

A-2

펠릿의 연소해석을 위한 적정 Grid 산정에 관한 연구

이동호·김성수*·김하영*
인천대학교 *인천대학교 대학원

A Study on the Optimal Grid Condition for Pellet Fire

Rie, Dong Ho · Kim, Sung Soo* · Kim, Ha Young*

Department of Safety Engineering, University of Incheon

*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

요 약

화재시뮬레이션을 통한 화재 해석 시 Grid의 간격은 해석의 정확도를 결정짓는 중요한 요인 중 하나이다. 일반적으로 Grid의 간격의 계산은 화재 강도에 따른 화염의 높이를 계산하여 이의 1/10크기 간격을 적용하였다. 그러나 일반적인 구조물과 달리 펠릿구조물의 경우 적층의 구조와 다공성을 가지기 때문에 기존의 산정법에 의한 계산은 실제 화재와 다른 양상으로 나타날 수 있다. 본 연구에서는 SFPE 방화공학 핸드북에서 제시된 목재펠릿의 화재강도 실험결과를 기준으로 총 3CASE의 Grid 간격 설정으로 화재해석을 실시하였으며 이를 비교 분석하였다.

1. 서 론

화재 대상물의 화재강도 및 양상을 도출하기 위한 가장 정확한 방법은 대상의 실측크기(Real Scale)의 연소실험을 하여 결과를 확인하는 것이다. 그러나 이러한 실측 크기의 시험방법은 결과를 도출하는데에 준비되는 시간적인 측면이나 경제적인 측면으로 볼 때 실제 해석에 적용되는 데에는 비효율적일 수 있다. 또한 온도 및 외부기류의 제어 등 실험 조건의 통제가 난해하기 때문에 최근에는 컴퓨터 시뮬레이션이나 축소모형 실험을 통해 이를 극복하고 있다.

특히 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 화재해석은 최근에 이르러 시간, 비용 면에서 유리할 뿐만 아니라 다양한 연구와 실측크기 실험과의 비교 분석을 통해 실제 화재양상과 유사한 결과를 도출할 수 있다. 그러나 컴퓨터를 이용한 수치 해석 시에는 온도, 화재크기, 발화 대상물의 물성치 등 다양한 해석조건을 정확히 설정하지 않으면 실제 화재양상과는 아주 다른 결과로 나타날 우려가 있다. 이러한 다양한 설정 조건 중 Grid 간격의 설정은 수치 해석 결과의 양상을 좌우하는 중요한 요소이다.

이러한 Grid의 설정방법은 국내외의 다양한 연구를 통해 화재 강도에 따른 화염의 높

이를 계산한 후 이의 1/10크기를 Grid 간격으로 지정하는 것이 일반화되어 있다. 그러나 국내의 목조건축물이나 문화재의 경우 기존 건축물과는 달리 다공성 구조인 경우가 많아 기존의 Grid 산정법을 이용한 수치해석 시 실제 화재 결과와 다른 양상을 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 이에 대한 기초 연구로 SFPE 방화공학 핸드북에서 제시된 목재펠릿의 화재강도 실험결과를 기준으로 총 3종의 Grid 간격의 화재해석을 통해 기존의 실험결과와 비교한다. 본 연구결과는 다공성 구조의 해석 시 최적의 Grid 간격 설정의 기초자료로 활용될 수 있다.

2. 수치해석 방법 및 조건

2.1 분석 대상 설정 및 방법

본 연구에 적용된 화재해석은 미국 표준기술연구소(NIST)에서 개발된 프로그램인 FDS 5.0을 사용하여 결과를 도출하였으며 해석 모델링의 기준은 “SFPE Hand Book of Fire Protection Engineering”에서 제시된 “목재 펠릿의 열방출률 그래프¹⁾”의 결과를 화재 해석 결과의 비교 분석에 적용하였다.

그림 1과 2는 적용된 SFPE 핸드북에서 제시된 펠릿의 구조 및 시간에 따른 열방출율을 나타내는 그래프이다. 그림 1에 나타난 바와 같이 펠릿이 9층의 구조로 적층되어 있으며 대상의 전체 크기는 1220×1220×1220(mm)로 적용되었다. 그림 2는 실제 화재 시험 결과로 시간에 따른 열 방출률 그래프를 나타내며 화재가 측정 후 약 150초 이후부터 발열량이 증가하여 약 400초 후 최대 발열량인 3600kW를 나타내며 약 600초 이후에는 서서히 소화되는 양상을 보이는 것으로 분석 되었다.

본 연구에서는 이러한 시간에 따른 화재의 성장곡선 변화 및 최대 열방출율이 지속되는 시간 및 열방출률 곡선의 유사성에 대해 컴퓨터를 이용한 화재해석 결과와 비교 분석하였다.

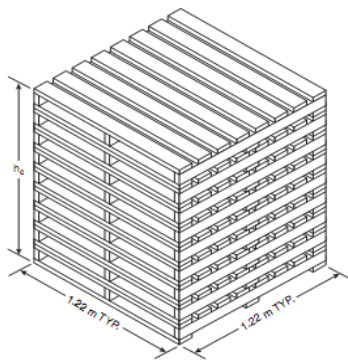


그림 1. 적층구조 펠릿

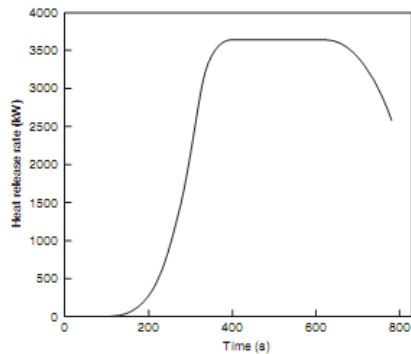


그림 2. 목재 펠릿의 열방출률

2.2 Grid 간격 선정

기존의 Grid의 설정은 화염의 높이를 계산하는 식(1)에 적용하여 도출된 D^* 의 1/10크기를 Grid 간격으로 지정한다.

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{5}} \quad (1)$$

식 (1)은 총 발열량 Q , 밀도 ρ_{∞} , 비열 c_p , 주변 대기온도 T_{∞} , 중력 g 로 정의된다. 본 연구에서는 표 1의 값을 대입하여 D^* 값을 190mm로 도출하였으며 기존 Grid 간격을 19mm로 적용하였다.

표 1. 목재의 Thermal Properties

Thermal Properties	Value
Heat Release Rate	3600kW
Density	100kg/m ³
Specific Heat	2.31kJ/(kg·K)
Conductivity	0.173W/(m·K)
Emissivity	0.9
Heat of Combustion	32789kJ/kg
Ambient Temperature	293k

2.3 수치해석 설정 조건

적재된 펠릿의 하부에 접해있는 800℃의 고온VENT로부터 발화되어 발생한 화재가 점차 위의 펠릿으로 번지며 화재가 확산되는 것을 화재 시나리오로 설정하고 해석을 실시하였다. 산소부족으로 인한 불완전연소가 배제하기 위해 해석이 진행되는 공간 및 표면 조건을 개방조건으로 설정하였으며 식 (1)로 도출된 19×19×19mm의 GRID 간격을 기준으로 하여 ±50%의 경우 표 2와 같이 총 3종에 대해 수치해석을 실시하였다. 연소물질은 펠릿의 제작에 사용되는 일반적인 나무로 설정하였고 Density, Specific Heat, Conductivity, Emissivity, Heat of Combustion로 규정되는 Thermal Properties와 표 3과 같이 나무의 연소 시 배출가스의 계산에 필요한 분자구조를 추가 적용 하였다.

표 2. 각 CASE의 격자수와 Cell 크기

CASE	총 격자수	변위별 격자수	Cell 크기(mm)
1	405,224	74×74×74	27×27×27
2	1,259,712	108×108×108	19×19×19
3	5,832,000	180×180×180	12×12×12

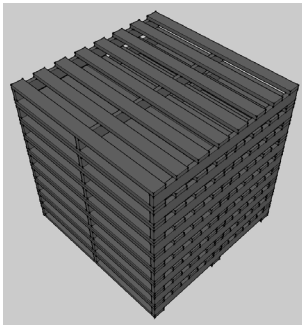


그림 3. 시뮬레이션 모델링

Name	Value
Carbon	3.40
Hydrogen	6.20
Oxygen	2.50
Nitrogen	0.00

표 3. 목재의 분자구조

3. 수치해석 결과 분석

적층구조 화재에서의 적정 Grid 산정을 위해 기존의 실험결과를 분석하여 다음의 비교 기준을 도출하였다. 본 연구에서는 표 4의 기준을 적용하여 수치해석 결과의 비교기준으로 한다.

표 4. 실제 펠릿 화재 시험에서 도출된 비교 기준

명칭	비교 기준
발열량 최대치	3600kW
정상상태 도달시간	400sec
감쇄기 시작시간	600sec

3.2.1 Grid 간격 27mm 수치해석 결과 분석

그림 4와 표 5는 기존의 Grid 간격 산정 방식으로 도출된 간격을 50% 증가시킨 간격 27mm로 수치 해석한 결과이다. 그림 4에 나타난 바와 같이 화재가 정상상태에 도달시간이 실험값에 비해 약 250초 먼저 나타나는 것으로 분석되었으며 정상상태에 도달한 후에도 약 300sec과 600sec구간에서 발열량의 급격한 증가가 발생하였다. 이러한 현상은 Grid의 간격이 공극에 비해 넓어 이 공간의 계산 시 목재가 연소된 후에 내부의 목재에서 연소가 진행되어 발생한 것으로 판단된다. 본 분석 결과를 토대로 Grid 간격 27mm의 경우 수치해석 결과로 실측실험 그래프와는 차이가 발생하여 정확한 계산 값의 도출에는 적합하지 않은 것으로 분석되었다.

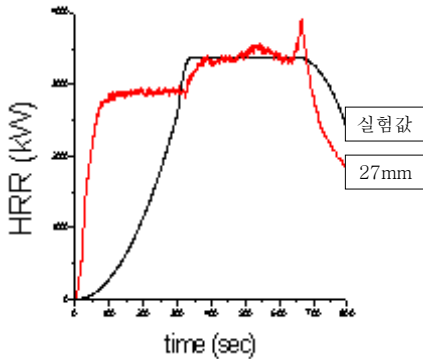


그림 4. 시간에 따른 발열량 변화 (Case 1)

명칭	비교 결과
발열량 최대치	+500kW
정상상태 도달시간	-250SEC
감쇄기 시작시간	-50SEC

표 5. 수치해석 결과 비교(Case 1)

3.2.2 Grid 간격 19mm 수치해석 결과 분석

그림 5와 표 6은 기존의 Grid 간격 산정 방식으로 도출된 간격인 19mm를 적용하여 수치 해석한 결과이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 수치해석 결과 화재 발생 후 발열량이 급격히 증가하여 약 100초 경과 후 정상상태에 도달하는 것으로 나타남에 따라 실험값에 비해 약 250초 짧은 것으로 분석되었으며 이로 인해 화재하중이 먼저 감소하여 실험값에 비해 약 100초 전에 화재의 감쇄가 나타나는 것으로 분석 되었다. 반면 화재가 정상상태에 도달한 후 일정시간동안 정상상태를 유지하는 부분에서는 이전의 27mm 간격의 결과와는 다르게 기존의 실험 결과와 유사하게 분석되었다. 그러나 화재의 증가 시간 등은 기존 결과와 상이하여 기존의 Grid간격 산정방법은 공극이 있는 목재 화재에서는 적합하지 않은 것으로 분석되었다.

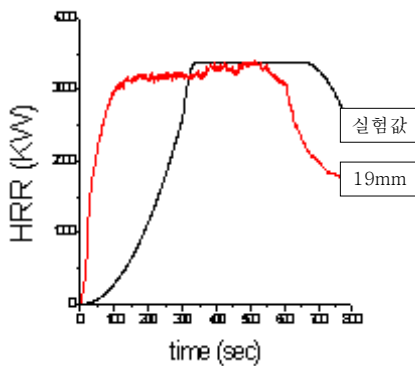


그림 5. 시간에 따른 발열량 변화(Case 2)

명칭	비교 결과
발열량 최대치	=0kW
정상상태 도달시간	-300sec
감쇄기 시작시간	-100sec

표 6. 수치해석 결과 비교(Case 2)

3.2.3 Grid 간격 12mm 수치해석 결과 분석

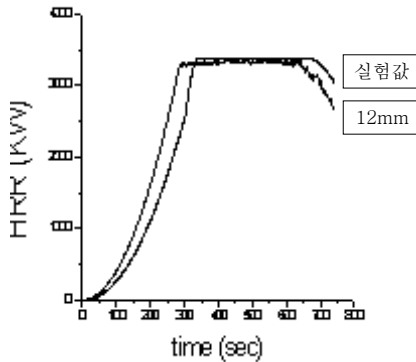


그림 6. 시간에 따른 발열량 변화(Case 3)

명칭	비교 결과
발열량 최대치	=0kW
정상상태 도달시간	-50sec
감쇄기 시작시간	-50sec

표 7. 수치해석 결과 비교(Case 3)

그림 6과 표 7은 기존의 Grid 간격 산정 방식으로 도출된 간격을 50% 감소시켜 간격 12mm로 수치 해석한 결과이다. 그림 6과 표 7에 나타난 바와 같이 시간에 따른 발열량의 성장이 실험값과 유사한 경향을 보이며 최대 발열량인 3600kW에 도달 후 일정한 시간이 유지되며 점차 감쇄기로 하락하게 되는 경향을 보였다. 화재양상이 정상상태에 도달하는 시간 및 감쇄기가 시작하는 시간이 실험값에 비해 약 50초 먼저 나타나는 것으로 분석되었으며 본 12mm 간격의 Grid 설정이 가장 실험 결과와 유사한 경향을 보였다.

4. 결론

펠릿의 연소해석을 위한 적정 Grid 산정 연구 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. Grid 간격 27mm로 수치 해석한 결과의 경우 공극에 비해 간격이 넓어 이 공간의 계산 시 목재가 연소된 후에 내부의 목재에서 연소가 진행되어 급격한 발열량의 상승이 정상상태 도달 후에도 2회 발생한 것으로 나타나 실측실험 그래프와는 차이가 발생하여 정확한 계산 값의 도출에는 적합하지 않은 것으로 분석되었다.
2. 기존의 Grid 간격 산정 방식으로 도출된 간격인 19mm를 적용하여 수치 해석한 결과 화재가 정상상태에 도달한 후 일정시간동안 정상상태를 유지하는 부분에서는 기존의 실험 결과와 유사하게 분석되었다. 그러나 화재의 증가 시간 등은 기존 결과와 상이하여 기존의 Grid간격 산정방법은 공극이 있는 목재 화재에서는 적합하지 않은 것으로 분석되었다.
3. Grid 간격 12mm로 수치 해석한 결과 시간에 따른 발열량의 성장이 실험값과 유사한 경향을 보이며 최대 발열량인 3600kW에 도달 후 일정한 시간이 유지되며 점차 감쇄기로 하락하게 되는 경향을 보였다. 화재양상이 정상상태에 도달하는 시간 및 감

쇄기가 시작하는 시간이 실험값에 비해 약 50초 먼저 나타나는 것으로 분석되었으며 본 12mm 간격의 Grid 설정이 가장 실험 결과와 유사한 경향을 보였다.

4. 본 연구를 통해 펠릿 등과 같은 공극이 많은 물질에 대한 화재해석의 경우 기존의 Grid 산정방식으로는 정확한 화재해석 결과를 도출에는 적합하지 않는 것으로 나타났으며 이를 보정하기 위해 약 50%이상 해석 Grid의 간격을 감소시켜야 하는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 1) Kevin Mcgrattan, Glenn Forney (2008), "Fire Dynamics Simulator(Version 5) User's Guide"
- 2) Kevin Mcgrattan, Glenn Forney (2008), "Fire Dynamics Simulator(Version 5) Technical Reference Guide"
- 3) SFPE Handbook (3rd edition). "Section Three. HAZARD CALCULATIONS"