

## 실대 화재 시험의 연소 성능 예측을 위한 시뮬레이션 적용

김운형\* · 박계원 · 정재군 · 임홍순  
방재시험연구원, 경민대학\*

### Applying to simulation analysis for predicting the combustion performance of Large scale fire tests

Woon-Hyung Kim\* · Kye-Won Park · Jae-Gun Jeong · Hong-Soon Im  
FILK (Fire Insurers Laboratories of Korea), Kyung-Min College\*

#### ABSTRACT

On this study, modeling works using Cone tools simulation method were made for the prediction of real fire test results such as small to large scale fire tests including ISO 5660-1, EN 13823 and ISO 13784-1. For those simulation prediction, three real fire tests were performed in advance. In addition, Real data from ISO 5660-1 test were applied to this simulation modeling. Finally, the comparative analysis between Real fire tests and Simulation results were made out. Also, the Classifying evaluation by EURO Class using EN 13501-1 were taken off.

#### 1. 서 론

본 연구에서는 샌드위치 패널 연소 성능 분석을 위하여 ISO 5660-1(소형시편에 대한 콘칼로리미터 시험), EN 13823(Single Burning Item, 중형시편에 대한 연소시험), ISO 13784-1 (Room Corner Test for Sandwich panel building systems, 실대규모 시험)과 같은 중소형 규모 및 실대규모 시험을 수행하였으며, 수행된 시험결과에 대한 예측을 위해 Conetools 프로그램을 적용한 시뮬레이션을 수행하였다. 우선, ISO 5660-1로 측정된 결과값(Mass loss rate, Heat release rate, Total heat release rate, Effective heat combustion, Specific extinction area 등)들을 시뮬레이션을 위한 기초입력 변수로 선정하여 프로그래밍 하였으며, 시뮬레이션 수행으로 도출되어지는 등급분류 예측값을 실제 시험결과에 비교 검증하였다.

4종의 샌드위치 패널을 시험체로 선택하였으며, EN 13501-1에서 제시하는 유로클래스를 시험체의 연소 성능에 대한 등급분류의 기준으로 적용하여 평가를 실시하였다.

## 2. 시뮬레이션 개요 및 입력변수

### 2.1 시뮬레이션(Cone tools) 개요

본 연구에서 수행한 시뮬레이션인 Conetools 는, 소형시험에 대한 연소시험인 ISO 5660-1(Cone calorimeter Test)에 의한 측정 결과를 기반으로 중·대규모시험인 Room Corner Test (RCT) 와 EN 13823(Single Burning Item, SBI) 시험의 결과를 예측하고 이를 토대로 유로클래스의 등급을 추정하는 프로그램이다. Conetools는 스웨덴 SP 연구소에서 개발한 화염 확산 예측 모델중에 하나로 특정 heat flux level에서의 콘칼로리미터 시험에 의한 결과를 입력변수로 하여 SBI 또는 RCT 의 시험 결과를 예측 가능하게 해준다. 소형시험의 결과값을 통해 중대형 화재시험결과의 예측 및 등급분류를 도출해 내는 경제적이고 편리한 도구로 유럽공동체 국가에서 화재성능 예측을 위해 사용되는 수치해석 프로그램의 하나이다. 최종적으로 출력되는 예측값으로는 시간에 따른 Heat release rate (HRR) 및 화재성장에 관련되는 FIGRA (Fire growth rate index)지수로, 이를 근거로 유로클래스의 등급 또한 산출되어 진다.

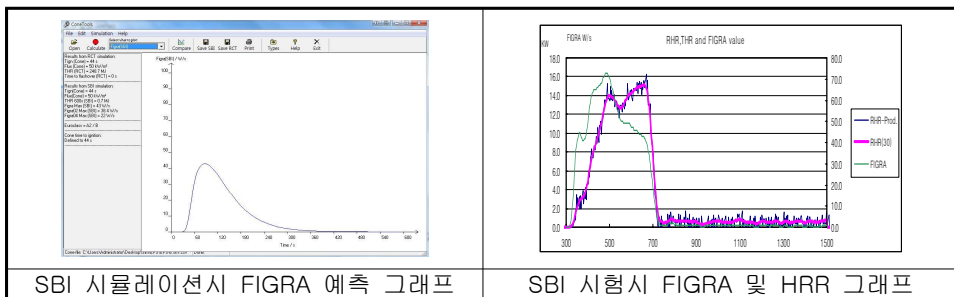
### 2.2 시뮬레이션 수행을 위한 입력변수

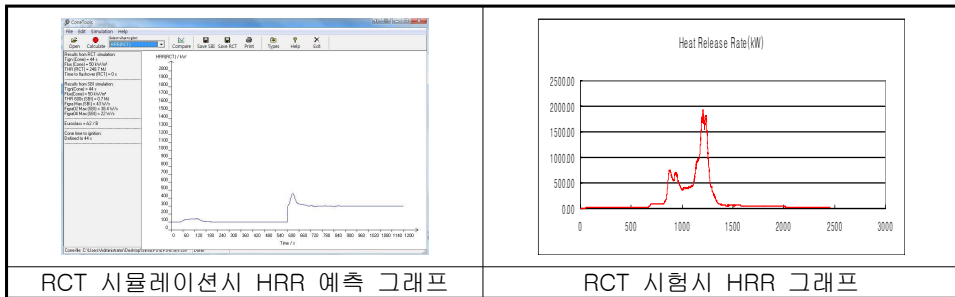
시뮬레이션 입력변수 선정을 위해 실제 시험에 사용된 시험체는 E, G, U, I 의 4종이며, 이를 단위시험(10 cm × 10 cm)으로 제작하여 ISO 5660-1를 수행하였다. 본 연구에서는 선정된 시료를 콘칼로리미터에 수평방향으로 설치하고 외부 점화장치를 부착한 상태로 50 kW/m<sup>2</sup>의 복사열에 10분 동안 노출시켜 착화되는 시간과 착화된 시료로부터 열방출율 등을 측정하였다. 또한, 시간에 따른 Mass loss rate(g/s), Heat release rate(kW/m<sup>2</sup>), Total Heat release rate(MJ/m<sup>2</sup>), Effective heat combustion(kJ/g), Specific extinction area(m<sup>2</sup>/kg) 등의 변화값을 ISO 5660-1 데이터에서 추출하여 시뮬레이션 검증에 적용하였다.

## 3. 시뮬레이션 검증 및 결과

### 3.1 E 재료에 대한 시뮬레이션 예측 및 실제 결과 비교

Table 1. E재료에 대한 예측 및 실제 시험 결과





E재료에 대한 Conetools의 SBI 시뮬레이션 결과 최대 FIGRA값은 43 W/S로 예측되었다. 실제 SBI 시험 결과(Table 1)에서는 최대 FIGRA 값이 73 W/s로 측정되었으며, 이는 시뮬레이션 결과에 비해 약 1.7 배의 증가된 것임을 알 수 있다.

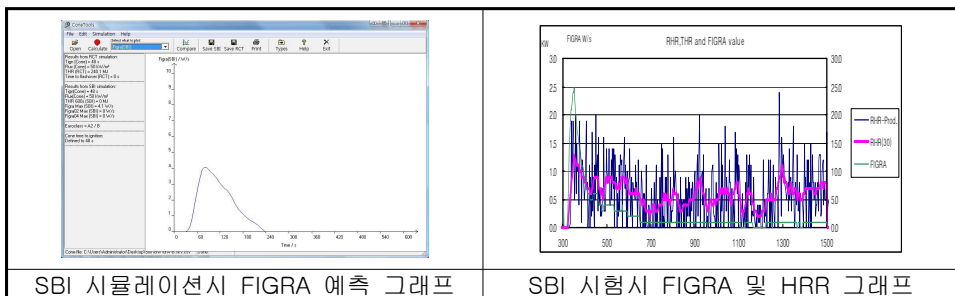
Euroclass 등급 분류 기준(EN 13501-1)으로 판단할 때, 시뮬레이션 예측시 E재료는 A2 또는 B 등급에 속하는 것으로 분류되었다 (단, 연기량에 대한 입력변수 제외시). 실제 SBI 시험결과를 Euroclass 등급 분류 기준으로 볼 때, B등급으로 분류되어, 실제 결과와 시뮬레이션 등급이 동일 등급 범주에 포함되어짐을 알 수 있다.

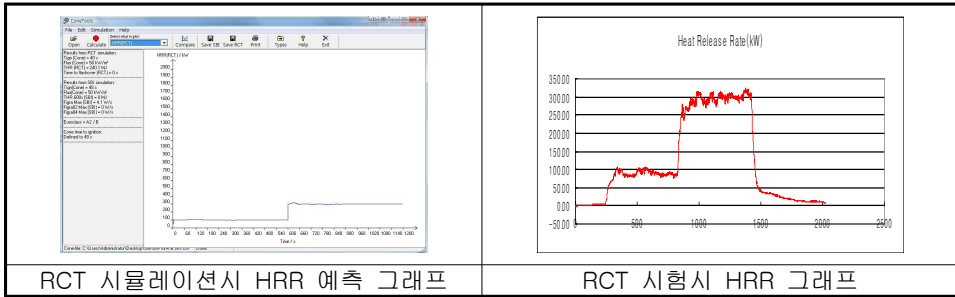
E재료에 대한 Conetools의 RCT 시뮬레이션 수행결과, 버너 100 kW 가열시 130초에서 140.1 kW의 Heat release rate(열방출율)을 나타냈으며, 버너 300 kW 가열시 628초에서 458 kW의 열방출율이 출력되는 것으로 예측되었다. 더불어, 플래시오버는 발생하지 않는 것으로 시뮬레이션 되었으며, 등급 분류시 A2 또는 B등급 이상으로 분류되어졌다. 실제 RCT 시험 결과에서는 플래시 오버가 발생하였으며, 10분간 100 kW 버너 가열시 9분 24초에서 1000 kW 도달되어 플래시 오버로 판정되었다. E에 대한 RCT 실제 시험시 측정된 최대 열방출율 시점을 FIGRA로 환산한다면 1.94 kW/s로 표현되며 Euroclass 등급 분류 결과 D등급에 분류됨을 알 수 있다. 실제 RCT 시험 결과와 E에 대한 시뮬레이션 RCT 예측결과를 비교해 볼 때, 소형 시편을 이용한 conetools시뮬레이션 결과가 중대형 시편인 RCT의 결과를 정확히 예측하지 못함을 알 수 있다.

### 3.2 G 재료에 대한 시뮬레이션 예측 및 실제 결과 비교

G재료에 대한 SBI 시뮬레이션 수행결과, 최대 FIGRA값은 4.1 W/s로 예측되었다. 이는 극히 저조한 화재성장 지수로 판단되며, Euroclass로 분류할 때, A2 또는 B등급에 속하는

Table 2. G재료에 대한 예측 및 실제 시험 결과





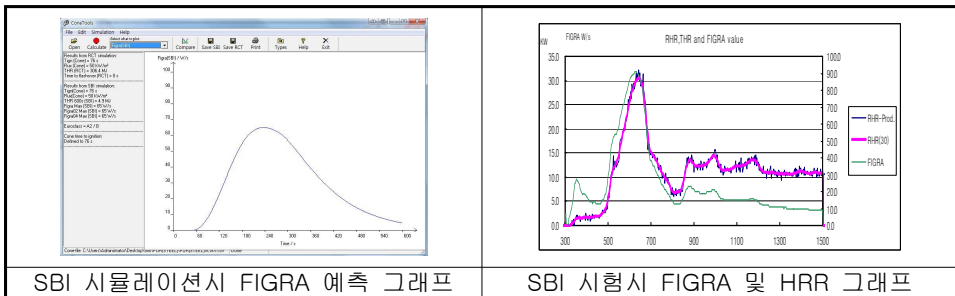
것으로 나타났다. 실제 SBI 시험 결과(Table 2)에서는 최대 FIGRA 값이 25 W/s로 나타났으며 시뮬레이션 결과(4.1 W/s)와는 20.9 W/s의 차이가 발생하여, 시뮬레이션 결과가 실제보다 약 5배정도 감소된 것임을 알 수 있다. Euroclass 등급 분류 기준으로 분류시 실제 결과와 시뮬레이션 결과는 모두 동일하게 B 등급(120 W/s 이하이면 A2 또는 B)으로 분류되나, 두 결과의 FIGRA 수치의 차이를 감안한다면, 실제 결과에 대한 예측율이 낮은 것으로 판단되었다.

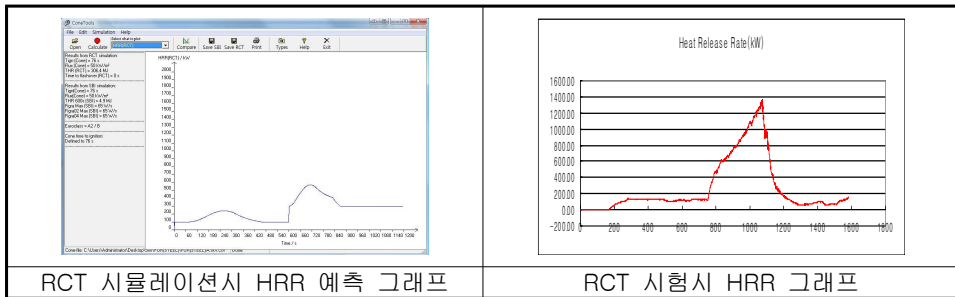
G재료에 대한 RCT 시뮬레이션 수행 결과, 버너 100 kW 가열시 88초에서 103.5 kW의 Heat release rate(열방출율)을 나타냈으며, 버너 300 kW 가열시 632초에서 317 kW의 열방출율이 나타나는 것으로 예측되었다. 또한, 플래시오버는 발생되지 않는 것으로 예측되었으며, 버너 출력만큼의 열방출율만이 표출되는 것으로 나타났고, 등급 분류시 A2/B 등급 이상으로 분류되어졌다.

실제 RCT 시험 결과에서도 플래시오버는 발생하지 않았으며, 최대 324 kW의 열방출율이 측정되었다. 실제 RCT 시험에서, 최대 열방출율 시점을 FIGRA로 환산한다면 0.27 kW/s로 표현되며 Euroclass 등급 분류 결과 B등급에 분류됨을 알 수 있다. 실제 RCT 시험 결과와 G재료에 대한 시뮬레이션 RCT 예측결과가 유사한 등급분류 결과를 보였는데, G와 같이 거의 타지 않는 재료일 경우, 급격한 FIGRA 성장지수가 관측되지 않았으며, 시뮬레이션 결과와 실제 결과와도 유사하게 진행되었음을 알 수 있다.

3.3 U 재료에 대한 시뮬레이션 예측 및 실제 결과 비교

Table 3. U재료에 대한 예측 및 실제 시험 결과





U재료에 대한 SBI 시물레이션 수행결과, 최대 FIGRA 값은 65 W/s로 예측되었다. Euroclass로 분류하면, 최대 FIGRA 예측값이 120 kW/s 이하이므로 A2 또는 B등급에 포함됨을 알 수 있다.

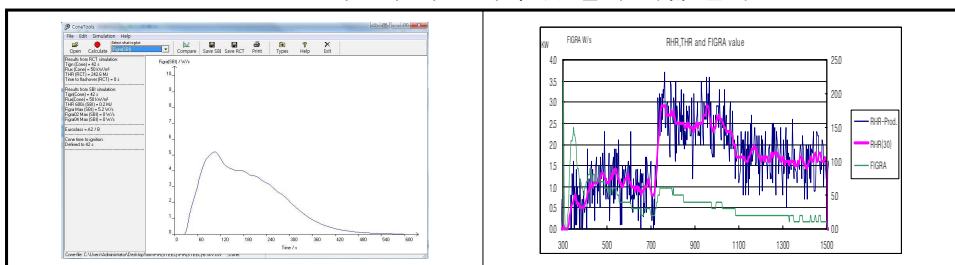
실제 SBI 시험 결과에서는 U재료의 최대 FIGRA 값이 91 W/s로 측정되었으며, 시물레이션 결과(65 W/s)와는 26 W/s의 차이가 발생하여, 시물레이션 결과가 실제보다 약 1.4배 정도 감소되게 예측했음을 알 수 있다. Euroclass 등급 기준으로 분류시 실제결과와 시물레이션 결과는 모두 동일하게 B 등급(120 W/s 이하이면 A2 또는 B)으로 분류되며, 시물레이션 FIGRA 커브 및 수치와 실제 SBI 값이 유사한 추이를 보임을 알 수 있다.

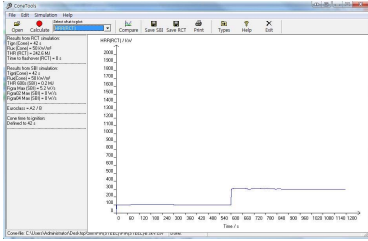
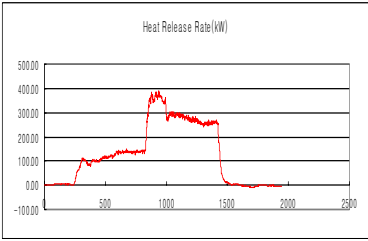
U재료에 대한 RCT 시물레이션 수행결과, 버너 100 kW 가열시 248초에서 241 kW의 Heat release rate(열방출율)이 나타났으며, 버너 300 kW 가열시 706초에서 568 kW의 열방출율이 예측되었다. 플래시오버는 발생되지 않는 것으로 나타났으며, 따라서 등급 분류시 A2/B 등급 이상으로 분류되어짐을 알 수 있다.

실제 RCT 시험 결과에서는 14분 37초에 열방출율이 1000 kW로 측정되었고 더불어 플래시오버 발생이 판정되었다. 최대 열방출율 시점을 FIGRA로 환산한다면 1.15 kW/s로 환산되며 Euroclass 등급 분류 결과 C등급에 분류됨을 알 수 있다. 실제 RCT 시험결과와 U에 대한 시물레이션 RCT 예측결과가 상이한 등급분류 결과를 보였는데, U의 실제 시험시 플래시오버가 발생하며 급격한 화재성장반응을 보인 점에 반해 시물레이션에서는 플래시오버 판정이 일어나지 않은 것이 주된 차이점으로 등급 분류 또한 다르게 나타났다.

### 3.4 | 재료에 대한 시물레이션 예측 및 실제 결과 비교

Table 4. |재료에 대한 예측 및 실제 시험 결과



<p>SBI 시뮬레이션시 FIGRA 예측 그래프</p> 	<p>SBI 시험시 FIGRA 및 HRR 그래프</p> 
<p>RCT 시뮬레이션시 HRR 예측 그래프</p>	<p>RCT 시험시 HRR 그래프</p>

I재료에 대한 SBI 시뮬레이션 예측결과 최대 FIGRA 값은 5.2 W/s로 예측되었다. 이는 극히 저조한 화재성장 지수로 판단되며, Euroclass로 분류할 때, A2 또는 B등급에 포함되어진다.

실제 SBI 시험 결과에서는 최대 FIGRA 값이 22 W/s로 측정되었으며, 시뮬레이션 결과(5.2 W/s)와는 16.8 W/s의 차이가 발생하여, 시뮬레이션 결과가 실제보다 약 4.2배 정도 하향 예측되었음을 알 수 있다. Euroclass 등급 분류 기준으로 분류시 실제결과와 시뮬레이션 결과는 모두 동일하게 B 등급(120 W/s 이하이면 A2 또는 B)으로 분류되나, 두 결과의 FIGRA 수치의 차이를 감안한다면, 실제 결과에 대한 예측율이 낮은 것으로 판단된다. 시뮬레이션의 FIGRA 최대 커브가 시험시작 후 초기 성장기에 일어나는 점은 실제 시험결과와 유사함을 볼 수 있다.

I재료에 대한 RCT 시뮬레이션 수행결과, 버너 100 kW 가열시 110초에서 105.1 kW의 Heat release rate(열방출율)이 나타났으며, 버너 300 kW 가열시 641초에서 311 kW의 열방출율이 예측되었다. 이때, 플래시오버는 발생되지 않는 것으로 예측되었으며, 버너 출력만큼의 열방출율만이 표시되었다. 또한, 등급 분류시 A2/B 등급 이상으로 포함되어졌다.

실제 RCT 시험 결과에서도 플래시오버는 발생되지 않았으며, 697초에서 최대 387 kW의 열방출율이 측정되었다. I재료에 대한 RCT 실제 시험결과, 최대 열방출율 시점을 FIGRA로 환산한다면 0.56 kW/s로 표현되며 Euroclass 등급 분류 결과 B등급에 분류됨을 알 수 있다. 실제 RCT 시험 결과와 I에 대한 시뮬레이션 RCT 예측결과가 유사한 등급분류 결과를 보였는데, I과 같이 거의 타지 않는 재료일 경우, 급격한 FIGRA 성장지수가 관측되지 않았으며, 시뮬레이션 결과와 실제 결과와도 유사하게 진행되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 시뮬레이션 결과, E재료와 U재료에 대한 실제 RCT 시험 검증에서는, 실제 시험시 발생한 플래시오버와 같은 현상을 예측하지 못하였다. 따라서 가연성 높은 재료나 샌드위치 패널과 같은 복합재료의 실물화재시험은 시뮬레이션으로 예측하기에 한계가 있으므로, 가급적 ISO 9705 및 ISO 13784-1과 같은 실제 시험을 통해 데이터 베이스 구축을 해야 할 것으로 판단된다. I재료 및 G재료와 같이 난연성이 있는 재료에 대해서는 시뮬레이션

예측 결과로 인한 등급분류와 실제 시험 결과가 유사하게 나타났으며, 또한 SBI 시험에 대한 Euroclass 등급분류 기준의 범주가 120 W/s 이하면 모두 B등급으로 분류되므로 시물레이션 결과와 실제 결과가 동일 등급 내에 포함된다 하더라도 FIGRA 수치간의 차이는 재검토 해보아야 할 것으로 판단된다.

시물레이션을 통한 예측은, 실제 중대형 실물화재 시험을 실시하기에 소요되는 경제적, 시간적 손실에 비해, 보다 유리하게 결과를 예측할 수 있는 장점이 있기에, 국내에서도 다양한 선진 시물레이션 방법을 습득하여 현실 결과를 좀더 정밀하게 예측할 수 있는 신뢰성 있는 기법의 개발이 요구되는 시점이다.

실제 콘칼로리미터 시험결과를 통해 EN 13823 및 ISO 9705 등과 같은 중대형 실물화재 시험의 결과값을 예측하는 것은 다양한 오차요인이 발생할 수 있으나, 꾸준한 데이터 베이스 구축을 통해 시물레이션을 시도한다면, 동일한 패턴의 결과 및 노하우를 축적할 수 있을 것으로 판단된다.

샌드위치 패널에 대한 화재성능 시험방법은, 선진국에서 관련 연구와 실험을 통해 제시된 것으로서 국내에서도 이러한 시험을 고려한 재료의 등급 분류 및 실제 대상에 대한 적용 규정 등의 도입을 계속적으로 시도해야 할 것으로 판단된다. 국내 현실을 충분히 고려한 관련 연구가 병행되어야 그 사용이 지속적으로 증가하고 있는 샌드위치 패널의 화재 안전수준을 확보할 수 있을 것이며, 이를 위해 경제적이고 공학적인 화재성능평가 해석 프로그램의 적용을 위한 검증 절차 또한 필수적일 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 표준기술력향상사업의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. ISO 13784-1, Reaction to fire tests for sandwich panel building systems-Part 1:Test method for small rooms, ISO(2002)
2. EN 13501-1, "Fire classification of construction products and building elements-Part1: Classification using test data from reaction to fire tests", CEN, Brussels(2002)
3. 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
4. V. Babrauskas, "Heat release rate in fires", Chapter 4, V. Babrauskas and S. J. Grayson Eds., Elsevier Applied Science, New York(1992)