

화재안전분야의 글로벌 프로젝트

「ISO 13784-1 국제상호평가」의 최종 결과

박계원 / 건재환경팀 연구원

1. ISO 13784-1 국제상호평가의 개요

1.1 ISO 13784-1 프로젝트 추진 배경

샌드위치 패널(건축용 철강제 벽판 및 지붕판)의 화재안전성을 평가하는 국제 시험방법인 ISO 13784-1 표준은 2002년 제정된 바 있으나, 2006년부터 착수한 관련 국책연구(KFPA 부설 방재시험연구원 주관)를 통해 ISO 13784-1 표준에서 기술된 열방출을 도출방법에 대해 불확실성이 내재함을 파악하게 되었다. 이에 대한 개선 방법을 2008년 ISO TC92(국제표준화기구 화재안전기술위원회) 서울 총회 때 제안(제안자 박계원)하였으며, 2009년 5월에 ISO 13784-1의 열방출을 도출방법 개선을 위한 제안이 ISO TC92에 의해 채택되어 현재 ISO 13784-1 개정 프로젝트 작업이 활발하게 진행되고 있는 상태이다.

[표 1] ISO 13784-1 Project

ISO 프로젝트명	Revision of ISO 13784-1
ISO 프로젝트 ID	Project53738
ISO 프로젝트 리더	KFPA 박계원
ISO 프로젝트 간사	Patrick Van Hees(스웨덴)
국내 관련 당국	지식경제부 기술표준원(KATS)

1.2 ISO 13784-1 국제상호평가(RRT) 추진 과정

상기 ISO 13784-1 프로젝트의 개정 작업과 병행하여 ISO 13784-1 시험방법의 유효성 검증

에 대해 국제상호평가(Round Robin Test ; 이하 RRT) 프로젝트가 조직(2010년 4월 ISO TC92 승인)되었으며 4개국(한국, 호주, 스웨덴, 일본) 6개 국제 연구기관이 참여를 하고 있다.

[표 2] ISO 13784-1 국제상호평가 진행과정 요약

2009.5 ISO TC92 사무국	<ul style="list-style-type: none"> ISO 13784-1 개정안 프로젝트 승인
2010.4 ISO TC92 베를린 회의	<ul style="list-style-type: none"> ISO 13784-1 국제상호평가 계획 승인 4개국 6개 기관 참여 <ul style="list-style-type: none"> 한국 KFPA(한국화재보험협회) 및 KICT(한국건설기술연구원) 스웨덴 SP(스웨덴 왕립기술연구원) 호주 CSIRO(호주 연방과학산업연구기구) 일본 TUSI(동경이과대학) 및 GBRC(일본건축종합연구소) ISO Project Leader : 한국 KFPA 박계원
2011.4 ISO TC92 파리 회의	<ul style="list-style-type: none"> 국제상호평가 중간 결과 보고
2011.11 ISO TC92 브뤼셀 회의	<ul style="list-style-type: none"> 국제상호평가 최종 결과 보고

본 RRT의 프로젝트 리더 당국으로서, 한국의 한국화재보험협회(KFPA) 부설 방재시험연구원(FILK)이 주관을 하고 있다. KFPA에서 공통 시험규약(Protocol) 및 시험편을 배포하였으며 각 기관들은 KFPA의 입회하에 RRT를 수행하였고 2010년부터 2011년 하반기에 걸쳐 모든 기관들이 RRT 시험을 완료한 상태이다.

본 RRT에는 한국의 KFPA 및 KICT(한국건

설기술연구원), 호주의 CSIRO(연방과학산업연구기구), 스웨덴의 SP(왕립기술연구원), 일본의 TUS(동경이과대학) 및 GBRC(일본건축종합연구소)의 6개 국제 연구기관이 참여하였는데 이중 일본의 TUS 및 GBRC는 ISO TS 17431(Model Box test)를 적용하여 수행하였으며 이를 통해 ISO 13784-1과의 상관성 검증 목적으로 참여하였다. 따라서 ISO 13784-1 RRT에는 한국의 KFPA 및 KICT, 호주의 CSIRO, 스웨덴의 SP 4개 기관이 참여하였고 모두 성공적으로 평가를 수행하였다. 본 기고에서는 상기와 같이 2010년부터 현재까지 진행되어온 4개 기관의 ISO 13784-1 RRT 수행결과에 대해 최종 분석결과를 기술하고자 한다.

2. ISO 13784-1 국제상호평가(RRT)의 결과

2.1 국제상호평가(RRT)의 시험 방법

2.1.1 본 국제상호평가(RRT)는 ISO 13784-1:2002 및 제안된 열방출율 도출방법(유속비 K_f factor 정밀측정 방안)에 의거하여 수행되었다. ISO 13784-1 시험은 20분간 소형 샌드위치 패널 조립체가 그 실(室)내부 한 구석에서 직접 화염에 노출되었을 때 샌드위치 패널 조립체의 화재 연소성능(열방출율 및 연기발생율)을 평가하며, 시험중 플래시오버(flashover)가 발생 시에는 시험을 중지하고 이때까지의 연소성능을 측정하게 된다. 본 RRT에서는 열방출율 산출을 핵심 평가 목표로 설정하였으며, 최종적으로 RRT 참여기관들의 열방출율(Heat Release rate 수식 [표 3] 참조) 결과들에 대해 이상치 산출 및 결과분포에 대한 신뢰구간을 도출하고자 하였다.

[표 3] 열방출율(Heat Release Rate) 산출 수식

$\phi_s = q_{h,s} q_{\nu,298} x_{o_2}^\alpha \left[\frac{r}{r(\alpha-1) + 1} \right] - \frac{q_{h,s}}{q_{C_3H_8}} \phi_b$	
ϕ_s	시험체 열방출율 [kW]
ϕ_b	버너 열방출율 [kW]
$q_{h,s}$	25°C, 시험체의 연소량, [17.2×103 kJ·m ⁻³]
$q_{C_3H_8}$	25°C, 프로판의 연소량 [16.8×103 kJ·m ⁻³]
$q_{\nu,298}$	25°C, 대기압 상태에서 계산된 배기 덕트 내 가스의 배기 유량 [m ³ ·s ⁻¹]
α	평창 계수 [시험체 연소시 $\alpha=1.105$]
$x_{o_2}^\alpha$	대기 중의 수증기를 포함한 산소의 몰분율 (mole fraction)
r	산소소모지수

2.1.2 시험절차 요약

- (1) 본 시험 전 교정시험(표 4 참고)을 완료하며 본 시험 전에 후드의 배기 용량은 최소 3.5 m³/s로 유지하고 본 시험의 버너 착화 전 최소 2분 동안 데이터 기록을 시작하게 된다.
- (2) 본 시험시 착화 후 10초 이내에 요구된 출력 수준까지 버너를 조절하며 버너 열출력(표 4 참고)은 초기 10분간 100 kW, 추가 10분간 300 kW로 하며 만약 플래시오버가 발생 시에는 시험을 종료한다.

[표 4] ISO 13784-1의 교정시험 및 본시험의 버너 열출력 단계

시험구분	시간(분)	열출력(kW)	비 고
교정시험	0~2	0	교정시험은 후드 중앙부 아래 1m에 위치시키며, 각 단계별 반응시간은 20초 내에 완료. 각 버너 열출력은 규정값의 ±5% 이내 제어.
	2~7	100	
	7~12	300	
	12~17	100	
	17~19	0	
본시험	0~2	0	각 버너 열출력은 규정값의 ±5% 이내에서 제어되어야 하며, 플래시오버 발생시 시험종료.
	2~12	100	
	12~22	300	
	22~32	0	

2.1.3 ISO 13784-1 시험체의 구성

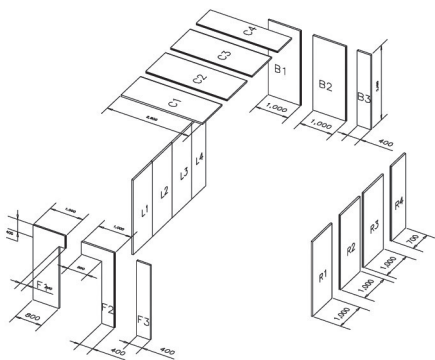
[그림 1] 및 [그림 2]와 같이 시험체는 전면에 개구부를 가진 장방형 자립형 샌드위치 패널 조립체로 2.4 m × 3.6 m × 2.4 m의 볼륨을 가지



【그림 2】 ISO 13784-1 RRT 시험체의 제작 과정

며 ISO 13784-1에서는 1.2 m 폭으로 되어 있으나, 국내 양산 실정에 맞게 1m 폭 패널로 제작되어 좌측 및 우측벽부에 4개 패널, 후벽부에 3개 패널, 천정부에 4개 패널 및 전면 3개 패널(개구부 0.8 m × 2 m)로 구성하였다. 시험체의 심재로는 50 mm 두께의 적층형 심재(EPS+Glass wool) 샌드위치 패널(철판 두께 0.5 mm)이 적용되었다.

래시오버는 발생하지 않았으며 시험 시작으로부터 10분이 경과한 직후에 버너 이면 상단부 패널에 불꽃이 착화되어 개구부 방향으로 약 50 cm 정도의 flame spread 현상이 발생하였다.



【그림 1】 ISO 13784-1 시험체의 구성 도면

2.2 ISO 13784-1 시험 결과 요약

4개 시험기관은 KFPA에서 제공된 시편에 대해서 ISO 13784-1의 RRT를 오류없이 20분간 진행하였다. 공통적인 정성적 관찰 결과로서 플



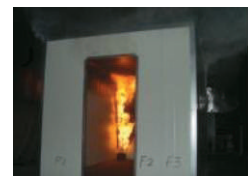
호주 CSIRO의 시험모습



한국 KICT의 시험모습



스웨덴 SP의 시험모습



한국 KFPA(FILK)의 시험모습

【그림 3】 각 기관의 ISO 13784-1 시험모습

주요 평가 변수인 열방출율(Heat Release Rate)은 FILK, KICT, SP, CSIRO가 각각 418.6 kW, 425.0 kW, 415.8 kW, 430.0 kW로 측정되었으며 이를 화재성장지수(시험면에서 발생된 최대 열방출율/해당 시점의 경과 시간(초))인 FIGRA로 환산할 경우 0.150 kW/s, 0.154 kW/s, 0.131 kW/s, 0.164 kW/s로 산출되어 매우 저조한 열방출율 성장 경향을 보여주었다.

[표 5] 4개 기관의 열방출율 결과 값

	FILK	KICT	SP	CSIRO
Max HRR (0min~2min)	113.6	111.7	137.6	140.7
Time (sec)	117	114	106	120
Max HRR (0min~2min)	114.5	119.8	144.7	140.7
Time (sec)	121	261	366	120
Max HRR (0min~2min)	394.3	340.2	386.5	349.6
Time (sec)	716	711	720	710
Max HRR (0min~2min)	418.6	425.0	415.8	430.0
Time (sec)	790	810	886	795
FIGRA ^(*) (kW/s)	0.150	0.154	0.131	0.164

주) FIGRA : 화재성장지수 (Fire Growth Rate), 시험체로부터 발생된 최대 열방출율과 해당 소요 시간에 대한 지수의 최대값 (단위, kW/s)

$$FIGRA = Heat Release Rate_{max} / t$$

4개 시험기관의 열방출율 발생수치에 대한 round robin data 균질성 검증을 위해 Grubbs 검증(ISO 5725-2's statistical method)을 수행하였다. 그 결과 $G_{min}(1.025)$ & $G_{max}(1.197)$ 로 나타나 $G(n=4, 0.05p)$ 의 기각치인 1.481보다 낮은 수치임이 도출되어 평가 결과들간 균질성이 검증되었고, 열방출율 시험결과들의 분포상 이상치가 없는 것으로 판단(표 6)되었으나 추가로 outlier 검증(표 7)을 실시하였다.

[표 6] Grubbs 검증에 의한 데이터 균질성 검토

Min HRR	415.80
Max HRR	430.00
Average HRR	422.35
Standard deviation	6.39
Gmin	1.025
Gmax	1.197
G(n=4, 0.05p)	1.481

[비고] 이상치가 1개인 경우: $x_i (i = 1, 2, \dots, p)$ 에 대하여 그림스검정에 따라, 그 최대치를 이상치인지 판정시 G_p , 최소치를 이상치로 판정시 G_1 을 산출.

$$G_p = (x_p - \bar{x})/s, \bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i, s = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2}, G_1 = (\bar{x} - x_1)/s$$

if 검정통계량(G_p or G_1) ≤ 기각한계치 → 그 검정의 대상은 정상

Dixon's Q test [표 7]에 의한 Outlier 검출을 시도하기 위해 4개 기관의 HRR 데이터들을 서열 순서(n = 4)로 배열하면 다음과 같으며

415.8 kW (SP) < 418.6 kW (FILK) < 425.0 kW (KICT) < 430.0 kW (CSIRO)과 같은 서열 척도를 보여주었다.

최대치 430.0 kW에 대한 outlier 검정시,

$$Q_{exp_{max}} = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} = \frac{(430-425)}{(430-415.8)} = 0.350$$

최빈치 415.8 kW에 대한 outlier 검정시,

$$Q_{exp_{min}} = \frac{X_2 - X_{n-1}}{X_n - X_1} = \frac{(418.6-415.8)}{(430-415.8)} = 0.197$$

95% 신뢰수준에서, n=4의 기각한계치 $Q_{crit} = 0.829$

따라서, $Q_{exp_{max}}$ 및 $Q_{exp_{min}}$ 모두 Q_{crit} 보다 작으므로 Q-test의 귀무가설(null hypothesis : 이상으로 의심되는 데이터와 그 외 데이터들 간에 유의적인 차이가 없음)은 채택되어 최대치와 최빈치는 outlier로 인정되지 않으며 데이터 극값에 있어서 RRT 결과에 대한 outlier는 없는 것으로 판명되었다.

[표 7] Dixon의 outlier 검증표

Dixon's Q test for Outlier	
Q_{crit} (95% C.L, n=4)	0.829
Q_{exp} (HRRmax = 430)	0.350
Q_{exp} (HRRmin = 415.8)	0.197
Outlier (if= $Q_{exp} > Q_{crit}$)	No Outlier

여기서 4개 기관의 열방출율 평균(mean of HRR) $M = 422.35$, 이때 표준편차 $S_m = 6.390$, 자유도(degree of freedom) $df = 3$ 로서 95% 신뢰수준(유의도 0.05)에서 t value(t_{cl})은 3.182로 도출되었으며 최종적인 신뢰구간은 $S_m \cdot t_{cl} = \pm 10.16$ 으로 산출되었다.

따라서 이번 RRT를 통한 4개 기관의 열방출율 최대값에 대한 정밀도 오차범위는 (422.35

± 10.16) kW로 표현(표 8)될 수 있다.

[표 8] 4개 기관의 결과 값에 대한 정밀도 (95 % 신뢰수준)

mean of HRR	422.35
Standard deviation	6.390
df (N=4)	3
Confidence level	95 % (significance 0.05 p)
t distribution value	3.182
95% Confidence Interval	± 10.16

또한 4개 시험기관의 시간 경과에 따른 열방출 curve에 대한 상관성(correlation analysis)분석을 수행한 결과 [표 9]와 같이 매우 높은 상관성(기관별 최소 R²=0.948 이상)이 있다고 분석되어 본 RRT 시험결과의 통계적 유의성이 확보됨을 알 수 있었다.

[표 9] 4개 기관의 열방출율에 대한 correlation

		FILK HRR	KICT HRR	SP HRR	CSIRO HRR
FILK HRR	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	1	0.969** 0.000	0.975** 0.000	0.980** 0.000
KICT HRR	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.969** 0.000	1	0.948** 0.000	0.968** 0.000
SP HRR	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.975** 0.000	0.948** 0.000	1	0.967** 0.000
CSIRO HRR	Pearson Correlation Sig. (2-tailed)	0.980** 0.000	0.968** 0.000	0.967** 0.000	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

아울러 시험기관 별로 열 및 연기측정 포집 후드를 비교해 보면 KICT는 직경 10m의 원형 후드, FILK는 4.5m × 7.6m의 직사각형 후드, SP는 직경 6m의 원형 후드, CSIRO는 한변 5m의 정사각형 후드로 각기 다른 포집 규격의 Large scale calorimeter를 보유하고 있었다. 기관별로 다양한 size의 calorimeter hood를 보유하고 있음에도 불구하고 개별 결과 값의 유의성이 높게 나타난 것은 각 기관별로 교정시험(100 kW에서 5분, 300 kW에서 5분)을 통해 열

유량 공급조건을 만족시키고 유속비(Kqm)의 보정 값을 정확히 설정하여 열방출율을 도출하였기에 시험결과의 good agreement를 성취해 낼 수 있었다고 판단된다.

3. 결론

3.1 기관간 최종 결과를 바탕으로 국제상호평가의 열방출율 정밀도는 ± 10.16 kW로 산출되었고 연구기관간 열방출율 결과의 Good Agreement(균질성 및 상관성)가 증명되었으며,

3.2 기관마다 다양한 Large scale calorimeter 규격을 채택하고 있으나 교정시험과 유속비의 보정 값을 적용하여 시험 초기 조건을 만족시킬 경우 결과적으로 도출된 열방출율의 분포 수준은 신뢰할 수 있는 것으로 판명되었다.

3.3 본 ISO 13784-1 국제상호평가는 화재안전분야 국제표준화기구 ISO TC92에서 KFPA가 주도(국제 프로젝트 리더: KFPA 박계원)한 한국 최초의 글로벌 프로젝트였다. 4개국(한국, 일본, 스웨덴, 호주)의 6개 국제 연구기관이 참여한 본 프로젝트는 상기와 같이 성공적인 국제상호평가 결과를 도출해 내었으며,

3.4 상기 결과들은 ISO 13784-1에 기술문서(Annex informative)로서 등재가 되어질 예정으로 이는 한국 최초로 ISO TC92 국제표준에 등재되는 쾌거일 뿐 아니라 향후 한국이 화재안전분야 국제표준화 기구에서의 영향력을 행사하게 될 발판이 되는 매우 중대한 의미를 가진 다 볼 수 있다.

3.5 향후 ISO 13784-1의 최종 국제표준 등록 및 발간을 위한 후속 조치(FDIS ballot)들이 계획되어 있으며 이를 위해 프로젝트 리더로서 최선을 다할 예정이다.



참고 문헌

1. KS F ISO 13784-1, “건축용 샌드위치 패널 구조에 대한 연소성능 시험방법-제1부 : 소규모실 시험”, 2009
2. NFPA 265, “Standard method of fire tests for evaluating room fire growth contribution of textile wall coverings”, US, 1994
3. EN 14390, “Fire Test-Large scale room reference test for surface products”, CEN, Brussels(2007)
4. EN 13823, “Reaction to fire tests for building products -Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item”, Brussels, Belgium, 2002
5. V. Babrauskas, “Heat release rate in fires”, Chapter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York(1992)