18CTAP
C129710
-02

국토교통기술촉진연구사업 제2차연도 최종보고서

2019

공주대학교 국토교통부

국토교통기술 R&D Report

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )

국토교통기술촉진연구사업 제2차연도 최종보고서

R&D /18CTAP-C129710-02

현장적용이 가능한 0.008WmK급 초고단열 외피용 금속진공단열패널 개발을 위한 기초원천기술개발 최종보고서

2019.02.18

주관연구기관 / 공주대학교 산학협력단

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

'현장적용이 가능한 0.008W/mK급 초고단열 외피용 금속진공단열패널 개발을 위한 기초원천기술 개발 '(연구개발 기간 : 2017.04 .01~ 2018.12 .31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019 . 02 . 18.

주관연구기관명 : 공주대학교 산학협력단 (대표자) 윤 준 상 (인)

주관연구기관 책임자 : 김 봉 주
주관연구기관 연구원 : 홍 상 훈
유 남 규

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>18CTAPC12971
0-02</td><td>해당 단계
연구 기간</td><td>2</td><td>단계구분</td><td>(해당단계)/2
(총단계)2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술연구개발사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">현장적용이 가능한 0.008W/mk급 초고단열 외피용 금속진공단열패널 개발을 위한 기초원천기술개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">김 봉 주</td><td>해당단계
참여
연구원 수</td><td>총: 4 명
내부: 3 명
외부: 명</td><td>해당단계
연구개발비</td><td>정부:220,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계:370,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간
참여
연구원 수</td><td>총: 명
내부: 명
외부: 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:370,000천원
기업: 천원
정부 외: 천원
계:370,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속 부서명</td><td colspan="3">공주대학교 산학협력단</td><td colspan="2">참여기업명</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명:</td><td colspan="2">상대국 연구기관명:</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명:</td><td colspan="2">연구책임자:</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)</td><td colspan="2">보고서 면수</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구의
목적 및 내용</td><td>건축분야에 적용 가능한 진공단열패널 개발 및 기타 발생 가능한 제반사항에 대한 자료제공을 목적으로 하는 기초원천연구임.
1. 금속재를 이용한 0.008W/mk의 성능을 갖는 진공단열패널 개발
2. 금속패널 사이의 공간을 형성할 채움재(심재)의 원천기술개발(진공하 가스발생최소화 재료)
3. 금속패널의 진공도를 유지하기 위한 밀폐 원천기술개발
4. 금속진공단열 패널의 시공 후 유지보수를 위한 이동식 진공펌프 기준정립
5. 내외장 일체화로 마감공정을 줄일 수 있는 커튼월용 건식패널 개발

패시브하우스(Passive house)는 냉·난방을 위한 최대부하가 1㎡당 10W 이하인 에너지 절약형 건축물을 말하며, 기존 국내단열기준의 약 3배를 강화한 0.10-0.15W/(㎡k)의 열관류율을 충족시켜야 하고, 제로에너지 하우스(Zero energy house)의 경우 이보다 더욱 강화된 0.008W/(㎡k)의 열관류율에 도달해야 함.

1) 금속재를 이용한0.008W/mk의 성능을 갖는 진공단열패널 개발
: 금속패널의 재질 및 표면 처리, 패널의 형상 등과 같은 조건변화에 따른 물리적·화학적 상태변화 검토(분석)
: 금속재 패널의 진공 압력 수치 변화에 따른 물리적·화학적 상태변화 검토(분석)
2) 금속패널 사이의 공간을 형성할 채움재의 원천기술개발(진공하 가스발생최소화 재료)
: 금속재 패널의 내부 무기질 심재개발을 위한 기초 실험 수행
3) 금속패널의 진공도를 유지하기 위한 밀폐 원천기술개발
: 금속진공단열패널에서 발생 가능한 이음부위와 접합부의 마감재로 사용가능한 실링재(Sealing compound material)역학적 안정성 검토
4) 금속진공단열패널의 시공 후 유지보수를 위한 이동식 진공펌프 기준정립
5) 내외장 일체화로 마감공정을 줄일 수 있는 커튼월용 건식패널 개발</td></tr>
<tr><td>연구개발성과</td><td>금속진공단열 패널 기술개발 및 진공압력 유지보수 기준 정립
금속진공단열 패널 내부 무기질 심재 적용기술 개발
금속진공단열 패널 밀폐재(실링재) 검토를 통한 사용성 검토</td></tr>
<tr><td>연구개발성과의
활용계획
(기대효과)</td><td>1) 건축분야에 적용 가능한 높은 단열 성능을 갖춘 진공단열재 개발을 위한 요소기술의 획득과 기초연구자료 보유를 통한 선진기술력 확보 가능성 증가
2) 국내 건축 진공단열재 신규시장 창출과 국내·외 건축 진공단열재 시장 경쟁력 확보를 통한 수출 증가와 수입 저감의 부수적 경제이익 증가효과 기대
3) 저탄소 녹색성장의 정부정책의 시의성에 부합하며, 국가 중장기계획에 속하는 제로에너지 하우스(Zero energy house) 보급 등의 차세대 주택 정책 기여</td></tr>
<tr><td>핵심어
(5개 이내)</td><td>채움재</td><td>진공</td><td>금속패널</td><td>초고단열</td><td>밀폐</td></tr>
</table>

〈 SUMMARY 〉

<table>
<tr><td>Purpose & Contents</td><td colspan="5">1. Development of 0.008W/mk grades Vacuum Insulation Panel.
2. Development of the source technique for forming a space between the metal panel to create the space panel (minimizing minimum gas pressure).
3. Development of a seal source technology to maintain the vacuum of the metal panel.
4. Standards establishment of a portable vacuum pump for maintenance after construction of a metal vacuum insulated panel.
5. Simulate curtain wall using Dry Panels for Reducing the Closing Process with finishing materials.
1. Development of 0.008W/mk grades Vacuum Insulation Panel.
: Review the physical and chemical conditions of the metal panels, such as material and surface treatment, etc., and change physical and chemical conditions.
: Change the physical and chemical condition of the metal panel according to the vacuum pressure reading (analysis).
2. Development of the source technique for forming a space between the metal panel to create the space panel (minimizing minimum gas pressure).
3. Development of a seal source technology to maintain the vacuum of the metal panel.
: Sealer Investigation of possible joints in metal vacuum insulation panels and materials available for joints in bonded joints.
4. Development of a portable vacuum pump for maintenance after construction of a metal vacuum insulated panel.
5. Simulate curtain wall using Dry Panels for Reducing the Closing Process with finishing materials.</td></tr>
<tr><td>Results</td><td colspan="5">Development of mit Technology for Metal Vacuum Insulation and Maintaining Vacuum Pressure.
Development of Integrated Metal filler Applied Metal vacuum Insulation Panel.</td></tr>
<tr><td>Expected Contribution</td><td colspan="5">1) Development of advanced technologies for development of advanced technology materials for the development of vacuum insulation in the field of construction, and securing advanced technologies for securing advanced technologies.
2) Raising the Effects of the Domestic Building Vacuum Insulation Materials and the Additional Economic Growth in Korea.
3) The government's plan to address the government's policy on low-carbon green growth, including Zero Energy House Supply and Energy Supply, which belongs to the mid - and long-term plan for mid - and long-term energy growth.</td></tr>
<tr><td>Keywords</td><td>Filler</td><td>Vacuum</td><td>Metal panel</td><td>Ultra high insulation</td><td>Seal</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 ····· 4

2. 국내외 기술 개발 현황 ····· 8

3. 연구 수행 내용 및 성과 ····· 10

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 107

5. 연구개발성과의 활용 계획 ····· 111

6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 115

7. 연구개발성과의 보안등급 ····· 118

8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 119

9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 120

10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 122

11. 기타 사항 ····· 123

12. 참고 문헌 ····· 140

13. 부록 ····· 142

제 1 장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

건축물의 에너지 소비에서 가장 높은 비중을 차지하는 것은 냉난방 부하이며 약 40% 이상을 차지한다. 이러한 냉난방 부하를 줄이기 위해 사용되는 것이 단열재이며 단열재의 선택은 건축물 에너지 효율을 향상시키는 것에 있어 매우 중요함. 건축분야의 단열재 중 국내에서 널리 사용되고 잇는 유기계 단열재는 화재에 대한 문제점과 단열효과 상승을 위해 단열재의 두께를 증가하여 실내사용공간이 줄어드는 등의 다양한 문제가 발생될 수 있음. 따라서 이러한 문제점의 해결을 위한 새로운 단열재 개발이 요구되고 있음. 현재 주목받는 재료로는 에어로젤과 진공단열재이다. 에어로젤은 형상유지와 가공에 대한 어려움, 높은 비용 등으로 현재 일부 전자제품 분야에만 사용되고 있으며 현재로서 건축물에 적용된 경우는 없는 실정임.

진공단열재는 글라스울이나 흄드실리카 등의 심재를 사용하고 알루미늄 및 특수비닐 등으로 감싸주어 진공을 형성하여 사용됨. 이러한 진공단열재는 사용에 따라 진공압력 저하로 인한 단열성능 상실문제가 발생하고 있고, 건축물에 적용할 경우, 고가의 단열재 가격, 단열재의 보관 및 시공의 어려움으로 인한 시공비용 증가, 시공 시 내·외부 마감 등을 위한 추가비용 발생 등의 문제가 있음. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 진공단열재의 외피를 알루미늄박, 비닐류와 같은 연약재질에서 금속재질로, 심재의 경우는 감성을 가진 고체로의 변화가 필요하며, 외부에는 지속적으로 진공압력을 유지 관리할 수 있는 진공밸브 등을 설치하는 등 기존 진공단열재 문제를 해결하는 새로운 개념의 진공단열재의 개발이 요구됨.

최근 고유가로 인한 에너지절약 문제 및 온실가스와 같은 환경 문제가 부각되고 있음. 또한 탄소발생량 증가 등으로 인한 지구온난화로 평균기온이 상승하고, 이로 인하여 올 여름에는 냉방을 위한 전력사용량이 크게 증가해 예비전력 보유량을 위협함에 따라 '블랙아웃'과 같은 대규모 정전 사태를 걱정해야하는 수준에 도달함. 이러한 사태발생의 근본적인 원인은 현재 대부분의 오피스 건물 및 공동주택의 냉방(겨울의 경우 난방)의 손실을 원인으로 볼 수 있으며, 이로 인해 냉난방부하가 증가하기 때문임. 그림 1과 그림 2의 경우 오피스 건물과 공동 주택의 냉난방손실 발생을 나타냄.

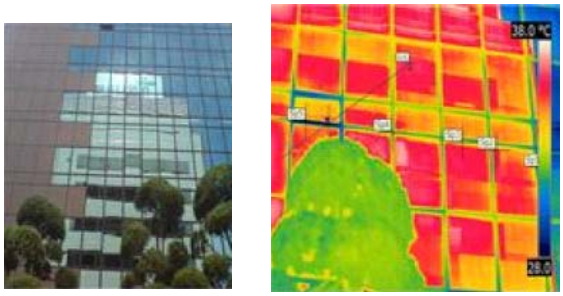


그림 1 오피스의 여름철 냉방손실의 예

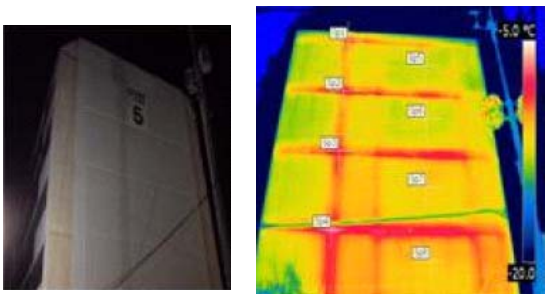


그림 2 공동주택의 겨울철 난방손실의 예

위와 같은 문제해결을 위해 대부분의 오피스 건물에서 사용되는 커튼월의 단열 보강에 관한 연구필요성이 부각되고 있고, 탄소저감 및 에너지 절약 등의 내용을 건축분야에 적용하기 위한 공동주택의 Passive house와 제로에너지하우스(Zero energy house)와 같은 'Green home' 차

세대 주택 정책이 2020년을 목표로 추진 중에 있음.

하지만, 현재 커튼월의 단열을 위해서는 2중, 3중 유리, 혹은 Low-E 유리와 같은 단열성이 뛰어난 창호 채택에 제한되어 있으며, 제로에너지하우스와 같은 차세대 주택정책 실현을 위해서는 벽체의 단열 성능 확보가 필수로 요구됨. 그러나 기존의 저항성 단열재로 필요 열관류율(0.08W/㎡k)을 달성하기 위해서는 이론적인 계산에 의해서도 20~30㎝두께의 단열재 사용이 필요함. 따라서 오피스의 제한적 단열 보강기술을 탈피하고, 차세대 주택 정책에 부합하는 단열성능을 위해서는 기존의 단열재가 아닌 새로운 단열재와 단열기술 개발이 필요한 실정임.

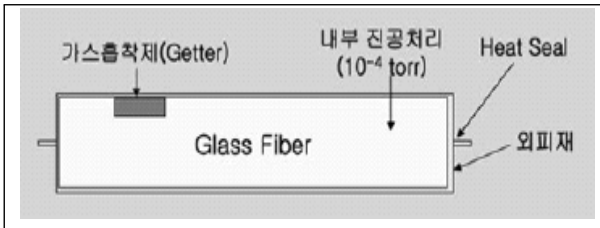


그림 3 기존 진공단열재의 구조

■ 기존 진공단열재의 문제점
- 건축 시공시의 외피재의 손상
- 시간 경과에 따른 심재의 손상
- 시간 경과에 따른 진공 유지에 어려움
- 시공시의 진공단열재의 모듈화 어려움

기존의 진공단열재는 초기 단열 성능이 약 약 0.004W/mk로 우수하나 시간경과에 따른 진공유지에 대한 어려움이 발생하고 있음. 단열재의 외피는 알루미늄 박판(알루미늄 증착함)이 8㎛ 정도로 얇아 시간이 경과됨에 따라 박판을 통한 가스 및 수분이 투과할 우려가 있으며 진공단열재의 밀봉 기술 및 취급에 의한 어려움이 발생되고 있음. 또한 내부의 심재는 유리면을 사용하고 시간경과에 따라 수분 및 가스가 발생하여 이를 흡착하기 위해 게터를 사용하지만, 게터의 한계를 넘게 될 경우 진공압력이 점점 저하하여 진공 상태의 유지가 어려움. 또한 진공단열패널의 설치 후 추가적인 외부마감의 시공에 의하여 진공상태를 지속적으로 검토 및 유지 관리하는 것이 어려우며, 진공을 초기 상태로 복원하는 것은 불가능함.

따라서 진공단열재의 외피는 금속계 재질로 적용하고, 심재를 무기질재료로 구성할 경우 기존 진공단열재의 1차적 문제점인 가스 및 수분이 투과하는 것을 해결 가능함. 2차적으로 진공압력의 유지보수를 위한 방법으로 외피의 진공상태를 확인하는 것과 시간경과에 따른 진공압력 저하를 복구하기 위한 유지보수용 진공 밸브를 설치하여 기존의 진공단열재 문제를 해결하고자 함. 또한 개발되는 진공단열재의 경우, 별도의 외부마감의 시공이 필요하지 않아 시공과정에서의 손상과 추가공정에 따른 공사기간이 소요되지 않아 다양한 분야에 적용이 가능할 것으로 예상됨.

2. 연구개발의 필요성

기존 단열재는 단열성능을 향상시키기 위해 두께를 증가시키고 있어 건축물의 실내 공간활용에 제약을 발생시킴. 진공단열재는 우수한 단열성능으로 냉장고, 화장품케이스 등의 전자제품, 항공기용 화물컨테이너 등에 사용되고 있음. 건축시장에서 진공단열재의 적용은 초입단계이며, 건축물의 에너지 소비 절감이 중요한 요소로 작용하고 있어 실용적인 진공단열재의 개발이 필요함.

기존의 진공단열재는 다공성의 심재와 진공을 사용하고 외피를 알루미늄 은박지로 구성하고 있어, 건축현장과 같이 외부로 부터의 손상이나 파손을 받을 수 있는 환경에서는 매우 취약하

고 진공단열재는 진공이 없어지는 순간 단열재로서의 역할을 할 수 없기 때문에 알루미늄 은박지가 손상을 받을 경우 이용가치가 없어짐. 건설현장은 요철, 작업 및 이송 중 파손, 등이 많아 외부 충격으로부터 저항할 수 있거나, 파손이 발생하여도 진공상태를 유지하여 단열성능을 보호할 수 있는 구조가 필요함.

진공단열재는 기존의 단열재와 동일하게 외부 마감이 별도로 구성되어 커튼월 시스템에 부적합함. 진공단열재와 외부 마감재를 일체화하여 공사기간 및 비용을 절감을 통해 제품의 경쟁력 확보, 다양한 커튼월 시스템에 적용 가능성이 있어야 하며 커튼월은 시공법에 의해 멀리온, 층간패널, 스팬드럴 방식 등으로 구분되어 방식별로 사용재료의 규격 및 설치 방법이 차이나고, 그에 따른 설계기법이 달라 다양성이 떨어짐. 이음부 및 고정 장치의 표준화로 다양한 시스템의 커튼월에 적용 가능한 외피의 개발 필요

유지보수의 용이성을 위해 진공단열재는 오랜 시간이 경과되면 내부 진공압이 떨어져 단열성능이 저하되는 단점이 있지만, 본 개발 제품은 설치 후에도 다시 진공압을 가할수 있어, 유지보수가 용이함

3. 연구개발 범위

가. 1차 연도 개발 내용 및 범위

(1) 주관연구기관(공주대학교 산학협력단)

(가) 기존 단열재의 성능 및 물성에 관한 자료 수집 및 분석

: 현재 보급되는 단열재 종류별(저항성, 반사, 진공 등)자료 수집 및 실험을 통한 성능 분석
제로에너지 하우스의 목표 열관류율 기준을 만족하는 진공 압력 수치의 정량화 기준정립

(나) 진공 관련 문헌 및 연구 자료에 대한 수집 및 분석

(다) 진공단열패널의 시제품 제작 및 실험을 통한 성능 분석

(라) 금속진공단열 패널 양쪽 금속재료별 가스발생량 평가 및 내구성 평가

(마) 밀폐재의 종류에 따른 부착강도・융착 부위 검토 및 평가

(바) 금속진공단열 패널 내부 무기질계 심재 개발(가스발생 및 수분발생여부 검토)

(사) 금속진공단열 패널 내부 무기질계 심재에 대한 기초물성 검토 (물리적・화학적 특성)

나. 2차 연도 개발 내용 및 범위

(1) 주관연구기관(공주대학교 산학협력단)

(가) 금속재를 이용한 0.008W/mk의 성능을 갖는 진공단열패널 개발

: 금속진공단열패널 개발을 위한 진공 및 제반사항에 대한 기초자료 기준수집

(나) Mock-up test를 통한 목표 열관류율 기준을 만족하는 진공 압력 수치 기준 정립(정량화)

: 건축 환경 및 화학적·물리적 변화에 대응 가능한 실링재 및 건축접합재 선정

: 금속진공단열패널 개발을 위한 진공 및 제반사항에 대한 기초자료 기준 수립(정량화)

(다) 진공도에 따른 패널 규격 산정

: 금속재 커튼월의 기본유닛 사이즈(세로 3.3~3.8 / 가로 1.2~2.4)를 기본으로 함

: 금속판의 간격, 금속판의 두께, 금속판의 가로세로 형상 크기

(라) 패널 규격에 적합한 패널 재료 평가 및 결정

: 휨강도, 각종 강도, 내구성, 열전도율, 온도에 따른 팽창계수 등

(마) 각종 기밀성 재료에 대한 검토와 금속패널간의 접착방법, 금속패널의 형상 유지를 위한 재료선정

: 패널의 테두리 마감을 위한 기밀성 밀폐재의 분석 및 검토(선정)

: 형상유지를 위한 내부 심재 적용 가능 재료 리스트 작성 및 검토(선정)

(바) 금속진공단열패널-진공펌프 연결부위의 진공압력 손실방지를 위한 연결철물 개발

: 차후 진공압력 유지보수를 위한 개폐의 편리성 및 진공압력 보존이 가능한 설계

: 패널과의 연결 부위 접합을 위한 디테일 디자인 설계

(사) 금속진공단열패널 시공 후 유지보수를 위한 이동식 진공펌프 기준정립

: 진공단열패널 진공밸브 연결부위 디자인 설계

: 진공단열패널 진공압력 확인을 위한 진공펌프 디자인 검토

제2장 국내외 기술 개발 현황

1. 진공 단열재의 기술 현황

가. 국내 현황

- 국내에서 KCC, LG하우시스, OCI가 진공단열재 업계에서 서로 경쟁적인 관계에 있음. KCC와 LG하우시스의 경우 일본에서 내부 심재로 주로 사용되는 글라스 울을 이용한 진공단열재를 생산하고 있고, OCI의 경우 독일 및 유럽지역에서 내부 심재로 주로 사용되는 흄드실리카를 이용한 진공단열재를 생산하여 시장 판매 중임.

- LG하우시스 (V-Panel) : 글라스 울을 이용하여 에너지절감 성능이 뛰어나 고효율 진공단열재인 V-Panel(Vacuum Insulation Panel)을 국내 최초로 개발·출시함

- OCI (ENERVAC) : 약 2년의 연구 끝에 국내 최초로 흄드실리카 진공단열재인 '에너지백-ENERVAC' 생산산업에 성공. 2010년 12월 국내 단열재로는 최초로 '녹색기술인증' 획득.

- 현재 진공단열재의 건축분야 적용은 기존의 산업 진공단열 용도(냉동 창고 및 냉장고, 화장품 케이스, LNG·LPG선, 항공화물컨테이너 등)로 사용되는 것을 건축물에 적용하고자 하는 시도와 연구가 대부분이며, 실제로 국내 건설사의 친환경 시범단지 건물에서는 기존의 산업용 진공단열재를 적용하여 추후 건축용 진공단열재로 확대 활용하기 위한 연구가 진행 중임.



그림 4 'Green tomorrow' 진공단열재 적용



그림 5 'Zener Heim' 전경 및 적용 진공단열재

- 삼성물산 'Green Tomorrow' : 2008년 12월 착공하여 2009년 11월 개관한 에너지 자립형 친환경 시범주택인 Green Tomorrow는 다양한 신재생 에너지 및 설비기기를 통해 제로에너지하우스를 시도하고자 하였으며, 실제 진공단열재를 실의 일부(서재)에 적용하여 시공하였으나, 현실 시공 적합성 검토 결과에서의 부적합성으로 인하여 실제 시공 적용은 이루어지

지 않고 있음.

- 대우건설 ‘Zener Heim’ : 2010년 8월 친환경주택인 제로에너지하우스를 시공하였으며, 다양한 외피시스템 및 하이브리드 전력과 같은 최신 기술은 물론 일부에 진공단열재와 에어로젤(Aerogel)을 단열재로 사용하였으나,역시 현재까지 상용화 및 제품개발의 수준에는 미치지 못하고 있는 실정임.

나. 국외 현황

- 국내에서도 현재 친환경주택에 대한 관심이 높아졌으나, 유럽지역과 미국의 경우 이보다 먼저 친환경주택에 대한 장기계획을 추진 중에 있음. 그 예로 미국에서는 1994년부터 2012년 말을 목표로 에너지 사용을 30% 저감하는 고효율 에너지 주택 100만 가구 건설 장기계획을 추진하고 있으며, 유럽에서는 2019년부터 새로 건설되는 모든 주택을 제로에너지하우스로 시공하여야함. 이와 같은 계획 및 규제에 의해 높은 단열성능을 갖는 진공단열재에 대한 관심과 연구를 통해 개발 및 유통이 이루어지고 있는 반면, 사용상의 문제점(시공성, 사용내구연수 등)에 대한 인식이 생기며 거대 시장의 형성이 이루어지지 않음. 현재 국외에서 생산되는 진공단열재는 흄드실리카와 글라스 울을 내부 심재로 사용하는 독일과 일본이 대표적임

- 독일 Porextherm (Vacupor) :미세기공 절연물질을 소재로 하여 극히 낮은 열전도율을 가지고 있음. 이는 흄드 실리카(Fumed Silica)를 내부소재로 하여 알루미늄 코팅된 다층 필름으로 둘러 싸여 있으며, 내부를 진공 처리 하여 알루미늄 코팅된 다층 필름으로 둘러 싸여 있으며, 내부를 진공 처리하여 0.005W/mK의 열전도율을 실현함.

- 일본 파나소닉(Panasonic), 미쓰시타 레키 가부시키가이샤 : 글라스 울 심재를 사용한 진공단열재를 사용하며 유리를 고온으로 가열하고, 실과 같은 섬유 형태로 뽑아내어 회전을 통한 섬유 형태로 제조하고 여러 겹으로 포개어 압밀하여 제작 되며, 외부는 알루미늄 은박으로 마감 됨. 주로 냉장고와 같은 가전제품과 같은 산업용과 포장재로 사용됨,

제3장 연구 수행 내용 및 성과

1. 1차연도 연구 수행 내용

가. 기존 단열재의 성능 및 물성에 관한 자료 수집 및 분석

(1) 발포폴리스티렌(EPS) 단열재

일반적으로 단열재는 유기계 단열재로 폴리스티렌 단열재가 많이 사용되고 있으며, 제조 방법에 따라 비드법 폴리스티렌 단열재(EPS)와 압출법 폴리에스티렌(XPS) 단열재가 있으며, 우레탄을 발포시킨 우레탄 보드(PUR,PIR), 그리고 발포 폴리에틸렌(PE)단열재 등이 있다. 무기계 단열재로는 글라스울, 미네랄울, 등이 있으며, 단열 성능을 대폭 향상시킨 에어로겔이 있다. **비드법 폴리스티렌 단열재(EPS)는 KS M 3808 : 2011에 의해 정의되는 규정중 성능에 관한 사항은 다음과 같다.**

표 1 KS M 3808 : 2011 발포폴리스티렌(EPS) 단열재의 성능

종류		밀도 (Kg/㎥)	초기 열전도율 [평균 온도 (23±2)℃] (W/mK)		굴곡 파괴 하중 (N)	압축 강도 (N/㎠)	흡수량 (g/100㎠)	연소성	투습 계수
			비드법 1종	비드법 2종					
단열판	1호	30 이상	0.036 이하	0.031 이하	35 이상	16 이상	1.0 이하	연소시간 120 초 이내이며, 연소길이 60㎜ 이하 일것	146 이하
	2호	25 이상	0.037 이하	0.032 이하	30 이상	12 이상			208 이하
	3호	20 이상	0.040 이하	0.33 이하	25 이상	8 이상			250 이하
	4호	15 이상	0.043 이하	0.034 이하	20 이상	5 이상	1.5 이하		292 이하

비드법 단열재는 그 밀도에 따라 등급을 구분할 수 있으며 통상 30kg/㎥이 가장 단단하며 열전도특성도 가장 뛰어나다. 비드법 단열재는 “비드”라고 하는 것을 발포시켜 만들기 때문에 주어진 이름이다. “비드”는 제조사가 별도로 있고 대게는 다국적기업에서 생산을 한다. 비드법단열재의 밀도는 결국 이 “비드”를 어떤 크기로 발포를 하느냐에 달려있다. 비드법단열재의 단점은 흡수율이 약 2~4%대로 상대적으로 흡수율이 높으며 이에 따라 단열성이 급격히 저하될 수 있으므로 직접 물에 닿는 부위에 시공은 불가하다. 그러므로 주로 지상층 외벽에 적용하여야 한다. 또, 제조 후 숙성과정이 없으면 휨 현상이 발생할 수 있다. 이는 비드법 계열 단열재의 공통된 현상이라고 보여진다.

비드법 2종단열재는 비드법 단열재에 탄소를 함유한 합성물질인 그라파이트를 첨가하여 제조한 것이다. 이론적으로는 복사열에 대한 추결능력에 보강하여 단열성을 높힌 제품으로 시장에서의 압출법보온판(XPS)를 대체하기 위해 개발되었다. 단열성이 동일한 밀도의 비드법 1종 단열재에 비해 약 9%내외정도 높다는 것 외의 통상적인 특징은 비드법 1종 단열재와 같다.

압출법 단열재은 KS M 3808 : 2011에 의해 정의되는데 규정 중 성능에 관한 사항은 다음과

같다.

표 2 KS M 3808 : 2011 압출법단열재(XPS)의 성능

종류		열전도율 [평균 온도 (23±2)℃] (W/mK)		굴곡파괴하중 (N)	압축강도 (N/㎠)	연소성	투습계수
		초기 열전도율	장기 열전도율				
단열재	특호	0.027 이하	0.029 이하	45 이상	25 이상	연소시간 120초 이내이며, 연소길이가 60㎜ 이하일 것	146 이하
	1호	0.028 이하	0.030 이하	35 이상	18 이상		
	2호	0.029 이하	0.031 이하		14 이상		
	3호	0.031 이하	0.033 이하		10 이상		

(2) 발포폴리스티렌(XPS) 단열재

통상 약어로 XPS로 불리며 아이소핑크 역시 특정 회사의 상표이므로 도면표기시 주의하여야 한다. 특징은 비드법 단열재와 같으나 통상적으로 흡수율이 거의 없다. 그러므로 직접 물에 닿는 부위에 적용하여도 단열성능을 보장받을 수 있으므로 지하층 외벽에 적용이 가능하다.

동일한 밀도의 비드법 단열재 보다 단열성능이 높아 벽체두께를 줄이거나 동일한 두께로 단열을 할 경우 압출법 단열재로 외벽의 단열을 설계에 반영하는 경우가 있다. 하지만 압출법 단열재의 단점은 시간이 경과하면 단열성능이 떨어진다. 또한, 압출법 단열재 및 비드법 단열재는 사용허용온도가 70℃이다. 이 온도를 넘기면 압출법 단열재는 내부 발포재의 2차 발포를 시작하여 부풀어 오르는 현상이 생긴다. 비드법 단열재는 휨 현상이 일어나게 된다.

(3) 폴리우레탄 단열재

폴리우레탄은 건축분야에서 절연재로써 역할을 하고 있으며, 밀도가 비교적 낮은 제품은 보드형태 또는 스프레이 형태의 단열재로 사용되고있고, 밀도와 강도가 높은 제품은 알루미늄창호의 절연재로도 사용되고 있다. 폴리우레탄의 분류는 다음과 같다.



그림 6 폴리우레탄의 분류 (출처 : 한국패시브건축협회)

또한 우리나라에서 KS M 3809 경질폴리우레탄폼 단열재의 기준을 따르고 있으며 이 기준에서 경질폴리우레탄폼은 1종과 2종으로 나누어지고 있다.

표 3 KS M 3809 경질우레탄폼 단열재 기준

종 류			적 요	특 징
보온판	1종	1호	폴리이소시아네이트, 폴리올 및 발포제를 주제로 하여 발포 성형한 면재가 없는 판모양의 보온재	고밀도폼
		2호		중밀도폼
		3호		저밀도폼
	2종	1호	폴리이소시아네이트, 폴리올 및 발포제를 주제로 하여 면재 사이에서 발포시켜 자기 접착에 의해 샌드위치모양으로 성형한 면재 부착한 판모양의 보온재	고밀도폼
		2호		중밀도폼
		3호		저밀도폼
보온통		1호	폴리이소시아네이트, 폴리올 및 발포제를 주제로하여 발포성형한 통모양의 보온재 또한 보온통에서는 길이방향으로 분할해도 좋다.	고밀도폼
		2호		중밀도폼
		3호		저밀도폼

1종은 표면에 아무것도 없는 누드폼이고 2종은 패브릭(천)또는 알루미늄 박막으로 표면이 처리된 것을 의미한다. 이 종류가 밀도에 따라서 1호~3호까지 구분되어 진다. 또한 각 종류별 성능 기준치는 다음과 같다.

표 4 KS M 3809 경질우레탄폼 단열재 성능

종 류			밀 도 kg/m³	열전도율 W/m·K	굽힘 강도 N/㎠	압축 강도 N/㎠	흡 수 량 g/100㎠	연 소 성	투습 계수	녹시험
보온판	1종	1호	45 이상	0.024 이하	35 이상	30 이상	3.0 이하	연소시간 120초 이내이며 또한 연소 길이가 60㎜ 이하일 것.	145 이하	무게 감소율이 무첨가 시험편인 것에 비교하여 동등이하 일 것.
		2호	35 이상	0.024 이하	25 이상	20 이상			185 이하	
		3호	25 이상	0.025 이하	15 이상	10 이상			225 이하	
	2종	1호	45 이상	0.023 이하	35 이상	15 이상		-	40 이하	
		2호	35 이상	0.023 이하	25 이상	10 이상			40 이하	
		3호	25 이상	0.024 이하	15 이상	8 이상			40 이하	
보온통		1호	45 이상	0.024 이하	35 이상	30 이상		연소 시간 120초 이내이며 또한 연소 길이가 60㎜ 이하일 것.	145 이하	
		2호	35 이상	0.024 이하	25 이상	20 이상			185 이하	
		3호	25 이상	0.025 이하	15 이상	10 이상			225 이하	

경질우레탄폼 단열재에 표면이 있는 것은 그 제조 과정상 필요한 필수적인 것으로써 오히려 1종처럼 누드로 만드는 것이, 포면이 붙어 있는 결과물에서 표면을 제거하는 후속 공정이 따라야 하므로, 2종보다 1종이 더 비싸다. 그러므로 현재 우리나라 시장에서는 2종의 판매가 주종을 이루고 있다.

우리나라에서는 경질우레탄 폼이라는 단일이름으로 불리고 있지만, 이 우레탄폼은 크게

PUR(polyurethane)과 PIR(polyisocyanurate)로 나뉜다. PUR과 PIR은 비록 같은 통칭으로 불리우고 있고, 같은 PU계열이지만, 분자구조가 다른 물질이다. 아래에 자세히 나오겠지만, PIR은 기존 PUR의 특성에 난연성을 높이려고 개발한 제품이다.

폴리우레탄은 주원료 두 개와 몇 개의 첨가제를 반응시켜 발포를 한 결과이며, 발포의 과정은 아래 그림에서 잘 볼수 있다. 발포는 현장발포와 공장발포로 나뉘어 지는데, 우리가 흔히 보는 보드형식의 단열재는 모두 공장제작이다.

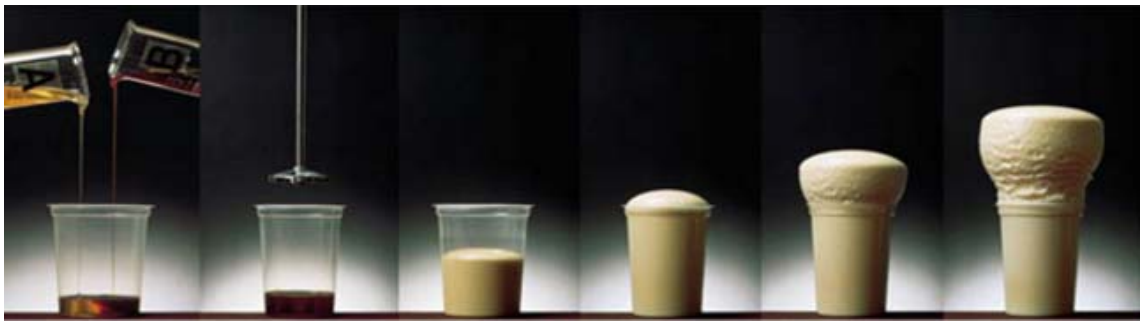


그림 7 경질우레탄 폼의 발포 과정

폴리우레탄은 비드법단열재(EPS), 압출법단열재(XPS)와 비교 하였을 때 투습은 어렵고, 흡수량은 비드법단열재(EPS)보다 높기 때문에 폴리우레탄도 비드법과 마찬가지로 물이 직접 닿는 부위에 사용은 불가능하다.

(4) 글라스울 단열재

글라스울은 폐유리를 고온에 녹인 후 섬유처럼 뽑아내어 만든 단열재이다. 이 때문에 맨 손으로 만지면 따가움을 느끼게 된다. 이로 인해 한동안 인체 유해성에 대한 논란의 중심에 서왔다. 글라스울의 섬유크기가 호흡기로 들어가기에는 큰 구조이기 때문에 인체에 접촉하여 아픔을 줄 수 있으나, 체내에 유입되지는 않기 때문에 구제적으로 아직까지는 인체에 유해하다는 증거를 찾지 못하였다. 특히 현장에서 글라스울이나 암면(Rock Wool)을 이용한 작업을 할 경우 반드시 보호장비(장갑,의류,마스크)를 착용하여 작업하고 있다.

글라스울은 성분과 그 가공방식으로 인해 불연단열재에 속한다. 물론 고온에 녹기는 하나 자체발화는 하지않는다. 대다수의 무기질단열재(글라스울, 암면 등)는 불연단열재이다. 글라스울의 밀도 구분에 따른 열전도율 값은 다음과 같다.

표 5 KS L 9102 인조광물섬유단열재 (글라스울 성능)

글라스울 밀도 구분	열전도율(W/mK, 20℃)
64K ~ 120K	0.034
48 K	0.035
32 K	0.036
24 K	0.037

(5) 진공단열재

최근 국내에 알려진 진공단열재(VIP)가 있다. 진공단열재는 기존 단열재 보다 단열성능이 약 8배 이상, 에어로겔 단열성능 보다 약 3배 이상으로 낮아 해외에서는 널리 알려진 단열재이다.

일반적인 단열재가 열전도율 값이 0.031~0.045 W/mK의 단열성능을 나타내는 반면, 진공단열재는 열전도율 값이 0.0045 W/mK이하 (0.0028 W/mK ~ 0.0039 W/mK)의 고성능을 나타내는 단열재로, 같은 열관류율을 구현함에 있어 두께는 최소화 할 수 있고 공간의 유효면적은 최대화 할 수 있어 독일을 주축으로 유럽 주면국가 및 중국, 일본, 미국 등 주요 국가에서는 가전제품을 비롯하여 건축물 등 많은 부분에 적용되고 있다.

진공단열재는 통상적으로 VIP(Vacuum Insulation Panel)로 불려지며 단열성능을 극대화 시키기 위해 단열재 내부를 1mbar이하로 진공처리 한 제품이다. 진공 처리 후 내부 형태 유지를 위하여 심재(Core)가 사용되는데, 심재에 가장 많이 적용되는 심재는 흄드실리카이다. 진공 처리 후 유기계 심재들은 진공상태에서 심재 내부의 미제 잔존 가스가 분출되어 내부 진공압력을 상승시켜 제품의 수명을 떨어뜨릴 우려가 있다.

반면에 무기계 심재들은 진공상태에서도 안정된 상태를 유지할 수 있으며, 흄드실리카 심재는 가지상의 나노 입자 구조로 진공 상태가 아닌 대기압 하에서도 아래의 그림과 같이 가장 낮은 열전도율(0.020 W/mK)을 나타내며. 내부 진공압력이 10mbar까지 상승하여도 초기 열전도율 값의 변화가 다른 심재의 진공단열재에 비해 거의 없어 오랜기간 동안 단열 성능을 유지할 수 있는 장점이 있다.

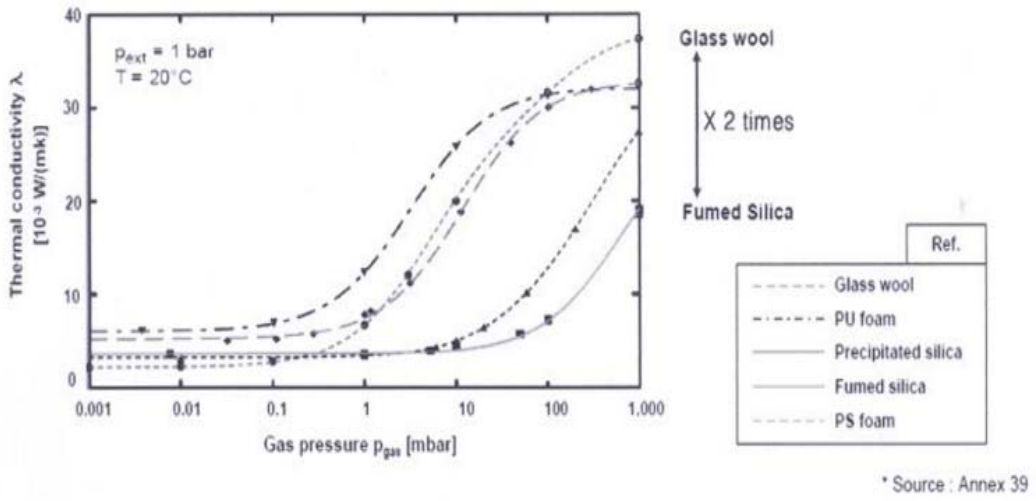


그림 8 심재별 진공 압력 변화에 따른 열전도율 추이

진공단열재는 소재의 종류 외에도 진공단열재의 진공상태를 유지할 수 있는 외피가 2종류로 구분된다. 진공단열재 외피는 진공상태의 내부로 침투하는 미세 기체 및 미세 증기를 차단하여 진공단열재의 수명을 유지시키는 매우 중요한 요소로, 알루미늄 호일에 PET필름을 부착시킨 알루미늄 호일 필름(Aluminum Foli Film)이 있다.

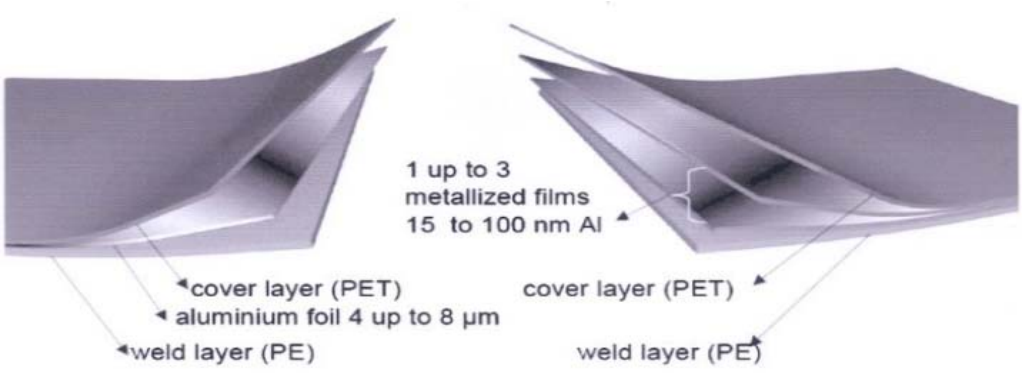


그림 9 진공단열재 외피재의 비교

상기 2종류의 필름은 각기 다른 특징이 있으며, 심재에 따라서 적용이 다르다. 알루미늄 호일 필름의 경우는 4 ~ 8㎛ 두께의 호일 필름을 PE와 PET필름에 부착시킨 필름으로 두꺼운 오일 필름에 의해 외부의 미세 기체 및 증기를 효과적으로 차단할 수 있다. 그러나, 두꺼운 호일 필름은 필름을 접거나 구부릴 경우 호일층이 손상되어 진공단열재의 수명을 떨어뜨리게 된다. 또한 1겹의 알루미늄 호일층에서 미세한 pin hole이 발생될 경우에도 진공단열재의 수명은 떨어지게 된다.

위와 같이 진공단열재의 가장 큰 문제점은 외피재인 알루미늄 박판이 너무 얇아 시간이 경과됨에 따라 박판을 통한 가스 및 수분이 투과할 우려가 있고 밀봉기술도 쉽지 않아 VIP내부를 20년동안 진공을 유지하기가 쉽지않다. 또한 수분이나 가스를 흡착시켜주는 게터(Getter)가 존재하지만, 게터의 흡착능력이 시간이 경과함에따라 떨어지게 되며 심재인 흄드실리카도 동일하게 흡착능력이 떨어져 진공 유지 시간이 길지 않다.

나. 진공 관련 문헌 및 연구 자료에 대한 수집 및 분석

(1) 개요

진공재료로서의 자격요건은 응용분야에 따라서 매우 다양하다. 몇 가지 예를 들어보면, 진공용기를 만들기 위한 재료는 기밀성을 가져야한다. 즉, 공기가 진공 중으로 새어 들어가지 않아야한다. 또한 진공용기의 재료는 배기중에 발생하는 1기압 차(100kPa, 1 bar)를 견딜 수 있도록 충분한 강도를 가져야 한다(1기압은 1㎡의 면적에 10톤의 무게로 누르는 힘에 해당한다.) 때에 따라서는 진공용기 자체에서 나오는 기체도 무시할 수 없으며, 목표 진공도가 허용할 수 있는 기체방출률을 결정한다.

이에 반해서 진공용기 내부에 이미 부품이 포함되어 있다면 기밀성은 별로 중요하지가 않다. 터보분자펌프의 회전 날개처럼 극심한 가속을 받을 때 회전 날개는 기체 분자들과의 마찰 때문에 온도가 상승하게 되어 문제가 야기될 수 있다. 한편 헬륨용 극저온 용기의 재료는 절대온도 수 K까지 내려가는 온도변화를 견딜수 있어야 하며, 고온 베이크 아웃 가능한 초고진공장치는 대략 450℃까지 견딜 수 있어야 한다. 진공용재료로 요구되는 주요 자격요건은 다음과 같다.

표 6 진공용 재료로 요구되는 주요 자격요건

- 충분한 기계적 강도
- 내부식성
- 기밀성, 즉 누출률이 낮을 것
- 낮은 고유 증기압
- 불순물 기체를 적게 함유할 것
- 적절한 기체 방출 특성
- 녹는점과 끓는점이 높을 것
- 깨끗한 표면
- 열팽창 거동이 적절할 것
- 높은 내열피로성

또한 진공재료는 진공 작업 중 발생하는 기체와 증기에 대한 아주 높은 내화학성을 가져야 한다. 진공도가 점점 더 높아질수록 기체 방출과 기밀에 대한 자격 요건은 점점 더 까다로워진다. 다음 표는 진공산업에 사용되는 대표적인 재료이다.

표 7 흔히 쓰이는 진공용기 / 가스켓의 재료와 그 사용 진공영역

출처 : 진공기술핸드북 (청문각 : 2014)

압력 / 진공 영역		응용분야	재료
10^{2} mbar (10^{4} Pa) 1 mbar (10^{2}Pa)	저진공	건조 탈기체처리 증류	연강/구조강 스테인레스 스틸 세라믹 알루미늄 엘라스토머 가스켓
1 mbar (10^{2}Pa) 10^{-3} mbar (10^{-1} Pa)	중진공	진공공정기술	알루미늄 스테인레스 스틸 세라믹 엘라스토머 가스켓
10^{-3} mbar (10^{-1} Pa) 10^{-7} mbar (10^{-5} Pa)	고진공	코팅 분자빔 결정성상	스테인레스 스틸 알루미늄 알루미나 세라믹 엘라스토머 가스켓 탄탈룸 몰리브덴
10^{-8} mbar (10^{-6} Pa) 10^{-12} mbar (10^{-10} Pa)	초고진공	고순도 진공증착 재료분석 가속기	스테인레스 스틸 알루미늄 알루미나 세라믹 구리 가스켓, 특수 가스켓 금, 은, 탄탈룸, 몰리브덴

(2) 진공 재료의 특성

진공재료 중 금속은 고체상태에 있는 금속, 특성격자구조에 일정하게 배열된 원자들로 구성된 합금으로 나뉜다. 그러나 이러한 일정한 격자 배열구조는 특별한 경우에만 금속을 완전히 채운다. 금속은 우수한 작은결정 낟알로 구성되어 있고, 이 낟알을 결정자라 하며 그 크기는 수㎛^{3} ~ 수㎜^{3} 정도이다. 이러한 물질을 다결정체라 한다.

낟알들은 그 배열둘레, 즉 결정 경계로 분리되는데 때에 따라서는 결정자와는 완전히 다른 화학적, 물리적, 기계적 성질을 가진다. 결장자의 모양과 크기가 금속의 기계적 특성을 결정짓는다. 이 결정자들은 제조 시 선택한 공정기술과 열처리 방법에 큰 영향을 받는다. 아주 미세하고 늘려진 결정자로 구성된 금속은 단단하지만 부서지기 쉽다. 이러한 재료의 강도는 크며, 냉간압연, 가공경화, 냉난가공된 것들이 있다.

표 8 금속의 제조기술과 그 특징

공정 기술	특 징
주조 (쇳물을 거푸집에 부어 만듦)	연속 제조 가능 고체화 과정에서 부피가 줄어듦 불순물 포함, 수축 공동 발생 가능(분기, 겉보기 누출의 원인) 저진공, 배후 진공부품 등 요구조건이 까다롭지 않은 곳에 사용
드로잉(인발). 압연	재료를 압축함 초고진공ᄁᆞ지 어떤 부품에도 적용 가능
특수 융해(ESR) 추가 단조/압연	고순도, 균질의 재료 생산 단조로 재료를 추가로 압축함 비싸다 특수 용도로 사용
진공융해	불순물 기체를 매우 낮게 함유하도록 제조 비싸다 특수 재료에 적용 (티타늄)
압 출	특수 형상 제조 가능 알루미늄과 같은 연질재료만 가능

금속이 재결정화 온도 T_R보다 높은 상태로 오랫동안 가열되면(불림) 큰 크기의 결정자가 만들어지고, 그 결과 재료는 물러지고 늘리기 쉬워진다. 보통 재결정화 온도는 녹는점 T_E의 약 40%정도 이다($T_R \approx 0.4\,T_E$ 단위는 K).

가장 중요한 진공용 금속은 연강/구조강, 스테인레스 스틸, 특수 합금. 티타늄, 알루미늄, 구리, 금과은 등 총 12개 종류가 있다. 그 중 연강/구조강에 대한 설명으로 흔히 쓰이는 구조용 강으로는 SS235, S355가 있다. 이 재료는 보통 탄소, 인, 황과 같은 불순물에 오염되어 있다. 이들은 고진공(10^{-4}Pa, 10^{-6} mbar)까지 사용될 수는 있으나 내부식성이 요구되는 곳에서는 사용할 수 없다. 연강은 제조공정 때문에 일산화탄소 기체를 끊임없이 방출한다.

강종의 등급은 사용하고자하는 재료의 용접성, 기밀성을 먼저 시험한 후에 결정하는 것이 좋다. 보일러나 물 저장통을 만드는 기술을 진공용기를 만드는 데 그대로 적용할 수 없다. 이를테면, 여러 번 겹쳐서 용접한다든지, 편석 구역(불순물이 모여 있는 덩어리 부분)까지 가공하는 것은 진공에서 허용되지 않는다. 작업 공구도 분리해서 사용해야 한다. 예를 들면, 연강에 사용하던 공구는 불순물이 묻어 있으므로 스테인레스 스틸을 다루는데 사용하지 않아야 한다. 강종을 선택할 때 그 특성, 특히 용접성을 반드시 고려하여야 한다.

자주 사용되는 연강의 형태로는 판재, 관재, 봉재 등이 있다. 펌프 또는 밸브 몸체에 사용되는 주물 형태의 재료는 저진공, 중진공에서만 사용된다. 연강은 자장을 차폐할 때와 같이 특수 용도로 쓰인다. 이때 부식을 방지하려면 표면을 코팅해야 한다,.

스테인레스 스틸은 진공기술에서 가장 많이 사용된다.이는 스테인레스 스틸 표면의 미세구조가 충분한 부동태 특성을 가지고 있기 때문이다. 따라서 진공공정 중 또는 베이크 아웃 중에 발생할 수 있는 부식을 충분히 억제할 수 있다. 동시에 높은 온도(보통 200 ~300℃)에서 베이크 아웃이 가능한 플렌지를 만들 수 있는 충분한 강도를 가지고 있기 때문이다.

여러 종류의 스테인레스 스틸이 진공용으로 사용된다. AISI 304(1.4301)는 안정화 처리된 강이다. 강종들은 용접 중 탄소와 화학결합을 하는 원소를 함유하고 있기 때문에 내부식성 감소를 막아준다. 따라서 용접성을 고려한다면 저탄소강 또는 안정화 처리강을 사용하는 것이 좋다. 분석기와 가속기에서는 낮은 투자율을 가지는 AISI 3146L(1.4404, 1.4435), 316LN(1.4429)을 사용한다.

특수합금은 유리-금속 이음과 선금속화 처리된 세라믹과 접합할 때 사용한다. 이는 스테인레스 스틸, 유리, 세라믹의 열팽창률이 서로 다르기 때문이고, 접합을 하였다 치더라도 갈라지거나 어긋나기 때문이다.

유리, 세라믹 접합에 적합한 열팽창률을 가지는 특수 합금은 철-니켈 이원합금 또는 철-니켈-코발트 삼원합금이 있다. 이 합금은 코바, 페르니코, 닐로케이, 배콘 등과 같은 상표명으로 알려져 있다. 그러나 이 합금은 강자성체임을 주의 하여야 한다.

티타늄은 기체와 활성도가 매우 크기 때문에 진공융해 공정으로 생산된다. 시중에 나와 있는 티타늄은 저탄소강으로 높은 늘림성을 가진다. 티타늄의 밀도는 철과 알루미늄의 중간 쯤이다. 티타늄은 ~150℃ 이상에서 산소,질소와 같은 공기의 구성성분과 쉽게 반응한다. 이러한 성질은 여러 작업에서 불리한 점으로 작용한다(예를 들어, 불활성 분위기 기체없이 용접하는 것). 다른 한편으로는 높은 활성도 때문에 티타늄이 진공기술에 곧잘 쓰이는 이유이기도 한다. 예를 들면, 티타늄 수화물은 높은 활성도 때문에 티타늄이 진공기술에 곧잘 쓰이는 이유이기도 하다. 예를 들면, 티타늄 수화물은 세라믹의 선금속화 공정에 쓰이는데 세라믹과 금속(니켈과 같은) 코팅 간의 안정적인 결합을 가져다주기 때문이다. 세라믹 표면에 순수 티타늄 코팅을 하면 금속화 처리를 하지 않고도 활성 경납땜을 할 수 있다.

티타늄은 게터펌프의 재료로도 쓰인다. 티타늄은 녹는점(1,670℃)보다 낮은 온도에서 쉽게 증발한다. 티타늄 승화펌프에서 전류를 티타늄 필라멘트에 직접 흘려주면 ~1350℃의 온도에서도 고체 상태로부터 증발(승화)한다. 보통 한 시간 승화 후 약 5㎛의 증착 두께를 얻을 수 있다. 이온 게터펌프에서 티타늄판은 음극으로 사용하며, 이온충격으로 튀겨져 나오는 티타늄은 배기작용의 일부분을 감당한다.

알루미늄은 고진공의 배후부와 고진공에 주로 쓰인다. 작은 플랜지 재료는 알루미늄 덩어리로 제작한다. 알루미늄은 100℃ 내외에서 사용하는 가스켓의 재료로도 사용된다. 알루미늄 합금을 사용할 때 아연, 납과 같이 증기압이 큰 불순물이 포함되지 않은 것을 선택해야 하는데 주로 실리콘을 주 합금 원소로 하는 재료가 쓰인다.

알루미늄은 증기압은 낮은 편이며 녹는점600℃에서 ~10^{-6} Pa(10^{-8} mbar)이다. 단점으로는 높은 열팽창률, 다공질의 알루미늄 표면 산화막, 높은 열전달 특성 등이 있다. 이러한 특징은 용접할 때 다공질 및 균열에 특정한 감수율을 가져오며, 용접하기 전 열처리에 따라서 큰 열변형을 가져온다. 알루미늄 초고진공부품은 새로운 응용분야에서 사용되고 있다. 이러한 응용에

서는 다공질표면과 낮은 강도 문제를 해결하기 위하여 특수 처리를 한다.

구리는 무엇보다도 높은 열전달 및 전기전도 특성이 있다. 이 특징은 극저온 진공기술, 열흡수 부품(가속기의 방사광 흡수체 등), 고성능 전기전도체 등에 필수적인 성질이고 진공 기술에서 널리 쓰이고 있다. 단점으로 수소 메짐성이 있다. 열처리 과정에서 발생하는 수소는 구리 속에 있는 산소와 화학적으로 반응하여 물을 만들고 구리의 미세 조직에 틈을 만든다. 이 때문에 초고진공에서는 무산소동 또는 산소의 함량이 적은 구리르 사용한다.

재료를 고를 때 증기압이 큰 원소가 없는 합금을 선택하는 것이 중요하다. 구리 합금인 톰백과 청동은 각각 아연과 주석을 구성원소로 가지고 있다. 이 원소들은 고온의 진공 중에서 쉽게 증발하므로 진공도를 약화시킨다.

초고진공시스템에서는 구리 가스켓이 통용되며 ~300℃까지 가열할 수 있다. 이 때 사용되는 구리는 콘플랫 플렌지에 활용될 수 있을 정도로 적절한 강도를 가지며, COF-플랜지(대형 구리철사 가스켓을 사용)에 사용가능할 정도로 좋은 냉압접성을 가진다. 구리는 고온 경납땜 용가재로도 쓰이며, 구리/금 또는 구리/금/팔라듐 합금 형태로 사용된다.

금과 은은 증기압이 충분히 낮아서 초고진공에 사용되고 있다. 금은 플랜지 이음용 기밀재료로, 전 금속 밸브의 기밀 표면 재료로 쓰이며, 고성능 전기전도체, 연결 단자의 표면 코팅용 재료로도 통용된다. 구리와 마찬가지로 금은 고온 경납땜 용가재로도 쓰이는데 구리/금, 구리/금/팔라듐의 합금형태로 사용된다. 한편 은은 스테인레스 스틸 볼트/너트의 표면 코팅재로 흔히 쓰이는데, 표면 마찰계수를 줄여주고 냉압접을 막아주어 수명을 크게 늘려준다.

인듐은 고진공용 플렌지의 고체 기밀제로 사용되며, 서로 다른 재료 사이의 접촉 열전도율을 높일 때 중간물질로도 활용한다. 인듐은 녹는점이 156℃로 매우 낮으며, 증기압도 아주 낮다. 극저온 진공기술에서 다른 기밀 재료가 적합하지 않을 때도 곧잘 쓰인다. 인듐은 무르기 때문에 낮은 면압으로도 기밀이 잘 유지 된다.

많은 진공공정에서 앞에서 설명한 표준 재료와는 다른 특수 재료들이 필요하다. 예를 들면, 측정, 가열, 냉각 등은 각각 특수 재료가 요구된다.

가열용부품은 텅스텐, 탄탈룸, 흑연과 같은 고용점 재료로 만든다. 열차폐용 재료로는 몰리브덴 금속 판재를 사용한다. 고용점 재료는 부스러지기 쉬운 특징이 있다. 따라서 용접 및 경납땜을 하기 어렵기 때문에 리벳이음을 한다. 가열용 부품은 고온으로 올렸을 때 스스로 팽창할 수 있도록 해야 하며 진공을 주어서는 안된다. 절연체는 고융점 산화물(예,알루미나)로 만든다. 메이코는 저온에 사용 가능하다.

구리,특히 무산소동이 열흡수체로 통용된다. 방사광가속기에서는 고온 열흡수체로 산화알루미늄을 약간 함유한 구리르 사용한다. 알루미나는 고융점을 가지므로 이 합금은 대략 900℃까지 견딘다.

납덩어리는 방사선 차폐제로 활용된다. 납은 진공에 적합한 재료가 아니므로 적절한 스테인레스 스틸 덮개를 씌우고 밀봉한 후에 진공용으로 사용한다. 방사광가속기에서는 차폐용으로 고융점 재료의 복합재를 쓴다.

자장 차폐용 재료로는 특정 조성비를 가지는 니켈-철 합금을 사용하여 뮤메탈(고투자율 재료의 하나로, Ni 75%, Fe 20%, Cu 5%)도 사용한다. 이 재료는 판 모양으로 진공용기 내에 한 겹 또는 여러 겹으로 설치하거나 진공용기(주용기, 보조 도관, 상하부 뚜껑)의 외부에 부착하여 차폐재로 사용한다. 플렌지는 물론 스테인레스 스틸로 제작한다. 자장 차폐용 재료는 제작 후 목표로 하는 차폐 특성을 조절하기 위하여 진공 중에서 특수 열처리를 한다. 차폐용으로 자성이 커야 하며, 열 처리 후 변형은 조절된 특성이 그대로 유지되도록 아주 작아야 한다.

1960년대까지만 해도 고진공, 초고진공시스템은 거의 유리로 제작되었다. 작은 수은확산펌프, 유확산펌프, 밸브, 콜드트랩, 멕레오드 진공게이지, U자형 관 진공게이지 등도 유리로 만들어졌다. 고진공 전력도입기의 전기절연에도 유리가 사용되었다. 오늘날에는 특수 응용 분야에서만 유리로 만든 진공부품을 사용하고 있다. 예를 들면, 광학용(투시창, 진공 중으로 빔 전송), 진공증착 기기용(유리 벨자), 표준 헬륨누출부품 등으로 쓰인다. 유리의 화학적 안정성은 뛰어난데 이는 극소수의 유기물, 무기물만 유리와 반응하기 때문이다,.

금속에 반하여 유리의 구조는 비정질이므로 완전히 다른 물리적 특성을 가진다. 유리의 구성물질은 불규칙하고 대칭성이 없는 구조를 만든다. 유리는 녹는 온도가 일정치 않으므로 과냉각 상태의 액체로 보는 것이 더 타당하다. 특정 점도를 가지는 온도를 유리의 녹는점으로 정의한다. 유리는 충격을 가하면 부서지기 쉬우며 균열도 쉽게 발생한다. 그러나 일반적으로 생각하는 것보다는 아주 탄성적이다. 유리의 내압특성은 금속과 비슷하지만, 장력강도는 금속보다 10배 이상 낮다(대략 10^7 N/㎡). 영률은 금속과 비슷하며$E = 5 \times 10^{10}$ N/㎡-10^{11} N/㎡이다.

유리의 점도는 충분히 작아서 상온에서도 인지할 수 있다. 방 한쪽 모서리에 유리봉을 기대어 세워놓으면 몇 주가 지나 휘어지는 것을 볼 수 있다. 유리를 가열하면 처음에는 점도가 천천히 감소하나 점점 빨리 감소하다가 다시 천천히 감소한다. 유리의 온도를 올리면 잘 부스러지는 상태에서 질긴 상태로 바뀌며, 이 온도 범위를 전이 영역이라고 한다. 전이 영역의 시작 및 끝점을 그림에 T_{lo}와 T_{hi}로 나타내었다. 유리는 전이영역 시작점 T_{lo}보다 약 30K 낮은 온도까지 연속적으로 사용할 수 있다. 만일 유리를 불투명 결정화 온도보다 더 높은 온도에서 오랫동안 가열하거나 연속해서 가열하면 불투명하게 변한다(유리질물질 중에 결정이 석출하여 불투명하게 됨). 유리는 결정화되고 불투명하게 되어 부피가 변하고 균열과 오프셋이 발생한다.

고진공에 사용하기 위해서는 유리 표면에 얇은 수막을 불꽃으로 또는 진공로에서 유리의 연화온도에 가깝게 가열하여 제거해야한다. 유리는 종류가 매우 다양하므로 각각의 특성을 아는 것은 매우 중요하다(예를 들면, 최대 허용 온도가 크게 다르기 때문이다).

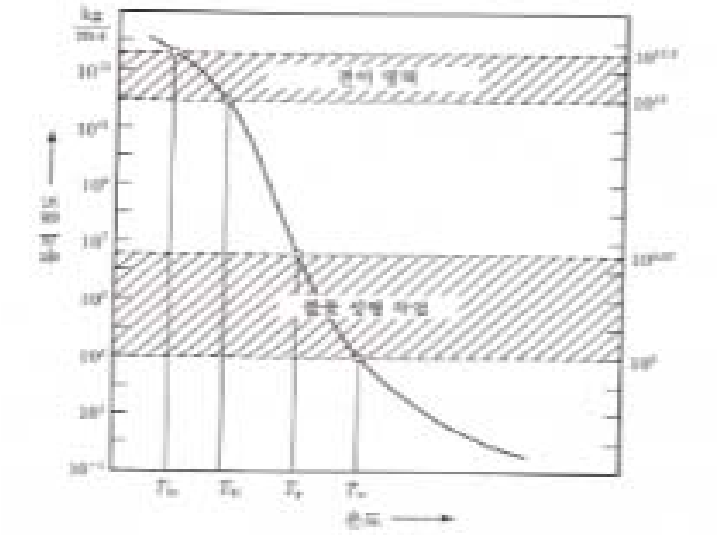


그림 10 유리의 동점성계수

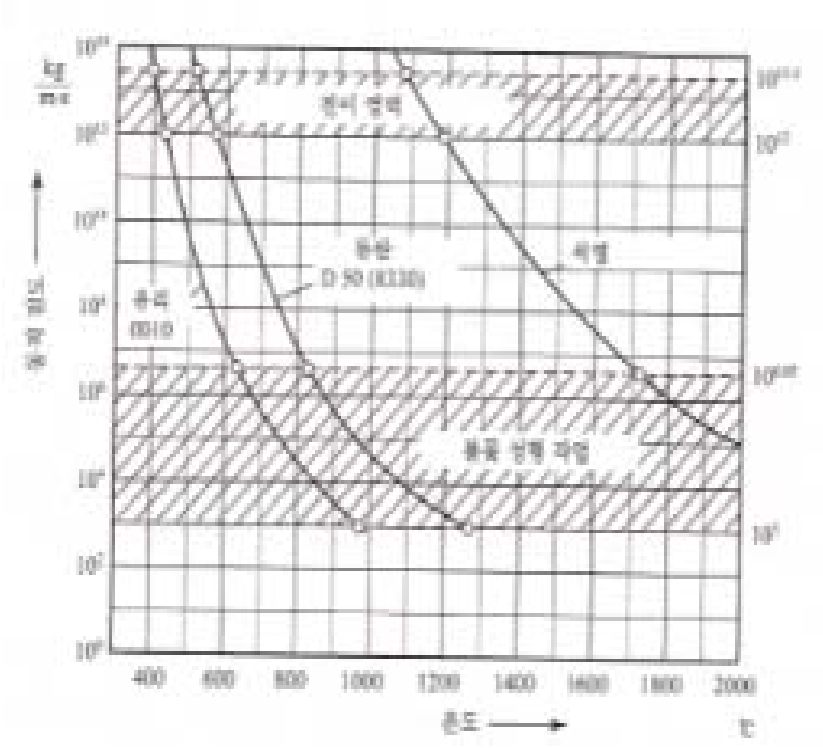


그림 11 동점성계수 (연질 유리)

유리는 선팽창 계수 α 의 평균치에 따라서 다음과 같이 구분한다.

- 연질 유리 : $60\times10^{-7}K^{-1}$ — 120 × $10^{-7}K^{-1}$
- 경질 유리 : <50 × $10^{-7}K^{-1}$
- 석영 유리 : ~ 5 × $10^{-7}K^{-1}$

또 다른 분류법으로는

소결 유리 , 결정화 유리

유리는 물리적, 화학적 성질이 매우 다르므로 다음과 같이 적절한 응용분야에서 각각 사용된다.

연질유리는 SiO_2의 함량이 상대적으로 적고, 알칼리 원소의 상대적인 함량은 많다(보통 65 ~ 70% SiO_2, 2.5 ~ 15% Na_2O, 5 ~ 15% CaO의 구성비를 가진다). 대표적인 연질유리로는 AR—글라스(Ruhrglas AG, 독일)과 코닝 0010(Dow Corning Glass Works, 미국)이 있으며 선팽창률은 $90\times10^{-7}K^{-1}$이다. 전이온도 시작점 T_{lo}는 370~450℃ 사이에 있다.

연질 유리는 높은 전기절연 특성과 낮은 수소/헬륨 투과율 때문에 쓰인다. 특수 연질 유리 중 하나인 납유리의 투과율은 흔히 쓰이는 경질 유리가 가지고 있는 투과율 1/10,000 정도로 매우 낮다.

연질 유리는 작업 또는 쓰임새에 제한을 주는 성질을 가지고 있다. 연질 유리는 열충격에 매우 약하므로 냉각과 가열을 매우 천천히 해야한다. 따라서 제작 후 전이온도 영역에서 철저한 응력 제거 과정을 거친 후에 천천히 식혀야 한다. 그림 11에 보면 연질 유리의 공정 온도는 다른 어떤 유리보다도 더 낮음을 알 수 있다. 또한 낮은 온도에서 연질 유리가 가지는 점성 값은 경질/석영 유리의 경우 더 높은 온도까지 가열해야 같아짐을 알 수 있다.

결론적으로 연질 유리는 낮은 온도에서도 연화 현상이 나타나므로 고진공 영역에서 연질 유리의 사용은 제한적이다. 따라서 연질 유리는 마음 껏 베이크 아웃하기가 쉽지 않다.

경질 유리에서 SiO_2의 항량은 대개 70%를 넘는다. 유리의 경도는 보통 붕소의 함량에 의존한다. 따라서 붕규산 유리는 경질 유리이다. 상품으로 파이렉스, 듀란 등이 있으며, 선팽창률은 대략 30 × $10^{-7}K^{-1}$이다. 또하나의 경질유리로 코닝 7056이 있으며 진공에서 많이 쓰인다. 이 재료의 전이온도 시작점 T_{lo}는 500℃ 이상이기 때문에 열충격에 강하다. 마찬가지로 전이 영역은 비교적 높은 온도에 있다. 따라서 경질 유리는 연질 유리보다 고진공, 초고진공에 더 적합하다.

석영은 순수 SiO_2로 구성되어 있다. 선팽챵률이 5 × $10^{-7}K^{-1}$로 작아서 열충격에 매우 강하다. 공정 온도 및 전이 온도 영역이 다른 모든 종류의 유리보다도 가장 높다. 석영은 1,100℃ 이상에서 불투명해지며 대략 1,050℃까지 연속적으로 사용할 수 있다. 따라서 석영은 머플로에 쓰인다. 아주작은 양의 알칼리 증기로도 유리의 불투명 결정화 온도를 크게 떨어뜨린다. 따라서 석영을 잘 다루어야 하며 다른 유리와 혼용하지 않아야 할 것이다. 석영의 광학적 성질 때문에 정교한 투시창으로도 사용된다.

소결 유리는 아주 잘게 부순 유리로 압착 후 소결 과정을 거친 유리이다. 따라서 어떤 모양이든 원하는 대로 만들 수 있다. 알맞은 분말가루를 선택하면 유리가 가질 수 있는 범위 내에서 선팽창률을 조절할 수 있다.

결정 유리는 결정화 매체를 첨가함으로써 만들어진다. 표준 유리와 같은 방법으로 상대적으로 낮은 온도에서 모양을 만든 후에 더 가열함으로써 결정화 과정을 촉발시킨다. 이 과정을 거치면 원래 재료보다 더 좋은 열적, 전기적 특성을 가진다.

세라믹은 비금속 무기물 재료이며, 대략 30% 이상 결정을 포함하고 있다. 진공에서는 주로 전기 절연용으로 쓰인다. 이 절에서는 가장 중요한 특성들만 소개한다.

진공용 세라믹을 제조 과정 중 구울 때에는 진공기밀 확보에 신경을 써야 햐며, 굽는 온도와

시간을 잘 선택해야 한다. 재료 내부에 공기를 가지고 있다가 내뿜을 수 있으므로 진공 중에서 말려야 한다. 세라믹은 종종 기밀성을 더욱 좋게 하려고 유약으로 처리한다. 경유악(에나멜)은 이미 구운 세라믹 또는 말린 세라믹에 적용한다. 세라믹을 고온 열처리하면 부피가 항상 줄어든다. 미리구운 세라믹은 다이아몬드 톱으로 자르고 갈아서 마무리한다. 세라믹을 만들 때는 적절한 거푸집이 필요하다.

세라믹은 화학적 구성성분에 따라 다음과 같이 구분한다.

- 규산염 세라믹
- 순수 산화물 세라믹
- 특수 세라믹(유리 세라믹 등)

이들의 특성은 서로 다르므로 진공에서 그 응용분야는 서로 다르다.

규산염 세라믹은 무기물 결정체와 유리질 융체(또는 결속 매개물)의 혼합물이다. 흔한 재료로는 도자기(질량비는 대략 6～8% 비융해 석영, ～26% 멀라이트, ～66% 장석 규산), 동석, 포레스타이트, 고함량 산화 규소 첨가 세라믹 등이 있다. 이들의 녹는점은 일정하지 않고 대부분의 성질은 경질 유리와 비슷하다. 그러나 내열성은 경질 유리보다 더 크고 기계적, 전기적 특성도 더 좋다. 열처리 온도는 1,300℃에서 1,500℃이다. 도자기, 동석, 포레스타이트 대부분은 ～1,000℃까지 사용가능하며 고순도 알루미나 세라믹은 ～1,350℃까지 사용할 수 있다.

순수 산화물 세라믹은 결정화 알루미늄, 베릴륨, 지르코늄, 망간 산화물로 만든다. 융점은 각각 일정한 값을 가진다 열처리 온도는 1,800℃～2,000℃이다. 진공에서는 대부분 알루미나(Al_2O_3)세라믹을 쓴다. 규산염 세라믹과는 달리 내열성이 더 좋고 최대 작업 온도는 1,800℃이다. 또한 내열충격 특성, 기계적, 전기적 특성도 더 좋다. 지르코늄 산화물은 알루미나보다 더 큰 내열 특성을 원하는 곳에 사용된다. 베릴륨 산화물은 독성이 있기 때문에 잘 쓰이지 않으며, 산화마그내슘은 낮은 온도에 한해 사용된다.

표 9 진공에 쓰이는 유리

구분	유리 종류	밀도 g/㎤	$\bar{a}$ 10^{-7} m·$m^{-1}K-1$	특성 질량 분율	TSE ℃	T_g℃	T_a℃	T_e℃	$T_{\sigma 100}$℃
연질유리	쇼트 AR-글라스 8418	2.52	99 20℃～300℃			520	320	708	198
	오스람 905c	2.52	102 20℃～300℃		110	500	400		
	오스람 123a	3.11	91 0℃～400℃	31% 일산화납	92	425	325	630	325
	쇼트글라스 8250	2.28	50 20℃～300℃		185	495	380	715	384
	쇼트글라스 8482	2.34	51.5 20℃～300℃		-	493	393	738	416
경질유리	쇼트글라스 8487	2.25	41 20℃～300℃			523	402	760	75
	쇼트글라스 8330 듀란	2.23	32.5 20℃～300℃		250	530	430	815	248

※ $\bar{a}$: 표시된 온도영역에서 평균한 열팽창계수, TSE : 내열 충격 계수, T_g℃ : 전이 온도, T_a℃ : 최대 가열 온도, T_e℃ : 연화점(η=$10^{6.6}$ kg $m^{-1}s^{-1}$=4×10^{6} $kgm^{-1}s^{-1}$일 때의 값으로 규정)

$T_{\sigma 100}$℃ : 유리의 전기 전도도가 σ = $100\times10^{-8}\Omega^{-1}m^{-1}$되는 온도

유리 세라믹은 결정화된 세라믹으로 표준 비정질 상태의 세라믹을 결정화 매개체와 열처리를 통하여 만든다. 열처리를 거친 재료도 표준 기계공구로 가공할 수 있다. 유리 세라믹 제품으로 메이코, 코닝 9658등이 있다. 평균 선팽창률은 연질 유리와 비슷하다. 최대 사용온도는 ～1,000℃이다. 메이코는 금속화 처리가 가능하므로 전기 도입기, 전기 절연체, 진공 기밀성이 좋은 세라믹 거푸집으로도 활용된다. 다만 메이코는 고온에서 무르게 되기 때문에 주의해야 한다.

진공기술에서는 주로 알루미나(Al_2O_3>92%)를 기본 물질로 하는 세라믹을 사용한다. 이는 앞서 설명한 대로 알루미나 세라믹이 여러 가지 장점을 가지고 있기 때문이며 가격도 저렴하다. 알루미나 세라믹은 고부하 열 및 전기부품(송신관)으로 활용되며, 가속기의 특수 목적용 진공용기, 전기 도입기로도 사용된다. 알루미나 세라믹은 300℃ 이상 가열 가능한 전기 전달기의 절연재로 폭넓게 쓰이고 있다. 청옥(사파이어)은 단결정 Al_2O_3의 특별한 형태이다. 적외선과 자외선에 대한 투과율은 높다. 사파이어 디스크는 베이크 아웃 가능한 투시창으로도 사용된다.

세라믹은 용접과 경납땜(브레이징)이 안되기 때문에 세라믹과 금속을 붙이는데 특별한 방법이 필요하다. 세라믹의 접합표면은 금속화 또는 활성화 선공정이 필요하다. 그렇지 않으면 신뢰성 있는 경납땜 이음이 만들어지지 않는다. 진공 기밀성이 좋고 영구적인 금속-세라믹 접합법은 Mo-Mn 및 Ti 수화물 공법으로 알려졌다.

비석(제올라이트)은 다공질의 알루미나 규산염으로 소량의 알칼리 금속을 함유하고 있다. 산

업체에서는 건조제로 널리 쓰이고 있다. 사람이 만든 제올라이트는 균질의 다공성을 띠고 있으며, 진공에서는 수증기, 오일 증기와 여러 종류의 기체를 수착하는 데 사용하고 있다. 이때 액체 질소를 사용하여 온도를 낮추면 흡착성이 크게 증대된다. 반대로 온도를 올려서 완전히 재생(재활성화)할 수 있다.

진공에서 플라스틱은 주로 기밀 재료로 쓰인다. 플라스틱은 대부분 교차결합(가교결합)을 하는 유기 거대분자로 만들어진 물질이다. 특성 성질은 첨가물로 조절한다(예 : 분자 사이의 화학결합력을 줄이기 위하여 연화물을 넣는다).

진공기술에서 통용되고 있는 플라스틱은 엘라스토머, 열가소성수지, 듀로플라스틱 등이 있다. 이재료들의 구조와 성질은 각기 다르다.

엘라스토머($elastomer$)의 실 모양 고분자는 대부분 큰 결합력으로 서로 교차 결합되어 있다. 고무와 같은 성질을 보이는 이 재료는 장력, 압축력과 같은 외력에 쉽게 반응하여 변형되지만, 외력을 제거하면 원래 모양으로 되돌아간다. 이러한 특징은 다시 쓸 수 잇는 진공기밀 재료로 쓰이는 가장 큰 이유 이다. 대표적인 제품으로는 페르부난(NBR), 바이틴, 칼레츠, 켐라즈, 실리콘 수지 등이 있다. 천연 고무는 오일에 민감하고 마모에 약하므로 진공에서 잘 사용하지 않는다.

표 10 진공용 엘라스토머 열가소성수지

명칭 (ISO 1629)	설 명	상표명	특 성	응용 분야
1. 고무 NR	천연 고무			잘 구부러지는 고무관, 두꺼운 진공용 고무관
2. PVC 연성	고분자 폴리염화비닐		내화학성이 좋다 저렴하다.	잘구부러지는 고무관, 저진공, 중진공용 고무관
3. NBR	부타디엔 아크릴로니트릴 고무	페르부난 N	오일에 강하다 기계적 특성이 좋다 저렴하다	일반 고진공용 기밀제, 오링 사용 온도 범위 : -25℃～+80℃
4. CR	폴리클로로 부타디엔	네오프렌	3번 항 참조	3번 항 참조
5. MVQ	실리콘 고무	실로프렌	150℃까지 안정함	현재는 잘 사용되지 않음 사용온도 150℃ 이하
6. FPM	비닐리덴기 불소 -헥사플로로프로핀공중합 체(불소고무)	바이턴	온도 범위 -10℃～+200℃ 내에서 안정함	고진공용 오링 베이크 아웃 온도 (T<200℃)
7. PTFE	폴리레트라 플로로에틸렌	테플론 호스타플론 할론	300℃까지 안정함 매우 낮은 기체 방출률	고진공, 초곤진공용 기밀제
8. CFM (PCTEE)	폴리클로로 트리플로로에틸렌	켈 에프	7번과 비슷, 그러나 매우 낮은 온도 까지 사용가능	극저온용 밸브 기밀제
9. -	테트라플로로에틸렌- 퍼플로로에틸비닐에테르 공중합체	칼레츠	고온에서 안정함(300℃) 내화학성이 좋다	오링, 도관, 판재

열가속성수지(*thermoplastic*)또한 가는 실 모양 고분자 집합체로서, 상온에서 약간 딱딱하다. 이 재료는 분자량이 작은 고분자가 주를 이룰 때 끈적끈적하고 말랑말랑한 상태가 된다. 반면에 분자 고무 같은 성질을 가진다. 약100℃의 고온에서는 거대분자의 유동성이 증가하므로 이 재료는 늘림성을 띠게 되어 쉽게 잡아 늘일 수 있다.

듀로플라스틱(*duroplastic*)은 고분자집합체이다. 이 재료는 고온에서도 경도를 그대로 유지한다. 진공에서는 에폭시 수지(예 : 애럴다이트 - 에폭시 수지 계열의 강력 접착제)로 사용하는데 수지 용액과 경화제를 조합하여 만든다. 에폭시는 열에 대하여 비가역적인 충전제이며 수지 구성성분은 서로 분리하여 보관하였다가 접합 직전에 서로 섞는다. 저온 경화 에폭시 수지는 약 100℃, 중온 경화제는 대략 180℃까지 사용가능하다. 이 물질은 금속, 유리, 세라믹과 잘 붙는다. 굳혀서 잘 말리면 테플론, 호스타플론 등과 비슷한 기체 방출 특성을 가진다.

(3) 진공 기밀성에 사용되는 재료

진공에서 기밀 또는 윤활용 그리스가 필요할 때가 자주 있다.

표 11 진공용 그리스와 오일의 특성

종류	응용분야	증기압(Pa, 20℃에서)	점적 온도(℃)	최대 사용온도(℃)
램지 그리스, 두꺼운 램지	코넥터, 탭의 접촉면 기밀용 윤활제 1 Pa 이상 사용 가능	10^{-2}	>56	30
그리스, 연질 글라이티엔	교반 샤프트의 윤활제	10^{-2}	>50	30
라이드렌	코넥터, 탭의 접촉면 기밀용 윤활제 1 Pa 이하 사용 가능	10^{-8}	>210	150
실리콘수지 고진공 그리스	코넥터, 탭의 접촉면 기밀용 윤활제 1 Pa 이하 사용 가능	n.s.	>200 중합반응	180
다이나팻	오링의 윤활	n.s.	148	110
디프렌	회전형 도입기	2×10^{-7}	n.s.	120
울트라썸 2000	윤활제	$< 10^{-7}$	n.s.	최소 150

진공용으로 사용하기 위해서 그리스 재료는 낮은 증기압과 높은 점도를 가져야 한다. 그러나 이들 두 변수는 상반된 성질이므로 그리스의 기체 방출률은 상당할 수밖에 없다. 따라서 그리스는 가능한 작은 양으로 얇게 발라야 한다. 고진공 또는 초고진공 영역에서 사용은 제한적이다.

오일은 기계식 저진공펌프(슬라이딩 베인 로터리펌프)에서 윤활 및 기밀제로 사용되며, 유확산 펌프에서는 배기 유발 유체로 사용된다. 상온에서 작동되는 저진공펌프에서는 윤활유의 증기압보다 점도가 더 중요하며, 적절한 값을 가져야 한다. 이러한 응용분야에서 흔히 사용되는 윤활유로는 탄화수소 계열 광물질 오일이 있다. 산소를 배기하는 데에는 다른 종류의 오일이

필요하다.

확산펌프에서 오일의 선택은 중요하다. 대부분은 실리콘 수지 오일을 사용한다. 확산 펌프 오일은 상온에서 낮은 증기압을 가져야 하며, 높은 내열성, 높은 온도에서 산소와 잘 반응 하지 않고 무겁고 연소하지 않아야 하며, 인체에 해가 없어야 한다. 그렇지 않으면 배기 속도, 도달 진공도, 환경에 악영향을 미치게 된다.

(4) 진공용 냉각제

냉각제는 주로 물(확산펌프, 터보분자펌프, 오일분리기 등에서), 액체 질소(수착펌프, 트랩 등에서), 액체 헬륨(크라이오펌프, 크라이오스탯, 초전도체 등에서)이 사용된다. 액체 공기는 매우 위험하므로 사용을 삼가야 할 것이다. 질소의 끓는점은 -197℃(77K), 산소의 끓는점은 -183℃(90K). 따라서 액체 공기통에서 질소가 더 빨리 증발하고, 산소사 상대적으로 많이 남게 되므로 위험하다.

표 12 진공용 냉각제와 응용분야

냉각제	응용 분야
냉각수	대형 기계식 펌프 확산펌프 오일 분리기, 냉각온도는 약 10℃ 일단 또는 이단 냉동기, 냉각 온도 약 -20℃~-40℃
액체 질소	수착펌프 냉각 차폐탄
액체 헬륨	배스 저온유지 장치 증발기 저온유지 장치 크라이오펌프

도달 진공도는 진공시스템의 성능을 좌우한다. 이 도달압력은 진공용기의 기밀성, 용기 내벽으로부터의 기체 방출, 기체 투과(모세관, 구멍을 통한)로 결정된다. 이러한 방충, 투과 매커니즘을 아는 것과 재료의 특성을 파악하는 것은 진공 시스템을 설계하고 운전하는 데 매우 중요하다.

기체 투과율은 기체가 대기 쪽에서 진공용기 외표면에 달라붙고, 재료내부에서 확산과정을 거친 다음 진공 내표면 쪽에서 기체 방출로 이어지는 일련의 연속적인 과정으로 설명된다. 진공 용기벽을 통한 기체 투과율을 투과 콘덕컨스라고 생각하면 벽 두께 d, 벽의 표면적 A로부터 나오는 투과를 옴의 법칙과 유사한 함수로 가정하고 수식을 풀 수가 있다.

온도 T, 벽두께 d, 표면적 A를 가지는 벽을 생각해 보자. 벽 양쪽 압력은 p_1,p_2이다. 기체 투과율은 투과 유량 q로 주어지고 투과 유량은 표면적A에 비례하고, 적절한 근사로 두께d에 반비례 한다고 가정한다. 한편 q는 벽의 온도 T와 양쪽 압력 p_1,p_2의 함수이므로

$$q = f(T) f(p_1, p_2) \frac{A}{d}$$

로 쓸 수 있다.

투과유량은 q_{pV}(단위 Pa l s^{-1})의 pV유량으로 표현할 수 있다. 종종 투과 유량은 표면적 A=1 ㎡, 두께 d = 1㎜, 압력차 101.3 kPa로 표현된다. 이 경우 견줌 투과 유량(투과 콘덕턴스)은

$$\bar{q}_{perm} = q_{pV} \frac{d}{V} \times \frac{1}{p_1 - p_2}$$

와 같다.

그림 12에 몇가지 기체-금속 조합의 온도에 따른 투과율 $\bar{q}_{perm}$을 나타내었다. 상온에서 기체 투과율이 매우 낮은 것은 자명하다. 수소는 다른 모든 기체보다 금속 내에서 투과율이 높다. 그중 팔라듐에서 매우 낮은 것은 자명하다. 수소는 다른 모든 기체보다 금속 내에서 투과율이 높다. 그중 팔라듐에서 수소의 투과율이 가장 높다. 이 때문에 팔라듐 관의 온도를 높이고 관내에 수소를 주입하면 진공용기 내로 고순도 수소를 주입할 수가 있다. 핵융합 분야는 중수소, 삼중수소 투과에 대하여 깊이 있게 다룬다.

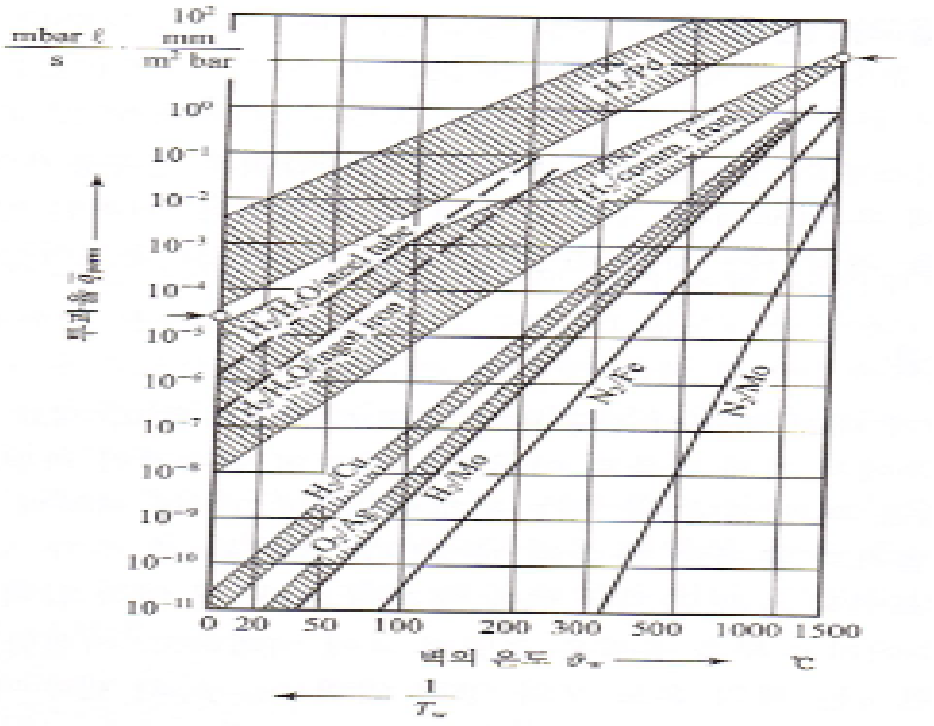


그림 12. 몇가지 기체-금속 조합의 온도에 따른 투과율 $\bar{q}_{perm}$

스테인레스 스틸은 일반 강철보다 기체 투과율이 낮다. 어쨋든 강철에서도 상온에서 수소 투과는 공기 중 수소의 함량이 많지 않기 때문에 그리 중요하지 않다. 다른 모든 확산과정에서와 마찬가지로 수소의 확산, 즉 수소 투과율은 온도에 따라 크게 변한다.

금속 중에 은은 산소에 대하여 큰 투과율을 가지는 특수한 성질을 나타내며, 팔라듐이 순수 수소를 걸러내는데 쓰이는 것과 같이 온도 순수 산소를 주입한느 데 쓰인다.

그림 13은 몇가지 기체-유리 조합에 대한 투과율($\bar{q}_{perm}$)을 보여준다. 세라믹은 비교할 자료가

없다. 기체 투과 유량은 그림 10의 $\bar{q}_{perm}$값으로부터 계산할 수가 있다. 공기 중 헬륨의 부분압은 0.53 Pa이다. 그림 10에서 상온 20℃ 의 $\bar{q}_{perm}$값을 읽으면

$\bar{q}_{perm}$ = 5.3×10^{-5} $mbar\ l\ s^{-1}mm m^{-2}bar^{-1}$

(5.3×10^{-8} Pa l s^{-1}㎜ $m^{-2}Pa^{-1}$)

표면적 0.5 ㎡, 두께 2 ㎜인 석영 유리판을 통한 투과 유량은

q_{pV} = 5.3 X 10^{-5} $mbar\ l\ s^{-1}mm\ m^{-2}bar^{-1}$

× 5.3 × 10^{-3} $mbar$ × 0.5 ㎡ / 2 ㎜

= 7 × 10^{-11} $mbar\ l\ s^{-1}$ (7×10^{-9} Pa l s^{-1})

석영은 상온에서도 헬륨에 대한 투과율이 상대적으로 높지만, 수소 투과율은 낮다.(그림 10) 그러나 SiO_2의 함량이 적을 때는 헬륨 투과율이 낮아진다. 따라서 연질 유리는 경질 유리보다 헬륨 투과율이 낮다.

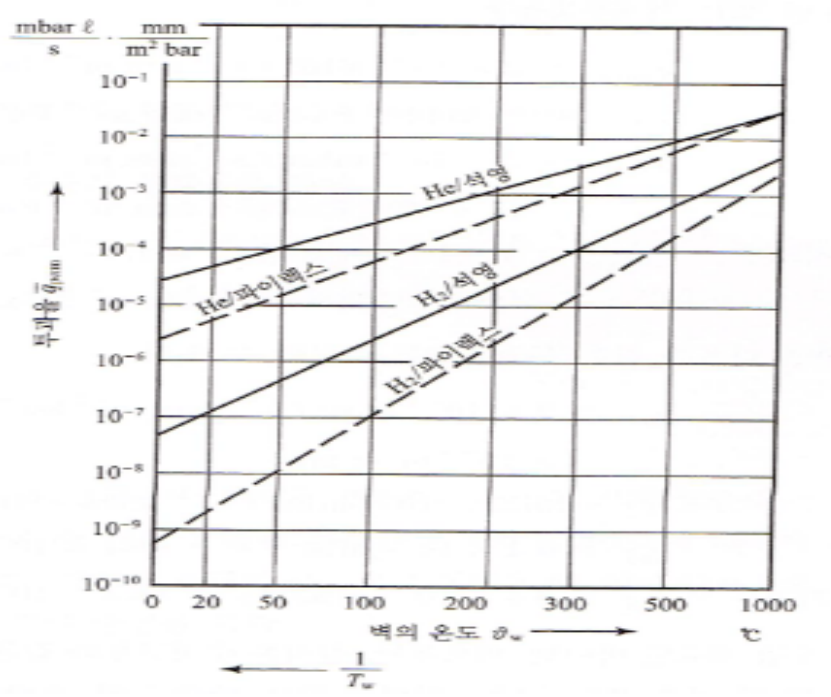


그림 13. 몇 가지 유리-기체 조합의 온도에 따른 투과율 $\bar{q}_{perm}$

플라스틱의 기체 투과율 $\bar{q}_{perm}$을 그림 11에 나타내었다. 대기압 공기에 대한 투과율은 공기 중 습도가 증가함에 따라 빠르게 증가한다. 그림 11은 상대습도 60%일 때 측정한 값이다. 그러나 플라스틱의 기체 투과율은 그 종류와 첨가물에 따라 크게 다르므로 그림에 있는 수치는 대략적인 값으로 취급하여야 한다. 오링의 기체 투과는 다음과 같이 식을 사용하여 추산할 수 있다.

그림 13에 따르면 20℃ 기체투과율은

페르부난 $\bar{q}_{perm}$ = 2 × 10^{-2} $mbar\ l\ s^{-1}mm m^{-2}bar^{-1}$

(2×10^{-5}Pa l s^{-1}㎜m^{-2}Pa^{-1})

바이턴 $\bar{q}_{perm}$ = 3 × $10^{-3} mbar\,l\,s^{-1}mm m^{-2} bar^{-1}$

(3 × 10^{-6}Pa l $s^{-1}mm m^{-2}Pa^{-1}$)

실리콘 수지고무 $\bar{q}_{perm}$ = 3 × $10^{-1} mbar\,l\,s^{-1}mm m^{-2} bar^{-1}$

(3 × 10^{-4}Pa l $s^{-1}mm m^{-2}Pa^{-1}$)

위 식을 사용하면 다음과 같은 투과유량을 추산할 수 있다.

페르부난 q_{pV} = 2 × $10^{-2} mbar\,l\,s^{-1}mm m^{-2} bar^{-1}$ × 1 bar × 2.5

× 10^{-3}㎡ / 8 ㎜

= 6.25 × $10^{-6} mbar\,l\,s^{-1}$(6.25 × 10^{-4}Pa l s^{-1})

바이턴 q_{pV} = 9.4 × $10^{-7} mbar\,l\,s^{-1}$(9.4 × 10^{-5}Pa l s^{-1})

실리콘 수지고무 q_{pV} = 9.4 × $10^{-5} mbar\,l\,s^{-1}$(9.4 × 10^{-3}Pa l s^{-1})

헬륨은 흔히 쓰는 오링 재료인 바이턴, 페르부난, 실리콘 수지고무와 같은 플라스틱을 투과하므로, 헬륨 누출시험을 할 때 이를 반드시 알고 하여야 한다. 예를 들면, 오링이 있는 부위에 헬륨이 너무 많이 가지 않도록 중의해야 할 것이다. 이 재료 중 헬륨 투과율은 바이턴이 가장 낮고 실리콘 수지고무가 가장 크다. 페르부난은 그 중간값을 가진다.

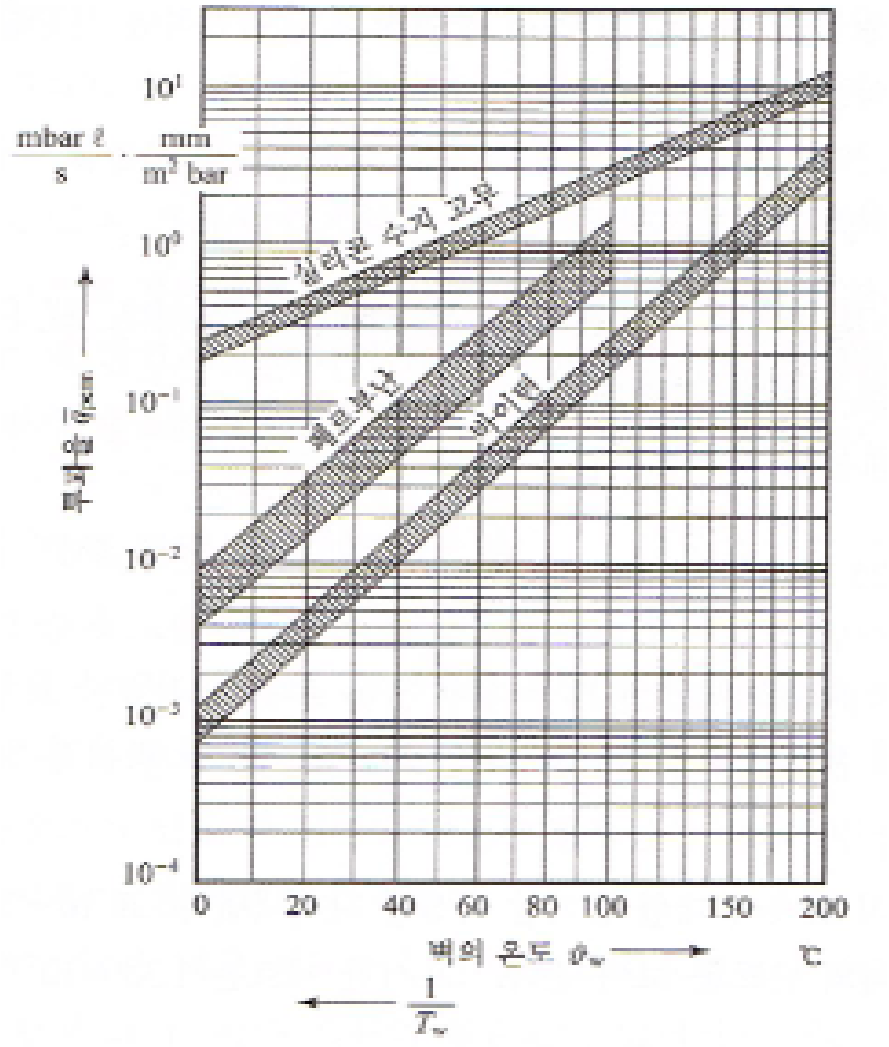


그림 14.몇가지 고무-탄성 기밀제의 온도에 따른 투과율 $\bar{q}_{perm}$

에폭시 수지의 상온 수증기 투과율은 대략

$$\bar{q}_{perm} = 10^{-1} mbar\ l\ s^{-1} mm m^{-2} bar^{-1} (10^{-4} \mathrm{Pa\ l}\ s^{-1} mm m^{-2} \mathrm{Pa}^{-1})$$

이므로 이 재료는 진공용기 내에서 원치 않는 물 분자 기체 방출을 항상 가져다 준다.

진공상태에서는 어떠한 고체라도 기체를 방출한다. 기체 방출의 주된 원천으로는 고체자체의 고유 증기압(포화 증기압), 표면에 흡착된 기체의 방출, 고체 내부에 녹아 있거나 흡수된 기체의 확산 방출이 있다.
기밀이 유지되는 시스템 내에서 어떠한 물질이라도 그에 상응하는 증기상과 열역학적인 평형상태에 있다. 평형상태의 증기압p_s는 고유 증기압 또는 포화 증기압이라 하며 온도에 따라 변한다. 포화 증기압에 대한 수식은 다음과 같은 개념을 도입하면 유도할 수 있다.

$$(j_m)_{\max} = 0.438 \sigma_c \sqrt{\frac{M_r}{T}}\, p_s(T)$$

여기서 j_m의 단위는 $\mathrm{kg} m^{-2} s^{-1}$, T는K, p_s는$mbar(10^2 Pa)$이다. M_r은 분자량, σ_c는 응축확률이다. 따라서 위의식으로부터 포화증기압은

$$p_s(T) = 2.28 \frac{1}{\sigma_c} \sqrt{\frac{M_r}{T}}\, (j_m)_{\max}$$

(5) 금속과 비금속의 포화 증기압

포화 증기압 곡선은 진공기술에서 매우 중요하며, 포화 증기압과 온도 사이의 관계를 설명해준다. 지금부터 금속과 비금속의 포화 증기압에 대하여 좀 더 자세히 설명하고자 한다.

표 13은 녹는점과 증기압 1.33×10^{-5}mbar를 가질 때의 온도를 보여준다 표시한 재료는 1.33×10^{-5}mbar에 이미 녹아있는 상태이다.
표에서 보면 녹는점과 포화 증기압 사이는 특별한 관계가 없는 것이 확실하다. 카드뮴, 아연, 마그네슘은 상대적으로 높은 증기압을(즉, 진공도를 악화시키는), 주석은 녹는점이 매우 낮다. 따라서 이 같은 금속은 진공용으로 적합하지 않다. 마찬가지로 이 금속의 합금도 진공용으로 적합하지 않다.

표 13 진공기술에서 중요한 금속의 증기압

물 질	T_E(℃)	$T_E(10^{-5})$(℃)
수은	-39	-15
카드뮴	321	145
아연	419	210
마그네슘	650	280
납	327	500
인듐	156	650
은	961	785
주석	232	850
알루미늄	659	895
구리	1,083	955
철	1,535	1,045
니켈	1,453	1,050
금	1,063	1,090
티타늄	1,690	1,327
몰리브덴	1,622	1,930
탄탈룸	2,696	2,400
텅스텐	3,382	2,570

(가) 비금속의 포화 증기압

유리, 세라믹, 그리스, 오일과 같은 비금속 물질은 화학적으로 매우 복잡한 물질이고, 여러 크기의 물질량을 가지는 분자 그룹으로 이루어져 있다. 따라서 증기압은 몇가지 분자 그룹에 대해서만 정의할 수 잇으며 현재 온도에 대한 증기압으로 정의한다. 고무-탄성체, 그리스, 수지, 오일은 진공시스템의 도달압력을 계산하고 예측하는 데 반드시 고려되어야 한다. 반대로 유리, 세라믹, 석영의 증기압은 극히 낮으므로 진공에서 그렇게 중요하지 않다.

어떤 표면이든지 공기중에 노출되면 기체 흡착층이 생기기 마련이다. 이 흡착층은 물분자. 질소, 산소 분자들로 이루어져 있다. 높은 수준의 진공도를 원할 때 이러한 흡착층은 효과적으로 제거되어야 한다. 단원자 흡착층은 대략 40Pa l $s^{-1}m^{-2}$의 기체량에 해당한다. 부피가 200 l , 내표면적이 1㎡인 진공용기가 있을 때 이만한 단원자 흡착층이 방출되면 0.2Pa의 압력을 만든다. 보통은 여러 층의 단원자 층이 벤틸할 때 생성된다.

고체 표면은 균질하지가 않다. 매우 정교하게 연마된 고체 표면이라 하더라도 그 표면적은 기하적으로 계산된 것보다 항상 크다. 아주 소량의 불순물이 있더라도 이는 진공 중 기체 방출량을 크게한다. 또한 습도가 높은 공기에 오래 노출된다면 아주 큰 기체 방출을 가져오게 된다. 종종 방출된 기체의 90% 이상이 수증기이다.

온도를 올리면 금속, 유리, 세라믹 표면에 붙어 있는 입자들의 탈착을 가속할 수 있다. 베이크 아웃할 때, 대략 온도 100℃당 약 10배 낮은 압력을 얻을 수 있다. 금속, 유리. 세라믹 표면의 견줌기체 방출률은 450℃에서 수시간 동안 베이크 아웃하면 대략 10^{-8}～10^{-10}mbar l $s^{-1}m^{-2}$(10^{-6}～10^{-8}Pa l /$s^{-1}m^{-2}$)이다.

덩어리 재료로부터 기체 확산 기술적인 관점에서 본다면 내포된 오염기체는 흡착층을 제거하는 것보다 더 어렵다. 완전하게 제거하려면 진공상태에서 높은 온도를 가해주어야 한다. 고무와 같은 재료는 고온에 노출하지 못하기 때문에 문제가 될 수 있다. 확산계수 D는 재료의 덩어리 내부로부터 나와서 방출되는 기체의 양을 결정한다. 기체 방출의 시간에 따른 기울기는 몇 가지 원리를 따르지만 여기서는 다루지 않는다. 금속에 대하여 경험으로 얻은 결과로부터 기체 방출은 시간에 반비례(t^{-1})한다고 가정할 수 있다.

플라스틱에서 압력은$t^{-1/2}$에 따라 감소하고,e^{-t/t_0}에 비례한다. 여기서 $t_0 \propto d^2 D$이고 d는 확산방향으로의 두께이다. 페르부난과 바이턴은 오랜시간 동안 $t^{-1/2}$을 따르고 실리콘 수지는 지수함수를 따른다. 기체방출은 복잡한 과정임은 분명하고 여러 변수와 전제 조건을 따른다. 따라서 기체 방출과정과 기간의 정량적인 결정을 할 때 불확실성은 분명히 염두에 두어야 한다.

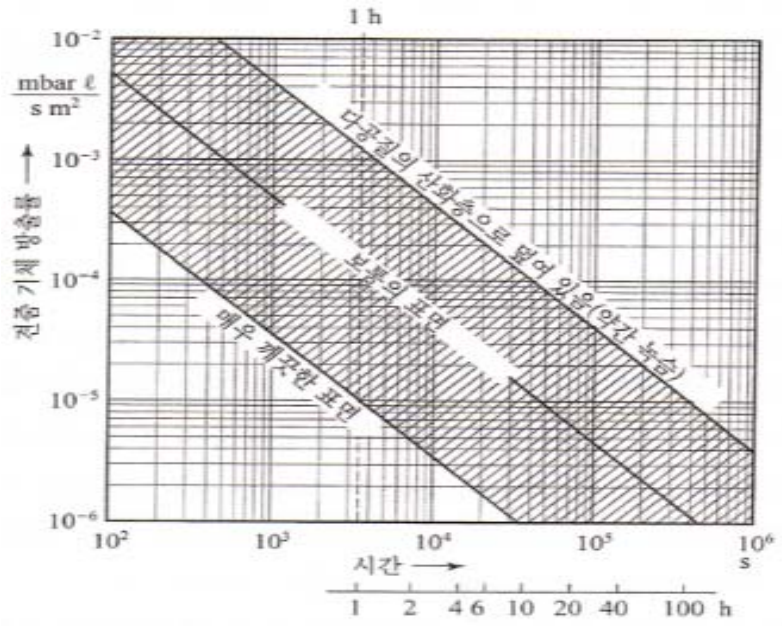


그림 15.금속의 표면 상태에 따른 상온 견줌 기체 방출률

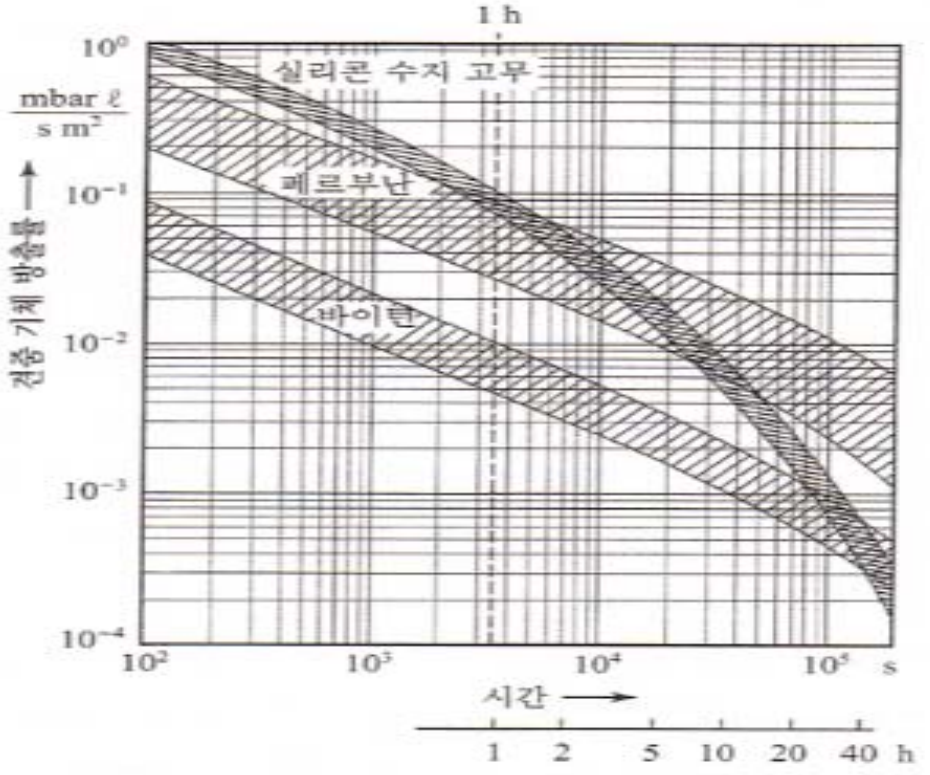


그림 16. 고무-탄성 재료의
상온 견줌 기체 방출률

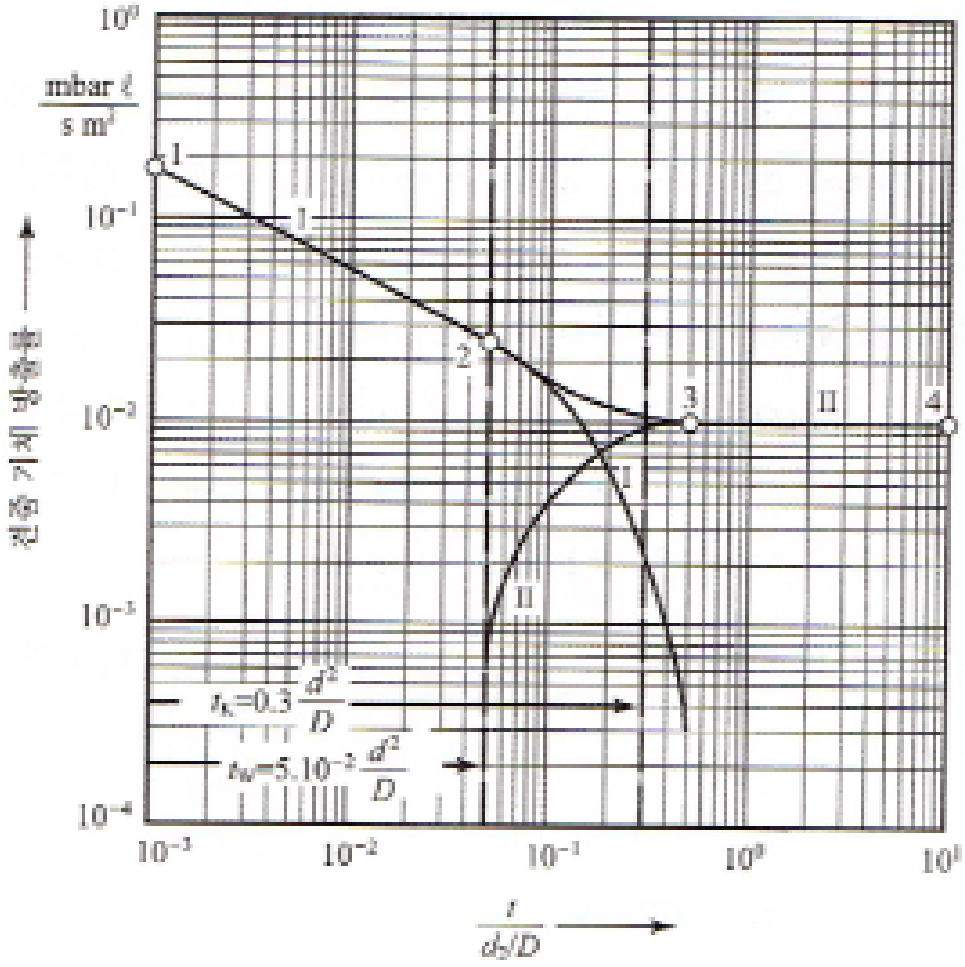


그림 17.플라스틱 기체 방출 계산

그림 14는 계산된 기체 방출 곡선(I)과 투과율 곡선(Ⅱ)을 보여준다.

계산 I 는 플라스틱 재료(바이턴)에 대한 것으로 두께가 d이고, 내부가 공기로 포과되어 있으며 양쪽 다 진공에 노출된 것으로 계산했다. 그러면

$$t_w \approx 0.05\frac{d^2}{D}(\text{SI 단위})$$

되기까지 기체 방출은 시간의 제곱근에 따라 감소한다($\sim t^{-1/2}$). $t > t_W$일 때 기체 방출은 가속되고 이때부터 지수함수를 따른다.
계산 II(그림 14)은 기체 방출이 완전히 끝난 후 플라스틱을 한쪽은 대기압에, 다른 한쪽은 진공에 노출된 것으로 가정하고 계산한 것이다. 시간이

$$t > t_K \approx 0.3\frac{d^2}{D}(\text{SI 단위})$$

되면 일정한 투과 유량이 식 $\bar{q}_{perm} = q_{pV}\frac{d}{A}\times\frac{1}{p_1 - p_2}$에 따라 플라스틱 물질을 통하여 진공 중으로흐른다.

어떤 플라스틱 재료가 기체로 포화된 후에 한쪽 면은 공기에 노출되고 다른 한쪽은 진공에 노출 되어있으며, 기체 방출은 그림 14의 곡선 1-2에 따라서 감소한다. 곡선 2-3에 다다르면 투과가 보이기 시작하며, 곡선 3-4에서 투과 유량이 진공중으로 방출되는 기체의 양을 결정한다.

몇몇 플라스틱은 높은 증기압을 가지는 물질(예를 들면, 연화제)을 함유하고 있기 때문에 진공에 사용하기가 적합하지 않다. 기체 방출은 이러한 증기압이 큰 물질이 전부 방출되기까지 계속된다. 따라서 유연제가 고갈되면 그 플라스틱 재료의 물성이 달라진다.

그림 16은 흔히 사용되는 고무의 기체 방출 특성을 보여준다. 이 그림에 사용된 시료는 지름 13㎜, 높이 6㎜ 의 봉재로 온도 20℃, 상대습도 60%의 대기에서 일주일 동안 보관한 것으로 실험했다.

중요한 플라스틱의 확산계수 D는 20℃ 에서

페르부난	$D = (1.7 - 2.5)\times 10^{-11}$ ㎡/s
바이틴	$D = (3.8 - 4.2)\times 10^{-12}$ ㎡/s
실리콘 수지고무	$D = (5.9 - 8.1)\times 10^{-10}$ ㎡/s

의 값을 가진다. 따라서 지름 d = 5㎜인 고무에 대하여 기체방출이 $t^{-1/2}$을 따르는 시간까지 즉,t_w는

페르부난	t_w = (14-20)h
바이턴	t_w = (83-91)h
실리콘 수지고무	t_w = (0.4-0.6)h

와 같이 계산된다. 기밀용으로 사용하는 경우 일정한 투과 유량을 보이기 시작하는 시간은

페르부난	t_K = (80-120)h
바이턴	t_K = (500-550)h
실리콘수지고무	t_K = (2.6-3.5)h

와 같이 계산된다.

앞에서 얻은 확산계수값은 여러종류의 재료에 대한 평균치이지만 대략적인 값으로 취급되어야 한다. 그렇지만 다음과 같은 해석은 명백하다. 실리콘 수지에서 질소의 높은 확산계수는 상대적으로 빠른 기체 방출 시간을 가져다 준다. 따라서 실리콘 수지의 기체 투과율은 높다. 플라스틱 재료의 기체 방출은 온도를 올려줌으로써 가속할 수 있는데 이는 확산계수가 온도의 함수이기 때문이다. 물론 진공 중 베이크 아웃이 효과가 가장 크지만 뜨거운 공기로도 초기 기체 방출량ㅇ을 10배 정도 감소시킬 수 있고, 이는 수증기의 방출에 기인한다. 다만 베이크 아웃 온도는 그 재료가 허용할 수 있는 온도 범위 내에서 수행됭어야 한다.

총기체 방출률에 대한 참고치 흡착된 기체 또는 내포된 기체는 진공중에서 초기에 재빨리 방출되고, 그 이후에는 시간에 따라 감소한다. 비교하기 위하여 상온에서 10시간 진공 배기한 후 측정한 기체 방출률은 다음과 같다.

금속	10^{-7}Pa l $s^{-1}cm^{-2}$(10^{-9}mbar l $s^{-1}cm^{-2}$)
엘라스토머	10^{-5}Pa l $s^{-1}cm^{-2}$(10^{-7}mbar l $s^{-1}cm^{-2}$)

테플론, 호스타플론은 예외로 그 기체 방출률은 이 두 값의 중간값을 가진다. 엘라스토머가 상대적으로 높은 기체 방출률을 가지기 때문에 진공시스템에서 가능한 한 적게 사용해야 하고, 또 시스템 구조물로 사용해서는 안된다. 만약 플렌지 이음, 밸브 기밀제와 같이 대체물이 없을 때는 특수 플라스틱이 사용된다. 그러나 특수 재룔르 쓴다고 할지라도 그 물질이 진공 중으로 노출되는 면적은 최소화해야 할 것이다.

(6) 진공 부품 및 용기

(가) 진공부품 및 용기

조립식 표준 부품의 큰 영역은 진공용기를 만드는 것이다. 이것들은 튜브. 플렌지에 용접된 튜브, 3갈래(T-pieces), 4갈래(way), 5갈래, 6갈래 부품을 포함한다. 확실히 용기는 각각의 수요자의 필요에 따라 변할 수 있다.

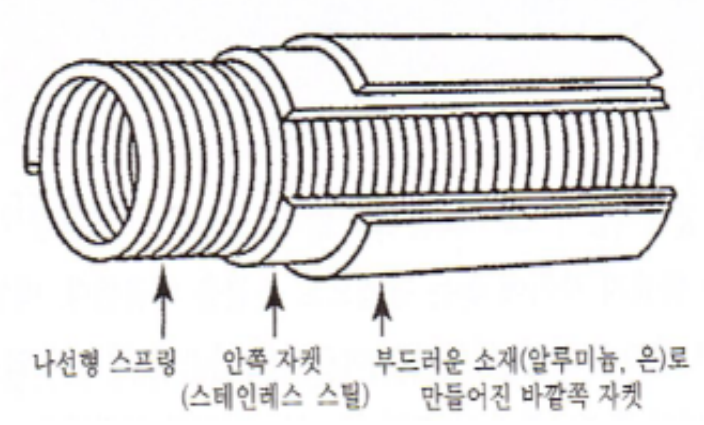


그림 18. 구분되는 이중 자켓이있는 Helicoflex 실

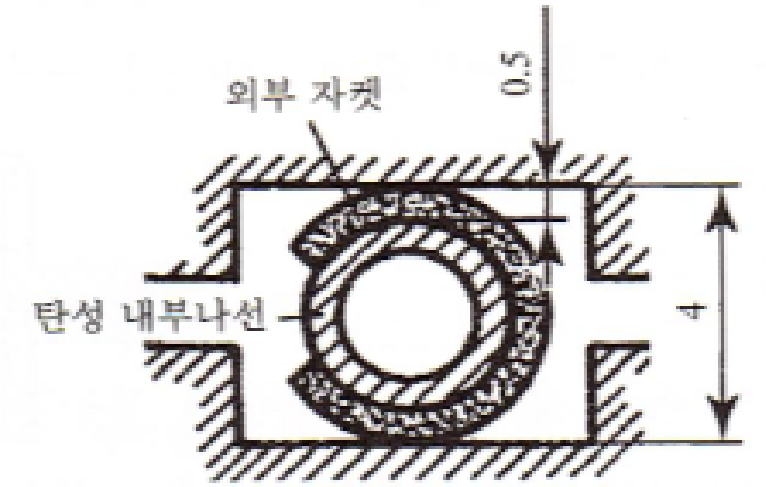


그림 19. 두 플렌지 사이에 장착된 Helicoflex 실의 장착 간격



그림 20 CF 부품들

3갈래(T-pieces), 4갈래(way), 5갈래, 6갈래 부품

90℃ 각을 가진 3, 4, 5, 6 플렌지들이 있다. 어떤 디자인은 주 몸체의 튜브 부분을 활용한다. 튜브들은 순차적으로 준비하고 용접한다. 주 몸체는 구 형태나 두 개의 반구를 붙여 만들 수도 있따. 그림 20은 전형적인 형태를 선택하여 보여준다.

(나) 진공용기

응용분야에 따라서 용기형태는 달라진다. 용기들은 알루미늄, 스테인레스 스틸 또는 특수 재료로 만들어지고, 고무재료 또는 금속으로 실링한다. 예를 들어, 일반적인 UHV 용기는 정확하게 제작되어야하고 높은 정밀도를 갖고 있는 장치를 가지고 제조한다. 그림 21은 UHV 용기를 보여준다. 일반적으로 다음 스펙을 갖도록 제조한다.

- 스테인레스 스틸, 1.4301 또는 더 높은 급
- 안쪽 용접경계면, 바깥쪽 지지층
- 바깥쪽 완전 용입용접(full penetration 용접)
- TIG 용접기술
- CF 실링면, 전자연마, 진공 열처리를 제외하고는 유리 구슬로 연마
- UHV급으로 세척
- 누설률<10^{-9}mbar l /s(10^{-7}Pa l /s)



그림 21 전형적인UHV용기

(다) 진공 용기의 디자인

진공용기는 안전하고 신뢰할 수 있어야 한다. 압력용기보다는 제조법칙, 조절 계산 규정, 재료스펙, 제조, 평가, 초기 동작법 등이 자세히 되어 있지 않다. 이러한 상황에서도 재료선택, 계산, 디자인, 생산, 평가, 첫 동작법은 최고의 기술을 따라 수행되어야 한다. 큰 연구기관(CERN, DESY, BESSY, KFA, ESRF)에서는 재료선택, 제조, 평가에 대한 스펙을 규정하였다.

자세하게는 UHV장비의 요구사항 리스트를 작성하였다. *AD2000 Code*를 기반으로 *Arbeitsge-meinschage Druckbehälter*(압력용기 관련 그룹)의 기술적 회보는 디자인과 계산에 대한 법칙들을 명시했다. 최신 버전은 www.ad-2000.de 에서 확인할 수 있다. 그들은 계산의 기초도 포함하고 있다. 예를 들면, 다음과 같다.

- B0 : 압력용기의 계산
- B3 : 곡선의 바닥면
- B6 : 외부의 초과압인 상황에서의 실린더형 용기
- B11 : 안팎으로 초과압이 있는 튜브

직사각형의 용기에 관해서는 대기압의 영향에서 용기의 벽이 변형되는 것에 흥미를 느끼고 있다. 종종 추가적인 계산이나 측정이 피로 강도나 안정성을 결정하는데 필요하다. 이것을 위해 소프트웨어나 계산 방법들이 필요하다.

(라) 운동과 기계적 에너지 전달 피드스루

진공에서의 높은 수준의 요구사항 때문에 피드스루는 벨로우즈를 사용하게 된다. 그러나 그러한 부품은 금속재질이기 때문에 가공경화가 일어나고, 노화 및 벨로우즈의 고장이 사용하면서 발생하게 된다.

(마) 선형운동 피드스루

이러한 부품들은 드라이브용 부품(나사 스핀들)또는 선형 액추에이터(actuator)로 이루어져 있다. 이 부품들은 진공에 적합하도록 나선형 벨로우즈 또는 다이아프램 벨로우즈와 용접하여 사용한다. 고진공에 사용하기 위해서는 샤프트(shaft)에 이중 오링 실을 사용해야한다. 그 실링된 부분 사이의 공간은 진공상태로 만들어야만 초고진공용으로도 사용할 수 있다. 이러한 요구들을 만족하기 위해서는 적합한 디자인과 특별한 실링기술이 필요하다.+

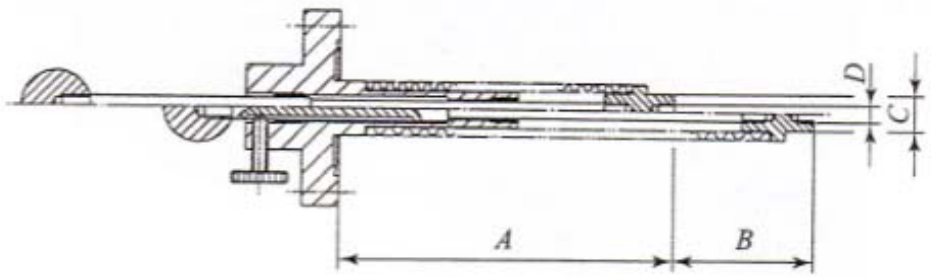


그림 22 CF 40 플렌지에 장착된 선형 피드스루

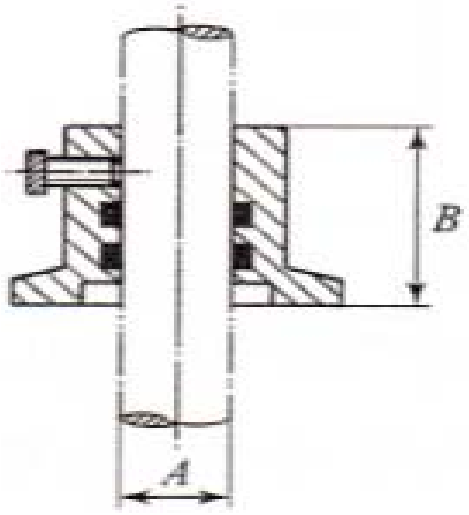


그림23.오링실링된 회전 피드스루

(바) 회전운동 피드스루

이러한 피드스루는 양쪽을 다이아프램 벨로우즈로 연결한다. 이 벨로우즈는 S 형태로 구부러진다. 이러한 디자인은 움직이는 끝부분의 회전운동이 있을 경우에 사용한다. 그런 수동 또는 기전 드라이브들이 가지고 있는 고양이꼬리(cat’s tail)피드스루는 종종 UHV용으로 사용한다. 저진공용(진공도 $>10^{-3}$Pa)에서는 샤프트에 오일 실링 이중 실을 사용한다. UHV용은 사용하는 실링기술을 차별화시키기 위해 진공을 활용한다. 회전 운동을 전달하기 위한 다른 부품은

자성드라이브를 가지고있고, 이는 스테인레스 스틸 틀을 통해 운동이 전달되거나 액상 자성입자의 실링을 활용한다.

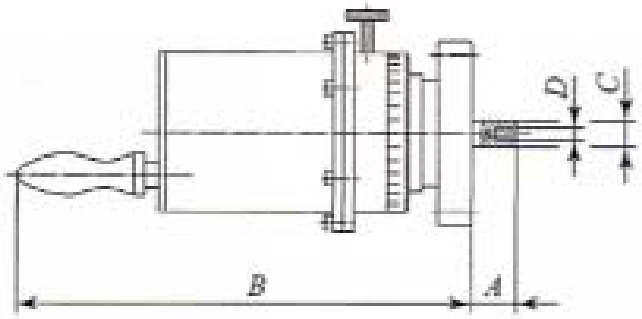


그림 24 CF 40 플렌지에 장착된정교한 회전 피드스루

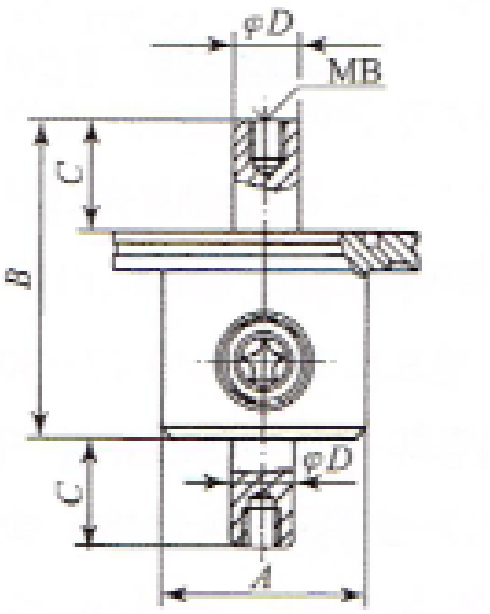


그림 25 샤프트 실로실링된 회전 피드스루



그림 26 두 개의 다른 펌프를 연결하기 위한 UHV 회전 피드스루



그림 27 Z-매니퓰레이터

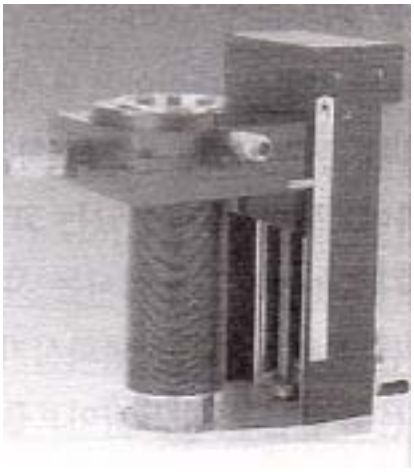


그림 28 X-Y-Z매니퓰레이터

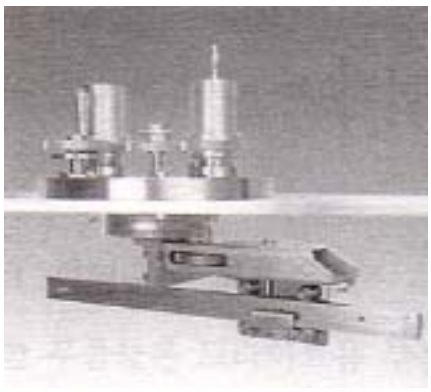


그림 29 전달시스템



그림 30 통합된 전달시스템을
가지고 있는 교환챔버

(사) 매니퓰레이터(manupulators)

현대에는 다축 운동 전달방법을 필요로한다. 연속적으로 다양한 운동을 전달하기 위해 여러 개의 선형과 원형 피드스루를 사용한다. 중앙부에서 조절하거나 여러개의 진공용기들 사이에서의 전달을 목적으로 특별한 매니퓰레이터를 개발하고 있다.

(아) 전기 피드 스루

진공용기는 금속으로 이루어져 있어서 전기 피드스루는 벽으로부터 플라스틱, 유리나 세라믹을 사용하여 절연되어야 한다.

(자) 플라스틱 피드스루

플라스틱 피드스루는 전류를 전달용 와이어가 레진 몸체 틀에 삽입되어있다. 이들은 플렌지나 스크류를 사용하여 용기와 연결한다. 이러한 형태는 80℃까지가 한계이다. 이는 낮은 기체 방출률을 요구하는 분야에는 적합하지 않다.

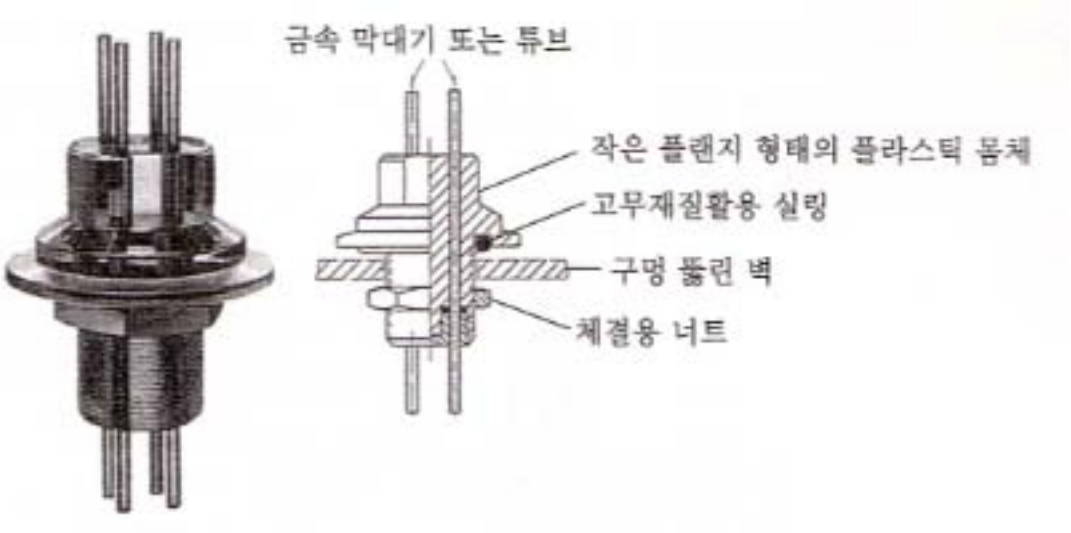


그림 31 전기에너지 전달용 플라스틱 절연 복합 피드스루

(차) 세라믹 피드스루

세라믹 절연된 피드스루는 우수한 절연 내성 및 진공을 요구하는 분야에서 사용된다. 세라믹은 알루미나를 절연물질로 사용한다. 금속물질을 표면에 코팅하고 이 몸체를 연결핀을 가지고 진공이 새지 않도록 체결한다. 이 부분들은 특별한 니켈 합금으로 제조한다. 세라믹 몸체는 열팽창 관점을 고려해서 물질을 선택해야한다. 한쪽 끝은 진공용기에 용접하고, 다른 쪽 끝은 구리 또는 니켈합금으로 만들어진 안쪽에 위치한 전기 전도체와 연결한다.

내부 전도체의 재료와 직경은 최대 허용전류를 고려해 결정한다. 전기적 세라믹 몸체의 모양 과길이, 주위 고전압 전기 강도에 의존한다. 특별한 전기 피드스루는 고전류를 주입(두꺼운 전도체, 냉각수 활용) 및 특정 목적(BNC, N, SHV, MHV 연결부품 등)으로 사용된다.

얇은 벽 금속 연결부품은 분리된 에지처리(단열 그루브 제조)된 마이크로 용접한 피드스루 플렌지나 진공용기에 용접한다. 일반적으로 그러한 피드스루는<10^{-9}mbar l /s(10^{-7}Pa l /s)수준을 만족해야 한다. 또한 250℃ 이상에서의 베이킹도 가능해야 한다.

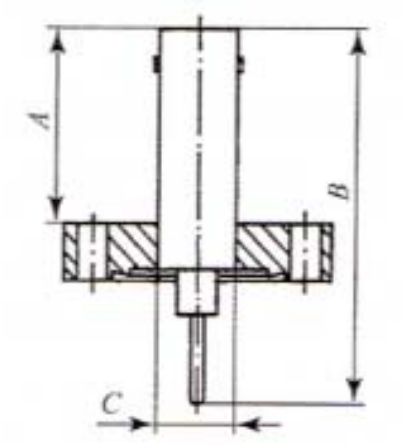


그림 32. UHV용 BNC

(파) 액체 및 기체용 피드스루

일반적인 피드스루 목적 : 응용에 따라 기체 및 액체를 전달해야 할 때가 있다. 튜브는 용기 벽이나 블라인드 플렌지에 용접을 한다. 대기압 쪽 부분에 적합한 스크류 연결은 장비와 연결해 사용한다. 진공 쪽엔 진공용 스크류 연결방법이나 진공 안쪽에 용접방식을 사용한다. 이것은 종종 복잡하게 만들고 비용 상승을 유도한다.

특수 목적의 피드스루 : 높거나 낮은 온도에서 사용할 물질을 주입하기 위해 사용되곤 한다. 전도성 플렌지와 연결부품은 높은 온도 충격이나 물리적인 부담을 견뎌야 한다. 그러한 상황에서 전도성 물질의 온도는 유지되어야 한다. 그러므로 얇은 벽 금속 튜브 또는 금속 벨로우즈는 플렌지로부터 열적으로 절연되어야 한다. 그래서 플렌지는 허용 온도로 유지되어야 하고 열적 효과도 최소화해야 한다.

(타) 투시창

투시창은 진공용기에서 전자기파를 주입하거나 진공으로부터 방출되는 복사선, 적외선, 자외선, 가시광선을 검출하기 위해 사용된다. 전형적인 활용 예는 적외선 검출기, 레이저 활용 공정, 플라스마 공정 분광법 및 열측정 등이다. 투시창의 일반적인 스펙은 진공 기밀성, 투과도, 열처리 가능여부이고, 광학적 응용을 위해 투과영역, 반사도, 광학적 품질, 복사 내성, 가시각, 직경, 반사 최소화가 가능한 웨지각(wedge angles)등이 중요하다. 간단한 응용을 위해선 아크릴 유리로 제조된 블라인드 플렌지로도 충분하다. 저진공 및 중진공, 고진공에 사용하기 위해서는 이음고리(collar)플렌지와 오링 실링된 플렌지가 포함된 표현 연마된 유리 투시창을 사용한다.

표 14에 가능한 유리 재질을 적어 놓았다. 투시창 표면에 반사방지 코팅으로 반사를 최소화 할 수 있고, 전기 전도 코팅을 한 유리는 정전기가 축척되는 것을 막을 수 있다.

UHV에 사용하기 위해서는 투시창 재질은 그림 33.에 보는 것과 같이 플렌지에 용접된 곳에 금속링으로 실링해야한다.

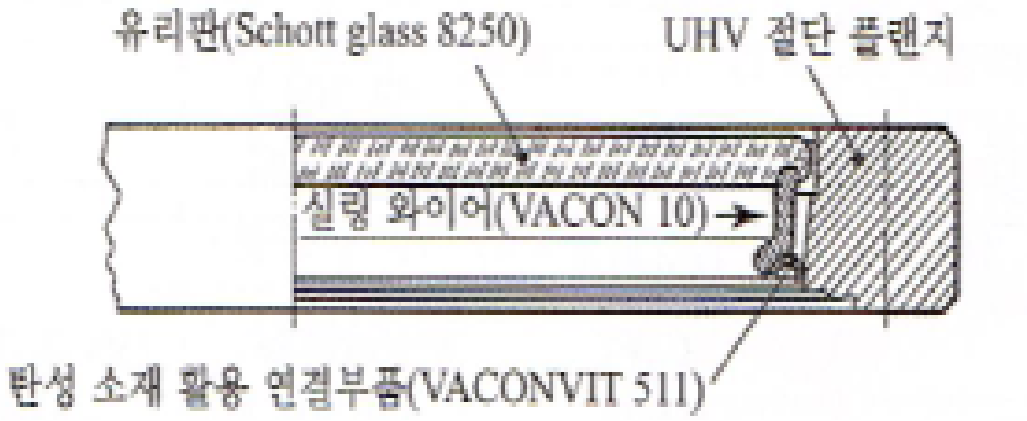


그림 33 열처리 가능한 투시창

표 14 일반적인 투시창 재료 (출처 : VACOM)

재 료	투과영역	최대 온도	최대 직경	특 성
Borosilicate glass/Kodial	400㎚～1,200㎚	350℃	153 ㎜	외관검사에 적합 저, 중, 고 폭넓은 광학 특성 보유
Quartz	250㎚～1,300㎚	>1,200℃	140 ㎜	좋은 광학적 특성, 고강도 레이저에 적합(excimer laser)
Sapphire	250㎚～4㎛	350℃	120 ㎜	분광기에 적합, 높은 열전도도
CaF_2	200㎚～9㎛	200℃	160 ㎜	매우 높은 자외선 투과, 고강도 레이저 및 적외선 분광기에 적합
BaF_2	400㎚～9㎛	200℃	160 ㎜	섬광 재료
MgF_2	120㎚～7㎛	200℃	160 ㎜	편광 광학
ZnSe	550㎚～18㎛	200℃	160 ㎜	고투과도 및 고굴절률
ZnS	1㎛～14㎛	200℃	160 ㎜	적외선 분광기에 적합

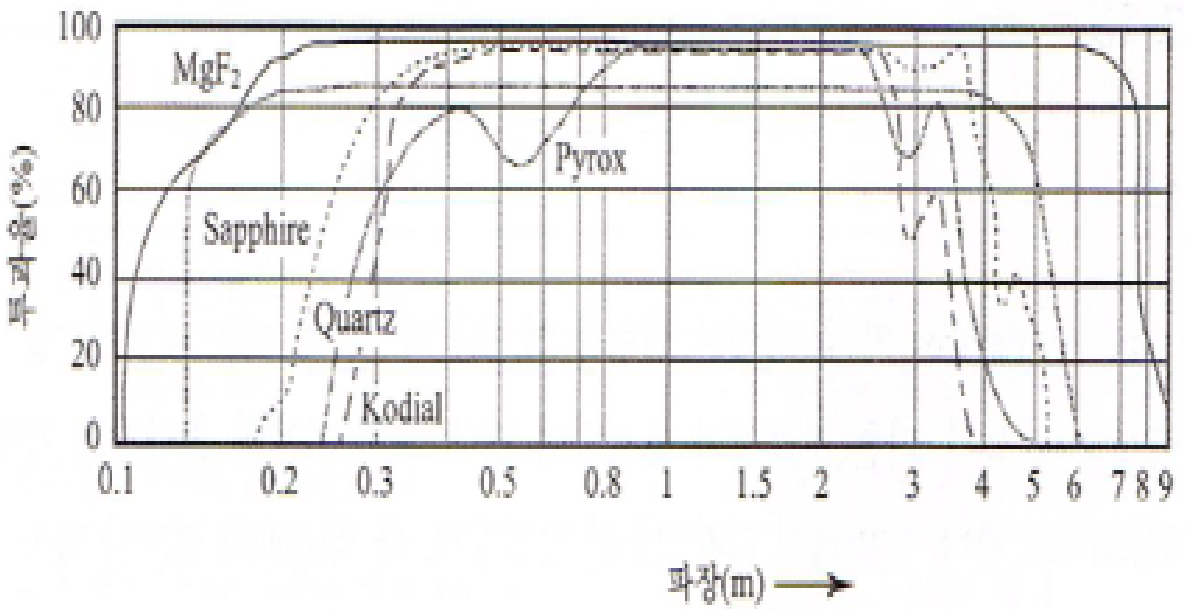


그림 34 선택된 투시창 소재의 투과도(VACOM GmbH)

표 15 투시창 및 플렌지 소재에 대한 실링기술

실(Seal)	투시창 재료	금속(ANSI)	최대 온도(℃)	누설률(Paℓ/s)
오링(O-ring)			150	$<10^{-5}$
열팽창계수 조절가능 코바 (Kovar)	보론실리케이트 퀄츠 ZnSe	SS 304 L	250	$<10^{-7}$
확산 접합 (Diffusion bonding)	퀄츠	SS 304 L, 316 LN	500	$<10^{-8}$
접착 접합 (Adhesion bonding)	사파이어 CaF_2 MgF_2 BaF_2	티타늄 SS 304 L	250(유기접합 물질) >250(무기물)	$<10^{-5}$
차등펌핑 투시창 (Differentially pumped window)	흡습성 (Hygroscopic)		150	$<10^{-6}$

(타) 진공에서의 윤활제

진공용 윤활제는 10^{-2}mbar(1 Pa)이하의 증기압을 가져야 한다. 진공도가 10^{-6}mbar(10^{-4}Pa)이상에서는 고진공용 진공 그리스나 확산 작용 유체를 사용해야 한다. 그러나 그들로는 때때로 불충분하다. 진공 중에서는 오염물질이 기화되고, 더욱이 탄화수소류들이 진공을 오염시킬 수 있다. 이러할 경우 MoS_2 기반(오일 포함되지 않음)윤활제를 사용해야 한다. 종종 청동이나 PTFE기반 슬라이딩 베어링을 사용하기도 한다. UHV에 사용하기 위해서 파우더나 플라스틱에서 가스 배출가능성을 낮은 재료를 사용해야 한다. 볼베어링은 반드시 건조한 상태에서 사용해야 한다. 되도록 세라믹 기반 또는 금 도금된 베어링을 사용한다. 이러한 접근방식이 가능하지 않다면 핵공학에서 사용한는 윤활유(ULTRATHERM200[16])를 사용해야 하고 이 제품은 10^{-7}Pa까지 가능할 수 있다.

(7) 진공 밸브

(가) 밸브 기초

차단장치(shut-off devices)의 주 작업은 실링을 하거나 라인들을 여는 것이다. 열기 위한 라인들은 펌프, 측정장치, 용기, 다른부품들과 연결되어 있다. 또한 기체를 흘리거나 기체 및 고체를 넣기 위해 사용되기도 한다. 일반적인 디자인들은 안전장비, 즉 퀵(quick)밸브나 복사 차단기능을 제공한다. 그러한 파트들의 요구사항은 상황에 따라 달라진다. ‘차단장치’ 용어와 반대되는 용어로 일반적으로 사용하는 단어는 ‘밸브’ 이다.

표 16 전형적인 밸브 분류와 요구사항

기 준	요구사항
외부 틀 및 밸브 시트들의 기밀성	누설률≤10^{-9}mbarℓ/s(10^{-7}Paℓ/s)
밸브 디스크 편압	적어도 1 bar (10^5Pa)
편압(열었을 때)	1 bar 이상(가스유입문제 발생가능하여 제한적으로 적용)
탈착률	≤5 × 10^{-12}mbarℓ/s cm^{-2}(5×10^{-10}Paℓ/scm^{-2}) 적합한 소재 사용해야 함(가상 누설이 없어야 함)
콘덕턴스	높아야 함(유체흐름에 방해되어선 안됨)
수명(첫 번째 수리)	가능한 높게
열처리 가능여부	열처리 가능한 밸브사용 최대온도, 200℃(열림), 150℃(닫힘) 드라이브 온도는 종종 80℃로 제한됨 열사이클에 변화 없어야 함 일반적인 가열 속도 : 약 50℃/h~80℃/h
안전기준	정전에서의 자동 정지기능

(나) 밸브 디자인, 크기와 요구사항

밸브는 대기압 쪽에 밸브 디스크가 움직이는 구동장치와 진공을 만들기 위한 메커니즘 작동을 위한 틀 그리고 포지션별 실링하거나 열 수 있는 밸브 디스크로 구성되어 있다. 구매 또는 밸브 디자인은 특정 응용처에 따라 달라진다. 전형적인 분류 및 요구사항은 위의 표에서 확인할 수 있다. 추가적인 요구사항은 화학적 내성, 복사파 내성, 거치위치, 여닫는 시간 등이 있다.

(다) 밸브의 분류

밸브명은 특정 디자인, 일에 따라 달라진다. 코너 밸브, 직통 밸브, 날개, 플랩(flap), 리크 밸브, 압력 밸브, 퀵밸브로 분류된다. 종류별 특성은 다음과 같다.

표 17 밸브 종류

이 름	설 명
코너밸브(Corner valve)	90℃ 각도로 튜브 채결
직통밸브(Straight-way valve)	동축으로 상호연결
슬라이딩밸브(Sliding valve)	적절한 날개(vane)움직임을 통해 통로 확보
플랩(flap)	열렸을 때 일정한 통로 유지
가스주입밸브(Gas dosing valve)	조절범위 내에서 가스유량 조절
퀵 모션 정지 밸브(Quick-action stop valve)	msec 범위
편압밸브(Differential pressure valve	특정 압력 범위에서 자동으로 위치 조정

(라) 액추에이터

구동장치는 밸브 디스크에 가해지는 최대힘에 따라 디자인 된다. 더욱이 진동에 따라 의도하지 않게 열리지 않아야 한다. 밸브는 수동으로나 외적인 힘에 의해 작동되어야 한다. 표18는 다양한 작동모드에 대해 자세하게 기술하였다.

표 18 밸브의 발동작용(actuation)모드

운전원리	부품	보조장치
수동조절 운전원리 밸브는 회전이나 움직임 운동에 의해 조절된다(토글레버(toggle lever),수동핸들).	나사축, 편심요소, 토글레저, 스트로크 곡선을 통해 운동을 전달	• 이러한 밸브들은 조절용 디바이스 가장착되어 있음 • 이러한 장치는 진동에 의해 열리는 것을 방지하기 위해 충분한 힘으로 실링 되어야 함 • 밸브에 열림과 닫힘 표시가 되어 있어야 함
외부조절 고압밸브 운전원리 압축공기 실린더에 의해 선형 운동을 만들어낸다.	선형운동은 변속장치를 통하거나 직접 밸브 디스크에 전달	• 큰 밸브의 경우 이중 운동 실린더를 가지고 있음 • 단일 운동 실린더는 작은 밸브에 적합함 • 여기에서 스프링은 닫을 때 사용하고, 끝 위치에 도달할 때 제한된 스위치가 드라이브를 닫는다. 밸브는 정전이나 공압이 낮아질 때를 대비해 디자인되었음
자석구동 운전원리 자석의 움직임으로 선형 운동을 만들어낸다.	선형운동은 변속장치를 통하거나 직접 밸브 디스크에 전달	• 작은 직경에 제한적으로 사용 • 일반적으로 유휴시간동안 닫아 놓을 때 사용 • 스프링은 닫을 때 사용하고 다른 압력에 의해 열리지 않도록 어느 정도 힘이 작용하도록 제작함 • 그래서 자석은 스프링의 힘보다는 강해야함 • 특별한 전류 특성을 제공하는 것이 보조조절을 위해 필요할 수도 있음
전동구동 운전원리 전자모토로 운점됨(기어 모터)	선형운동은 변속장치를 통하거나 직접 밸브 디스크에 전달	• 끝 위치에 도달할 때 제한된 스위치가 드라이브를 닫는다. • 일반적으로 정전에 대비하여 디자인됨

(마) 밸브 실링과 재료

밸브는 다양한 위치, 즉 피드스루, 블락, 플랜지 디스크 등에 실링이 필요하다. 표19는 상응하는 실 유형을 나타냈다. 재료는 표 20 에서 확인할 수 있다.

표 19 밸브의 실링 변종들

실링위치	실링 수단	비 고
피드스루	고무재질 실링재료	• 낮은 수준의 요구사항 • 압력>10^{-6}mbar(10^{-4}Pa)
	다이아프램 또는 스프링 벨로우즈	• 압력≤ 10^{-6}mbar(10^{-4}Pa) • 베이킹이 가능함 • 벨로우즈 경화현상에 의해 수명제한 적임
헤드(head)	고무재질 실링재료	• 압력 > 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa)
	모두 금속으로 구성	• 압력 ≤ 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa) • 베이킹 가능함
플렌지	고무재질 실링재료	• 압력 > 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa)
	모두 금속으로 구성	• 압력 ≤ 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa) • 베이킹 가능함
디스크	고무재질 실링재료	• 압력 > 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa)
	모두 금속으로 구성	• 압력 ≤ 5 × 10^{-8}mbar(5×10^{-6}Pa) • 베이킹 간으함 • 실링을 위해 큰 힘 필요함

표 20 밸브에 사용되는 재료들

위 치	재 료	비 고
틀	알루미늄	• 압력 > 10^{-7}mbar(10^{-5}Pa) • 높은 온도에서 베이킹 필요 없음 • 일반적으로 고무재질로 실링함
	스테인레스 스틸	• 압력 < 10^{-7}mbar(10^{-5}Pa) • 고무재질로 실링하거나 모두 금속으로 실링함 • 금속으로 실링할 경우 베이키 가능함
안쪽 파트	스테인레스 스틸	-

(바) 코너 밸브

코너(corner)밸브의 콘덕턴스(conductance)는 직경과 넓이는 튜브 굽힘에 따라 달라진다. 코너벨브는 수동이나 전자공기압축식 유형이 있다. 그림35는 수동식 밸브를 보여주고 그림 36은 정자공지압축식 밸로우즈형 밸브를 나타낸다. 이러한 밸브들은 NW10 크기부터 사용할 수 있다. 전자기 밸브는 더 좁은 폭으로 제한적이다. 전동밸브의 경우 특별한 응용분야에 사용된다. 드라이브는 일반적으로 열처리하기 어렵기 때문에 최대 80℃의 온도까지 가능하다. 이는 고무재질로 실링을 했기 때문이다.

금속 실 밸브는 고무재질의 실보다 높은 진공도에서 사용할 수 있다. 밸브디스크는 금으로 도금한 스테인레스 스틸판을 사용한다. 연성 때문에 금 코팅은 실링 능력을 향상 시키고 박마(galling)을 막을 수 있다. 밸브 디스크는 쉽게 교환가능하다. 코너 밸브는 열려있는 상태에서 400℃까지는 열처리가 가능한 수동 밸브이다.

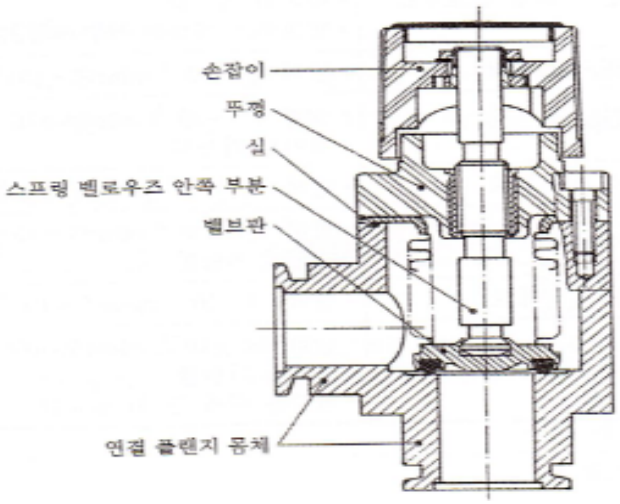


그림 35 수정조절 가능한 코너밸브

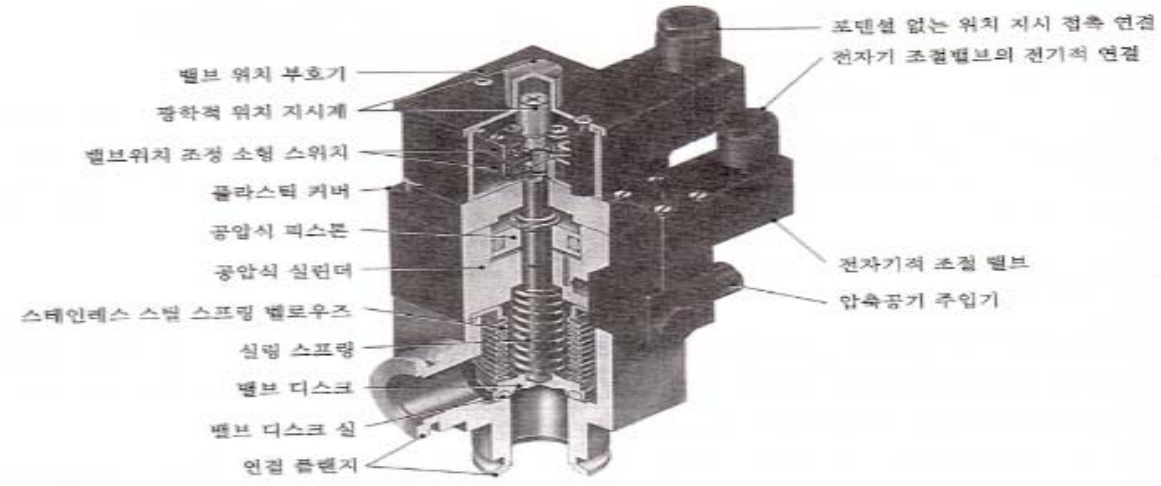


그림 36 전자공압식 코너밸브



그림 37 모두 금속으로 이루어진
코너밸브(400℃)까지 열처리 가능)

다. 진공 단열 패널의 시제품 제작 및 실험을 통한 성능 분석

(1) 개요

진공 단열 패널의 시제품 제작을 위한 설계 도면 및 시험을 통한 기본 성능을 구현이 가능한지 검토하는 것으로 하였다. 진공 단열 패널의 시제품 제작은 커튼월 구조에 사용이 가능하도록 디자인 설계를 실시하고 실험용으로는 열전도율을 측정하기 위한 구조를 채택한다.

표 21 연구 프로세스

목표	세부 목표	세부 내용
진공 펌프 및 시스템 제작	진공 펌프	• 진공 10-3torr를 제공할 수 있는 시스템 설계 • 시제품에 진공을 주입하는 설계 구축
	시스템 설계	• 진공 펌프와 챔버에 의한 재료 특성 평가 • 진공 흡입 장치의 시제품에 진공 공급 가능 • 흡입구의 다양화
진공 단열 패널	재료 특성 검토	• 진공 단열 패널의 구성 재료별에 따른 진공율 시험 • 중량 및 가스 발생이 최소화되는 재료들에 대한 시작품 제작
	시제품 제작	• 시작품 제작을 위한 도면 작성 • 시작품 제작 및 성능 분석

(2) 진공 펌프 및 시스템 구축

(가) 진공 펌프 구성 및 원리

2단의 유기밀 회전 날개형 진공 펌프를 채택하는 것으로 펌프와 진공 설비를 보호를 위한 역류방지 밸브와 가스 밸러스트 밸브를 가지고 펌프하우징, 오일케이싱, 모터하우징, 펌프베이스와 펌프 모듈 등의 구성하는 것으로 하였다. 펌프이 작동 원리는 펌프와 모터가 플래시블 커플링에 의해 연결되어 모터가 회전함에 따라 펌프의 로터가 회전한다. 로터가 회전하면 로터의 베인 홈안에 존재하는 두 개의 베인이 원심력에 의해 실린더 내면을 접촉하면서 회전한다.

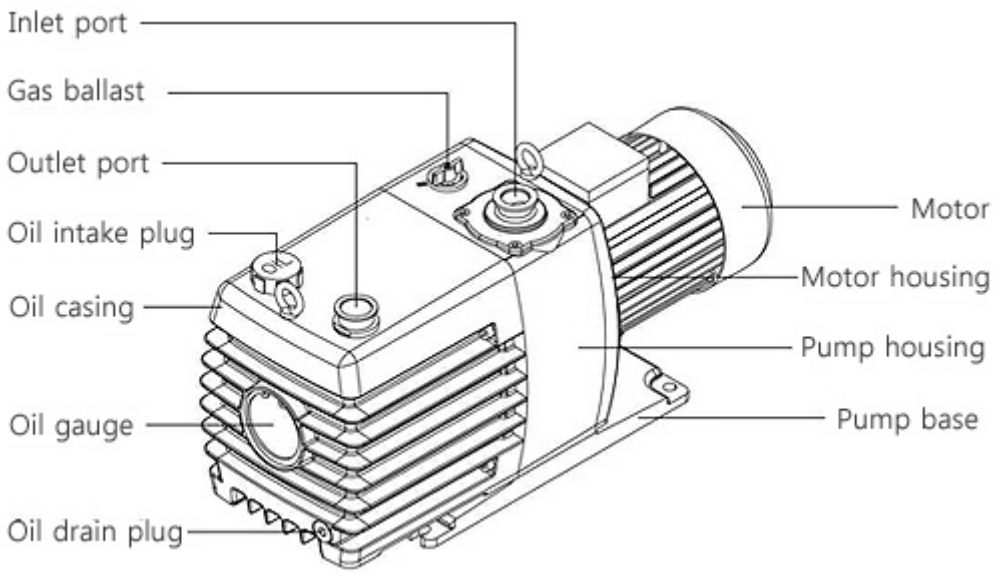


그림 38 진공 펌프의 구성도

(나) 진공 펌프의 Spec.

진공 펌프는 진공 단열의 제조하기 위하여 가장 중요한 요소로 적용되며 이에 다양한 펌프의 성능을 검토하였으며 그 중 본 연구에서는 다음과 같은 구성 요소를 갖는 펌프를 선택하여 운영하는 것으로 하였다.

표 22 펌프의 기본 사양

Description		Unit	Spec.
Displacement speed	60HZ	m3/h	36
		L/min	600
	50HZ	m3/h	30
		L/min	500
Ultimate pressure	Gas ballast C	torr	5 x 10-4
	Gas ballast I		5 x 10-3
	Gas ballast II		5 x 10-2
Water vapour tolerance		torr	25
Oil filling		L	2.3
Inlet port		DN	25KF
Outlet port		DN	25KF
Motor power		kW	0.75
Rotational speed of pump	60Hz	R.P.M	1750
	50Hz	R.P.M	1450
Noise level(without gas ballast)		dB	52
Weight		kg	41

(3) 진공 단열 패널의 시작품 제작

(가) 진공 단열 패널의 적용 부위

진공 단열 패널의 적용하는 대상은 커튼월 구조의 외단열과 금속 외장재의 일체화시키는 것을 목표로 제작하는 것이다. 이런 금속 진공 단열 패널의 적용부위는 아래 그림과 같은 부위에 적용하고 연속적화시키는 것을 목표로 한다.

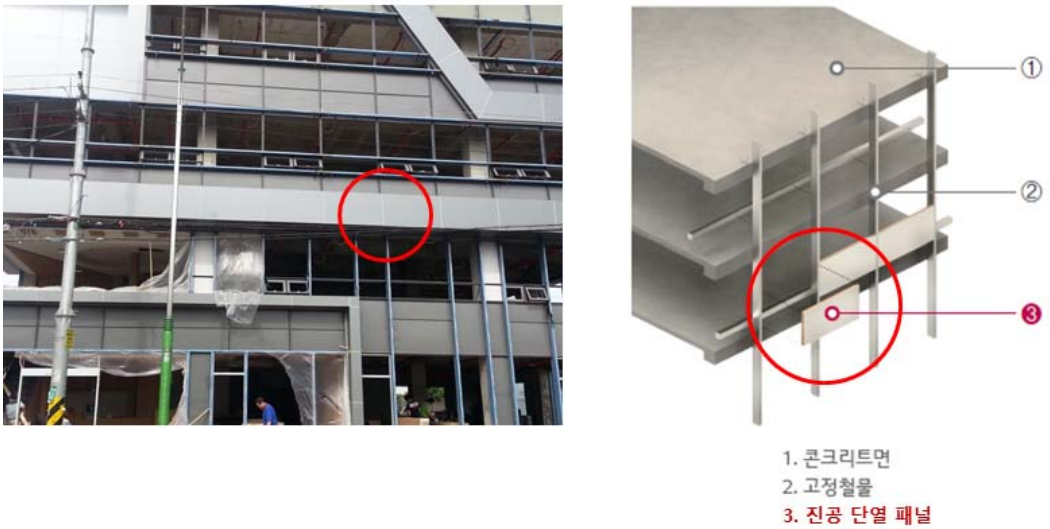


그림 39 금속 진공 패널의 적용 부위

(나) 진공 단열 패널의 설계(안)

금속 진공 단열 패널의 구조는 진공을 위한 밸브 위치, 연속성, 심재의 크기 및 구조에 따라 다양화시킬 수 있다. 이 중 다양한 구조로 300*300*50 의 크기로 시작품 제작을 위한 설계를 실시한다.

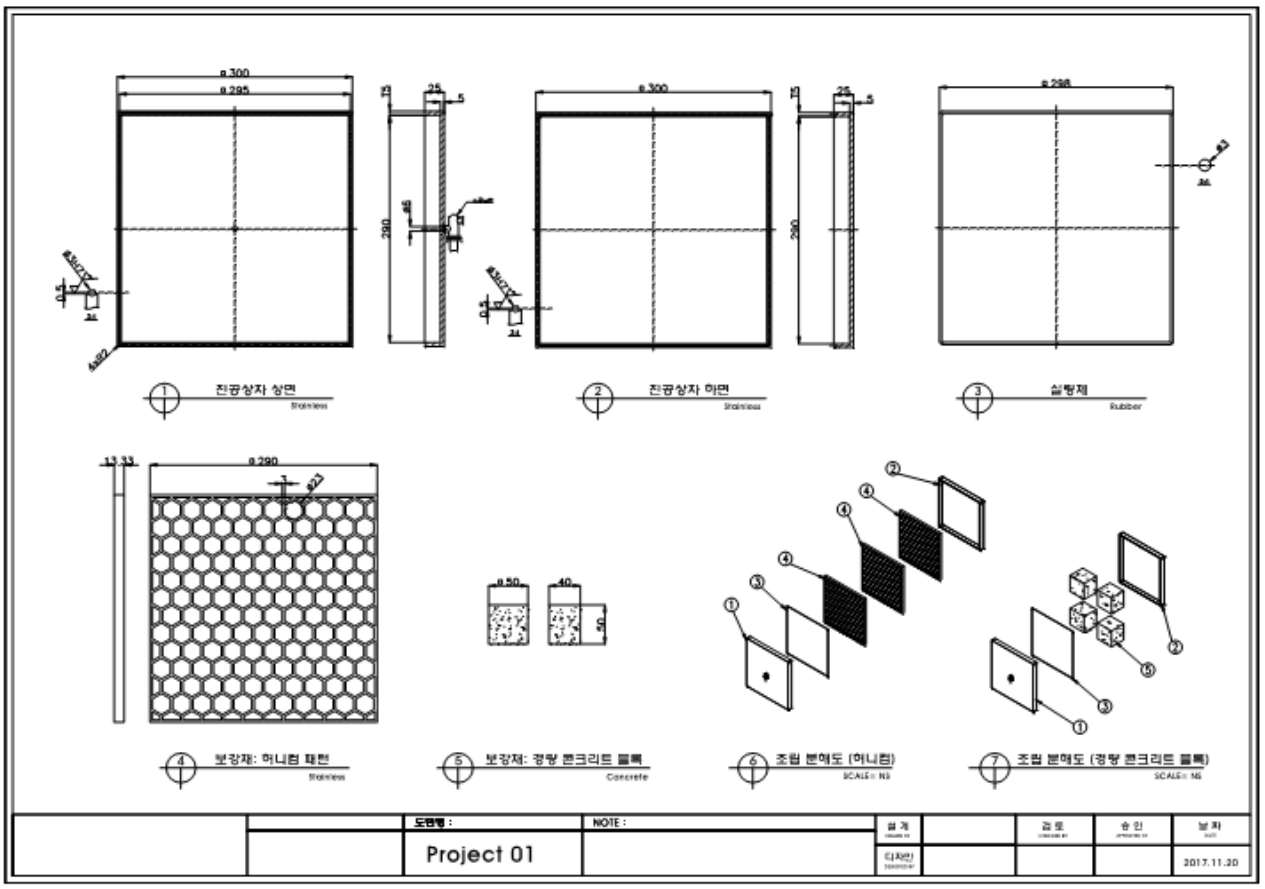


그림 40 금속 진공 패널의 구조도-1

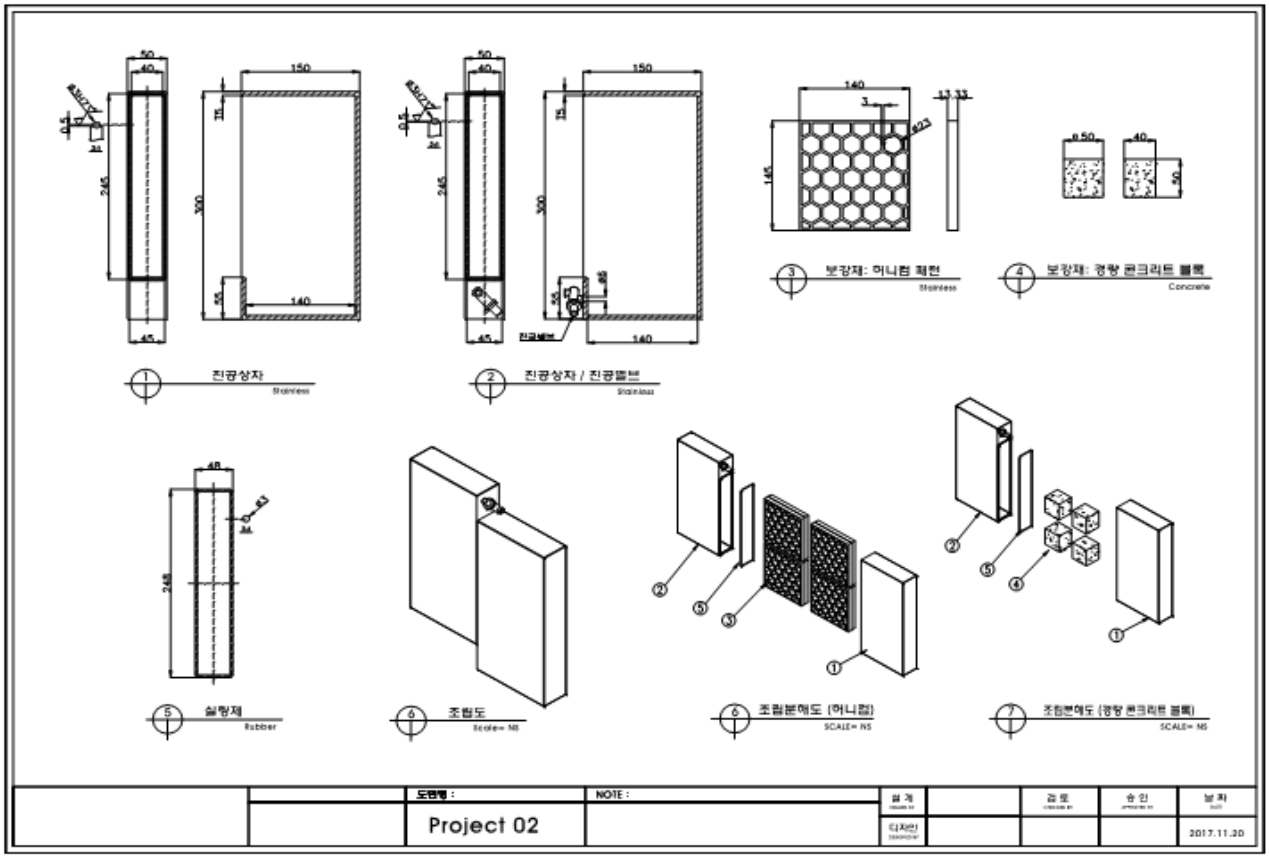


그림 41 금속 진공 패널의 구조도-2

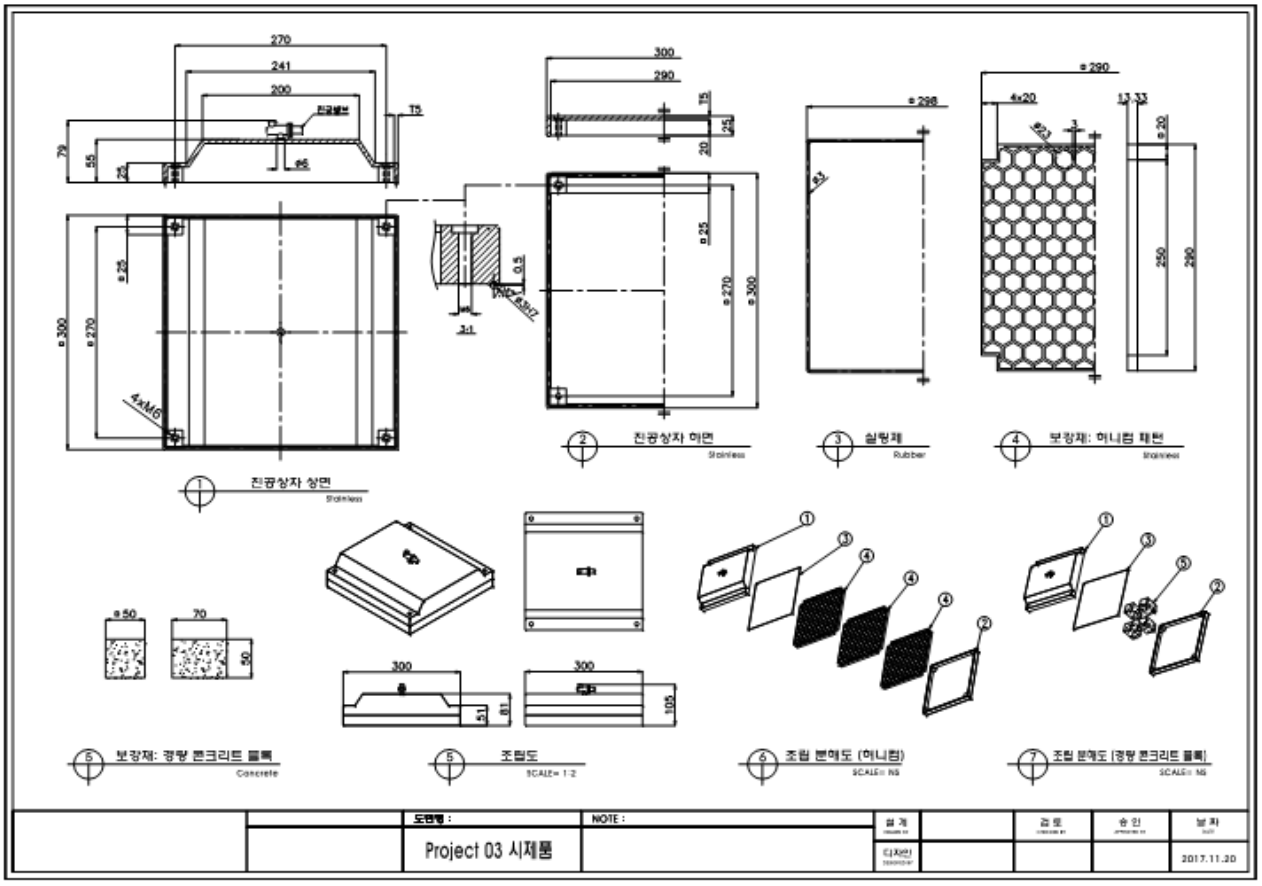


그림 42 금속 진공 패널의 구조도-3

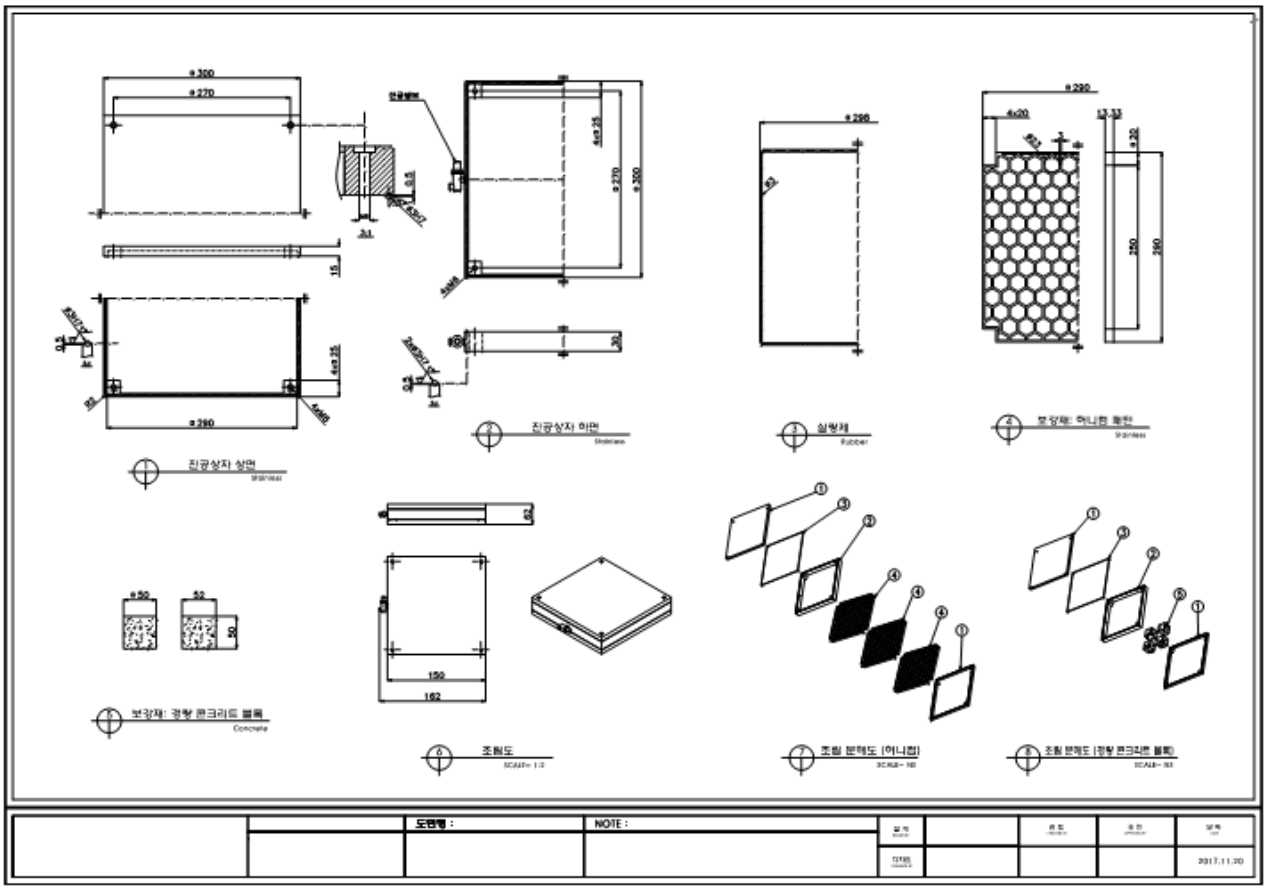


그림 43 금속 진공 패널의 구조도-4

(다) 진공 단열 패널의 시작품 제작

금속 진공 단열 패널의 설계(안)를 분석하여 금속 진공 단열 패널의 시작품을 제작하는 것으로 하였다. 제작된 시작품을 구성하는 재료들의 기본 특성을 분석, 재료들의 진공에 대한 특성을 검토하는 것으로 하였다. 시작품 제작은 심재의 구성에 따라 변경하였다.

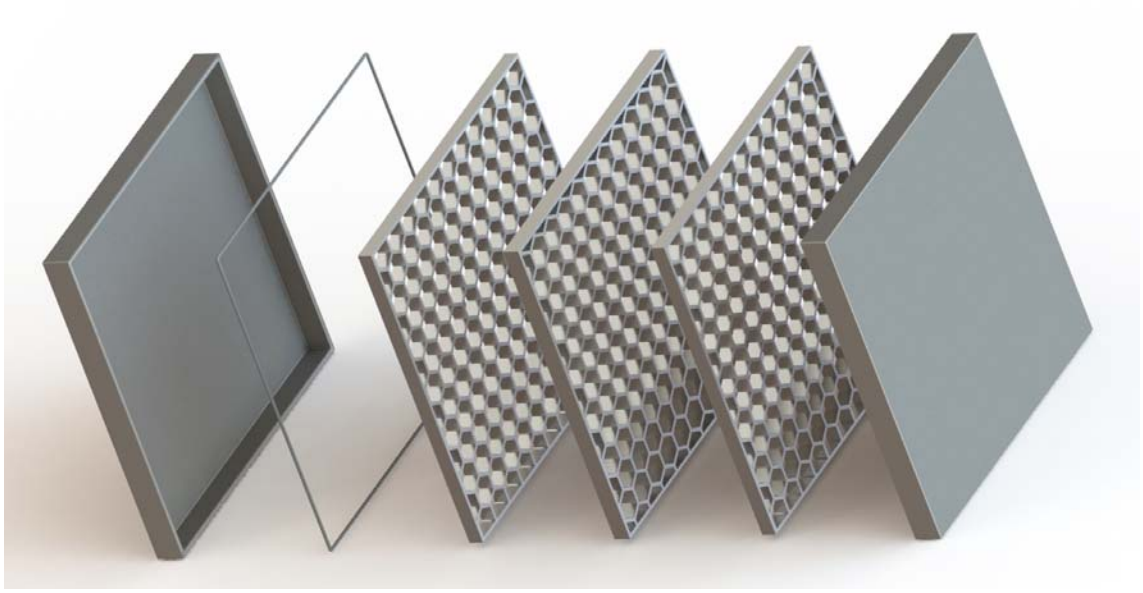


그림 44 금속 진공 패널의 심재-허니컴 구조

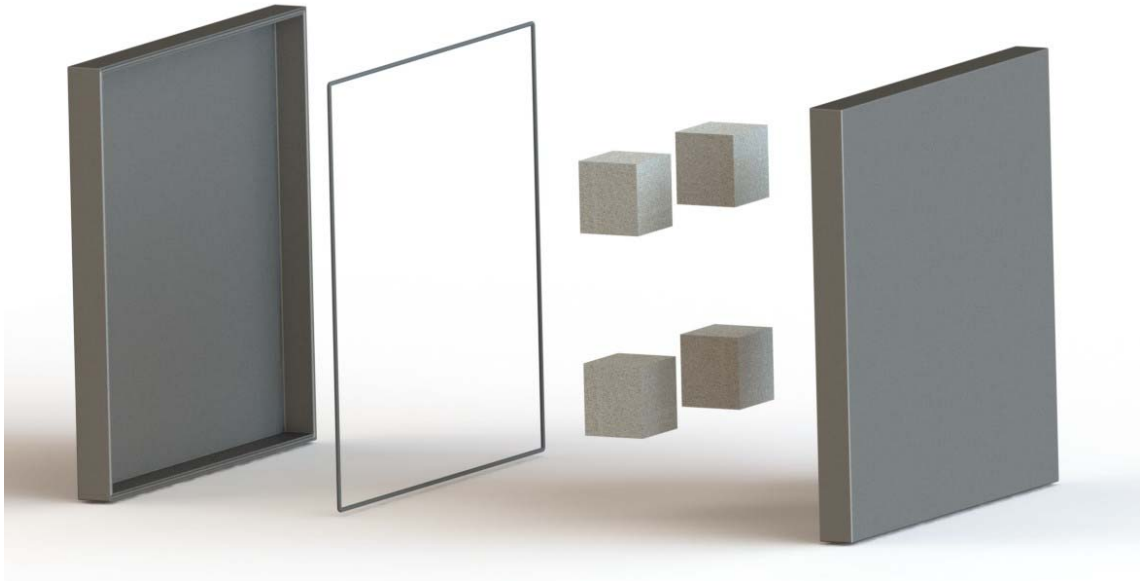


그림 45 금속 진공 패널의 심재-기포구조

(라) 금속 진공 단열 패널의 시험을 통한 성능 분석

앞의 금속 진공패널 구조에 따른 시험체를 제작 후 진공도 0.001torr에 도달한 후 실험을 진행 하였다. 사각박스형태의 진공금속패널 (300 X 300 X 5 밸브 포함)을 제작 후 진공가압 (진공도 $2.0X10^{-3}$)을 달성한 후 한국생산기술연구소에서 열전도율 측정을 하였으며, 열전도율 측정은 온도차 20℃로 설정하여 실험을 진행하였다. 위의 그림은 한국생산기술연구소에 있는 열전도율 시험 측정기기이다. 시험체 규격은 300X300㎜이며 두께는 100㎜까지 허용오차가 1%로 정밀한 측정을 할 수 있다.

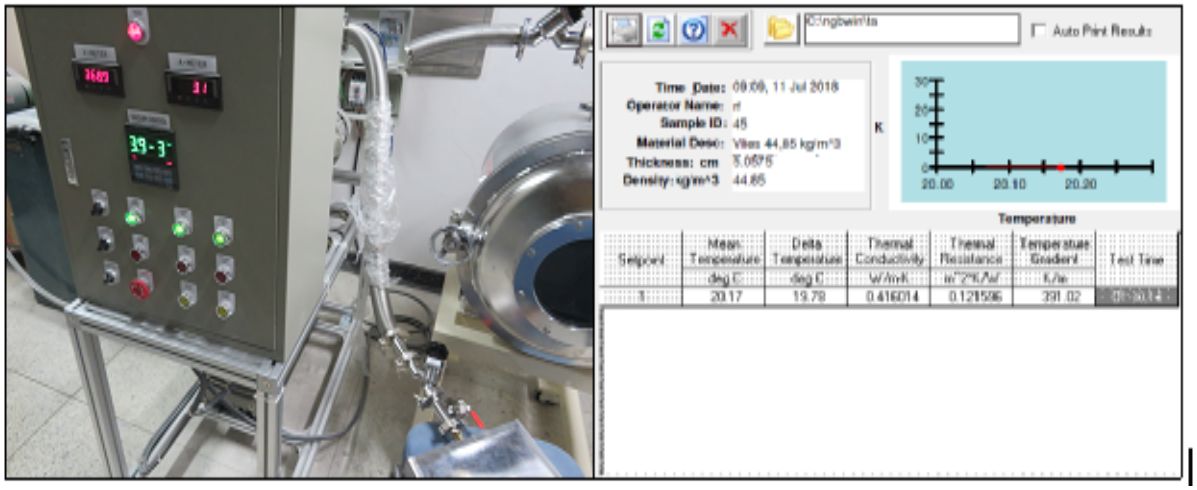


그림 46 진공 패널용 심재(기존 제품 ALC)의 열전도율 결과

금속 패널을 사각 박스형태로 용접하였으며, 용접 하기 전 심재(ALC블록)를 넣어 제작하였다. 제작 후 진공가압을 실시하였으며, 진공도달시간은 약 6시간 소요되였다. 진공도 3.5 X 10^{-3}을 도달하였으며, 한국생산기술연구원에 시험을 맡겨 열전도율을 측정였다. 열전도율 측정 시간은 약 4시간 소요되었으며, 측정 결과 0.4 W/mK로 매우 높은 수치로 나타났다.



그림 47 진공 패널용 심재(기포콘크리트)의 열전도율 결과

위와 같은 실험으로 심재(기포콘크리트)를 넣어 제작하였다. 제작 후 진공가압을 실시하였으며, 진공도달시간은 약 8시간 소요되었다. 진공도 3.8 X 10^{-3}에 도달하였으며, 열전도율을 측정하였다. 열전도율 측정 시간은 약 5시간 소요되었으며, 측정 결과 0.3 W/mK로 나타났다.

진공사각박스패널 실험 결과 열전도율이 높게 측정되었으며, 이 이유는 금속패널을 사각박스형태로 제작함으로써 진공 열전도율측정이 아닌 금속패널 즉 금속 자재 자체의 열전도율을 측정한 것의 결과로 나타난 것으로 판단된다. 따라서, 금속패널을 외장재로 사용할 겨우 붙은 사각박스형태가 아닌 금속자재가 떨어져 있으며 중간에 심재와 진공을 막을수 있는 밀폐재가 필요하다는 결론을 도출하였다. 추후에 금속외장재, 심재, 밀폐재를 사용한 패널을 제작하여 열전도율을 측정하고자 한다.

라. 금속 진공 단열 패널의 외피인 금속재료를 가스발생량 평가 및 내구성

(1) 개요

금속 진공 단열 패널의 외피를 구성하는 금속 재료는 외부면은 외기 환경에 노출되나 내부면은 진공의 면을 구성하고 있다. 이런 금속 재료들이 진공상태를 유지할 경우 가스가 발생될 경우 금속재질의 중량 변화, 부식, 면의 불균일성 등이 발생될 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 금속 진공 단열 패널의 금속 재료에 대한 진공 상태의 가스 발생량을 측정하는 것으로 하였다. 측정 방법으로는 금속 판재를 이용하여 진공 전 후의 중량 변화를 측정하는 것으로 하였다. 또한 금속 재료들의 내구성에 대한 평가를 진행하여 설치 후의 유지 관리의 편이성을 갖는 것으로 하였다.

(2) 실험 계획

커튼월의 외관재질로 많이 사용하는 종류를 선정하였으며, 위의 표 중에 사용하지 않는 금속종류는 제외하고 사용을 하였다. SUS(스테인레스 스틸)의 경우는 STS304, STS316 두 종류를 선정하였으며, 두께는 2, 3T로 선정하였다. 알루미늄 A1050, A3003, A5052종류로 선정하였으며, 두께는 2, 3T로 선정하였다. 스틸은 SS400으로 2T, 3T, 4T로 선정하여 측정을 하고자 하였다. 측정 방법은 그림과 같은 진공챔버를 이용하였으며, 가스배출량 실험 전 진공챔버의 안정화를 위하여 진공도를 10^{-3}torr로 맞춘 후 6시간 가량 작동하여 실험 전 조건을 맞추고 실험을 진행하였다.

표 23 대상 금속 재료의 종류

구분	종류	두께	규격(cm)	비고
sus	STS302 (Austenite계)	2T,3T	30X30	평판
	STS304 (Austenite계)	2T,3T	30X30	평판
	STS304N1,N2 (Austenite계)	2T,3T	30X30	평판
	STS316 (Austenite계)	2T,3T	30X30	평판
	STS301L (Austenite계)	2T,3T	30X30	평판
알루미늄	A1050 (주로많이사용)	2T,3T	30X30	평판
	A3003 (주로많이사용)	2T,3T	30X30	평판
	A5052	2T,3T	30X30	평판
스틸	SS400	2T,3T,4T	30X30	평판
	A36	2T,3T,4T	30X30	평판

또한 실험 전의 금속패널 무게와 진공도 10^{-3}torr도달 후 무게를 측정하여 무게변화를 통해 가스배출량을 산정하였으며, 진공도달시간도 측정하여 진공금속패널의 최적 재료를 선정하고자 하였다. 실험 전의 금속패널 무게는 다음과 같으며 3개의 시료를 평균 낸 값이다.



그림 48 진공챔버

(3) 실험 결과

금속패널 진공도달시간 측정 결과 알루미늄이 약 7~8분 가량 소요되는 것으로 확인 되었으며, 다른 재질에 비해 가장 시간이 적게 소요된 것을 확인 하였다. 또한, 실험 전 후 무게변화 결과로는 모든 재질에서 유사하게 0.03g정도 변화한 것을 확인 하였다. 이 무게는 적은 양으로써, 가스배출량이 없다고 판단된다. 하지만 열전도율 측면에서 보면 알루미늄의 경우 열전도율이 가장 높으며, 스테인리스 스틸이 가장 열전도율이 적다. 진공도달시간은 알루미늄과 스테인리스 스틸을 비교하였을 때 약 1~2분가량 차이가 나며 효율을 보았을 때 스테인리스 스틸을 써도 무관하다고 판단한다. 또한 진공패널 제작 시에 진공압에 의해 휨 현상이 일어나 그에 따른 두께 선정도 필요하다.

표 24 알루미늄 및 스틸 진공 전후 무게 및 도달 시간

품 종	두 께	진공 전 무게(g)	진공 후 무게(g)	진공도달시간(sec)
A 1050	2T	469.5	469.4	511.8
A 1050	3T	717.8	717.8	616.1
A 3003	2T	473.1	473.0	448.6
A 3003	3T	713.7	713.7	476.1
A 5052	2T	468.3	468.3	543.7
A 5052	3T	699.0	699.0	493.7
SS 400	2T	1329.2	1329.2	608.3
SS 400	3T	2007.1	2007.1	638.3
SS 400	4T	2669.5	2669.5	680.5

표 25 STS(스테인레스 스틸) 진공 전후 무게 및 도달 시간

품 종	두 께	진공 전 무게(g)	진공 후 무게(g)	진공도달시간(sec)
STS 304	2T	1352.4	1352.4	523.05
STS 304	3T	2017.7	2017.7	625.7
STS 316	2T	1382.5	1382.5	548.9
STS 316	3T	2075.9	2075.8	635.6

마. 밀폐재의 종류에 따른 부착강도 융착 부위 검토 및 평가

(1) 개요

금속 진공 패널의 두 금속판의 연결하는 밀폐재는 폴리머 수지로 두 금속판을 연결하고 진공을 유지시켜 주는 밀폐재를 이용하는 것이다. 밀폐재의 종류로는 에폭시 및 폴리머 수지를 사용하고자 하였으며, 그에 따른 부착강도 및 인장강도에 관해 실험을 진행 하였다.

(2) 에폭시 수지에 대한 성능 검토

① 실험 계획

에폭시는 국내에서 유통되고 있는 3종류로 석재, 앙카, 타일에 적용되는 에폭시 수지로서 주제와 경화제로 구성된 재료를 사용한다. 또한 금속 재질을 결합시켜 줄수 있는 접착재로 사용되고 있는 본드에 대해서도 시험을 진행하는 것으로 하였다.

표 26 에폭시 수지의 종류에 대한 특성

구분	에픽골로하이드린 레진	탄산칼슘	기타	비고
석재용 에폭시 수지	35-40%	60-65%	0.5-1.0	경화시간. 기타
앙카용 에폭시 수지	35-40%	60-65%	0.5-1.0	
타일용 에폭시 수지	35-40%	60-65%	0.5-1.0	
구분	노말부틸그리시딜에테르	에필로로하이드린비스페놀수지		
에폭시 본드	5-15	85-95		

② 실험결과

금속 100㎜×100㎜×5㎜ 크기에 에폭시(주제, 경화제를 혼합한)를 발라주어 시험의뢰를 하였다. 시험 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다. 측정결과 달성치인 부착강도 1MPa이상, 인장강도 20MPa이상인 에폭시는 에폭시 본드이며, 이를 활용하여 밀폐재로 사용하였다. 또한 패널의 밀폐재로 사용되는 폴리머 수지 중 수축 변화가 적은 불포화 폴리에스테르수지의 충전재로 사용되는 탄산칼슘을 산업부산물인 니켈 슬래그 분말을 사용하여 실험을 실시하였다.

표 27 에폭시 종류별 부착 강도 및 인장 강도 측정결과

구분	부착 강도(㎫)	인장 강도(㎫)
타일용 에폭시	12.4	8.8
석재용 에폭시	11.4	4.5
앙카용 에폭시	10.1	4.6
에폭시 본드	5.9	22.3

위 실험을 통하여 1차년도 연구 달성 목표인 부착강도 ㎫, 인장강도 ㎫를 달성한 재료는 에폭시 본드 이다. 하지만 실험에서 중요한 것은 인장강도 보단 부착강도가 주요하여, 모든 재료의 에폭시가 사용가능하다고 판단된다.

(3) 폴리머 수지를 사용한 성능 검토

① 실험 계획

본 실험의 실험 계획은 폴리머 모르타르의 탄산칼슘의 원가절감을 위해 부산물인 페로니켈 슬래그 분말 대체율을 0, 25, 50, 75, 100%로 설정하였다. 폴리머 수지와 골재 및 탄산칼슘의 혼합비율은 1:1으로 고정하였다. 측정항목으로는 굳지 않은 성상에서 플로우를 경화 성상에서의 재령 7, 28일 압축 및 휨 강도를 측정하였으며, 내열수성시험 후의 압축 및 휨강도를 측정하여 시험 전의 강도와 비교 검토하였다. 또한 미세구조를 관찰하는 것으로 SEM/EDS을 실시하였다.



그림 49 시험 방법

② 실험 결과

본 플로우 결과 분말 대체율 25%의 경우 페로니켈 슬래그 분말을 사용하지 않은 Ni-0배합에 비해 높게 나타났다. Ni-50의 경우 분말을 대체하지 않은 것과 유사하게 나타났으며 분말대체율이 증가할수록 플로우가 낮게 나타났다. 이는 분말 대체율이 증가함에 따라 미세한 크기를 갖는 분말의 양이 증가하고 그로 인해 분말이 폴리머 수지를 흡착하고 이로 인해 모르타르의 점성이 증가하였기 때문으로 사료된다.

표 28 폴리머 수지 실험 결과

Mix ID	Flow(cm)	Compressive strength(㎫)		Flexural strength (㎫)		Hot water resistance test	
		7Day	28Day	7Day	28Day	Compressive strength(㎫)	Flexural strength(㎫)
Ni-0	19.5	83.97	96.28	32.92	36.09	111.64	37.03
Ni-25	20.0	86.84	99.88	31.58	36.80	111.75	36.80
Ni-50	19.5	87.19	100.31	32.67	36.98	105.13	37.10
Ni-75	19.0	93.03	107.03	33.54	36.52	108.09	36.80
Ni-100	18.5	91.25	114.63	33.28	37.48	119.56	37.90

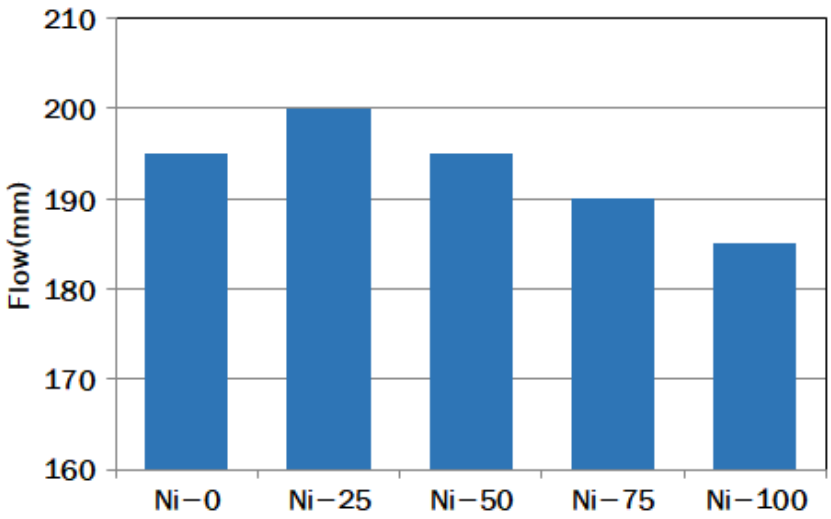


그림 50 플로우 결과

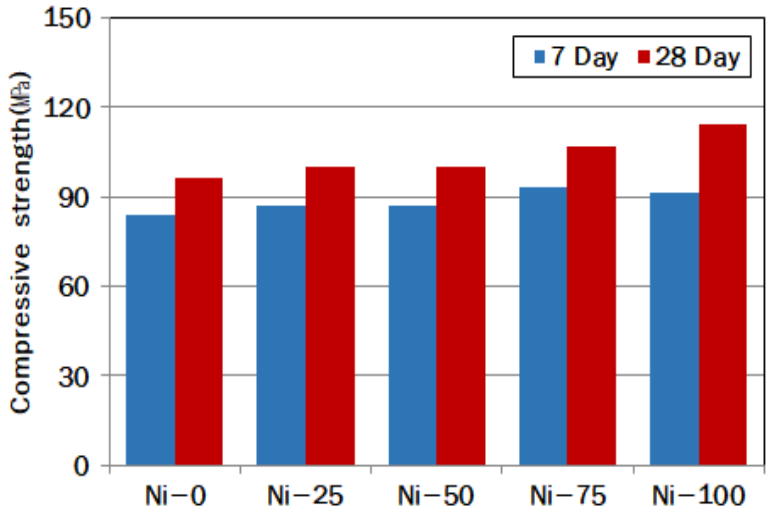


그림 51 압축강도 결과

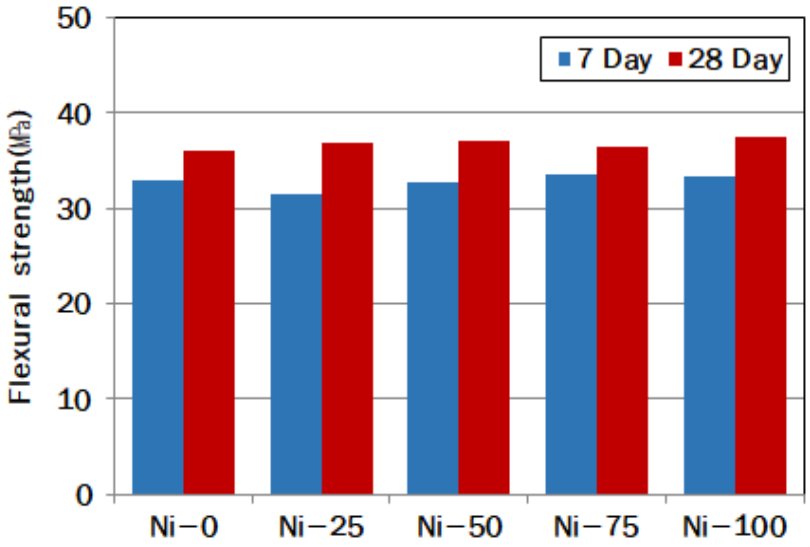


그림 52 휨강도 결과

강도특성 결과 재령 7일의 경우를 살펴보면 분말 대체율이 증가함에 따라 강도가 향상되는 것으로 나타났다. 재령 28일은 재령 7일에 비해 강도가 높게 나타났으며 특히 분말 대체율 0%에 비해 100%에서는 18MPa가 높게 나타났다. 이는 페로니켈 슬래그 분말의 분포가 탄산칼슘에 비해 다양한 크기의 형태를 가지고 있기에 높은 강도를 발현한 것으로 판단된다. 휨강도는 재령 7일에 경우 대체율 0%에 비해 대체율 25%가 강도가 저하되는 것으로 나타났으며 50%이상에서는 0%와 유사한 값을 갖는 것으로 나타났다. 재령 28일에서는 재령 7일과 유사한 경향을 보였다. 이상의 결과를 토대로 할 때 페로니켈 슬래그 분말을 대체할 경우 약 50%까지가 대체가 가능한 것으로 검토되었다.

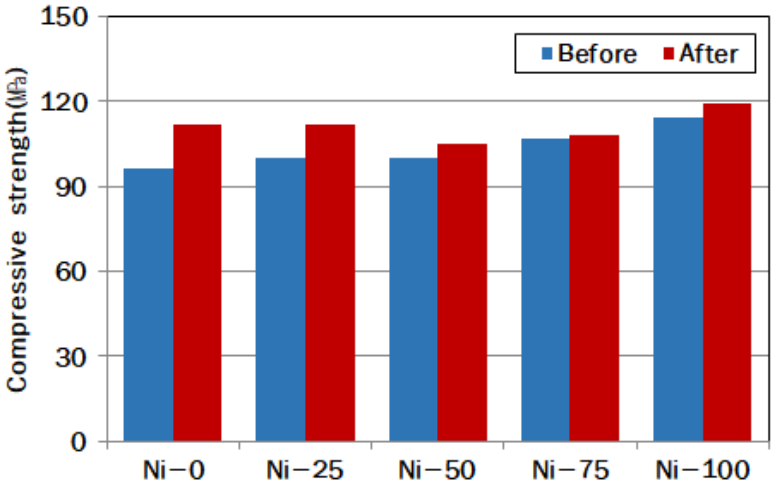


그림 53 내열수성시험 후 압축강도 결과

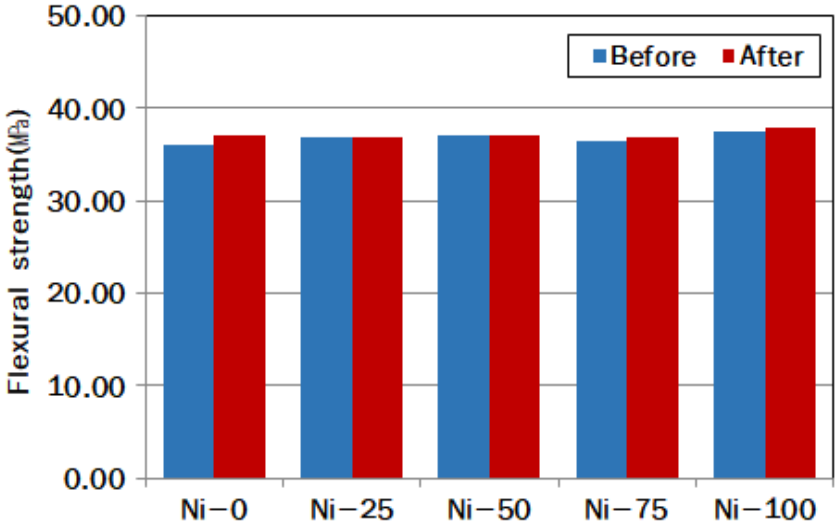


그림 54 내열수성시험 후 휨강도 결과

내열수성시험 후의 압축강도 및 휨강도 특성으론 시험 전에 비해 압축강도 및 휨강도가 향상되는 것으로 나타났다. 특히 및 휨강도가 향상되는 것으로 나타났다. 특히 분말 대체율 0%에서는 강도 향상이 압축강도에서는 5MPa이상, 휨강도는 1MPa이상으로 가장 높게 나타났다. 분말 대체율 25%는 대체율 0%와 유사하게 나타났으며 대체율 50%이상에서는 강도 발현율이 크게 나타나지 않았다. 이는 미세한 분말이 폴리머 수지를 흡착하여 폴리머 수지의 변화율을 억제한 것으로 판단된다.

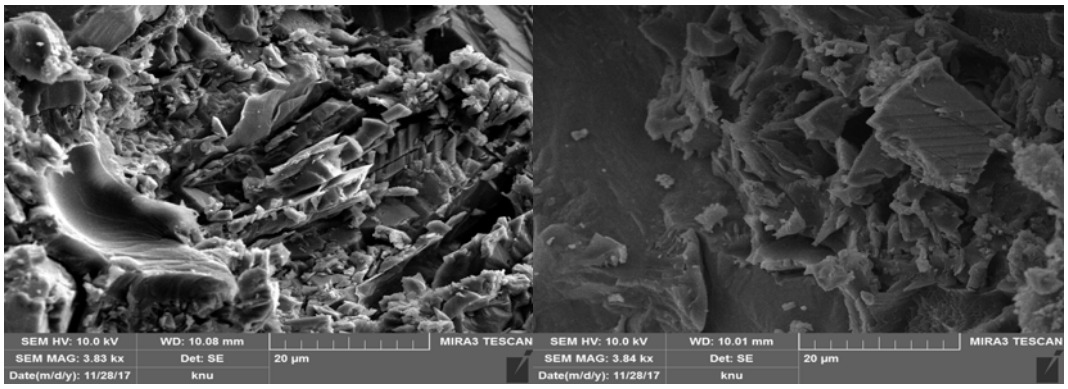


그림 55 Ni-0 sample (좌) Ni-50 sample(우) (x5000)

SEM/EDS 분석 결과로 그림 18을 보면 Ni-0 및 Ni-50 배합 시편의 SEM성상을 나타낸 것으로 Ni-0 배합의 경우 분말과 폴리머 수지가 융착되어 있지 않으나 Ni-50배합의 분말의 사이즈가 미세하여 폴리머수지와 결합이 다양하게 이루어져 융착이 이루어진 것으로 판단된다.

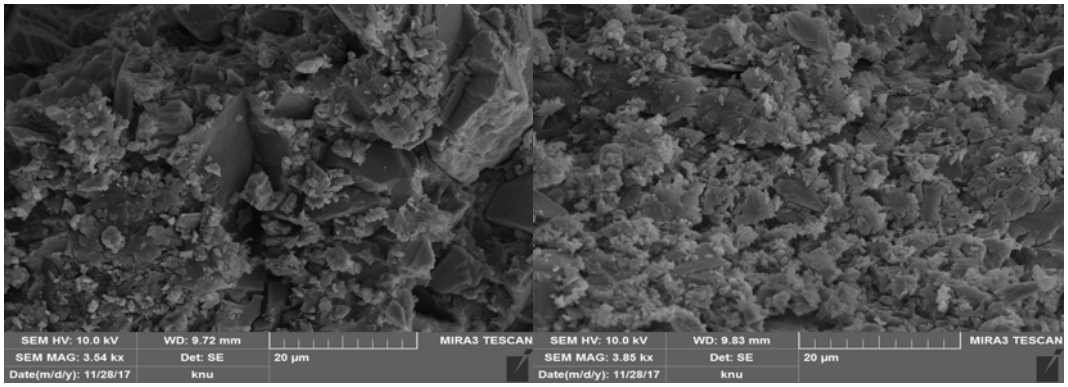


그림 56 내열수성시험 후 Ni-0 sample(좌) Ni-50 sample(우) (x5000)

그림 56은 내열수성시험을 행한 후의 SEM 사진으로 폴리머 결합재가 수축되어 있는 모양을 볼 수 있으며 특히 분말 사이로 폴리머 매트릭스가 수축되어 틈새사이를 메꾸어주어 강도가 발현된 것을 관찰할 수 있다. 이러한 이유로 Ni-0 배합에서 강도 차가 높게 나타나고 Ni-50 배합 이후에서는 강도 차가 낮게 나타난 것을 예측할 수 있다.

(4) 고무오링 종류에 대한 검토

① 실험 계획

본 실험은 고무오링 종류에 따라 진공가압실험을 통해 가스배출 유무를 확인하고자 하였다. 실험 조건은 금속패널의 가스배출 유무 실험과 동일하게 진행하였다. 고무오링의 size는 300X300㎜ 금속패널을 밀폐시키기위해, 외경 297㎜로 산정하여 실험을 진행하였다.

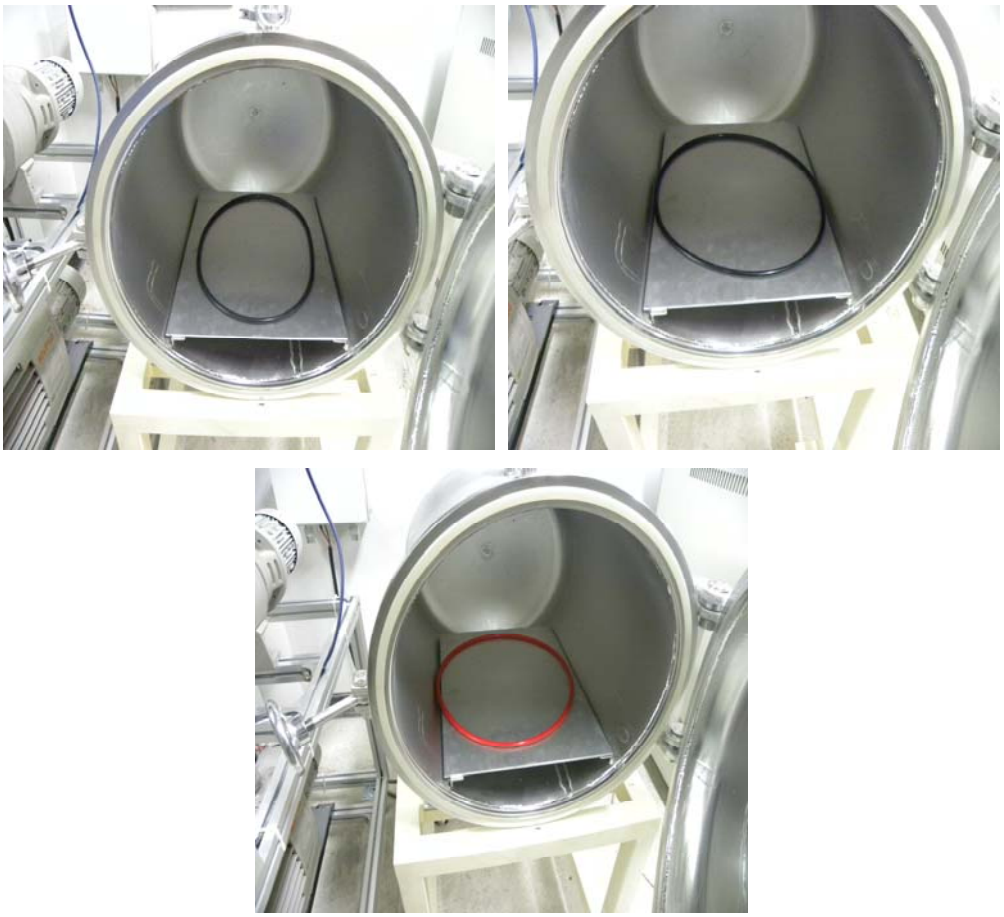


그림 57 고무오링 종류에 따른 실험

② 실험 결과

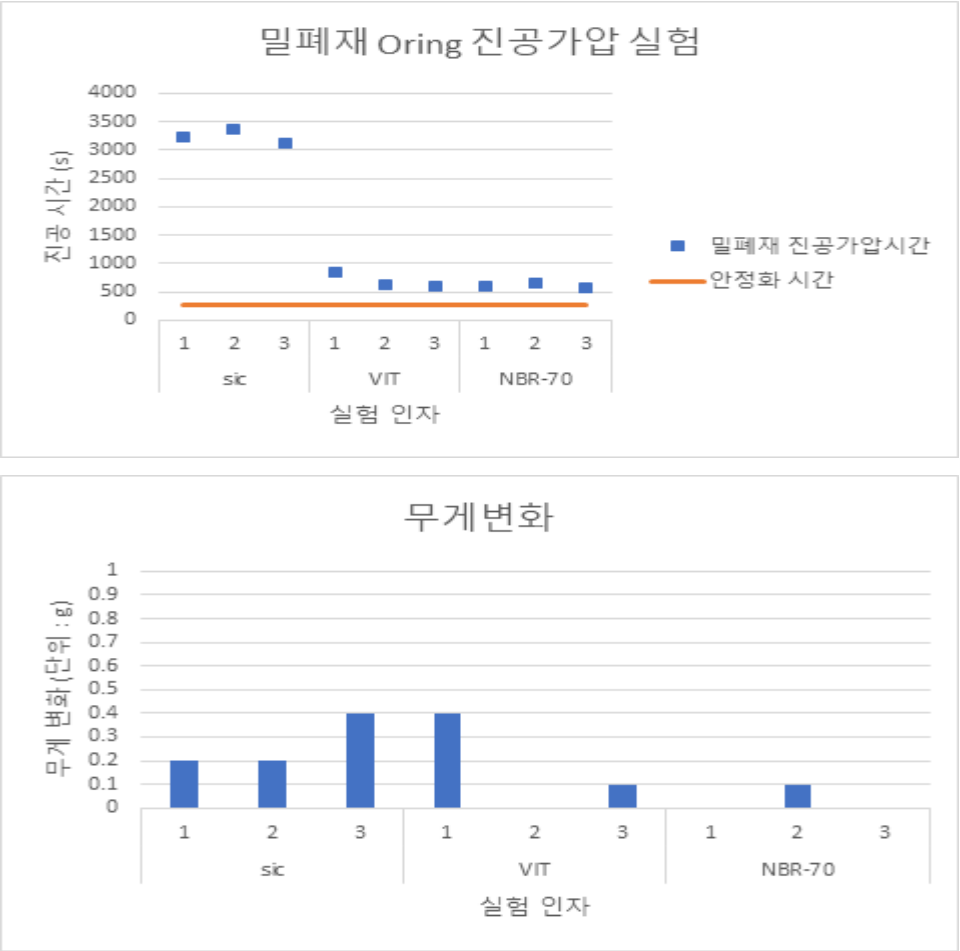


그림 58 고무오링 종류별 가스배출 유무 검토

실험측정 결과 위 그림 56과 같이 나왔으며, 실리콘(Sic)은 도달시간이 약 3300sec 소요되었으며 VIT(Viton) 및 NBR-70의 경우는 최저 550sec에서 800sec까지 걸리는 것으로 나타났다. 무게변화 역시 실리콘(Sic)가 최소 0.2, 최고 0.4g 까지 변화하는 것으로 나타났다. 하지만, 금속패널의 밀폐재로 사용할 때 절단하여 사용하여야하는 문제와 금속진공패널을 진공가압할 시 압착으로인해 고무오링의 적절한 탄성이 요구되기 때문에 진공도달시간과 관계없으며 무게변화 또한 적어 실리콘 재질을 선정하였다.

바. 금속 진공 단열 패널 내부 무기질계 심재 개발(가스 및 수분 발생유무)

(1) 개요

금속 진공 단열 패널 내부 무기질계 심재로 단열성을 갖는 경량기포콘크리트와 패널의 내부 구조를 지지하는 허니컴 구조에 대해 검토하는 것으로 하였다. 허니컴 구조를 갖는 소재는 유기계 재료로 검토하였으며 두 재료를 복합적으로 사용하는 것도 검토하는 것으로 하였다.

(2) 허니컴 구조를 갖는 유기계 재료에 대한 검토

유기계 재료로 PP, PC, PVC, AC, PE, PTFE 총 6종류의 재질을 선정하여 실험을 진행 하였다. 또한, 진공가압시에 금속패널의 휨 현상을 막기 위하여 플라스틱 구조는 허니컴 구조형식을 사용하여 제작하고자 하였다.

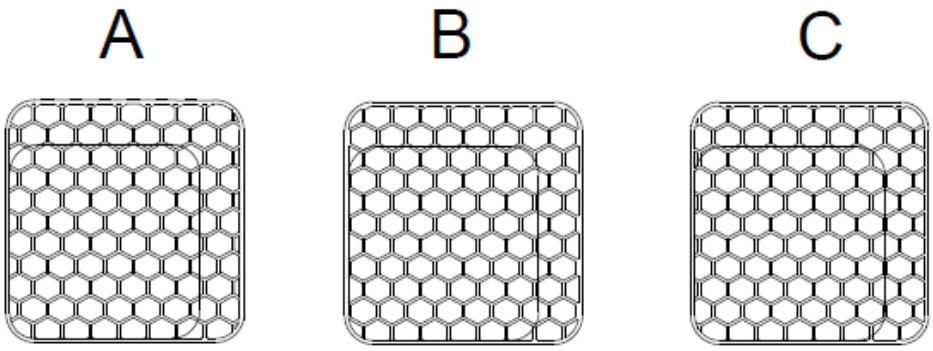


그림 59 심재(플라스틱)의 허니컴 구조

① 실험 계획

본 플라스틱의 두께는 3T이며 250 X 250 ㎜제작하여 진공금속패널 내부의 심재로 사용하였다. 또한, 허니컴 구조가 서로 엇갈리는 형식으로 제작하여 진공압에 의한 금속패널 휨현상을 더 보안할 수 있도록 제작하였다. 허니컴 구조로 제작한 플라스틱재질을 금속 패널과 동일한 조건에서 가스배출량을 확인 하였으며, 실험 결과를 통해 심재로 사용가능한지 여부를 판단하였다.

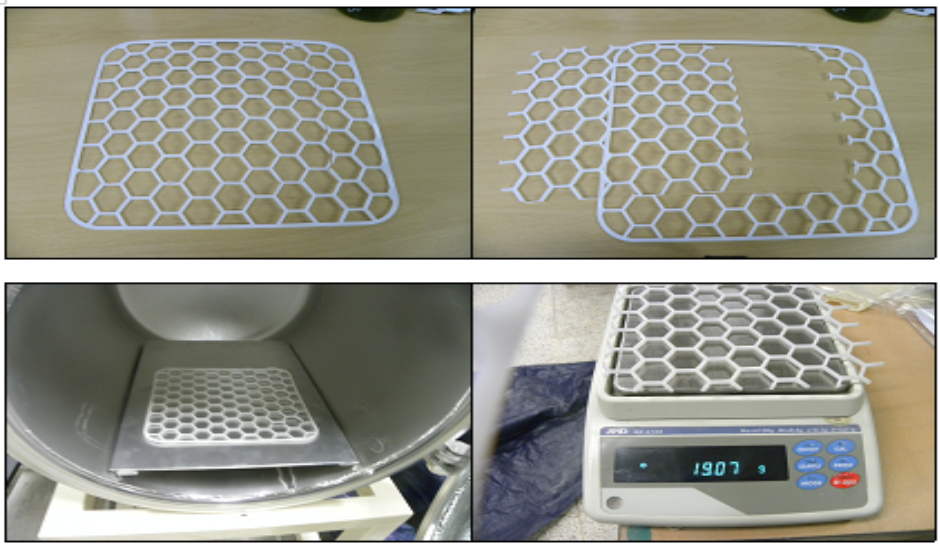


그림 60 실험 방법

② 실험 결과

본 플라스틱 재질의 심재의 경우 무게변화에서 큰 차이는 보이지 않았다. PVC 250X250의 경우에 가장 크게 보이지만 0.18g 차이로 아주 적은양이여서 큰 변화는 없다고 판단한다. 진공도달 시간의 경우에 PC 재질이 658sec로 가장 오랜시간 소요되는 것으로 확인되었다. 다른 재질에 비해 약 3분 이상 소요되며, PC를 제외한 나머지 재질은 약 7분 소요되는 것으로 확인하였다. PC 재질을 제외한 나머지 플라스틱 재질은 관계없이 사용이 가능 하다고 판단하였다.

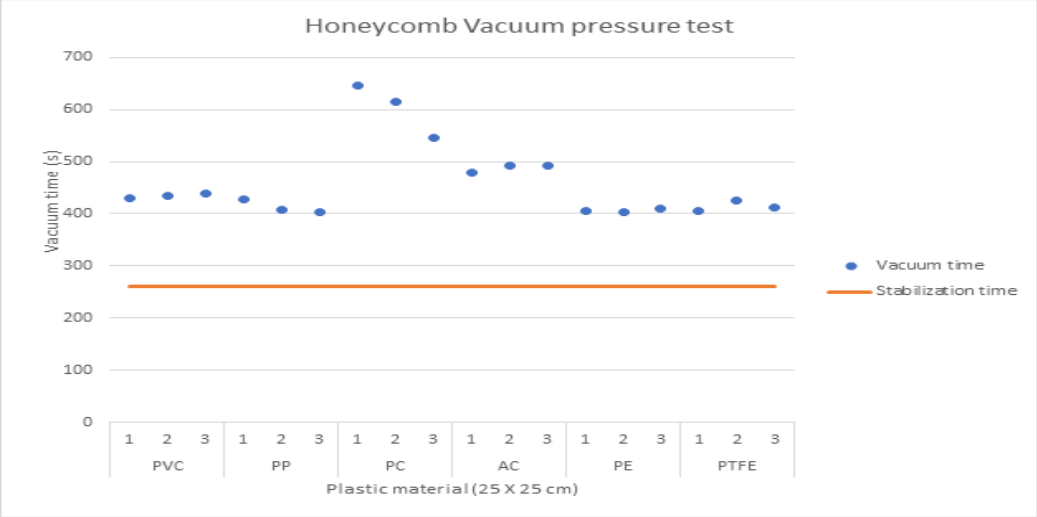


그림 61 허니컴 구조 플라스틱 재질 진공도달시간 결과

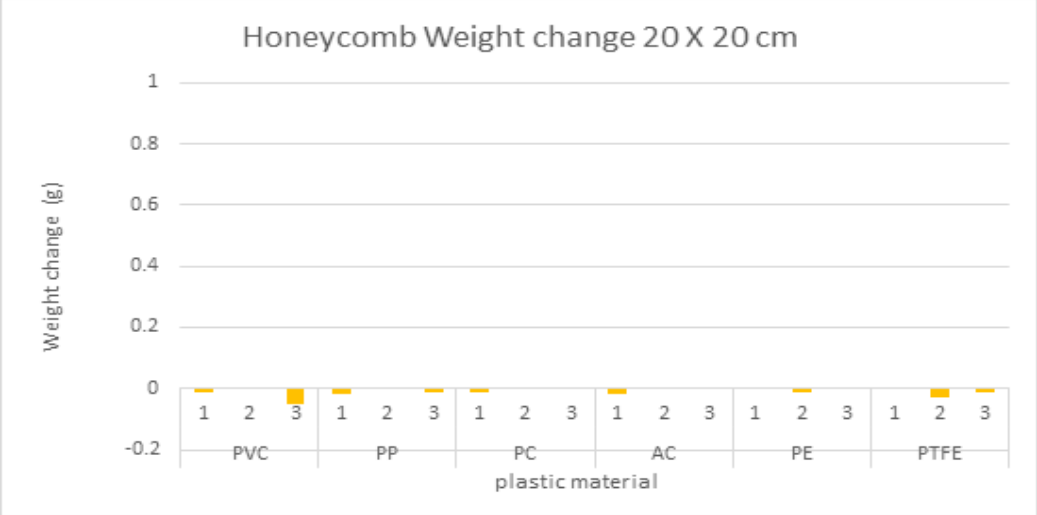


그림 62 허니컴 구조 플라스틱 재질 가스배출량 결과-1

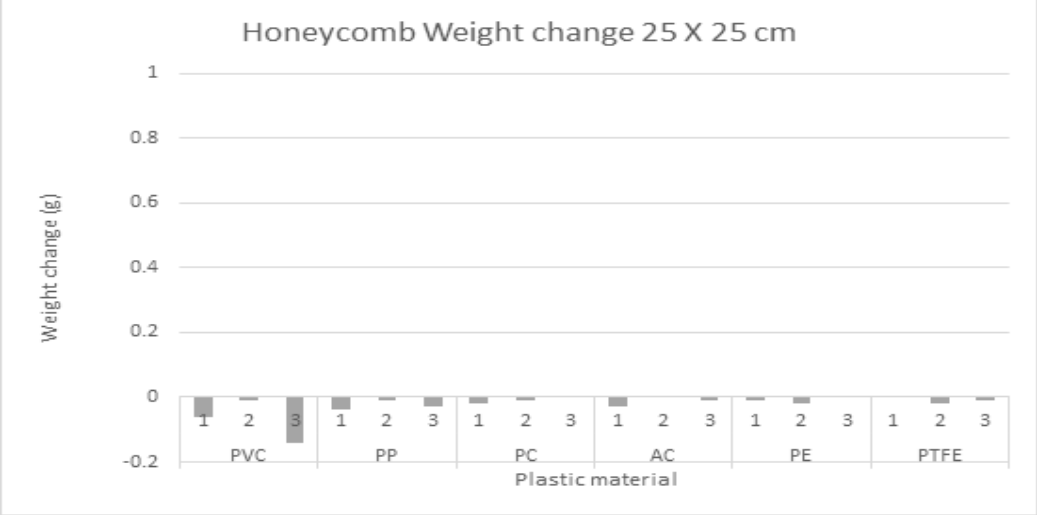


그림 63 허니컴 구조 플라스틱 재질 가스배출량 결과-2

추가적으로 플라스틱 재질에 대한 성능을 비교하여 최적 재질을 선정하고자하였다. 플라스틱 재질에 대한 성능은 다음과 같다. 비중은 PTFE인 테프론이 가장 높으며, PP인 폴리프로필렌이 가장 적은 것으로 확인 되었다. 비중은 금속진공패널의 무게를 좌우하며, 비중이 적으면서 열전도율이 적은 것을 활용하는 것이 필요하다. 열전도율을 비교하면 PP인 폴리프로필렌이 2.8W/mK로 가장 적은 것으로 나타났다. 따라서 PP를 활용하여 진공금속패널을 제작하였을 때 비중절감 및 열전도율면에서 탁월하다고 판단하였다.

물상수지명	일반명칭	비중	경도	인장강도	신장율	탄성계수	마찰계수	충격강도	열전도율	변형온도
UHME	초고분자PE (GUR)	0.94	D67	440	450%	10K/C9	0.11~0.07	30	10~19	130
PE	포리에치렌	0.093~0.96	D-60	200~350	500~1200	3~5	0.18~0.08	16	9	85
PP	포리프로필렌	0.9	R85~110	300~480	250~800	16	0.3	1~7	2.8	120
PVC	염화비닐	1.3~1.6	R108~1.18	460~600	2~40		0.45	1~3	3~7	80~
ABS		1.02~1.08	90~110	350~550	10~140	7~28	0.38	0.7~12.0	5	65~120
PS	포리스치렌	1.02~1.08	90~93	350~600	12	25~35	0.5	0.6~10	3	65~100
MA	아크릴	1.19	85~97	670~780	10~20	30	0.83	1	4~6	70~90
6N	6나이론	1.13~1.15	R115	720~845	25~320	11~26.6	0.37	1.0~3.6	5.3	130~170
MC	모노카스트나이론	1.14~1.17	R112~120	670~840	10~70	24~31	0.35	2~3	5	149~219
PU	포리카보렛	1.19	R110~120	560~670	60~100	20	0.36	12~16	4.6	130
PU	포리우렌탄	1.2	A70100	250~600	500~700		0.4~0.8		1.77.4	90
Rulon	LD	2.29	65	1000이상	500이상		0.04~0.19		0.35	
PA	포리아스탈	1.41	R118	615~700	15~75	28.8	0.18	1.4~2.3	5.5	124
Teflon		2.12.3	D55	140~315	200~400	5	0.1~0.04	2.5~2.7	6	

그림 64 플라스틱 재질별 성능표

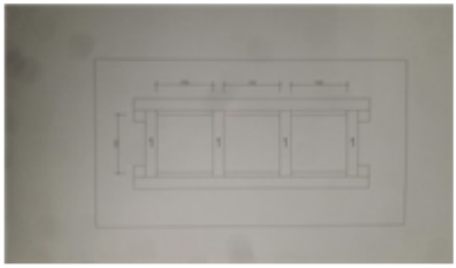
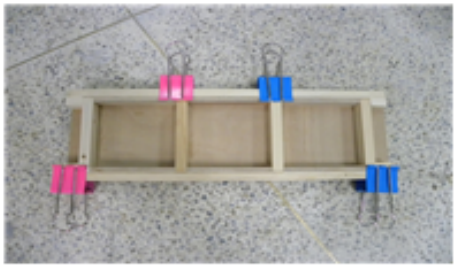
(3) 무기질 재료인 기포콘크리트에 대한 특성 검토

① 실험 계획

본 기포콘크리트는 단열성을 가지며 경량이여서 건축면에서 슬라브의 단열 및 층간소음을 위해 많이 사용되고 있다. 기포율이 적으면 강도가 적어지지만 열전도율또한 적어 단열성능이 증진되고 기포율을 늘리면 강도가 커지지만 열전도율 또한 증가되어 단열성능 저하가 된다. 실험을 통해 진공금속패널 심재에 적용할 수 있는 기포콘크리트의 배합을 선정하고자 하였다. 기포콘크리트는 선발포 방식, 후발포 방식, 이 두 방식을 합친 복합방식으로 나누어지며, 본 실험에서는 선발포 방식을 채택하여 실험을 진행 하였다. 또한 기포제 종류도 식물성 기포제, 독립기포제 등 많은 종류가 있지만 식물성 기포제를 활용하여 실험을 먼저 진행 하였다. 식물성 기포제의 농도는 단위수량에 대해 3%를 치환하여 희석하였으며, 발포된 기포는 시멘트 용적질량에 대해 0, 10, 30, 50%로 치환하여 실험을 진행하였다.

② 실험 방법

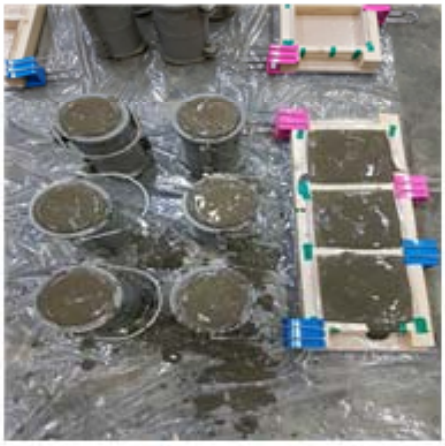
본 기포콘크리트의 제작은 진공금속패널 심재로 사용하기 위하여 250 X 250㎜로 나무몰드를 제작하여 사용을 하였다. 기포콘크리트는 타설 후 2일 양생 후에 탈형을 진행하였으며, 양생은 기건양생을 진행하였다. 기포콘크리트의 가스배출량 실험은 금속패널 실험과 동일한 조건으로 진행 하였으며, 시료는 0, 10, 30, 50 %를 선정하여 진행하였다.

기포콘크리트 제작용 나무틀 도면 및 제작형태




타설 몰드 준비　　시멘트 및 물 계량




. 기포콘크리트 타설　　기포 발포




기포콘크리트 탈형 모습

그림 65 실험 방법

③ 실험 결과

본 실험결과는 다음과 같다. 기포콘크리트의 경우 진공도 10^{-3}torr까지 도달하는 시간이 오래 걸려 10^{-2}torr까지 측정하였다. 30분 소요되었을 때 10%, 30%, 0%, 50% 순서로 진공도가 차이가 났으며, 시간이 지날수록 10%, 30%의 경우 가장 적은 시간 소요되는 것으로 확인 되었다.

하지만 50%의 경우 0%보다 더 많은 소요시간이 걸리는 것을 확인하였다. 이 이유는 기포율이 높아질수록 기포의 공극으로 인해 진공도 도달시간이 더 소요되는 것으로 판단된다. 또한, 가스배출량에서도 50%가 가장 높은 것이 앞서 판단한 내용의 근거로 증명할 수 있다. 10^{-2}까지 도달한 시간은 0%, 10%, 30%, 50% 순서대로 24시간, 7시간, 8시간, 12시간 소요되었으며, 10^{-2} 도달 했을 때의 시간은 50%가 0%보다 소요시간이 적고 이는 기포의 공극이 진공상태로 변환되어 더 이상 진공상태를 만들어지지 않는 시점에 도달했다고 판단한다.

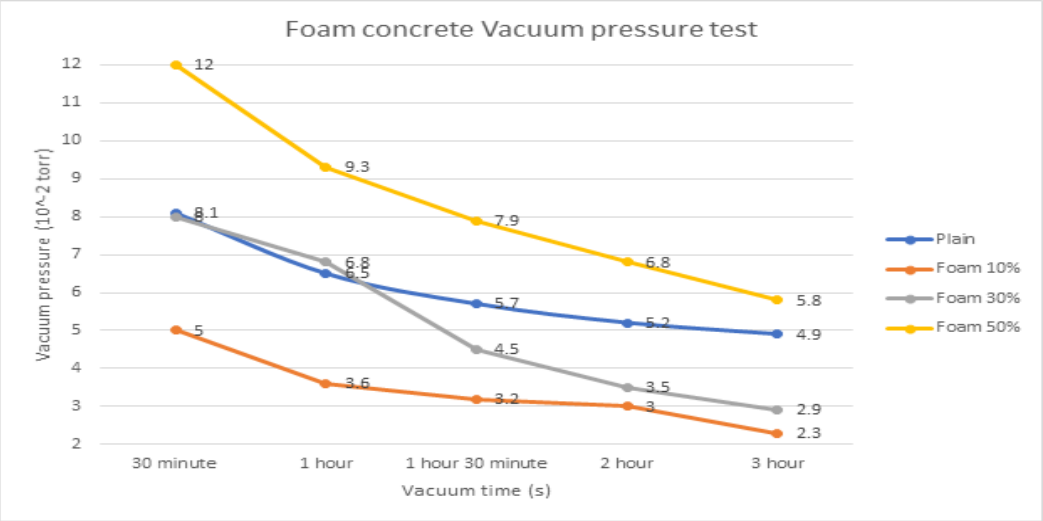


그림 66 기포콘크리트 진공도달시간

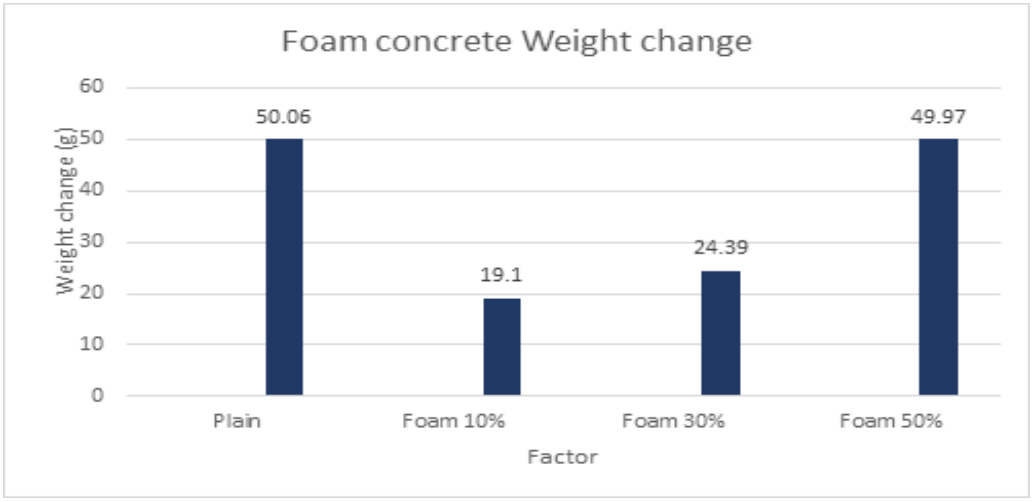


그림 67 기포콘크리트 가스배출량

사. 금속 진공 단열 패널 내부 무기질계 심재에 대한 기초물성 검토

(1) 개요

기포콘크리트를 진공금속패널 내부 심재로 사용하기 위하여 강도 0.5MPa는 되어야 하며, 밀도 0.5 이하가되는 경량성을 가져야 한다. 따라서 식물성 기포제만이 아닌 동물성 기포제 등 여러 가지 기포제를 사용하여 최적배합을 정하고자 하였다. 하지만 국내에서 동물성기포제를 판매하고 있는 업체가 없으며, 그 대안으로 독립형기포제를 성형할 수 있는 고분자 HIFA기포제를 사용하여 실험을 진행하였다. HIFA기포제는 동물성 기포제의 큰 특징인 독립형 기포제를 형성하며 동물성기포제의 단점인 냄새를 보안한 합성기포제이다. 이 2가지 기포제를 활용하여 강

도 및 밀도에서 진공금속패널 심재로 사용이 적절한 것을 찾아보고자 하였다. 실험결과는 다음과 같다.

(2) 실험 결과

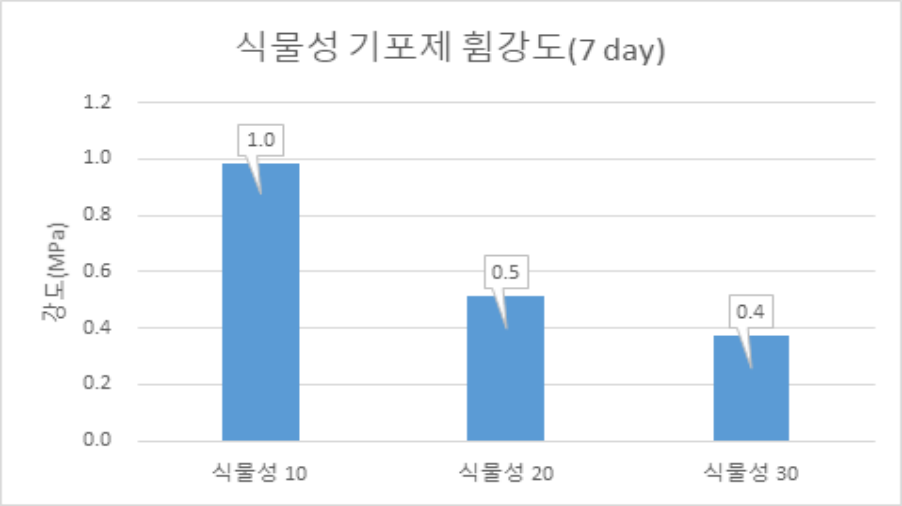


그림 68 식물성 기포제의 휨강도

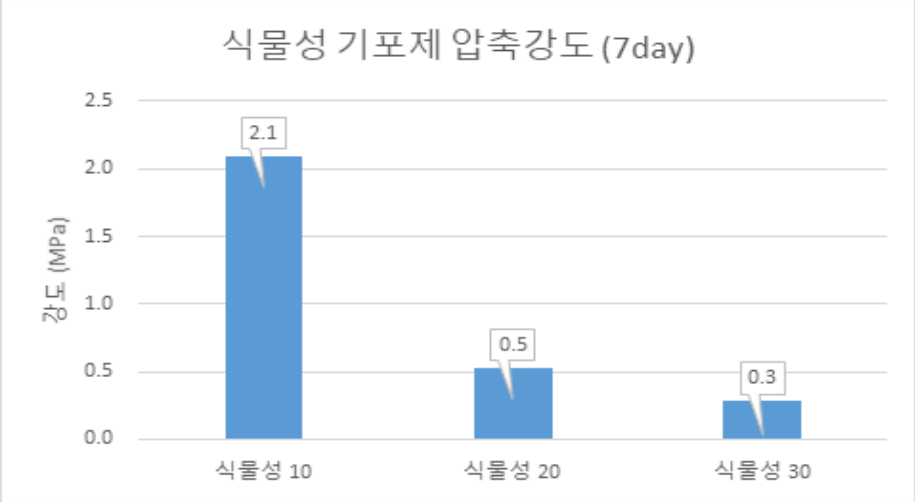


그림 69 식물성 기포제의 압축강도

기포콘크리트의 흡수율 및 압축강도를 측정하여, 1차년도 질적성과 목표인 흡수율 8%이하, 압축강도 0.3㎫ 이상으로 모두 달성하였다. 추후 실험을 통하여 진공단열재 심재에 적절한 기포콘크리트를 배합하여 진공단열재를 제작 후 열전도율 비교까지 진행할 예정이다.

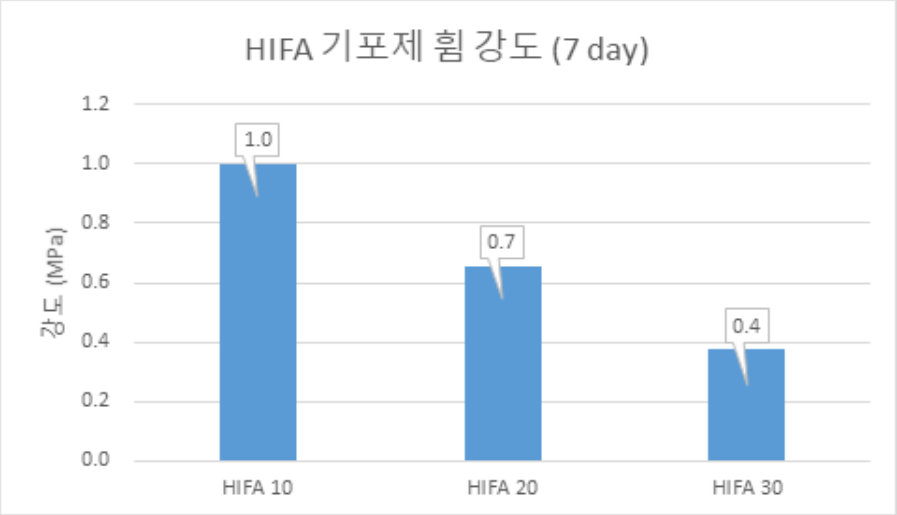


그림 70 HIFA 기포제의 휨강도

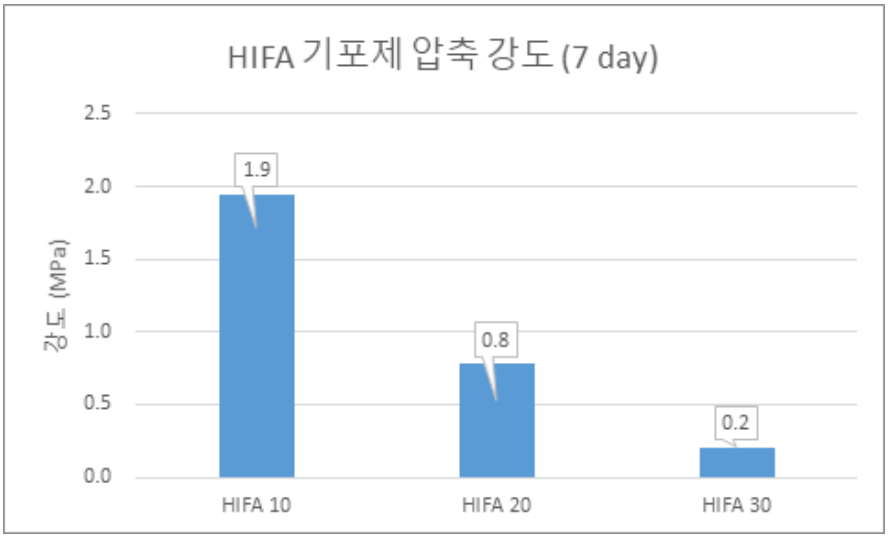


그림 71 HIFA 기포제의 압축강도

식물성 기포제와 HIFA 기포제의 경우 10%에선 유사한 강도를 나타내었고 20%에서는 HIFA 기포제의 강도가 약 0.3MPa 높은 것을 확인하였다. 기포율을 증가 시켰을 때 독립기포를 형성하는 HIFA 기포제가 강도가 더 높을 것 이라 판단한다. 이 이유는 기포 형성의 차이에서 알 수 있다. 식물성 기포제는 기포가 서로 연결된 연속기포를 형성하며, HIFA 기포제는 독립적인 기포를 형성하는 독립기포를 형성하기 때문인 것으로 판단된다.

2. 2차연도 연구 수행 내용

가. 금속재를 이용한 0.008W/mk의 성능을 갖는 진공 단열 패널 개발

(1) 개요

기존 시험 결과들을 토대로 하여 금속 진공 단열 패널을 개발하는 것으로 개발된 패널에 대한 진공 및 제반 사항에 대해 기초 자료를 수집하고 분석하여 기준을 정립하는 것으로 하였다.

(2) 실험 계획

금속 진공 단열 패널은 금속 철판 300 X 300 ㎜의 규격에 맞게 밀폐용 고무 오링 (두께 : 30㎜ , NBR)을 절단하여 석재용 에폭시, 앙카용 에폭시, 타일용 에폭시로 오링을 사용하여 절단 부위에 밸브와 접착 할 수 있게 제작하였다. 하지만, 오링의 탄성에 의하여 에폭시(석재용, 앙카용, 타일용) 모두 접착이 되지않고 떨어지는 현상을 나타냈다. 오링의 두께 30㎜는 기성품(완제품)이 있지 않아 잘라 써야 하는 상황이며, 기성품의 경우 두께 10㎜가 가장 큰 두께로 추후 두께 10㎜인 기성품을 사용하여 진공패널을 제작하고자 한다. 하지만 열전도율을 달성하기 위해선 오링의 두께가 증가 하여야 하며, 잘라쓰는 오링의 사용법도 계속 연구 되어야 한다.



그림 72 진공 패널 제작 -1



그림 73 금속 진공 패널의 열전도율 시험-1

(3) 실험 결과

① 사각박스형태의 진공금속패널 열전도율 실험

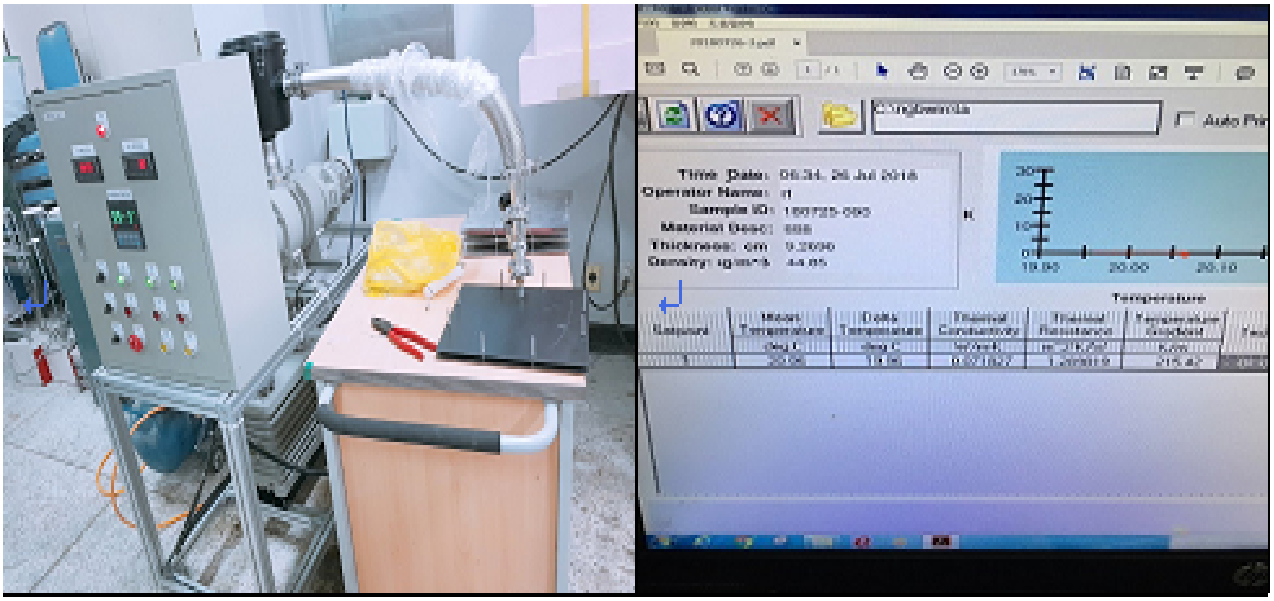


그림 74 금속 패널(SS400) 열전도율 결과

진공압에 의한 금속재료의 휨 현상을 방지하기 위하여 심재(PE)를 사용하였으며, 진공압을 유지하기 위하여 밸브 및 밀폐재(고무오링)을 사용하여 제작하였다, 밸브는 금속패널에 소켓을 용접한 곳에 채결을 하여 진공가압을 하였으며, 형상 유지를 위해 금속패널 구멍을 뚫어 볼트 채결 후 진공도(2.0 X 10^{-3})에 도달 후 볼트를 풀은 후 열전도율을 측정하였다.

또한, 진공금속패널의 열전도율 측정을 위해선 평탄한 면이 요구되는데 밸브로 인해 측정이 어려워 밸브 높이만큼 단열재를 채운 후 평탄하게하여 측정을 하였다. 단열재의 총 두께는 진공단열재 (160㎜) PE Foam(740㎜)로 총 900㎜로 측정되었다. 열전도율 측정 결과 0.071877 W/mK로 나타났으며, SS400의 열전도율이 높으며 진공금속패널 두께가 30㎜로 얇아 금속패널끼리의 간섭으로인해 열전도율이 높게 나온 것으로 판단하였다.

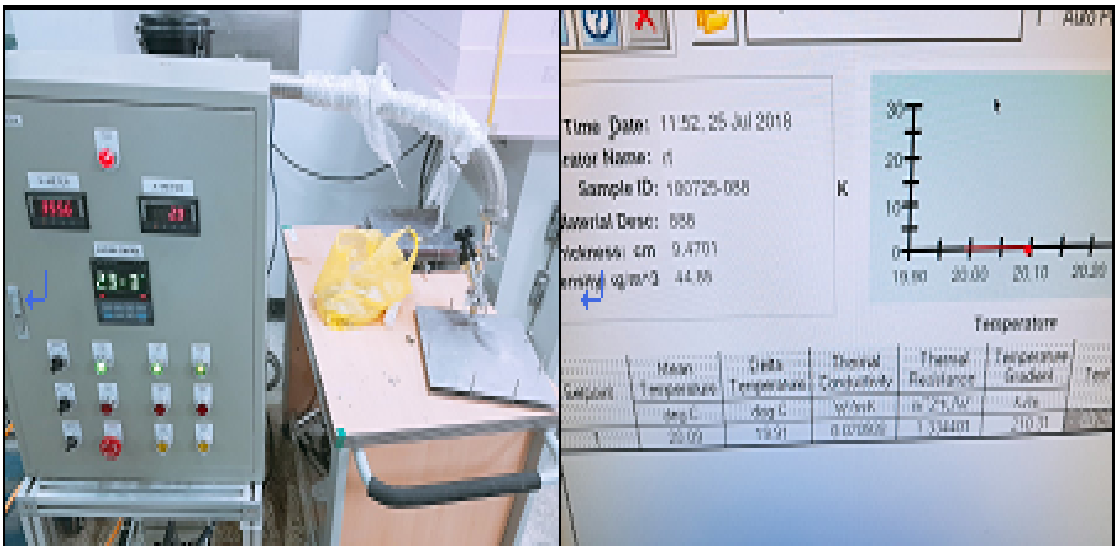


그림 75 금속 패널(STS 316) 열전도율 결과

진공압에 의한 금속재료의 휨 현상을 방지하기 위하여 심재 (PP)를 사용하였으며, 진공압을 유지 하기 위하여 밸브 및 밀폐재(고무오링)을 사용하여 제작하였다. 밸브는 금속패널에 소켓을 용접한 곳에 채결을 하여 진공가압을 하였으며, 형상 유지를 위해 금속패널 구멍을 뚫엉 볼트 채결후 진공도 (2.3 X 10^{-2})에 도달 후 볼트를 풀은 후 열전도율을 측정 하였다.

열전도율 측정은 위의 SS400 진공금속패널과 동일한 조건으로 실험을진행하였다. 실험결과 열전도율은 0.070938 W/mK로 나타났으며, SS400보다 적은 값을 나타내었지만 미비한 차이이며, 이 이유는 금속패널의 열전도율 차이와 플라스틱 심재의 열전도율 차이에 의한 변화로 판단된다. 하지만 밸브로 인해 사용한 밸브높이의 단열재가 포함된 열전도율값이기 때문에 정확한 진공금속패널의 열전도율을 확인 할 수 없으며, 진공금속패널과 밸브높이의 단열재 사이에서의 공간 때문에 열전도율이 높게 나올 수 있다 판단하였다.

② 비닐랩 및 고무오링을 사용한 진공금속패널

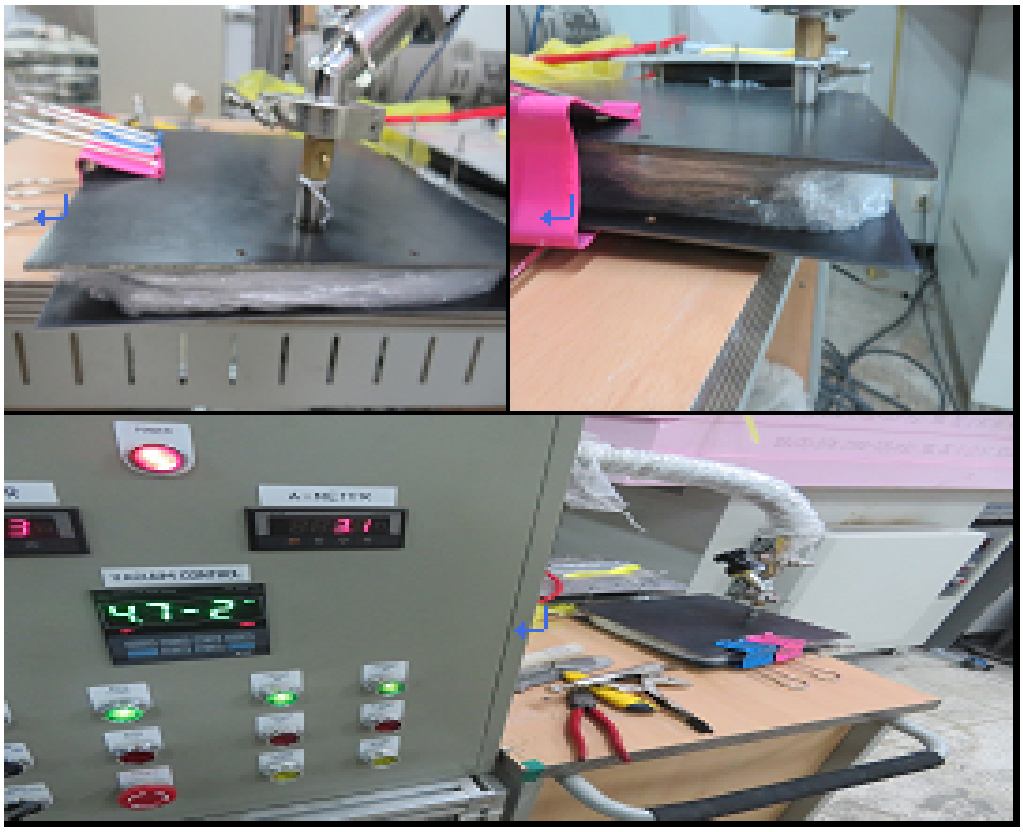


그림 76 랩 및 고무오링을 사용한 진공금속 패널

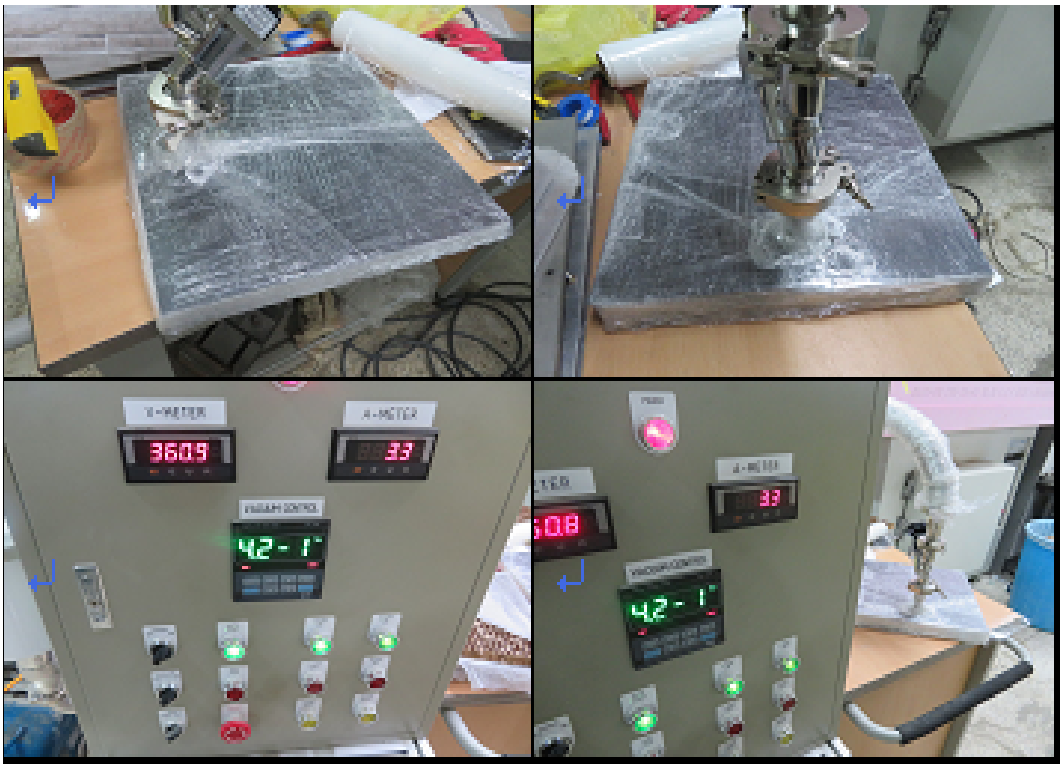


그림 77 PE폼(밀폐) 및 랩을 활용한 진공금속패널

PE폼은 포장재로도 쓰이지만 단열포장으로도 사용되는 재료이다. 이를 활용하여 고무오링

밀폐재의 빈 공간을 채우며 금속간의 간섭을 막기 위하여 비닐랩을 고무오링에 덧씌우는 방식을 채택하였다. 진공도는 4.7 X 10^{-2} torr 까지 도달하였지만 Leak 현상으로인해 진공유지를 하지 못하는 것을 확인하였다.

비닐을 균열하게 씌우지 못하여 발생한 현상으로 판단되었다. PE에 비닐랩으로 둘러싼 밀폐재의 진공금속 패널 제작을 위해 위의 실험을 통하여 진공금속패널의 Leak를 막기위하여 PE를 밀폐재를 사용한 진공금속패널을 전체적으로 비닐랩으로 두른형상을 제작하였다. 비닐랩으로 인한 Leak부위를 막을 수 있을 것이라 판단 한다.

결과적으로 그림 76의 시료보다 진공도가 떨어진 4.2 X 10^{-1}torr까지 도달하였으며, 진공유지도 되지 않는 것을 확인하였다. 두 실험 결과로 인하여 얻은 결론은 비닐랩으로 미세Leak를 막을 수 없으며, 진공유지를 위하여 다른 방안이 필요한 것으로 판단한다.



그림 78 밀폐재(고무오링)에 밸브를채결한 진공금속패널

밀폐재(고무오링)에 구멍을 뚫어 밸브를 채결하였으며, 고무오링의 빈 공간(Leak가 생길우려가 있는부분)에 배관밀봉제인 록타이트를 사용하여 빈 공간을 채웠다. 또한 고무오링의 탄성 때문에 절단부위의 접착이 접착제로는 어려워 볼트채결을 통해 접착을 하였으며, 고무 오링을 제작한 후 진공도 도달수준을 판단하기 위하여 실험을 하였다.

진공도는 7.4 X 10^{-2}torr까지 도달하였으며, 진공유지도 되는 것을 확인하였다. 하지만 밸브를 옆으로 달 경우 300 X 300 보다 큰 규격으로 열전도율 측정이 불가하며 밸브를 옆으로 채결하였을 때 열전도율 시험이 가능하게 제작하여야 한다. 열전도율을 측정하기 위하여 패널의 모서리 부분을 절단한 후 밸브가 나올 수 있게 제작 하였다. 또한 고무오링과 밸브의 길이를 최소화하기 위하여 밸브를 최대한 오링에 붙여 제작하였다.



그림 79 금속패널 절단



그림 80 진공금속패널 제작

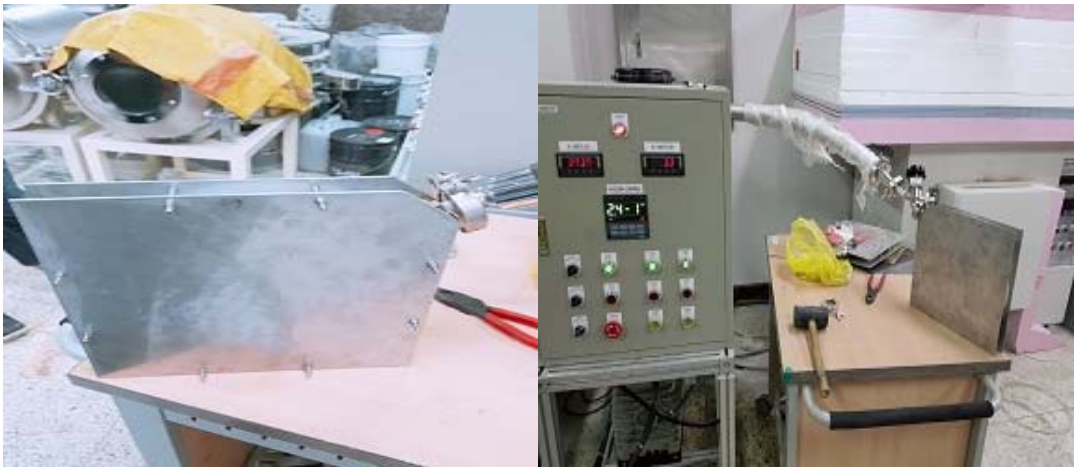


그림 81. 진공금속패널 진공가압실험

제작 후 진공가압실험을 진행 하였으며, 진공도는 5.8 X 10^{-2}torr에 도달하였다. 열전도율 결과 0.09073 W/mK로 나타났으며 측정 중 진공이 유지되지 않고 진공이 파괴되는 현상이 나타났다. 이는 온도차에의한 금속의 열팽창에 의해 일어난 현상으로 판단된다.



그림 82. 열전도율 측정 및 진공파괴현상

진공 유지를 위하여 금속패널을 다르게 제작하여 실험을 진행 하였다. 두께는 약 40㎜이며, 오링이 맞닿는 부분을 300 X 300 ㎜으로 하며 위의 심재가 들어가는부분은 250 X 250 ㎜로 제작하였으며 밸브 채결을 위해 밸브를 250 X 250㎜에 채결할 수 있게 제작하였다. 심재는 종이허니컴구조를 채택하여 제작을 하였다. 채택이유는 종이 허니컴형태가 하중강도가 강하여

실제로 가구에도 적용이 되고있으며, 플라스틱보다 열전도율 낮아 단열효과 증진에 기여할 수 있다고 판단하였다.



그림 83 진공금속패널 제작 과정



그림 84 진공금속패널 제작에 따른 진공가압실험

열전도율 측정 시에 밸브가 튀어나오는 현상 때문에 닫히지가 않아 압출법단열재를 사용하여 측정을 시도하였다.

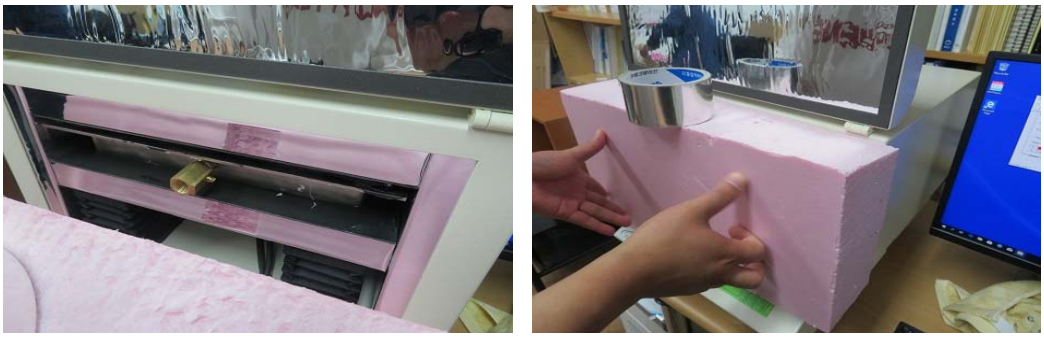


그림 85. 압출법단열재를 활용한 열전도율 측정

열전도율 측정결과 0.07814 W/mK로 나타났다. 열이 압출법단열재를 통해 새는 것이 있을 것이라 판단하였으며, 진공유지가 되지 않아 열전도율이 높게 측정되었으며, 금속 패널제작시에 고무오링이 맞닿는 부분 모서리부위의 각진 곳을 통해 Leak가 생겨 진공유지가 되지 않는 것으로 판단한다. 진공유지를 위해선 고무오링 뿐만아니라 고무오링과 금속패널 사이에 마감을 하여 Leak를 막는 것이 이번 연구에 관건이다.



그림 86 고무오링과 금속패널 사이 구조용 실란트 활용

앞서 실험한 내용에 따라 금속패널과 고무오링 사이에 진공유지를 위하여 실란트로 마감을 하여 하루 정도 굳힌 후에 진공가압 실험을 진행 하였다. 진공도는 5.8 X 10^{-2} torr에 도달 하였으며 열전도율 측정 결과 0.058 W/mK로 측정되었다.

기존 실험보다 낮은 열전도율을 나타내었지만 진공이 유지가 되지 않아 더 낮은 열전도율이 나타나지 않은 것으로 판단하였다. 밸브와 오링사이의 미세 Leak를 잡을 수 없으며 고무오링의 융착이 이루어지지 않아 진공이 유지되지않고 파괴된다고 판단하였다.

열전도율을 측정하기 위해선 평탄한 면을 가져야하며 300 X 300㎜의 크기에 맞춰야 한다. 하지만 진공상태를 유지하기 위해선 밸브를 채결하여야하는데 이 부분에서 많은 고뇌를 하여 제작을 하였지만, 미세 Leak는 잡을 수 없었다.

다음은 샘플들의 열전도율 측정값을 나타낸 것이다.

Setpoint No.	3										
Setpoint Upper:	30	°C									
Setpoint Lower:	10	°C									
Temperature Upper:	30.01	°C									
CalibFactor Upper:	0.015594										
Results Upper:		0.03397	W/mK								
Temperature Lower:	10.02	°C									
CalibFactor Lower:	0.015829										
Results Lower:		0.03396	W/mK								
Percent Difference:	0.02%										
	Thermal Equilibrium Criteria:										
	Temperatu	0.2									
	Between Bl	49									
	HFM Perce	2									
	Min Numb	4									
	Calculation Blocks:		3								
Results Table -- SI Units											
Mean Temp		Upper		Lower		Results					
22.52		0.03305		0.03296		0.03301					



그림 87. STS 316 및 종이허니컴 ,실리콘 오링 구조 열전도율 측정

진공단열재의 구성은 금속패널(STS 316 3T),심재 (종이허니컴 16T×2), 밀폐재(Sillicon O-ring)으로 구성되었으며, 그에 따른 열전도율은 0.033 W/mK 로 측정되었다.

Setpoint N	1										
Setpoint	30	°C									
Setpoint	10	°C									
Temper	30.03	°C									
CalibFac	0.015614										
Results Upper:		0.0893	W/mK								
HeatFlux Upper:		51.21	W/m²								
Temper	10.01	°C									
CalibFac	0.016441										
Results Lower:		0.09216	W/mK								
Percent	3.16%										
HeatFlux Lower:		52.85	W/m²								
	Thermal Equilibrium Criteria:										
	Temperatu	0.2									
	Between Bl	49									
	HFM Perce	2									
	Min Numb	4									
	Calculation Blocks:		3								
Results Table -- SI Units											
Mean Temp		Upper Cond		Lower Cond		Average Cond					
20.02		0.0893		0.09216		0.09073					



그림 88. 금속패널 제작을 통한 열전도율 측정

Setpoint No.	1										
Setpoint Upper:	30	°C									
Setpoint Lower:	10	°C									
Temperature Uppe	30.03	°C									
CalibFactor Upper	0.015396										
Results Upper:			0.09518	W/mK							
HeatFlux Upper:			49.66	W/m²							
Temperature Lowe	10.02	°C									
CalibFactor Lower	0.016192										
Results Lower:			0.09171	W/mK							
Percent Difference	3.71%										
HeatFlux Lower:			47.85	W/m²							
	Thermal Equilibrium Criteria:										
	Temperatu		0.2								
	Between E		49								
	HFM Perce		2								
	Min Numb		4								
	Calculation Blocks:			3							
Results Table -- SI Units											
Mean Temp	Upper Cor	Lower Cor	Average Cond								
20.02		0.09518		0.09171		0.09344					



그림 89.][형태 금속패널 제작을 통한 열전도율 측정

Setpoint No.	1			
Setpoint Upper:	30	°C		
Setpoint Lower:	10	°C		
Temperature Uppe	30.02	°C		
CalibFactor Upper	0.015614			
Results Upper:		0.08809	W/mK	
HeatFlux Upper:		50.59	W/m²	
Temperature Lowe	10.01	°C		
CalibFactor Lower	0.01644			
Results Lower:		0.08861	W/mK	
Percent Difference	0.58%			
HeatFlux Lower:		50.89	W/m²	
	Thermal Equilibrium Criteria:			
	Temperatu	0.2		
	Between E	49		
	HFM Perc	2		
	Min Numb	4		
	Calculation Blocks:		3	



Results Table -- SI Units							
Mean Temp		Upper Cond		Lower Cond		Average Cond	
20.02		0.08809		0.08861		0.08835	

그림 90. 비닐랩 및 PE 폼을 활용한 진공금속패널 열전도율 측정
(측정시 금속패널 덮어 사용)

Setpoint No.	1										
Setpoint Upper:	30	°C									
Setpoint Lower:	10	°C									
Temperature Upper:	30.01	°C									
CalibFactor Upper:	0.015615										
Results Upper:		0.04955	W/mK								
HeatFlux Upper:		27.89	W/m²								
Temperature Lower:	10.01	°C									
CalibFactor Lower:	0.016441										
Results Lower:		0.04906	W/mK								
Percent Difference:	0.99%										
HeatFlux Lower:		27.62	W/m²								
	Thermal Equilibrium Criteria:										
	Temperatu	0.2									
	Between Bl	49									
	HFM Perce	2									
	Min Numb	4									
	Calculation Blocks:		3								
Results Table -- SI Units											
Mean Temp	Upper Con	Lower Con	Average Cond								
20.01	Upper	0.04955	Lower	0.04906	Results	0.04931					



그림 91. STS 316 및 기포콘크리트 실리콘 오링 진공금속패널 열전도율 측정

Setpoint No.	1			
Setpoint Upper:	30	°C		
Setpoint Lower:	10	°C		
Temperature Uppe	30.03	°C		
CalibFactor Upper	0.015396			
Results Upper:		0.05477	W/mK	
HeatFlux Upper:		31.06	W/m²	
Temperature Lowe	10.02	°C		
CalibFactor Lower	0.016192			
Results Lower:		0.05263	W/mK	
Percent Difference	3.98%			
HeatFlux Lower:		29.85	W/m²	
	Thermal Equilibrium Criteria:			
	Temperatu	0.2		
	Between E	49		
	HFM Perce	2		
	Min Numb	4		
	Calculation Blocks:		3	



Results Table -- SI Units			
Mean Temp	Upper Cond	Lower Cond	Average Cond
20.02	0.05477	0.05263	0.0537

그림 92. 종이허니컴 및 구조용시리콘으로 밀폐한 진공금속패널 열전도율 측정

Setpoint No.	1										
Setpoint Upper:	35	°C									
Setpoint Lower:	10	°C									
Temperature Uppe	35.02	°C									
CalibFactor Upper	0.015506										
Results Upper:		0.02114	W/mK								
HeatFlux Upper:		10.28	W/m²								
Temperature Lowe	10.01	°C									
CalibFactor Lower	0.016441										
Results Lower:		0.02128	W/mK								
Percent Difference	0.64%										
HeatFlux Lower:		10.34	W/m²								
	Thermal Equilibrium Criteria:										
	Temperatu	0.2									
	Between E	49									
	HFM Perce	2									
	Min Numb	4									
	Calculation Blocks:		3								
Results Table -- SI Units											
Mean Temp	Upper Cor	Lower Cor	Average Cond								
22.51		0.02114		0.02128		0.02121					



그림 93. 기포콘크리트를 활용한 금속진공패널 열전도율 측정

나. MOCK UP TEST를 통한 목표 열관류율 기준을 만족하는 진공 압력 수치 기준 정립(정량화)

(1) 개요

Mock up Test를 통해 열관류율 기준을 만족하는 진공 압력 수치 기준 정립을 하려 하였으나, 진공 압력 수치 조절이 되지 않아 진공도 0.001torr에 도달 하였을 때 Mock up test를 통해 열관류율을 측정하여 목표 기준을 만족 하는지 측정하는 방법으로 실험을 진행하였다.



그림 94. 1m×1m 금속패널 도면



그림 95. 1m×1m 금속패널

실험은 냉장 쇼케이스를 사용하여 실험을 진행하였으며, 사용한 냉장 쇼케이스는 다음과 같다.



그림 96 냉장 쇼케이스

(2) 실험 계획

실험은 냉장 쇼케이스의 온도를 4℃로 맞춰 조절하며, 외부는 난방시설을 통해 (22~24)℃로 조절하며, 내・외부 온도차는 (20±2)℃로 설정하여 실험을 진행 하였다. 내・외부 온도는 열전대를 설치하여 2시간동안 측정하였다.



그림 97. 열전대 측정 위치

열전대 위치는 냉장고의 위치에서 왼쪽, 중앙, 오른쪽으로 나눴으며, 그 위치에서 초 상중하로 나눠 내부는 총 9 부분을 잡았으며, 외부는 5곳을 잡아 실험을 진행 하였다. 또한 외부의 온도를 측정하기 위하여 열화상카메라를 사용하여 1분 간격으로 측정을 하였다.



연구시설장비 세부 설명서

연번	15	※관리번호		장비명(한글)	적외선 열화상 카메라
				장비명(영문)	
				모 델 명	SE/FLIR-P620
				수량/구입단가	1/55,500,000
				구입년월일	2010.09.30.
				제조회사(국)	케이씨엠인스트루먼트
				보유 부서	건축공학과
				장비 위치	천안캠퍼스 5공학관 103호
				담 당 자	성 명: 장 익 인 연락처: 010-9784-8292 이메일: prince66@kongju.ac.kr
원리 및 특징	물체에서 방출되는 적외선 에너지는 광학장치에 의하여 디텍터 위에 그 초점이 모아집니다. 디텍터에서 검출된 정보는 센서의 전자회로(D)로 보내져서 이미지로 처리됩니다.				
주요 구성 및 성능	고품질의 실화상 카메라 - 320만 화소의 실화상 카메라를 내장하여 어떤 환경에서도 선명한 실화상을 측정할 수 있습니다. 내장 GPS(P660) -내장된 GPS 기능을 사용하여, 촬영한 열화상에 지리적 위치 정보를 삽입할 수 있습니다. 높은 감도(P660/P640) - 30 mK 이하의 초 고감도 디텍터를 사용하여 최고의 열화상 품질과 정밀한 온도차이 정보를 제공합니다.				
사양 및 규격	시야각(FOV) / 최소 초점거리 24° x 18° / 0.3 m 45° x 34° / 0.2 m 주문시 렌즈 사양 지정 필요 공간 분해능 24° 렌즈에서 0.65 mrad- 45° 렌즈에서 1.3 mrad 정확도 ± 2 °C 또는 지시치의 ±2%				
활용 분야	건물진단용, 가스탐지용, 전기 및 기계용				
사용 용도	적외선 열화상 탐지 기법은 건물 내 에너지 소모, 습도 및 전기 문제를 탐지하는 가장 간편하고 신속한 방법입니다. 적외선 카메라는 문제 지점을 정확히 표시하고 검사관의 집중력을 도와 에너지 소모 지점을 제대로 진단할 수 있습니다.				
설치 상태	■ 고정, □ 이동		임대 여부	□ 가능, ■ 불가	
임대 및 사용료 산출금액	임대료	-			
	사용료 (분석료)	-			
비 고					

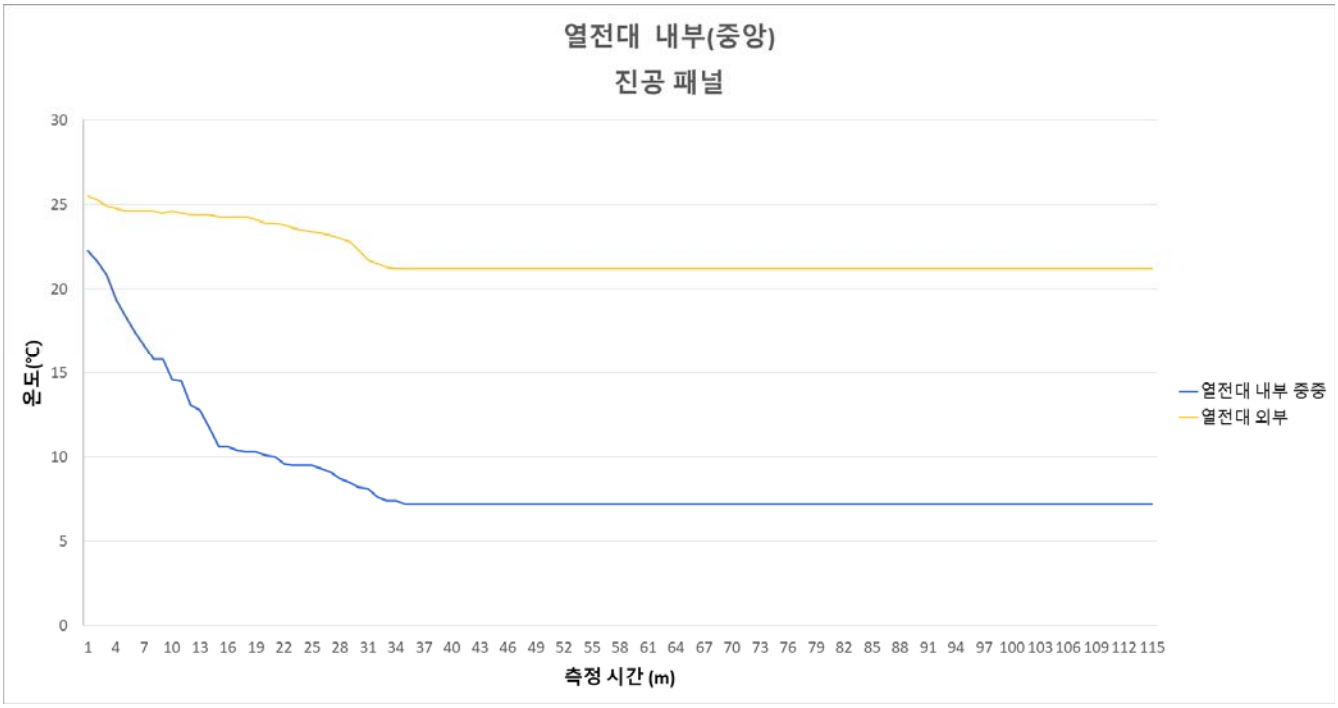
※ 연번은 [붙임1] 의 엑셀서식과 일치시켜야 함.

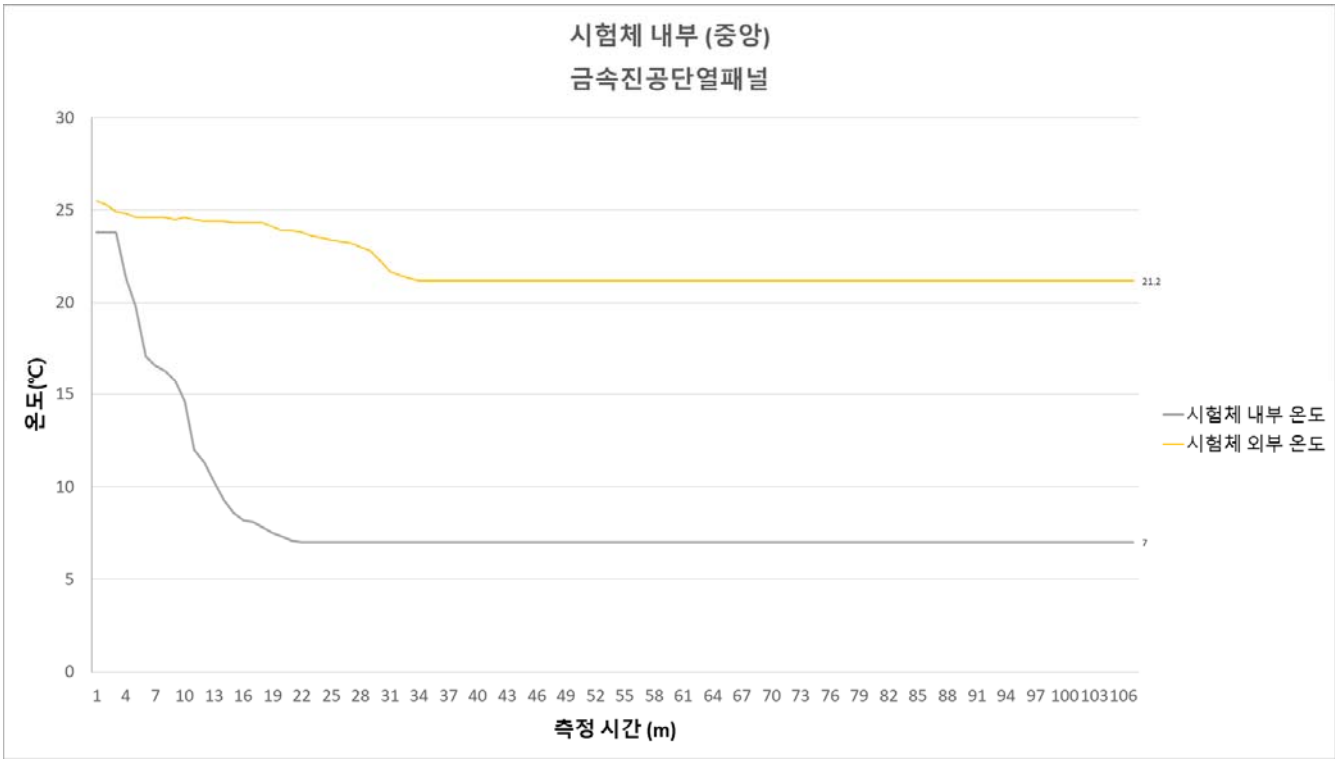
그림 98. 적외선열화상 카메라 및 제품 설명서

(3) 실험 결과

실험 가동 후 30분 후에 안정화되었으며, 실험 결과는 다음과 같다.







진공패널의 경우 온도차가 평균 12.5℃ 였으며, 진공단열재의 경우 12.6℃로 측정되었다. 진공패널과 진공단열재의 온도차가 유사하게 나타났으며, 이를 통해 진공패널의 열관류율이 진공단열재와 유사한 것으로 확인 되었으며, 열전도율 또한 유사할 것이라 판단된다.

열전도율 측정값이 높게 나온 것은 열전도율 시험의 규격에 맞춰 제작을 해야하는 문제 때문에 이런 결과를 얻은 것으로 나타난다. 시험체를 제작하였을 때 열관류율 측정을 하여 추후 실질

적인 열관류율값을 시험의뢰하고자 한다.

다. 진공도에 따른 패널 규격 산정

진공도가 높아질수록 금속패널의 휨 현상으로 인해 두께를 증가시켜야 한다. 하지만 두께를 증가 시킬 경우 금속패널의 열전도율 때문에 진공금속패널의 열전도율에 영향을 끼치게 된다. 이 부분을 해결하기 위하여 금속패널의 규격화가 필요하다. 진공에 의한 금속의 휨 현상은 심재를 사용하여 보완할수 있다. 따라서 진공도와 관계없이 패널 규격을 산정할 수 있으며, 시공성에 맞게 패널 규격을 조절 할 수 있다.

열전도율 시험 측정시 KS L 9016 에 의하여 단열재료의 크기가 300X300㎜ 및 두께는 5㎝이하로 되어 있어 규격을 산정 하였다.

기존 Vacuum Insulation Panel(이하 VIP)의 건물 단열 시공 시 고려사항으로 IEA/ECBCS Ammex39의 연구결과에 따르면 진공단열패널의 최소 크기로 0.5 × 0.5 ㎡ 이상을 권고하고 있다. 또한, VIP는 알루미늄박이를 사용하여 진행되기 때문에 시공 시의 규격에 따라 바뀌게 된다.

하지만 본 연구에선 금속 패널을 사용하기 때문에 진공도에 따른 규격이 산정 되어야 한다. 하지만 위에서 말한 것과 같이 진공압을 가했을 때 금속패널의 휨 현상을 막기위해 심재를 사용하여 관계 없이 규격을 산정할 수 있지만, 패널의 규격을 고려하여야 하기 때문에 크기는 1 × 1 ㎡이상이 될 시 고려를 해야하는 문제가 있다.

라. 패널 규격에 적합한 패널 재료 평가 및 결정

시뮬레이션은 상용프로그램인 STAR-CCM^{+} 13.04.011을 이용하였으며, 해석프로세스는 [그림 1]과 같다. 해석은 대상을 3차원으로 모델링 한 후 [그림 2]와 같이 각각의 물질별로 region을 나누어 물성치를 입력한 후 열전달을 계산하였다.

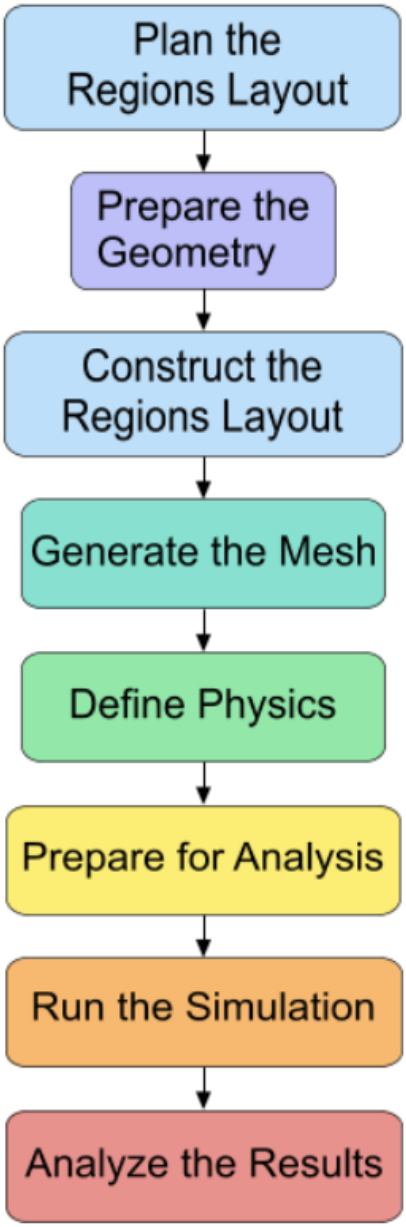


그림 102. 해석 프로세스

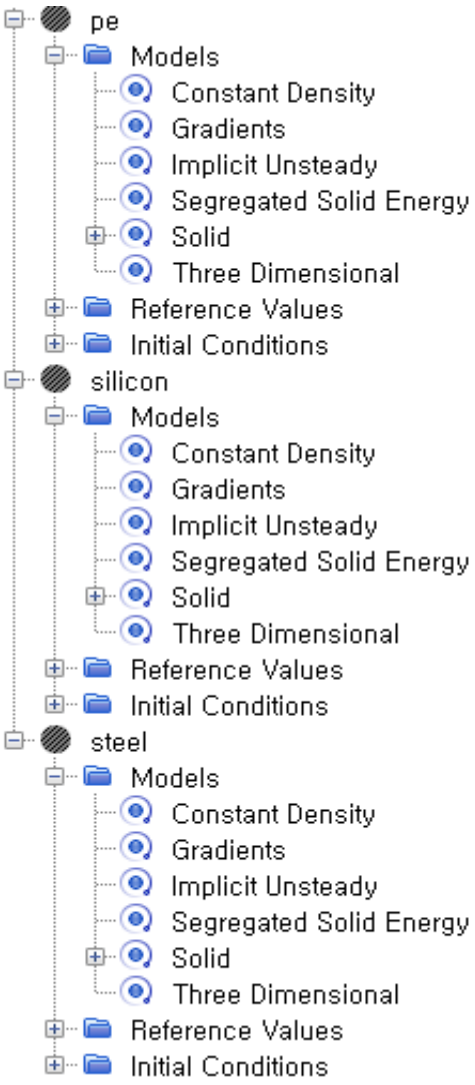


그림 103. 재료별 함수 성정 및 물성치 입력

(1) 기본 이론

비정질 강섬유 혼입 바닥몰탈과 일반적인 바닥몰탈을 사용한 바닥난방시스템의 열성능을 비교 평가하기 위하여 CFD 해석을 실시하였다.

해석에 사용한 프로그램은 STAR-CCM+ 10.02.010이며, 해석 대상 모델이 온수-파이프-바닥구조체-바닥표면 순으로 서로 접촉되어 있으므로 구조체 내부에서는 conduction에 의한 열전달을 해석하고 바닥표면과 각 벽체와의 radiation, 각 표면으로부터 실내공기로의 열전달은 radiation과 convection을 함께 고려하였다.

$$\dot{q}'' = \frac{\Delta T}{R}$$

여기서

R : thermal contact resistance per unit area

q“ : relation between the heat flux across the contact interface

△T: temperature difference

① 해석 함수

- Steady and Transient
- Laminar and Turbulent

- Newtonian and Non-Newtonian Flow
- Incompressible and Compressible Flow
- Heat Transfer(convection, conduction, radiation)
- Mass Transfer
- Distributed Resistances(porous media)
- Buoyancy and Rotation
- Gravity
- Surface-to-surface Radiation
- View Factors Calculator

해석 프로세스는 STAR-CCM+를 이용하여 해석모델의 Modeling, 모델 정의, 해석 수행, 해석결과 검토의 4단계로 구분하여 실시한다.

② 해석모델의 특성 정의
이 단계에서는 해석모델의 유형을 분석하고 물리적 모델의 기하학적 형상과 특성 및 유체조건을 설정한다. 구체적인 프로세스는 다음과 같다
- 물리적 모델의 기하학적 형상, 재료 특성 및 유체조건 설정
- 셀(cell)의 수, 크기, 분포 등의 메쉬(mesh) 디자인
- 밀도, 점성도, 비열과 같은 물리적 변수 및 난류모델 등 모델링 관련 변수 결정

③ 모델 정의
- 모델의 기하학적 형상과 같은 해석 영역을 나타내는 메쉬 형성
- 고체의 열역학 특성 설정
- 해석방법의 변수와 결과 데이터의 형식 설정
- 비정상상태 열해석 시뮬레이션을 위한 경계의 위치 및 조건과 순간 경계조건 및 시간조건 설정
- 다음 단계의 해석을 위한 입력조건 파일 생성

④ 해석 수행
입력된 조건에 의해 실제 계산을 수행하는 단계로 CFD 해석의 핵심부분이라고 할 수 있다. 해석 시간은 공간분할 수(Mesh 수)와 정상/비정상 해석 여부에 따라 결정되는데 계산결과를 얻을 때까지 최소 수 시간에서 수일이 걸린다.
각 입력변수에 의한 값을 이용하여 해석한 결과값이 수렴하는 최종값을 구하는 경우, 정상상태로 계산을 실시하였다

- 해석을 위해 데이터 입력
- 해석통계와 다양한 모니터링 데이터분석에 의해 계산

(2) 해석결과 검토
CFD 해석결과는 많은 수치로 구성되며 이를 분석하고 평가하기 위해서는 이를 가시화할 필요가 있다. 가시화를 통해 해석결과에 문제가 발생된 경우에는 해석 대상에 대한 수정을 고려할 필요가 있다.
- 생성된 결과 제시 및 수정

CFD를 이용한 수치해석 방법은 고려가 가능한 요소들을 반영하여 모형실험보다 경제적으로 결과를 얻을 수 있는 이점이 있다. 또한 현장평가와 달리 여러 가지 변수를 고려하여 효과적인 결과를 예측할 수 있는 장점이 있다.

본 평가에서는 이러한 CFD를 이용하여 평가하고 대표적인 물리량 보존법칙인 질량보존의 법칙과 운동량 보존의 법칙으로부터 도출한 다음의 연립편미분방정식을 지배 방정식으로 채택하였다. 난류모델로는 실용적으로 많이 적용하고 있는 표준 κ-Epsilon model을 사용하고, 각 식에서의 기호는 일반적인 교과서에서 사용하는 것을 기준으로 하였다.

- 연속 방정식 (Continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$$

- 운동량 방정식 (Momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

- 공기량 방정식 (Age of air equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left\{\left(\frac{\mu}{\sigma_l} + \frac{\mu_t}{\sigma_t}\right)\frac{\partial C}{\partial x_i}\right\} + S_c$$

- 난류 운동에너지 방정식 (Turbulent kinetic energy equation)

- 난류 운동에너지 소산율 방정식 (Dissipation rate equation of turbulent kinetic energy)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i e) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i} + G - \rho e$$

여기서,

$$\tau_{ij} = (\mu + \mu_t)\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial u_j}\right) - \frac{2}{3}\rho k \delta_i$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{e}$$

$$G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial u_j}\right)$$

C_1= 1.44 , C_2 = 1.92 , C_μ = 0.09 , σ_k = 1.0 , σ_e = 1.22

편미분 방정식의 해를 구하기 위해서는 각각의 편미분항을 이산화(discretization) 하는 과정을 거쳐야만 한다. 즉, 공간 편미분항의 경우 각 물리량의 공간내 분포를 알기 위해서는 해석대상 공간을 그리드로 나누고 각 그리드 교차점에 물리량을 부여해 주어야만 한다. 공간 편미분항을 이산화하는 방법은 크게 유한차분법과 유한요소법으로 나눌 수 있는데, 두 가지 방법의 차이점은 첫번째로 공간 내 각 물리량의 변화 프로파일을 선택하는 방법에 있고, 둘째로 이산화방정식을 유도하는 방법에 있다. 실제 건물 내 공간의 유동해석에서 공간 이산화 방법으로는 유한차분법 중 제어체적으로 이산화하는 유한체적법이 가장 많이 쓰이고 있다. 유한체적법은 최종 수치해가 질량, 운동량, 에너지와 같은 물리량들의 종합적인 보존관계를 전체 제어체적에 걸쳐 잘 나타내주고, 이산화 과정에서 그 물리적인 의미가 명확하다는 특징을 가지고 있다. 또한 이 특징은 그리드 간격에 상관없이 나타나므로 그리드 간격을 다소 크게 한 경우라도 각 물리량들의 전체적인 균형관계를 잘 나타내줄 수 있다는 장점을 지닌다.

시간 편미분항의 이산화방법은 explicit method, implicit method, crank-nicolson method, alternating-direction implicit method 등 크게 네 가지로 나눌 수 있으며, 각각의 방법마다 나름대로의 장단점을 가지고 있는데 건물 내 공간의 유동해석에는 시간간격과 그리드 간격에 상관없이 안정된 해를 구할 수 있는 implicit method가 많이 쓰인다.

1차원 비정상 편미분 방정식을 예로 들어 implicit method를 표현하면 다음 식과 같다. 단, 여기에서 공간 이산화방법은 형태를 단순화하기 위해 Taylor 급수법에 의한 중심차분을 사용하였다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial x} \qquad F = f(\phi)$$

$$\frac{\phi^{n+1} - \phi^{n}}{\Delta t} = \frac{F_{i+1}^{n+1} - F_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x}$$

ϕ : 물리량, n : 시간 단계, i : x축 그리드 위치+

Δt : 시간 간격, Δx : 그리드 간격

적합한 패널을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 통해 열전도가 어떻게 되는지를 예상하였다. 시뮬레이션시 재료의 조합과 온도조건은 다음과 같다.

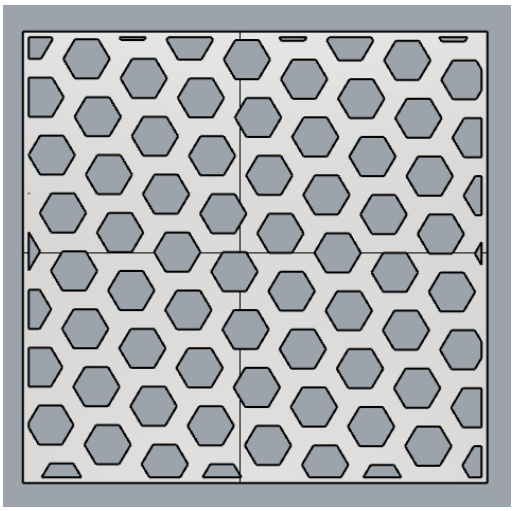


그림 101. 모델링

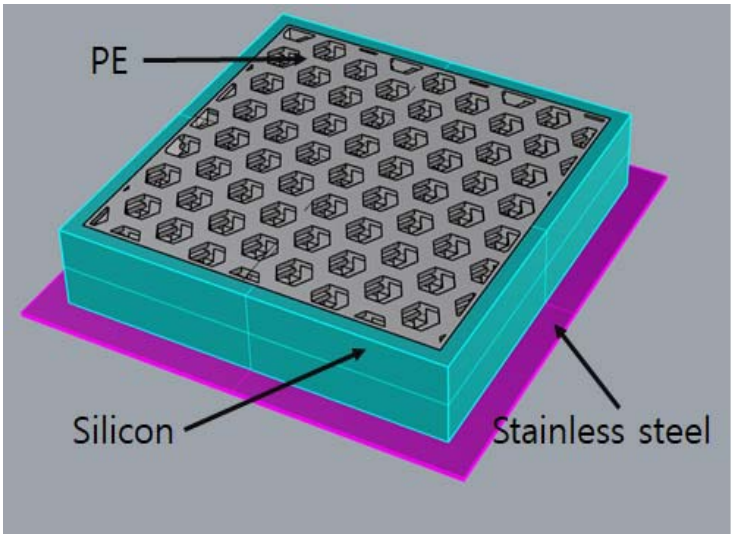


그림 102. 해석대상의 3D 모델링

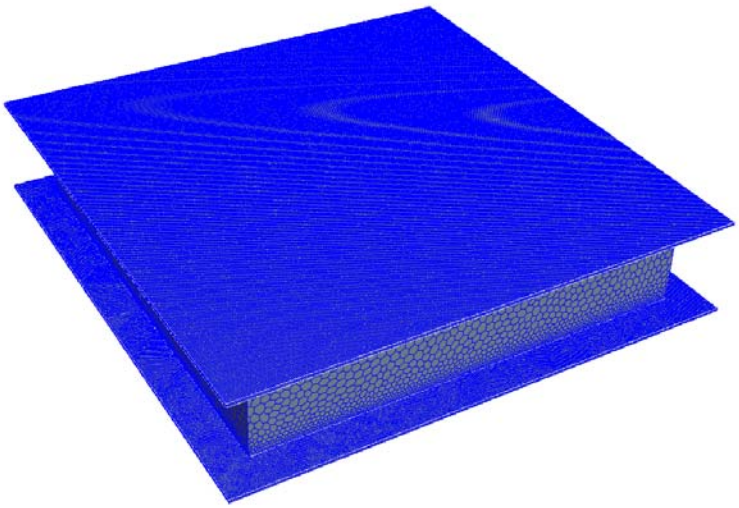


그림 103. 전체 모델링 (Mesh 포함)

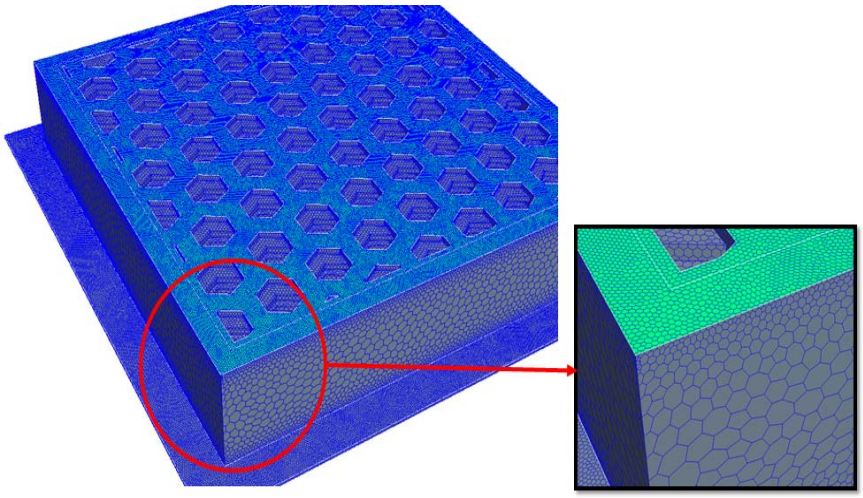


그림 104. Volume Mesh 작성

각 부분에서의 열전달을 확인하기 위하여 실험체를 대상으로 열전달 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션을 위한 Volume Mesh는 총 1,767,283cells로 작성하였으며 Polyhedral mesh를 사용하였다.

표 29. 재료의 조합 물성치 및 온도조건

물질	Density [kg/m^3]	Specific Heat [J/KG-K]	Thermal Conductivity [W/M-K]
PE	950	2300	0.5
Silicon	2329.0	702.0	124
stainless steel	8055	480	15.1
온도 조건	상부 스틸 윗면 표면		하부 스틸 밑면 표면
	50℃		20℃

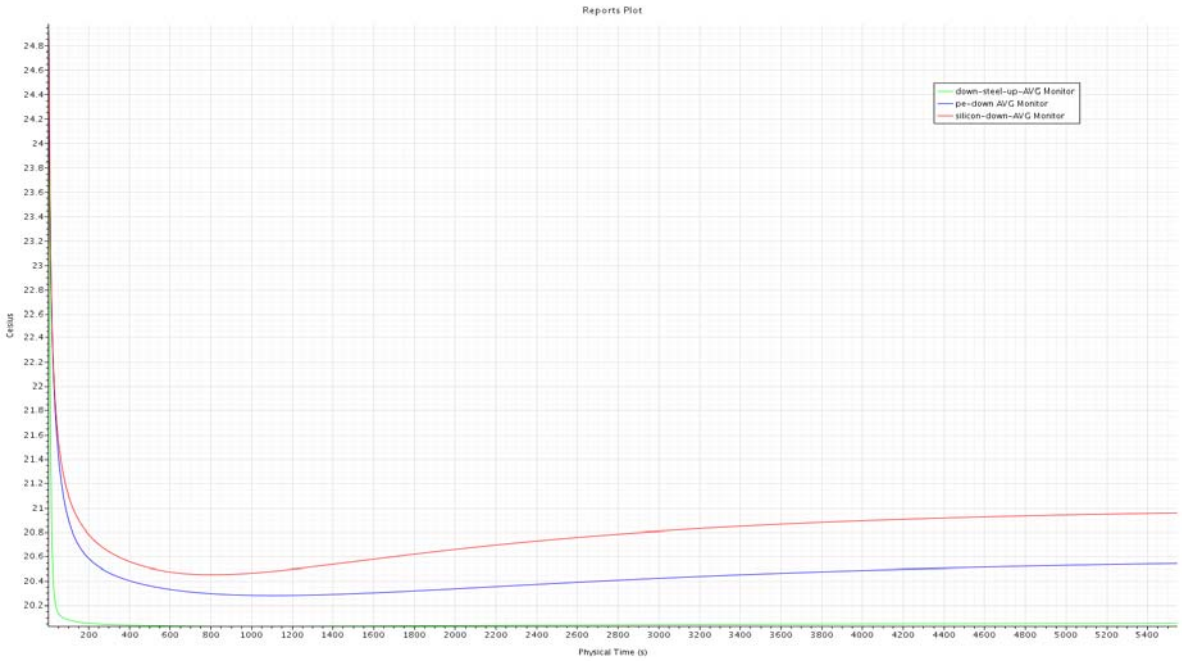


그림 105. 해석결과(계산개시 후 5,000sec 경과 후 평형상태에 이름)

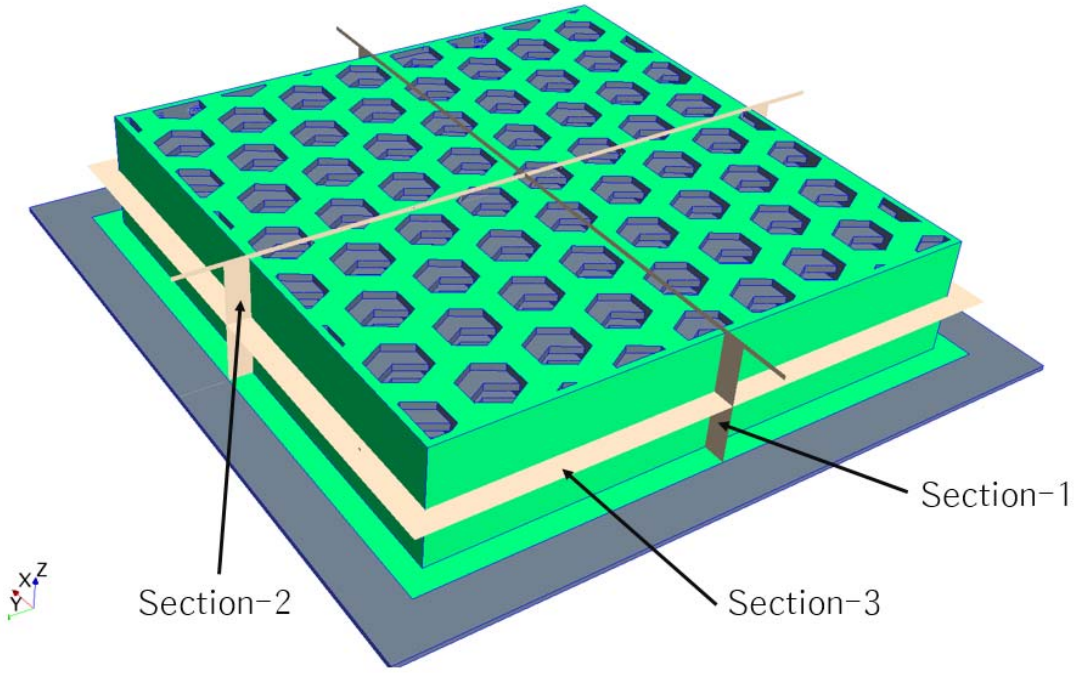


그림 106. 온도 해석 부분

그림 106은 실리콘 하부 표면, 하부 스틸의 표면 및 PE 하부의 표면 온도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 하부 스틸의 표면온도는 초기 경계조건인 20℃로 나타났으며 Pe의 하부온도는 실리콘의 하부온도보다 낮게 나타나 실리콘보다는 PE를 통해서 열전달이 많이 일어나는 것을 알 수 있다.

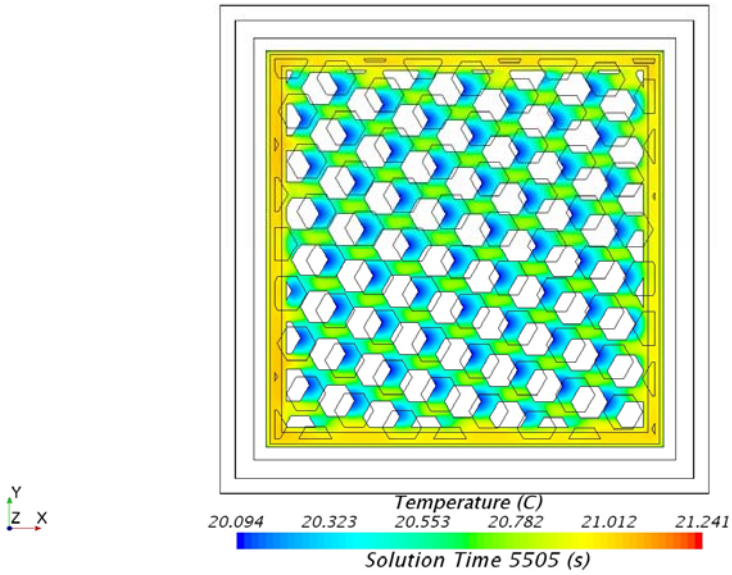


그림 107. 시뮬레이션 결과 (PE, Silicon 하부의 온도변화)

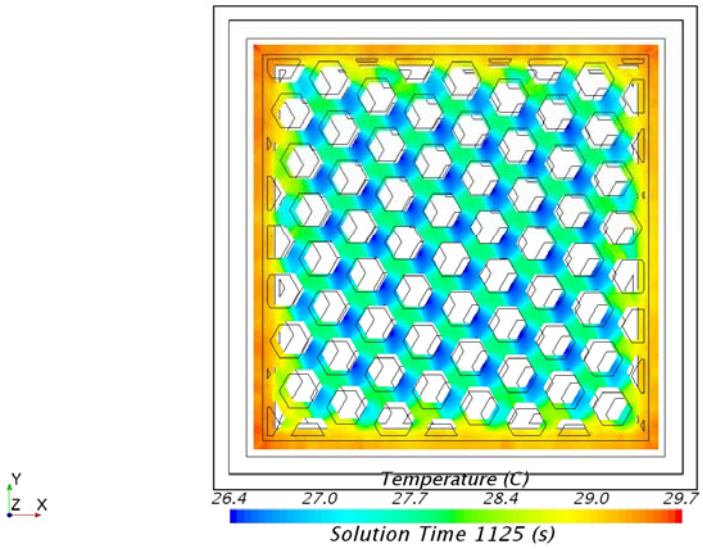


그림 108 시뮬레이션 모델의 중앙 부분

그림 107과 그림 108 결과 밀폐재의 온도차가 크게 나타났으며, 밀폐재에서 열전달이 이루어지는 것을 확인하였다. 이를 통해 테두리와 연결부위(접착부위)의 개발이 필요하며, 허니컴 구조의 적층 방법에 따라 온도차가 적게 나타나 적층방법 및 간격에 대해 보다 많은 개발이 필요할 것이다.

마. 각종 기밀성 재료에 대한 검토와 금속 패널간의 접착 방법, 금속 패널의 형상 유지를 위한 재료 선정

밀폐를 위한 고무오링 재질로는 크게 3종류인 NBR, Silicon, EPDM 재질을 사용하였으며, 종류에 따른 성능은 다음과 같다.

표 30. 고무종류의 성능

	NBR	EPDM	Silicone
순고무 비중	1~1.2	0.86~0.87	0.95~0.98
인장강도(kg/㎠)	50-250	50-200	30-90
신장율(%)	100-500	100-500	100-500

앞서 개발내용에서 언급하였듯이 기밀성 재료에 대한 검토는 계속 이루어지고 있으며, 금속패널간의 접착방법, 금속패널의 형상유지(진공유지)를 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며, 여러 가지 재료를 채택하여 실험을 진행하였다. 아직 더 많은 실험을 필요로 하며 고무오링과의 금속패널 융착은 다른 고무오링재질을 선택하여 추가 실험을 진행하여야 한다.

또한, 고무오링 재질이 아닌 금속패널간 구조용실란트(접착용)를 사용하였을 때도 접착 뿐 아니라 , 진공 가압 후 형상이 유지되는지를 확인해 보았다.



그림 109. 볼트 채결을 통한 진공가압 후 구조실란트 마감

구조실란트 마감 후에 다시 진공 가압을 실시하여 게이지를 통해 진공도 측정결과 유지되는 것을 확인 하였다. 하지만 진공가압시에 볼트채결을 하여 금속패널을 잡아준 후에 실험을 실시하여야 하며, 진공도가 최대치에 도달 하였을 때 밸브를 잠근 후 구조용실리콘을 사용하여 마감을 하여야 한다.

하지만 열전도율 시험이 아닌 시험체 제작을 하게 되면 밀폐방식은 다음과 같다.

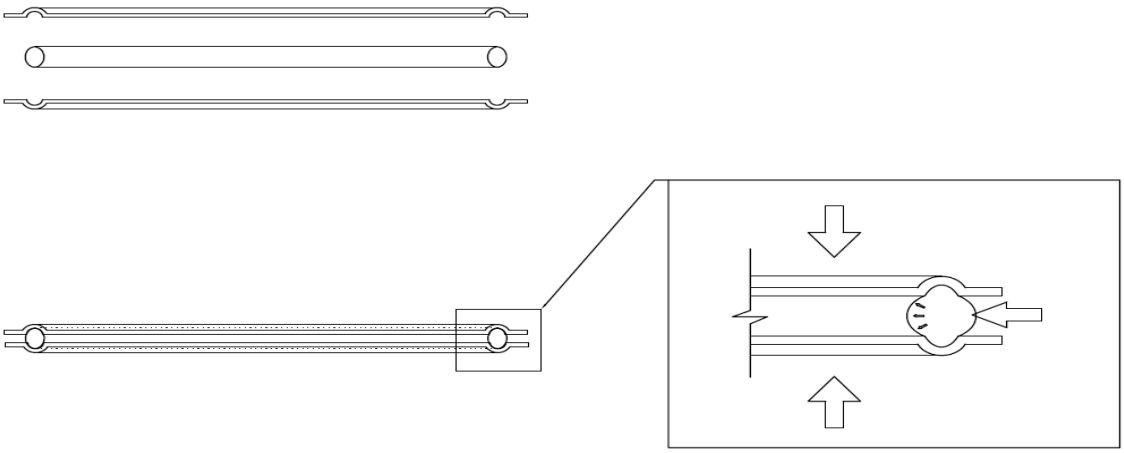


그림 110. 시험체 제작시의 밀폐 방법

금속을 금형제작하여 제작한 형태의 밀폐 방식이다. 진공가압을 하였을 때 금속에 의해 밀폐재인 고무오링이 압착하여 밀폐를 하는 방식이다. 하지만 금속패널 금형제작 비용이 비싸 실질적으로 연구과제에선 하지 못하였다. 추후 샘플 제작을 통해 확인을 하고자 한다.

바. 금속 진공 단열 패널-진공 펌프 연결 부위의 진공압력 손실 방지를 위한 연결 철물 개발

(1) 개요

금속진공단열패널-진공펌프 연결부위의 진공압력 손실방지를 위하여 플랜지 및 클램프를 활용하여 진행을 하였다. 플랜지와 클램프는 진공금속패널의 밸브와 진공펌프를 연결시켜주는 철물로 금속으로 만들어져 사용을한다. 연결종류는 다음과 같다.

Swagelok과 Swagelok - VCR 연결법 : 저진공, 중진공, 고진공 영역에서 사용가능하고, 연결직경이 25.4㎜까지 가능
Klein 플렌지(KF) 연결법 : 저진공, 중진공, 고진공 영역에서 사용가능
ISO - K 연결법(클램프 플렌지) : 저진공, 중진공, 고진공 영역에서 사용가능
CF 플렌지(Conflat) : 고진공, 초고진공에서 사용가능
COF 플렌지와 *Wheeler*플렌지 : 고진공, 초고진공에서 사용가능

(2) 금속 패널과 펌프와의 연결법

① Swagelok과 Swagelok-VCR 연결법

Swagelok(스웨즈락)-VCR은 중진공 영역에서 1inch(25.4㎜)또는 18㎜튜브를 연결시킬 수 있는 모두 금속으로 이루어진 연결법이다. 이 연결법은 과중압력기술이 사용되는 분야에도 사용가능하도록 설계되었다. 비록 고진공에도 사용가능하지만 작은 직경 또는 낮은 콘덕턴스 진공부품에만 사용한다.

실링은 암나사와 수나사의 고도로 연마된 실링 가장자리 사이에 금속 가스켓을 넣고 힘을 주어 결합시킨다. 금속 가스켓은 스테인리스 스틸, 니켈 또는 구리로 만들어지고, 실링면은 강

철로 만들어진다. 암나사는 벗겨짐을 방지하고 윤활을 위해 은도금한다. 1947년에 Swagelok은 중진공 영역에서 Swagelok연결부품으로 알려진 두 개의 페럴을 포함한 모두 금속인 스테인레스 피팅류를 소개했다. 결합하는 동안 뒤쪽 페럴은 나사 몸체에 밀려 압쪽 페럴을 누른다. 그 결과로 실링이 되는 것이다. 그 구조는 탄성력을 가지고 있어 진동이나 압력변화에도 연결이 지속 된다.



그림 111. 전형적인 VCR 연결방법
(몸체, 가스켓, 그랜드, 암나사 활용)

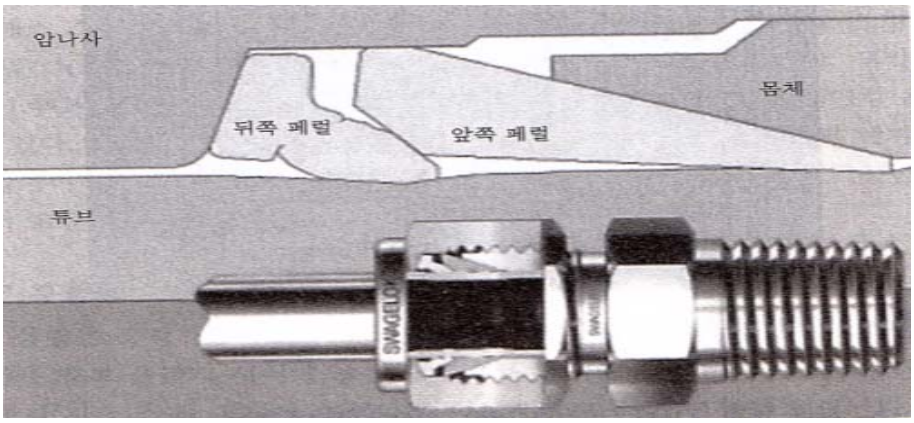


그림 112. Swagelok 실링 원리

이렇게 되어 뒤쪽 페럴의 가이드 에지(guide edge)가 경화된다. 가이드 에지의 경화는 상대적으로 낮은 조임현상이 나타나게 되고, 그때 뒤쪽 페럴의 충분한 스웨지(swage) 힘이 만들어진다. 지금까지 이 시스템은 개선되어 왔다. 일반적으로 풀고 나서 다시 사용도 가능하다. 또한 사용가능한 크기도 2인치(50㎜)까지 확장되었다.

이러한 두 가지 결합타입들은 *ASME*(American society of Mechanical Engineers), 원뿔모양의 ISO 나사(threads), 유사한 ISO 나사(단지 가스켓에 해당)문서를 따라 원뿔모양의 NPT 나사를 사용한다.

② Klein 플렌지 부품과 DIN 28403(ISO 2861-1)

이것들은 주로 플렌지 부품들, 실, 클램프 부품으로 구성되어 있다. 가스켓은 플렌지 사이에 놓여지고, 센터링으로 고정한다. 전체 부품의 고정은 신속 분리시킬 수 있는 부품을 바깥에 채결하여 수행한다. 가스켓은 페르부난과 바이턴으로 만들어졌다. 센터링은 안쪽 또는 바깥쪽에 놓여진다. 바깥쪽 센터링은 최소한의 사각공간을 가지고 있다. 특별한 클램프 클로(claw)는 플렌지-벽의 연결에 사용한다. 금속으로 모두 구성된 장비의 연결을 위해서 알루미늄 가스켓은 바깥쪽 센터링들과 결합된 날카로운 에지(edge)를 가지고 활용할 수 있다. 그러한 연결품들은

특별히 두 개 또는 세 개의 조각으로 이루어진 클램프 링을 가지고 결합한다. 또한 높은 클램프 힘이 필요하고, 실링면은 스크래치가 나지 않도록 잘 깎아야 한다. 이들은 대부분 100℃까지 베이킹 할 수 있다. 베이킹은 종종 알루미늄과 스테인레스 스틸과의 유사하지 않은 특성에 의해 누설이 증가할 수 있다.

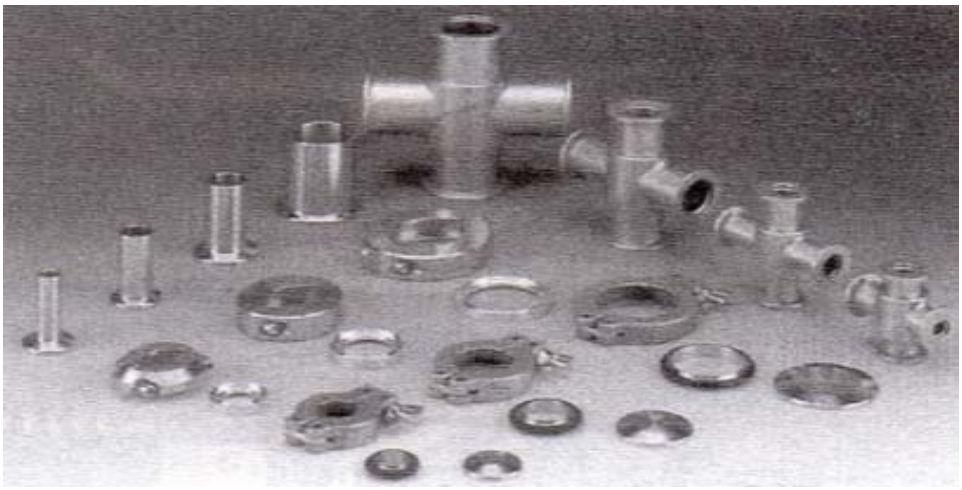


그림 113 KF 플렌지 부품

③ ISO-K 부품들과 DIN 28404(ISO 1609)를 따르는 실

플렌지 부품의 사용과 비슷하다. 가스켓을 플렌지 사이에 놓고 센터링으로 고정한다. 바깥쪽에 채결된 클램프 클러를 사용하여 고정한다. 가스켓 물질은 페르부난과 바이턴이다. 센터링은 안쪽에 설치한다. 리크 검출을 위해서 바깥쪽 삽입링은 설치하지 않는다. 특별한 클램프링은 역시 플렌지-벽 연결에 사용가능하다. 바깥쪽에 채결된 이음고리 링은 클램프 링을 대체할 수 있다.

④ CF 부품과 실(ISO/TS 3669-2)

UHV 응용분야에서는 금속 실링을 요구한다. 이는 높은 온도에서 베이킹(250℃ 상향)을 하고, 최소의 내부 가스배출 속도를 가진 부품을 사용해야하기 때문이다. 그렇기 때문에 고무재질의 실링 재료는 사용하지 못한다. 특별한 플렌지만이 높은 채결력을 제공할 수 있다.

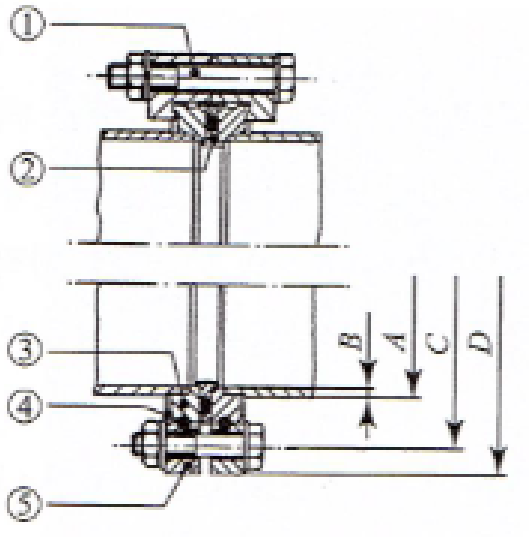


그림 114 ISO-K 클램프형 플렌지

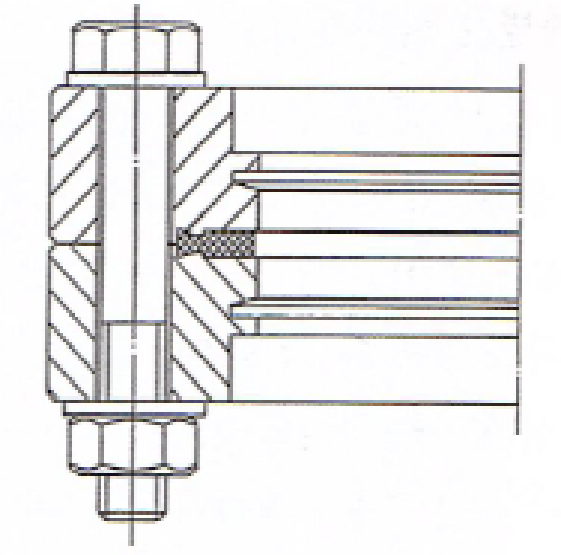


그림 115 CF 연결법

CF 플렌지의 경우 가장 많이 사용하는 유형이다. 날카로운 에지를 가지고 있는 플렌지는 연결을 위해 사용한다. 양쪽 플렌지에 있는 에지에 평평한 구리 가스켓을 놓고 플렌지에 뚫려 있는 구멍에 나사를 넣고 조이면서 연결한다. 누설 검출을 위해서는 플렌지의 바깥쪽에 있는 홈을 활용한다. 가스켓은 스테린리스 스틸과 열팽창 정도가 비슷한 OFHC 구리로 제조한다. 중간 정도의 강도를 가진 구리를 사용한다. 그 결합은 약 300℃ 정도에서 베이크 한다. 그러한 높은 온도는 오로지 단조된 1.4429 ESR 재료로 만들어진 플렌지여야 가능하다. 이들은 베이킹 온도에서 충분한 강도를 가지고 있다. 단조는 실링을 위한 강도를 높일 수 있다. 그렇지 않다면 에지에 문제가 생겨 실링 능력을 잃어버리게 된다. 요즘 CF 연결법은 ISO/TS 3669-2(베이킹 가능한 플렌지의 ISO 3669 표준)에서 표준화가 진행 되었다.

이러한 금속 실링은 공칭지름이 250㎜를 초과할 때 사용한다. 평평한 가스켓을 사용하는 대신에 구리 가스켓을 양쪽 플렌지 사이에 놓는 방법으로 연결을 체결한다. 메일(male)플레닛와 피메일(female) 플렌지 간의 실링 공간이 형성되고 이로부터 가스켓 변형이 일어난다. 이로부터 어떤 재료 움직임 없이 실링면이 형성되게 된다. 이러한 연결법은 1,000㎜까지 가능하다. 플렌지는 플렌지의 주변에 있는 홀에 나사를 넣고 쪼여 결합시킨다. 다른 형태의 디자인은 wheeler 플렌지로 알려져 있고, 이는 플렌지 주위에 앵커스쿠류(anchor screws)로 체결한다.

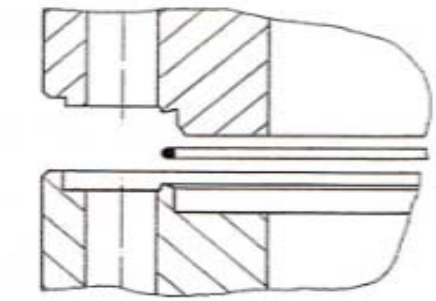


그림 116. COF 연결법

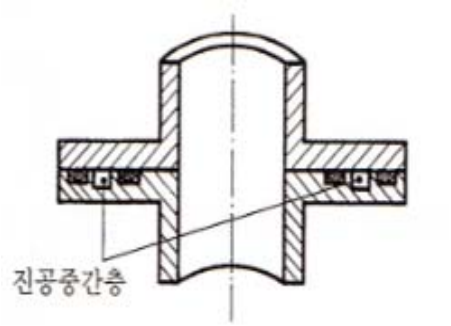


그림 117. 진공중간층을 가지고 있는 이중 실

표준화된 플렌지의 큰 변화에도 불구하고 진공기술은 특별한 플렌지와 실에 종종 의존하게 된다. 고진공 응용분야에서는 고무재질을 이용할 수 있는 플렌지를 사용한다. 진공중간층을 가지고 있는 이중 실은 용기의 높은 순도 유지가 필요로 하는 곳에 사용한다. 이러한 디자인은 가스 투과를 막는데 그 목적이 있다. UHV 응용분야에서는 모두 금속으로 이루어진 실을 사용하기도 한다.

*Helicoflex*실은 종종 사용하게 된다. 여기에는 단일 또는 이중 자켓으로 둘러싸인 나선형 스프링을 사용한다. 그렇게 모두 금속으로 이루어진 실링 부품을 두 개의 플렌지에 놓고 양쪽에서 쪼이면 매우 견고한 실을 만들어 낼 수 있다.
*Helicoflex*실은 다양한 모양을 제조할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 사용할 수 있는 소재도 다양하다. 후자의 경우 700℃까지 베이킹이 가능해야 한다. 자켓으로 사용하는 부드러운 소재는 플렌지 실링면의 소재에 따라 달라진다.

사. 금속진공 단열 패널 시공 후 유지보수를 위한 이동식 진공펌프 기준 정립

(1) 개요

현재 진공단열재(VIP)는 시공 후 진공도가 유지되지않고 단열성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 하지만 개발하고자하는 금속진공 단열패널의 경우 금속판재에 밸브를 부착하여 진공도가 떨어져도 추후 이동식 진공펌프를 통해 진공을 다시 가압하여 진공도를 유지할수 있다는 장점을 가지고 있다.

하지만 진공도 0.001torr를 달성하기 위해서는 메인펌프인 베이스펌프와 고진공을 만들기 위한 부스터 펌프가 필요하다. 또한 패널 규격에 따라 펌프의 크기도 달라지게 되며 본 연구에선 1×1㎡의 패널에 사용하기 위하여 선택한 부스터 펌프 및 베이스 펌프는 다음과 같다.

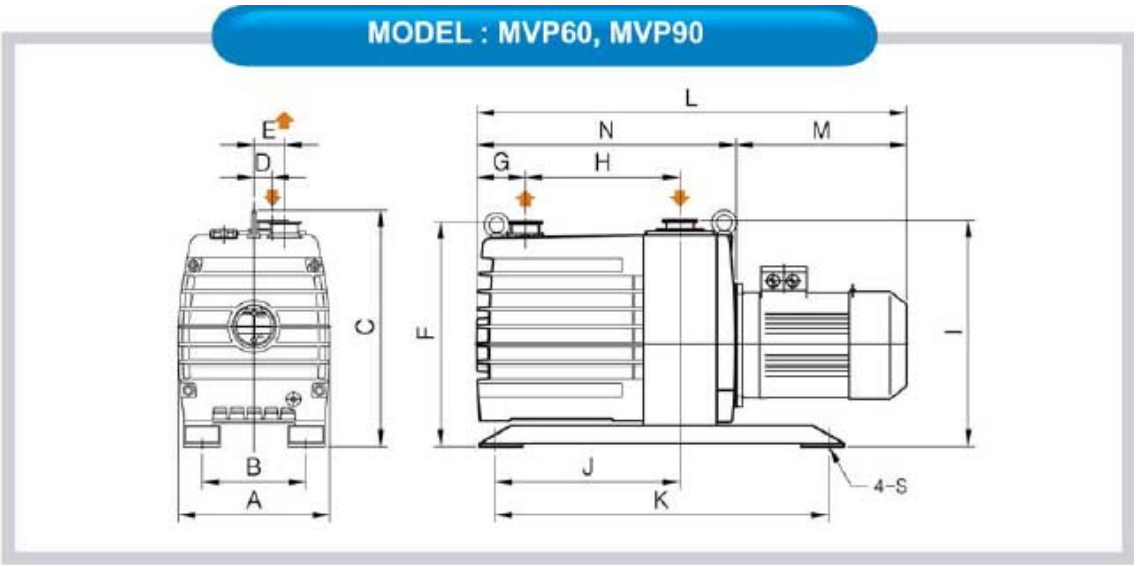


그림 118. 부스터 펌프 도면

표 31. 부스터 펌프 MVP60 규격 단위 : (㎜)

MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N	M	S
MVP 60	250	185	387	30	50	368	80	255	370	305	550	709	428	281	∅14

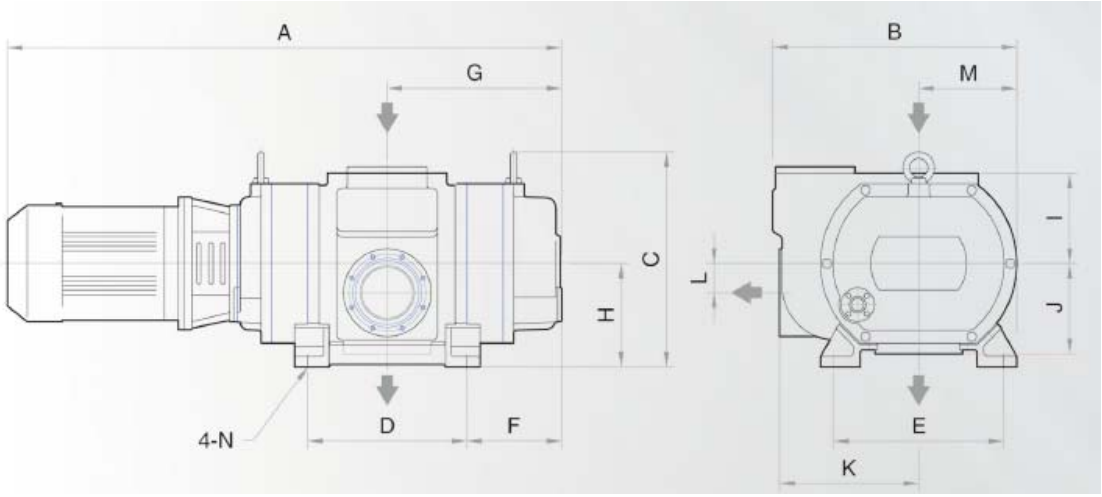


그림 119. 베이스 펌프 도면

표 32. 베이스 펌프 FRU 180 규격 단위 : (㎜)

MODEL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
MVP 60	687	287	299	188	210	117	211	145	120	120	-	-	127	∅13

부스터 펌프와 베이스 펌프의 무게는 각각 68㎏, 87㎏으로 무게가 무겁지만 무게를 줄일 수 있는 방안은 없는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 중장비에 사용되는 케스터 바퀴를 사용하여 펌프 및에 바퀴를 달아 이동할 수 있도록 제작을 하여 사용하여야 한다. 케스터 바퀴는 다음 그림과 같다.



그림 120. 케스터 바퀴

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

구 분	목 표	성과 지표	달성도(%)	내 용
1차 년도	밀폐재	부착강도(MPa)	100(%)	시험 성적서 검증
		인장강도(N/㎟)		
	무기질계 내부심재	압축강도(MPa)	100%	시험 성적서 검증
		흡수율(%)		
2차 년도	금속진공단열 패널	열전도율(W/mK)	80%	시험성적서 검증
		진공압(torr)		
		정밀도(㎜)		
		평활도(초)		
	무기질계 내부심재	압축강도(MPa)	100%	시험 성적서 검증
		흡수율(%)		
		겉보기밀도(g/㎤)		
		유해물질발생 (총휘발성유기화합물 ㎍/㎥)		
	진공밸브 및 펌프	진공밸브사용압력 (MPa)	100%	시험 성적서 검증
		내구성-발열(가동시간대비)온도(℃)		

2. 관련 분야 기여도

가. 연구 개발의 창의성

- 기존 진공단열재로 단열 성능이 유지될 수 있는 기간이 짧음(20~25년)
- 표면 마감의 손상 우려가 높아 운반 및 시공편의성(현장에서의 취급이나 가공)이 낮음
- 내부 물질(흄드실리카, 글라스 울 및 마감재료)의 가스발생 및 외피재 투기성으로 인한 진공도 저하
- 진공 파괴가 일어날 경우 단열성능이 매우 저하되지만 이에 대한 보수보강의 방법이 없음
- 중단열 시공으로만 가능함. 마감재 추가 필요, 시공법 어려움

나. 기대 효과

○ 기술적 측면

- 진공단열재를 이용한 건물외피 모듈 설계 및 성능평가 기술 확보
- 차세대 고효율 제로에너지 건물 구현을 위한 주요 요소기술 확보
- 금속재 외피의 도입으로 품질 및 유지관리의 편의성 확보
- 금속진공단열 패널의 선도적 차원의 전용 생산 장비(진공펌프 등) 구성
- 진공펌프와 같은 전용장비와 전용취부방식의 시스템 개발로 기술력 확보
- 기존의 진공펌프의 이동 가능형 제품 생산 및 최적 단열용진공기 개발

○ 경제적 · 산업적 측면

- 에너지 절감 및 효율을 향상시켜 건축물의 유지관리 비용 절감
- 단열 및 외장재 설치의 단순화로 건설비용 절감
- 건축 신소재, 신기술 보급 및 신규시장 창출
- 시공 된 진공단열 패널의 유지보수를 위한 신규업체 양성 기여
- 진공시스템 장비의 국산화로 생산비용 절감과 가격경쟁력 향상
- 진공단열 패널을 위한 전용장비 개발로 외국계 기업에 대한 경쟁력 확보

○ 사회적 측면

- 건축물의 에너지 소비 절감을 통한 탄소 저감에 기여
- Zero Energy House와 같은 차세대 주택 보급 정책에 기여
- 에너지 절감형 친환경 건축자재 보급 정책에 기여
- 기존 건물 외부 보수에 이용 가능하므로 건물 사용 내구연수 증가에 기여

다. 경제성 분석

○ 국내 단열재 시장 수요 2012년부터 2021년까지 7.6% 증가 전망

- 국내 건축용 단열재 수요는 2016년 78만3700톤으로 전년대비 17% 증가했다. 수요 증가의 가장 큰 원인은 전방산업인 건축경기의 활성화를 꼽을 수 있다. 국내 건설경기는 2013년을 기점으로 건축 착공 및 허가 면적이 증가하기 시작하여 2015년 전년대비 36% 증가한 수치를 기록했다. 단열재 및 인테리어 제품은 착공 이후 실제 사용될 때 까지 1~2년간의 시차가 있어, 최소 2018년까지 건자재 시장은 호황을 유지할 것으로 전망된다. 또 다른 원인으로 '건축물 에너지 절약 설계기준' 등의 규제 강화의 영향을 받은 것으로 분석된다. 1979년 이후 건축물 단열재 허용두께는 꾸준히 강화되어 왔다. 2016년 7월 시행한 단열재 허용두께는 2013년 9월 시행규칙 대비 29%(가등급 기준)나 증가했다. 에너지절약 설계기준 강화로 외벽 단열재 두께의 요구수준이 높아지면서 자연스럽게 단열재 수요량이 증가한 것이다. 단열재 시장의 성장은 건축경기 회복으로 면적 수요가 증가한 가운데 에너지 절약 설계기준 강화로 단열재 두께 증가가 동시에 작용한 것으로 분석된다.

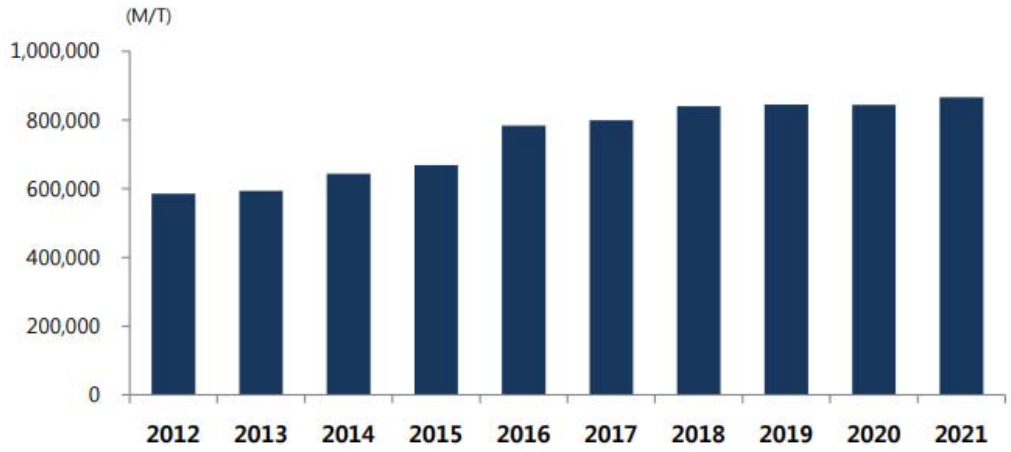


그림 121 국내 단열재 시장 현황 및 전망

- 단열재는 크게 유기질 단열재와 무기질 단열재로 나눌 수 있다. 대표적인 유기질 단열재로 EPS, XPS, PU, PF보드 등이 있으며 무기질 단열재로는 글라스울, 미네랄울이 주로 사용된다. 진공단열재는 심재에 따라 유기 단열재 혹은 무기 단열재로 구분된다. 2016년 기준 EPS, 글라스울, PU, XPS 등 4大 단열재가 시장의 90% 이상을 차지하고 있는 가운데, EPS가 여전히 단열재 시장의 과반 이상을 장악하고 있는 것으로 파악되었다. 국내 EPS시장은 원료 생산업체는 6개인 반면, 단열재 성형기업은 100여 개이상의 소규모 업체들이 난립하고 있는 구조로 지역별 수요를 각 지역의 업체들이 대응하고 있다. EPS 내에서는 비드법2종(흑색EPS)이 2016년 기준 과반 이상의 점유율을 차지했으며, 2021년에는 EPS 판매비중의 76%까지 높아질 것으로 전망된다. 에너지 절약 설계기준 강화로 인한 단열재 후막화, 난연 규제 영향 등으로 EPS의 위기론이 대두되고 있지만 가격 경쟁력으로 인해 시장에서는 여전히 선호되고 있다.
- 2016년 기준 화재현황을 살펴보면 구조(발코니, 옥상, 지붕, 외벽 등)화재 1480건 중 외벽화재는 387건으로 26%를 차지했다. 최근 잦은 화재 발생으로 인해 정부는 건축물의 화재관련 규제를 강화하고 있다. 2015년 9월 시행된 건축법 규칙에 따르면 2,000㎡이상 상업지역 건축물, 6층 이상 또는 높이 22m이상 건축물 외벽에 불연 및 준불연 마감재료를 사용해야 한다. 정부의 규제강화는 외단열재 시장 뿐만 아니라 단열재 시장 전체 변화의 시발점이 되었다. 화재를 방지하거나 화재시 대피시간을 확보하기 위해 전체 건물이나 외벽에 PU, PF보드, 글라스울 등 준불연재 단열재를 사용하고 비상구나 계단에는 미네랄울과 같은 불연재 단열재 사용하는 추세로 변화되고 있다.
- 샌드위치 패널코어용 시장에도 변화를 확인할 수 있다. 샌드위치 패널 화재 사건 발생 후, 화재위험에 대한 관심이 높아지면서 준불연재 패널코어 수요가 증가하기 시작했다. 샌드위치 패널코어에 적용되는 소재는 EPS, PU, 글라스울이 대표적이다. 2016년 기준 EPS가 전체 점유율의 44%를 차지했으나 글라스울, PU 등 준불연재 소재의 수요가 증가하는 추세이다. 2021년에는 EPS는 점유율 하락이 글라스울과 PU는 점유율 상승이 전망된다.



그림 122 2016년에서 2021년 샌드위치 패널 코어의 점유율

○ 개발된 제품과 기존 단열재와의 가격 분석

- 국내 시장현황에 대해 진공단열재 생산 업체인 OCI, KCC, 벽산 등에서 생산되어지는 것으로 조사되었으며 금속 외장패널의 에 관련하여 금속암면 판넬에 대해 조사하였다. 진공단열재는 실제적으로 단독으로 사용이 어려워 진공단열재를 감싸는 EPS 단열재 판넬을 이용하고 있다. 이런 시공 방법에 준하여 가격을 산정하면 아래 표와 같다. (한국물가정보, 2018)

구분	단열재		외장패널 (금속암면판넬)	합계
	진공단열재	EPS 판넬		
두께(크기 1,000*1,000)	8T	50T	60T	
가격(원)	62,400	9,900	352,000	424,300

- 개발된 금속진공 패널의 구성재료는 외부 마감은 스테인레스 판넬의 기준, 내부 충전재는 기포콘크리트를 기반으로 하여 가격을 산정하면 다음과 같다. (한국물가정보, 2018) 원부자재에 대한 사용량을 도출한 것으로 금속진공 패널의 구성 재료와 기존 진공단열재의 가격을 비교하면 약 60% 이상의 절감이 가능할 것으로 예측한다.

구분	내부 충전재 (ALC 경량기포콘크리트)	밀폐재 (실리콘)	마감재 (스테인레스)	밸브 및 기타 재료	합계
두께(크기 1,000*1,000)	40T	40T	3T		
가격(원)	34,320	43,000	52,000	15,000	144,320

제5장 연구 개발 성과의 활용 계획

1. 개발 기술의 현황

○ 최근 건설시장의 규모 및 건설투자에서 건축자재 부문의 점유율(2000년 기준 38%)을 본다면, 건축자재 시장규모는 2005년 기준금액으로 보았을 때 2010년 대략 60조원 (건설투자액은 159조 원), 2015년 65조 원(건설투자액은 171조 원), 2020년에는 68조 원(건설투자액은 180조 원), 2030년에는 72조 원(건설투자액은 189조 원)으로 예상되고 있으나, 실제로는 건축자재의 고급화, 다양화, 고기능성화, 친환경제품화 등으로 인하여 건축자재의 시장규모는 중장기적으로 더욱 증가할 가능성이 높음.

○ 국내 알루미늄 창호 시장은 2007년 1조 2천억원 내외 규모이며, 건물의 고층화 추세에 따라 2015년에는 1조 6천억~2조원 내외 수준까지 성장. 더욱이 중동지방의 건설 시장 강화와 국내 기업 진출 추세로 볼 때, 더욱 많은 성장이 가능.

○ 초고층 건물 시장성장에 따른 커튼월 시장 급성장 예상으로 세계 및 국내 초고층 건물시장은 지속 상승 추세에 있으며, 이에 따라 커튼월 시장도 동반 상승할 것으로 예상

○ 기존 건축물의 경우, 현재의 연구수준으로 볼 때 보수보강을 실시할 수 없는데 반해, 제시한 연구개발 및 상용화를 통한 보수보강 신규시장 창출이 가능하며, 보수보강을 통한 국가적 에너지 절약 정책에 기여할 수 있음.

○ 국내 진공단열재 생산업체 중 KCC는 글라스울, OCI는 흄드 실리카를 심재로 사용하고 있으며, 글라스울 또는 흄드 실리카의 소재별 재활용 기술은 지속적으로 연구 중임.
○

2. 기술 수요처

○ 건축물 에너지 효율 향상을 위한 건축물인 주거와 비주거 등 건축 분야 적용 가능
○ 2025년 국내 건축 제로 에너지 건축을 위한 단열 재료로 사용 가능

3. 현장 적용방안(계획)

○ 현장 적용은 개발된 제품과 공법에 의해 현장 시공을 통한 모니터링을 실시할 것임. 적용범위는 개발도 금속 진공단열재의 외부 마감재로 사용하는 것과 외부 마감재 내의 단열재로 사용하는 것으로 현장 적용을 실시

○ 또한 현장 적용을 통한 지속적인 모니터링을 실시하는 것으로 기존 진공단열재의 문제점을 해결

4. 실용화 및 제품화 방안

○ 개발 제품은 아래 그림과 같은 금속 외피를 갖고 심재로는 무기질 재료를 갖는 금속 진공단열재로서 금속 외피의 재질, 내구성, 진공도 등과 심재로는 무기질 재료로 내구성, 변형률 등에 대한 안전성을 갖는 것과, 내부 심재의 다양한 형상의 적용을 통해 금속 진공단열재 제품을 개발



그림 123 금속진공단열 패널(예)

5. 미래 원천 기술 확보 및 신사업 분야

○ 건축물의 에너지 소비량의 감소는 지구온난화를 감소시키는 것으로 신산업 분야에 해당하는 것으로 볼 수 있음.



그림 124 미래원천기술 확보에 관한 기대 효과

○ 진공단열재의 원천 기술 획득

○ 개발 기술 이전 및 해외 수출 가능

○ 건축물 에너지 효율 향상에 의한 유지관리비용 저감

○ 진공단열재의 문제 해결에 의한 단열재 사용 확대

○ 진공단열재의 유지 관리의 편이성 제공

○ 외부 마감과 동시 시공에 의한 공사기간 단축에 의한 경제적 이득

○ 건축물의 에너지 효율 향상에 의한 이산화탄소 발생 억제

○ 다양한 건축물에 적용 가능한 단열재로 인한 경제적 이득 발생

○ 기존 진공단열재와는 다른 커튼 월에 적용이 가능한 금속재료를 사용하였으며, 또한 고무 오링을 통해 밀폐를 시키는 독단적인 공법을 통해 세계 시장에서도 특별함으로 해외 시장 수출 가능성 증대

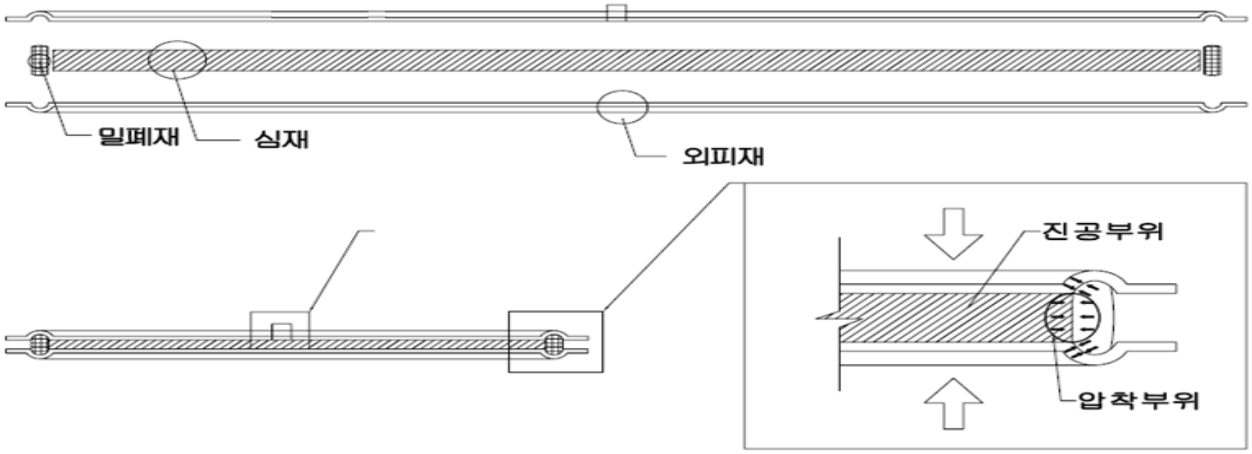


그림 125. 개발하고자하는 진공단열재 개념도

6. 연구의 한계성 및 추후 추가적으로 필요한 연구

○ 기존 진공단열재의 단열성 평가 방법은 본 연구에 적용이 어려운 실정임. 본 연구에서 진행된 진공단열재는 진공 상태를 만들기 위해 밸브를 채결하여야 하며, 모양 또한 정사각형 형태로 만들어질 수 없는 구조이기 때문임.

○ 본 연구에서 개발하고자하는 진공단열재에 적용이 가능한 새로운 평가기법과 수준이 필요하다. 이를 위해 측정방법을 위한 추가적인 연구가 필요하며, 현장적용될 커튼 월 전용 진공단열재 개발도 추가적으로 진행되어야 한다.

○ 개발하고자하는 진공단열재를 제작하기 위해서는 금속재를 금형제작을 하여야 함. 하지만 비싼 가격으로 인하여 본 연구에서는 진행되지 못하였음. 이런 문제를 개선하여 금속재의 금형제작이 이루어진 후 추가적인 실험을 진행하여야 함.

제6장 연구 과정에서 수집한 해외과학기술 정보

1. 국내 과학 기술 정보

○ 국내에서도 현재 친환경주택에 대한 관심이 높아졌으나, 유럽지역과 미국의 경우 이보다 먼저 친환경주택에 대한 장기계획을 추진 중에 있음. 그 예로 미국에서는 1994년부터 2012년 말을 목표로 에너지 사용을 30% 저감하는 고효율 에너지 주택 100만 가구 건설 장기계획을 추진하고 있으며, 유럽에서는 2019년부터 새로 건설되는 모든 주택을 제로에너지하우스로 시공하여야함. 이와 같은 계획 및 규제에 의해 높은 단열성능을 갖는 진공단열재에 대한 관심과 연구를 통해 개발 및 유통이 이루어지고 있는 반면, 사용상의 문제점(시공성, 사용내구연수 등)에 대한 인식이 생기며 거대 시장의 형성이 이루어지지 않음. 현재 국외에서 생산되는 진공단열재는 흄드실리카와 글라스 울을 내부 심재로 사용하는 독일과 일본이 대표적임.

○ 초창기에는 외부 공기가 내부로 유입되는 것을 방지하기 위하여 가스 투과저항이 큰 알루미늄 호일(AL-Foil) 필름을 사용하였으나, 열교 현상이 심하게 발생되어 근래에는 3층VM-PET필름을 많이 사용하였고, 최근에는 폴딩부위의 열교 현상을 극단적으로 저감 시킨 비금속 외피재가 상용화되어 보급되고 있음.

○ 진공단열재(VIP)를 적용하였을 때 시간경과에 따라 진공유지가 어려우며 그에 따른 열성능 변화에 대한 연구도 이루어지는 추세이며 이부분을 개선하기위한 연구도 이루어짐.

2. 해외 과학 기술 정보

○ 독일 Porextherm (Vacupor)
미세기공 절연물질을 소재로 하여 극히 낮은 열전도율을 가지고 있음. 이는 흄드 실리카(Fumed Silica)를 내부소재로 하여 알루미늄 코팅된 다층 필름으로 둘러 싸여 있으며, 내부를 진공 처리 하여 알루미늄 코팅된 다층 필름으로 둘러 싸여 있으며, 내부를 진공 처리하여 0.005W/mK의 열전도율을 실현함.

라이프 스타일 변화(식습관, 생필품 구매, 자동차 구매, 주택 구매 또는 디자인 등)에 따라 기업은 소비자의 기소에 맞는 제품 생산을 위해 노력하며, 독일의 진공단열재 생산기업 중 규모가 큰 기업의 공통점은 로컬 판매 또는 유럽 판매의 중심을 두나 중국 수출로 더욱 큰 이익을 보며 나머지 업체는 대부분 유럽으로 수출함.

진공단열재(VIP)와 유사한 Neopor(독일의 대표적인 화학업체인 BASF 사에서 생산)는 현재 Passivhome(단열로 히터가 필요 없는 집, 햇빛, 전자제품, 그리고 사람에게서 나오는 열로 집을 따뜻하게 함)에서 볼수 있으며, 향후 유럽 전체에 증가할 것임.(대표적인 건축업체: Variant Haus)

독일 건물의 약 70% 이상이 25년 이상 됐으며, 이로 인해 업계는 리모델링에 메인 비즈니스를 둠. 이 업체들은 새 건축 또는 리모델링 시 독일 정부의 친환경 규정을 지켜야 하며, 이로 인해 단열, 에너지 절약 등 건축조건들을 법적으로 지켜야 함.

독일의 대표적인 진공단열재 생산업체 정보는 다음과 같다.

표 36. 진공단열재 생산 업체 정보 출처 : 독일 진공단열재협회

업체명	홈페이지	설립연도
Vaku-Isotherm GmbH	www.vaku-isotherm,de	2005
Vacu-ISOTEC KG	www.vaku-isotherm,de	2004
HASIT TrockenmÖrtel GmbH	www,hasit.de	1967
Porextherm Dämmstoffe GmbH	www,proextherm.de	1989
Variotec Sandwichelemente GmbH & Co, KG	www.variotec.de	1986

○ 일본 파나소닉(Panasonic), 미쓰시타 레키 가부시키가이샤

글라스 울 심재를 사용한 진공단열재를 사용하며 유리를 고온으로 가열하고, 실과 같은 섬유 형태로 뽑아내어 회전을 통한 섬유 형태로 제조하고 여러 겹으로 포개어 압밀하여 제작 되며, 외부는 알루미늄 은박으로 마감 됨. 주로 냉장고와 같은 가전제품과 같은 산업용과 포장재로 사용됨.

일본 시장조사 전문기관인 후지경제에 의하면, 2016년 기준 일본의 단열재 시장규모는 3966억 엔 (약 4조 2500억 원)으로 되며 2023년에는 4478억 엔 (약 4조 8000억 원) 규모로 성장할 전망임.

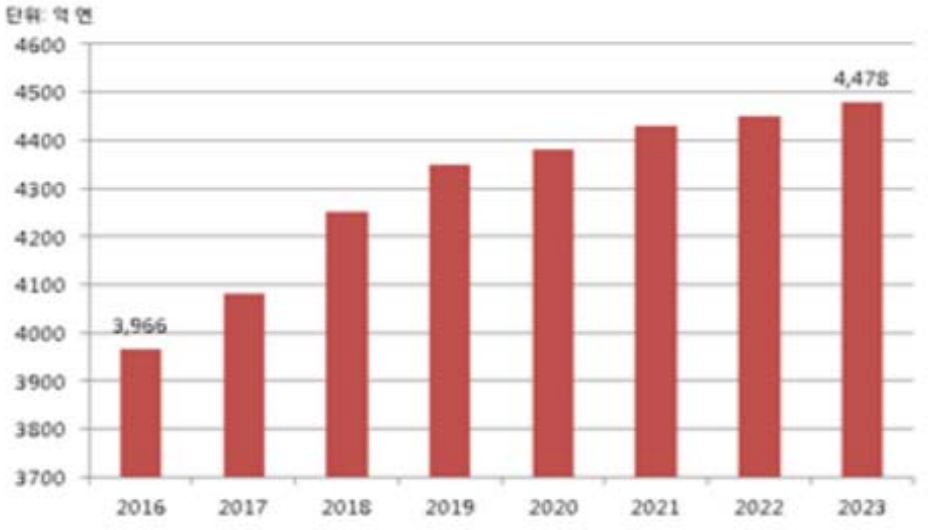


그림 126. 일본단열재 시장규모 추이 및 전망 (출처 : 후지경제)

건축물법에 의거, 2017년 4월부터 총면적 2000㎡ 이상의 신축 건축물에 대해 에너지 소비 성능 기준(에너지 절약 기준)준수가 의무화됐으며 2020년 4월 부터는 규제 대상이 확대되어 모든 신축 주택에 대해서도 에너지 절감 기준이 적용될 예정임.

2011년 동일본 대지진 이후 일본 내 에너지 수급문제가 사회 이슈로 부상했으며, 에너지소비 증가세가 뚜렷한 건축물 분야의 에너지절약 대책이 필요서이 대두됨.

법률 제정 이전에는 건축물에 대한 내진, 내화 성능에 대한 기준만 존재하고 에너지 소비에 대한 기준 및 규제는 일본 내에 전무 했으며, 법률이 적용되기 이전에 건립된 건축물에 대해서 즉시 준수 의무가 발생하지 않으나, 향후 성능 기준에 미달하는 건축물은 매매나 임대 계약, 담보대출 확보 등이 어려워지므로 에너지 성능 개선을 위한 리모델링 수요 또한 급증될 것으로

예상. 일본 정부는 건축물 에너지 소비성능 향상을 위해 단열성이 높은 샤시나 유리, LED조명, 고효율 고조 기계설비 및 급탕 설비의 설치 등을 권고함.

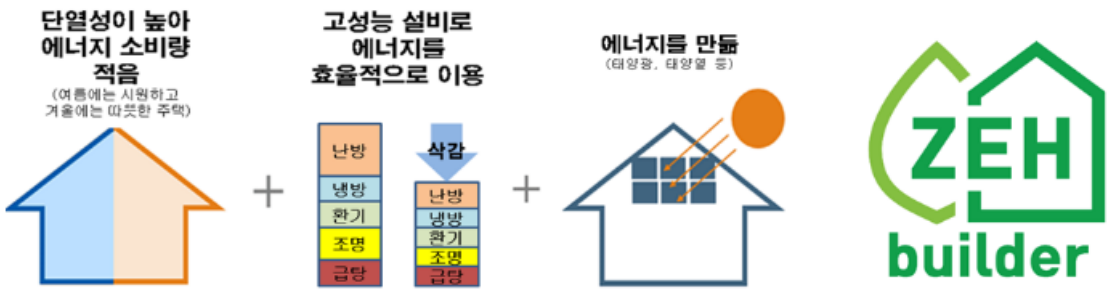


그림 127. ZEH의 원리, ZEH builder 인증 마크 (출처 : 일본자원에너지청)

일본 정부 및 자자체는 신규주택 건설보다 기존 주택을 활용하는 리폼을 정책적으로 권장하는데, 벽이나 창문 등의 단열성을 높여 에너지 효율성을 향상시키는 리폼에 대해 보조금 지급 및 감면제도를 시행하고 있어 리폼 시장의 확장 역시 단열재 수요확대에 직결됨.

일본 정부는 2025년까지 시장규모를 20조엔 (약 200조 원)까지 성장시킬 것을 목표로 하고 있으며, 한편 리모델링용 건자재 시장은 2조 2억 엔 규모로 신축용 건자재 시장의 약 15%에 달함.

건축용 단열재에 대한 전반적인 수요가 증가하는 가운데 기존에 일본에서 대세였던 글라스울 재질 제품 대비 좀더 저렴하고 가벼운 소재의 제품을 찾는 움직임이 있음. 이러한 동향으로 최근 일본에서 수요가 증가하는 알루미늄제 단열시트가 있음. 하지만 알루니늄 재질 외의 단열재로는 탄소섬유 제품, 규산염 나노입자(Fumed Silica)제품, 진공단열재 등 첨단 소재 제품이 높은 성장률을 보이고 주로 일본제 제품이 널리 유통되고 있음.

제7장 연구개발 성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유		

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 및 장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행 실적

○ 연구실 안전점검

연구실 안전관리담당자 지정(공주대학교 실험·실습실 안전관리 규정 제4조) 및 각 캠퍼스별 안전환경관리자 연락체계 유지

일상점검 : 매일 실험 전 연구활동종사자가 체크리스트를 토대로 점검하고 기록

정기점검 : 1년 단위로 일정자격과 장비를 갖춘 전문 점검기관의 전무가들을 통한 정밀안전진단 실시

○ 연구실 안전교육

비상연락망 구성 : 실험실별 비상시 활용 가능한 연락망(지도교수, 병원, 소방서, 당직실)을 게시하여 사고 발생 시, 신속한 조치가 가능하도록 함

실험실(연구실) 안전수칙 게시 : 각 실험실 특성에 맞는 안전수칙을 제작 게시하고 교육하여 안전사고 방지 유도

※ 안전교육 참여인원 및 교육내용을 기록하고 관리하며, 연구사용 기자재에 대한 안전수칙 작성 및 부착

※ 연구개시 전 연구실 및 실험실 정돈 및 안전진단 실시

○ 안전교육조치 계획

1) 연구활동종사자 정기교육 : 반기별 6시간 이상(년 12시간)

2) 연구활동종사자 신규채용 교육 : 8시간 이상

3) 정기안전교육(온라인)시행 : 연구실안전정보망에서 온라인 정기교육 시행

4) 연구활동종사자 건강검진 실시

5) 지능형 연구실 안전관리시스템 설치 운영 예정

○ 연구실 안전 관리 체계 및 실시

1) 실험실 안전괄리 체계

1단계 : 실험실	⇨	2단계 : 소속단과대학	⇨	3단계 : 전담부서
연구실안전관리책임자 (연구책임자)		연구실 소속부서의 장 (단과대학장)		연구실환경안전관리자 (시설과)

2) 연구실 정밀안전관리 실시 계획

2년마다 연구실 정밀안전진단을 실시하여 교육과학기술부에 보고함

※ '17년도 연구실 정밀안전진단 실시

점검기관 : 교육시설재난공제회

○ 교육훈련 등

○ 보험가입 등 조치계획

○ 연구활동종사자 보험 가입
-대상 : 과학기술분야 연구활동 종사자(약 9,600명 정도)
-가입 : 연구실 안전공제
-보상 : 사망시 1억원, 부상시 1천만원

○ 학교경영자배상책임보험 가입
-대상 : 학부, 대학원생 전원(대학원 비 학위과정 제외)
-보상 : 대인보상액 1인당 2억원 / 사고당 10억원 / 자기부담액 1사고당 10만원

제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	페로니켈 슬래그 분말 대체율에 따른 폴리머 모르타르의 특성	공주대학교 건축공학과	주저자	대한민국		2018.01.10	단독사사	
2	특허	허니컴 구조의 보강 심재 및 이를 포함하는 진공 단열 패널, 허니콤 구조의 보강 심재 제조방법	공주대학교 산학협력단	발명자	대한민국		2018.11.08	단독사사	

제11장 기타 사항

1. 공인성적서

KCL

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CI17-119164
2. 의 뢰 자
   ○ 업 체 명 : 공주대학교산학협력단
   ○ 주 소 : 충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동,공주대학교산학연구관)
3. 시험기간 : 2017년 11월 02일 ~ 2017년 11월 21일
4. 시험성적서의 용도 : 연구과제용
5. 시 료 명 : 일폐재 0
6. 시험방법
   (1) KS M ISO 4624:2012 (2) KS F 4803:2005
7. 시험결과
   1) 일폐재 0

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
부착 강도	MPa	(1)	5.9	(23 ± 2) ℃ (50 ± 5) % R.H.
인장 강도	kgf/㎠	(2)	22.3	(23 ± 2) ℃ (50 ± 5) % R.H.

* 배합비(중량비) - [주제 : 경화제 = 1 : 1]
* 부착 강도 일련은 의뢰자가 제공

—— 이 하 여 백 ——

확인	작성자 성 명	고상용	기술책임자 성 명	신홍철

※고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시험항목에 한하여 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2017년 11월 21일

한국건설생활환경시험연구원장

건설방재/에너지환경사업본부 : 28115 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73 오창과학단지 내 043-719-9005
결과문의 : 건설재료시험센터 ☎ 043)219-9053



건설기술용역업[품질검사]
주식회사 씨·큐·알

시험 성적서

접 수 번 호	CC-S-17113001	발 급 번 호	CC17-17120601
접 수 일 자	2017년 11월 30일	발 급 일 자	2017년 12월 06일
의뢰인(소속)	국립금주대학교 건축공학과		
의뢰인(성명)	장의인		
의뢰인(주소)	충청남도 천안시 서북구 천안대로 1223-24		
용 도	연구개발용		
시 료 명	레날 내부심재		

- 시 험 결 과 -

연번	시험종목		시험방법	시험결과	책임기술자		시험자	
					성명	서명	성명	서명
1	압축강도[주1]		KS F 2459:2012	18.7 (㎫)	유재근		박상일	
2	흡수율[주2]	S1	KS F 2459:2012	7.8 (%)				
		S2		7.9 (%)				

■ 압축강도[주1] 시험체 형상 및 개수 : Φ100㎜ X 200㎜ (1개)
■ 흡수율[주2] 시험체 형상 및 개수 : 150㎜X150㎜X30㎜ (2개)

* 비 고 1. 이 성적서는 의뢰인이 제시한 시료, 시료명 및 시험방법으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용 등으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 책임기술자 및 시험자의 성명과 서명이 없는 경우에는 결과에 대한 보증을 할 수 없습니다.

2017년 12월 06일

주식회사 씨 큐 알 대표이사

주소: 충청남도 아산시 음봉면 월암로 70-16(A동, F동)
전화: 041-534-3670 (FAX: 041-534-3671)

the way to trust KCL

2952-8238-9826-1512

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT18-122813
2. 의 뢰 자
   ○ 업 체 명 : 공주대학교산학협력단
   ○ 주 소 : 충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동,공주대학교산학연구관)
3. 시험기간 : 2018년 11월 20일 ~ 2018년 12월 12일
4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
5. 시 료 명 : 금속밸브
6. 시험방법
   (1) KS M ISO 1167-1에 준함
7. 시험결과

1) 금속밸브

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
내압시험[20 ℃, 1.57 ㎫(P), 100 시간]	-	(1)	이상없음	-

* P : 시험압력

---- 이 하 여 백 ----

확인	작성자 성 명	홍성록	기술책임자 성 명	신홍철

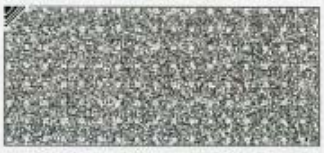
비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2018년 12월 12일

한국건설생활환경시험연구원장

건설방재/에너지환경사업본부 : 28115 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73 오창과학단지 내 043-718-9005
결과문의 : 건설재료시험센터 ☎ (043)210-8948

양식QP-20-01-05(6)


the way to trust KCL

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT18-137873
2. 의 뢰 자
   ○ 업 체 명 : 공주대학교산학협력단
   ○ 주 소 : 충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동,공주대학교산학연구관)
3. 시험기간 : 2018년 12월 20일 ~ 2019년 01월 25일
4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
5. 시 료 명 : 진공단열금속패널(진공단열심재A, 진공단열심재B)
6. 시험방법
   (1) KS L 9016:2010
7. 시험결과

1) 진공단열심재A

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
열저항(평균온도 : 23 ℃) (두께 : 36.86 mm)	㎡·K/W	(1)	1.43	(23±2) ℃, (50±5) % R.H.

2) 진공단열심재B

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
열저항(평균온도 : 23 ℃) (두께 : 57.25 mm)	㎡·K/W	(1)	0.53	(23±2) ℃, (50±5) % R.H.

— 이 하 여 백 —

확인	작성자 성 명	홍성목	기술책임자 성 명	신홍철

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 복도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2019년 01월 25일

한국건설생활환경시험연구원장

건설방재/에너지환경사업본부 : 28115 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73 오창과학단지 내 043-716-9005
결과문의 : 건설재료센터 ☎ (043)210-6948

the way to trust KCL

2410-2656-8660-3255

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT18-122811
2. 의 뢰 자
   ○ 업 체 명 : 공주대학교산학협력단
   ○ 주 소 : 충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동,공주대학교산학연구관)
3. 시험기간 : 2018년 11월 20일 ~ 2019년 01월 25일
4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
5. 시 료 명 : 금속패널
6. 시험방법
   (1) KS F 4737:2007

확인	작성자 성 명	홍성록	기술책임자 성 명	신홍철

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2019년 01월 25일

한국건설생활환경시험연구원장

건설방재/에너지환경사업본부 : 28115 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73 오창과학단지 내 043-718-9005
결과문의 : 건설재료센터 ☎ (043)210-8948





시험성적서

성적서번호 : CT18-122811

7. 시험결과

1) 금속패널

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
치수시험 - 두께 #1	-	(1)	2.0	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 나비 및 길이 #1	-	(1)	300.3	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 대각선 #1	-	(1)	1	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 평탄도 #1	-	(1)	0.01	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 두께 #2	-	(1)	2.0	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 나비 및 길이 #2	-	(1)	301.3	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 대각선 #2	-	(1)	1	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 평탄도 #2	-	(1)	0.01	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 두께 #3	-	(1)	2.0	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 나비 및 길이 #3	-	(1)	300.3	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 대각선 #3	-	(1)	1	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
치수시험 - 평탄도 #3	-	(1)	0.01	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.

—— 이 하 여 백 ——

the way to trust KCL

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT18-122812
2. 의 뢰 자
   ○ 업 체 명 : 공주대학교산학협력단
   ○ 주 소 : 충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동,공주대학교산학연구관)
3. 시험기간 : 2018년 11월 20일 ~ 2019년 01월 30일
4. 시험성적서의 용도 : 품질관리
5. 시 료 명 : 기포콘크리트
6. 시험방법
   (1) SPS-KARSE B 0056-6106 : 2017 (2) KS F 4914:2017
   (3) KS M 1998:2017 (7. 소형챔버법)
7. 시험결과

1) 기포콘크리트

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비 고
열전도율[평균온도 : 20 ℃]	W/(m·K)	(1)	0.30	(23±2) ℃, (50±5) % R.H.
√압축강도	MPa	(2)	6.0	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
√흡건밀도	g/㎤	(2)	0.4	(20 ± 2) ℃ (65 ± 20) % R.H.
총휘발성유기화합물 (TVOC)	mg/(㎡·h)	(3)	0.128	-
톨루엔 (Toluene)	mg/(㎡·h)	(3)	불검출 (검출한계 0.000 5)	-
폼알데하이드 (Formaldehyde)	mg/(㎡·h)	(3)	0.001	-

"√" 표시항목은 당 시험연구원의 KOLAS 인정범위 밖의 항목입니다.

---- 이 하 이 백 ----

확인	작성자 성 명	홍성록	기술책임자 성 명	신홍철

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 무단 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

위 성적서는 국제시험기관인정협력체 (International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정 (Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구 (KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2019년 01월 30일

한국인정기구 인정 **한국건설생활환경시험연구원장**

건설방재/에너지환경사업본부 : 28115 충청북도 청주시 청원구 오창읍 양청3길 73 오창과학단지 내 043-718-9005
결과문의 : 건설재료센터 ☎ (043)210-6948

2. 특허 출원

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.11.15
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(1)
출 원 번 호	10-2017-0152616 (접수번호 1-1-2017-1137083-61)
출원인 명칭	공주대학교 산학협력단(2-2004-033237-6)
대 리 인 성 명	특허법인 무한(9-2007-100061-4)
발 명 자 성 명	김봉주
발 명 의 명 칭	허니콤 구조의 보강 심재 및 이를 포함하는 진공 단열 패널, 허니콤 구조의 보강 심재 제조방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2017.11.15
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(2)
출 원 번 호	10-2017-0152617 (접수번호 1-1-2017-1137084-17)
출원인 명칭	공주대학교 산학협력단(2-2004-033237-6)
대 리 인 성 명	특허법인 무한(9-2007-100061-4)
발 명 자 성 명	김봉주
발 명 의 명 칭	밀폐재 및 이를 포함하는 진공 단열 패널

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드)+접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

3. 특허 등록



특허증
CERTIFICATE OF PATENT

특 허 Patent Number 제 10-1918863 호

출원번호 Application Number 제 10-2017-0152616 호

출원일 Filing Date 2017년 11월 15일

등록일 Registration Date 2018년 11월 08일

발명의 명칭 Title of the Invention

허니콤 구조의 보강 심재 및 이를 포함하는 진공 단열 패널, 허니콤 구조의 보강 심재 제조방법

특허권자 Patentee

공주대학교 산학협력단(161271-*******)

충청남도 공주시 공주대학로 56 (신관동)

발명자 Inventor

김봉주(620725-*******)

경기도 성남시 분당구 양현로 272, 310동 1002호 (야탑동, 탑마을)

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2018년 11월 08일

QR코드로 현재기준 등록사항을 확인하세요

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

박 원주

특허청
Korean Intellectual Property Office

3. SCI 논문

Preprints (www.preprints.org) | NOT PEER-REVIEWED | Posted: 23 January 2019 doi:10.20944/preprints201901.0240.v1

Type of the Paper (Article, Review, Communication, etc.)

A Study on the Gas Emission of Constituent Materials making Metal Vacuum Panel

Bongjoo Kim [1,*], Sanghun Hong [1] and Namgyu Yoo [1]

[1] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31080, Korea; 1; bingmat@kongju.ac.kr
[2] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31080, Korea 2; thdgns1814@ kongju.ac.kr
[3] Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 31080, Korea 3;KNUYN@ kongju.ac.kr
* Correspondence; bingmat@kongju.ac.kr; Tel.: +82-41-521-9494

Abstract: This study examines whether gas is emitted from the materials used in the fabrication of metal vacuum panels or not and if emitted, their degree as time goes by. As experimental materials, metal sheets, foamed concrete as a core material, and polymer materials as a sealing material between metal sheets were selected. Experiments on the type and the degree of bending of metal materials showed that aluminum's vacuum reaching time of 0.001 torr was at least 40 sec to 90 sec in its flat plate, but its vacuum reaching time increased from 3 times to 4.5 times in case of 90 ° and 135 ° bending state. For this reason, it is judged that stainless steel or steel material is suitable because aluminum is inadequate in terms of processability at the time of fabricating the metal vacuum panel. Also, vacuum arrival times and weight changes with increasing foam content of inorganic foamed concrete increased from 22,000 sec to 42,000 sec with increasing foaming rate and also, the weight change increased from 1.7% to 8%. Also, the experimental results on the type of honeycomb materials, the PE (polyethylene) with a vacuum reaching time of 30,000 sec and with a weight change of 0.5% and the PTFE (Poly-tetrafluoro ethylene) with a vacuum reaching time of 29,000 sec and with a weight change of 2.2% showed the optimum value.

Keywords: metal vacuum panel; vacuum Insulation Panel; energy; gas emission; foam concrete; honeycomb materials

1. Introduction

In the case of buildings that make up a significant amount of energy use, more than 40% of the energy is used for heating and cooling. It is very important to improve the thermal insulation performance of the outer cover for the purpose of saving the said energy use. [1-3] There is a study of new high-performance insulation due to insufficient performance of the existing insulation used for this purpose. [4-9]

Applicability of Vacuum Insulation Panel (hereinafter referred to as VIP) used in home appliances as well as aerogels to the buildings is being studied. Particularly in VIP case, its insulation is made in the manner that a vacuum is formed inside by and between special vinyl sheet with aluminum foil as a barrier and glass wool or fumed silica as core material. [10-13]

However, when such a vacuum insulation panel is used for the building, many problems such as the possibility of barrier damage at the time of installation, the difficulty in installation, their high prices, the difficulty in maintaining the vacuum state due to gas emission of core materials, and the impossibility of repair of reinforcement even when the insulation functioning is lowered due to the vacuum breakage.

For this reason, a replacement for the existing VIP is needed. As an alternative to this, a metal vacuum insulation panel is considered for which the metal plate material applied to insulation of a non-vision portion of a curtain wall is used so that it can be repaired and reinforced for insulation improvement. [14-20]

© 2019 by the author(s). Distributed under a Creative Commons CC BY license.

Preprints (www.preprints.org) | NOT PEER-REVIEWED | Posted: 23 January 2019 doi:10.20944/preprints201901.0240.v1

vacuum arrival time of SS400 material was increased but no weight change was shown. Especially, considering the flexural and workability of the metal panel and its consequential durability, it is judged appropriate because the weight change according to the flexural strength did not occur.
Vacuum arrival time and weight change according to foam rate of lightweight foamed concrete increased with increasing foam rate. This showed that the pore of the foamed concrete is a continuous one and the length of the airflow is long so that the process of sucking air in the pore is required. It is required to develop the core material having a short air flow length at a later time.

Experiments on the type of honeycomb material showed that the PE (polyethylene) with a vacuum reaching time of 30,000 sec and with a weight change of 0.5% and the PTFE (Poly-tetrafluoro ethylene) with a vacuum reaching time of 29,000 sec and with a weight change of 2.2% were found to be the most appropriate.

Then, based on the above test results, the possibility of use as an insulating material is to be examined through continuous increase of the vacuum rate of the metal vacuum panel components and measurement of the thermal conductivity thereof.

Author Contributions: For research articles with several authors, a short paragraph specifying their individual contributions must be provided. The following statements should be used "Conceptualization, Bongjoo Kim.; Methodology, Sanghun Hong and Namgyu Yoo; Writing-Original Draft Preparation Bongjoo Kim.; Writing-Review & Editing, Bongjoo Kim, Sanghun Hong and Namgyu Yoo

Acknowledgments: In this research was supported by a grant(18CTAP-C129710-02) from Technology Advancement Research Program funded by ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea government.

Conflicts of Interest: Declare conflicts of interest or state "The authors declare no conflict of interest." Authors must identify and declare any personal circumstances or interest that may be perceived as inappropriately influencing the representation or interpretation of reported research results. Any role of the funders in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results must be declared in this section. If there is no role, please state "The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, and in the decision to publish the results".

References

1. Moretti,L.,Caro,S. Critical analysis of the life cycle assessment of the Italian cement industry. J.Cleaner Prod. 2017, 152, 198–210. [CrossRef]
2. Limbachiya, M.; Bostanci, S.C.; Kew, H. Suitability of BS EN197 CEM II and CEM V cement for production of low carbon concrete. Constr. Build. Mater. 2014, 71, 397–405. [CrossRef]
3. Malhotra, V.M. Sustainable development and concrete technology. Concr. Int. 2002, 24, 1–22.
4. Malhotra, V.M.; Mehta, P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories; HVFA High-Performance-Inc.: Ottawa, ON, Canada, 2002.
5. Siddique, R. Performance characteristics of high-volume class F fly ash concrete. Cem. Concr. Res. 2004, 34, 487–493. [CrossRef]
6. Kou, S.C.; Poon, C.S.; Chan, D. Influence of fly ash as a cement addition on the hardened properties of recycled aggregate concrete. Mater. Struct. 2007, 41, 1191–1201. [CrossRef]
7. Shaikh, F.U.A.; Supit, S.W.M. Compressive strength and durability properties of high volume fly ash concretes containing ultrafine fly ash. Constr. Build. Mater. 2015, 82, 192–205. [CrossRef]
8. Berndt, M.L. Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate. Constr. Build Mater. 2009, 23, 2606–2613. [CrossRef]
9. Corinaldesi, V.; Moriconi, G. Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. Constr. Build. Mater. 2009, 23, 2869–2876. [CrossRef]
10. Papadopoulos, A.M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. Energy Build. 2005, 37, 77–86. [CrossRef]
11. Pargana, N.; Pinheiro, M.D.; Silvestre, J.D.; de Brito, J. Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. Energy Build. 2014, 82, 466–481. [CrossRef]

4. 학술 논문

폐콘크리트 미분말을 채움재로 사용한 패널 심재용 경량기포콘크리트의 강도특성

Compressive Strength of Light Weight Foamed Concrete for Panel using Waste Concrete Powder as Filler

홍 상 훈* Hong, Sang Hun　정 의 인** Jung, Ui In　김 봉 주*** Kim, Bong Joo　김 진 만**** Kim, Jin Man

ABSTRACT

The process in recycled aggregate manufacturing process increases, the by – product waste concrete powder is also increasing. Such waste concrete powder is not currently recycled but is mostly used as an auxiliary layer or as a roadbed material. The chemical composition of such waste concrete powder accounts for about 40% of SiO_2 and 30–40% of CaO. This chemical composition is considered to be reactive when used in autoclave curing. In this study, the strength change of the lightweight foamed concrete used in the core of the panel was investigated by using waste concrete powder. The experimental results show that the smaller the particle size of the waste concrete, the higher the strength, and it is possible to substitute for natural silica.

요 약

순환골재 제조 공정 중 파쇄 공정이 증가함에 따라 부산물인 폐콘크리트 미분말도 증가하고 있다. 이런 폐콘크리트 미분말은 현재 재활용이 되지 않고 대부분 보조 기층재나 노반재로 사용되고 있다. 이런 폐콘크리트 미분말의 화학 조성을 분석하면, SiO_2가 약 40%, CaO 30–40%를 차지하고 있다. 이런 화학 조성은 오토클레이브 양생에 사용할 경우 반응성이 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 패널의 심재에 사용되는 경량기포콘크리트에 폐콘크리트 미분말을 사용하여 강도 변화에 대해서 검토하였다. 실험 결과 폐콘크리트 미분말의 입자 크기가 작을수록 강도는 향상되는 것으로 나타났으며, 천연 규사분에 대해서 대체가 가능할 것으로 판단된다.

1. 서 론

건설 폐기물은 지속적인 건축물 재개발과 재건축에 의해서 매년 증가하고 있으며 전체 폐기물의 약 50%이상을 차지하고 있다. 이런 건설 폐기물 중의 폐콘크리트는 대부분 순환골재로서 재활용되고 있으나 저부가적인 용도인 노반재나 보조기층재로서 활용이 된다. 저부가 가치적으로 사용되는 순환골재에는 낮은 밀도와 높은 흡수율로 야기되기 때문에 콘크리트용 골재로 활용하기 위해 파분쇄 공정이 추가되어야 한다. 이런 파분쇄 공정의 추가는 순환골재를 품질을 향상시키나 그에 따른 부산물인 폐콘크리트 미분말을 발생시키는 문제가 있다. 이런 폐콘크리트 미분말은 현재 대부분 토사와 혼합하여 기층재나 노반재로 매립되고 있는 실정이다. 폐콘크리트 미분말의 화학 조성을 분석하면 SiO_2가 약 40–50%, CaO가 30–40%가 존재하기 때문에 이를 활용하는 연구가 추진되고 있다.

한편, 패널에 사용되고 있는 경량기포콘크리트는 시멘트와 규사분, 기포제 등이 혼합되어 사용되고 있

*정회원, 공주대학교 건축공학, 학사과정
**정회원, 공주대학교 건축공학 대학원, 박사과정
***정회원, 공주대학교 건축학부 건축공학전공 교수 (교신저자: bingma@kongju.ac.kr)
****정회원, 공주대학교 건축학부 건축공학전공 교수

Table 5. The properties of cement

Type	Slurry density(g/cm)	Flow(mm)	dry density(g/cm)	Compressive strength(MPa)
Plain	0.86	221	0.62	6.1
100-25	0.86	221	0.61	5.8
100-50	0.86	220	0.61	5.8
100-75	0.83	219	0.60	5.1
100-100	0.83	219	0.58	4.9
20-25	0.85	220	0.62	6.2
20-50	0.83	219	0.60	6.2
20-75	0.83	219	0.59	5.8
20-100	0.82	215	0.59	5.7

4. 결 론

패널의 심재용 경량기포콘크리트의 충전재로 폐콘크리트 미분말을 사용하는 것에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 폐콘크리트 미분말의 대체율과 입도 변화에 따른 실험 결과 굳지 않은 성상과 경화 성상에서 대체하지 않을 경우에 비해 낮은 품질을 갖는 것으로 나타났으며 입도 변화에서는 입도가 작을수록 반응성이 있는 것으로 확인되었다.
2) 기존 규사분에 대해서 폐콘크리트 미분말의 일부 대체하여 사용할 경우 강도가 유사하게 나타나고 있기 때문에 폐콘크리트 미분말을 일부 재활용이 가능할 것으로 판단되었으나, 폐콘크리트 미분말을 수거 및 균질한 품질을 확보하기 위한 추후 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 2017년 국토교통과학기술진흥원과제(과제번호: 17CTAP-C129711-01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이대근 외, "폐콘크리트 미분말 대체율 변화와 입도 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구," 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제9권 제2호, 2009.
2. 정의인 외, "폐콘크리트 미분말 대체율에 따른 진동가압성형 콘크리트 제품의 실험적 연구," 한국건축시공학회 학술발표대회 논문집 제16권 제1호, 2016.

EPS 비드를 활용한 진공패널 심재용 경량골재콘크리트의 휨 압축 강도에 관한 연구

A Study on the Flexural Compressive Strength of Lightweight Aggregate Concrete for Vacuum Panel Core Using EPS Beads

홍 상 훈* 유 남 규** 정 의 인*** 김 봉 주****
Hong, Sang Hun You, Nam Gyu Jung, Ui In Kim, Bong Joo

ABSTRACT

Currently, research is being conducted for lightweight concrete in Korea. The use of lightweight concrete is widely used for structural, roof, and fireproof coatings, and structural lightweight concrete is widely used. EPS is a lightweight aggregate with low thermal conductivity, which is excellent in thermal insulation and is also used as a material for insulation. Korea is trying hard to achieve zero energy house by 2020. But there is no real alternative. In order to solve this problem, a study on vacuum insulation material has been carried out and a basic study for the development of a vacuum panel that can improve the adiabatic effect by using lightweight aggregate concrete using EPS as a core of a vacuum panel. In this study, we investigate the optimal replacement ratio of EPS lightweight aggregate by changing the flexural compressive strength according to the replacement ratio.

요 약

현재 우리나라는 경량콘크리트를 위한 연구가 이루어지고 있다. 경량콘크리트의 용도는 크게 구조용, 지붕, 내화피복으로 사용되고 있으며, 그중 구조용 경량콘크리트가 많이 사용되고 있다. EPS는 경량골재로써 낮은 열전도율을 가지고있어 단열성이 뛰어나 단열재의 재료로도 사용되고 있다. 우리나라는 2020년까지 제로에너지하우스를 달성하기 위해 많은 노력을 하고있지만 실질적인 대안이 없는 상황이다. 이를 해결하기위해 진공단열재에 관한 연구가 이루어지고 있으며, 진공패널의 심재로 EPS를 활용한 경량골재콘크리트를 사용하여 진공압도 버티며 단열효과를 증진 시킬 수 있는 진공패널 개발을 위한 기초적 연구이다. 본 연구에서는 EPS 경량골재를 치환율에 따라 휨 압축 강도 변화 추이를 통해 최적의 치환율을 알아보기 위한 연구이다.

1. 서 론

현재 우리나라는 경량콘크리트를 위한 연구가 이루어지고 있으며, 경량콘크리트의 용도는 크게 구조용, 지붕, 내화피복으로 사용되고 있으며 그 중 구조용인 경량골재콘크리트 종류의 연구가 주로 이루어지고 있다. EPS는 경량골재로써 단열성이 뛰어난 골재로 단열재로써 많이 사용 되고 있다. 우리나라는 2020년까지 제로에너지하우스를 달성하기 위해 많은 노력을 하고 있지만, 실질적인 대안이 없는 상황이며, 이를 해결할 수 있는 가장 큰 방법은 단열재의 개발이다. 단열재 중에서도 진공단열재는 이러한 문제를 개선할수 있는 단열재이지만, 현재 기술적인 측면에서 아직은 사공가능성이 불투명하여 다른 방안을 찾고 있다. 본 연구는 이를 해

* 정회원, 공주대학교 건축공학, 산학협력단 연구원
** 정회원, 공주대학교 건축공학 학사과정
*** 정회원, 공주대학교 건축학부 건축공학전공 박사과정
**** 정회원, 공주대학교 건축학부 건축공학전공 교수, 교신저자

Table 6. The properties of cement

(3days)

Type	Flexural strength(MPa)	Compressive strength(MPa)
EPS 0% (1:0)	-	16.31
EPS 25% (1:0)	-	3.49
EPS 50% (1:0)	-	1.46
EPS 75% (1:0)	-	0.27
EPS 0% (1:2)	6.5	20.2
EPS 25% (1:2)	4.8	9.1
EPS 50% (1:2)	0.8	0.7
EPS 75% (1:2)	-	-

Table 7. The properties of cement

(7days)

Type	Flexural strength(MPa)	Compressive strength(MPa)
EPS 0% (1:0)	3.1	20.3
EPS 25% (1:0)	3.2	4.37
EPS 50% (1:0)	1.85	2.02
EPS 75% (1:0)	0.65	1.12
EPS 0% (1:2)	9.4	29.7
EPS 25% (1:2)	6.1	10.65
EPS 50% (1:2)	1.2	0.75
EPS 75% (1:2)	-	-

4. 결 론

진폐널의 심재용 경량골재콘크리트의 충전재로 EPS 비드를 사용하는 것에 관한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) EPS를 치환할 경우 강도가 현저히 줄어드는 것을 알수있었다. 하지만 진공패널 심재용으로써 강도가 5MPa이상이면 된다는 것을 확인하여 25%까지는 치환하여도 무방하다고 판단하였다.

2) 골재 비가 증가하면 강도는 약 1.5배 증가하는 것을 확인 하였으며, 골재비가 증가할시 단위수량에 대한 보정이 필요하다는 것을 확인 하였다.

감사의 글

본 논문은 2017년 국토교통과학기술진흥원과제(과제번호: 18CTAP-C129710-02)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 이종찬, "코팅 발포폴리스티렌비드를 사용한 경량골재 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구," 건국대학교 대학원 박사학위논문, 2003.
2. 건설교통부 외, "폴리스티렌비드를 사용한 환경친화형 경량건자재 개발," 건설교통부 대한건축학회, 2004.

기포성형 압력변화에 따른 기포밀도 및 기포콘크리트의 물리적 성능에 관한 연구

A Study on the Foam Density and The Physical Performance of Foam Concrete According to the Foam Forming Pressure Change

홍 상 훈* 유 남 규* 서 은 석* 김 해 나** 김 봉 주***
Hong, Sang-Hun You, Nam-Gyu, Seo, Eun-Seok Kim, Han-Nah Kim, Bong-Joo

Abstract

Foame concrete was used to reduce insulation problems and interlayer noise in slab, There have been no studies on the physical properties of foaming agents using foamed concrete.Only the physical properties of foamed concrete mixed with foam agent, It is judged that the density and distribution of Foams will be changed when the pressre is changed when the bubble is formed, In this study to investigate the changes of Foam density and the physical performance of foamed concrete by changing the pressure during Foam formation,

키 워 드 : 기포성형압력, 기포콘크리트
Keywords : foam forming pressure , foam concrete

1. 서 론

건물이 고층화됨에 따라 현대건축에 사용되는 구조물의 주된 구조재료로 사용되는 보통 콘크리트는 강도에 비하여 중량이 크기 때문에 구조물의 자중을 증가시키는 결함을 가지고 있어, 경량콘크리트를 사용하여 건물의 자중을 감소시키고 있다. 경량콘크리트는 크게 경량골재콘크리트, 기포콘크리트, 무잔골재콘크리트로 나누어지며, 그 중 기포콘크리트는 슬라브에 단열성 문제와 층간소음을 줄이기 위해 사용되었다. 하지만, 기포콘크리트를 사용하면서 기포제에 대한 물성을 검토한 것은 없으며, 기포제를 발포시켜 기포를 혼합한 기포콘크리트의 물리적 성능에만 연구가 주로 이루어지고 있다. 기포를 성형 시 압력의 변화를 주게 되면 기포의 밀도, 분포가 달라질 것이라 판단한다. 본 연구에서는 기포성형 시 압력의 변화를 주어 기포 밀도 변화 및 기포콘크리트의 물리적 성능에 관하여 알아보고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험계획 및 방법

기포제는 식물성기포제 농도5%를 사용하였으며, 기포량은 시멘트 용적의 70%를 대체하여 배합하여 쓰며, 기포성형시의 압력을 3, 4, 5로 조절하였고, 기포와 슬러리를 혼합하기 전에 슬러리를 핸드믹서로 1분30초간 돌린 Ribon Mixer에 넣어 기포와 슬러리를 혼합하여 실험을 진행하였다. 밀도 측정은 1000ℓ 의 시료통에 담아 측정하였으며, 현장 타설용 기포콘크리트(KS F 4039)에 따라 실험을 진행하였다.

표 1. 실험인자 및 수준

인자	수준	수준수	측정항목
기포성형압력 (Psi)	3, 4, 5	3	- 기포밀도 - 슬러리 밀도 - 절건 밀도 - 휨 강도 - 압축 강도



그림 1. Ribon Mixer

* 공주대학교 건축공학과 석사과정
** 공주대학교 건축학부 학사과정
*** 공주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 교신저자(bingma@kongju.ac.kr)

3. 결과 및 분석

3.1 플로우

플로우는 기포성형압력이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인하였다. 이는 압력이 가해짐에 따라 기포의 표면적이 커지게 되면서 플로우 값이 상승한것이라고 판단된다.

3.2 기포 밀도

기포 밀도는 기포성형압력이 증가함에 따라 밀도가 미비하게 감소하는 것으로 확인하였다. 하지만 기포성형압력 3,4는 유사한 것으로 나타났다.

3.3 슬러리 밀도

슬러리 밀도도 기포밀도와 동일하게 기포성형압력이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인하였다. 기포성형압력 4, 5는 동일한 수치를 나타냈다.

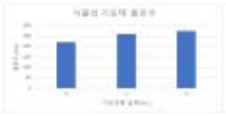


그림 2. 플로우 측정결과

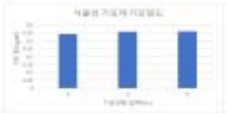


그림 3. 기포밀도 측정결과



그림 4. 슬러리 밀도 측정결과

3.4 절건밀도 및 휨·압축강도

절건밀도는 기포성형압력3(0.98g/㎤), 기포성형압력4(1.0g/㎤), 기포성형압력5(1.0g/㎤)으로 유사한 수치를 나타내고 있다. 휨강도는 3일 7일에서 기포성형압력 4, 5는 유사한 수치를 나타냈으며, 기포성형압력 3은 0.3~0.4MPa정도 낮은 것을 확인 하였다. 압축강도에서는 3일강도에서 기포성형압력5가 2MPa 더 높은 수치를 나타냈지만 7일 강도에서 기포성형압력 4와 유사한 수치를 나타난 것을 확인하였다.



그림 5. 3일강도 휨·압축강도 측정결과



그림 6. 7일강도 휨·압축강도 측정결과

4. 결 론

기포성형압력 변화시 기포밀도 및 기포콘크리트의 물리적 성능에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 도출 하였다.

1) 기포성형 압력이 증가함에 따라 기포밀도는 감소하지만 슬러리밀도, 절건밀도는 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 압력에의해 기포의 분포가 달라 밀도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 휨, 압축강도는 기포성형 압력이 증가함에 따라 증가하며, 밀도가 증가하면 그에따라 강도도 증가하는 것으로 판단된다.

추후 추가 적인 실험을 통해 기포성형압력변화와 밀도, 휨 압축강도의 상관관계를 알아보고자한다.

Acknowledgement

본 논문은 2018년 국토교통과학기술진흥원과제 ""(과제번호: 18CTAP-C19710-02)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 정지용, 기포제의 종류 및 사용방법에 따른 기포콘크리트의 특성, 박사학위논문, pp.43~46, 2011
2. 신상철, 기포제 종류에 뜨른 경량기포 콘크리트의 특서, 석사학위논문, pp.43~46, 2012

제12장 참고문헌

1. W. Espe, *Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik*, *VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften*,Vol. 1(Metalle und metallish leitende Werkstoffe) 1959; Vol. 2(Silkatwerkstoffe) 1960; Vol. 3 (Hilfswerkstoffe)1961

2. W. Beckmann and J. H. Seider, *Gasdurchlässigkeit von gummielastisch Werkstoffen für srickstoff*,Kolloid Zsch. usd Zsch. f. Polymere, Vol. 220(1967), pp. 97-107.

3. W.Beckmann, Gasabgabe von gummielastischen Werkstoffen im Vakuum; *Vacuum* 13, (1963), pp 349-357(in German and English)

4. R. J. Elseym Outgassing of vacuum materials; *Vacuum* 25, (1975) 299 ff. and 347 ff(detailed Tables).

5. D. Mog, Machinable glass-ceramic: a new material for vacuum equipment; *Vacuum* 26, (1976),25 ff.

6. L. Chernatony, Recent advances in elastomer technology for UHV applications, *Vacuum* 27, (1977), 605-609.

7. R. M. Peacock, Practical selction of ealstomer materials. *J. Vac. Sci, Techn*, 17, (1980), 330-336

8. H. -G. Esser, DEUPERM eine Anlage zur Messung von Festkörper-Diffusion und Permeation für Wasserstoffisotpe; *Vak – Techn.* 33, (1984), (8), pp. 226-237(31 references).

9. E. D. Erikson *etal*. Vacuum outgassing of various Materials, *J. Vac. Sci, Techn*, A2, (1984), 206-210

10. H. Ishimaru, Developments and applications for all-aluminum ally vacuum systems, *MTS Bulletin*, Vol. X V (1990), Number(7), 23-31.

11. Ch. Edelmann, Gasabgabe von Festkörpern in Vakuum. *VaK.– Techn.*, 38, (1989), 223-243(103 references).

12. A. Roth, *Sealing Techniques*, Pergamon Press, London 1996. 845 pp. including 1434 references.

13. K. Verfuβ, Schweiβen in der Vakuuntechnik, *Vakuum Technik*20(1971) 2, pp. 33-41(WIG-Verfahrem).

14. R. Fritsch, Besonderheiten vakuum-gerechter Schweiβverbindungen, *Vak. – Techn.*, 38(1989), 95-102.

15. R. Fritsch, Die Vakuumtechnik stellt an Schweiβverbindungen besondere Anfordenrungen. *Der Praktiker*(1986) 7, 310-316.

16. K. Mechsner and H Klock, *Aluminium* 59(1983), 850-854.

17. DVS Obulletin 2909, parts 1 and 2, (March 1980), DVS, Düsseldorf.

18. R. Fritsch and K. Mechsner, *Reibschwejβverbindungen der Vakuumtechnik, dustrieanzeiger* 1986, 103-104.

19. W. Espe, *Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik*, VEB *Deutscher Verlag der Wissenschaften*, Vol. 1(Metalle und metallisch leitende Werkstoffe) 1959; Vol.2 (Silikatwerkstoffe) 1960; Vol.3(Hilfswerkstoffe) 1961.

20. 성원에드워드 (주) 진공기술연구소, 진공기술실무, 반도체장비기술교육센타, 홍릉과학출판사, 2001

21. 성원에드워드(주) 진공기술연구소, 진공기술실무(개정판). 반도체장비비기술교육센타, 홍

룽과학출판사, 2004
22. 정석민 이진원 박종윤 “진공과학입문”, 새마음제책, 2004
23. 김진희 김준태 박세현 “가속노화 시험에 의한 진공단열패널의 열성능 평가”, 한국태양에너지학회 학술대회논문집, 2013, pp.194-197
24. 박시현 임재한 송승영 “공동주택 습식 진공 외단열시스템 성능 평가”, 한국생태환경건축학회, 2013, pp.45~53
25. 유재경 “외국 진공 사업과 한국 진공 산업의 비교 연구”, 고려대학교 석사학위논문, 2011
26. 윤용한 소범식 조정호 엄영철 “외장패널 진공단열재 구조에 따른 열교 평가를 위한 수치해석적 연구”, 한국기계가공학회 춘추계학술대회 논문집, 2016, pp.40
27. 박성제 “진공 및 복사 단열에 의한 저온 유지 기술”, 한국정밀공학회지, 2002, pp,9~17
28. 이호열 김유민 “진공단열재 손상에 따른 열성능 변화 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2014, pp.319~320
29. 구보경 박시현 임재한 송승영 류성룡 “진공단열재 적용 외단열 시스템의 에너지성능 비교평가”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2012, pp.333~334
30. 류성룡 송승영 “:진공단열재(VIP)를 활용한 일체형 외단열 시스템”, 한국지열에너지학회, 2013, pp.28~33
31. 한정필 황승석 전승민 민병훈 “진공단열재의 단열성능을 개선을 위한 Glass Fiber 수평배열(다층구조)기술 개발”, 한국진고학회 학술발표회초특집, 2012, pp.207
32. 이기욱 조성욱 김종민 김승욱 송태호 “진공단열체 지지대의 모델링 및 형상 최적화”, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 2011, pp.1113~1114
33. 박세현 김진희 김준태 “진공단열패널(VIPs)외피를 위한 설치방법에 따른 열교부위의 선형열관류율 분석”, 한국감성과학회 춘계학술대회, 2012, pp.49~50
34. 김준태 “진공단열패널(VIP)의 건물 적용”, 한국건축친환경설비학회, 2010, pp.40~45
35. 심훈 김진희 강준구 김준태 “진공단열패널의 설치방식에 의한 열교특성 및 열적성능 분석”, 한국태양에너지학회, 2010, pp.234~239
36. 김상명 전완표 김진희 김준태 “진공단열패널이 적용된 커튼월의 성능분석 “, 한국태양에너지학회 학술대회논문집, 2016, pp.93
37. 송승영 박시현 구보경 임재한 류성룡 “패시브 및 제로에너지 공동주택을 위한 진공단열재 적용 건식 외단열시스템 성능 평가”, 대한건축학회 논문집, 2013, pp.219~228

제13장 부록

허니컴 구조 금속진공패널 시뮬레이션 실험 결과

계산결과

tem1 : x,y 방향 단면 온도변화

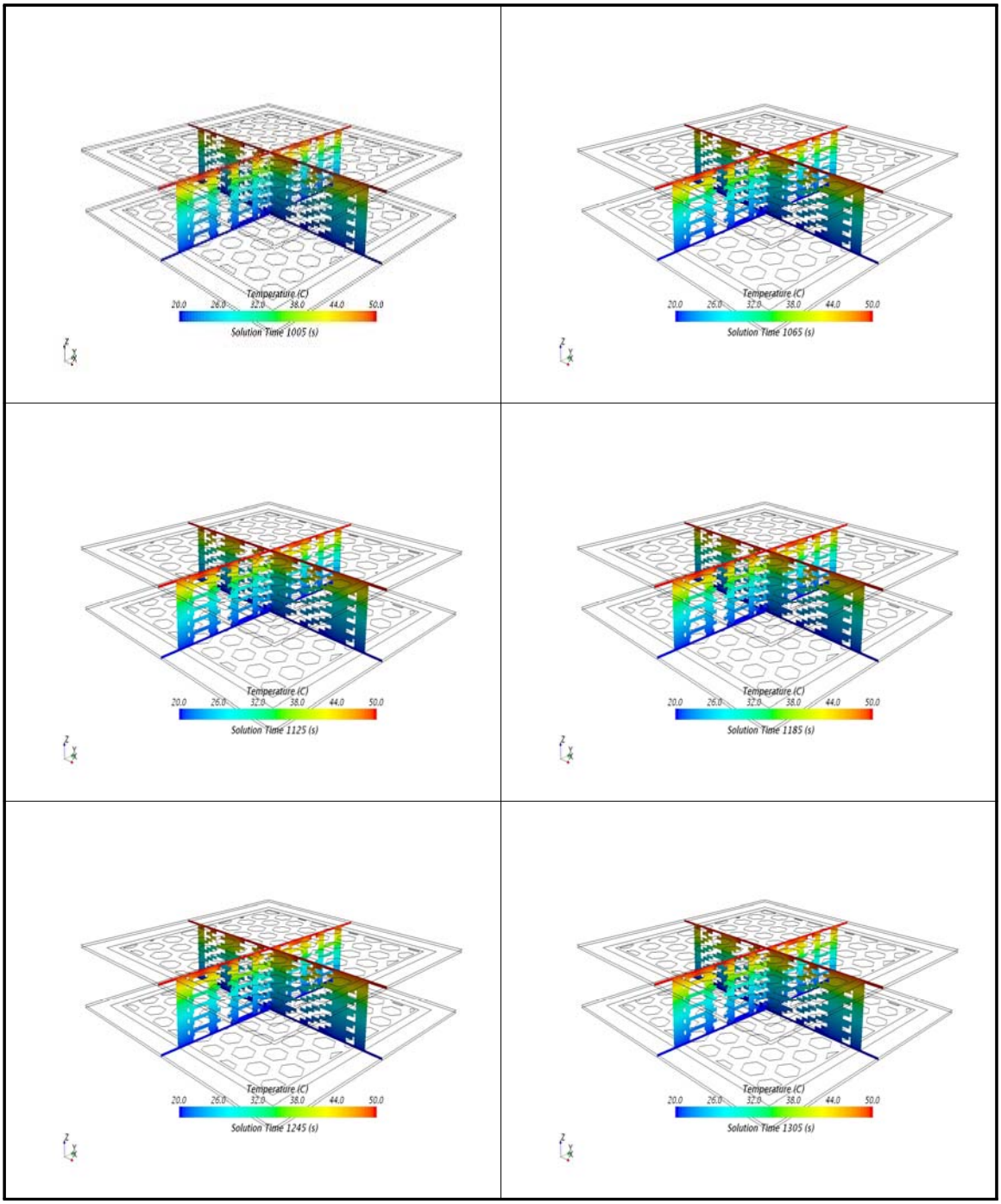
tem2 : x방향 단면의 온도변화

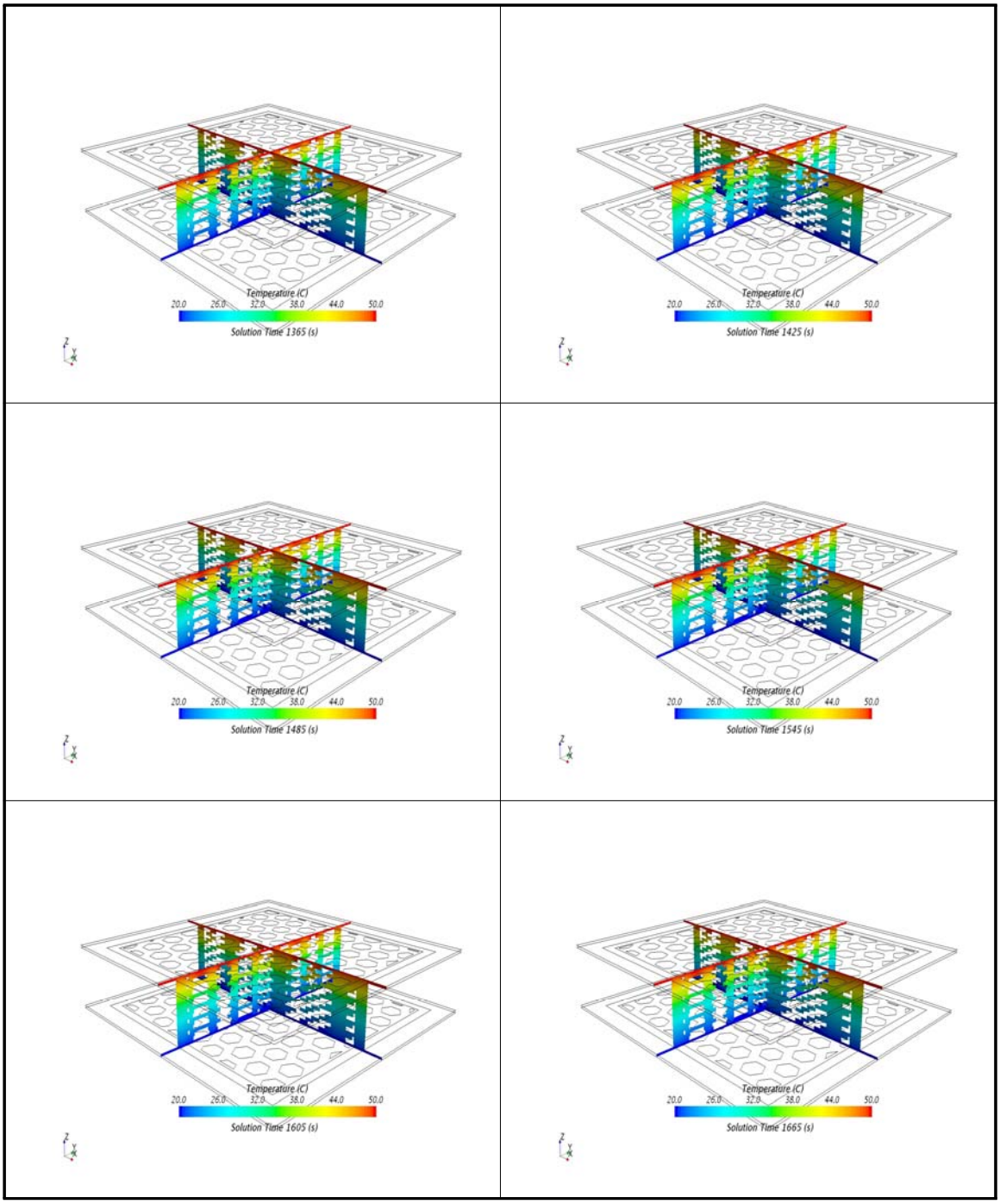
tem3 : PE, Silicon 하부의 온도변화

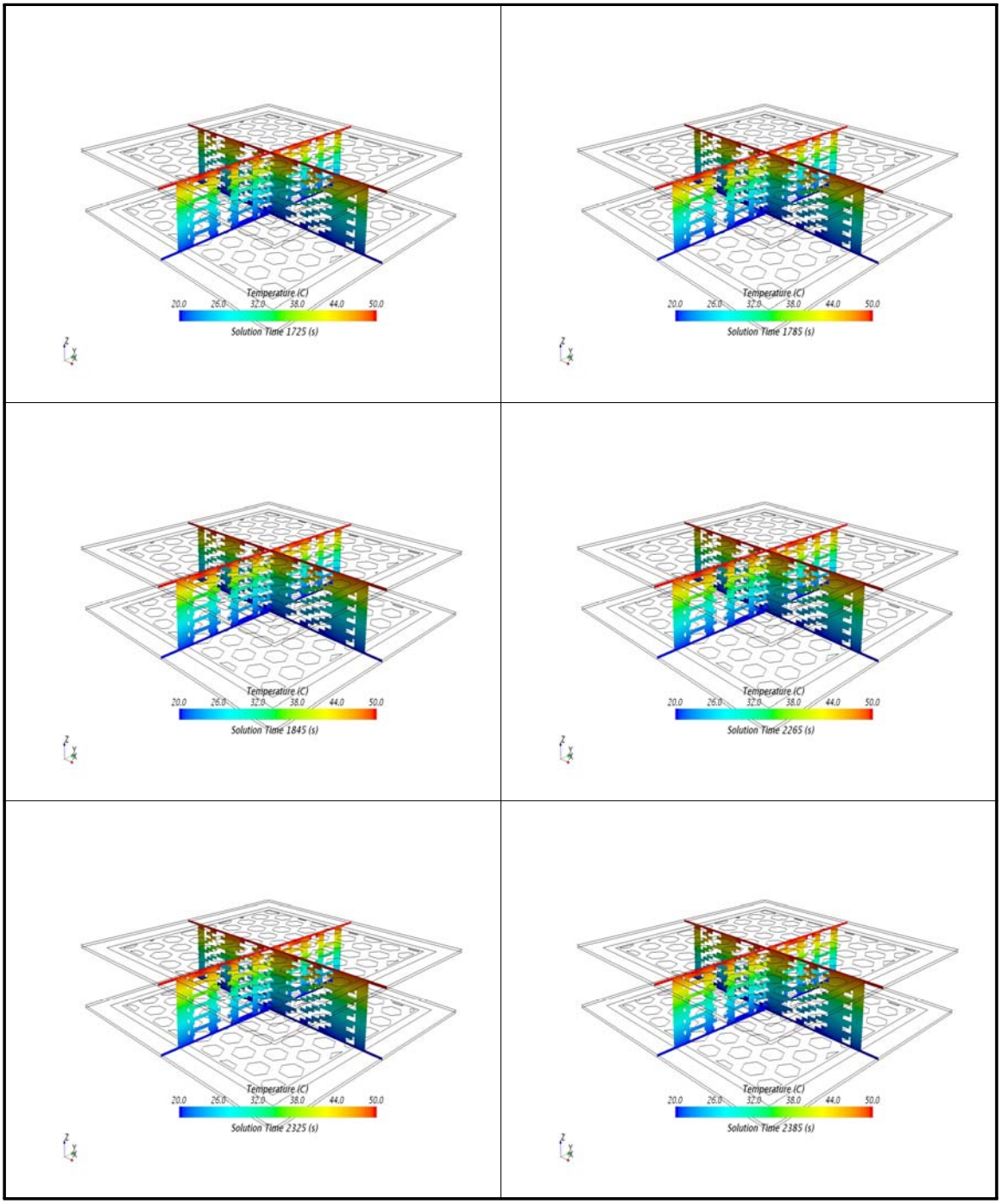
tem4 : 하부 스테인레스의 상부표면 온도 변화

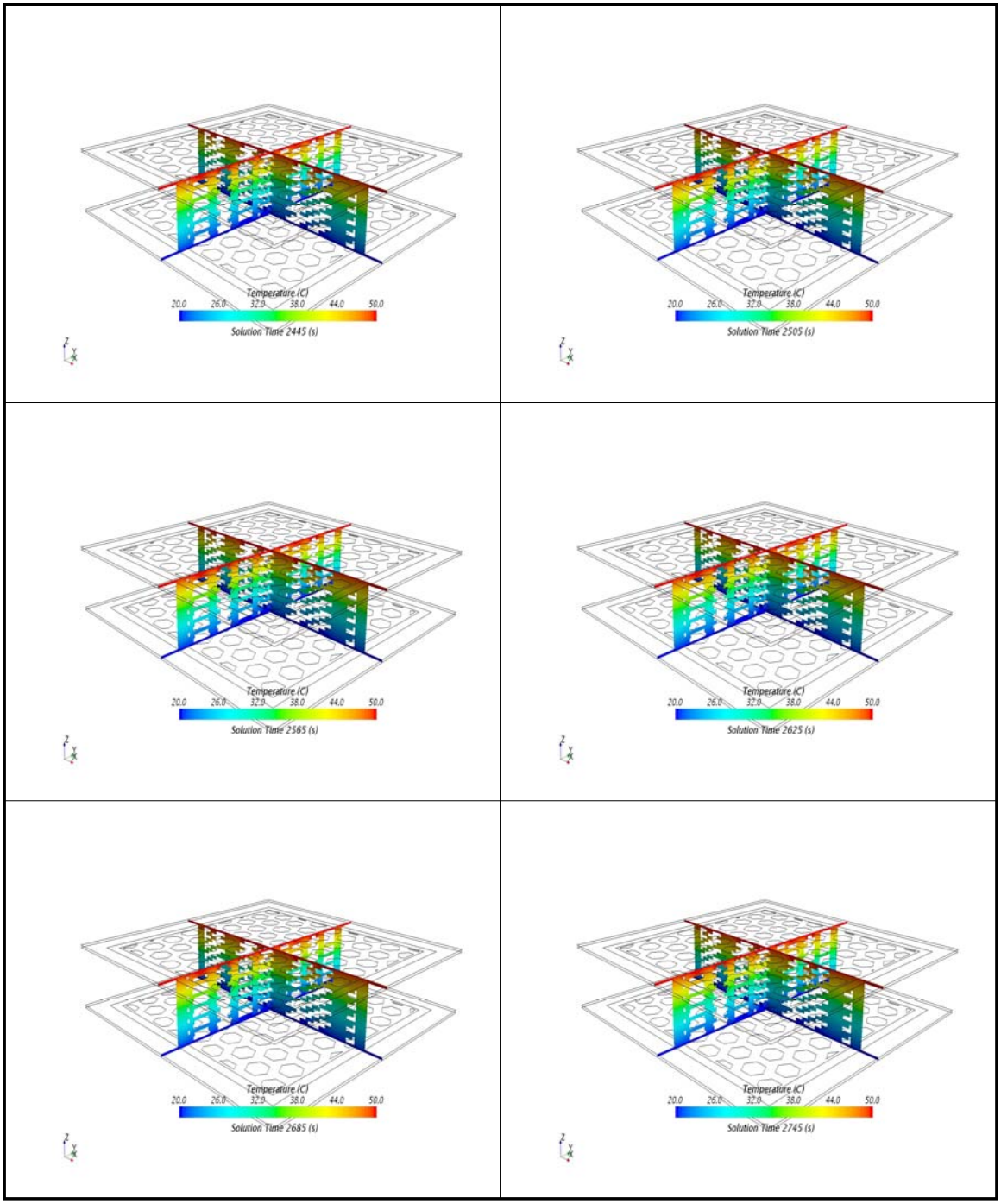
tme5 : 모델의 중앙부분

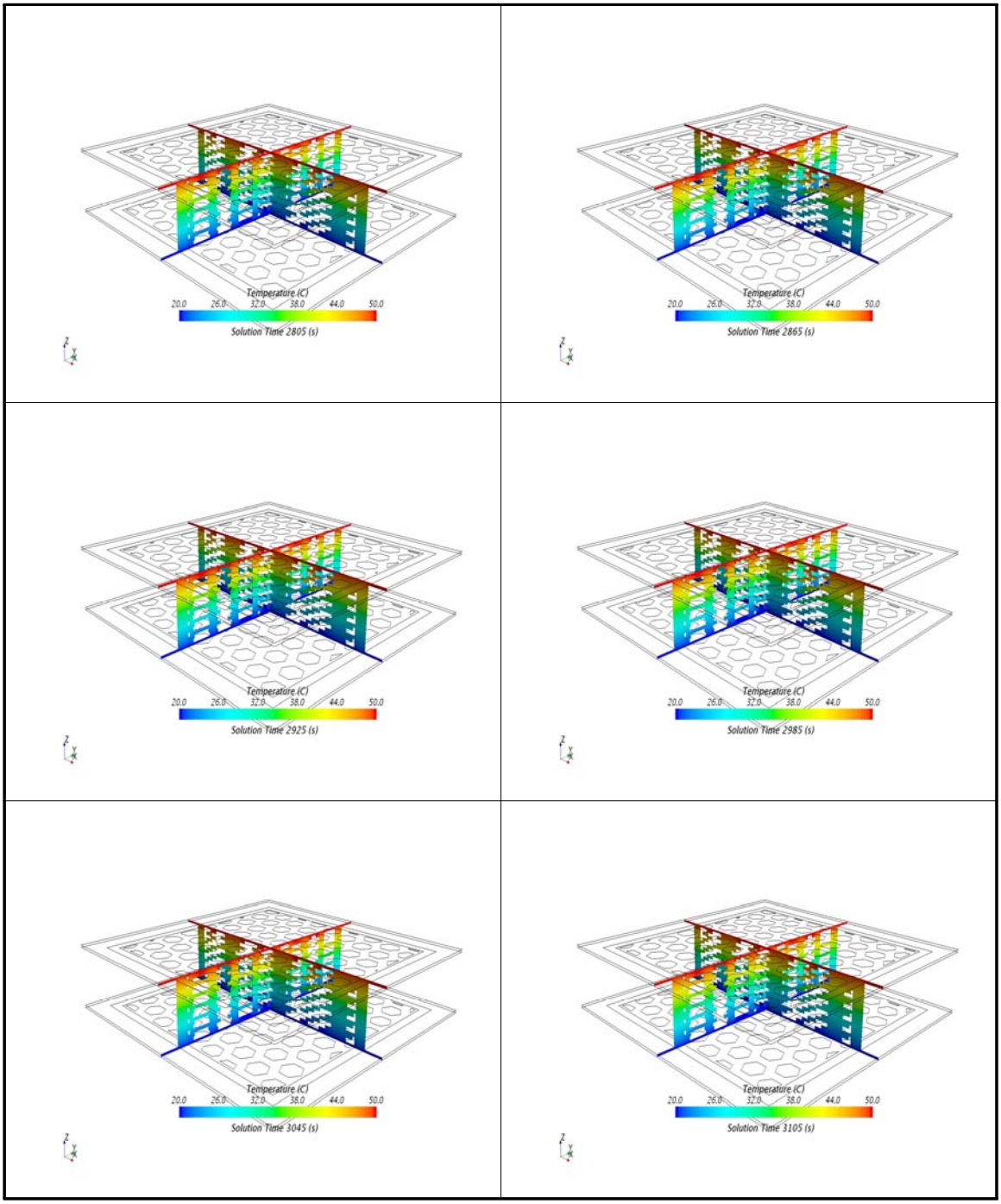
x,y 방향 단면 온도 변화

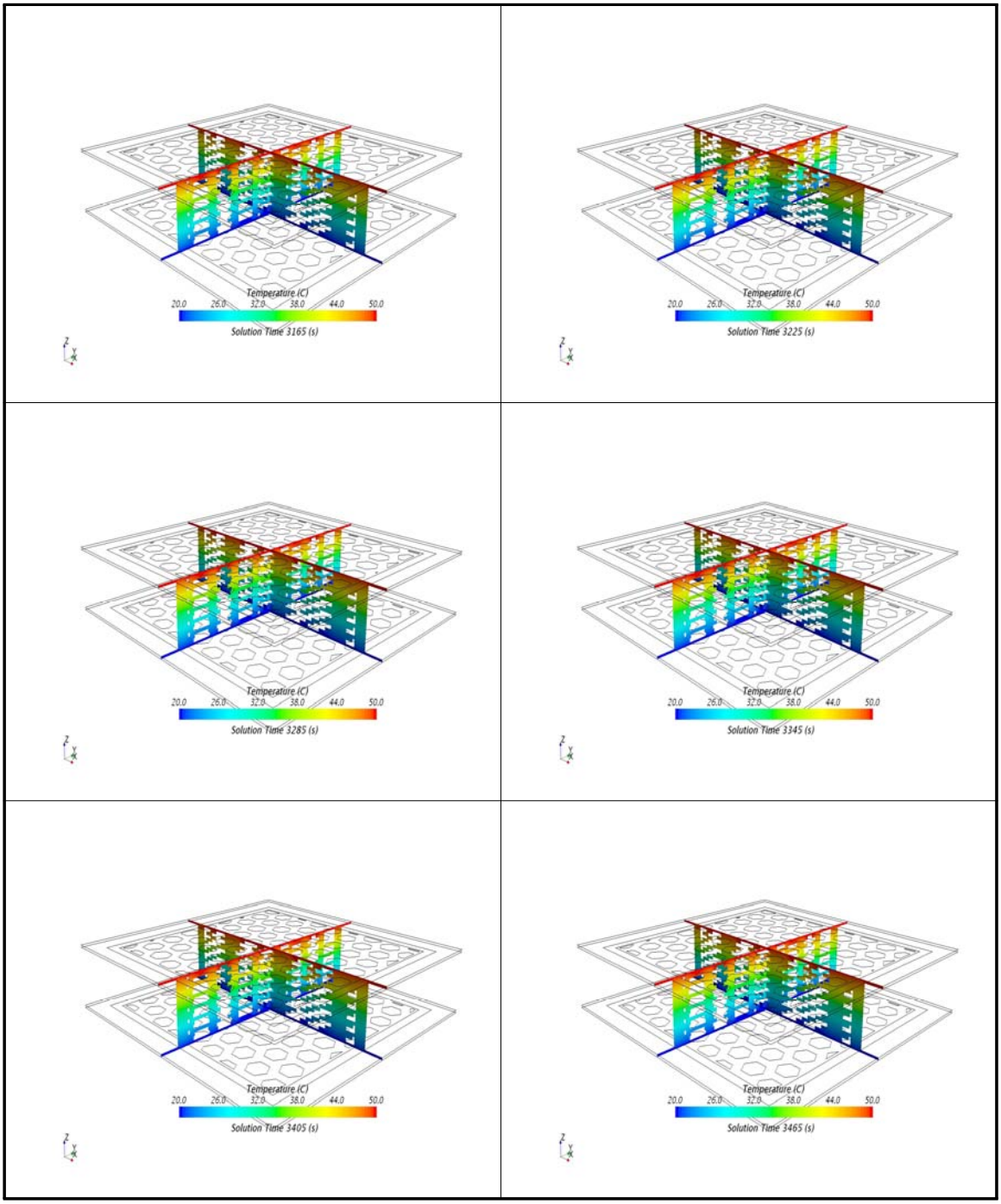


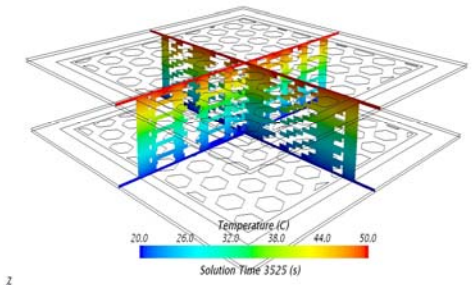

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1365 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1425 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1485 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1545 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1605 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1665 (s)

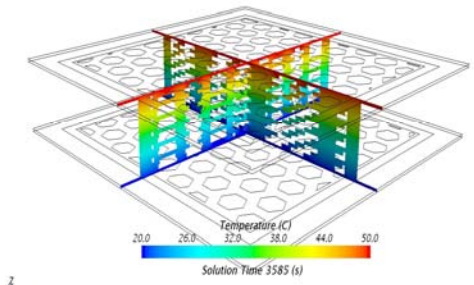

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1725 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1785 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1845 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2265 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2325 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2385 (s)

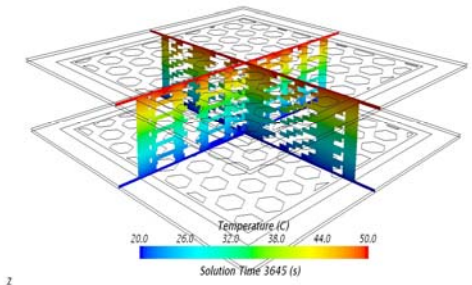

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2445 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2505 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2565 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2625 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2685 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2745 (s)

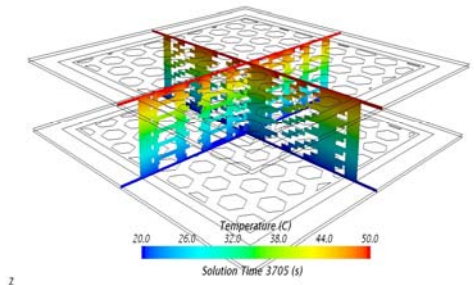

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2805 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2865 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2925 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2985 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3045 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3105 (s)

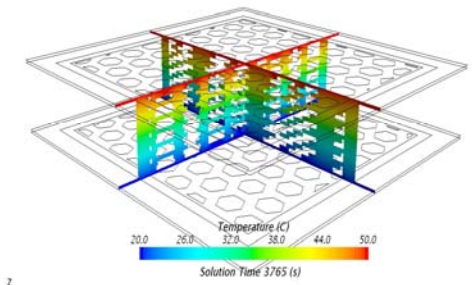

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3165 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3225 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3285 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3345 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3405 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3465 (s)

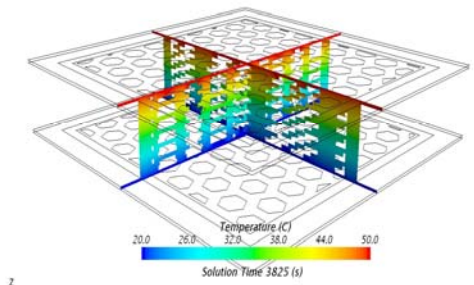

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3525 (s)

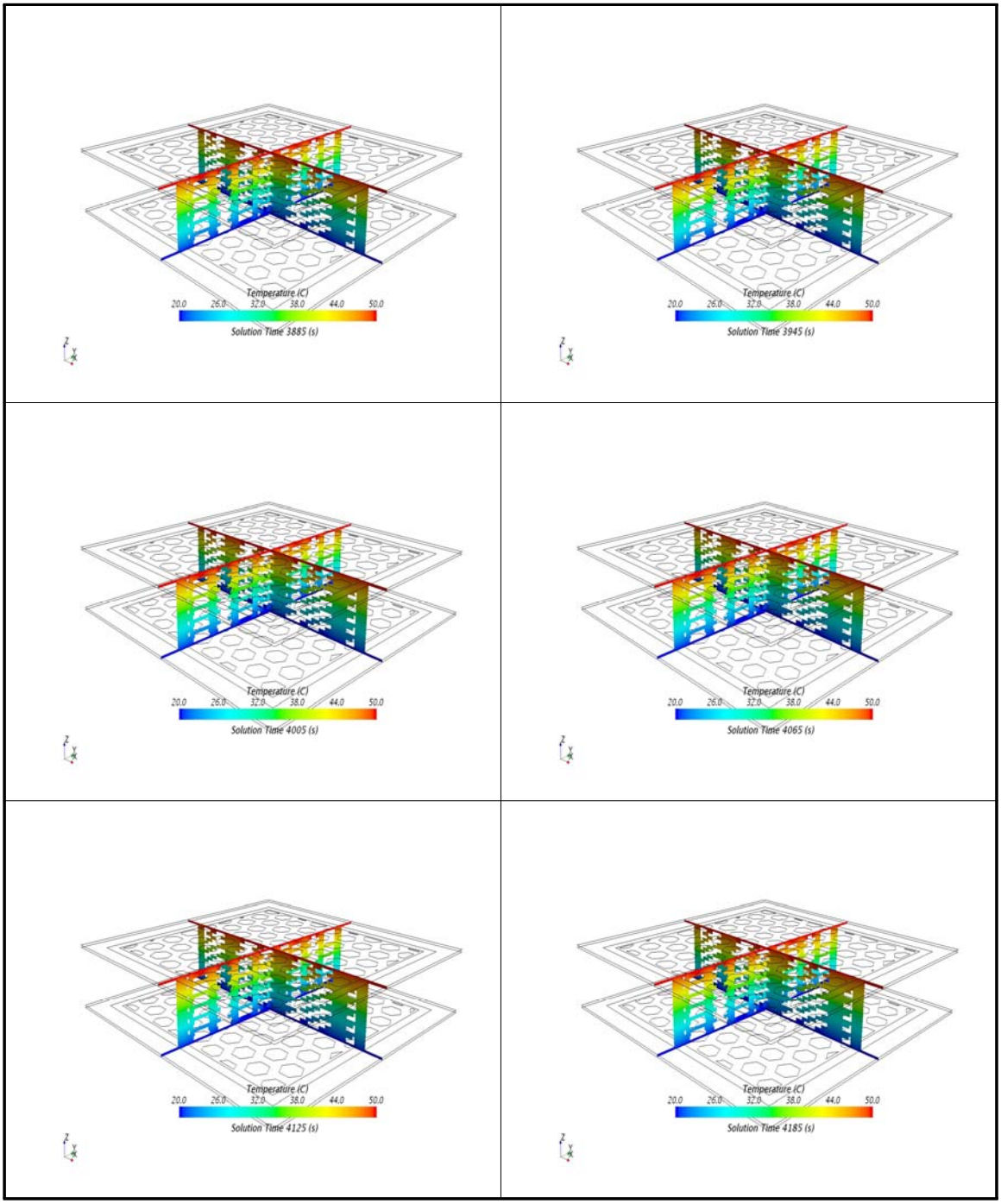

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3585 (s)

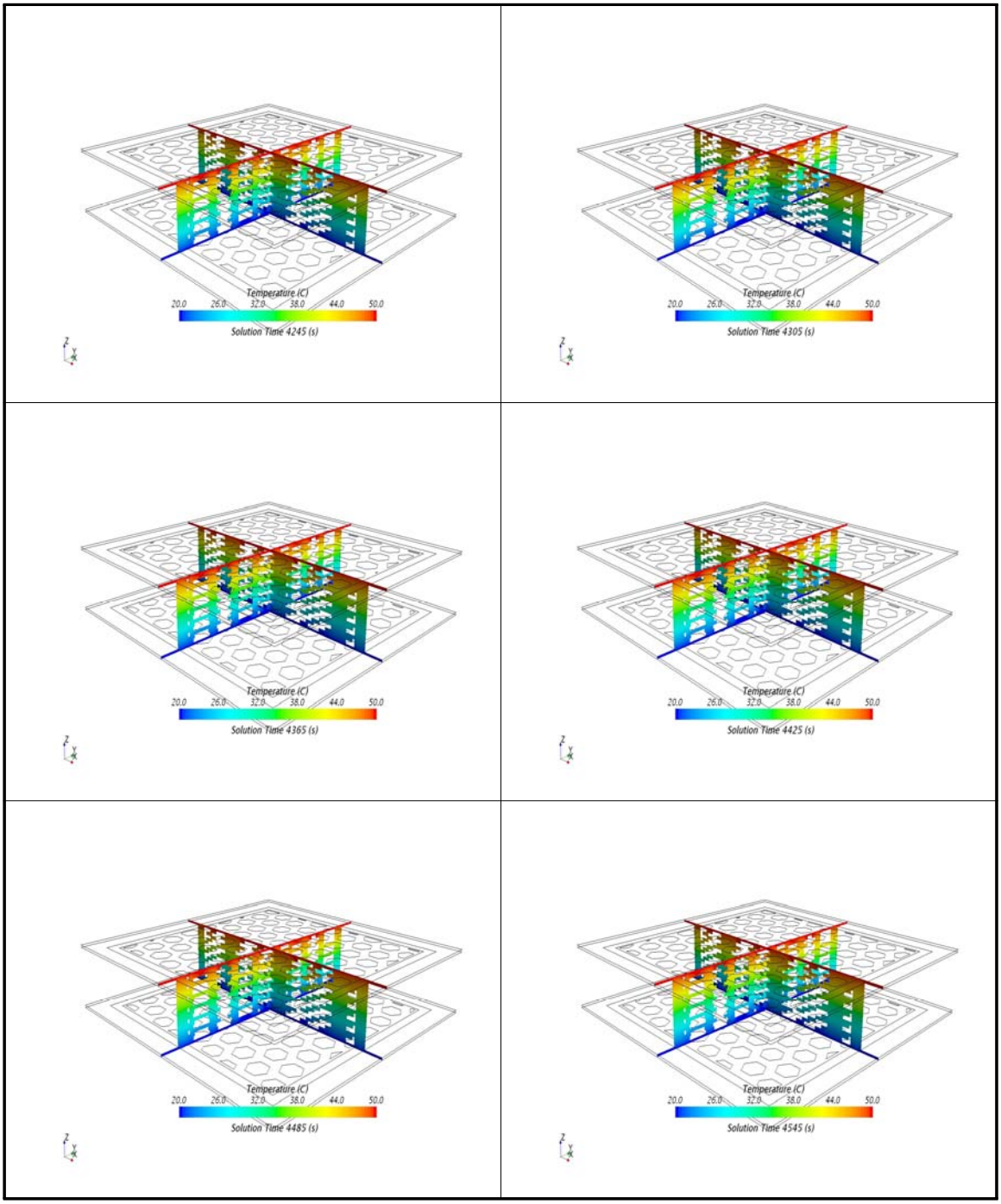

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3645 (s)

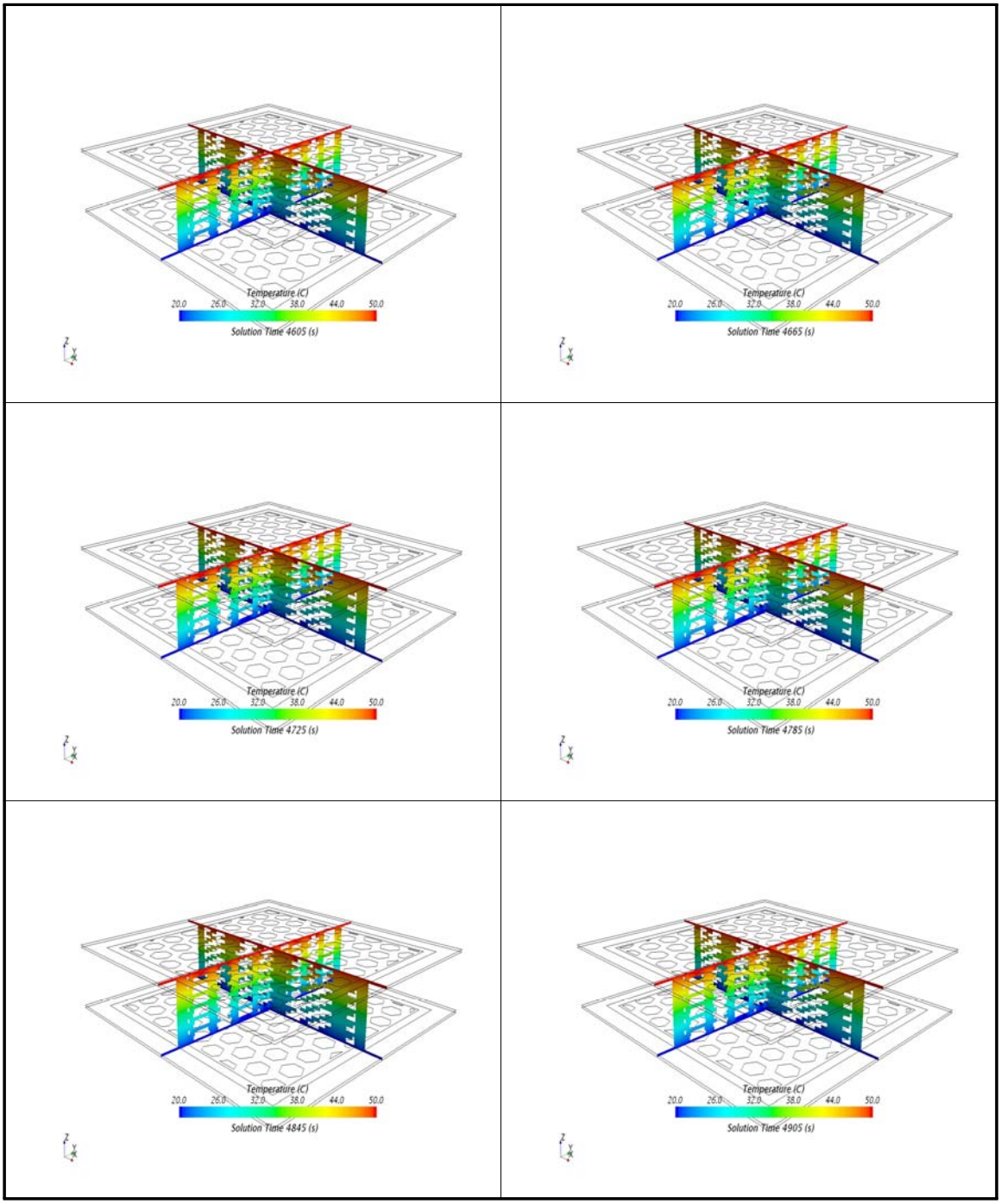

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3705 (s)

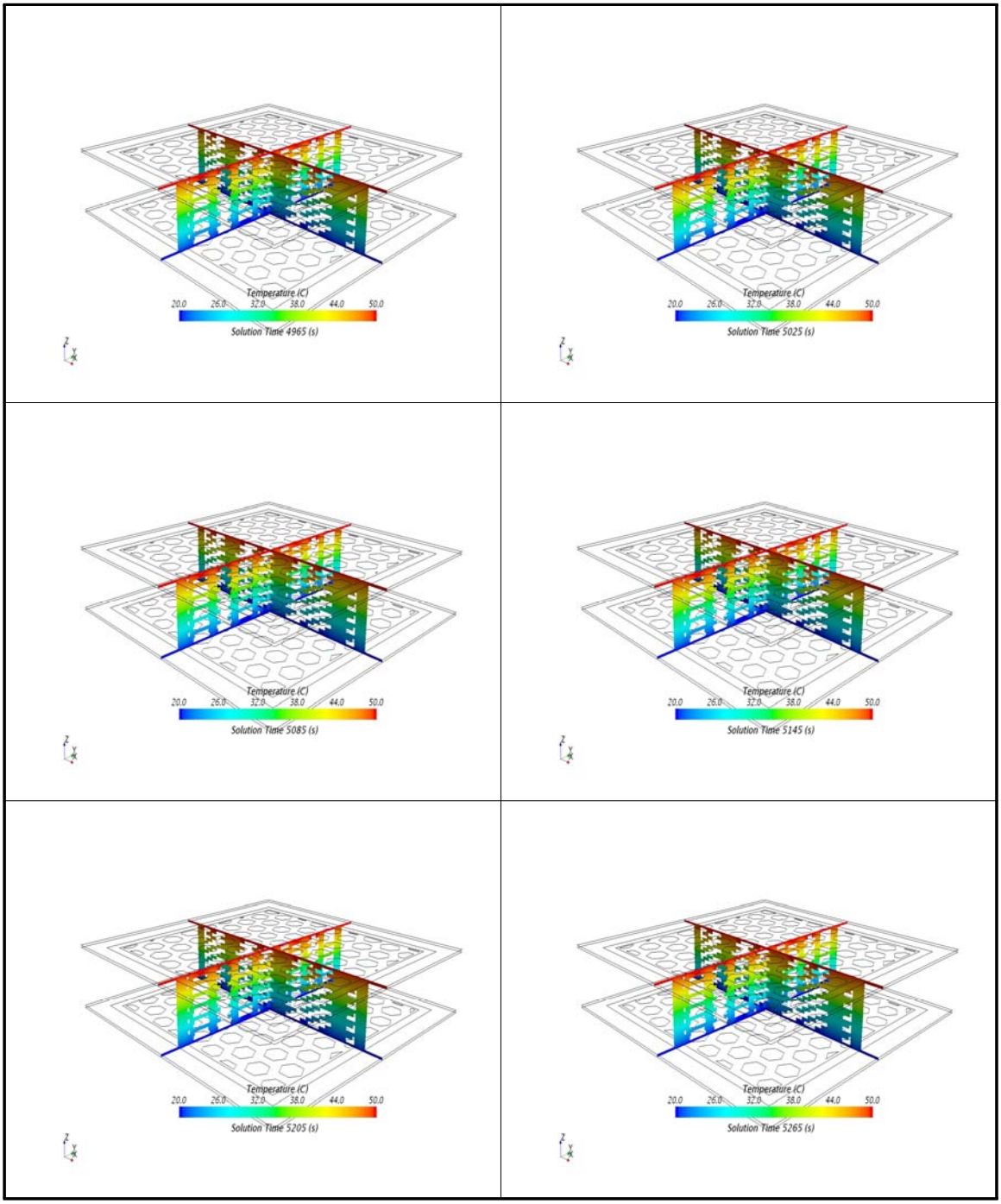

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3765 (s)

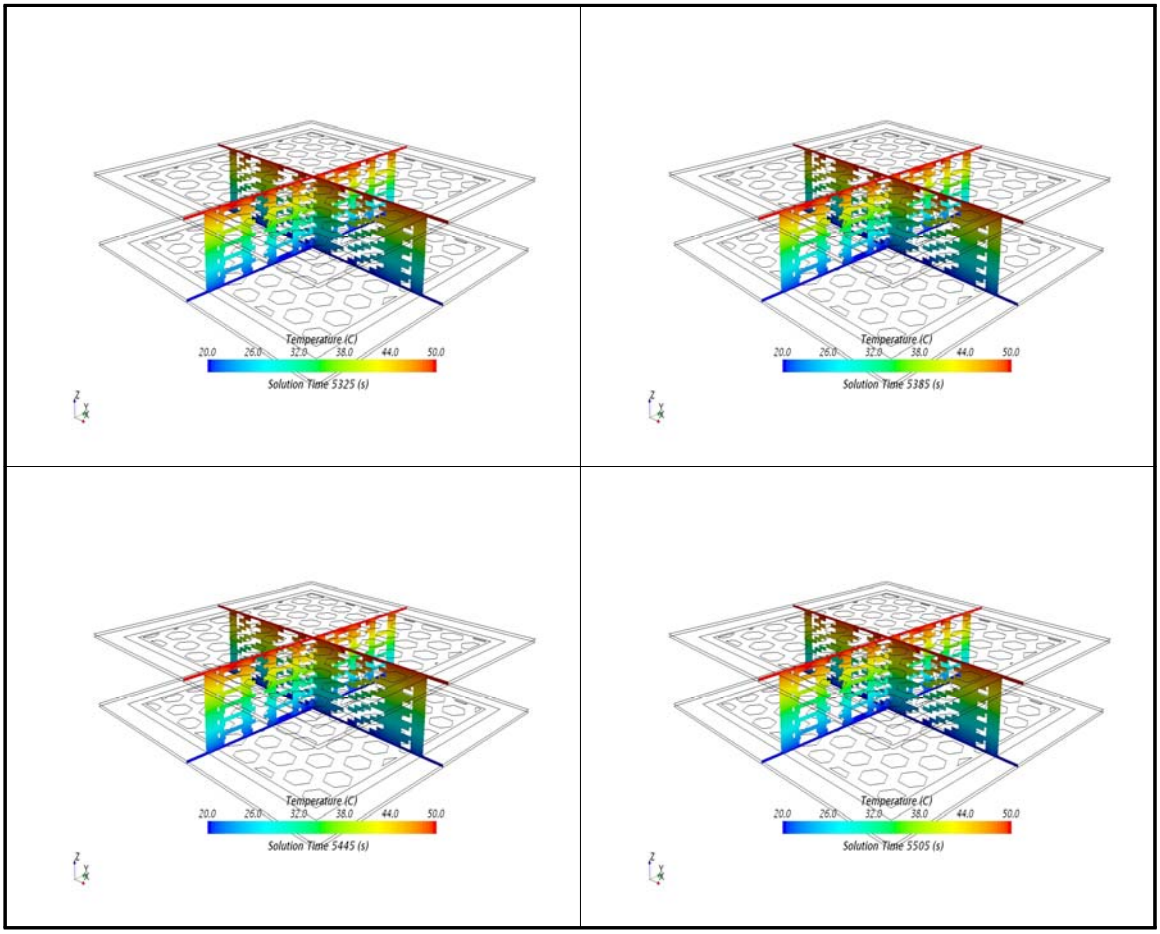

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3825 (s)


Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3885 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3945 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4005 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4065 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4125 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4185 (s)

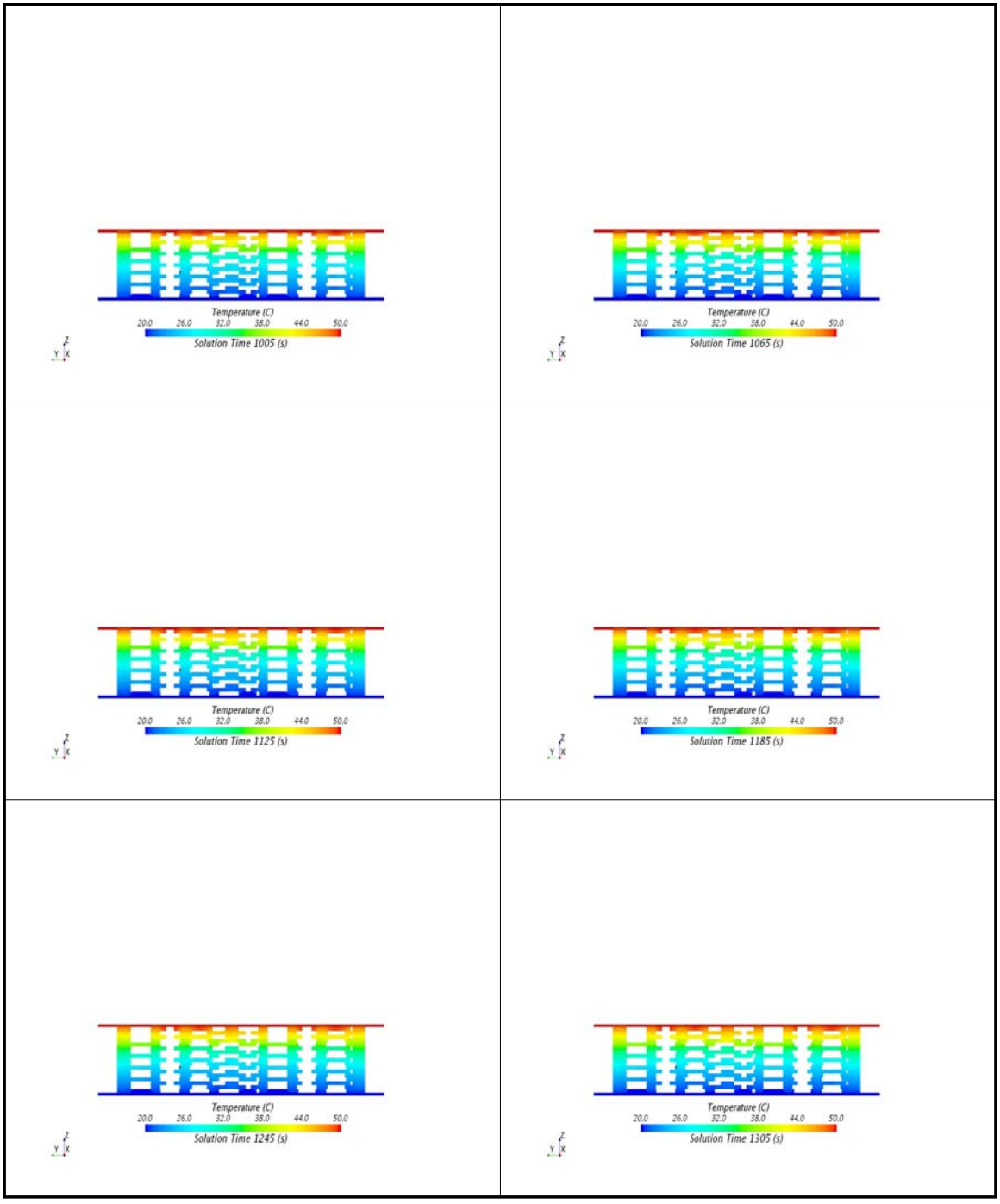

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4245 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4305 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4365 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4425 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4485 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4545 (s)

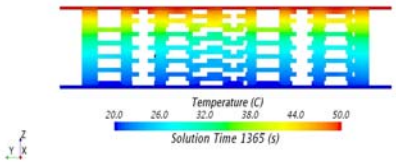

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4605 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4665 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4725 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4785 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4845 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4905 (s)

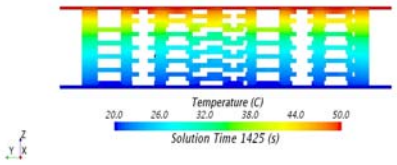

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4965 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5025 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5085 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5145 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5205 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5265 (s)

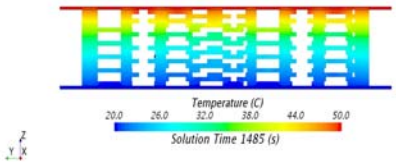

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5325 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5385 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5445 (s)
Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5505 (s)

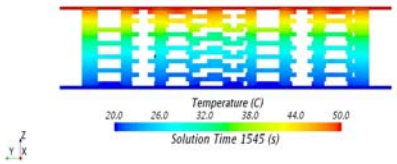
1. x 방향 단면 온도 변화
2.

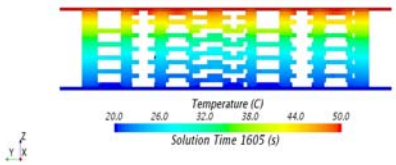


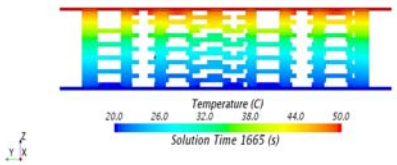

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1365 (s)

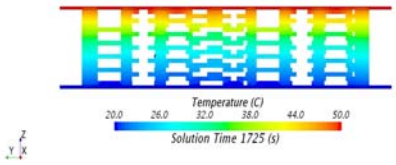

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1425 (s)

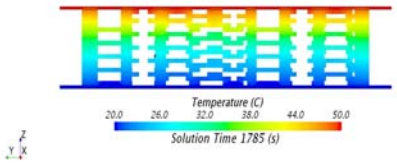

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1485 (s)

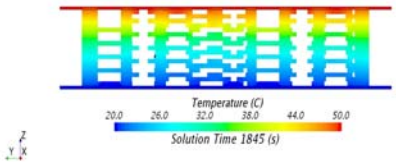

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1545 (s)

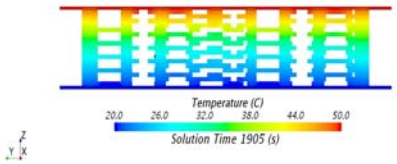

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1605 (s)

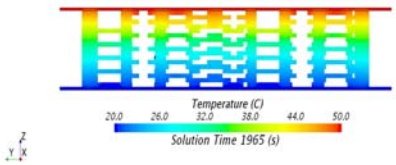

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1665 (s)

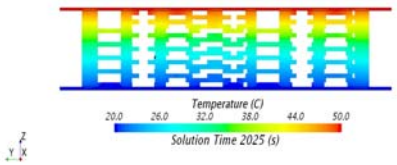

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1725 (s)

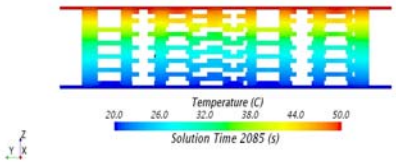

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1785 (s)

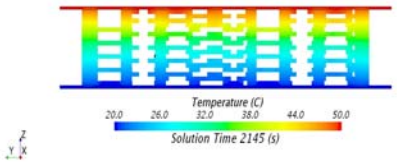

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1845 (s)

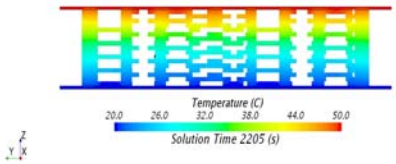

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1905 (s)

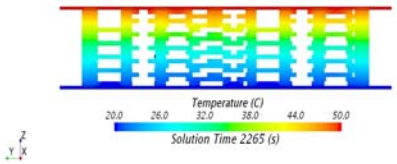

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 1965 (s)

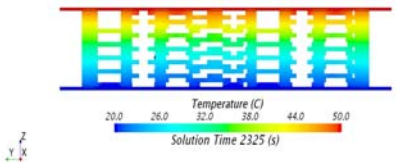

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2025 (s)

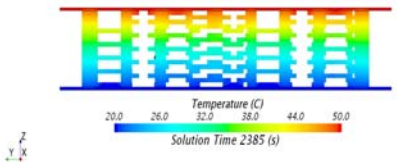

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2085 (s)

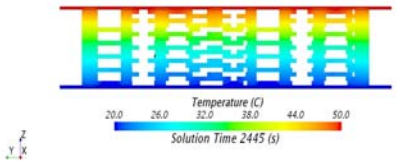

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2145 (s)

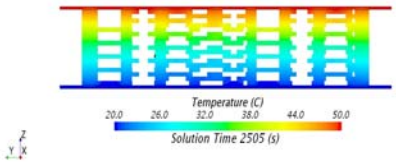

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2205 (s)

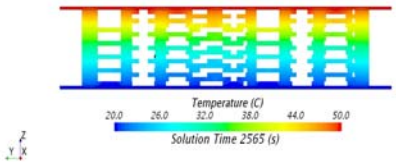

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2265 (s)

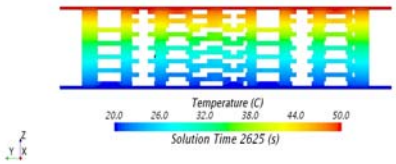

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2325 (s)

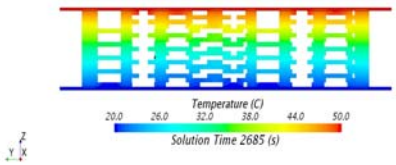

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2385 (s)

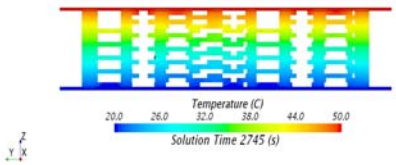

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2445 (s)

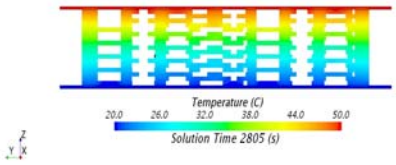

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2505 (s)

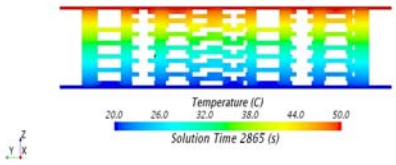

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2565 (s)

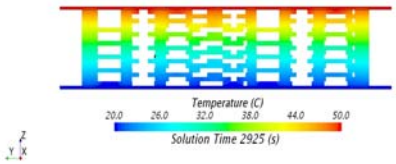

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2625 (s)

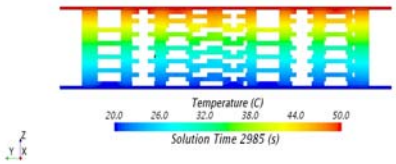

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2685 (s)

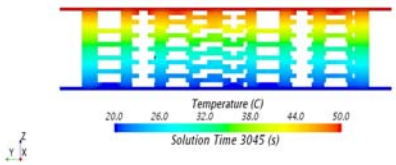

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2745 (s)

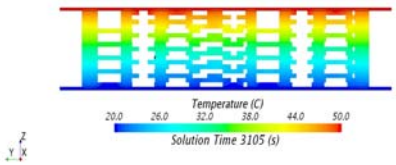

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2805 (s)

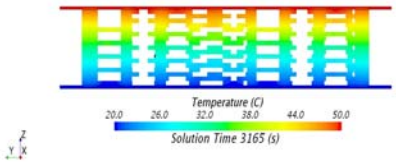

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2865 (s)

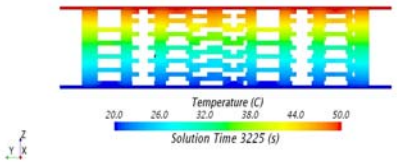

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2925 (s)

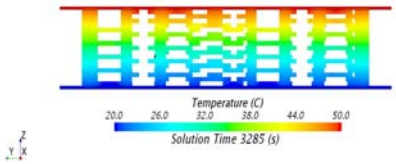

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 2985 (s)

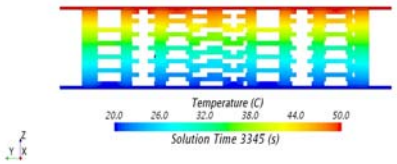

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3045 (s)

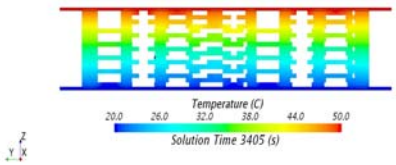

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3105 (s)

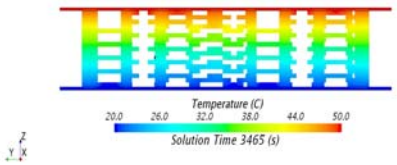

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3165 (s)

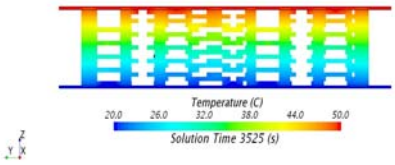

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3225 (s)

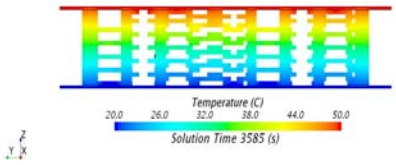

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3285 (s)

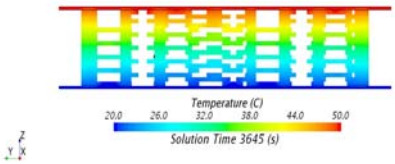

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3345 (s)

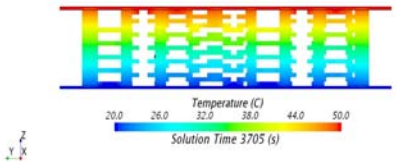

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3405 (s)

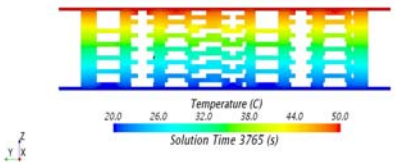

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3465 (s)

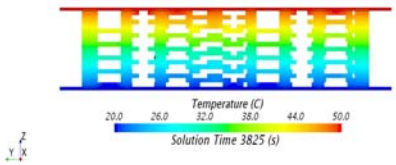

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3525 (s)

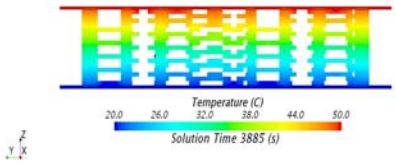

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3585 (s)

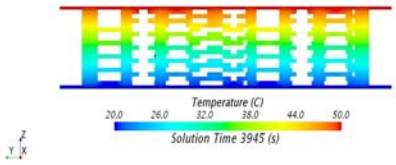

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3645 (s)

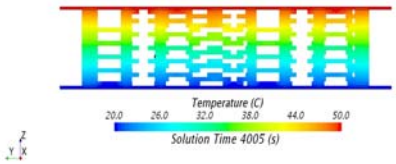

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3705 (s)

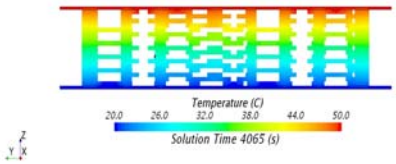

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3765 (s)

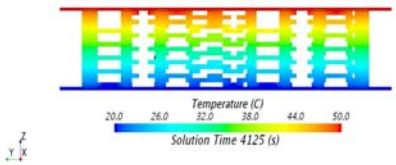

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3825 (s)

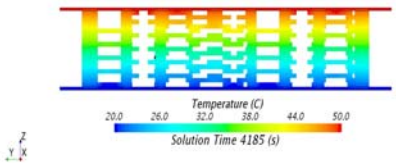

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3885 (s)

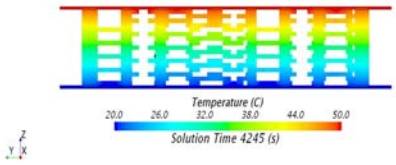

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 3945 (s)

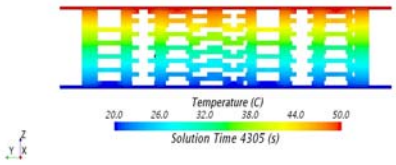

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4005 (s)

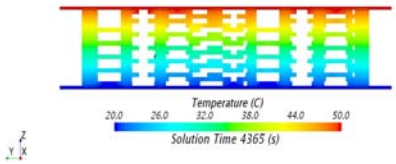

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4065 (s)

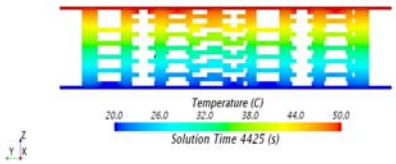

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4125 (s)

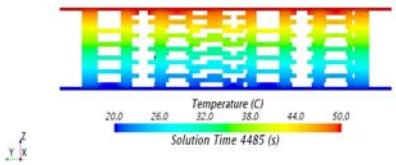

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4185 (s)

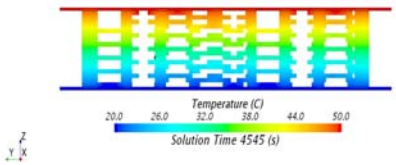

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4245 (s)

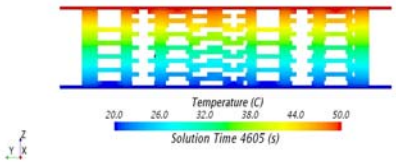

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4305 (s)

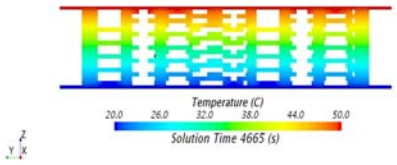

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4365 (s)

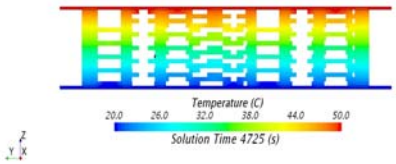

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4425 (s)

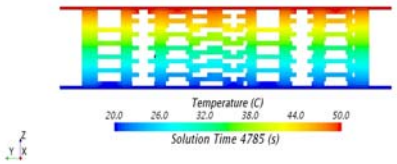

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4485 (s)

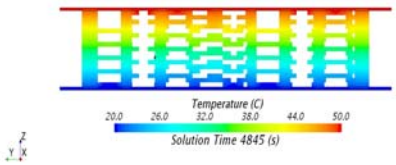

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4545 (s)

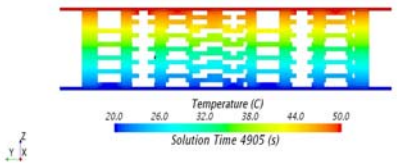

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4605 (s)

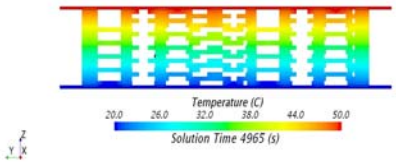

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4665 (s)

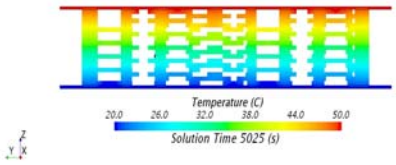

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4725 (s)

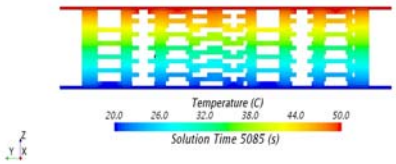

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4785 (s)

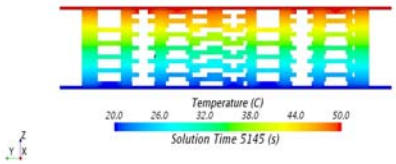

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4845 (s)

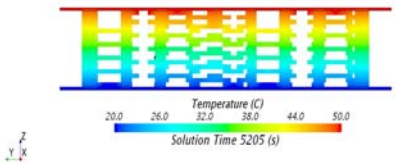

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4905 (s)

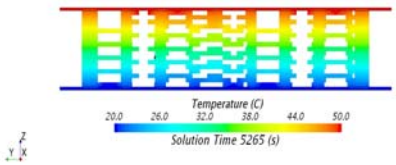

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 4965 (s)

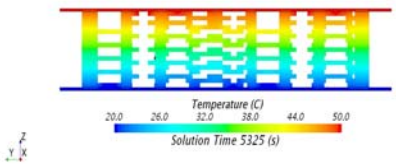

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5025 (s)

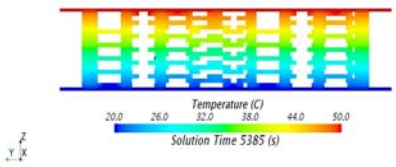

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5085 (s)

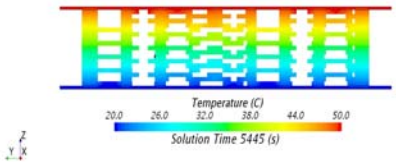

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5145 (s)

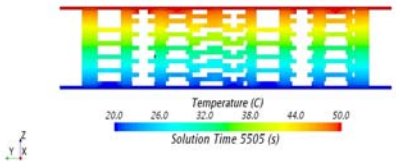

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5205 (s)


Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5265 (s)

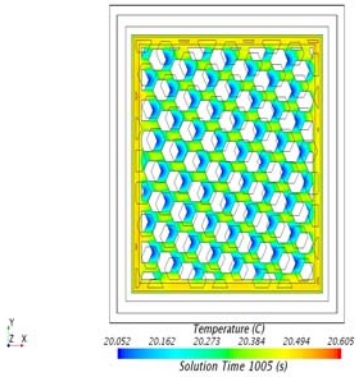

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5325 (s)

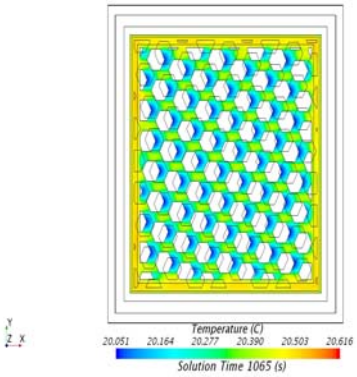

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5385 (s)

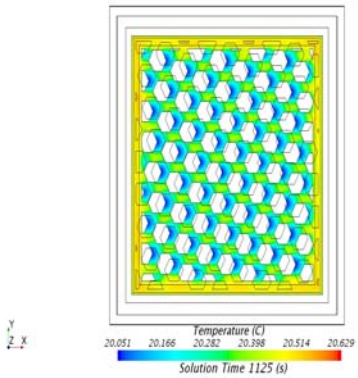

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5445 (s)

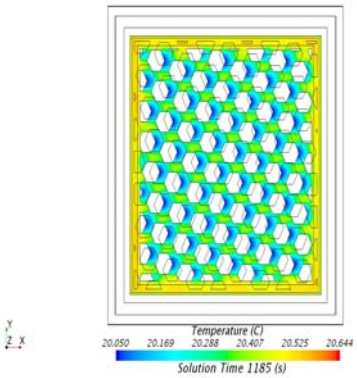

Temperature (C)
20.0 26.0 32.0 38.0 44.0 50.0
Solution Time 5505 (s)

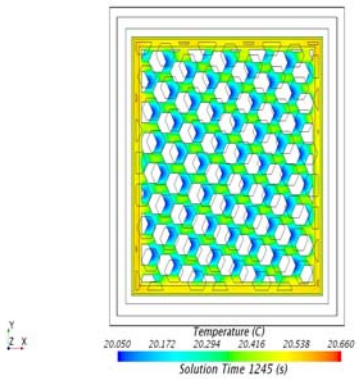
PE, Silicon 하부의 온도변화

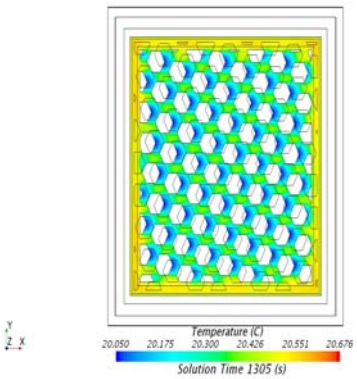


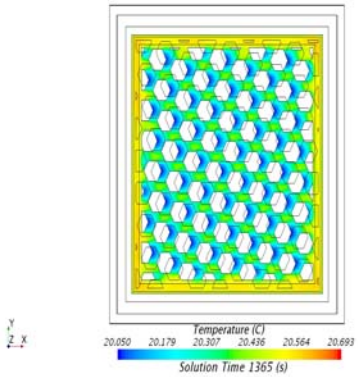


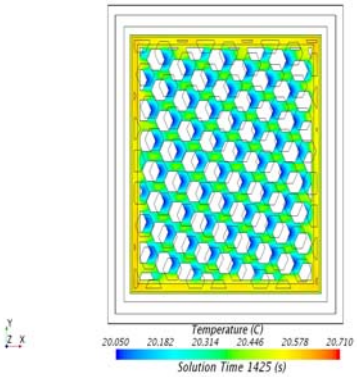


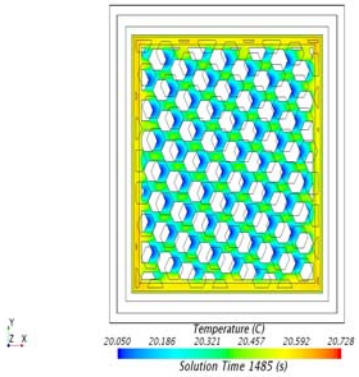


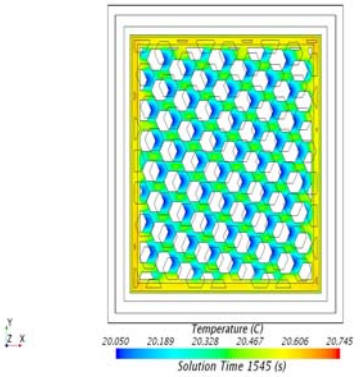


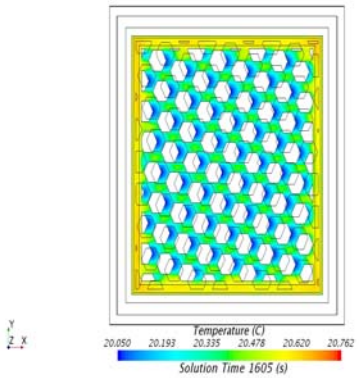


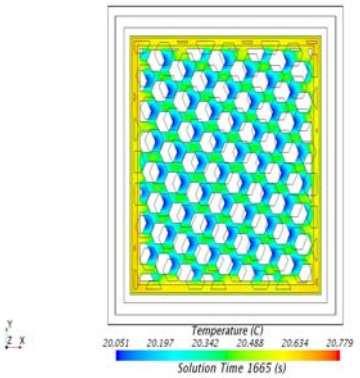


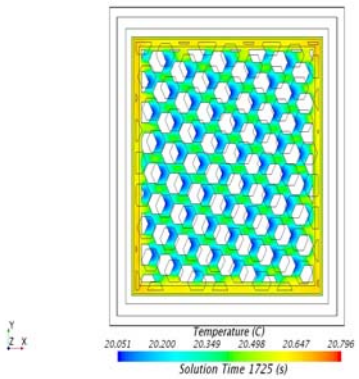


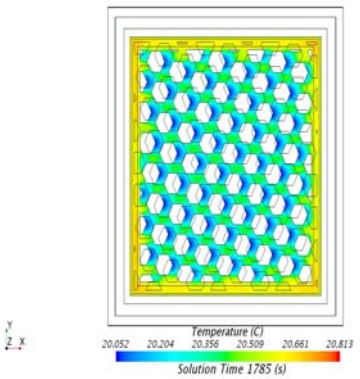

Temperature (C)
20.050 20.186 20.321 20.457 20.592 20.728
Solution Time 1485 (s)

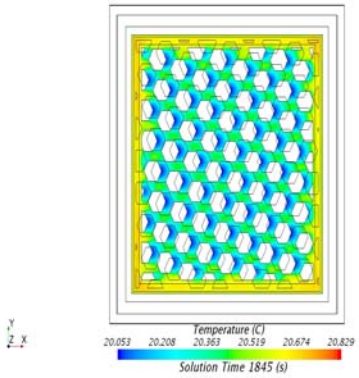

Temperature (C)
20.050 20.189 20.328 20.467 20.606 20.745
Solution Time 1545 (s)

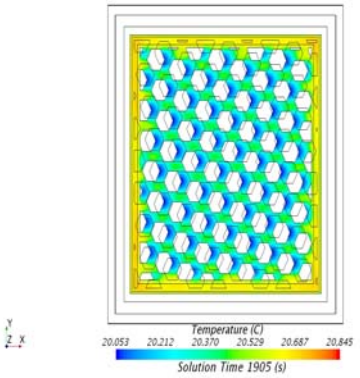

Temperature (C)
20.050 20.193 20.335 20.478 20.620 20.762
Solution Time 1605 (s)

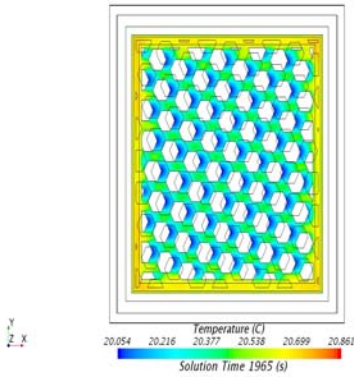

Temperature (C)
20.051 20.197 20.342 20.488 20.634 20.779
Solution Time 1665 (s)

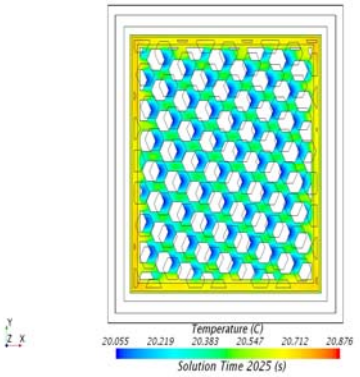

Temperature (C)
20.051 20.200 20.349 20.498 20.647 20.796
Solution Time 1725 (s)

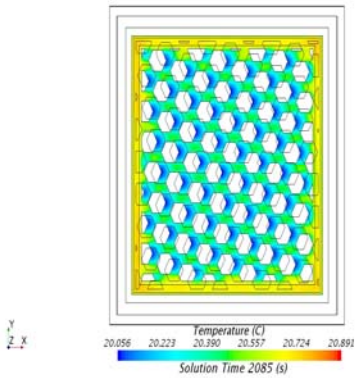

Temperature (C)
20.052 20.204 20.356 20.509 20.661 20.813
Solution Time 1785 (s)

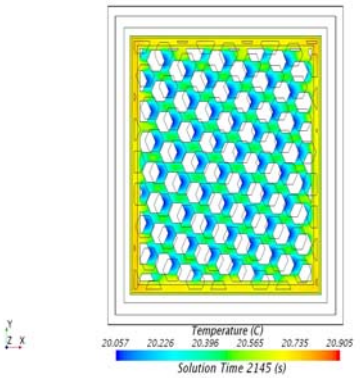

Temperature (C)
20.053 20.208 20.363 20.519 20.674 20.829
Solution Time 1845 (s)

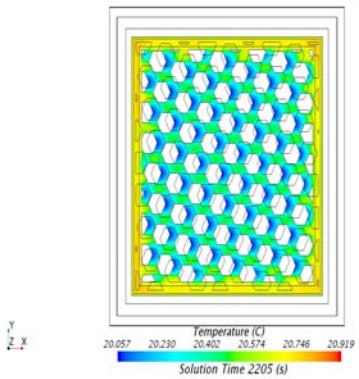

Temperature (C)
20.053 20.212 20.370 20.529 20.687 20.845
Solution Time 1905 (s)

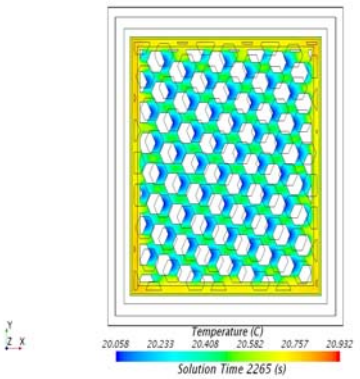

Temperature (C)
20.054 20.216 20.377 20.538 20.699 20.861
Solution Time 1965 (s)

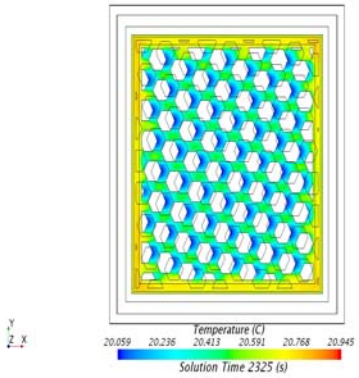

Temperature (C)
20.055 20.219 20.383 20.547 20.712 20.876
Solution Time 2025 (s)

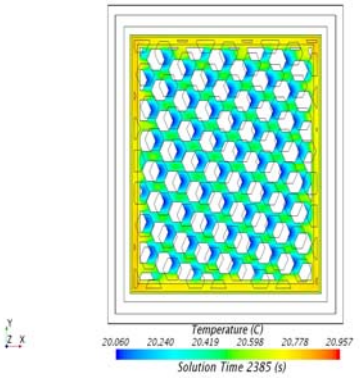

Temperature (C)
20.056 20.223 20.390 20.557 20.724 20.891
Solution Time 2085 (s)

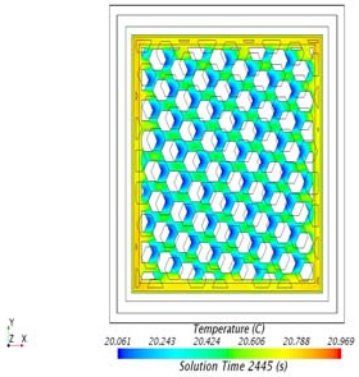

Temperature (C)
20.057 20.226 20.396 20.565 20.735 20.905
Solution Time 2145 (s)

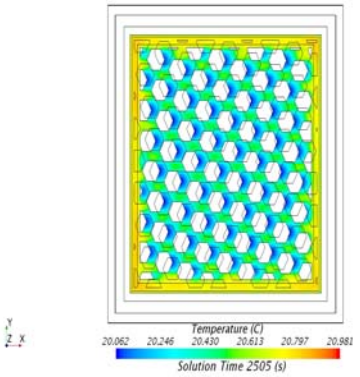

Temperature (C)
20.057 20.230 20.402 20.574 20.746 20.919
Solution Time 2205 (s)

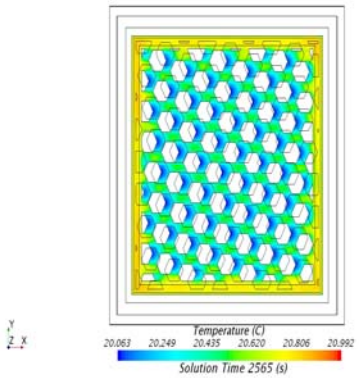

Temperature (C)
20.058 20.233 20.408 20.582 20.757 20.932
Solution Time 2265 (s)

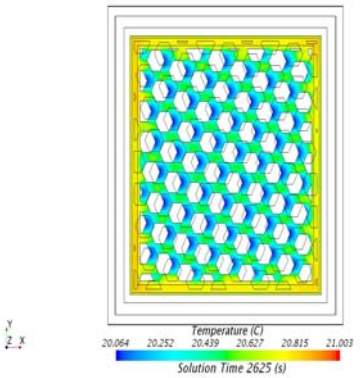

Temperature (C)
20.059 20.236 20.413 20.591 20.768 20.945
Solution Time 2325 (s)

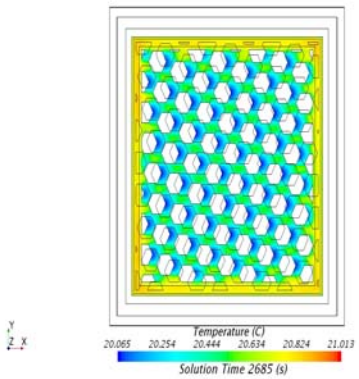

Temperature (C)
20.060 20.240 20.419 20.598 20.778 20.957
Solution Time 2385 (s)

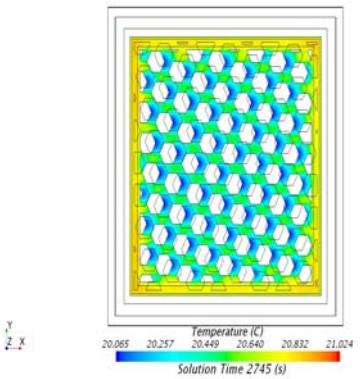

Temperature (C)
20.061 20.243 20.424 20.606 20.788 20.969
Solution Time 2445 (s)

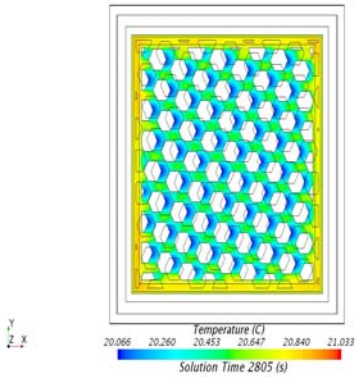

Temperature (C)
20.062 20.246 20.430 20.613 20.797 20.981
Solution Time 2505 (s)

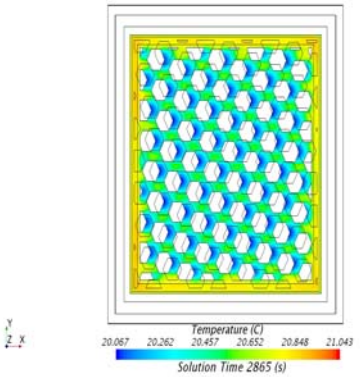

Temperature (C)
20.063 20.249 20.435 20.620 20.806 20.992
Solution Time 2565 (s)

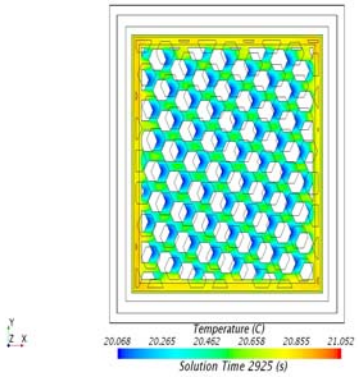

Temperature (C)
20.064 20.252 20.439 20.627 20.815 21.003
Solution Time 2625 (s)

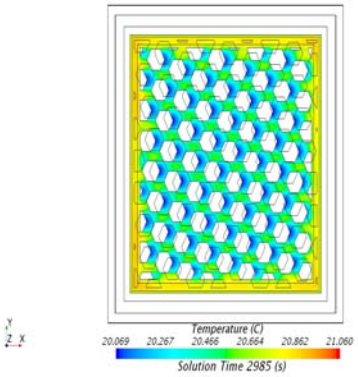

Temperature (C)
20.065 20.254 20.444 20.634 20.824 21.013
Solution Time 2685 (s)

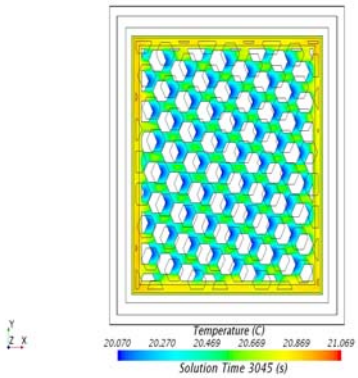

Temperature (C)
20.065 20.257 20.449 20.640 20.832 21.024
Solution Time 2745 (s)

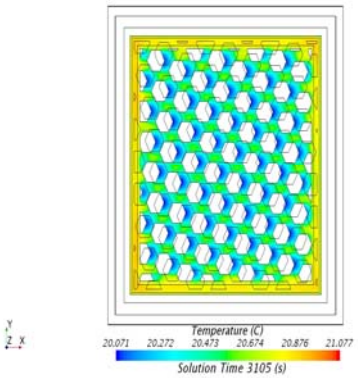

Temperature (C)
20.066 20.260 20.453 20.647 20.840 21.033
Solution Time 2805 (s)

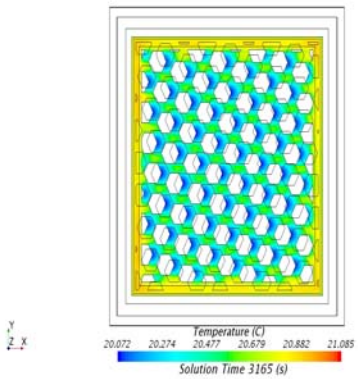

Temperature (C)
20.067 20.262 20.457 20.652 20.848 21.043
Solution Time 2865 (s)

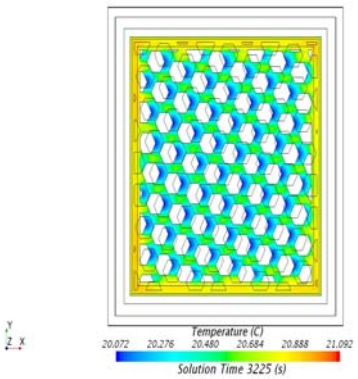

Temperature (C)
20.068 20.265 20.462 20.658 20.855 21.052
Solution Time 2925 (s)

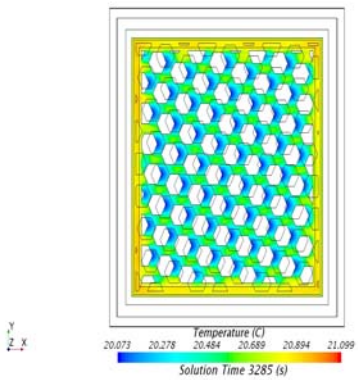

Temperature (C)
20.069 20.267 20.466 20.664 20.862 21.060
Solution Time 2985 (s)

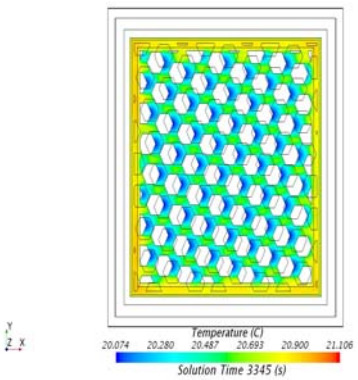

Temperature (C)
20.070 20.270 20.469 20.669 20.869 21.069
Solution Time 3045 (s)

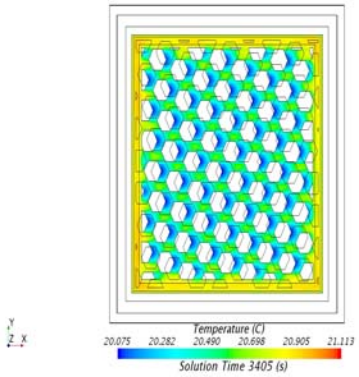

Temperature (C)
20.071 20.272 20.473 20.674 20.876 21.077
Solution Time 3105 (s)

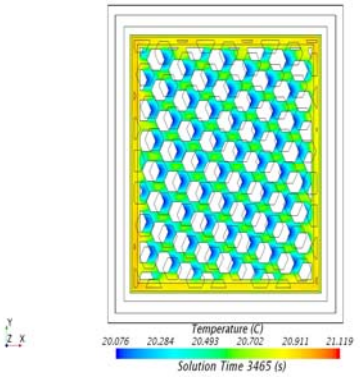

Temperature (C)
20.072 20.274 20.477 20.679 20.882 21.085
Solution Time 3165 (s)

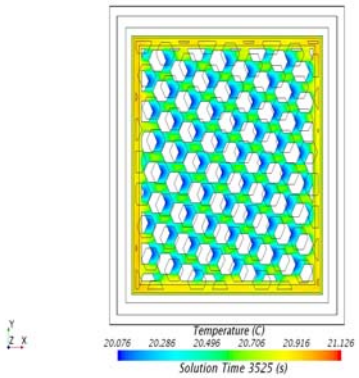

Temperature (C)
20.072 20.276 20.480 20.684 20.888 21.092
Solution Time 3225 (s)

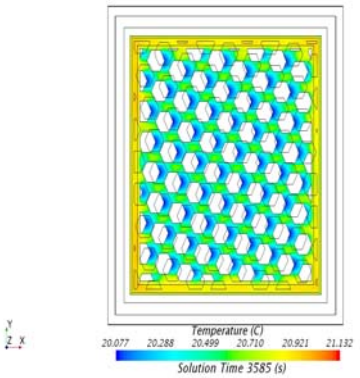

Temperature (C)
20.073 20.278 20.484 20.689 20.894 21.099
Solution Time 3285 (s)

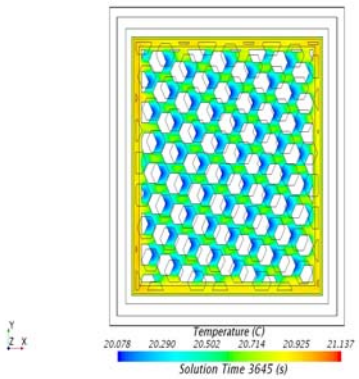

Temperature (C)
20.074 20.280 20.487 20.693 20.900 21.106
Solution Time 3345 (s)

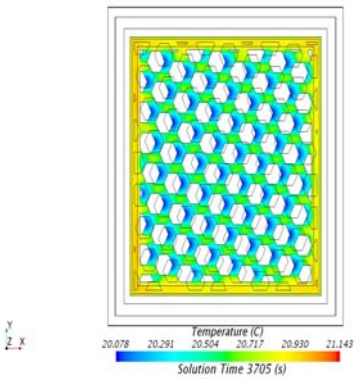

Temperature (C)
20.075 20.282 20.490 20.698 20.905 21.113
Solution Time 3405 (s)

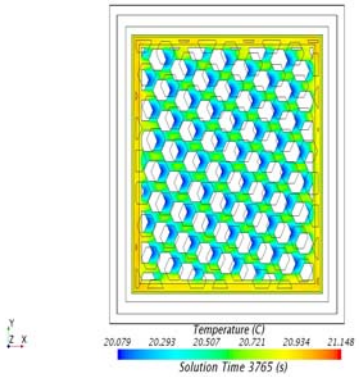

Temperature (C)
20.076 20.284 20.493 20.702 20.911 21.119
Solution Time 3465 (s)

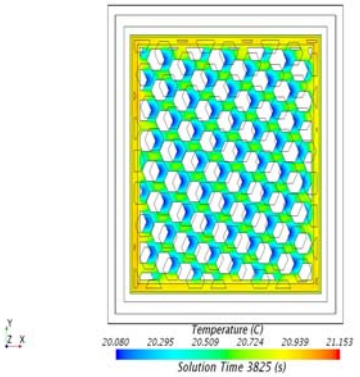

Temperature (C)
20.076 20.286 20.496 20.706 20.916 21.126
Solution Time 3525 (s)

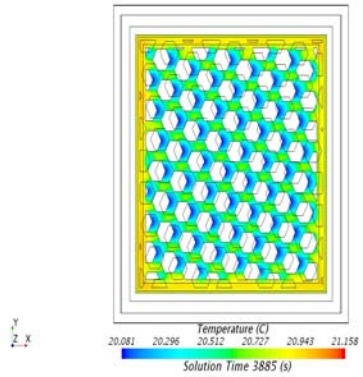

Temperature (C)
20.077 20.288 20.499 20.710 20.921 21.132
Solution Time 3585 (s)

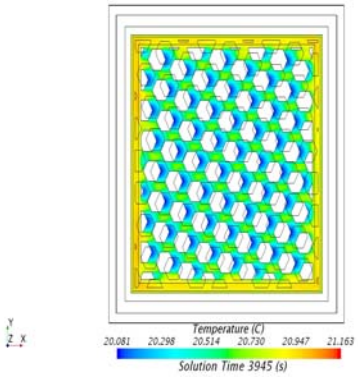

Temperature (C)
20.078 20.290 20.502 20.714 20.925 21.137
Solution Time 3645 (s)

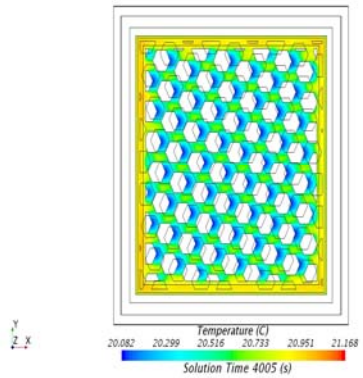

Temperature (C)
20.078 20.291 20.504 20.717 20.930 21.143
Solution Time 3705 (s)

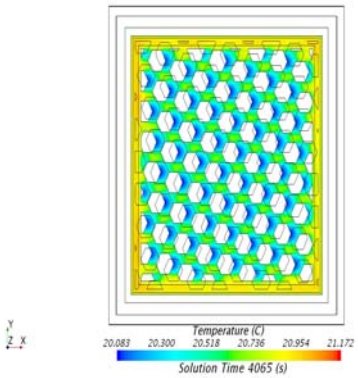

Temperature (C)
20.079 20.293 20.507 20.721 20.934 21.148
Solution Time 3765 (s)

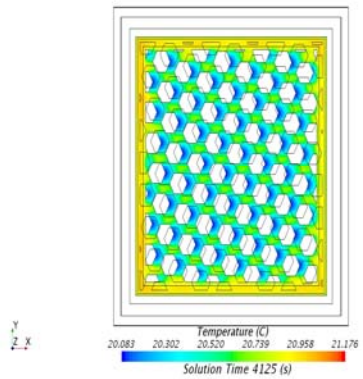

Temperature (C)
20.080 20.295 20.509 20.724 20.939 21.153
Solution Time 3825 (s)

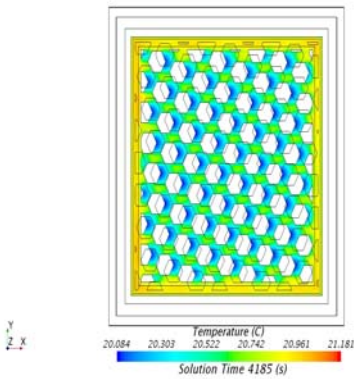

Temperature (C)
20.081 20.296 20.512 20.727 20.943 21.158
Solution Time 3885 (s)

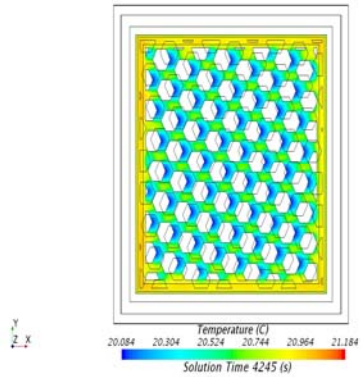

Temperature (C)
20.081 20.298 20.514 20.730 20.947 21.163
Solution Time 3945 (s)

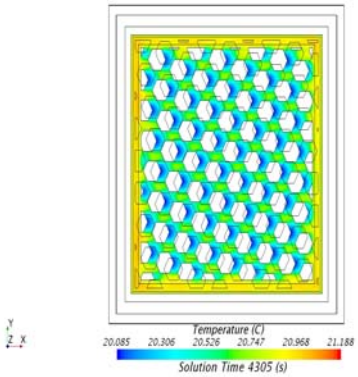

Temperature (C)
20.082 20.299 20.516 20.733 20.951 21.168
Solution Time 4005 (s)

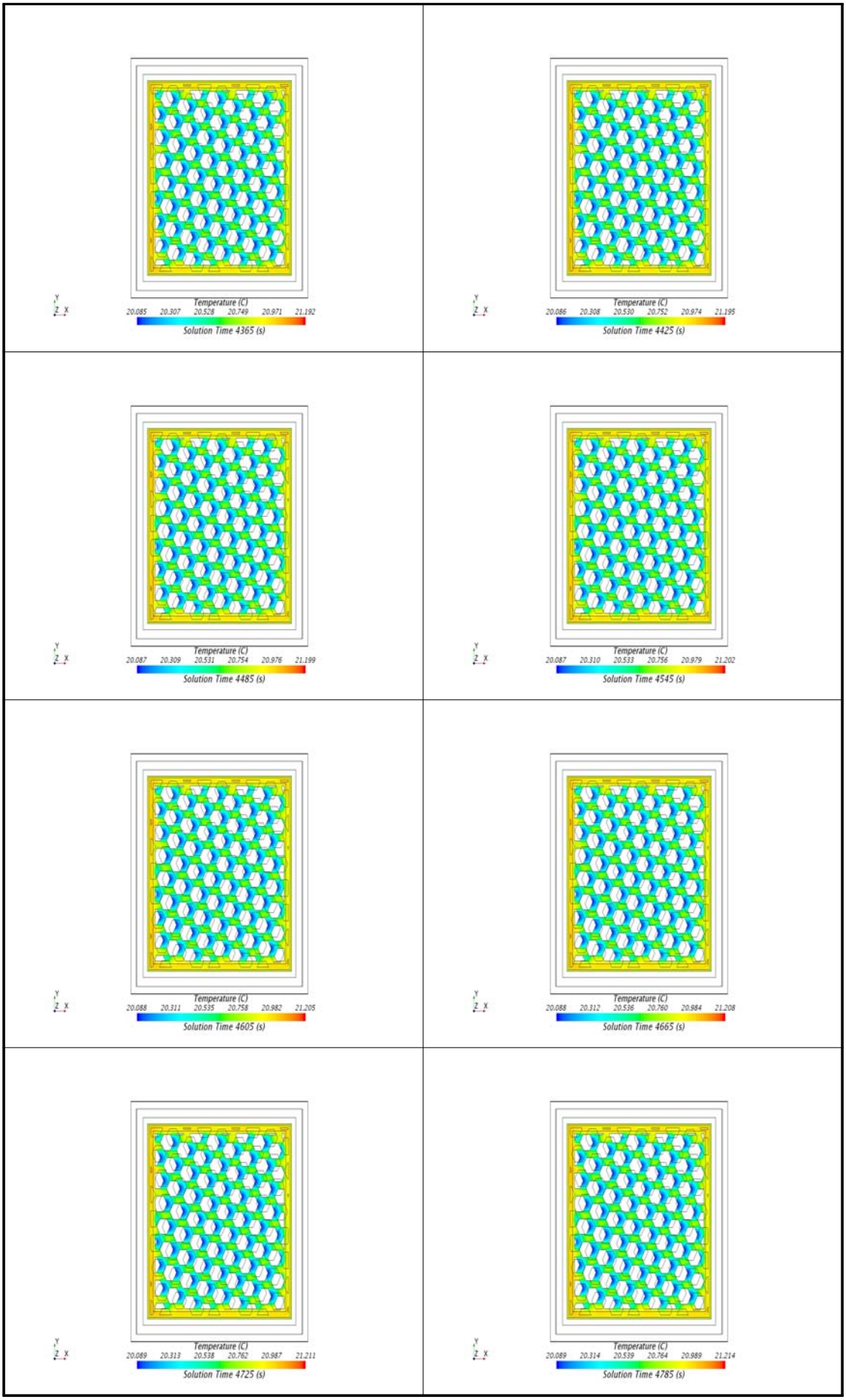

Temperature (C)
20.083 20.300 20.518 20.736 20.954 21.172
Solution Time 4065 (s)

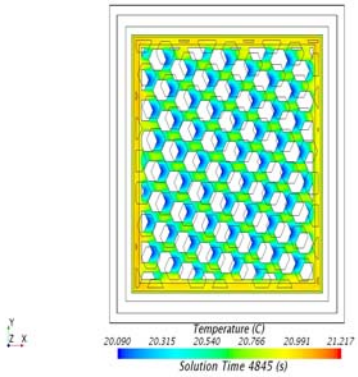

Temperature (C)
20.083 20.302 20.520 20.739 20.958 21.176
Solution Time 4125 (s)

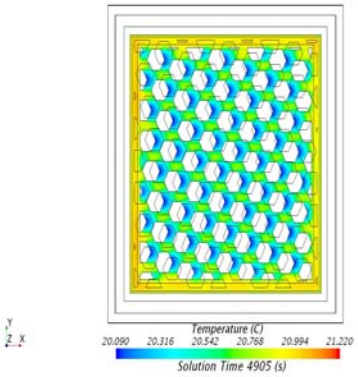

Temperature (C)
20.084 20.303 20.522 20.742 20.961 21.181
Solution Time 4185 (s)

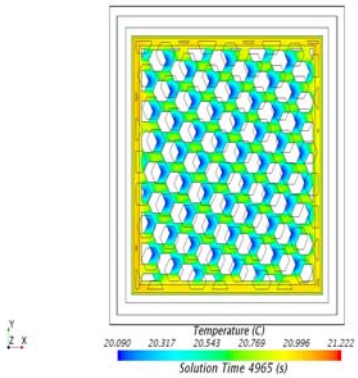

Temperature (C)
20.084 20.304 20.524 20.744 20.964 21.184
Solution Time 4245 (s)

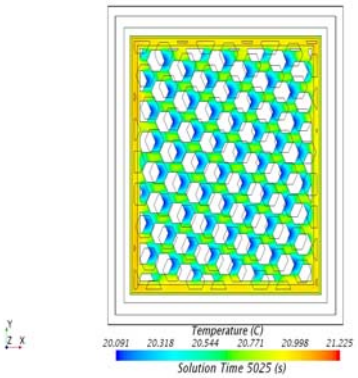

Temperature (C)
20.085 20.306 20.526 20.747 20.968 21.188
Solution Time 4305 (s)

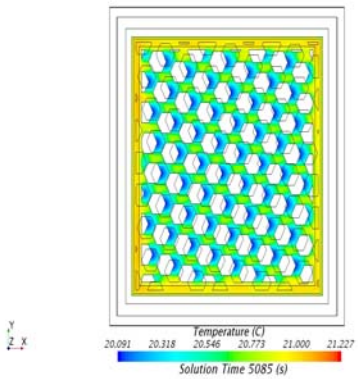

Temperature (C)
20.085 20.307 20.528 20.749 20.971 21.192
Solution Time 4365 (s)
Temperature (C)
20.086 20.308 20.530 20.752 20.974 21.195
Solution Time 4425 (s)
Temperature (C)
20.087 20.309 20.531 20.754 20.976 21.199
Solution Time 4485 (s)
Temperature (C)
20.087 20.310 20.533 20.756 20.979 21.202
Solution Time 4545 (s)
Temperature (C)
20.088 20.311 20.535 20.758 20.982 21.205
Solution Time 4605 (s)
Temperature (C)
20.088 20.312 20.536 20.760 20.984 21.208
Solution Time 4665 (s)
Temperature (C)
20.089 20.313 20.538 20.762 20.987 21.211
Solution Time 4725 (s)
Temperature (C)
20.089 20.314 20.539 20.764 20.989 21.214
Solution Time 4785 (s)

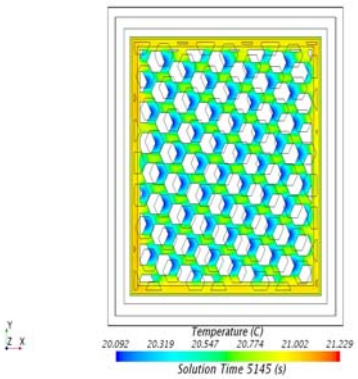

Temperature (C)
20.090 20.315 20.540 20.766 20.991 21.217
Solution Time 4845 (s)

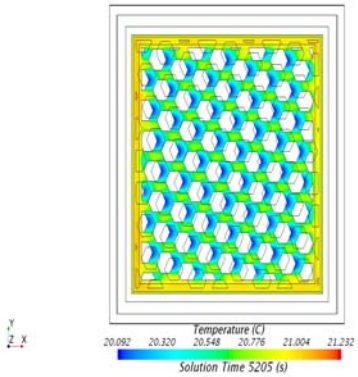

Temperature (C)
20.090 20.316 20.542 20.768 20.994 21.220
Solution Time 4905 (s)

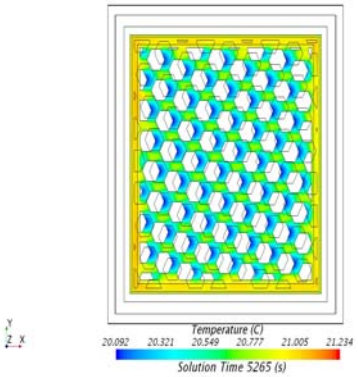

Temperature (C)
20.090 20.317 20.543 20.769 20.996 21.222
Solution Time 4965 (s)

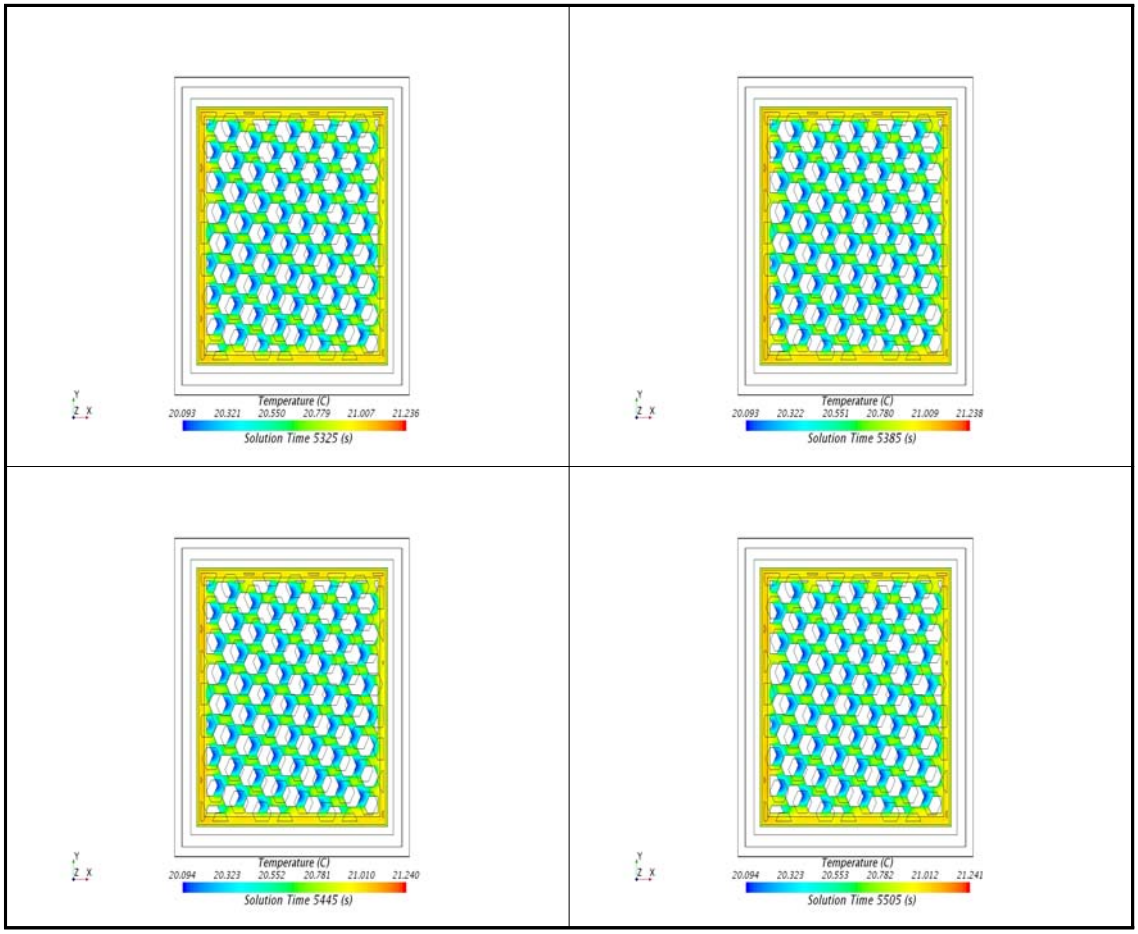

Temperature (C)
20.091 20.318 20.544 20.771 20.998 21.225
Solution Time 5025 (s)


Temperature (C)
20.091 20.318 20.546 20.773 21.000 21.227
Solution Time 5085 (s)

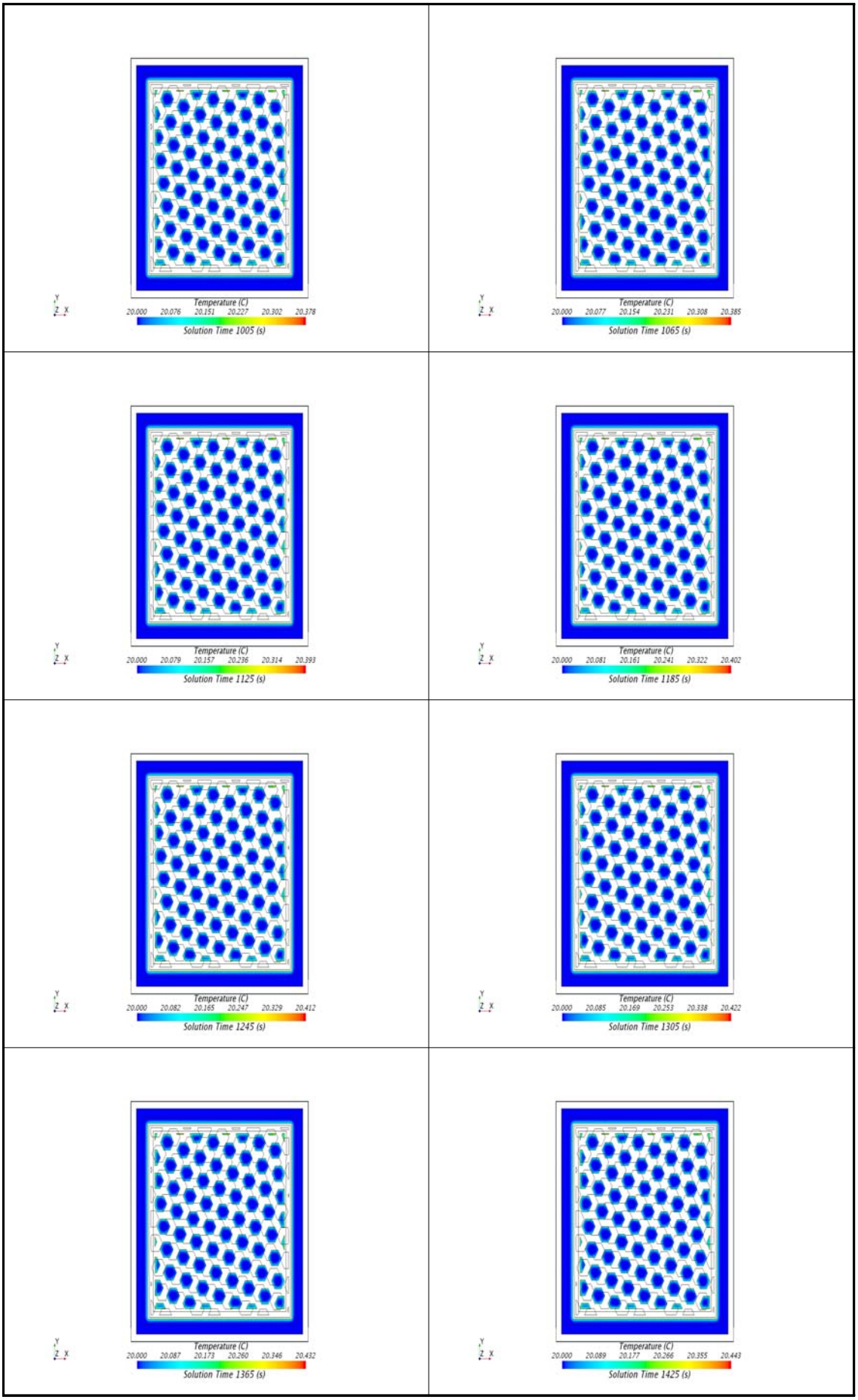

Temperature (C)
20.092 20.319 20.547 20.774 21.002 21.229
Solution Time 5145 (s)

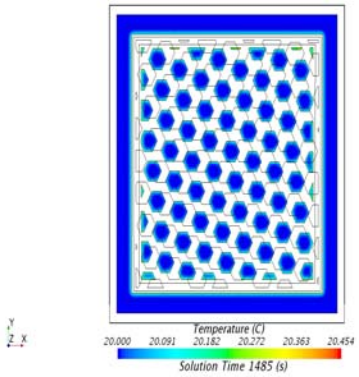

Temperature (C)
20.092 20.320 20.548 20.776 21.004 21.232
Solution Time 5205 (s)

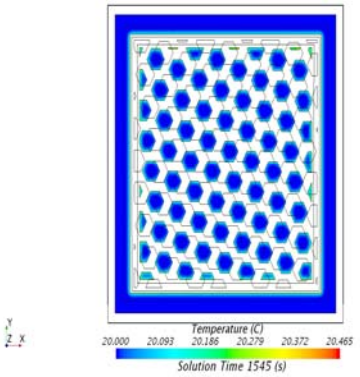

Temperature (C)
20.092 20.321 20.549 20.777 21.005 21.234
Solution Time 5265 (s)

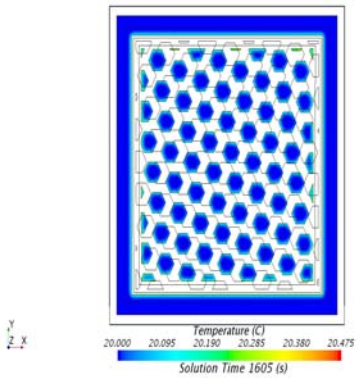

Temperature (C)
20.093 20.321 20.550 20.779 21.007 21.236
Solution Time 5325 (s)
Temperature (C)
20.093 20.322 20.551 20.780 21.009 21.238
Solution Time 5385 (s)
Temperature (C)
20.094 20.323 20.552 20.781 21.010 21.240
Solution Time 5445 (s)
Temperature (C)
20.094 20.323 20.553 20.782 21.012 21.241
Solution Time 5505 (s)

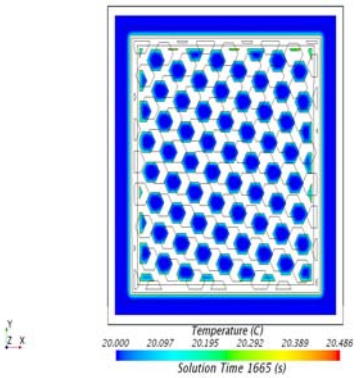
하부 스테인레스의 상부표면 온도 변화

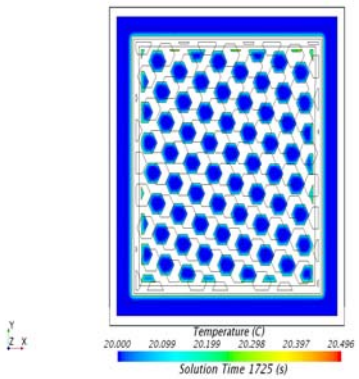


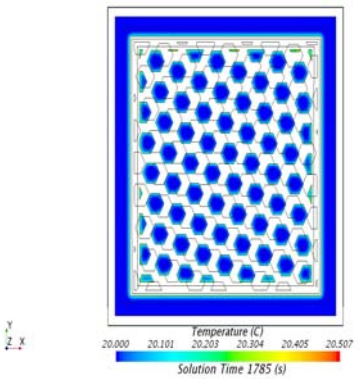

Temperature (C)
20.000 20.091 20.182 20.272 20.363 20.454
Solution Time 1485 (s)

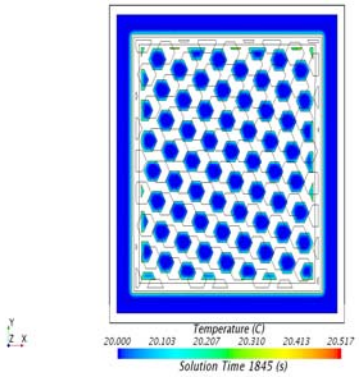

Temperature (C)
20.000 20.093 20.186 20.279 20.372 20.465
Solution Time 1545 (s)

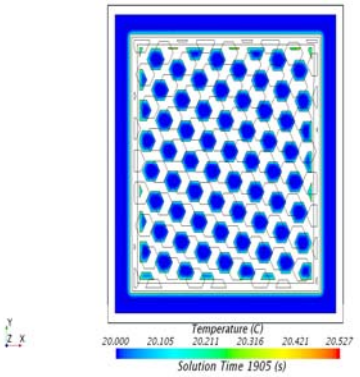

Temperature (C)
20.000 20.095 20.190 20.285 20.380 20.475
Solution Time 1605 (s)

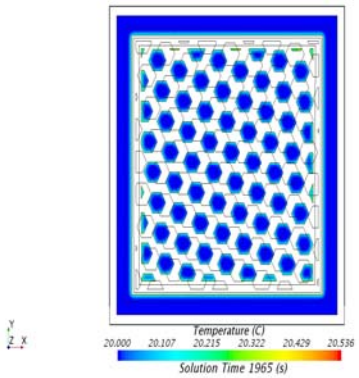

Temperature (C)
20.000 20.097 20.195 20.292 20.389 20.486
Solution Time 1665 (s)

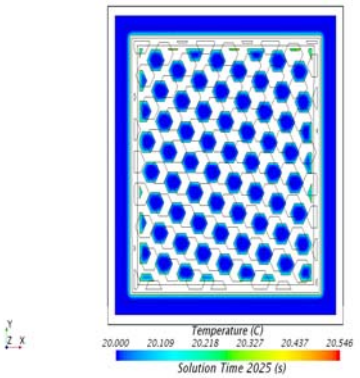

Temperature (C)
20.000 20.099 20.199 20.298 20.397 20.496
Solution Time 1725 (s)

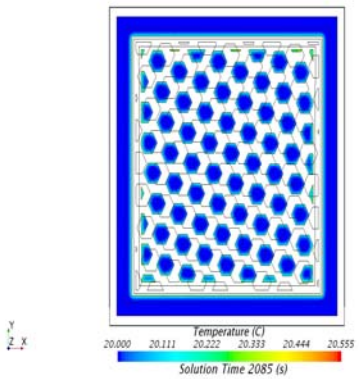

Temperature (C)
20.000 20.101 20.203 20.304 20.405 20.507
Solution Time 1785 (s)

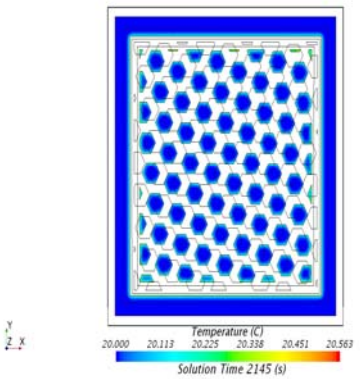

Temperature (C)
20.000 20.103 20.207 20.310 20.413 20.517
Solution Time 1845 (s)

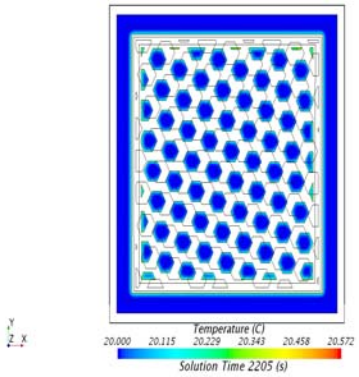

Temperature (C)
20.000 20.105 20.211 20.316 20.421 20.527
Solution Time 1905 (s)

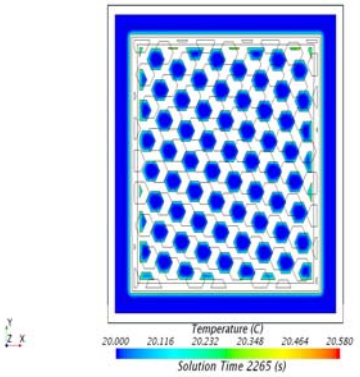

Temperature (C)
20.000 20.107 20.215 20.322 20.429 20.536
Solution Time 1965 (s)

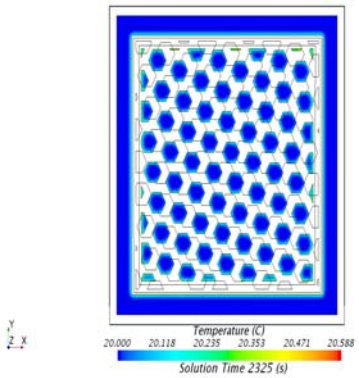

Temperature (C)
20.000 20.109 20.218 20.327 20.437 20.546
Solution Time 2025 (s)

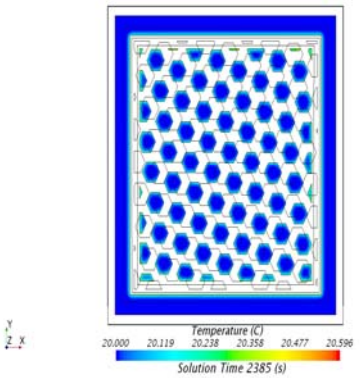

Temperature (C)
20.000 20.111 20.222 20.333 20.444 20.555
Solution Time 2085 (s)

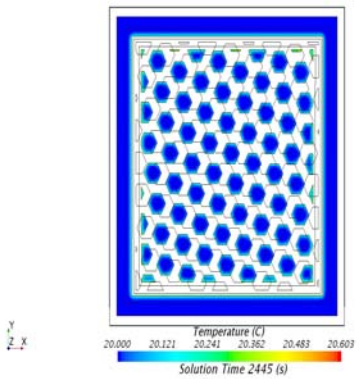

Temperature (C)
20.000 20.113 20.225 20.338 20.451 20.563
Solution Time 2145 (s)

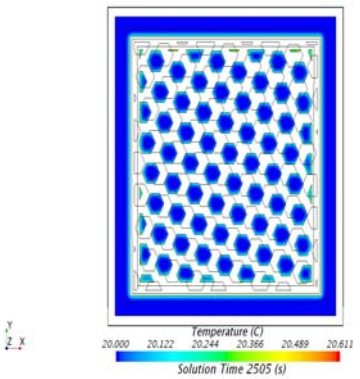

Temperature (C)
20.000 20.115 20.229 20.343 20.458 20.572
Solution Time 2205 (s)

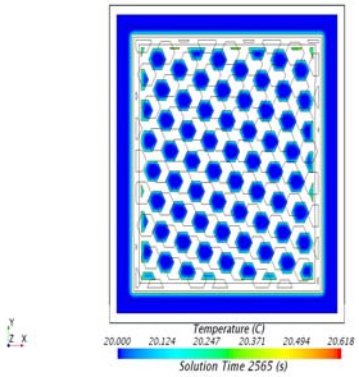

Temperature (C)
20.000 20.116 20.232 20.348 20.464 20.580
Solution Time 2265 (s)

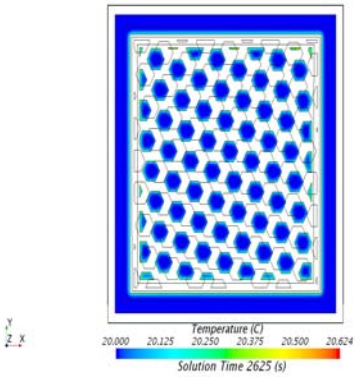

Temperature (C)
20.000 20.118 20.235 20.353 20.471 20.588
Solution Time 2325 (s)

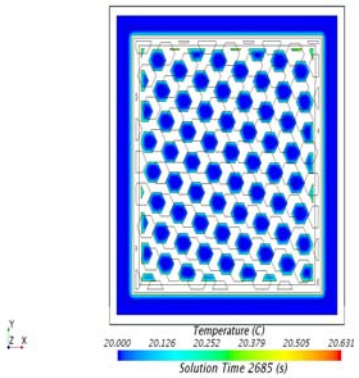

Temperature (C)
20.000 20.119 20.238 20.358 20.477 20.596
Solution Time 2385 (s)

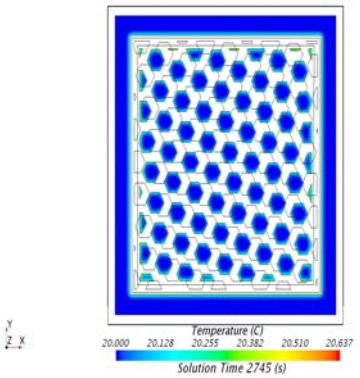

Temperature (C)
20.000 20.121 20.241 20.362 20.483 20.603
Solution Time 2445 (s)

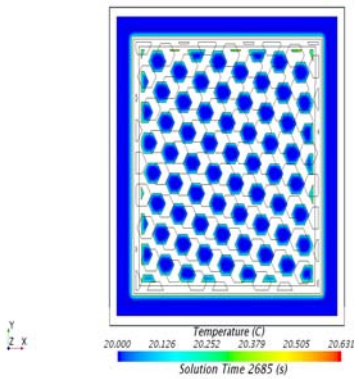

Temperature (C)
20.000 20.122 20.244 20.366 20.489 20.611
Solution Time 2505 (s)

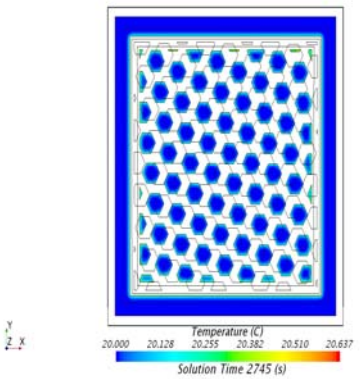

Temperature (C)
20.000 20.124 20.247 20.371 20.494 20.618
Solution Time 2565 (s)

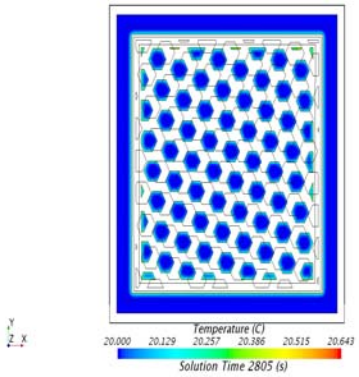

Temperature (C)
20.000 20.125 20.250 20.375 20.500 20.624
Solution Time 2625 (s)

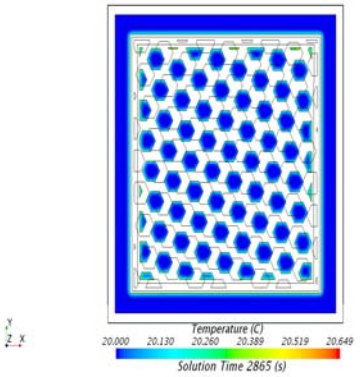

Temperature (C)
20.000 20.126 20.252 20.379 20.505 20.631
Solution Time 2685 (s)

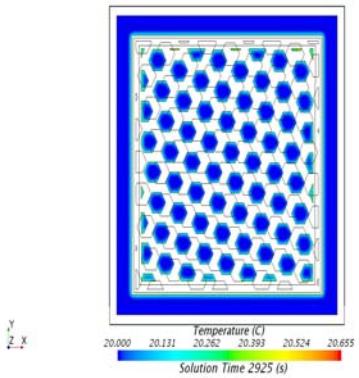

Temperature (C)
20.000 20.128 20.255 20.382 20.510 20.637
Solution Time 2745 (s)

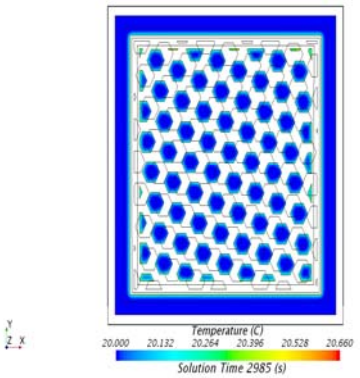

Temperature (C)
20.000 20.126 20.252 20.379 20.505 20.631
Solution Time 2685 (s)

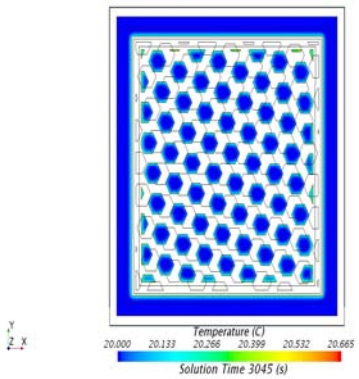

Temperature (C)
20.000 20.128 20.255 20.382 20.510 20.637
Solution Time 2745 (s)

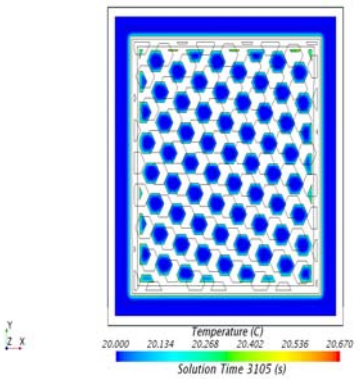

Temperature (C)
20.000 20.129 20.257 20.386 20.515 20.643
Solution Time 2805 (s)

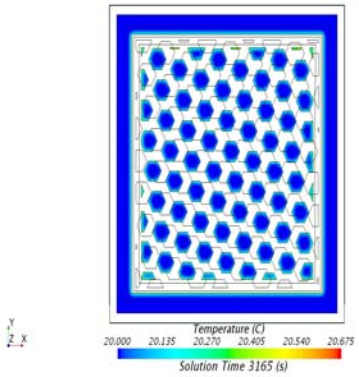

Temperature (C)
20.000 20.130 20.260 20.389 20.519 20.649
Solution Time 2865 (s)

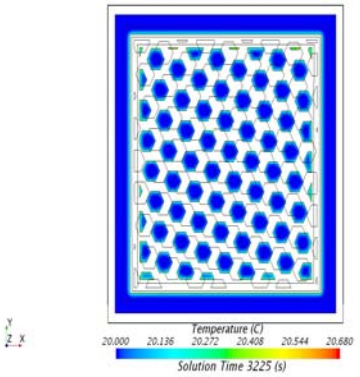

Temperature (C)
20.000 20.131 20.262 20.393 20.524 20.655
Solution Time 2925 (s)

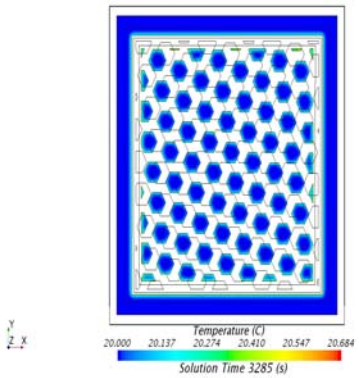

Temperature (C)
20.000 20.132 20.264 20.396 20.528 20.660
Solution Time 2985 (s)

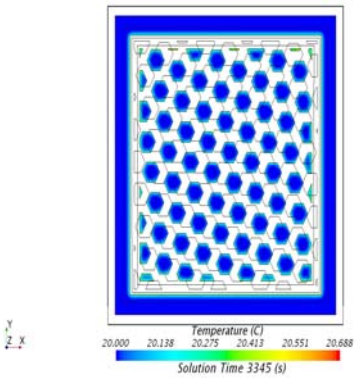

Temperature (C)
20.000 20.133 20.266 20.399 20.532 20.665
Solution Time 3045 (s)

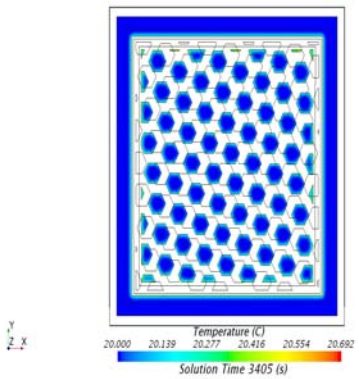

Temperature (C)
20.000 20.134 20.268 20.402 20.536 20.670
Solution Time 3105 (s)

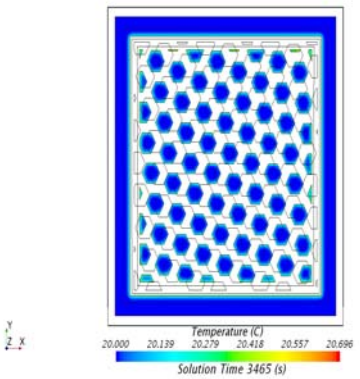

Temperature (C)
20.000 20.135 20.270 20.405 20.540 20.675
Solution Time 3165 (s)

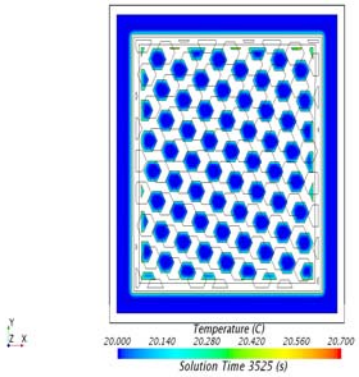

Temperature (C)
20.000 20.136 20.272 20.408 20.544 20.680
Solution Time 3225 (s)

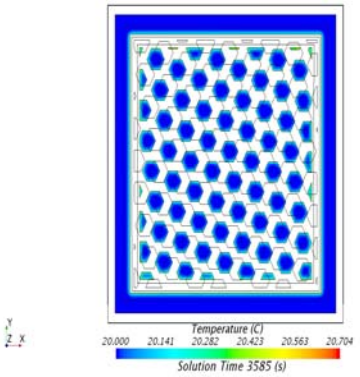

Temperature (C)
20.000 20.137 20.274 20.410 20.547 20.684
Solution Time 3285 (s)

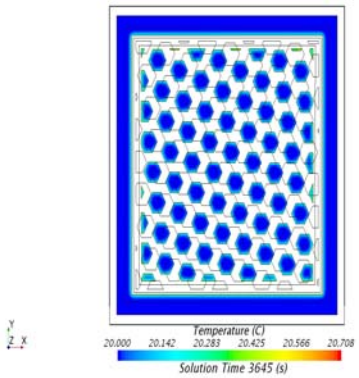

Temperature (C)
20.000 20.138 20.275 20.413 20.551 20.688
Solution Time 3345 (s)

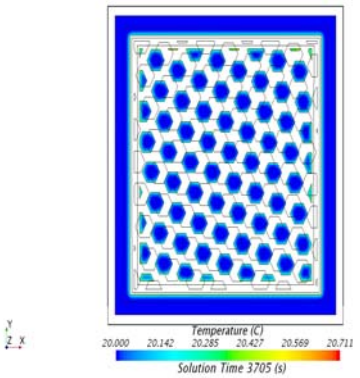

Temperature (C)
20.000 20.139 20.277 20.416 20.554 20.692
Solution Time 3405 (s)

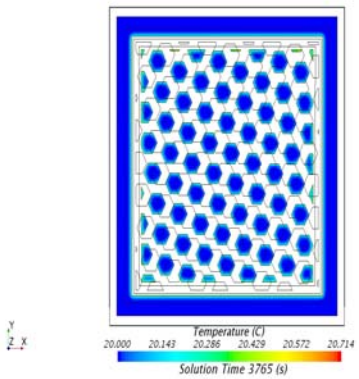

Temperature (C)
20.000 20.139 20.279 20.418 20.557 20.696
Solution Time 3465 (s)

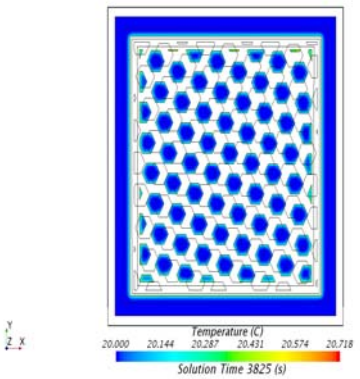

Temperature (C)
20.000 20.140 20.280 20.420 20.560 20.700
Solution Time 3525 (s)

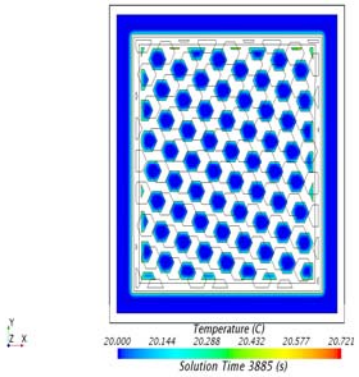

Temperature (C)
20.000 20.141 20.282 20.423 20.563 20.704
Solution Time 3585 (s)

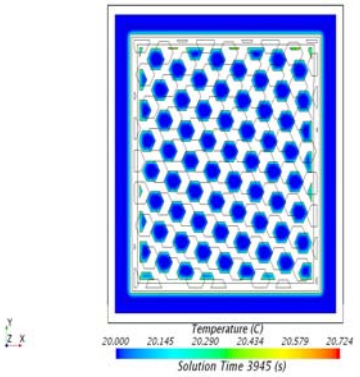

Temperature (C)
20.000 20.142 20.283 20.425 20.566 20.708
Solution Time 3645 (s)

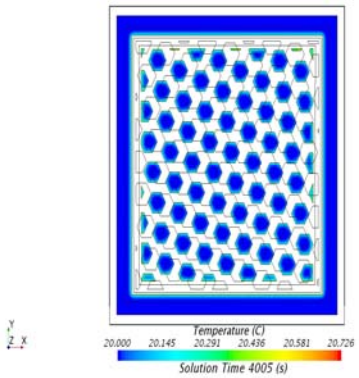

Temperature (C)
20.000 20.142 20.285 20.427 20.569 20.711
Solution Time 3705 (s)

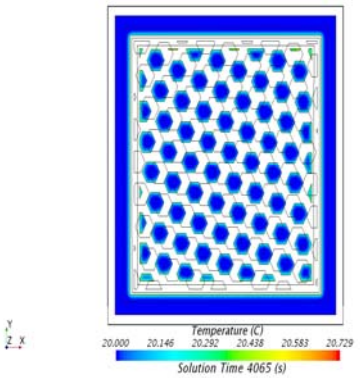

Temperature (C)
20.000 20.143 20.286 20.429 20.572 20.714
Solution Time 3765 (s)

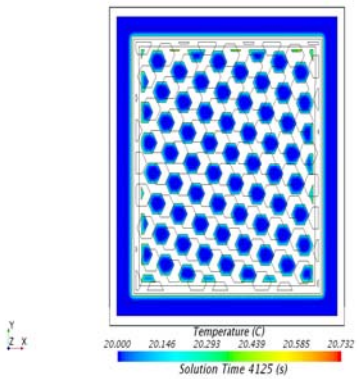

Temperature (C)
20.000 20.144 20.287 20.431 20.574 20.718
Solution Time 3825 (s)

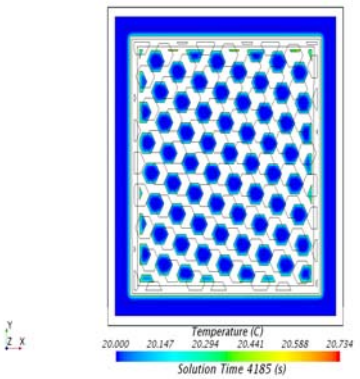

Temperature (C)
20.000 20.144 20.288 20.432 20.577 20.721
Solution Time 3885 (s)

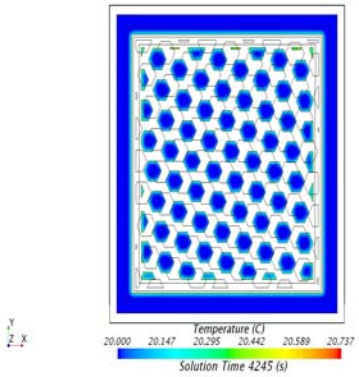

Temperature (C)
20.000 20.145 20.290 20.434 20.579 20.724
Solution Time 3945 (s)

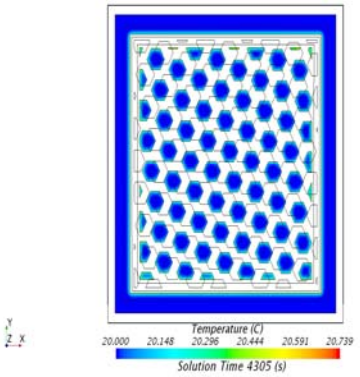

Temperature (C)
20.000 20.145 20.291 20.436 20.581 20.726
Solution Time 4005 (s)

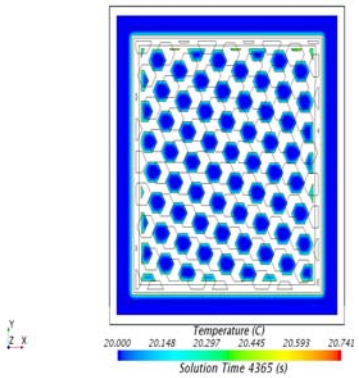

Temperature (C)
20.000 20.146 20.292 20.438 20.583 20.729
Solution Time 4065 (s)

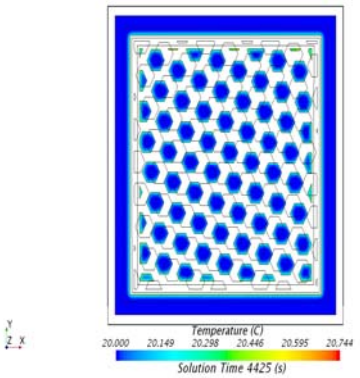

Temperature (C)
20.000 20.146 20.293 20.439 20.585 20.732
Solution Time 4125 (s)

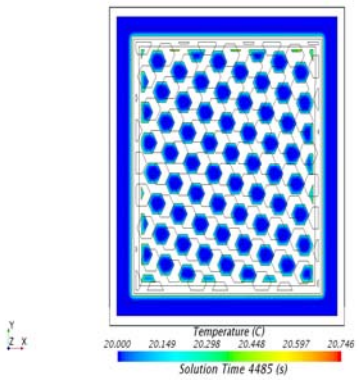

Temperature (C)
20.000 20.147 20.294 20.441 20.588 20.734
Solution Time 4185 (s)

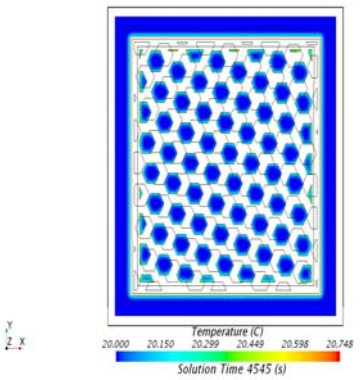

Temperature (C)
20.000 20.147 20.295 20.442 20.589 20.737
Solution Time 4245 (s)

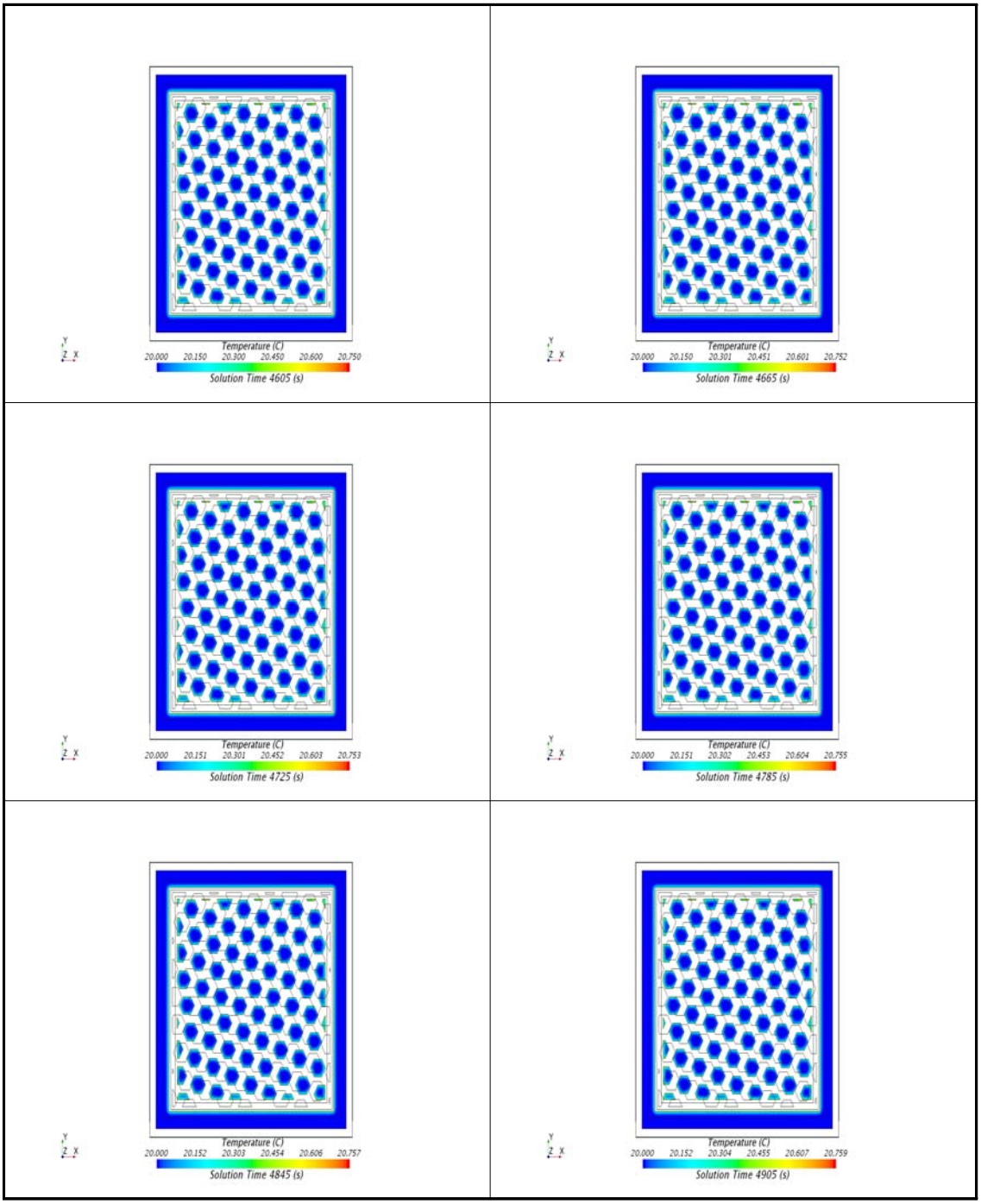

Temperature (C)
20.000 20.148 20.296 20.444 20.591 20.739
Solution Time 4305 (s)

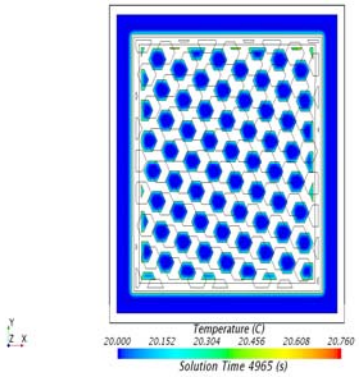

Temperature (C)
20.000 20.148 20.297 20.445 20.593 20.741
Solution Time 4365 (s)

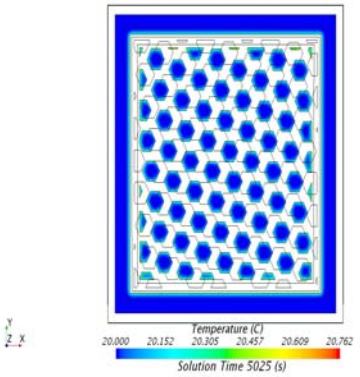

Temperature (C)
20.000 20.149 20.298 20.446 20.595 20.744
Solution Time 4425 (s)

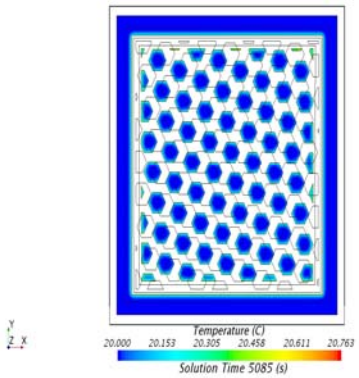

Temperature (C)
20.000 20.149 20.298 20.448 20.597 20.746
Solution Time 4485 (s)

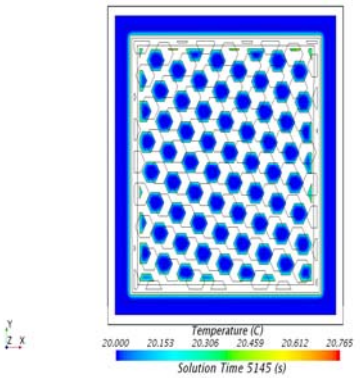

Temperature (C)
20.000 20.150 20.299 20.449 20.598 20.748
Solution Time 4545 (s)

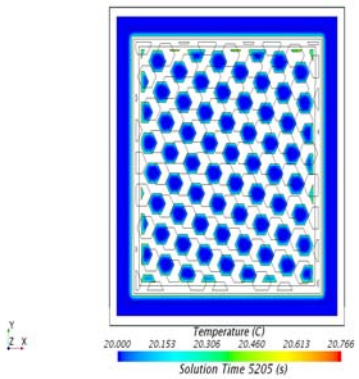

Temperature (C)
20.000 20.150 20.300 20.450 20.600 20.750
Solution Time 4605 (s)
Temperature (C)
20.000 20.150 20.301 20.451 20.601 20.752
Solution Time 4665 (s)
Temperature (C)
20.000 20.151 20.301 20.452 20.603 20.753
Solution Time 4725 (s)
Temperature (C)
20.000 20.151 20.302 20.453 20.604 20.755
Solution Time 4785 (s)
Temperature (C)
20.000 20.152 20.303 20.454 20.606 20.757
Solution Time 4845 (s)
Temperature (C)
20.000 20.152 20.304 20.455 20.607 20.759
Solution Time 4905 (s)

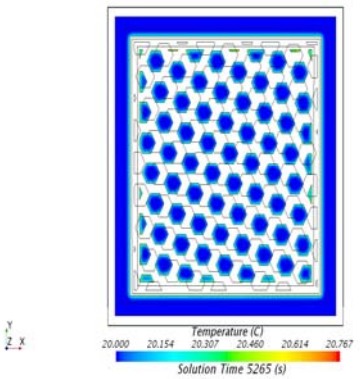

Temperature (C)
20.000 20.152 20.304 20.456 20.608 20.760
Solution Time 4965 (s)

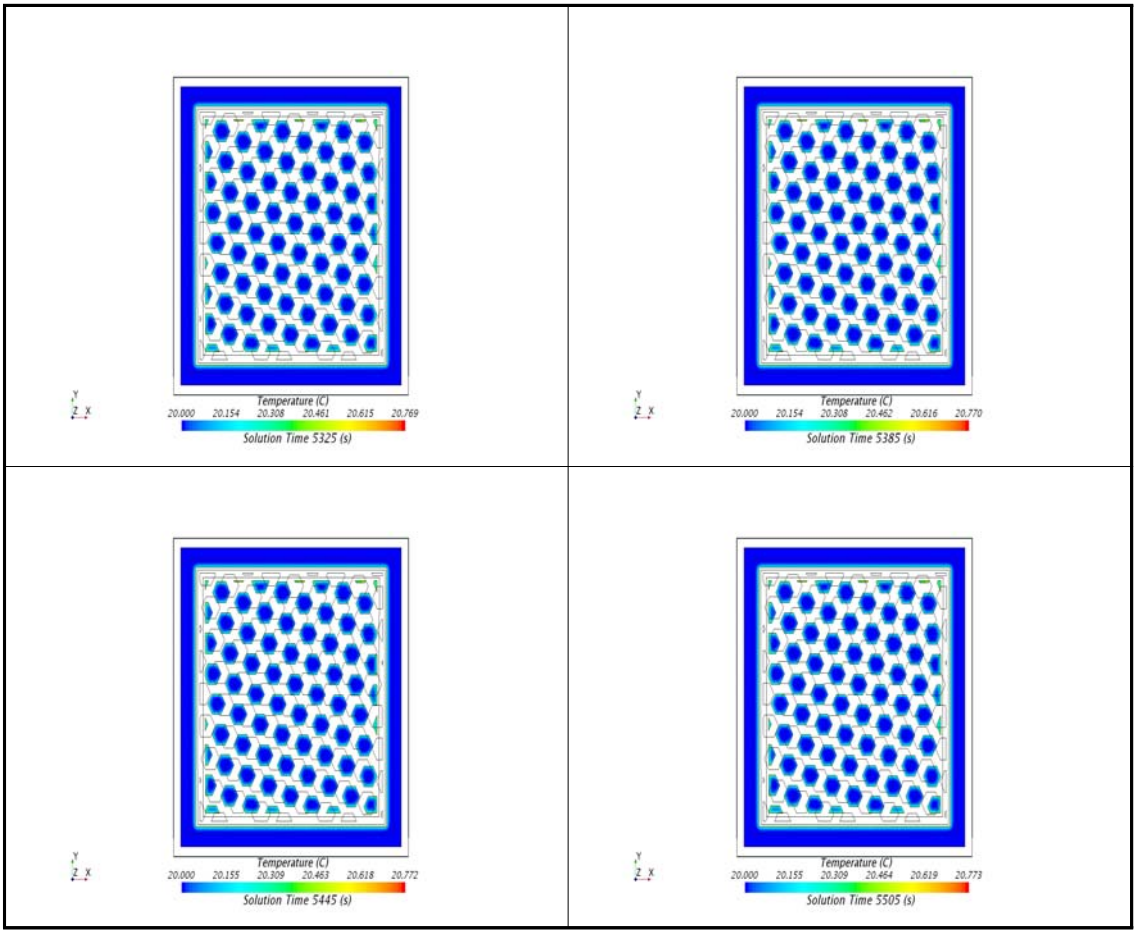

Temperature (C)
20.000 20.152 20.305 20.457 20.609 20.762
Solution Time 5025 (s)


Temperature (C)
20.000 20.153 20.305 20.458 20.611 20.763
Solution Time 5085 (s)

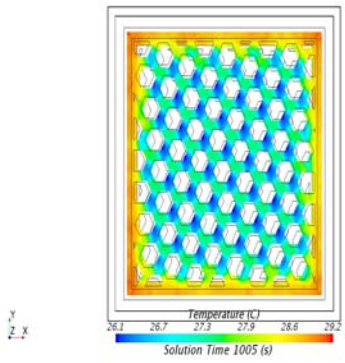

Temperature (C)
20.000 20.153 20.306 20.459 20.612 20.765
Solution Time 5145 (s)

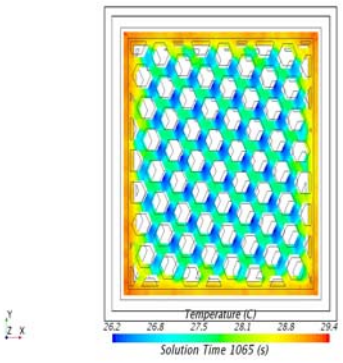

Temperature (C)
20.000 20.153 20.306 20.460 20.613 20.766
Solution Time 5205 (s)

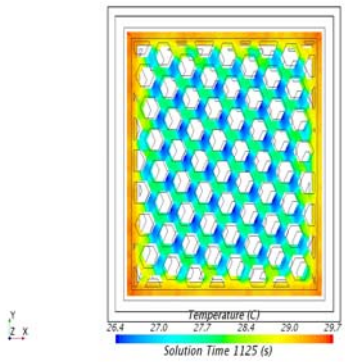

Temperature (C)
20.000 20.154 20.307 20.460 20.614 20.767
Solution Time 5265 (s)

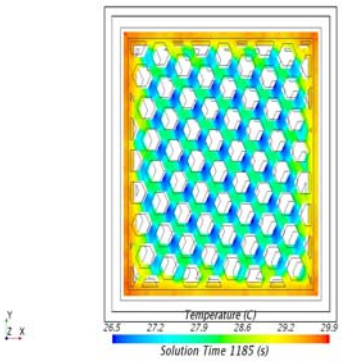

Temperature (C)
20.000 20.154 20.308 20.461 20.615 20.769
Solution Time 5325 (s)
Temperature (C)
20.000 20.154 20.308 20.462 20.616 20.770
Solution Time 5385 (s)
Temperature (C)
20.000 20.155 20.309 20.463 20.618 20.772
Solution Time 5445 (s)
Temperature (C)
20.000 20.155 20.309 20.464 20.619 20.773
Solution Time 5505 (s)

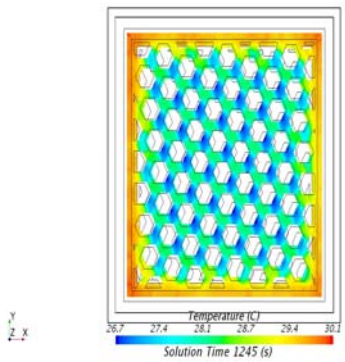
중앙부 온도 변화 (해석대상의 중앙 부분)

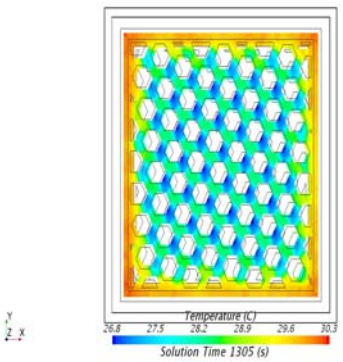


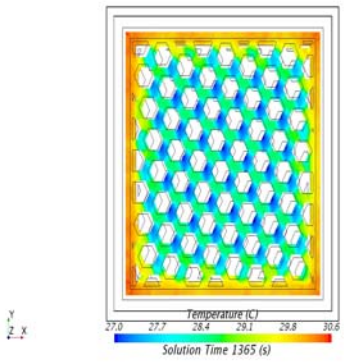


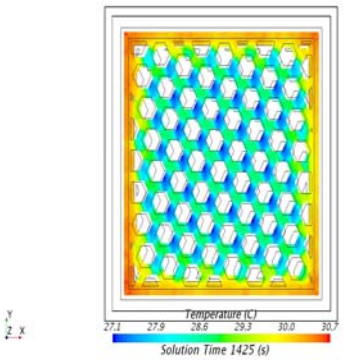


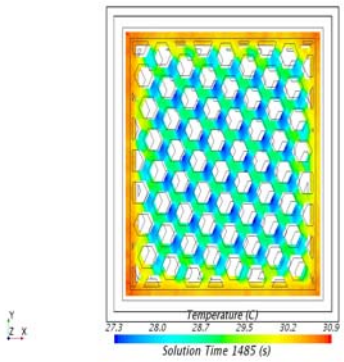


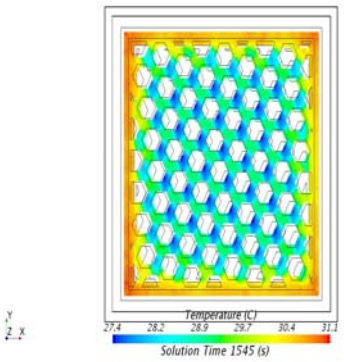


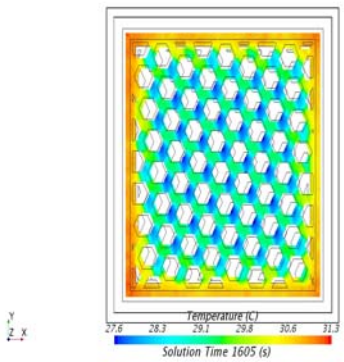


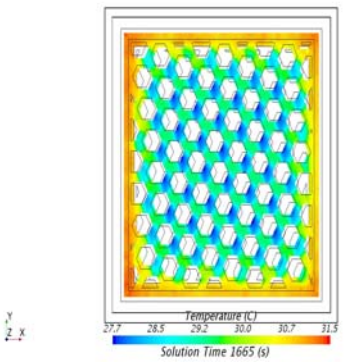

Temperature (C)
27.0 27.7 28.4 29.1 29.8 30.6
Solution Time 1365 (s)

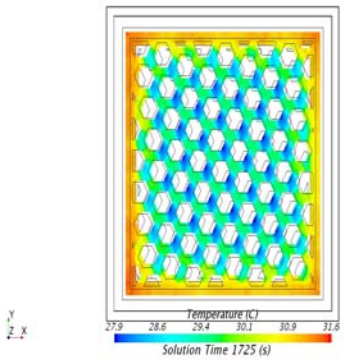

Temperature (C)
27.1 27.9 28.6 29.3 30.0 30.7
Solution Time 1425 (s)

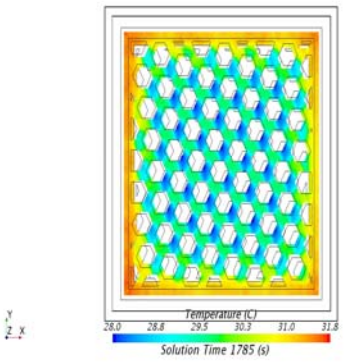

Temperature (C)
27.3 28.0 28.7 29.5 30.2 30.9
Solution Time 1485 (s)

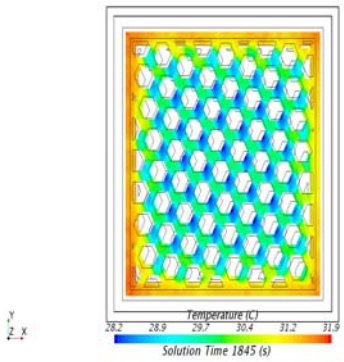

Temperature (C)
27.4 28.2 28.9 29.7 30.4 31.1
Solution Time 1545 (s)

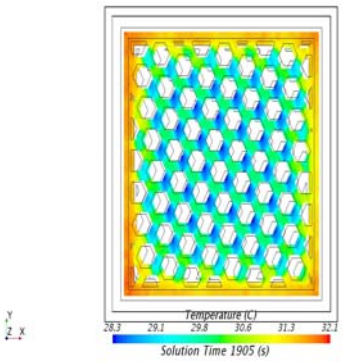

Temperature (C)
27.6 28.3 29.1 29.8 30.6 31.3
Solution Time 1605 (s)

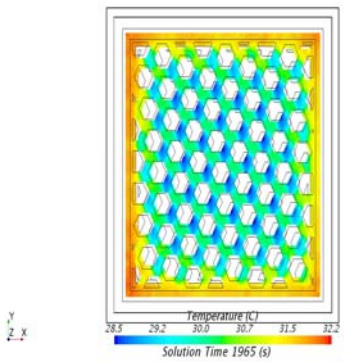

Temperature (C)
27.7 28.5 29.2 30.0 30.7 31.5
Solution Time 1665 (s)

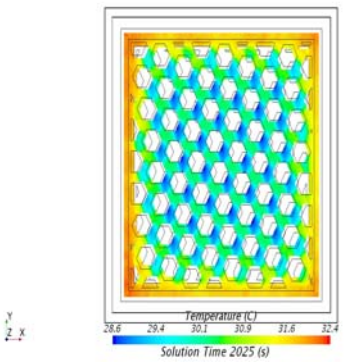

Temperature (C)
27.9 28.6 29.4 30.1 30.9 31.6
Solution Time 1725 (s)

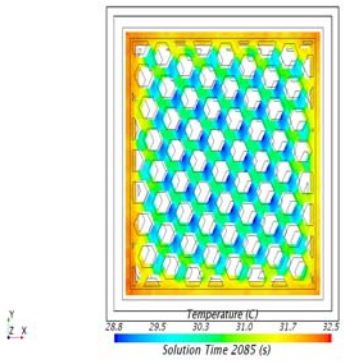

Temperature (C)
28.0 28.8 29.5 30.3 31.0 31.8
Solution Time 1785 (s)

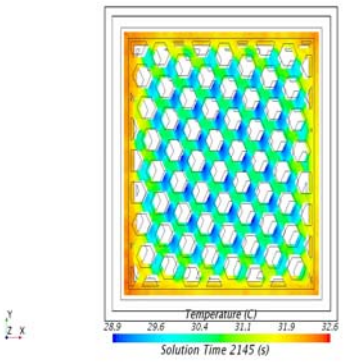

Temperature (C)
28.2 28.9 29.7 30.4 31.2 31.9
Solution Time 1845 (s)

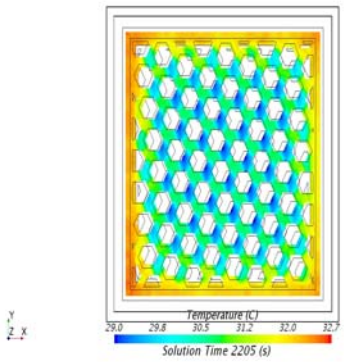

Temperature (C)
28.3 29.1 29.8 30.6 31.3 32.1
Solution Time 1905 (s)

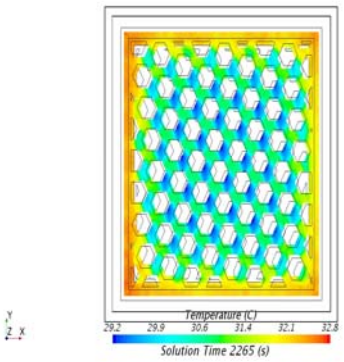

Temperature (C)
28.5 29.2 30.0 30.7 31.5 32.2
Solution Time 1965 (s)

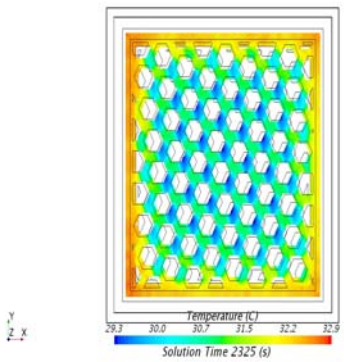

Temperature (C)
28.6 29.4 30.1 30.9 31.6 32.4
Solution Time 2025 (s)

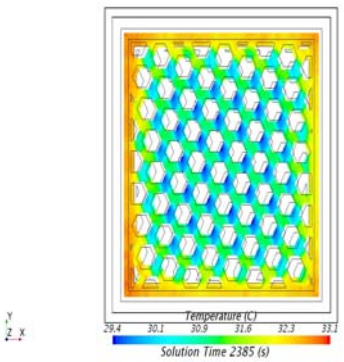

Temperature (C)
28.8 29.5 30.3 31.0 31.7 32.5
Solution Time 2085 (s)

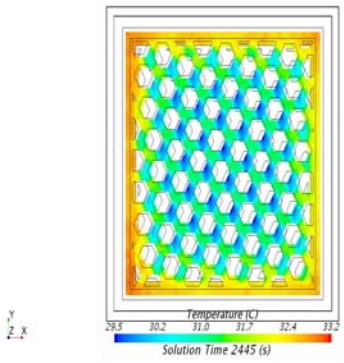

Temperature (C)
28.9 29.6 30.4 31.1 31.9 32.6
Solution Time 2145 (s)

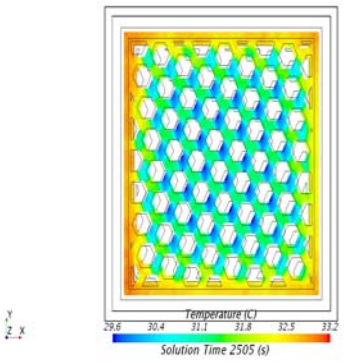

Temperature (C)
29.0 29.8 30.5 31.2 32.0 32.7
Solution Time 2205 (s)

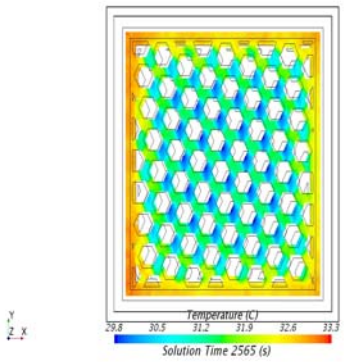

Temperature (C)
29.2 29.9 30.6 31.4 32.1 32.8
Solution Time 2265 (s)

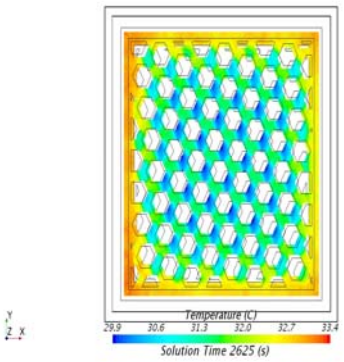

Temperature (C)
29.3 30.0 30.7 31.5 32.2 32.9
Solution Time 2325 (s)

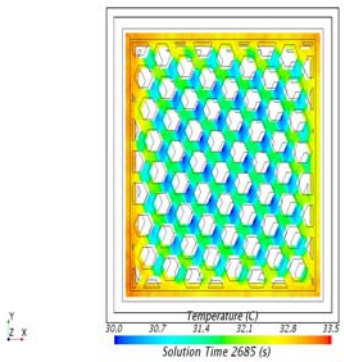

Temperature (C)
29.4 30.1 30.9 31.6 32.3 33.1
Solution Time 2385 (s)

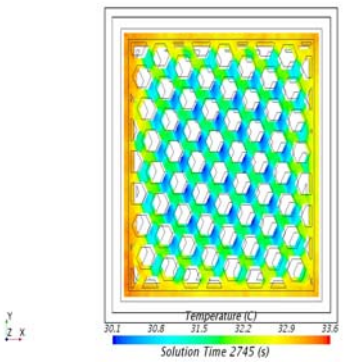

Temperature (C)
29.5 30.2 31.0 31.7 32.4 33.2
Solution Time 2445 (s)

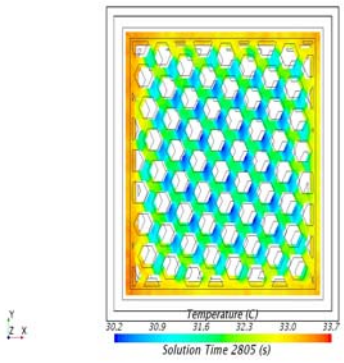

Temperature (C)
29.6 30.4 31.1 31.8 32.5 33.2
Solution Time 2505 (s)

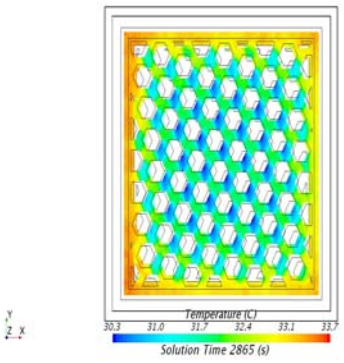

Temperature (C)
29.8 30.5 31.2 31.9 32.6 33.3
Solution Time 2565 (s)

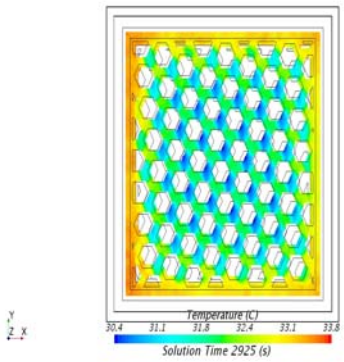

Temperature (C)
29.9 30.6 31.3 32.0 32.7 33.4
Solution Time 2625 (s)

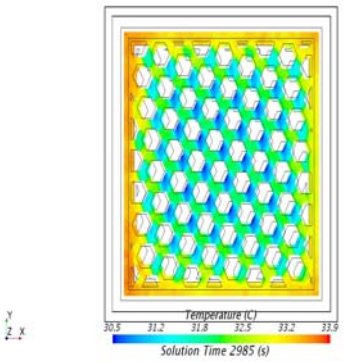

Temperature (C)
30.0 30.7 31.4 32.1 32.8 33.5
Solution Time 2685 (s)

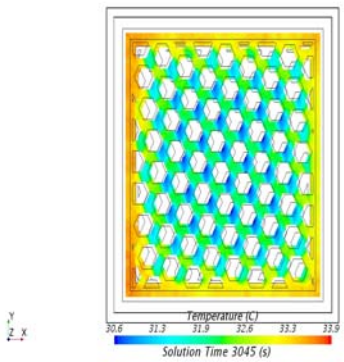

Temperature (C)
30.1 30.8 31.5 32.2 32.9 33.6
Solution Time 2745 (s)

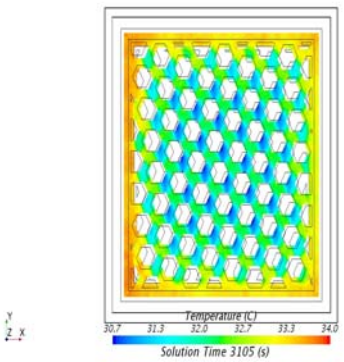

Temperature (C)
30.2 30.9 31.6 32.3 33.0 33.7
Solution Time 2805 (s)

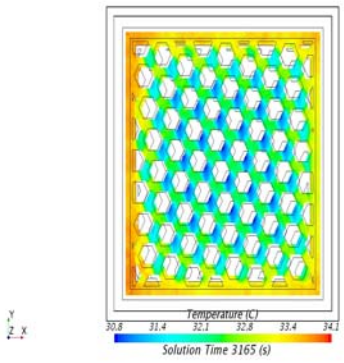

Temperature (C)
30.3 31.0 31.7 32.4 33.1 33.7
Solution Time 2865 (s)

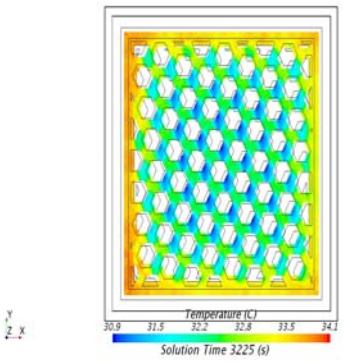

Temperature (C)
30.4 31.1 31.8 32.4 33.1 33.8
Solution Time 2925 (s)

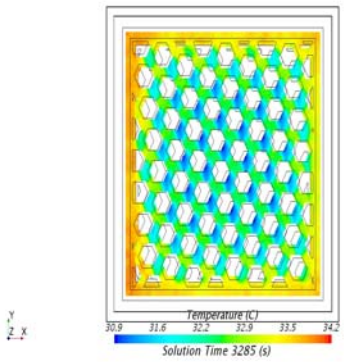

Temperature (C)
30.5 31.2 31.8 32.5 33.2 33.9
Solution Time 2985 (s)

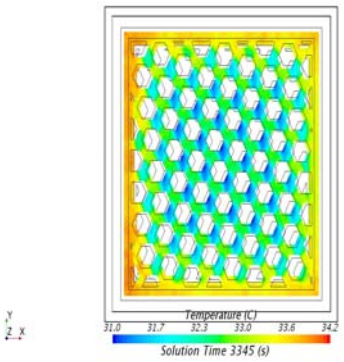

Temperature (C)
30.6 31.3 31.9 32.6 33.3 33.9
Solution Time 3045 (s)

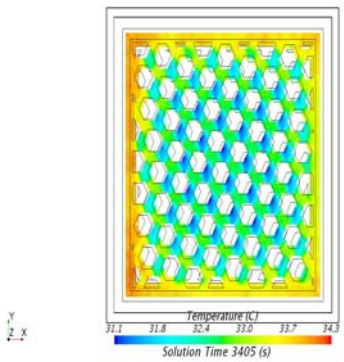

Temperature (C)
30.7 31.3 32.0 32.7 33.3 34.0
Solution Time 3105 (s)

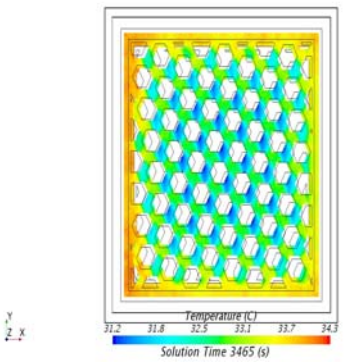

Temperature (C)
30.8 31.4 32.1 32.8 33.4 34.1
Solution Time 3165 (s)

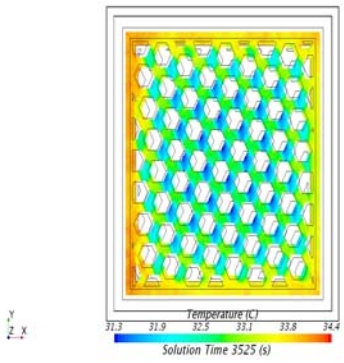

Temperature (C)
30.9 31.5 32.2 32.8 33.5 34.1
Solution Time 3225 (s)

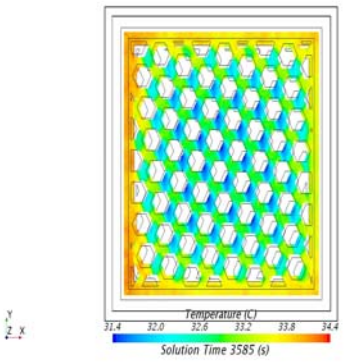

Temperature (C)
30.9 31.6 32.2 32.9 33.5 34.2
Solution Time 3285 (s)

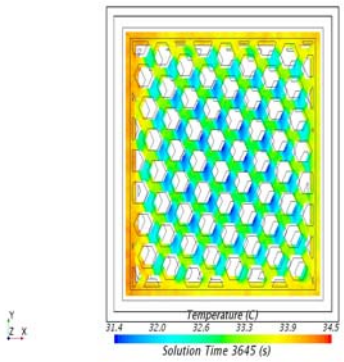

Temperature (C)
31.0 31.7 32.3 33.0 33.6 34.2
Solution Time 3345 (s)

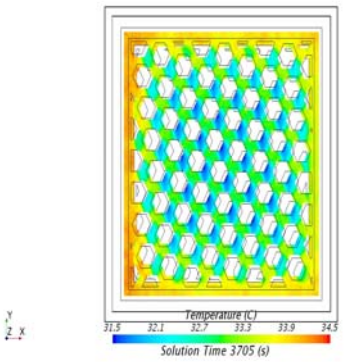

Temperature (C)
31.1 31.8 32.4 33.0 33.7 34.3
Solution Time 3405 (s)

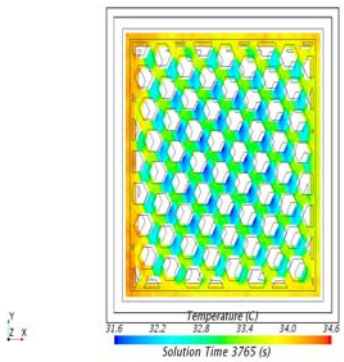

Temperature (C)
31.2 31.8 32.5 33.1 33.7 34.3
Solution Time 3465 (s)

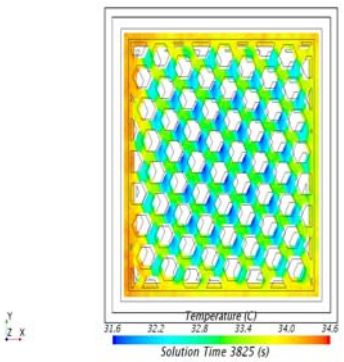

Temperature (C)
31.3 31.9 32.5 33.1 33.8 34.4
Solution Time 3525 (s)

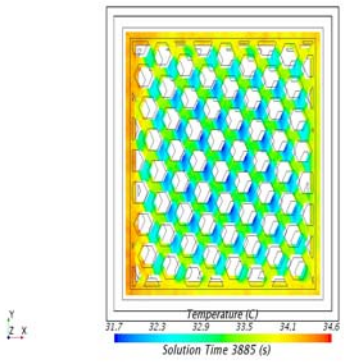

Temperature (C)
31.4 32.0 32.6 33.2 33.8 34.4
Solution Time 3585 (s)

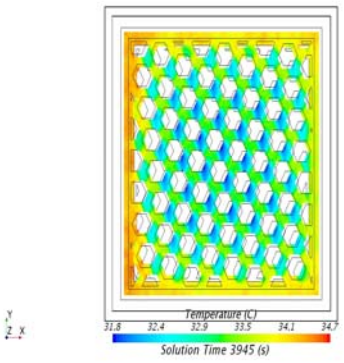

Temperature (C)
31.4 32.0 32.6 33.3 33.9 34.5
Solution Time 3645 (s)

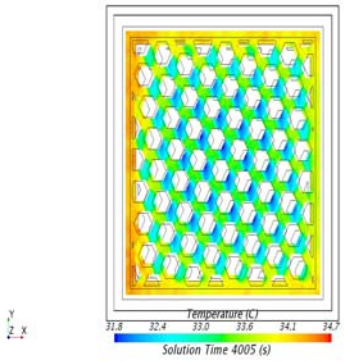

Temperature (C)
31.5 32.1 32.7 33.3 33.9 34.5
Solution Time 3705 (s)

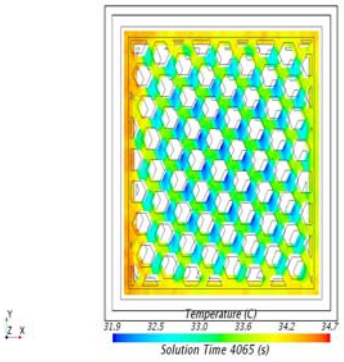

Temperature (C)
31.6 32.2 32.8 33.4 34.0 34.6
Solution Time 3765 (s)

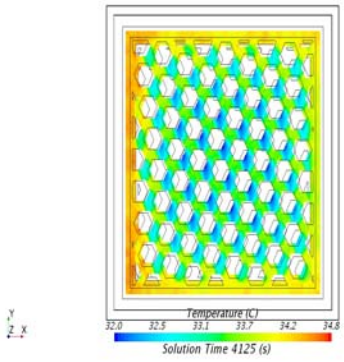

Temperature (C)
31.6 32.2 32.8 33.4 34.0 34.6
Solution Time 3825 (s)

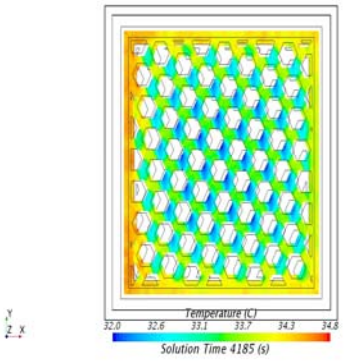

Temperature (C)
31.7 32.3 32.9 33.5 34.1 34.6
Solution Time 3885 (s)

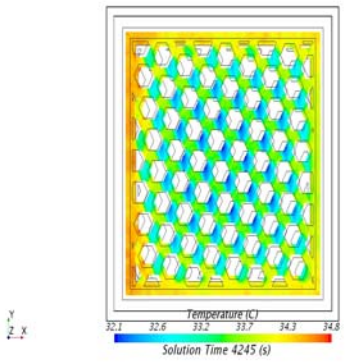

Temperature (C)
31.8 32.4 32.9 33.5 34.1 34.7
Solution Time 3945 (s)

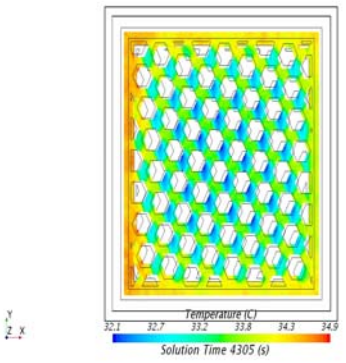

Temperature (C)
31.8 32.4 33.0 33.6 34.1 34.7
Solution Time 4005 (s)

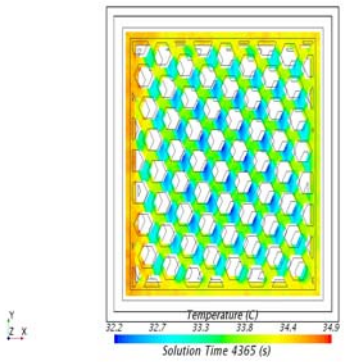

Temperature (C)
31.9 32.5 33.0 33.6 34.2 34.7
Solution Time 4065 (s)

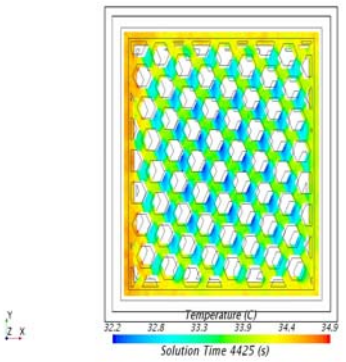

Temperature (C)
32.0 32.5 33.1 33.7 34.2 34.8
Solution Time 4125 (s)

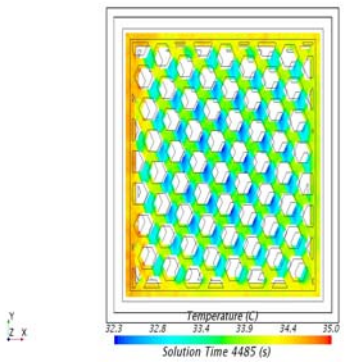

Temperature (C)
32.0 32.6 33.1 33.7 34.3 34.8
Solution Time 4185 (s)

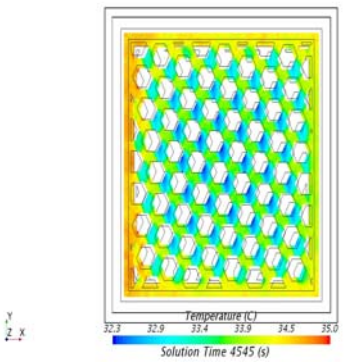

Temperature (C)
32.1 32.6 33.2 33.7 34.3 34.8
Solution Time 4245 (s)

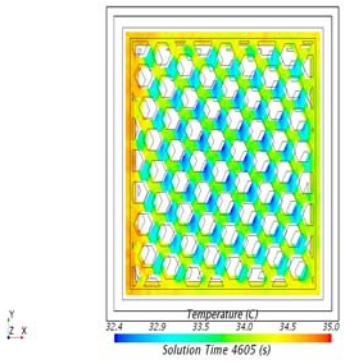

Temperature (C)
32.1 32.7 33.2 33.8 34.3 34.9
Solution Time 4305 (s)

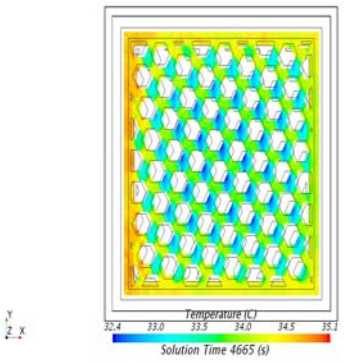

Temperature (C)
32.2 32.7 33.3 33.8 34.4 34.9
Solution Time 4365 (s)

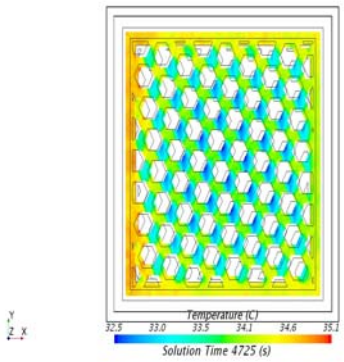

Temperature (C)
32.2 32.8 33.3 33.9 34.4 34.9
Solution Time 4425 (s)

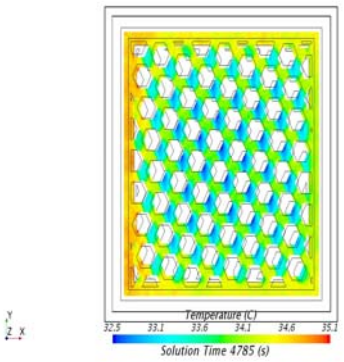

Temperature (C)
32.3 32.8 33.4 33.9 34.4 35.0
Solution Time 4485 (s)

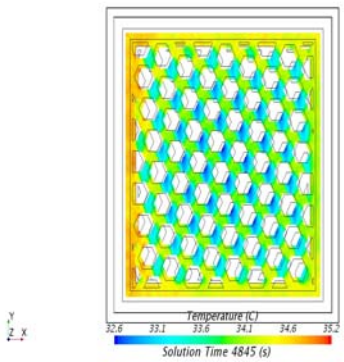

Temperature (C)
32.3 32.9 33.4 33.9 34.5 35.0
Solution Time 4545 (s)

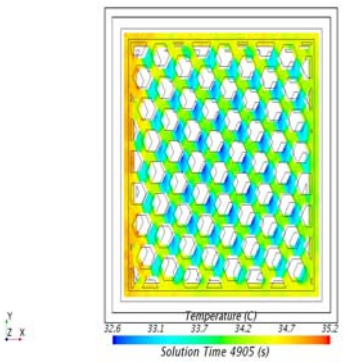

Temperature (C)
32.4 32.9 33.5 34.0 34.5 35.0
Solution Time 4605 (s)

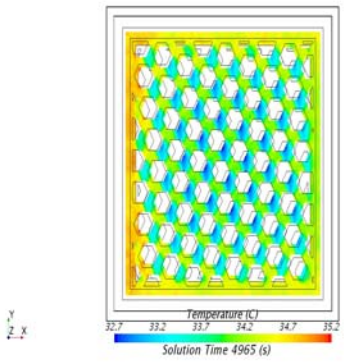

Temperature (C)
32.4 33.0 33.5 34.0 34.5 35.1
Solution Time 4665 (s)

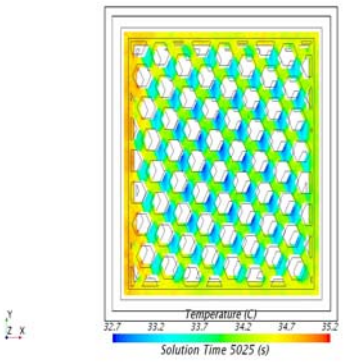

Temperature (C)
32.5 33.0 33.5 34.1 34.6 35.1
Solution Time 4725 (s)

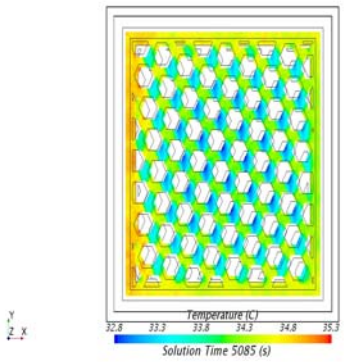

Temperature (C)
32.5 33.1 33.6 34.1 34.6 35.1
Solution Time 4785 (s)

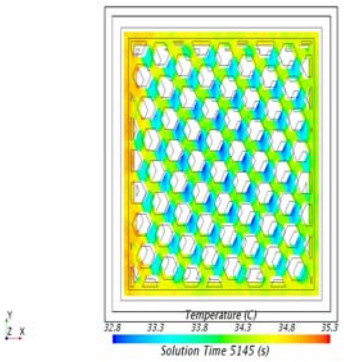

Temperature (C)
32.6 33.1 33.6 34.1 34.6 35.2
Solution Time 4845 (s)

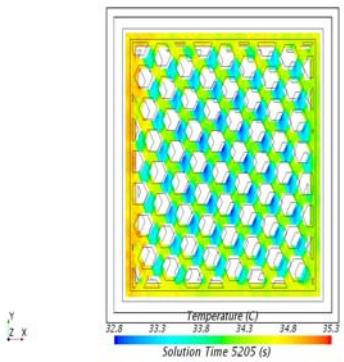

Temperature (C)
32.6 33.1 33.7 34.2 34.7 35.2
Solution Time 4905 (s)

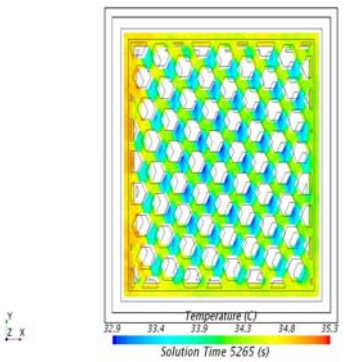

Temperature (C)
32.7 33.2 33.7 34.2 34.7 35.2
Solution Time 4965 (s)

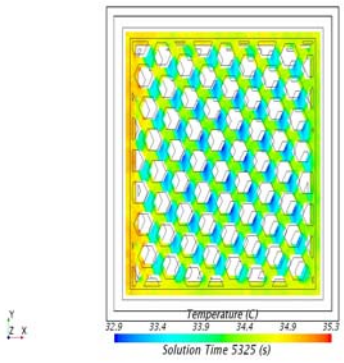

Temperature (C)
32.7 33.2 33.7 34.2 34.7 35.2
Solution Time 5025 (s)

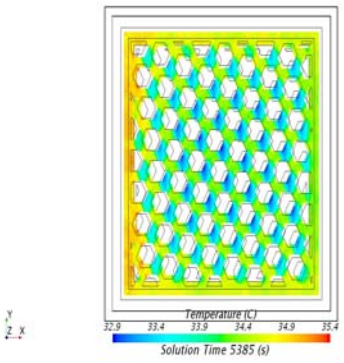

Temperature (C)
32.8 33.3 33.8 34.3 34.8 35.3
Solution Time 5085 (s)

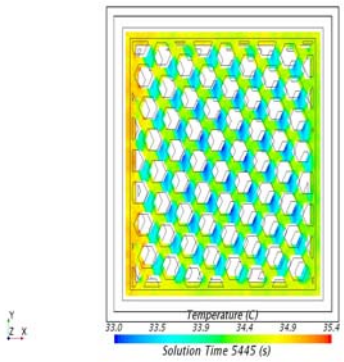

Temperature (C)
32.8 33.3 33.8 34.3 34.8 35.3
Solution Time 5145 (s)

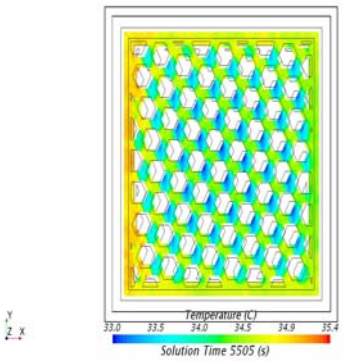

Temperature (C)
32.8 33.3 33.8 34.3 34.8 35.3
Solution Time 5205 (s)


Temperature (C)
32.9 33.4 33.9 34.3 34.8 35.3
Solution Time 5265 (s)

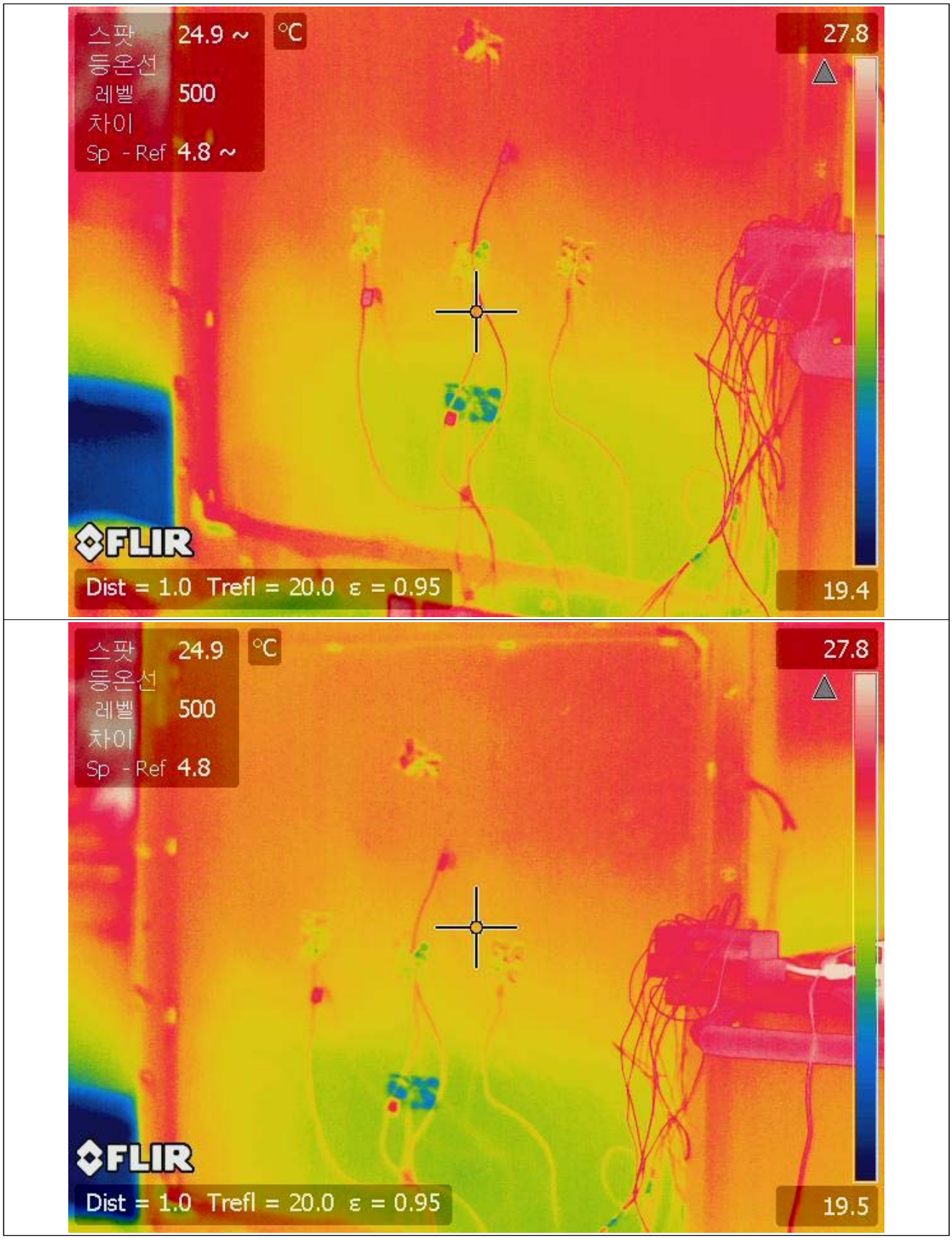

Temperature (C)
32.9 33.4 33.9 34.4 34.9 35.3
Solution Time 5325 (s)


Temperature (C)
32.9 33.4 33.9 34.4 34.9 35.4
Solution Time 5385 (s)


Temperature (C)
33.0 33.5 33.9 34.4 34.9 35.4
Solution Time 5445 (s)


Temperature (C)
33.0 33.5 34.0 34.5 34.9 35.4
Solution Time 5505 (s)

Mock up Test를 통한 열관류율 측정 결과 (적외선 카메라)

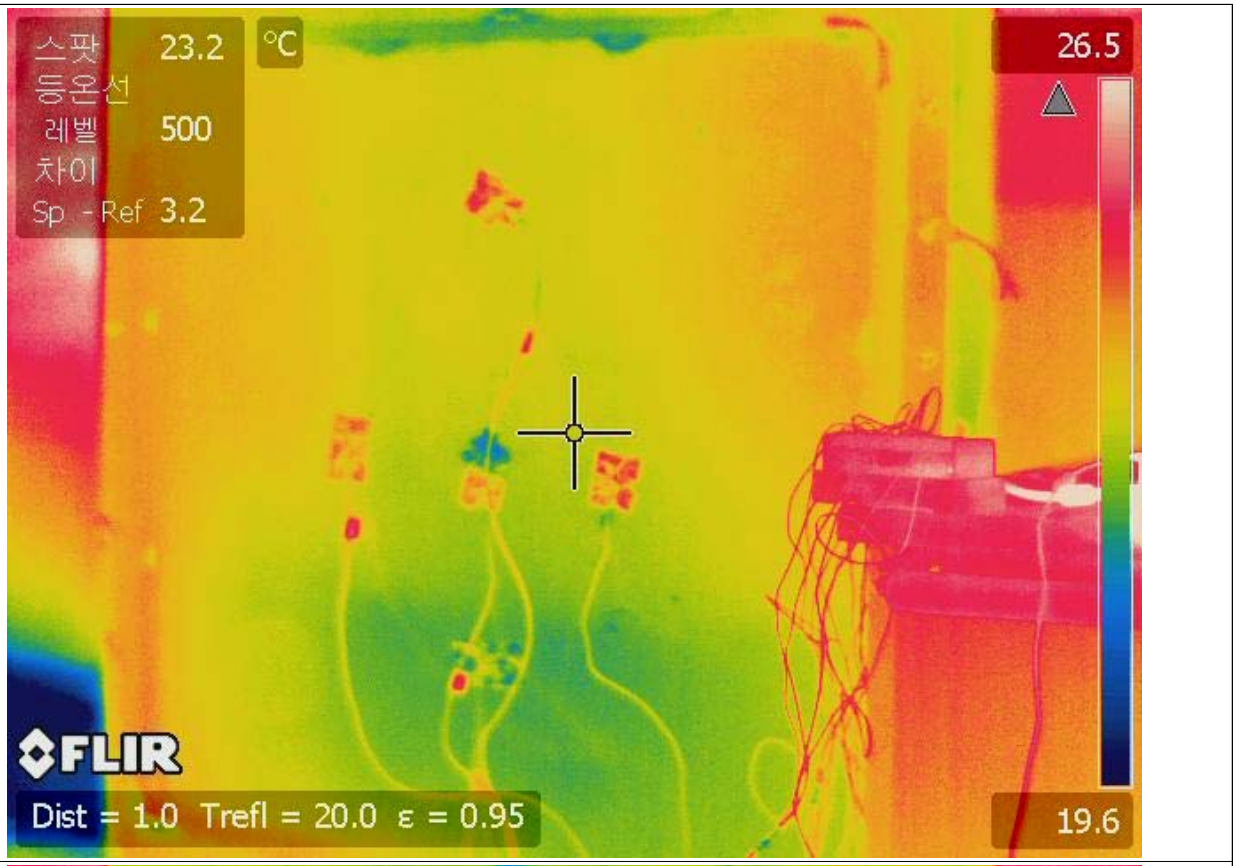


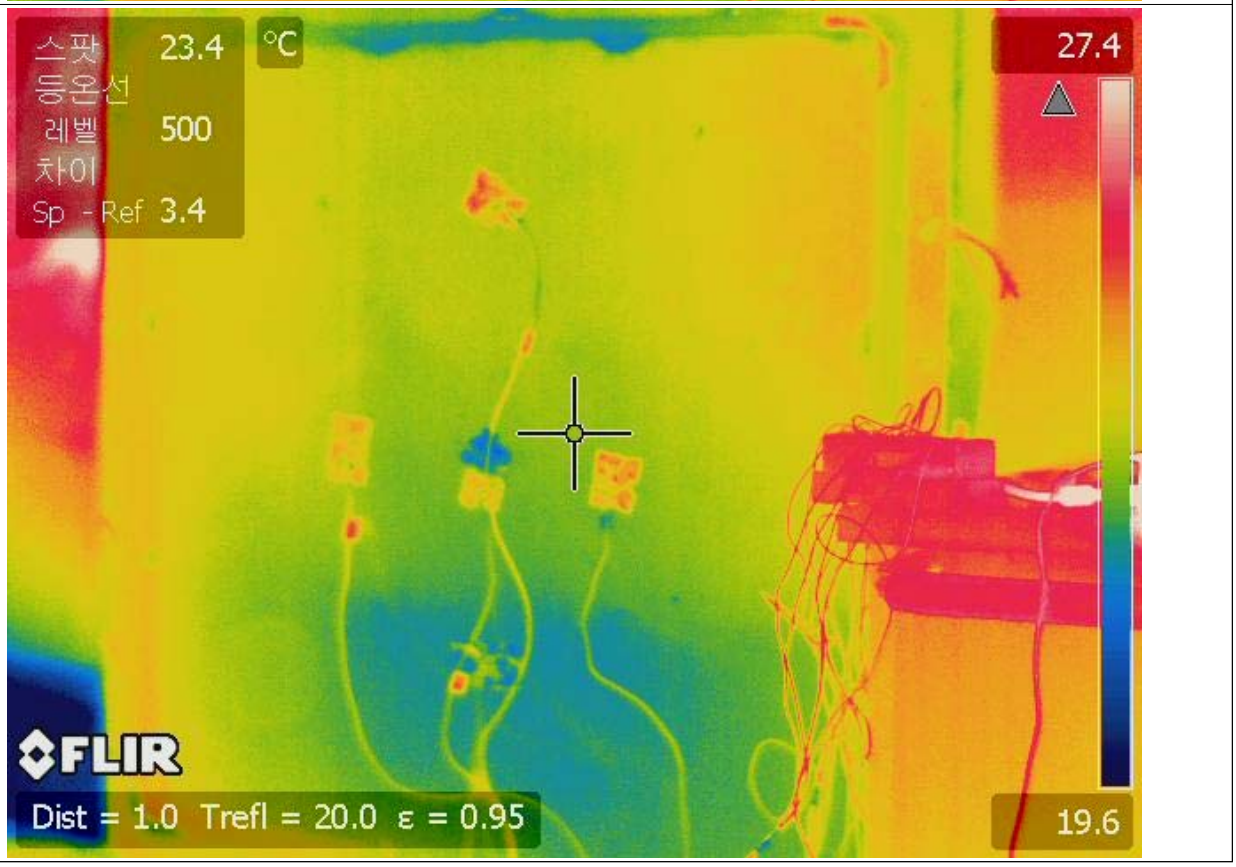

스팟 24.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.2
28.2
19.5
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 24.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.2
27.9
19.4
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 24.1 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.2
28.0
19.5
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

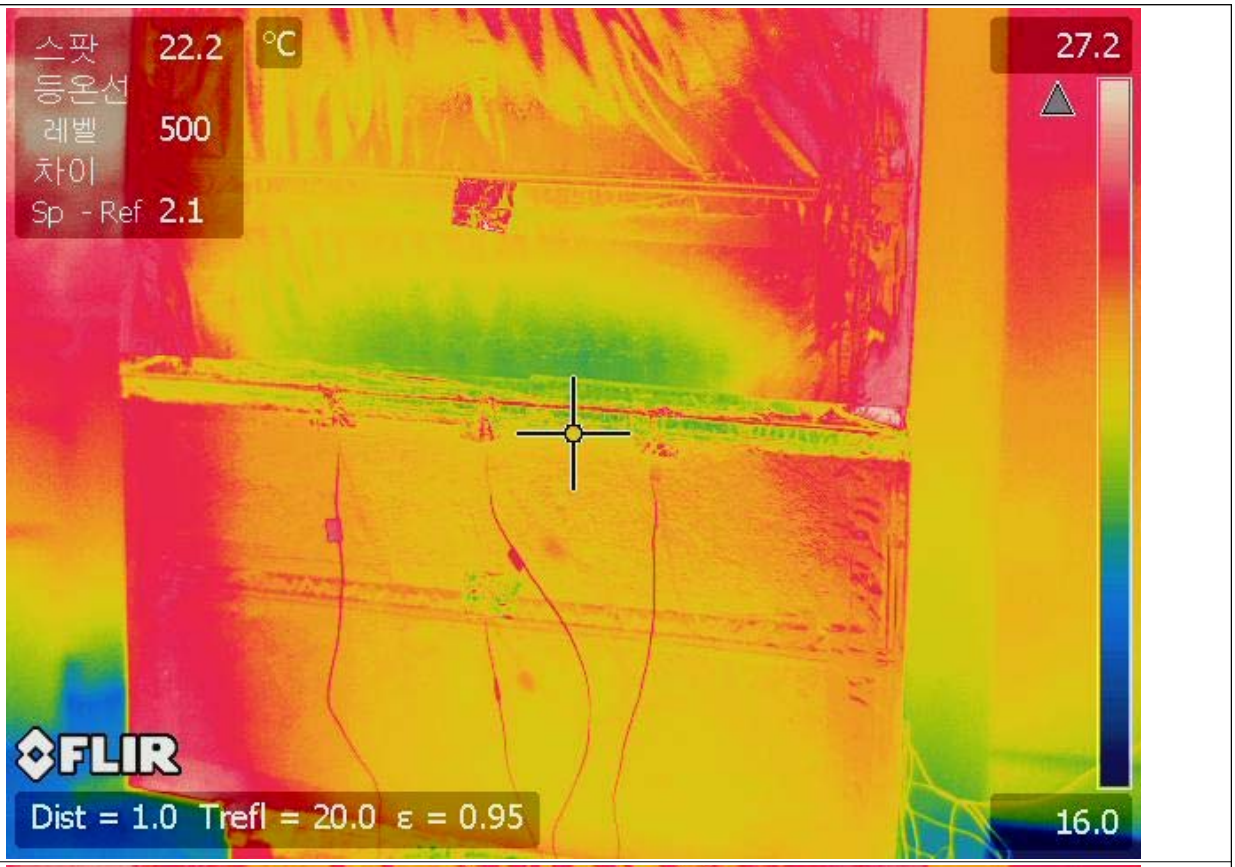

스팟 24.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.2
28.8
20.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

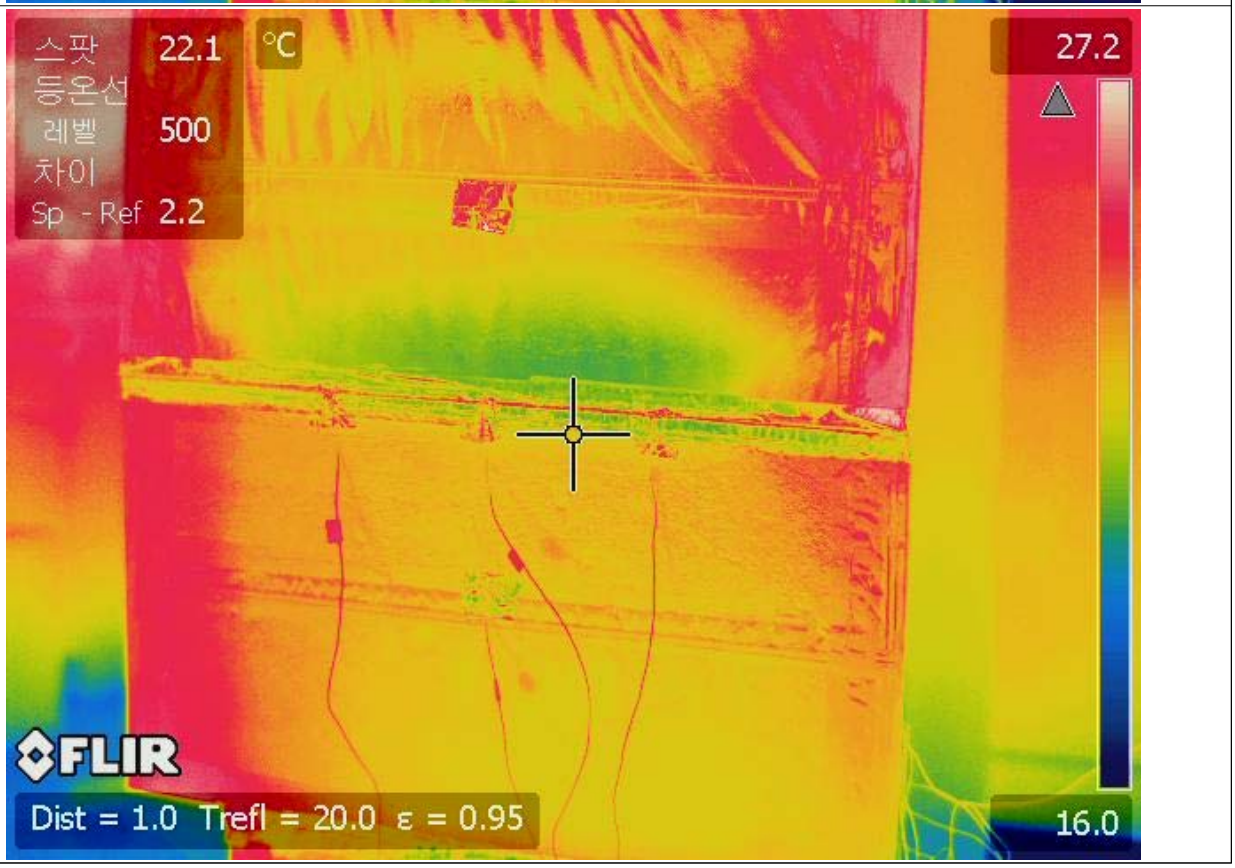

스팟 23.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 3.2
26.5
19.6
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

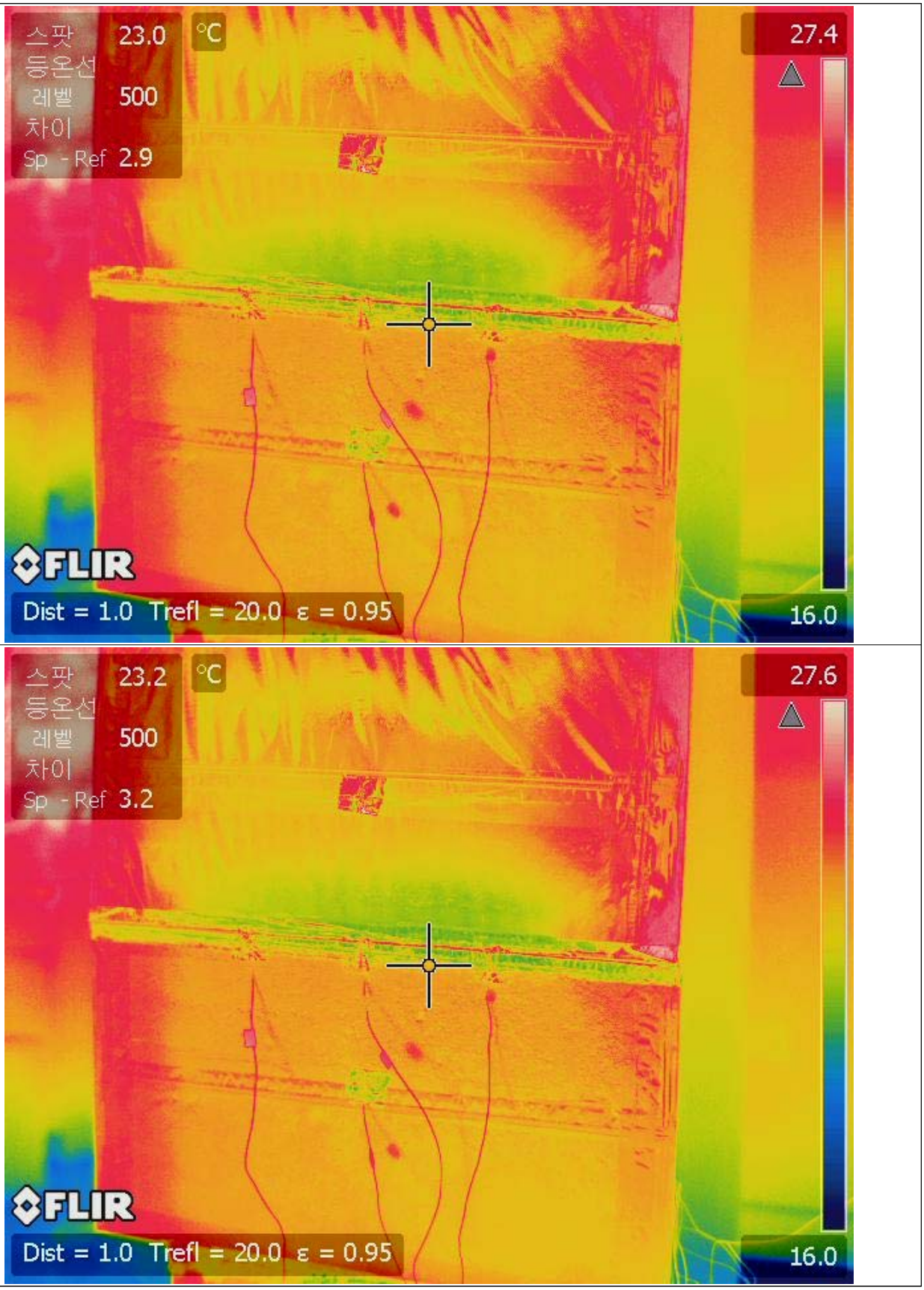

스팟 23.4 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 3.4
27.4
19.6
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

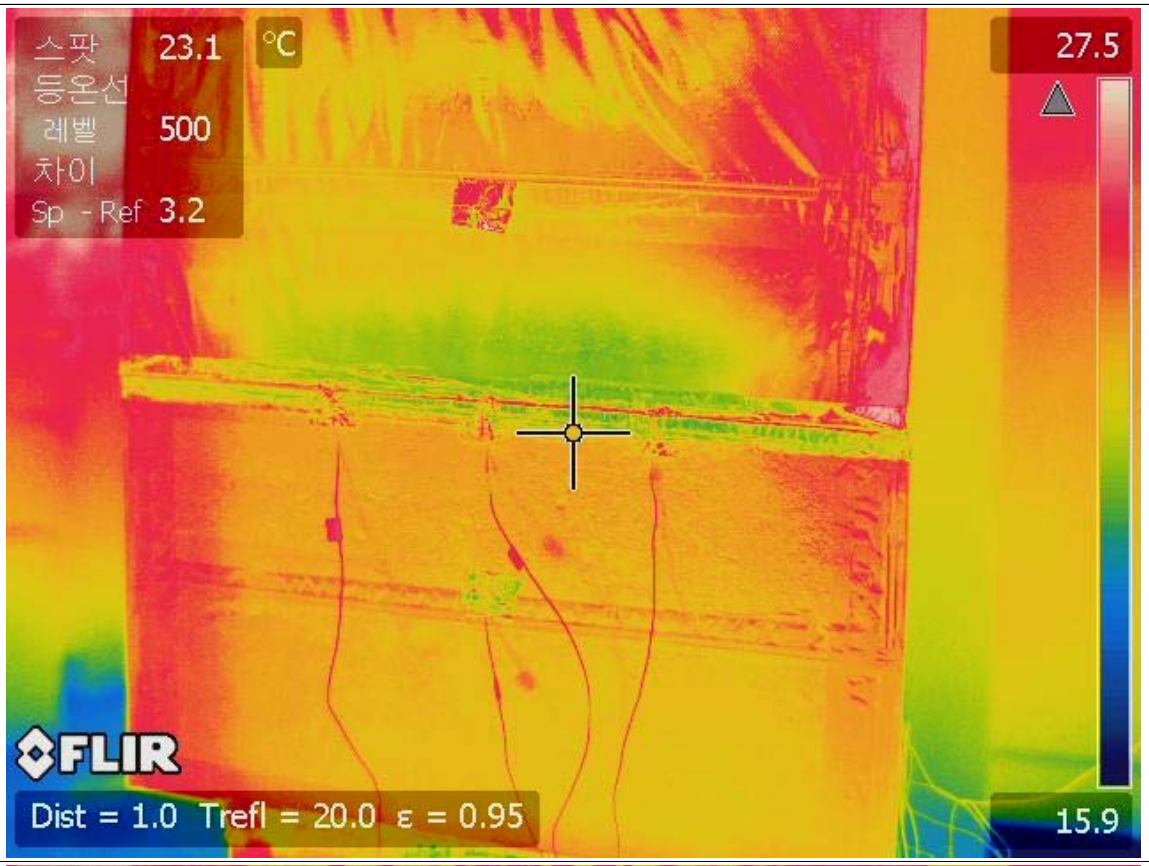

스팟 24.3 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.3
28.6
20.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

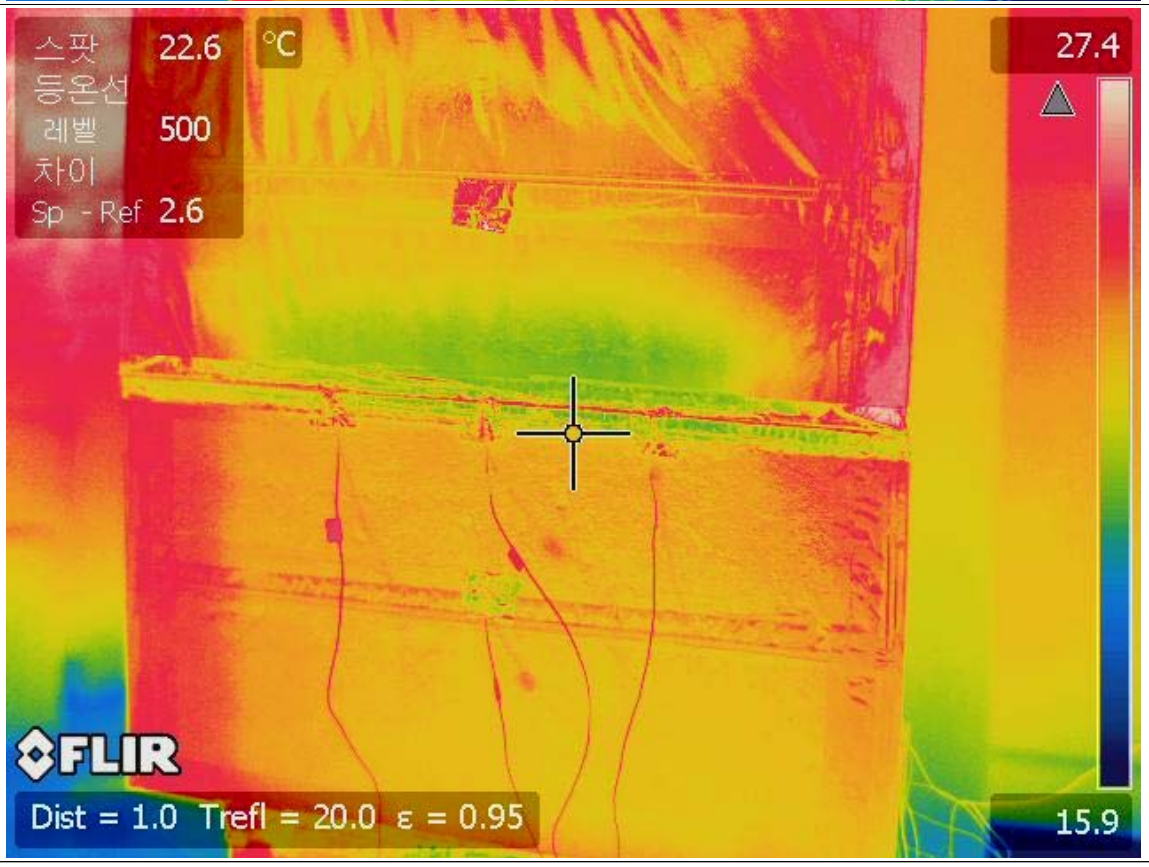

스팟 24.3 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 4.2
28.2
20.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

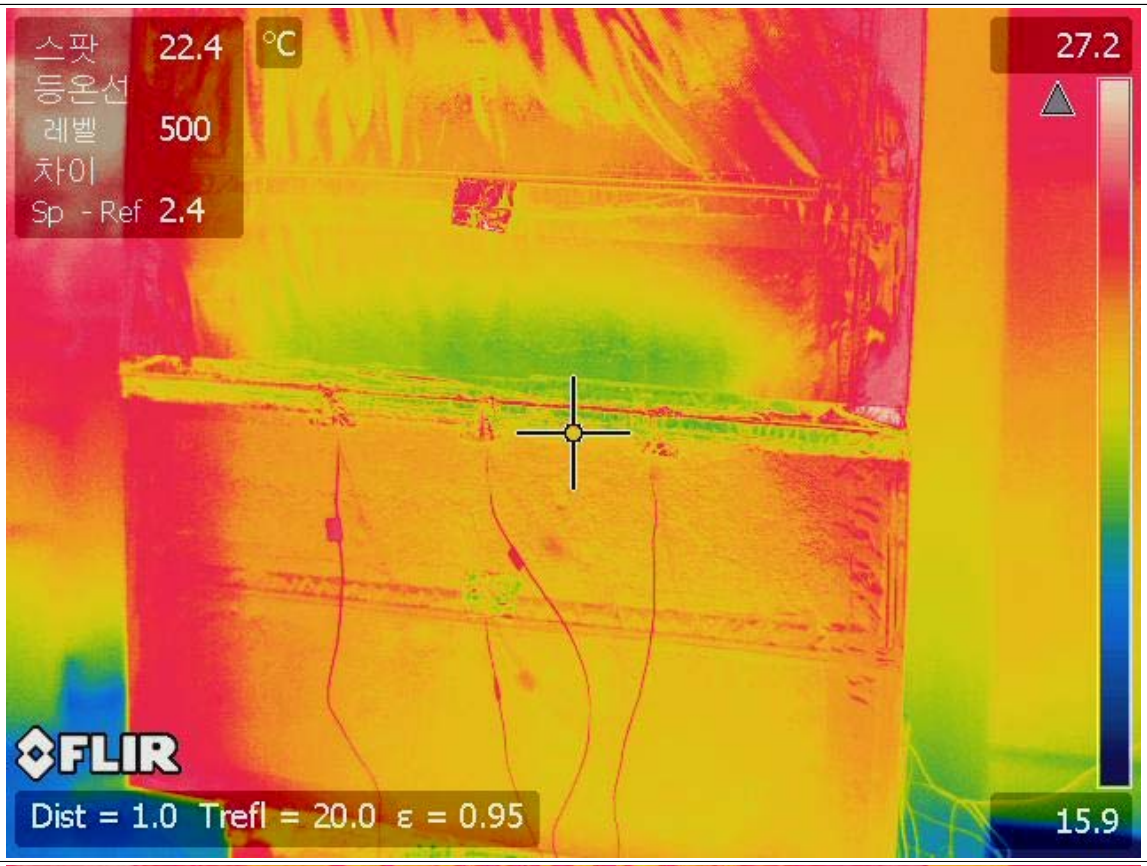

스팟 22.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.1
27.2
16.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

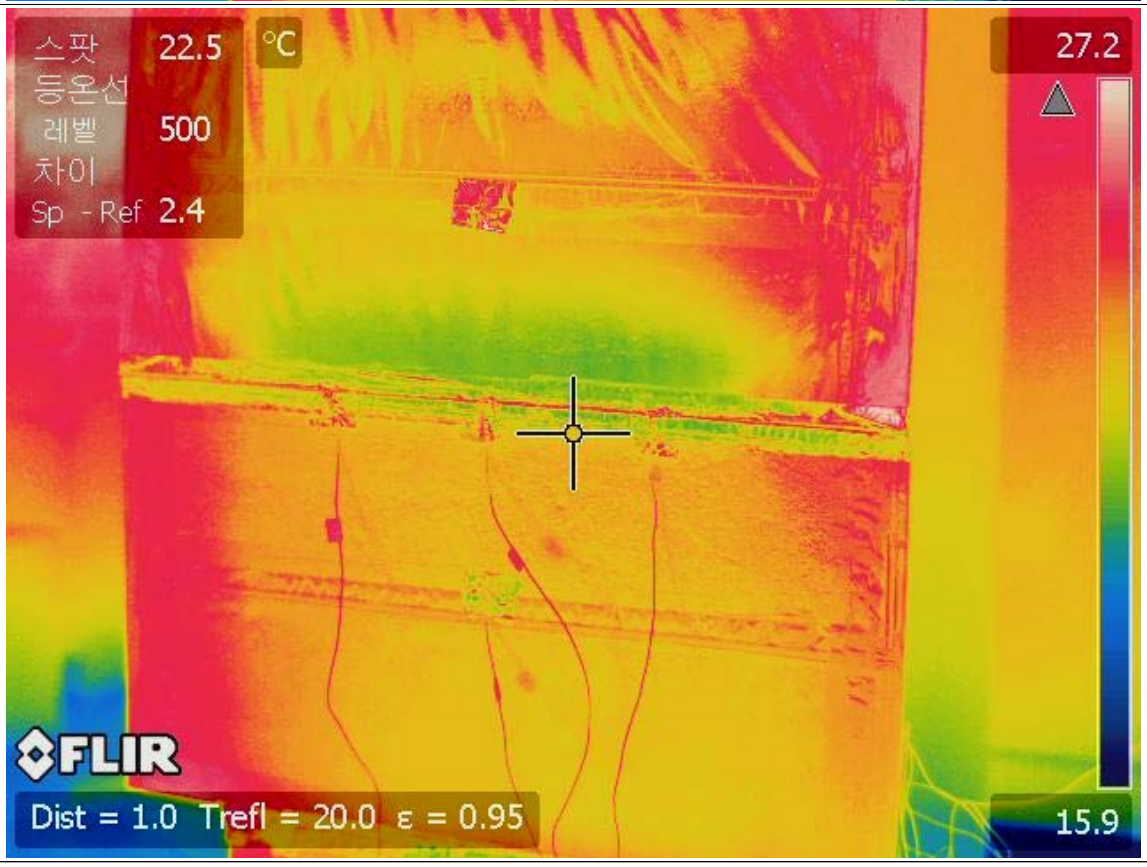

스팟 22.1 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.2
27.2
16.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

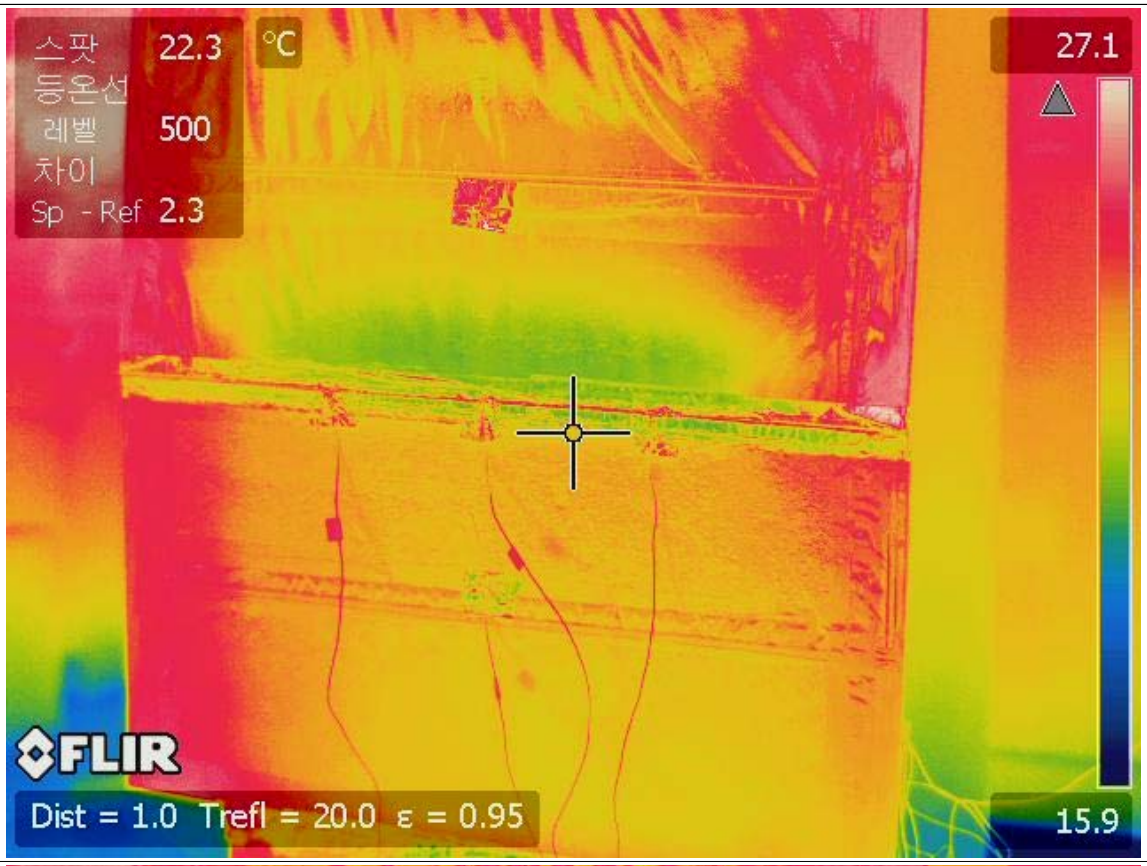

스팟 23.0 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.9
27.4
16.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95
스팟 23.2 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 3.2
27.6
16.0
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

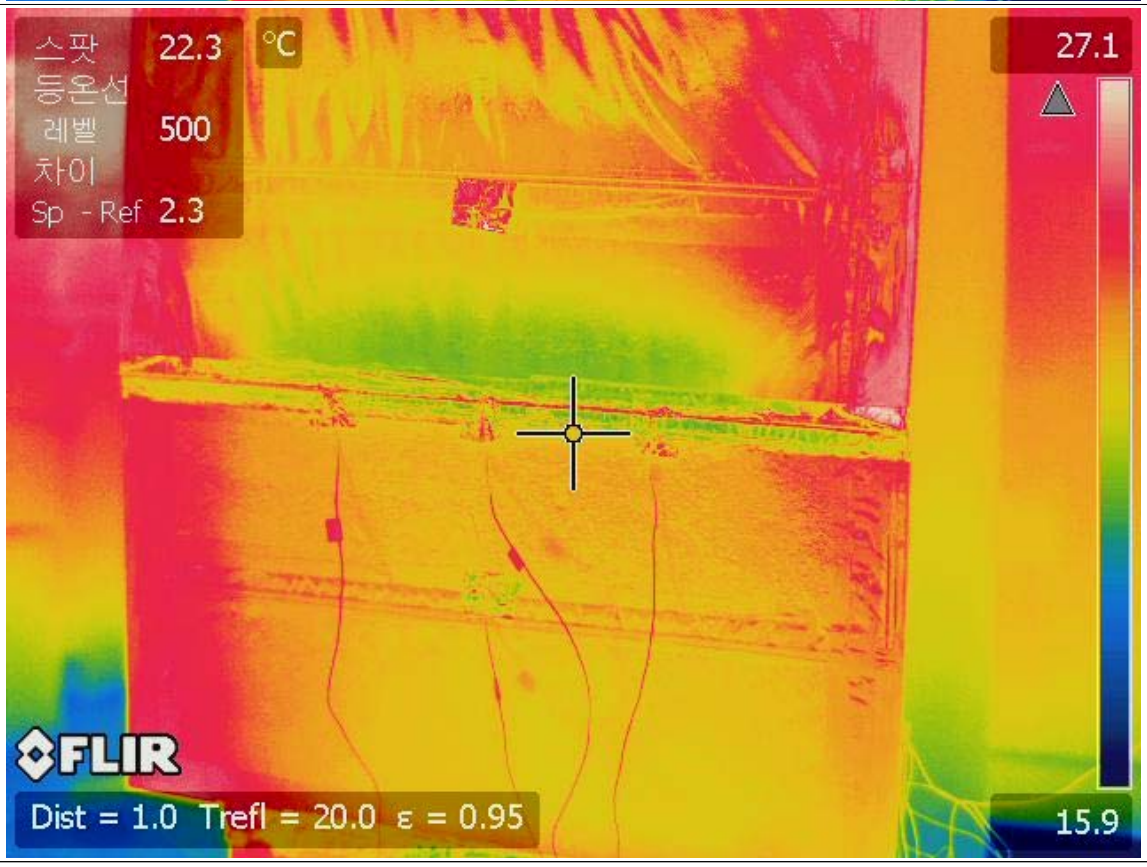

스팟 23.1 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 3.2
27.5
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

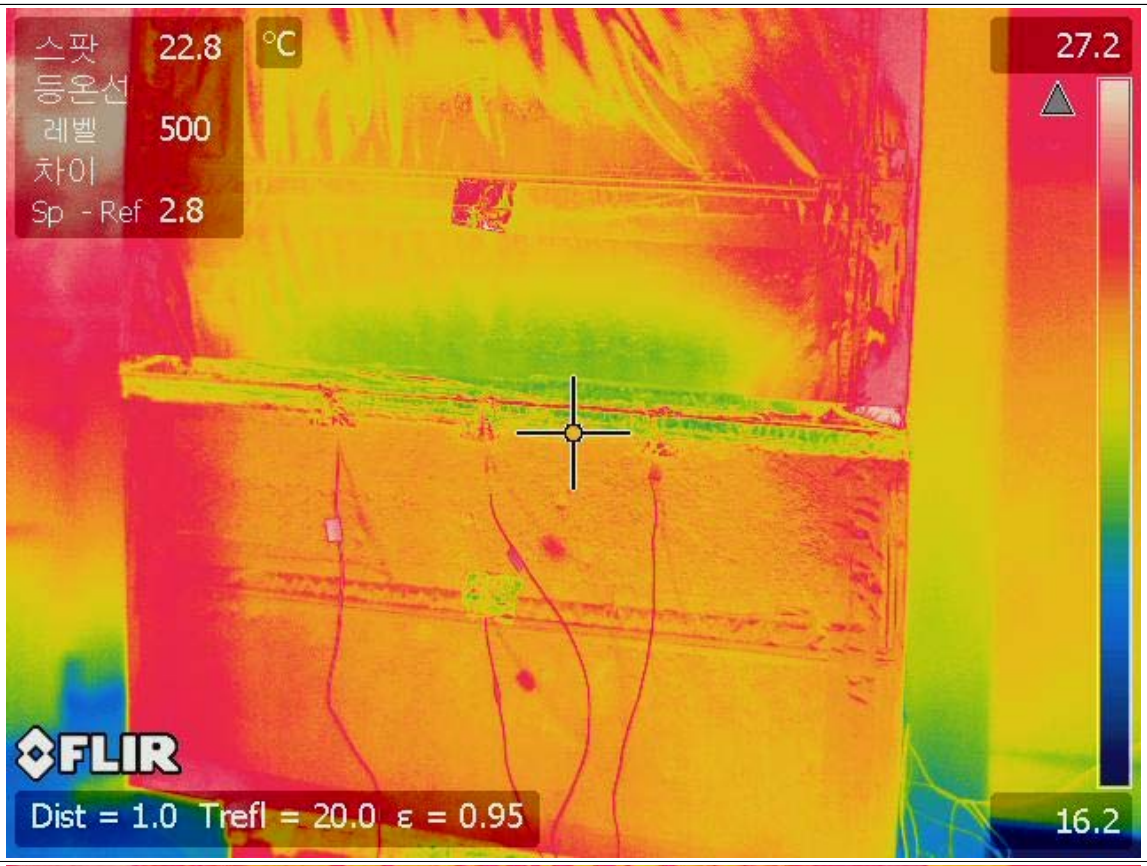

스팟 22.6 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.6
27.4
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

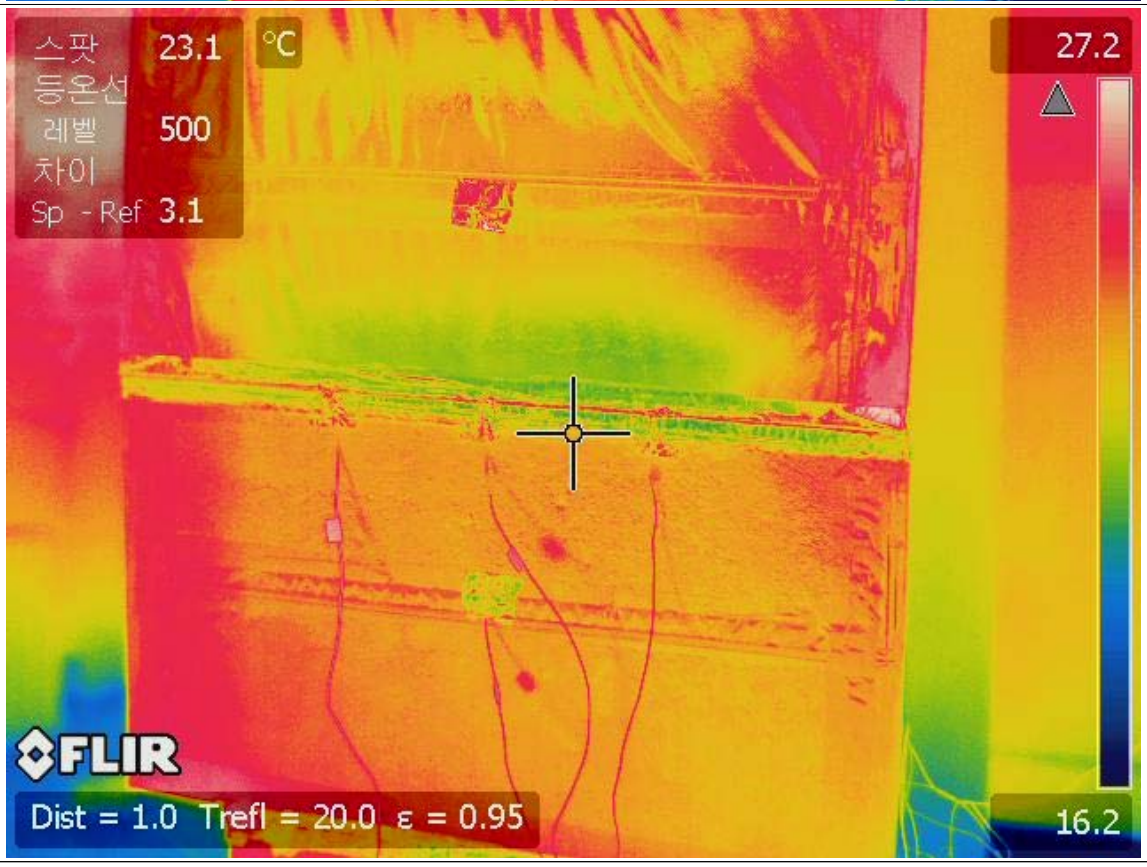

스팟 22.4 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.4
27.2
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 22.5 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.4
27.2
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 22.3 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.3
27.1
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 22.3 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.3
27.1
15.9
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 22.8 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 2.8
27.2
16.2
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95


스팟 23.1 °C
등온선
레벨 500
차이
Sp - Ref 3.1
27.2
16.2
FLIR
Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.