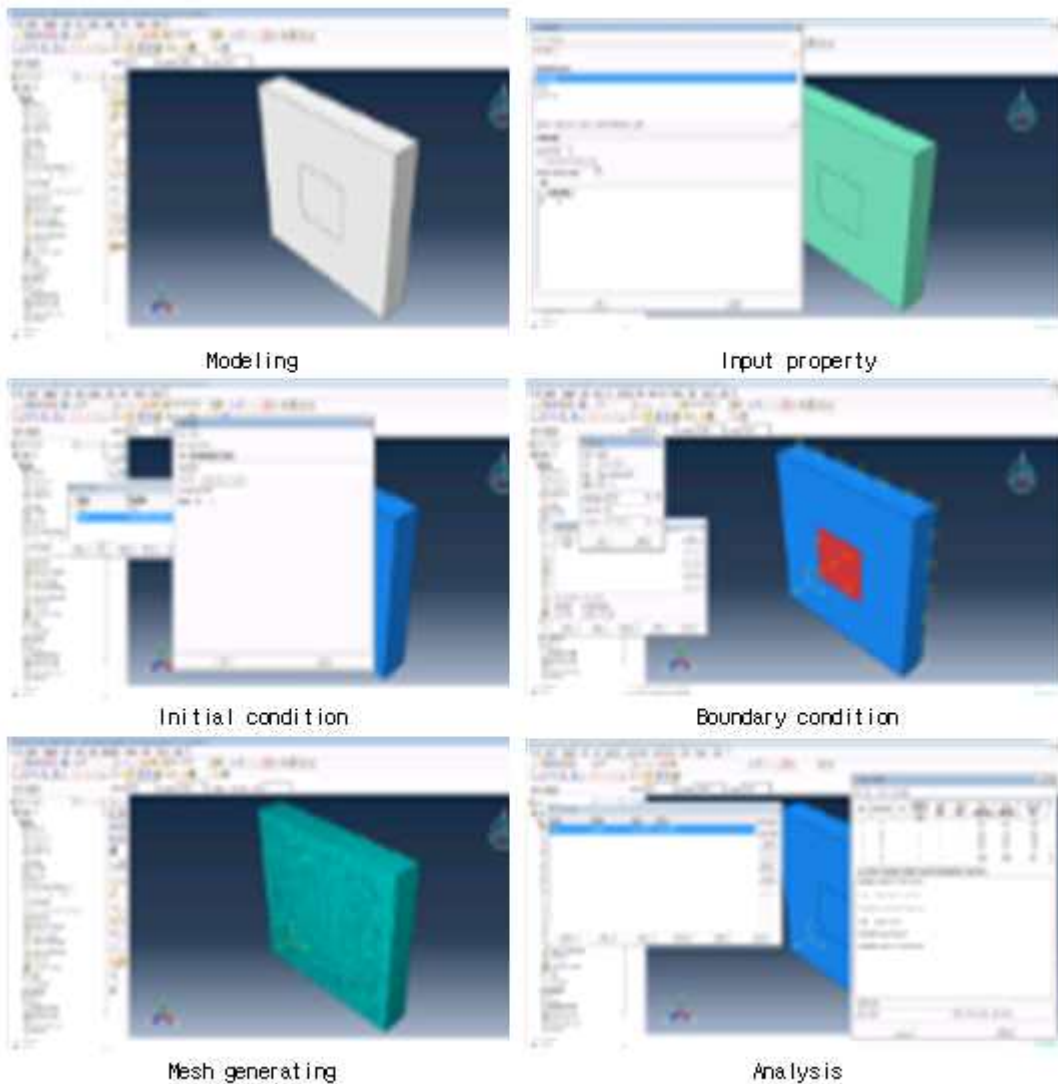


불연성 무기단열 보드판 시뮬레이션 DB구축(기계적 물성, 열적 물성) (26건)

○ 시험 개요

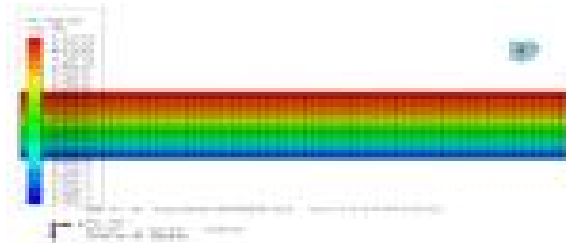
- 앞에서 구축한 불연성 무기단열 보드판의 기계적/열적 물성 데이터를 기반으로 열적 특성을 시뮬레이션으로 해석하기 방법으로 열전달 해석과 화재해석을 수행하였음.
- 먼저 열전달 해석은 ABAQUS CAE을 사용하여 과도상태의 열전달 해석을 기본으로 하며, 해석에 사용된 요소타입은 3차원 열전달 요소인 DC3D8(8-node linear heat transfer)요소와 Thermal element를 사용함. 열전달에는 전도, 대류, 복사가 고려되며, 공기의 대류로 인한 열의 전달이 이루어지기에 공기의 열전달 계수를 파악하는 것이 중요함. 먼저, 소재 모델링 소프트웨어(DIGIMAT)의 FE와 MX를 통해 도출된 RVE 물성을 ABAQUS CAE의 물성에 각각 입력하고, 상온 상태인 초기 조건과 실험과 동일하게 150℃로 외부 조건을 설정하고 해석 시간은 15분으로 설정함. 격자(Thermal stress)는 해석 컴퓨터의 사양을 고려하여 36,000개를 생성하였으며, 아래와 같이 해석을 진행함.



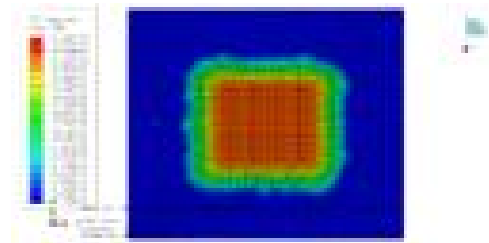
[열전달 소프트웨어(Abaqus CAE)를 활용한 물성 입력 및 경계 조건 설정]

- 고밀도 보드 패넌을 모델링하여 소재 물성 소프트웨어를 활용한 물성값을 입력한 시뮬레이션 결과는 아래 그림과 같음. 밀도가 낮은 #1와 #2의 패넌 하판에 150℃로 가열함에 따라 온도가 급격히 상승하여 패넌 상판까지 빠르게 온도가 전달되었으며, 상대적으로 #3는 내열 성능이 우수하여 다른 밀도에 비해 전달되는 온도가 낮음 수준임.

#1 패넌 온도 결과

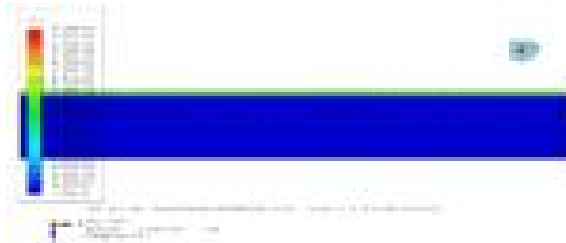


온도 분포

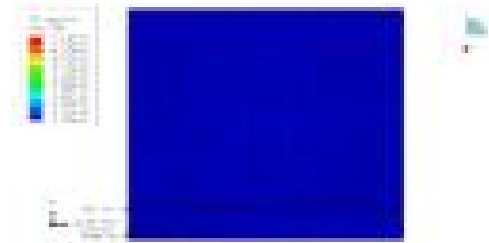


결과

#2 패넌 온도 결과



온도 분포

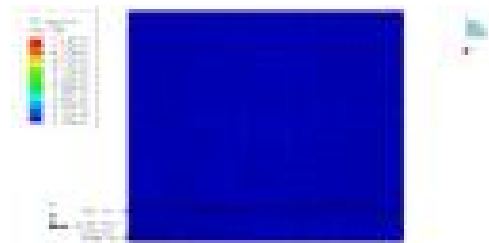


결과

#3 패넌 온도 결과

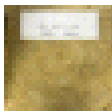
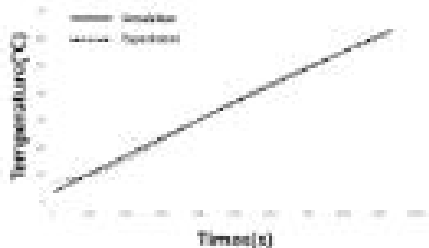


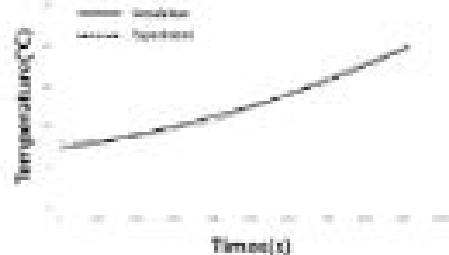
온도 분포



결과

- 고밀도 내부 중앙의 온도 결과는 아래 그래프와 같으며, 이를 실험 결과와 비교 분석함. 밀도가 #1 보드 패넌은 15분 후에 시뮬레이션에서는 68.02℃까지 상승하였지만, 실험은 60.9℃로 오차가 5.12% 발생함. #2와 #3는 40.15℃와 21.54℃까지 내부는 상승하였지만, 실험은 36.7℃와 20.2℃로 8.99%와 6.62%로 오차가 5~9% 수준으로 발생하였고, 실험 결과와 동일하게 보드 패넌의 밀도가 증가하면 내열 특성이 우수함을 확인함.

Density	Simulation versus Experiment	Results	
#1 		Simul.	Exp.
		68.02℃	60.9℃
		Error : 5.12%	
		RT : 6.8℃	

#2 		<table><tr><th>Simul.</th><th>Exp.</th></tr><tr><td>40.15°C</td><td>36.7°C</td></tr><tr><td colspan="2">Error : 8.99%</td></tr></table> RT : 7.1°C	Simul.	Exp.	40.15°C	36.7°C	Error : 8.99%	
Simul.	Exp.							
40.15°C	36.7°C							
Error : 8.99%								
#3 		<table><tr><th>Simul.</th><th>Exp.</th></tr><tr><td>21.54°C</td><td>20.2°C</td></tr><tr><td colspan="2">Error : 6.62%</td></tr></table> RT : 6.9°C	Simul.	Exp.	21.54°C	20.2°C	Error : 6.62%	
Simul.	Exp.							
21.54°C	20.2°C							
Error : 6.62%								

- 화재 해석은 화재 공간을 4(Length)×3(Width)×10(Height)m으로, 시편의 크기는 300×300×50mm로 설정하고, 격자(Mesh)는 10mm 간격으로 설정함. 화염 가스는 프로판(Propane)을 소스(Source)로 시편의 상단에 화염을 0.015초 간격으로 1,000°C의 화염을 발생시킴. 아래의 코드는 화염 해석을 위해 코딩(Coding)으로 각 행에 대해 설명하는 주석을 삽입하고, 소재 모델링 소프트웨어를 활용하여 도출한 #1, #2, #3에 대한 밀도와 비열 그리고 열전달율을 화재 해석 시뮬레이션의 물성으로 입력함. 여기서 HRR(Heat release rate)를 고밀도 보드 패널의 체적으로 나눈 값인 HRRUV(Heat release rate unit volume)을 계산하고 대류를 고려하여 외부에의 열하중을 60초간 진행하고 불연성 시험인 KS F ISO 1182에 의거하여 본 해석을 진행함.

$$Q(HRR) = \alpha T^2 (W), \alpha : \text{fire growth rate}, T : \text{time}$$

[화재 해석 소프트웨어를 활용한 물성 입력 및 경계 조건 설정]

```
###file naming
&HEAD CHID='high_density_panel', TITLE='high_density_panel' /
```

```
###mesh information
&MESH XB=0, 3, 0, 4, 0, 6, IJK= 30, 40, 60 /
```

```
###time setting
&TIME T_END=60 /
```

```
###source gas information
&REAC FUEL='PROPANE', SOOT_YIELD=0.015 /
```

```
###material properties
&MATL ID = 'BOARD_PANEL'
```

```
CONDUCTIVITY = 0.16
SPECIFIC_HEAT = 1.0
DENSITY = 20.
```

for high density board panel material(Using material modeling software)



###surface information

&SURF ID = 'PANEL SURF'

MATL_ID = 'BOARD_PANEL'

THICKNESS = 0.001

&OBST XB= 1, 2, 1.5, 2.5, 0, 0.5, COLOR='RED', SURF_ID='PANEL SURF' /

!source gas pressure

&SURF ID='fire1', TMP_FRONT=100., HEAT_TRANSFER_COEFFICIENT=0., DEFAULT=.TRUE. /

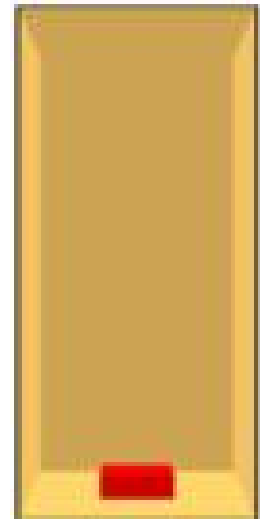
&SLCF PBY = 2, QUANTITY='TEMPERATURE'

&DEVC ID='T air 1', XYZ=1, 2, 2.8, QUANTITY='TEMPERATURE' /

&TAIL /

###Reference

	#1	#2	#3
HRRUV (Q/m ³)	63	133	250



1. 파일이 저장된 폴더 경로 지정

2. fds. 파일명.fds[Enter]

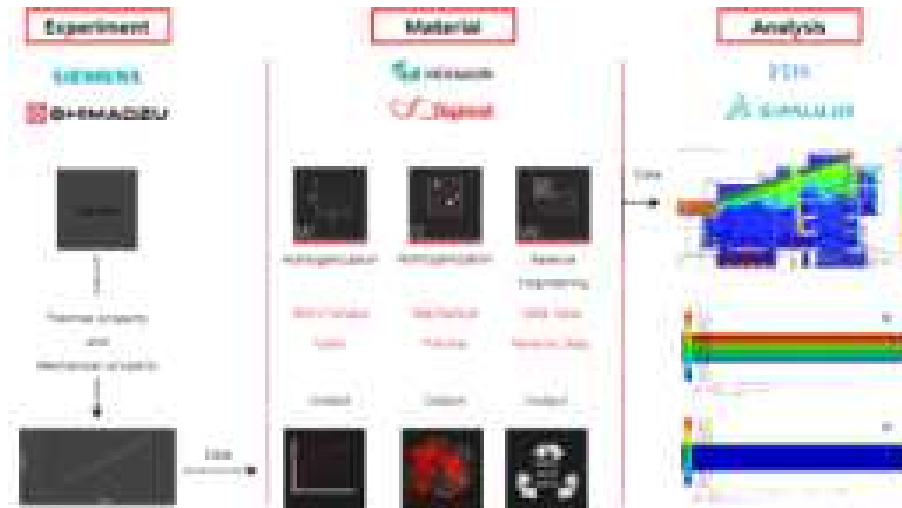
3. 해석 진행

1. HRRUV	63	133	250
2. HRRUV	63	133	250
3. HRRUV	63	133	250
4. HRRUV	63	133	250
5. HRRUV	63	133	250
6. HRRUV	63	133	250
7. HRRUV	63	133	250
8. HRRUV	63	133	250
9. HRRUV	63	133	250
10. HRRUV	63	133	250
11. HRRUV	63	133	250
12. HRRUV	63	133	250
13. HRRUV	63	133	250
14. HRRUV	63	133	250
15. HRRUV	63	133	250
16. HRRUV	63	133	250
17. HRRUV	63	133	250
18. HRRUV	63	133	250
19. HRRUV	63	133	250
20. HRRUV	63	133	250
21. HRRUV	63	133	250
22. HRRUV	63	133	250
23. HRRUV	63	133	250
24. HRRUV	63	133	250
25. HRRUV	63	133	250
26. HRRUV	63	133	250
27. HRRUV	63	133	250
28. HRRUV	63	133	250
29. HRRUV	63	133	250
30. HRRUV	63	133	250
31. HRRUV	63	133	250
32. HRRUV	63	133	250
33. HRRUV	63	133	250
34. HRRUV	63	133	250
35. HRRUV	63	133	250
36. HRRUV	63	133	250
37. HRRUV	63	133	250
38. HRRUV	63	133	250
39. HRRUV	63	133	250
40. HRRUV	63	133	250
41. HRRUV	63	133	250
42. HRRUV	63	133	250
43. HRRUV	63	133	250
44. HRRUV	63	133	250
45. HRRUV	63	133	250
46. HRRUV	63	133	250
47. HRRUV	63	133	250
48. HRRUV	63	133	250
49. HRRUV	63	133	250
50. HRRUV	63	133	250
51. HRRUV	63	133	250
52. HRRUV	63	133	250
53. HRRUV	63	133	250
54. HRRUV	63	133	250
55. HRRUV	63	133	250
56. HRRUV	63	133	250
57. HRRUV	63	133	250
58. HRRUV	63	133	250
59. HRRUV	63	133	250
60. HRRUV	63	133	250
61. HRRUV	63	133	250
62. HRRUV	63	133	250
63. HRRUV	63	133	250
64. HRRUV	63	133	250
65. HRRUV	63	133	250
66. HRRUV	63	133	250
67. HRRUV	63	133	250
68. HRRUV	63	133	250
69. HRRUV	63	133	250
70. HRRUV	63	133	250
71. HRRUV	63	133	250
72. HRRUV	63	133	250
73. HRRUV	63	133	250
74. HRRUV	63	133	250
75. HRRUV	63	133	250
76. HRRUV	63	133	250
77. HRRUV	63	133	250
78. HRRUV	63	133	250
79. HRRUV	63	133	250
80. HRRUV	63	133	250
81. HRRUV	63	133	250
82. HRRUV	63	133	250
83. HRRUV	63	133	250
84. HRRUV	63	133	250
85. HRRUV	63	133	250
86. HRRUV	63	133	250
87. HRRUV	63	133	250
88. HRRUV	63	133	250
89. HRRUV	63	133	250
90. HRRUV	63	133	250
91. HRRUV	63	133	250
92. HRRUV	63	133	250
93. HRRUV	63	133	250
94. HRRUV	63	133	250
95. HRRUV	63	133	250
96. HRRUV	63	133	250
97. HRRUV	63	133	250
98. HRRUV	63	133	250
99. HRRUV	63	133	250
100. HRRUV	63	133	250

1. HRRUV	63	133	250
2. HRRUV	63	133	250
3. HRRUV	63	133	250
4. HRRUV	63	133	250
5. HRRUV	63	133	250
6. HRRUV	63	133	250
7. HRRUV	63	133	250
8. HRRUV	63	133	250
9. HRRUV	63	133	250
10. HRRUV	63	133	250
11. HRRUV	63	133	250
12. HRRUV	63	133	250
13. HRRUV	63	133	250
14. HRRUV	63	133	250
15. HRRUV	63	133	250
16. HRRUV	63	133	250
17. HRRUV	63	133	250
18. HRRUV	63	133	250
19. HRRUV	63	133	250
20. HRRUV	63	133	250
21. HRRUV	63	133	250
22. HRRUV	63	133	250
23. HRRUV	63	133	250
24. HRRUV	63	133	250
25. HRRUV	63	133	250
26. HRRUV	63	133	250
27. HRRUV	63	133	250
28. HRRUV	63	133	250
29. HRRUV	63	133	250
30. HRRUV	63	133	250
31. HRRUV	63	133	250
32. HRRUV	63	133	250
33. HRRUV	63	133	250
34. HRRUV	63	133	250
35. HRRUV	63	133	250
36. HRRUV	63	133	250
37. HRRUV	63	133	250
38. HRRUV	63	133	250
39. HRRUV	63	133	250
40. HRRUV	63	133	250
41. HRRUV	63	133	250
42. HRRUV	63	133	250
43. HRRUV	63	133	250
44. HRRUV	63	133	250
45. HRRUV	63	133	250
46. HRRUV	63	133	250
47. HRRUV	63	133	250
48. HRRUV	63	133	250
49. HRRUV	63	133	250
50. HRRUV	63	133	250
51. HRRUV	63	133	250
52. HRRUV	63	133	250
53. HRRUV	63	133	250
54. HRRUV	63	133	250
55. HRRUV	63	133	250
56. HRRUV	63	133	250
57. HRRUV	63	133	250
58. HRRUV	63	133	250
59. HRRUV	63	133	250
60. HRRUV	63	133	250
61. HRRUV	63	133	250
62. HRRUV	63	133	250
63. HRRUV	63	133	250
64. HRRUV	63	133	250
65. HRRUV	63	133	250
66. HRRUV	63	133	250
67. HRRUV	63	133	250
68. HRRUV	63	133	250
69. HRRUV	63	133	250
70. HRRUV	63	133	250
71. HRRUV	63	133	250
72. HRRUV	63	133	250
73. HRRUV	63	133	250
74. HRRUV	63	133	250
75. HRRUV	63	133	250
76. HRRUV	63	133	250
77. HRRUV	63	133	250
78. HRRUV	63	133	250
79. HRRUV	63	133	250
80. HRRUV	63	133	250
81. HRRUV	63	133	250
82. HRRUV	63	133	250
83. HRRUV	63	133	250
84. HRRUV	63	133	250
85. HRRUV	63	133	250
86. HRRUV	63	133	250
87. HRRUV	63	133	250
88. HRRUV	63	133	250
89. HRRUV	63	133	250
90. HRRUV	63	133	250
91. HRRUV	63	133	250
92. HRRUV	63	133	250
93. HRRUV	63	133	250
94. HRRUV	63	133	250
95. HRRUV	63	133	250
96. HRRUV	63	133	250
97. HRRUV	63	133	250
98. HRRUV	63	133	250
99. HRRUV	63	133	250
100. HRRUV	63	133	250

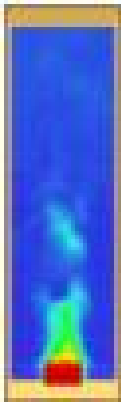
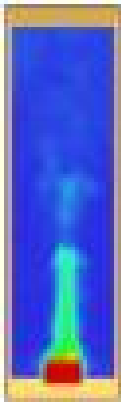
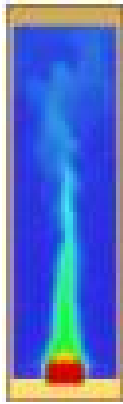
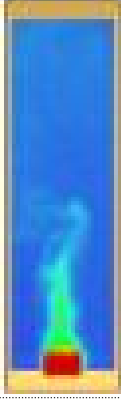
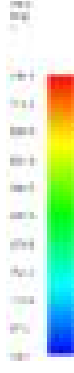
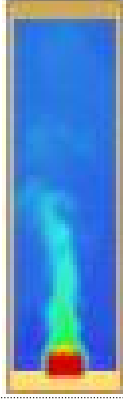
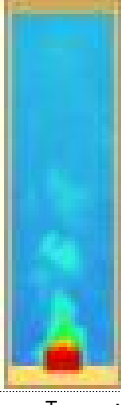
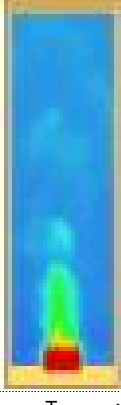
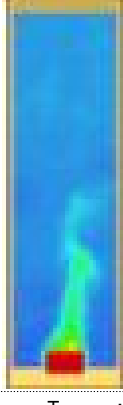
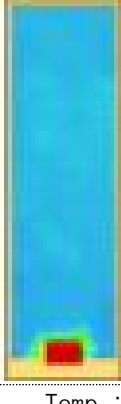
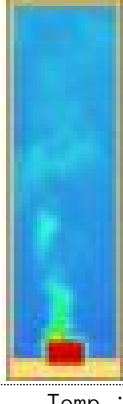
Reading 100 (page 111)	
WT Present	0, started on Time
Reading 100 (page 111)	
First Expanded: 100 (page 111)	
Current Date	1 November 10, 1971 - 14 Oct 71
Next Date	1971, 5, 7 - 10/10/1971 10/10/1971
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 10/10/1971 - 10/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	1 Nov 10, 1971 - 11/10/1971
Next Date	1
Next Date	

- 아래 그림은 본 연구의 전체적인 해석 절차에 대한 설명으로 실험을 통해 도출된 기계적/열적 물성을 소재 모델링 소프트웨어의 MF, FE 및 MX 기능을 활용하여 실험에서 도출한 실험 결과를 RVE 이론을 적용하여 Homogenization 물성으로 변환하고 역설계를 통해 Micro 단위에서 확장하여 부품/제품에 적용 가능한 Optimization 소재 물성을 도출함. 이를 활용하여 화재 및 열전달 시뮬레이션의 물성에 입력하여 유리섬유 고밀도 보드 패널에 대한 시뮬레이션을 진행함.



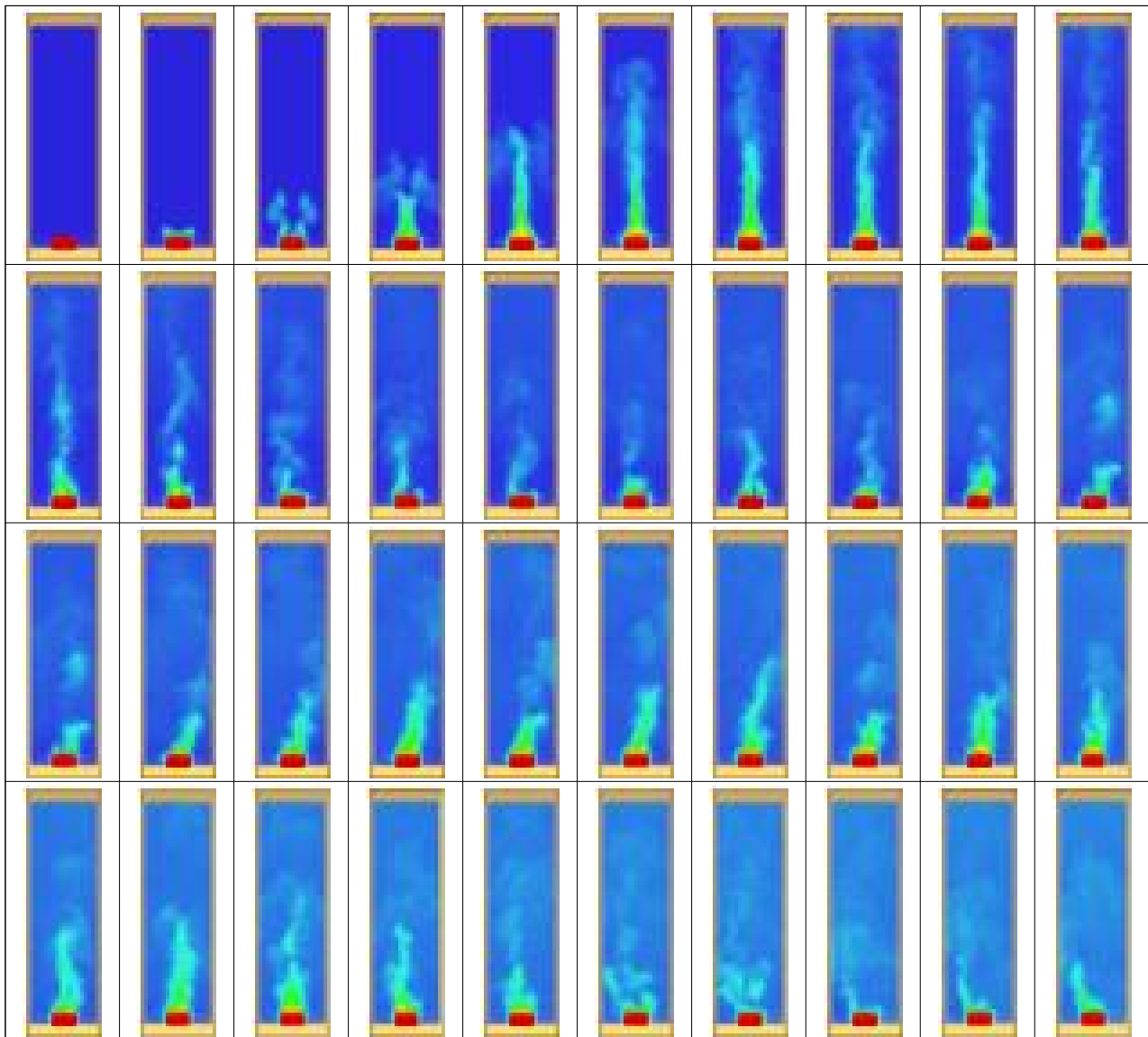
[불연성 무기단열 보드판 소재 모델링 및 시뮬레이션 절차]

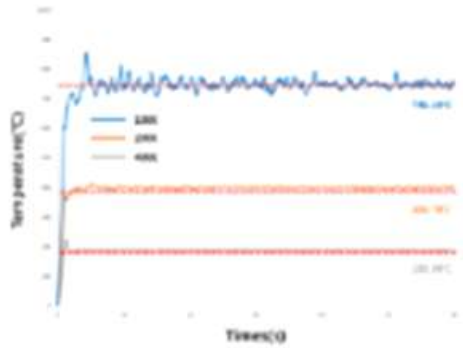
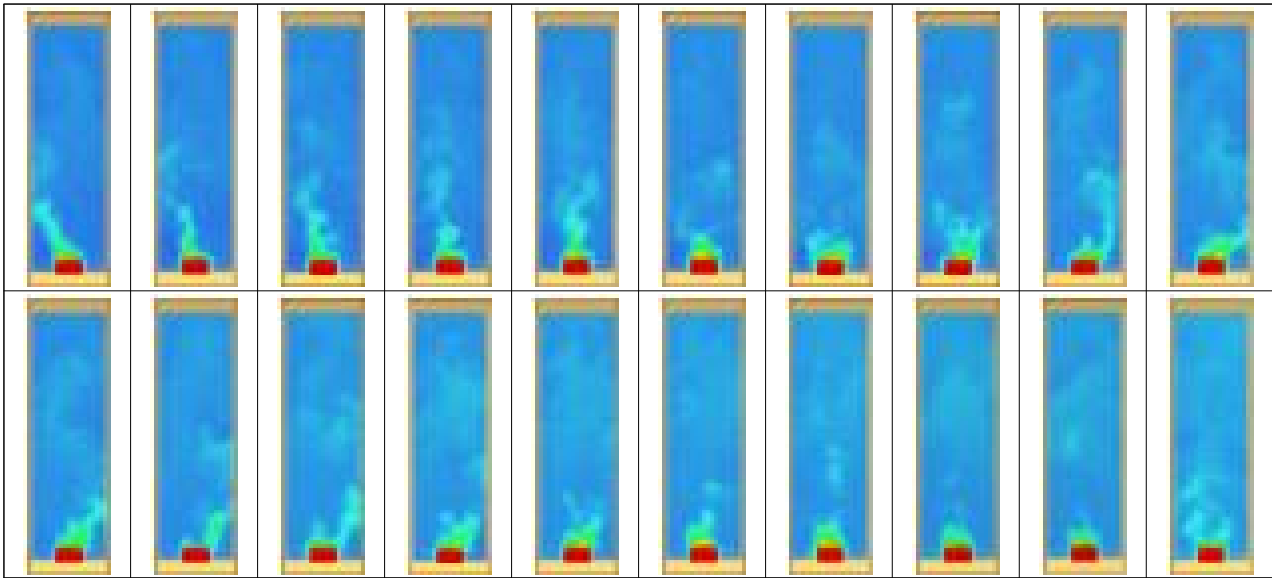
- 시뮬레이션 환경에서 설계된 #1, #2, #3의 보드 패널에 대해 1,000℃로 시편에 화염을 발생시킨 경우의 시편 내열 특성을 분석함. #1는 상대적으로 낮은 밀도로 인해 초기에 724.06℃까지 온도가 상승하여 60초 후에는 741.19℃까지 상승함. #2는 #1보다 초기에 56% 낮은 수준인 403.28℃까지 상승하고 60초 후에는 404.78℃까지 상승하여 초기 온도를 유지함. #3는 100K보다 26% 낮은 수준인 188.19℃까지 온도가 상승하여 60초 후에도 유지되었으며, 밀도에 따른 모든 보드 패널은 초기 10초 안에 최대 온도까지 상승하는 경향을 보임.

Times(s)	TYPE : #1	TYPE : #2	TYPE : #3
10	  Temp. : 724.06℃	  Temp. : 403.28℃	  Temp. : 188.19℃
30	  Temp. : 758.08℃	  Temp. : 402.86℃	  Temp. : 189.78℃
50	  Temp. : 737.20℃	  Temp. : 399.98℃	  Temp. : 189.04℃
60	  Temp. : 741.19℃	  Temp. : 404.78℃	  Temp. : 188.98℃

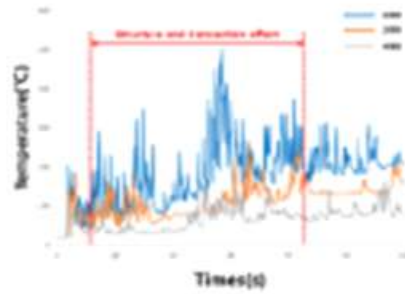
- 아래 그림은 #1, #2, #3 보드 패널의 1,000℃도 시뮬레이션 환경에서 시간에 따라 보드 시편의 온도와 주변 공기의 온도 분포를 비교한 그래프임. 각 보드 시편은 초기 5초 이내에 최대 온도까지 상승하고, 이후에 온도 상승으로 인한 주변 공기의 활발한 대류 현상으로 시편의 온도는 수렴과 발산을 지속적으로 반복함.
- 시편의 온도와 주변 공기의 온도 편차는 #1가 가장 높은 수준으로 활발한 대류 현상을 보이며, #2는 #3와 유사한 경향을 보임. #3는 온도 편차가 가장 적은 수준으로 다른 밀도의 보드 패널에 비해 내열 특성이 우수하며 #1보다 75% 낮은 온도의 내열 특성을 가짐.

[고밀도 보드 패널에 대한 화재 시뮬레이션 결과]

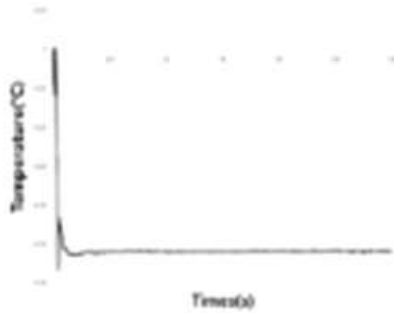




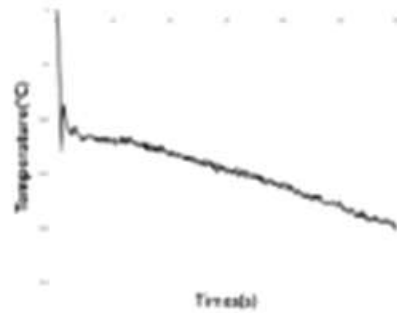
고밀도 보드 패널의 시간에 따른 온도 결과 그래프



외부 공기의 시간에 따른 온도 결과 그래프



시간에 따른 대류 그래프



시간에 따른 전도 그래프

[고밀도 보드 패널에 대한 화재 시뮬레이션 그래프]

TYPE	Graph	Simulation
#1		
#2		
#3		

<시간에 따른 고밀도 보드 패널과 외부 공기의 온도 결과 그래프>