2014 국토교통기술촉진연구사업 R&D-11첨단도시C08

발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능 단열재 생산기술 개발 최종보고서

2014. 9. 29.

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / ㈜ 벽산
공동연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 9. 29.

주관연구기관명 : (주) 벽 산

주관연구책임자 : 김 성 주

연구원 : 박 진 형

연구원 : 이 양 희

연구원 : 박 기 홍

연구원 : 나 상 묵

연구원 : 박 성 은

협동연구기관명 : 한국건설기술연구원

협동연구책임자 : 이 세 현

연구원 : 윤 상 혁

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11첨단도시
C08</td><td>해 당 단 계
연 구 기 간</td><td>2013.5.30
~2014.9.29</td><td>단 계
구 분</td><td>(3단계) /
(3단계)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위
과 제 명</td><td colspan="4">발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발</td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>김 성 주</td><td>총연구기간
참 여
연구원수</td><td>총 : 24명
내부 : 20명
외부 : 4명</td><td>총연구비</td><td>정부 : 542,800천원
기업 : 372,440천원
계 : 915,240천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명
및
소 속 부 서 명</td><td colspan="2">(주) 벽산 / 화성공장</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="2">상대국명 :</td><td colspan="3">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td>위 탁 연 구</td><td colspan="2">연구기관명 :</td><td colspan="3">연구책임자 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요 약</td><td>보고서면수</td><td>171</td></tr>
</table>

○ 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31이상kg/㎥으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3~41%로 만족함. 또한 투습계수는 기준 보다 9~63%로 만족함.

○ 초기열전도율은 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 기준에 만족함.

○ 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31㎜로 나타난 15:15:20:50%와 0.33㎜로 나타난 20:10:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타남.

○ CO2 활용을 위한 압출법 단열재의 발포제 혼합비율은 열전도율의 안정성을

고려하여 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 적용이 가능할 것으로 판단. ○ CO2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용하여 이에 대한 제한적인 기준이 아니라 국제적인 추세인 발포제 대체재료의 활성화를 위하여 장기열전도율을 삭제하는 방안으로 제안.		
색 인 어	한 글	발포제 대체, 압출법 발포폼, 온난화, 오존층, 그린홈
	영 어	Blowing agent, XPS, Global warming, ODP, Green home

- 요 약 문 -

Ⅰ. 제목

발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발

Ⅱ. 연구 개발의 목적 및 필요성

수소염화불화탄소(hydro chloro fluoro carbon, HCFC)는 몬트리올의정서 근거에 의한 환경규제대상인 오존파괴물질이며, 개발도상국에 속한 한국은 2013년부터 단계적으로 사용제한하고 2030년까지 사용금지 된다. 또한 도쿄의정서 근거에 HCFC는 탄소저감형 건축재료에 취약 규제대상이며, HCFC는 GWP(온난화지수)가 CO_2=1 기준으로 1,700～2,400배로 매우 높다.

국내의 경우 압출법 폴리스티렌 단열재의 발포제인 HCFC를 100%로 사용하여 생산되고 있으며, 증가하고 있는 추세이다. 이에 친환경발포제를 사용한 압출법 폼 기술개발 필요한 실정이다.

앞선 규제를 받은 선진국인 유럽, 일본 등은 환경변화대책방안으로 친환경발포제(이산화탄소, 탄화수소류)를 대체해 시장을 형성하고 있는 실정이며, 단열재의 고성능 방안으로 다양한 첨가제를 적용한 기술개발과 Cell size 구조개선 기술개발이 진행되고 있다.

친환경발포제로 사용하는 CO_2 가스는 발전소, 제철소 등의 부산물이며, HCFC 대비 가격이 약 1/20 이하정도이며, 사용량은 1/2이하 수준으로 경제성은 높으나 CO_2를 발포제로 사용하기 위해서는 높은 압력이 요구되며, 원천적으로 설비교체 및 생산기술개발이 필요하다. CO_2는 열전도율에 대한 성능효과가 저조하며 압출기 공정에서 재료적 혼합이 어려운 단점이 있다.

이에 고성능단열재로 유지 또는 높이기 위해 앞선기술로 Graphite재료를 적용기술개발 및 Cell size micro화 기술개발 확보가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 발포제 대체 CO_2 활용을 위하여 CO_2 대체율에 따른 압출법 단열재의 물리적 성질을 검토·분석하고 첨가제의 혼합비율에 따른 단열재의 열전도율에 대한 특성을 검토하므로써 CO_2를 이용한 단열재의 성능평가를 통해 적용방안을 제시하여 압출법 단열재의 발포제 등으로 활용하는데 연구의 목적이 있다.

Ⅲ. 연구의 내용 및 범위

1. 최종 연구목표

본 연구의 최종목표는 발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 연구의 일환으로 세부적으로는 친환경발포제를 100% 사용 단열성 현재 성능확보(장기 열전도율 0.030 W/mK 이상유지 : 압출법 1호 기준, Graphite등 활용한 고성능단열재제품 : 단열성능 7%향상)과 친환경 고성능단열재를 사용한 정책제안(규격제개정 : 친환경발포제 사용의무화), 친환경상품 인증기준 제안 등을 하는 연구로서 이를 통한 국내 단열재 발포재료를 CO_2 등의 친환경 발포제를 활용하여 건설재료서 활용할 수 있게 기여함을 최종목표로 설정하였다.

2. 연차별 연구목표

최종목표를 달성하기 위하여 진행한 연차별 연구목표는 다음과 같다.

가. 1차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 단열성 확보방안 설계 및 부분대체

- 친환경 발포제 control기술확보
- 기존발포제를 일부(최대30%)대체 특성파악 및 COST DOWN

(2) Graphite 등 첨가재를 사용 단열성능 향상 기술개발

- 시제품생산(친환경발포제제품+Graphite제품결합)

나. 2차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 완전대체기술확보

- primary 압출기 설계
- 보조발포제투입으로 투입량향상

(2) 발포 cell structure 개선을 통한 단열성능 향상 기술개발 (5% 이상)

- TEST BED를 통한 성능확인(친환경발포제+Graphite+Cell size개선제품)
- 설비보완

다. 3차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화

- 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화
- 친환경발포제를 50% 사용 단열성 현재 성능이상

(2) 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제시

Ⅳ. 연구개발 수행내용 및 결과

1, 2, 3차년도 연구개발 결과는 다음과 같다.

연차	연구 내용	연구 결과
1차년도	▪ 국내·외 기술개발 현황조사	▪ 국외 유럽 등은 HFC에서 CO2까지 활용, 일본의 경우는 탄화수소류로 대체한 생산기술을 확보(첨가제 Graphite, CARBON BLACK 등을 적용, 발포기술인 Cell structure의 개선으로 Micro cell, complex cell 등을 개발). ▪ 국내의 경우 HCFC류 발포제를 사용하고 있는 것으로 파악됨(XPS업계는 선진국에서 압출기계를 수입한 업체에 기술에 의존 소극적으로 접근하는 초기단계임).
	▪ 친환경발포제 단열성 확보방안 설계	▪ CO2 경우는 활성이 크므로 열전도율을 낮추어주는 역할이 거의 없어 단기간에 열전도율이 높아지고 경시변화가 없음. 이와 같은 문제로 열전도율을 낮추기 위해 Graphite를 사용하고 Cell size를 작게하여 열전달현상(전도, 대류, 복사)을 최소화하는 방법으로 설계.
	▪ 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토	▪ 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃ 조건 도출.
	▪ 발포제 대체 CO2를 활용한 단열재 성능평가	▪ 공정조건 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 115℃ 조건으로 CO2 대체에 의한 50~75㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결

		과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못함. ▪ 공정조건 1차 압출기 압력조건 1,300psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 700psi, 온도 125℃ 조건으로 CO2 대체에 의한 100~110㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못함. ▪ 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 20% 이상 적용가능할 것으로 판단되며, 단열재 두께 100~110㎜ 보다 50~75㎜ 단열재의 성능효과가 더 높게 나타나 단열재 두께 50~75㎜로 적용가능할 것으로 판단. ▪ 최대공정조건 1차 압출기 압력조건 1,600psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 850psi, 온도 125℃ 조건으로 CO2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 발포제 대체 CO2 30%이상 적용가능, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족. ▪ 최적조건 설정을 위한 CO2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~64%로 만족하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃ 조건으로 적용가능할 것으로 판단.
	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가한 결과, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~60%로 만족. ▪ 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 30%까지 대체 가능할 것으로 판단되며, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은

		수준으로 만족하였으나 이에 Graphite(흑연) 적용으로 단열재의 성능개선 효과가 있을 것으로 판단.
2차년도	▪ 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토 보완	▪ CO_2 대체율 증가에 따라 밀도증가, 열전도율증가, 표면불안정, 두께감소 등의 문제점이 발생하였으며, 이는 불안정한 Cell 구조, 고온, 저기압, 발포제 혼합 등으로 판단됨. 따라서, 압출기의 교체가 필요하나, 비용문제가 발생하여 추가발포제 등 재료적인 검토 요구. ▪ Die 보완은 470mm → 450mm로 폭조정 및 설비교체 결과, 폭조정에 의한 Die 압력 상승으로 Cell 구조가 개선된 것으로 판단.
	▪ 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 압축강도 18%이상, 굴곡파괴하중 45%이상, 투습계수 61%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO_2 대체율 35%이상에서 만족하지 못함. ▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 50%까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단.
	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기내구성 검토	▪ CO_2 대체율 30%, Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 기준에는 만족하였으나, 장기내구성에서 비틀림 현상이 발생하여 이에 대한 보완・추가 재료의 검토 요구.
	▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 압축강도 29%이상, 굴곡파괴하중 31%이상, 투습계수 60%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 만족.

		▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상으로 적용가능할 것으로 판단되며, 제2의 보조발포제에 대한 검토 요구.
	▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선	▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선 결과, 2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 단열성능은 900psi이상에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준 보다 초기열전도율은 4%이상, 장기열전도율 2%이상 만족하였으며, 단열성능, 경제성 등을 고려하여 2차압출기 압력은 950psi가 안정적으로 적용가능할 것으로 판단.
	▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가	▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가 결과, 발포제 혼합비율에 따라 압축강도 22%이상, 굴곡파괴하중 29%이상, 초기열전도율 5%이상, 투습계수 58%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 만족. ▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 최적조건은 장기열전도율 기준으로 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 적용가능할 것으로 판단.
3차년도 (최종년도)	▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화	▪ 압출성형 공정조건은 1차 압출기 압력 1,400psi, 1,500psi, 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 750psi, 850psi, 950psi, 온도 115℃로 검토한 결과 최적 조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 950psi, 온도 115℃로 도출됨.
	▪ 친환경발포제를 50% 사용 단열재 성능평가	▪ 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31이상kg/㎥으로 유사한 범위로 나타남. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3~41%로 만족. 또한 투습계수는 기준 보다 9~63%로 만족. ▪ 초기열전도율은 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%,

		20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 기준에 만족. ▪ 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31㎜로 나타난 15:15:20:50%와 0.33㎜로 나타난 20:10:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타남. ▪ CO2 활용을 위한 압출법 단열재의 발포제 혼합비율은 열전도율의 안정성을 고려하여 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 적용이 가능할 것으로 판단.
	▪ 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제	▪ CO2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용하여 이에 대한 제한적인 기준이 아니라 국제적인 추세인 발포제 대체재료의 활성화 방안으로 제안함.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

본 연구수행에서 얻어진 연구개발결과의 활용계획은 다음과 같다.

연구목표	활용계획
▪ 국내・외 기술개발 현황조사	▪ 국내・외 CO_2 대체한 기초기술자료 활용 ▪ 선진기술현황 자료 활용
▪ 친환경발포제 단열성 확보방안 설계	▪ 친환경 발포제 Control 기술자료 활용 ▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 단열재 특성(열전도율 등)에 관한 기술자료 활용
▪ 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토	▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 공정조건 등 기술자료 활용 ▪ CO_2를 대체한 단열재의 제조기술 활용
▪ 발포제 대체 CO_2를 활용한 단열재 성능평가	▪ 친환경 발포제(CO_2 등) 적정사용량 대체비율 기초자료 활용 ▪ CO_2를 활용에 대비한 품질시험 및 평가와 적용기술 활용
▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 성능기술 활용 ▪ Graphite(흑연)를 적용한 단열성능 향상기술 활용

연구목표	활용계획
▪ 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토보완	▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 공정조건 등 기술자료 활용 ▪ CO_2를 대체한 단열재의 제조기술 활용
▪ 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 친환경 발포제(CO_2 등) 적정사용량 대체비율 기초자료 활용 ▪ CO_2를 활용에 대비한 품질시험 및 평가와 적용기술 활용
▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성 검토	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 성능기술 활용 ▪ Graphite(흑연)를 적용한 단열성능 향상기술 활용
▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 보조발포제를 적용한 단열재의 제조기술 활용 ▪ 친환경발포제 완전대체기술로 자료 활용
▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선	▪ 압출법 단열재의 Cell 구조개선 자료로 활용 ▪ Cell size 개선기술 활용
▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가	▪ 최적조건을 적용한 단열재의 향상기술로 활용
▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화	▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화 기초자료로 활용
▪ 친환경발포제를 50% 사용 단열재 성능평가	▪ 50% 사용 친환경발포제 혼합비율 성능 평가 자료 활용
▪ 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제안	▪ 관련규격 개정(안) 자료로 활용

- Summary -

Ⅰ. Subject

Development of Production Technology for High Performance Insulators Using CO_2 as a Substitutional Foaming Gas

Ⅱ. Purpose and Need of Research and Development

Hydro chloro fluoro carbon (HCFC) is an ozone depletion material which is regulated for environment based on Montreal Protocol and its use has been restricted from 2013 step by step and will be prohibited by 2030 in Korea which belongs to developing country group. HCFC is one of the vulnerable objects for carbon reducing construction materials based on Tokyo Protocol and GWP (global warming potential) of HCFC is very high as it is 1,700～2,400 times as high as CO_2 = 1.

In our country, polystyrene insulators are made in the extrusion process 100% using HCFC as its forming agent, which tends to increase. Accordingly, it is necessary to develop a foaming technology of extrusion using an environmentally friendly foaming agent.

Europe and Japan among other advanced countries which have been previously regulated have formed a market with environmentally friendly forming agents (carbon dioxide, hydrocarbons) as an alternative for environment change while proceeding on technological development where various additives are applied, and technological development for cell size structure improvements as a plan for the high performance of insulators.

CO_2 gas used for one of the environmentally friendly foaming agents is one of the by-products from power plants and steel plants; its price is about 1/20 or less comparing to that of HCFC; its used amount is 1/2 or less and its economy is high but high pressure is necessary for using CO_2 as a foaming agent and the equipment replacement and production technology development are essential from the beginning. CO_2 has low performance in thermal

conductivity and has a disadvantage that the mixing of materials is difficult in the extruder process.

Accordingly, it is necessary to secure the applied technology development and technology development to realize micro cell sizes for graphite as the advanced technology.

Consequently, this study reviews and analyzes the physical properties of extrusion insulators according to CO_2 substitution ratios to use CO_2 to substitute for a forming agent and review characteristics for the thermal conductivity of insulators according to mixing ratio in additives in an effort to suggest applicable plans through the performance evaluation of insulators using CO_2 and use it as a foaming agent for insulators in the extrusion process.

Ⅲ. Content and Scope of Study

1. Final Study Goals

The final goals of this study is set in detail to the securing of current performance for insulation 100% using an environmentally friendly foaming agent (maintaining 0.030 W/mK of long-term thermal conductivity: on the basis of the extrusion method no. 1, high performance insulators using graphite: 7% improvement on insulation performance), policy suggestions using environmentally friendly insulators (revisions on specifications: mandatory use of environmentally friendly foaming agents), and suggestions of certification standards for environmentally friendly products, through which this study makes contributions to the use of environmentally friendly foaming agents such as CO_2 for insulator foaming agents in construction materials in our country, as part of a study on the development of production technology for high performance insulators using CO_2 as a substitutional foaming gas.

2. Study Goals by Year

Our study goals by year which have been carried out to achieve final goals are shown below;

A. Study goals in the first year

(1) Design and partial substitution in securing insulation properties for environmentally friendly foaming agents

- Secure the control technology of environmentally friendly foaming agents
- Cost down as well as identify properties for partial substitution (maximum 30%) for the existing foaming agents

(2) Develop technology to improve insulation performance using additives such as graphites, etc.

- Make trial products (products from environmentally friendly foaming agents + combination with graphite products)

B. Study goals in the second year

(1) Secure the complete substitution technology with environmentally friendly foaming agents

- Design primary extrusion machines
- Improve input amount with the input of subsidiary foaming agents

(2) Develop the improvement technology of insulation performance through improving foaming cell structure

- Confirm performance through test beds (improved products in environmentally friendly foaming agents + graphite + cell size)
- Facility supplementation

C. Study goals in the third year

(1) Optimize and practically use temperature and pressure control flow using environmentally friendly foaming agents

- Optimization and practical use of temperature and pressure control flow using environmentally friendly foaming agents
- Current performance or more of insulation performance using 50% of environmentally friendly foaming agents

(2) Suggest the related specifications revision (draft) for policy suggestions using environmentally friendly high-performance insulators

Ⅳ. Contents and Results of Research and Development Performance

The findings from research and development during the first, second and third year are shown below;

Year	Study contents	Study results
First year	▪ Survey on the status of domestic and foreign technology development	▪ Europe and other foreign countries have used materials from HFC to CO_2 and Japan secured the production technology of replacement with hydrocarbons (applying additives of graphite, carbon black, etc., developing micro cell, complex cell, etc. from the improvement of cell structure as the foaming technology) ▪ It is identified that our country is using HCFC foaming agents. (The XPS business stays at the early stage with a passive approach depending on the technology of companies which have imported extrusion machines from the advanced countries.)
	▪ Design plans to secure the insulation performance of environmentally friendly foaming agents	▪ As CO_2 has high vitality with little role of lowering thermal conductivity, its thermal conductivity increases in a short time without change over time. Use graphite to lower thermal conductivity due to these problems and lower the cell size to design a method in minimizing

		heat delivery (conductivity, convection current and radiation)
	▪ Review the production process of partial substitution for environmentally friendly foaming agents	▪ Derive process conditions on the first extruder pressure 1,600psi and temperature 200℃ → on the second extruder pressure 850psi and temperature 115℃
	▪ Performance evaluation on insulators using CO_2 as a substitutional foaming agent	▪ As a result of performance evaluation on the compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity, combustibility and moisture permeance of 50 ~ 75mm insulators with CO_2 substitution under process conditions of the first extruder pressure 1,300psi and temperature 200℃ → the second extruder pressure 700psi and temperature 115℃, it met KSM 3808 foaming polystyrene standards but initial thermal conductivity met the low levels of the current standards and long-term thermal conductivity did not meet standards. ▪ As a result of performance evaluation on the compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity, combustibility and moisture permeance of 100 ~ 110mm insulators with CO_2 substitution under process conditions of the first extruder pressure 1,300psi and temperature 220℃ → the second extruder pressure 700psi and temperature 125℃, it met KSM 3808 foaming polystyrene standards but initial thermal conductivity met the low levels of the current standards and long-term thermal conductivity did not meet standards. ▪ 20% or more can be considered applicable for the increased CO_2 use as a substitutional foaming agent, and it can be applied to 50 ~ 75mm thick insulators because performance for 50 ~ 75mm

		thick insulators appeared to be higher than that for 100 ~ 110mm thick insulators. ▪ As a result of experiments on the compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity, combustibility and moisture permeance of insulators according to CO_2 substitution ratios under maximum process conditions of the first extruder pressure 1,600psi and temperature 220℃ → the second extruder pressure 850psi and temperature 125℃, it met KS M 3808 foaming polystyrene standards, 30% or more of CO_2 can be applicable, and performance on thermal conductivity met the low levels of the current standards. ▪ As a result of performance evaluation according to CO_2 substitution ratios for optimal condition setting, compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity, combustibility and moisture permeance met 4 ~ 64% to KS M 3808 foaming polystyrene standards, and process conditions are considered applicable to the condition of the first extruder pressure 1,600psi and temperature 200℃ → the second extruder pressure 850psi and temperature 115℃
	▪ Performance evaluation on insulators with the addition of graphite	▪ As a result of performance evaluation on insulators with the addition of graphite, compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity, combustibility and moisture permeance met 4 ~ 60% of KSM 3808 foaming polystyrene standards. ▪ Up to 30% substitution can be considered possible for the increased use of CO_2 as a substitutional foaming agent, and performance on thermal conductivity met the low levels of the current standards, but the effect on performance

		improvement for insulators is thought to exist due to the application of graphite.
Second year	▪ Supplementary review on production facilities for improvements on insulator performance	▪ Problems such as increased density, increased thermal conductivity, unstable surface and decreased thickness occurred due to the increased CO_2 substitution ratios, which are thought to result from unstable cell structure, high temperature, low air pressure, mixed foaming agents, etc. Accordingly, the review on materials such as additional foaming agents was requested as cost problem occurred although extruders had to be replaced. ▪ As a result of the equipment replacement with thickness adjustment of 470mm → 450mm for die supplementation, the cell structure was considered improved due to the increased die pressure from thickness adjustment.
	▪ Performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios where optimal conditions are applied	▪ As a result of performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios where optimal conditions are applied in the first extruder pressure 1,600psi and temperature 200℃ → the second extruder pressure 850psi and temperature 115℃, compression strength is met by 18% or more, flexural destruction load by 45% or more, moisture permeance by 61% or more and combustibility met KS M 3808 foaming polystyrene standards according to the increase of CO_2 substitution ratio by 35~50%, but initial thermal conductivity and long-term thermal conductivity failed to be met in 35% or more of CO_2 substitution ratio. ▪ As a result of up to 50% application for the increased use CO_2 as a substitutional foaming agent, the improvement and supplementation on the component materials for insulators were considered necessary because performance on

		thermal conductivity met the low levels of the current standards.
	▪ Long-term durability review on insulators with the addition of graphite	Although compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity (initial and long-term), combustibility and moisture permeance met KS M 3808 standards at a 5% addition ratio of graphite with a 30% CO_2 substitution ratio, twist occurred for long-term durability and review on supplementary and additional materials was request for it.
	▪ Performance evaluation on insulators according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol)	▪ As a result of performance evaluation on insulators according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol), compression strength is met by 29% or more, flexural destruction load by 31% or more, moisture permeance by 60% or more and combustibility met KSM 3808 foaming polystyrene standards according to the increase of mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) by 5 ~ 25%, and initial and long-term thermal conductivity is met at 20% or more of mixing ratios with a subsidiary foaming agent (ethanol). ▪ The review on the second subsidiary foaming agent was requested as 20% or more of mixing ratios with a subsidiary foaming agent (ethanol) was considered applicable to the increased use of CO_2 as a substitutional foaming agent.
	▪ Cell structure improvement according to pressure variations at the second extruder	▪ As a result of cell structure improvement according to pressure variations at the second extruder, initial thermal conductivity is met by 4% or more and long-term thermal conductivity by 2% or more than KS M 3808 foaming polystyrene standards at 900psi or more for insulation performance according to the increase of pressure to 850 ~ 1,000psi at the second extruder,

		and 950psi for the second extruder pressure was considered applicable stably in consideration of insulation performance and economy.
	▪ Performance evaluation where CO_2, subsidiary foaming agent and cell structure improvement technology are applied	▪ As a result of performance evaluation on insulators where CO_2, subsidiary foaming agent and cell structure improvement technology are applied, compression strength is met by 22% or more, flexural destruction load by 29% or more, initial thermal conductivity by 5% or more, moisture permeance by 58% or more and combustibility meet KS M 3808 foaming polystyrene standards according to mixing ratios of foaming agents, and long-term thermal conductivity is met at mixing ratios of foaming agents for 30:20:50% or more. ▪ Optimal conditions of insulators where CO_2, subsidiary foaming agent and cell structure improvement technology are applied were considered applicable at mixing ratios of foaming agents for 30:20:50% or more based on long-term thermal conductivity.
Third year (Final year)	▪ Optimization and practical use of temperature and pressure control flow using environmentally friendly foaming agents	▪ As a result of our review on extrusion process conditions with the first extruder pressure 1,400psi, 1,500psi and 1,600psi at temperature 200℃ → the second extruder pressure 750psi, 850psi and 950psi at temperature 115℃, optimal conditions were derived with the first extruder pressure 1,600psi and temperature 200℃ → the second extruder pressure 950psi and temperature 115℃.
	▪ Performance evaluation on insulators using 50% of environmentally friendly foaming agents	▪ Density according to mixing ratios of foaming agents appeared in the similar range with 31㎏/㎥ or more. Compression strength failed to meet KS M 3808 foaming polystyrene standards at 10:20:35:35% and 25:5:35:35%, and flexural destruction load was met at 3 ~

		41% comparing to that of standards In addition, moisture permeance was met at 9~63% compparing to that of standards. ▪ Initial thermal conductivity failed to met current KS M 3818 initial thermal conductivity standards at mixing ratios of 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40% and 25:5:35:35%, whereas long-term thermal conductivity met KS M 3808 standards at 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50% and 20:10:25:45%. ▪ As a result of analysis on compression strength, flexural destruction load, thermal conductivity (initial and long-term), moisture permeance and combustibility of insulators according to mixing ratios of foaming agent, they appeared to be higher at 15:15:20:50% with the cell size at 0.31mm and 20:10:20:50% with the cell size of 0.33mm than those of KS M 3808 standards. ▪ Mixing ratios of foaming agents for extrusion insulators using CO2 were considered applicable at 15:15:20:50% and 20:10:20:50% in consideration of stability of thermal conductivity.
	▪ Suggestions for the related specifications revision (draft) for policy suggestions using environmentally friendly high-performance insulators	We suggest a plan to activate substitutional foaming agent materials as the international trend, not as the restriction standards, by applying the types of KS M 3808 standards to Type A (things not using freons but using hydrocarbon or carbon dioxide as a foaming agent) and Type B (using freons as a foaming agent).

Ⅴ. Utilization Plans of Research and Development Findings

The utilization plans of research and development findings from this study performance are shown below;

Study goals	Utilization plans
▪ Survey on the status of domestic and foreign technology development	▪ Use for basic technology data for domestic and foreign CO_2 substitution ▪ Use for sata on the status of advanced technology
▪ Design plans to secure the insulation performance of environmentally friendly foaming agents	▪ Use for control technology data over environmentally friendly foaming agents ▪ Use for technological data about insulator properties (thermal conductivity, etc.) in the insulator production technology using CO_2
▪ Review the production process of partial substitution for environmentally friendly foaming agents	▪ Use for technological data about process conditions in the insulator production technology using CO_2 ▪ Use for manufacturing technology of insulators with CO_2 substitution
▪ Performance evaluation on insulators using CO2 as a substitutional foaming agent	▪ Use for basic data for substitution ratios with proper use of environmentally friendly foaming agents (CO_2, etc.) ▪ Use for quality test, evaluation and applied technology using CO_2
▪ Performance evaluation on insulators with the addition of graphite	▪ Use for performance technology on insulators with the addition of graphite ▪ Use for improvement technology on insulation performance where graphite is applied
▪ Supplementary review on production facilities for improvements on insulator performance	▪ Use for technological data about process conditions in the insulator production technology using CO_2 ▪ Use for manufacturing technology of insulators with CO_2 substitution
▪ Performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios where optimal conditions are applied	▪ Use for basic data for substitution ratios with proper use of environmentally friendly foaming agents (CO_2, etc.) ▪ Use for quality test, evaluation and applied technology using CO_2
▪ Long-term durability	▪ Use for performance technology on insulators

Study goals	Utilization plans
review on insulators with the addition of graphite	with the addition of graphite ▪ Use for improvement technology on insulation performance where graphite is applied
▪ Performance evaluation on insulators according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol)	▪ Use for manufacturing technology of insulators where subsidiary foaming agents are applied ▪ Use for data as the complete substitution technology with environmentally friendly foaming agents
▪ Cell structure improvement according to pressure variations at the second extruder	▪ Use for data on cell structure improvement of extrusion insulators ▪ Use for cell size improvement technology
▪ Performance evaluation where CO_2, subsidiary foaming agent and cell structure improvement technology are applied	▪ Use for improvement technology of insulators where optimal conditions are applied
▪ Optimization and practical use of temperature and pressure control flow using environmentally friendly foaming agents	▪ Use for basic data on optimization and practical use of temperature and pressure control flow using environmentally friendly foaming agents
▪ Performance evaluation on insulators using 50% of environmentally friendly foaming agents	▪ Use for performance evaluation data on a mixing ratio of environmentally friendly foaming agents at 50%
▪ Suggestions for the related specifications revision (draft) for policy suggestions using environmentally friendly high-performance insulators	▪ Use for data on revisions (draft) on the related specifications

- 목 차 -

제1장 연구개발과제 개요 ····· 1

제1절 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1

제2절 연구개발의 목표 ····· 2

1. 최종 연구목표 ····· 2
2. 연차별 연구목표 ····· 2
3. 당해연도(3차년도 2013.05~2014.09) 연구개발의 내용 및 범위 ····· 3

제3절 국내·외 기술개발 현황 ····· 4

1. 국내 기술개발 현황 ····· 4
2. 국외 기술개발 현황 ····· 8
3. 국외 산업동향 ····· 11
4. 국내·외 관련특허 현황 ····· 12

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 14

제1절 친환경발포제 단열성 확보방안 설계 ····· 14

제2절 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토 ····· 16

제3절 발포제 대체 CO_2를 활용한 단열재 성능평가 ····· 19

1. CO_2 대체에 의한 50~75㎜ 단열재의 성능평가 ····· 19
2. CO_2 대체에 의한 100~110㎜ 단열재의 성능평가 ····· 25
3. 최대조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 ····· 30
4. 최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 ····· 35
5. Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가 ····· 39

제4절 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토보완 ····· 43

1. 압출기 생산공정 검토 ····· 43
2. Die 생산공정 검토보완 ····· 44

제5절 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 ····· 44

1. 실험개요 ····· 44

2. 실험결과 및 분석 ····· 45
제6절 Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성 검토 ····· 49
1. 실험개요 ····· 49
2. 실험결과 및 분석 ····· 49
3. 소 결 ····· 51
제7절 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 ····· 51
1. 실험개요 ····· 51
2. 실험결과 및 분석 ····· 52
제8절 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선 ····· 56
1. 실험개요 ····· 56
2. 실험결과 및 분석 ····· 56
제9절 CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가 ····· 60
1. 실험개요 ····· 60
2. 실험결과 및 분석 ····· 61
제10절 연구결과에 따른 문제점 개선방안 ····· 65
제11절 CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가 ····· 66
1. 연구의 배경 및 목적 ····· 66
2. 실험 ····· 66
3. 실험결과 및 분석 ····· 71
제12절 결 론 ····· 89

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 ····· 93

제1절 주요 학술적 연구성과 ····· 93
1. CO_2를 발포제로 활용한 단열재의 물리적 특성에 관한 연구성과 ····· 93
2. CO_2를 발포제로 활용한 단열재의 물성에 관한 기초적 연구성과 ····· 107
3. 발포제 혼합에 따른 압출법 단열판의 물리적 특성에 관한 연구성과 ··· 113
제2절 주요 기술적 연구성과 ····· 119
1. 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법 ····· 119

2. 이산화탄소를 포함하는 발포제를 사용한 단열성이 우수한 압출 스티렌 폼 및 그 제조방법 ····· 125

제3절 CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 및 모니터링 ····· 131

1. CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 현장 개요 ····· 131
2. CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 현장 모니터링 ····· 135

제4절 CO_2를 활용한 단열재의 실증화 ····· 138

1. 국내·외 단열재 관련 품질기준 현황 ····· 138
2. 단열재 관련 품질기준 및 규격 검토 ····· 138
3. CO_2 활용을 위한 단열재 규격(안) 제안 ····· 148

제5절 연구개발 성과의 국내·외 시장 전망 ····· 149

1. 국내 단열재 시장 규모 및 전망 ····· 149
2. 국외 단열재 시장 규모 및 전망 ····· 150
3. 연구개발 성과의 시장성 ····· 152

제4장 연구목표 달성 및 효과 ····· 153

제1절 연구의 목표 ····· 153

1. 최종 연구목표 ····· 153
2. 연차별 연구목표 ····· 153

제2절 평가의 착안점 ····· 154

제3절 연구개발 최종목표 달성도 ····· 155

제4절 연구개발 성과의 효과분석 ····· 159

1. 기술적 측면 ····· 159
2. 경제적 측면 ····· 160
3. 정책적 측면 ····· 162

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 ····· 163

제1절 연구의 기대성과 및 파급효과 ····· 163

1. 기술적 측면 ····· 163
2. 환경적 측면 ····· 163

3. 경제·산업적 측면 ····· 164
제2절 연구성과 향후 활용방안 ····· 164
1. 연구성과 활용계획 ····· 164
2. 연구성과 활용방안 ····· 165
3. 사업화 추진전략 및 방안 ····· 166
제3절 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용 ····· 168

제6장 참고문헌 ····· 169

[부 록] ····· 172

- 표 목 차 -

<표 1.1> 국내의 발포제 대체재료 분석 ····· 6
<표 1.2> 단열재료 국내시장 전망(단위 : 억원) ····· 7
<표 1.3> KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 단열판 규정 ····· 8
<표 1.4> 유럽의 발포제 대체현황 ····· 10
<표 1.5> 미국의 발포제 대체 관리기준 ····· 11
<표 1.6> 단열재료 세계 시장전망(단위 : 억$) ····· 12
<표 1.7> 국외 단열재 생산용 발포제 종류 ····· 12
<표 1.8> XPS 단열재 발포제 대체 기술의 특허 현황 ····· 13
<표 2.1> 대표적인 발포제의 물성 ····· 15
<표 2.2> 압출법 단열재의 특성 ····· 15
<표 2.3> 단열재의 생산공정 ····· 18
<표 2.4> CO_2 대체율에 따른 연소성(두께 50~75㎜) ····· 24
<표 2.5> CO_2 대체율에 따른 연소성(두께 100~110㎜) ····· 29
<표 2.6> CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 32
<표 2.7> CO_2 대체율에 따른 연소성(0~39%) ····· 34
<표 2.8> CO_2 대체율에 따른 연소성(0~30%) ····· 38
<표 2.9> Graphite 첨가율에 따른 연소성 ····· 42
<표 2.10> CO_2 대체율에 따른 연소성(35~50%) ····· 48
<표 2.11> Graphite 비틀림 테스트 ····· 50
<표 2.12> 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 연소성 ····· 55
<표 2.13> 발포제 혼합비율에 따른 연소성 ····· 64
<표 2.14> 실험인자 및 수준 ····· 67
<표 2.15> 사용재료 및 제조설비 ····· 68
<표 2.16> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 75
<표 2.17> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 81
<표 2.18> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 87
<표 3.1> CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 98
<표 3.2> Combustibility according to the mixing ratio ····· 117
<표 3.3> 시범적용 현장 개요 ····· 131
<표 3.4> 단열재 시공절차 ····· 133

<표 3.5> 모니터링 평가항목 및 방법 ····· 135
<표 3.6> 판교 알파돔시티 모니터링 결과 ····· 136
<표 3.7> 한국건설기술연구원 건설재료실험동 모니터링 결과 ····· 137
<표 3.8> 국내·외 단열재 관련 품질기준 현황 ····· 138
<표 3.9> KS M 3808과 ISO 4898 비교 ····· 139
<표 3.10> KS M 3808과 ISO 4898 비교 ····· 140
<표 3.11> KS M 3808과 EN 13164 비교 ····· 141
<표 3.12> 유럽 BASF사의 단열재 품질 ····· 144
<표 3.13> 일본 KANEKA사의 단열재 품질 ····· 145
<표 3.14> KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법 ····· 146
<표 3.15> KS M 3808 발포 폴리스티렌 단열재 기준 개정(안) ····· 148
<표 4.1> 연구개발 단열재의 성능비교 ····· 160
<표 4.2> 재료비의 경제적 효과 ····· 161
<표 4.3> 소규모 추가설비 비용산출 내역 ····· 162
<표 5.1> 사업화 추진전략 ····· 166
<표 5.2> 사업화 판매 계획 ····· 167
<표 5.3> 사업화 판매 예상금액 ····· 167

- 그 림 목 차 -

[그림 1.1] CO2 및 HCFC의 비례량 ····· 1
[그림 1.2] 압출발포이론도식 ····· 1
[그림 1.3] 몬트리올의정서 결정사항 ····· 4
[그림 1.4] 국내 HCFCs물질별 소비현황 및 예상량 ····· 4
[그림 1.5] 주요 HFC 소비량(정밀화학산업진흥회) ····· 5
[그림 1.6] HCFCs 규제일정 - 몬트리올의정서(2005년기준) ····· 8
[그림 1.7] 규제에 따른 발포제 변화 추이 ····· 9
[그림 1.8] 국외 발포제 선택시 종합적 고려사항 ····· 9
[그림 1.9] 유럽의 단열재 향상기술 ····· 10
[그림 1.10] 일본 Keneka社 압출기의 원리 ····· 11
[그림 2.1] cell의 구조 및 형성단계 ····· 15
[그림 2.2] 압출기의 주요구성 ····· 17
[그림 2.3] 1차, 2차 압출기요약도 ····· 19
[그림 2.4] CO_2를 대체한 단열재 실험 ····· 20
[그림 2.5] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 50~75㎜) ····· 20
[그림 2.6] CO_2 대체율에 따른 압축강도(두께 50~75㎜) ····· 21
[그림 2.7] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(두께 50~75㎜) ····· 22
[그림 2.8] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(두께 50~75㎜) ····· 23
[그림 2.9] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(두께 50~75㎜) ····· 23
[그림 2.10] CO_2 대체율에 따른 투습계수(두께 50~75㎜) ····· 24
[그림 2.11] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 100~110㎜) ····· 26
[그림 2.12] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 100~110㎜) ····· 26
[그림 2.13] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(두께 100~110㎜) ····· 27
[그림 2.14] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(두께 100~110㎜) ····· 28
[그림 2.15] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(두께 100~110㎜) ····· 28
[그림 2.16] CO_2 대체율에 따른 투습계수(두께 100~110㎜) ····· 29
[그림 2.17] CO_2 대체율에 따른 밀도 ····· 31
[그림 2.18] CO_2 대체율에 따른 압축강도 ····· 31
[그림 2.19] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 32
[그림 2.20] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율 ····· 33

[그림 2.21] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율 ····· 33
[그림 2.22] CO_2 대체율에 따른 투습계수 ····· 34
[그림 2.23] CO_2 대체율에 따른 압축강도 ····· 36
[그림 2.24] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 36
[그림 2.25] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율 ····· 37
[그림 2.26] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율 ····· 37
[그림 2.27] CO_2 대체율에 따른 투습계수 ····· 38
[그림 2.28] Graphite 첨가한 단열재 실험 ····· 39
[그림 2.29] Graphite 첨가율에 따른 압축강도 ····· 40
[그림 2.30] Graphite 첨가율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 40
[그림 2.31] Graphite 첨가율에 따른 초기열전도율 ····· 41
[그림 2.32] Graphite 첨가율에 따른 장기열전도율 ····· 41
[그림 2.33] Graphite 첨가율에 따른 투습계수 ····· 42
[그림 2.34] CO_2 대체율 증가에 따른 문제점 ····· 43
[그림 2.35] Die 보완 전・후 ····· 44
[그림 2.36] CO_2 대체율에 따른 압축강도 ····· 45
[그림 2.37] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 46
[그림 2.38] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율 ····· 46
[그림 2.39] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율 ····· 47
[그림 2.40] CO_2 대체율에 따른 투습계수 ····· 48
[그림 2.41] Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성(비틀림) ····· 50
[그림 2.42] CO_2 대체율 30% 및 CO_2 대체율 30%+Graphite(흑연) 첨가율 5% 비틀림 현상 ····· 50
[그림 2.43] CO_2 대체율 30% 및 CO_2 대체율 30%+Graphite(흑연) 첨가율 5% 비틀림 비교 ····· 51
[그림 2.44] 상압식 압출법 생산공정도 ····· 52
[그림 2.45] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 압축강도 ····· 52
[그림 2.46] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 53
[그림 2.47] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 초기열전도율 ····· 54
[그림 2.48] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 장기열전도율 ····· 54
[그림 2.49] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 투습계수 ····· 55
[그림 2.50] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(가로평균) ····· 57
[그림 2.51] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(세로평균) ····· 57

[그림 2.52] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(전체평균) ····· 58
[그림 2.53] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기 사진 ····· 58
[그림 2.54] 2차압출기 압력변화에 따른 초기열전도율 ····· 59
[그림 2.55] 2차압출기 압력변화에 따른 장기열전도율 ····· 60
[그림 2.56] 혼합비율에 따른 압축강도 ····· 61
[그림 2.57] 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 62
[그림 2.58] 혼합비율에 따른 초기열전도율 ····· 62
[그림 2.59] 혼합비율에 따른 장기열전도율 ····· 63
[그림 2.60] 혼합비율에 따른 투습계수 ····· 64
[그림 2.61] 연구결과에 따른 문제점 개선방안 ····· 65
[그림 2.62] 상압식 압출법 생산공정도 ····· 68
[그림 2.63] 단열재의 SEM 측정 ····· 69
[그림 2.64] 단열재의 열전도율 실험 ····· 70
[그림 2.65] 굴곡파괴하중 실험 ····· 71
[그림 2.66] 압축강도 실험 ····· 71
[그림 2.67] 투습계수 실험 ····· 71
[그림 2.68] 연소성 실험 ····· 71
[그림 2.69] 발포제 혼합비율에 따른 밀도(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 71
[그림 2.70] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 72
[그림 2.71] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 73
[그림 2.72] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 73
[그림 2.73] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 74
[그림 2.74] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 75
[그림 2.75] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi) ····· 76
[그림 2.76] 발포제 혼합비율에 따른 밀도(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 77
[그림 2.77] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도(1차압출기 1,500psi, 2차압출기

850psi) ····· 78
[그림 2.78] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 78
[그림 2.79] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 79
[그림 2.80] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 80
[그림 2.81] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 80
[그림 2.82] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi) ····· 82
[그림 2.83] 발포제 혼합비율에 따른 밀도(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 83
[그림 2.84] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 84
[그림 2.85] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 84
[그림 2.86] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 85
[그림 2.87] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 86
[그림 2.88] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 86
[그림 2.89] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi) ····· 88
[그림 3.1] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(A Type 공정) ····· 93
[그림 3.2] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(A Type 공정) ····· 94
[그림 3.3] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(A Type 공정) ····· 94
[그림 3.4] CO_2 대체율에 따른 압축강도(A Type 공정) ····· 95
[그림 3.5] CO_2 대체율에 따른 투습계수(A Type 공정) ····· 96
[그림 3.6] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(B Type 공정) ····· 97
[그림 3.7] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(B Type 공정) ····· 97
[그림 3.8] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(B Type 공정) ····· 98
[그림 3.9] CO_2 대체율에 따른 압축강도(B Type 공정) ····· 99

[그림 3.10] CO_2 대체율에 따른 투습계수(B Type 공정) ····· 99
[그림 3.11] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(C Type 공정) ····· 100
[그림 3.12] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(C Type 공정) ····· 101
[그림 3.13] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(C Type 공정) ····· 101
[그림 3.14] CO_2 대체율에 따른 압축강도(C Type 공정) ····· 102
[그림 3.15] CO_2 대체율에 따른 투습계수(C Type 공정) ····· 103
[그림 3.16] 흑연 첨가율에 따른 초기열전도율 ····· 104
[그림 3.17] 흑연 첨가율에 따른 장기열전도율 ····· 104
[그림 3.18] 흑연 첨가율에 따른 굴곡파괴하중 ····· 105
[그림 3.19] 흑연 첨가율에 따른 압축강도 ····· 105
[그림 3.20] 흑연 첨가율에 따른 투습계수 ····· 106
[그림 3.21] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 108
[그림 3.22] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 108
[그림 3.23] Flexural failure load according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 109
[그림 3.24] Compressive strength according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 110
[그림 3.25] Moisture permeance according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 111
[그림 3.26] Cell size according to the mixing ratio of CO2 and ethanol ····· 112
(Foaming agent mixing ratio of 25:25:50 %) ····· 112
[그림 3.27] Density according to the mixing ratio ····· 113
[그림 3.28] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio ····· 114
[그림 3.29] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio ····· 115
[그림 3.30] Flexural failure load according to the mixing ratio ····· 115
[그림 3.31] Compressive strength according to the mixing ratio ····· 116
[그림 3.32] Moisture permeance according to the mixing ratio ····· 117
[그림 3.33] Cell size according to the mixing ratio ····· 118
[그림 3.34] According to the mixing ratio cell size ····· 118
[그림 3.35] 표면온도 ····· 125
[그림 3.36] 야외 노출 전・후 ····· 125

[그림 3.37] 연구성과의 기술적 공정 ····· 126
[그림 3.38] 시범적용 현장 조감도 ····· 131
[그림 3.39] 단열재 시공상세도 ····· 132
[그림 3.40] 판교 알파돔시티 시범적용 ····· 134
[그림 3.41] 한국건설기술연구원내 건설재료실험동 ····· 134
[그림 3.42] 판교 알파돔시티 모니터링 ····· 136
[그림 3.43] 한국건설기술연구원 건설재료실험동 모니터링 ····· 137
[그림 3.44] JOURNAL OF CELLULAR PLASTICS Volume 40 (MAY.2004) ····· 145
[그림 3.45] JIS 해설서에 참고 그래프만 제시됨(KS 기준 초과) ····· 146
[그림 3.46] 단열재 성능 비교(예시) ····· 147
[그림 3.47] 2013년 국내 단열재 시장(한국투자증권) ····· 149
[그림 3.48] 국내 단열재 시장 전망(한국투자증권) ····· 150
[그림 3.49] 국외 단열재 시장 전망(Transparency market research) ····· 151
[그림 3.50] 미국의 단열재 시장 전망(Transparency market research) ····· 151

- Contents -

Chapter 1 Overview of Research and Development Task ····· 1

Section 1 Purpose and need of research and development ····· 1

Section 2 Goals of research and development ····· 2

1. Final study goals ····· 2
2. Study goals by year ····· 2
3. Content and scope of research and development in the year (3rd year May 2013 ~ September 2014) ····· 3

Section 3 Status on domestic and foreign technology development ····· 4

1. Status on domestic technology development ····· 4
2. Status on foreign technology development ····· 8
3. Foreign industrial trend ····· 11
4. Domestic and foreign related patents ····· 12

Chapter 2 Contents and Results of Research and Development Performance ····· 14

Section 1 Plan and design to secure insulation performance on environmentally friendly foaming agents ····· 14

Section 2 Review the production process of partial substitution for environmentally friendly foaming agents ····· 16

Section 3 Performance evaluation on insulators using CO_2 as a substitutional foaming agent ····· 19

1. Performance evaluation on 50~75㎜ insulators with CO_2 substitution 19
2. Performance evaluation on 100~110㎜ insulators with CO_2 substitution 25
3. Performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios where maximum conditions are applied ····· 30
4. Performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios for optimal setting ····· 35

5. Performance evaluation on insulators with the addition of graphite · 39

Section 4 Supplementary review on production facilities for improvements on insulator performance ····· 43

1. Review on extruder production processes ····· 43
2. Review supplementation for die production processes ····· 44

Section 5 Performance evaluation on insulators according to CO_2 substitution ratios where optimal conditions are applied ····· 44

1. Experiment overview ····· 44
2. Experiment result and analysis ····· 45

Section 6 Long-term durability review on insulators with the addition of graphite ····· 49

1. Experiment overview ····· 49
2. Experiment result and analysis ····· 49
3. Interim conclusions ····· 51

Section 7 Performance evaluation on insulators according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ····· 51

1. Experiment overview ····· 51
2. Experiment result and analysis ····· 52

Section 8 Cell structure improvement according to pressure variations at the second extruder ····· 56

1. Experiment overview ····· 56
2. Experiment result and analysis ····· 56

Section 9 Performance evaluation where CO_2, subsidiary foaming agent and cell structure improvement technology are applied ····· 60

1. Experiment overview ····· 60
2. Experiment result and analysis ····· 61

Section 10 Improvement plans on problems according to research results ··· 65

Section 11 Performance evaluation on insulators using CO_2 and second subsidiary foaming agent ····· 66

1. Study background and purpose ····· 66
2. Experiment ····· 66
3. Experiment result and analysis ····· 71

Section 12 Conclusions ····· 89

Chapter 3 Final Study Performance and Applied Record ····· 93

Section 1 Major academical study performance ····· 93

1. Study performance on physical properties of insulators using CO_2 as a foaming agent ····· 93
2. Basic study performance on properties of insulators using CO_2 as a foaming agent ····· 107
3. Study performance on physical properties of extrusion insulation plates according to the mixing of foaming agents ····· 113

Section 2 Major technological study performance ····· 119

1. Manufacturing method for extrusion styrene foaming objects without deformation at outdoor exposure with good insulation performance 119
2. Styrene foam with good insulation performance and its manufacturing method using a foaming agent including carbon dioxide ····· 125

Section 3 Demonstrative application and monitoring of extrusion insulators using CO_2 ····· 131

1. Site overview of demonstrative application of extrusion insulators using CO_2 ····· 131
2. Monitoring of demonstrative application of extrusion insulators using CO_2 ····· 135

Section 4 Substantiation on insulators using CO2 as a substitutional foaming agent ····· 138

1. Status on domestic and foreign quality standards relating to insulators 138
2. Reviewn on quality standards and specifications relating to insulators 138

3. Suggestions on insulator specifications (draft) for the use of CO_2 ····· 148

Section 5 Domestic and foreign market outlook on research and development performance ····· 149

1. Market size and outlook on domestic insulators ····· 149
2. Market size and outlook on foreign insulators ····· 150
3. Market entry of research and development performance ····· 152

Chapter 4 Achievement and Effect of Study Goals ····· 153

Section 1 Study goals ····· 153

1. Final study goals ····· 153
2. Study goals by year ····· 153

Section 2 Target points of evaluation ····· 154

Section 3 Achievement of final goals in research and development ····· 155

Section 4 Effect analysis of research and development performance ····· 159

1. Technological aspects ····· 159
2. Economic aspects ····· 160
3. Policy aspects ····· 162

Chapter 5 Use of Research Performance and Need of Additional Study ····· 163

Section 1 Expected performance and derivative effect of study ····· 163

1. Technological aspects ····· 163
2. Environmental aspects ····· 163
3. Economic and industrial aspects ····· 164

Section 2 Plans for future use on study performance ····· 164

1. Research utilization plan ····· 164
2. Utilization of research results ····· 165
3. Commercialization Strategies and plans ····· 166

Section 3 Need of additional study and application to other studies ····· 168

Chapter 6 Reference ····· 169

<Appendix> ····· 172

- Table Contents -

<Table 1.1> Analysis on domestic substitutional materials for foaming agents ····· 6
<Table 1.2> Domestic market outlook on insulator materials (unit: hundred million won) ····· 7
<Table 1.3> KS M 3808 foaming polystyrene (PS) insulators - extrusion insulation plate regulations 8
<Table 1.4> Status on foaming agent substitution in Europe ····· 10
<Table 1.5> Management standards on foaming agent substitution in the U.S. ····· 11
<Table 1.6> World market outlook on insulator materials (unit: hundred million dollars) ····· 12
<Table 1.7> Types of foaming agents for the production of domestic insulators ····· 12
<Table 1.8> Patents of substitution technology for XPS insulator foaming agents ····· 13
<Table 2.1> Properties of representative foaming agents ····· 15
<Table 2.2> Characteristics of extrusion insulators ····· 15
<Table 2.3> Production processes of insulators ····· 18
<Table 2.4> Combustibility according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 24
<Table 2.5> Combustibility according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 29
<Table 2.6> Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios ····· 32
<Table 2.7> Combustibility according to CO_2 substitution ratios (0~39%) ····· 34
<Table 2.8> Combustibility according to CO_2 substitution ratios (0~30%) ····· 38
<Table 2.9> Combustibility according to addition ratios of graphite ····· 42
<Table 2.10> Combustibility according to CO_2 substitution ratios (35~50%) ····· 48
<Table 2.11> Graphite twist test ····· 50
<Table 2.12> Combustibility according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ··· 55
<Table 2.13> Combustibility according to mixing ratios of foaming agents ····· 64
<Table 2.14> Experiment factors and levels ····· 67
<Table 2.15> Materials and manufacturing facilities used ····· 68
<Table 2.16> Combustibility according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 75
<Table 2.17> Combustibility according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 81
<Table 2.18> Combustibility according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 87
<Table 3.1> Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios ····· 98

<Table 3.2> Combustibility according to mixing ratios ····· 117
<Table 3.3> Site overview of demonstrative application ····· 131
<Table 3.4> Construction procedures of insulators ····· 133
<Table 3.5> Monitoring evaluation items and methods ····· 135
<Table 3.6> Monitoring result of Pangyo Alpha Dome City ····· 136
<Table 3.7> Monitoring result of Construction Material Experiment Building, Korea Institute of Construction Technology ····· 137
<Table 3.8> Status on domestic and foreign quality standards relating to insulators ····· 138
<Table 3.9> Comparison KS M 3808 with ISO 4898 ····· 139
<Table 3.10> Comparison KS M 3808 with ISO 4898 ····· 140
<Table 3.11> Comparison KS M 3808 with EN 13164 ····· 141
<Table 3.12> Insulator quality of BASF in Europe ····· 144
<Table 3.13> Insulator quality of KANEKA in Japan ····· 145
<Table 3.14> Thermal conductivity measurement method for KS L 9016 Insulators ····· 146
<Table 3.15> KS M 3808 foaming polystyrene insulators standards revision (draft) ····· 148
<Table 4.1> Performance comparison of R&D Insulation ····· 160
<Table 4.2> Economic effect in material cost ····· 161
<Table 4.3> Small additional equipment costing History ····· 162
<Table 5.1> Commercialization Strategies ····· 166
<Table 5.2> Commercialization sales plan ····· 167
<Table 5.3> Commercialization expected sale price ····· 167

- Figure Contents -

[Figure 1.1] Proportional amount of CO2 and HCFC ····· 1
[Figure 1.2] Diagram of extrusion foaming theory ····· 1
[Figure 1.3] Decisions in Montreal Protocol ····· 4
[Figure 1.4] Consumption and expected quantity by material of domestic HCFCs ····· 4
[Figure 1.5] Major HFC consumption (Korea Specialty Chemical Industry Association) ····· 5
[Figure 1.6] Regulation schedule on HCFCs - Montreal Protocol (as of 2005) ····· 8
[Figure 1.7] Trend on changes according to regulations ····· 9
[Figure 1.8] Overall considerations when foaming agents are selected in foreign countries ····· 9
[Figure 1.9] Improvement technology for insulators in Europe ····· 10
[Figure 1.10] Principle of Keneka's extruders in Japan ····· 11
[Figure 2.1] Cell structure and shaping steps ····· 15
[Figure 2.2] Major components of an extruder ····· 17
[Figure 2.3] Summarized diagram of first and second extruder ····· 19
[Figure 2.4] Experiment on insulators with CO_2 substitution ····· 20
[Figure 2.5] Density according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 20
[Figure 2.6] Compression strength according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 21
[Figure 2.7] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 22
[Figure 2.8] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ·· 23
[Figure 2.9] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 23
[Figure 2.10] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios (thickness 50~75㎜) ····· 24
[Figure 2.11] Density according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 26
[Figure 2.12] Density according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 26
[Figure 2.13] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) · 27
[Figure 2.14] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 28
[Figure 2.15] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 28
[Figure 2.16] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios (thickness 100~110㎜) ····· 29

[Figure 2.17] Density according to CO_2 substitution ratios ····· 20
[Figure 2.18] Compression strength according to CO_2 substitution ratios ····· 20
[Figure 2.19] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios ····· 32
[Figure 2.20] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 33
[Figure 2.21] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 33
[Figure 2.22] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios ····· 34
[Figure 2.23] Compression strength according to CO_2 substitution ratios ····· 36
[Figure 2.24] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios ····· 36
[Figure 2.25] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 37
[Figure 2.26] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 37
[Figure 2.27] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios ····· 38
[Figure 2.28] Experiment on insulators with the addition of graphite ····· 39
[Figure 2.29] Compression strength according to graphite addition ratios ····· 40
[Figure 2.30] Flexural destruction load according to graphite addition ratios ····· 40
[Figure 2.31] Initial thermal conductivity according to graphite addition ratios ····· 41
[Figure 2.32] Long-term thermal conductivity according to graphite addition ratios ····· 41
[Figure 2.33] Moisture permeance according to graphite addition ratios ····· 42
[Figure 2.34] Problems according to increasing CO_2 substitution ratios ····· 43
[Figure 2.35] Before and after die supplementation ····· 44
[Figure 2.36] Compression strength according to CO_2 substitution ratios ····· 45
[Figure 2.37] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios ····· 46
[Figure 2.38] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 46
[Figure 2.39] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios ····· 47
[Figure 2.40] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios ····· 48
[Figure 2.41] Long-term durability review on insulators with the addition of graphite (twist) ····· 50
[Figure 2.42] Twist with 30% CO_2 substitution ratio and 30% CO_2 substitution ratio + 5% graphite addition ratio ····· 50
[Figure 2.43] Twist comparisons of 30% CO_2 substitution ratio with 30% CO_2 substitution ratio + 5% graphite addition ratio ····· 51
[Figure 2.44] Production process diagram of the upper pressure extrusion ····· 52
[Figure 2.45] Compression strength according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ····· 52
[Figure 2.46] Flexural destruction load according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent

(ethanol) ····· 53
[Figure 2.47] Initial thermal conductivity according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ····· 54
[Figure 2.48] Long-term thermal conductivity according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ····· 54
[Figure 2.49] Moisture permeance according to mixing ratios of a subsidiary foaming agent (ethanol) ····· 55
[Figure 2.50] Cell size according to pressure variations in the second extruder (horizontal average) ····· 57
[Figure 2.51] Cell size according to pressure variations in the second extruder (vertical average) ·· 57
[Figure 2.52] Cell size according to pressure variations in the second extruder (overall average) ·· 58
[Figure 2.53] Photo of cell size according to pressure variations in the second extruder ····· 58
[Figure 2.54] Initial thermal conductivity according to pressure variations in the second extruder · 59
[Figure 2.55] Long-term thermal conductivity according to pressure variations in the second extruder ····· 60
[Figure 2.56] Compression strength according to mixing ratios ····· 61
[Figure 2.57] Flexural destruction load according to mixing ratios ····· 62
[Figure 2.58] Initial thermal conductivity according to mixing ratios ····· 62
[Figure 2.59] Long-term thermal conductivity according to mixing ratios ····· 63
[Figure 2.60] Moisture permeance according to mixing ratios ····· 64
[Figure 2.61] Improvement plans on problems according to research results ····· 65
[Figure 2.62] Production process diagram of the upper pressure extrusion ····· 68
[Figure 2.63] SEM measurement on insulators ····· 69
[Figure 2.64] Thermal conductivity experiments on insulators ····· 70
[Figure 2.65] Flexural destruction load experiments ····· 71
[Figure 2.66] Compression strength experiments ····· 71
[Figure 2.67] Moisture permeance experiments ····· 71
[Figure 2.68] Combustibility experiments ····· 71
[Figure 2.69] Density according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 71
[Figure 2.70] Compression strength according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 72
[Figure 2.71] Flexural destruction load according to mixing ratios of foaming agents (first extruder

1,400psi, second extruder 750psi) ····· 73
[Figure 2.72] Initial thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 73
[Figure 2.73] Long-term thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 74
[Figure 2.74] Moisture permeance according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 75
[Figure 2.75] Cell size according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,400psi, second extruder 750psi) ····· 76
[Figure 2.76] Density according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 77
[Figure 2.77] Compression strength according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 78
[Figure 2.78] Flexural destruction load according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 78
[Figure 2.79] Initial thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 79
[Figure 2.80] Long-term thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 80
[Figure 2.81] Moisture permeance according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 80
[Figure 2.82] Cell size according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,500psi, second extruder 850psi) ····· 82
[Figure 2.83] Density according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 83
[Figure 2.84] Compression strength according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 84
[Figure 2.85] Flexural destruction load according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 84
[Figure 2.86] Initial thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 85
[Figure 2.87] Long-term, thermal conductivity according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 86

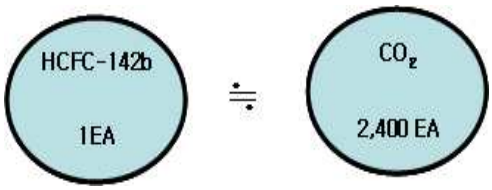
[Figure 2.88] Moisture permeance according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 86
[Figure 2.89] Cell size according to mixing ratios of foaming agents (first extruder 1,600psi, second extruder 950psi) ····· 88
[Figure 3.1] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (A Type process) ····· 93
[Figure 3.2] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (A Type process) 94
[Figure 3.3] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios (A Type process) ····· 94
[Figure 3.4] Compression strength according to CO_2 substitution ratios (A Type process) ····· 95
[Figure 3.5] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios (A Type process) ····· 96
[Figure 3.6] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (B Type process) ····· 97
[Figure 3.7] Long-term, thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (B Type process) 97
[Figure 3.8] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios (B Type process) ····· 98
[Figure 3.9] Compression strength according to CO_2 substitution ratios (B Type process) ····· 99
[Figure 3.10] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios (B Type process) ····· 99
[Figure 3.11] Initial thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (C Type process) ·· 100
[Figure 3.12] Long-term thermal conductivity according to CO_2 substitution ratios (C Type process) ····· 101
[Figure 3.13] Flexural destruction load according to CO_2 substitution ratios (C Type process) ····· 101
[Figure 3.14] Compression strength according to CO_2 substitution ratios (C Type process) ····· 102
[Figure 3.15] Moisture permeance according to CO_2 substitution ratios (C Type process) ····· 103
[Figure 3.16] Initial thermal conductivity according to graphite addition ratios ····· 104
[Figure 3.17] Long-term thermal conductivity according to graphite addition ratios ····· 104
[Figure 3.18] Flexural destruction load according to graphite addition ratios ····· 105
[Figure 3.19] Compression strength according to graphite addition ratios ····· 105
[Figure 3.20] Moisture permeance according to graphite addition ratios ····· 106
[Figure 3.21] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 108
[Figure 3.22] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol 108
[Figure 3.23] Flexural failure load according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 109
[Figure 3.24] Compressive strength according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 110
[Figure 3.25] Moisture permeance according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol ····· 111
[Figure 3.26] Cell size according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol (Foaming agent mixing ratio of 25:25:50 %) ····· 112
[Figure 3.27] Density according to the mixing ratio ····· 113

[Figure 3.28] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio ····· 114
[Figure 3.29] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio ····· 115
[Figure 3.30] Flexural failure load according to the mixing ratio ····· 115
[Figure 3.31] Compressive strength according to the mixing ratio ····· 116
[Figure 3.32] Moisture permeance according to the mixing ratio ····· 117
[Figure 3.33] Cell size according to the mixing ratio ····· 118
[Figure 3.34] According to the mixing ratio cell size ····· 118
[Figure 3.35] Surface temperature ····· 125
[Figure 3.36] Before and after outdoor exposure ····· 125
[Figure 3.37] Technological processes in study performance ····· 126
[Figure 3.38] Site view on demonstrative application ····· 131
[Figure 3.39] Detail drawings on insulators ····· 132
[Figure 3.40] Demonstrative application to Pangyo Alpha Dome City ····· 134
[Figure 3.41] Detail drawings on Construction Material Experiment Building, Korea Institute of Construction Technology ····· 134
[Figure 3.42] Monitoring on Pangyo Alpha Dome City ····· 136
[Figure 3.43] Monitoring result on Construction Material Experiment Building, Korea Institute of Construction Technology ····· 137
[Figure 3.44] JOURNAL OF CELLULAR PLASTICS Volume 40 (MAY.2004) ····· 145
[Figure 3.45] Only reference graphs are suggested in JIS Descriptions (exceeding KS standards) ·· 146
[Figure 3.46] Performance comparisons of insulators (examples) ····· 147
[Figure 3.47] Domestic insulators market in 2013 (Korea Investment Securities) ····· 149
[Figure 3.48] Outlook on domestic insulator market (Korea Investment Securities) ····· 150
[Figure 3.49] Outlook on foreign insulator market (Transparency market research) ····· 151
[Figure 3.50] Outlook on insulator market in the U.S. (Transparency market research) ····· 151

제1장 연구개발과제 개요

제1절 연구개발의 목적 및 필요성

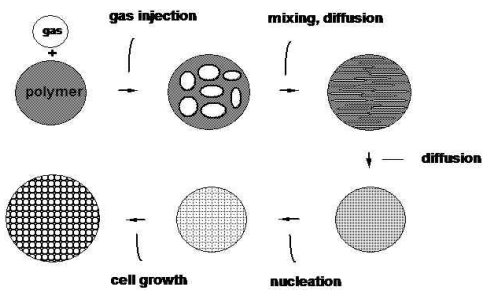
수소염화불화탄소(hydro chloro fluoro carbon, HCFC)는 몬트리올의정서 근거에 의한 환경규제대상인 오존파괴물질이며, 개발도상국에 속한 한국은 2013년부터 단계적으로 사용제한하고 2030년까지 사용금지 된다. 또한 도쿄의정서 근거에 HCFC는 탄소저감형 건축재료에 취약 규제대상이며, HCFC는 GWP(온난화지수)가 CO_2=1 기준으로 1,700～2,400배로 매우 높다.



[그림 1.1] CO_2 및 HCFC의 비례량

국내의 경우 압출법 폴리스티렌 단열재의 발포제인 HCFC를 100%로 사용하여 생산되고 있으며, 증가하고 있는 추세이다. 이에 친환경발포제를 사용한 압출법 폼 기술개발 필요한 실정이다.

앞선 규제를 받은 선진국인 유럽, 일본 등은 환경변화대책방안으로 친환경발포제(이산화탄소, 탄화수소류)를 대체해 시장을 형성하고 있는 실정이며, 단열재의 고성능 방안으로 다양한 첨가제를 적용한 기술개발과 Cell size 구조개선 기술개발이 진행되고 있다.



[그림 1.2] 압출발포이론도식

친환경발포제로 사용하는 CO_2 가스는 발전소, 제철소 등의 부산물이며, HCFC 대비 가격이 약 1/20 이하정도이며, 사용량은 1/2이하 수준으로 경제성은 높으나 CO_2를 발포제로 사용하기 위해서는 높은 압력이 요구되며, 원천적으로 설비교체 및 생산기술개발이 필요하다. CO_2는 열전도율에 대한 성능효과가 저조하며 압출기 공정에서 재료적 혼합이 어려운 단점이 있다.

이에 고성능단열재로 유지 또는 높이기 위해 앞선기술로 Graphite재료를 적용기술개발 및 Cell size micro화 기술개발 확보가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 발포제 대체 CO_2 활용을 위하여 CO_2 대체율에 따른 압출법 단열재의 물리적 성질을 검토·분석하고 첨가제의 혼합비율에 따른 단열재의 열전도율에 대한 특성을 검토하므로써 CO_2를 이용한 단열재의 성능평가를 통해 적용방안을 제시하여 압출법 단열재의 발포제 등으로 활용하는데 연구의 목적이 있다.

제2절 연구개발의 목표

1. 최종 연구목표

본 연구의 최종목표는 발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 연구의 일환으로 세부적으로는 친환경발포제를 100% 사용 단열성 현재 성능확보(장기 열전도율 0.030 W/mK 이상유지 : 압출법 1호 기준, Graphite등 활용한 고성능단열재제품 : 단열성능 7%향상)과 친환경 고성능단열재를 사용한 정책제안(규격제개정 : 친환경발포제 사용의무화), 친환경상품 인증기준 제안 등을 하는 연구로서 이를 통한 국내 단열재 발포재료를 CO_2 등의 친환경 발포제를 활용하여 건설재료서 활용할 수 있게 기여함을 최종목표로 설정하였다.

2. 연차별 연구목표

최종목표를 달성하기 위하여 진행한 연차별 연구목표는 다음과 같다.

가. 1차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 단열성 확보방안 설계 및 부분대체

- 친환경 발포제 control기술확보
- 기존발포제를 일부(최대30%)대체 특성파악 및 COST DOWN

(2) Graphite 등 첨가재를 사용 단열성능 향상 기술개발

- 시제품생산(친환경발포제제품+Graphite제품결합)

나. 2차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 완전대체기술확보

- primary 압출기 설계
- 보조발포제투입으로 투입량향상

(2) 발포 cell structure 개선을 통한 단열성능 향상 기술개발 (5% 이상)

- TEST BED를 통한 성능확인(친환경발포제+Graphite+Cell size개선제품)
- 설비보완

다. 3차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화

- 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화
- 친환경발포제를 50% 사용 단열성 현재 성능이상

(2) 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제시

3. 당해연도(3차년도 2013.05～2014.09) 연구개발의 내용 및 범위

최종목표를 달성하기 위하여 진행한 3차년도 연구개발의 내용 및 범위는 다음과 같다.

가. 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화

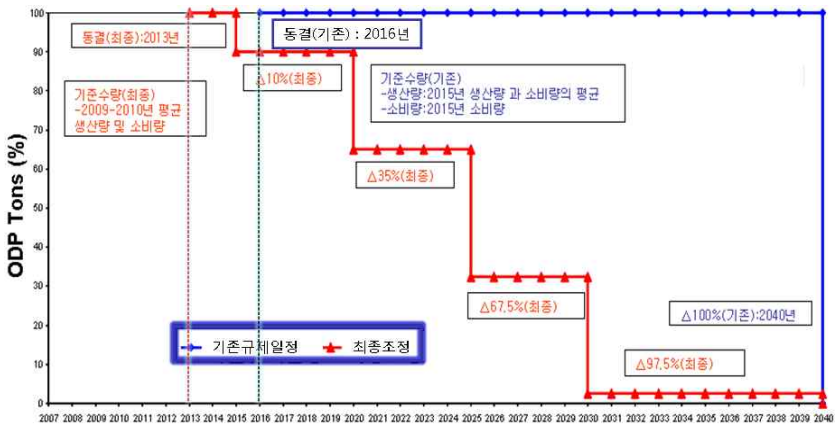
나. 친환경발포제를 50% 사용 단열성 현재 성능이상

다. 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제시

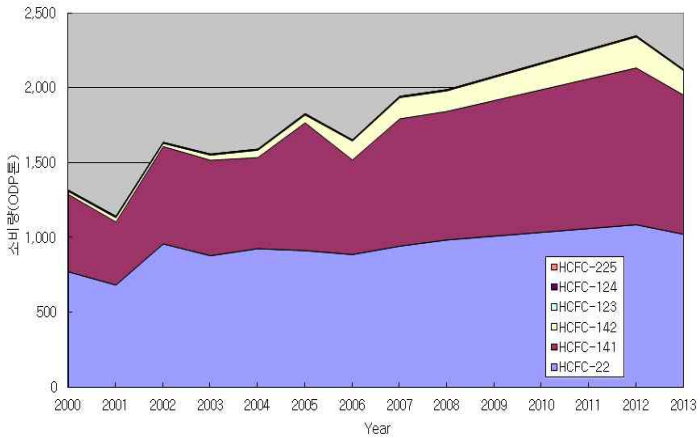
제3절 국내·외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

HCFC 개발도상국 전폐 Schedule(한국포함)은 제19차 몬트리올의정서 당사국 총회 결정사항 XIX/6 (Decision XIX/6)에 따른 조기전폐(Accelerated phase-out) 합의하였다.

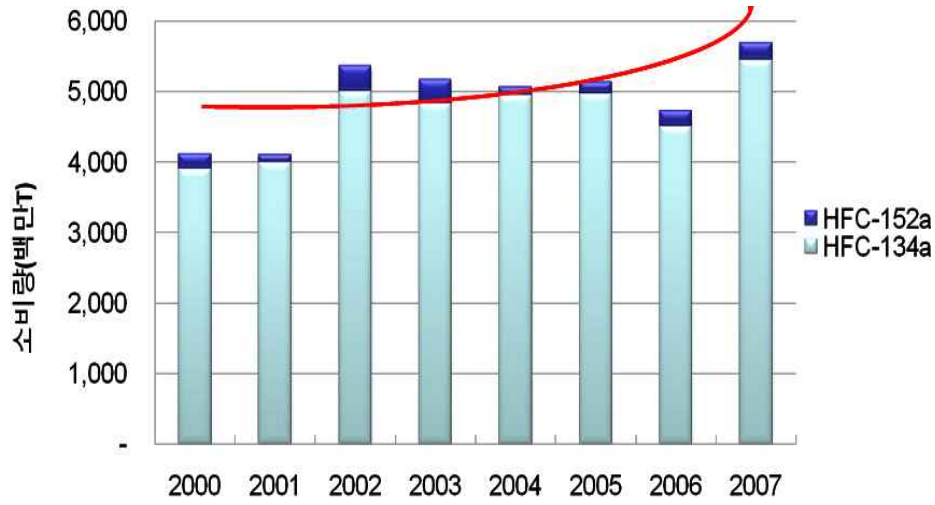


[그림 1.3] 몬트리올의정서 결정사항



[그림 1.4] 국내 HCFCs물질별 소비현황 및 예상량

몬트리올의정서에 따른 CFCs와 HCFCs 규제에 따라 이들 물질의 대체물질로 사용되는 HFCs 소비량은 매년 증가하고 있는 추세이다.



[그림 1.5] 주요 HFC 소비량(정밀화학산업진흥회)

HFCs의 사용이나 대기중 방출과 관련된 규제는 없으나, 향후 지구 온난화 방지를 위해 불소화합물 가스(CFCs, HCFCs, HFCs)의 대기 중 방출을 억제키 위한 방안들이 고려되고 있다.

HCFCs에 대한 지식경제부의 활동은 몬트리올의정서 국내 이행 업무를 담당, HCFCs 전폐 관리 전략 준비 중, 2009년 말 확정되었다. 단기적 전략으로는 2013년 소비량 동결조치, 2015년 소비량 10%로 감축 목표로 전략하였으며, 중장기적 전략으로는 HCFCs 전폐 위해 HCFCs 규제조치 이행 위한 연간 국내 HCFCs 소비량 한도/Quota 배정방식, 제조 또는 수입되는 HCFCs에 대한 부담금 부과, 상대적 ODP가 높은 HCFC-22, HCFC-141B, HCFC-142B 우선 전폐(생산 및 수입을 2020년 또는 2025년부터 금지하는 방안), 국내 HCFCs 소비량 중 80% 이상을 차지하는 R-22 냉매의 전폐 이후 수요 발생 억제를 위해 2020년 또는 2025년부터 R-22 사용 냉동공조기의 생산 및 수입금지 방안 등의 조치 사항으로 검토되었다.

현재 국내의 경우는 발포제 대체 기술 미비하고 대체발포제 검토단계에 있으며, HCFC의 대체로 HFC / HC / CO_2가 유력하다.

<표 1.1> 국내의 발포제 대체재료 분석

발포제명	내용
CO_2	설비투자의 문제와 발포제가 제품에서 며칠 내로 치환되므로 초기열전도율 값과 장기열전도율 값의 구분이 무의미해짐
HFC	구매단가가 높고 설비 교체의 문제가 있으며, GWP가 높아 향후 문제 소지 있음
HC (Hydrocarbons)	발포제로 가능한 HC는 방폭설비가 필요함
비고	향후 문제가 있는 HFC를 제외하면 HC와 CO_2가 남고 대체설비금액비교와 향후 품질개선가능성 여부를 판단한 Master Plan이 필요

국내 기술은 벽산에서 단열성이 우수한 압출 스티렌 폼 제조방법 개발하였으며, 주원료인 폴리스티렌수지에 흑연분말, 난연제, 조핵제를 압출기에 투입하고, 용융한 다음 발포제를 투입하여 압출하는 방법으로 단열성이 우수한 압출 스티렌 폼을 제조하는 기술로서 구성은 폴리스티렌수지 중량대비 흑연분말 0.1~5% 중량, 난연제는 브롬계로 HBCD 1~5% 중량, 조핵제 0.3~4% 중량을 압출기에 투입하여 180~240℃에서 용융, 이에 발포제 3~15% 중량을 투입하여 100~140℃ 에서 압출하는 기술을 개발하였음. 또한 대우전자에서는 폴리우레탄 발포방법 기술로 냉장고용 단열재로 사용되는 폴리우레탄의 발포제로서 물이 첨가되어 혼합물로 이루어지는 반응기질인 폴리올(polyol)과 폴리올에 포화되는 반송가스 이산화탄소(CO_2), 질소(N_2), 아르곤(Ar), 네온(Ne), 헬륨(He) 등으로 구성되는 가스에서 선택된 어느 하나로 구성되는 것을 특징으로 하는 폴리우레탄의 발포제 재료기술을 개발하였음.

가. 국내 산업동향

발포 폴리스티렌 단열재(압출법 단열판) 생산시 혼합재료인 HCFC(염화불화탄소) 발포제를 사용하여 생산하고 있으며, 몬트리올의정서에 근거에 오존파괴물질로 규정 개발도상국인 한국은 2013년부터 연차적으로 사용제한, 2030년까지 사용금지 된

다.

발포제 대체와 별도로 단열향상 기술로 Graphite를 활용한 EPS(스치로폴)제품이 기술 수입(독일 BASF社 상품명"네오폴") 시장을 확대하고 있고 XPS 업체로서 벽산이 Graphite활용한 XPS 제품 제조기술을 보유하고 있다.

국내 단열재 시장은 유기단열재 70% 수준, 무기단열재 규모가 30% 수준이며, 국내 XPS 단열재 시장규모는 2009년 기준으로 30,000Ton (약 1,000억원), 향후, 에너지 절감정책에 따라 건축물의 단열기준이 강화될 것으로 예상된다(2001년 20% → 2010년 30% 강화).

<표 1.2> 단열재료 국내시장 전망

(단위 : 억원)

구분	2015	2020	2030
PC 단열벽체[1)]	180	300	350
외단열시스템[2)]	1,000	1,200	1,500
단열재[3)]	7,463	8,240	10,044
계	8,643	9,740	11,894

※ 1), 2) 업체 제시자료

3)"건축자재 시장분석 및 전망", 화학경제연구원(2008년), 국내 2%씩 성장으로 가정

나. 국내 단열재 규정현황

현재 국내의 단열재 성능기준은 KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 단열판에서 규정하고 있으며, KS시험방법은 열전도율(초기, 장기), 압축강도, 굴곡파괴하중, 연소성, 투습계수 등이 있다.

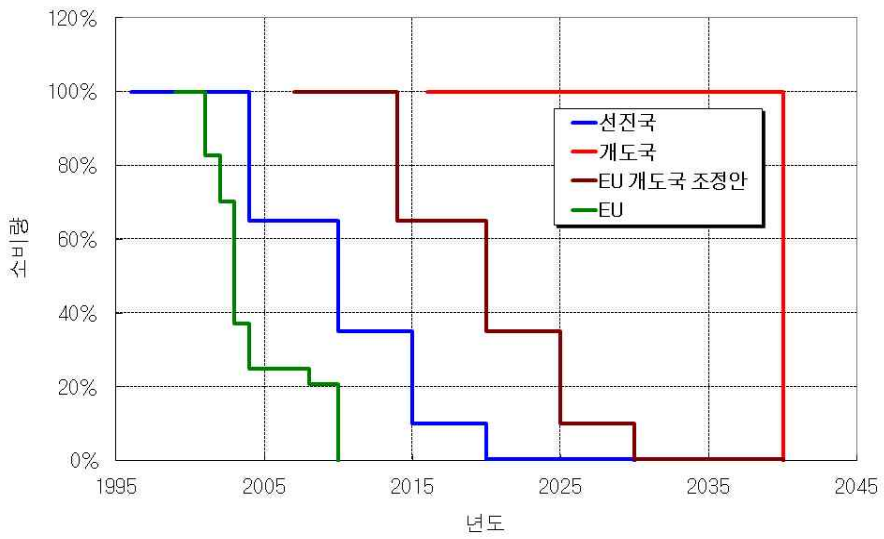
최근 개정된 열전도율은 장기열전도율이 추가되어 있는데 25년간 열전도율 평균치를 갖게 하기 위한 제품의 발포제 영향을 최소화하기 위해 두께를 10㎜로 켜 90일 상온보관 10㎜를 겹쳐 열전도율을 테스트하고 있다. 하지만 발포제의 재료로서 별도의 KS기준 설정이 없는 실정이다.

<표 1.3> KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재 - 압출법 단열판 규정

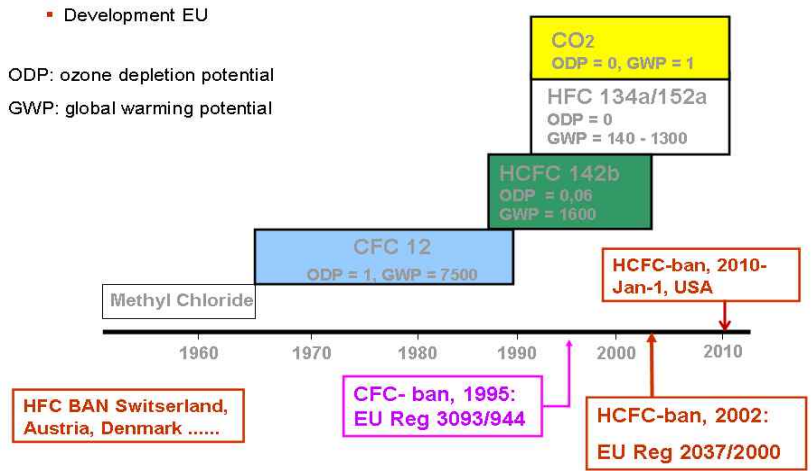
항목		기준				KS시험규격
		특호	1호	2호	3호	
열전도율 [평균온도 (23±2)℃] (W/m・K)	초기	0.027 이하	0.028 이하	0.029 이하	0.031 이하	KS L 9016
	장기	0.029 이하	0.030 이하	0.031 이하	0.033 이하	KS M ISO 11561
굴곡파괴하중(N)		45 이상	35이상			KS M ISO 1209-1, KS M ISO 4898
압축강도(N/㎠)		25 이상	18 이상	14 이상	10 이상	KS M ISO 844
연소성		연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하				KS M ISO 9772
투습계수 (두께 25㎜당) (ng/㎡・s・Pa)		146이하				KS M 3808

2. 국외 기술개발 현황

선진국 기준수량은 1989년 HCFC 소비량 + 1989년 CFC 소비량의 2.8%로 수준이며, EU 기준수량 또한 1989년 HCFC 소비량 + 1989년 CFC 소비량의 2.6%(8,079 ODP톤)로 수준이다.



[그림 1.6] HCFCs 규제일정 - 몬트리올의정서(2005년기준)



[그림 1.7] 규제에 따른 발포제 변화 추이

	Sustainability (환경측면)	Cost (비용)	Safety (폭발성)	R-value (단열성)	Blowing Power (발포력)	Solubility (용해성)	Processability (작업난이성)
Best Performance	CO2/H2O	H2O	CO2	?	HC	HC	HC
		CO2	H2O	CFC	CO2	Alcohol	Alcohol
		HC/ Alcohol	HFC134a		Alcohol		H2O
Base line	HFC	HCFC	HCFC	HCFC	HCFC	HCFC	HCFC
				HFC		HFC152a	HFC152a
	HCFC				HFC		
			HFC152a		H2O	HFC134a	HFC134a
		HFC	Alcohol				
				Alcohol		CO2	CO2
Worst Performance	CFC		HC	CO2/H2O		H2O	

[그림 1.8] 국외 발포제 선택시 종합적 고려사항

가. 유럽

유럽은 HCFC 대체로 HFC, CO_2 재료로 단계적 개발예정에 있으며, HFC는 재료비 및 설비교체비 등으로 인한 경제성에 문제가 있는 것으로 검토되었다.

HC는 적정한 대체 발포제이지만 방폭설비가 추가필요하여 검토 중에 있다. 발포제 대체를 CO_2를 사용하면 가장 저렴하고 친환경적인 발포제이며, 설비투자가 이루어져야 한다고 분석하였다.

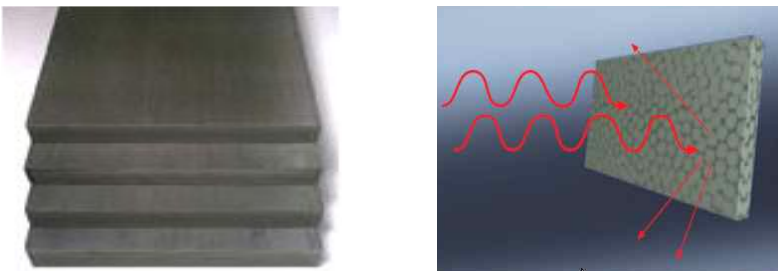
단열재의 고단열성능은 Graphite, carbon black를 사용하여 열전달을 복사열을

흡수 또는 반사 단열성을 높였다(BASF, Dow, Owenscorning).

독일은 BASF사에서는 탄소 입자를 함유하는 발포성 스티렌 중합체기술로서 흑연 입자 또는 카본블랙 입자 및 발포제로서 2.2~6% 중량의 펜탄 및 1~10% 중량의 물을 함유하는 EPS 입자에 관한 기술이다. 또한 그래파이트 입자를 포함하는 발포성 스티렌 중합체 기술을 개발하였으며, 평균 입자 크기가 5㎛ 보다 큰 그래파이트 입자를 포함하는 입상의 발포성 스티렌 중합체, 수성 현탁액 중에서 자유 라디칼 중합에 의한 상기 스티렌 중합체의 제조기술(스티렌에 현탁된 그래파이트 입자는 10~100%로 중합 혼합물에 첨가)을 개발하였다.

<표 1.4> 유럽의 발포제 대체현황

회사명	발포제 대체 재료
BASF	Air as cell gas (CO_2 + organic solvents)
DOW	Air as cell gas (SL-A), co-blown with 134a (SL-X)
Jackon	Air as cell gas (KF), co-blown with 152a (CFR)
URSA	Air as cell gas
Knauf	Air as cell gas, co-blown with 152a
Austrotherm	Air as cell gas



(a) carbon black 적용 /Qwenscorning社-XPS　　(b) Graphite 적용/BASF社-EPS

[그림 1.9] 유럽의 단열재 향상기술

나. 미국

미국은 SNAP (Significant New Alternatives Policy Program) 프로그램으로 관리하고 있으며, SNAP내 대체물질승인요건과 승인된 대체 재료로 구분관리하고 있다.

미국 오웬스코닝사의 경우, 압출 발포제의 제조 방법을 개발하였으며, 낮은 용융

지수를 갖는 다량의 스티렌 중합체 등 높은 용융 지수를 갖는 소량의 스티렌 중합체 및 50% 중량 초과의 이산화탄소를 포함하는 발포제의 발포성 혼합물을 700 내지 4,500 psia의 압력하에 혼합물을 감압 영역 내로 발포시켜 발포 제품을 형성시키는 제조기술 보유하고 있다.

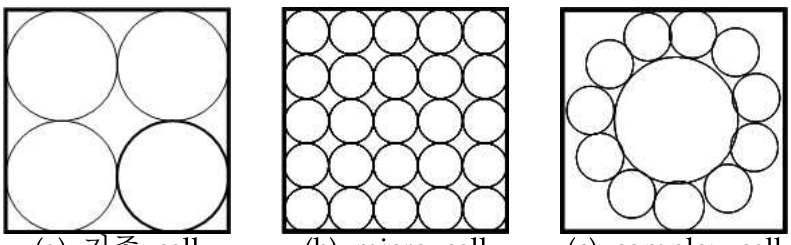
<표 1.5> 미국의 발포제 대체 관리기준

구분	발포제 대체 재료
대체물질승인요건	ODP, GWP, Toxicity, Flammability, Other Environmental Impacts
승인된 Low-GWP	Water, CO_2, HFO-1234ze(E), HC(Hydrocarbons), Methyl Formate

다. 일본

일본은 탄화수소류를 적용하여 제품내 cell structure 개선 통한 고성능단열재기술을 개발하였으며, cell size을 작게 또는 효율적인 cell 구성으로 열전달 중 복사, 대류를 작게 해 단열성을 확보하였다.

일본 KANEKA사에서는 탄화수소계(HC류)를 주로 발포제로 사용하고 있으며, 탄화수소발포와 셀사이즈를 조정하는 기술개발을 하였다(탄화수소류를 발포하므로 난연성 보완기술도 발달되어 있음).



(a) 기존 cell (b) micro cell (c) complex cell

[그림 1.10] 일본 Keneka社 압출기의 원리

3. 국외 산업동향

국외 단열재료 시장은 연간 약 360억불 정도의 규모를 지니고 있으며, 건축물에 적용되는 단열재의 경우, 화재 및 인체 유해성으로 인해 90% 이상이 무기질 단열재를 적용하고 있는 것으로 추정된다.

<표 1.6> 단열재료 세계 시장전망(단위 : 억$)

항목	2010	2015	2020	2030
단열재료	549	1,155	2,403	10,390

※ EURIMA(European Insulation Manufacture Association)

세계적으로 주택의 에너지 절감 및 탄소배출 억제를 위하여 단열성능을 향상시킨 건설을 유도하고 있어 향후 단열재료 시장은 지속적으로 확대될 것으로 판단되며, 외국의 xps 단열재 생산을 위한 발포제는 지구온난화에 비교적 해가 되지 않는 가스를 사용하고 있음.

<표 1.7> 국외 단열재 생산용 발포제 종류

지역구분	업체명	발포제	친환경여부	
			ODP[1)]	GWP[2)]
EU	Dow	HFC계열	O	X
		CO_2계열	O	O
	BASF	HFC계열	O	X
		CO_2계열	O	O
	Knauf	HFC계열	O	X
일본	Kaneka	Iso-Butane	O	O
미국	Owens corning	HFC계열	O	X

※ 1) ODP -Ozone Delpetion Potention (오존층 파괴 지수) : 몬트리올 의정서 규제

2) GWP -Global Warming Potential (지구 온난화 지수) : 교토 의정서 규제

4. 국내・외 관련특허 현황

XPS단열재 대체 발포제 기술 관련 주요 출원인으로는 KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD, KANEKA CORP 등 일본에서 출원한 것으로 파악되었으며 KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD은 발포제의 종류를 변화시키면서 다양한 특허 출원을 진행하고 있는 것으로 분석되었다. 즉 JP 20020146088에서는 3-5C의

포환 탄화수소를, JP20030261706에서는 이산화탄소와 3-5C의 포환 탄화수소의 혼합한 물질을, JP20040182784에서는 물을(단 XPS에는 제올라이트 입자가 포함됨) 및 JP20040331698에서는 Dimethyl ether, diethyl ether, methyl ethyl ether, methyl chloride, and ethyl chloride중 1종을 선택하고 이를 3-5C의 포환 탄화수소와 혼합하여서 된 발포제를 이용한 XPS 및 그 제조방법에 관한 기술을 보유하고 있는 것으로 분석되었다.

KANEKA CORP는 20060124577에서는 수분산제(벤토나이트, 흡수성 고분자화합물, 다공질 무기물, 실라놀기를 갖는 무수 실리카 군 중에서 선택된 1종 이상), 150도 이상에서 이산화탄소 및 물을 발생하는 분해성 화합물을 함유하고, 여기에 발포제로 물, 에테르 및 C3-15의 포화탄화수소를 발포제로 공유시켜서 된 압출 발포체 관련 특허 기술을 출원 공개하였다.

<표 1.8> XPS 단열재 발포제 대체 기술의 특허 현황

No.	공개(등록)번호	출원일자	출원인(정비)	발명의 명칭
1	JP20020146088	20001110	KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD	COATED MATERIAL OF STYRENIC RESIN FOAM
2	JP20030012848	20010629	JSP CORP	PRODUCTION METHOD FOR POLYSTYRENE-RESIN EXTRUDED FOAMED SHEET AND POLYSTYRENE-RESIN EXTRUDED FOAMED SHEET
3	JP20030261706	20020308	KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD	STYRENE-BASED RESIN EXTRUDED FOAM AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME
4	JP20040182784	20021129	KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD	STYRENIC RESIN EXTRUDED FOAM AND ITS MANUFACTURING METHOD
5	JP20040331698	20030430	KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD	STYRENIC RESIN FOAM AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR
6	JP20050314610	20040430	KANEKA CORP	EXTRUDED STYRENE-BASED RESIN FOAM AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME
7	JP20060124577	20041029	KANEKA CORP	METHOD FOR PRODUCING STYRENIC RESIN EXTRUDED FOAM
8	JP20070153964	20051201	KANEKA CORP	METHOD FOR MANUFACTURING STYRENIC RESIN EXTRUDED FOAM
9	KR100734921	20061128	김충엽	유연성 단열구조
10	KR100750626	20061229	주식회사 벽산	단열성이 우수한 압출 스티렌 폼 제조방법
11	JP20080274115	20070427	KANEKA CORP	STYRENIC RESIN EXTRUDED FOAM AND ITS MANUFACTURING METHOD
12	JP20090298850	20080610	KANEKA CORP	METHOD FOR PRODUCING STYRENEBASED RESINEXTRUDED FOAM MATERIAL
13	KR1020090048432	20090105	오웬스-코닝 인텔렉츄얼 캐피탈 엘엘씨	다기능성 층 나노 그래파이트를 함유하는 폴리머 발포체

제2장 연구개발 수행 내용 및 결과

제1절 친환경발포제 단열성 확보방안 설계

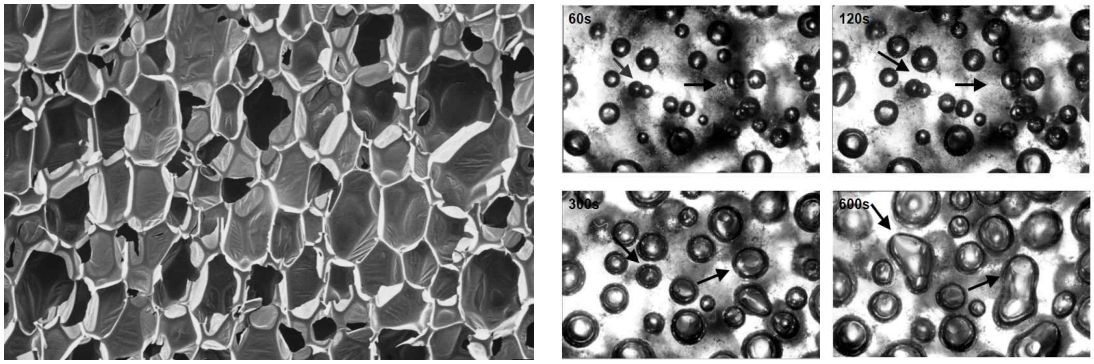
아이소핑크 재료에는 GPPS(General of purpose polystyrene)와 발포제(CFC12 92년까지 사용하고 현재 HCFC 142b/22(6/4) 혼합사용) 및 기타 첨가제로 자기소화성을 갖도록 HBCD를 첨가하고, 발포시 Cell size를 작고 균일하게 하기 위해 talc(5-10㎛)첨가하고, 제품의 색상을 위해 색소 첨가, 기타 열안정제를 사용하고 있다.

발포제는 자체적으로 고유 특성인 발포제 역할과 자체의 낮은 열전도율로 인한 제품잔류시 단열성을 높여주는 역할도 있으며, 기존 HCFC도 시간이 경과함에 따라 대기중으로 확산되고 상대적으로 열전도율이 높은 대기 중에 있는 공기도 제품내로 확산되어 시간이 경과됨에 따라 제품자체가 열전도율 높아지고, 강도는 점점 상승하는 제품특성을 갖고 있다.

CO_2 경우는 활성이 크므로 열전도율을 낮추어주는 역할이 거의 없어 단기간에 열전도율이 높아지고 경시변화가 없다. 이와 같은 문제로 열전도율을 낮추기 위해 Graphite를 사용하고 Cell size를 작게하여 열전달현상(전도, 대류, 복사)을 감소시키는 관점으로 검토하였다. 열전도율 결정요소는 다음과 같다.

※ $\lambda F = \lambda P + \lambda G + \lambda R + \lambda C$

- λP = cell 구조물의 열전도(heat conduction of the cell framework)
- λG = cell 내의 가스열전도(heat conduction of the cell gas)
- λR = 복사 열전달(heat transfer through radiation)
- λC = 대류 열전달(heat transfer through convection)



(a) cell 구조 (b) cell 형성단계

[그림 2.1] cell의 구조 및 형성단계

<표 2.1> 대표적인 발포제의 물성

발포제	HCFC-142b	HFC-134a	HFC-152a	Isobutane	CO_2
구조식	CH3CClF2	CH2FCF3	CH3CHF2	C4H10	CO_2
분자량	100	102	66	58.1	44
끓은점	-10	-27	-25	-11.7	-139
Flammability Limit Vol%	6.7-14.9	-	3.9-16.9	1.8-8.4	-
ODP	0.065	0	0	0	0
GWP (Sar 100 yrs)	2270	1300	140	4	1
열전도율 at 10°C mW/m· K	8.4	12.4	14.3#	15.9	14.5
비고	-	-	최종 AIR로 대체		

<표 2.2> 압출법 단열재의 특성

성능항목	성능
단열성	○ 압출발포(진공식/상압식)에 의한 독립적 Close Cell을 형성하여 0.027 W/mk (특호)이하의 열전도율을 지닌 제품.
자기소화성	○ 불꽃을 제거하면 자기 스스로 소화되는 성질을 갖고 있는 3초 이내의 연소성 제품.
압축강도	○ 10N/㎠에서 25N/㎠까지 다양한 압축강도를 지니고 있어 각종 건축물의 부위에 따라 알맞은 압축강도를 지닌 제품.
시공・가공성	○ 톱,칼등으로 자유롭게 절단이 가능하고, 본드나 못 등으로 쉽게 접착이 가능하고, 시공시 기간을 단축할 수 있는 제품.
내부식성	○ 폴리스티렌의 고분자재료를 주원료로 생산하는 제품으로 부식, 부패되는 경우는 없고, 또한 곰팡이, 벌레의 서식이 불가능한 위생에 문제가 없는 제품.
내습・내수성	○ 미세한 독립적 Close Cell 구조를 갖고 있어 수분이나 습기가 침투될 수 없는 제품(물의 열전도율은 0.598W/mk 이므로 흡습시 단열재로서 기능을 상실하게 됨).

제2절 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토

압출법 방식은 연속방법으로 Batch식인 비드법(스치로폴)가 생산공정에 차이가 있으며, 압출법은 진공식과 상압식으로 구분되며 진공식은 발포시 발포배율을 높여 줌으로써 저밀도(20~27㎏/㎥)부터 고밀도까지 제품생산가능, 상압식은 대기중에 발포, 상대적으로 고밀도제품(29㎏/㎥이상)으로 생산가능하며 생산설비가 진공식 보다 간단하다.

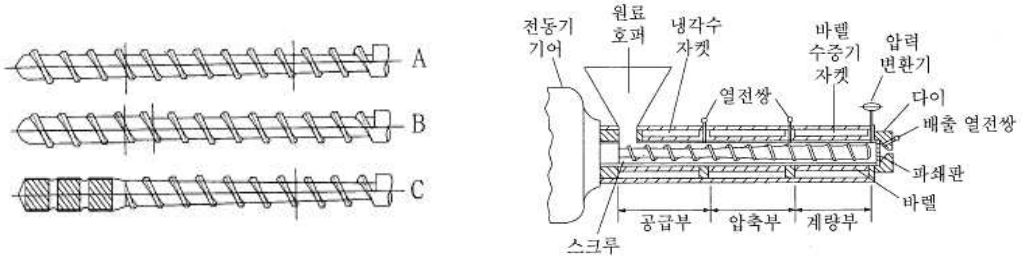
압출법 방식의 기본구조는 구동부, 원료공급기(feeder). 스크루(screw), 바렐(barrel), 다이(die)로 구성되어 있으며, 이 중에서 스크루가 가장 중요하다.

일축형압출기은 스크루가 1개인 형식이고, 원료는 스크루와 바렐과의 공간에서 압축되고 고상(solid bed)이 형성되어 충분한 마찰이 생기면 연속 압출이 가능하다. 그러나 제조확보를 위해 원료형상, 조성(예 : 수분, 기름성분)에 제약이 생기며, 수분, 기름성분의 함량이 많은 경우에는 충분한 마찰이 생기지 않고 원료는 스크루와 함께 회전하여 압출이 불가능한 공회전 현상이 발생한다. 또한 과도한 미분말 원료이면 전단발열이 지나쳐 과도한 가열처리가 되며, 원료의 혼합, 혼련 등은 거의 기대할 수 없기 때문에 미리 처리해 놓아야 한다.

2축형은 스크루의 회전방향, 상호의 위치관계로부터, 여러 가지 형식이 있지만, 실제 사용되고 있는 것은 대부분 동방향회전으로 맞물림형이다. 이 형식은 충분한 혼합, 혼련기능, 스크루 표면에 원료가 체류하지 않는 자정작용, 압출기 내 압력분포가 비교적 균일한 점 등의 특징이 있으며, 스크루는 여러 가지 모양이 분할방식에 의해 스크루축에 필요한 모양을 끼워 넣어 스크루를 구성된다.

이와 같은 방법에 의해서 스크루의 기능을 다양화할 수 있고 바렐도 일체화되어 있어 필요에 의해서 여러 가지의 형식으로 사용한다. 출구는 다이 또는 노즐이라고 부르며 각종 형식으로 고안되어 있다.

냉각 다이의 기본적인 특징은 원료의 열에너지를 흡수하여 유동성을 적시에 감소시킴으로써 고수분 원료라도 안정하게 운전할 수 있는 원리를 가지고 있으며, 속도분포와 냉각효율을 고려한 원통형 냉각다이도 고안되어 있다.



(a) 단축압출기의 대표적인 스크류 (b) 단열 압출기의 상세도

[그림 2.2] 압출기의 주요구성

상압식 압출법의 생산공정은 1차 압출기에서 GPPS와 첨가제를 혼합공급하고 200~220℃로 녹여주고 혼합기 전에서 발포제를 투입 혼합한다. 이상태에서 발포제, 수지, 첨가제 등의 원활한 혼합을 위해서는 발포제의 수지가 잘 녹아야 점성이 떨어져 운영 압력도 낮출수 있으며, 균일한 발포제가 생산가능하다.

발포제 자체의 수지와의 용해도는 수지용해도를 높이기 위해 첨가제(예 : CO2 사용시 에탄올, DME), 효율상승(TWIN SCREW:수지와 발포제 접촉면 상승) 사용한다.

발포제에서 혼합하여 사용하는 경우 분자량이 낮은 HCFC-22는 발포배율을 증가시킨다. 수지와 용해도가 우수하고 분자량이 높은 HCFC-142b의 혼합은 발포시 다이압을 감소시켜주므로서 최종제품에서 장기간동안 잔류 열전도율을 감소시키는 장점이 있다.

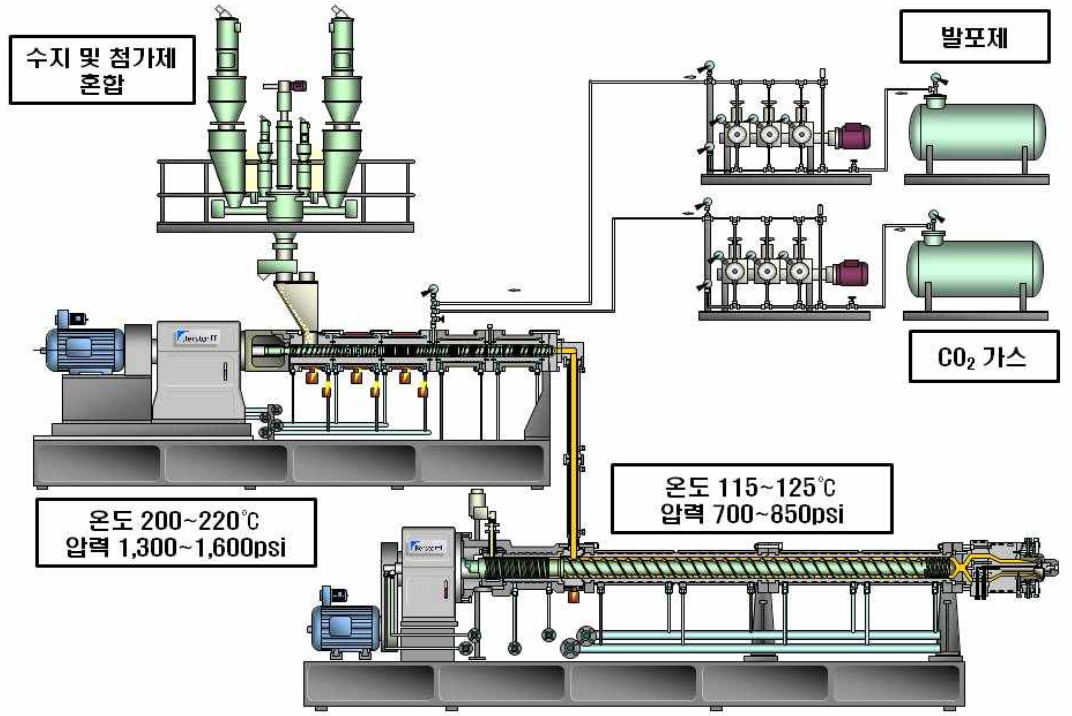
2차 압출기는 잘 혼합된 액상상태에 멜트를 원하는 제품을 성형하기 좋은 온도 115~125℃로 냉각해주는 공정으로 냉각과 균일한 온도분포가 동일하게 하는 경우 생산량에 영향을 끼친다.

최종 발포는 다이와 다이립에서 이루어지는 최종다이립압력은 700~850psi이며 다이압력 자체가 높을수록 멜트가 불안정하여 단위부피당 Cell갯수를 증가시켜 Cell size를 감소시킨다. Cell size가 감소하고 압력이 낮을수록 발포배율이 떨어질수 있으며, 다이전에 기발포가 일어나 Open cell이 형성될 수 있다.

단위시간당 압력drop을 유도 할 수 있는 다이제작 기술이 필요하며, 발포제 대체 CO_2는 수지에 용해도가 낮다. 활성이 큰 발포제의 경우 다이앞까지 높은 압력을 유지해야하며 별도 다이 제작이 필요하다. 발포제 사용시 폭발성 여부를 검토하여야 하며, 에탄올, 부탄, 펜탄, HFC-152 등은 방폭설비도 고려해야 한다.

<표 2.3> 단열재의 생산공정

공 정		관 련 사 진	공 정 기 능
1	재료혼합기		○ CO_2 가스(순도 95%이상, 액상), 일반용폴리스틸렌(GPPS), 발포제(HCFC : 염화불화탄소), 첨가제(Graphite : 흑연), 난연제(HBCD : 브롬계열) 등 원료 혼합투입 공정
2	1차, 2차 압출기 (주공정)		○ 1차 압출기는 GPPS, 발포제, 수지, 첨가제 등을 200~220℃로 녹여서 혼합하는 공정으로서 용융 및 냉각의 설비 ○ 2차 압출기는 혼합된 액상상태의 멜트를 원하는 제품으로 성형온도 115~125℃로 냉각해주는 공정
3	성형기		○ 고체의 가소성을 이용하여 단열재를 성형하는 공정
4	자연냉각		○ 발포 성형된 단열재를 자연건조 등으로 안정화시키는 공정설비
5	1차, 2차 절단기		○ 성형된 단열재 제품을 규격 및 치수에 맞게 절단하는 공정설비
6	적재기		○ 출하전 포장 및 수량을 일괄적으로 처리하는 공정설비



[그림 2.3] 1차, 2차 압출기요약도

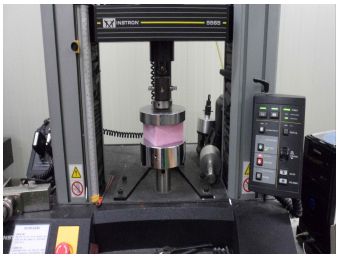
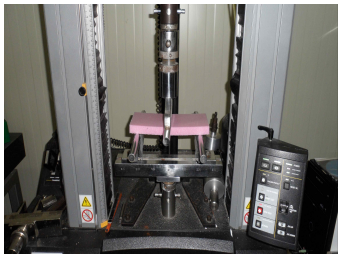
제3절 발포제 대체 CO_2를 활용한 단열재 성능평가

1. CO_2 대체에 의한 50~75㎜ 단열재의 성능평가

가. 실험개요

발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 115℃로 설정하였다. 또한 발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO2 대체율 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 선정하였다.

단열재의 두께 50~75㎜로 생산하고 소정의 재령일이 경과 후 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

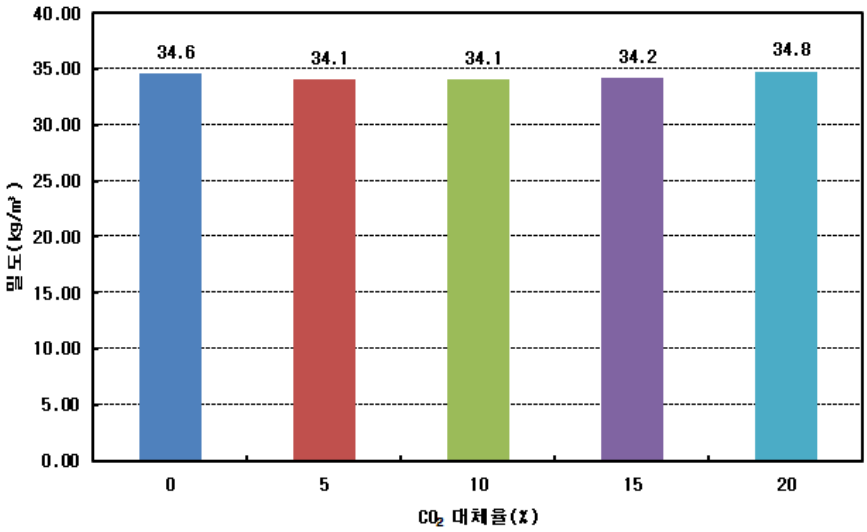
(a) 압축강도 (b) 굴곡파괴하중

[그림 2.4] CO_2를 대체한 단열재 실험

나. 실험결과 및 분석

(1) 밀도

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 밀도는 34.1~34.8㎏/㎥로 나타났으며, CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다. 이는 단열재 재료 GPPS(General of purpose polystyrene)와 발포제가 혼합시 Cell 구조에 기인한 것으로 사료되며, Cell size가 크고 균일하지 못하게 생성되어 밀도가 불안정한 것으로 사료된다.

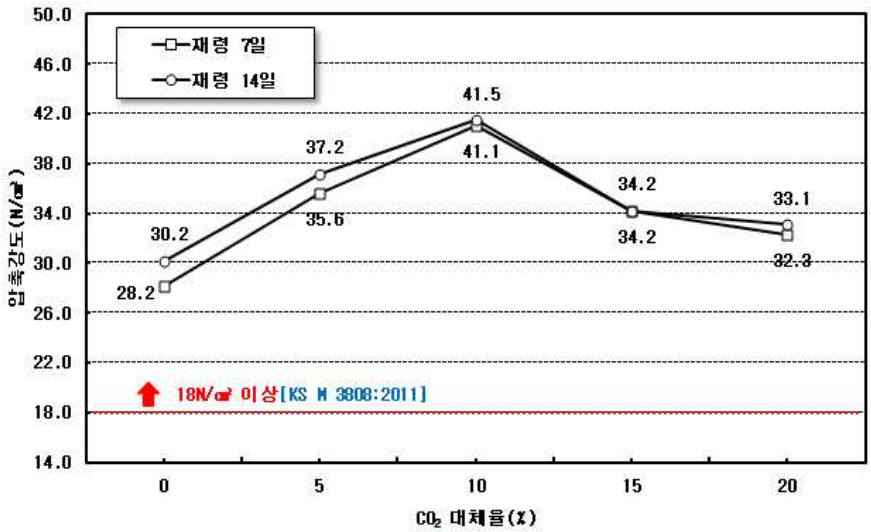


[그림 2.5] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 50~75㎜)

(2) 압축강도

CO_2 대체율에 따른 단열재의 압축강도 실험결과는 [그림 2.6]과 같다. CO_2 대체

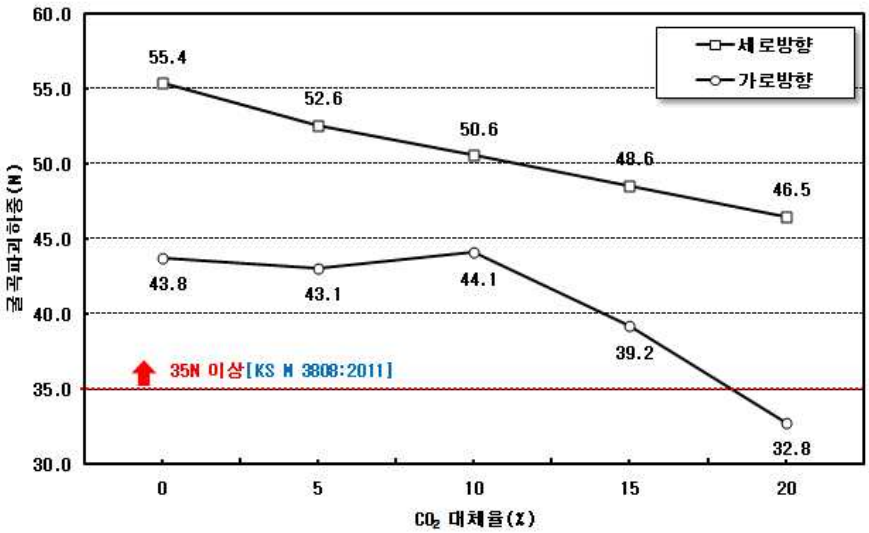
율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 압축강도는 28.2~41.1N/㎠로 나타났으며, 재령 14일은 30.2~41.5N/㎠로 나타났다. 재령일에 관계없이 CO_2 대체율 10%에서 가장 높게 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 36~57%로 높은 수준으로 나타났다. 이는 Cell size가 증가하여 발포배율이 떨어진 것으로 판단되며, 단열재 발포시 Open cell이 형성된 것으로 사료된다.



[그림 2.6] CO_2 대체율에 따른 압축강도(두께 50~75㎜)

(3) 굴곡파괴하중

CO_2 대체율에 따른 단열재의 굴곡파괴하중 실험결과는 [그림 2.7]과 같다. CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 가로방향의 굴곡파괴하중은 46.5~55.4N로 나타났으며, 세로방향은 32.8~44.1N/㎠로 나타났다. CO_2 대체율이 증가할수록 굴곡파괴하중은 감소하였으며, 가로방향의 경우 25%이상 상회하는 것으로 나타났다. 이는 CO_2 대체율이 증가할수록 Cell 구조의 비활성화와 동시에 단열재 생산시 성형방향으로 인해 감소한 것으로 판단된다.



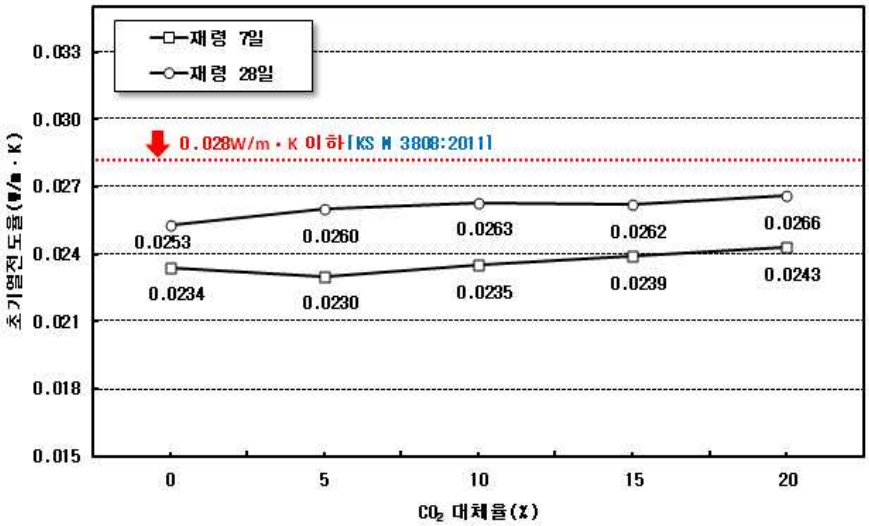
[그림 2.7] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(두께 50~75㎜)

(4) 열전도율

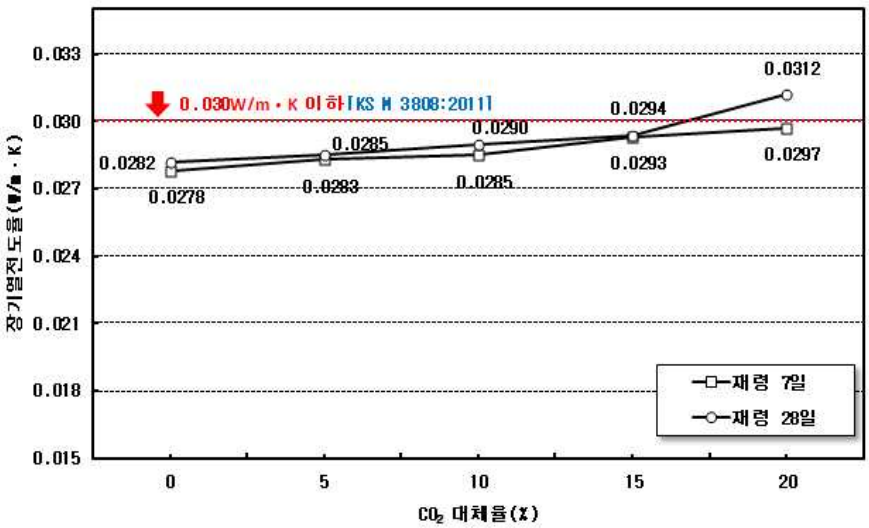
CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 초기열전도율은 0.0230~0.0243W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0253~0.0266W/m·K로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 장기열전도율은 0.0278~0.0297W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0282~0.0312W/m·K로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, CO2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다.

초기열전도율은 KS M 3808 규정 보다 5~18%, 장기열전도율은 1~7%로 낮은 것으로 나타났으며, 이는 CO_2가 Cell내에서 활성화되지 못하고 대기 중으로 배출된 것으로 판단된다.



[그림 2.8] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(두께 50~75㎜)



[그림 2.9] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(두께 50~75㎜)

(5) 연소성

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 CO2 대체율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

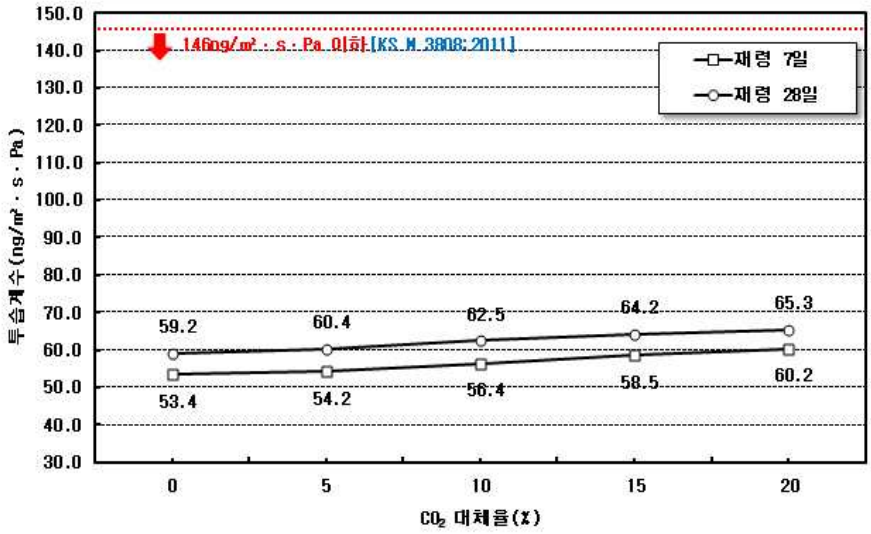
<표 2.4> CO_2 대체율에 따른 연소성

CO_2 대체율	두께 50~75㎜
0%	이상없음
5%	이상없음
10%	이상없음
15%	이상없음
20%	이상없음

(6) 투습계수

CO_2 대체율에 따른 단열재의 투습계수 실험결과는 [그림 2.10]과 같다. CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 투습계수는 53.4~60.2ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 재령 28일은 59.2~65.3ng/㎡·s·Pa로 나타났다. CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 55%이상으로 낮은 것으로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 발포제에 수지가 잘 녹지 않아 점성이 비활성화되어 균일한 Cell 구조를 형성하지 못한 것으로 판단된다.



[그림 2.10] CO_2 대체율에 따른 투습계수(두께 50~75㎜)

(7) 소 결

(가) 공정조건은 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 115℃ 조건으로 CO_2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였다.

(나) 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 20%이상 적용가능할 것으로 판단되며, 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못 하였다.

2. CO_2 대체에 의한 100~110㎜ 단열재의 성능평가

가. 실험개요

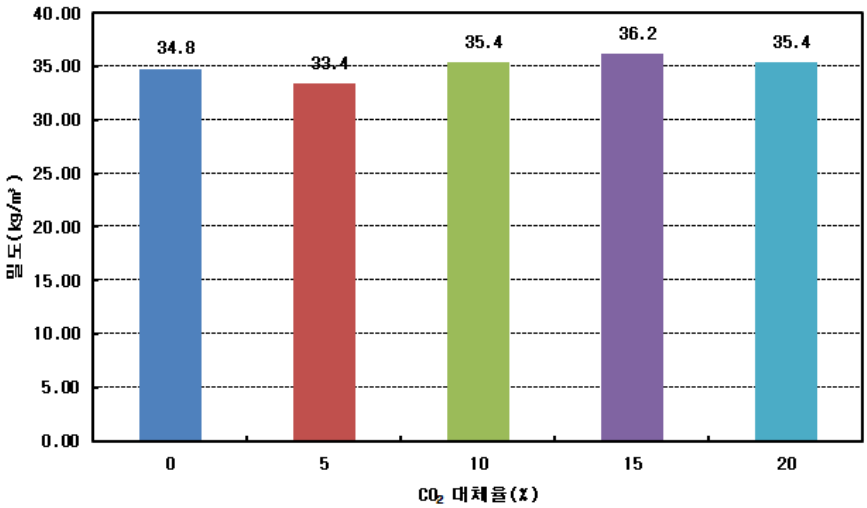
발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 125℃로 설정하였다. 또한 발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO2 대체율 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 선정하였다.

단열재의 두께 100~110㎜로 생산하고 소정의 재령일이 경과 후 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

나. 실험결과 및 분석

(1) 밀도

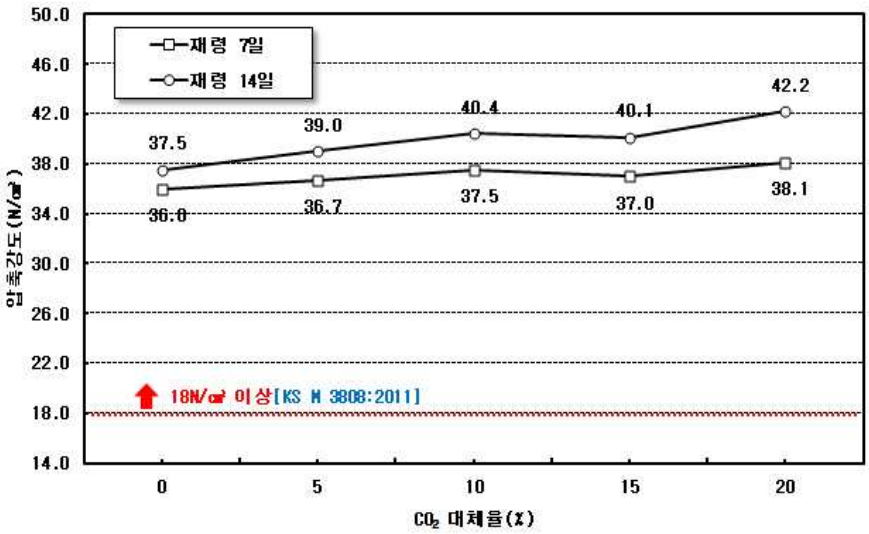
CO_2 대체율에 따른 단열재의 밀도 실험결과는 [그림 2.11과 같다. CO_2 대체율 0～20%로 증가함에 따라 밀도는 33.4～36.2㎏/㎥로 나타났으며, CO_2 대체율 15%에서 가장 높게 나타났다. 이는 단열재 두께 50～75㎜와 같이 발포제가 혼합시 Cell 구조에 기인한 것으로 사료된다.



[그림 2.11] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 100~110㎜)

(2) 압축강도

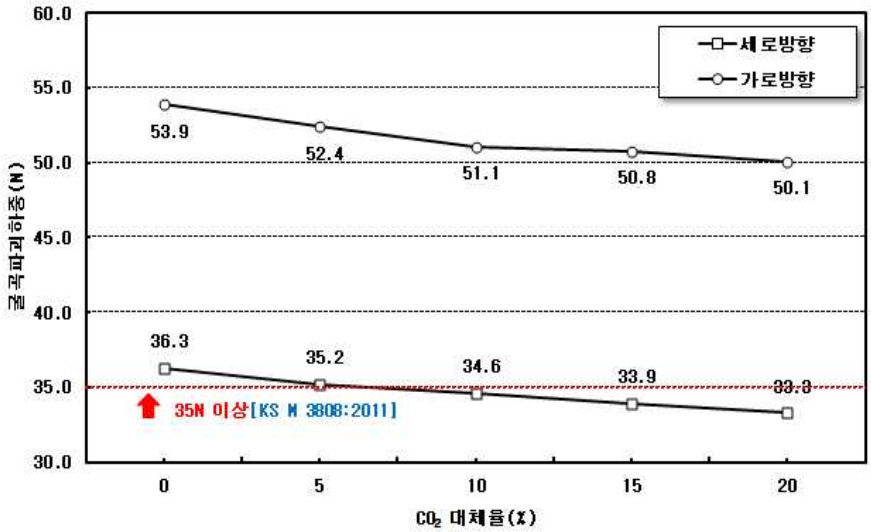
CO_2 대체율에 따른 단열재의 압축강도 실험결과는 [그림 2.12]와 같다. CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 압축강도는 36.0~38.1N/㎠로 나타났으며, 재령 14일은 37.5~42.2N/㎠로 나타났으며, 재령일에 관계없이 CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 50~57%로 확보하였다.



[그림 2.12] CO_2 대체율에 따른 밀도(두께 100~110㎜)

(3) 굴곡파괴하중

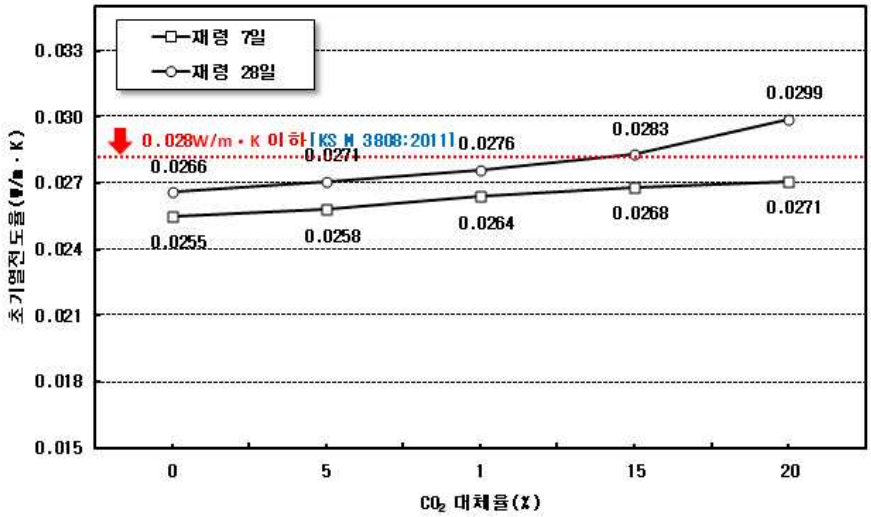
CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 가로방향의 굴곡파괴하중은 50.1~53.9N로 나타났으며, 세로방향은 33.3~36.3N/㎠로 나타났다. 또한 CO_2 대체율이 증가할수록 굴곡파괴하중은 감소하였으며, 가로방향의 경우 30%이상 상회하는 것으로 나타났다. 가로방향 CO_2 대체율 10%, 15%, 20%에서 KS M 3808 규정에 만족하지 못하였다.



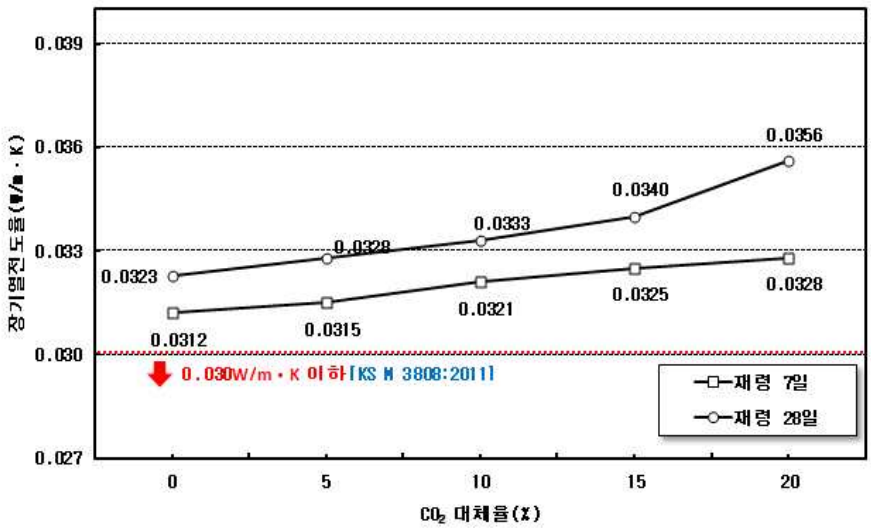
[그림 2.13] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(두께 100~110㎜)

(4) 열전도율

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 초기열전도율은 0.0255~0.0271W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0266~0.0299W/m·K로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 장기열전도율은 0.0312~0.0328W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0323~0.0356W/m·K로 나타났다. CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다.



[그림 2.14] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(두께 100~110㎜)



[그림 2.15] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(두께 100~110㎜)

(5) 연소성

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 CO2 대체율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

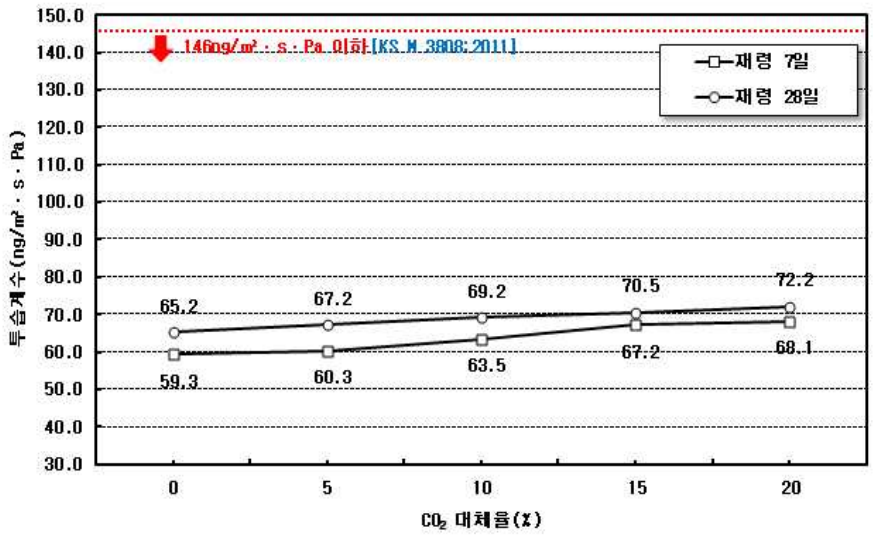
<표 2.5> CO_2 대체율에 따른 연소성

CO_2 대체율	두께 100~110㎜
0%	이상없음
5%	이상없음
10%	이상없음
15%	이상없음
20%	이상없음

(6) 투습계수

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 투습계수는 59.3~68.1ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 재령 28일은 65.2~72.2ng/㎡·s·Pa로 나타났다.

CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 51%이상으로 낮은 것으로 나타났다. CO_2 대체율 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 판단된다.



[그림 2.16] CO_2 대체율에 따른 투습계수(두께 100~110㎜)

(7) 소 결

(가) 공정조건은 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 125℃ 조건으로 CO2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡

파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였다.

(나) 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 20%이상 적용가능할 것으로 판단되며, 초기열전도율의 경우 대부분 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못 하였다.

(다) 단열재 두께 100~110㎜ 보다 50~75㎜ 단열재의 성능효과가 더 높게 나타났다.

3. 최대조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

가. 실험개요

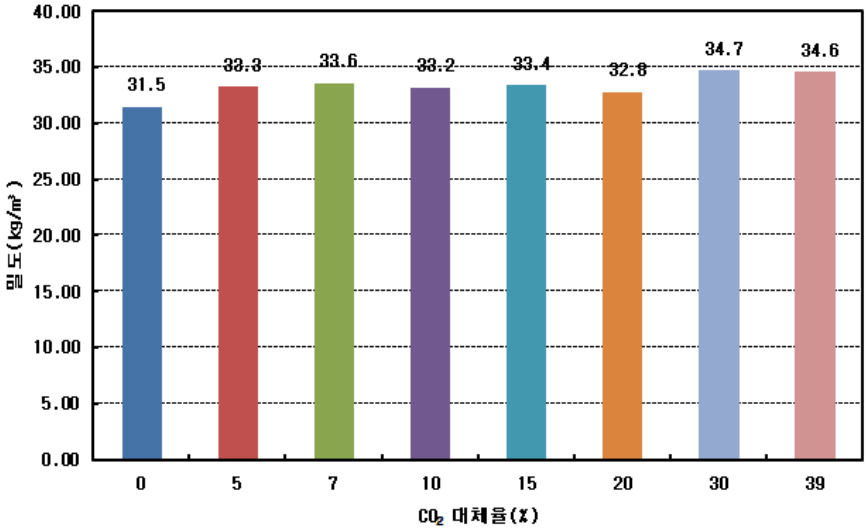
발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 125℃로 설정하였다. 또한 발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO2 대체율 0%, 5%, 7%, 10%, 15%, 20%, 30%, 39%로 선정하였다.

단열재의 두께 50~75㎜로 생산하고 소정의 재령일이 경과 후 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

나. 실험결과 및 분석

(1) 밀도

CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 밀도는 31.5~34.6㎏/㎥로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났다.

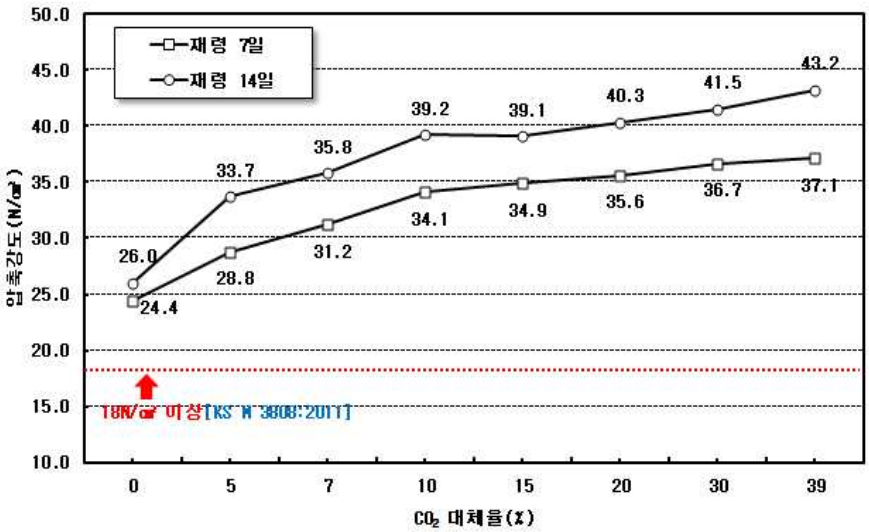


[그림 2.17] CO_2 대체율에 따른 밀도

(2) 압축강도

CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 압축강도는 24.4~37.1N/㎠로 나타났으며, 재령 14일은 26.0~43.2N/㎠로 나타났다.

재령일에 관계없이 CO2 대체율 39%에서 가장 높게 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 26~58%로 확보하였다.



[그림 2.18] CO_2 대체율에 따른 압축강도

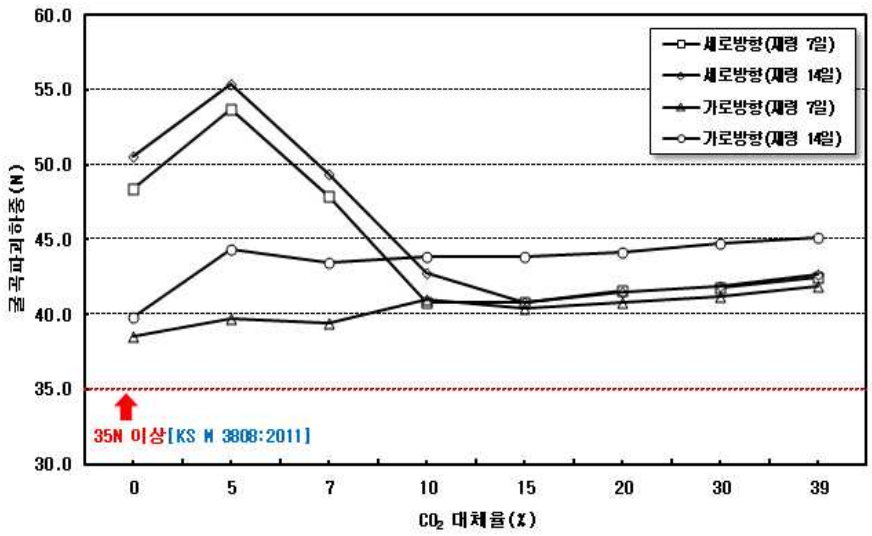
(3) 굴곡파괴하중

<표 2.6> CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

CO_2 대체율(%)	세로방향(N)		가로방향(N)	
	재령 7일	재령 14일	재령 7일	재령 14일
0	48.4	50.6	38.5	39.8
5	53.7	55.4	39.7	44.4
7	47.9	49.4	39.4	43.5
10	40.8	42.8	41.0	43.9
15	40.8	40.8	40.4	43.9
20	41.6	41.5	40.8	44.2
30	41.8	41.9	41.2	44.8
39	42.5	42.7	41.9	45.1

CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 세로방향 굴곡파괴하중은 40.8~53.7N로 나타났으며, 가로방향은 38.5~41.9N/㎠로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 14일의 세로방향 굴곡파괴하중은 40.8~55.4N로 나타났으며, 가로방향은 39.8~45.1N/㎠로 나타났다.

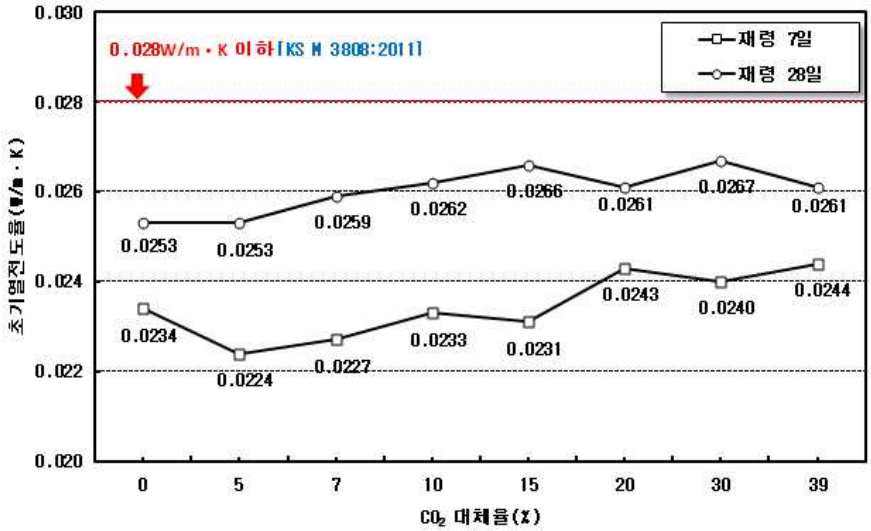
CO_2 대체율이 증가할수록 굴곡파괴하중은 증가하였으며, 가로방향의 경우 9%이상 상회하는 것으로 나타났다. 가로방향 경우 CO_2 대체율의 변화에 따라 안정적으로 증가하였으나, 세로방향의 경우 10%까지 불안정하게 나타난 것으로 사료되며, 이후 안정적으로 증가하는 것으로 판단된다.



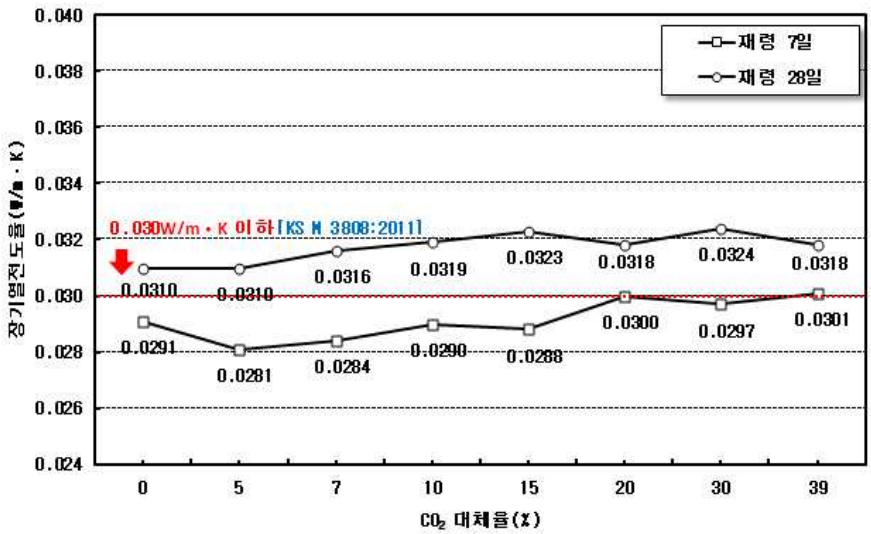
[그림 2.19] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

(4) 열전도율

CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 초기열전도율은 0.0224~0.0244W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0253~0.0267W/m·K로 나타났다. CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 장기열전도율은 0.0281~0.0301W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.0310~0.0324W/m·K로 나타났다. CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 재령 28일의 장기열전도율의 경우 KS M 3808 규정에서 제시하는 기준을 만족하지 못 하였다.



[그림 2.20] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율



[그림 2.21] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율

(5) 연소성

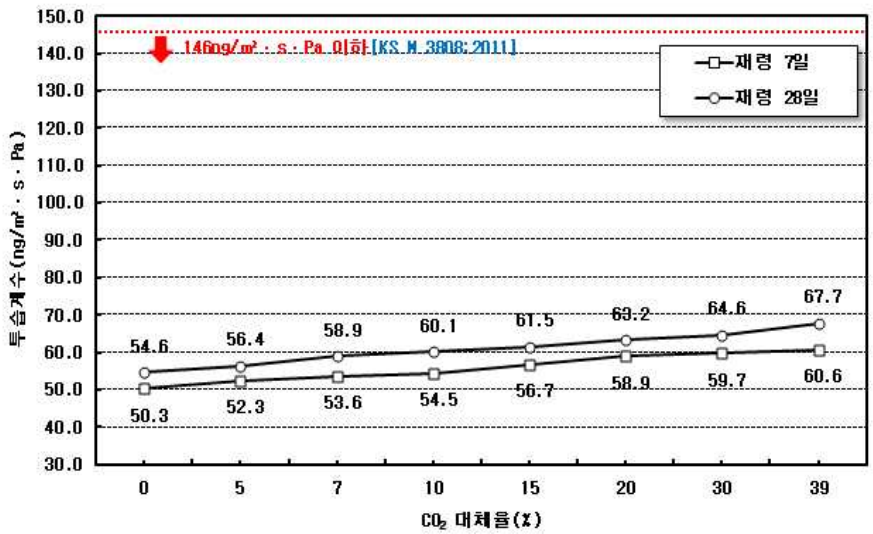
CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 CO2 대체율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

<표 2.7> CO_2 대체율에 따른 연소성

CO_2 대체율	연소성
0%	이상없음
5%	이상없음
7%	이상없음
10%	이상없음
15%	이상없음
20%	이상없음
30%	이상없음
39%	이상없음

(6) 투습계수

CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 투습계수는 50.3~60.6ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 재령 28일은 54.6~67.7ng/㎡·s·Pa로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 39%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 54%이상으로 낮은 것으로 나타났다. CO_2 대체율 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 판단된다.



[그림 2.22] CO_2 대체율에 따른 투습계수

(7) 소 결

(가) 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 125℃ 조건으로 CO2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였다.

(나) 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 30%이상 적용가능할 것으로 판단되나, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였다.

4. 최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

가. 실험개요

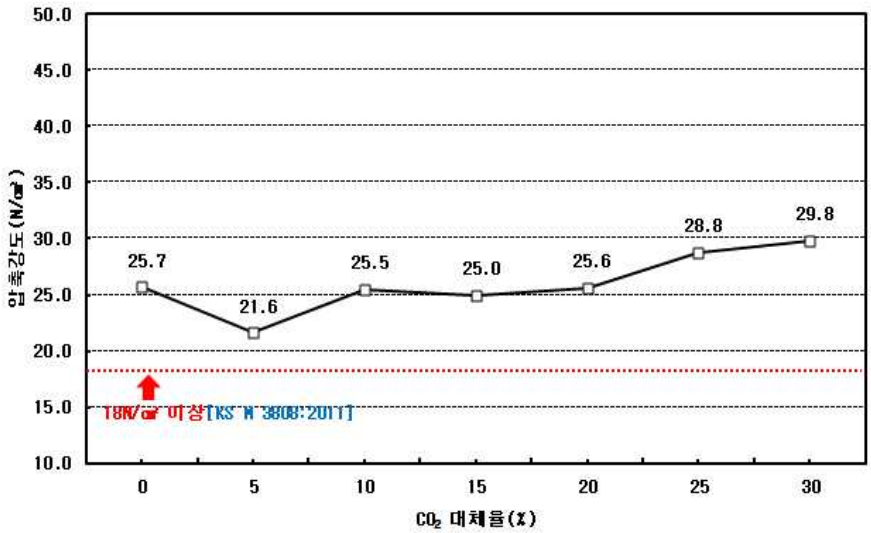
발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 설정하였다. 발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO2 대체율 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%로 선정하였다.

단열재의 두께 50~75㎜로 생산하고 재령 7일 경과 후 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

나. 실험결과 및 분석

(1) 압축강도

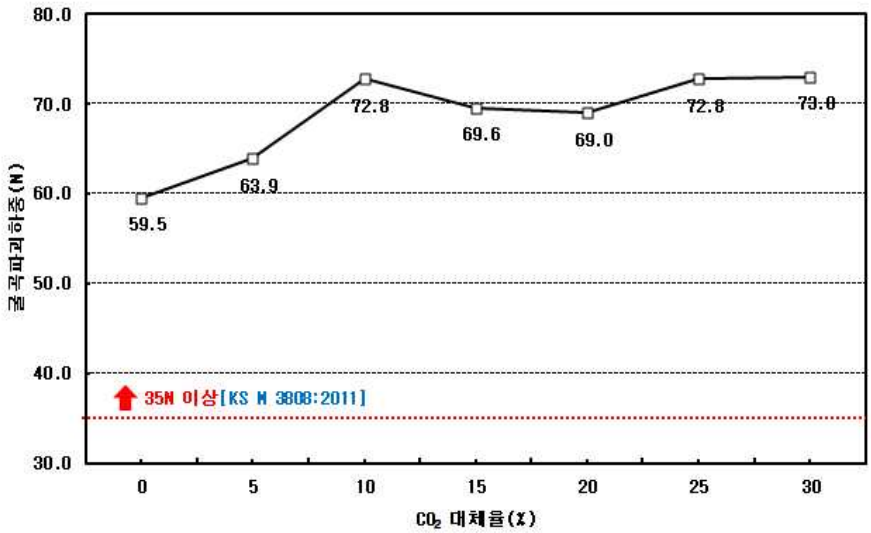
CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 압축강도는 21.6~29.8N/㎠로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 17~40%로 상회하는 것으로 확인되었다.



[그림 2.23] CO_2 대체율에 따른 압축강도

(2) 굴곡파괴하중

CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 59.5~73.0N로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 41~52%로 상회하는 것으로 확인되었다.

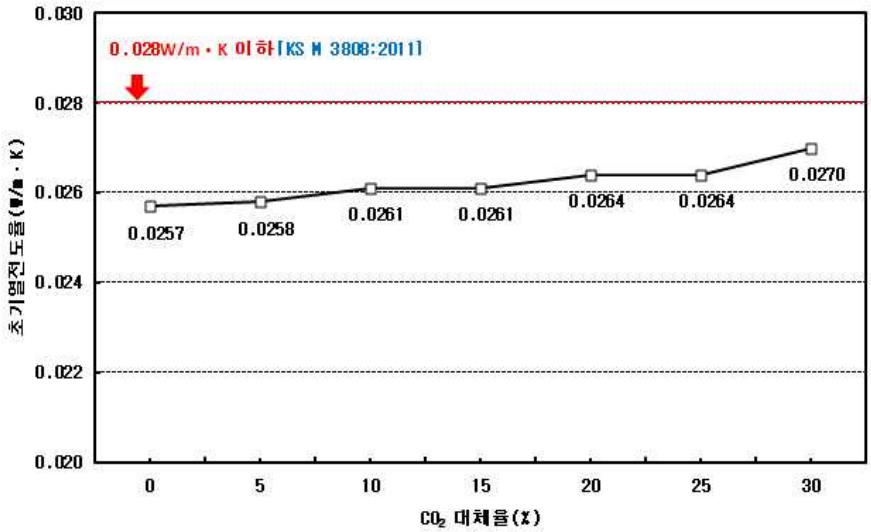


[그림 2.24] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

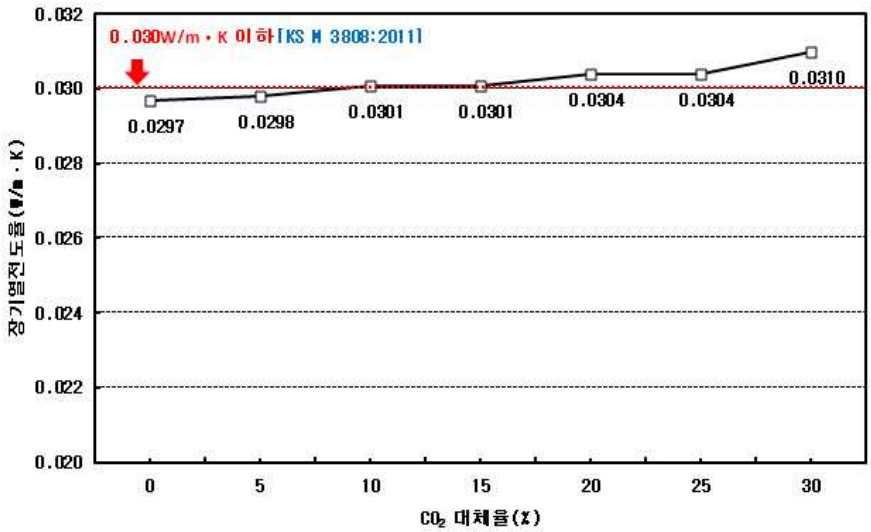
(3) 열전도율

CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.0257~0.0270W/m·K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.0297~0.0310W/m·K로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 장기열전도율의 경우 CO_2 대체율 10%이상에서는 KS M 3808 규정에서 제시하는 기준을 만족하지 못 하였다.



[그림 2.25] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율



[그림 2.26] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율

(4) 연소성

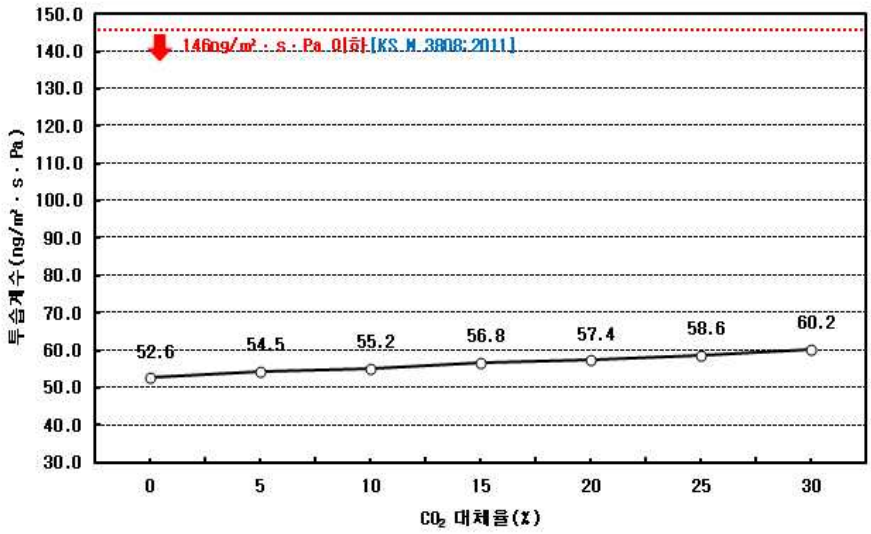
CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 CO_2 대체율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

<표 2.8> CO_2 대체율에 따른 연소성

CO_2 대체율	연소성
0%	이상없음
5%	이상없음
10%	이상없음
15%	이상없음
20%	이상없음
25%	이상없음
30%	이상없음

(5) 투습계수

CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 투습계수는 52.6~60.2ng/㎡·s·Pa로 나타났다. CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 59%이상으로 낮은 것으로 나타났다. CO_2 대체율 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 판단된다.



[그림 2.27] CO_2 대체율에 따른 투습계수

(6) 소 결

(가) CO_2 대체율에 따라 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~64%로 만족하였다.

(나) 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 30%까지 적용가능할 것으로 판단되나, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단된다.

5. Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가

가. 실험개요

KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 비교·분석한 결과, 발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 선정하였다.

발포제 대체율 30%까지 적용가능할 것으로 판단되나 열전도율 대한 단열재의 성능을 높이기 위하여 Graphite(흑연) 첨가율 1%, 3%, 5%, 7%, 9%로 선정하였으며, 단열재의 두께 50~75㎜ 재령 7일 경과 후 압출법 단열판의 성능기준을 비교·분석하였다.



(a) 압축강도



(b) 굴곡파괴하중



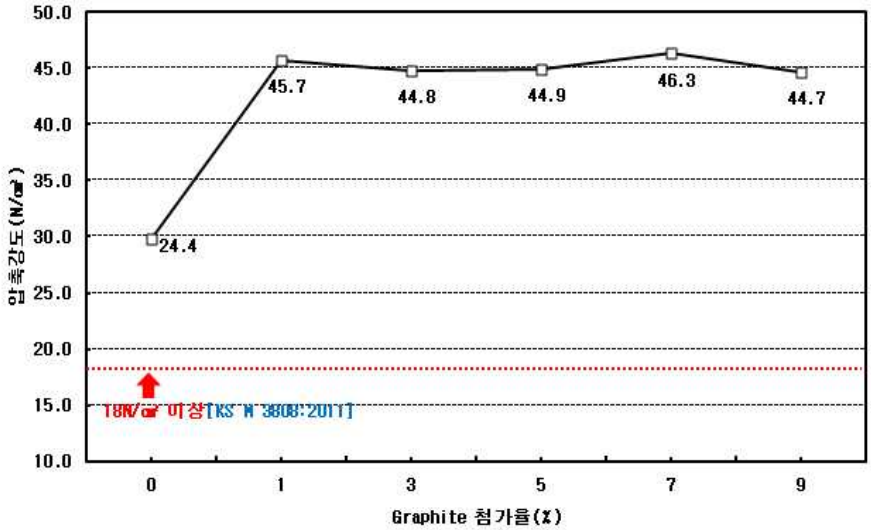
(C) 열전도율

[그림 2.28] Graphite 첨가한 단열재 실험

나. 실험결과 및 분석

(1) 압축강도

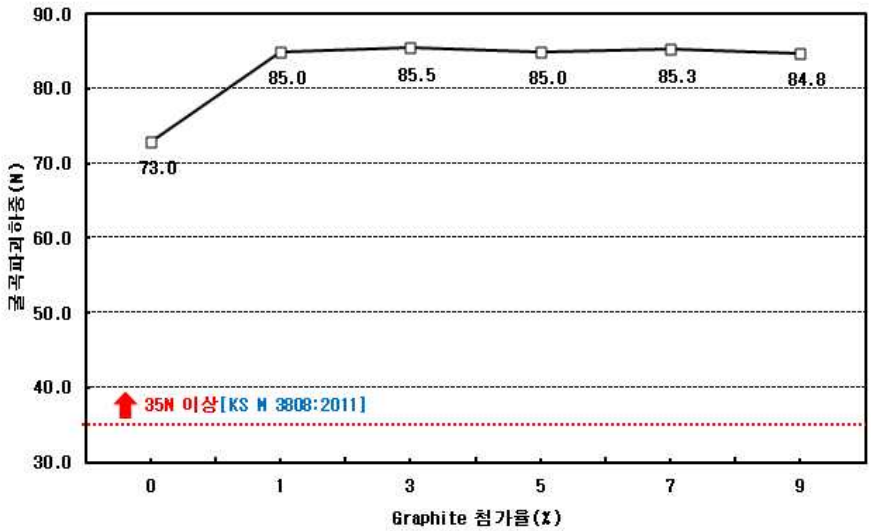
Graphite 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 압축강도는 24.4~46.3N/㎠로 나타났다. Graphite 첨가율 7%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 26~60%로 상회하는 것으로 나타났다.



[그림 2.29] Graphite 첨가율에 따른 압축강도

(2) 굴곡파괴하중

Graphite 첨가율 1~9% 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 73.0~85.5N로 나타났다. Graphite 첨가율 3%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 52~59%로 상회하는 것으로 나타났다.

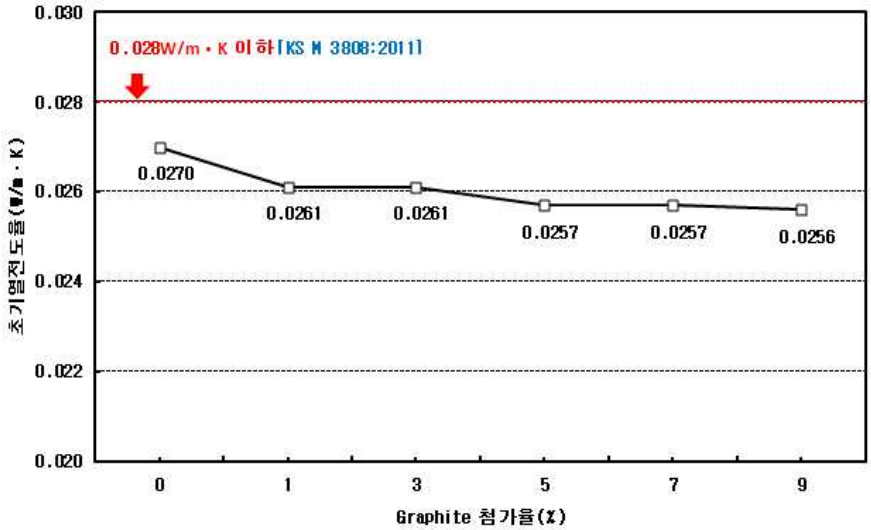


[그림 2.30] Graphite 첨가율에 따른 굴곡파괴하중

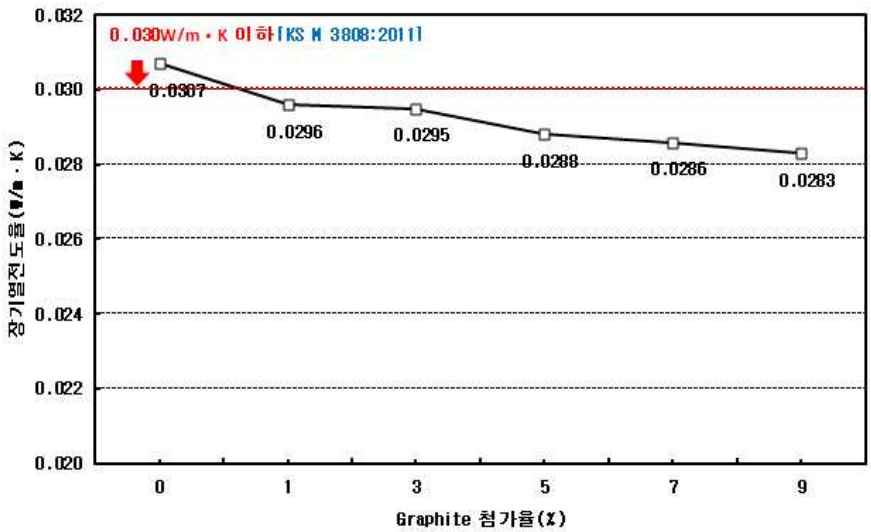
(3) 열전도율

Graphite 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 열전도율은 0.0256~0.0270W/m·K로 나타났으며, Graphite 첨가율이 증가할수록 열전도율은 낮게 나타났다.

Graphite 첨가율 9%에서 가장 낮게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 4~9%로 낮은 것으로 나타났다.



[그림 2.31] Graphite 첨가율에 따른 초기열전도율



[그림 2.32] Graphite 첨가율에 따른 장기열전도율

(4) 연소성

Graphite 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 Graphite 첨가율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

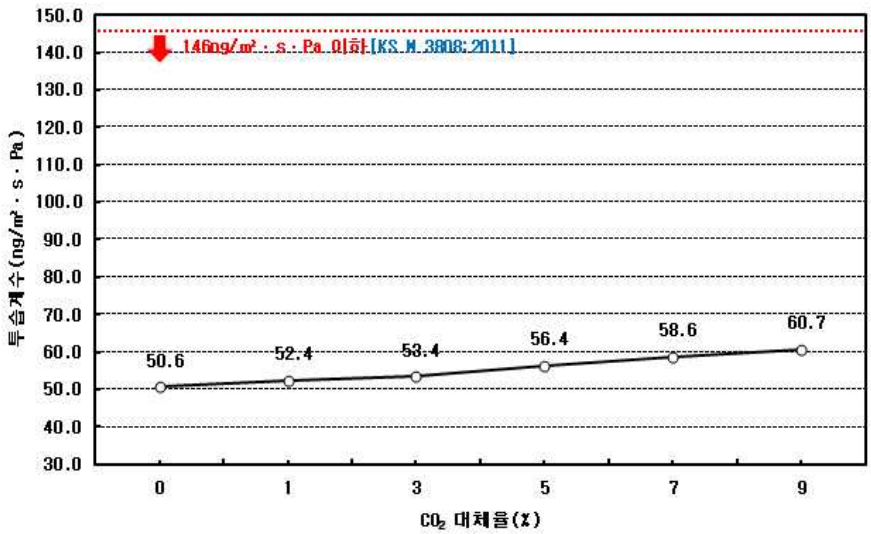
<표 2.9> Graphite 첨가율에 따른 연소성

Graphite 첨가율	연소성
1%	이상없음
3%	이상없음
5%	이상없음
7%	이상없음
9%	이상없음

(5) 투습계수

Graphite 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 투습계수는 50.6~60.7ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, Graphite 첨가율이 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 나타났다.

Graphite 첨가율 9%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 58%이상으로 낮은 것으로 나타났다.



[그림 2.33] Graphite 첨가율에 따른 투습계수

(6) 소 결

(가) Graphite 첨가율에 따라 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~60%로 만족하였다.

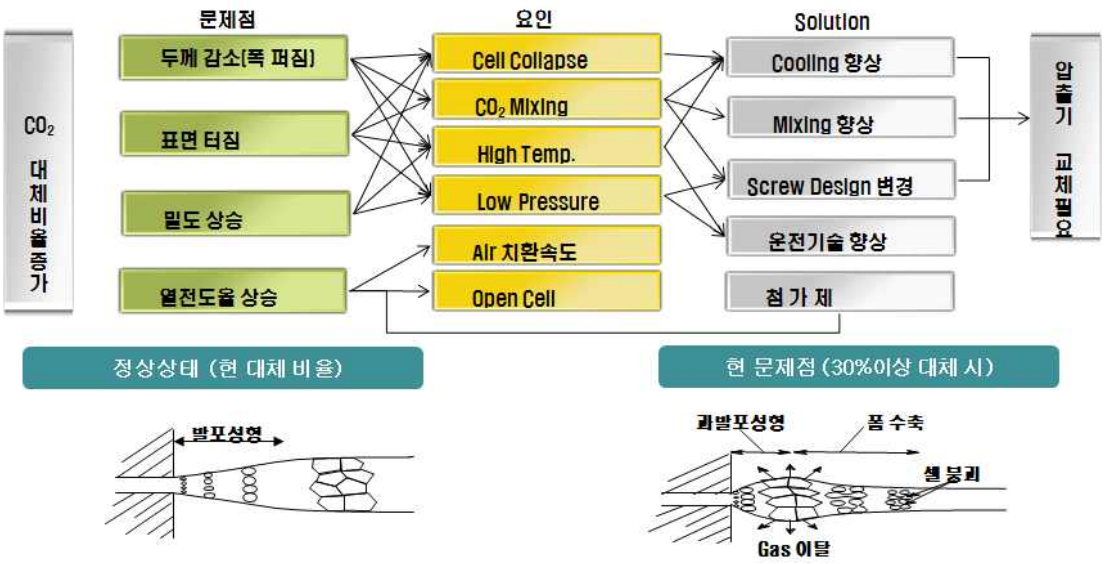
(나) CO_2 대체율 30%에서 열전도율의 성능개선을 위하여 Graphite 적용검토를 비교·분석한 결과 Graphite 첨가율이 증가할수록 낮게 나타났으며, 단열재의 성능개선 효과가 있는 것으로 판단된다.

제4절 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토보완

1. 압출기 생산공정 검토

CO_2 대체율 증가에 따라 밀도증가, 열전도율증가, 표면불안정, 두께감소 등의 문제점이 발생된다. 주요원인은 불안정한 Cell 구조, 압출기 고온·저기압, 발포제 혼합 등으로 인한 것으로 판단된다.

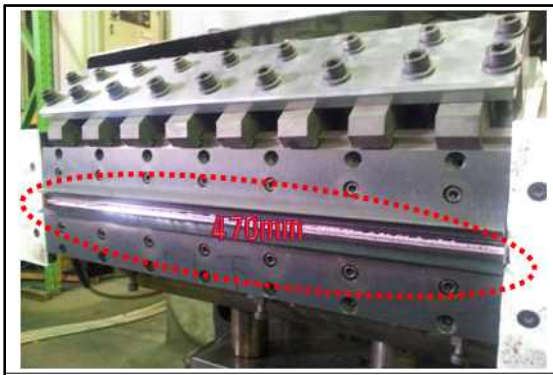
따라서, 압출기의 교체가 필요하나, 비용문제가 발생하여 추가발포제 등 재료적인 검토가 요구된다.



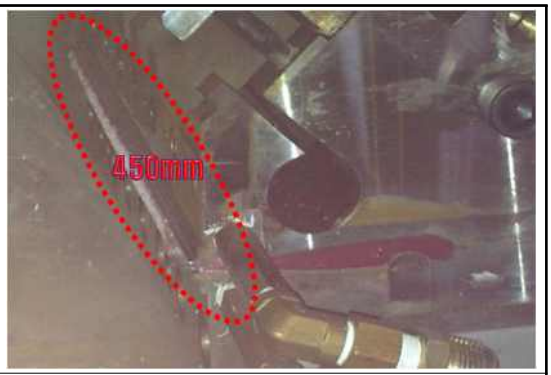
[그림 2.34] CO_2 대체율 증가에 따른 문제점

2. Die 생산공정 검토보완

Die 보완은 470mm → 450mm로 폭조정 및 설비를 보완하였으며, Die 생산 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃, 2차 압출기 압력 850, 900, 950, 1,000psi, 온도 115℃로 설정하여 폭조정에 의한 Die 압력변화에 따른 Cell 구조 개선을 검토하였다.



Die 보완 전



Die 보완 후

[그림 2.35] Die 보완 전・후

제5절 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

1. 실험개요

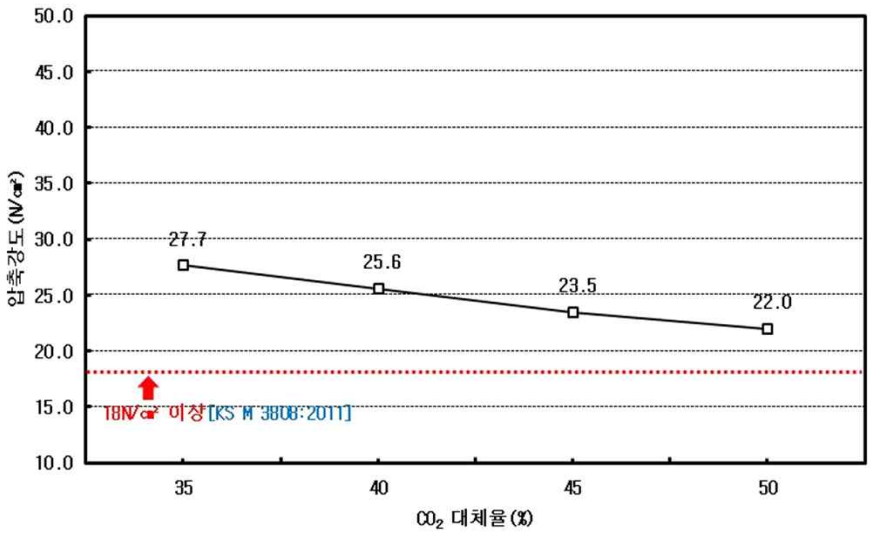
발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 설정하였다.

발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO_2 대체율 35%, 40%, 45%, 50%로 선정하였으며, 단열재의 두께 50㎜로 생산하고 소정의 재령일이 경과 후 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

2. 실험결과 및 분석

가. 압축강도

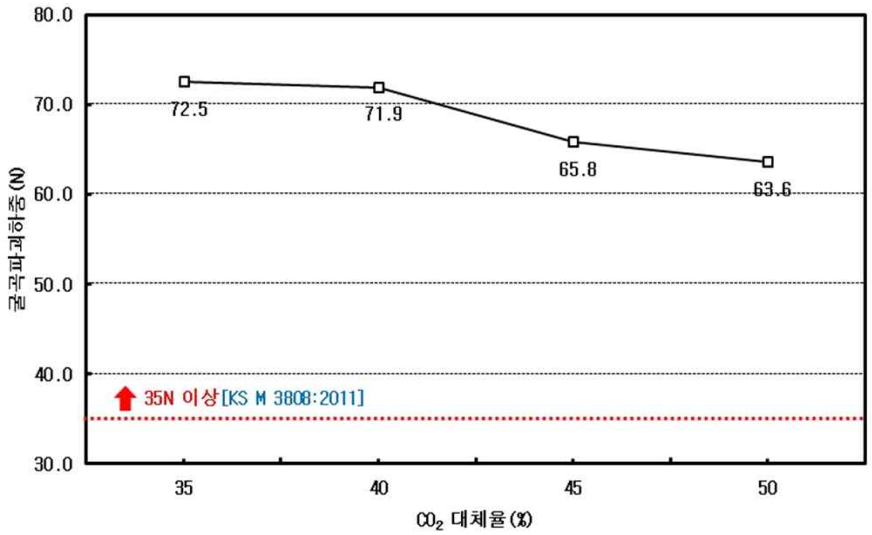
CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 압축강도는 22.0~27.7N/㎟로 나타났다. CO_2 대체율 35%에서 가장 높게 나타났으며, CO_2 대체율 35%이상에서 압축강도는 감소하는 것으로 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 18~35%로 만족하였다.



[그림 2.36] CO_2 대체율에 따른 압축강도

나. 굴곡파괴하중

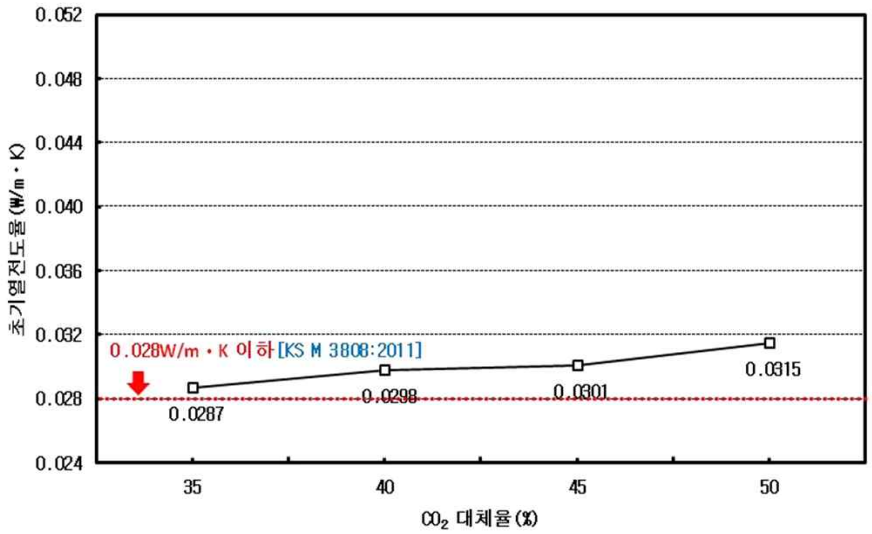
CO_2 대체율 35~50% 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 59.5~73.0N로 나타났다. CO_2 대체율 35%에서 가장 높게 나타났으며, CO_2 대체율 35%이상에서 굴곡파괴하중은 감소하는 것으로 나타났다. KS M 3808 규정 보다 45~52%로 만족하였다.



[그림 2.37] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

다. 초기열전도율

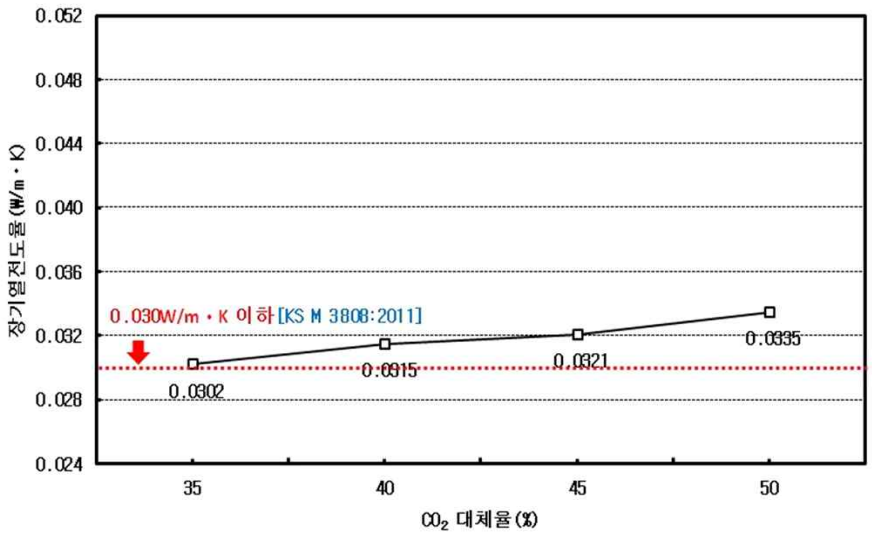
CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.0287~0.0315W/m · K로 나타났다. CO_2 대체율 50%에서 가장 높게 나타났으며, CO_2 대체율 35%이상에서 초기열전도율은 증가하는 것으로 나타났다. CO_2 대체율 35~50%에서 KS M 3808 기준을 모두 만족하지 못 하였다.



[그림 2.38] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율

라. 장기열전도율

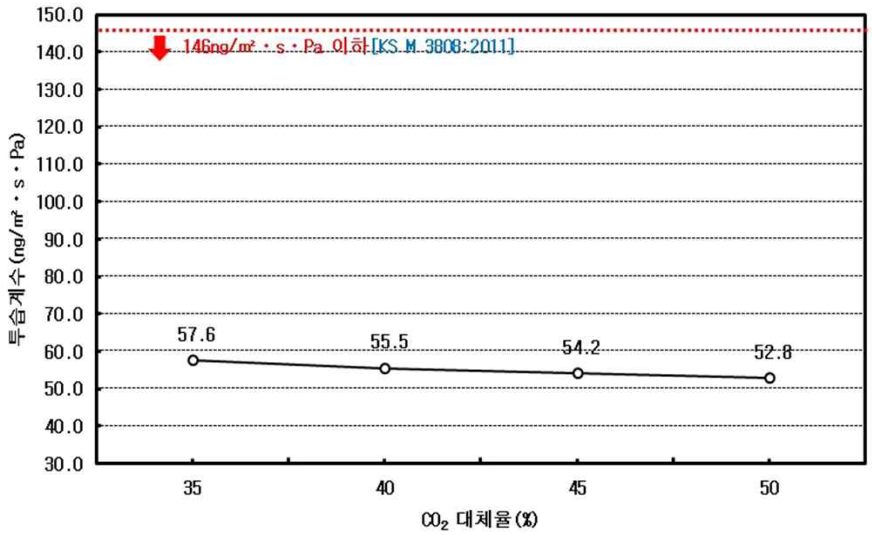
CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 장기열전도율은 0.0302~0.0335W/m·K로 나타났다. CO_2 대체율 50%에서 가장 높게 나타났으며, CO_2 대체율 35%이상에서 장기열전도율은 증가하는 것으로 나타났다. CO_2 대체율 35~50%에서 KS M 3808 기준을 모두 만족하지 못 하였다.



[그림 2.39] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율

마. 투습계수

CO_2 대체율 35~50% 증가함에 따라 투습계수는 52.8~57.6N로 나타났다. CO_2 대체율 50%에서 가장 낮게 나타났으며, CO_2 대체율 35%이상에서 투습계수는 감소하는 것으로 나타났다. KS M 3808 규정 보다 61~64%로 만족하였다.



[그림 2.40] CO_2 대체율에 따른 투습계수

바. 연소성

CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났다. KS M 3808 규정이내 범위로 CO_2 대체율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

<표 2.10> CO_2 대체율에 따른 연소성

CO_2 대체율	연소성
35%	이상없음
40%	이상없음
45%	이상없음
50%	이상없음

사. 소 결

(1) CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 압축강도 18%이상, 굴곡파괴하중 45% 이상, 투습계수 61%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO_2 대체율 35%이상에서 만족하지 못 하였다.

(2) 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 50%까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단된다.

제6절 Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성 검토

1. 실험개요

KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 비교·분석한 결과, 발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 선정하였다.

단열재의 두께 50㎜로 생산하고 소정의 재령일이 경과 후 CO_2 대체율 30%와 CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 장기내구성을 비교·분석하였다.

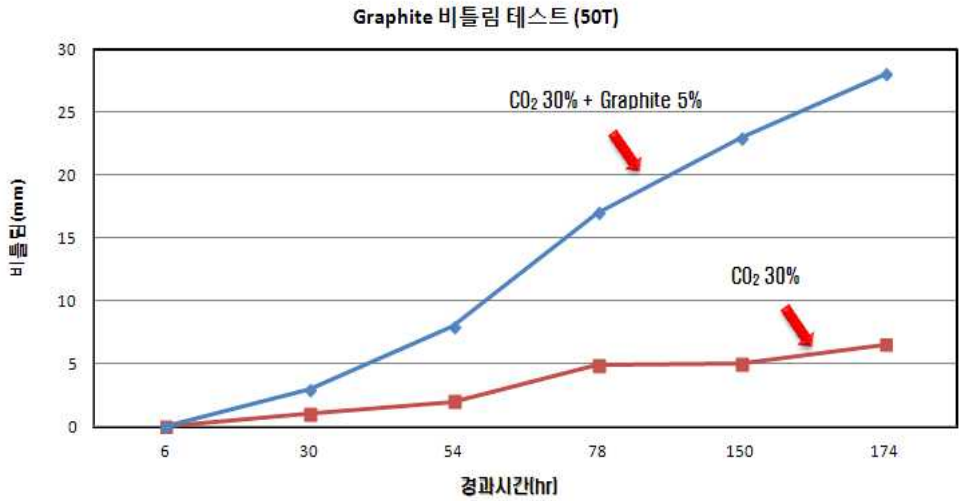
2. 실험결과 및 분석

자연노출 상태에서 경과시간 0~174시간으로 증가함에 따라 CO_2 대체율 30%에서 0~6.5㎜로 나타났다. 자연노출 상태에서 경과시간 0~174시간으로 증가함에 따라 CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 0~28㎜로 나타났다.

경과시간 0~174시간으로 증가함에 따라 CO_2 대체율 30% 보다 CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5%가 평균 대비 75%이상으로 비틀림 현상이 발생하였다.

<표 2.11> Graphite 비틀림 테스트

경과시간(hr)		0	6	30	54	78	150	174	평균
휨량(㎜)	CO_2 대체율 30%	0	0	1	2	4.9	5.0	6.5	2.8
	CO_2 대체율 30%+ Graphite 첨가율 5%	0	0	3	8	17	23	28	11.3
외부온도(℃)		30	36.5	37	37	39	39	37	36.5



[그림 2.41] Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성(비틀림)



CO_2 대체율 30%	CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5%

[그림 2.42] CO_2 대체율 30% 및 CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5% 비틀림 현상



[그림 2.43] CO_2 대체율 30% 및 CO_2 대체율 30% + Graphite(흑연) 첨가율 5% 비틀림 비교

3. 소 결

가. 1차년도 연구결과, CO2 대체율 30%, Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 기준에는 만족하였으나, 장기내구성에서 비틀림 현상이 발생하였다.

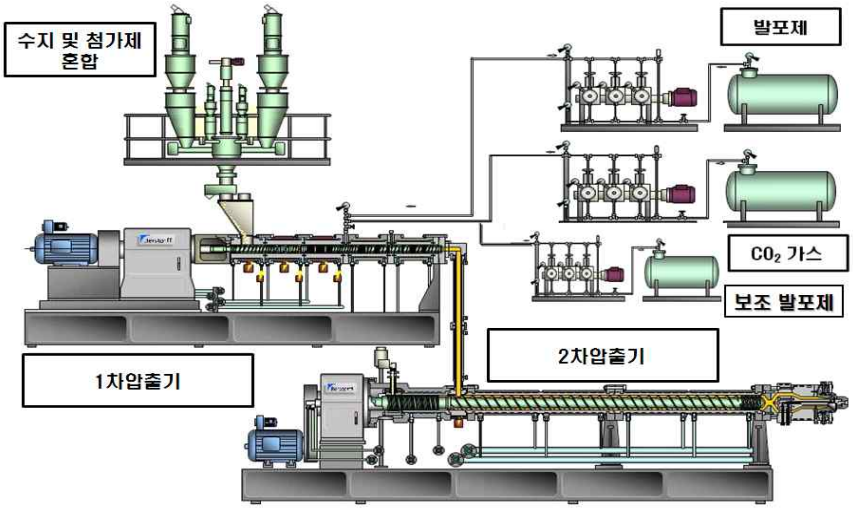
제7절 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가

1. 실험개요

발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 1차년도 연구결과, 최적공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 선정하였다.

보조발포제(에탄올) 혼합율은 5, 10, 15, 20, 25%로 선정하였으며, 발포제 구성비율은 CO_2 대체율 + 보조발포제(에탄올) 혼합율 + HCFC = 40+10%, 35+15%, 30+20% , 25+25% 등 4수준 + HCFC 50%로 적용하였다.

단열재의 두께 50㎜로 생산하고 재령 28일 경과 후 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 특성을 KS M 3808 발포폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

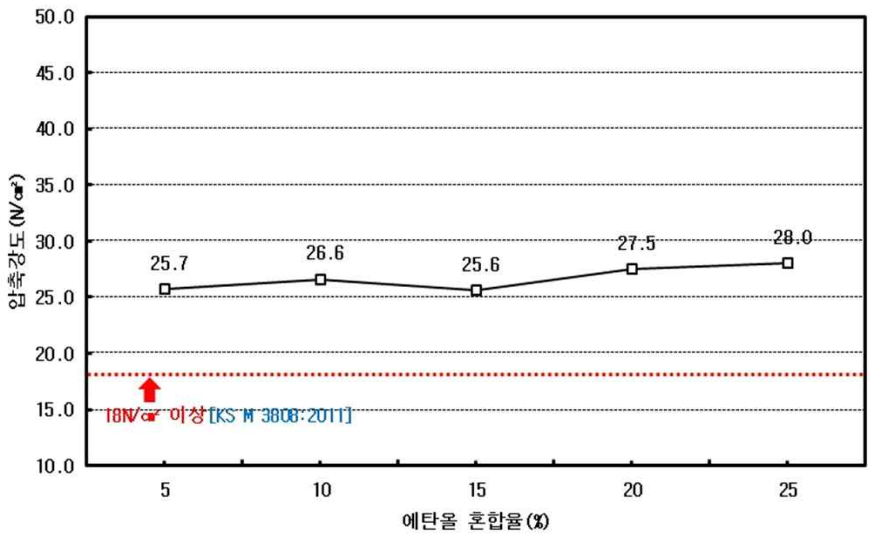


[그림 2.44] 상압식 압출법 생산공정도

2. 실험결과 및 분석

가. 압축강도

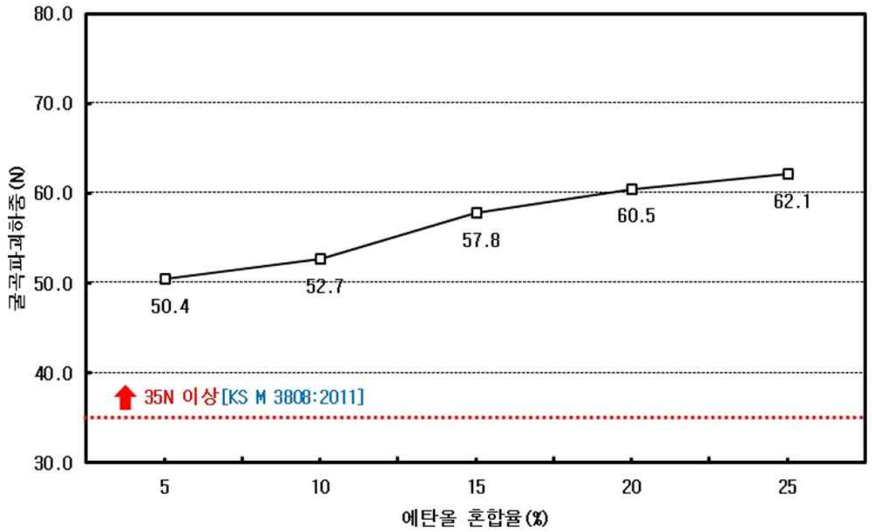
보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 압축강도는 25.7~28.0N/㎠로 나타났다. 보조발포제(에탄올) 혼합율 25%에서 가장 높게 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 15%이상에서 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 29~36%로 만족하였다.



[그림 2.45] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 압축강도

나. 굴곡파괴하중

보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 50.4~62.1N로 나타났다. 보조발포제(에탄올) 혼합율 25%에서 가장 높게 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 5%이상에서 굴곡파괴하중은 증가하는 것으로 나타났다. KS M 3808 규정 보다 31~44%로 만족하였다.

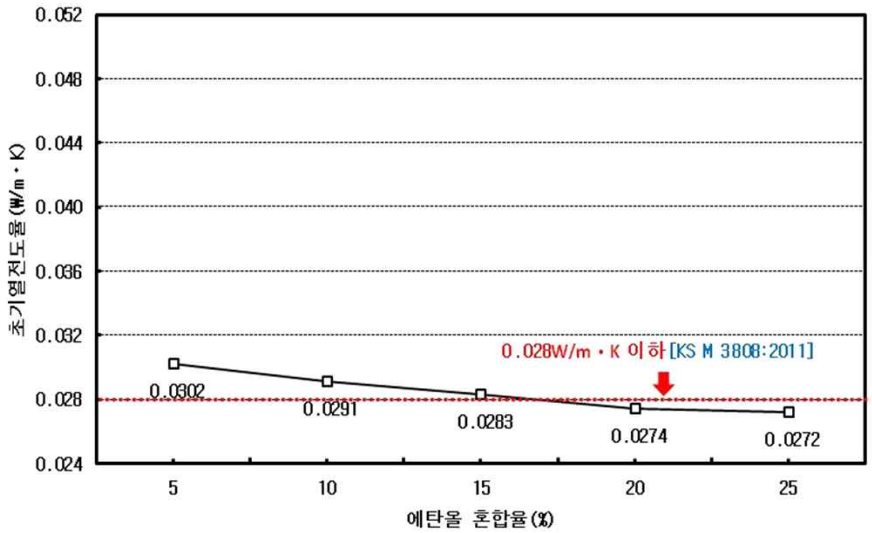


[그림 2.46] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 굴곡파괴하중

다. 초기열전도율

보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.0272~0.0302W/m·K로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25%에서 가장 낮게 나타났다.

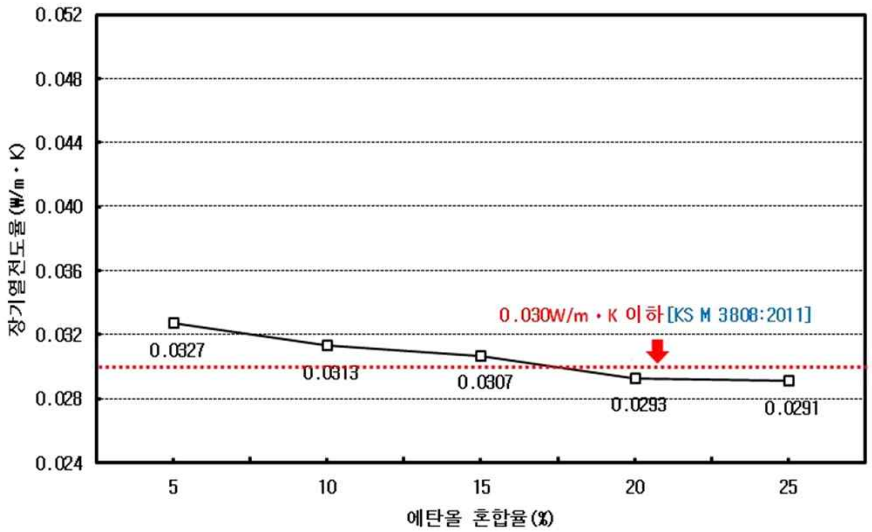
보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 초기열전도율은 감소하는 것으로 나타났으며, KS M 3808 규정에 만족하였다.



[그림 2.47] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 초기열전도율

라. 장기열전도율

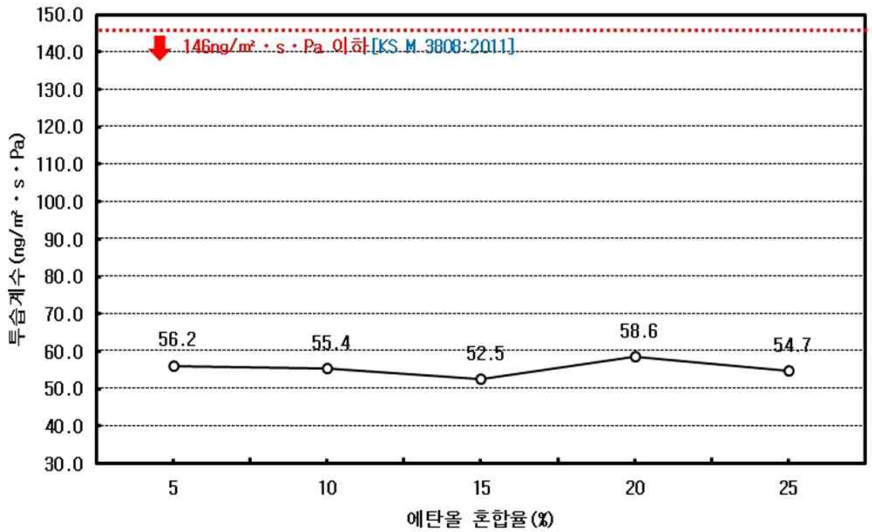
보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.0291~0.0327W/m·K로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25%에서 가장 낮게 나타났다. 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 초기열전도율은 감소하는 것으로 나타났으며, KS M 3808 규정에 만족하였다.



[그림 2.48] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 장기열전도율

마. 투습계수

보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 투습계수는 52.5~58.6N로 나타났다. 보조발포제(에탄올) 혼합율 15%에서 가장 낮게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 60~64%로 만족하였다.



[그림 2.49] 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 투습계수

바. 연소성

보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났다. KS M 3808 규정이내 범위로 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

<표 2.12> 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 연소성

보조발포제(에탄올) 혼합율	연소성
5%	이상없음
10%	이상없음
15%	이상없음
20%	이상없음
25%	이상없음

사. 소 결

(1) 보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 압축강도 29%이상, 굴곡파괴하중 31%이상, 투습계수 60%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 만족하였다.
(2) 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상으로 적용가능할 것으로 판단되며, 제2의 보조발포제에 대한 검토가 요구된다.

제8절 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선

1. 실험개요

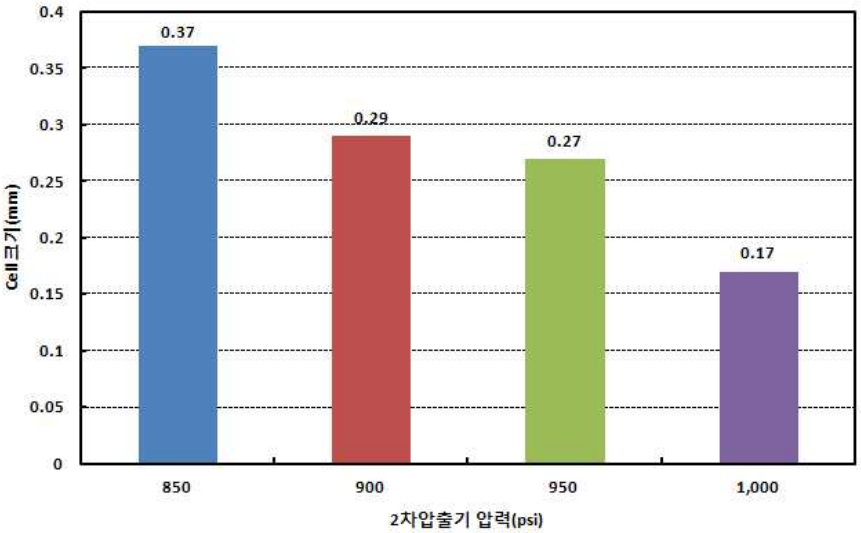
공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850, 900, 950, 1,000psi, 온도 115℃로 선정하였다.

CO_2 대체율 30%로 고정하여 단열재의 두께 50㎜로 생산하고 재령 28일 경과 후 초기열전도율, 장기열전도율 등 압출법 단열판의 단열성능을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교・분석하였다.

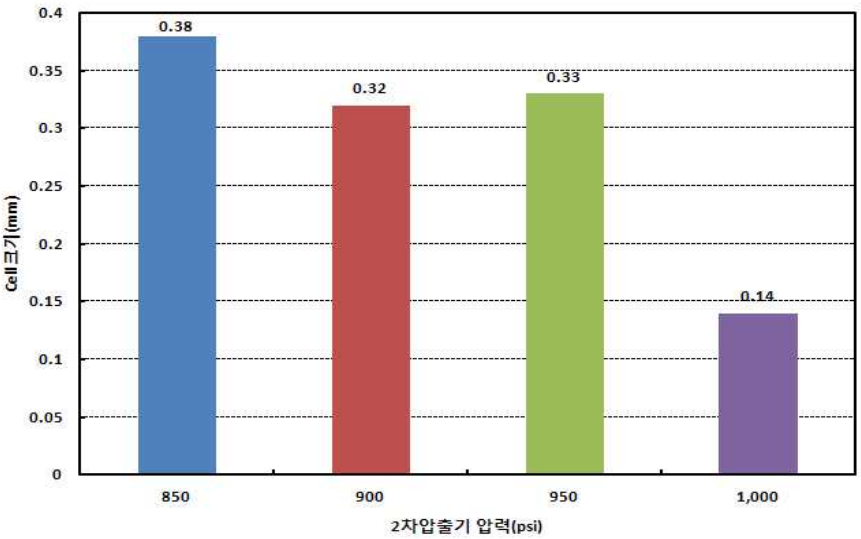
2. 실험결과 및 분석

가. Cell 구조 비교분석

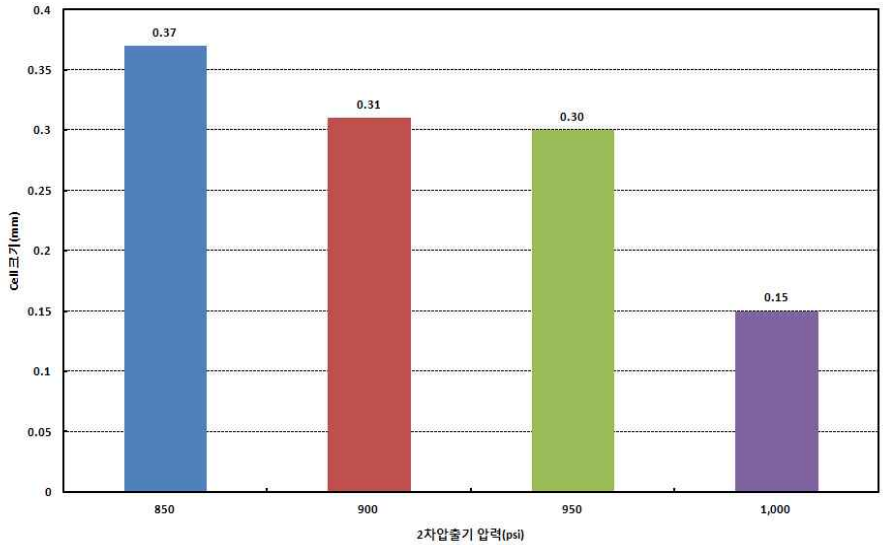
2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 Cell크기는 가로 0.17~0.37㎜, 세로 0.14~0.38㎜, 전체 0.15~0.37㎜로 나타났으며, 감소하는 것으로 나타났다. 2차압출기 압력 전체평균기준으로 1,000→950→900→850psi 순으로 낮게 나타났다.



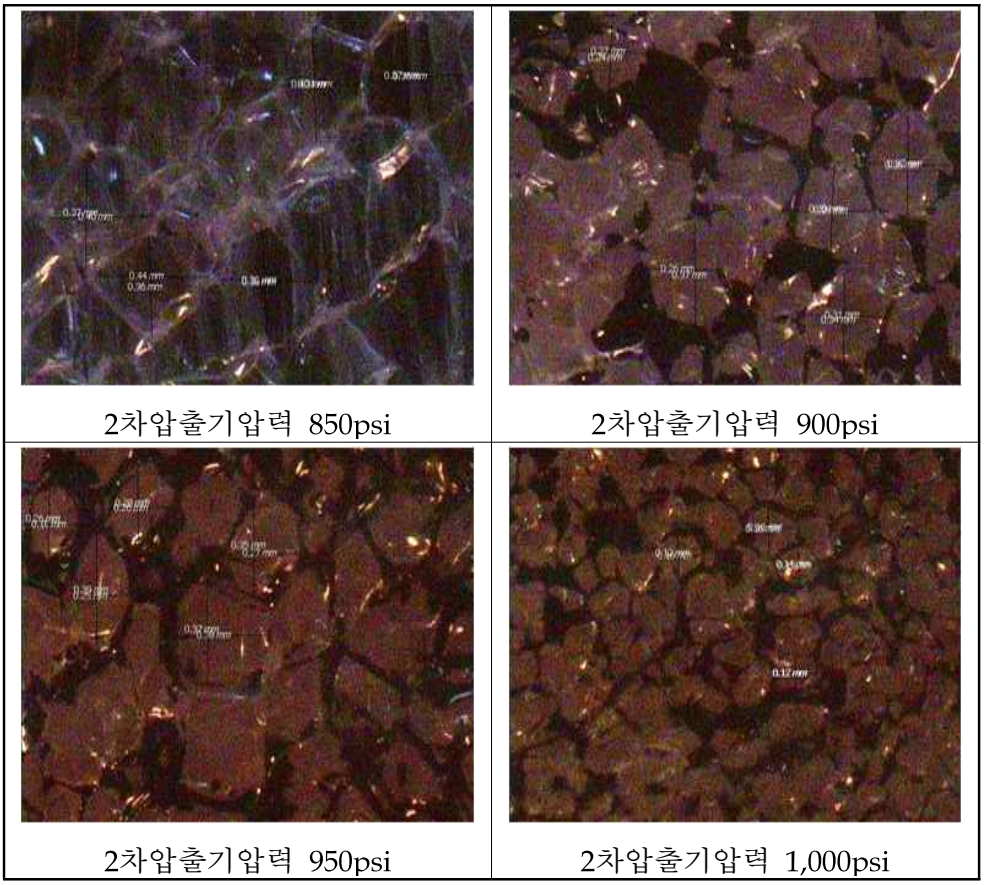
[그림 2.50] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(가로평균)



[그림 2.51] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(세로평균)



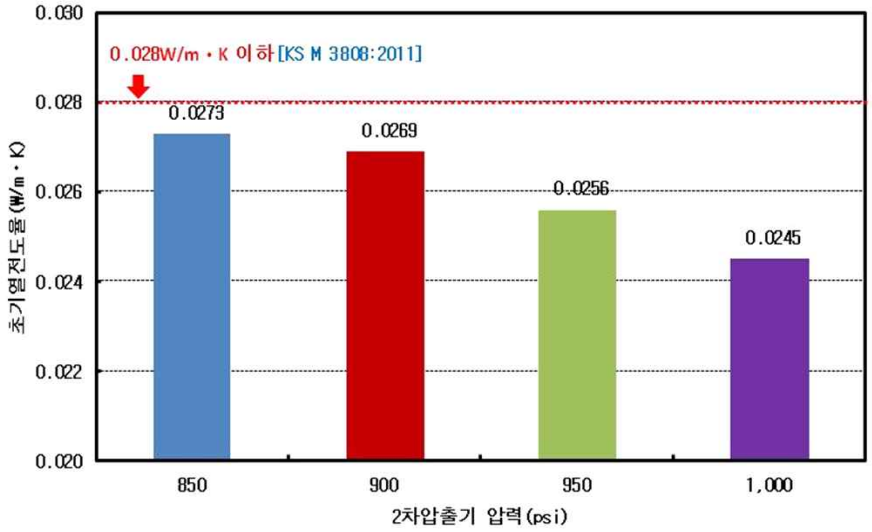
[그림 2.52] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기(전체평균)



[그림 2.53] 2차압출기 압력변화에 따른 Cell크기 사진

나. 초기열전도율

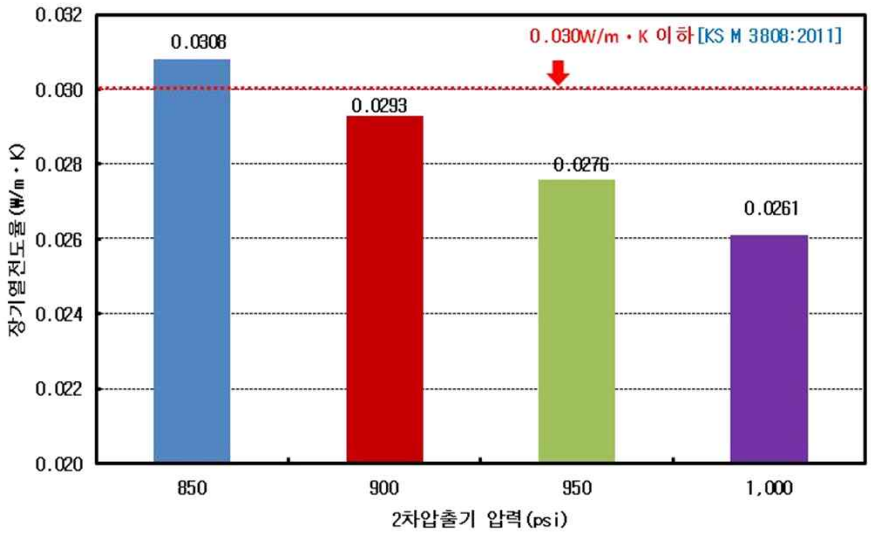
2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.0245~0.0273 W/m·K로 나타났으며, 감소하는 것으로 나타났다. 2차압출기 압력 1,000psi에서 가장 낮게 나타났으며, 2차압출기 압력변화에 따라 초기열전도율은 KS M 3808 규정에 모두 만족하였다.



[그림 2.54] 2차압출기 압력변화에 따른 초기열전도율

다. 장기열전도율

2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 장기열전도율은 0.0261~0.0308 W/m·K로 나타났으며, 감소하는 것으로 나타났다. 2차압출기 압력 1,000psi에서 가장 낮게 나타났으며, 2차압출기 압력변화에 따라 장기열전도율은 KS M 3808 규정에 모두 만족하였다.



[그림 2.55] 2차압출기 압력변화에 따른 장기열전도율

라. 소 결

(1) 2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 단열성능은 900psi이상에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준 보다 초기열전도율은 4%이상, 장기열전도율 2%이상 만족하였다.

(2) 단열성능, 경제성 등을 고려하여 2차압출기 압력은 950psi가 안정적으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

제9절 CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가

1. 실험개요

공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 950, 온도 115℃로 선정하였다.

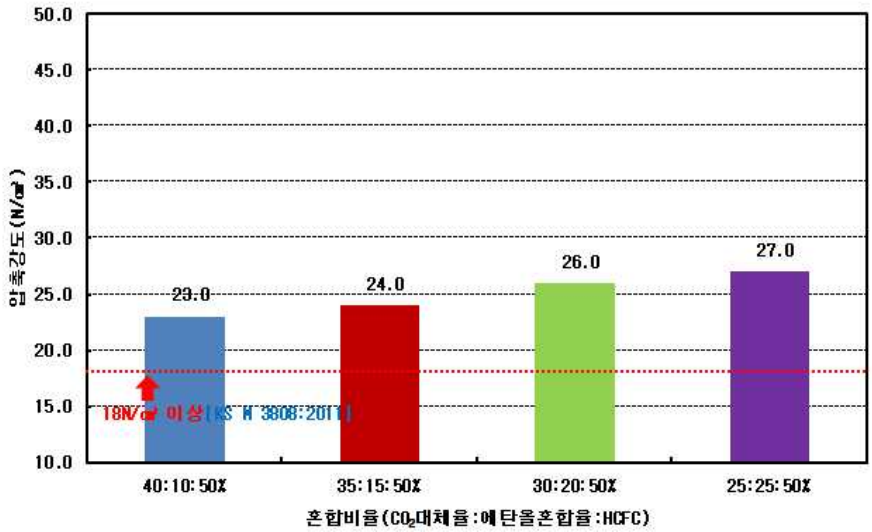
발포제 혼합비율은 CO_2 대체율 + 보조발포제혼합율 + HCFC = 40+10%, 35+15%, 30+20%, 25+25% 등 4수준 + HCFC 50% 적용하였다.

단열재의 두께 50㎜로 생산하고 재령 28일 경과 후 압축강도, 굴곡파괴하중, 초기 열전도율, 장기열전도율, 연소성, 투습계수 등 압출법 단열판의 단열성능을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석하였다.

2. 실험결과 및 분석

가. 압축강도

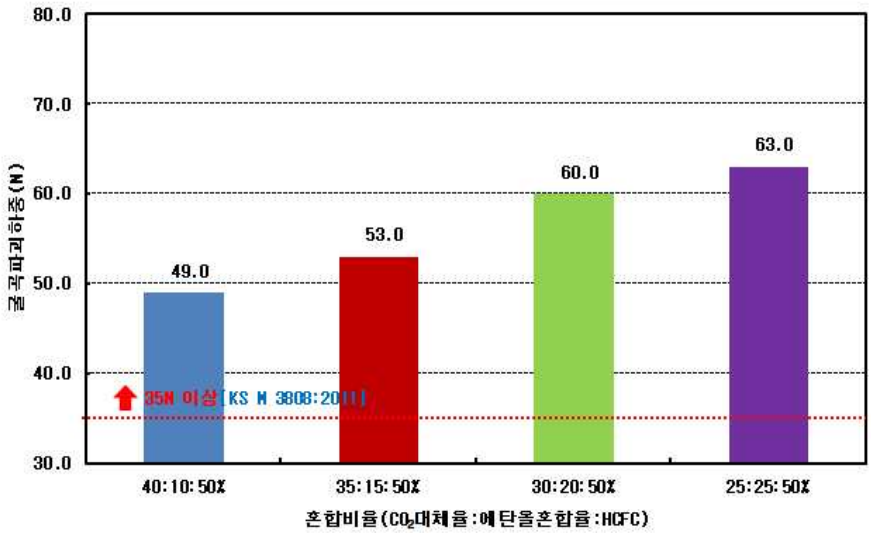
발포제 혼합비율에 따라 압축강도는 23.0~27.0N/㎠로 나타났으며, 증가하는 것으로 나타났다. 발포제 혼합비율 25:25:50%에서 가장 높게 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 22~33%로 만족하였다.



[그림 2.56] 혼합비율에 따른 압축강도

나. 굴곡파괴하중

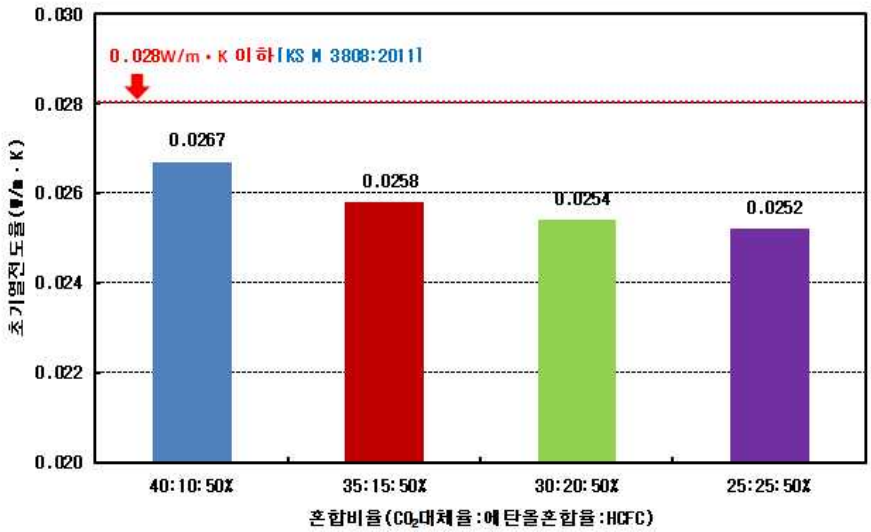
발포제 혼합비율에 따라 굴곡파괴하중는 49.0~63.0N로 나타났으며, 증가하는 것으로 나타났다. 발포제 혼합비율 25:25:50%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 29~44%로 만족하였다.



[그림 2.57] 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중

다. 초기열전도율

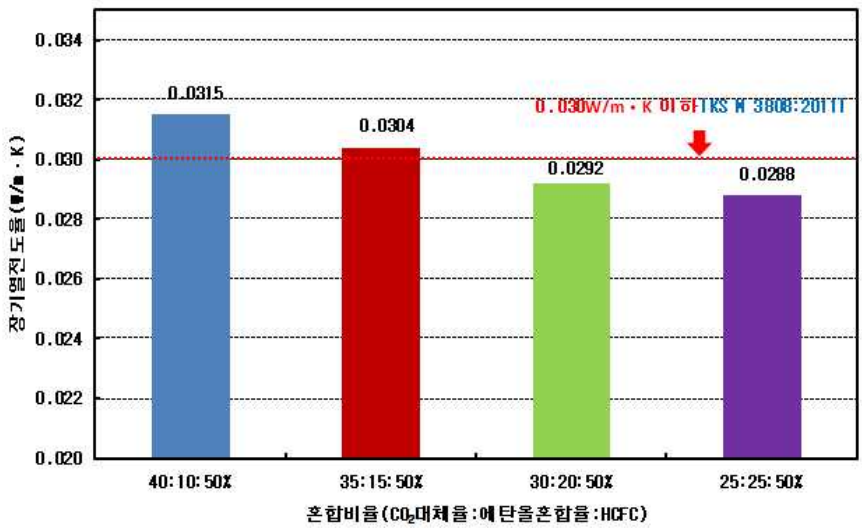
발포제 혼합비율에 따라 초기열전도율은 0.0252~0.0267W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50%에서 가장 낮게 나타났다. 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 감소하는 것으로 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 5~11%로 만족하였다.



[그림 2.58] 혼합비율에 따른 초기열전도율

라. 장기열전도율

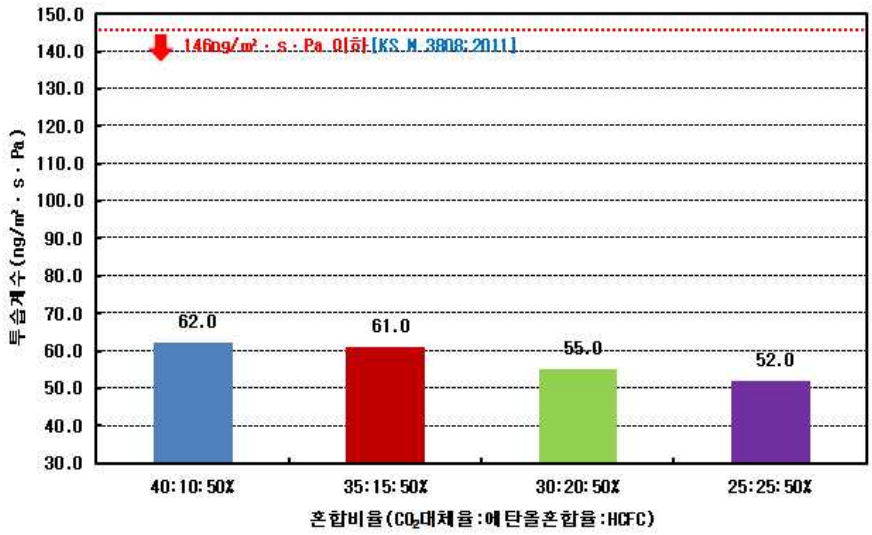
발포제 혼합비율에 따라 장기열전도율은 0.0288~0.0315W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50%에서 가장 낮게 나타났다. 장기열전도율은 감소하는 것으로 나타났으며, 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 KS M 3808 규정에 만족하였다.



[그림 2.59] 혼합비율에 따른 장기열전도율

마. 투습계수

발포제 혼합비율에 따라 투습계수는 52.0~62.0N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50%에서 가장 낮게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 58~64%로 만족하였다.



[그림 2.60] 혼합비율에 따른 투습계수

바. 연소성

발포제 혼합비율에 따라 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났다. KS M 3808 규정이내 범위로 발포제 혼합비율에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다.

<표 2.13> 발포제 혼합비율에 따른 연소성

발포제 혼합비율(%)	연소성
40:10:50	이상없음
35:15:50	이상없음
30:20:50	이상없음
25:25:50	이상없음

사. 소 결

(1) 발포제 혼합비율에 따라 압축강도 22%이상, 굴곡파괴하중 29%이상, 초기열전도율 5%이상, 투습계수 58%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 만

족하였다.

(2) 발포제 혼합비율 30:20:50%이상으로 적용가능할 것으로 판단된다.

제10절 연구결과에 따른 문제점 개선방안

1. CO_2 대체율이 증가함에 따라 압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준에 만족하였으나, CO_2 대체율 35~50% 초기·장기 열전도율은 기준을 초과하여 최적의 CO_2 대체율 선정이 필요하다. 또한, Graphite(흑연) 첨가에 따라 기준에는 만족하였으나, 장기내구성[비틀림 등]에서 문제가 발생하여 단열재의 발포제 재료 조정이 필요하다.
2. Cell 구조개선은 Cell size 평균 0.15mm에서 단열성능 우수하였으며, 2차압출기 900psi이상에서 초기·장기 열전도율 등 기준만족으로 단열성능이 확보된 것으로 분석되었다. 또한, 보조발포제(에탄올) 혼합율은 20%이상에서 기준에 만족하였으며, 단열성능을 확보한 것으로 판단된다.
3. 주요공정개선은 발포시 재료의 혼합문제로 압출기 개선이 필요하며, Die 폭조정으로 압력변화에 의한 단열성능 개선이 가능하다. 재료적인 한계의 직면으로 압출기 등의 주요공정 개선이 필요하나, 비용문제가 발생하여 CO_2 대체 30%에서"설비(압출기)의 개선, 재료적인 한계 등"의 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제 검토가 요구된다.



[그림 2.61] 연구결과에 따른 문제점 개선방안

제11절 CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

1. 연구의 배경 및 목적

몬트리올의정서 근거에 의한 환경규제대상인 수소염화불화탄소(HCFC : hydro chloro fluoro carbon)는 성층권에 존재하는 오존층(ozone layer)을 파괴하기 때문에 2013년부터 단계적으로 사용이 제한됨에 따라 유럽의 경우 HCFC 대체로 HFC, CO_2 재료로 단계적 개발예정이며, 독일은 탄소 입자를 함유하는 발포성 스티렌 중합체기술로서 흑연, 카본블랙 등을 활용한 제조기술을 개발하였다. 또한, 미국의 경우 700~4,500psi 압력하에 CO_2를 50%이상 사용하여 혼합물을 감압 영역 내로 발포시켜 발포 제품을 형성시키는 제조기술을 보유하고 있으며, 일본은 탄화수소류를 적용하여 제품내 cell structure 개선 통한 고성능단열재기술을 개발하였다.

그러나 국내의 경우, 폴리스티렌 단열재의 발포제 HCFC를 100%로 사용하여 생산되고 있으며, 국제적 제약으로 인해 기존 발포제를 대체할 차세대 발포제의 연구개발이 시급하다. 이에 발포제 대체기술 방안으로 환경부하를 고려하여 제철소 등에서 발생되는 부산물인 CO_2를 발포제로 활용하고자 한다. 하지만 CO_2를 발포제로 적용할 경우 생산설비 교체·추가 등으로 경제성에 문제가 생길 수 있어 발포제 혼합물에 대한 재료적 한계성을 검토하여 기초적인 자료로 제시고하자 한다.

따라서 본 연구에서는 압출법 제조공정으로 CO_2 대체율, 보조발포제(에탄올) 혼합율, 제2의보조발포제(HFC-152a)혼합율 등에 따른 단열재의 물리적 성질을 검토·분석하여 발포제 혼합비율에 따른 단열재의 특성을 검토함으로써 CO_2를 단열재의 발포제로 활용하기 위한 방안을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

2. 실험

가. 실험계획

발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산방법은 상압식 방법을 선정하였으며, 폴

리스티렌 단열재 제조시 액상상태의 원활한 재료혼합을 위하여 압출성형 공정조건은 1차 압출기 압력 1,400psi, 1,500psi, 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 750psi, 850psi, 950psi, 온도 115℃로 선정하였다.

발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO_2 대체율 10%, 15, 20%, 25%로 선정하였으며, 발포제 혼합비율은 1차, 2차 압출기 조건에 따라 CO_2 대체율:보조발포제(에탄올)혼합율:제2의보조발포제(HFC-152a)혼합율:HCFC = 10:20:20:50%, 10:20:25:45%, 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 15:15:30:40%, 15:15:35:35%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%, 20:10:30:40%, 20:10:35:35%, 25:5:20:50%, 25:5:25:45%, 25:5:30:40%, 20:5:35:35% 등 16수준을 적용하였다.

<표 2.14> 실험인자 및 수준

1차압출기 공정조건		2차압출기 공정조건		단열재 두께 (㎜)	CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)
압력 (psi)	온도 (℃)	압력 (psi)	온도 (℃)					
1,400 1,500 1,600	200	750 850 950	115	50	10	20	20 25 30 35	50 45 40 35
					15	15	20 25 30 35	50 45 40 35
					20	10	20 25 30 35	50 45 40 35
					25	5	20 25 30 35	50 45 40 35

나. 사용재료 및 제조설비

발포제 재료는 CO_2 가스(순도 95%이상, 액상), 일반용폴리스티렌(GPPS), 발포제(HCFC : 염화불화탄소), 보조발포제(에탄올, 수소불화탄소), 난연제(HBCD : 브롬계열) 등을 사용하였으며, 단열재 제조는 재료혼합기, 1차·2차 압출기, 성형기, 이송

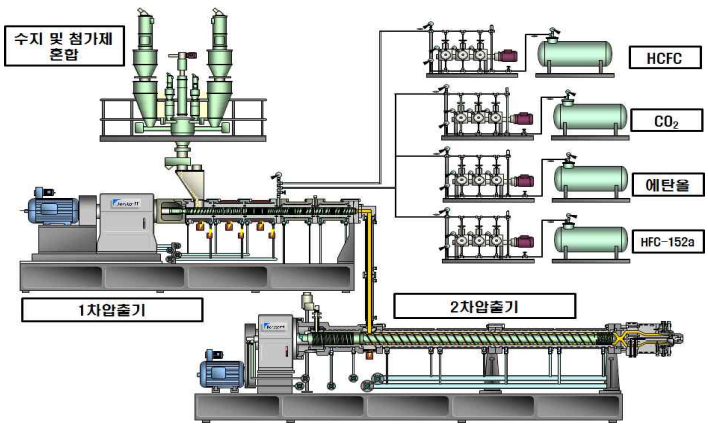
기, 1차·2차 절단기, 적재기 등의 상압식 제조설비를 적용하였다. 사용재료 및 제조설비는 표 2와 같다.

<표 2.15> 사용재료 및 제조설비

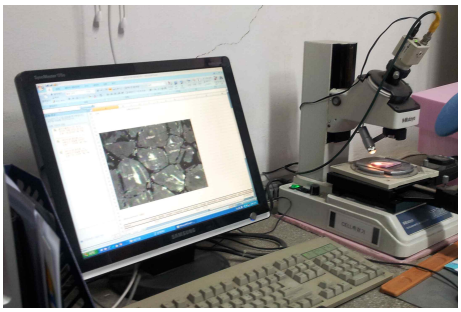
사용재료	제조설비
· CO_2 가스(순도 95%이상, 액상) · 일반용폴리스티렌(GPPS) · 발포제(HCFC : 염화불화탄소) · 보조발포제(에탄올, 수소불화탄소) · 난연제(HBCD : 브롬계열)	· 제조방법: 압출법(상압식) · 주요설비 - 재료혼합기 - 1차·2차 압출기(용융기, 냉각기) - 성형기, 이송기 - 1차·2차 절단기 - 적재기

다. 실험방법

KS M 3808 발포 폴리스티렌 단열재의 두께기준 50㎜로 제조하였으며, 시험용 시료는 제조후 24시간 이상 경과한 제품에서 시험편을 500×500㎜ 절단하였다. KS M 3808:2011 발포 폴리스티렌 단열재(압출법 단열판의 특성)의 기준과 비교·분석을 통하여 발포제(CO_2, 보조발포제, 제2의보조바로제, HCFC) 혼합비율의 적정함량을 도출하고 CO_2의 활용증가를 위하여 발포제 혼합비율에 따라 단열재의 열전도율(초기, 장기), 굴곡파괴하중, 압축강도, 투습계수 등의 물리적 특성을 검토하였으며, Mitutoyo 광학현미경으로 확대율(100 %)을 고정시킨 후 압출법 단열판의 내부구조인 Cell 구조 및 크기를 측정하였다.



[그림 2.62] 상압식 압출법 생산공정도



[그림 2.63] 단열재의 SEM 측정

(1) 밀도

밀도는 KS M 3808 발포폴리스티렌(PS) 단열재의 6.6 밀도 시험방법에 준하여 단열재 크기를 200×200×50 ㎜로 절단하고 시험편 중앙부에서 1개, 임의의 곳에서 2개를 잘라내어 70±5 ℃에서 건조하여 항량이 된 후 무게(W)와 부피(V)를 구하여 밀도를 식 (1)과 같이 계산하고 3개의 평균값으로 하였다.

$$\text{밀도}(\text{kg/m}^3) = \frac{W}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

(2) 열전도율

초기열전도율은 KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법에서 규정한 생산된지 28일이 지난 단열재로 500×500×50 ㎜로 준비하여 평균온도 23±2 ℃에서 Holo metric(model : rapid-k) 시험기를 사용하여 초기열전도율을 측정하였다. 또한 장기열전도율은 KS M ISO 11561에서 규정하고 있는 생산된지 28일이내 단열재로 하였으며, 동규격의 시험방법 B에 따라 시험하였다. 500×500㎜로 준비된 단열재를 두께 10 ㎜로 슬라이스하여 항온항습실에서 실내온도 23±2 ℃와 상대습도 50±5 %로 48시간 동안 전처리 후 90일 동안 적층한 단열재를 Holo metric(model : rapid-k) 시험기를 사용하여 장기열전도율을 측정하였다.



(a) 초기열전도율 (b) 장기열전도율

[그림 2.64] 단열재의 열전도율 실험

(3) 굴곡파괴하중

굴곡파괴하중은 KS M ISO 4898에 준하여 단열재의 크기를 250×100×20 ㎜로 가로방향으로 절단후 지지간격 200 ㎜, 하중 집중 속도 50 ㎜/min로 하였다. KS M ISO 1209-1에 준하여 시험편의 치수를 측정 후 지지봉 위에 대칭으로 두고 시험편의 종축에 대해서 수직으로 하중이 가해지도록 하였으며, Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

(4) 압축강도

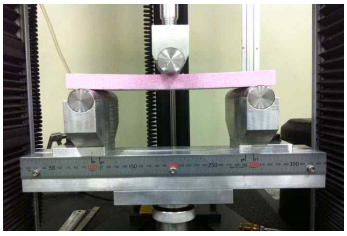
압축강도는 단열재의 크기를 100×50×50 ㎜로 3개를 절단후 KS M ISO 844에 준하여 시험편을 압축 시험기의 판 사이에 두고 시험편과 판의 중심에 이동판을 일정한 속도로 이동시키며 시험편을 압축시켰다. 시험속도는 시험편의 두께 10 % ㎜/min로 하였으며, Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

(5) 투습계수

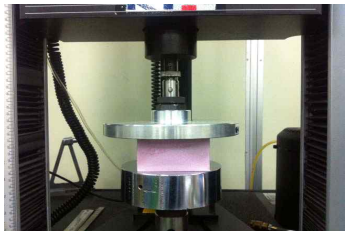
투습계수는 단열재의 지름 65 ㎜, 두께 25 ㎜로 원통모양으로 3개를 절단후 KS M 3808:2011 부속서 A에 준하여 측정하였다.

(6) 연소성

연연소성 시험은 KS M ISO 9772에 준하여 시료에서 두께 13 ㎜, 길이 150 ㎜, 너비 50 ㎜로 시험편을 절단하고 연소시험기 내에서 시험편에 불꽃을 가하여 시험편의 불이 꺼질 때까지의 시간을 연소시간(초)으로 하고 불이 꺼진 후 시험편의 탄 부분 중 가장 긴 부분의 길이를 연소길이 (㎜)로 하여 측정하였다.



[그림 2.65] 굴곡파괴하중 실험



[그림 2.66] 압축강도 실험



[그림 2.67] 투습계수 실험



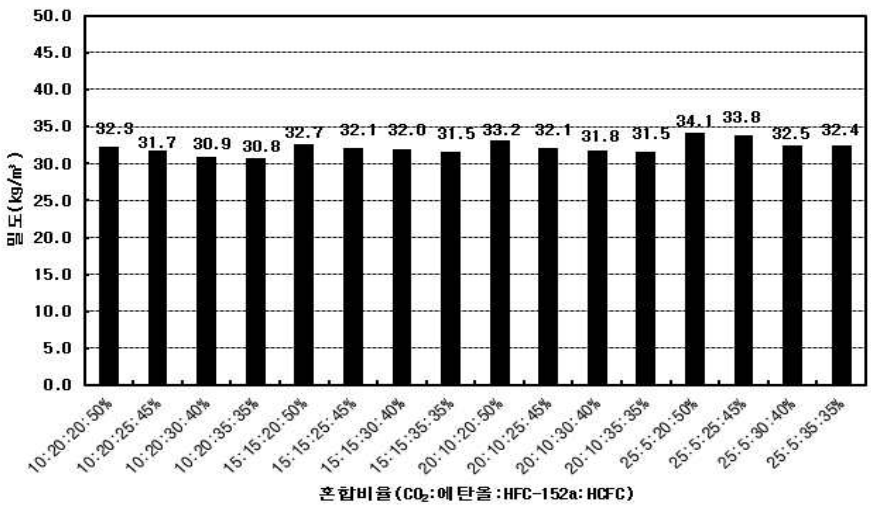
[그림 2.68] 연소성 실험

3. 실험결과 및 분석

가. 1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 단열재 성능평가

(1) 밀도

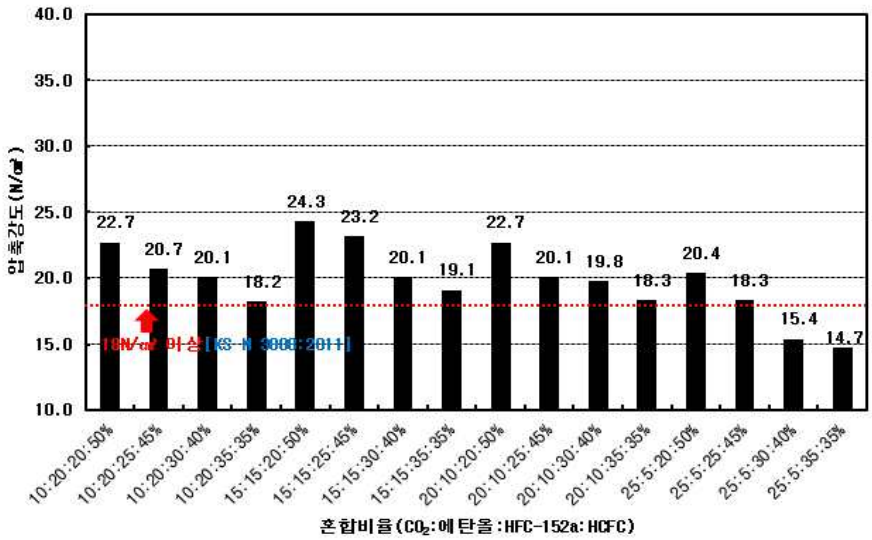
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 30.8~34.1㎏/㎥로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:5:20:50%에서 가장 높게 나타났다.



[그림 2.69] 발포제 혼합비율에 따른 밀도
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(2) 압축강도

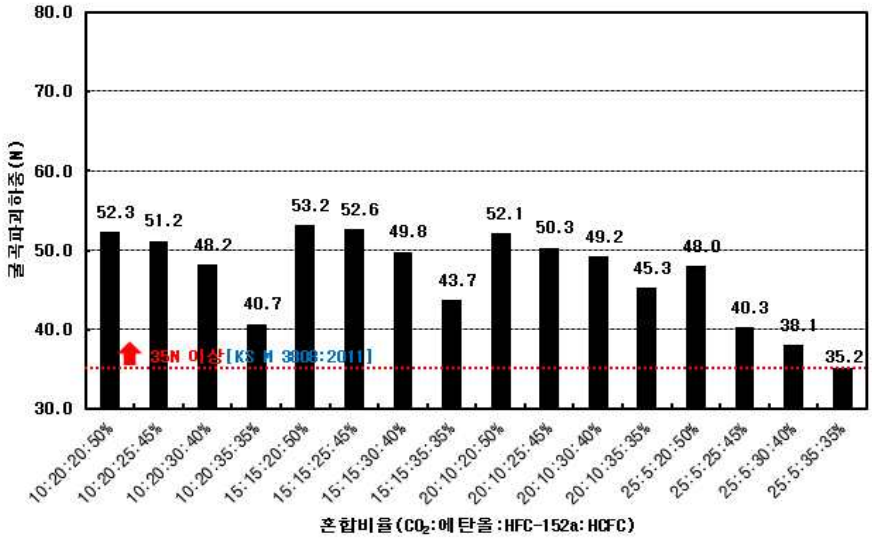
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 압축강도는 14.7~24.3N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:20:50%~25:5:25:45%은 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 보다 1~26%로 만족하였으며, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%는 만족하지 못하였다.



[그림 2.70] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(3) 굴곡파괴하중

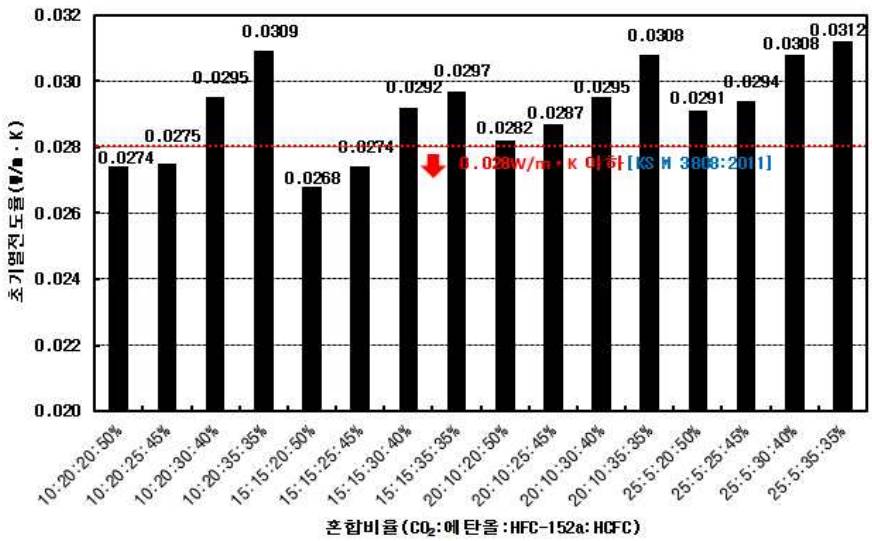
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중은 35.2~53.2N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 굴곡파괴하중 보다 1~34%로 만족하였다.



[그림 2.71] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(4) 초기열전도율

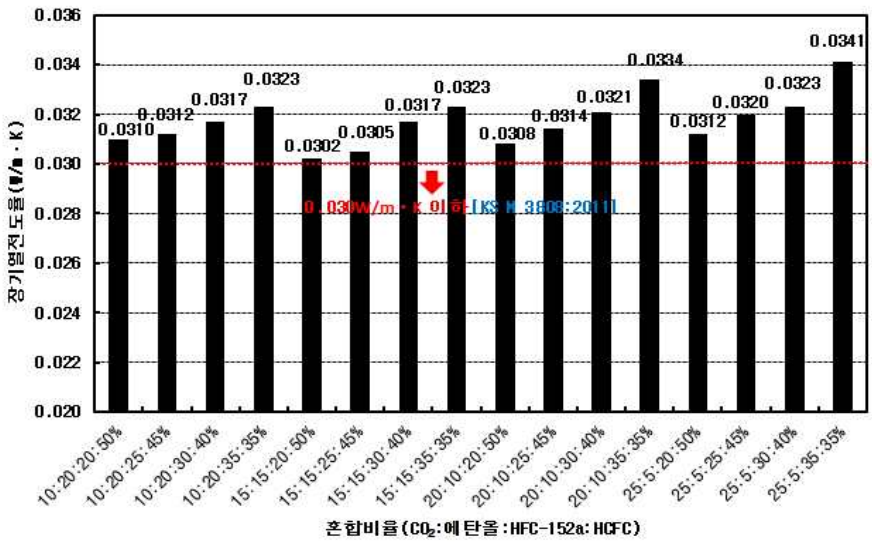
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 0.0268~0.0312W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 초기열전도율에 만족하는 혼합비율은 10:20:20:50%, 10:20:25:45%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%로 나타났다.



[그림 2.72] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(5) 장기열전도율

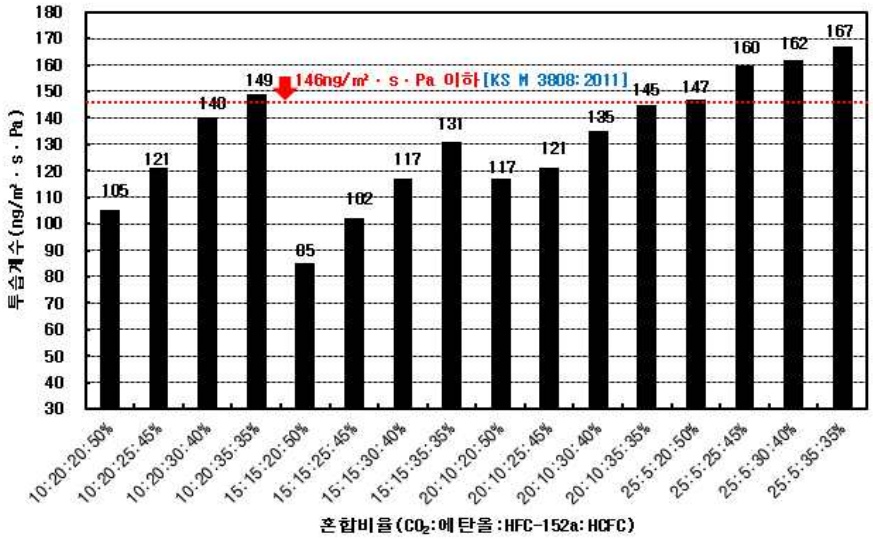
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율은 0.0302~0.0341W/m・K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 또한 CO_2 및 제2의 보조발포제 대체율에 따른 장기열전도율은 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 기준에 만족하지 못 하였다.



[그림 2.73] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(6) 투습계수

1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 투습계수는 85~167ng/㎡・s・Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:20:50%, 25:5:25:45%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%는 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 투습계수 기준에 만족하지 못 하였다.



[그림 2.74] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(7) 연소성

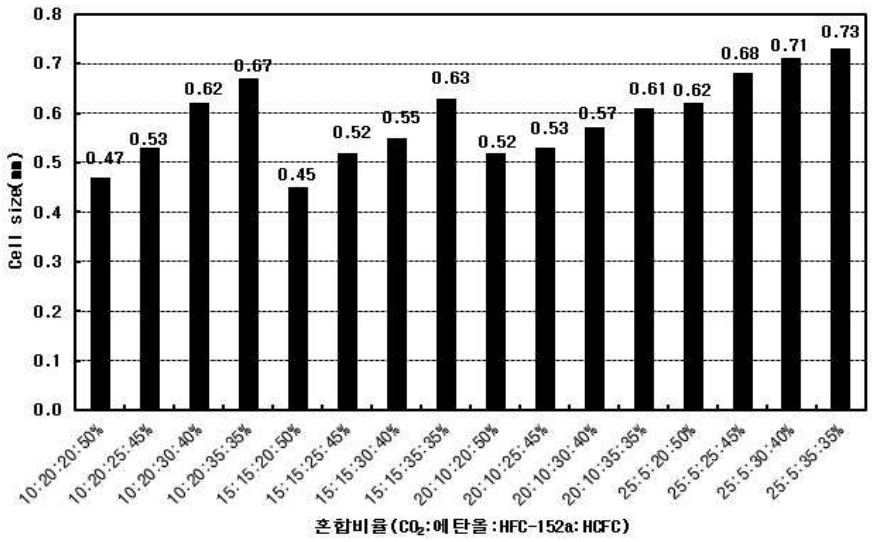
1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 나타났다.

<표 2.16> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

(8) Cell size 분석

1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 Cell 크기는 평균(가로×세로) 0.45~0.73㎜로 나타났으며, 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다.



[그림 2.75] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size
(1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi)

(9) 소 결

(가) 1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 30이상㎏/㎥으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도의 경우 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 1~34%로 만족하였다. 또한 투습계수는 10:20:35:35%, 25:5:20:50%, 25:5:25:45%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 만족하지 못 하였다.

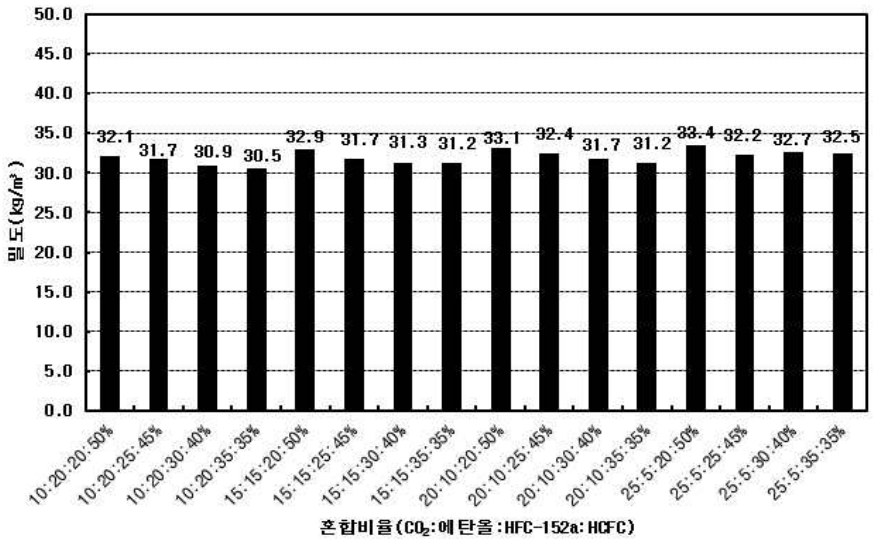
(나) 초기열전도율은 혼합비율 10:20:20:50%, 10:20:25:45%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 KS M 3808 기준에 만족하지 못 하였다.

(다) 1차압출기 1,400psi, 2차압출기 750psi 조건에서 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열전도율, 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.45㎜로 나타난 15:15:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.

나. 1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 단열재 성능평가

(1) 밀도

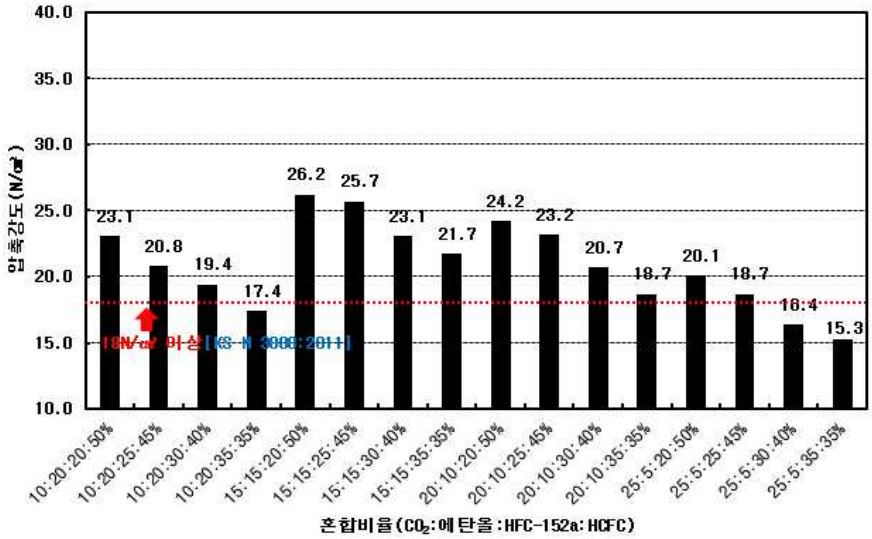
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 30.5~33.4㎏/㎥로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:5:20:50%에서 가장 높게 나타났다.



[그림 2.76] 발포제 혼합비율에 따른 밀도
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(2) 압축강도

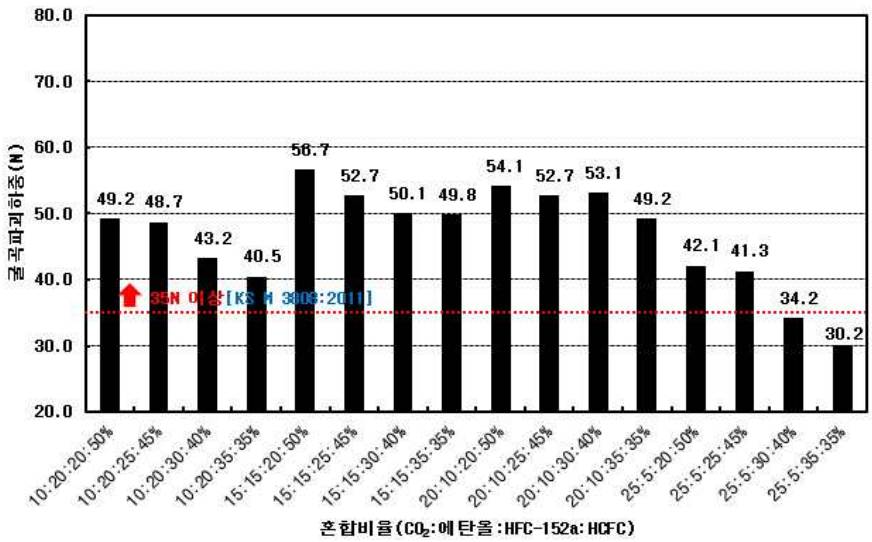
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 압축강도는 15.3~26.2N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%는 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축강도 기준에 만족하지 못 하였다.



[그림 2.77] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(3) 굴곡파괴하중

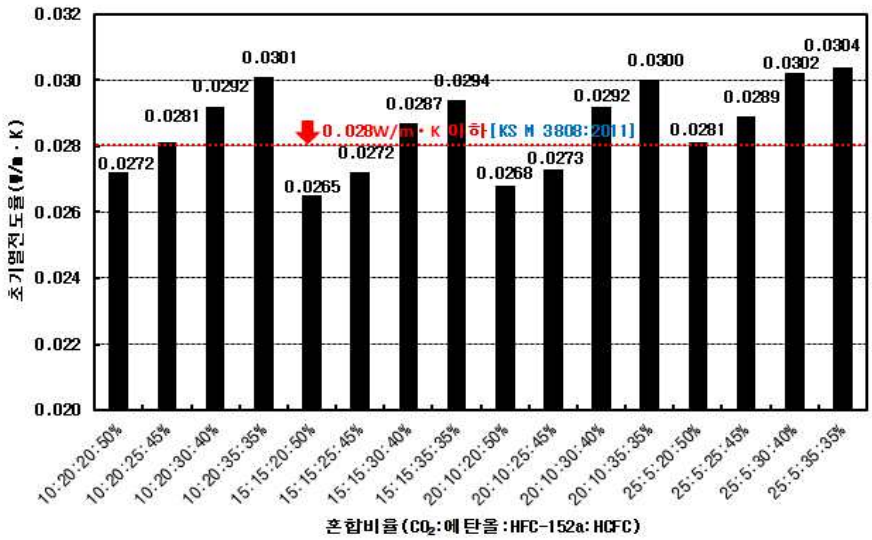
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중은 30.2~56.7N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:20:50%~25:5:25:45%은 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 굴곡파괴하중 보다 14~38%로 만족하였으며, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%는 만족하지 못 하였다.



[그림 2.78] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(4) 초기열전도율

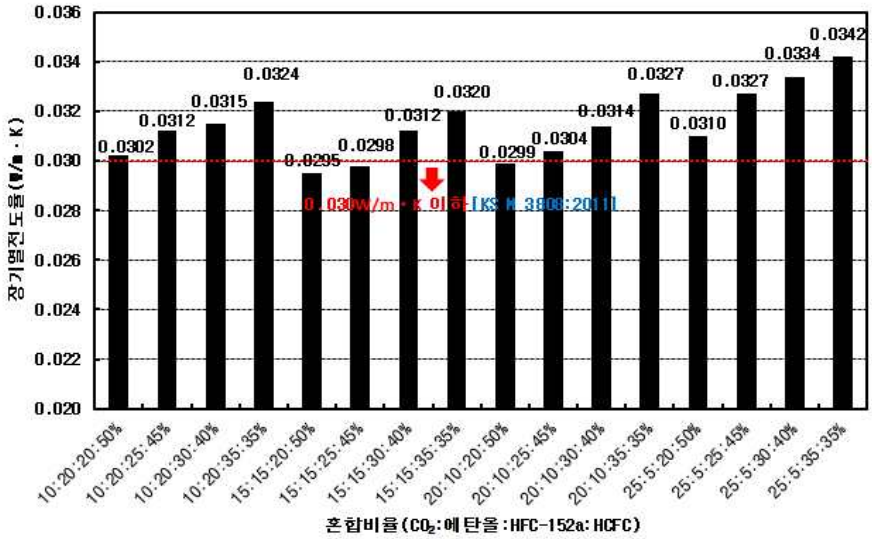
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 0.0265~0.0304W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 초기열전도율에 만족하는 혼합비율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%로 나타났다.



[그림 2.79] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(5) 장기열전도율

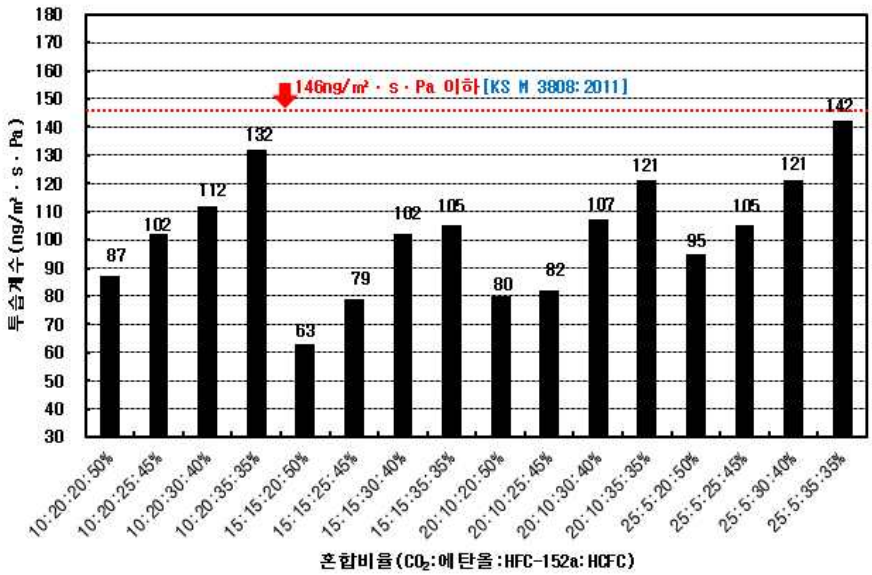
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율은 0.0295~0.0342W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 장기열전도율에 만족하는 혼합비율은 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%로 나타났다.



[그림 2.80] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(6) 투습계수

1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 투습계수는 63~142ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 투습계수 기준 보다 3~57%로 만족하였다.



[그림 2.81] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(7) 연소성

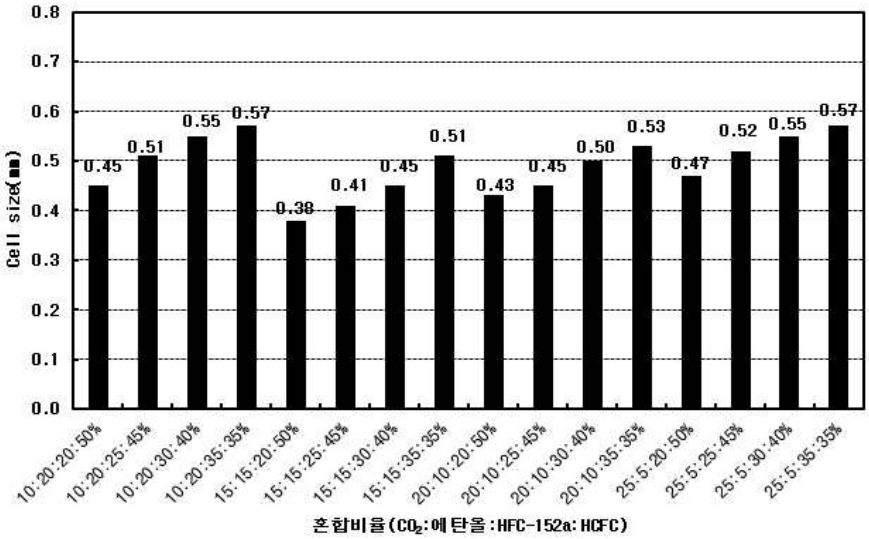
1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 나타났다.

<표 2.17> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

(8) Cell size 분석

1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 Cell 크기는 평균(가로×세로) 0.38~0.57㎜로 나타났으며, 15:15:20:50%에서 가장 낮게 나타났다.



[그림 2.82] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size
(1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi)

(9) 소 결

(가) 1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 30이상㎏/㎥으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였다. 투습계수는 기준 보다 3~57%로 만족하였다.

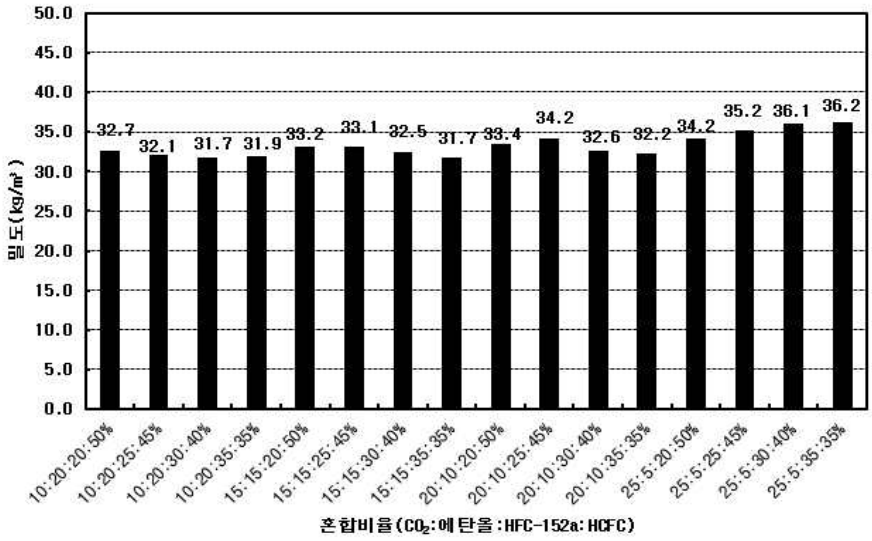
(나) 초기열전도율은 혼합비율 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 KS M 3808 기준에 만족하지 못 하였다.

(다) 1차압출기 1,500psi, 2차압출기 850psi 조건에서 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.38㎜로 나타난 15:15:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.

다. 1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 단열재 성능평가

(1) 밀도

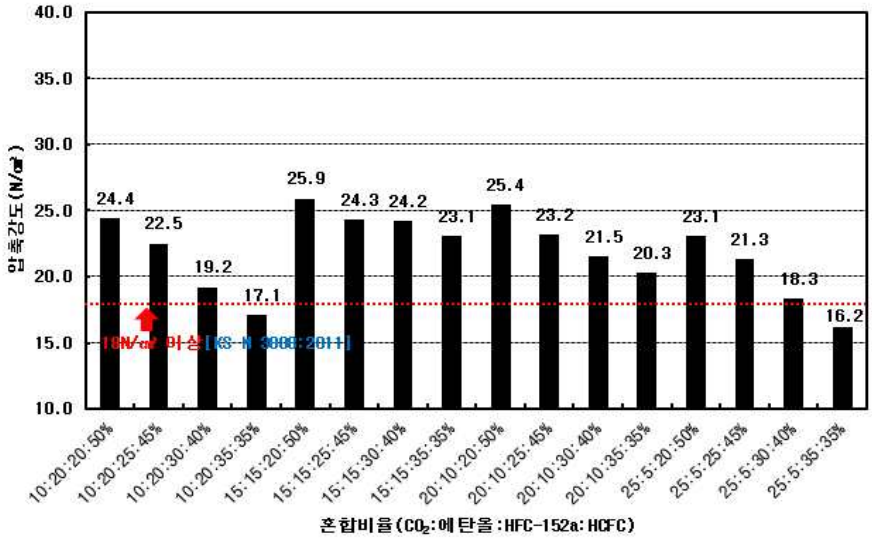
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31.7~36.2㎏/㎥로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:5:35:35%에서 가장 높게 나타났다. 이는 단열재 재료 GPPS(General of purpose polystyrene)와 발포제가 혼합시 Cell 구조에 기인한 것으로 사료되며, Cell size가 크고 균일하지 못하게 생성되어 밀도가 불안정한 것으로 사료된다.



[그림 2.83] 발포제 혼합비율에 따른 밀도
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(2) 압축강도

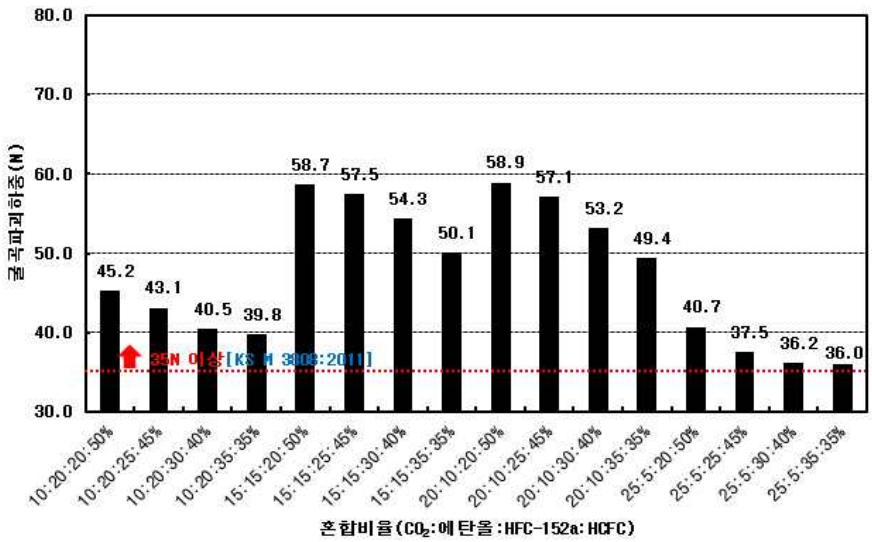
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 압축강도는 16.2~25.9N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:35:35%는 현행 KS M 3808 압축강도 기준에 만족하지 못 하였다.



[그림 2.84] 발포제 혼합비율에 따른 압축강도
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(3) 굴곡파괴하중

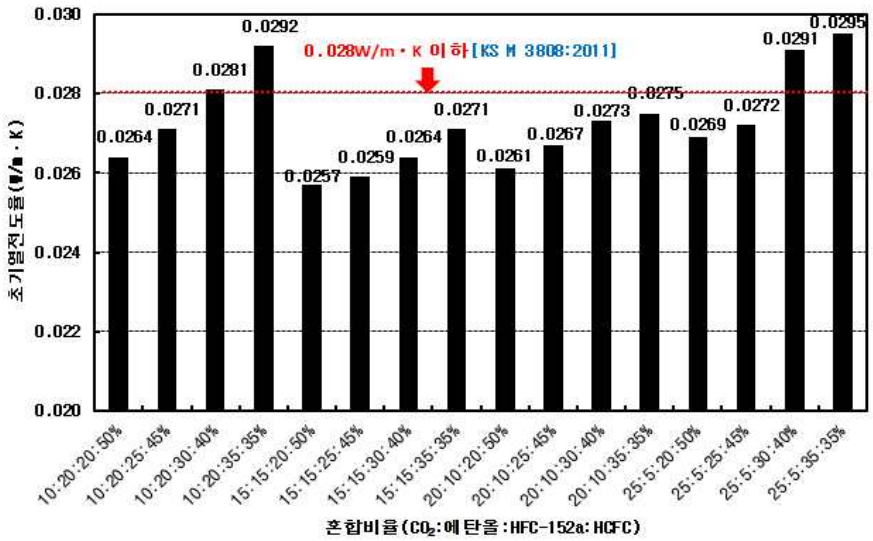
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중은 36.0~58.9N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 높게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 굴곡파괴하중 기준 보다 3~41%로 만족하였다.



[그림 2.85] 발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(4) 초기열전도율

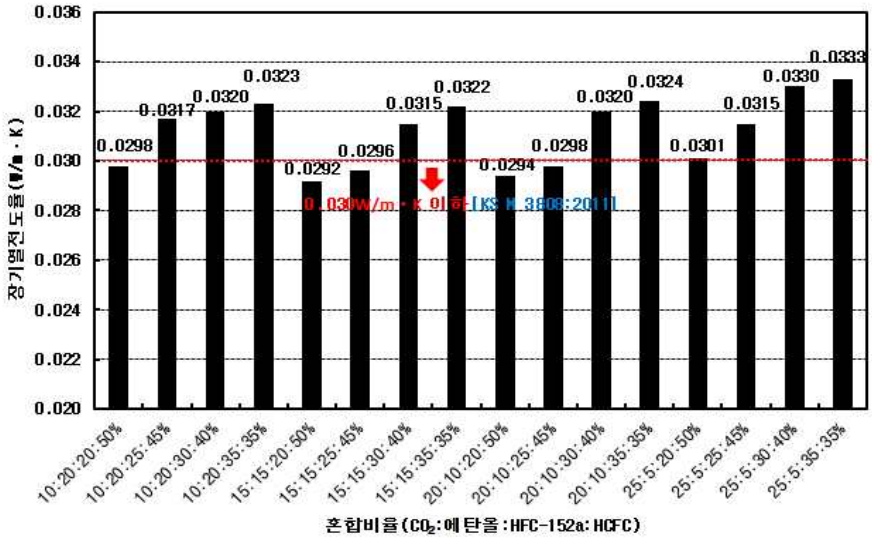
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 0.0257~0.0295W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 발포제 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%는 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였다.



[그림 2.86] 발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(5) 장기열전도율

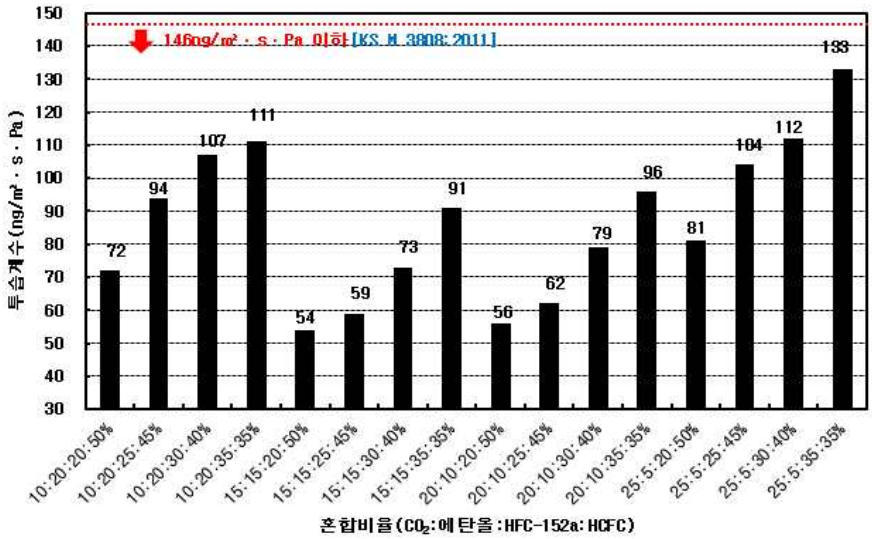
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율은 0.0292~0.0333W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 장기열전도율에 만족하는 혼합비율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%로 나타났다.



[그림 2.87] 발포제 혼합비율에 따른 장기열전도율
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(6) 투습계수

1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 투습계수는 54~133ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 투습계수 기준 보다 9~63%로 만족하였다.



[그림 2.88] 발포제 혼합비율에 따른 투습계수
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(7) 연소성

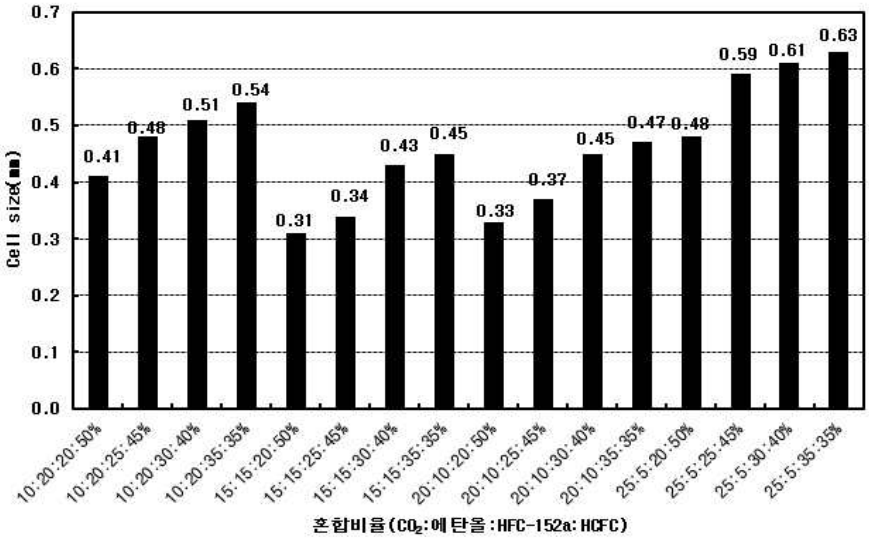
1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 연소성은 모두 연소시간 120초 이내, 연소길이 60㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 나타났다.

<표 2.18> 발포제 혼합비율에 따른 연소성(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

(8) Cell size 분석

1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 Cell 크기는 평균(가로×세로) 0.31~0.63㎜로 나타났으며, 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타났다.



[그림 2.89] 발포제 혼합비율에 따른 Cell size
(1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi)

(9) 소 결

(가) 1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 일 때 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31이상㎏/㎥으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3~41%로 만족하였다. 또한 투습계수는 기준 보다 9~63%로 만족하였다.

(나) 초기열전도율은 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 기준에 만족하였다.

(다) 1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 조건에서 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31㎜로 나타난 15:15:20:50%와 0.33㎜로 나타난 20:10:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.

제12절 결 론

1. 국외 유럽 등은 HFC에서 CO_2까지 활용되었으며, 일본의 경우는 탄화수소류로 대체한 생산기술을 확보한 것으로 판단된다. 북미는 HFC류로 활용하고 있는 실정이다(고단열성을 개선한 친환경발포제 대체 재료는 첨가제 Graphite, CARBON BLACK 등을 적용, 발포기술인 Cell structure의 개선으로 Micro cell, complex cell 등을 개발).
2. 국내의 경우 HCFC류 발포제를 사용하고 있는 것으로 분석되었다(XPS업계는 선진국에서 압출기계를 수입한 업체에 기술에 의존 소극적으로 접근하는 초기 단계임).
3. 공정조건 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 115℃ 조건으로 CO_2 대체에 의한 50~75㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못 하였다.
4. 공정조건 1차 압출기 압력조건 1,300psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 700psi, 온도 125℃ 조건으로 CO_2 대체에 의한 100~110㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못 하였다.
5. 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 20%이상 적용가능할 것으로 판단되며, 단열재 두께 100~110㎜ 보다 50~75㎜ 단열재의 성능효과가 더 높게 나타나 단열재 두께 50~75㎜로 적용가능할 것으로 판단된다.
6. 최대공정조건 1차 압출기 압력조건 1,600psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 850psi, 온도 125℃ 조건으로 CO_2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 발포제 대체 CO_2 30%이상 적용가능, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였다.
7. 최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 압축강도,

굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~64%로 만족하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃ 조건으로 적용가능할 것으로 판단된다.

8. Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가한 결과, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~60%로 만족하였다.
9. CO_2 활용증대를 위하여 30%까지 대체 가능할 것으로 판단되며, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 이에 Graphite(흑연) 적용으로 단열재의 성능개선 효과가 있을 것으로 판단된다.
10. CO_2 대체율 증가에 따라 밀도증가, 열전도율증가, 표면불안정, 두께감소 등의 문제점이 발생하였으며, 이는 불안정한 Cell 구조, 고온, 저기압, 발포제 혼합 등으로 판단된다. 따라서, 압출기의 교체가 필요하나, 비용문제가 발생하여 추가발포제 등 재료적인 검토가 요구된다.
11. Die 보완은 470mm → 450mm로 폭조정 및 설비교체 결과, 폭조정에 의한 Die 압력 상승으로 Cell 구조가 개선된 것으로 판단된다.
12. 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 압축강도 18%이상, 굴곡파괴하중 45%이상, 투습계수 61%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO_2 대체율 35%이상에서 만족하지 못 하였다.
13. 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 50%까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단된다.
14. CO_2 대체율 30%, Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 기준에는 만족하였으나, 장기내구성에서 비틀림 현상이 발생하여 이에 대한 보완·추가 재료의 검토가 요구된다.
15. 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 보조발포제(에탄

올) 혼합율 5~25%로 증가함에 따라 압축강도 29%이상, 굴곡파괴하중 31%이상, 투습계수 60%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 만족하였다.

16. 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상으로 적용가능할 것으로 판단되며, 제2의 보조발포제에 대한 검토가 요구된다.
17. 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선 결과, 2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 단열성능은 900psi이상에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준 보다 초기열전도율은 4%이상, 장기열전도율 2%이상 만족하였으며, 단열성능, 경제성 등을 고려하여 2차압출기 압력은 950psi가 안정적으로 적용가능할 것으로 판단된다.
18. CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가 결과, 발포제 혼합비율에 따라 압축강도 22%이상, 굴곡파괴하중 29%이상, 초기열전도율 5%이상, 투습계수 58%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 만족하였다.
19. CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 최적조건은 장기열전도율 기준으로 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 적용가능할 것으로 판단된다.
20. 재료적인 한계의 직면으로 압출기 등의 주요공정 개선이 필요하나, 비용문제가 발생하여 CO_2 대체 30%에서“설비[압출기]의 개선, 재료적인 한계 등”의 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제 검토가 요구된다.
21. 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 30%까지 대체 가능할 것으로 판단되며, 보조발포제를 첨가하면 열전도율에 대한 성능효과가 개선될 것으로 판단되나, 고가의 설비개선 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제의 검토가 필요할 것으로 판단된다.
22. 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31㎏/㎥ 이상으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3～41%로 만족하였다. 또한 투습계수는 기준 보다 9～63%로 만족하였다.

23. 초기열전도율은 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 기준에 만족하였다.
24. 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31㎜로 나타난 15:15:20:50%와 0.33㎜로 나타난 20:10:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.
25. CO_2 활용을 위한 압출법 단열재의 발포제 혼합비율은 열전도율의 안정성을 고려하여 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 적용이 가능할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 혼합재료에 따라 CO_2를 단열재의 발포제로 활용가능할 것으로 판단된다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

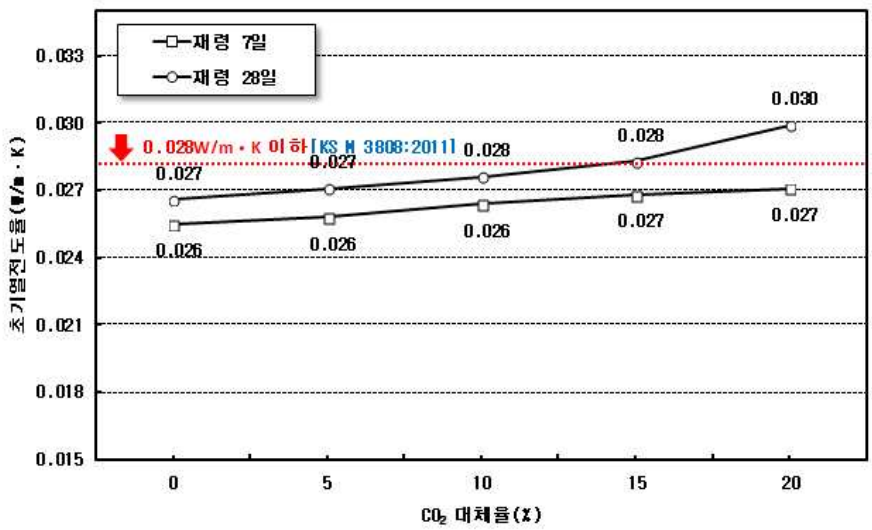
제1절 주요 학술적 연구성과

1. CO_2를 발포제로 활용한 단열재의 물리적 특성에 관한 연구성과

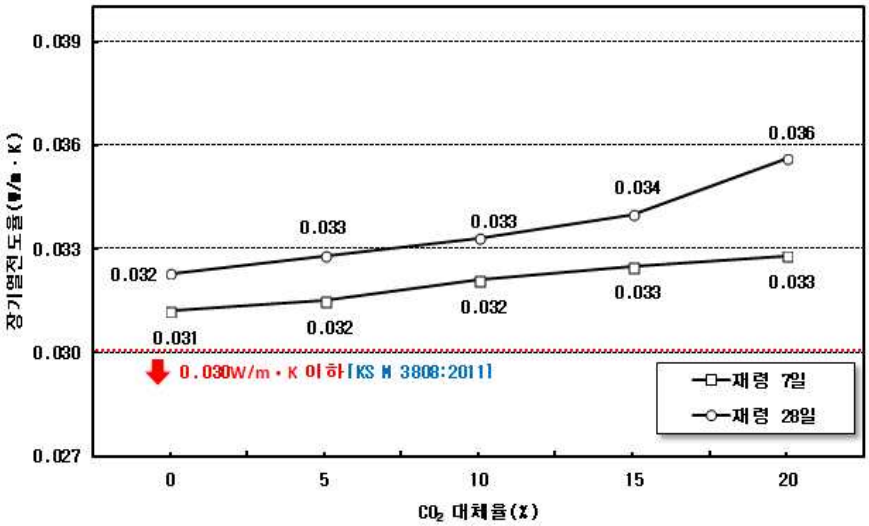
가. A Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 100~110㎜ 단열재의 물리적 특성

(1) 열전도율

A Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 100~110㎜ 단열재의 열전도율 실험결과, CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 초기열전도율은 0.026~0.027W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.027~0.030W/m·K로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 장기열전도율은 0.031~0.033W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.032~0.036W/m·K로 나타났다. CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, CO_2 대체율 20%에서 높은 수준으로 분석되었다.



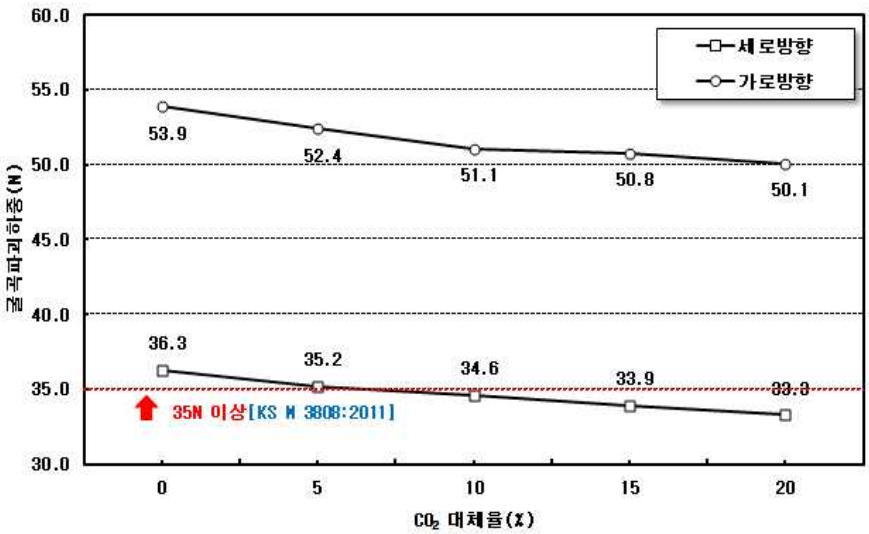
[그림 3.1] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율(두께 100~110㎜)



[그림 3.2] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율(두께 100~110㎜)

(2) 굴곡파괴하중

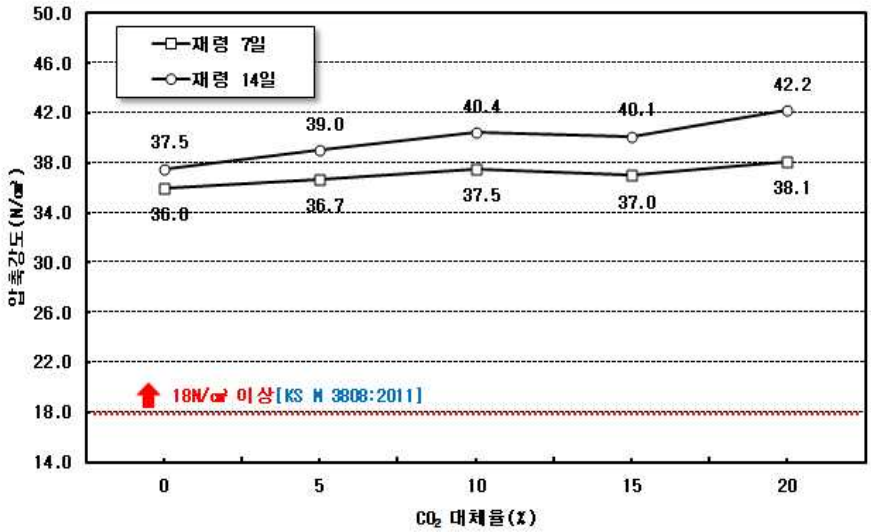
A Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 100~110㎜ 단열재의 굴곡파괴하중 실험결과, CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 가로방향의 굴곡파괴하중은 50.1~53.9N로 나타났으며, 세로방향은 33.3~36.3N/㎠로 나타났다. CO_2 대체율이 증가할수록 굴곡파괴하중은 감소하였으며, 가로방향의 경우 30%이상 상회하는 것으로 나타났다. 이는 CO_2 대체율이 증가할수록 Cell 구조의 비활성화와 동시에 단열재 생산시 성형방향으로 인해 감소한 것으로 판단된다.



[그림 3.3] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중(두께 100~110㎜)

(3) 압축강도

A Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 100~110㎜ 단열재의 압축강도 실험결과, CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 압축강도는 36.0~38.1N/㎠로 나타났으며, 재령 14일은 37.5~42.2N/㎠로 나타났다. 재령일에 관계 없이 CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다. 이는 발포시 발포제인 CO_2가 원활하게 발포하지 못하여 Cell의 형성을 비활성화 시킨 것으로 판단된다.

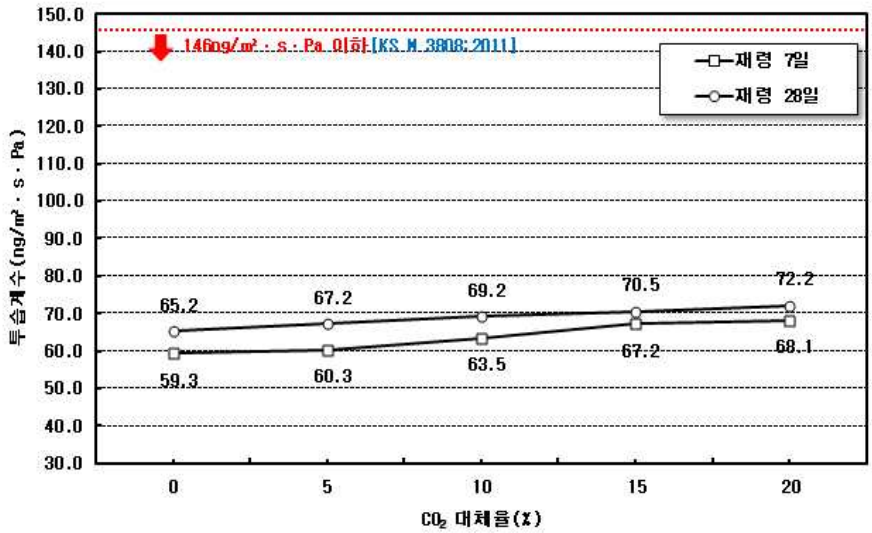


[그림 3.4] CO_2 대체율에 따른 압축강도(두께 100~110㎜)

(4) 투습계수

A Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 100~110㎜ 단열재의 투습계수 실험결과, CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 투습계수는 59.3~68.1ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 재령 28일은 65.2~72.2ng/㎡·s·Pa로 나타났다.

CO_2 대체율 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 나타났으며, CO_2 대체율 20%에서 가장 높게 나타났다. 이는 발포시 CO_2로 충전된 Cell 내부가 상온에서 저온으로 변화함에 기포형성에 의한 Cell 구조가 원활하지 못한 것으로 사료된다.



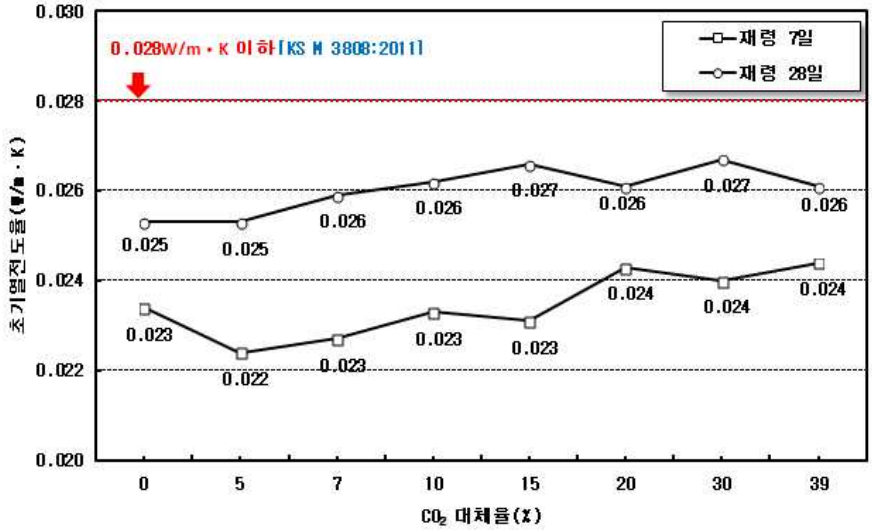
[그림 3.5] CO_2 대체율에 따른 투습계수(두께 100~110㎜)

나. B Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 물리적 특성

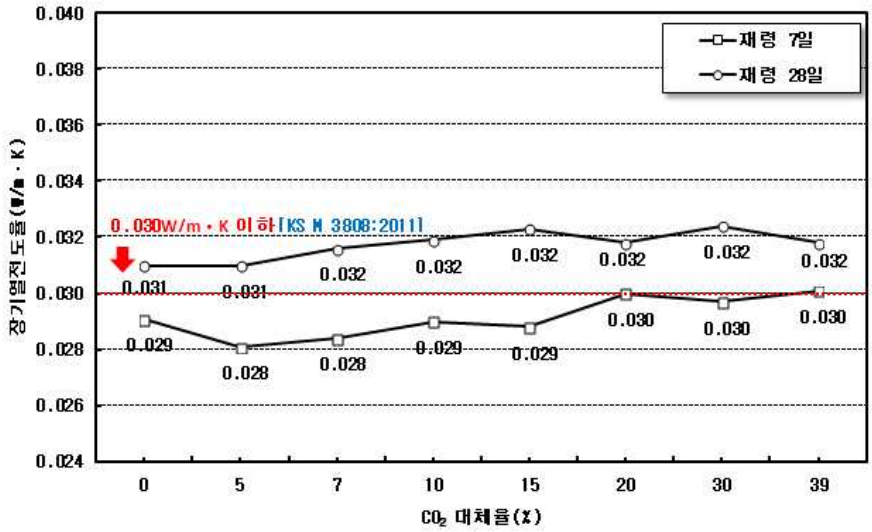
(1) 열전도율

B Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 열전도율 실험 결과, CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 초기열전도율은 0.022~0.024W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.025~0.027W/m·K로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 장기열전도율은 0.028~0.030W/m·K로 나타났으며, 재령 28일은 0.031~0.032W/m·K로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 재령 28일의 장기열전도율의 경우 KS M 3808 규정에서 제시하는 기준을 만족하지 못하였다.



[그림 3.6] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율



[그림 3.7] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율

(2) 굴곡파괴하중

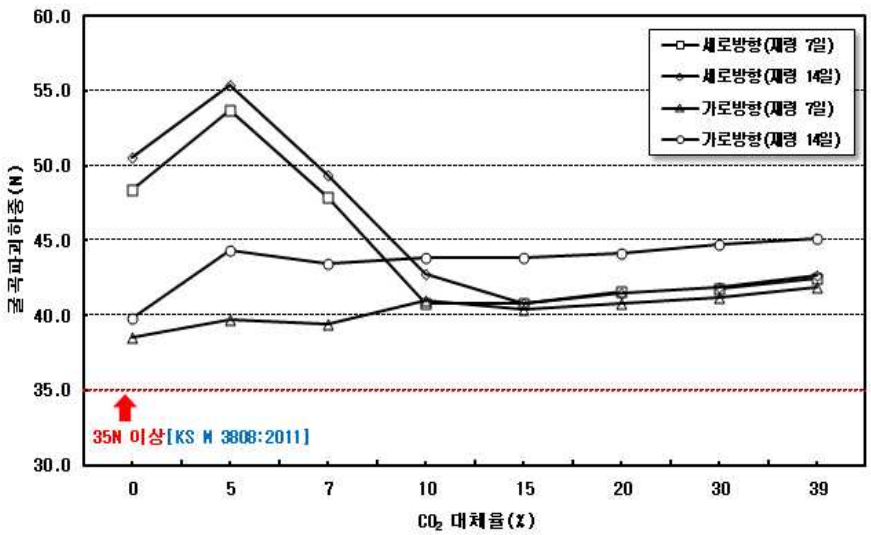
B Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 굴곡파괴하중 실험결과, CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 세로방향 굴곡파괴하중은 40.8~53.7N로 나타났으며, 가로방향은 38.5~41.9N/㎠로 나타났다. 또한 CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 14일의 세로방향 굴곡파괴하중은 40.8~55.4N로 나타났으며, 가로방향은 39.8~45.1N/㎠로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 굴곡파괴하중은 증가하였으며, 가로방향의 경우 9%이상 상회하는 것으로 나타났다.

가로방향 경우 CO_2 대체율의 변화에 따라 안정적으로 증가하였으나, 세로방향의 경우 10%까지 불안정하게 나타났으며, 이후 안정적으로 증가하는 것으로 분석되었다.

<표 3.1> CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

CO_2 대체율(%)	세로방향(N)		가로방향(N)	
	재령 7일	재령 14일	재령 7일	재령 14일
0	48.4	50.6	38.5	39.8
5	53.7	55.4	39.7	44.4
7	47.9	49.4	39.4	43.5
10	40.8	42.8	41.0	43.9
15	40.8	40.8	40.4	43.9
20	41.6	41.5	40.8	44.2
30	41.8	41.9	41.2	44.8
39	42.5	42.7	41.9	45.1

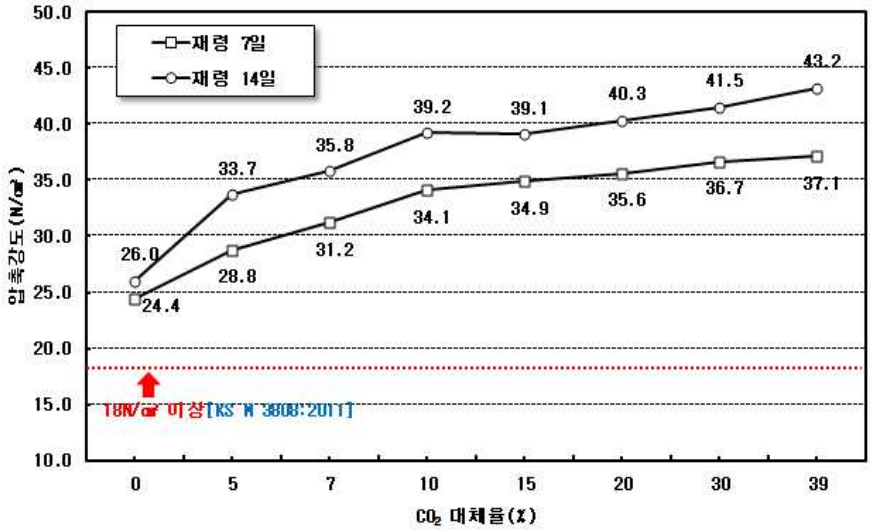


[그림 3.8] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

(3) 압축강도

B Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 압축강도 실험결과, CO_2 대체율 0~20%로 증가함에 따라 재령 7일의 압축강도는 24.4~37.1N/㎠로 나타났으며, 재령 14일은 26.0~43.2N/㎠로 나타났다. 재령일에 관계없이 CO_2 대체율 39%에서 가장 높게 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 압축

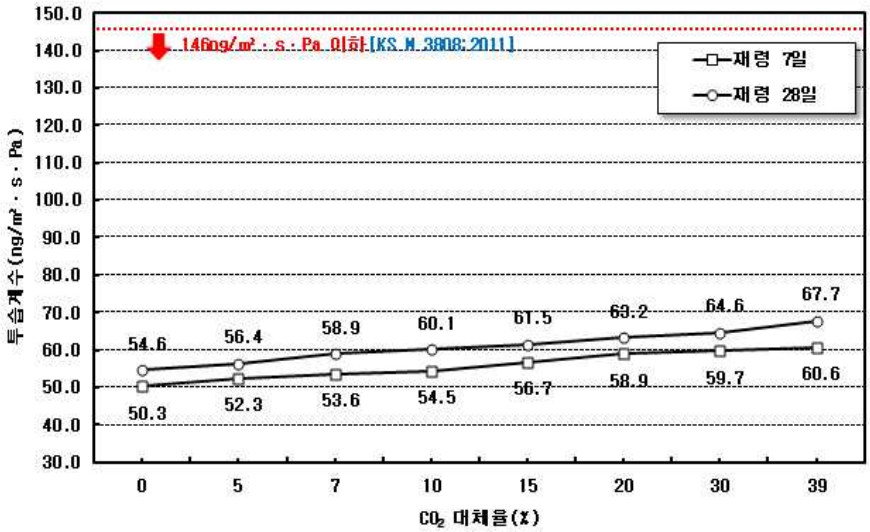
강도 보다 26~58%로 상회하는 것으로 나타났다.



[그림 3.9] CO_2 대체율에 따른 압축강도

(4) 투습계수

B Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 투습계수 실험 결과는 그림 11과 같다. CO_2 대체율 0~39%로 증가함에 따라 재령 7일의 투습계수는 50.3~60.6ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 재령 28일은 54.6~67.7ng/㎡·s·Pa로 나타났다. CO_2 대체율 39%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 54% 이상으로 낮은 것으로 나타났다. CO_2 대체율 증가할수록 투습계수는 증가하는 경향을 보였다.

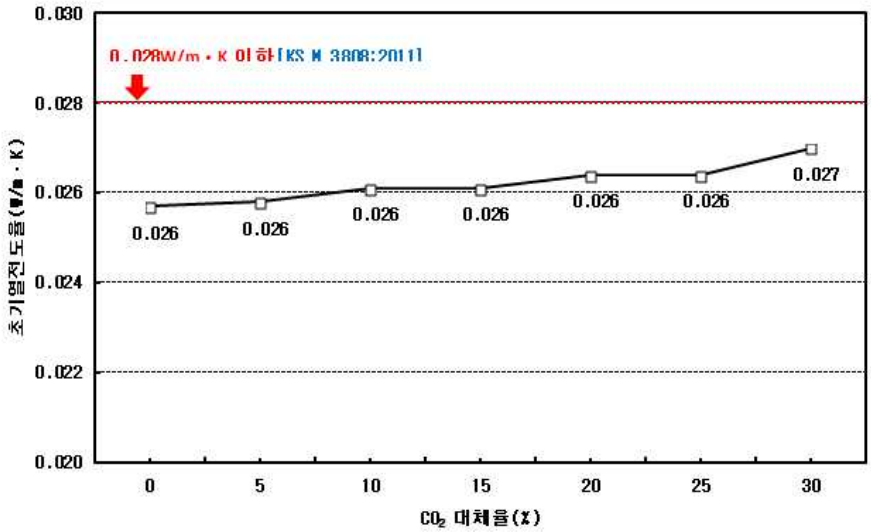


[그림 3.10] CO_2 대체율에 따른 투습계수

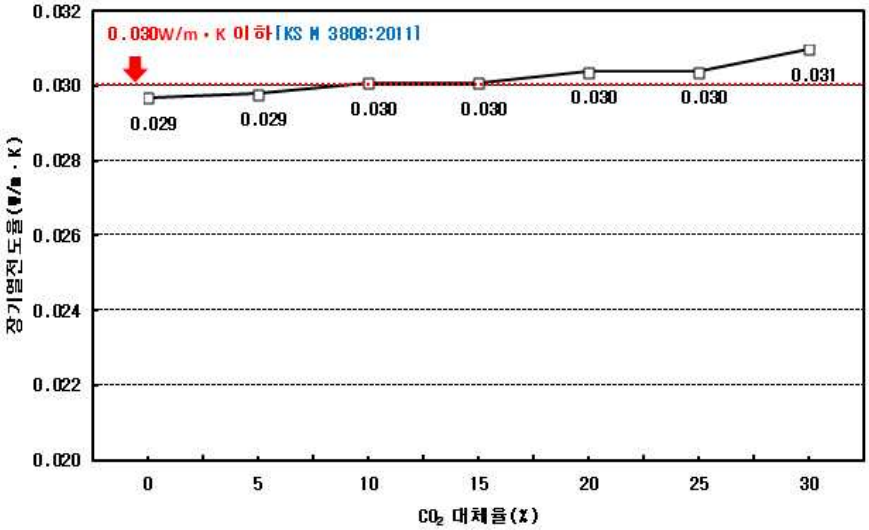
다. C Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 물리적 특성

(1) 열전도율

C Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 열전도율 실험 결과, CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 초기열전도율은 0.026~0.027W/m·K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.030~0.031W/m·K로 나타났다. 또한 CO_2 대체율이 증가할수록 초기열전도율, 장기열전도율 모두 증가하는 것으로 나타났으며, 장기열전도율의 경우 CO_2 대체율 10%이상에서는 KS M 3808 규정에서 제시하는 기준을 만족하지 못하였다. 이는 CO_2가 Cell 내에서 활성화되지 못하고 대기 중으로 배출된 것으로 판단된다.



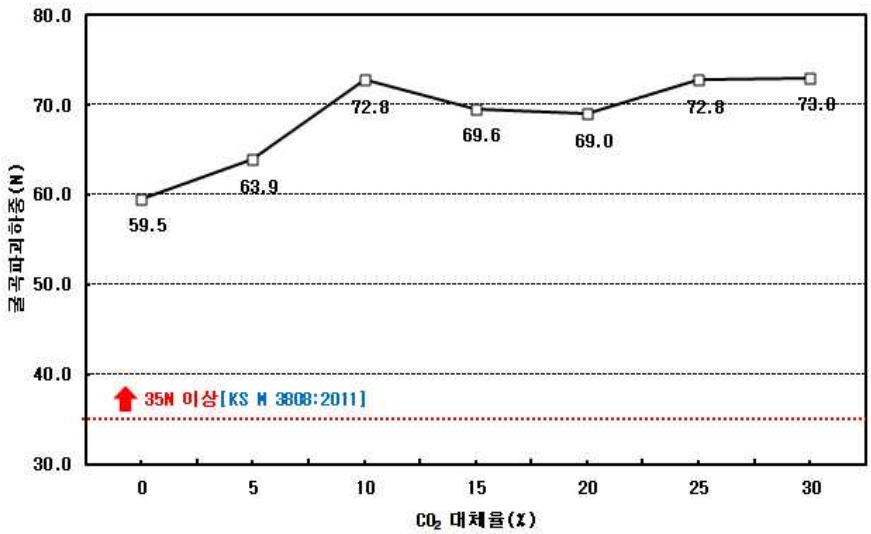
[그림 3.11] CO_2 대체율에 따른 초기열전도율



[그림 3.12] CO_2 대체율에 따른 장기열전도율

(2) 굴곡파괴하중

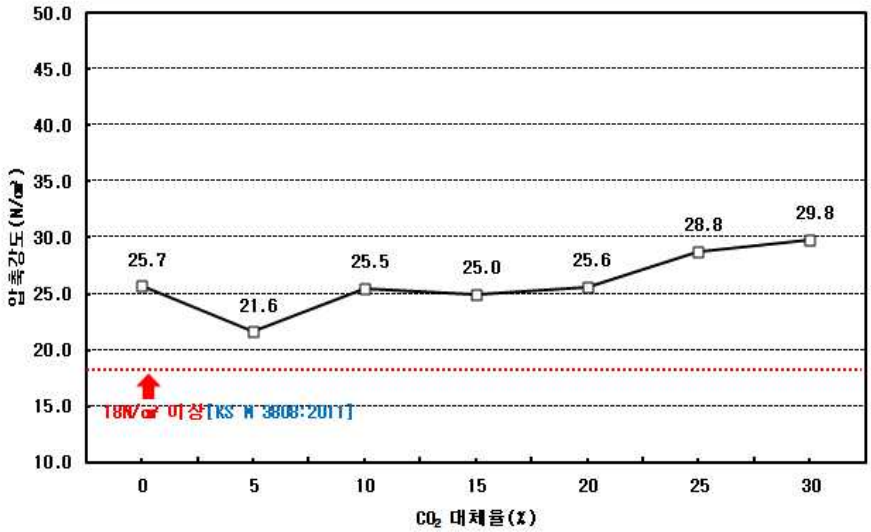
C Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 굴곡파괴하중 실험결과, CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 59.5~73.0N로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났다. 이는 Cell size가 증가하여 균일한 Cell 구조를 형성하지 못한 것으로 판단된다.



[그림 3.13] CO_2 대체율에 따른 굴곡파괴하중

(3) 압축강도

C Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 압축강도 실험 결과, CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 압축강도는 21.6~29.8N/㎠로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났다. 이는 Cell size가 증가하여 발포배율이 떨어진 것으로 판단되며, 단열재 발포시 Open cell이 형성되어 강도에 영향이 생긴 것으로 사료된다.

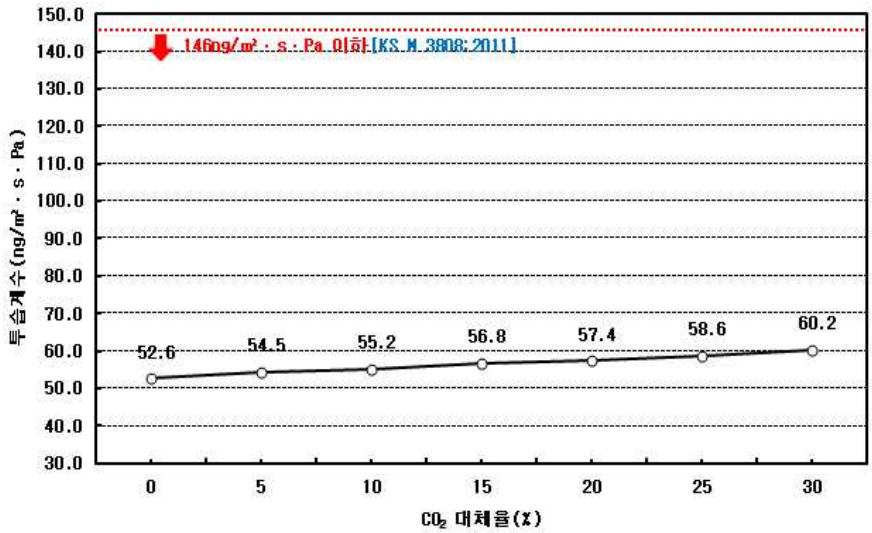


[그림 3.14] CO_2 대체율에 따른 압축강도

(4) 투습계수

C Type 공정을 적용한 CO_2 대체율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 열전도율 실험 결과, CO_2 대체율 0~30%로 증가함에 따라 투습계수는 52.6~60.2ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, CO_2 대체율 30%에서 가장 높게 나타났으며, KS M 3808 규정 보다 59%이상으로 낮은 것으로 나타났다.

CO_2 대체율이 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 발포제에 수지가 잘 녹지 않아 점성이 비활성화되어 균일한 Cell 구조를 형성하지 못한 것으로 판단된다.

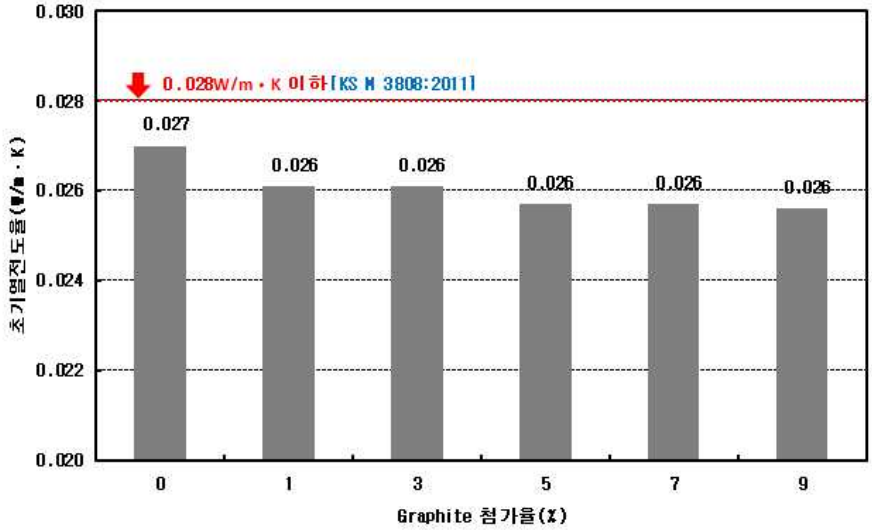


[그림 3.15] CO_2 대체율에 따른 투습계수

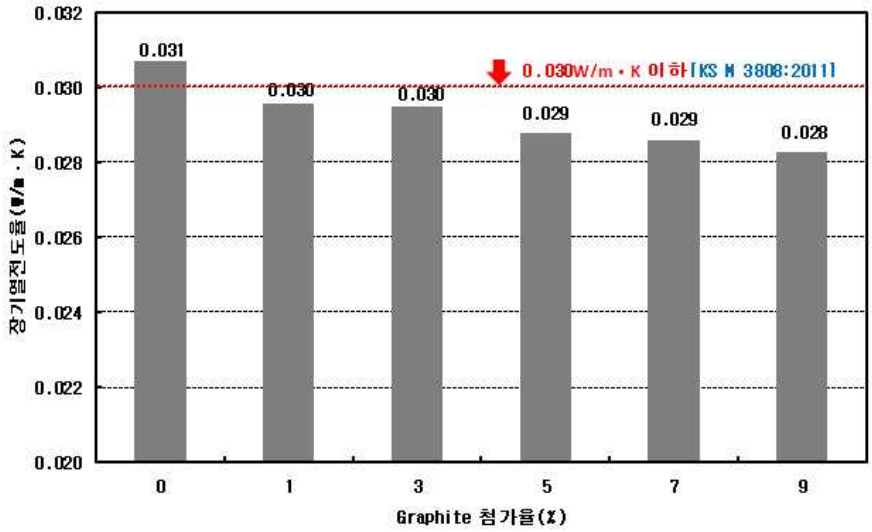
라. 흑연을 첨가한 두께 50~75㎜ 단열재의 물리적 특성

(1) 열전도율

KS M 3808:2011 규격에 만족하는 C Type 공정으로 CO_2의 활용증가를 위하여 흑연 첨가율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 열전도율 실험결과, 흑연 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 열전도율은 0.026~0.027W/m·K로 나타났다. 또한 흑연 첨가율 9%에서 가장 낮게 나타났으며, 흑연 첨가율이 증가할수록 열전도율은 낮게 나타났다. 이는 고온에서 변형율이 낮고 급격한 온도변화에 견디는 흑연의 성질 때문으로 판단되며, 열에 대한 저항성이 크고 이로 인한 열팽창 계수는 매우 낮아 열전도도에 영향이 있는 것으로 판단된다.



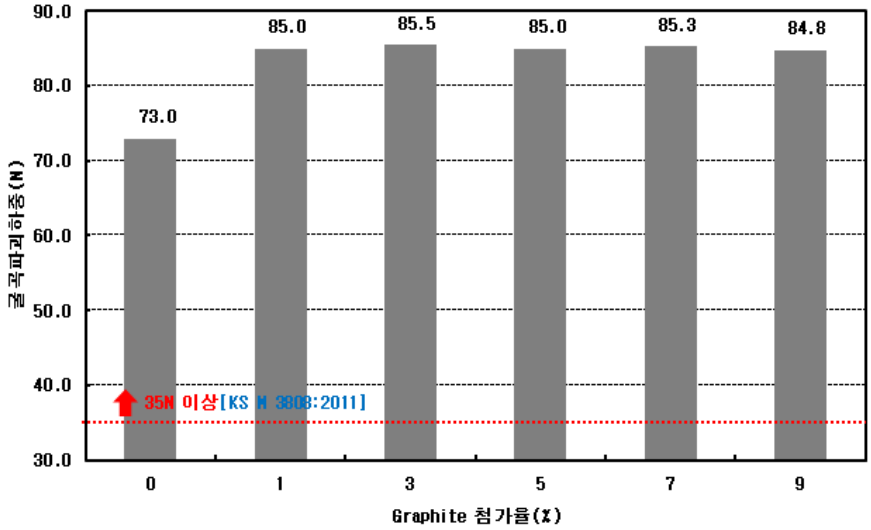
[그림 3.16] 흑연 첨가율에 따른 초기열전도율



[그림 3.17] 흑연 첨가율에 따른 장기열전도율

(2) 굴곡파괴하중

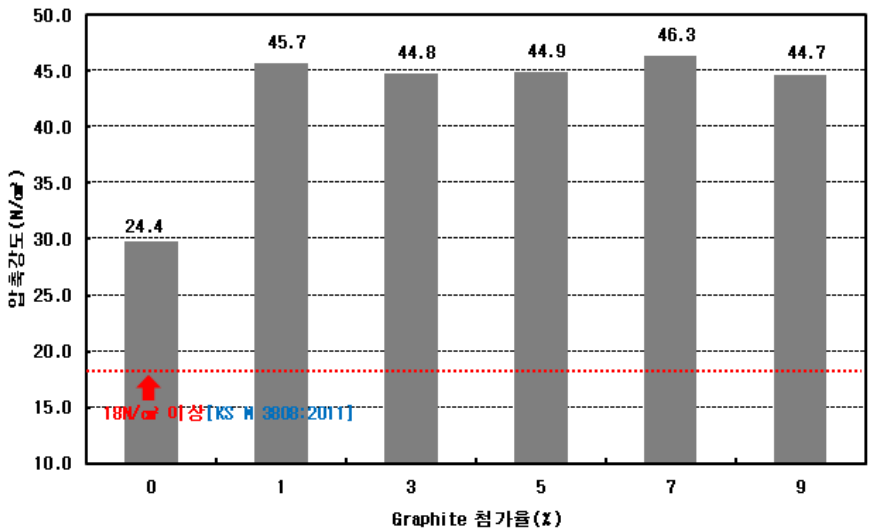
흑연 첨가율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 굴곡파괴하중 실험결과, 흑연 첨가율 1~9% 증가함에 따라 굴곡파괴하중는 73.0~85.5N로 나타났으며, 흑연 첨가율 3%에서 가장 높은 수준으로 나타났다. 이는 Close cell에 의해 Cell 구조가 형성된 것으로 판단된다.



[그림 3.18] 흑연 첨가율에 따른 굴곡파괴하중

(3) 압축강도

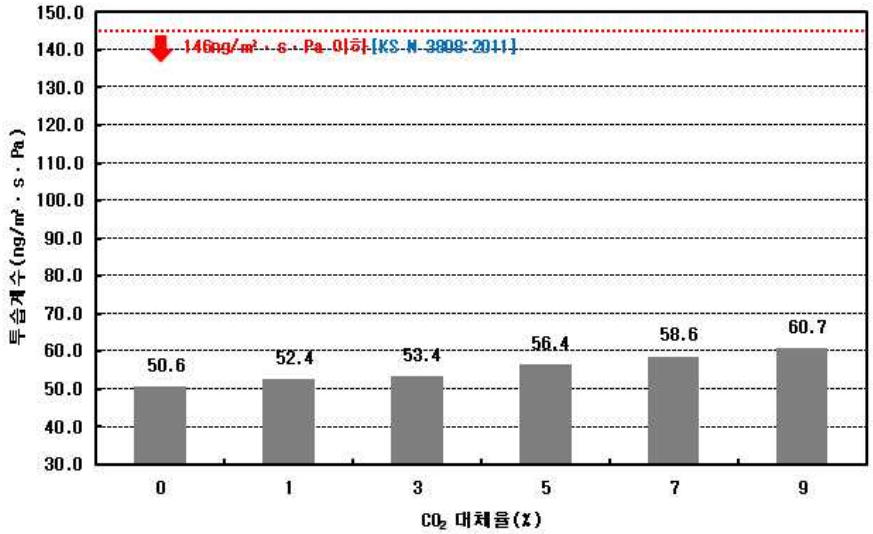
흑연 첨가율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 압축강도 실험결과, 흑연 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 압축강도는 24.4~46.3N/㎠로 나타났으며, Graphite 첨가율 7%에서 가장 높게 나타났다. 이는 흑연의 성질에 기인된 것으로 금속재료와는 달리 온도에 비례하여 강도가 증가하는 성질 때문으로 판단된다.



[그림 3.19] 흑연 첨가율에 따른 압축강도

(4) 투습계수

흑연 첨가율에 따른 두께 50~75㎜ 단열재의 투습계수 실험결과, 흑연 첨가율 1~9%로 증가함에 따라 투습계수는 50.6~60.7ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 흑연 첨가율 9%에서 가장 높게 나타났다. 흑연 첨가율이 증가할수록 투습계수는 증가하는 것으로 나타났다.



[그림 3.20] 흑연 첨가율에 따른 투습계수

마. 학술적 연구성과 결과

본 연구에서는 CO_2 및 첨가제를 이용한 단열재의 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등의 물리적 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) A Type 공정조건에 의한 100~110㎜ 단열재의 압축강도, 투습계수 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 열전도율, 굴곡파괴하중은 만족하지 못하였다.

(2) B Type 공정조건에 의한 50~75㎜ 단열재의 굴곡파괴하중, 압축강도, 투습계수 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 열전도율은 만족하지 못하였다.

(3) C Type 공정조건에 의한 50～75㎜ 단열재의 굴곡파괴하중, 압축강도, 투습계수 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 열전도율은 만족하지 못하였다.

(4) 압출성형 공정조건은 A, B, C Type 중 다소 높은 결과로 나타난 C Type의 공정조건이 KS M 3808 규격기준에 유사하게 만족하였으며, 단열재 두께 100～110㎜ 보다 50～75㎜ 단열재의 성능효과가 더 높게 나타나 단열재 두께 50～75㎜로 적용가능할 것으로 판단된다.

(5) KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 유사하게 나타난 C Type 공정조건으로 대체율 30%에서 흑연첨가율에 따른 실험결과, 기준에 모두 만족하였으며, 단열재의 열전도율의 안정성을 고려하여 흑연첨가율 5%이상으로 바람직할 것으로 판단된다.

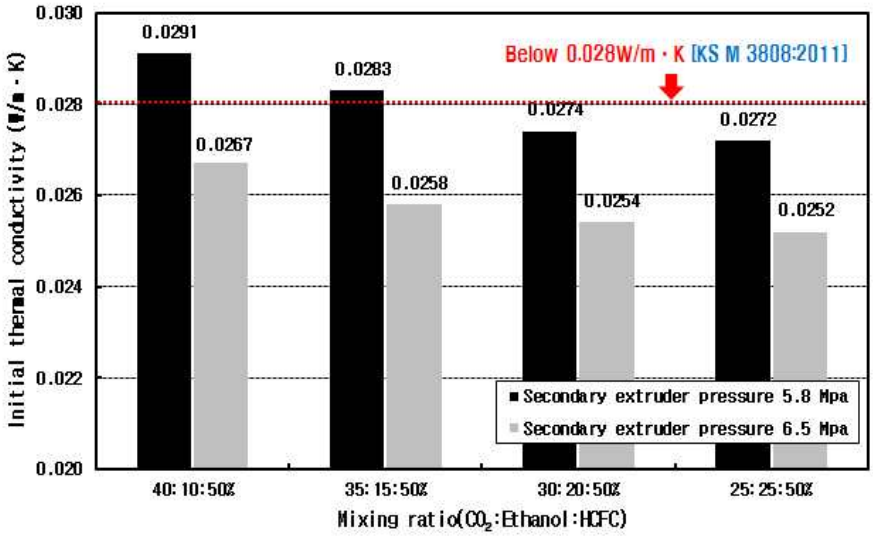
(6) 이상의 결과를 종합해 볼 때, 압출성형 공정조건 및 혼합재료에 따라 CO2를 단열재의 발포제로 활용가능할 것으로 판단되며, 열저항의 성능개선 효과가 있을 것으로 판단된다.

2. CO_2를 발포제로 활용한 단열재의 물성에 관한 기초적 연구성과

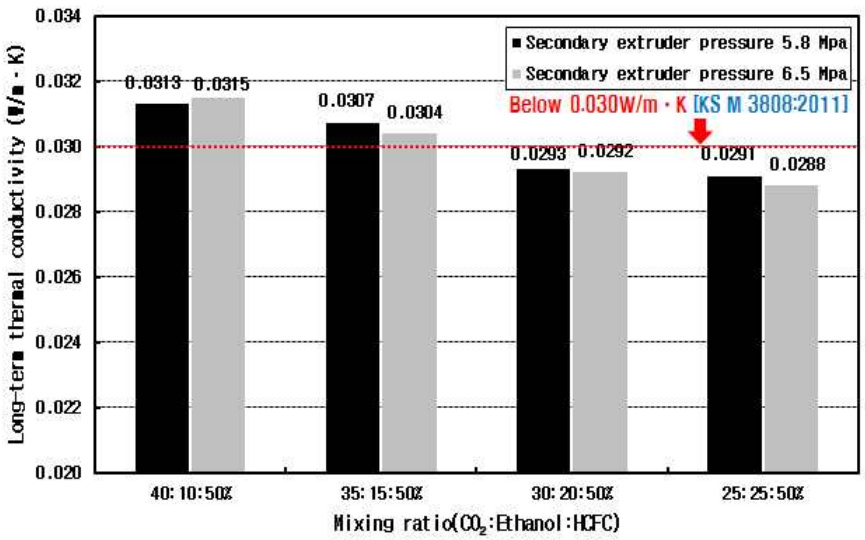
가. 열전도율

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 열전도율 실험결과, 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 초기열전도율은 0.0272～0.291 W/m・K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.0291～0.0313 W/m・K로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 초기열전도율은 0.0252～0.0267 W/m・K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.0288～0.0315 W/m・K로 나타났다. 2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 초기열전도율과 장기열전도율 모두 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 % 에서 가장 낮게 나타났으며, 보조발포제 에탄올혼합율 20 % 이상에서 KS M 3808 규정 보다 상회하는 것으로 나타났다. 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 초기열전도율은 7～9 %로 감소하였으며, 장기열전도율

의 경우 30:20:50 %, 25:25:50 %에서 0.3~1.0 %로 미세하게 감소하였다. 이는 발포제의 적정 혼합량으로 인해 Cell의 배율 형성이 원활하게 이루어진 것으로 사료된다.



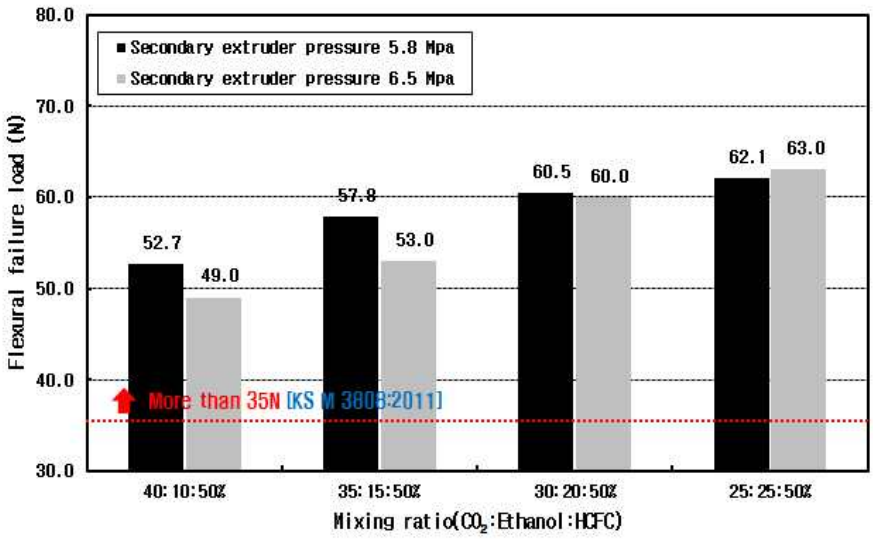
[그림 3.21] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol



[그림 3.22] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

나. 굴곡파괴하중

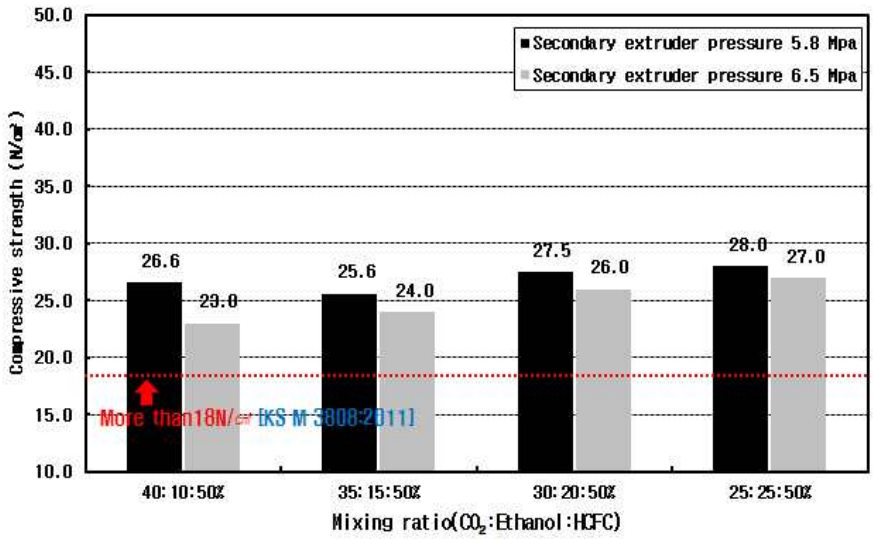
2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 굴곡파괴하중 실험결과, 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 보조발포제(에탄올) 혼합율 10～25 %로 증가함에 따라 50.4～62.1 N로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 %에서 가장 높게 나타났다. 또한 보조발포제(에탄올) 혼합율 10 % 이상에서 굴곡파괴하중은 증가하는 경향으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 굴곡파괴하중은 49.0～63.0 N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa, 6.5 MPa 모두 KS M 3808 규정 보다 상회하는 것으로 나타나 기준에 만족하였다. 2차압출기 배출압력별 혼합비율은 30:20:50 %, 25:25:50 %에서는 유사한 경향으로 나타난 반면, 40:10:50 %, 35:15:50 % 경우는 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 낮은 경향을 보였다. 이는 발포제의 재료적 성질과 반응속도에 기인된 것으로 사료된다.



[그림 3.23] Flexural failure load according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

다. 압축강도

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 압축강도 실험결과, 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 25.7～28.0 N/㎠로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 %에서 가장 높게 나타났다. 보조발포제(에탄올)는 단열재 생산시 제품을 Soft하게 하고 CO_2의 분산성을 향상시키는 것으로 보고된바 있으며, 보조발포제(에탄올)의 재료적 성질과 적정한 혼합량에 기인된 것으로 사료된다. KS M 3808 규정 보다 36 % 이상으로 상회하는 것으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 압축강도 실험결과는 23.0～27.0 N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 높게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 20 %이상로 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 보다 5.8 MPa에서 압축강도가 10 % 이상 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 발포시 Cell 크기가 증가하여 발포배율이 떨어져 강도에 영향이 생긴 것으로 사료된다.

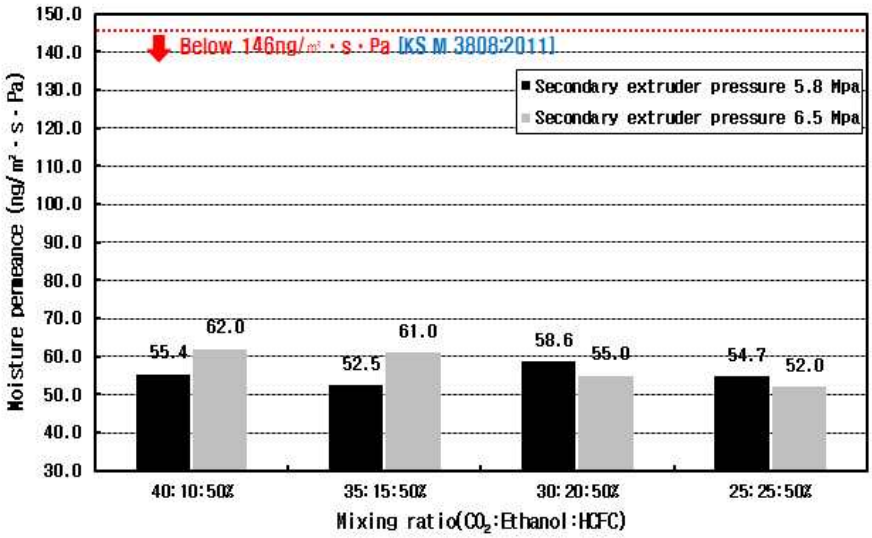


[그림 3.24] Compressive strength according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

라. 투습계수

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 투습계수 실험결과, 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 보조발포제(에탄올)

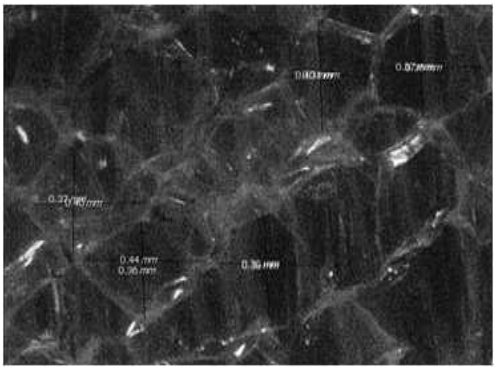
혼합율 10～25 %로 증가함에 따라 52.5～58.6 ng/㎡・s・Pa로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 15 %이상에서 투습계수는 낮게 나타났다. KS M 3808 규정보다 60～64 %로 상회하는 것으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa에서 투습계수는 그림 6과 같이 52.0～62.0 ng/㎡・s・Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 낮게 나타났다. 또한, KS M 3808 규정 보다 58～64 %로 상회하는 것으로 나타났다. 이는 발포시 수지가 잘 녹지 않아 점성이 비활성화되어 균일한 Cell 구조를 형성하지 못한 것으로 사료된다.



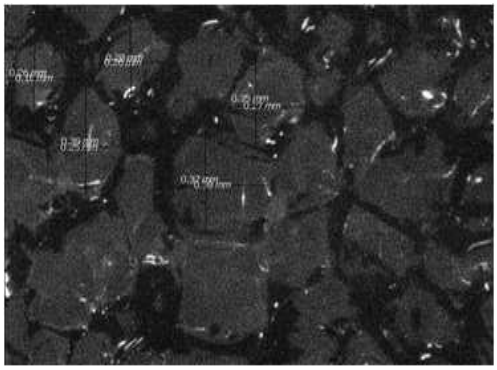
[그림 3.25] Moisture permeance according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

마. Cell size 분석

2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 Cell 크기는 가로평균 0.37 ㎜, 세로평균 0.38 ㎜, 전체평균 0.37 ㎜로 나타났으며, 6.5 MPa 일 때 Cell 크기는 가로평균 0.27 ㎜, 세로평균 0.33 ㎜, 전체평균 0.30 ㎜로 나타났다. 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 Cell 크기가 작게 나타났다. 압출기 압력이 증가할수록 Cell 구조가 Closed cell로 형성되어 열전도율이 향상된다고 보고된바 있으며, 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 압출기의 압력증가로 Cell 구조가 Closed cell로 균일하게 형성된 것을 알 수 있었다.



(a) Secondary extruder pressure 5.8 MPa



(b) Secondary extruder pressure 6.5 MPa

[그림 3.26] Cell size according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol (Foaming agent mixing ratio of 25:25:50 %)

바. 학술적 연구성과 결과

본 연구에서는 CO_2 및 보조발포제를 이용한 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수 등의 물리적 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 1차 압출기 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃→2차 압출기 압력 5.8 MPa, 온도 115 ℃로 최적조건을 적용한 CO2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, CO2 대체율 35～50 %로 증가함에 따라 압축강도 18 % 이상, 굴곡파괴하중 45 % 이상, 투습계수 61 % 이상으로 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO2 대체율 35 % 이상에서 만족하지 못하였다.

(2) 발포제 대체 CO2 활용증대를 위하여 40 %까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단된다.

(3) 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 보조발포제(에탄올) 혼합율 5～25 %로 증가함에 따라 압축강도 29 % 이상, 굴곡파괴하중

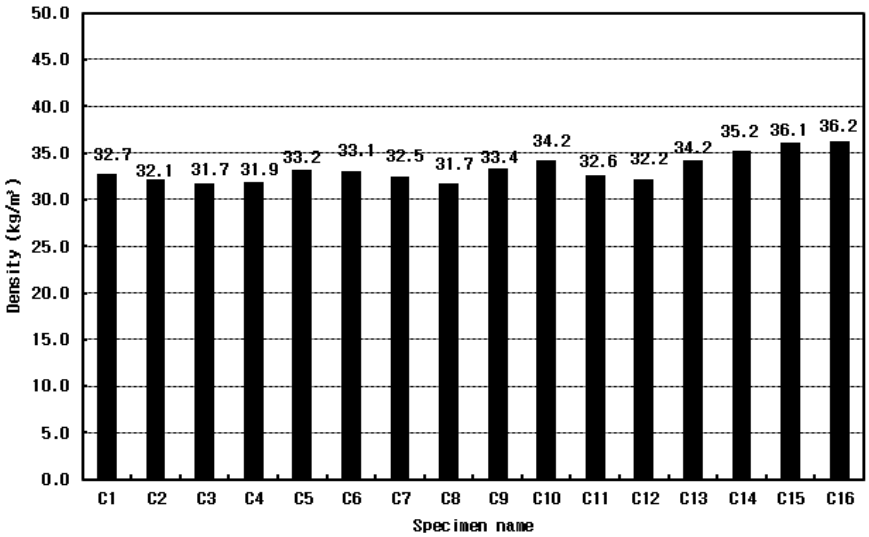
31 % 이상, 투습계수 60 % 이상으로 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20 % 이상에서 만족하였다.

(4) 이상의 결과를 종합해 볼 때, CO2를 활용한 단열재의 압출성형 공정조건은 1차 압출기 내에서 폴리스티렌 수지(녹는 시점)와 발포제(CO2:에탄올:HCFC)가 혼합되는 구간(Mixing zone)으로 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃, 2차 압출기 내 배출압력 6.5 MPa, 온도 115 ℃로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 발포제 혼합비율(CO2:에탄올:HCFC)은 열전도율에 대한 안정성을 고려하여 30:20:50 %, 25:25:50 %에서 발포제로 활용가능할 것으로 판단된다.

3. 발포제 혼합에 따른 압출법 단열판의 물리적 특성에 관한 연구성과

가. 밀도

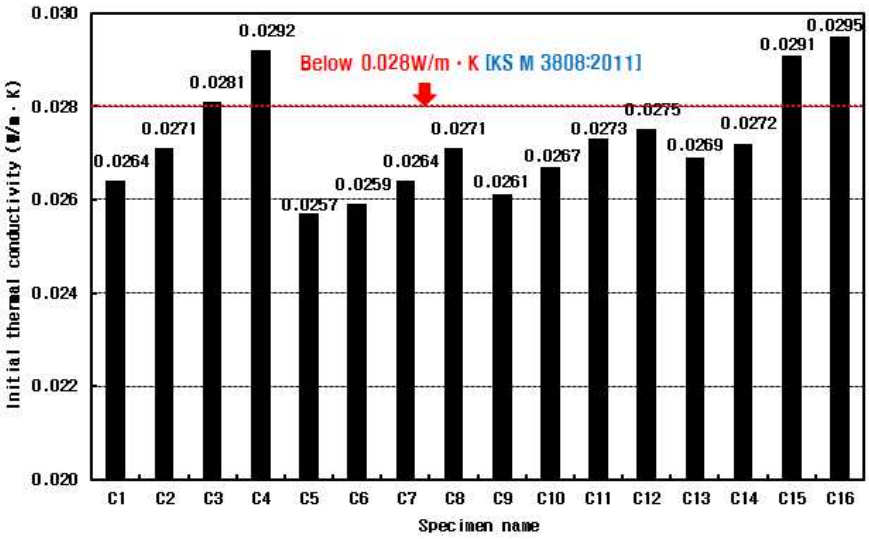
발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31.7~36.2 ㎏/㎥로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C16에서 가장 높게 나타났다. 이는 단열재 재료 GPPS(General purpose polystyrene)와 발포제 혼합시 Cell 구조에 기인한 것으로 사료되며, Cell의 size가 0.63 ㎜로 가장 크고 균일하지 못하게 형성되어 밀도가 불안정하게 나타난 것으로 판단된다.



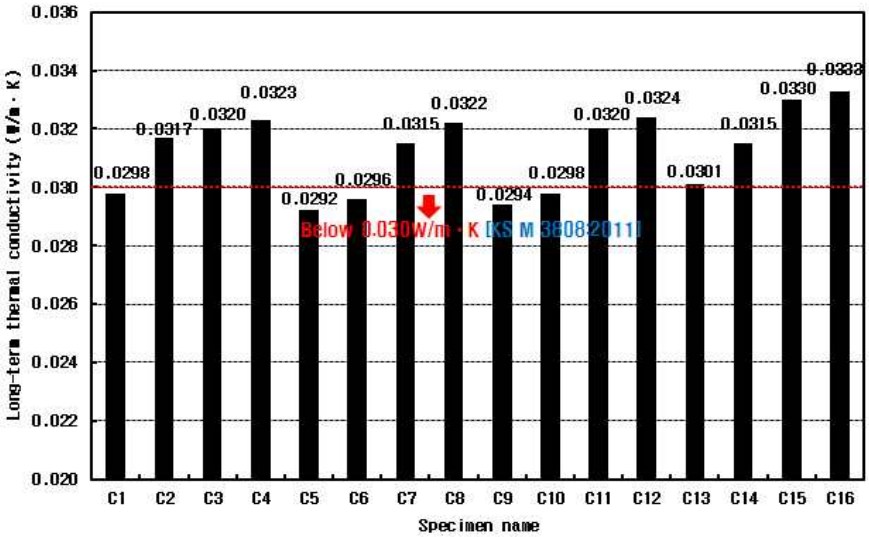
[그림 3.27] Density according to the mixing ratio

나. 열전도율

발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 0.0257~0.0295 W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C3, C4, C15, C16에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였다. 또한 장기열전도율은 0.0292~0.0333 W/m·K로 나타났으며, KS M 3808 표준에서 제시하는 장기열전도율에 만족하는 혼합비율은 C1, C5, C6, C9, C10으로 나타났다. 열전도율은 기체를 Cell 내부에 존재하도록 Closed cell 형성으로 발포 기체의 분자량이 작을수록 높은 열전도율을 가진다고 보고된바 있다. 초기열전도율, 장기열전도율 모두 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 낮은 수준의 경향을 보였다. 이는 Cell size가 0.31 ㎜, 0.33 ㎜로 작게 나타난 C5, C9에서 Closed cell 구조로 형성되고 발포 기체가 Cell 내부로 충전되어 열전도율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.



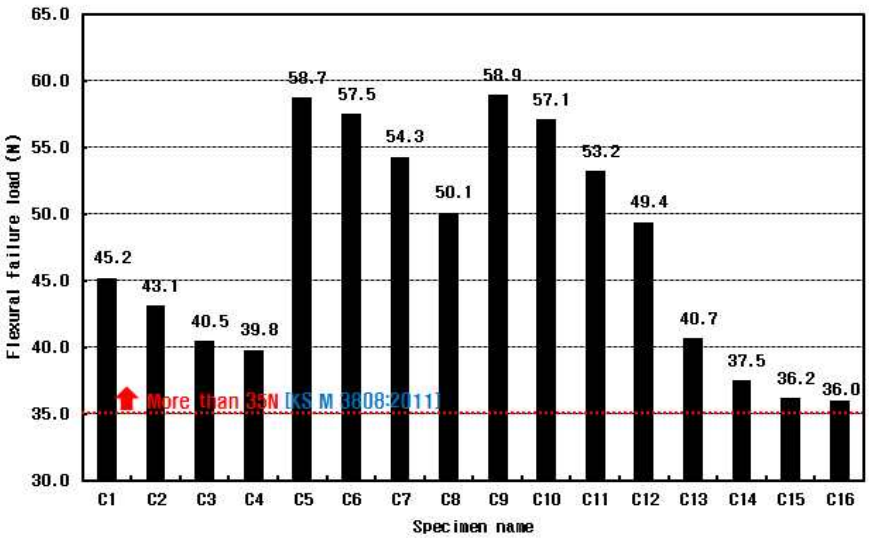
[그림 3.28] Initial thermal conductivity according to the mixing ratio



[그림 3.29] Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio

다. 굴곡파괴하중

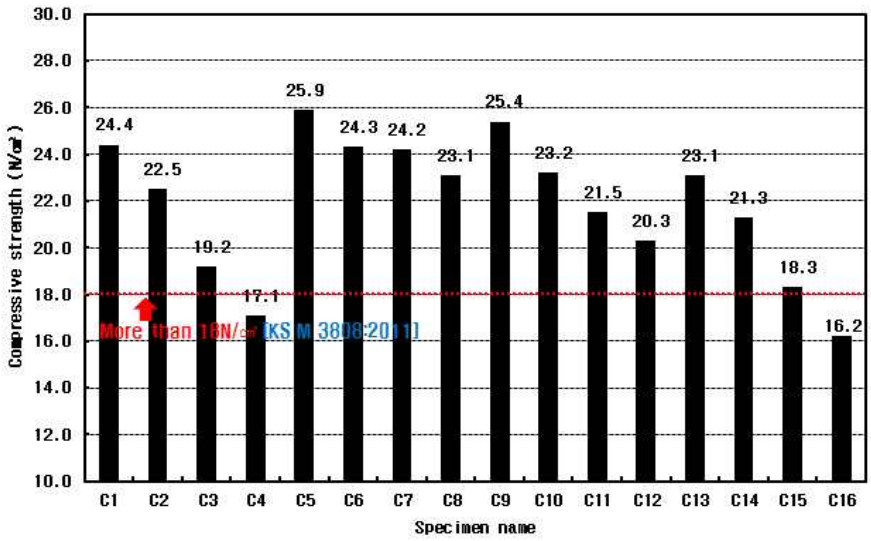
발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중은 36.0~58.9 N로 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 굴곡파괴하중 기준 보다 3 % 이상으로 만족하였다. 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 높게 나타났다. 이는 3차원 망상구조로 균일하게 Cell이 형성되었기 때문으로 판단된다.



[그림 3.30] Flexural failure load according to the mixing ratio

라. 압축강도

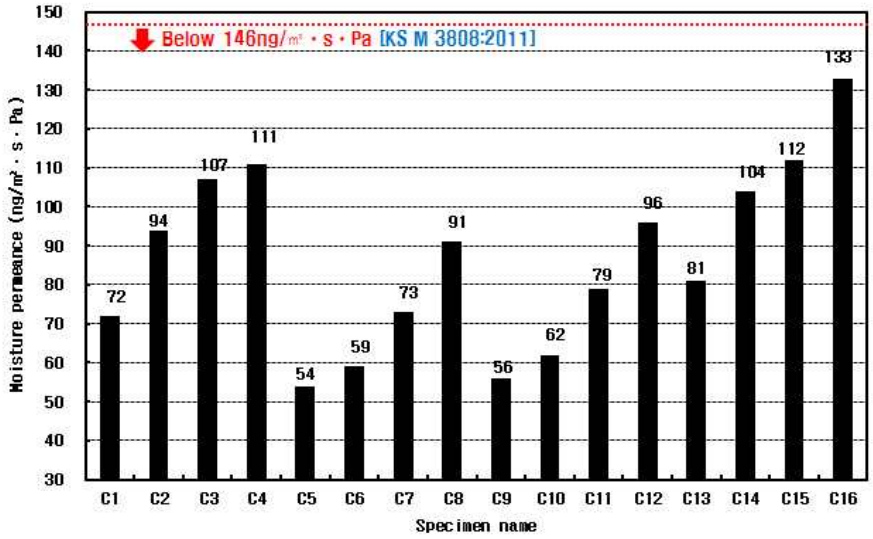
발포제 혼합비율에 따른 압축강도는 16.2~25.9 N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 높게 나타났다. 압축강도는 Cell 구조와 밀접한 연관이 있으며, 균일하게 발포되지 않은 경우, 아주 작은 결함에도 압축강도가 크게 떨어질 수 있기 때문에 발포의 균일성을 나타내는 척도로 사용된다고 보고된바 있다. 발포제 혼합비율 C4, C16은 현행 KS M 3808 압축강도 기준에 만족하지 못 하였다. 이는 Cell size가 균일하지 못하게 형성되어 발포배율이 떨어진 것으로 판단되며, 단열재 발포시 불규일한 Open cell이 형성되어 강도에 영향이 생긴 것으로 사료된다.



[그림 3.31] Compressive strength according to the mixing ratio

마. 투습계수

발포제 혼합비율에 따른 투습계수는 54 ~133 ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 투습계수 기준 보다 9 % 이상으로 만족하였다. 이는 Cell 분리막이 독립적인 Closed cell 구조로 균일하게 형성되었기 때문으로 판단된다.



[그림 3.32] Moisture permeance according to the mixing ratio

바. 연소성

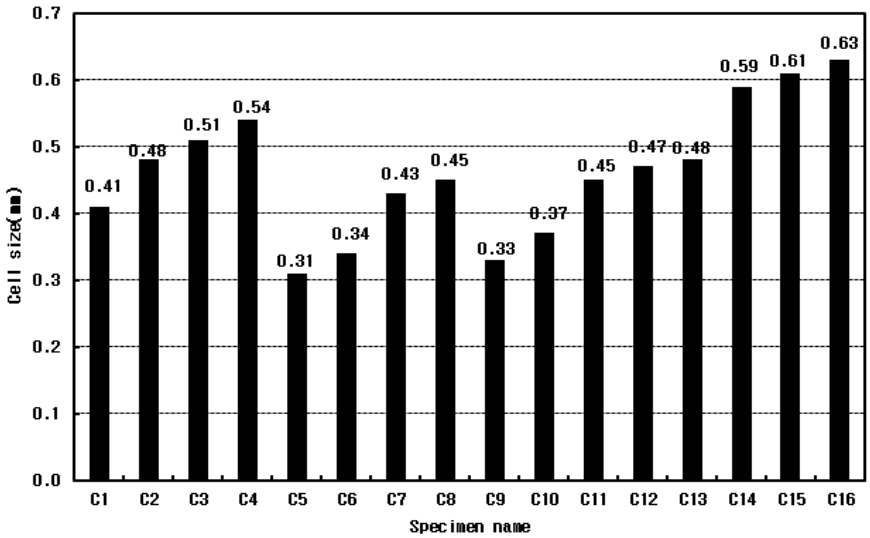
발포제 혼합비율에 따른 연소성은 연소시간 120 초 이내, 연소길이 60 ㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 나타났다.

<표 3.2> Combustibility according to the mixing ratio

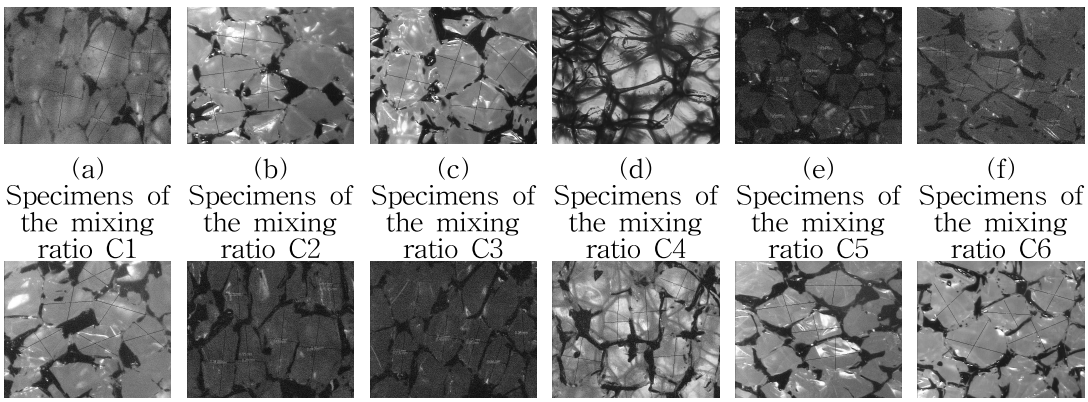
CO_2 mixing ratio (%)	Ethanol mixing ratio (%)	HFC- 152a mixing ratio (%)	HCFC mixing ratio (%)	Test result
10	20	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
15	15	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
20	10	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
25	5	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass

사. Cell size 분석

발포제 혼합비율에 따른 Cell size는 0.31~0.63 ㎜로 나타났으며, C5, C9에서 가장 낮게 나타났다. 이는 발포시 적절한 혼합비율에 Closed cell에 의해 배율 형성이 원활하게 이루어진 것으로 사료된다.



[그림 3.33] Cell size according to the mixing ratio



(a) Specimens of the mixing ratio C1
(b) Specimens of the mixing ratio C2
(c) Specimens of the mixing ratio C3
(d) Specimens of the mixing ratio C4
(e) Specimens of the mixing ratio C5
(f) Specimens of the mixing ratio C6
(g) Specimens of the mixing ratio C7
(h) Specimens of the mixing ratio C8
(i) Specimens of the mixing ratio C9
(j) Specimens of the mixing ratio C10
(k) Specimens of the mixing ratio C11
(l) Specimens of the mixing ratio C12
(m) Specimens of the mixing ratio C13
(n) Specimens of the mixing ratio C14
(o) Specimens of the mixing ratio C15
(p) Specimens of the mixing ratio C16

[그림 3.34] According to the mixing ratio cell size

아. 학술적 연구성과 결과

본 연구에서는 CO_2를 활용한 발포제 혼합비율에 따른 단열재의 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등의 물리적 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31 ㎏/㎥ 이상으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 C5, C9에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3 % 이상으로 만족하였다. 또한 투습계수는 기준 보다 9 % 이상으로 만족하였다.
(2) 초기열전도율은 혼합비율 C3, C4, C15, C16에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 C1, C5, C6, C9, C10에서 KS M 3808 기준에 만족하였다.
(3) 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31 ㎜로 나타난 C5와 0.33 ㎜로 나타난 C9에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.
(4) 이상의 결과를 종합해 볼 때, 열전도율에 대한 안정성을 고려하여 발포제 혼합비율(CO_2:에탄올:HFC152a:HCFC)의 C5(15:15:20:50 %)와 C9(20:10:20:50 %)에서 CO_2를 단열재의 발포제로 활용가능할 것으로 판단된다.

제2절 주요 기술적 연구성과

1. 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법

가. 기술 개요

단열성이 우수하고 야외 노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조

방법에 관한 것이고, 더욱 상세하게는 주 원료인 폴리스티렌 수지에 흑연과 함께 산화티탄을 사용하여 단열성이 우수하면서 야외 노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법에 관한 것이다.

나. 기술적 요인

일반적으로 단열용으로 사용된 발포된 폴리스티렌 발포체 보드의 밀도는 약 30 g/ℓ인데 그 이유는 팽창된 폴리스티렌 발포체의 열전도도가 상기 밀도에서 최소값을 갖기 때문이다. 재료 및 공간을 절약하기 위하여, 보다 낮은 밀도, 특히 15 g/ℓ 미만을 갖는 발포체 보드를 단열을 위해 사용하는 것이 바람직하며, 이와 같은 발포체의 제조는 기술적으로는 문제점이 없다.

그러나, 상기 낮은 밀도를 갖는 발포체 보드는 단열 성능을 급격하게 감소시켜 열전도도 등급 035 (DIN 18 164, 1부)의 필요조건을 만족시키지 않는다.

발포체의 열전도도는 카본 블랙, 금속 산화물, 금속 분말 또는 안료와 같은 무열 재료의 혼입에 의해 감소될 수 있음은 공지되어 있다.

따라서, 유럽 특허 공개 공보 제372 343호에는 카본 블랙 1 내지 25 중량%를 함유하는 폴리스티렌 발포체가 기재되어 있으며, 이 경우 카본 블랙의 입도는 10 내지 100 ㎚이다. 상기 문헌에 기재된 폴리스티렌 발포체는 주로 압출법에 의해 제조되고, 바람직하게 밀도는 32 내지 40g/ℓ이다. 또한, 폴리스티렌 중 카본 블랙 농축물을 발포제와 함께 폴리스티렌 용융물로 혼합하고, 상기 혼합물을 압출하고 결정화하여 발포제를 함유하는 미립자상 폴리스티렌을 제조하는 방법이 기재되어 있으나 이는 제조방법이 매우 복잡하다.

국제 특허 공개 공보 제94/13721호에는 카본 블랙의 입도가 150㎚ 초과인 유사 발포체가 기재되어 있다.

유럽 특허 공개 공보 제620 246호에는 미립자상 무열 재료, 특히 카본 블랙과 또한 흑연을 함유하는 팽창된 폴리스티렌 발포체 성형물이 기재되어 있으며, 여기서 성형물의 밀도는 20g/ℓ 미만이다.

입자를 성형물에 혼입시키는 것은 바람직하게는 예비발포화된 폴리스티렌 비드의 표면을 코팅하거나 또는 아직 발포화되지 않은 폴리스티렌 입자체에 매립시킴으로

써 수행된다. 그러나 폴리스티렌 입자의 표면 상에 입자를 분포시키는 것은 예비발포화된 비드의 접착을 대단히 손상하여 저품질의 발포체를 유발하며, 또한 입자는 성형물의 표면에서 벗겨질 수 있다. 두 경우 모두에서 입자는 폴리스티렌 입자의 내부에 균일하게 분포되지 않는다.

상기와 같은 무열입자가 혼입된 성형물은 열전도도를 감소시키기는 하지만 야외에 노출될 경우 색상이 검어서 적외선 흡수가 용이하여 성형물의 위아래 온도차에 따라 수축, 팽창 및/또는 휨이 발생하는 문제가 생긴다. 즉, 도 1에 따르면, 무열입자, 즉 흑연이 혼입되지 않은 성형물과 흑연이 혼입된 성형물의 색상과 이들의 표면온도를 측정한 것으로, 흑연이 혼입된 성형물은 검은색 색상이여서 표면온도가 혼입되지 않는 것에 비해 높았으며, 이로 인해 장기간 야외 노출시 휨이 발생할 수 있게 되는 것이다.

이에 기존 성형물의 야외 노출시 온도에 따른 변형을 감소시키기 위한 방안을 연구하면서, 흑연과 함께 산화티탄을 첨가하는 경우, 야외 노출시 적외선, 자외선 등을 반사하여 발포체 온도 상승을 줄여 줌으로써 압출 스티렌 발포체의 변형이 생기지 않음을 밝히고 본 발명을 완성하였다.

다. 기술적 내용

본 발명은 폴리스티렌 수지에 상기 수지의 중량대비 흑연분말 0.1 내지 5중량%, 산화티탄 0.1 내지 1중량%, 난연제는 브롬계 HBCD 1 내지 5중량% 및 조핵제 0.3 내지 4중량%를 혼합하여 용융하는 단계; 및 상기 용융물에 상기 수지의 중량대비 발포제 3 내지 15중량%를 투입하여 압출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 단열성이 우수하고 야외 노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체 제조방법이다.

상기 용융 단계에서, 주재료인 폴리스티렌 수지(중합체)는 중량평균분자량이 20 내지 30만으로 압출용도에 쓰는 것을 사용하는 것이 바람직하다. 압출조건에 따라 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체도 주재료 중량대비 0.1 내지 50%에서 사용할 수 있지만 개방셀(open cell)형성 등으로 인한 단열성 저하나 품질 불균일로 인한 공정불안 제기되지 않도록 하여야 한다.

단열성을 개선시키고 양호한 물리적 특성을 가질 수 있도록 첨가되는 첨가제인 흑연분말은 천연흑연 또는 합성흑연(인조흑연)중 어느 것을 사용해도 가능하며, 이는 폴리스티렌 수지 중량대비 0.1 내지 5중량%의 범위 내에서 사용되는 것이 바람직하다. 여기서 0.1중량% 미만으로 사용되는 경우 단열성 개선여부가 나타나지 않고, 5중량%를 초과하여 사용되는 경우 셀을 개방시키는 것을 포함 셀 구조에 영향을 미쳐 열전도율 하락보다는 열전도율을 상승시키기 때문에 바람직하지 않다.

또한, 사용되는 흑연은 그의 밀도가 20 내지 40g/ℓ인 것이 바람직하며, 흑연의 밀도가 20g/ℓ미만에서는 저밀도로 제품형상을 유지하기 어렵고, 40g/ℓ초과하는 고밀도에서 제조원가 상승으로 비경제적이다.

상기 합성흑연 즉, 인조흑연이라 함은 석유정제후 남은 찌꺼기인 석유코크나 석탄에서 추출되는 코크(coke)등을 2,500℃이상에서 가열하면 정향배열 구조를 바꾸는 흑연 화(graphiteization)과정을 거친 것을 인조흑연(합성흑연)이라고 한다.

야외 노출시 발생되는 휨 현상을 감소시키기 위해 사용되는 산화티탄은 백색분말로 야외 노출시 자외선, 적외선 등을 반사시켜 성형물에 온도를 높이지 않은 역할을 함으로써 발포체의 변형을 방지한다.

상기 산화티탄은 원석 알루미나마이트를 산화반응시켜 제조한 것으로 산화금속(또는 수산화물)로 표면코팅이 되어있고, 폴리히드릭 알콜(Polyhydric aclcohols), 알카놀아민(alkcanolamines) 또는 실록산(siloxanes) 등의 유기물질로 또 다른 표면처리가 되어 있다.

상기 산화티탄으로는 구상구조인 루틸(rutile)과 면상구조인 아나타제(anatase)의 2가지 다른 결정형이 있으며, 이중에서 안정화되어 활성이 약하고, 투과성이 상대적으로 작은 구상구조인 루틸을 사용하는 것이 바람직하다.

산화티탄의 사용량은 폴리스티렌 수지의 중량대비 0.1 내지 1중량%의 범위 내에서 사용되는 것이 바람직하며, 0.1중량% 미만에서는 사용량이 작아 휨개선 효과가 없고, 1중량% 초과시는 단열성이 떨어져 흑연 사용 효과가 반감된다.

사용되는 산화티탄의 밀도는 0.4 내지 1.2 g/mℓ의 범위 내인 것이 바람직하며, 산화티탄의 밀도가 0.4g/mℓ미만인 경우 입자상이 작아 발포체에 분산이 어렵고, 1.2g/mℓ를 초과하는 경우 차폐력이 떨어지고 발포체 의 셀에 나쁘게 영향을 미치며 비경제적이다.

난연제는 브롬계를 사용하는 것이 바람직하며, 이는 발포 폴리스티렌 폼 보드에

브롬이 들어감으로 해서 불연성가스 생성소화 작용 등 난연 메카니즘으로 자기 소화성을 갖게 되기 때문이다. 상기 난연제는 분말형태로 투입하거나 투입 전 폴리스티렌수지와 혼합(마스터뱃치) 펠렛 형태로 사용할 수 있고, 그의 사용량은 폴리스티렌 수지의 중량대비 1 내지 5중량%의 범위 내인 것이 바람직하며, 1중량% 미만의 경우 KS M 3808 연소성 기준을 맞출 수 없고, 5중량% 초과시는 고가 난연제 사용으로 비경제적이며 제품물성 강도, 열전도율을 저하시키기 때문에 바람직하지 않다.

상기와 같이 사용되는 브롬계 난연제로는 HBCD가 바람직하며, 상기 HBCD는 헥사브로모시클로도데칸(Hexabromocyclododecane)의 유기 할로겐계 난연제로 폴리스티렌을 기본으로 하는 EPS(expanded polystyrene foam)에나 XPS(extruded polystyrene foam)등에 주로 사용한다.

또 다른 첨가제인 조핵제는 압출법 발포성 폴리스티렌 중합체 제조시 단열성을 보완하기 위해 사용됨과 동시에 발포 셀 크기를 작게 하거나 균일하게 만들어 주기 위해 사용되는 것으로 그의 사용량은 폴리스티렌 수지의 중량대비 0.3 내지 4.0 중량% 투입됨이 바람직하다.

상기와 같이 폴리스티렌 수지에 첨가제인 흑연분말, 산화티탄, 난연제 및 조핵제를 압출기에 투입하여 용융시킨다. 여기서, 압출기로는 이 분야에 일반적으로 사용되는 압출기가 사용될 수 있으며, 또한, 상기 투입물이 모두 용융될 수 있도록 180 내지 240℃에서 용융시키는 것이 바람직하다.

이어서, 상기 용융시킨 용융물에 발포제를 투입하여 압출하는 단계가 진행된다.

여기서, 상기 발포제로는 폴리스티렌 수지를 충분히 발포시키기 위하여 사용되며, 상기 발포제는 폴리스티렌 수지 중량대비 3 내지 15중량%의 범위내에서 사용되는 것이 바람직하다. 3중량% 미만으로 발포제가 사용되는 경우, 폴리스티렌 수지를 충분히 발포할 수 없으므로 제품의 밀도를 상승시킬 수 있으며, 15중량%를 초과하면 발포제 손실이 발생하여 비경제적이며 평평한 판상을 얻기 어렵다.

상기 압출은 이 분야에 일반적인 방법으로 통해 압출되어질 수 있으며, 이 때 온도는 100 내지 140℃에서 진행되는 것이 바람직하다.

상기 발포제로는 H2O, 알콜, 가압화여 액화상태가 된 HCFC류 (HCFC-22, HCFC-142b), 부탄, CO2, DME(CH3OCH3) 중 어느 하나이고, 상기 HCFC류, 즉 HCFC-22는 모노클로로디플루오르 메탄(Monochloro difluoro methane)이고,

HCFC-142b는 모노클로로디플루오르 에탄(Monochloro difluoro ethane)이다.

라. 기술적 효과

상술한 바와 같은 본 발명에 따른 제조방법은 낮은 밀도 및 낮은 열전도도를 가지면서 양호한 가공 특성 및 양호한 물리적 특성을 갖고, 동시에 야외 노출시 변형이 생기지 않는 단열성이 우수한 압출 폴리스티렌 발포체를 제조할 수 있다.

마. 기술적 연구성과 결과

(1) 폴리스티렌 수지에 상기 수지의 중량대비 흑연분말 0.1 내지 5중량%, 산화티탄 0.1 내지 1중량%, 난연제는 브롬계로 HBCD 1 내지 5중량% 및 조핵제 0.3 내지 4중량%를 혼합하여 용융하는 단계 및 상기 용융물에 상기 수지의 중량대비 발포제 3 내지 15중량%를 투입하여 압출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법을 확보하였다.

(2) 산화티탄은 0.4 내지 1.2 g/mℓ의 밀도를 갖는 백색 분말인 것을 특징으로 하는 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법을 확보하였다.

(3) 상기 흑연는 20 내지 40g/ℓ의 밀도를 갖는 것을 특징으로 하는 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방법을 확보하였다.

(4) 흑연분말은 천연흑연 또는 합성흑연(인조흑연) 중 어느 하나이고, 상기 난연재인 HBCD는 EPS(expanded polystyrene foam) 또는 XPS(extruded polystyrene foam)용 중에 어느 하나이며, 상기 조핵제는 TALC, 탄산칼슘 및 실리카로 이루어진 군에서 선택되고, 상기 발포제는 H2O, 알콜, 가압화하여 액화상태가 된 HCFC류(HCFC-22, HCFC-142b), 부탄, CO_2 및 DME(CH3COCH3)로 이루어진 군에서 선택되는 것을 특징으로 하는 단열성이 우수하고 야외노출시 변형이 생기지 않는 압출 스티렌 발포체의 제조방

법을 확보하였다.

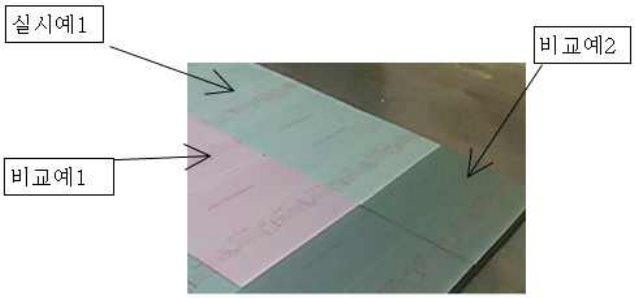


[기존성형물표면온도:33℃]

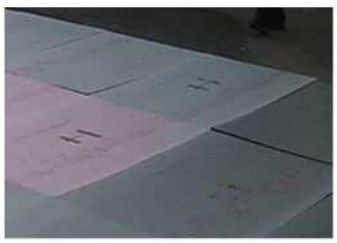


[흑연투입한성형물표면온도:39℃]

[그림 3.35] 표면온도



[야외노출전]



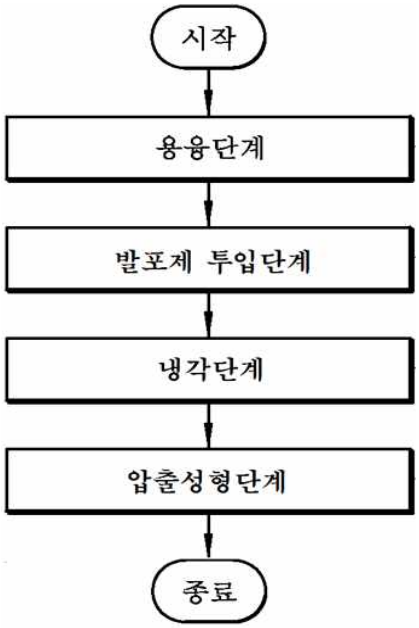
[노출후56시간경과후]

[그림 3.36] 야외 노출 전·후

2. 이산화탄소를 포함하는 발포제를 사용한 단열성이 우수한 압출 스티렌 폼 및 그 제조방법

가. 기술 개요

단열성이 우수한 압출 스티렌 폼 및 그 제조방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 주 원료인 폴리스티렌수지에 대하여 난연제, 조핵제 및 액화 이산화탄소를 포함하는 발포제를 용융액화하여 냉각압출된 스티렌 폼 및 압출 스티렌 폼의 제조방법에 관한 것이다.



[그림 3.37] 연구성과의 기술적 공정

나. 기술적 요인

일반적으로 단열용으로 사용되는 발포된 폴리스티렌 발포체 보드는 단열효율을 높이기 위하여 발포체 보드의 열전도도 값이 최소가 되도록 제조된다. 통상적으로, 발포체 보드의 열전도도를 최소로 하는 밀도로서 약 30 g/ℓ의 밀도를 갖는다. 그러나 스티렌 발포체 보드의 재료 및 공간을 절약하기 위하여, 보다 낮은 밀도를 갖는 스티렌 폼이 요구되어져왔다. 그러나, 위와 같이 스티렌 폼의 밀도가 낮은 경우, 스티렌 폼의 단열 성능을 급격하게 감소시켜 열전도도 등급 035(DIN 18 164, 1부)의 필요조건을 만족시키지 않는 문제점이 발생하였다.

밀도가 낮으면서도 단열 성능이 높은 스티렌 폼을 제조하기 위하여, 이산화탄소 발포체를 사용하기 위한 기술이 개발되고 있다. 그러나 이산화탄소 발포제의 경우, 기존 HCFC류 발포제에 비해 폴리스티렌수지와의 용해도가 낮아, 혼합 시 높은 압력을 필요로 함으로서, 압출기와 같은 설비의 교체가 이루어지지 않고는 실용화가 어려운 문제가 있었다. 또한, 이산화탄소 발포제를 사용하는 경우, 이산화탄소의 유효확산속도와 투과계수가 높아 활성이 큰 특성으로 인하여, 발포체 보드에 잔류하지 않고 공기로 쉽게 대체됨으로서, 제조된 스티렌 폼의 열전도도를 증가시키는 문제가 있었다.

다. 기술적 내용

압출 스티렌폼은 폴리스티렌수지 100 중량부, 난연제 1 내지 5중량부, 조핵제 0.3 내지 4중량부, 이산화탄소 발포제 0.2 내지 1중량부 및 기타 발포제 3 내지 10중량부를 포함한다.

폴리스티렌(PS; polystyrene)수지는 열가소성을 가지는 중합체로서, 압출공정에 사용될 수 있는 폴리스티렌이면 어떤 종류이든 사용될 수 있다. 바람직하게는 분자량이 210,000 내지 300,000g/㏖인 폴리스티렌이 주로 사용되는 것이 바람직하다. 경우에 따라, 압출 조건에 따라 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체가 사용될 수 있으며 이 때, 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체는 주재료로 사용되는 폴리스티렌수지 100중량부에 대하여, 0.1 내지 50 중량부로 사용될 수 있다. 다만 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체로부터 제조된 압출 스티렌 폼의 경우, 오픈셀(open cell)형성 등으로 인하여 다공질 형태가 되어 스티렌 폼의 단열성을 저하시키지 않는 범위 내에서 사용되어야하고, 불균일한 품질로 인한 공정불안 제기되지 않도록 한다.

난연제는 브롬계 난연제가 사용되는 것이 바람직하다. 상기 브롬계 난연제로는 헥사브로모사이클로도데칸(HBCD; Hexabromocyclododecane)이 사용될 수 있고, 상기 HBCD는 유기 할로겐계 난연재로서, 폴리스티렌을 기본으로 하는 EPS(expanded polystyrene foam) 또는 XPS(extruded polystyrene foam) 등에 주로 사용될 수 있다. 상기 난연제는 분말형태로 투입될 수 있고, 또는 펠렛 형태를 이루면서 폴리스티렌수지와 혼합되어 마스터배치로 투입될 수 있다. 브롬계 난연제에 포함된 브롬(Br) 성분이 발포 폴리스티렌 폼 보드 내부로 침투하여, 불연성가스를 생성함에 따라 소화작용을 일으킨다. 상기 브롬계 난연제는 이러한 폴리스티렌 폼 보드의 난연 메커니즘을 작동시킴으로서 폴리스티렌 폼 자체가 자기 소화성을 갖도록 한다.

압출 스티렌 폼에 포함되는 상기 난연제는, 폴리스티렌 100중량부에 대하여, 1 내지 5중량부 사용됨이 바람직하다. 난연제가 1중량부 미만으로 사용되는 경우, 제조된 압출 스티렌 폼은 KS M 3808에서 규정하는 연소성 기준을 만족하지 못하는 등 연소성 측면에서 불량하고, 난연제가 5중량부를 초과하여 사용되는 경우, 고가인

난연제가 과량 포함되어 비경제적이며 스티렌폼의 강도, 열전도율 등 물성특성을 저하시키는 문제가 발생한다.

조핵제는 탈크(TALC), 탄산칼슘 또는 실리카 중 어느 하나인 것으로, 압출법에 따라 발포성 폴리스티렌 중합체를 제조하는 과정에서 폴리스티렌 폼의 단열성을 보완한다. 또한 상기 조핵제는 발포 셀(Cell) 크기를 줄이거나 균일하게 만들기 위해 사용되는 것으로 그 사용량은 폴리스티렌수지 100중량부에 대하여, 0.3 내지 4 중량부 투입됨이 바람직하다.

상기 난연제 및 상기 조핵제는 상기 폴리스티렌수지가 수용된 1차 압출기에 투입되어 상기 폴리스티렌수지와 혼합된 후 용융된다.

이산화탄소(CO2) 발포제는 폴리스티렌수지의 발포를 유도한다. 상기 이산화탄소 발포제는 10 내지 30% 해당하는 발포력을 가진다. 즉, 이산화탄소 발포제는 다른 발포제인 HCFC류 비하여 2 내지 4배의 발포력을 가짐으로서, 중량 대비 발포력이 크므로 경제성이 높은 효과가 있다.

상기 이산화탄소 발포체의 사용량은 폴리스티렌수지 100중량부에 대하여, 0.2 내지 1중량부임이 바람직하다. 상기 이산화탄소 발포체가 0.2중량부 미만으로 사용되는 경우 극소량에 해당되어 투입설비 한계치를 벗어난다. 반면, 상기 이산화탄소 발포체가 1중량부를 초과하여 사용되는 경우 제조 스티렌 폼의 밀도가 증가하고 열전도도가 높아짐으로서 KS M 3808에서 규정하는 열전도도 기준을 만족하지 않아 단열성이 현저하게 저하되고, 발포체의 표면에 오픈셀(open cell)이 발생함으로서 비경제적인 문제가 발생함은 물론, 스티렌 폼 보드의 평평한 판상을 얻기 어려운 문제가 있다.

본 발명에 사용되는 기타 발포제는 액화상태의 HCFC(수소염화불화탄소)류로서 HCFC-22(클로로디플루오르 메탄, Monochloro difluoro methane), HCFC-142b(클로로디플루오르 에탄, Monochloro difluoro ethane), HFC(수소불화탄소)류로서 HFC-152a(디플루오르 에탄, Difluro ethane), HFC-134a(테트라플루오르 에탄, Tetrafluoro ethane), 에탄올, 디메틸에테르(DME; Di-Methyl Ether) 중 어느 하나가 사용될 수 있다. 상기 기타 발포제는 폴리스티렌수지 100중량부에 대하여, 3 내지 10 중량부가 사용되는 것이 바람직하다.

상기 이산화탄소 발포제 및 상기 기타 발포제는 폴리스티렌수지, 난연제 및 조핵제로 이루어진 용융물이 수용된 1차 압출기에 고압 및 고온 조건에서 액화 상태로

압축되어 투입된다. 바람직하게는, 압력이 1550 내지 1650psi이고, 온도는 180 내지 210℃인 조건에서 투입될 수 있다. 더욱 바람직하게는, 압력은 1600psi이고, 온도는 200℃일 수 있다.

이후에, 폴리스티렌수지 및 이산화탄소 발포제와 기타 발포제가 투입된 용융물은, 2차 압출기에서 발포가 용이하도록 냉각된 후, 금형다이로 투입되어 압출성형 된다. 압출성형될 때, 압력은 900 내지 1000psi이고, 온도는 100 내지 120℃인 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는, 압력은 950psi이고, 온도는 115℃일 수 있다.

본 발명에 따른 단열성이 우수한 압출 스티렌 폼은 종래 이산화탄소 발포제를 투입하여 스티렌 폼을 제조하는 공정에서의 온도와 압력 조건을 달리함으로서, 폴리스티렌 발포체의 밀도와 특히 열전도도를 현저하게 감소시키고, 양호한 가공 특성 및 양호한 물리적 특성을 갖는다. 1차압력기 상한압력(1,650psi), 온도하한180℃는 설비가 Load가 걸려 설비한계에 다다르고 압출량을 저해하는 조건이 되면, 하한압력(1,550psi), 상한온도 210℃는 CO2발포제가 GPPS수지안에 안정적으로 녹고 혼합될 수 있는 최소한에 조건이며 2차압력기포함 압출성형에서 상한압력(950psi), 하한온도(100℃) 미달시 설비가 한계가 있으며 마모가 촉진시키며 하한압력, 상한온도 도달시 녹아있는 발포제가 먼저(先) 발포하여 open cell를 형성하고 성형품 표면 품질떨어짐을 초래한다.

단열성이 우수한 스티렌 폼을 제조하기위하여 먼저 폴리스티렌수지 100중량부에, 난연제 1 내지 5중량부 및 조핵제 0.3 내지 4중량부를 혼합하여, 용융시킨다(S10, 용융단계). 구체적으로, 폴리스티렌수지 100중량부가 수용된 1차 압출기에, 난연제 1 내지 5중량부 및 조핵제 0.3 내지 4중량부를 혼합한 후 용융시킨다. 이 때 사용되는 폴리스티렌(PS; polystyrene)수지는 열가소성을 가지는 중합체로서, 압출공정에 사용될 수 있는 폴리스티렌이면 어떤 종류이든 사용될 수 있다. 바람직하게는 분자량이 210,000 내지 300,000g/㏖인 폴리스티렌이 주로 사용되는 것이 바람직하다. 경우에 따라, 압출 조건에 따라 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체가 사용될 수 있으며 이 때, 재활용한 스티로폼 폴리스티렌 중합체는 주재료로 사용되는 폴리스티렌수지 100중량부에 대하여, 0.1 내지 50 중량부로 사용될 수 있다.

라. 기술적 효과

상술한 바와 같은 본 발명은, 이산화탄소 발포제를 사용하면서 밀도와 열전도도가 낮은 폴리스티렌 발포체를 형성하여, 양호한 가공 특성 및 양호한 물리적 특성을 갖도록 하는 효과가 있다.

또한, 본 발명에 따르면, 이산화탄소 발포체를 사용함으로서 기존 발포제의 문제점인 오존파괴 및 온난화를 개선할 수 있는 효과가 있다.

마. 기술적 연구성과 결과

(1) 폴리스티렌수지 100중량부에 난연제 1 내지 5중량부 및 조핵제 0.3 내지 4 중량부를 혼합하여 용융시키는 용융단계, 상기 용융단계에서 용융된 용융물에 대하여, 이산화탄소 발포제 0.2 내지 1중량부 및 기타 발포제 3 내지 10 중량부를 제 1 압출 압력 및 제 1 압출 온도 조건에서 투입하는 발포제 투입단계, 상기 발포제 투입단계에서 얻어진 용융물을 냉각시키는 냉각단계 및 상기 냉각단계 이후에, 금형에 투입되어 제 2 압출 압력 및 제 2 압출 온도 조건에서 압출하여 압출 스티렌 폼을 형성하는 압출성형단계를 포함하는 압출 스티렌 폼 제조기술을 확보하였다.

(2) 제 1 압출 압력은 1550 내지 1650psi이고, 제 1 압출 온도는 180 내지 210℃인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼, 제 2 압출 압력은 900 내지 1000psi이고, 제 2 압출 온도는 100 내지 120℃인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼, 상기 기타 발포제는 수소염화불화탄소(HCFC)류, 수소불화탄소(HFC)류, 에탄올 또는 디메틸에테르 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼, 조핵제는 탈크, 탄산칼슘 또는 실리카 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼, 난연제는 브롬계 난연제로서 헥사브로모사이클로도데칸(HBCD)인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼, 이산화탄소 발포제는 발포기여도가 10 내지 30%인 것을 특징으로 하는 압출 스티렌 폼 제조기술을 확보하였다.

제3절 CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 및 모니터링

1. CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 현장 개요

CO_2 활용 압출법 단열재 현장적용을 위하여 1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 조건에서 발포제 혼합비율 CO_2 15%:보조발포제(에탄올) 15%:제2의보조발포제(HFC-152a) 20%:HCFC 50%로 생산된 압출법 단열재를 적용하였다.

시범적용은 판교 알파돔시티 신축공사, 한국건설기술연구원 건설재료실험동 신축공사 등 2개 현장에 시범적용 하였다.

<표 3.3> 시범적용 현장 개요

시범적용 현장명	위치	공사종류	단열공사위치	시범적용 면적(㎡)	시범적용일시
판교 알파돔시티 신축공사	경기도 성남시 분당구 백현동 531번지	신축	건물내부전체 (2층 바닥)	870	2014. 9. 11 ~2014. 9. 29
한국건설기술 연구원 건설재료실험 동(13동) 신축공사	경기도 고양시 일산서구 대화동 2311번지 내	신축	건물내부・외부 (1층, 2층 벽체)	796	2014. 7. 22 ~ 2014. 9. 19



(a) 한국건설기술연구원 건설재료실험동

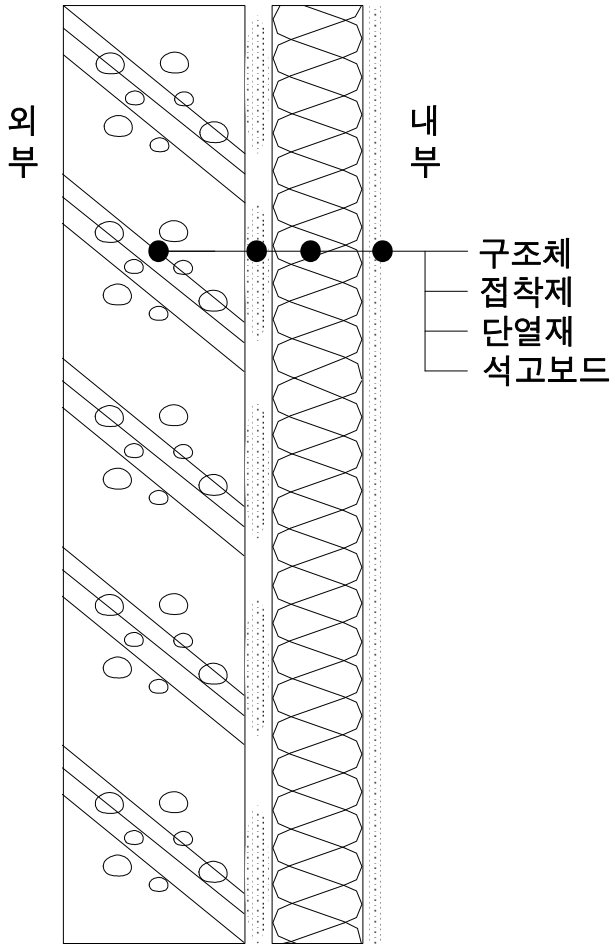


(b) 판교 알파돔시티

[그림 3.38] 시범적용 현장 조감도

CO_2 활용 압출법 단열재 시공은 판교 알파돔시티 신축공사, 한국건설기술연구원 건설재료실험동 신축공사 등 2개 현장 모두 시공상세도를 기준으로 하여 건축공사 표준시방서의 시공절차에 따라 시공하였다.

CO_2 활용 압출법 단열재 시공절차는 구조체 면처리를 위한 견출 작업 실시하였으며, 단열재 절단, 접착제 도포, 부착 및 이음부 보완, 양생 및 마감 순으로 실시하였다.



[그림 3.39] 단열재 시공상세도

<표 3.4> 단열재 시공절차

공 정	관련사진	공 정 내 용
바탕정리		○ 구조체 면처리를 위한 견출 작업 실시
⬇		
단열재 절단		○ 구조체의 시공부위 치수 측정 후 시공면적에 맞게 단열재를 절단
⬇		
접착제 도포		○ 초산비닐계 접착제를 약 30㎝ 간격으로 단열재에 도포
⬇		
부착 및 이음부 보완		○ 벽면에 밀착 후 부착하여 수평을 유지하며서 고정 ○ 단열재의 하중으로 인해 하부 처짐 방지를 위하여 건조시까지 타카핀 등으로 고정 ○ 단열재 이음부는 우레탄폼으로 마무리 작업 실시
⬇		
양생 및 마감		○ 약 24시간이상 양생 후 마감재 설치



[그림 3.40] 판교 알파돔시티 시범적용



[그림 3.41] 한국건설기술연구원내 건설재료실험동

2. CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용 현장 모니터링

가. 모니터링 평가항목 및 방법

모니터링 평가항목은 균열, 들뜸, 탈락, 국부파손 등을 중심으로 조사하였으며, 평가 방법은 육안조사를 통한 결함부위 관찰 및 측정을 실시하였다. 평가항목은 <표 3.2>와 같은 방법으로 양호, 보통, 미흡으로 판정하여 평가하였다.

<표 3.5> 모니터링 평가항목 및 방법

No.	평가항목	평가방법	
1	균열의 발생 길이 및 폭 측정	양호	총길이 1m 이하
		보통	총길이 5m 미만
		미흡	균열길이 5m이상 or 1개소 1m이상, 균열폭0.4mm이상
2	단열재간의 접착부위 수직도 평가	양호	± 5mm미만
		미흡	± 5mm이상
3	오염정도 측정	양호	없음
		보통	변색오염 5㎡미만
		미흡	육안확인 변색오염 5㎡이상 or 1개소 1㎡이상
4	국부 압축에 의한 파손 부위	양호	없음
		보통	4개소 미만
		미흡	4개소 이상 or 1개소 파손 면적 25㎠이상
5	모서리의 부분 파손 또는 들뜸 부위 점검	양호	없음
		보통	4개소 미만
		미흡	4개소 이상 or 1개소 파손 면적 25㎠이상
6	단열재 들뜸	양호	없음
		보통	들뜸 높이 5mm미만
		미흡	들뜸 높이 5mm이상
7	단열성 저하 여부 (동절기 확인)	양호	결로 없음
		미흡	내부 결로 확인

1) 모니터링 결과는 양호, 보통, 미흡으로 판정하여 표기
2) 모니터링 결과 미흡 항목이 1개 or 보통 항목이 4개 이상인 경우 정밀점검 실시

나. 모니터링 분석결과

(1) 판교 알파돔시티

판교 알파돔시티의 모니터링 분석결과, 전반적으로 균열, 들뜸 현상 및 기타 조사항목의 결함은 발생하지 않은 것으로 나타났다.



[그림 3.42] 판교 알파돔시티 모니터링

<표 3.6> 판교 알파돔시티 모니터링 결과

No.	조사항목	확인결과	
1	균열 길이 및 폭	양호	총길이 1m 이하
2	접착부위 수직도	양호	± 5mm미만
3	오염정도	보통	변색오염 5㎡미만
4	국부 압축파손	양호	국부 압축파손 없음
5	모서리의 부분 파손	보통	4개소 미만
6	단열재 들뜸	양호	들뜸부위 없음
7	단열성능 저하 여부	양호	결로 없음

(2) 한국건설기술연구원 건설재료실험동

한국건설기술연구원 건설재료실험동의 모니터링 분석결과, 균열, 들뜸 현상 및 기타 조사항목의 결함은 발생하지 않은 것으로 확인되었으며, 오염 정도의 경우도 대

부분 양호한 것으로 나타났다.



[그림 3.43] 한국건설기술연구원 건설재료실험동 모니터링

<표 3.7> 한국건설기술연구원 건설재료실험동 모니터링 결과

No.	조사항목	확인결과	
1	균열 길이 및 폭	양호	총길이 1m 이하
2	접착부위 수직도	양호	±5mm미만
3	오염정도	양호	오염 없음
4	국부 압축파손	양호	국부 압축파손 없음
5	모서리의 부분 파손	양호	파손부분 없음
6	단열재 들뜸	양호	들뜸부위 없음
7	단열성능 저하 여부	양호	결로 없음

제4절 CO_2를 활용한 단열재의 실증화

1. 국내·외 단열재 관련 품질기준 현황

국내·외 단열재 관련 품질기준의 현황을 분석한 결과, 총 5개 규격으로 나타났으며, 품질기준은 4개 규격, 시험방법은 1개 규격으로 나타났다. 또한 CO_2 사용 규정에 대한 규격은 일본(JIS A 9511) 1개 규격으로 분석되었다.

<표 3.8> 국내·외 단열재 관련 품질기준 현황

국가명	규격번호	규격명	CO_2 사용규정여부	비고
한국	KS M 3808	발포폴리스티렌(PS)단열재	×	품질기준
일본	JIS A 9511	발포 플라스틱 단열재	○	품질기준
미국	ASTM C 578-06	폴리스티렌 단열재 표준규격	×	품질기준
유럽	EN 13164	건축용 단열재 압출 폴리스티렌 폼의 공장도 제품 사양	가능	품질기준
국제	ISO 11561	단열재의 경시변화-독립 기포 플라스틱 열저항의 장기 변동 측정 (실험실 가속 시험 방법)	×	시험방법기준

2. 단열재 관련 품질기준 및 규격 검토

KS와 ISO의 품질기준을 비교 분석한 결과, ISO 규격은 유형Ⅰ(하중을 받지 않는 벽), 유형Ⅱ(지붕, 바닥등 제한되 하중 부위), 유형Ⅲ(주차장, 냉장바닥등 고하중부위) 등으로 용도별로 구분되어 있으며, 열전도율은 동일 용도내에서 열전도율에 따라 A, B, C로 구분되어 있다. 또한 밀도의 기준은 선택사항이며, 장기열전도율의 기준은 없고 장기 열저항 값(두께 고려)을 제조사에서 제시하여 참고용으로 관리되고 있다.

<표 3.9> KS M 3808과 ISO 4898 비교

관리항목	KS M 3808	ISO 4898
초기 열전도율 (W/mK) (평균온도 23℃)	특호: 0.027이하 / 1호: 0.028이하 2호 : 0.029이하 /3호: 0.031이하	0.026 이하
장기 열전도율 (W/mK) (평균온도 23℃)	특호: 0.029이하 / 1호: 0.030이하 2호 : 0.031이하 / 3호: 0.033이하	장기열저항 제조자가 제시
굴곡파괴하중(N)	특호: 45이상 1~3호 : 35이상	35 이상
압 축 강 도 (N/cm2)	특호:25 이상 / 1호 : 18 이상 2호 : 14 이상 / 3호 : 10 이상	45K : 55이상 / 40K : 45이상 35K(특호) 35이상/30K (1호):25이상 25K (2호):15이상
연 소 성	연소시간 : 60초이내 연소길이 : 120mm 이내	-
투습계수(ng/m2.s.pa)	146이하	-
수증기 투과도 (ng/Pa.s,m)	-	2.0~1.5
흡수성 %(V/V)	-	1이하
치수안정성(%)	-	5 이하
압축 크리프(%)	-	5 이하

KS와 JIS의 품질기준을 비교 분석한 결과, JIS 규격의 A타입(탄화수소, CO_2 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 구분된다. A타입은 열전도율만 요구되는 제품으로서 적용되는 제품은 거의 없으며, B타입은 압축강도와 열전도율의 관리기준만 요구되는 제품이다. 또한 바닥 밑부분이나 지붕의 경우는 A타입을 적용·관리되고 있다.

타입별 구준은 열전도율에 의해 구분되며, 열전도율 차이의 폭이 KS규격에 비해 크다. 건축용 등 단열성을 요하는 용도는 3종제품 사용되며, 다다미 등 단열이 크게 요구되지 않는 용도는 1종만 관리된다. JIS 열전도율은 초기열전도율 기준으로 장기열전도율 기준 없으며, 생산후 40시간 이후 측정(생산후 24시간 제품을 채취하

여 16시간 방치 후 시험)할 수 있다.

<표 3.10> KS M 3808과 ISO 4898 비교

구 분	KS M 3808								JIS A 9511					
	특호		1호		2호		3호		3종		2종		1종	
	초기	장기	초기	장기	초기	장기	초기	장기	b	a	b	a	b	a
열전도율 (W/mK)	0.027 이하	0.029 이하	0.028 이하	0.030 이하	0.029 이하	0.031 이하	0.031 이하	0.033 이하	0.028 이하		0.034 이하		0.040 이하	
굴곡강도 (N/㎠)	-		-		-		-		25이상	20이상	20이상		20이상	17이상
굴곡파괴하중(N)	45이상		35이상		35이상		35이상							
압축강도 (N/㎠)	25 이상		18이상		14이상		10이상		20이상	10이상	18이상	10이상	16이상	10이상
밀도 (㎏/㎥)	-								25 이상		25 이상		20 이상	
연소성	수평연소성 시험 (ISO 9772 기준) 연소시간 : 60초이내, 연소길이 : 120mm 이내								3초 이내에 불꽃이 꺼져서 찌꺼기가 없고 연소 한계선을 초과하여 연소하지 않을 것					
투습계수 (ng/㎡s㎩)	146 이하(ng/㎡s㎩)								145 이하 (스킨 있을 경우) 55 이하 (스킨 없을 경우)				205 이하	
흡수량 (g/100㎠)	-								0.01 이하					

KS M ISO 11561 B방법은 25±2년의 값을 구하는 것으로 되어 있으며, 25년 평균값을 구하는 것이 아니다.

EN 13164 표준은 평균값으로 되어 있으며, 절차는 공기 보다 낮은 열전도율을 가지고 상당한 시간 동안 폼안에 존재하는 발포제를 사용하여 생산된 XPS에 사용된다. 약 25년 동안 사용하는 평균 값을 대표하는 노화 절차는 두께 20mm~200mm의 밀착된 합지로 확산이 있는 것과 없는 PS 제품에 사용된다.

<표 3.11> KS M 3808과 EN 13164 비교

TEST	EN13164 (XPS제품사양)		KSM3808 (발포폴리스티렌)	측정 가능 여부	규격적용시문제점 (적용가능여부)	
열저항 - 열전도율	prEN12667 EN12939	- 기준: 제조자 공시 - 평균 온도 10℃ - 두께에 따른 Ageing후 측정	- 기준: 국가 공시 - 평균 온도 20℃ - Ageing 기준없음	○	×	-적용불가 -부속서C에 경시변화 관련 시험 방법 있음(최대 90일 ageing 후 시험)
길이와 너비	EN822	- (-)공차 없음. - 1.5m이상 (너비) 최대5곳 측정,평균값	- (-)공차 없음. - 각 3곳을 측정, 평균값	○	○	- 적용가능 예상
두께	EN823	- 등급 및두께 따른 허용치부여. - 길이에 따라 측정점 증가.	- 두께에 따른 허용치 부여	×	○	- 적용가능 예상 - 시험 설비 제작 要
평활도	EN825	- 길이에 따른 허용치 부 여 (7~35mm) - 길이/나비 방향으로 휨상태 측정	- 평평한 면 (plane face)	×	×	- 적용불가 (고T제품) - 시험 설비 제작 要
길이와 너비에 대한 직각도	EN824	- 5mm/m	- 상호직각 (right angle)	×	×	- 적용불가
직각도	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
정상조건하에 치수 안정성	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
특정 온도와 습도조건하에	EN1604	- 23℃,90%RH 48h방치후 시 험 (2 %	- 시험방법 없음.	×	○	- 적용가능 예상

TEST	EN13164 (XPS제품사양)		KSM3808 (발포폴리스티렌)	측정 가능 여부	규격적용시문제점 (적용가능여부)	
		이하)				
압축응력 / 강도	EN 826	-	-XPS 시험 방법 있음	○	○	- 적용가능 예상
10% 변형시 압축	×	-	- EPS 시험 방법 있음	○	○	- 적용가능 예상
압축 크리프	EN 1606	-	- 시험 방법 없음.	×	×	- 적용가능 여부알수 없음
굴곡 강도	×	-	- 시험방법 있음	○	○	- 적용가능 예상
화재 반응	EN 13501-1	-	- 연소성 시험 방법 있음	×	×	- 적용가능 여 부 알 수 없음
특정 온도에서 치수 안정성	EN 1604	- 온도 (-40,-30,+40,+60℃), 24(48)h 방치후 시험.	- 시험방법 없음.	×	×	- 적용 불가 (수축 발생) - 시험 설비 제작 要
특정 온도와 습도 조건에서 치수 안정성	EN 1604	- 온도 (20,23,60,70℃)/습도 (30~90%), 24(48)h 방치후 길이,너비,두께 측정	- 시험방법 없음.	×	×	- 적용 불가 (수축 발생) - 시험 설비 제작 要
특정 압축 하중과 온도 조건에서 변형	EN 1605	- Oven안 (특정 온도)에서 하중을 걸어 두께 변화를 시험.	- 시험방법 없음.	×	△	- 적용시 문제 없음 - 시험 설비 제작 要
표면 수직 인장 강도	EN 1607	- 제품표면에 접착제를 사용하여 인장강도 시험.	- 시험방법 없음(굴곡 강도만 있음)	×	△	- 적용가능 예상 - 시험 설비 제작 要
포인트 하중	EN 826	-	-	×	×	- 적용가능 여부알수 없음
침수에 의한 장기 물	EN	- 부분 침적	- 완전 침적	○	○	- 적용가능

TEST	EN13164 (XPS제품사양)		KSM3808 (발포폴리스티렌)	측정 가능 여부	규격적용시문제점 (적용가능여부)	
흡수력	12087	시험(약 10mm), 28일 방치 - 완전 침적 시험(약 50mm), 28일 방치	시험만 유사(흡수량 시험)			예상
확산에 의한 장기 물 흡수력	EN 12088	- 용기(50℃ 물) 위에 시편으로 밀폐, 시편 위 면은 냉각판(1℃)으로 냉각, 28일 방치후 무게/부피 변화 측정	- 시험 방법 없음.	×	○	- 적용가능 예상 - 시험 설비 제작 要
결빙 해동 저항력	EN 12091	- 온도에 대한 Cycling Test (300회), (- 20℃,1h냉각 → - 20℃,1h유지→20℃, 1h가열→ 20℃,1h유지 → - 20℃,1h냉각)	- 시험 방법 없음.	×	○	- 적용가능 예상 - 시험 설비 제작 要 - 무게/부피 변화 측정
수증기 투과율 특성	EN 12086	- 수증기 투과성 시험 - 5회측정하여 측정값이 ±5%이내	- 투과 계수 시험과 유사	○	○	- 적용가능 예상
동적 강성	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
두께,dL	×	-	-	○	○	- 적용가능

TEST	EN13164 (XPS제품사양)		KSM3808 (발포폴리스티렌)	측정 가능 여부	규격적용시문제점 (적용가능여부)	
						예상
두께,dB 장기 두께 복원	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
겉보기 밀도	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상
위험물질 공개	×	-	-	○	○	- 적용가능 예상

국외 압출법 단열재 제품의 품질은 열전도율 기준으로 분석한 결과, 유럽(BASF)의 경우 0.031~0.039, 일본(KANEKA)은 0.028~0.04로 분석되었으며, 국내의 1호 기준의 수준이었다. KS M 3808의 발포제 대체 및 CO_2 활성화를 위하여 KS규격기준의 완화될 필요성이 요구된다. CFC-12 (1996년 국제규제, 국내생산 불가)경우만 KS M 3808 기준에 만족하고 있으며, 국제적으로 사용하는 친환경 발포제의 경우 KS 장기열전도율 기준에 초과한다.

Thermal conductivity W/(m·K) and Thermal resistance (m²·K)/W Styrodur® C — April 2013

Property	Unit	Rated values of thermal conductivity to DIN 4108	2500 C		2800 C		3035 CS		3035 CN		4000 CS		5000 CS	
Thermal conductivity		λ	λ_D		λ_D		λ_D		λ_D		λ_D		λ_D	
Thermal resistance				R_D		R_D		R_D		R_D		R_D		R_D
Thickness	20 mm	0.031	0.030	0.65	0.030	0.65	–	–	–	–	–	–	–	–
	30 mm	0.032	0.031	0.95	0.031	0.95	0.031	0.95	0.031	0.95	0.031	0.95	–	–
	40 mm	0.033	0.032	1.25	0.032	1.25	0.032	1.25	0.032	1.25	0.032	1.25	0.032	1.25
	50 mm	0.034	0.033	1.50	0.033	1.50	0.033	1.50	0.033	1.50	0.033	1.50	0.033	1.50
	60 mm	0.035	0.034	1.75	0.034	1.75	0.034	1.75	0.034	1.75	0.034	1.75	0.034	1.75
	80 mm	0.036	–	–	0.035	2.30	0.035	2.30	0.035	2.30	0.035	2.30	0.035	2.30
	100 mm	0.038	–	–	0.037	2.70	0.037	2.70	–	–	0.037	2.70	0.037	2.70
	120 mm	0.039	–	–	0.038	3.20	0.038	3.20	–	–	0.038	3.20	0.038	3.20
	140 mm	0.039	–	–	0.038	3.70	0.038	3.70	–	–	0.038	3.70	–	–
	160 mm	0.039	–	–	0.038	4.20	0.038	4.20	–	–	–	–	–	–
	180 mm	0.039	–	–	0.038	4.70	0.038	4.70	–	–	–	–	–	–
	200 mm	0.039	–	–	0.038	5.25	0.038	5.25	–	–	–	–	–	–

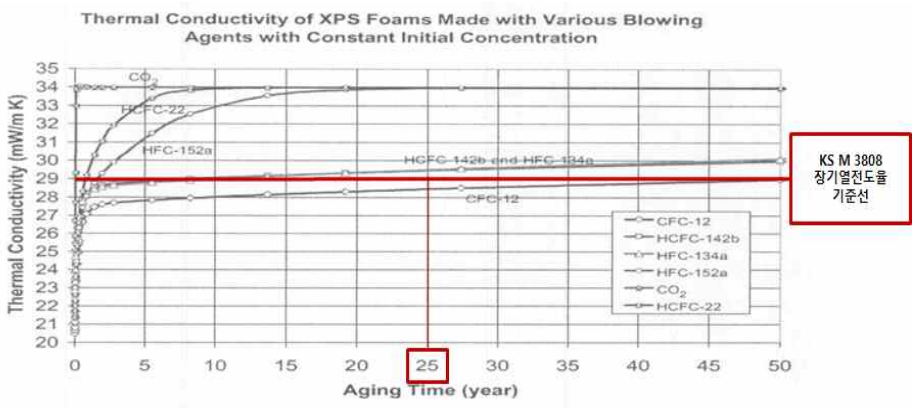
<표 3.12> 유럽 BASF사의 단열재 품질

■ カネライトフォーム の一般物性と主な用途

項　　目	単　位	A-XPS-B-1b（1種b）	A-XPS-B-2b（2種b）	A-XPS-B-3b（3種b）		試 験 法
		スーパーE-I	スーパーE-II	スーパーE-III	スーパーE-BK	
密　　度	kg/m³	20以上	25以上	25以上	25以上	JIS A 9511
熱 伝 導 率	W/(m·K)	0.040以下	0.034以下	0.028以下	0.028以下	JIS A 9511
圧 縮 強 さ	N/cm²	20以上	20以上	20以上	20以上	JIS A 9511
曲 げ 強 さ	N/cm²	20以上	20以上	25以上	30以上	JIS A 9511
吸　水　量	g/100cm²	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下	JIS A 9511
透 湿 係 数	ng/(m²·s·Pa)	145以下	145以下	145以下	55以下	JIS A 9511（厚さ:25mm）
燃　焼　性		合　格	合　格	合　格	合　格	JIS A 9511
線 膨 張 率	cm/cm℃	6~8×10⁻⁵	6~8×10⁻⁵	6~8×10⁻⁵	6~8×10⁻⁵	ASTM D696
加熱変形温度	℃	80（短期） 70（長期）	80（短期） 70（長期）	80（短期） 70（長期）	80（短期） 70（長期）	カネカ法
商品の特長 主な用途		カットボード標準品 RC打込用途 戸建住宅用途 各種パネル	高性能カットボード RC打込用途 戸建住宅用途 各種パネル	高性能カットボード RC打込用途 戸建住宅用途 各種パネル	高性能スキンボード 断熱防水用途	

※密度、熱伝導率、圧縮強さ、曲げ強さ、吸水量、透湿係数、燃焼性については、製品規格値です。
※燃焼性の規格は「3秒以内に炎が消えて、残じんがなく、かつ燃焼限界指示線を超えて燃焼しない」ことです。
※線膨張率はASTM法、加熱変形温度はカネカ法による測定の代表値です。
※冷凍冷蔵庫専用グレードとして「カネライトフォーム スーパーE-AK」、畳専用グレードに「カネライト畳フォーム」もあります。

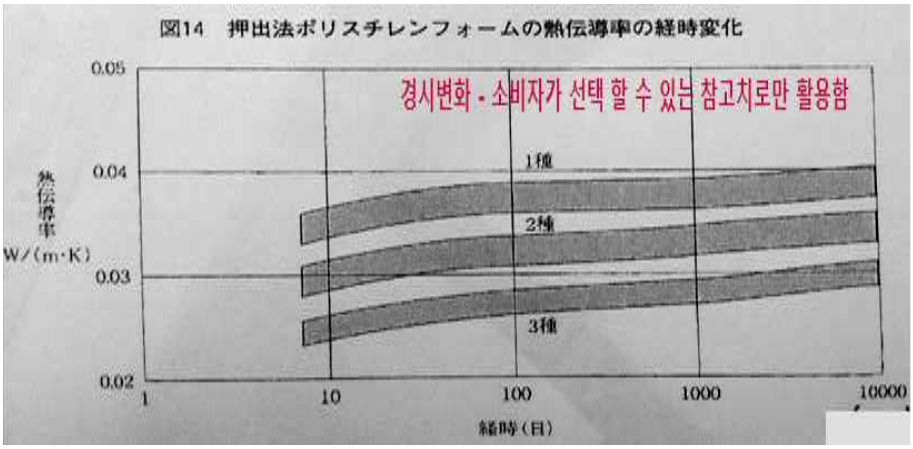
<표 3.13> 일본 KANEKA사의 단열재 품질



[그림 3.44] JOURNAL OF CELLULAR PLASTICS Volume 40 (MAY.2004) -
Andrew N. Paquet (Dow Chemical)

장기열전도율의 경우 유럽은 ISO 4898 장기 열저항만 제조사에서 관리하게(건축물 설계시 R-Value로 관리) 되어 있으며, ISO 11561 장기 열전도율 시험법만 제시하게 되어 있다. 일본은 JIS 규격내 장기 열전도율 관련 내용 없다. 국내는 KS M 3808에 기준 명시(0.029 W/mK ~ 0.033 W/mK), 건축물의 설계반영은 가, 나, 다군 단열재별 두께 명시(가군 단열재 기준 0.034W/mK로 설계) 되어 있다.

대부분의 현장에서 열전도율 계산이 아닌 단열재별 두께로 설계(KS M 3808 수치와 괴리) 되고 있으며, 제품 표준의 장기 열전도율에 관한 해외 사례 관리기준은 없다.



[그림 3.45] JIS 해설서에 참고 그래프만 제시됨(KS 기준 초과)

KS M 3808 장기 열전도율 측정방법은 KS M ISO 11561 시험방법 B의 절차에 따라 시편을 절단하고 KS L 9016에 따라 열저항을 측정하여 열전도율로 산출한다. KS M ISO 11561 시험방법 B 에 따르면 50mm이상의 두께에 대하여 25년 장기 열전도율을 추정하는 데 목적이 있다. KS L 9016의 열저항 측정시 두께에 따른 시편의 크기는 50T 초과 제품에 대하여 열판의 치수 길이 나비를 450mm, 900mm 이상으로 되어 있다. 그러나 현재 공인기관 및 제조사에서 보유하고 있는 시험기의 경우 450mm, 900mm로 측정 할 수 있는 시험기가 구비되어 있지 못하다. 이에 50mm 두께로 한정하여 장기열전도율을 측정하고 있는 실정이다.

<표 3.14> KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법

시험체 두께[1](㎜)	열판의 치수 길이[2] 및 나비
30 이하	200±2
50 이하	300[3]±2
100 이하	450[4]±2
200 이하	900[4]±2
1) 시험체의 두께가 10㎜미만인 것은 겹친다. 2) 경사각형인 경우 1변의 길이, 원형인 경우는 지름을 표시한다. 3) 305로 하여도 좋다. 4) 당분간 450은 610, 900은 910을 적용하여도 좋다.	

국제 규격 ISO 11561에 장기 열전도율의 시험 방법은 규정 되어 있으나 기준값이 정해져 있는 경우는 어느 규정에도 없으며, ISO 4898 (플라스틱 발포 단열재 관

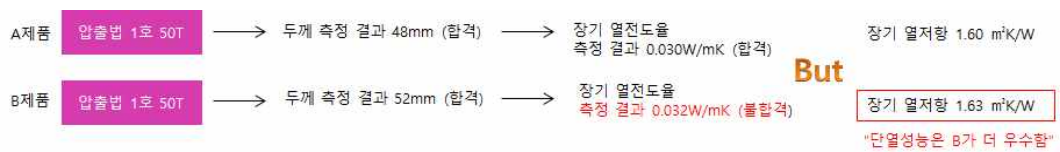
련 기준) 기준에도 초기 열전도율, 강도 등 기준치가 정해져 있으나 장기열전도율은 기준치가 없다(장기열저항 으로 제조사가 표시 하게 되어 있음)

ISO 11561 장기 열전도율의 측정 오차는 시험방법 A의 경우, 3년~5년에 걸쳐 미국에서 실시한 연구에서 얻은 제한된 자료에 의하면 실제 성능과 슬라이싱 및 스케일링 시험에서 도출한 성능 간에 일치도는 10% 이내에서 일치하는 것으로 보고된바 있다. 시험방법 B의 경우에는 스칸디나비아에서 장기간 동안 50 mm 이상 두께의 시료에 대하여 실시한 시험결과에 의하면 두 방법 간에 5% 이내에서 일치하는 것으로 알려져 있다.

공기가 아닌 발포가스를 사용하는 플라스틱 발포 단열재는 모두 가스 확산에 의한 경시변화가 발생되며, ISO 4898 내에도 XPS(압출법), PU(우레탄폼), PF(페놀폼)에 대한 장기 열저항이 언급되어 있으나, 국내 KS에는 XPS(압출법)에 대한 장기 열전도율만 규정되어 있어 차별적 규제를 받고 있다.

단열성능은 장기열전도율 값이 아니라 장기 열저항 값으로 관리되어야 하며, 열전도율이 좋다고 하더라도 두께가 얇으면 실제적인 단열성능은 감소한다.

예를 들면 압출법 1호 50T 제품을 두 종류 샘플(A, B) 하여 측정 하고 그 결과 값이 아래와 같다고 가정할 경우, A제품의 경우 실두께 48mm, 장기열전도율 0.030 W/mK 로 측정 되었다면 현재 KS M 3808기준에 만족한다. 또한 B제품의 경우 실두께 52mm, 장기열전도율 0.032 W/mK로 측정 되었다면 현재 KS M 3808 기준에 불합격 된다(특히 B제품의 경우 장기열전도율은 치명결함에 해당되어 제품 인증 취소 사유에 해당됨). 그러나 장기 열저항의 경우 B제품이 더 뛰어나다. 즉, 단열성능은 B제품이 더 뛰어 남에도 불구하고 치명결함을 가진 제품으로 판정하는 오류가 발생한다.



[그림 3.46] 단열재 성능 비교(예시)

3. CO_2 활용을 위한 단열재 규격(안) 제안

CO_2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용하여 이에 대한 제한적인 기준이 아니라 국제적인 추세인 발포제 대체재료의 활성화를 위한 방안으로 제안하고자 한다.

<표 3.15> KS M 3808 발포 폴리스티렌 단열재 기준 개정(안)

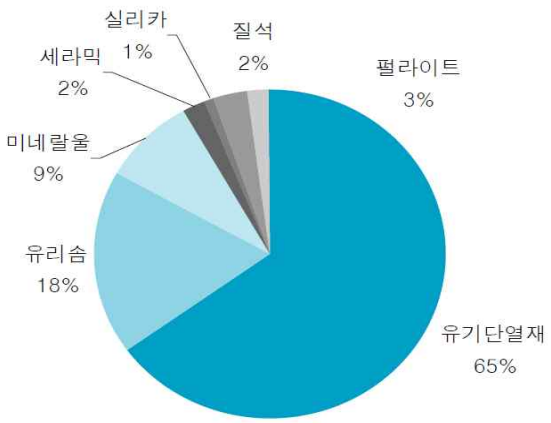
현행	개정(안)
4. 종류 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다.	4. 종류 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다. 또한, 발포제는 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 구분한다.

제5절 연구개발 성과의 국내·외 시장 전망

1. 국내 단열재 시장 규모 및 전망

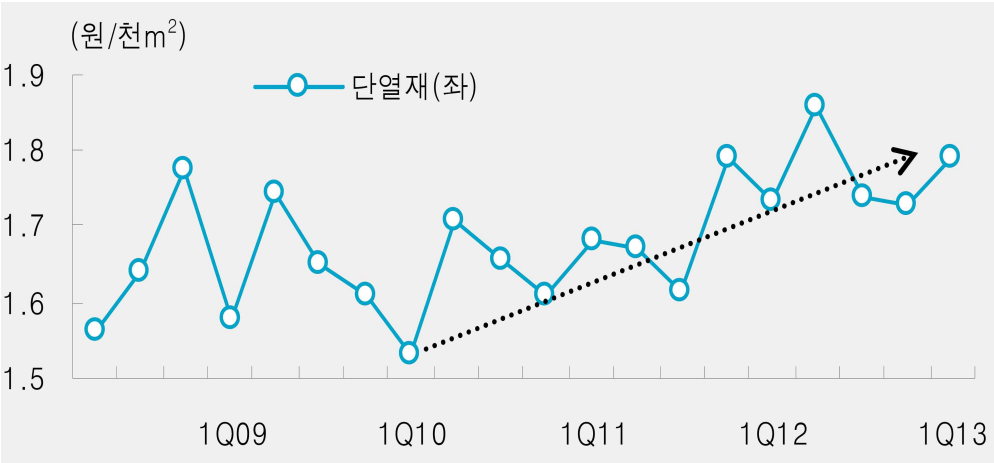
국내시장은 유기단열재가 70%를 점유하고 있다. 이들 유기 단열제품은 에너지의 효율적 이용을 위한 환경조성에 필수적으로 이용되고 있다. 건축법에 하위법령(시행규칙)으로 건축물 에너지절약 설계기준'에 따라 단열성능 기준을 갖고 있다. 반면 무기단열재는 최근 화재시 내화성능을 필요로 하는 산업체에 많이 사용되고 있다. 그라스 울, 미네랄 울, 퍼라이트, 석고, 실리카, 세라믹 화이바 등 제품이 시판되고 있다. 하지만 이러한 섬유상태 무기단열재는 전력 뒷받침이 필요한 산업이다. 원자재 비용보다 제조공정상 전력 과다사용 산업으로 국가에너지절약정책에선 주택용 단열재로 공급하기에는 적합하지 않다는 지적이다.

유기질계 제품별 리스트를 보면 압출법과 비드법 단열판으로 생산되는 발포 폴리스틸렌을 비롯, 폴리에틸렌, 폴리우레탄 등으로 나뉜다. 반면 유기단열재인 폴리 우레탄은 고가인데다 공급이 원할치 않다. 제조공정상 독성가스 사용하기에 환경친화적이지 못하다는 이유로 제조 허가를 받기가 쉽지 않다. 폐기시 재활용 못한다. 따라서 우레탄은 환경측면에서 리사이클링이 불가능하다. 또한 단열재는 그 용도에 따라 건축용과 패널용, 산업용으로 구분된다. 국내 시장에선 건축용이 절반을, 패널용과 산업용이 각각 44%와 6%를 차지한다.



[그림 3.47] 2013년 국내 단열재 시장(한국투자증권)

국내 단열재 시장은 현재 4,600억원 규모로 2016년에는 7천억원으로 성장할 전망이며, 고성능 단열재 비중은 11%에서 30%로 성장할 것으로 추정된다.



[그림 3.48] 국내 단열재 시장 전망(한국투자증권)

2. 국외 단열재 시장 규모 및 전망

XPS 소비량은 최근 몇 년 동안 평균 4% 증가했으며 전세계 3,000 만 ㎥에 달한다. 가장 중요한 시장은 중국, 미국, 러시아, 터키, 일본, 독일, 이탈리아 등이 있으며 전세계 수요의 약 50%는 유럽에서 생산된다. 단열재에 대한 동부 유럽의 수요 곡선도 증가하는 추세이다.

유럽, 일본, 미국 등은 XPS가 단열재 시장의 70 % 이상을 차지하고 있어 기업들도 홍보와 제품고급화로 시장확대를 준비하고 있다. XPS는 환경문제와 관련된 규제를 받고 있어 기업들이 이에 대한 대책 마련에 나서고 있다. XPS는 GPPS를 주원료로 조액제, 난연제, 발포제 등을 혼합·발포하여 생산된다.

발포제로「오존층파괴물질에 관한 몬트리얼 의정서」에 의해 단계적으로 사용 제한 되고 있는 CFC를 사용하고 있는 것으로 알려졌다. 오존파괴지수 1.0으로 사용을 규제하고 있는 CFC12 가스는 사용을 않고 있으며, 지수가 0.1인 22나 HCFC가 주로 사용되고 있는 것으로 알려졌다.

전세계 단열재 시장은 2011년 325억달러에서 2018년에는 567억달러로 연평균 8.3%로 성장하고 미국 역시 연평균 8.0%의 성장이 예상된다. 이는 신흥국의 건설업

성장 외에 선진국의 re-insulation 시장 성장에 기인한다. 일례로 2011년, 고기능 단열재인 fiberglass는 미국 단열시장 전체의 43%를 차지했으며 2018년까지 연평균 9% 성장할 전망이다. 단열재 법규강화로 고성능 단열재 시장이 2000년대 들어 10배 이상 성장한 일본이나 영국의 사례를 볼 때, 국내도 결국 이를 따라갈 가능성이 높다.



[그림 3.49] 국외 단열재 시장 전망(Transparency market research)



[그림 3.50] 미국의 단열재 시장 전망(Transparency market research)

3. 연구개발 성과의 시장성

HCFC(수소염화불화탄소)는 몬트리올의정서에 근거에 의한 오존파괴물질이며, 한국은 2013년부터 연차적으로 사용제한 되고 2030년까지 사용금지 된다. 또한 도쿄의정서에 근거한 지구온난화에도 HCFC류는 높은 수치를 보여 탄소저감형 건축재료에 취약 규제대상이며, 앞선 규제를 받은 유럽, 일본 등 발포제(이산화탄소, 탄화수소류) 대체를 성공적으로 개발하여 시장을 형성하고 있다.

국내의 경우, 압출법 단열재의 발포를 위하여 HCFC(수소염화불화탄소)를 혼합사용되고 있는 실정이며, GWP(온난화지수)가 CO_2 대비 1,700~2,400 배로 매우 높다.

기존 발포제는 90 % 이상 수입·고가이며, 발포제 대체재료인 CO_2는 발전소나 제철소에서 생성되는 부산물로서 가격은 기존 HCFC 대비 1/20 이하 수준의 경제성으로 시장 진입이 원활할 것으로 예측된다.

제4장 연구목표 달성 및 효과

제1절 연구의 목표

1. 최종 연구목표

본 연구의 최종목표는 발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 연구의 일환으로 세부적으로는 친환경발포제를 100% 사용 단열성 현재 성능확보(장기 열전도율 0.030 W/m·K 이상유지 : 압출법 1호 기준, Graphite등 활용한 고성능단열재제품 : 단열성능 7%향상)과 친환경 고성능단열재를 사용한 정책제안(규격제개정 : 친환경발포제 사용의무화), 친환경상품 인증기준 제안 등을 하는 연구로서 이를 통한 국내 단열재 발포재료를 CO_2 등의 친환경 발포제를 활용하여 건설재료서 활용할 수 있게 기여함을 최종목표로 설정하였다.

2. 연차별 연구목표

최종목표를 달성하기 위하여 진행한 연차별 연구목표는 다음과 같다.

가. 1차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 단열성 확보방안 설계 및 부분대체
- 친환경 발포제 control기술확보
- 기존발포제를 일부(최대30%)대체 특성파악 및 COST DOWN

(2) Graphite 등 첨가재를 사용 단열성능 향상 기술개발
- 시제품생산(친환경발포제제품+Graphite제품결합)

나. 2차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 완전대체기술확보

- primary 압출기 설계
- 보조발포제투입으로 투입량향상

(2) 발포 cell structure 개선을 통한 단열성능 향상 기술개발 (5% 이상)

- TEST BED를 통한 성능확인(친환경발포제+Graphite+Cell size개선제품)
- 설비보완

다. 3차년도 연구목표

(1) 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화

- 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화
- 친환경발포제를 50% 사용 단열성 현재 성능이상

(2) 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제시

제2절 평가의 착안점

연차	연구내용	내용
1차 년도	▪ 기초문헌조사 -특허 -기술자료	국내외 문헌조사로 선진발포제대체기술현황확보로 방향설정
	▪ 친환경발포제별 부분대체	친환경발포제 부분대체로 공정적용가능성 파악 및 신규발포제투입설비설치
	▪ 성능평가항목설정	시편 검사항목 설정 및 TEST BED품질항목설정
	▪ Graphite적용기술	Graphite 적정사용량 및 공정조건설정
	▪ 성능평가	친환경발포제+Graphite적용기술시편 성능평가
2차 년도	▪ 친환경발포제완전대체기술 -보조발포첨가제투입 -압출기설비개선(상압식)	친환경발포제완전대체하기위해서는 보조발포제가 추가로 검토 투입되고 이에 맞는 생산조건를 확보함. 우선 상압식 생산라인에서 적용 설비개선 통한 양산기술확보
	▪ Cell size 개선기술적용 -생산공정개선 -다이 등 설비개선	단열성능향상기술로 cell size적용기술적용 설비 및 공정개선으로 보완
	▪ TEST BED -시제품생산	최종친환경발포제(보조발포제포함)+graphite적용기술+cell size개선 통합 성능평

연차	연구내용	내용
	-성능평가	가
3차 년도	▪ 양산기술최적화 -압출설비보완 -공정최적화 및 표준화	생산지표를 올리기 위한 설비보완 및 공정조건최적화 및 표준화작업
	▪ 성능평가	최종제품 성능평가
	▪ 현장적용 -친환경제품적용제시	현장적용이 가능하도록 정보제공 자료준비
	▪ 친환경발포제 관련규격 제시	친환경발포제로 생산제품이 국민들에게 전달되도록 표준제개정(안) 제시

제3절 연구개발 최종목표 달성도

연차	목표	달성도 (%)	내용
1차년도	▪ 국내·외 기술 개발 현황조사	100	▪ 국외 유럽 등은 HFC에서 CO_2까지 활용, 일본의 경우는 탄화수소류로 대체한 생산기술을 확보(첨가제 Graphite, CARBON BLACK 등을 적용, 발포기술인 Cell structure의 개선으로 Micro cell, complex cell 등을 개발). ▪ 국내의 경우 HCFC류 발포제를 사용하고 있는 것으로 파악됨(XPS업계는 선진국에서 압출기계를 수입한 업체에 기술에 의존 소극적으로 접근하는 초기단계임).
	▪ 친환경발포제 단열성 확보방안 설계	100	▪ CO_2 경우는 활성이 크므로 열전도율을 낮추어주는 역할이 거의 없어 단기간에 열전도율이 높아지고 경시변화가 없음. 이와 같은 문제로 열전도율을 낮추기 위해 Graphite를 사용하고 Cell size를 작게하여 열전달현상(전도, 대류, 복사)을 최소화하는 방법으로 설계.
	▪ 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토	100	▪ 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃ 조건 도출.
	▪ 발포제 대체 CO_2를 활용한 단열재 성능평가	100	▪ 공정조건 1차 압출기 압력 1,300psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 700psi, 온도 115℃ 조건으로 CO_2 대체에 의한 50~75㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결

연차	목표	달성도 (%)	내용
			과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못함. ▪ 공정조건 1차 압출기 압력조건 1,300psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 700psi, 온도 125℃ 조건으로 CO_2 대체에 의한 100~110㎜ 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 성능평가한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나 초기열전도율의 경우 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 장기열전도율은 만족하지 못함. ▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 20% 이상 적용가능할 것으로 판단되며, 단열재 두께 100~110㎜ 보다 50~75㎜ 단열재의 성능효과가 더 높게 나타나 단열재 두께 50~75㎜로 적용가능할 것으로 판단. ▪ 최대공정조건 1차 압출기 압력조건 1,600psi, 온도 220℃→2차 압출기 압력조건 850psi, 온도 125℃ 조건으로 CO2 대체율에 따라 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등을 실험한 결과, KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 발포제 대체 CO_2 30%이상 적용가능, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족. ▪ 최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~64%로 만족하였으며, 공정조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃→2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃ 조건으로 적용가능할 것으로 판단.
	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가	100	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가한 결과, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율, 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 4~60%로 만족.

연차	목표	달성도 (%)	내용
			▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 30%까지 대체 가능할 것으로 판단되며, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하였으나 이에 Graphite(흑연) 적용으로 단열재의 성능개선 효과가 있을 것으로 판단.
2차년도	▪ 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토보완	100	▪ CO_2 대체율 증가에 따라 밀도 증가, 열전도율증가, 표면불안정, 두께감소 등의 문제점이 발생하였으며, 이는 불안정한 Cell 구조, 고온, 저기압, 발포제 혼합 등으로 판단됨. 따라서, 압출기의 교체가 필요하나, 비용문제가 발생하여 추가발포제 등 재료적인 검토 요구. ▪ Die 보완은 470mm → 450mm로 폭조정 및 설비교체 결과, 폭조정에 의한 Die 압력 상승으로 Cell 구조가 개선된 것으로 판단.
	▪ 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가	100	▪ 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 850psi, 온도 115℃로 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, CO_2 대체율 35~50%로 증가함에 따라 압축강도 18%이상, 굴곡파괴하중 45%이상, 투습계수 61%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO_2 대체율 35%이상에서 만족하지 못함. ▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 50%까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단.
	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기내구성 검토	100	▪ CO_2 대체율 30%, Graphite(흑연) 첨가율 5%에서 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 기준에는 만족하였으나, 장기내구성에서 비틀림 현상이 발생하여 이에 대한 보완·추가 재료의 검토 요구.
	▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에	100	▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 보조발포제(에탄올) 혼

연차	목표	달성도 (%)	내용
	따른 단열재의 성능평가		합율 5~25%로 증가함에 따라 압축강도 29%이상, 굴곡파괴하중 31%이상, 투습계수 60%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기 열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 만족. ▪ 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상으로 적용가능할 것으로 판단되며, 제2의 보조발포제에 대한 검토 요구.
	▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선	100	▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선 결과, 2차압출기 압력 850~1,000psi로 증가함에 따라 단열성능은 900psi이상에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준 보다 초기열전도율은 4%이상, 장기열전도율 2%이상 만족하였으며, 단열성능, 경제성 등을 고려하여 2차압출기 압력은 950psi가 안정적으로 적용가능할 것으로 판단.
	▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가	100	▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가 결과, 발포제 혼합비율에 따라 압축강도 22%이상, 굴곡파괴하중 29%이상, 초기열전도율 5%이상, 투습계수 58%이상, 연소성 등은 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 장기열전도율은 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 만족. ▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 최적조건은 장기열전도율 기준으로 발포제 혼합비율 30:20:50%이상에서 적용가능할 것으로 판단.
3차년도 (최종년도)	▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화	100	▪ 압출성형 공정조건은 1차 압출기 압력 1,400psi, 1,500psi, 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 750psi, 850psi, 950psi, 온도 115℃로 검토한 결과, 최적 조건은 1차 압출기 압력 1,600psi, 온도 200℃ → 2차 압출기 압력 950psi, 온도 115℃로 도출됨.
	▪ 친환경발포제를 50% 사용 단열재 성능평가	100	▪ 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31이상㎏/㎥으로 유사한 범위로 나타남. 압축강도는 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지

연차	목표	달성도 (%)	내용
			못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3~41%로 만족. 또한 투습계수는 기준 보다 9~63%로 만족. ▪ 초기열전도율은 혼합비율 10:20:30:40 %, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35: 35%에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 10:20:20:50%, 15:15: 20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 KS M 3808 기준에 만족. ▪ 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31㎜로 나타난 15:15:20:50%와 0.33㎜로 나타난 20:10:20:50%에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타남. ▪ CO_2 활용을 위한 압출법 단열재의 발포제 혼합비율은 열전도율의 안정성을 고려하여 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 적용이 가능할 것으로 판단.
	▪ 친환경 고성능 단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제시	100	▪ CO_2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용하여 이에 대한 제한적인 기준이 아니라 국제적인 추세인 발포제 대체재료의 활성화 방안으로 제안함.

제4절 연구개발 성과의 효과분석

1. 기술적 측면

가. CO_2는 발포제로 사용하기에 조건이 매우 까다롭고 높은 압력을 요구해 국내에서 단열재의 발포제로 상용화한 사례가 없고 원천적으로 설비교체 및 새로

운 고도에 생산기술 개발을 확보하였다.

나. 발포제 대체 CO_2를 30%까지 대체 가능할 것으로 판단되며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 20%이상에서 적용으로 단열재의 성능개선 효과가 있을 것으로 예상된다.

다. CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 혼합비율 30:20:50%이상으로 발포제의 최적혼합비율로 활용・보급가능할 것으로 판단된다.

라. CO_2 활용을 위한 압출법 단열재의 발포제 혼합비율은 열전도율의 안정성을 고려하여 1차압출기 1,600psi, 2차압출기 950psi 조건에서 발포제 혼합비율 CO2:보조발포제(에탄올):제2의보조발포제(HFC-152a):HCFC=15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 효과적인 적용이 가능할 것으로 판단된다.

마. 고성능단열재로 유지 또는 높이기 위해 앞선 기술로 보조발포제 재료를 적용한 기술개발을 확보하였으며, 국외(BACHL 사 : 독일) 압출법 단열재 성능과 비교한 결과, 열전도율, 강도 등 우수한 성능을 확보하였다.

<표 4.1> 연구개발 단열재의 성능비교

성능항목	국외(BACHL 사 : 독일)	본 연구개발 단열재	성능비교
초기 열전도율(W/m・K)	0.0264	0.0257	타사 보다 2.7% 우수
장기 열전도율(W/m・K)	0.0330	0.0292	타사 보다 11.5% 우수
강 도(MPa)	0.20	0.26	타사 보다 23.1% 우수

바. 현 HCFC류 발포하는 제품(국내총 제품기준 3만ton, 발포제기준 4,500ton)을 친환경발포제로 대체될 경우 탄소저감효과 매우 크므로(제품 3만톤 기준시 배출량 CO_2 930만TON 감소) 탄소저감 국가시책에 부흥 및 기여도가 높을 것으로 예상된다.

사. 단열성 향상 관련 후속개발 기술의 잠재력으로 추정된다.

2. 경제적 측면

가. 기존 발포제는 90%이상 수입이며, 고가이나 대표적인 친환경발포제로 사용하

는 이산화탄소는 발전소나 제철소에서 부산물이며, 가격이 기존 HCFC류 대비 1/20 이하이고 사용량도 1/2이하로 경제성 매우 높다.

나. 현시스템에서 2013년부터 개도국에 HCFC류 발포제 규제에 들어가면 발포제 가격이 기하급수적으로 높아지는 것을 방지할 수 있어 국가산업보호에도 기여하리라 예측된다.

다. 중장기적 기술 흐름이 녹색기술, 탄소저감방향으로 향후 최소 10여간은 진행될 것으로 예상되며, CO_2 저감하는 단열재분야는 녹색기술 중 기대가치 및 파급효과가 가장 크게 나타났다.

라. 향후 5년까지 환경발포제 대체로 연간 1,050억원(개발완료 후 5년 기준)의 경제성이 기대되며, 환경적으로 HCFC류 사용제품 3만톤 기준시(2010년) 연간 1천만 t-CO_2/년 저감효과가 기대된다.

마. 선진국들이 앞서 친환경발포제 대체로 많은 기술사용료를 요구, 이에 대응도가 높아짐에 따라 발포제 대체 진행중인 개발도상국에 Plant 기술 수출 및 라이센스 계약 가능하다.

바. 압출법 단열재의 발포제 재료비 비교시 기존 보다 23%로 절감되며, 전체 재료비에서 4%로 절감되는 것으로 나타났다. CO_2 사용시 밀도상승(약 3%정도)이 있어 재료비 1% 정도로 절감되지만(발포제로 환산시 7% 절감효과) 생산성 7~10%로 절감되는 것으로 볼 때 전체적인 경제성은 유사한 것으로 나타났다.

<표 4.2> 재료비의 경제적 효과

구분 / 원료		단가(원/kg)	기존		개선(50%대체)		재료비비교	밀도3% 상승반영시	
			발포제사용량	재료비구성	발포제사용량	재료비구성		재료비	비교
GPPS 및 첨가제		-	-	75.0	-	76.6	-	-	-
발포제	HCFCs	4,000	100%	25.0	50%	12.8	-	-	-
	CO_2	450	-	-	8%	0.2	-	-	-
	Et-OH	2,300	-	-	8%	1.1	-	-	-
	HFC-152a	4,000	-	-	20%	5.1	-	-	-
	소계	-	100%	25.0	85%	19.2	23%	-	7.4%
총계		-	-	100.0		95.8	4.2%	98.7	1.3%

<표 4.3> 소규모 추가설비 비용산출 내역

공정별 설비	기존	추가설비	추가금액 (백만원)
원료저장 및 공급설비	수지, 첨가제, 발포제 원료저장 및 공급설비	-	-
발포제 저장 및 공급설비	-	CO_2 저장 및 공급설비	60
원료 투입설비	HCFC 발포제 투입설비	-	-
정량 투입설비	-	CO_2 정량 투입설비	60
	-	보조발포제 정량 투입설비	40
	-	제2의 발포제 정량 투입설비	40
원료 배합설비	MIXER	-	-
1차 압출기	Primary extruder(용융,혼합)	-	
2차 압출기	Secondary extruder(균일냉각)	-	-
성형설비	Die	Die 개선	20
기 타	Calibrator 등 기타	-	-
계	-	-	220

3. 정책적 측면

가. 현시스템에서 2013년부터 개도국에 HCFC류 발포제 규제에 들어가면 발포제 가격이 기하급수적으로 높아지는 것을 방지할 수 있어 국가산업보호에도 기여하리라 예측된다.

나. CO_2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용하여 이에 대한 제한적인 기준이 아니라 국제적 추세인 발포제 대체재료의 활성화 기준으로 기대된다.

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제1절 연구의 기대성과 및 파급효과

1. 기술적 측면

가. CO_2 활용 압출법 단열재의 개발은 기존 단열재의 문제점인 열안정성 및 난연성 문제를 고려한 기술로 금후 기존제품의 대체 및 해외에 기술수출이 가능할 것으로 예상된다.

나. CO_2 활용 압출법 단열재의 생산기술은 CFC 발포 대신 물과 CO_2 발포 공정을 이용한 기술로서 환경 친화적인 제품생산을 목적으로 하는 청정공정이라고 할 수 있다.

다. 또한, 개발된 CO_2 활용 압출법 단열재의 생산기술은 산업부산물인 CO_2가를 활용한 새로운 발포제로서 환경친화적인 차세대 대체소재기술로 예상된다.

라. 국내 건축용 단열재 소재분야의 활성화는 물론 세계시장에서 우위성을 확보할 수 있는 새로운 부품소재 생산기술로 제품경쟁력 제고에 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 환경적 측면

가. 개발된 CO_2 활용 압출법 단열재는 연소시 유독가스를 발생하지 않기 때문에 환경오염방지는 물론 화재에 의한 인명피해를 최소화할 수 있는 소재이다. 따라서, 기존 단열재의 단점인 가연성 및 유독가스의 발생문제를 해결할 수 있는 대체 소재로 예상된다.

나. 또한 개발된 제품은 기존 단열재의 발포제인 CFC를 사용하지 않기 때문에 지구온난화 방지에 효과적인 기술이며, 국제적으로 대두되고 있는 CFC 사용량 규제 및 지구환경문제의 대처에 효과적인 기술로 기대된다.

다. 선진국에서는 1996년부터 CFC의 생산이 금지된 상태에 있으며, 우리나라는 개도국으로 분류되어 단계적인 감축을 거쳐 2013년에 CFC의 사용이 전면 금

지 되었다. 이에 대응방안 기술로 기대된다.

3. 경제·산업적 측면

가. CO_2 활용 압출법 단열재은 국내에서 판매되고 있는 기존 스치로폼 및 우레탄 단열재 시장 4,600억/년(2013년 한국투자은행 자료 기준) 정도의 대체시장이 가능할 것으로 예상된다.

나. 국내 각종 산업에서 사용되고 있는 발포제 HCFC, CFC의 소재를 CO_2 소재로 대체할 경우 소재의 고기능화, 복합소재화 및 청정화 제품생산에 응용제품으로 활용이 기대된다.

다. 신기술개발을 통한 단열재 제품의 수입대체 효과로 년간 약 2조원 정도의 외화를 절감 할 수 있고 고기능성 CO_2 활용 압출법 단열재 소재의 수출이 예상된다.

라. 기존 제품의 HCFC 및 CFC 발포제의 대체로 약 23% 이상의 원가절감효과가 기대된다.

제2절 연구성과 향후 활용방안

1. 연구성과 활용계획

연구목표	활용계획
▪ 국내·외 기술개발 현황 조사	▪ 국내·외 CO_2 대체한 기초기술자료 활용 ▪ 선진기술현황 자료 활용
▪ 친환경발포제 단열성 확보방안 설계	▪ 친환경 발포제 Control 기술자료 활용 ▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 단열재 특성(열전도율 등)에 관한 기술자료 활용
▪ 친환경발포제 부분대체 생산공정 검토	▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 공정조건 등 기술자료 활용 ▪ CO_2를 대체한 단열재의 제조기술 활용
▪ 발포제 대체 CO_2를 활용한 단열재 성능평가	▪ 친환경 발포제(CO_2 등) 적정사용량 대체비율 기초자료 활용 ▪ CO_2를 활용에 대비한 품질시험 및 평가와 적용기

연구목표	활용계획
	술 활용
▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재 성능평가	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 성능기술 활용 ▪ Graphite(흑연)를 적용한 단열성능 향상기술 활용
▪ 단열재 성능개선을 위한 생산설비 검토보완	▪ CO_2를 활용한 단열재 생산기술의 공정조건 등 기술자료 활용 ▪ CO_2를 대체한 단열재의 제조기술 활용
▪ 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 친환경 발포제(CO_2 등) 적정사용량 대체비율 기초자료 활용 ▪ CO_2를 활용에 대비한 품질시험 및 평가와 적용기술 활용
▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 장기 내구성 검토	▪ Graphite(흑연)를 첨가한 단열재의 성능기술 활용 ▪ Graphite(흑연)를 적용한 단열성능 향상기술 활용
▪ 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가	▪ 보조발포제를 적용한 단열재의 제조기술 활용 ▪ 친환경발포제 완전대체기술로 자료 활용
▪ 2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조개선	▪ 압출법 단열재의 Cell 구조개선 자료로 활용 ▪ Cell size 개선기술 활용
▪ CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열재의 성능평가	▪ 최적조건을 적용한 단열재의 향상기술로 활용
▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화	▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 control flow 최적화 및 실용화 기초자료로 활용
▪ 친환경발포제를 50% 사용 단열재 성능평가	▪ 50% 사용 친환경발포제 혼합비율 성능 평가 자료 활용
▪ 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 등 관련규격 개정(안) 제안	▪ 관련규격 개정(안) 자료로 활용

2. 연구성과 활용방안

가. 본 연구에서 개발된 CO_2 활용 압출법 단열재 생산기술의 개발은 건축용 자재뿐만 아니라 소재분야의 다양한 응용기술에 활용이 가능하여 국내 원천소재 산업의 부품 선진화의 계기가 될 것이며, 또한 CO_2를 활용한 건축용 단열재 제조기술은 국내에서 처음으로 개발된 기술로서 연구완료 후 주관기관인 (주)벽산에서 사업화 비용이 확보되는 대로 단기간에 실용화 할 예정이다.

나. 현재 국가 전 산업에서 널리 사용되고 있는 스치로폼 및 우레탄폼 단열제의 주 사용분야인 건축용 내·외장재 및 산업용 단열재를 CO_2 활용 압출법 단열재로 완전 대체하여 국가정책에 크게 기여하고자 한다.

다. 또한 CO_2 활용 압출법 단열재는 건축용 내외장재 외에 자동차용 부품, 냉장고, 전자재료 및 항공기 부품 등의 개발에 활용될 예정이다.

라. 본 기술은 국토교통기술촉진연구사업으로서 연구수행 결과 사업화 가능성이 입증된 기술로서 주관·참여기업인 (주)벽산이 실용화 공정설치(CO_2 저장 및 공급설비, CO_2 정량 투입설비, 보조발포제 정량 투입설비, 제2의 보조발포제 정량 투입설비, Die 개선 등)의 소규적인 추가설비를 통해 단기간에 제품을 실용화 할 예정이다.

마. 본 기술의 사업화 생산을 위해서는 발포공정 선단인 1차 압출기, 2차 압출기 등의 교체가 반드시 필요한 기술이며, 본 기술의 완성도를 높이기 위해서는 이의 공정설치 비용이 약 50~70 억원 정도의 추가자금이 필요하지만, 본 연구의 주관기관인 (주)벽산은 국가 시책 및 규제에 따라 정부 등의 자금지원이 필요한 기술로서 상기의 자금확보가 매우 어려운 실정이다.

3. 사업화 추진전략 및 방안

가. 사업화 전략

<표 5.1> 사업화 추진전략

단계구분	년도	사업화 추진전략
실용화 단계	2014년 10월 ~ 2015년	◦ 기술의 안정화·최적화에 따른 실증화 ◦ 영업전략 기반구축 : 조달청 제품등록을 위한 신기술, 신제품, 녹색인증, 특허 등 모색
보급단계	2016년 ~ 2017년	◦ 압출법 단열재 주요 생산업체(국내 5개사) 대상으로 기술협약 실시 ◦ 영업전략 : 조달청 우수제품 등록 추진(우수제품 등록 시 수의 계약 가능), 고부가가치 제품 개발, 별도 영업 조직 구성
확산단계	2018년 ~ 2022년	◦ CO_2 활용 압출법 단열재 생산기술의 보급 확산(국외 압출법 단열재 생산업체 대상으로 기술 보급 모색 및 실시) ◦ 영업전략 : 판매 협약사 체계 구축

나. 사업화 판매 계획 및 예상금액

<표 5.2> 사업화 판매 계획

구분		사업화 연도			
		2016년	2017년	2018년	2022년
CO_2 활용 압출법 단열재 생산시설 투자비용		4억 (시설비용×기술계약업체=2억[1]×2개사)	6억 (시설비용×기술계약업체=2억[1]×3개사)	80억 (시설비용×기술계약업체=2억[1]×40개사)	200억 (시설비용×기술계약업체=2억[1]×100개사)
추가 설비 (제조시설)		CO_2 저장 및 공급설비, CO_2 정량 투입설비, 보조발포제 정량 투입설비, 제2의 보조발포제 정량 투입설비, Die 개선 등			
생산계획(톤)		5,000	10,000	15,000	30,000
CO_2 활용 압출법 단열재 판매액		5,000톤×3,500천원[2] = 175억원	10,000톤×3,500천원[2] = 350억원	15,000톤×3,500천원[2] = 525억원	30,000톤×3,500천원[2] = 1,050억원
계획 (기술계약업체 총판매량)	수출	-	-	-	-
	계	175억원	350억원	525억원	1,050억원

[1] <표 4.3> 소규모 추가설비 비용산출 내역

[2] 산출근거 : CO_2 활용 압출법 단열재 생산기술의 설치비용은 기술개발완료 차년도부터 기술보급목표 압출법 단열재 생산업체에서 추가되는 시설비용을 산정한 것임. 생산계획은 기술개발완료 차년도부터 기술보급업체에서 생산되는 CO_2 활용 압출법 단열재 총생산량에 단열재 비용을 3,500천원/톤으로 가정하여 판매액을 예상.

<표 5.3> 사업화 판매 예상금액

구 분		판매 예상금액(천원/톤)
재료비	PS 수지	1,460
	대체된 발포제	420
	기타 첨가제	200
소 계		2,080
유틸리비 및 관리비		720
판매관리비		700
총 계		3,500

제3절 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

1. 연간 1천만톤 이상의 CO_2가 저감 할 수 있는 XPS업계 반드시 기술개발이 필요한 분야이다.
2. 친환경발포제로 대체 경우 생산시 고난이도의 생산기술 필요하며, 열전달을 복사열을 흡수 또는 반사 단열성을 높이기 위해 부가적인(Grahite 첨가, Carbon black 첨가 등) 생산기술 개발 연구가 추가적으로 요구된다.
3. Cell size를 작게 또는 효율적인 Cell 구성으로 열전달 중 복사, 대류를 작게 해 단열성을 확보하는 Cell structure 개선체 대한 연구가 필요하다.
4. 중장기적 기술 흐름이 녹색기술, 탄소저감방향으로 향후 최소 10여간은 진행될 것으로 예상되며, CO_2 저감하는 단열재분야는 녹색기술 중 기대가치 및 파급효과가 가장 크게 나타날 것으로 예상된다.

5 본 기술은 “CO_2 활용기술”의 일종으로 압출기의 발포 과정에 의해 단열재에 CO_2가 활용되는 효과가 있으며, 이러한 기술은 현재 국가에서 중점적으로 추진하고 있는 CO_2 활용기술로 발전 가능하다.

6 현재 CO_2 활용을 위하여 막대한 비용을 사용하여 지중 및 해중기술과 사업이 진행되고 있으며, 향후 CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)사업으로 연계가 가능하여 단열재 발포 재료의 환경성뿐만 아니라 국가 온실가스 배출저감 노력에도 일정부분 발전 및 기여 가능하다.

제6장 참고문헌

1. Principles of Plastic Foam Extrusion, S.T. Lee, ed., accepted in January 1999.

2. C.B. Park, M. Pan, and A.K. Yeung, "Microcellular Processing of Low-Density PS Foams in Extrusion," Cellular Polymers IV, Paper 13, pp. 1-5, 1997

3. “EFFECTS OF THE DIE GEOMETRY ON CELL NUCLEATION OF PS FOAMS BLOWN WITH CO2“, Xiang Xu, Chul B. Park*, Donglai Xu, Remon Pop-Iliev, 2002

4. GTZ Proklima Igor C. Croiset, GTZ Proklima XPS presentation Workshop Korea, May 2010

5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, CO2 gas utilization of high-performance foam insulation developing alternative production technologies (2013)

6. Son, J. M. : Foaming of Poly(butylene succinate) with Supercritical Carbon Dioxide, Polymer(Korea), Vol. 36, No. 1, pp. 34-40 (2012)

7. Kim, J. H. : Preparation of microcellular SAN foam using supercritical CO2, Polymer(Korea), Vol. 23, No. 2, pp. 181-188 (1999)

8. Lee, K. Y. : A Study on the extrusion foaming of polypropylene, Polymer(Korea), Vol. 24, No. 4, pp. 538-544 (2000)

9. Kim, S. B. : Physical properties of rigid polyurethane foams prepared with different blowing agents(2), Theories and Applications of Chem. Eng., Vol. 9, No. 2, pp. 1669~1672 (2003)

10. Costas Panayiotou : Biodegradable polymer foams prepared with supercritical CO2-ethanol mixtures as blowing agents, I. Tsivintzelis et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 265-272 (2007)

11. Guidelines for the safe use of flammable blowing agents in the production

of extruded polystyrene boards(XPS), gtz proklima (2012)

12. Lee, S. H. : Study on the physical properties of CO2 as a blowing agent utilized insulation, Architectural Institude of Korea, Vol. 29, No. 1, pp. 59-66 (2013)

13. Monika Johannsen : Adsorption equilibria of α-and δ-tocopherol from supercritical mixtures of carbon dioxide and 2-propanol onto silica by means of perturbation chromatography, M. Lübbert et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 180-188 (2007)

14. Concepci´on Pando : Excess molar enthalpies for binary mixtures related to supercritical antisolvent precipitation: Carbon dioxide +N-methyl-2-pyrrolidone, M.J. Dávila et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 172-179, (2007)

15. Natural Foam Blowing Agents, gtz proklima (2009)

16. Kim, B. G. : Development of microwave foaming method for phenolic insulation foams, Korea Institute Of Science and Technology, pp. 24-41 (2007)

17. Xiang Xu, Chul B. Park*, Donglai Xu, Remon Pop-Iliev, EFFECTS OF THE DIE GEOMETRY ON CELL NUCLEATION OF PS FOAMS BLOWN WITH CO2, 2002

18. KISTI 한국과학기술정보연구원, 건축용단열재료 심층정보분석보고서

19. 이상득, HCFCs 국내 사용실태 및 선진국 규제현황, KIST, 2005

20. Lee, S. D. : Measures correspond with the actual situation and the developed countries use HCFCs domestic regulatory Survey sought, Korea Institute Of Science and Technology (2005)

21. Kim, D. K. : Properties and Thermal Characteristics of Phenol Foam for Heat Insulating Materials, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 17, No. 4, pp. 357-360 (2006)

22. Han, Y. S. : Effects of Heat-treatment Temperature on Mechanical Properties

of Reticulated Carbon Foams, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 49, No. 3, pp. 236~240 (2012)

23. Lee, Y. D. : Processing of Plastic foam and Applications, Central Institute of Chemistry, Hanyang, pp. 5 (1994)
24. S.-T. Lee, ed. : Principles of Plastic Foam Extrusion, CRC Press (1999)
25. 2009년 특정물질 사용합리화 Workshop 및 HCFC 부담금 징수방안에 대한 공청회 개최 주관/주최 : 지식경제부/한국정밀화학산업진흥회 2009. 10. 14
26. "HCFCs 국내 사용실태 및 선진국 규제현황" 이상득 KIST 환경공정연구부 2005. 9. 14
27. KS M 3808:2011 발포 폴리스티렌(PS) 단열재
28. http://cfc.kscia.or.kr/
29. http://www.gtz.de/proklima
30. http://www.basf.com/
31. http://www.owenscorning.com/products/foam/
32. http://www.dowkakoh.co.jp/
33. http://www.dow.com/

[부 록]

1. 논문, 특허 등 정량적 성과 및 정성적 성과

2. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

3. 발포폴리스티렌(PS) 단열재 개정(안)

4. 기타사항(중요 연구 변경사항 등)

1. 논문, 특허 등 정량적 성과 및 정성적 성과

2. 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

3. 발포폴리스티렌(PS) 단열재 개정(안)

4. 기타사항(중요 연구 변경사항 등)

한국폐기물자원순환학회
Korea Society of Waste Management
http://submission.kswm.or.kr

게 재 예 정 증 명 서

논문구별 : 기술자료

논문번호 : 2014-070

제 목 : CO2를 발포제로 활용한 단열재의 물성에 관한 기초적 연구
A Basic Study on the Physical Properties of Insulation Utilized as a Blowing Agent by CO2

저 자 : 윤상혁(한국건설기술연구원),송태협(한국건설기술연구원),이세현(한국건설기술연구원)

상기 1편의 논문을 한국폐기물자원순환학회 논문투고 편집위원회의 심의를 거쳐
한국폐기물자원순환학회에서 발행하는 학회지에 게재예정입니다.

2014.10.06

(사)한국폐기물자원순환학회 회장

(122-941) 서울시 은평구 수색로 217-1 (증산동 223-28) 수색자이2단지상가 303호
사무국 : (02)353-9805 / 편집국 : (02) 353-9806 / 팩스번호 : (02)353-5934 / 이메일 : kswm@daum.net

CO_2를 발포제로 활용한 단열재의 물성에 관한 기초적 연구

윤상혁† · 송태협 · 이세현
한국건설기술연구원 공공건축연구본부 미래건축연구실
(2014년 00월 00일 접수, 2014년 00월 00일 수정, 2014년 00월 00일 채택)

A Basic Study on the Physical Properties of Insulation Utilized as a Blowing Agent by CO_2

Yoon, Sang Hyuck† · Song, Tae Hyeob · Lee, Sea Hyun
Advanced Building Research Division, Building Research Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Abstract

Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) is an ozone-depleting substance that is subject to environmental regulations based on the Montreal Protocol, and in Republic of Korea, which is regarded as a developing country, its use will be restricted in phase starting in 2013 until finally being prohibited in 2030. HCFC is regulated Based on the Tokyo Protocol, HCFC is a regulated construction material for carbon dioxide reduction with GWP of 1,700~2,400 times that of CO_2, with a GWP of 1.

Using the CO_2 in the heat insulating material in the extrusion process conditions are the first extruder, the polystyrene resin (melting point) and the blowing agent (CO_2:Ethanol:HCFC) as interval (Mixing zone) which is the combined pressure 11.0 MPa, temperature 200 ℃, second within the extruder discharge pressure 6.5 MPa, and determines that it is desirable to set the temperature of 115 ℃, the blowing agent mixing ratio (CO_2:Ethanol:HCFC), taking into account the stability of the thermal conductivity of 30:20:50 %, 25:25:50 % is expected to be utilized in the foaming agent.

Key words : lowing agent, CO_2, Ethanol, XPS, Global warming, ODP

Ⅰ. 서 론

HCFC(수소염화불화탄소)는 몬트리올의정서에 근거에 의한 오존파괴물질이며, 한국은 2013년부터 연차적으로 사용제한 되고 2030년까지 사용금지 된다. 또한 도쿄의정서에 근거한 지구온난화에도 HCFC류는 높은 수치를 보여 탄소저감형 건축재료에 취약 규제대상이며, 앞선 규제를 받은 유럽, 일본 등 발포제(이산화탄소, 탄화수소류) 대체를 성공적으로 개발하여 시장을 형성하고 있다.[1] 국내의 경우, 압출법 단열재의 발포를 위하여 HCFC(수소염화불화탄소)를 혼합 사용되고 있는 실정이며, GWP(온난화지수)가 CO_2 대비 1,700~2,400 배로 매우 높다.

기존 발포제는 90 % 이상 수입, 고가이며, 발포제 대체재료인 CO_2는 발전소나 제철소에서 생성되는 부산물로서 가격은 기존 HCFC 대비 1/20 이하 수준으로 경제성 매우 높다. CO_2를 발포제로 사용하기 위한 조건은 매우 까다롭고 높은 압력을 요구해 원천적으로 대폭적인 설비교체로 경제성에 문제가 생길 수 있어 발포제 혼합물에 대한 재료적인 검토가 요구된다.[2]

따라서 본 연구에서는 압출법 제조공정으로 CO_2 대체율 및 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 물리적 성질을 검토·분석하여 CO_2를 단열재의 발포제로 활용 가능한 기초적인 방안을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

†Corresponding author
E-mail : shyoon25@kict.re.kr Tel : 031-9100-712

Ⅱ. 실험계획 및 방법

1. 실험계획

본 연구에서는 폴리스티렌 단열재 제조시 액상상태의 원활한 재료혼합을 위하여 압출성형 공정조건을 1차 압출기 내에서 폴리스티렌 수지(녹는 시점)와 발포제(CO_2, 수소염화불화탄소, 에탄올, 수소불화탄소)가 혼합되는 구간(Mixing zone)으로 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃로 선정하였으며, 2차 압출기 내 배출압력 5.8 MPa, 6.5 MPa, 온도 115 ℃로 선정하였다. CO_2 대체가스 적용검토를 위하여 CO_2 혼합율 25 %, 30 %, 35 %, 40 %로 선정하였으며, 혼합재료인 보조발포제(에탄올) 혼합율 10 %, 15 %, 20 %, 25 %로 선정하였다. 발포제 혼합비율은 폴리스티렌 수지와의 적정용해함량 변화를 고려하여 CO_2대체율 : 보조발포제(에탄올)혼합율 : HCFC = 40:10:50 %, 35:15:50 %, 30:20:50 %, 25:25:50 %로 하였으며, HCFC 50%로 일정하게 선정하였다. 실험인자 및 수준은 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental factors and levels

First extruder processing conditions		Second extruder processing conditions		Insulator thickness (㎜)	CO_2 mixing ratio (%)	Ethanol mixing ratio (%)	HCFC mixing ratio (%)
Pressure (psi)	Temperature (℃)	Pressure (psi)	Temperature (℃)				
1,600	200	850	115	50	25	25	50
					30	20	
					35	15	
					40	10	
1,600	200	950	115	50	25	25	50
					30	20	
					35	15	
					40	10	

2. 사용재료 및 제조설비

사용재료 및 제조설비는 Table 2와 같다.

Table 2. Used materials and manufacturing equipment

Used materials	Manufacturing equipment
· CO_2 (More than 95 % purity, Liquid) · General purpose polystyrene · Hydro chloro fluoro carbon · Ethanol · Flame retardant(Hexabromoc-yclododecane : Bromine based)	· Manufacturing methods : Extrusion(Normal pressure) · Major equipment - Material mixer - First · Second extruder (Melting equipment, Cooling equipment) - Plastic equipment, Transfer equipment - Cutting equipment

3. 실험방법

Fig. 1과 같이 생산공정을 적용하여 KS M 3808 발포 폴리스티렌 단열재의 두께기준 50 ㎜로 제조하였으며, 시험용 시료는 제조후 24시간 이상 경과한 제품에서 시험편을 500×500 ㎜ 절단하여 준비하였다. KS M 3808:2011 발포 폴리스티렌 단열재(압출법 단열판의 특성)의 성능기준과 비교·분석을 통하여 CO_2 및 보조발포제의 적정함량을 도출하고 CO_2의 활용증가를 위하여 발포제 혼합비율에 따라 단열재의 열전도율, 굴곡파괴하중, 압축강도, 투습계수 등의 물리적 특성을 검토하였으며, Cell size 분석을 위해 시험편을 20×20 ㎜로 절단하고 두께 3 ㎜로 슬라이싱하여 검은색 유성액을 단열재 표면층에 얇게 칠하였으며, Mitutoyo 광학현미경으로 확대율(100 %)을 고정시킨 후 압출법 단열판의 내부구조인 Cell 구조 및 크기를 측정하였다.

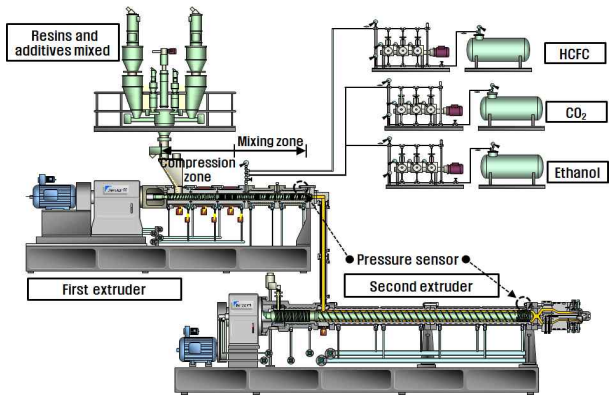


Fig. 1. Atmospheric extrusion production process

3.1 열전도율

초기열전도율은 KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법에서 규정한 생산된지 28일이 지난 단열재로 500×500×50 ㎜로 준비하여 평균온도 23±2 ℃에서 초기열전도율을 측정하였다. 또한 장기열전도율은 KS M ISO 11561에서 규정하고 있는 생산된지 28일이내 단열재로 하였으며, 동규격의 시험방법 B에 따라 500×500 ㎜로 준비된 단열재를 두께 10 ㎜로 슬라이스하여 항온항습실에서 실내온도 23±2 ℃와 상대습도 50±5 %로 48시간 동안 전처리 후 90일 동안 적층한 단열재의 장기열도율을 측정하였다. Fig. 2과 같이 Holo metric(model : rapid-k) 시험기를 사용하여 초기·장기열전도율을 측정하였다.

3.2 굴곡파괴하중

굴곡파괴하중은 KS M ISO 4898에 준하여 단열재의 크

기를 250×100×20 ㎜로 가로방향으로 절단후 지지간격 200㎜, 하중 집중 속도 50 ㎜/min로 하였으며, KS M ISO 1209-1에 준하여 시험편의 치수를 측정 후 지지봉 위에 대칭으로 두고 시험편의 종축에 대해서 수직으로 하중이 가해지도록 하였다. Fig. 3과 같이 Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

3.3 압축강도

압축강도는 단열재의 크기를 100×50×50 ㎜로 3개를 절단후 KS M ISO 844에 준하여 시험편을 압축 시험기의 판 사이에 두고 시험편과 판의 중심에 이동판을 일정한 속도로 이동시키며 시험편을 압축시켰다. 시험속도는 시험편의 두께 10 % ㎜/min로 하였으며, Fig. 4와 같이 Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

3.4 투습계수

투습계수는 단열재의 지름 65 ㎜, 두께 25 ㎜로 원통모양으로 3개를 절단후 KS M 3808:2011 부속서 A에 준하여 Fig. 5와 같이 측정하였다.



Fig. 2. Thermal conductivity test

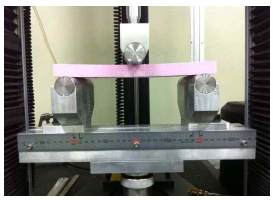


Fig. 3. Flexural failure load test

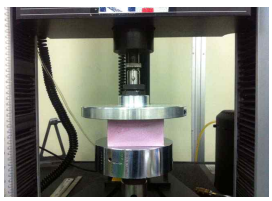


Fig. 4. Compressive strength test



Fig. 5. Moisture permeance test

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 열전도율

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 열전도율 실험결과는 Fig. 6, 7과 같다. 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 초기열전도율은 0.0272~0.291 W/m•K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.0291~0.0313 W/m•K로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 초기열전도율은 0.0252~0.0267 W/m•K로 나타났으며, 장기열전도율은 0.0288~0.0315 W/m•K로 나타났다. 2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 초기열전도율과 장기열전도율 모두 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 %에서 가장 낮게 나타났으며, 보조발포제 에탄올혼합율 20 % 이상에서 KS M 3808 규정 보다 상회하는 것으로 나타났다. 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 초기열전도율은 7~9 %로 감소하였으며, 장기열전도율의 경우 30:20:50 %, 25:25:50 %에서 0.3~1.0 %로 미세하게 감소하였다. 이는 발포제의 적정 혼합량으로 인해 Cell의 배율 형성이 원활하게 이루어진 것으로 사료된다.[3-5)]

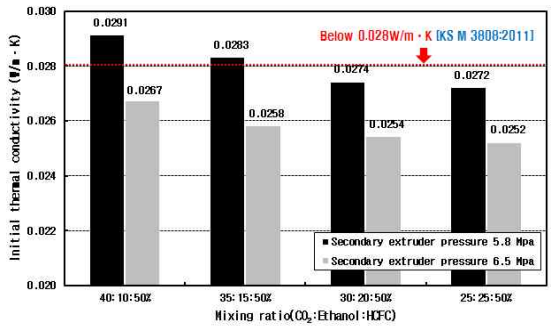


Fig. 6. Initial thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

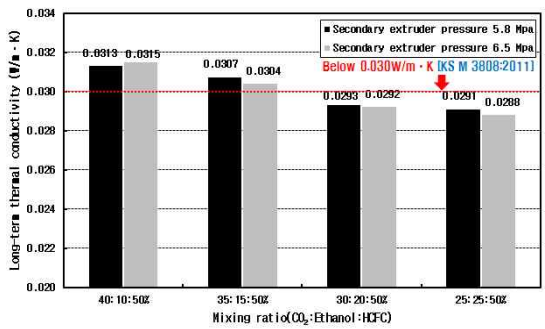


Fig. 7. Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

2. 굴곡파괴하중

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 굴곡파괴하중 실험결과는

Fig. 8과 같이 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 보조발포제(에탄올) 혼합율 10~25 %로 증가함에 따라 50.4~62.1 N로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 %에서 가장 높게 나타났다. 또한 보조발포제(에탄올) 혼합율 10 % 이상에서 굴곡파괴하중은 증가하는 경향으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 굴곡파괴하중은 49.0~63.0 N로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 높게 나타났다. 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 5.8 MPa, 6.5 MPa 모두 KS M 3808 규정 보다 상회하는 것으로 나타나 기준에 만족하였다. 2차압출기 배출압력별 혼합비율은 30:20:50 %, 25:25:50 %에서는 유사한 경향으로 나타난 반면, 40:10:50 %, 35:15:50 % 경우는 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 낮은 경향을 보였다. 이는 발포제의 재료적 성질과 반응속도에 기인된 것으로 사료된다.[6)]

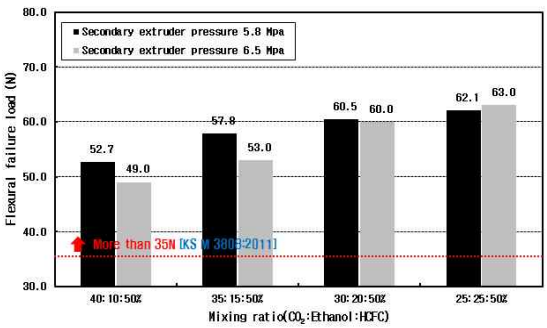


Fig. 8. Flexural failure load according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

3. 압축강도

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 압축강도 실험결과는 Fig. 9와 같이 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 25.7~28.0 N/㎠로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 25 %에서 가장 높게 나타났다. 보조발포제(에탄올)는 단열재 생산시 제품을 Soft하게 하고 CO_2의 분산성을 향상시키는 것으로 보고된바[7-8)] 있으며, 보조발포제(에탄올)의 재료적 성질과 적정한 혼합량에 기인된 것으로 사료된다. KS M 3808 규정 보다 36 % 이상으로 상회하는 것으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 경우의 압축강도 실험결과는 23.0~27.0 N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 높게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 20 %이상로 상회하는 것으로 나타났다. 또한, 발포제 혼합비율에 따라 2차압출기 배출압력 6.5 MPa 보다 5.8 MPa에서 압축강도가 10 % 이상 더 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 발포시 Cell 크기가 증가하여 발포배율이 떨어져 강도에 영향이 생긴 것으로 사료된다.[9)]

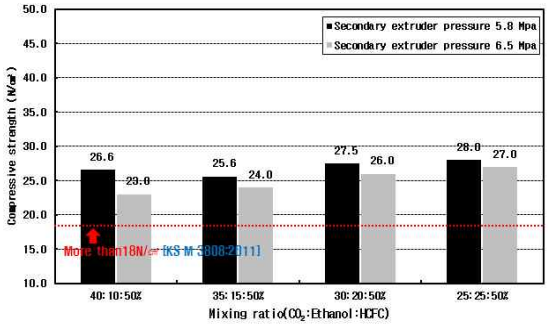


Fig. 9. Compressive strength according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

4. 투습계수

2차압출기 배출압력별(5.8 MPa, 6.5 MPa) CO_2 및 보조발포제(에탄올) 대체율에 따른 투습계수 실험결과는 Fig. 10과 같이 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 보조발포제(에탄올) 혼합율 10~25 %로 증가함에 따라 52.5~58.6 ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 보조발포제(에탄올) 혼합율 15 %이상에서 투습계수는 낮게 나타났다. KS M 3808 규정 보다 60~64 %로 상회하는 것으로 나타났다. 2차압출기 배출압력 6.5 MPa에서 투습계수는 그림 6과 같이 52.0~62.0 ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 25:25:50 %에서 가장 낮게 나타났다. 또한, KS M 3808 규정 보다 58~64 %로 상회하는 것으로 나타났다. 이는 발포시 수지가 잘 녹지 않아 점성이 비활성화되어 균일한 Cell 구조를 형성하지 못한 것으로 사료된다.[9)]

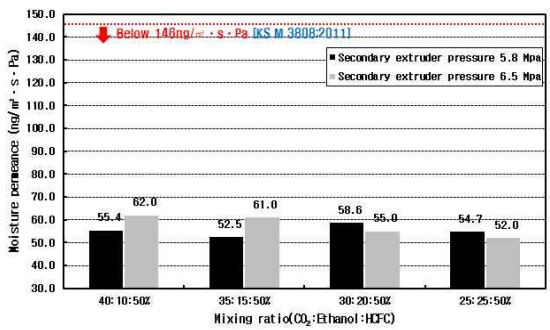
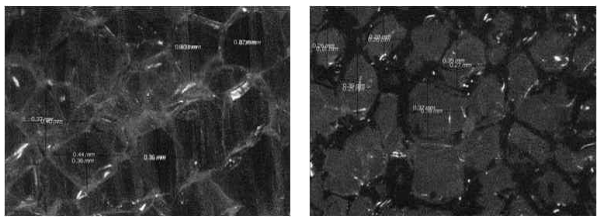


Fig. 10. Moisture permeance according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol

5. Cell size 분석

2차압출기 배출압력 5.8 MPa 일 때 Cell 크기는 Fig. 11과 같이 가로평균 0.37 ㎜, 세로평균 0.38 ㎜, 전체평균 0.37 ㎜로 나타났으며, 6.5 MPa 일 때 Cell 크기는 가로평균 0.27 ㎜, 세로평균 0.33 ㎜, 전체평균 0.30 ㎜로 나타났다. 2차압출기 배출압력 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 Cell 크기가 작게 나타났다. 압출기 압력이 증가할수록 Cell 구조가 Closed cell로 형성되어 열전도율이 향상된다고 보고된바[10-12] 있으며, Fig. 11의 (b)와 같이 5.8 MPa 보다 6.5 MPa에서 압출기의 압력증가로 Cell 구조가 Closed cell로 균일하게 형성된 것을 알 수 있었다.[10-12]



(a) Secondary extruder pressure 5.8 MPa

(b) Secondary extruder pressure 6.5 MPa

Fig. 11. Cell size according to the mixing ratio of CO_2 and ethanol(Foaming agent mixing ratio of 25:25:50 %)

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 CO_2 및 보조발포제를 이용한 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수 등의 물리적 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 1차 압출기 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃ → 2차 압출기 압력 5.8 MPa, 온도 115 ℃로 최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가 결과, CO_2 대체율 35~50 %로 증가함에 따라 압축강도 18 % 이상, 굴곡파괴하중 45 % 이상, 투습계수 61 % 이상으로 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으나, 초기열전도율, 장기열전도율은 CO_2 대체율 35 % 이상에서 만족하지 못하였다.

2. 발포제 대체 CO_2 활용증대를 위하여 40 %까지 적용한 결과, 열전도율에 대한 성능효과가 현행 기준에 낮은 수준으로 만족하여 단열재의 구성재료를 개선 및 보완해야 될 것으로 판단된다.

3. 보조발포제(에탄올) 혼합율에 따른 단열재의 성능평가 결과, 보조발포제(에탄올) 혼합율 5~25 %로 증가함에 따라 압축강도 29 % 이상, 굴곡파괴하중 31 % 이상, 투습계수 60 % 이상으로 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하였으며, 초기열전도율, 장기열전도율은 보조발포제(에탄올) 혼합율 20 % 이상에서 만족하였다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, CO_2를 활용한 단열재의 압출성형 공정조건은 1차 압출기 내에서 폴리스티렌 수지(녹는 시점)와 발포제(CO_2:에탄올:HCFC)가 혼합되는 구간(Mixing zone)으로 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃, 2차 압출기 내 배출압력 6.5 MPa, 온도 115 ℃로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 발포제 혼합비율(CO_2:에탄올:HCFC)은 열전도율에 대한 안정성을 고려하여 30:20:50 %, 25:25:50 %에서 발포제로 활용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁 시행한 2011년도 국토교통기술촉진연구사업(과제번호: 11첨단도시C08)의 연구비로 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. GTZ Proklima XPS presentation Workshop Korea, GTZ Proklima Igor C. Croiset (2010)
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, CO_2 gas utilization of high-performance foam insulation developing alternative production technologies (2013)
3. Son, J. M. : Foaming of Poly(butylene succinate) with Supercritical Carbon Dioxide, Polymer(Korea), Vol. 36, No. 1, pp. 34-40 (2012)
4. Kim, J. H. : Preparation of microcellular SAN foam using supercritical CO_2, Polymer(Korea), Vol. 23, No. 2, pp. 181-188 (1999)
5. Lee, K. Y. : A Study on the extrusion foaming of polypropylene, Polymer(Korea), Vol. 24, No. 4, pp.

538-544 (2000)
6. Kim, S. B. : Physical properties of rigid polyurethane foams prepared with different blowing agents(2), Theories and Applications of Chem. Eng., Vol. 9, No. 2, pp. 1669~1672 (2003)
7. Costas Panayiotou : Biodegradable polymer foams prepared with supercritical CO_2-ethanol mixtures as blowing agents, I. Tsivintzelis et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 265-272 (2007)
8. Guidelines for the safe use of flammable blowing agents in the production of extruded polystyrene boards(XPS), gtz proklima (2012)
9. Lee, S. H. : Study on the physical properties of CO_2 as a blowing agent utilized insulation, Architectural Institude of Korea, Vol. 29, No. 1, pp. 59-66 (2013)
10. Monika Johannsen : Adsorption equilibria of α-and δ-tocopherol from supercritical mixtures of carbon dioxide and 2-propanol onto silica by means of perturbation chromatography, M. Lübbert et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 180-188 (2007)
11. Concepci´on Pando : Excess molar enthalpies for binary mixtures related to supercritical antisolvent precipitation: Carbon dioxide +N-methyl-2-pyrrolidone, M.J. Dávila et al. / J. of Supercritical Fluids 42, pp. 172-179, (2007)
12. Natural Foam Blowing Agents, gtz proklima (2009)
13. Kim, B. G. : Development of microwave foaming method for phenolic insulation foams, Korea Institute Of Science and Technology, pp. 24-41 (2007)
14. Korean Agency for Technologe and Standards, KS M 3808 Cellular polystyrene (PS) for thermal insulation (2011)
15. http://www.basf.com/

한국폐기물자원순환학회
Korea Society of Waste Management
http://submission.kswm.or.kr

게 재 예 정 증 명 서

논문구별 : 기술자료

논문번호 : 2014-071

제 목 : 발포제 혼합에 따른 압출법 단열판의 물리적 특성에 관한 연구
A Study on the Physical Properties of Extrusion Method Insulating Board in accordance with Blowing Agent a Mixing

저 자 : 윤상혁(한국건설기술연구원),송태협(한국건설기술연구원),이세현(한국건설기술연구원)

상기 1편의 논문을 한국폐기물자원순환학회 논문투고 편집위원회의 심의를 거쳐
한국폐기물자원순환학회에서 발행하는 학회지에 게재예정입니다.

2014.10.06

(사)한국폐기물자원순환학회 회장

(122-941) 서울시 은평구 수색로 217-1 (증산동 223-28) 수색자이2단지상가 303호
사무국 : (02)353-9805 / 편집국 : (02) 353-9806 / 팩스번호 : (02)353-5934 / 이메일 : kswm@daum.net

발포제 혼합에 따른 압출법 단열판의 물리적 특성에 관한 연구

윤상혁† · 송태협 · 이세현
한국건설기술연구원 공공건축연구본부 미래건축연구실
(2014년 00월 00일 접수, 2014년 00월 00일 수정, 2014년 00월 00일 채택)

A Study on the Physical Properties of Extrusion Method Insulating Board in accordance with Blowing Agent a Mixing

Yoon, Sang Hyuck† · Song, Tae Hyeob · Lee, Sea Hyun
Advanced Building Research Division, Building Research Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Abstract

Hydrochlorofluorocarbon (HCFC) is an ozone-depleting substance that is subject to environmental regulations based on the Montreal Protocol, and in Republic of Korea, which is regarded as a developing country, its use will be restricted in phase starting in 2013 until finally being prohibited in 2030. HCFC is regulated based on the Tokyo Protocol, HCFC is a regulated construction material for carbon dioxide reduction with GWP of 1,700~2,400 times that of CO_2, with a GWP of 1.

KS M 3808 than in the reference indicated in the C5 (15:15:20:50 %) and C9 (20:10:20:50 %) 0.33㎜ 0.31㎜ Cell size is shown in the analysis, etc. The compressive strength of the insulation, foaming agent mixing ratio according bending failure load, the thermal conductivity (initial and long-term), moisture permeability coefficient, combustible results, showed superior.

Key words : Carbon dioxide, Curing method, Steam curing, Autoclave curing, High early strength admixture

Ⅰ. 서 론

몬트리올의정서 근거에 의한 환경규제대상인 수소염화불화탄소(HCFC : hydro chloro fluoro carbon)는 성층권에 존재하는 오존층(ozone layer)을 파괴하기 때문에 2013년부터 단계적으로 사용이 제한됨[1]에 따라 유럽의 경우 HCFC 대체 품목으로 수소불화탄소(HFC : Hydrofluorocar-bons), CO_2를 단계적 개발예정이며, 독일은 탄소 입자를 함유하는 발포성 스티렌 중합체기술로서 흑연, 카본블랙 등을 활용한 제조기술을 개발하였다. 또한, 미국의 경우 4.8~31.0 MPa 압력하에 CO_2를 50 % 이상 사용하여 혼합물을 감압 영역 내로 발포시켜 발포 제품을 형성시키는 제조기술을 보유하고 있으며, 일본은 탄화수소류를 적용하여 제품내 cell structure 개선 통한 고성능단열재기술을 개발하였다.[2]

그러나 국내의 경우, 폴리스티렌 단열재의 발포제 HCFC를 100 %로 사용하여 생산되고 있으며, 국제적 제약으로 인해 기존 발포제를 대체할 차세대 발포제의 연구개발이 시급하다.[3-4] 이에 발포제 대체기술 방안으로 환경부하를 고려하여 제철소 등에서 발생되는 부산물인 CO_2를 발포제로 활용하고자 한다. 하지만 CO_2를 발포제로 적용할 경우 생산설비 교체·추가 등으로 경제성에 문제가 생길 수 있어 발포제 혼합물에 대한 재료적 한계성을 검토하여 기초적인 자료로 제시고하자 한다.

따라서 본 연구에서는 압출법 제조공정으로 CO_2 대체율 및 보조발포제(에탄올, 수소불화탄소) 혼합율에 따른 단열재의 물리적 성질을 검토·분석하여 발포제 혼합비율에 따른 단열재의 특성을 검토함으로써 CO_2를 단열재의 발포제로 활용하기 위한 방안을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

†Corresponding author
E-mail : shyoon25@kict.re.kr Tel : 031-9100-712

Ⅱ. 실험계획 및 방법

1. 실험계획

본 연구에서는 발포제 대체가스를 적용한 단열재의 생산 방법은 상압식 방법을 선정하였다. 폴리스티렌 단열재 제조 시 액상상태의 원활한 재료혼합을 위하여 압출성형 공정조건은 1차 압출기 내에서 폴리스티렌 수지(녹는 시점)와 발포제(CO_2, 수소염화불화탄소, 에탄올, 수소불화탄소)가 혼합되는 구간(Mixing zone)으로 압력 11.0 MPa, 온도 200 ℃로 선정하였으며, 2차 압출기 내 배출압력 6.5 MPa, 온도 115 ℃로 선정하였다. 발포제 대체가스 적용검토를 위하여 CO_2 대체율 10 %, 15 %, 20 %, 25 %로 선정하였으며, 발포제 혼합비율과 실험인자 및 수준은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental factors and levels

First extruder processing conditions		Second extruder processing conditions		Insulator thickness (㎜)	CO_2 mixing ratio (%)	Ethanol mixing ratio (%)	HFC 152a mixing ratio (%)	HCFC mixing ratio (%)	Specimen name
Pressure (MPa)	Temperature (℃)	Pressure (MPa)	Temperature (℃)						
11.0	200	6.5	115	50	10	20	20	50	C1
							25	45	C2
							30	40	C3
							35	35	C4
					15	15	20	50	C5
							25	45	C6
							30	40	C7
							35	35	C8
					20	10	20	50	C9
							25	45	C10
							30	40	C11
							35	35	C12
					25	5	20	50	C13
							25	45	C14
							30	40	C15
							35	35	C16

2. 사용재료 및 제조설비

단열재 제조는 재료혼합기, 1차·2차 압출기, 성형기, 이송기, 1차·2차 절단기, 적재기 등의 상압식 제조설비를 Fig. 1과 같이 생산공정을 적용하였다. 사용재료 및 제조설비는 Table 2와 같다.

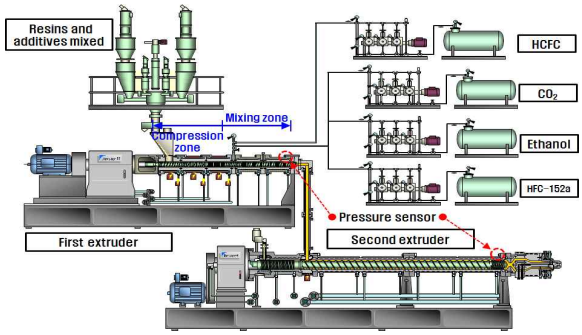


Fig. 1. Atmospheric extrusion production process

Table 2. Used materials and manufacturing equipment

Used materials	Manufacturing equipment
· CO_2 (More than 95 % purity, Liquid) · General purpose polystyrene · Hydro chloro fluoro carbon · Ethanol, HFC152a · Flame retardant(Hexabromocyclododecane : Bromine based)	· Manufacturing methods : Extrusion(Normal pressure) · Major equipment - Material mixer - First · Second extruder (Melting equipment, Cooling equipment) - Plastic equipment, Transfer equipment - First · Second Cutting equipment - Carrying equipment

3. 실험방법

KS M 3808 발포 폴리스티렌 단열재의 두께기준 50 ㎜로 제조하였으며, 시험용 시료는 제조후 24시간 이상 경과한 시험편을 500×500 ㎜ 절단하였다. KS M 3808:2011 발포 폴리스티렌 단열재(압출법 단열판의 특성)의 기준과 비교·분석을 통하여 발포제(CO_2, 보조발포제, 제2의보조발포제, HCFC) 혼합비율의 적정함량을 도출하고 CO_2의 활용 증가를 위하여 발포제 혼합비율에 따라 단열재의 열전도율(초기, 장기), 굴곡파괴하중, 압축강도, 투습계수 등의 물리적 특성을 검토하였다. Cell size 분석을 위해 시험편을 20×20 ㎜로 절단하고 두께 3 ㎜로 슬라이싱하여 검은색 유성액을 단열재 표면층에 얇게 칠하였다. Fig. 2와 같이 Mitutoyo 광학현미경으로 확대율(100 %)을 고정시킨 후 압출법 단열판의 내부구조인 Cell 구조 및 크기를 측정하였다.



Fig. 2. Optical microscope measurement of insulation

3.1 밀도

밀도는 KS M 3808 발포폴리스티렌(PS) 단열재의 6.6 밀도 시험방법에 준하여 단열재 크기를 200×200×50 ㎜로 절단하고 시험편 중앙부에서 1개, 임의의 곳에서 2개를 잘라내어 70±5 ℃에서 건조하여 항량이 된 후 무게(W)와 부피(V)를 구하여 밀도를 식 (1)과 같이 계산하고 3개의 평균값으로 하였다.

$$\text{밀도}(\text{kg/m}^3) = \frac{W}{V} \quad (1)$$

3.2 열전도율

초기열전도율은 KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법에서 규정한 생산된지 28일이 지난 단열재로 500×500×50 ㎜로 준비하여 평균온도 23±2 ℃에서 Fig. 3의 (a)와 같이 Holo metric(model : rapid-k) 시험기를 사용하여 초기열전도율을 측정하였다. 또한 장기열전도율은 KS M ISO 11561에서 규정하고 있는 생산된지 28일이내 단열재로 하였으며, 동규격의 시험방법 B에 따라 시험하였다. 500×500㎜로 준비된 단열재를 두께 10 ㎜로 슬라이스하여 항온항습실에서 실내온도 23±2 ℃와 상대습도 50±5 %로 48시간 동안 전처리 후 90일 동안 적층한 단열재를 Fig. 3의 (b)와 같이 Holo metric(model : rapid-k) 시험기를 사용하여 장기열전도율을 측정하였다.



(a) Initial thermal conductivity (b) Long-term thermal conductivity

Fig. 3. Experimental thermal conductivity of the insulation

3.3 굴곡파괴하중

굴곡파괴하중은 KS M ISO 4898에 준하여 단열재의 크기를 250×100×20 ㎜로 가로방향으로 절단후 지지간격 200 ㎜, 하중 집중 속도 50 ㎜/min로 하였으며, KS M ISO 1209-1에 준하여 시험편의 치수를 측정 후 지지봉 위에 대칭으로 두고 시험편의 종축에 대해서 수직으로 하중이 가해지도록 하였다. Fig. 4와 같이 Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

3.4 압축강도

압축강도는 단열재의 크기를 100×50×50 ㎜로 3개를 절단후 KS M ISO 844에 준하여 시험편을 압축 시험기의 판 사이에 두고 시험편과 판의 중심에 이동판을 일정한 속도로 이동시키며 시험편을 압축시켰다. 시험속도는 시험편의 두께 10 % ㎜/min로 하였으며, Fig. 5와 같이 Instron UTM을 사용하여 측정하였다.

3.5 투습계수

투습계수는 단열재의 지름 65 ㎜, 두께 25 ㎜로 원통모양으로 3개를 절단후 KS M 3808:2011 부속서 A에 준하여 Fig. 6과 같이 측정하였다.

3.6 연소성

연소성 시험은 KS M ISO 9772에 준하여 시료에서 두께 13 ㎜, 길이 150 ㎜, 너비 50 ㎜로 시험편을 절단하고 연소시험기 내에서 시험편에 불꽃을 가하여 시험편의 불이 꺼질 때까지의 시간을 연소시간(초)으로 하고 불이 꺼진 후 시험편의 탄 부분 중 가장 긴 부분의 길이를 연소길이 (㎜)로 하여 Fig. 7과 측정하였다.

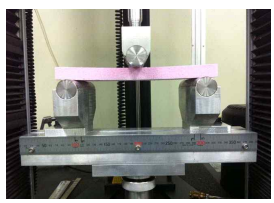


Fig. 4. Flexural failure load test



Fig. 5. Compressive strength test



Fig. 6. Moisture permeance test



Fig. 7. Combustibility test

Ⅲ. 실험결과 및 고찰

1. 밀도

발포제 혼합비율에 따른 밀도는 Fig. 8과 같이 31.7~36.2 kg/㎥로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C16에서 가장 높게 나타났다. 이는 단열재 재료 GPPS(General purpose polystyrene)와 발포제 혼합시 Cell 구조에 기인한 것으로 사료되며, Cell의 size가 0.63 ㎜로 가장 크고 균일하지 못하게 형성되어 밀도가 불안정하게 나타난 것으로 판단된다.[5)]

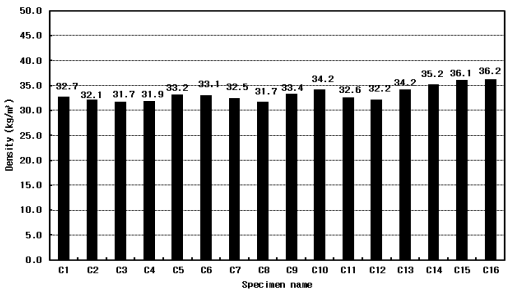


Fig. 8. Density according to the mixing ratio

2. 열전도율

발포제 혼합비율에 따른 초기열전도율은 Fig. 9, 10과 같이 0.0257~0.0295 W/m·K로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C3, C4, C15, C16에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였다. 또한 장기열전도율은 0.0292~0.0333 W/m·K로 나타났으며, KS M 3808 표준에서 제시하는 장기열전도율에 만족하는 혼합비율은 C1, C5, C6, C9, C10으로 나타났다. 열전도율은 기체를 Cell 내부에 존재하도록 Closed cell 형성으로 발포 기체의 분자량이 작을수록 높은 열전도율을 가진다고 보고된바 있다.[5)] 초기열전도율, 장기열전도율 모두 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 낮은 수준의 경향을 보였다. 이는 Cell size가 0.31 ㎜, 0.33 ㎜로 작게 나타난 C5, C9에서 Closed cell 구조로 형성되고 발포 기체가 Cell 내부로 충전되어 열전도율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.[5-6)]

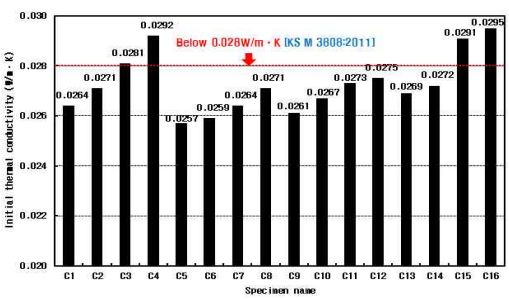


Fig. 9. Initial thermal conductivity according to the mixing ratio

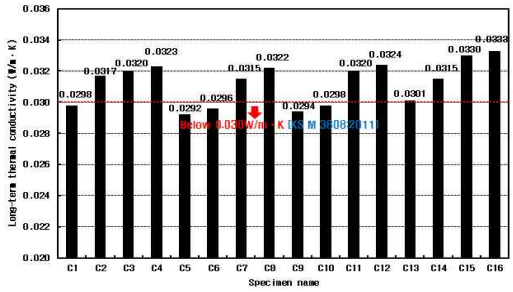


Fig. 10. Long-term thermal conductivity according to the mixing ratio

3. 굴곡파괴하중

발포제 혼합비율에 따른 굴곡파괴하중은 Fig. 11과 같이 36.0~58.9 N로 나타났으며, 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 굴곡파괴하중 기준 보다 3 % 이상으로 만족하였다. 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 높게 나타났다. 이는 Fig. 15의 (e), (i)와 같이 3차원 망상구조로 균일하게 Cell이 형성되었기 때문으로 판단된다.[7)]

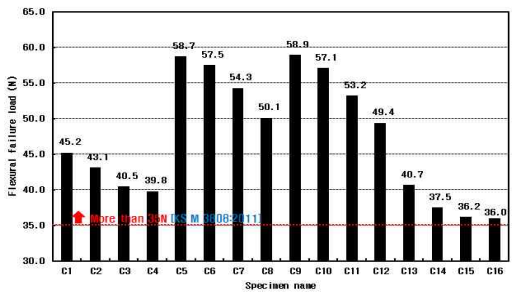


Fig. 11. Flexural failure load according to the mixing ratio

4. 압축강도

발포제 혼합비율에 따른 압축강도는 Fig. 12와 같이 16.2~25.9 N/㎠로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 높게 나타났다. 압축강도는 Cell 구조와 밀접한 연관이 있으며, 균일하게 발포되지 않은 경우, 아주 작은 결함에도 압축강도가 크게 떨어질 수 있기 때문에 발포의 균일성을 나타내는 척도로 사용된다고 보고된바 있다.[5)] 발포제 혼합비율 C4, C16은 현행 KS M 3808 압축강도 기준에 만족하지 못 하였다. 이는 Fig. 15의 (d), (p)와 같이 Cell size가 균일하지 못하게 형성되어 발포배율이 떨어진 것으로 판단되며,[5)] 단열재 발포시 불규일한 Open cell이 형성되어 강도에 영향이 생긴 것으로 사료된다.[8)]

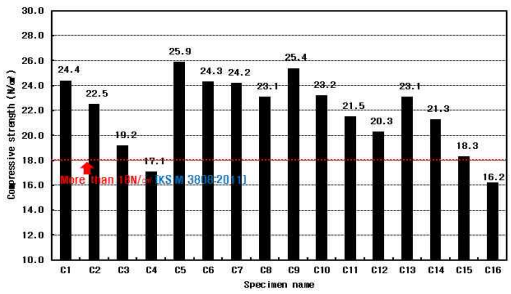


Fig. 12. Compressive strength according to the mixing ratio

5. 투습계수

발포제 혼합비율에 따른 투습계수는 Fig. 13과 같이 54 ~133 ng/㎡·s·Pa로 나타났으며, 발포제 혼합비율 C5, C9에서 가장 낮게 나타났다. 현행 KS M 3808 규정에서 제시하는 투습계수 기준 보다 9 % 이상으로 만족하였다. 이는 Fig. 15의 (e), (i)와 같이 Cell 분리막이 독립적인 Closed cell 구조로 균일하게 형성되었기 때문으로 판단된다.[9)]

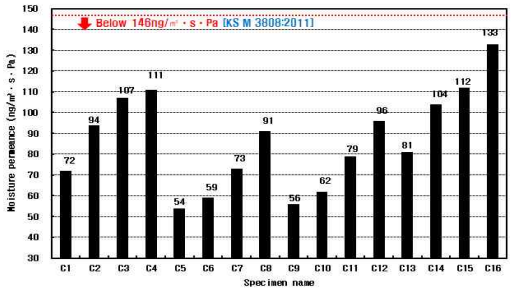


Fig. 13. Moisture permeance according to the mixing ratio

6. 연소성

발포제 혼합비율에 따른 연소성은 Table 3과 같이 연소시간 120 초 이내, 연소길이 60 ㎜ 이하로 나타났으며, KS M 3808 규정이내 범위로 나타났다.

Table 3. Combustibility according to the mixing ratio

CO_2 mixing ratio (%)	Ethanol mixing ratio (%)	HFC- 152a mixing ratio (%)	HCFC mixing ratio (%)	Test result
10	20	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
15	15	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
20	10	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass
25	5	20	50	pass
		25	45	pass
		30	40	pass
		35	35	pass

7. Cell size 분석

발포제 혼합비율에 따른 Cell size는 Fig. 14와 같이 0.31~0.63 ㎜로 나타났으며, C5, C9에서 가장 낮게 나타났다. 이는 발포시 적절한 혼합비율에 Closed cell에 의해 배율 형성이 원활하게 이루어진 것으로 사료된다.[5-8)]

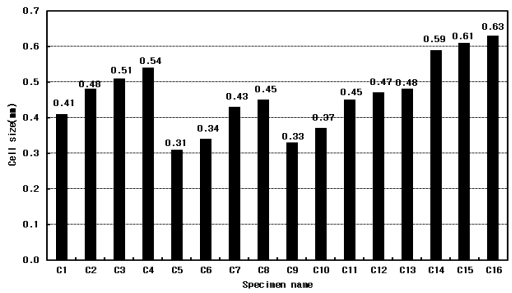
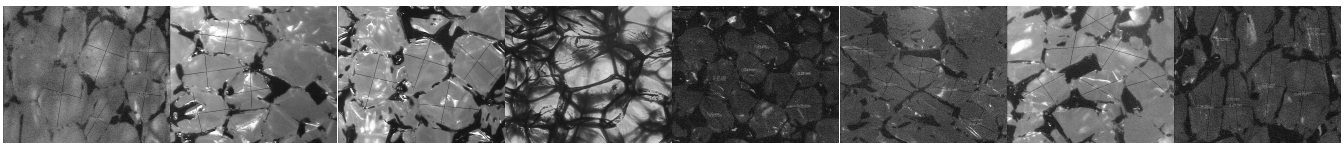
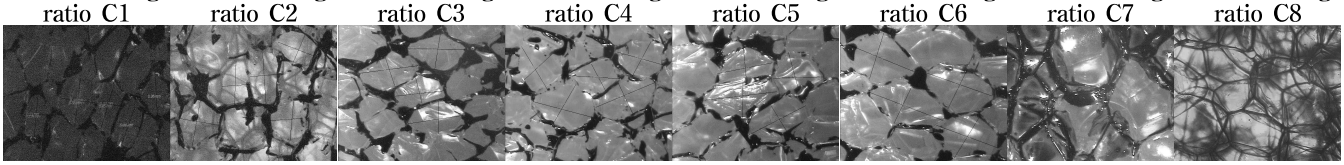


Fig. 14. Cell size according to the mixing ratio



(a) Specimens of the mixing ratio C1 (b) Specimens of the mixing ratio C2 (c) Specimens of the mixing ratio C3 (d) Specimens of the mixing ratio C4 (e) Specimens of the mixing ratio C5 (f) Specimens of the mixing ratio C6 (g) Specimens of the mixing ratio C7 (h) Specimens of the mixing ratio C8



(i) Specimens of the mixing ratio C9 (j) Specimens of the mixing ratio C10 (k) Specimens of the mixing ratio C11 (l) Specimens of the mixing ratio C12 (m) Specimens of the mixing ratio C13 (n) Specimens of the mixing ratio C14 (o) Specimens of the mixing ratio C15 (p) Specimens of the mixing ratio C16

Fig. 15. According to the mixing ratio cell size

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 CO_2를 활용한 발포제 혼합비율에 따른 단열재의 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등의 물리적 특성을 KS M 3808 발포 폴리스티렌에서 규정하고 있는 성능기준과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 발포제 혼합비율에 따른 밀도는 31 kg/㎥ 이상으로 유사한 범위로 나타났다. 압축강도는 C5, C9에서 KS M 3808 발포 폴리스티렌의 기준에 만족하지 못 하였으며, 굴곡파괴하중은 기준 보다 3 % 이상으로 만족하였다. 또한 투습계수는 기준 보다 9 % 이상으로 만족하였다.

2. 초기열전도율은 혼합비율 C3, C4, C15, C16에서 현행 KS M 3808 초기열전도율 기준에 만족하지 못 하였으며, 장기열전도율은 C1, C5, C6, C9, C10에서 KS M 3808 기준에 만족하였다.

3. 발포제 혼합비율 따른 단열재의 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 투습계수, 연소성 등을 분석한 결과, Cell size가 0.31 ㎜로 나타난 C5와 0.33 ㎜로 나타난 C9에서 KS M 3808 기준 보다 상회하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 열전도율에 대한 안정성을 고려하여 발포제 혼합비율(CO_2:에탄올:HFC152a:HCFC)의 C5(15:15:20:50 %)와 C9(20:10:20:50 %)에서 CO_2를 단열재의 발포제로 활용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원에서 위탁 시행한 2011년도 국토교통기술촉진연구사업(과제번호: 11첨단도시C08)의 연구비로 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. http://cfc.kscia.or.kr/
2. GTZ Proklima XPS presentation Workshop Korea, GTZ Proklima Igor C. Croiset (2010)
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, CO_2 gas utilization of high-performance foam insulation developing alternative production technologies (2013)
4. Lee, S. D. : Measures correspond with the actual situation and the developed countries use HCFCs domestic regulatory Survey sought, Korea Institute Of Science and Technology (2005)
5. Kim, B. G. : Development of microwave foaming method for phenolic insulation foams, Korea Institute Of Science and Technology, pp. 24-41 (2007)
6. Kim, D. K. : Properties and Thermal Characteristics of Phenol Foam for Heat Insulating Materials, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 17, No. 4, pp. 357-360 (2006)
7. Han, Y. S. : Effects of Heat-treatment Temperature on Mechanical Properties of Reticulated Carbon Foams, Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 49, No. 3, pp. 236~240 (2012)
8. Lee, Y. D. : Processing of Plastic foam and Applications, Central Institute of Chemistry, Hanyang, pp. 5 (1994)
9. S.-T. Lee, ed. : Principles of Plastic Foam Extrusion, CRC Press (1999)
10. Korean Agency for Technologe and Standards, KS M 3808 Cellular polystyrene (PS) for thermal insulation (2011)
11. http://www.basf.com/

출장 보고서

2012. 11. 06

벽산

◆ 목 차

1] 일정요약

2] Meeting

3] 시장현황

4] 환경규제

5] 향후대응방안

1. 일정 요약

✓ **BACHL 社 / BATE 社 [2012.10.30 ~2012. 11.04]**

일 자	주요일정	비고
2012.10.30	인천공항 출발 [인천]→ Frankfurt 공항 [독일] → Munich [독일] 도착	✓ 사전 Meeting 내용 Check
2012.10.31	Munich [독일] 출발 →BACHL[社] [독일]도착 Meeting 진행.	✓현장Tour 후 Meeting진행
2012.11.01	Munich [독일] 출발 →Vienna공항(오스트리아) → Minsk [벨라루스]도착	✓사전 Meeting 내용 Check
2012.11.02	Minsk [벨라루스]출발 →BATE[社] 벨라루스도착 Meeting진행	✓현장Tour 후 Meeting진행
2012.11.03 ~ 2012.11.04	Minsk [벨라루스]출발 →→ Frankfurt 공항[독일] →인천공항도착	
참석자	화성공장: 송완의 공장장, 박진형 차장, 나상묵 과장 기술연구소: 이종욱소장 SUNWELL社 : Mr. ILLIES : 황일훈 부장	

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **현장 Tour 및 Meeting**

1) Tour 일시 : 2012. 10. 31(수) 13:00 ~ 14:10 [1hr 10min]
2) Tour 부분 : XPS 공정 [원료투입 ~ 포장] + Utility [Silo.Dustcollection]
3) Meeting 진행 : 2012. 10. 31(수) 14:30 ~16:20 [1hr 50min]
Meeting 참석자
벽 산 : 화성공장 – 송완의 공장장, 박진형 차장, 나상묵 과장
기술연구소– 이종욱 소장
BACHL: Alfons Lang [공장장]
ILLIES : BENJAMIN RENNER [SALES MANAGER]
ILLIES : 황 일 훈 부장 [SALES MANAGER]
sunwell: MR.탄 [대표]
4) 회의장소 : BACHL 1층 소회의실





BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ 생산 현황

❖ 두께 60mm이하
- CO_2+Ethanol (1:1)
- 강도 요구시 : CO_2+Ethanol+DME(DME+Isobutane 7:3)
  • DME (Di Methyl Ethanol (70%)+Isobutane(30%))
  강도 : 900KPa ~1,000KPa

❖ 두께 60mm초과
- CO_2+Ethanol+HFC-152a

❖ 압출량
설비CAPA 800kg/hr , 최대운용CAPA 950kg/hr

❖ Thickness
- 최대두께 146mm [CO_2+Ethanol+HFC-152a 사용]

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ 설비 현황

[원료투입공정]



Blowing Agent Pump



Blowing Agent Tank

❖ Pump 사양: (43 ℓ /hr• 3Head)

❖ pump 내압 : 385kgf/㎠

❖ Pump 수량: : 3대
(CO2+Ethanol+HFC-152a or DME + isobutane)

❖ Byucksan 차이점 : Pump Type
→ Blowing Agent Injection Pump Type차이는 있으나 당사 원하는 발포제를 사용 하는부분에있어서는 문제 될부분은 존재하지 않음.

❖ Blowing Agent Tank:
3대 [CO2. Ethanol. HFC-152a] – 저장시설.
1대 [DME + Isobutane] – 1Ton 저장탱크사용.

❖ Byucksan 차이점 : HCFC(142b+22)외 저장시설 부재
Byucksan: CO_2– [40kg/통] 간이TANK 사용.
→CO_2 저장Tank시설은 원가절감효과에따라 현재 진행 단계에 있음.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ 설비 현황

[원료투입공정]



원료 투입 Hopper

- ❖ 설비CAPA : 800kg
- ❖ 저장 Tank 수량:8개
- ❖ 사용원료 Type: Pelletizer + Powder
- ❖ Byucksan 차이점 : Mixing 위치 [Pelletizer+Powder]
  BACHL: Feed-Throat 위
  Byucksan: Feed-Throat 2단계전위치
  → 비중차가 큰 원료간의 혼련도 차이발생가능성.

[압출공정]



Primary Extruder

- ❖ 설비CAPA: 800kg
- ❖ Screw 직경(mm): ₵150
- ❖ Cooling Type : Air Cooling [8zone]
- ❖ Byucksan 차이점 : Cooling Type
  Byucksan: Water Cooling
  → 냉각효율은 Water Cooling Type 이우수하나
  Sunwell 제작사임장은 Primary Extruder 의 냉각효율은 중요하지않게생각함.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ 설비 현황

[압출공정]



Primary Extruder Screw

- ❖ Screw 소재 : SACM645
- ❖ Screw 직경(mm): ₵150
- ❖ Screw 구조 : Feeding + Compression + Mixing
- ❖ Byucksan 차이점 : Mixing Zone Design 및 구간.
  BACHL: Mixing Zone 세분화 [3구간]
  Byucksan: Mixing ZONE [1구간]
  → Mixing Zone의 세분화차이로인한 Blowing Agent와 Polymer 의 혼련의 상관성이 존재함.



Primary Extruder [Blowing Agent Injection]

- ❖ Blowing Agent Injection: 3point [직.병렬혼합]
- ❖ Blowing Agent Injection 순서:
- ❖ CO2→HFC-152a→Ethanol
- ❖ Byucksan 차이점 : Injection 위치
  Byucksan: 1point [병렬투입가능]
  → Blowing Agent 와 Polymer 의 용해도.결합력.확산성및 Blowing Agent 상호 mixing 능력향상에 초점.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **설비 현황**

[압출공정]



Secondary Extruder



Static-Mixer Oil-Unit

❖ Screw 소재 : SACM645
❖ Screw 직경(mm): ¢200
❖ Cooling Type : Water Cooling [9zone]
❖ Static Mixer : 2 Zone
❖ Byucksan 차이점: 용량 Screw Design
BACHL: Static-Mixer [2 ZONE]
Byucksan: Static Cooler Mixer [Design 상이]
→ Screw Design은 확인하지못하였으나,
냉각방식은동일하고, Static-Cooler Mixer
설비의 성능이 Static-Mixer 보다 우수함.

❖ Oil-Unit : Static Mixer의 온도를 조절해주는 설비
[Heating & Cooling 온도조절]

❖Static-Mixer: 2차압출기 후단부에 설치되며, DIE
로보내는전단계에서 수지의 혼련성을
향상하여, 일정한 토출량을 유지함.

❖ Byucksan 차이점 : Oil-Unit 사용.
→ 온도조절방식은 당사와동일하나,설비의 성능측면에서
당사설비의 설비적효율이 우수함.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **설비 현황**

[성형공정]



Calibrator & Haul-Off

[가공공정]



길이 가공 설비

❖ Calibrator & Haul-Off : 제품의 두께를 형성하는 설비
❖ 작동방식: 유압 및 공압

❖ 온도조절: Calibrator [온도조절기사용 상.하]

❖ Line Speed : 100mm(두께)-600mm(폭) : 5m/min

❖ Byucksan 차이점: 작동방식은 유사하나, 설비적인
안정성은 우수하다 판단됨.

❖ 길이가공설비 : 제품의 길이방향을 절단한다.

❖작동방식 : Servo- Motor

❖Cutting Type: Knife -Type

❖ Byucksan 차이점 : 구동방식 동일
→ Cutting 방식은 당사는 Tip-Saw 인데반해
BACHL社는 Knife Type 방식적용
[집진설비의 부하를 줄일수 있고 현장주변의 청결도가
향상 될수있다 생각됨.]

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **설비 현황**

[이송공정]



Roller-Conveyor

❖ Roller-Conveyor :
기공(절단) 제품을 포장및 특수가공을 하기위해 이송.

❖ 작동방식: Chain 구동방식

❖ 이송중 상판인쇄작업 진행 : 상판 1회인쇄 (Ink-Jet)

❖ Byucksan 차이점: 작동방식은 동일하나
인쇄방식에 차이가 있음.
Byucksan : Ink-Jet + Roller 인쇄

[포장공정]



자동포장 설비

❖ 자동 포장설비: 제품포장설비

❖작동방식 : Servo- Motor / 유.공압 System

❖ 포장 Type : 전면 비닐포장

❖ Byucksan 차이점 : 당사는 수동포장작업진행
포장방식은 Band Type
자동포장으로의 전환시도 계획.
[포장방식은 영업과 합의]

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **설비 현황**

[Utility]



Dust-Collection

❖ Dust-Collection : 공정및 분쇄시 발생한 분진을
대기중으로방출하기전에
filtering 역할을해준다. .

❖ 작동방식: FAN 이송방식

❖ 내부 Fluff 을 로타이 Screw가 회전하면서 브릿지방지

❖ Byucksan 차이점: 집진시설의 용량차이
화재예방 설비의 존재여부.



Silo

❖ Silo : 공정중 발생한 fluff 을 보관하는장소
[재생원료 로 활용함]

❖작동방식 : Fan 이송방식

❖ Byucksan 차이점 : 저장시설의 역할에 차이는없음
화재예방시설의 존재여부.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **설비 현황**

[Utility]



분쇄기



재생 압출기

❖ 분쇄기 : 초기 Start-Up 및 불량품발생시 재생원료로 활요하기위해 사용.

❖ 작동방식: Motor 구동 – Knife-Type (회전날 . 고정날)

❖ Byucksan 차이점: 용량및 Knife –Type Design 차이.

❖ 재생압출기 : 재생원료를 생성하는 공정

❖작동방식 : 압출방식

❖Cutting 방식 : 수중Cutting

❖ Byucksan 차이점: 설비용량차이
Cutting 방식차이
재생외관품질선별설비 (Vibrator) 유무.

BYUCKSAN

2. Meeting [BACHL 社]

✓ **품질 현황**

❖ **Blowing Agent와 제품물성**

구분	밀도	강도	열도전율
Ethanol	↓	↓	Bad
DME + Iso-butane	↑	↑	Good

❖ **열전도율과 숙성 [Ageing]**

- 1일 품질 (아래 Table참조)
- 90일 0.033~ 0.035W/Mk

[Table]

두께(mm)	압축강도(kPa)	열전도율(W/Mk)
30	200 이상	0.02570이하
40	214	0.02615
50	200	0.02639
60	205	0.02479

BYUCKSAN

2. Meeting (BATE 社)

✓ **Tour 및 Meeting**

1] Tour 일시 : 2012. 11. 02(금) 10:30 ~ 11:20 (50min)
2] Tour 부분 : XPS 공정 [원료투입 ~ 포장] + Utility (SIOL.Dustcollection)
3] Meeting 진행 : 2012. 11. 02(금) 11:30 ~12:30 (1hr)
Meeting 참석자
벽 산 : 화성공장 – 송완의 공장장, 박진형 차장, 나상욱 과장
기술연구소– 이종욱 소장
BATE社:
ILLIES : 황 일 훈 부장 (SALES MANAGER)
sunwell: MR.탄 (대표)
4] 회의장소 : BACHL 4층 사무실



BYUCKSAN

2. Meeting (BATE 社)

✓ **품질 현황**

❖ 두께 100mm →열전도율 0.035(W/Mk) [생산 후 3일 경과시]
❖ 수지MI(Melt-Index) 2~3g/min, 6~7g/min 혼합사용.
생산제품 두께에 따라 수지 선별적 사용
→ 두께가 올라갈수록 MI(6~7g/min)수지 사용비율 증가

❖ 두께에 따른 Blowing Agent 사용비율.

두께(mm)	CO2	Ethanol	HFC-152a	비고
50	3.3%	3.3%	-	DME + Isobutane 사용하지않음.
80	2.5%	2.5%	1.0%	
100	0.8%	0.8%	4.8%	
150	-	-	6.8%	

BYUCKSAN

2. Meeting [BATE 社]

✓ **설비 현황**

[압출~ 가공포장 공정]



Primary ,Secondary Extruder



가공 및 포장설비

✓ 설비CAPA [kg/hr] : 1,200
✓ Extruder-Type : Tandom [Single -Single]
제조사: SUNWELL社
✓ Screw 직경 (mm): 1차 - ¢180 , 2차- ¢250
✓ Cooling -Type: 1차- Air Cooling
2차 -Water Cooling
✓ Blowing Agent : 3 Point Injection
✓ Blowing Agent 종류 : CO2+152-a+Ethanol
✓ Blowing Agent Pump :
제조사 : LEWA
용량 : (47 ℓ /hr• 3Head)

설비기본구성은 BACHL 社 와유사하며 용량의 차이가발생.

✓ 구성
1) Side-Cutter [폭 절단가공]
2) Cross-Cutter [길이절단 가동]
3) Embossing 설비 [표면 요철 가공]
4) Ship-Lap / Planner [특수가공]
5) Roller Conveyor
6) 포장설비 [자동포장]

가공및포장설비: Bachl社와 유사한구조임.

BYUCKSAN

2. Meeting [BATE 社]

✓ **설비 현황**

[Utility]



Blowing Agent Tank

✓ Tank 구성
1) CO2 저장 Tank
2) Ethanol 저장 Tank
3) HFC-152a 저장 Tank

투입 Pump : 각각의 Blowing Agent 에맞게 Pump가 구비되어있으며,Bate社는 현재 DME 사용을 하지 않는것 으로 확인됨.

BYUCKSAN

3. 시장현황

✓ BACHL社 – 2008年 1호기설치 운영(800kg/hr)
2호기 증설예정(LAY-OUT완료)

✓ 벨라루스 국내 Market – 2011年: 30,000㎥
2012年: 120,000㎥
2013年: 185,000㎥

✓ BATE社 2013년 국내수요 충족 / 향후 러시아. 우크라이나.발틱3국 수출예정

✓ 용도:
둥유럽 (벨라루스) – 건축용 100%
유 럽 [독일포함] – LOAD. LAYER

XPS 유럽 향후 시장전망: 지속적으로 수요가 장출되어 시장확대가 예상됨.

BYUCKSAN

4.환경규제

✓ BACHL社
– HFC – 134a 대사용, HFC – 152a 2014년 12월 사용규제라고 함
명루 DME + Isobutane 사용 중 Isobutane 구성비 변경검토

✓ BATE社
HFC– 152a 규제일정은 없다 , EU와 다르다.
러시아 는 HCFC도 아직사용하고 있다

구 분			오존파괴지수	온난화 지수	비 고
관련 근거 협약			몬트리올의정서	도쿄의정서	
현 사용 발포제	HCFC-22 HCFC-142a		0.055 0.069	1500 1800	2013년부터 몬트리올의정서 근거 제한
HFC	HFC -134a HFC- 152a		0 0	1300 140	
제약기준치	환경인증제품 (한국)		0.070 이하	3,000 이하	1998년 제정
	녹색성장(한국)		0.03 이하	1,800 이하	2000.07
	유럽		0.0	150 이하	HFC-134a 2011년 단계적 제약 – 좌등 제약기준근거 친환경냉매로 R-$_{1234-yf}$, R-152a, CO_2등 대체 한국자동차업계추진
	일본JIS A 9511	A종	탄화수소, 이산화탄소(CO2) 등을 발포제로 사용 : EPS, XPS, 멜라이미드폼, 페놀폼, 우레탄폼		1996년 제정
		B종	프레온류(오존층을 파괴하는 염소 및 수소불화탄소HFC폼을 발포제로 사용 : 우레탄폼		

BYUCKSAN

5.향후 대응방안

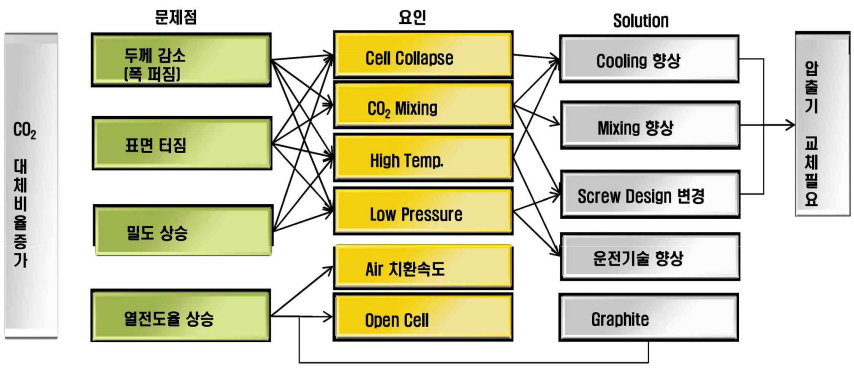
✓ 5-1.향후 예상 ROAD-MAP

	환경규제	재료비	안전성	R-value	발포력	작업성	투자비
Best Performance	CO2	CO2	CO2	?	HC	HC	HC
	HC(i-butane)/ Etanol/DME			CFC	CO2	Etanol/DME	Etanol/DME
		HC/ Etanol/DME	HFC134a		Etanol/ DME		
Base Line	HFC-152a	HCFC	HCFC	HCFC	HFC-152a	HCFC	HCFC
	HFC-134a			HFC-134a	HCFC	HFC152a	HFC152a
	HCFC			HC	HFC-134a		
		HFC-152a	HFC152a			HFC134a	HFC134a
			Etanol/ DME	HFC-152a			
				Etanol /DME			
Worst Performance	CFC	HFC-134a	HC	CO2		CO2	CO2

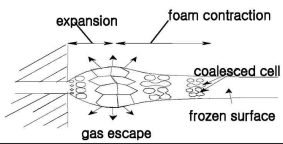
BYUCKSAN

5.향후 대응방안

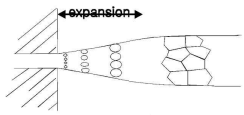
✓ 5-2. CO_2 대체 발포제 증량시 발생 문제 해결



현 문제점 (30%이상 대체 시)



정상상태 (현 대체 비율)



BYUCKSAN

1. 출장 목적

■ 일자/장소

9월 5일 : Kaneka 본사 (Tokyo) – 기술제휴 논의

9월 6일 : Super Viva Home Center – 시제품 구입 및 제품 조사

■ 출장 목적

1. KANEKA 기술 제휴 논의
2. 일본 단열재 시장현황 파악
3. 대체 발포, 열전도율, 고두께 관련 기술 정보 습득

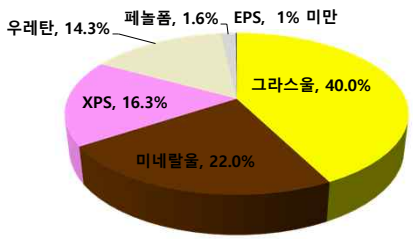
■ 참석자

벽산	KANEKA
김성주 박기홍 길해석	Takayoki Nagayoshi (Extrusion Foam Tech. Manager] Takamasa Imai (Global Business Manager) Kouji Shimizu (Extrusion Foam Research Manager) Hiroshi Fujiwara (Manager Molding Tech.) 高橋洋子 (발포수지 제품사업부)

2. 기술 제휴 질의 응답

■ 일본 단열재 시장 및 법규 흐름

가. 일본 단열재 시장 M/S



나. PF 보드 관련

PF 보드 (페놀폼보드) 는 단가 문제, 가공성 문제등으로 시장이 한정되어 있다 (M/S 1.6%)

압축강도와 흡수율등 XPS만의 장점이 있어 경쟁면에서 크게 신경쓰지 않음

2. 기술 제휴 질의 응답

다. 단열 법규 관련 (고두께)

1) Max 두께
- KANEKA, JSP, DOW 일본 XPS 3개사 모두 100T가 최고 두께임

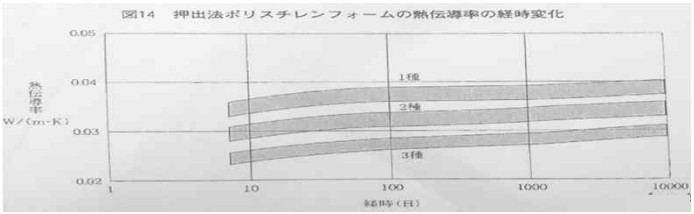
2) 고두께 요구에 대한 대처
- 일본도 단열법이 개정되어 두께는 올라 가고 있음
- 고두께 제품은 시공시 겹쳐서 시공함
- 성능에 대한 문제도 있고 고객의 요구도 없어 100T 초과제품의 생산은 하지 않음

2. 기술 제휴 질의 응답 [요약]

■ KANEKA 제품 품질

가. 열전도율 관련

1) 일본의 경우는 장기 열전도율 기준이 없음
2) 열전도율 (0.028W/mK)의 기준은 JIS 시험 방법에 준함
   - 생산후 24시간 제품을 채취하여 16시간 방치 후 시험함
   - 최소 40시간 측정도 가능함
3) 경시변화에 대한 대처
   - JIS 해설서에 경시 변화에 대한 DATA를 제시함



2. 기술 제휴 질의 응답 [요약]

■ KANEKA 제품 품질

나. 발포제 관련

1) 일본의 경우 JIS 규격에 A종과 B종으로 나눔
2) A종 :
   Non Freon 제품을 의미함 (XPS 해당)
   Freon의 의미는 CFC, HCFC, HFC 모두를 포함함
   따라서 A종의 경우 이 모두를 사용하지 않은 CO2 및 HC계열만을 의미함
   일본 XPS 3사 모두 HC 계열 발포제만 사용함 (이소부탄, DME, 염화메틸)

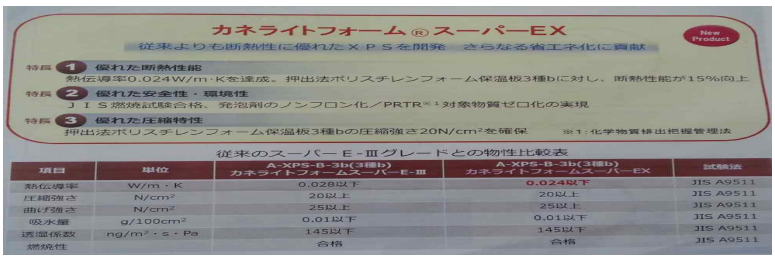
3) B종 : Freon 사용 제품이나 존재 하지 않음
4) 일본의 경우 2007년 부터 Freon은 완전히 사용하지 않는다. (HFC도 사용하지 않음)

2. 기술 제휴 질의 응답 [요약]

■ EX (Graphite 제품) 관련

가. 출시 배경

- 고성능 제품으로서의 차별화 판매 (0.028 W/mK → 0.024W/mK)
- JIS 규격에 넣지는 않음 (차별화된 제품으로 판매)



나. 힘문제

- 일본도 힘 문제는 있음, 현재 M/S는 미미한 수준
- 그라파이트를 넣어도 색소 추가로 색깔은 바꿀수 있다. (Dow Ex 제품)
  (원가 상승 요인, KANEKA는 굳이 색깔을 바꿀 이유가 없었음)

3. 벽산 기술 목표 및 KANEKA 의견

가. 벽산 기술 목표

항목	내 용
열전도율	25년 장기 열전도율 0.029 W/mK 이하
고두께	160T 초과 제품
발포제	HCFC 대체 발포

나. KANEKA 의견

항목	내 용
열전도율 / 발포제	열전도율과 발포제를 같이 생각 해야함 Non Freon 제품의 경우 Complex Cell을 한다고 하여도 25년 장기열전도율 0.029W/mK 이하를 맞출수는 없음 – Non Freon에 맞는 기준설정 필요 Graphite를 생각해 볼 수 있으나 벽산도 이미 그 기술을 가지고 있음
고두께	100T 초과 제품 생산 경험 없음 160T까지는 가능할것 같으나 그 이상은 알 수없다.

4. Home Center 방문

■ 일자 : 9월 6일

■ 장소 : Super Viva Home Center
(Tokyo 豊山 점)



■ 판매 제품

- 건자재 : 석고보드, 천장재, 단열재, 타일, 목재, 벽돌 등
- 각종 전기 제품
- 각종 공구
- 집과 관련된 모든 D.I.Y 용품 판매

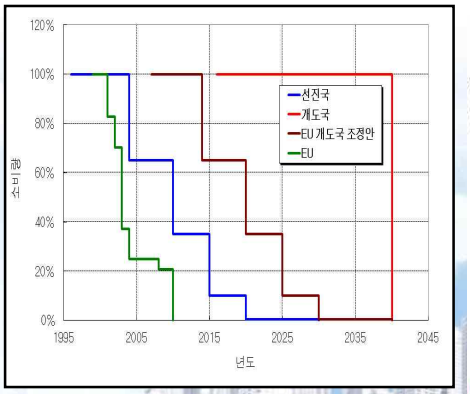
■ XPS 제품
- Dow 화공 Styrofoam 제품 판매 중 (50T 제품 샘플 구입)
- 폭은 910mm가 표준 규격 임
- 제품 가격대
  40T 910*1820 : 1,550엔 / 30T 910*1820 : 1,250엔 / 20T 910*1820 : 758엔
  → 환산mm 당 320원 수준

■ 기타 단열재
- 그라스울 (비닐 포장 제품), 미네랄울, XPS, EPS 판매

1차년도 연구개발 결과

국외 기술개발 현황조사

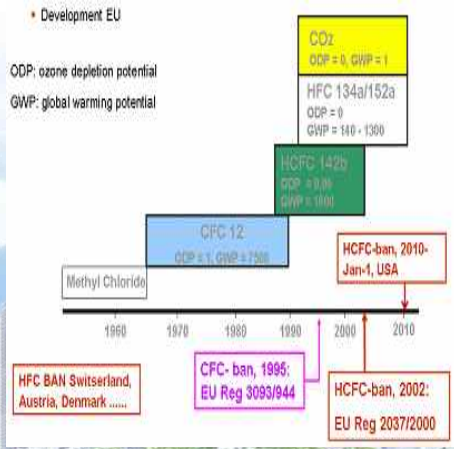
HCFCs 규제일정 – 몬트리올의정서



-선진국 기준수량: 1989년 HCFC 소비량 + 1989년 CFC 소비량의 2.8%로 수준

-EU 기준수량: 1989년 HCFC 소비량 + 1989년 CFC 소비량의 2.6%(8.079 ODP톤)로 수준

규제에 따른 발포제 변화 추이



1차년도 연구개발 결과

국외 기술개발 현황조사 [유 럽]

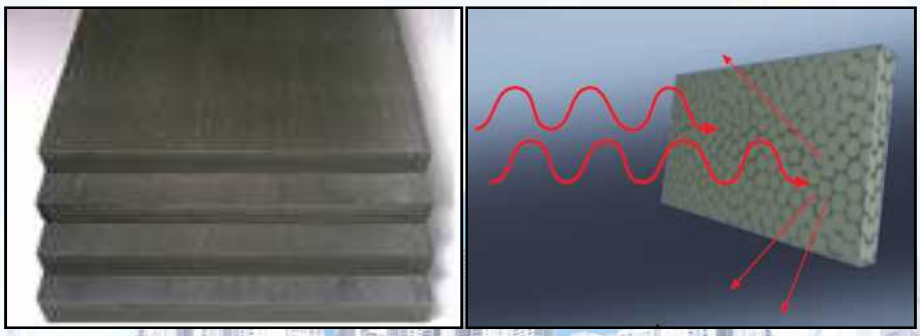
유럽의 발포제 대체현황

회사명	발포제 대체 재료
BASF	Air as cell gas (CO_2 + organic solvents)
DOW	Air as cell gas (SL-A), co-blown with 134a (SL-X)
Jackon	Air as cell gas (KF), co-blown with 152a (CFR)
URSA	Air as cell gas (CO_2 + organic solvents)
Knauf	Air as cell gas, co-blown with 152a
Austrotherm	Air as cell gas (CO_2 + organic solvents)

1차년도 연구개발 결과

국외 기술개발 현황조사 [유 럽,북 미]

Graphite, carbon black를 이용한 고단열 단열재 사용 : 열전달중의 복사열을 흡수 또는 반사원리로 단열성을 높임(BASF, DOW, Owenscorning)



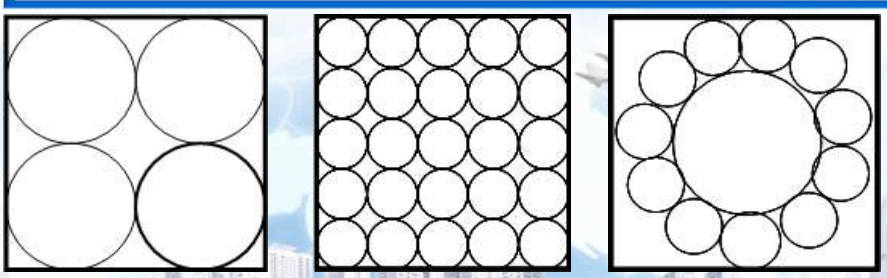
유럽,북미의 단열재 향상기술

1차년도 연구개발 결과

국외 기술개발 현황조사 [일본등]

탄화수소류를 적용하여 제품내 cell structure 개선 통한 고성능단열재기술을 개발

cell size을 작게 또는 효율적인 cell 구성으로 열전달 중 복사, 대류를 작게 해 단열성을 확보



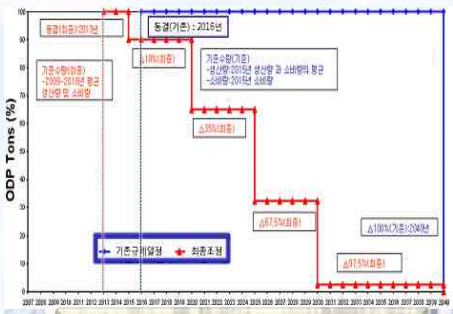
기존Cell　　Micro Cell　　Complex cell

1차년도 연구개발 결과

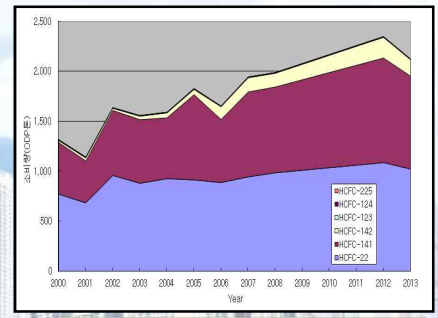
국내 기술개발 현황조사

HCFC 개발도상국 전폐 Schedule(한국포함)

현재 국내의 경우 발포제 대체 기술 미비하고 대체발포제 검토단계



몬트리올의정서 결정사항



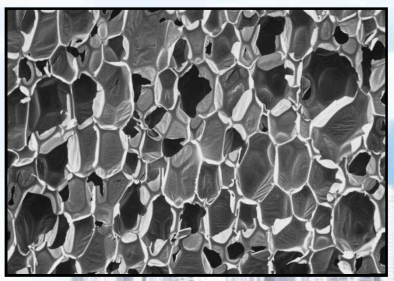
국내 HCFCs물질별 소비현황 및 예상량

1차년도 연구개발 결과

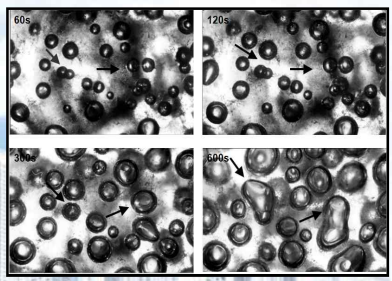
친환경발포제 단열성 확보방안 설계

CO_2 경우는 활성이 크므로 열전도율을 낮추어주는 역할이 거의 없어 단기간에 열전도율이 높아지고 경시변화가 없음

열전도율을 낮추기 위해 Graphite를 사용하고 Cell structure를 개선하여 열전달현상(전도, 대류, 복사)을 감소시키는 관점으로 검토



Cell 구조



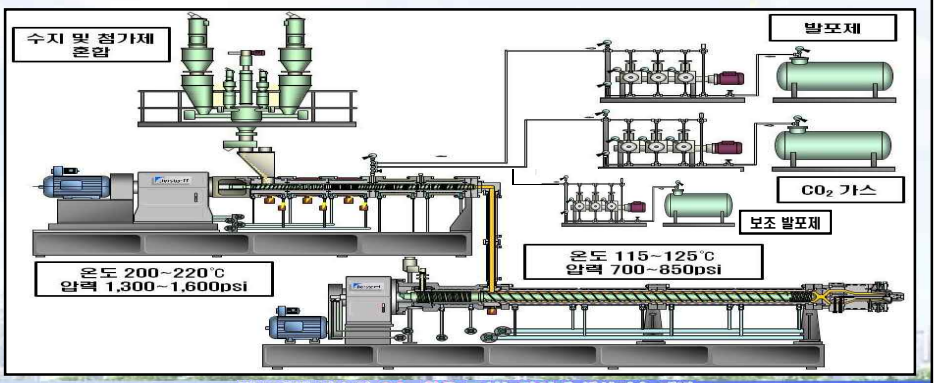
Cell 형성단계

1차년도 연구개발 결과

친환경발포제 부분대체 생산공정 검토

압출법에서는 진공식과 상압식이 있는데 진공식 발포시 발포배율을 높여줌으로써 저밀도(20~27kg/㎥)부터 고밀도까지 제품생산이 가능하고 상압식은 대기중에 발포, 상대적으로 고밀도제품(29kg/㎥ 이상)만 생산가능.

주요공정[압출기]



1차년도 연구개발 결과

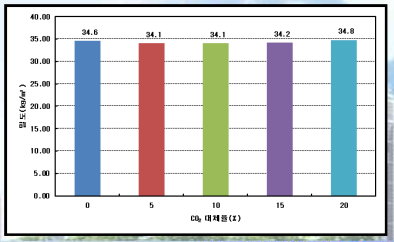
CO_2 대체에 의한 50~75mm 단열재 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,300psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 700psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 0, 5, 10, 15, 20%
- 실험항목 : 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율 [초기, 장기], 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

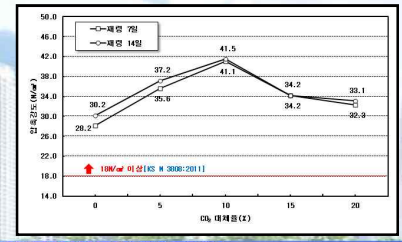
밀도

- "대체율 20%" 에서 가장 높음



압축강도

- 36~57%로 "KS M 3808 기준" 만족

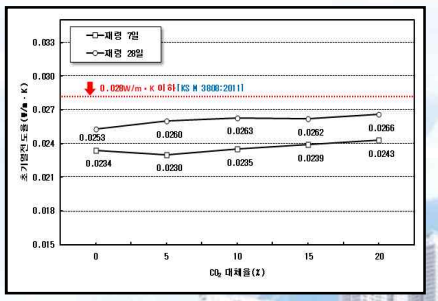


1차년도 연구개발 결과

CO_2 대체에 의한 50~75mm 단열재 성능평가

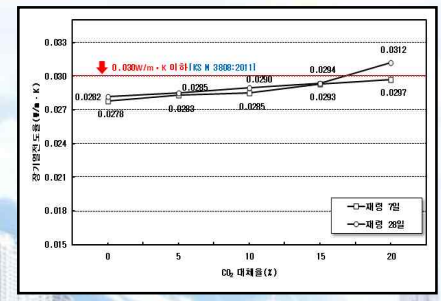
초기열전도율

- 5~18%로 "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

- 1~7%로 "KS M 3808 기준" 만족
- 재령 28일, 20%에서 기준초과

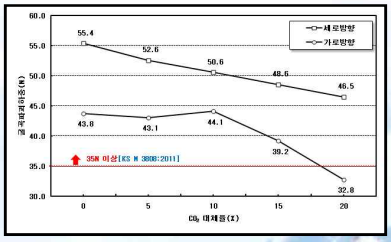


1차년도 연구개발 결과

CO_2 대체에 의한 50~75mm 단열재 성능평가

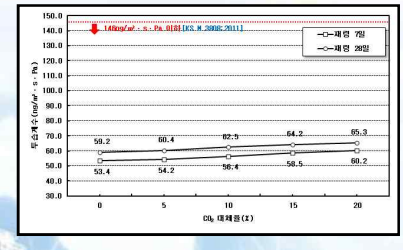
굴곡파괴하중

- 25%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족
- 가로방향, 20%에서 기준초과



투습계수

- 55%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

1차년도 연구개발 결과

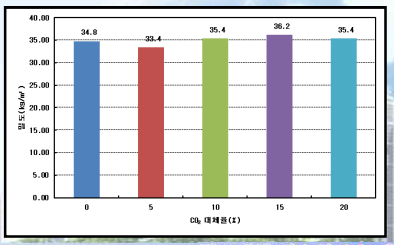
CO_2 대체에 의한 100~110mm 단열재 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,300psi, 온도 220℃], 2차 압출기 [압력 700psi, 온도 125℃]
- CO_2 대체율 : 0, 5, 10, 15, 20%
- 실험항목 : 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율 [초기, 장기], 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 100~110mm

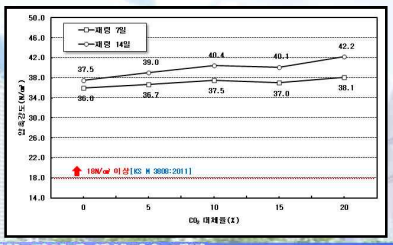
밀도

- "대체율 15%" 에서 가장 높음



압축강도

- 50~57%로 "KS M 3808 기준" 만족

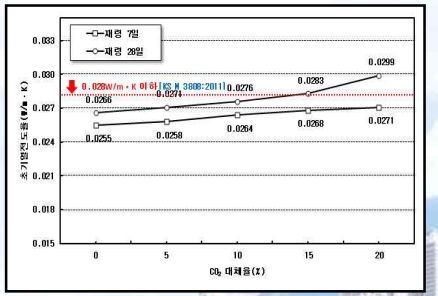


1차년도 연구개발 결과

CO_2 대체에 의한 100~110mm 단열재 성능평가

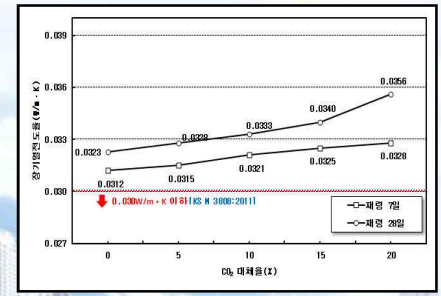
초기열전도율

- 재령 7일 모두 "KS M 3808 기준" 만족
- 재령 28일, 15%이상에서 기준초과



장기열전도율

- CO_2 대체율 모두 "KS M 3808 기준" 초과

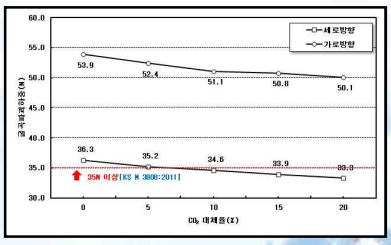


1차년도 연구개발 결과

CO_2 대체에 의한 100~110mm 단열재 성능평가

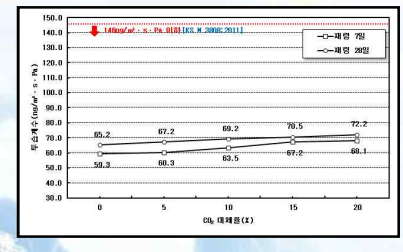
굴곡파괴하중

- 30%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



투습계수

- 51%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

1차년도 연구개발 결과

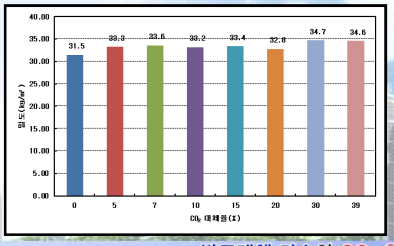
최대조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 220℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 125℃]
- CO_2 대체율 : 0, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 39%
- 실험항목 : 밀도, 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율[초기, 장기], 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

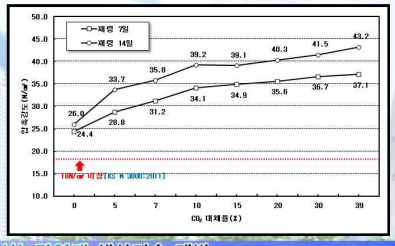
밀도

- "대체율 30%이상" 에서 가장 높음



압축강도

- 26~58%로 "KS M 3808 기준" 만족

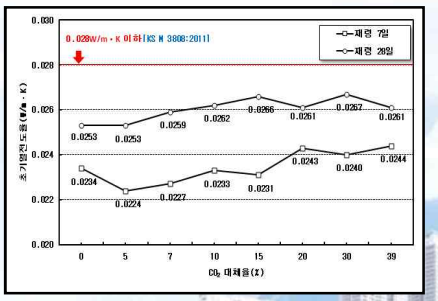


1차년도 연구개발 결과

최대조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

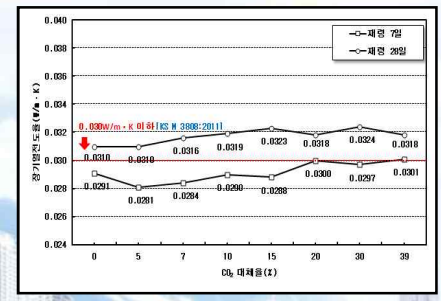
초기열전도율

- 재령일에 관계없이 모두 "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

- 재령 7일, 30%이하 "KS M 3808 기준" 만족
- 재령 28일, 모두 기준초과

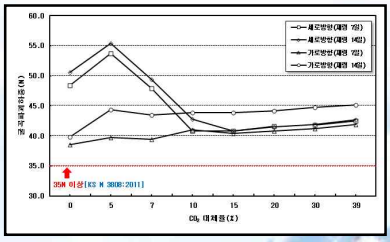


1차년도 연구개발 결과

최대조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

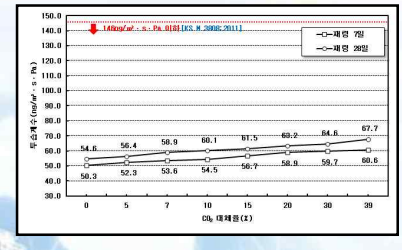
굴곡파괴하중

- 9%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



투습계수

- 54%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

1차년도 연구개발 결과

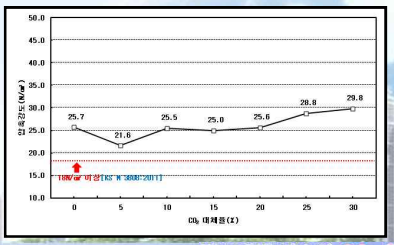
최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30%
- 실험항목 : 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율[초기, 장기], 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

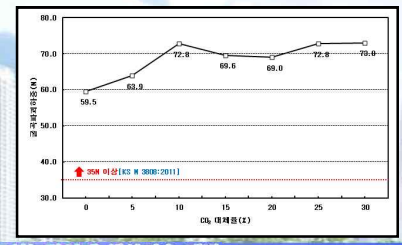
압축강도

- 17~40%로 "KS M 3808 기준" 만족



굴곡파괴하중

- 41~52%로 "KS M 3808 기준" 만족

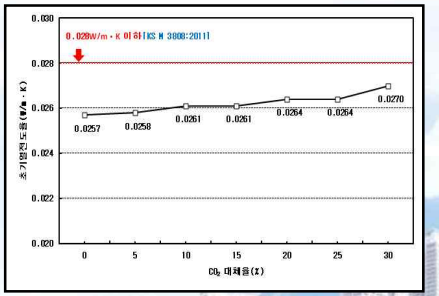


1차년도 연구개발 결과

최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

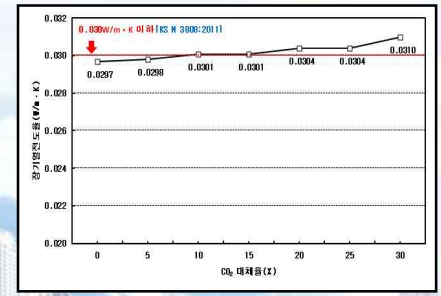
초기열전도율

- CO_2 대체율 증가 → 열전도율 증가추세
- CO_2 대체율 모두 "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

- CO_2 대체율 10%이상에서 "KS M 3808 기준" 초과



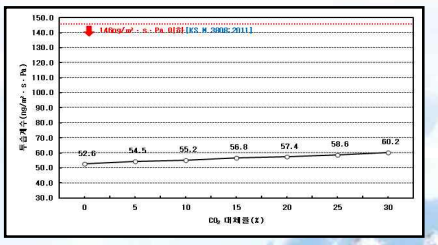
발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 [18]

1차년도 연구개발 결과

최적조건 설정을 위한 CO_2 대체율에 따른 단열재 성능평가

투습계수

- 59%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

1차년도 연구개발 결과

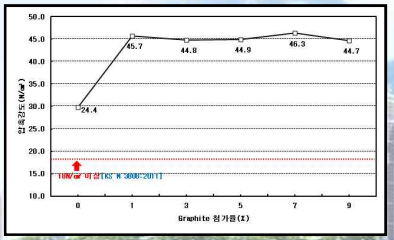
Graphite[흑연]를 첨가한 단열재 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 30% / Graphite 첨가율 : 1, 3, 5, 7, 9%
- 실험항목 : 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율[초기, 장기], 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

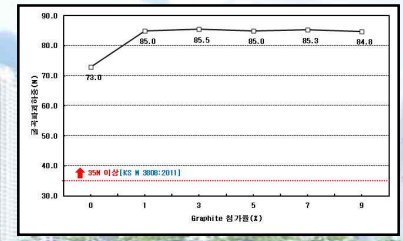
압축강도

- 26~60%로 "KS M 3808 기준" 만족



굴곡파괴하중

- 52~59%로 "KS M 3808 기준" 만족

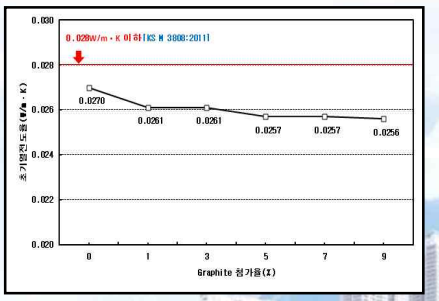


1차년도 연구개발 결과

Graphite[흑연]를 첨가한 단열재 성능평가

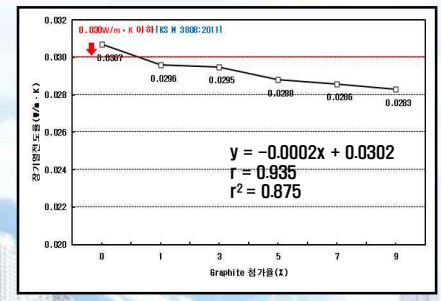
초기열전도율

- Graphite첨가율 증가 → 열전도율 감소추세
- 4~9%로 "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

- Graphite첨가율 증가 → 열전도율 감소추세
- 2~6%로 "KS M 3808 기준" 만족

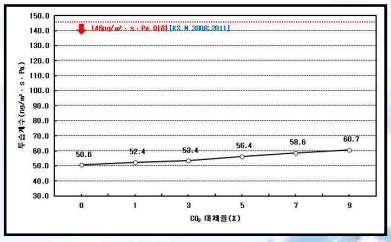


1차년도 연구개발 결과

Graphite[흑연]를 첨가한 단열재 성능평가

투습계수

- 58%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

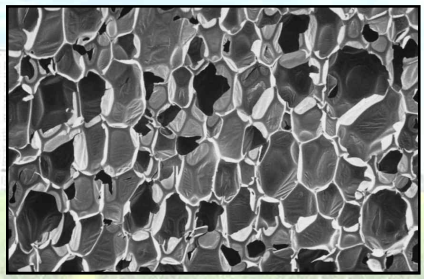
1차년도 연구개발 결과

1차년도 연차실적

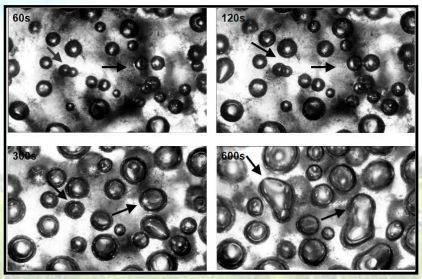
친환경발포제 단열성 확보방안 설계

CO_2 경우는 활성이 크므로 열전도율을 낮추어주는 역할이 거의 없어 단기간에 열전도율이 높아지고 경시변화가 없음

열전도율을 낮추기 위해 Graphite를 사용하고 Cell structure를 개선하여 열전달현상(전도, 대류, 복사)을 감소시키는 관점으로 검토



Cell 구조



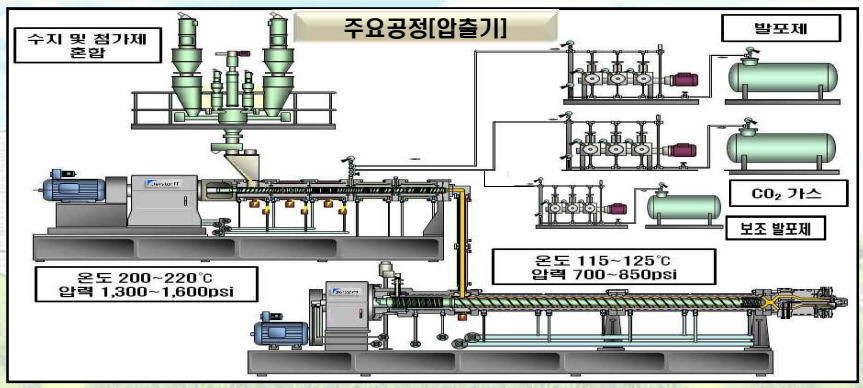
Cell 형성단계

1차년도 연구개발 결과

1차년도 연차실적

친환경발포제 부분대체 생산공정 검토

압출법에서는 진공식과 상압식이 있는데 진공식 발포시 발포배율을 높여줌으로써 저밀도(20~27kg/㎥)부터 고밀도까지 제품생산이 가능하고 상압식은 대기중에 발포, 상대적으로 고밀도제품(29kg/㎥ 이상)만 생산가능.



1차년도 연구개발 결과

1차년도 연차실적

CO_2 활용을 위한 기본설계 및 기초실험 결과

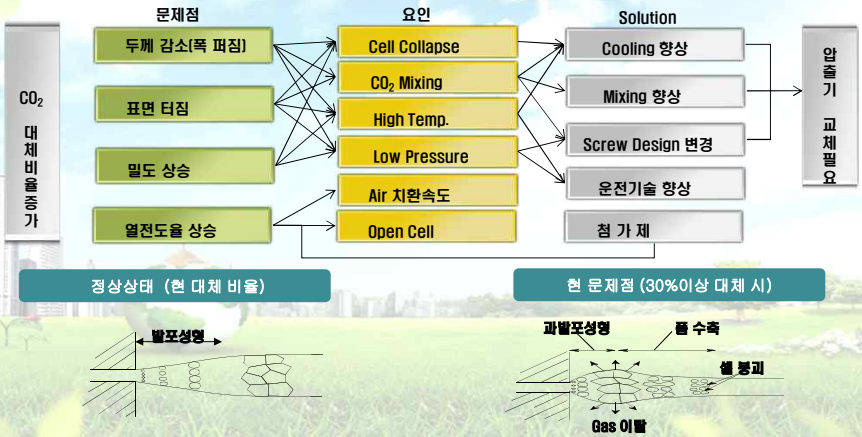
공정조건	단열재성능	CO_2 대체율	열전도율	Graphite 첨가율
1차 압출기 [압력1,300psi / 온도200℃] 2차 압출기 [압력700psi / 온도115℃]	▪압축강도, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준 만족 ▪굴곡파괴하중, 장기열전도율 기준초과	▪CO_2 대체율 15%이하에서 적용가능 ▪CO_2 대체율에 따라 단열재 두께 50~75mm 적용가능	▪초기열전도율은 CO_2 대체율 증가에 따라 증가 추세 ▪장기열전도율 CO_2 대체율 20%이상일때 기준초과	▪성능평가대상이 아님
1차 압출기 [압력1,300psi / 온도220℃] 2차 압출기 [압력700psi / 온도125℃]	▪압축강도, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준 만족 ▪굴곡파괴하중, 초·장기열전도율 등 기준초과	▪CO_2 대체율 모든수준에서 적용불가능 ▪CO_2 대체율에 따라 단열재 두께 100~110mm 적용불가	▪초기열전도율은 CO_2 대체율 증가에 따라 증가 추세이며, 15%이상에서 기준초과 ▪장기열전도율의 성능문제 발생	▪성능평가대상이 아님
1차 압출기 [압력1,600psi / 온도220℃] 2차 압출기 [압력850psi / 온도125℃]	▪압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준 만족 ▪장기열전도율 에서 기준초과	▪CO_2 대체율 15%이하에서 적용가능 ▪CO_2 대체에 따른 첨가제 필요	▪초기열전도율은 CO_2 대체율 증가에 따라 증가 추세이며, KS기준만족 ▪장기열전도율 재령7일에서 30%이하일때 기준 만족	▪성능평가대상이 아님
1차 압출기 [압력1,600psi / 온도200℃] 2차 압출기 [압력850psi / 온도115℃]	▪압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준 만족 ▪CO_2 대체율 장기열전도율 기준초과	▪CO_2 대체율 30%에서 적용가능 ▪CO_2 대체에 따른 첨가제 필요(Graphite 등)	▪ 장기열전도율 10% 이상일때 기준초과 ▪CO_2 대체율 30%에서 Graphite 첨가율 1%이상에서 열전도율 기준만족	▪Graphite 첨가율 5%이상에서 열전도율이 안정화됨

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

단열재 성능개선을 위한 생산설비 보완

주요공정 보완 [압출기]



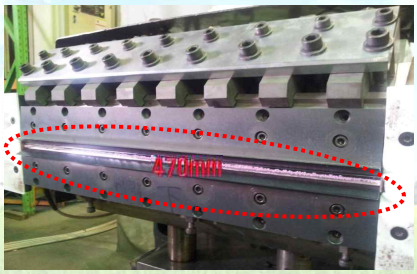
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

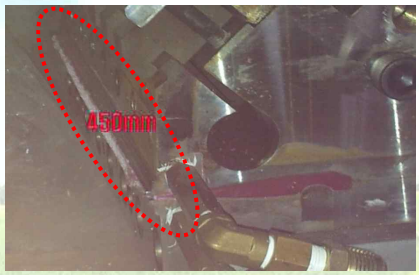
단열재 성능개선을 위한 생산설비 보완

주요공정 보완 [Die]

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850, 900, 950, 1,000psi, 온도 115℃]
- Die 보완 : 470 → 450mm으로 보완
- 폭조정에 의한 Die 압력 상승



Die 보완 전



Die 보완 후

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

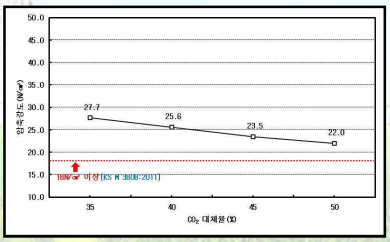
최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 35, 40, 45, 50%
- 실험항목 : 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

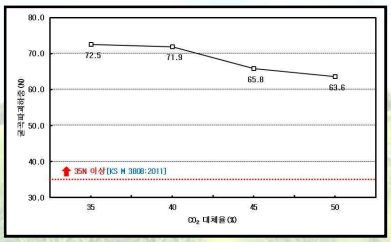
압축강도

- "KS M 3808 기준" 보다 18%이상으로 만족



굴곡파괴하중

- "KS M 3808 기준" 보다 45%이상으로 만족



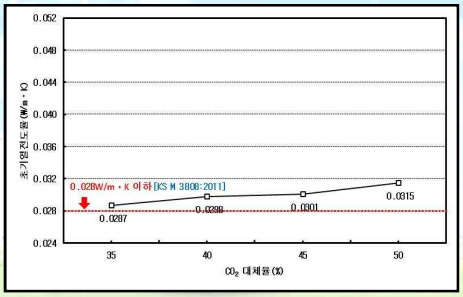
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

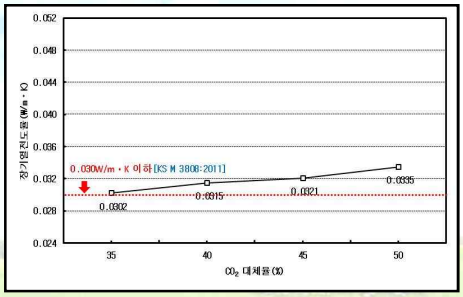
초기열전도율

- CO_2 대체율 증가 → 열전도율 증가
- CO_2 대체율 모두 "KS M 3808 기준" 초과



장기열전도율

- CO_2 대체율 35%이상에서 "KS M 3808 기준" 초과



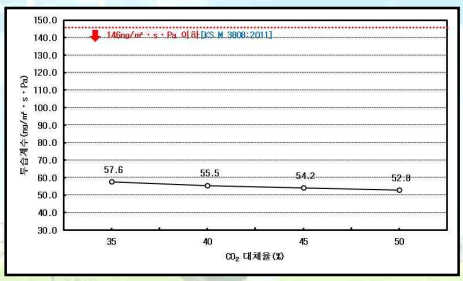
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

최적조건을 적용한 CO_2 대체율에 따른 단열재의 성능평가

투습계수

- 63%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

Graphite[흑연]을 첨가한 단열재의 장기내구성 검토

실험계획

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 30% / Graphite 첨가율 : 1, 3, 5, 7, 9%
- 실험항목 : 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

실험결과

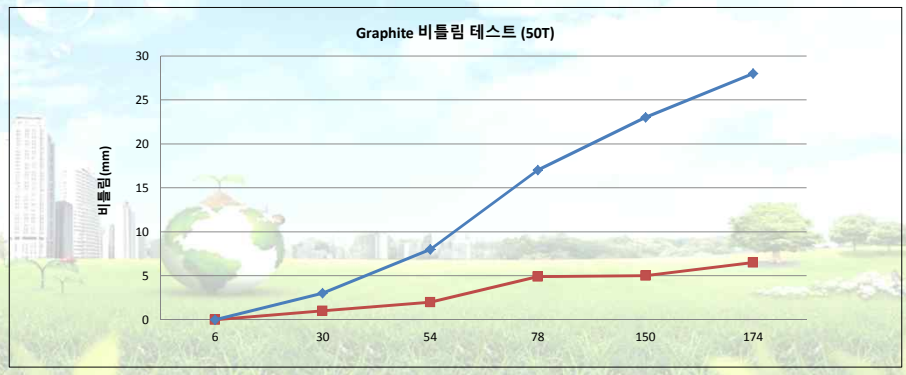
- CO_2 대체율 30%, Graphite 첨가율 5%에서 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수 등 KS M 3808 기준에는 만족하였으나, 장기내구성에서 비틀림현상 발생

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

Graphite[흑연]을 첨가한 단열재의 장기내구성 검토

측정일시	일자	07월 31일		08월 01일	08월 02일	08월 03일	08월 06일	08월 07일
	시간	9:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00
경과시간 (hr)		0	6	30	54	78	150	174
휨량(mm)	CO_2 대체 30%	0	0	1	2	4.9	5.0	6.5
	Graphite 5%	0	0	3	8	17	23	28
외부온도 (℃) - 3호기 옥상		30	36.5	37	37	39	39	37



2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

Graphite[흑연]을 첨가한 단열재의 장기내구성 검토







2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

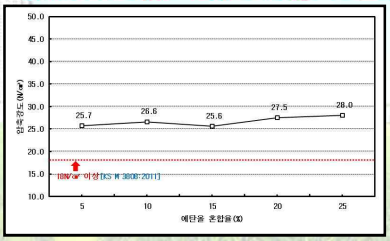
보조발포제 [에탄올] 혼합율에 따른 단열재의 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- 에탄올 혼합율 : 5, 10, 15, 20, 25%
- 실험항목 : 압축강도, 굴곡파괴하중, 열전도율(초기, 장기), 연소성, 투습계수
- 단열재 두께 : 50~75mm

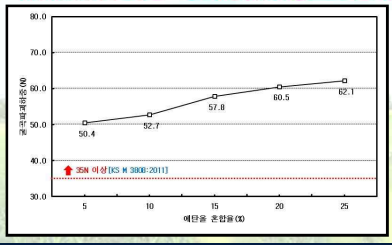
압축강도

- "KS M 3808 기준" 보다 29%이상으로 만족



굴곡파괴하중

- "KS M 3808 기준" 보다 31%이상으로 만족



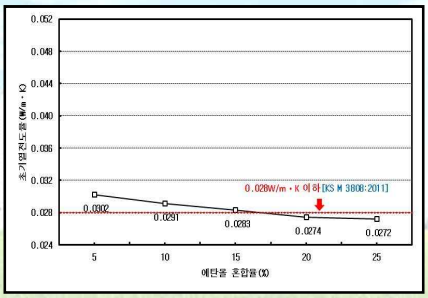
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

보조발포제 [에탄올] 혼합율에 따른 단열재의 성능평가

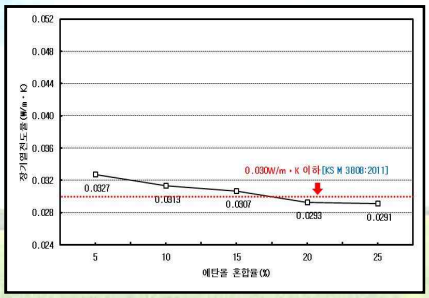
초기열전도율

- 에탄올 혼합율 증가 → 열전도율 감소
- 에탄올 혼합율 20%이상에서 "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

- 에탄올 혼합율 20%이상에서 "KS M 3808 기준" 만족



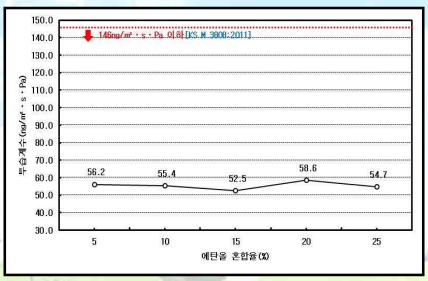
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

보조발포제 [에탄올] 혼합율에 따른 단열재의 성능평가

투습계수

- 64%이상으로 "KS M 3808 기준" 만족



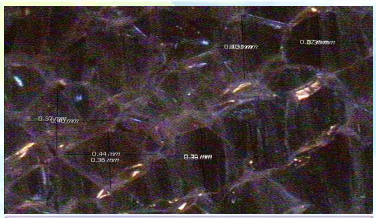
연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

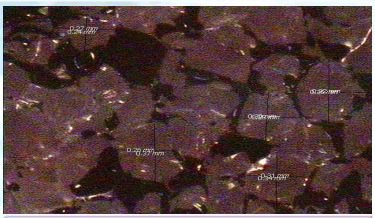
2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조 개선



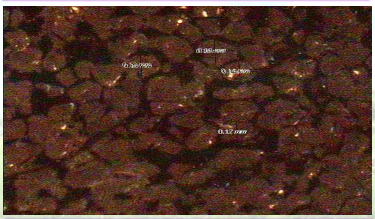
2차압출기압력 850psi



2차압출기압력 900psi



2차압출기압력 950psi



2차압출기압력 1,000psi

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

2차압출기 압력변화에 따른 Cell 구조 개선

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850, 900, 950,1,000psi, 온도 115℃]
- CO_2 대체율 : 30%
- 실험항목 : 열전도율(초기, 장기), ▪ 단열재 두께 : 50~75mm

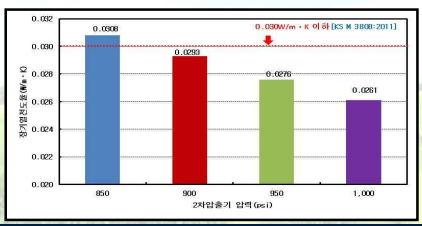
초기열전도율

▪ 2차압출기 압력증가 → 열전도율 감소, "KS M 3808 기준" 만족



장기열전도율

▪ 2차압출기 압력 900psi이상 에서 "KS M 3808 기준" 만족



2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

CO_2, 보조발포제, Cell 구조 개선기술 등을 적용한 단열성능 평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 950psi, 온도 115℃]
- 발포제 구성비율 : CO_2 대체율 + 보조발포제혼합율 + HCFC
  = 40+10%, 35+15%, 30+20%, 25+25% 등 4수준 + HCFC 50% 적용
- 단열재 두께 : 50~75mm

KS 규격 등 관련 규격개정 제안을 위한 공인시험기관 의뢰

시험항목	시험방법	비고
압축강도	KS M 3808	2013. 04 말 시험결과 예정
굴곡파괴하중	KS M 3808	
초기열전도율	KS M 3808	
장기열전도율	KS M 3808	
연소성	KS M 3808	
투습계수	KS M 3808	

2차년도 연구개발 결과

2차년도 연차실적

문제점 개선방안

주요공정 개선	Cell 구조 개선	CO_2 대체율	보조발포제 혼합율	Graphite
•발포시 재료의 혼합문제로 압출기 개선필요 •Die 폭조정으로 압력변화에 의한 단열성능 개선가능	•Cell size 평균 0.15mm에서 단열성능 우수 •2차압출기 900psi이상에서 초기, 장기 열전도 등 기준만족으로 단열성능 확보	•압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준 만족 •CO_2 대체율 35~50% 초기, 장기열전도율 기준초과	•보조발포제[에탄올] 혼합율 20%이상에서 기준만족으로 단열성능 확보	•Graphite 첨가에 따라 기준에는 만족하였으나, 장기내구성[비틀림 등] 문제발생

설비[압출기] 조정필요 / CO_2 대체율 조정필요 / 단열재료 조정필요

※ 재료적 한계로 압출기 등 주요공정 개선 요함[비용문제 발생]

"재료적인 한계에 직면"

※ 설비 등의 문제 요소로 재료적인 검토방안이 요구됨

CO_2 대체 30%에서 "설비[압출기]의 개선, 재료적인 한계 등" 의 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제 검토 요구

3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

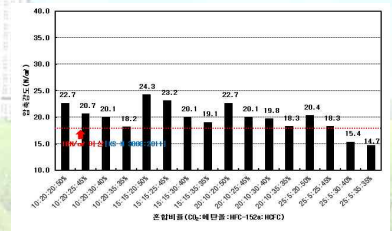
CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,400psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 750psi, 온도 115℃]
- 발포제 구성비율 : CO_2 혼합율(10, 15, 20, 25%) : 보조발포제혼합율(5, 10, 15, 20%) : 제2의보조발포제 혼합율(20, 25, 30, 35%) : HCFC(35, 40, 45, 50%) 등 16수준 적용
- 단열재 두께 : 50mm

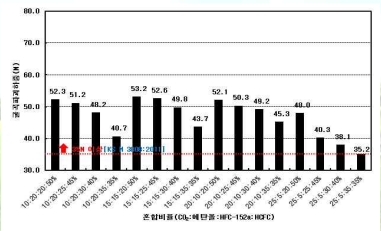
압축강도

- "KS M 3808 기준" 보다 1~26%로 만족



굴곡파괴하중

- "KS M 3808 기준" 보다 1~34%로 만족



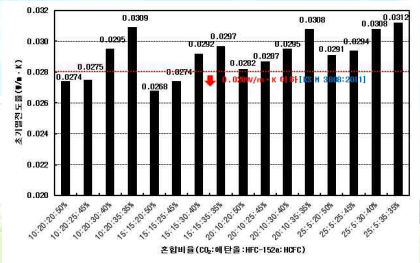
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

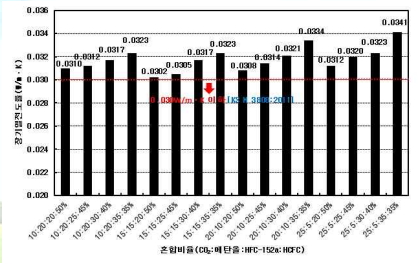
초기열전도율

- 혼합비율 10:20:20:50%, 10:20:25:45%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%에서 기준만족



장기열전도율

- 혼합비율에 따른 장기열전도율은 모든 수준에서 "KS M 3808 기준" 초과



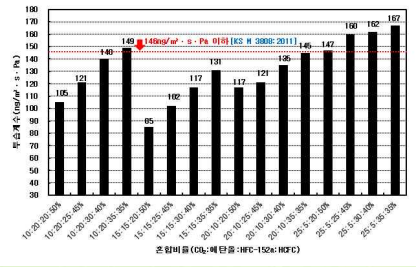
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

투습계수

- 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:20:50%, 25:5:25:45%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35% 에서 기준초과



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

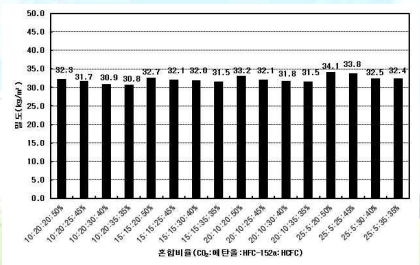
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

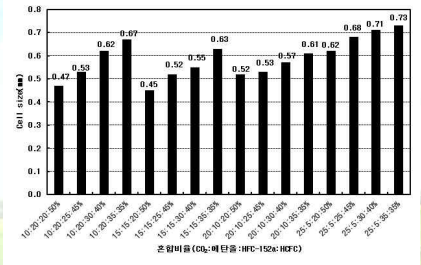
밀도

- 혼합비율 25:5:20:50%에서 가장 높게 나타났으며, 모든 수준에서 유사하게 나타남



Cell size

- 혼합비율 15:15:20:50%에서 Cell size가 가장 낮게 나타남



3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

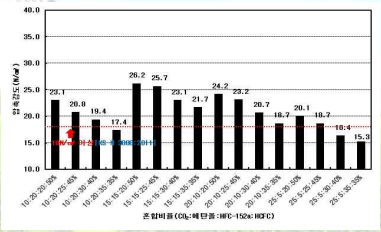
CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,500psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 850psi, 온도 115℃]
- 발포제 구성비율 : CO_2 혼합율(10, 15, 20, 25%) : 보조발포제혼합율(5, 10, 15, 20%) : 제2의보조발포제 혼합율(20, 25, 30, 35%) : HCFC(35, 40, 45, 50%) 등 16수준 적용
- 단열재 두께 : 50mm

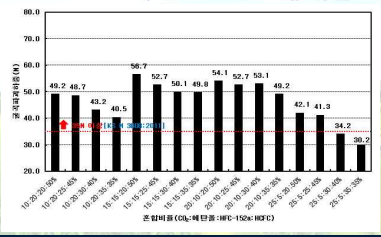
압축강도

- 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 기준초과



굴곡파괴하중

- "KS M 3808 기준" 보다 14~38%로 만족, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에 기준초과



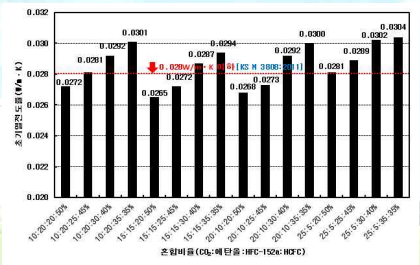
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

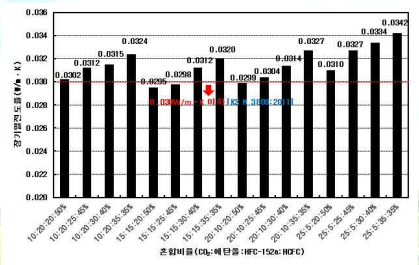
초기열전도율

- 혼합비율 10:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45% 에서 기준만족



장기열전도율

- 혼합비율에 따른 장기열전도율은 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%에서 기준만족



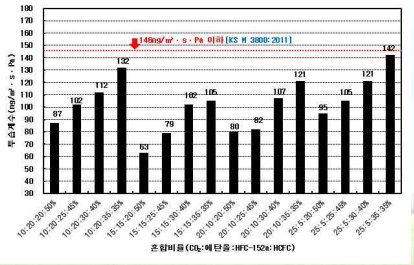
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

투습계수

- 혼합비율에 따른 투습계수는 모든 수준에서 "KS M 3808 기준" 보다 3~57%로 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

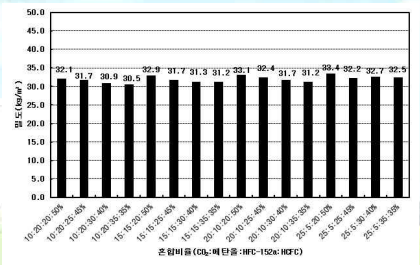
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

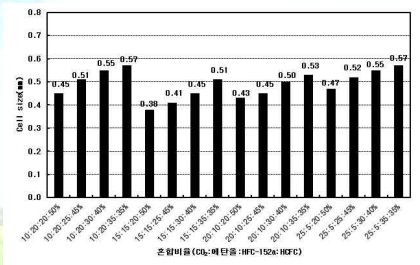
밀도

- 혼합비율 25:5:20:50%에서 가장 높게 나타났으며, 모든 수준에서 유사하게 나타남



Cell size

- 혼합비율 15:15:20:50%에서 Cell size가 가장 낮게 나타남



발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 [8]

3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

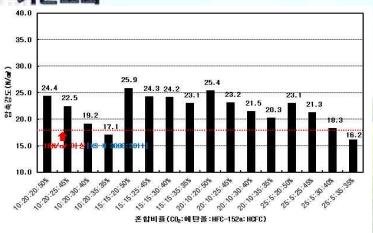
CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

실험인자

- 공정조건 : 1차 압출기 [압력 1,600psi, 온도 200℃], 2차 압출기 [압력 950psi, 온도 115℃]
- 발포제 구성비율 : CO_2 혼합율(10, 15, 20, 25%) : 보조발포제혼합율(5, 10, 15, 20%) : 제2의보조발포제 혼합율(20, 25, 30, 35%) : HCFC(35, 40, 45, 50%) 등 16수준 적용
- 단열재 두께 : 50mm

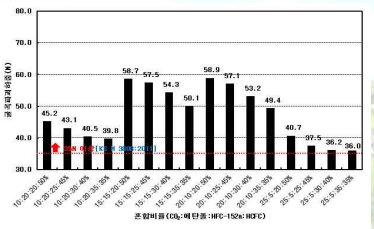
압축강도

- 혼합비율 10:20:35:35%, 25:5:35:35%에서 기준초과



굴곡파괴하중

- "KS M 3808 기준" 보다 3~41%로 만족



발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 [9]

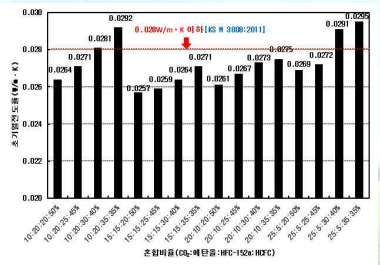
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

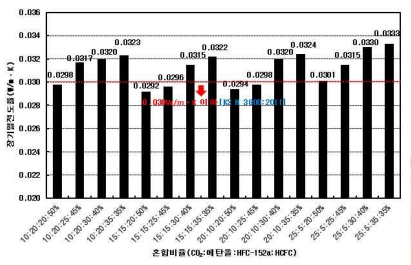
초기열전도율

- 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타남
- 혼합비율 10:20:30:40%, 10:20:35:35%, 25:5:30:40%, 25:5:35:35%에서 기준초과



장기열전도율

- 혼합비율에 따른 장기열전도율은 15:15:20:50%, 20:10:20:50%에서 가장 낮게 나타남
- 혼합비율 0:20:20:50%, 15:15:20:50%, 15:15:25:45%, 20:10:20:50%, 20:10:25:45%에서 "KS M 3808 기준" 초과



발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발 [10]

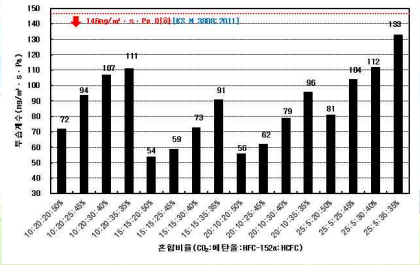
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

투습계수

- 혼합비율에 따른 투습계수는 모든 수준에서 "KS M 3808 기준" 보다 9~63%로 만족



연소성

- 연소시간 120초이내, 연소길이 60mm이하로 "KS M 3808 기준" 만족

CO_2 혼합율 (%)	보조 발포제 (에탄올) 혼합율 (%)	제2의 보조 발포제 (HFC 152a) 혼합율 (%)	HCFC 혼합율 (%)	연소성
10	20	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
15	15	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
20	10	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음
25	5	20	50	이상없음
		25	45	이상없음
		30	40	이상없음
		35	35	이상없음

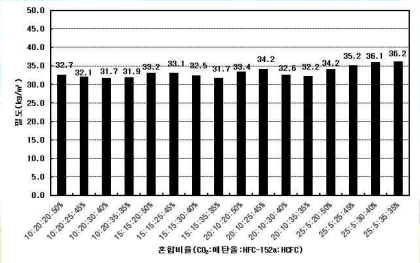
3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가

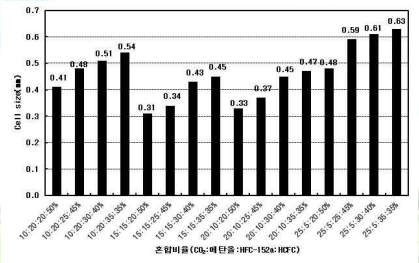
밀도

- 혼합비율 25:5:35:35%에서 가장 높게 나타났으며, 모든 수준에서 유사하게 나타남



Cell size

- 혼합비율 15:15:20:50%, 20:10:20:50에서 Cell size가 가장 낮게 나타남



3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용

현장 개요 및 시범적용

시범적용 현장명	위치	공사종류	단열공사위치	시범적용 면적(㎡)	시범적용일시
판교 알파돔시티 신축공사	경기도 성남시 분당구 백현동 531번지	신축	건물내부전체 (2층 바닥)	870	2014. 9. 11 ~2014. 9. 29
한국건설기술연구원 건설재료실험동(13동) 신축공사	경기도 고양시 일산서구 대화동 2311번지 내	신축	건물내부. 외부 (1층, 2층 벽체)	796	2014. 7. 22 ~ 2014. 9. 19




[시범현장 조감도]




[시범적용]

3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 활용 압출법 단열재 시범적용

시범적용 현장 모니터링 결과

[판교 알파돔시티 신축공사 현장]



No.	조사항목	확인결과	
1	균열 길이 및 폭	양호	총길이 1m 이하
2	접착부위 수직도	양호	± 5mm미만
3	오염정도	보통	변색오염 5㎡미만
4	국부 압축파손	양호	국부 압축파손 없음
5	모서리의 부분 파손	보통	4개소 미만
6	단열재 들뜸	양호	들뜸부위 없음
7	단열성능 저하 여부	양호	결로 없음

[한국건설기술연구원 건설재료실험동 신축공사 현장]



No.	조사항목	확인결과	
1	균열 길이 및 폭	양호	총길이 1m 이하
2	접착부위 수직도	양호	±5mm미만
3	오염정도	양호	오염 없음
4	국부 압축파손	양호	국부 압축파손 없음
5	모서리의 부분 파손	양호	파손부분 없음
6	단열재 들뜸	양호	들뜸부위 없음
7	단열성능 저하 여부	양호	결로 없음

3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 를 활용한 단열재의 실증화

국내 · 외 단열재 관련 품질기준 현황

- 품질기준은 4개 규격, 시험방법은 1개 규격임
- CO_2 사용 규정에 대한 규격은 일본 JIS A 9511 1개 규격이 있음

국가명	규격번호	규격명	CO_2 사용규정 여부	비고
한국	KS M 3808	발포폴리스티렌(PS)단열재	×	품질기준
일본	JIS A 9511	발포 플라스틱 단열재	○	품질기준
미국	ASTM C 578-06	폴리스티렌 단열재 표준규격	×	품질기준
유럽	EN 13164	건축용 단열재 압출 폴리스티렌 폼의 공장도 제품 사양	가능	품질기준
국제	ISO 11561	단열재의 경시변화-독립 기포 플라스틱 열저항의 장기 변동 측정 (실험실 가속 시험 방법)	×	시험방법 기준

3차년도 연구개발 결과

3차년도 연차실적

CO_2 를 활용한 단열재의 실증화

CO_2 활용을 위한 단열재 규격(안) 제안

- CO_2를 단열재의 발제로 활용을 위하여 KS M 3808 규격의 종류를 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 적용

현행	개정(안)
4. 종류 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다.	4. 종류 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다. **또한, 발포제는 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 구분한다.**

[별지 제3호서식] <개정 2009.11.20> (앞쪽)

산업표준 개정 신청서

처리기간
90일

신청인	① 성 명	이 태 식	② 생 년 월 일	1952년05월12일
	③ 기관명 또는 단 체 명	한국건설기술연구원	④ 전 화 번 호	031)910-0365
	⑤ 주 소	경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동 2311)		
⑥ 신청 품목 또는 신청서비스 분야		M-화학, 플라스틱·사진재료(M16)	⑦ 한국산업표준(KS) 번호	KS M 3808

「산업표준화법」 제6조제1항 및 같은 법 시행규칙 제3조에 따라 위와 같이 산업표준의 제정(개정·폐지)을 신청합니다.

2014년 09 월 일

신 청 인 이 태 식 (서명 또는 인)

기술표준원장 귀하

수수료
없 음

첨부서류

1. 한국산업표준안
2. 한국산업표준안에 대한 설명서

※ 단체인 경우에는 ①란 및 ②란에 대표자의 성명 및 생년월일(외국인은 외국인등록번호)를 각각 적습니다.

※ 행정기관인 경우에는 ①란 및 ②란을 적지 아니합니다.

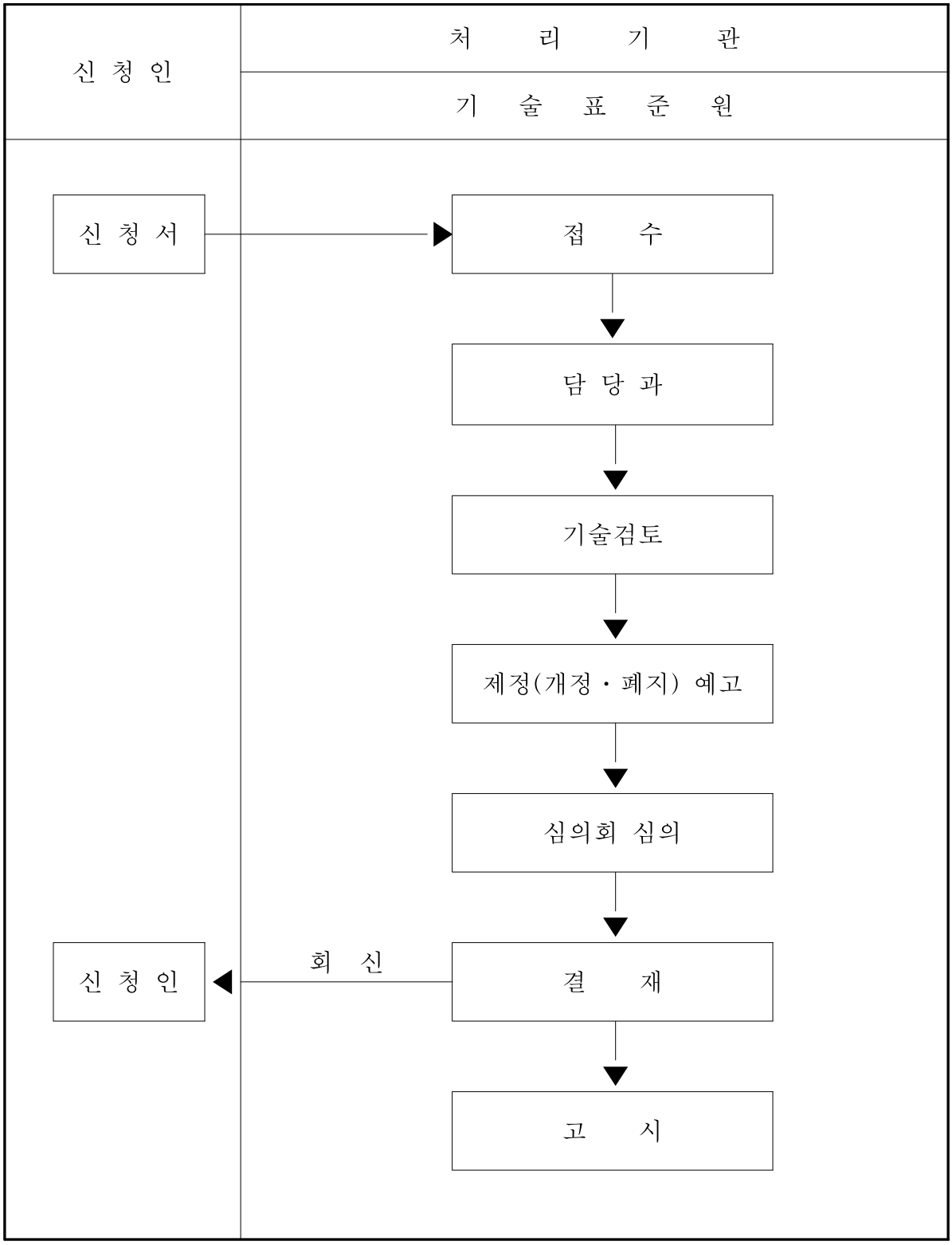
※ 개인인 경우에는 ③란을 적지 아니합니다.

※ 제정 신청인 경우에는 ⑦란을 적지 아니합니다.

210㎜×297㎜ [신문용지 54g/㎡(재활용품)]

이 신청서는 아래와 같이 처리됩니다.

(뒤쪽)



KS F 3808

KSKSKSKS
SKSKSKS
KSKSKS
SKSKS
KSKS
SKS
KS



발포 폴리스티렌(PS) 단열재(안)

KS M 3808:2014

산업통상자원부 기술표준원
2014년 00월 00일 개정
http://www.kats.go.kr

목 차

1 적용범위 1
2 인용표준 1
3 용어와정의 1
4 종류 2
4.1 비드법 1종 2
4.2 비드법 2종 2
4.3 압출법 2
5 품질 2
5.1 겉모양 2
5.2 특성 3
5.3 치수 4
6 시험 5
6.1 시험편의 상태 조절 및 시험 장소 5
6.2 시료 및 시험편 6
6.3 수치의 맺음법 6
6.4 겉모양 6
6.5 치수 6
6.6 밀도 6
6.7 열전도율 6
6.8 굴곡 강도 7
6.9 압축 강도 8
6.10 흡수량 9
6.11 연소성 9
7 검사 9
8 표시 10
8.1 종류 10
8.2 치수 10
8.3 밀도 10
8.4 제조 연월일 또는 그 약호 10
8.5 제조자명 또는 그 약호 10
부속서 A 투습 계수 시험 11
부속서 B 발포 폴리스티렌(PS) 방습판 14

한국산업표준

KS M 3808:2014

㉮ 발포 폴리스티렌(PS) 단열재(안)

Cellular polystyrene(PS) for thermal insulation

1 적용범위

이 표준은 사용온도 70 ℃ 이하의 조건에서 단열을 목적으로 폴리스티렌을 발포시켜 성형한 발포 폴리스티렌(PS) 단열판 및 단열통(이하 단열판 및 단열통이라 한다.)에 대하여 규정한다.

비고 결로 방지용 방습판 등으로 사용되는 두께 20 mm 미만인 발포 폴리스테렌(PS) 단열판 제품에 대해서는 **부속서** C에서 규정한다.

2 인용표준

다음의 인용표준은 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행 연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행 연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS D 3507, 배관용 탄소 강관
KS L 9016, 보온재의 열전도율 측정 방법
KS M ISO 844, 발포 플라스틱－경질 재료의 압축 시험
KS M ISO 1209－1, 경질 발포 플라스틱－굴곡 시험－제1부 : 굽힘 시험
KS M ISO 4898, 경질 발포 플라스틱－건축물 단열재－규격서
KS M ISO 9772, 발포 플라스틱－소형 화염에 의한 수평 연소성의 측정
KS Q 5002, 데이터의 통계적 해석 방법－제1부 : 데이터의 통계적 기술
KS T 1084, 포장용 실리카겔 건조제
KS T 1305, 방습 포장 재료의 투습도 시험방법

3 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

3.1
경시변화
시간에 따라 재료, 제품 또는 시스템의 물리적, 기계적, 열적 특성이 변하는 과정

3.2
초기 열전도율
생산된 지 7~28일이 지난 단열재의 동일 조건 등온면에 수직한 방향에서의 단위 온도차에 대해 단위 면적을 통과하는 열 흐름의 속도

3.3
열저항

단열재를 통해 열이 흐르기 어려운 정도를 나타내며, 열전도율의 역수와 단열재 두께의 곱

4 종류

종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다. 다만, 발포제는 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 구분한다.

표 1 – 발포 폴리스티렌 단열재의 종류

제조 방법	단열판	단열통
비드법 1종 비드법 2종	1호	1호
	2호	2호
	3호	3호
	4호	–
압출법	특호	–
	1호	–
	2호	–
	3호	–

4.1 비드법 1종

비드법 1종은 구슬 모양 원료를 미리 가열하여 1차 발포시키고 이것을 적당한 시간 숙성시킨 후, 판 모양 또는 통 모양의 금형에 채우고 다시 가열하여 2차 발포에 의해 융착·성형한 제품

4.2 비드법 2종

비드법 2종은 비드법 1종의 제조 방법과 유사하나 첨가제 등에 의하여 개질된 폴리스티렌 원료를 사용하여 발포·성형한 제품

4.3 압출법

압출법은 원료를 가열·용융하여 연속적으로 압축·발포시켜 성형한 제품

5 품질

5.1 겉모양

겉모양은 **6.**에 규정하는 시험을 하여 다음 규정에 적합하여야 한다.

5.1.1 비드법

제품은 표면의 입자 사이가 견고하게 융착되고 평평한 면을 형성하며, 또 제품을 쪼개어 갈라진 면을 보았을 때 되도록 입자가 2개로 갈라지고 작은 입자의 접착 면이 직접 눈에 보이지 않는 것으로 한다.

5.1.2 압출법

제품은 균일한 다수의 미세한 독립 기포로 구성되며, 표면은 평평한 면을 형성하고 있는 것으로 한다.

5.2 특성

특성은 **6.**에 규정하는 시험을 하여 **표** 2, **표** 3 및 **표** 4의 규정에 적합하여야 한다.

5.2.1 비드법

단열판 및 단열통의 특성은 **표** 2 및 **표** 3과 같다.

표 2 – 비드법 단열판의 특성

종류		밀도 (kg/m^3)	초기 열전도율 [평균 온도 (23±2) ℃] (W/m・K)		굴곡파괴 하중 (N)	압축 강도 (N/cm^2)	흡수량 ($g/100\ cm^2$)	연소성	(참고) 투습 계수 (두께 25mm당) ($ng/m^2・s・Pa$)
			비드법 1종	비드법 2종					
단열판	1호	30 이상	0.036 이하	0.031 이하	35 이상	16 이상	1.0 이하	연소시간 120초 이내이며, 연소길이 60 mm 이하 일 것	146 이하
	2호	25 이상	0.037 이하	0.032 이하	30 이상	12 이상			208 이하
	3호	20 이상	0.040 이하	0.033 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

표 3 – 비드법 단열통의 특성

종류		밀도 (kg/m^3)	초기 열전도율 [평균 온도 (23±2) ℃] (W/m・K)		굴곡파괴 하중 (N)	압축 강도 (N/cm^2)	흡수량 ($g/100\ cm^2$)	연소성	(참고) 투습 계수 (두께 25mm당) ($ng/m^2・s・Pa$)
			비드법 1종	비드법 2종					
단열통	1호	35 이상	0.036 이하	0.031 이하	30 이상	-	두께 30mm 미만은 2.0 이하 두께 30mm 이상은 1.0 이하	연소시간 120초 이내이며, 연소길이 60 mm 이하 일 것	-
	2호	30 이상	0.036 이하	0.032 이하	25 이상				
	3호	25 이상	0.037 이하	0.033 이하	20 이상				

5.2.2 압출법

단열판의 특성은 **표** 4와 같다.

표 4 – 압출법 단열판의 특성

종류		열전도율 [평균 온도 (23±2) ℃] (W/m・K)		굴곡파괴 하중 (N)	압축 강도 (N/cm^2)	연소성	(참고) 투습 계수 (두께 25mm당) ($ng/m^2・s・Pa$)
		초기 열전도율	장기 열전도율				
단열판	특호	0.027 이하	0.029 이하	45 이상	25 이상	연소시간 120초 이내이며, 연소길이 60 mm 이하 일 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		

5.3 치수

치수는 **6.**에 규정하는 시험을 하여 **표** 5~6의 규정에 적합하여야 한다.

5.3.1 비드법 및 압출법 단열판의 치수는 **표** 5와 같다.

표 5 – 단열판의 치수

단위:mm

구분	두께	두께 허용차	길이 × 너비	길이 및 너비 허용차	
비드법 1종 비드법 2종	50 미만	±2	900 × 600 1 200 × 600 1 800 × 900 2 400 × 900 2 400 × 1 200	길이 1 000 미만	±3
				길이 1 000 이상	±4
	50 이상 100 이하	±3		길이 2 000 이상	±5
				너비 1 000 미만	±3
압출법			900 × 600 1 200 × 600 1 800 × 900 2 400 × 900	길이 1 000 미만	±10 0
				길이 1 000 이상	±15 0
	100 초과	협의에 따름		길이 2 000 이상	±20 0
				너비 1 000 미만	±10 0
비고 1 주문품의 두께, 길이 및 너비는 인수・인도 당사자 사이의 협의에 따라 정하여도 좋다. **비고** 2 판의 각 면의 상호는 직각으로 구성되어 있는 것으로 한다.					

5.3.2 비드법 단열통의 치수는 **표** 6과 같다. 또한 길이에는 파진 부분이나 돌출부의 한 끝을 포함한다.

표 6 – 비드법 단열통 치수

단위 : mm

통의 호칭 방법[a]			관의 안지름	관의 안지름 허용차	두께	두께 허용차	길이	길이 허용차
A	B	-						
15	1/2	-	21.70	+2.0 0	20 25 30 40 50 65	단층인 경우 +2 -1.5 2층인 경우 +3 -2	605 910 1 000	+10 -5
20	3/4	-	27.20					
25	1	-	34.00					
32	1 1/4	-	42.70					
40	1 1/2	-	48.60					
50	2	-	60.50		20 25 30 40 50 65 75 00 00			
65	2 1/2	-	76.30					
80	3	-	89.10					
100	4	-	114.30		20 25 30 40 50 65 75 100			
125	5	-	139.80					
150	6	-	165.20					
200	8	-	216.30	+3.0 0				
250	10	-	267.40					
300	12	-	318.50					
-		9.52	9.52	+2.0 0	20 25			
		12.70	12.70		20 25 30 40 50 00			
		15.88	15.88					
		19.05	19.05		20 25 30 40 50 75			
		22.22	22.22					
		25.40	25.40					
		28.58	28.58					
-		31.80	31.80					
		34.92	34.92		30 40 50 75			
		38.10	38.10					
		41.28	41.28					
		45.00	45.00					
		50.80	50.80					

[a] 통의 호칭 방법은 KS D 3507의 호칭 방법에 따르고 있다. 또한 표시가 없는 호칭 방법은 시공 대상이 강관 및 그 밖의 관에 사용하면 그 바깥지름과 일치한다.

6 시험

6.1 시험편의 상태 조절 및 시험 장소

시험편의 상태 조절 및 시험 장소는 다음과 같다.

6.1.1 시험 장소는 온도 (23±2) ℃, 상대습도 (50±10) %로 유지한다.

6.1.2 시험편은 원칙적으로 시험 전에 **6.1.1**의 온도 및 상대습도로 24시간 이상 유지한다.

6.2 시료 및 시험편

시료는 원칙적으로 제조 후 24시간 이상 경과한 제품에서 취하고 시험편을 시료에서 직접 잘라내며, 그것이 불가능한 경우는 제품과 동일 조건으로 제조한 시료에서 잘라낸다.

6.3 수치의 맺음법

수치의 맺음법은 KS Q 5002에 따른다.

6.4 겉모양

표면 및 쪼갠 면의 상태를 육안으로 조사한다.

6.5 치수

치수는 다음과 같이 측정한다.

6.5.1 두께, 길이, 너비, 안지름 및 바깥지름은 각각 3곳을 측정하여 그 평균값을 취한다.

6.5.2 두께, 너비, 안지름 및 바깥지름은 0.5 mm의 정밀도로, 길이는 1 mm의 정밀도로 측정한다.

6.6 밀도

밀도는 다음과 같이 측정한다.

6.6.1 단열판은 시료의 두께 그대로 하고, 시료에서 약 200 mm×200 mm의 시험편을 중앙부에서 1개, 임의의 곳에서 2개 잘라내어 (70±5) ℃에서 건조하여 항량이 된 후, 무게(*W*)와 부피(*V*)를 구하여 밀도를 다음 식으로 계산하고 3개의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{밀도}(\text{kg/m}^3) = \frac{W}{V}$$

또한 부피를 구할 경우 두께, 길이 및 너비는 각각 3곳을 측정하여 그 평균값을 취한다. 치수는 0.5 mm, 무게는 0.1 g의 정밀도로 측정한다.

6.6.2 단열통은 시료 그대로 또는 시료에서 되도록 큰 직육면체 시험편을 잘라내고 (70±5) ℃에서 건조하여 항량이 된 후 무게(*W*)와 부피(*V*)를 구하여 밀도를 다음 식으로 계산한다.

$$\text{밀도}(\text{kg/m}^3) = \frac{W}{V}$$

또한 부피를 구할 경우 반지름, 두께, 길이 및 너비는 각각 3곳을 측정하여 그 평균값을 취한다. 치수는 0.5 mm, 무게는 0.1 g의 정밀도로 측정한다.

6.7 열전도율

열전도율은 다음과 같이 측정하거나 계산한다.

6.7.1 초기 열전도율

KS L 9016에 규정하는 시험방법에 따라 생산된 지 7~28일이 지난 단열재로 평균 온도 (23±2) ℃에서 시험하여 측정한다.

6.8 굴곡 강도

굴곡 강도는 다음과 같이 측정한다.

6.8.1 단열판은 KS M ISO 1209－1에 따라 시험하되 시험편의 크기, 지지 간격, 굴곡 속도는 KS M ISO 4898의 굴곡 시험방법에 따르고, 이때 시험편은 스킨층이 있게 준비하며 스킨층에 가압봉이 닿도록 시험한다. 시험의 결과는 파괴하중(N)으로 한다.

6.8.2 단열통은 **그림** 1과 같은 단열통의 굴곡 시험 장치를 사용하며, 중앙부의 가압 부분은 너비 (25±1) mm의 시트모양 가압부로 하고 지지대 앞끝 부분의 반지름(*R*)이 (10±0.2) mm이며, 시험편의 너비보다도 충분히 크고 서로 평행한 구조로 한다. 지점 간 거리는 (400±1) mm로 한다.

시험편은 시료에서 길이 500 mm의 반원통 시험편을 3개 잘라내고 반원통의 안쪽 반지름과 바깥쪽 반지름은 양 끝에서 각각 3곳을 측정하여 그 평균값을 취한다.

단위 : mm

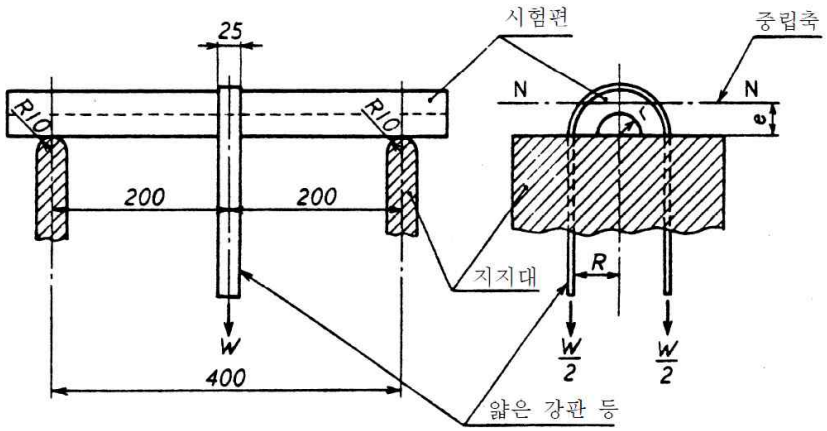


그림 4 - 단열통의 굴곡 시험 장치

측정은 시험편을 지지대 위에 놓고 지점 간 거리 중앙부에 인장 하중 속도 (10～30) mm/min으로 하중을 가하여 최대 하중(*W*)을 측정한다. 하중은 1 N의 정밀도로 측정한다.

또한 **6.8.1**의 시험편으로 잘라낼 수 있는 경우에는 판 모양으로 시험하여도 좋다. 통의 맞춤 부분이 평면이 아닌 경우는 1쌍의 반원통 시험편 각각에 대하여 시험하고 그 평균값을 취한다.

굴곡 강도를 다음 식에 따라 구하여 3개의 평균값으로 나타낸다.

$$\text{굴곡 강도}(\text{N/cm}^2) = \frac{We}{4l}$$

$$e = \frac{4(R^2 + Rr + r^2)}{3\pi(R + r)}$$

$$I = 0.109\ 8(R^4 - r^4) - \frac{0.283R^2r^2(R-r)}{R+r}$$

여기에서

W : 최대 하중(N)
l : 지점 간 거리(cm)
e : 중립축 NN에서 시험편 단면 아래끝까지의 거리(cm)
I : 단면 2차 모멘트(cm^4)
R : 반원통 시험편의 바깥쪽 반지름(cm)
r : 반원통 시험편의 안쪽 반지름(cm)

6.9 압축 강도

압축 강도는 다음과 같이 측정한다.

6.9.1 표준 시험편은 직육면체로 하고, 시료로부터 밑면의 한 변의 길이가 (100±1) mm 또는 (50±1) mm로 하여 두께 (50±1) mm인 것을 3개 잘라낸다. 표준 시험편 이외의 시험편의 모양 및 치수는 그 밑면의 면적이 (25～230) cm^2인 정사각형 또는 원형으로 하고, 두께는 밑면의 한 변의 길이 이하 또는 원의 지름 치수 이하로 한다.

이때 성형 스킨이 있는 시험편 및 시험편의 두께가 얇을 때는 시료 두께 그대로 한다. 시험편 윗면과 아랫면의 평행도는 두께의 1 % 이내가 되도록 한다.

6.9.2 시험방법 및 계산은 KS M ISO 844에 규정하는 방법에 따른다. 하중은 항복 변형에서의 하중으로 하고 규정 변형 0.1까지 항복점이 없는 경우에는 규정 변형 0.1에서의 하중으로 한다. 다만, 시험 속도는 시험편 두께의 10 % mm/min으로 한다.

6.10 흡수량

흡수량은 다음과 같이 측정한다.

6.10.1 단열판은 시료에서 두께 (25±1) mm, 길이 (100±1) mm, 너비 (100±1) mm인 시험편을 3개 잘라낸다. 성형 스킨이 있는 시험편 및 두께가 25 mm가 되지 않는 것은 시료 두께로 한다. 단열통은 시료의 두께 40 mm 이상인 것은 시료에서 두께 (25±1) mm, 길이 (100±1) mm, 너비 (50±1) mm, 시료의 두께 40 mm 미만인 것은 시료 두께 그대로, 길이 (50±1) mm의 시험편을 3개 잘라내어 치수를 측정한다.

6.10.2 시험편을 (23±3) ℃의 맑은 물이 들어 있는 용기의 수면 아래 50 mm에 담근다. 이어서 10초 후에 시험편을 꺼내어 수직으로부터 30° 기울인 체눈 간격이 3 mm인 철망에 얹어 30초간 방치한 후 무게를 0.01 g의 정밀도로 측정하고 이것을 기준 무게로 한다. 다음에 다시 맑은 물에 담가 24시간 흡수시킨 후 기준 무게를 측정할 때와 같은 방법으로 무게를 측정한다.

성형 스킨이 있는 시료에 물이 묻는 영향을 적게 하기 위하여 24시간 흡수시키는 조작 전후에서 표면 수분을 거즈 등으로 닦아 내고, 에틸알코올 속에 10초간 담그고 다시 표면을 거즈 등으로 닦아 내어 60분간 방치한 후 무게를 측정한 값을 기준 무게 및 최종 흡수 후의 무게로 하여도 좋다. 흡수량은 다음 식으로 구한다.

$$\text{흡수량}(g/100\ cm^2) = \frac{B-C}{\text{표면적}} \times 100$$

여기에서

B : 최종 흡수 후의 무게(g)
C : 기준 무게(g)

6.11 연소성

연소성은 다음과 같이 측정한다.

6.11.1 연소성의 시험은 KS M ISO 9772에 규정하는 방법에 따른다. 시료에서 두께 약 13 mm, 길이 약 150 mm, 너비 약 50 mm의 시험편 5개를 잘라낸다. 단, 시료 두께가 13 mm 미만인 경우는 시료 두께를 그대로 사용한다. 시험편에 불꽃을 대고 나서 시험편의 불이 꺼질 때까지의 시간을 연소시간(초)으로 하고, 불이 꺼진 후 시험편의 탄 부분 중 가장 긴 부분의 길이를 연소길이(mm)로 한다.

7 검사

검사는 품질에 대하여 **6.**에 규정하는 시험을 하여 **5.**의 규정에 적합하여야 한다. 다만, 검사는 합리적인 샘플링 방식에 따라 하여도 좋다.

8 표시

제품 또는 포장에는 다음 사항을 표시하여야 한다.

8.1 종류

보기 1 비드법 1종 단열판 4호
보기 2 비드법 2종 단열통 1호
보기 3 압출법 단열판 1호

8.2 치수[1)]

8.3 밀도[2)]

8.4 제조 연월일 또는 그 약호

8.5 제조자명 또는 그 약호

1) 단열통은 통의 안지름 대신에 통의 호칭 방법으로 바꾸어도 좋다.
2) 압출법 단열판에 대해서는 제조자가 제시하는 참고값이다.

부속서 A
(참고)

투습 계수 시험

A.1 시험편

시험편의 지름 65 mm 이상, 두께 (25±0.1) mm의 원통 모양으로 3개를 시험에 사용한다. 다만, 그 밖의 적당한 시험 장치가 있을 때는 이 치수·모양에 따르지 않아도 좋지만, 수증기의 통과 면적은 32 cm^2 이상, 두께는 20 mm 이상, 100 mm 이하로 한다. 시험편의 치수는 0.1 mm의 정밀도로 측정하고 수증기의 통과 면적은 0.05 cm^2까지 산출한다.

A.2 시험 절차

시험편에 힘을 주면서 밀어 넣을 수 있는 정도의 비커 등을 준비하고 그림 A.1과 같이 그 밑바닥에 건조한 독립 기포 플라스틱 발포체를 놓고 그 위에 KS T 1305에 규정하는 무수염화칼슘 또는 KS T 1084에 규정하는 실리카겔 건조제 A형 1종을 200 ℃로 가열하고 활성화시킨 것을 넣는다.

다음에 시험편을 밀어 넣고 주위를 KS T 1305에 규정하는 밀봉재로 밀봉하든가 또는 그림 A.2와 같은 특수 용기를 사용하여 시험편 주위를 밀봉한다.

밀봉한 비커 등 또는 특수 용기를 온도 (23±2) ℃, 상대습도 (50±2) %의 실내 또는 항온 항습조 내에 놓고 적당한 시간 간격으로 무게의 증가를 측정한다.

시험은 시간과 무게 증가의 관계가 직선 관계로 될 때까지 계속한다.

비고 시험방법의 자세한 것은 KS T 1305의 **6.**(조작)의 a)~j)를 참조하는 것이 좋다.

A.3 계산

시간과 무게 증가의 관계가 직선 관계로 된 측정값을 사용하고 투습 계수는 다음 식에 따라 구한다.

$$P_{wv} = \frac{W_2 - W_1}{(T_2 - T_{1)}A} \cdot \frac{1}{(p_2 - p_1)} \cdot \frac{h}{25}$$

여기에서

P_{wv} : 두께 25 mm당 투습 계수(ng/m^2·s·Pa)
W_1, W_2 : 시간 T_1, T_2에서의 무게(ng)
T_1, T_2 : 무게 W_1, W_2에 대응하는 시간(s)
A : 시험편의 수증기 통과 면적(m^2)
p_1 : 비커 등 내부의 수증기압(=0.0 Pa)
p_2 : 실내 또는 항온 항습조의 수증기압(=1 404.4 Pa)
h : 시험편 두께(mm)

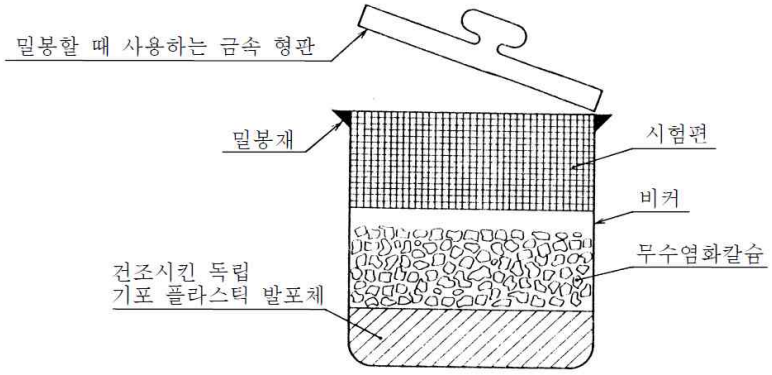

밀봉할 때 사용하는 금속 형판
밀봉재
시험편
비커
무수염화칼슘
건조시킨 독립
기포 플라스틱 발포체

그림 A.1

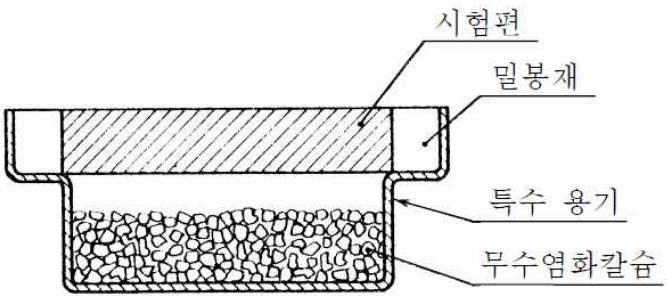

시험편
밀봉재
특수 용기
무수염화칼슘

그림 A.2

부속서 B

발포 폴리스티렌(PS) 방습판

B.1 적용범위

이 표준은 사용온도 70 ℃ 이하의 조건에서 결로 방지를 목적으로 폴리스티렌(PS)을 발포 성형한 발포 폴리스티렌 방습판에 대하여 규정한다.

B.2 인용표준

다음의 인용표준은 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행 연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행 연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS L 9016, 보온재의 열전도율 측정 방법
KS M ISO 844, 발포 플라스틱－경질 재료의 압축 시험
KS M ISO 9772, 발포 플라스틱－소형 화염에 의한 수평연소성의 측정
KS Q 5002, 데이터의 통계적 해석 방법－제1부 : 데이터의 통계적 기술

B.3 종류

종류는 품질에 따라 1호와 2호 두 종류로 구분한다.

B.4 제조방법

방습판은 발포 폴리스티렌 단열판을 절단하여 성형한 제품이다.

B.5 품질

B.5.1 겉모양

겉모양은 균일한 다수의 미세한 독립기포로 구성되며, 절단한 표면은 평평한 면을 형성하고 있는 것으로 한다.

B.5.2 특성

특성은 **B.6**에 규정하는 시험을 하여 **표** C.1의 규정에 적합하여야 한다.

표 B.1 - 방습판의 특성

종류		밀도 (kg/m^3)	열전도율 [평균 온도 (23±2)℃] (W/m・K)	압축강도 (N/cm^2)	연소성
방습판	1호	30 이상	0.031 이하	12 이상	연소시간 120초 이내이며, 연소길이 60mm 이하일 것
	2호	25 이상	0.033 이하	7 이상	

B.5.3 치수

치수는 본체 **6.**의 시험을 실시하여 표 B.2의 규정에 적합하여야 한다.

표 B.2 – 방습판의 치수

단위:mm

두께	두께 허용차	길이×너비	길이 및 너비의 허용차	
10 15 20	+2.0 -1.0	900 × 300 1 800 × 300 1 800 × 450 1 800 × 900 2 400 × 900	길이 1 000 미만	+10 0
			길이 1 000 이상	+15 0
			길이 2 000 이상	+20 0
			너비 450 미만	+5 0
			너비 1 000 미만	+10 0

B.6 시험

시험은 본체 **6.**에 따라 실시한다.

B.7 검사

검사는 **B.6**에 규정하는 시험을 실시하여 **B.5**의 규정에 적합하여야 한다. 다만, 검사는 합리적인 샘플링 방식에 따라 실시하여도 좋다.

B.8 표시

제품 또는 포장에는 다음 사항을 표시하여야 한다.

a) 종류
   보기 1 방습판 1호
   보기 2 방습판 2호
b) 치수
c) 제조 연월일 또는 그 약호
d) 제조자명 또는 그 약호

KS M 3808 “발포 폴리스티렌(PS) 단열재” 개정(안) 설명서

❑ 개정 배경 및 필요성

ㅇ 몬트리올의정서 근거에 의한 환경규제대상인 수소염화불화탄소(HCFC : hydro chloro fluoro carbon)는 발포제 원료로써 성층권에 존재하는 오존층(ozone layer) 파괴물질이며, 국내의 경우 2013년부터 연차적으로 사용제한 되며 2030년까지 사용 금지됨.

※ 국내의 경우, 압출법 단열재의 발포를 위하여 HCFC(수소염화불화탄소)를 혼합 사용되고 있는 실정이며, GWP(온난화지수)가 CO_2 대비 1,700~2,400배로 매우 높음.

ㅇ 도쿄의정서에 근거한 지구온난화에도 HCFC류는 높은 수치를 보여 탄소저감형 건축재료에 취약 규제대상이며, 앞선 규제를 받은 유럽, 일본 등 발포제 대체 원료(이산화탄소, 탄화수소류 등)를 성공적으로 개발하여 시장 형성을 이룸.

※ 기존 발포제는 90%이상 수입, 고가이며, 발포제 대체재료인 CO_2는 발전소나 제철소에서 생성되는 부산물로써 가격은 기존 HCFC 대비 1/20 이하 수준으로 경제성이 높음.

❑ 개정사유

ㅇ “KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재” 경우에는 종류(제조방법 등)와 품질(물리적 성질, 겉모양, 치수 등)에 대한 관리규정만으로 한정.

ㅇ “KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재” 규격은 단열재의 종류 중 발포제 원료에 대한 관리가 없어, 환경규제 대상인 원료가 무분별하게 사용될 수 있음.

※ 발포제의 단계적 사용규제로 인해 “프레온류를 발포제로 사용한 것”과 “프레온류를 발포제로 사용하지 않은 것”으로 구분하여 명확하게 관리하는 것이 추가 필요함.

❑ **규격 개정 사항**

개정 전	개정 후	비고
4. 종 류 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다.	**4. 종 류** 종류는 제조 방법 및 품질에 따라 표 1과 같이 구분하며, 단열통은 길이 방향으로 분할하여도 좋다. **다만, 발포제는 A타입(탄화수소, 이산화탄소 등을 발포제로 사용하여 프레온류를 사용하지 않은 것)과 B타입(프레온류를 발포제로 사용하는 것)으로 구분한다.**	단계적 환경규제에 따른 발포제 원료 관리 기준의 명확화

1. 연구수행에 따른 문제점 및 개선방향

문제점	개선방향
▪ Graphite(흑연) 첨가에 따라 기준에는 만족하였으나, 장기내구성[비틀림 등]에서 문제가 발생.	▪ 단열재의 발포제 재료 조정이 필요
▪ CO_2 대체율 50%까지 단열재 성능평가 결과, 밀도증가, 열전도율증가, 표면불안정, 두께감소 등의 문제 발생으로 압출기 설비보완이 요구됨. 이에 3차년도 연구계획인 CO_2 대체율 100%까지는 적용하기 어려운 실정임.	▪ 압출기의 교체가 필요하나, 비용문제(50~70억 소요)가 발생. 이를 개선하기 위해 단열재 품질이 안정적으로 도출된 CO_2 대체율 30%로 적용하고 제2의 추가발포제 등 재료적인 검토가 요구됨.

2. 중요 연구 변경 사항

구 분	계 획	변경내역	변경사유
연구목표변경	▪ 친환경발포제 사용한 온도, 압력 Control flow 최적화 및 실용화 ▪ 친환경발포제를 100% 사용 단열성 현재 성능 이상 ▪ 친환경 고성능단열재 사용 정책제안 : 규격 제개정(친환경발포제 사용의무화)	▪ CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 온도, 압력 Control flow 최적화 ▪ CO_2 및 제2의 보조발포제를 사용한 단열재의 성능평가 ▪ 친환경 고성능단열재 활용을 위한 관련규격 개정 제안	▪ 재료적인 한계의 직면으로 압출기 등의 주요공정 개선이 필요하나, 비용문제가 발생하여 CO_2 대체 30%에서 “설비[압출기]의 개선, 재료적인 한계 등”의 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제 검토가 요구됨

제10절 연구결과에 따른 문제점 개선방안

CO_2 대체율이 증가함에 따라 압축강도, 굴곡파괴하중, 초기열도율, 투습계수, 연소성 등 KS M 3808 기준에 만족하였으나, CO_2 대체율 35~50% 초기·장기 열전도율은 기준을 초과하여 최적의 CO_2 대체율 선정이 필요하다.

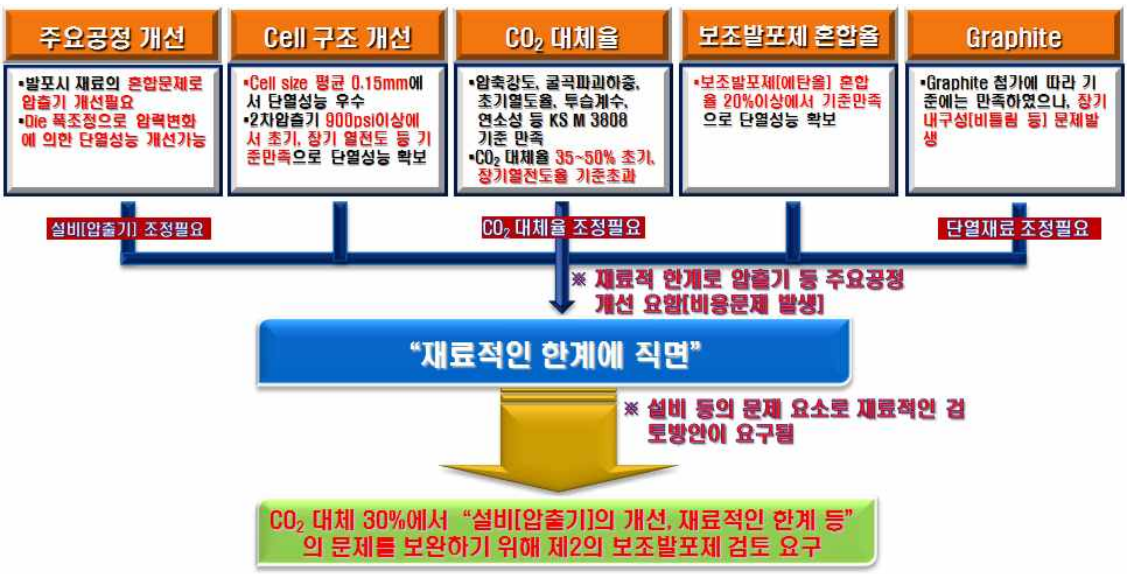
Graphite(흑연) 첨가에 따라 기준에는 만족하였으나, 장기내구성[비틀림 등]에서 문제가 발생하여 단열재의 발포제 재료 조정이 필요하다.

Cell 구조개선은 Cell size 평균 0.15mm에서 단열성능 우수하였으며, 2차압출기 900psi이상에서 초기·장기 열전도율 등 기준만족으로 단열성능이 확보된 것으로 판단된다.

보조발포제(에탄올) 혼합율은 20%이상에서 기준에 만족하였으며, 단열성능을 확보한 것으로 판단된다.

주요공정개선은 발포시 재료의 혼합문제로 압출기 개선이 필요하며, Die 폭조정으로 압력변화에 의한 단열성능 개선이 가능하다.

재료적인 한계의 직면으로 압출기 등의 주요공정 개선이 필요하나, 비용문제가 발생하여 CO_2 대체 30%에서"설비(압출기)의 개선, 재료적인 한계 등"의 문제를 보완하기 위해 제2의 보조발포제 검토가 요구된다.



[그림 2.61] 연구결과에 따른 문제점 개선방안

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 국토교통과학기술진흥원 TEL 031)381-6311

: (주) 벽 산 TEL 031)354-2391

R&D / 11첨단도시C08

발포대체 가스의 CO_2 활용 고성능단열재 생산기술 개발

■ 발행일 / 2014. 09. 29.
■ 발행처 / (주) 벽 산
경기도 화성시 정남면 여의동길 90-39
TEL : 031-354-2391(대)
■ 인쇄처 / 알파문구 정남점