, LPG 탱크에 대한 방화벽 재료로서 ALC만 적합한 것으로 판단된다. 따라서, LPG 소형저장탱크와 건축물 사이에 설치하는 방화벽 재료는 ALC 판넬로 설정하였으며, 실외에 설치되는 ALC 판넬 재료의 성능평가를 위한 핵심인자 도출 결과는 다음과 같다. 시험에 사용되는 프로판 유량은 ISO13785- 1의 기준을 참고하여 이보다 더 높은 130±10 g/s로 할 필요가 있고 시험시간은 소방차 출동시간과 방화벽의 열전달 지연 효과를 고려하여 30분으로 유지할 필요가 있다. 또한, 시험에 사용되는 화염원 발생장치는 탱크에 불꽃이 닿는 범위와 크기를 고려하여 1×1 m 정도가 적절하며, 시험체와의 거리는 국내 LPG 소형저장탱크의 설치 여건과 작업환경을 고려하여 1 m로 설정할 필요가 있다. 시험 중 원활한 공기공급 및 온도유지, 실제 화재시험을 모사하기 위해 풍속은 300 m/min로 유지할 필요가 있다. 마지막으로 시험체의 최소 두께는 75 mm이상으로 설정할 필요가 있다.

## Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 실증실험을 통하여 LPG 소형저장탱크용 방화벽의 적용성(feasibility)을 평가하였다. 방화벽은 LPG 탱크가 인접한 건물에 화재사고 발생 시 발화된건물 외장재로부터 유입된 열로 인해 탱크가 폭발하여 재난급 2차 사고가 발생하지 않도록 만드는 기능을 한다. 해당 실험에 사용한 방화벽 재료는 (1) 두께 10 mm 합판(LWD), (2) 내화페인트로 코팅된 동일 합판(LWC), (3) 두께 75 mm 발포 폴리스티렌(EPS), (4) 두께 75 mm 유리섬유 샌드위치 판넬(GWS) 그리고 (5) 두께 75 mm ALC 판넬(ALC)로, 한 변이 2 m인 정사각형 형상으로 제작하였다. 화원은 건물 외장재 화염을 모사하기 위해 LPG 제트 노즐을 한 변이 1 m인 정사각형의 모듈에 배열하고, LPG 130 g/s을 분출, 연소시켜 구성하였다. 샘플은 170 kg 용량의 LPG탱크를 화원과 2 m 거리에 위치시키고, 방화벽을 중간에 설치하였다. 방화벽에 화염을 인가한 후 30분간 방화벽 전, 후면, 탱크 표면에서의 온도와 탱크 측면에서 열 유속을 측정하였다. 그 결과, LWD와

LWC는 점화 3분 만에 발화하기 시작하여 시험 시작 6분 이내에 전소하여 그 기능을 상실하였고, 난연재인 EPS도 열 차단 기능이 15분 이상 지속되지 못하였다. GWS와 ALC만 시험시간인 30분 이상 열 차단 효과를 유지하였으며, Table 3 및 Fig. 6과 Fig. 7에 주어진 탱크 표면 온도와 열유속 데이터를 분석한 결과 ALC 재료만 LPG탱크 방화벽으로서 적용 가능할 것으로 판단된다. 이 연구 결과는 향후 LPG 탱크에 대한 방화벽 설계기준을 제시하고, 소형저장탱크의 화재 안전성 향상과 안전관리절차 개선에 사용할 수 있으며, 해당 유형의 화재사고 발생 시 작전절차(SOP) 개발 등에 참고자료로 활용할 수 있다. 또한, LPG 소형저장탱크와 건축물 사이에 설치되는 방화벽의 성능평가 기준마련을 위한 핵심인자 도출 결과를 이용하여 기준제정에 활용이 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 산업기술혁신사업(과제번호 : 20189220100120) 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

## REFERENCES

[1] 법제처, “액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제2조 제1항 제4호”, 산업통상자원부, 산업통상자원부령 제367호, (2020)

[2] Korea Gas Safety Corporation, *Facility/Tec hnical/Inspection Code for Facilities Using LP Gas in Small Storage Tanks*, KGS FU432 (2020)

[3] Korean National Fire Agency, *Fire Statistical Yearbook*, (2018)

[4] API 607, *Fire Test for Quater-turn Valves and Valves Equipped with Nonmetallic Seats*, (2016)

[5] ISO 10497, *Testing of valves : Fire type-testing requirements*, (2010)

[6] Roh, S. K., Kim, T. H., Ham, Y.G., “A Study on Damge Effect from Boiling Liquid Expand ing Vapor Explosion(BLEVE) of LPG Charging Facility”, *J. Kor. Inst. Gas*, 3(3), 45-50, (1999)

[7] Lee, S. L., Lee, Y. S., “A Study on the Probabil ity of BLEVE of Above-ground LP Gas Storage Tanks Exposed to External Fire”, *J. Kor. Inst. Gas*, 7(1), 19-23, (2003)

[8] Yim, J. P., Ma, B.C., Chung, C. B., “A Study on the Safety of Small LPG Storage Tanks at External Fires”, *J. Kor. Soc. Safety*, 30(4), 64-72, (2015)

[9] Lee, J. H., Jo, Y. D., Moon, J. S., Kim, L.H., “An Availability Assessment of Protection Wall Installed in LPG Filling Station”, *J. Kor. Inst. Gas*, 22(5), 38-45, (2018)

[10] F. Heymes, L. Aprin, A.M. Birk, P. Slangen, J.B. Jarry, H. Frabcius, G. Dusserre, “An experimental study of an LPG tank at low filling level heated by a remote wall fire”, *J. Loss Prev. Proc. Ind.*, 26(6), 1484-1491, (2013)

[11] NFPA 285, “Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assembli es Containing Combustible Components”, 5-8 (2006)

[12] KS ISO13785-1, *Reaction to fire tests for facades Part 1 : Intermediate-scale test,* (2002)

[13] ISO 13785-2, *Reaction-to-fire Tests for Facades Part 2: Large-scale Test*, 1-16 (2002)

[14] Korean Occupational Safety Health Agency, *KOSHA GUIDE P-102-2012,* 56-59, (2012)

[15] Heath and Safety Executive, F*ire and Explosion Strategy, Issue 1*, (2013)