

철도차량 내장재의 유로등급 예측

박상규, 김운형*, 김종훈*, 정우성**, 이덕희**

광운대학교 건축공학과, 경민대학 소방안전관리과, 한국철도기술연구원**

Predicting the Euroclasses for Rail car Interior Materials

Sang-Gyu Park, Woon-Hyung Kim*, Jong-Hoon Kim*,

Woo-Sung Jung**, Duk-Hee Lee**

Kwang Woon University, Kyung Min College*,
Korea Railroad Research Institute**

1. 서론

철도차량 내장재의 화재성능 평가를 위한 일반적인 방법은 시편 단위의 연소성 시험 (Small scale test)이다. 그러나 Small scale test 결과로는 실제 철도차량의 화재전개 양상을 예측하는데 한계가 있기 때문에 Full scale test 수행에 대한 필요성이 제기되고 있다. 이에 따라 철도 선진국을 중심으로 철도차량 내장재의 Full scale test에 대한 연구와 화재성능을 확보하기 위한 분류기준 연구가 진행되고 있다.

최근 Full scale test의 대표적인 시험법으로 실내의 벽, 천장 내장재가 화재성장에 미치는 영향을 평가하기 위하여 개발된 Room-Corner Test(RCT)와 유럽의 유사한 기능을 가지는 Single Burning Item(SBI) Test 등이 널리 적용되고 있다.

한편, Full scale Test의 개발 및 연구가 활발한 유럽 각국에서는 시험결과 간의 상관성을 연구하며 내장재의 화재성장률(Fire growth rate index)을 기준으로 등급을 분류하는 유로등급(EuroClass)을 적용하고 있다. 이와 함께 실험규모 화재시험 결과와 등급분류를 위한 경제적이고 공학적인 화재해석 프로그램들의 개발도 진행되고 있다.

본 연구에서는 철도차량 내장재에 대한 Full scale test인 ISO 9705 RCT와 EN 13823 SBI Test 그리고 유로등급의 검토를 통하여 화재성능평가방법 및 분류기준의 국내 정착을 위한 기초 자료를 제시하고자 한다. 이를 위하여 국내 철도차량 내장재의 Cone Test 자료를 근거로 내장재의 유로등급예측 모델인 Conetools 프로그램을 적용하여 RCT와 SBI Test 결과를 예측하고 유로등급 평가를 수행하였다.

2. 유로등급의 등급분류 기준

유로등급은 유럽공동체 국가간 동일한 시험방법, 등급분류, 인증방법을 적용하여 건설제품의 자유무역을 촉진하기 위하여 제정되었다. 화재에 대한 영향에 따라 A~F 사이의 6개의 유로등급으로 구분하며 이를 위한 등급분류 요소는 열방출비율, 화염확산, 연기 생성량, 화염 용융 / 입자, 총 발열량, 발화성, 연소성 등이다.

일반적인 발열량 측정에 의한 등급기준은 HRR(Heat Release Rate)의 평균값 및 최대값 그리고 최대값에 도달하는 시간 등에 의해 결정하게 된다. 하지만 유로등급은 화재성장에 관련되는 화재성장율인 FIGRA(Fire growth rate index) 지수에 의해 결정하게 되며 각 제품은 화재성장의 기여도를 기준으로 분류된다. 따라서 FIGRA는 시험개시 이후 최대 성장비율을 측정하게 되며 시험오차를 최소화하기 위하여 열방출비율 자료는 매 30초 간격으로 계산한다.

FIGRA는 시간경과에 따른 최대 열 방출비율로 계산되며 단위는 W/s이다.

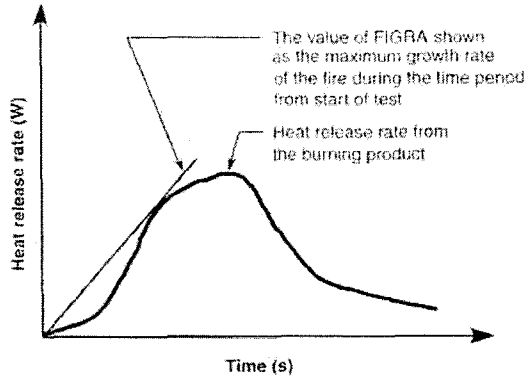


그림 1. FIGRA 지수의 도식

3. 철도차량 내장재 화재성능평가방법

3.1 ISO 9705 Room-Corner Test

A Room-Corner Test는 공간의 연소 성상을 측정하는 대규모 시험방법이다. 주 요소는 플래쉬오버의 발생여부 및 도달시간이다. 시험결과에는 시간경과에 따른 화재성장의 직접 측정값인 열방출율(HRR)과 연기에 의한 감쇠도(연기 발생율, SPR)등 다음의 변수가 포함된다.

- 열방출 비율 (HRR)
- 연기발생율 (SPR)
- CO 생성율
- CO₂ 생성 비율
- 산소 소비 비율

표 1. ISO 9705 RCT 시험 내용

시 편	문이 설치되는 벽을 제외한 벽과 천장에 3개의 시편을 부착 시편은 실내의 마감재로 부착됨 시험공간 크기 : 2.4m × 2.4m × 3.6m (길이 × 높이 × 폭) 개구부 크기 : 0.8m × 2.0m (폭 × 높이)
화 원	점화원으로 프로페인 가스버너가 공간의 한쪽 구석에 설치되며, 버너의 출력은 최초 10분간은 100kW, 이후 10분간은 300kW
시험시간	20분 또는 플래쉬오버 발생시점까지
평가방법	공간의 열방출비율이 1000kW에 도달하면 화염이 개구부로 분출되는 플래쉬오버로 판단함
기 타	연기층의 온도, 화염확산, 복사플럭스, 일산화탄소, 이산화탄소, 산소 감소 등 공간화재에 관련되는 많은 변수들을 측정할 수 있다.

표 2. ISO 9705 시험의 플래쉬오버 발생을 기준한 유로등급

유로등급	화재성장지수 FIGRA(RC)(kW/s)	Room Corner 시험 시 예상되는 연소 정상
A2	≤0.16	플래쉬오버 발생 없음
B	≤0.5	플래쉬오버 발생 없음
C	≤1.5	플래쉬오버 발생 없음 (100kW)
D	≤7.5	플래쉬오버 발생 없음 (100kW에서 2분 이내)
E	>7.5	플래쉬오버 발생 (2분 이내)

3.2 EN 13823 Single Burning Item (SBI) Test

EN 13823 SBI 시험은 마감재의 등급분류를 위한 대표적인 시험으로 제품의 인접한 공간 구석에 위치한 단일 연소물의 연소조건에서 제품의 화재성장 기여도를 측정하는 시험이다.

이 시험을 통하여 발화시간, 화염확산, 화염 용융 / 입자가 측정된다. ISO 9705와 동일하게 화재성장과 연기에 의한 감쇠도가 주요 시험결과가 되며 시간경과에 따른 열방출율 (HRR), 연기생성 비율 (SPR), CO₂ 생성 비율, 산소 소비 비율의 변수가 측정된다.

표 3. EN 13823 SBI 시험 내용

시 편	3번의 시험을 위한 시편. 각 시험마다 크기가 다른 2개의 시편 시편 0.5m × 1.5m, 시편 1.0m × 1.5m 이 필요하다. 시험공간은 3.0m × 3.0m × 2.4m (길이 × 폭 × 높이)
시편의 설치	수직으로 구석에 설치된다.
화 원	공간 구석에 위치한 30kW 가스버너 사용
시험시간	20분
비 고	등급분류는 FIGRA, THR _{600s} , 최대 화염확산을 기준으로 결정된다. 추가적인 등급분류기준으로 SMOGRA, TSP _{600s} , 용융 / 입자가 적용된다.

표 4. EN 13823 SBI 시험에 의한 유로등급

등 급	등급분류기준	부가 등급분류기준
A2	FIGRA ≤ 120W.s ⁻¹ LFS < 시편의 단부 THR _{600s} ≤ 7.5MJ	연기량에 의한 분류 ^{주1)} 불꽃 적하물에 의한 분류 ^{주2)}
B	FIGRA ≤ 120W.s ⁻¹ LFS < 시편의 단부 THR _{600s} ≤ 7.5MJ	
C	FIGRA ≤ 250W.s ⁻¹ LFS < 시편의 단부 THR _{600s} ≤ 15MJ	
D	FIGRA ≤ 750W.s ⁻¹	

주1) s1 = SMOGRA ≤ 30m².s⁻² TSP_{600s} ≤ 50m²
s2 = SMOGRA ≤ 180m².s⁻² TSP_{600s} ≤ 200m²
s3 = s1, s2 가 아닌 경우

주2) d0 = 최초 600초 이내에 불꽃 적하물이 발생하지 않는 경우
d1 = 최초 600초 이내에 불꽃 적하물이 10초 미만 발생하는 경우
d2 = d0, d1 이 아닌 경우,

약어)

FIGRA = 화재성장율
THR_{600s} = 최초 600초까지의
총열방출량
LFS = 수평화염확산
SMOGRA = 연기발생비율

4. 모델링을 통한 유로등급 예측

국내 철도차량 내장재의 RCT와 SBI Test 결과에 따른 유로등급 예측을 위해 SP에서 개발한 Conetools를 수행하였다. 현재 국내 철도차량에 사용되고 있는 내장판(페놀 샌드위치), 시트커버(울모켓), 시트쿠션(네오프렌), 바닥재(난연고무), 단열재(유리섬유)를 대상으로 한국철도기술연구원에서 Cone Calorimeter Test를 수행한 후 Cone Test 결과를 기반으로 유로등급을 예측하였다. 각 내장재별 Cone Test에 따른 열방출율(HRR)은 다음과 같다.

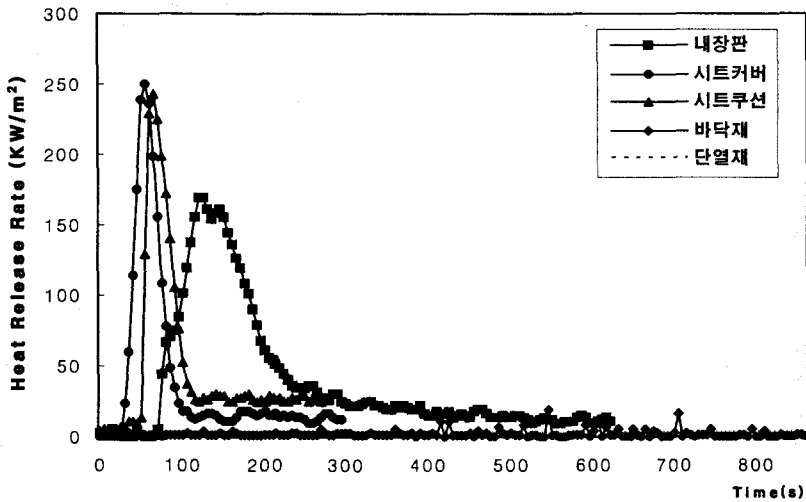


그림 2. 각 내장재별 HRR

Conetools 모델의 입력에 필요한 주요 데이터는 시간에 따른 HRR(Heat Release Rate), EHC(Effective Heat of Combustion), MLR(Mass Loss Rate), SEA(Specific Extinction Area), THR(Total Heat Release) 등이다. 모델링의 결과는 각각의 RCT, SBI Test의 HRR 및 FIGRA 지수로 생성된다.

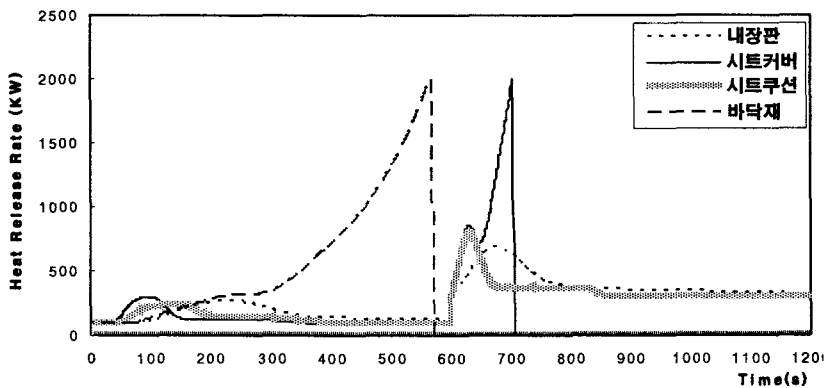


그림 3. 각 내장재별 HRR(RC Test)

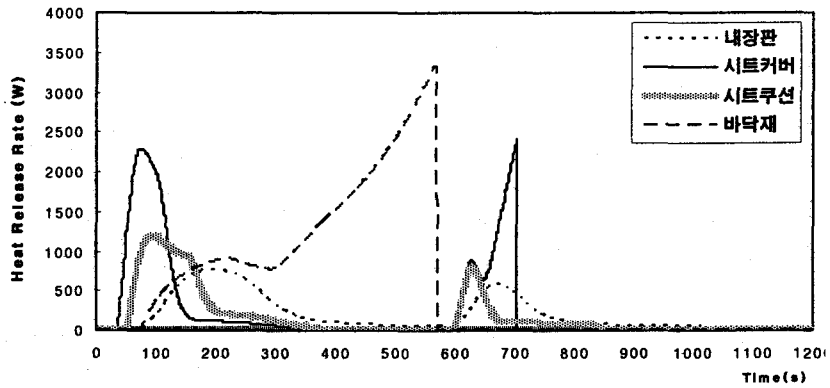


그림 4. 각 내장재별 FIGRA(RC Test)

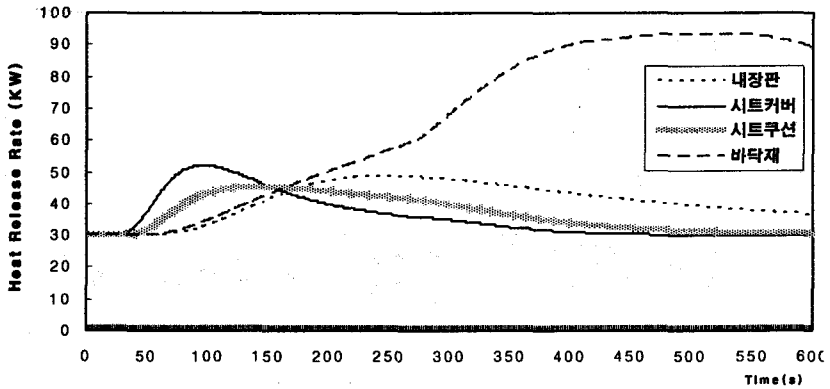


그림 5. 각 내장재별 HRR(SBI Test)

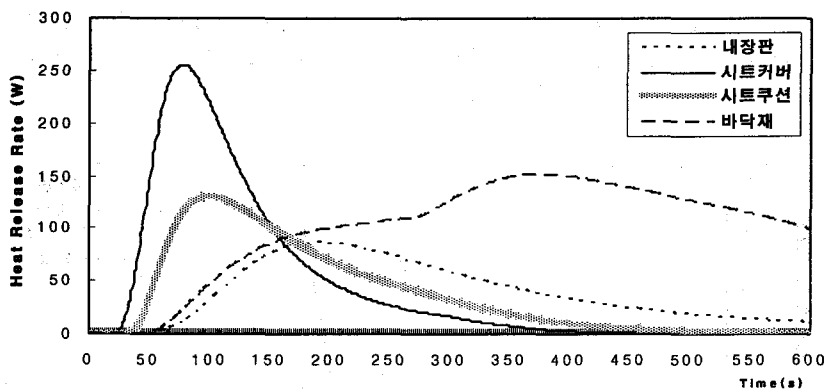


그림 6. 각 내장재별 FIGRA(SBI Test)

현재 국내 철도차량에 사용되는 내장재에 대한 Cone Calorimeter Test에 의한 HRR과 비교하여 RC Test는 각 내장별로 HRR값이 크게, SBI Test는 작게 나타났다. Cone Calorimeter로 측정된 결과, 연소초기에 급격하게 성장하여 감소하는 반면 RC Test는

완만한 단계 이후에 급격한 성장을 하는 것으로 나타났다.

ISO 9705 RC Test를 수행한 결과, 시트커버는 704초, 바닥재는 568초에 플래쉬오버가 발생하여 D등급으로 판정되었다. EN 13823 SBI Test 의 경우에 시트커버와 바닥재는 D등급으로 판정되었다. 시트쿠션은 각각의 시험결과 비교적 낮은 C등급으로 예측되었다. 단열재는 열방출비율(Heat Release Rate)이 낮아 모델링 수행 범위를 만족하지 못하여 분석에서 제외되었다.

국내 철도차량에 사용되고 있는 내장재의 각 시험에 의한 FIGRA 지수를 통해 유로 등급을 분류한 결과, 내장판과 단열재를 제외하고 C급과 D급으로 예측되었다. 각 내장재에 대한 주요 시험결과와 유로등급분류는 다음 표와 같다.

표 5. Conetools 모델링 분석결과

구 분	ISO 9705 RC Test			EN 13823 SBI Test		
	FIGRA (W/s)	플래쉬오버 발생시간(s)	유로등급	FIGRA (W/s)	THR _{600s} (MJ)	유로등급
내 장 판	0.6	발생 없음	A2	86.1	6.4	B
시트커버	2.4	667	D	255.4	3.6	D
시트쿠션	0.8	발생 없음	C	130	4	C
바 닥 재	3.4	459	D	151.4	21.6	D
단 열 재	-	-	-	-	-	-

5. 맺음말

대구 지하철 화재를 계기로 국내 철도차량 내장재에 대하여 화재성능 기준의 필요성을 인식하고 관련법을 개정하며 향상된 시험설비를 도입하는 등 관련 연구가 진행되고 있다. 그러나 화재 위험 지표의 중요한 예측 요소인 내장재의 열 적 특성 평가를 위한 발열량 시험에 의한 등급 분류는 이루어지지 않고 있다.

최근 유럽에서는 내장재 시험방법 및 분류기준을 위한 연구로서 ISO 9705 Room-Corner Test, EN 13823 Single Burning Item Test 그리고 화재성장율(Fire growth rate index)을 적용한 유로등급을 적용하고 있다.

따라서 철도차량 내장재의 유로등급 및 등급분류 기준과 화재성능시험법의 상관성 및 적용성에 관한 연구를 통하여 국내 현실을 고려한 철도차량의 화재안전성능평가 대안이 마련될 수 있으며 아울러 비용과 시간을 절감할 수 있는 내장재의 등급예측 프로그램의 적용과 검증에 위한 절차도 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. ISO 9705 : 1993 Fire tests - Full scale room test for surface products
2. B. Sundstrom, P. van Hees, P. Thureson, Results and Analysis from Fire Tests of Building Products in ISO 9705, the Room/Corner Test, The SBI Research Programme, SP REPORT 1998 : 11
3. S.E Dillion, Quintiere, J. G., Woon Hyung Kim., Discussions of a Model and Correlation for the ISO 9705 Room-Corner Test, 6th International Symposium

- on Fire Safety Science, France, (1999,7)
4. B. Sundstrom, J. Axelsson, Development of a common European system for fire testing of a pipe insulation based on EN 13823(SBI) and ISO 9705(Room/Corner Test), SP REPORT 2002 : 21
 5. 김운형, P. Van Hees, 샌드위치패널의 화재시험방법, 2004년 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집
 6. 박상규, 김종훈, 김운형, 내장재 화재성능에 대한 유로등급 예측모델 검토, 2004년 한국화재소방학회 추계학술논문발표회 논문집
 7. 건설교통부, 도시철도시스템의 안전·방재능력 향상 방안 연구, 최종보고서(2003. 7)
 8. 이철규, 정우성, 이덕희, 콘칼로리미터를 이용한 내장판용 복합재료의 화재특성, 2004년 한국철도학회논문집 제7권 제1호