

폐 냉장고 내 진공단열재(VIP) 관련 최신 기술 동향 보고서

2017. 4

연구개발팀

목 차

I . 진공단열재 개요	1
1. 진공단열재 정의	1
2. 냉장고 내 진공단열재 사용 배경	2
3. 냉장고 내 진공단열재 사용 현황 및 재활용 문제점	3
II . 국내외 진공단열재 내장 냉장고 재활용 현황	5
1. 국내	5
2. 국외	5
III . 국내외 진공단열재 재활용 기술 현황	6
1. 국내	6
2. 국외	6

I 진공단열재 개요

1. 진공단열재 정의 및 원리

1) 진공단열재 정의

- 단열재란 전도, 대류, 복사에 의한 열의 흐름을 크게 줄일 수 있는 단일 재료 또는 여러 재료(섬유질, 미립자, 막, 블록이나 공기층, 개방형 혹은 폐쇄형 셀 등)의 조합
- 진공단열재(VIP, Vacuum Insulation Panel)는 기밀성을 갖는 외피(봉지)재에 심재를 넣고 내부를 진공상태(1m bar이하)로 처리하여 밀봉한 단열재임

2) 진공단열재 구조 및 구성 성분

- 진공단열재 구조는 크게 수분(가스)흡착제(Getter 등), 외피재 및 심재(흄드 실리카, glass wool 등)으로 구성됨
- 종류에 따라 사용되는 성분은 상이함

표 1-1. 진공단열재 종류 및 구성 성분

구조	종류	성분
수분 및 가스흡착제	흡착제	생석회(CaO), 제올라이트
	Getter	BaLi₄¹⁾ , CoO, BaO, ZrO ₂
외피재	금속, 플라스틱 무기물, 알루미늄 호일	PP, PE, SiO ₂ , Al
심재	흄드 실리카(Fumed silica) 유리섬유(Glass fiber, glass wool)	SiO ₂ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃

1) BaLi₄(합금) : 수분과 반응 시 수소 가스 대량 발생(RC 파쇄기 화재발생 원인)

※ 출처 : 특허[냉장고 및 이에 구비되는 진공 단열재(10-2014-0190409), 진공단열재 및 이를 구비한 냉장고 및 진공 단열재의 제조방법(10-2010-0096121).흡착제, 이를 포함하는 진공단열재 및 냉장고(특허10-2015-0177155)]

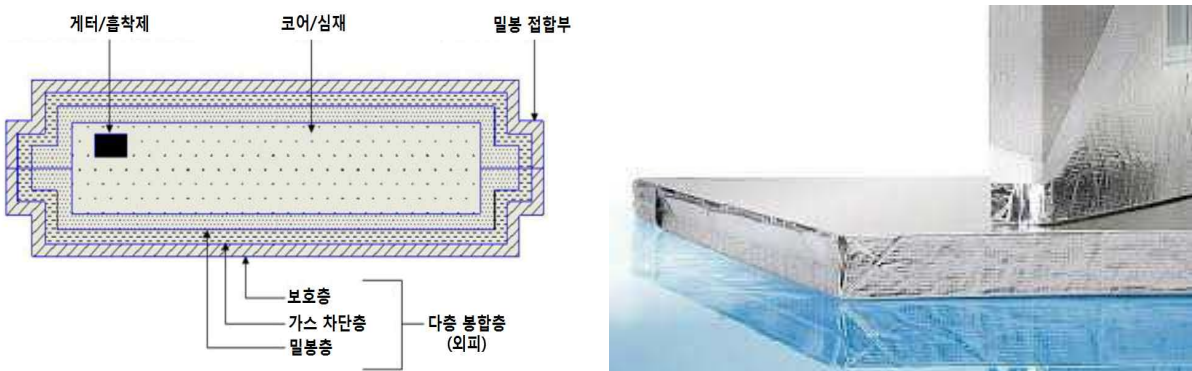


그림 1-1. 진공단열재 구조 및 사진

3) 진공단열재 원리

- 외피재가 복사열을 반사시키며, 진공 및 심재(흡드 실리카, 유리섬유)에 의해 전도와 대류가 억제되어 열전달 차단

2. 냉장고 내 진공단열재 사용 배경

1) 진공단열재 특징(※ 출처 : OCI 중앙연구소)

- 진공단열재는 열전도율 값이 0.0045W/mk 이하의 고성능 단열재로 폴리우레탄 대비 약 4~10배의 **높은 단열성 보유**
 - 타 단열재 대비 높은 단열성으로 인한 단열재 **부피 축소 가능**(폴리 우레탄 대비 약 1/6 두께로 감소 가능)
 - 유리섬유 및 유기계 단열재를 심재로 사용 시 주요 구성 성분으로 **흡착제(getter)가 진공단열재 내부에 반드시 함유**
 - 반면 **흡드 실리카**를 심재로 사용 시 **흡착제(getter) 불필요**(흡드 실리카가 자체적으로 getter 역할 동반)
- ☞ **심재 종류 구분만으로 흡착제(getter) 유/무 확인 가능**(향후 현장 확인 필요)

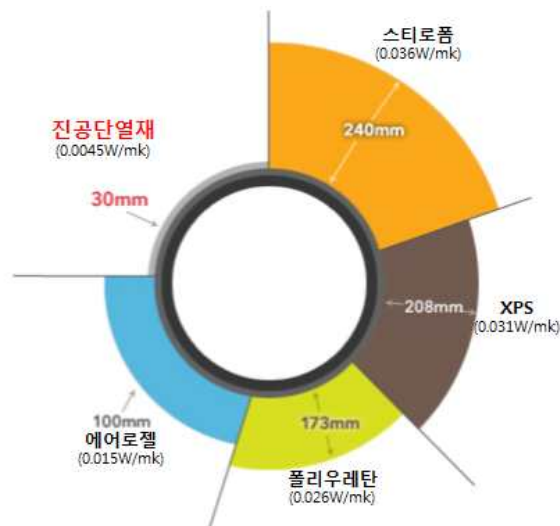


그림 1-2. 동일 열관류율의 단열재 두께 비교

* 출처 : OCI 중앙연구소

2) 냉장고 내 진공단열재 사용 배경

- 진공단열재는 특성을 통해 기존 폴리우레탄 대비 **에너지 효율 향상 약 30% 및 용적을 20%이상** 증대 효과로 인해 대형 냉장고(800리터 이상) 적용
- 유럽 판매 시 에너지 효율 등급 A++(2010/30/EU)이상 등급을 받기 위해 진공단열재를 냉장고에 적용하여 판매 중(출처:CECED-European Committee of Domestic Equipment Manufacturers : 유럽 전자제품 생산자 연합)

3. 냉장고 내 진공단열재 사용 현황 및 재활용 문제점

1) 냉장고 내 진공단열재 사용현황

가. 사용시기

- 일본은 2009년도부터 적용을 시작, 2011년도 하반기 이후 국내 진공단열재 내장 냉장고 생산 시작
- '11년도 이후 진공단열재 냉장고 사용 지속 증가
- 진공단열재의 내구연수가 약 10~15년임(출처:CECED)
- 연도에 따른 진공단열재 종류 및 구성 변화에 대한 자료는 확인 불가



그림 1-3. 진공단열재 냉장고 모델 생산량 추이(국내)

- ☞ 2019년 이후 진공단열재 내장 폐 냉장고 발생 및 입고 추정
- ☞ 진공단열재 사용 변화 관련 자료는 확인 불가(생산자로부터 확인 가능 예상)

나. 냉장고 내 진공단열재 내장 구조(위치)

- 생산업체 및 냉장고 용량 별 진공단열재 내장 구조는 상이하며, 내장 구조(위치) 표준화 자료 유/무는 확인 불가
- 일반적으로 냉장고 측면 및 상부에 내장 된 것으로 확인했으나, 이 외 전면(문), 냉장/냉동고 중간 단열부, 후면, 하부(Comp'부분)도 진공단열재 적용 생산 가능

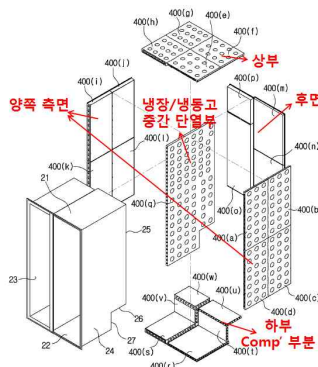


그림 1-4. 냉장고 내 진공단열재 구조

[특허:냉장고 및 이에 구비되는 진공 단열재(10-2014-0190409)]

- ☞ 냉장고 외부 진공단열재는 전처리로 제거 가능하나, 내부 진공단열재는 냉장고 파쇄 공정으로 투입되므로 전처리 뿐만 아니라 냉장고 재활용 공정 개선도 필요

2) 냉장고 내 진공단열재 문제점

가. 재활용 효율 저하

- 現 일괄 또는 기계식 진공단열재 제거 공정이 없어, 제품별 진공단열재 확인 및 제거 시간 지연 → 냉장고 재활용 효율 저하
- 2015년 HRC 현장 조사시 냉장고 내 진공단열재 제거 시간이 약 7분/대로 기존 냉장고 전처리(냉매회수, 선반제거 등) 시간에 추가지연[9대/1hr·2인(HRC 기준)]
- 진공단열재 제거 공정 및 냉장고 재활용 공정의 양분화로 인한 폐 냉장고 이송 애로사항 발생(진공단열재 제거 후 재활용 공정으로 재이송 필요)
- 폐기물 증가로 인한 폐기물 처리비 증가 예상

나. 냉장고 재활용 공정 문제 발생

- 냉장고 내 진공단열재 및 흡착제(getter) 미 제거시 재활용 공정 내 화재 발생
- 진공단열재 파쇄물에 의한 재활용 공정 문제 발생 → 배관/백필터에 CaO 정체·고착
- 심재 성분인 유리섬유 또는 흙드 실리카에 의한 유가물 또는 우레탄 순도 저하 (고형연료 성형 시 성형을 저하 가능성 있음)



그림 1-5. Getter의 충격 및 수분에 의한 발열반응



그림 1-6. 진공단열재 냉장고 파쇄공정 중 화재(ARC)

다. 기타

- 진공단열재 확인 작업(충격) 시 getter(발열반응)에 의한 작업자의 위험성 노출
- 작업자의 유리섬유(미립자) 등 흡입으로 인한 건강 우려

II 국내·외 진공단열재 내장 냉장고 재활용 현황

1. 국내

- 환입제품이 회수되는 HRC, CRC 및 ARC에서 자체 진공단열재 및 흡착제(getter) 수작업 회수 중(이 외 RC는 제거 작업 없음)
- 그라인더 또는 원형지그를 이용한 진공단열재 및 흡착제(getter) 수작업 제거 중
- 그라인더 작업 시 약 9대/1hr·2인(HRC 기준)
- 진공단열재 제거 후 일반 냉장고와 혼재하여 파쇄공정 투입



그림 2-1. 진공단열재(getter)제거 작업

- ☞ 현장 방문 및 협조를 통한 최근 동향 확인 필요(입고량, 처리방식 및 처리량 등)
- ☞ 진공단열재 및 흡착제(getter) 제거를 위한 효율적인 설비 부재

2. 국외

- CECED 연구(Study on Recycling of Cooling and Freezing Appliances Containing VIPS, 2014) 결과에 따르면 심재가 유리섬유인 진공단열재 파쇄 시 공정에 문제는 없었으며, 진공단열재는 모두 우레탄과 함께 배출됨
- 반면 심재가 **흙드 실리카인 경우 우레탄과 함께 이송 중 덕트(통로) 및 필터 막힘 현상을 발생**
- 보고서 내 화재 및 전처리 관련 내용은 없었음(파쇄 테스트만 진행)
- CECED 외 진공단열재 내장 폐 냉장고 재활용 기술 및 보고서 공유 사례가 없음
- ☞ 해외사례를 지속적 f/up 필요

Ⅲ 국내·외 진공단열재 재활용 기술 현황

1. 국내

- 국내 진공단열재 생산업체 중 KCC는 글라스울, OCI는 흙드 실리카를 심재로 사용 하고 있으며, 글라스울 또는 흙드 실리카의 소재별(불순물 '0') 재활용 기술은 지속적으로 연구 중이나 **냉장고 내 단열재(불순물 포함) 관한 재활용 기술개발은 없는 현황임** ['14년도 고등기술연구원(주관), 협회(위탁)가 냉장고 내 진공단열재 제거 공정 및 진공단열재 재활용 과제 추진(비채택)(한국환경산업기술원-환경기술개발사업 분야)]
- 따라서, 기존 소재 재활용 연구를 기초로 진공단열재 재활용 연구 진행 필요
- 흙드 실리카(불순물 '0')는 회수 시 단열재 또는 건설재로 99% 재활용 가능
- 냉장고 내 단열재(불순물 포함)의 재활용 기술 개발뿐만 아니라, 우레탄 내 진공단열재 선별공정 또는 혼재 이전 선별공정 개발 필요
- ☞ **진공단열재 재활용 기술개발 부재로 전량 폐기 중**
- ☞ **진공단열재 내 소재별 선별 공정 개발 시 진공단열재 재활용도 가능할 것으로 보임**

2. 국외

- 국외도 마찬가지로 냉장고 내 진공단열재의 재활용 기술개발 및 보고서 **공유 사례 없음**
- 심재 소재(유리섬유, 흙드 실리카) 재활용 연구는 진행 중
- PPG(Pittsburgh Plate Glass, Netherlands)는 기존의 유리섬유 제조공장 내 **폐유리섬유를 재활용 설비 보유**(출처:환경경영정보포털)
- 유리섬유 신재와 물리·화학 처리 된 폐 유리섬유로 유리섬유 재제조 관련 연구진행 [특허:US(2001), 파나소닉(2003) 등, 논문:University of Denmark, 2016]

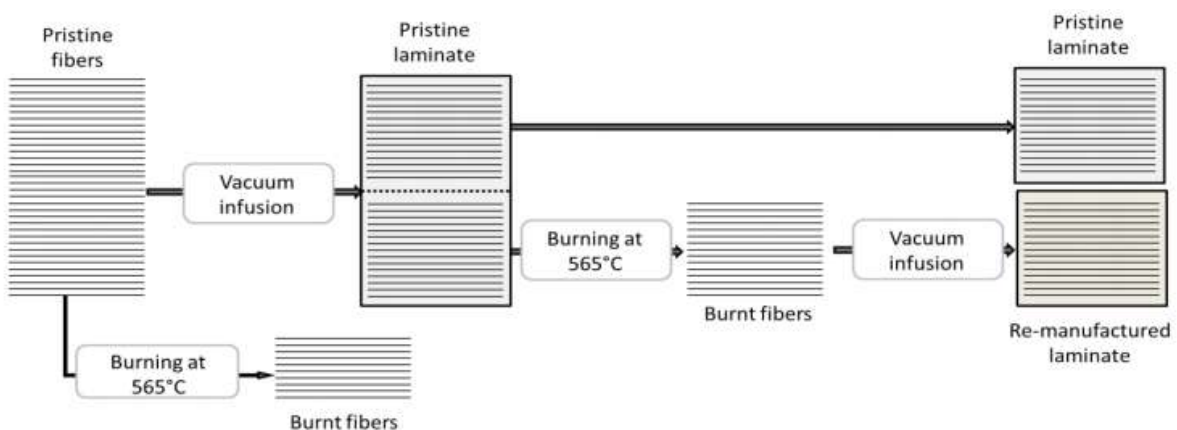


그림 3-1. 열적 처리를 통한 폐유리섬유 재활용 연구(University of Denmark, 2016)

- ☞ **해외 재료 재활용 연구 지속적 f/up 필요**