

RS-2021-
IP321045

(과제명)
식품
포장
소재
의
원천
감량
을
위한
경량
화
기술
개발

최
종
보
고
서

2023

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)

고부가가치 식품기술개발사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11- 1543000- 004625- 01

(과제명)식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발

2024년 6월 12일

주관연구기관 / 케미코첨단소재(주)
공동연구기관 / 고려대학교 산학협력단
에이스팩(주)

농 립 축 산 식 품 부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발 ”

(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023. 12.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

납본일자 2024. 06. 12.

주관연구기관명 : 케미코첨단소재(주) 대표 김효식 (인)



공동연구기관명 : 고려대학교 산학협력단 단장 권정환 (인)



에이스팩(주) 대표 류재영 (인)



참여기관명 : 한국생산기술연구원 원장 이낙규 (인)



주관연구책임자 : 김효식 (인)

김효식

공동연구책임자 : 김정민 (인)

Kim

현세순 (인)

현

참여기관책임자 : 강동호 (인)

강동호

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

최종보고서										보안등급	
										일반[O],보안[]	
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명		사업명			고부가가치식품기술개발 사업	
전문기관명		농림식품기술기획평가원					내역사업명 (해당 시 작성)			차세대 식품가공 기술개발	
공고번호		농축2021-19호 농축2021-66 (재공고)			총괄연구개발 식별번호			321044-3			
					연구개발과제번호			321045-3			
기술 분류	국가과학기술 표준분류		LB1705 (식품저장/유통/포장)		40%	EB0310		30%	EH1406		30%
	농림식품과학기술분류		PA0104 (식품저장유통)		40%	RC0404 (식품포장기계시스템)		30%	CA0199 (기타농생명신소재시스템)		30%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문		식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발							
		영문		Development of material reduction technology to minimize the use of food packaging materials							
주관연구개발기관		기관명		케미코첨단소재(주)		사업자등록번호		125-86-2339 7			
		주소		(08381) 서울시 구로구 디지털로 271, 210호		법인등록번호		134611-0067 260			
연구책임자		성명		김효식		직위		대표이사			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)							
		단계		1단계		2021. 04. 01 - 2022. 12. 31 (1년 9개월)					
		(해당 시 작성)		2단계		2023. 01. 01 - 2023. 12. 31 (12개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				연구개발 비 외 지원금	
		현금		현금 현물		지방자치단체		기타()		합계	
						현금 현물		현금 현물		현금 현물 합계	
총계		807,000		61,600 212,400						868,600 212,400 1,081,000	
1단계		1년차		220,000 - 60,200						220,000 60,200 280,200	
		2년차		293,500 10,800 81,500						304,300 81,500 385,800	
2단계		1년차		293,500 50,800 70,700						344,300 70,700 415,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대 전화		전자우편	
		역할		기관유형							
공동연구개발기관		에이스팩(주)				소장				수요 중소기업	
		고려대학교				연구교수				공동 대학	
위탁연구개발기관		한국생산 기술연구원				선임연구원				위탁 정부출연 원	
연구개발과제 실무담당자		성명		장호성		직위		부사장			
		연락처		직장전화		휴대전화					
				전자우편		국가연구자번호					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2023년 12월 30일

연구책임자: 케미코첨단소재(주) 김 효 식 (인)

주관연구개발기관의 장: 케미코첨단소재(주) 대표 김효식 (직인)

공동연구개발기관의 장: 에이스팩(주) 대표이사 류재영 (직인)

공동연구개발기관의 장: 고려대학교 산학협력단 권정환 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 한국생산기술연구원 이낙규 (직인)

김 효 식



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

	(1-2차 년도)	표	<ul style="list-style-type: none"> - 평균 셀 직경 300μm 이하, 독립기포율 70% 이상의 PP foam 개발 - 무가교 물리발포 sheet 개발 - 라미네이션 다층 폼시트의 50mm 깊이 식품용기 성형 기술 개발 - 유통중인 배달식품 용기 모니터링 및 DB 구축 - 배달용기/냉동식품 용기 감량화 용기 개발 - 종이/박육화 발포PP 복합용기 개발 - 귀속적 전과정평가 (ALCA) 모델 구축
		내용	<p><1차년도></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 밀도 0.15 g/cm³ 수준의 PP foam sheet 제조기술 확보 ○ 비발포 PP film 라미네이션 기술 확보 (양산 규모) 선행 기술 조사 ○ Bio-mass PP의 적용성 검토 ○ 선행 기술 조사 ○ 국내외 기술 동향 분석 ○ Sheet 시작품 성형성 평가 및 feed-back ○ 발포 PSP 대체 미세발포 PP 용기 시작품 설계 및 제작 ○ 유통중인 배달식품 용기 모니터링 ○ 배달용기의 감량화 연구 ○ 냉동식품용 미세발포 PP 용기 개발을 통한 감량화 연구 <p>○ 미세발포 경량 포장용기의 전과정 평가 D/B 구축</p> <p>○ 미세발포 필름 및 시트 용 플라스틱 원료 물성 분석</p> <p><2차년도></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 미세 발포셀 확보 (평균 셀 직경 300μm 이하) ○ 독립기포율 70% 이상 확보 ○ 라미네이션된 다층 폼시트의 50mm 깊이 성형공정 기술 확보 ○ PP 발포시트의 열성형 조건 설정 ○ PP발포 시트 성형 금형 구조 설계 및 시제품 제작 ○ 배달용기의 감량화 연구 ○ 냉동식품용 미세발포 PP 용기 개발을 통한 감량화 연구 ○ 종이/박육화 발포PP 복합용기 개발 연구 ○ 농산물(딸기)용 완충재 일체형 완충용기 개발 연구 ○ 귀속적 전과정평가 (ALCA) 모델 구축 ○ 미세발포 필름 및 시트 물성 분석
	2단계 (3차 년도)	목표	<ul style="list-style-type: none"> - 평균 셀 직경 200μm 이하 독립기포율 80% 이상의 PP소재의 무가교 기체 발포sheet 개발 - 라미네이션 다층 폼시트의 80mm 깊이 식품용기 성형 기술 개발 - 개발된 sheet의 상업화 - PP 발포 시트의 최적 열성형 성형 기술 개발 - 개발된 용기(배달식품, 즉석식품, 컵라면 용기)의 상업화 - 농산물(딸기)용 완충재 일체형 완충용기 개발 - 결과론적 전과정평가(CLCA) 모델 구축
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 미세 발포셀 확보 - 평균 셀 직경 200 마이크로 이하 ○ 독립기포율 80% 이상 확보 ○ 비발포 PP층이 라미네이션된 다층 폼시트의 80mm 깊이 식품용기 성형공정 기술 확보 ○ PP발포시트의 열성형 성형 기술 확보 ○ PP발포시트 열성형 금형 구조 최적화 설계 ○ 개발품의 본금형 및 양산 추진 ○ 미세발포 PP 용기의 상업화 연구 ○ 냉동식품용 PP발포 용기의 상업화 연구 ○ 종이/박육화 발포PP 복합용기의 상업화 연구 ○ 농산물(딸기)용 완충재 일체형 완충용기의 상업화 연구 ○ 개발품의 안전성 평가
해당 연도		목표	
		내용	

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 밀도 0.15 g/cm³ 수준의 무가교 PP foam sheet 제조기술을 확보하였음. - 발포 셀 직경 300~500μm 수준의 PP foam 개발하였음. - 화학발포제가 없는 물리발포 PP foam sheet 개발을 성공함. - 다층 구조의 PP폼시트를 제조하여 식품용기 성형 테스트를 실시함. - 유통중인 배달식품 용기 모니터링 및 DB 구축하였음. - 냉동식품(롯데푸드 냉동스파게티) 용기 감량화 용기 개발을 진행함. - 전과정평가 (ALCA)를 실시함. 											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 비발포 PP로 만들어지는 즉석식품용기를 대체하여 30~50%의 무게 원천감량을 확보하고자 함 - 기존의 비발포 PP로 만들어지는 배달용기를 대체하여 30~50%의 무게 원천감량을 확보하고자 함 - 기존의 PS발포 라면용기를 대체하여 세계 최초의 무가교 PP발포 라면용기 상용화를 시도할 예정임. 											
연구개발성과의 등록 기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명 정보	생명 자원	화합물	정보	실물
연구시설 장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구 시설 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치 장소)	ZEU8 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	감량		경량화		미세발포		발포PP		친환경포장			
영문핵심어 (5개 이내)	Source reduction		Weight lightening		Microcellular Foaming		Foamed PP		Eco-friendly packaging			

(28쪽 중5쪽)

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨 자료 (참고 문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

편리함을 추구하는 식생활과 1인 가구의 증가 경향이 매우 강하여, 점차 심각해지고 있는 일회용 플라스틱 용기 감량화의 문제점들을 고려할 때, PP 발포 용기는 확실한 대안이 될 수 있다.

정부의 환경 정책에 발맞추어 가기 위해서, 앞서 언급한 온라인 택배 식품, 배달 음식, 그리고 즉석 냉동식품 용기의 경우 왜 PP 발포 용기가 대안이 되는지를 요약하면 다음과 같다.

◇ 플라스틱 저감 목표의 달성

; 정부는 2025년까지 플라스틱 폐기물을 20% 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 하지만 증가하는 택배 식품, 배달 음식, 그리고 즉석 냉동식품의 시장은 목표 달성에 많은 장애가 될 것이다.

☞ 이들 식품에 사용되는 용기는 재질이 대부분 PP이며, 이 용기들을 모두 발포 PP용기로 대체하는 것 만으로도 이들 용기의 플라스틱 사용량을 30% 이상 줄일 수 있다.

◇ 식품업체와 소비자의 재활용 분담금 부담 경감

; 현재의 150원/kg인 플라스틱 폐기물 재활용 분담금을 올해 정부는 EU의 플라스틱세와 같은 수준인 €0.8/kg(약 1,000원)으로 도입한다고 한다. 어쩔수 없는 고육지책이지만 식품회사에는 원가상승의 부담이 되고, 이것은 물가 인상의 요인이 되어 고스란히 소비자들에게 전가된다.

☞ 발포 PP 용기로 대체하면, 중량이 줄어들어, 플라스틱 사용량 뿐만 아니라 재활용 분담금도 줄일 수 있는 효과가 있다.

◇ 사용이 증가하고 있는 배달 용기에 대한 대책

; 정부는 배달 용기의 두께를 올 연말까지 20% 줄이는 것을 추진할 뿐만 아니라, 재질 표준화를 추진하고 있다. 또한 반복사용(재사용) 용기의 시범사업을 올해 실시하고, 내년부터 이를 확대 적용하는 안을 검토하고 있다.

☞ 발포 PP 용기로 대체하면, 두께 감량 이상의 플라스틱 저감이 가능하다.

정부가 추진하는 재질 표준화를 실현하기 위해서는 모든 종류의 식품에 적용될 수 있는 재질이어야 하며, 이 재질은 PP이다(PET나 PS, PE등은 내열성과 충격성등이 부족하여 모든 식품에 적용되기 어렵다)한다. 발포 PP는 PP와 동일하게 재활용 될 수 있으며, 특히 본 연구팀이 구현하고자 하는 기술은 발포제를 사용하지 않은 기체 발포 방식으로, 재활용에 전혀 문제가 되지 않는다.

PP 발포가 이와같이 플라스틱 저감에 많은 장점을 가지고 있다는 것 이외에도, 단순히 PP 발포 용기의 개발 뿐만아니라, 미세 발포 기술의 적용, 다층구성의 발포, 용기 구조설계를 통한 플라스틱 사용량 저감, 종이와의 복합 포장 설계를 통해 다양하고 친환경적인 포장 solution을 제안하고 이를 상품화하는 것이 본 연구팀의 궁극적인 목표이다.

개발하고자 하는 미세발포 PP 용기는 이외에도, 용기의 유통/저장시 공간 절약, 경량화, 세척의 용이함 측면에서 기존 발포용기보다 우수한 장점을 갖는다.

PSP용기와 비교하면, 탁월한 친환경성을 갖는 소재이다.



<그림 9> 미세발포 PP용기와 발포 PS(PSP) 용기, PP용기와 친환경성 비교

PP 발포 용기의 경제성은, 아래의 표에서 보여지는 바와 같이, 농심 육개장 사발면 용기(무게 7g)을 기준하여 비교했을 때, 용기 하나당 3~8원의 수지원료비 상승이 계산된다. (단, PS발포용기의 밀도 0.15g/cc를 PP폼으로 동일하게 제조할 경우임) 그러므로, 최종고객에게 증가하는 가격부담은 10원 이내라는 결론을 얻을 수 있으며, 수입 발포용 PP (high melt strength PP수지)의 혼합비율에 반비례한다. 종래 발포 PS용기 원료 비용 대비 발포 PP용기가 경제적으로 우월하다고 볼 수 없으나, 용기 하나 당 가격적인 차이가 8원 이내로 미미하다는 점에서 PP발포 용기가 종래의 PSP를 대체할 수 있는 경쟁력을 가진다고 판단할 수 있다.

<표 3> 육개장 사발면 발포용기 제조용 수지 원료비 변동

	수지 원료비(원/kg)	혼합 비율	7g 용기 한개의 원료비	용기 하나의 수지 원료비 상승
PS 수지	1,650	GPPS 100%	11.5	0
PP 수지	2,800	발포용 PP 100%	19.6	8.0
	2,655	발포용 PP 90%	18.6	7.0
	2,510	발포용 PP 80%	17.6	6.0
	2,365	발포용 PP 70%	16.5	5.0
	2,220	발포용 PP 60%	15.5	4.0
	2,075	발포용 PP 50%	14.5	3.0
	1,350	일반 PP 100%	9.4	-2.1

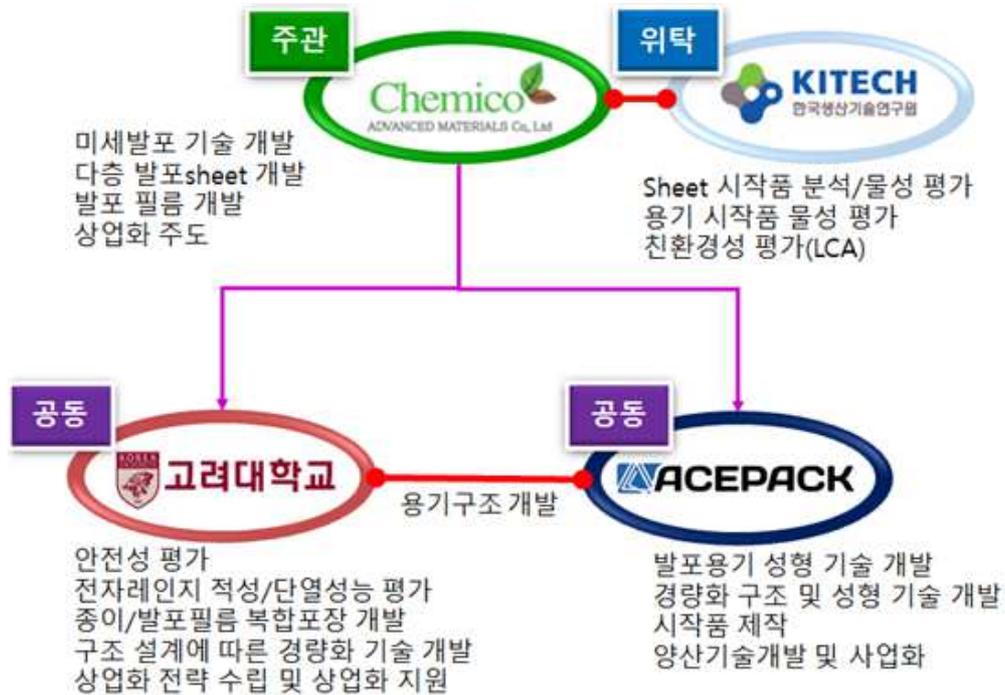
문제 해결을 위한 본 과제의 연구팀의 구성과 역량

(1) 연구 개발의 궁극적 목표

미세 다층 발포 PP 기술 개발과 다양한 소재 및 포장 방법을 연구 개발하여, 증가하고 있는 식품 시장인 온라인 택배 식품, 배달 음식, 즉석 냉동식품등의 플라스틱 용기를 주요 target으로 삼아 대체하며, 이를 통해 식품에 사용되는 플라스틱 용기의 원천 감량을 실현한다.

여기에 더하여, 재활용이 어렵고 사용량이 많은 발포 PS(PSP) 컵라면 용기, 완충재를 사용한 농산물 용기를 대체하여, 추가적으로 경량화와 포장 폐기물 재활용율을 높이고자 한다.

(2) 연구팀의 구성



(3) 연구기관의 역량

<주관기관>



주관연구개발기관인 케미코 첨단소재(주)는 고분자 물리발포 압출기술을 전문으로 하는 스타트업 기업이며, Lab설비 수준뿐 아니라, 양산설비 수준에서 친환경 플라스틱 소재로서 인식되는 PP, PLA, PET의 연속발포 압출 기술을 모두 보유하고 있는 전세계적으로 유일한 업체이다.

종래의 플라스틱폼, 즉 PS 또는 PVC 폼은 무정형(amorphous) 고분자이므로 발포압출공정의 윈도우가 넓지만, 결정성(semi-crystalline) 고분자인 PP, PLA, PET는 윈도우가 매우 좁은 특징을 갖고, 이로 인해서 양산규모의 발포압출 기술 개발이 극도로 까다롭다고 알려져 있다.

현재 국내의 경우에는 가교 PP폼시트 제조기술이 유일하게 영보화학(주)에 의해서 상업화되었을 뿐, 무가교 PP폼시트의 양산규모 사업화는 당사가 최초로 시작하는 상황이다. 특히, 케미코첨단소재의 CTO인 이용기박사는 캐나다 토론토대학에서 고분자 발포압출 가공기술로 박사학위를 하였으며, 국내 LG화학/LG하우시스 연구팀장, 그리고 캐나다 압출설비 전문제조업체인 Macro Engineering에서 PLA 발포압출기 개발책임자, 미국 Novipax(구. Sealed Air 폼사업부)의 기술컨설턴트를 역임한 바 있는 발포압출기술 분야의 세계적인 전문가이다. 15편 이상의 SCI급 논문과 20편 이상의 국내외 특허를 갖고 있으며, 2015년에는 미국 플라스틱 전문매거진 Plastics Technology의 초대로 전세계 우수기업과 연구소 450여명의 발포기술 관련 연구자들을 대상으로하는 인터넷 실시간세미나(webinar) 발표를 한 경력도 갖고 있다.

주관기관의 연구 책임자인 이용기 박사는 국내 최초로 PET폼 상업화에 성공하여 장영실상을 수상한 휴비스(주)의 컨설턴트로 스크류와 다이스 포함 발포압출기 전체의 설계기술을 제공한 바 있으며, 세계 최초로 고내열 고배율 PLA foam 식품용기의 개발에 성공한 바 있다.

PP 무가교 foam sheet 제조기술 관점에서는, 이미 밀도 0.3g/cm³ 수준의 고품질 PP 발포 시트의 양산을 시작하는 단계에 와있다. 이러한 발포압출기술 분야의 전문성을 인정받아, 2020년 와디즈, 롯데케미칼과 GS건설로부터 민간투자를 받은 바 있다. 또한 친환경 플라스틱폼 제조기술력을 인정받아 2020년 중소/중견기업 혁신대상 중소벤처기업부 장관상을 수상하였다.

본 과제에서는 이러한 기술력을 바탕으로, 현재의 문제점들을 개선하고 기술을 더 업그레이드 하여, 본격적인 상업화할 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

이를 위해, 공동기관인 에이스팩과 고려대학교, 그리고 위탁기관인 한국생산기술연구원 패키징 기술지원센터와 협업하여 최종 생산품인 식품 용기의 개발을 추진하고자 한다.

<공동기관 1>

공동연구개발기관인 에이스팩(주)는 HMR(Home Meal Replacement) 장기보존 및 신선식품용 고성능 레토르트(Retort) 및 무균(Aseptic)포장을 비롯한 식품 포장재(Food Packaging), 산업용 포장재(Industria Packaging), 친환경 발포 포장재(Eco Foam Packaging) 및 연포장(Flexible Packaging) 분야의 지속적인 연구 개발을 토대로 국내 주요 식품 회사와의 제품화 실적이 우수하고 식품포장재 제조에 적합한 위생적인 제조 설비 및 환경을 갖추고 있어 꾸준한 성장을 지속하고 있음.

또한, 다년간의 축적된 열 성형 가공 기술과 금형설계 기술을 바탕으로 여러 국가 연구 과제를 수행하고 사업화한 실적이 있으며, 본 과제 수행에 필요한 가공기술을 바탕으로 시제품 제작, 가공 및 설계 표준화 수립에 주력할 계획임.

발포 PSP용기로서, 팔도 도시락 용기를 납품하고 있으며, 발포 PET와 발포 PLA용기에 대해서도 개발 경험이 있으나, 발포 물성, 내열성과 내충격성등에서 한계가 있어 상용화하지는 못하였음. 본 과제에서 개발하고자 하는 발포 PP용기는 PS, PET, PLA보다 시장 접근성이 좋은 소재이며, 상용화에 적합하다고 판단되어 수요기업으로서 연구에 참여하게 되었음.

<공동기관 2>

공동연구개발기관인 고려대학교는 biopolymer와 다양한 packaging 분야에 있어 많은 연구 업적을 가지고 있으며, 신소재와 기능성 포장재, 그리고 기능성 코팅, 친환경 포장 분야에 연구를 주력하고 있음. 또한 식품 포장재로서의 이행 안전성에 대한 많은 선행 연구기반을 바탕으로, 재활용이 용이하고 안전한 친환경 발포 PP용기의 개발을 수행할 계획임.

특히 연구 책임자는 식품회사 포장 연구실에 근무하면서 즉석밥 용기, 레토르트 용기등 플라스틱 용기의 설계에 대해 다수의 연구를 수행한 경험을 가지고 있으며, 플라스틱 포장재의 감량화 설계에 대한 실무 경험이 풍부함. 또한 즉석식품 포장재에 대한 다양한 상용화 실적도 보유하고 있음. 따라서, 개발하고자 하는 포장재를 관련 기관 및 포장회사, 식품회사와의 공조를 통해 포장재 생산공정 및 식품 공정에 대체 적용이 적합하도록 최적화 설계를 하고, 이를 상업화 하는데 큰 역할을 할 것으로 판단됨.

<위탁기관>

위탁연구개발기관인 한국생산기술연구원 패키징기술지원센터는 2006년 지식경제부가 포장산업을 지속가능한 발전과 세계 경쟁력을 갖춘 고부가가치 산업으로 육성하여 첨단 패키징 산업의

원동력이 되도록 설립하였음.

본 기관의 기술개발팀을 통해 차세대 융합형 패키징 기술개발을 진행하고, 장비운영팀을 통해 패키징 시험분석 및 패키징 성능 평가를 수행하며 인력양성팀을 통한 패키징 전문인력 양성교육과 국제 심포지움 및 기술교류 세미나를 주최하고 있음.

특히, 기술개발팀과 장비운영팀은 협업을 통해 다수의 패키징 분야 국가 연구과제를 진행하였으며 발포 PET 소재의 물성 분석 및 개선, 발포 기술을 이용한 공압출 다층구조 필름/시트 제조 플랫폼 개발 등과 같은 관련 과제를 수행 경험이 있음.

본 과제에서는 본 기관이 보유하고 있는 다양한 분석장비를 활용하여, 주관기관이 케미코 첨단소재(주)가 연구의 목표를 달성 할 수 있도록 지원하며, 미세발포 소재(PP)의 물리적, 열적 및 기계적 물성 분석을 수행하고, 전과정 평가 (LCA)를 통한 개발품의 친환경성 평가를 통해 결과물의 친환경성을 평가할 계획임.

연구개발과제의 목표 및 내용

1) 연구개발과제의 최종 목표

“식품포장 소재 사용 감량을 위한 경량화 기술개발”

<주관기관의 목표>

- PP소재로 발포된 경량 식품 용기의 개발
- 밀도 0.15 g/cm³ 수준까지 경량화된 무가교 PP foam sheet 개발
- Deep 성형에 대응하는 우수한 품질의 성형성을 보여주는 다층구조 PP foam sheet 제조
- PP foam sheet에 적합한 열성형 공정기술 개발

상업화로서의 결과물로서 목표를 설명하면,
다음과 같은 포장을 개발하고 이를 상용화 하는 것이다.

◎ 미세다층 발포 PP 시트

- 밀도 0.15 g/cm³ 수준미세 발포셀 확보
- 평균 셀 직경 200 마이크론 이하
- 독립기포율 80% 이상 확보

◎ 냉동식품 용기

- 보냉성과 내열성을 갖는 용기로서, 기존 PP용기 대비 30%이상 플라스틱 사용량 저감
- 단열성을 가지며 전자레인지에 조리가 가능한 용기
- 택배용으로는 외포장으로 EPS(스치로폼) 박스를 종이박스로 대체할 수 있는 용기

◎ 배달식품 용기

- 내열성과 단열성을 갖는 용기로서, 기존 PP용기 대비 20%이상 플라스틱 사용량 저감

◎ 컵라면 용기

- 전자레인지 조리가 가능하면서, 발포 PS(PSP)용기와 외관과 강도가 향상된 용기

- 재활용성이 PSP보다 우수한 용기

◎ 농산물(딸기등) 용기

- 완충 기능을 가진 일체형 용기로 기존 포장대비 30% 이상 플라스틱 사용량 저감
- 냉장 유지에 효과가 있는 보냉성 용기
- 신선도 유지 기간을 늘려 장기간 수송에 적합한 용기(선편 수출용)

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

본 연구개발과제의 필요성 및 배경은 기 제출된 연구개발계획서에 상술되어 있으므로 생략하고, 본 연차보고서에는 과제의 1단계 연구개발 세부 내역을 정리하여 보고하고자 한다.

Part 1. 고배율 무가교 PP발포 시트의 개발

본 과제의 1년차 고배율 PP발포 시트 개발 목표는 아래와 같다.

- 밀도 0.15 g/cc 수준의 PP 압출 발포 기술 개발
- 비발포 PP층을 합지하여 다층구조 PP 발포 시트 제조기술 개발
- Recycled PP 수지를 혼합한 친환경 PP 발포시트 제조기술 개발

(연구개발계획서 제출 당시에는 Biomass PP 발포 시트의 제조를 목표로하였으나 과제착수보고회의 때, CJ 박은진 전문위원의 제안에 따라 recycled PP를 혼합하는 친환경 PP 발포 시트의 개발로 수정되었음)

1. 발포 압출 설비의 제작 및 설치

고배율 무가교 PP발포 시트의 제조를 위해서 발포압출 라인을 제작하여 설치하였다. 설치 위치는 케미코첨단소재의 화성 공장(경기도 화성시 팔탄면 울암리 474-11)이다. 압출 라인은 2개의 싱글스크류 압출기가 직렬로 연결된 텀덤 발포 압출기 형태이며, 튜브형태로 발포시트가 압출되어진 후에 냉각 맨드렐을 지나서 하부를 슬리팅하여 튜브를 펼치면 발포시트가 생산될 수 있는 구조를 갖는다. (아래 공장 설비 사진 참조)

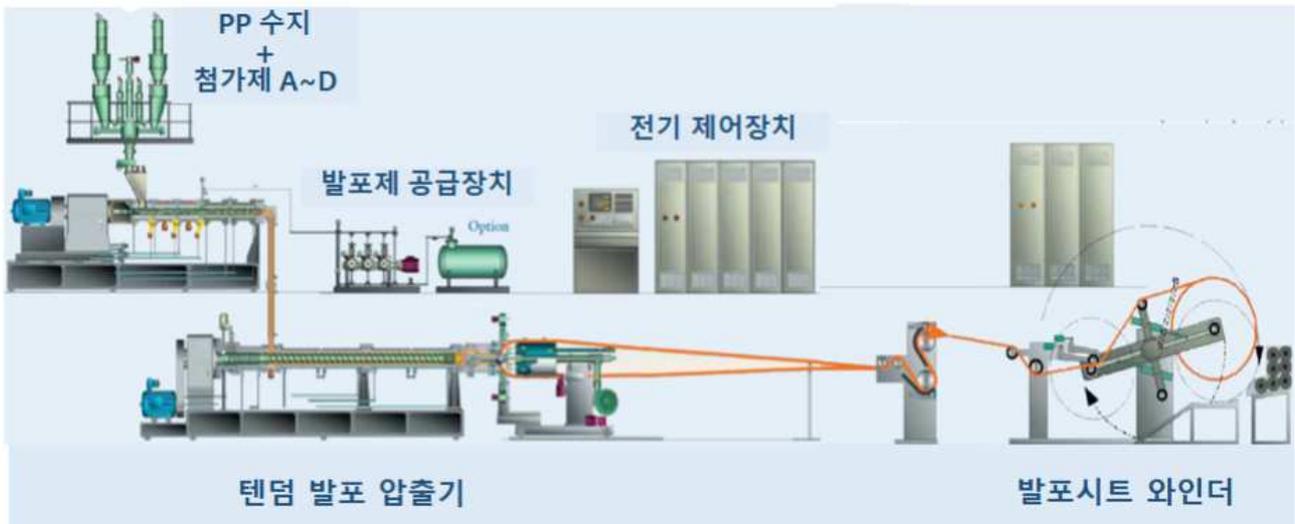
텀덤 발포압출기에서 1차 압출기는 원료를 용융시켜서 혼련하는 기능과 발포가스를 녹여서 단일상 용융체를 얻는 기능을 한다. 이어지는 2차 압출기는 1차 압출기에서 얻어진 단일상 용융체를 냉각하여 발포특성을 최대한 끌어올리는 역할을 하게 된다. 이 때, 1차와 2차 압출기의 스크류 구조가 매우 중요하며, PP발포에 있어서 이상적인 스크류 구조를 설계하는 능력이 가장 중요하다고 할 수 있겠다. 케미코첨단소재는 보유하고 있는 고유 기술로 텀덤 발포압출라인 전체를 설계하여 제작하였으며, 진보된 스크류 설계기술을 가지고 있으므로 발포공정이 극도로 까다로운 PP수지를 발포할 수 있는 차별화된 기술을 보유하고 있다.



케미코침단소재 텐덤 발포압출라인의 사진

2. PP발포시트의 압출 생산

이 텀덤 발포압출라인은 물리발포제로서 이산화탄소를 사용하기 때문에 화재위험이 없으며 원가 측면에서도 유리하다고 할 수 있겠다. 압출기의 스크류 직경은 1차압출기가 100mm, 2차압출기가 130mm로 구성되어 있다. 아래 텀덤 발포압출기의 기본구성 도면을 첨부하였다.



구성 원료는 고용융장력 PP수지(high melt strength PP resin)을 기본 수지로 사용하고 기핵제로서 탈크를 사용하였다. 보통 탈크는 40% MB 형태로 3 내지 5%를 첨가하였다. 압출기의 온도 조건 및 가공조건은 아래와 같다.

1차 압출기 온도

150-160-170-180-200-210-220-220

2차 압출기 온도

160-150-140-130-120-120-120-120-120

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 110

2차 압출기 : 25

압력 조건

다이스 압력 : 100 bar

Cross pipe 압력 : 200 bar

용융수지 온도 (다이스) : 140도

시트폭 : 1040mm

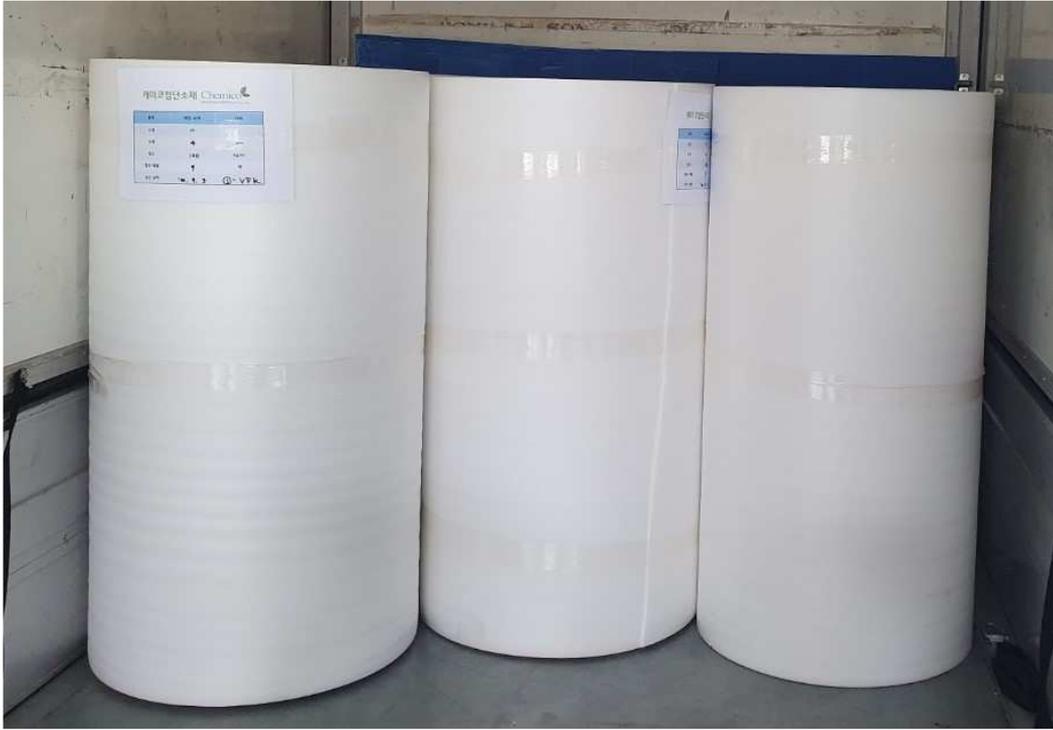
시트 두께 : 2~4mm

원료 자동 계량 및 공급 장치 : gravimetric 방식 feeder

단위 시간당 생산량 : 230 kg/hr

상기와 같은 세부 공정조건에서 텐덤 발포 압출기를 가동하여 연속적이고 안정적으로 재현성 있게 발포시트를 생산할 수 있었다. 이와 같은 최적화된 공정 조건에서 제조한 무가교 PP발포 시트의 밀도는 투입한 발포가스의 함량과 공정조건에 따라 달라지며, 주로 0.10 ~ 0.20 g/cc 수준으로 계측 되었다. 낮은 밀도, 즉 0.13 g/cc 이하의 PP발포시트에서는 시트의 외관에 주름이 생기는 문제가 나타났으며, 이 문제는 밀도가 더 감소할수록 더 심해지는 특성이 관찰되었다.

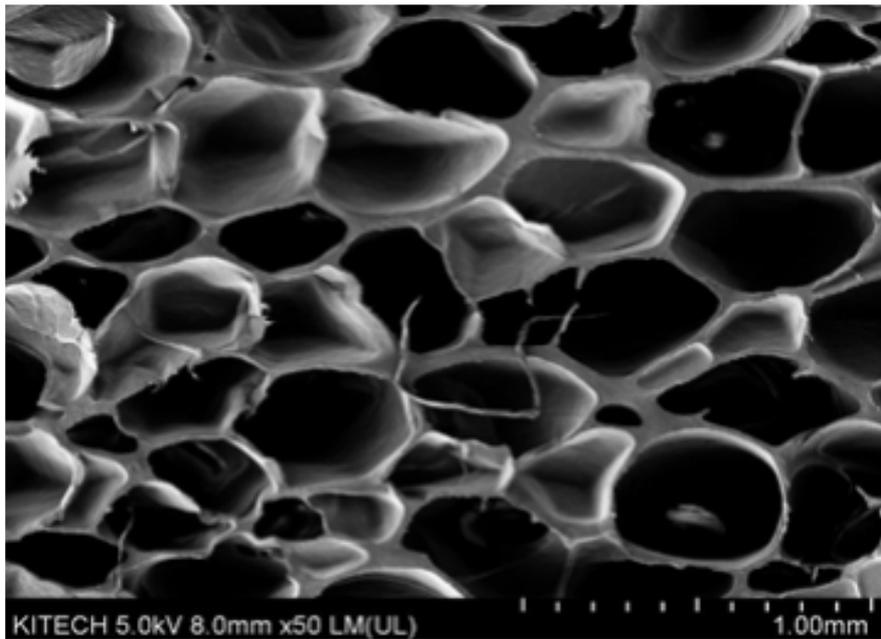
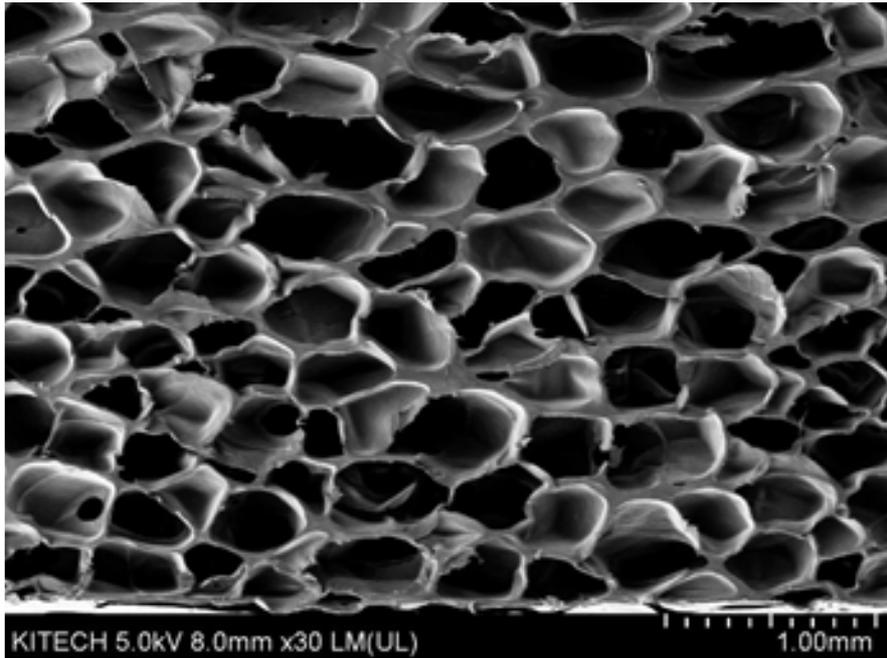
그러므로 발포PP 시트의 외관 품질과 공정안정성을 모두 고려할 경우, 현재의 공정 수준에서는 0.15 g/cc 수준의 폼 밀도가 가장 적합한 것으로 사료된다. 향후 추가적인 연구개발을 통해서 이 폼 밀도를 더 낮은 수준으로 원천 감량하는 것을 목표로 하고 있다. PP발포 밀도 0.15 g/cc는 종래의 비발포 PP 시트 대비, 83.3%의 무게가 원천 감량되는 것을 의미하므로, 용기의 무게 감소 및 플라스틱 사용량 원천감량 관점에서 매우 혁신적인 감량 수치라고 판단할 수 있겠다.



생산된 무가교 PP발포시트

생산된 PP 발포시트 단면의 미세구조에 대한 전자현미경 분석 결과는 아래의 사진과 같다. 발포 셀의 평균 직경이 300~500 마이크로론으로 비교적 크다는 것을 알 수 있으며, 이것을 200~300 마이크로론 범위의 미세발포셀로 개선하는 연구개발이 본 과제의 2년차에 진행

될 예정이다.



PP 발포시트의 단면 전자현미경 사진

상기와 같이 PP발포시트를 양산함에 있어서 한가지 문제는 높은 원재료비용이다. 아직까지 국내에 고용융장력 PP 수지가 생산되지 않는 관계로 가격이 일반 PP의 약 2배인 수입 PP수지를 사용할 수 밖에 없는 상황 때문에 원재료비용이 높을 수 밖에 없다. 이 문제를 경감시키기 위한 방편으로 가격이 저렴한 일반 PP를 혼합하는 테스트를 진행하였다. 실제로 20%의 일반 PP를 80%의 고용융장력 PP수지와 혼합하여 발포 작업을 했을 때, 생산

이 가능하다는 것을 확인하였고, 이를 통해서 원재료비를 다소 경감시킬 수 있었다. 이것은 PP발포 시트 및 식품용기의 상업화 가능성을 더 높여주는 매우 의미있는 실험결과로 판단이 된다.

3. 비발포층 코팅을 통한 다층구조 발포 PP 시트의 제조

다층구조의 PP 발포시트를 제조하기 위한 목적으로 케미코첨단소재 공장 내부에서 생산된 단일층 (single layer) PP 발포시트에 비발포 PP층을 코팅 lamination하기 위해서 외부 업체(주식회사 이테크)의 압출코팅 장비를 임대하여 사용하였다.





비발포층 압출코팅 테스트 사진

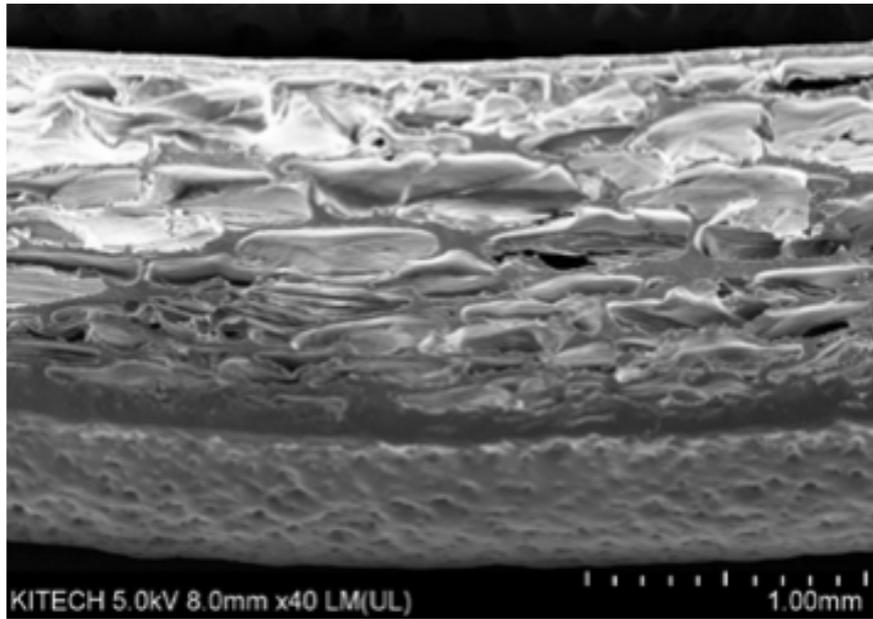
첫 번째 테스트에서, 비발포 PP층에 사용된 수지는 MI 값이 26인 저점도 PP수지를 사용하여 코팅하고자 하였으나, 점도가 너무 낮아서 네크인 현상 (Neck-in)이 발생하였고 코팅 두께가 균일하게 코팅되지 않는 문제가 확인되었다. 2번째 압출코팅 테스트에서는 MI가 0.5인 일반 PP수지를 사용하여 코팅 테스트를 진행하였는데 폭방향으로 100 또는 200 마이크론 두께의 균일한 코팅과 정상적인 작업이 가능하다는 것을 확인하였다. 또한 압출코팅 라인을 2번 통과 시킴으로써 발포시트의 양쪽표면에 비발포층을 코팅한 3층 구조의 PP발포시트도 제조할 수 있었다. 본 과제에서 적용한 코팅용 압출기의 공정조건은 아래와 같다.

코팅용 압출기 온도 설정

180-220-230-235-235-235

T-다이스 온도 설정

235-235-235



비발포층이 단면 코팅된 PP발포시트의 절단면 구조

4. 타사 고용융장력 PP 수지의 발포성 테스트

앞선 실험에서 사용한 고용융장력 PP수지는 오스트리아 Borealis 사의 WB140-HMS 수지였으며, 이와 비교 목적으로 Sabic 사와 ExxonMobil 사의 고용융장력 PP 수지 grade인 PP-UMS HEX17112와 PP6302E1에 대해서 발포성을 검증하고자 하였다. 하기의 동일한 조건에서 텀덤 발포압출라인을 가동하여 2가지 PP 수지의 발포 특성을 비교하고자 하였다.

1차 압출기 온도

150-160-170-180-200-210-220-220

2차 압출기 온도

160-150-140-130-120-120-120-120-120

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 110,

2차 압출기 : 25

압력 조건

다이스 압력 : 100 bar,

Cross pipe 압력 : 200 bar

용융수지 온도 (다이스) : 140도

시트폭 : 1040 mm,

시트 두께 : 3 mm

탈크 함량 : 3 %

부탄 함량 : 2%

단위 시간당 생산량 : 230 kg/hr

결론적으로, Sabic사와 ExxonMobil사의 고용융장력 PP 수지에 대한 압출 발포공정의 발포 특성은, Sabic 수지는 Borealis 수지와 거의 동등한 발포특성을 나타내었고, ExxonMobil의 발포 PP 수지는 상대적으로 열악한 발포성을 보여주었다. 보다 세부적으로는, Sabic 발포 PP 수지는 안정적으로 재현성 있게 낮은 밀도의 발포시트를 생산할 수 있었다.

사빅 고용융장력 PP 수지도 Borealis사의 수지와 동등한 발포성과 양산성을 갖는다는 것을 확인할 수 있었다. 생산된 PP 발포시트의 밀도는 0.134 g/cc 수준으로 얻을 수 있었다. (공인 data 참조)



Sabic 사 고용융장력 PP 수지의 발포압출 공정 사진

반면, ExxonMobil사의 PP 수지는 발포시트의 밀도가 0.20 g/cc 까지 얻을 수 있었으며, 결정적으로 발포 공정의 윈도우가 좁아서 양산성을 확보하기가 매우 까다로운 단점을 나타내었다. 이것은 ExxonMobil 수지가 갖는 결정화 속도가 매우 높은 것이 원인으로 추정된다. PP 수지의 tacticity 관점에서 isotactic 비율이 높아질수록 결정화도가 증가하고 결정화 속도 또한 커지게 되는데, Exxon사의 PP는 isotactic 분자의 비율이 상대적으로 더 높은 것으로 판단된다.

The way to trust **KCL** 2040-9619-3831-7121



시험성적서

- 성적서 번호 : CT22-091348K
- 의뢰자
 - 업체명 : 케이코철단소재 주식회사
 - 주소 : 서울특별시 구로구 디지털로 271 벽산디지털밸리3차 210호
- 시험기간 : 2022년 09월 27일 ~ 2022년 10월 12일
- 시험성적서의 용도 : 공인시험성적서 필요
- 시료명 : XPP
- 시험방법
 - (1) ISO 845:2006
- 시험결과
 - 1) XPP

시험항목	단위	시험방법	시험결과	비고
겉보기 전체 밀도	kg/m ³	(1)	133.7	(23 ± 2) °C, (50 ± 10) % R.H.

확인	작성일자 성명	고명종	Y.J.K.	기술책임자 성명	엄재원
----	------------	-----	--------	-------------	-----

비교 : 1. 이 성적서는 인원이 재시험 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
 2. 이 성적서는 물보, 선경, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다.
 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다.

2022년 10월 12일

한국건설생활환경시험연구원 

Sabic 발포 PP 시트의 밀도 data

5. 독립기포율 개선을 위한 압출발포 테스트

PP 발포시트의 미세 발포셀 구조에서 중요한 지표 중 하나가 독립기포율이다. 독립기포율은 전체 발포셀 가운데 오픈되지 않고 이웃한 발포셀과 완전히 차단된 셀들이 어떠한 비율로 존재하는 지를 나타내는 지표이다. 바꿔 얘기하면, 이상적으로 독립기포율이 100%이며, 모든 발포셀이 하나도 터지지 않고 닫혀진 셀 구조를 갖는다는 것을 의미한다. 이 독립기포율이 높은 발포시트는 더 우수한 기계적 강도를 갖게 되고, 용기 성형성 측면에서도 더 유리한 특성을 나타낸다.

본 과제에서는 텀덤 발포압출라인을 이용하여 PP 발포시트를 제조할 때, 그 처방 조건을

변경하면서 우수한 독립기포율을 얻을 수 있는 최적의 처방 조건을 찾고자 하였다. 스크류 직경이 1차압출기가 100mm, 2차압출기가 130mm로 구성된 텐덤 발포압출기를 이용하였고, 구성 원료는 고용융장력 PP수지(high melt strength PP resin)을 기본 수지로 사용하고 기핵제로서 평균 직경 5 마이크론 크기의 무기입자인 탈크를 사용하였으며, 탈크는 40% MB 형태로 3, 4, 5, 6%를 첨가하였다. 압출기의 온도 조건 및 가공조건은 아래와 같다.

1차 압출기 온도

150-160-170-190-210-215-215-215

2차 압출기 온도

165-155-145-135-125-125-125-125-125-125

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 100

2차 압출기 : 23

압력 조건

다이스 압력 : 90 bar

Cross pipe 압력 : 180 bar

융융수지 온도 (다이스) : 140도

시트폭 : 1040mm

시트 두께 : 3 mm

탈크 함량 : 3, 4, 5, 6 %

부탄 함량 : 2% 동일

단위 시간당 생산량 : 210 kg/hr

상기와 같은 세부 공정조건에서 텐덤 발포 압출기를 가동하고, 기핵제인 탈크의 함량을 조절하면서, 발포시트의 독립기포율의 차이를 분석하였다.



독립기포율 측정기 (피크노미터)

탈크 함량(%)	독립기포율(%)	비고
3	87	발포 셀이 커짐
4	82	
5	78	
6	72	

발포 시트의 독립기포율은 탈크 함량에 반비례하는 것으로 분석되었으며, 탈크 함량 4%

이하에서 목표하는 독립기포율 80% 이상을 얻을 수 있었다. 그러나, 탈크 함량 3%에서는 발포 셀이 눈에 떨 정도로 커서 외관품질이 열악해지는 문제가 파악되었다.

6. 발포 셀 사이즈 개선을 위한 압출발포 테스트

PP 발포시트의 미세 발포셀 구조에서 중요한 지표 중 하나가 발포 셀 사이즈이다. 발포 셀의 크기가 작을수록 외관의 고급감이 증가하고 성형품질도 향상되는 경향이 있기 때문이다. 목표하는 200 마이크론 이하의 발포셀 직경을 얻기위해서 기존의 기핵제인 탈크에 추가로 나노클레이를 함량 별로 첨가하는 실험을 실시하였다. 나노클레이는 PP 수지와 컴파운딩을 해서 10% 농도의 마스터배치 형태로 발포 압출기에 피딩하였다.

1차 압출기 온도

150-160-170-190-210-215-215-215

2차 압출기 온도

165-155-145-135-125-125-125-125-125

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 100

2차 압출기 : 23

압력 조건

다이스 압력 : 90 bar

Cross pipe 압력 : 180 bar

융융수지 온도 (다이스) : 140도

시트폭 : 1040mm

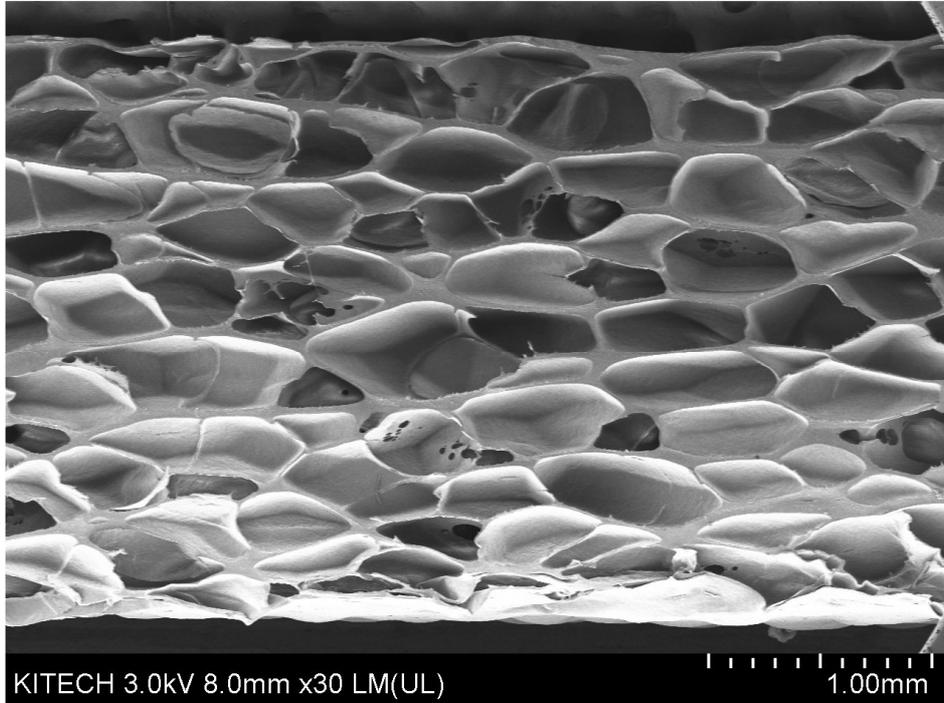
시트 두께 : 3 mm

탈크 함량 : 4% 동일

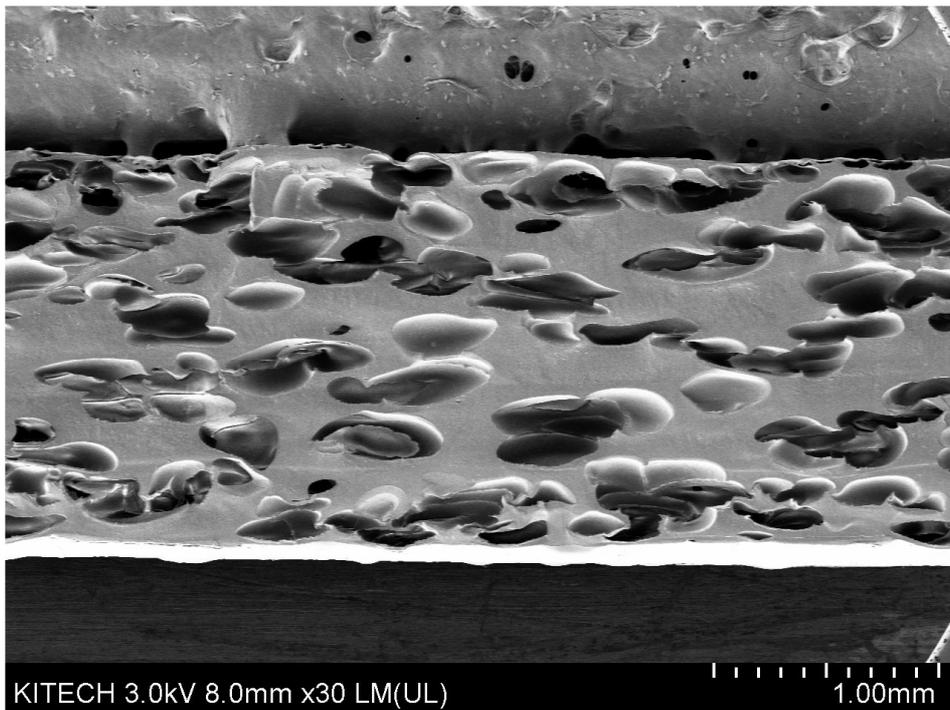
나노클레이 함량 : 0.5 %, 1.5%

부탄 함량 : 2% 동일

단위 시간당 생산량 : 210 kg/hr



나노클레이 0.5% 첨가



나노클레이 1.5% 첨가

전자현미경 사진을 분석하여 결과적으로 나노클레이 첨가된 발포시트에서 평균 300 마이크로미터 발포셀을 갖는 미세발포 PP 발포시트를 제조할 수 있었다.

7. 미세발포 셀 확보를 위한 압출발포 테스트

앞서 PP 발포시트의 미세발포 셀 구조를 얻기위해서 나노클레이를 첨가하여 시도하였으나 300 마이크로미터 수준까지 발포셀 평균 직경을 줄이는 한계를 보여주었다.

추가적인 특수 핵제를 첨가하여 발포 셀의 크기를 줄이는 실험을 진행하였다. 특수 핵제는 국내 P사의 제품이며, 농도는 20%를 갖는 마스터배치 형태로 구매하였다.

목표하는 200 마이크로미터 이하의 발포셀 직경을 얻기위해서 기존의 기핵제인 탈크에 추가적으로 특수 핵제를 함량 별로 첨가하는 실험을 실시하였다.

1차 압출기 온도

150-160-170-190-210-215-215-215

2차 압출기 온도

165-155-145-135-125-125-125-125-125

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 110

2차 압출기 : 25

압력 조건

다이스 압력 : 90 bar

Cross pipe 압력 : 185 bar

융융수지 온도 (다이스) : 146도

시트폭 : 1040mm

시트 두께 : 3 mm

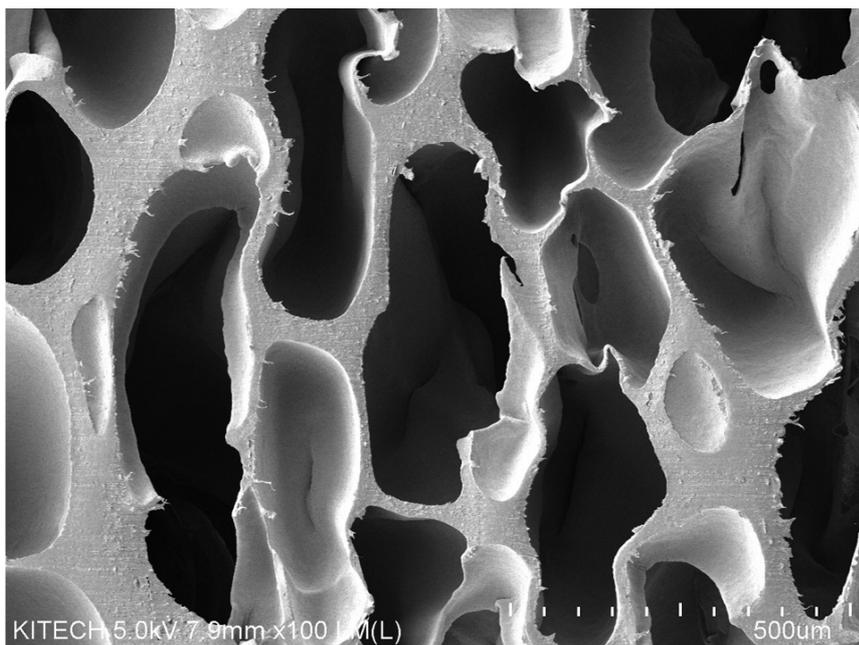
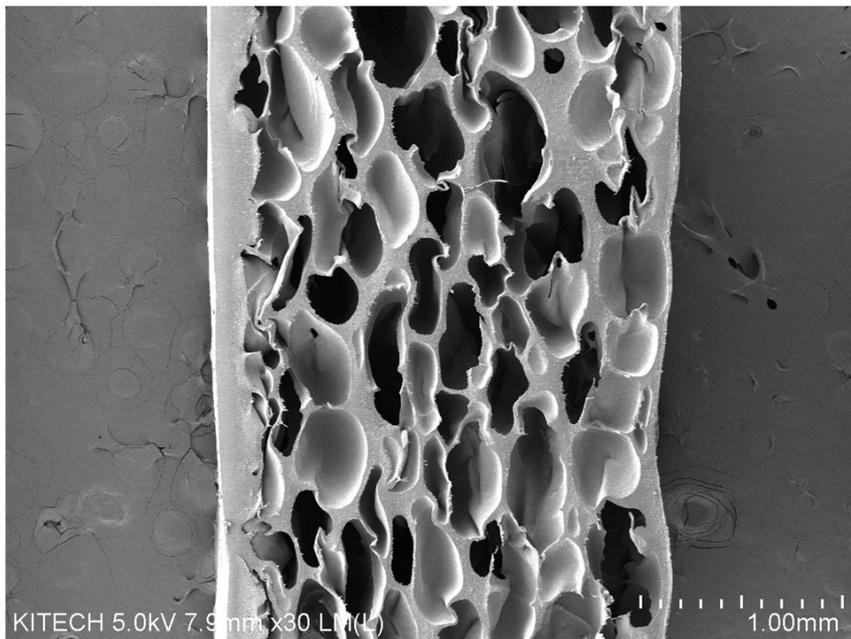
탈크 함량 : 4% 동일

특수핵제 함량 : 0.5 %, 1.0%, 1.5%

부탄 함량 : 2% 동일

단위 시간당 생산량 : 220 kg/hr

결과적으로, 제조된 발포시트의 단면구조를 분석한 결과, 특수핵제 1% 첨가 조건에서 가장 미세한 발포 셀 구조를 얻을 수 있었으며, 그 전자현미경 사진은 아래와 같다.



위 전자현미경 사진에서 알 수 있듯이, 두께 방향의 평균 직경은 250 마이크론 수준이며, 목표하는 200마이크론 이하로 줄이는 것은 쉽지 않았다. 그러나, 250 마이크론 수준의 발포 셀 사이즈를 갖는 PP발포시트를 이용하여 식품용기 형태로 열성형 테스트를 진행한 결과, 용기의 외관품질은 매우 만족할만한 수준이며 (아래 용기 사진 참조), 용기의 구조강도 또한 사용에 문제가 없는 수준으로 파악되었다. 그러므로, 발포셀의 크기를 당초 목표했던 200 마이크론 수준에 도달하지 않더라도 상품성과 구조강도에 전혀 문제가 되지 않는다는 결론을 얻을 수 있었다.



특수핵제 1%, 발포 셀 250 마이크론을 갖는 발포PP 식품용기 사진

8. 고용융장력 PP 수지의 국산화 Test

고배율 PP 발포압출에 핵심 원재료인 고용융장력 PP수지는 그 동안 국내에서 생산되지 않아서, 해외업체인 Borealis, Sabic, ExxonMobil 사에서 생산하는 고용융장력 PP 수지를

수입하여 생산 및 테스트를 진행하였으나, 수지 단가가 매우 높은 관계로 사업적인 단가 경쟁력을 확보하기 어려운 여건이었다. 이러한 배경에서, 국내 대표적인 석유화학업체인 롯데케미칼과의 협업을 통해서 고용융장력 PP수지를 국산화하고자 실험과 연구를 진행하였다. 하기의 조건에서 텀덤 발포압출라인을 가동하여 롯데케미칼 HMS-120 PP수지의 발포성과 양산안정성을 검증하고자 하였다.

이 연구에 사용된 HMS-120 수지는 정식으로 출시된 수지가 아니고, 롯데케미칼이 파일롯 라인을 이용해서 생산한 시제품을 케미코첨단소재에 제공하여 발포성능을 검증한 것이다.

1차 압출기 온도

150-160-170-180-200-210-220-220

2차 압출기 온도

160-150-140-130-120-120-120-120-120

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 110,

2차 압출기 : 25

압력 조건

다이스 압력 : 110 bar,

Cross pipe 압력 : 220 bar

융융수지 온도 (다이스) : 145도

시트폭 : 1040 mm,

시트 두께 : 3 mm

탈크 함량 : 3 %

부탄 함량 : 2%

단위 시간당 생산량 : 240 kg/hr



롯데케미칼 HMS-120 고용융장력 PP수지의 고배율 발포압출시트 생산

위의 사진에서 볼 수 있듯이, 롯데케미칼 HMS-120 고용융장력 PP수지를 가지고 발포 배율 6배까지 발포가 가능했으며, 고품질 PP 발포시트를 생산하는데 적합한 안정성을

보여주었다. 롯데케미칼 HMS-120 수지로 제조된 PP발포시트를 가지고 열성형 작업을 통해서 다양한 형태의 식품용기를 제조할 수 있었으며, 외관품질 및 구조강도가 상품화가 가능한 수준인 것으로 확인되었다.

9. 재활용 PP수지를 혼합한 고배율 발포PP 식품용기의 제조 테스트

앞서 언급된 바와 같이 고용융장력 PP수지의 가격이 높으므로, 원가절감을 위해서는 성형공정 후에 발생하는 스크랩을 재활용하는 기술의 개발이 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 재활용 수지를 신재 수지와 혼합하여 발포성에 어떻게 영향을 주는지를 검증하고, 최대한 많이 넣을 수 있는 재활용 수지의 함량을 확인하고자 하였다.

열성형 스크랩 재활용 수지를 20%, 30%, 40%를 신재 PP수지와 혼합하여 하기의 공정 조건에서 발포 테스트를 진행하였다.

1차 압출기 온도

150-160-170-190-210-215-215-215

2차 압출기 온도

165-155-145-135-125-125-125-125-125

압출기 스크류 RPM

1차 압출기 : 115

2차 압출기 : 26

압력 조건

다이스 압력 : 80 bar

Cross pipe 압력 : 175 bar

융융수지 온도 (다이스) : 144도

시트폭 : 1040mm

시트 두께 : 3 mm

탈크 함량 : 4% 동일

부탄 함량 : 2% 동일

단위 시간당 생산량 : 220 kg/hr

결과적으로, 30%의 재활용 수지를 혼합 첨가할 경우, 경제성과 발포시트 물성 관점에서 가장 이상적인 것으로 확인되었다 (하기의 성형된 식품용기 샘플 사진 참조). 그러나 40% 재활용 수지의 혼합조건에서는 발포 배율의 감소 문제가 발견되어, 양산 적용이 불가능하였다. 이것은, 재활용 과정에서 고용융장력PP수지의 분자구조가 일부 깨지면서 발포 특성이 감소하기 때문으로 추정되며, 재활용 공정조건에 대한 연구도 필요한 것으로 사료된다.

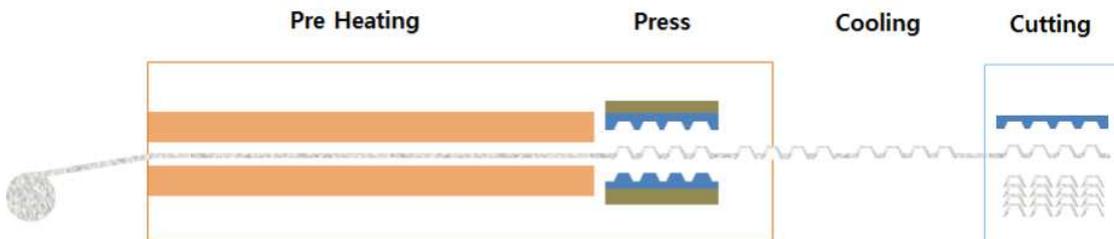


재활용 수지 30%를 혼합한 고배율 발포PP 식품용기

Part 2. PP 발포시트의 용기 성형기술 개발

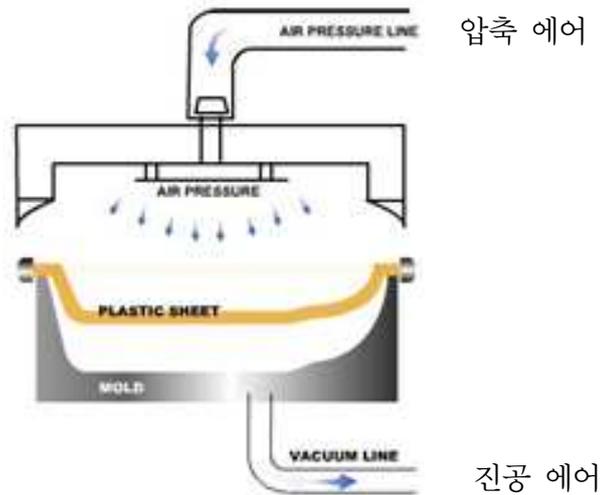
1. PP발포 시트 성형 기술 연구

- 일반적으로, 발포압출 공정으로 제조되는 두꺼운 PS 발포시트의 성형공정은, 발포시트가 성형기의 오븐 내에서 가열된 후에, 냉각 또는 Heating 금형에 진공과 압공 에어를 사용하여 금형에 밀착시켜 성형하는 열성형(Thermoforming)방식을 사용하고, 이때 절단공정은 In-Line화 되어 있어 성형된 용기를 후절단하여 제품화하는 프로세스를 갖는다.



플라스틱 용기성형 방식의 모식도

- PP발포 시트의 경우, 기존의 진공성형 방식이 사용이 가능하나, Deep 성형을 필요로 하는 용기의 경우에는 압공을 동시에 사용하는 압진공 성형 방식을 사용해야 윤곽이 예리하게 발현될 것으로 판단되었다.
- 압진공 성형이란 가열된 PP발포 시트를 형상화된 금형에 밀착시켜 성형을 함에 있어 사용되는 에어가 압축 에어와 진공 에어 두 가지를 동시에 사용하는 성형법을 말한다.



압진공 성형 방식의 구조도

- 일반적으로 PS발포 시트의 용기 성형에 사용되는 양산용 thermoforming machine의 설비 사양은 다음과 같다. 우선적으로 이 설비 사양을 갖는 양산용 성형라인을 이용하여 본 과제의 PP발포시트를 성형하고자 하였다.

1) Air-Pressure and Vacuum Forming Machine

VFK-APSL1011, VFK-FMSL1112

- (1) 1100mm Wide X 1200mm Long X 100mm Deep
- (2) 30 - 50 Amp on normal working condition
- (3) Data Memorizing System on the Touch Screen
- (4) 적용 Material : HIPS, PP, PET, PVC, PS Foam

2) Auto Trim Press with Counter/Stacker : VFK-TMCS1140

- (1) Cutting Platen Movement by electro-mechanical system
- (2) 90 shot/min Working Speed
- (3) Elevator type Counting/Stacking unit installed in the MC
- (4) 15 Ton Cutting Power by 15 HP Electric Motor
- (5) Controls on Touch Screen
- (6) 5 Amp on normal working condition

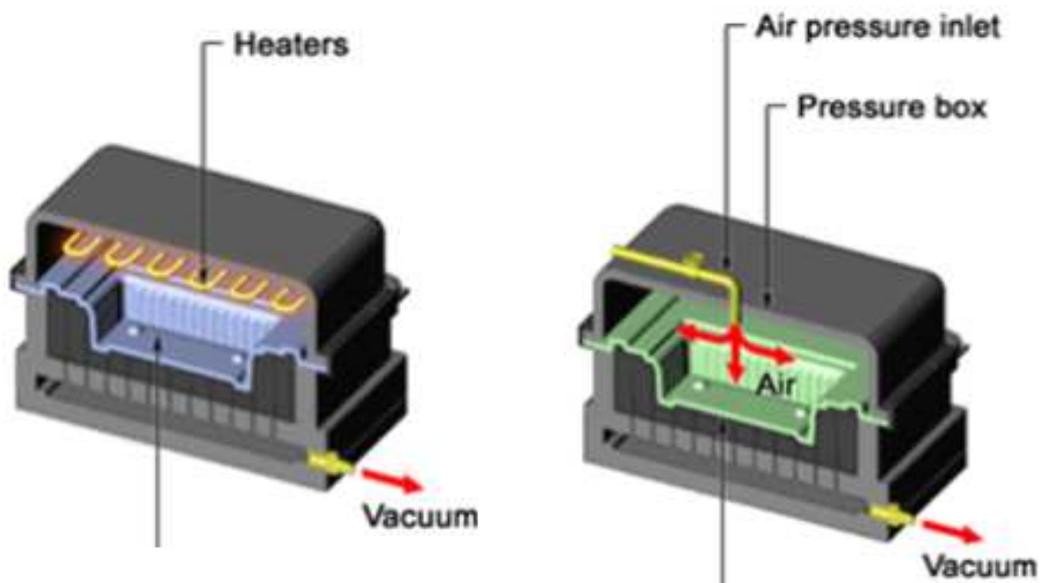
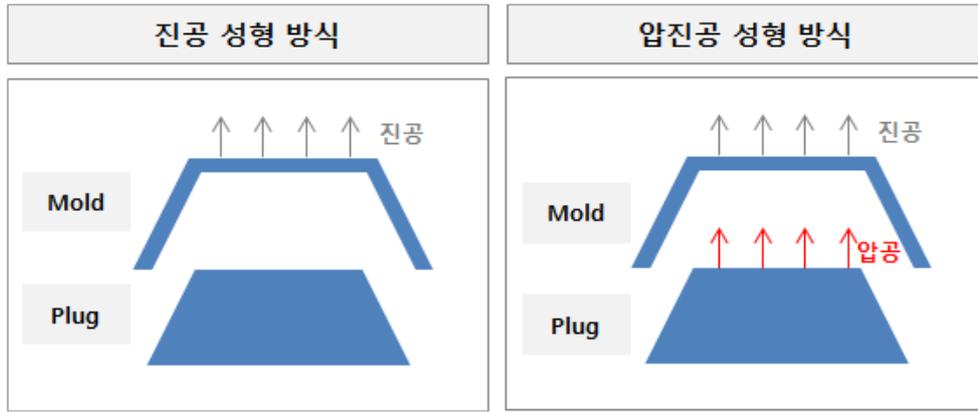
[성형 PROCESS]

시트 투입 → 가열 → 성형 → 절단



- 성형 Process는 시트 투입, 시트 가열을 통해 적절한 온도를 시트에 가한후, 금형 이동, Press, 압공 &진공, 냉각 순으로 진행이 되며, 각각의 Control 인자는 아래와 같다.

- 1) 금형 이동 : Plug, Mold의 움직임 및 순서에 따라 용기의 두께 배분 성형성에 주로 영향을 주며, 시트의 연신성이 불량할 경우 Plug를 먼저 상향 움직이고, Mold를 나중에 하향 움직임. 시트의 연신성이 양호할 경우 Mold만 하향하여 성형을 진행함. PET 발포시트의 경우 Plug 먼저 상향 움직이는 조건으로 진행한다.
- 2) Press : 금형 간격과 금형 내 밀폐정도에 따라 용기의 두께배분 및 윤곽 성형성에 영향을 주며 Cavity Housing을 이용하여 금형 내부를 더 밀폐시켜 압진공 효율을 높여주는 방법을 사용한다.
- 3) 압공 & 진공 : Air와 진공의 유무, 세기에 따라 미세윤곽에 영향을 주며, 비발포 제품과 PS 발포 제품의 경우 대부분 진공성형방식을 사용하고, PC, 다층 PP의 경우 압진공을 사용함. PET 발포 시트는 압진공 방식을 사용한다.



진공성형 금형 Vs 압진공 금형의 단면구조도

- 성형Process의 중요인자의 설정에는 상,하 성형 테이블의 이동을 시작으로 진공 성형에어의 시작점과 끝점, 압공에어의 시작점과 끝점, 그리고 성형 보조 플러그의 시작점과 끝점 따라 성형용기의 균일한 두께 분포에 영향을 미치며, 성형품의 강도와 열적 특성을 향상시킬 수 있으므로 그 시점과 끝점, 그리고 그 지점간의 지속 시간 변경을 통한 최적화된 성형 조건을 설정하였음.
- 다음 설정한 성형 인자별 조건은 PP발포 시트의 성형의 기본적인 성형 조건으로 사용되었음.

1) Upper Table : 성형 시작과 동시에 작동하여 Bottom Table과 닫힌 후 성형완료 시점까지 유지

2) Bottom Table : 성형 시작과 동시에 작동하여 Upper Table과 닫힌 후 성형완료 시점까지 유지

- 3) Plug : Bottom Table작동 개시 후 0.5초 후 작동하여 성형에어 및 이형 에어(Demolding Air)작동 시간동안 유지하며 테이블 열림 1초전 종료
- 4) 압공에어(Plessure Air) : 성형 테이블 작동 개시 후 0.5초후 작동하여 상하테이블 1.5초전 종료
- 5) 진공에어(Vacuum Air) : 성형 테이블 작동 개시 후 0.5초후 작동하여 4초간 유지
- 6) 이형에어(Demolding Air) : 진공에어 종료 후 즉시 작동하여 상하 테이블 종료 0.5초전 종료

2. PP발포 시트용 금형 설계

- 압진공 금형의 일반적인 구조는 가열된 시트를 밀착시켜 형상화 시키는 Cavity와 가열된 시트를 Cavity에 근접하게 밀어 주어 성형성을 향상 시킬 수 있는 성형 보조 역할을 하는 Plug로 구성되어 있음.
- PP 발포 시트의 성형성을 향상시키기 위해 전용 압진공 금형을 제작할 계획이며, 성형성을 향상시키기 위해 방안으로 Cavity 가열을 위한 온조기의 도입과 Plug의 전기 가열 방식을 적용할 계획임.



< Cavity가열 온조기 >

<Plug 전기 히터 컨트롤러>

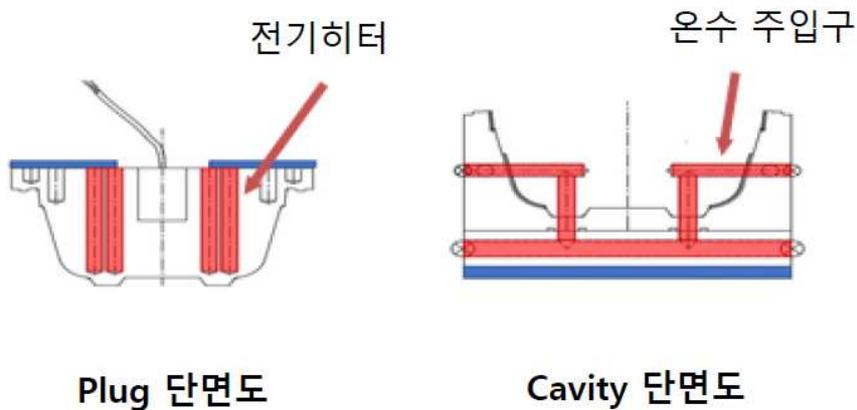


← Plug

← 성형 제품

← Cavity

- Plug가열을 위한 방법으로는 성형 시 상하로 계속 작동을 해야 하는 문제와 여러개로 이루어진 각각의 Plug의 온도를 컨트롤 하기 위하여 전기히터를 Plug에 삽입하는 개별 Plug Heating방식을 적용할 계획임.

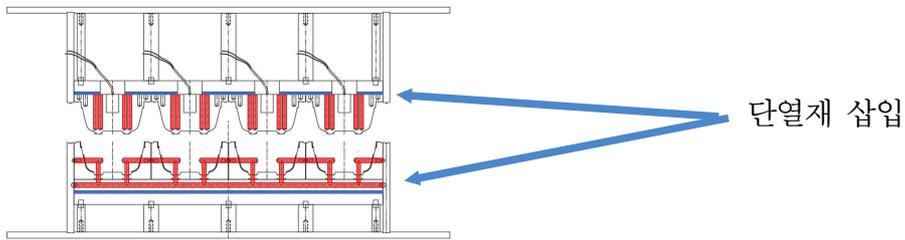


Plug 단면도

Cavity 단면도

- Cavity의 경우, 가열된 시트의 흡착을 유도하기 위한 진공에어의 미세 Hole 가공이 필요하고 가열과 냉각이 동시에 조정되어야 함으로 Cavity내 수로를 구성하여 필요에 따라 온조와 냉각수가 흘러 Cavity온도를 조정할 수 있어야 함.
- 상기 Plug의 전기히터 컨트롤러와 연결하여 온도를 조정함과 동시에 Cavity Air Hole과 같이 진공 흡입할 수 있는 미세 진공 에어 Hole을 적용할 계획이며, 이는 용기의 내부 형상 성형에 도움을 줄 것으로 판단.

- 각 Cavity 및 Plug가 고온(80°C~160°C)으로 작동함으로, 금형의 Housing이 고온의 Cavity와 Plug로 인한 간접 온도 상승으로 Housing연결부위 및 상하 결합부위의 뒤틀림이 발생하여 금형의 Housing을 Cavity와 Plug로부터 열차단할 수 있는 단열재로 적용 필요.



Housing 단열 금형 단면 예상도

3. PP발포 시트용 용기 디자인 설계 및 성형 조건 설정 TEST

하기와 같은 조건으로 케미코침단소재에서 제조된 PP발포시트를 가지고, 에이스팩의 PS발포용 금형과 성형설비에서 성형 test를 진행하였다.

- [사각형] 기존 용기 디자인 및 금형 활용

외부 직경 168.4mm X 119.4mm

내부 직경 151.0mm X 102.0mm

높이 39mm

=> H/D ratio (Height/Diameter) = 0.38

- 재질별 특성에 따라 기준되는 성형 조건 설정을 위한 성형 Test를 진행하였고, 각 재질에 따른 Heater 및 Mold의 온도를 설정하였으며, 성형 속도에 따른 변화도 확인 하였으나, 향후 설계, 제작 되는 용기 디자인 및 금형에 따른 명확한 기준의 재설정이 필요하다고 판단된다.

구 분			PP 발포	PS 발포	PET 비발포	PP 비발포
Heater	상/하	℃	320	280	250	380
	시간	초	10	8	6	12
	Sheet 온도	℃	165	140	120	180
Press	Plug	℃	80	80	80	80
	Mold	℃	100	80	30	25
	시간	초	5.5	3.0	2.5	7
물 성	성 형 성		△	○	○	△
	강 도		X	○	△	○
	압축강도(2nd)	kgf	5.3	8.5	6.5	7.2

성형 테스트에서 얻어지 PP발포 용기의 성형성과 물성은 상품화 할 수 있는 수준에 미달하였다. 그러나 추가적인 성형 테스트를 통해서 최적의 성형 금형과 성형 조건을 찾는다면 충분히 고품질의 PP발포 성형용기를 제조할 수 있을 것으로 판단이 된다. 아래의 성형된 용기 샘플의 사진에서 이러한 가능성을 충분히 확인할 수 있다.





에이스팩 양산용 성형장비에서 얻어진 용기 샘플 사진

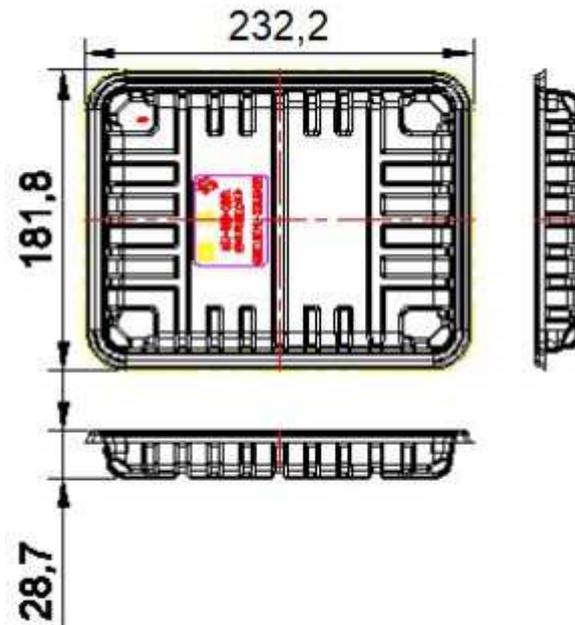
양산규모 성형장비를 이용한 PP 발포시트의 성형 테스트

- 성형기 : SENBA 압진공 자동 성형기 (VA2C-110HLC)
- 적용 금형 : 진공성형(Cavity-알루미늄, Plug-용)금형 / 3 x 4 = 12 Cavity



성형 용기 디자인

- 성형 용기 : 소분용 신선식품 포장용기



<제품도>

외부 직경 132.2mm X 181.8mm

내부 직경 112.2mm X 161.8mm

높이 28.7mm

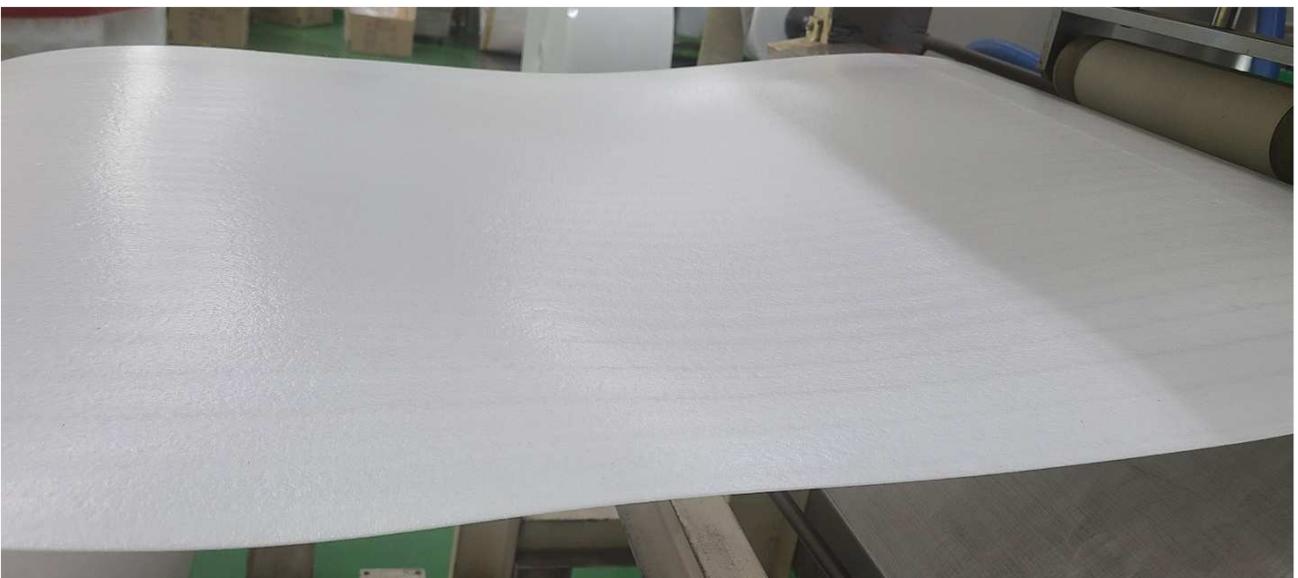
= > H/D(Height/Diameter) = 0.177

용기 성형 TEST

- 성형 조건

구 분			PP 발포	PET 비발포	PP 비발포
Heater	상/하	℃	300	250	380
	시간	초	10	6	12
	Sheet 온도	℃	155	120	180
Press	Plug	℃	-	-	-
	Mold	℃	25	30	25
	시간	초	5.5	2.5	7
물 성	성 형 성		X	O	O
	강 도		X	O	O

- 원단 투입





- 성형



- SHEET 표면



- 성형 제품



PP 발포	PET 비발포
	
PP (white) 비발포	PP (red) 비발포
	

성형 TEST 결과

- PP, PET, PP발포 각 재질별 특성에 따라 기준되는 성형 조건 설정 및 품질 비교를 위한 성형 Test 를 진행하였으며, 각 재질에 따른 적정 Heater 및 Mold의 온도를 설정하기 위해 , 성형 속도에 따른 변화도 확인 하였으나, 향후 PP발포시트의 성형성을 포함한 용기 디자인 및 금형에 따른 명확한 기준의 재 설정이 필요하다고 판단된다. 특히 발포 PP 시트를 성형하기 위해서는 프레스 성형 방식, 즉 캐비티와 플러그 금형이 양쪽에서 눌러주는 금형 조합이 준비되어야만 용기 표면에 선명한 글자와 굴곡 디자인이 얻어질 수 있다고 이해할 수 있었다.

4. PP 발포 용기의 상업화를 위한 lab 규모 성형조건의 개발.

PP발포시트에 대한 성형성을 개선하기 위해서 소형 lab 성형기, 즉 샘플 성형기를 이용해서 PP발포시트에 대한 최적의 성형조건을 찾고자 하였다. 이 테스트를 위해서 금형제작업체인 나인정공(주)의 협조를 받아서 실험실 규모의 성형테스트를 진행하였다.

이 실험에서 가장 큰 차이는 양인진공 양온금형의 조건에서 성형을 진행한 점이다. 양인진공 양온금형이란, 플러그 금형과 캐비티 금형 둘 다 진공을 걸어주고 플러그 금형과 캐비티 금형 둘 다 온도를 올려주는 성형조건을 의미한다. 기존의 PS발포에 사용되는 금형조건은 앞서 언급된 바와 같이 캐비티는 진공을 걸고, 플러그는 에어압력을 걸어서 압진공 방식으로 성형이 되며, 캐비티는 냉금형 즉 냉각수를 넣어서 상온 수준의 금형온도를 유지하면서 성형하게 된다.

그러나, 이와 달리 양인진공 양온금형에서는 플러그 금형과 캐비티 금형 둘 다 진공을 걸어주고 플러그 금형과 캐비티 금형 둘 다 온도를 60도 ~ 80도로 올려주는 성형조건을 의미한다.

샘플 성형기에서 온도는 플러그 60도, 캐비티 80도를 설정하여 성형하였다.

진공은 플러그와 캐비티 둘 다 진공을 걸어서 성형하였고, 이와 같은 조건에서 우수한 용기 강도, 그리고 우수한 표면품질을 특징으로 하는 고품질 PP발포 식품용기를 얻을 수 있었다. (아래 PP 발포 성형공정 및 성형품 샘플 사진 참조)







PP발포 성형품 사진 (금형은 롯데푸드 스파게티 금형을 사용)

5. PP 발포 성형용기의 내열성 평가 결과

샘플 성형기를 이용하여 양인진공 양온금형 조건에서 성형된 즉석식품 용기의 내열성을 검증하기 위해서 용기에 절반 정도까지 물을 붓고 전자레인지에 3분을 가열하였다. 가열 후 용기의 상태를 가열 전과 비교하였는데, 전혀 치수의 변화를 볼 수 없었고, 내열성이 충분하다는 것을 확인하였다. 또한 맨손으로 가열된 용기를 직접 들었을 때, 전혀 뜨겁지 않다는 장점도 재확인하였다. 이것은 즉석식품의 용도 상, 전자레인지 가열이 필수이므로, 사용자의 화상 위험을 원천적으로 방지할 수 있는 특별한 장점이 될 수 있겠다. 그 동안 PS발포 용기는 전자레인지 사용이 불가능하였으므로, 인체에 안전한 PP발포 즉석식품 용기는 대량 양산에 성공할 경우에 매우 큰 파급효과가 예상된다.

<가열 후>



(정면)



(45도)



(측면)

전자레인지 가열 실험 결과 사진 (3분 가열 후)

6. 롯데푸드 PP 발포 용기 물성 및 적합성 평가 결과

롯데푸드 중앙연구소에 제출한 3종의 PP 발포 용기에 대해서 롯데푸드의 물성 및 적합성 평가를 진행하였고, 그 결과가 아래의 표와 같이 나왔다.

시험결과보고서

1. 제 목 : 발포 PP 용기 (상온 스파게티용) 추가 샘플 물성 점검
2. 목 적 : 발포 PP용기의 제품 적용 가능성 검증을 위한 사전 점검 (두께, 발포 배율 조정)
3. 일 시 : 2022. 1. 17
4. 결 과

단위 : mm, g, kgf, °C

구분	기 준	검 토 1	검 토 2	검 토 3	비 고																		
재 질	비발포 PP	발포 PP			• 제조사 : 케미크 첨단소재																		
용기 규격 (장x폭x고)	140 x 144 x 50				-																		
Spec	-	3.5T, 9배 발포	3.0T, 5.5배 발포	2.8T, 6배 발포	-																		
점검일	21. 12. 20		22. 1. 14		• 1차 : 3.5T • 2차 : 3.0T, 2.8T																		
용기 중량	15.4 (15.2 - 15.6)	7.6 (7.2 - 8.0)	10.4 (10.2 - 11.0)	8.6 (7.9 - 9.4)	-																		
감량효과	-	▲50.6%	▲32.4%	▲44.1%	-																		
압축 강도	25.6	15.8	22.5	12.2	• 측정기기 : INSTRON • 조건 : 50mm/min																		
표면 온도	80 - 90	40 - 60	40 - 45	40 - 45	-																		
외관 변화	 <ul style="list-style-type: none"> • 조리 직후, 측면이 살짝 휘어지는 듯 보이나 열이 식으면서 회복됨 • 용기 뒤틀림, 수축 등의 외관 변화는 없음 • 토마토 소스의 경우, 용기 내부 색 배임도 크게 차이가 없음 		 <ul style="list-style-type: none"> • 조리 전·후 외관 변화 없음 • 내부 색배임도 1차 샘플 대비 차이 없음 		 <ul style="list-style-type: none"> • 조리 후 반복적으로 휘어질 경우, 테두리 갈라짐 발생 • 내부 색배임도 1차 샘플 대비 차이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 700W, 2분 조리 • 전자레인지 조리 직후 측면의 표면 온도 측정 (비접촉식 온도계) 																	
안전성	<table border="1"> <tr> <td>시험항목</td> <td>기준규격</td> <td>결 과</td> </tr> <tr> <td>납</td> <td>1 이하</td> <td>불검출</td> </tr> <tr> <td>과망간산칼륨소비량</td> <td>10 이하</td> <td>0.2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>중: 3</td> </tr> <tr> <td>중용출량</td> <td>30 이하</td> <td>초산10</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>형단 20</td> </tr> </table>		시험항목	기준규격	결 과	납	1 이하	불검출	과망간산칼륨소비량	10 이하	0.2			중: 3	중용출량	30 이하	초산10			형단 20	<p>(※ 시험기준 :</p> <p>기구 및 용기포장 공전</p> <p>> Ⅲ 제질별 규격</p> <p>> 1. 합성수지계</p>		-
시험항목	기준규격	결 과																					
납	1 이하	불검출																					
과망간산칼륨소비량	10 이하	0.2																					
		중: 3																					
중용출량	30 이하	초산10																					
		형단 20																					

현재 사용되고 있는 비발포 PP용기 대비 32~50%의 원천 감량이 가능한 것으로 파악이 되었으나 용기의 강도 등을 고려하여 두께 3T, 발포배율 5.5배 발포시트가 가장 적합하다는 결론을 얻을 수 있었다.

전자레인지 가열 시 용기 표면온도가 현저히 낮아서 화상위험이 급격히 감소된다는 점이 매우 인상적으로 평가되었다. 롯데푸드 중앙연구소는 추가적인 테스트, 즉 양산라인에 적용 테스트를 위해서 300개의 용기 샘플을 제출하기로 하였다.

7. PP 발포 deep draw 배달용기 성형성 평가

현재 사용되는 발포 PS 배달용기와 비발포 PP 배달용기를 경량화된 발포 PP 용기로 대체하고자, 다양한 용기형태의 금형을 제작하여 성형 Test를 진행하였다. 용기의 깊이와 형태에 따라서 성형품질은 다소 달라지지만, 대체로 우수한 성형성을 확인할 수 있었다. 보온보냉 기능을 갖는 PP 발포 용기는 배달시간 중에 음식이 식어버리거나 얼음이 녹아버리는 문제를 해결할 수 있는 매우 중요한 기능성을 장점으로 갖는다는 점에서 향후 매우 시장성이 크다고 볼 수 있겠다.



8. PP 발포 라면용기 시제품 제조 및 성형성 평가

현재 사용되는 발포 PS 라면용기, 종이용기, 비발포 PP 라면용기를 경량화된 발포 PP 용기로 대체하고자, 농심 육개장 사발면 용기에 대한 금형을 제작하여 성형 Test를 진행하

였다. 양인진공 양온금형을 적용함으로써 용기 옆면이 얇아지고 변형되는 문제를 해결할 수 있었다.



신규 제작한 농심 육개장 사발면 용기 양산금형

양인진공 양온금형으로 제작된 육개장 라면용기 성형품은 상당히 양호한 품질을 나타내었으며, 해외 수출용으로 사용되고 있는 비발포 PP 라면용기의 무게 대비 40~50%의 무게를 원천감량할 수 있다는 것을 확인하였다. 추가적으로 용기 강도와 외관품질 등에 대한 평가를 농심 연구소 주관으로 진행하기로 하였다.



PP 발포 라면 용기 샘플 사진

단층으로 이루어진 PP 발포 라면 용기 뿐 아니라, 2 layer와 3 layer로 이루어진 다층구조의 발포시트를 이용하여 75 mm 깊이의 라면용기 성형을 성공할 수 있었다. 다층구조 용기의 장점은 더욱 높은 용기 구조강도를 들 수 있었으며, 다양한 색상을 구현하기 용이하다는 장점도 확인이 되어다. 그러나, 다층구조를 만들기 위해서 2번의 압출코팅공정을 거치는 것은 제조비용의 상승을 초래하여 제조원가의 부담을 만드는 요인이 되었다. 향후 이에 대한 대안으로 공압출 발포기술이 필요하다고 판단하였다.



3층 구조의 PP 발포 라면 용기 샘플 사진

이외에도 육류트레이, 편의점 도시락, 덮밥용기, 뚜껑이 있는 힌지가 있는 클램셸 구조의 테이크아웃 용기 등, 다양한 형태의 식품용기 시제품을 제조할 수 있었으며, 매출로 연결 될 가능성이 매우 높은 단계에 왔다고 판단할 수 있다.



9. 농심 생생우동 용기의 PP 발포 적용 시제품 제조 및 성형성 평가

K-food에 대한 전세계적인 관심이 커지면서, 라면 수출물량이 현저히 증가하고 있고, 해외에서는 스티로폼 용기가 금지되고 있어서, 농심 생생우동 용기는 PP비발포 용기가 수출용으로 사용되고 있으나, 전자레인지에 가열하면 매우 뜨거워져서 화상 위험이 높은 문제를 갖고 있다. 이 문제를 해결하고자 하는 농심의 의지가 매우 크기 때문에, 고배율 발포 PP용기로 대체하고자 농심 중앙연구소와 공동으로 케미코첨단소재의 용기 샘플을 평가하였다.

케미코 발포PP용기 품질평가 결과		2차 (23.11.14) 생생우동		비고 (기준)	
<ul style="list-style-type: none"> 목적 : 플라스틱 저감화 및 친환경 포장개발을 위한 연구 (케미코) 일시 및 장소 : 2023년 11월 14일 화요일 / 4층 감성포장개발실 평가 내용 : 중량, 압축강도, 조리테스트 (전자레인지 1,000w / 2분) 					
샘플	1차 (23.7.14) 생생우동	2차 (23.11.14) 생생우동			
외면코팅	PP80 μ m	PP70 μ m / 발포PP 3T (6배 발포) 확인필요	세부재질 측정결과 2.4T / 4배 발포로 추정됨		
중량 (g)	17.5 g	18.1 g	육개장 : 7 생생우동 : 13.5 / 31(PP)		
두께 (mm)	바닥 2.4 / 측면 1.8	바닥 1.8 / 측면 1.3	육개장 : 2.5 생생우동 : 2.5 / 1.2(PP)		
압축강도 (kgf)	16.1 (2차 강도는 측정되지 않음)	13.9 / 30.3	육개장 : 9 / 40 생생우동 : 최소 15 / 20(PP) 평균 12.0 / 70.7 (PSP)		
결과 및 비교 (vs. 1차)	조리 사진			1,000w / 5분 조리시에도 양호 (스머들 현상만 발생)	
	외관	입술부위 표면 거칠음	개선		
	단열성	양호	양호		
	변형	편심발생	양호		
	스택킹	불안정	양호		
<ul style="list-style-type: none"> 결과 및 계획 : 1차 이후, 양호한 품질 확인됨 → 육개장 사발면 타겟으로 재샘플 요청 가격 확인 예정 (수출 생생우동) 흑색 					

발포PP 생생우동용기 기본물성 및 품질평가 Report

위의 기본물성/품질평가 리포트의 결과에서 볼 수 있듯이 외관품질, 단열성, 변형, 스택킹작업성 등의 항목을 모두 통과하였으며, 라면 생산공장에서의 자동투입 작업성에 대한 테스트를 남겨놓고 있다. 아직까지 전세계적으로, 즉석라면용기에 고배율 발포PP용기가 적용된 사례가 없으므로, 이번 프로젝트가 성공하여 실제 라면용기로 적용될 경우, 세계 최초의 사례로 기록될 예정이다.

10. GS25 편의점 간편식도시락 용기 적용 및 상품화 성공

본 과제를 통해서 개발된 고배율 발포 PP 식품용기 기술은, 국내 최초로 GS25 편의점의 간편식 도시락 트레이용기로 상품화 되었으며, 적용 아이템 수를 점차 확대할 예정이다.

 **GS 리테일 주식회사 지에스리테일**

서울시 강남구 논현로 508 GS타워

거래처명 : 케미코첨단소재주

주소 : (우 18530)경기도 화성시 팔탄면 노하길 513 팔탄센트럴 A동 2층

수신 : 케미코첨단소재주 이원중 상무

발신 : GS 리테일 MD 본부 간편 MD 부문 IP 파트

제목 : 도시락 용기 사용 관련 회신의件

수 신 : 케미코첨단소재주 귀하

참 조 : -

제 목 : 도시락 용기 사용 관련 회신의件

귀사의 발전을 기원합니다.

1. 케미코첨단소재주의 발포 PP 용기(플라스틱 감소량 25%)를 당사 제주돼지 도시락 2종의 식품용기로 사용하고 있음을 확인함.

2024년 1월 24일 (수)

- 끝 -

 **GS 리테일**

Part 3. 시판용 일회용 배달용기 모니터링 및 PP발포 성형용기 샘플의 물성 및 용출안전성 평가

(1) 시판되는 일회용 배달용기 모니터링

대체하고자 하는 대상인 배달용기의 현황 및 spec, 성능을 조사하기 위하여 시중 유통중인 배달 용기를 On-Line 매장 및 성형업체에서 수거하여 조사하였음.

1) 조사대상 : 시중에서 유통되는 배달용기중 사용량이 많은 품목 13가지

2) 조사항목

- Spec. : 재질과 두께, 중량, 크기
- 성형품질 조사 : 구조 분석 및 부위별 두께 측정

3) Sample List

No.	구분	용기		캡	
		재질	sheet	재질	sheet
1	고강도 탕용기 (대) 1 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	1.2t	PP(투명)	0.65t
2	고강도 탕용기 (대) 2 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.9t	PP(투명)	0.65t
3	고강도 탕용기 (중) 1 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.9t	PP(투명)	0.6t
4	고강도 탕용기 (중) 2 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	1.0t	PP(투명)	0.8t
5	고강도 탕용기 (중) 3 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.8t	PP(투명)	0.6t
6	고강도 탕용기 (소) 1 - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.7t	PP(투명)	0.5t
7	우동 용기 (소) - 몸통 + 뚜껑	PP(투명)	0.8t	PP(투명)	0.6t
8	투명 국탕용기 (중) 1 - 몸통 + 뚜껑	PP(투명)	0.7t	PP(투명)	0.5t
9	투명 국탕용기 (중) 2 - 몸통 + 뚜껑	PP(투명)	0.7t	PP(투명)	0.5t
10	탕용기(M-200A/백색) - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.7t	PP(투명)	0.6t
11	국용기(소) - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.8t	PP(투명)	0.4t
12	타원찜용기(대) - 몸통 + 뚜껑	PP(백색)	0.7t	PP(투명)	0.6t
13	밥국용기(사각) - 몸통 + 뚜껑	PP(투명)	0.7t	PP(투명)	0.6t

4) 조사 결과 요약

- 용기는 0.7~1.2t Block-PP sheet를 사용하고 있었으며, 유백인 경우가 많았음.

- 뚜껑은 0.4~0.8t Block-PP sheet를 사용하고 있었으며, 투명이었음.
- 강도에 치중하여 세로로 Rib를 넣은 경우가 많았음.
- 대부분 열접착 밀봉보다는 뚜껑을 사용하고 있었음.
- 성형품질은 제조사에 따라 큰 차이를 보이고 있었음.

Sample 1. 고강도 탕용기 (대) 1 - 몸통+뚜껑

◇ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
24.01	46.73	11	124	126	175	225

◇ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.139	0.826	1.388	0.342	0.338	0.393	0.752	0.584	0.576	0.551

Sample 2. 고강도 탕용기 (대) 2 - 몸통+뚜껑

◇ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
22.28	46.84	15	98	100	177	218

◇ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.784	0.595	0.477	0.568	0.517	0.693	0.831	0.639	0.551	0.528

Sample 3. 고강도 탕용기 (중) 1 - 몸통+뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
23.98	43.09	10	85	87	186	225

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.806	0.764	0.512	0.304	0.244	0.437	0.633	0.574	0.580	0.517

Sample 4. 고강도 탕용기 (중) 2 - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
22.30	46.79	15	81	83	185	222

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.817	0.674	0.529	0.573	0.643	0.831	0.936	0.766	0.547	0.534

Sample 5. 고강도 탕용기 (중) 3 - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
14.03	28.96	12	87	89	140	190

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.715	0.601	0.437	0.517	0.476	0.560	0.692	0.500	0.494	0.484

Sample 6. 고강도 탕용기 (소) 1 - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰웠을 때	바닥	쓰웠을 때
13.39	25.77	11	67	69	143	190

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.659	0.578	0.451	0.415	0.480	0.581	0.633	0.458	0.451	0.445

Sample 7. 우동 용기 (소) - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰윳을 때	바닥	쓰윳을 때
16.66	24.95	12	63	65	132	187

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.746	0.547	0.455	0.491	0.447	0.442	0.665	0.582	0.537	0.588

Sample 8. 투명 국탕용기 (중) 1 - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰윳을 때	바닥	쓰윳을 때
12.71	25.73	11	87	89	140	190

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.689	0.592	0.427	0.364	0.341	0.337	0.575	0.434	0.413	0.417

Sample 9. 투명 국탕용기 (중) 2 - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	꺼냈을 때	바닥	꺼냈을 때
13.70	26.61	11	86	87	140	190

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.661	0.526	0.345	0.441	0.348	0.343	0.644	0.459	0.435	0.443

Sample 10. 탕용기(M-200A/백색) - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	꺼냈을 때	바닥	꺼냈을 때
20.10	29.17	28	65	84	150	200

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.621	0.534	0.512	0.432	0.443	0.662	0.574	0.543	0.523	0.451

Sample 11. 국용기(소) - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 (mm)	
캡	용기	캡	용기	쓰윳을 때	바닥	쓰윳을 때
4.00	10.33	9	70	71	79	110

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.697	0.683	0.363	0.301	0.286	0.351	0.657	0.398	0.377	0.384

Sample 12. 타원점용기(대) - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 가로/세로 (mm)			
캡	용기	캡	용기	쓰윳을 때	바닥		쓰윳을 때	
21.65	66.21	12	80	82	300	202	350	250

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.677	0.541	0.423	0.272	0.442	0.471	0.689	0.531	0.518	0.528

Sample 13. 밥국용기(사각) - 몸통 + 뚜껑

◆ Spec.

중량 (g)		높이 (mm)			직경 가로/세로 (mm)			
캡	용기	캡	용기	썩었을 때	바닥		썩었을 때	
7.02	14.66	11	55	57	109	79	140	105

◆ 부위별 성형 두께 (단위: mm)

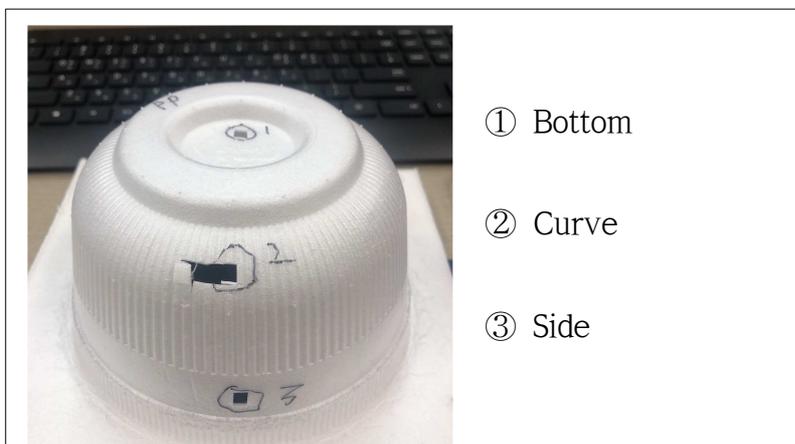
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.677	0.541	0.423	0.272	0.442	0.471	0.689	0.531	0.518	0.528

(2) 미세발포 시작품 성형제품 평가

케미코 첨단소재에서 제작한 미세발포 시작품에 대해서 구조를 비교 평가하였음.

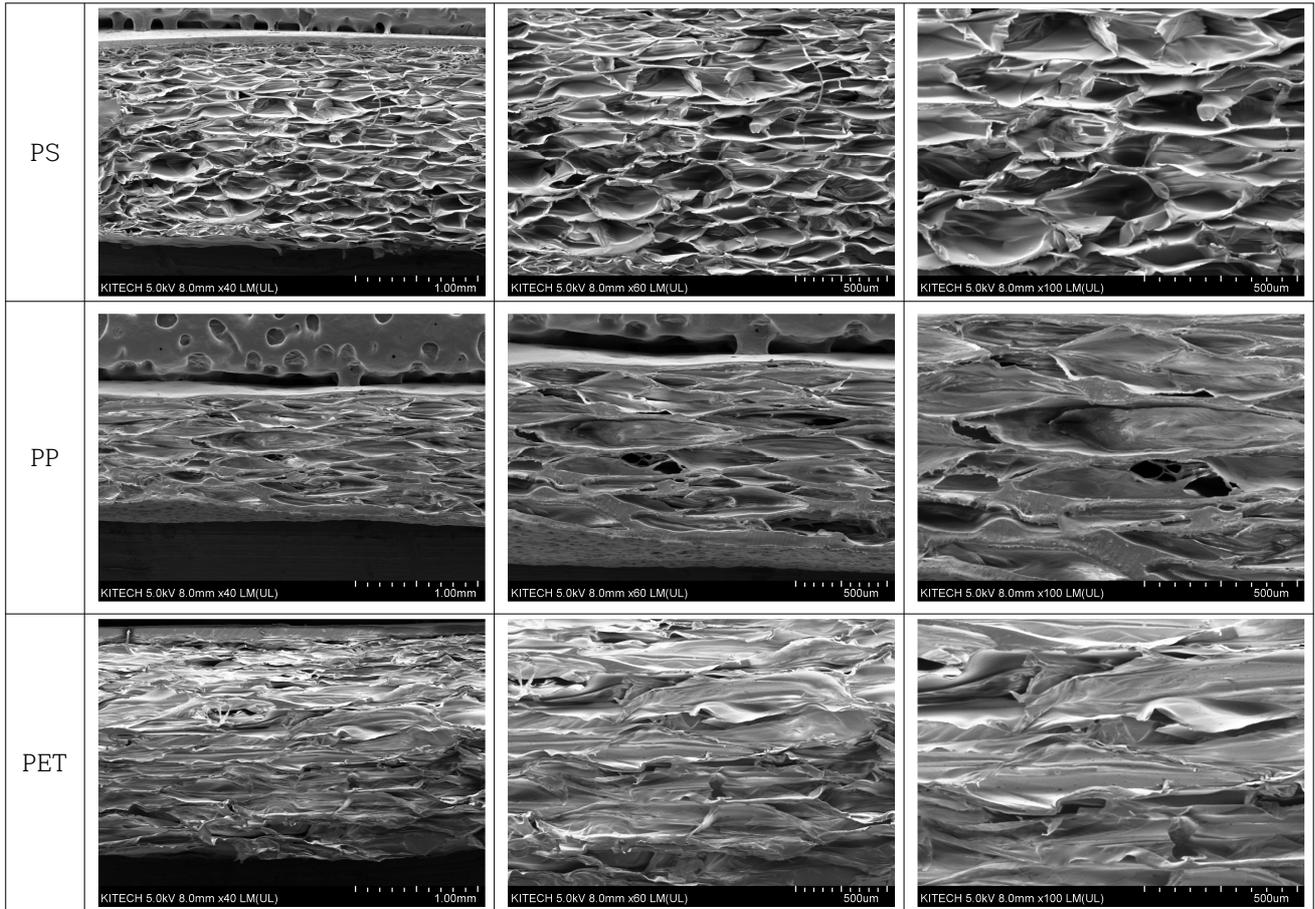
동일한 금형으로 제조된 PS와 PET 발포 용기에 대해서 각 부위별 단면을 SEM으로 분석하였음.

1) 시편 위치

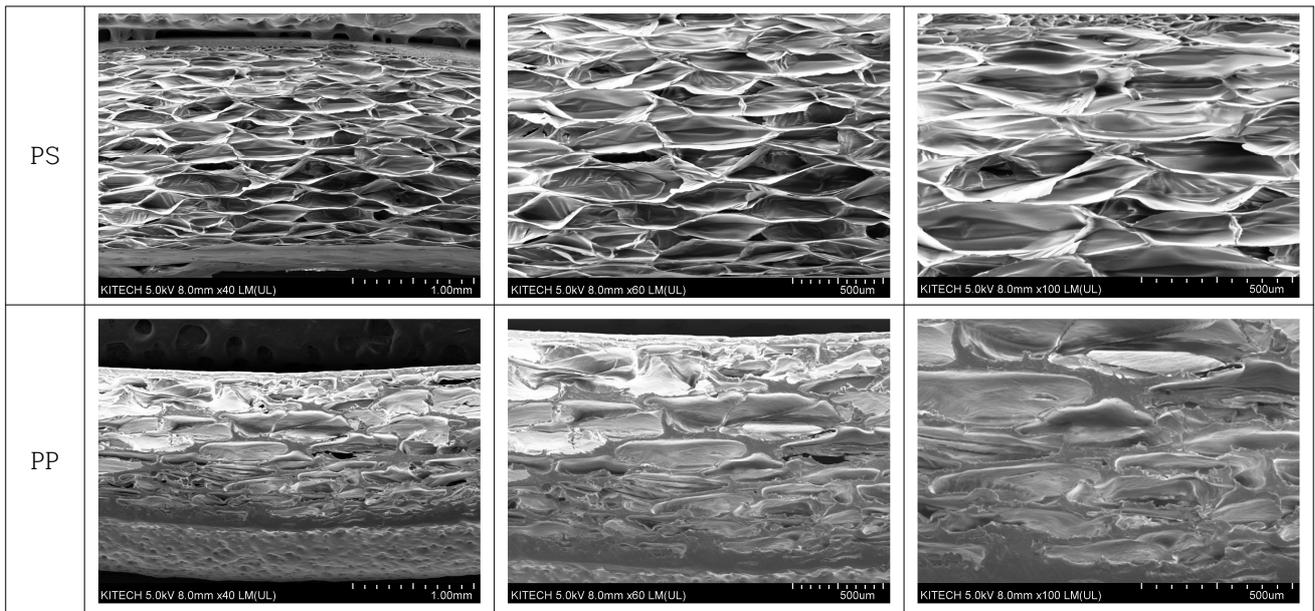


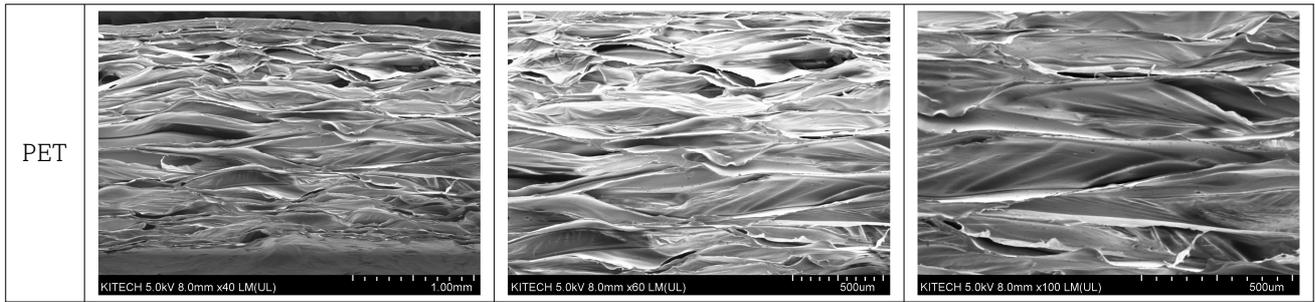
2) 분석 결과

① Bottom

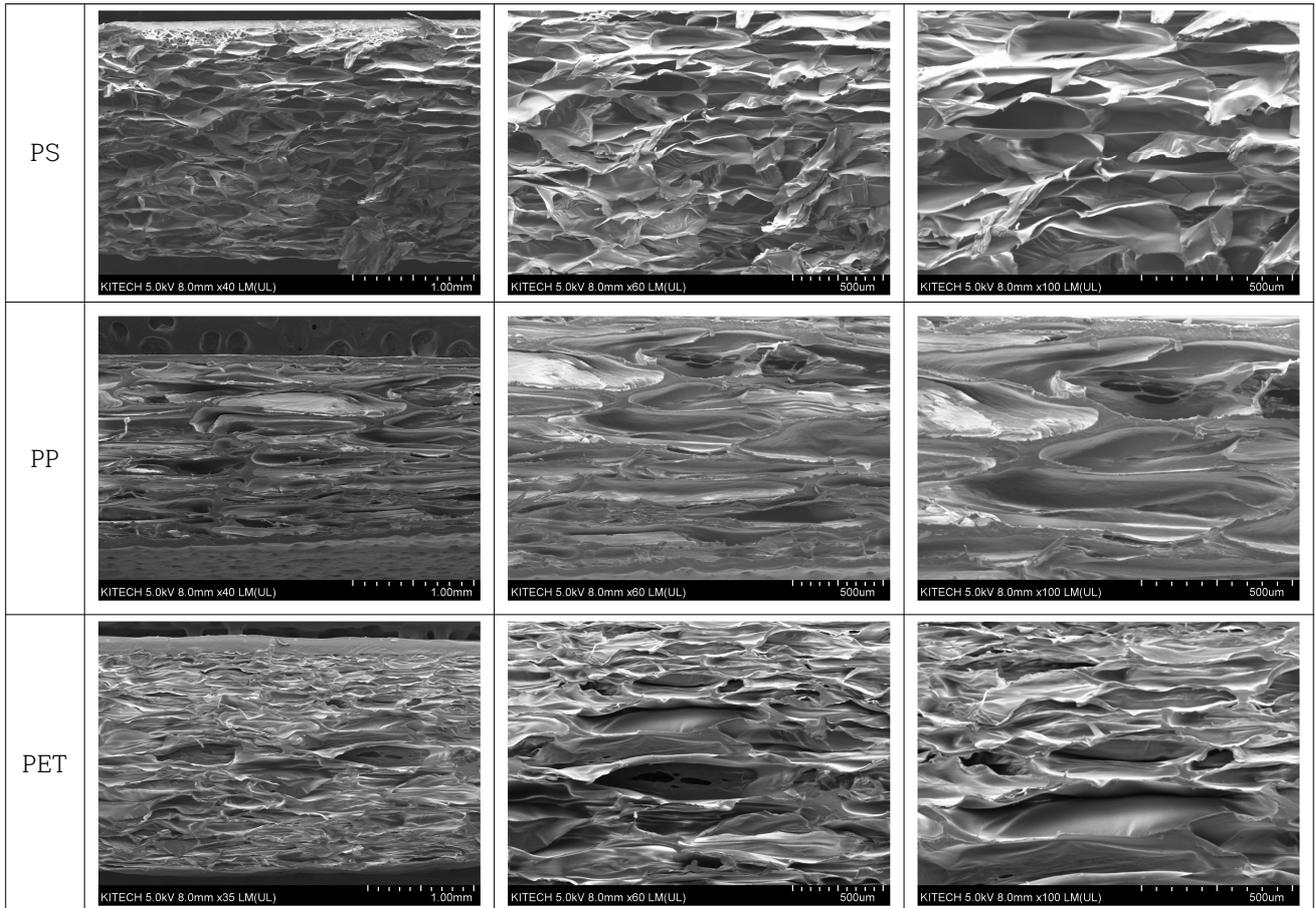


② Curve





③ Side



분석결과, 발포 PET에 비해 셀의 형상이 우수한 것으로 조사되었으나, 발포 PS에 비해서는 셀의 균일성이 다소 떨어지는 것으로 판단됨.

Cell matrix를 구성하는 wall의 경질화가 더 필요할 것으로 판단됨.

(3) 미세발포 시작품 압축강도 평가

케미코 첨단소재에서 제작한 미세발포 시작품에 대해서 강도를 비교 평가하였음.

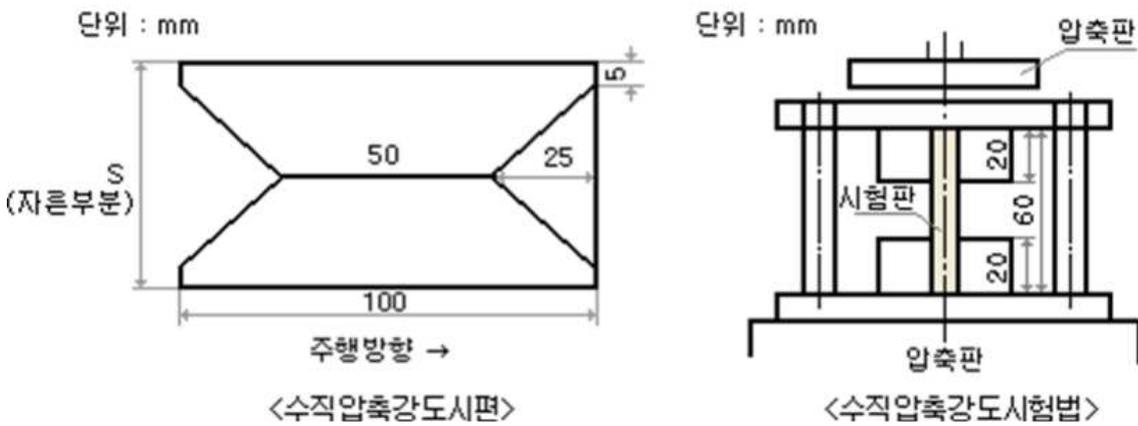
1) 시료

- 기존 PP 발포 sheet 2.5t
- PP 미세발포 시작품 sheet 2.5t

2) 시험방법

Sheet 시편을 아래 그림과 같이 제작하여, 압축강도시험기에서 TEST (KS M 7063)에 의해 실시하였음.

시편은 각각 MD 방향과 TD방향 두가지로 제작하였음.



3) 시험 결과

시험 결과, 미세발포 시작품의 발포율은 크게 개선되지 않았지만, 압축강도에 있어서는 기존의 발포시트보다 우수한 것으로 조사되었음.

따라서, 미세 발포를 더 균일하고 작게 형성시키는 것이 용기의 경량화에 도움이 될

것으로 판단함.

시료명	항목	평균	표준편차	시료1	시료2	시료3
x5	MD	30.43	0.40	30.28	30.12	30.88
	TD	39.63	3.00	36.44	42.4	40.06
미세발포 샘플	MD	47.62	4.08	46.50	52.14	44.22
	TD	42.71	2.41	45.26	40.46	42.40

(4) 미세발포 2차 시작품 시트 상태 평가

케미코침단소재에서 제작한 미세발포 PP 발포시트 시제품 3종에 대해서 강도를 비교 평가하였음.

1) 시료

No.	두께	발포율	비고
2	1.6T	2.8배	필름 코팅
9	1.7T	2.4배	
28	2.8T	7.1배	
PE폼	2T	3.5배	

2) 두께

: 두께 편차가 심한 편으로, PP 발포시트는 9번이 가장 심하고, 2번은 10%, 28번의 경우가 가장 양호함.

(단위: mm)

No.	2	9	28	PE
기준	1.6	1.7	7.1	2.0
aver.	1.8313	1.7716	2.7849	1.9251
stdev.	0.1827	0.2351	0.1716	0.4745
stdev./aver.	10.0%	13.3%	6.2%	24.6%

(5) 미세발포 2차 시제품 시트 단면 분석

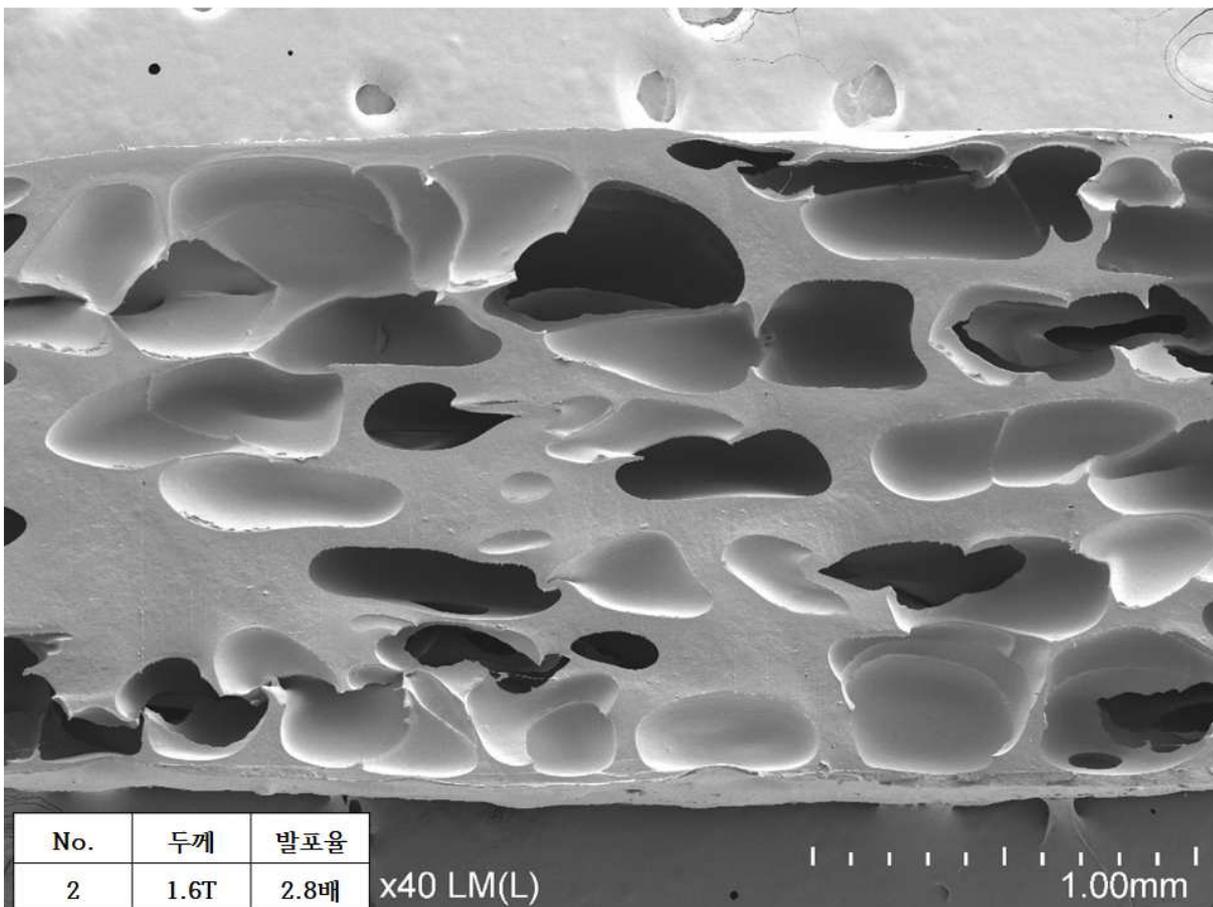
케미코침단소재에서 제작한 시제품 4종에 대해서 구조를 비교 평가하였음.

각 부위별 단면을 SEM으로 분석하였음.

1) 시료 2

시료 2는 발포율 2.8배로서, 발포 cell로 구성된 구조라기보다 두꺼운 matrix가 차지하는 부피가 많은 것으로 발견되었음.

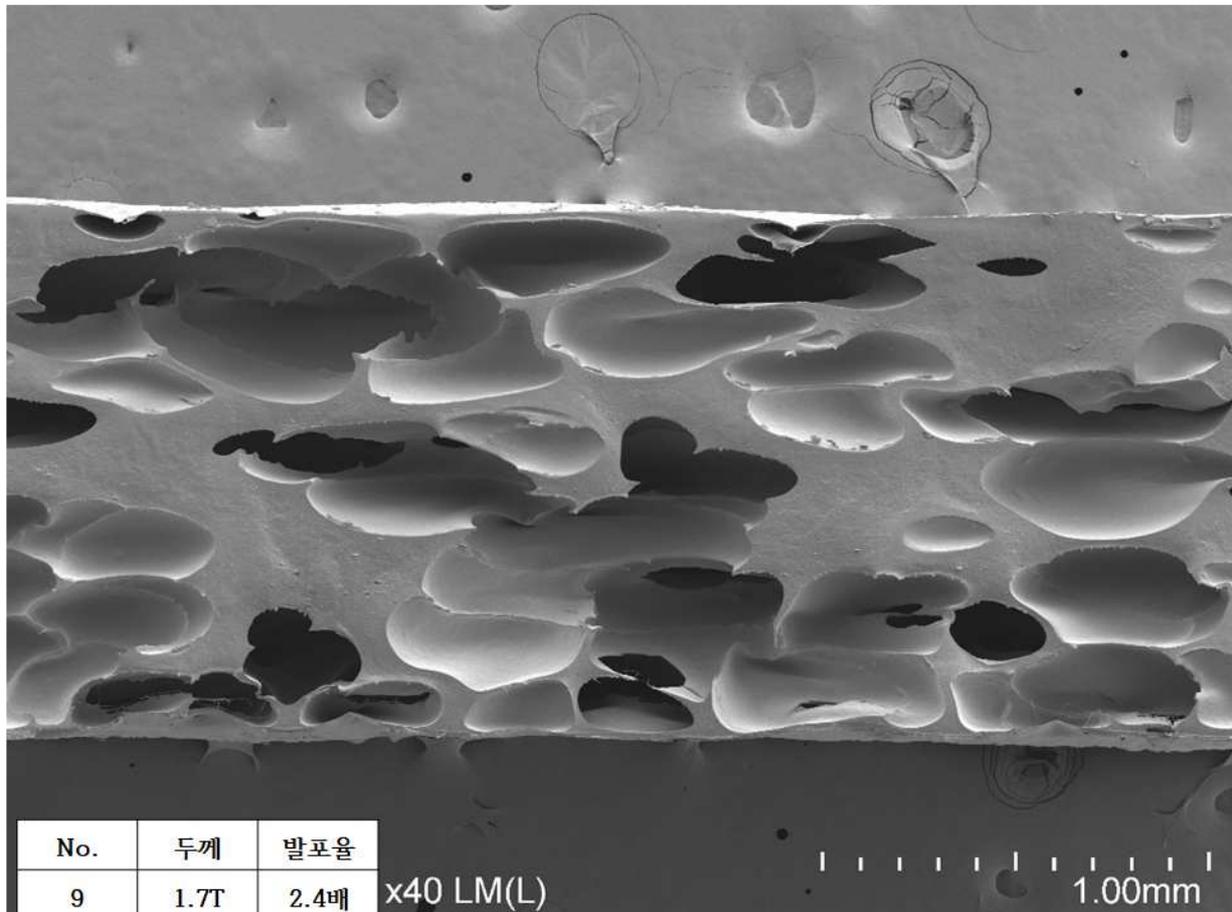
발포율이 작다보니, 시트 자체의 유연성이 적고 강성이 강하여 발포 sheet 보다는 PP sheet에 가까운 기계적 물성을 보임.



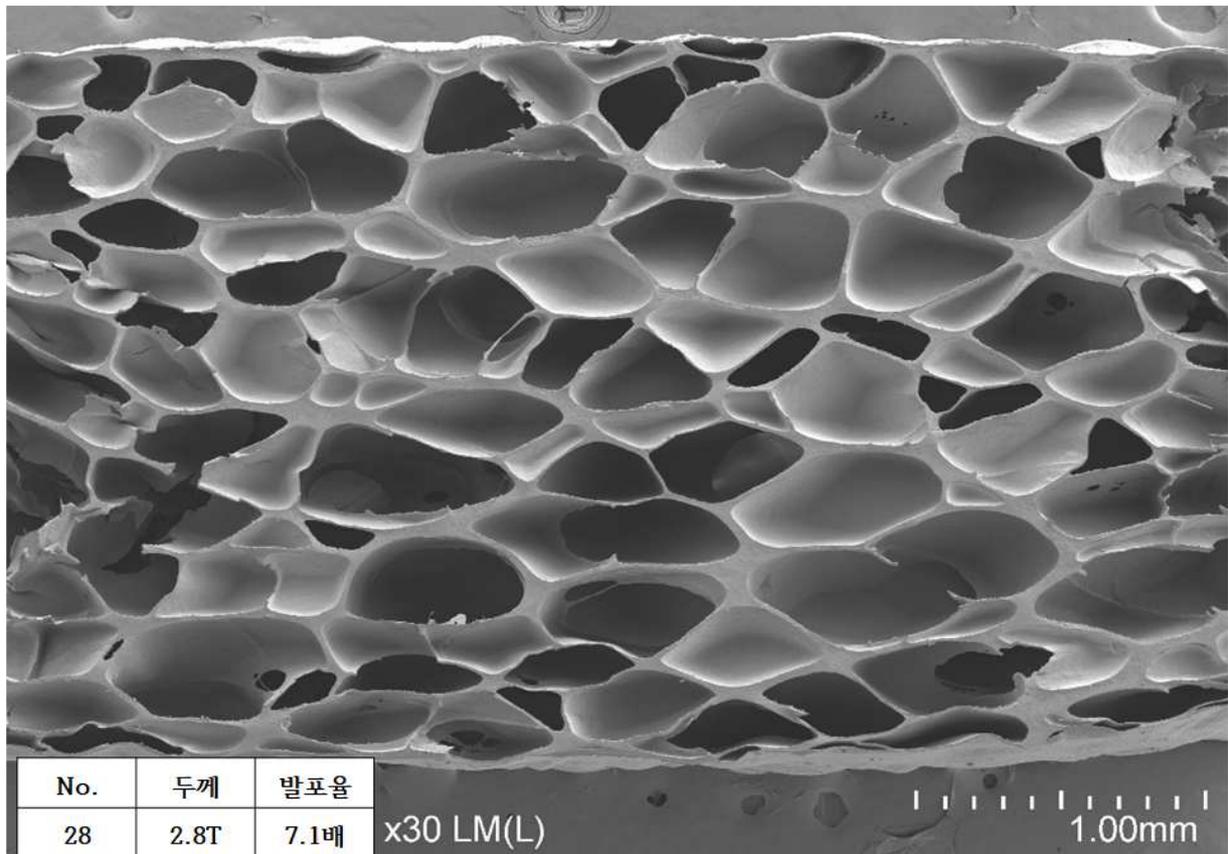
2) 시료 9

시료 9는 발포율 2.4배로서, 역시 2와 마찬가지로 발포 cell로 구성된 구조라기보다 두꺼운 matrix가 차지하는 부피가 많은 것으로 발견되었음.

발포율이 작다보니, 시트 자체의 유연성이 적고 강성이 강하여 발포 sheet 보다는 PP sheet에 가까운 기계적 물성을 보임.



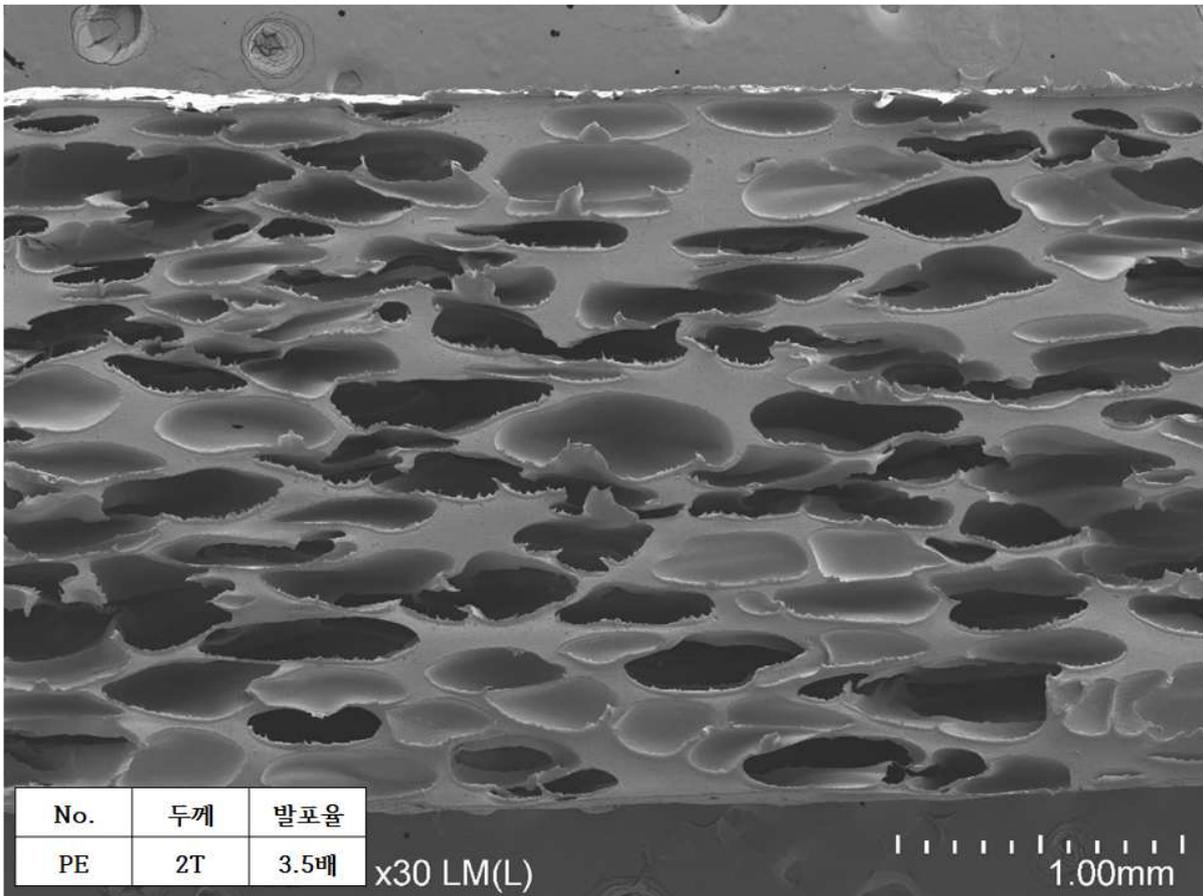
3) 시료 28



시료 28은 발포율 7.1배로서, 가장 안정적인 cell 구조를 보여줌
두꺼움에도 불구하고 다른 샘플보다 유연성을 보여줌.

4) PE 발포 시트의 분석

PE 발포 sheet의 경우, 시료 28보다 발포율은 절반밖에는 되지 않지만, 소재가 PE인 관계로 매우 유연성이 있는 것으로 조사됨.



(6) 미세발포 2차 시제품 시트 강도 분석

케미코 첨단소재에서 제작한 미세발포 시제품 3종에 대해서 강도를 비교 평가하였음.

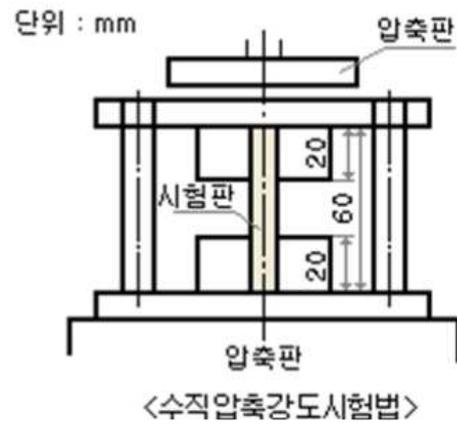
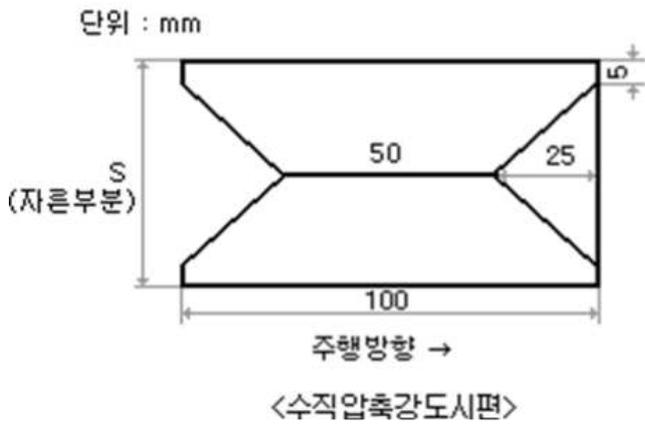
1) 시료

No.	두께	발포율	비고
2	1.6T	2.8배	필름 코팅
9	1.7T	2.4배	
28	2.8T	7.1배	
PE	2T	3.5배	

2) 시험방법

Sheet 시편을 아래 그림과 같이 제작하여, 압축강도시험기에서 TEST (KS M 7063)에 의해 실시하였음(속도: 13mm/min).

시편은 각각 MD 방향과 TD방향 두가지로 제작하였음.

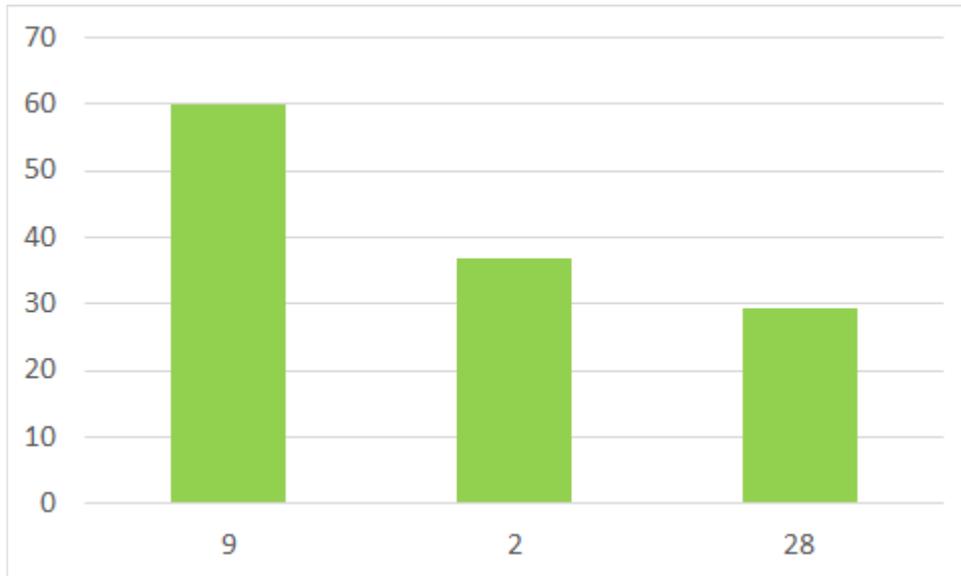


3) 결과 (n=10)

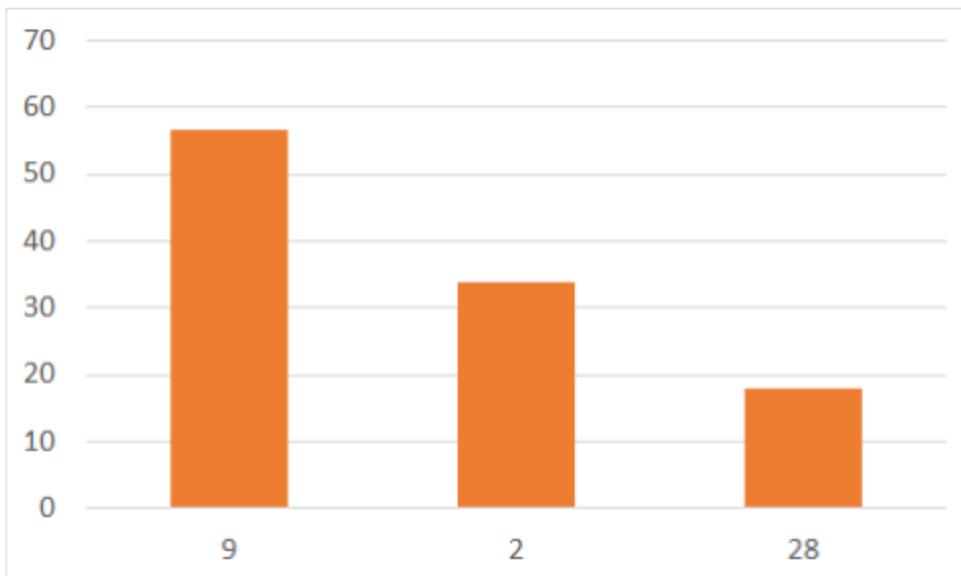
(단위: kgf)

구분	두께	항목	평균	표준편차
2	1.6~1.7	MD	36.68	0.69
		TD	33.83	2.00
9	1.6~1.9	MD	59.88	2.64
		TD	56.64	9.02
28	2.2~2.9	MD	29.37	2.78
		TD	18.00	2.44

<MD>



<TD>



4) 분석 요약

- 발포율이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 보임.
- 발포율 3이하에서 발포율이 감소할수록 강도는 급증하는 경향이 있음.
- 발포율 7이상에서 Cell 구조가 완벽해지나 강도 측면에서는 부정적임.
- 기존의 PP용기 대체를 위해서는 발포율 감소가 오히려 더 유리하다고 판단됨.

(7) Sheet의 lamination 성능 평가

1) Thermal lamination용 필름의 제작

- 폭 20mm, pilot scale 공압출 필름 설비로 제작, 2 layer로 구성
- 필름의 성형은 T-dye방식으로, 압출후 냉각롤을 통과시켜 표면 평활도를 높임
- 열전달 성능을 위해, 내면과 외면층의 용점을 40℃ 이상 차이를 두어 설계
- 열접착 성능 향상을 위해, 내면에는 저온 열접착 수지(EVA, 첨가제 V)를 사용
- 총 5가지 종류의 필름을 70μm 두께로 제작함.
- Thermal lamination 온도(heater cylinder)는 150℃, speed는 1mm/sec로 수행

◎ Sample 1.

Spec.	Layer 1	Layer 2
소재	PP	-
두께	70μm	-

(Layer 1)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
PP	80	0.9	50%

◎ Sample 2.

Spec.	Layer 1	Layer 2
소재	PP+V	-
두께	70μm	-

(Layer 1)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
PP	80	0.9	50%
V	20	0.862	50%

◎ Sample 3.

Spec.	Layer 1	Layer 2
소재	PP+V	LLDPE+V
두께	40 μ m	30 μ m

(Layer 1)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
PP	80	0.9	50%
V	20	0.862	50%

(Layer 2)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
LLDPE	80	0.92	50%
V	20	0.862	50%

◎ Sample 4.

Spec.	Layer 1	Layer 2
소재	PP+V	EVA
두께	40 μ m	30 μ m

(Layer 1)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
PP	80	0.9	50%
V	20	0.862	50%

(Layer 2)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
EVA	100	0.94	50%

◎ Sample 5.

Spec.	Layer 1	Layer 2
소재	PP	EVA
두께	40 μ m	30 μ m

(Layer 1)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
PP	100	0.9	50%

(Layer 2)

Resin	배합비(wt%)	비중(g/cm ³)	loss(%)
EVA	100	0.94	50%

2) 접착성 평가 결과

- 기 제작된 발포 PP Sheet에 thermal lamination을 행한 결과, 접착성은 첨가제V를 사용한 샘플과 EVA를 사용한 샘플이 접착 성능이 우수하였음.
- Thermal lamination은 압출 코팅을 완벽하게 모사할 수 없어, 열접착강도는 매우 낮은 수준으로 평가되었으나, 온도 조건을 올리거나 압출 코팅으로 전환시에는 열 접착성이 향상될 것으로 판단함.
- 압출코팅시에도 코로나 처리가 필요할 것으로 판단함.
- 1 layer 구성보다 2 layer 구성이 효과가 있음.

(표) Thermal lamination용 필름의 구성 및 접착성 평가 결과

구분	Sample 1		Sample 2		Sample 3		Sample 4		Sample 5	
	Layer1	Layer2	Layer1	Layer2	Layer1	Layer2	Layer1	Layer2	Layer1	Layer2
필름 층 구성	PP		PP+V		PP+V	LLDPE +V	PP+V	EVA	PP	EVA
층간 접착 강도	5N/15 mm이하		10N/15 mm이하		15N/15mm내외		20N/15mm내외		20N/15mm내외	

(8) 미세발포 최종시작품 평가

케미코첨단소재에서 생산된 고배율 PP 미세발포 시트 시작품과 이를 성형한 용기등에 대해서 평가를 하였음. PP발포시트는 3t 4.5배 발포, 3t 5.5배 발포, 3t 6.5배 발포의 3종으로 제공받았음.

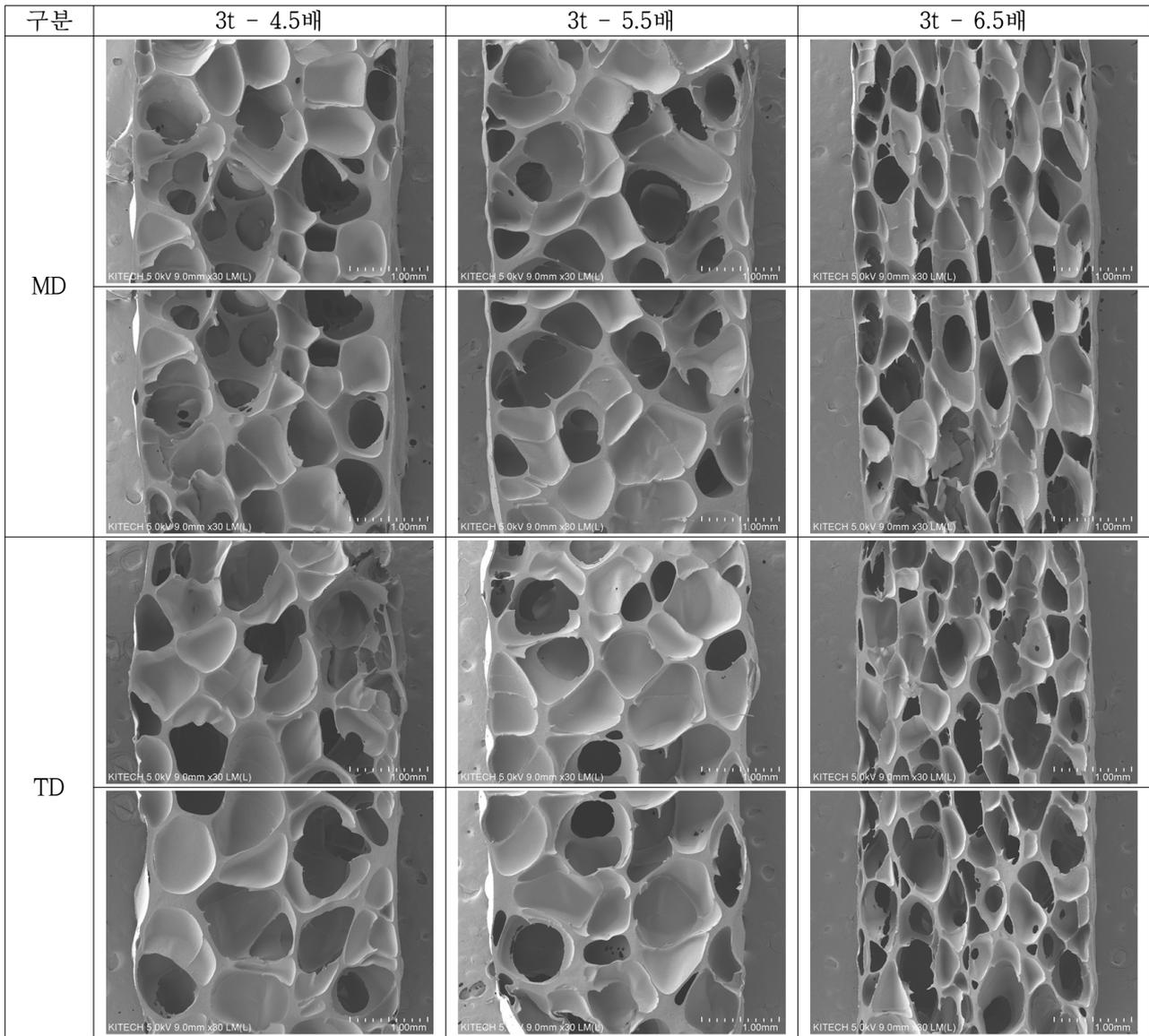
1) 발포성 분석

: 발포성 및 시트 구성을 평가하기 위해 주사전자현미경(SEM)으로 시트의 단면을 분석함.

Sheet 두께는 4.5배와 5.5배는 모두 평균두께 3.3mm 수준이었으나, 6.5배는 3.0mm로서, 상대적으로 얇은 것으로 조사됨.

4.5배와 5.5배는 Cell 형상이 크게 차이가 나지는 않으나, 6.5배의 경우는 바둑알처럼 길쭉해지는 모양을 하고 있음.

Cell wall의 두께도 발포 배율이 커질수록 얇아짐.



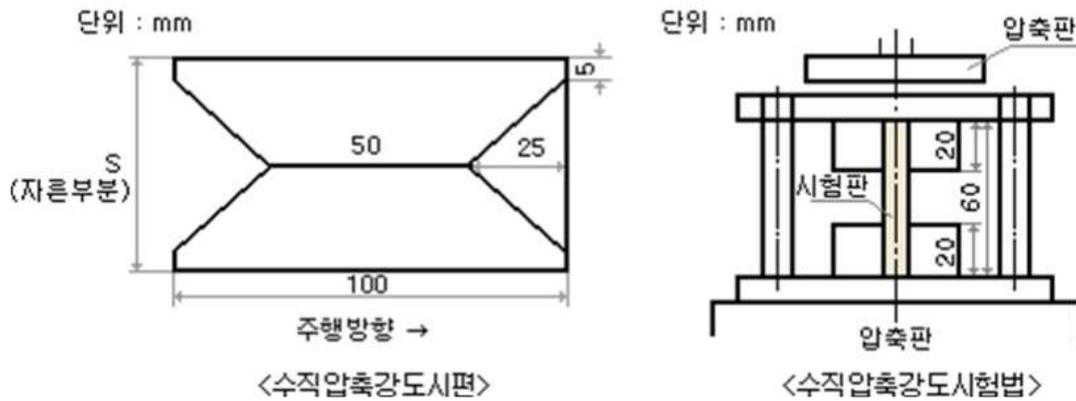
<발포율별 Cell 형상 비교>

시료	Cell 형상	Cell수/Sheet두께	Cell의 MD/TD 비율
3t - 4.5배		3.3 mm 두께당 약 4~5개의 Cell	MD : TD = 1 : 0.97~0.99
3t - 5.5배		3.3 mm 두께당 약 5개의 Cell	MD : TD = 1 : 0.87~0.89
3t - 6.5배		3.3 mm 두께당 약 7~8개의 Cell	MD : TD = 1 : 0.75~0.77

2) 시트의 압축강도 평가

a. 시험방법

Sheet 시편을 아래 그림과 같이 제작하여, 압축강도시험기에서 TEST (KS M 7063)에 의해 실시하였음. 시편은 각각 MD 방향과 TD방향 두가지로 제작하였음.



b. 결과 (단위: kgf)

- Sheet의 발포율이 4.5배에서 5.5배로 증가하면, MD방향의 압축강도는 5.5% 상승하며, 발포율이 5.5배에서 6.5배로 증가하면, MD방향의 압축강도는 28.9%로 크게 상승하였다.

- TD 방향의 압축강도는 반대로, Sheet의 발포율이 증가할수록 떨어졌는데, 4.5배에서 5.5배로 발포율이 증가하면, TD방향의 압축강도는 -8.2% 감소하며, 발포율이 5.5배에서

6.5배로 증가할때도 역시 TD방향의 압축강도는 -8.2%로 감소하였다.

- 이러한 결과는 MD방향으로 더 길쭉해진 Cell의 형상과 Cell수의 증가가 원인이라고 판단

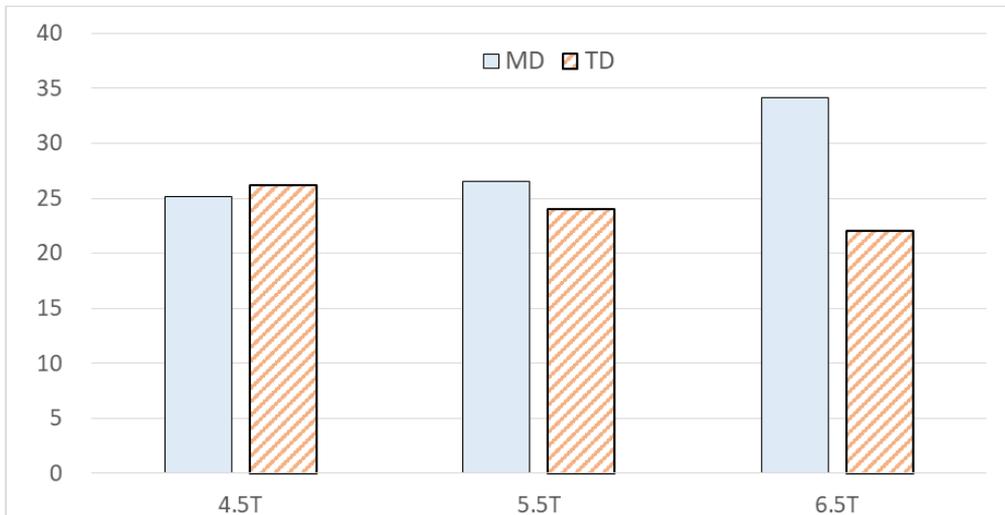
되며, TD방향으로의 압축강도 감소는 Cell의 길이 증가가 MD만큼 길쭉하지 않았으며,

반면 Cell wall의 두께 감소가 영향을 미친 것으로 판단된다.

< 시트의 압축강도 시험 결과 >

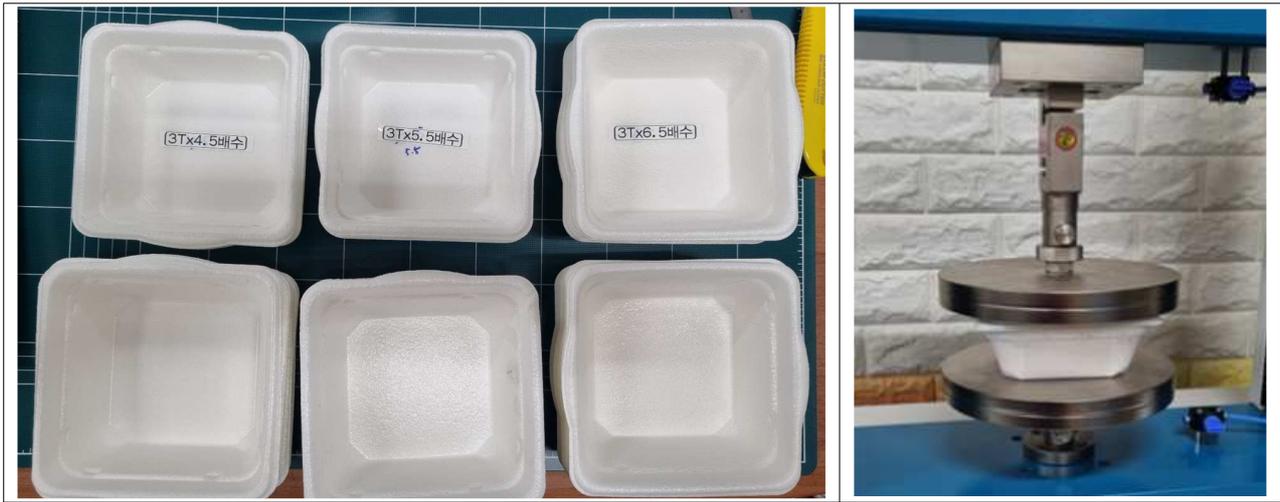
(단위:kgf)

Sample No.	4.5T		5.5T		6.5T	
	MD	TD	MD	TD	MD	TD
1	25.7	23.7	27.0	25.0	33.9	20.9
2	25.0	27.3	26.9	22.6	34.1	22.0
3	24.8	23.6	26.9	25.8	34.2	21.8
4	25.0	30.1	25.3	22.8	34.5	23.5
5	25.5	23.5	26.8	24.8	33.7	20.7
6	25.3	27.6	27.2	22.9	34.4	22.3
7	25.2	24.0	27.2	26.2	34.5	22.2
8	24.8	29.9	25.1	22.6	34.3	23.3
9	25.4	23.4	26.7	24.7	33.6	20.6
10	24.7	28.7	26.1	23.1	34.5	23.2
Average	25.1	26.2	26.5	24.0	34.2	22.0
Stdev.	0.3	2.8	0.8	1.4	0.3	1.1



3) 성형 샘플 압축강도 평가(1)

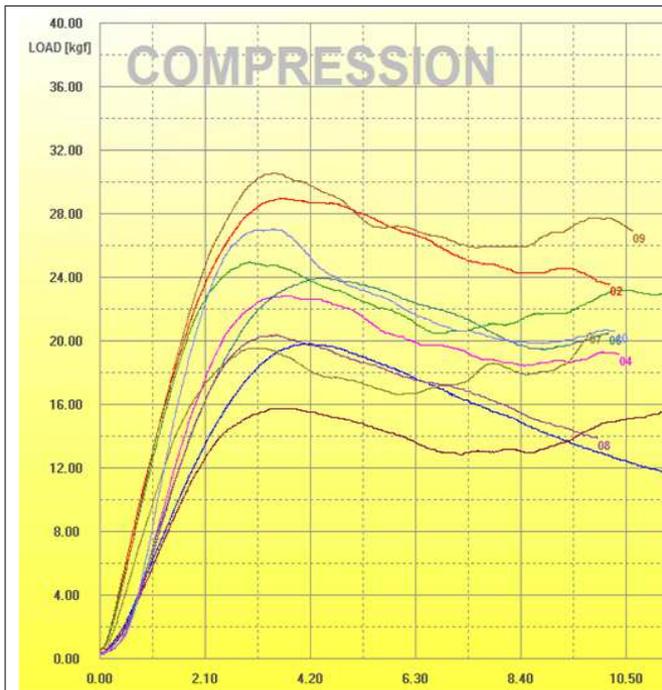
: 성형품의 강도를 알아보기 위해, 시험금형으로 용기를 제작하여 압축강도를 평가하였음.



평가결과, 5.5배 발포 sheet 성형 용기의 압축강도는 4.5배 발포에 비해 약 10% 압축강도가 저하되는 것으로 조사되었음. 또한 6.5배 발포 sheet 성형 용기의 압축강도는 5.5배 발포에 비해 무려 약 52%나 압축강도가 저하되는 것으로 조사되었음.

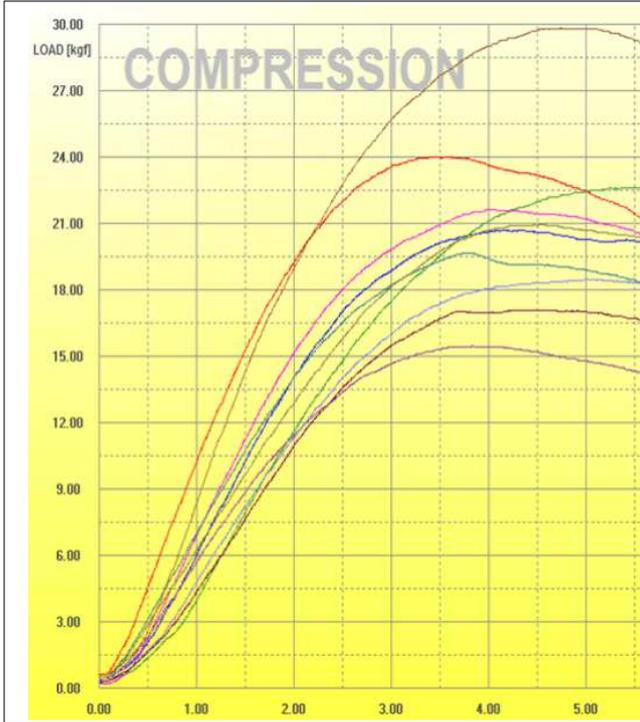
이것은 4.5배 발포 sheet 성형 용기에 비해서는 약 56.8%나 압축강도가 저하된 것으로, 압축강도 저하의 원인을 분석할 필요가 있었음.

<4.5배 발포시트 사용 성형 용기의 압축강도>



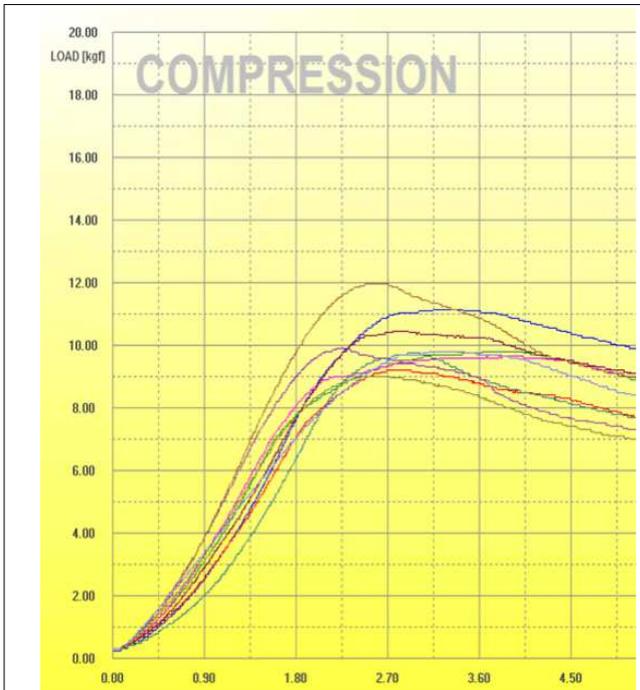
No.	압축강도(kgf)
1	19.9
2	29.0
3	25.0
4	22.8
5	15.8
6	24.0
7	19.6
8	20.4
9	30.6
10	27.0
Average	23.4
Stdev.	4.62

<5.5배 발포시트 사용 성형 용기의 압축강도>



No.	압축강도(kgf)
1	20.7
2	24.0
3	22.6
4	21.6
5	17.1
6	19.6
7	20.9
8	15.4
9	29.8
10	18.4
Average	21.0
Stdev.	4.01

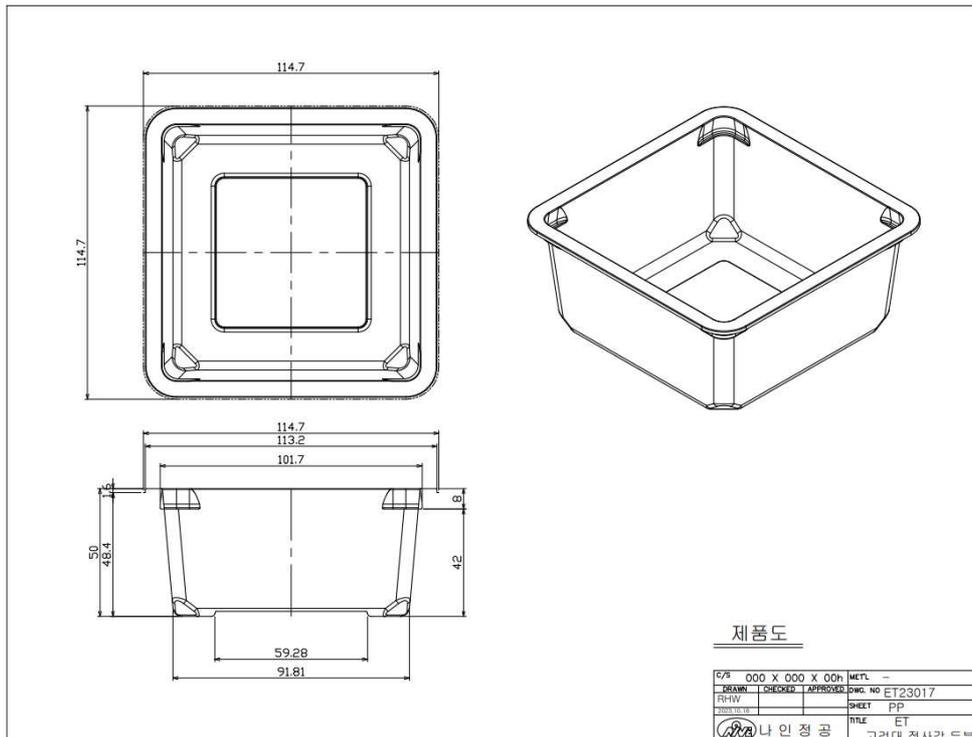
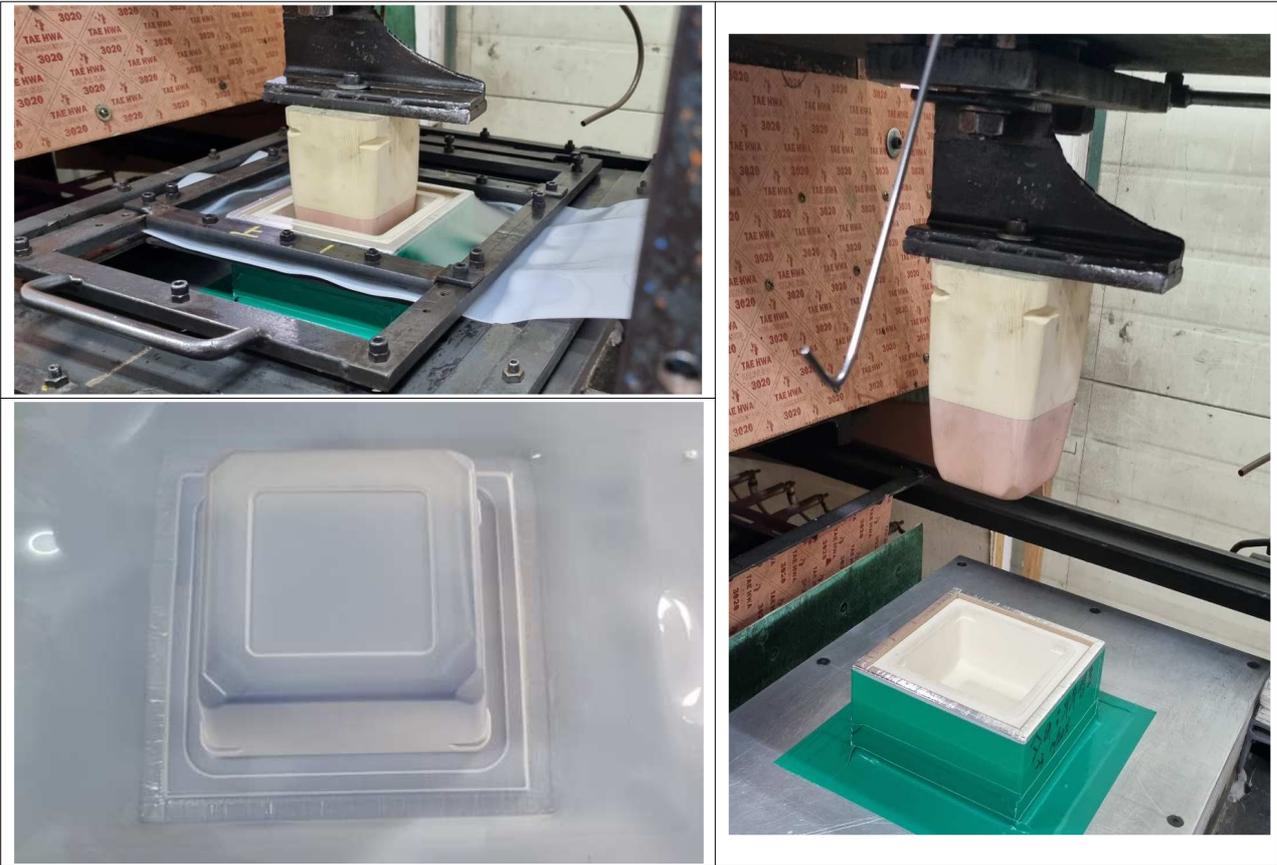
<6.5배 발포시트 사용 성형 용기의 압축강도>



No.	압축강도(kgf)
1	11.2
2	9.2
3	9.8
4	9.6
5	10.5
6	9.7
7	9.0
8	9.9
9	11.9
10	9.8
Average	10.1
Stdev.	0.89

4) 성형 샘플 압축강도 평가(II)

: 발포율이 상승할수록 압축강도가 기하급수적으로 저하되는 문제는 측면의 파괴라인 형성과 관련이 있기 때문에, 검증을 위해 측면의 각도를 최소화한(최소의 draft angle)로 디자인한 시험금형으로 제작한 시작품의 강도를 테스트하였음.



<사각 성형품의 압축강도>

(단위: kgf)

No.	4.5배	5.5배	6.5배
1	19.4	15.5	12.0
2	18.2	15.3	14.6
3	19.4	21.1	15.8
4	19.0	17.8	15.1
5	20.8	12.3	14.5
6	19.2	18.7	13.7
7	17.8	22.6	16.8
8	19.6	15.9	10.8
9	23.6	23.9	20.9
10	22.2	19.5	12.9
Average	19.92	18.26	14.71
Stdev.	1.78	3.61	2.81

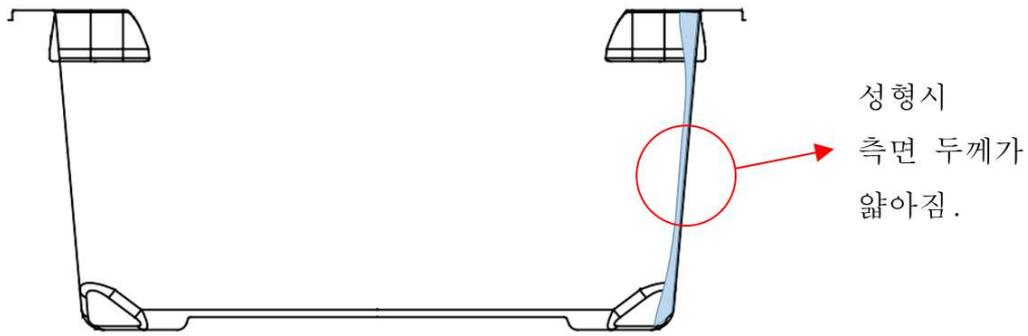
평가결과, 5.5배 발포 sheet 성형 용기의 압축강도는 4.5배 발포에 비해 약 8.3% 압축강도가 저하되는 것으로 조사되었음. 또한 6.5배 발포 sheet 성형 용기의 압축강도는 5.5배 발포에 비해 무려 약 19.5% 압축강도가 저하되는 것으로 조사되었음.

이것은 4.5배 발포 sheet 성형 용기에 비해서는 약 58%나 압축강도가 저하된 것으로, 성형품(II)와 비교할 때, 비슷한 결과였음.

성형품(II)는 성형품(I)와 비교하여 측면 rib가 없고, draft angle의 각도도 작았지만, 주변장이 짧아진 것과 무엇보다 성형품의 높이가 낮았기 때문에 이러한 결과가 나왔다고 판단됨.

발포 PP sheet는 일반 PP sheet 보다 성형시 예열단계에서 sheet 두께 및 단면에서의 위치에 따른 열분포 편차가 큰 것이 문제인데, 실험은 시험 금형 1 cavity로 용기를 성형하여 진행하다 보니 예열과정에서 보다 균일하게 열 분포를 가져가지 못하였고, 성형 과정에서 과열된 부분이 늘어나고 덜 가열된 부분이 잘 늘어나지 않으면서 용기 측면의 두께가 얇아지면서 두께 편차도 커지게 되었음.

이러한 편차는 발포율이 증가할수록 심하였으며, 그 결과 하중을 받을 때, 파괴라인의 형성이 쉬워져 압축강도의 급감 원인이 된 것으로 파악됨.



따라서, 발포 PP sheet 성형품의 강도상 가장 큰 문제는 발포율이 약 6배 이상이 되면, 열분포 차이에 의한 두께편차가 심해지고, 이로 인한 압축강도 저하임. 이것은 sheet 두께와도 관련성이 있기 때문에, sheet 두께와 발포율의 적정점을 찾는 것이 필수이며, 용기의 높이도 높지 않게 설계하는 것이 바람직함.

(9) PP 미세발포 용기의 단열성 평가

케미코 첨단소재에서 제작한 미세발포 시트 시작품과 이를 성형한 용기등에 대해서 평가를 하였음. 시트는 3t 4.5배 발포, 3t 5.5배 발포, 3t 6.5배 발포의 3종으로 제공 받았음.

1) 끓는물 조리시 열분포 분석

: PP 미세발포 용기의 끓는물 조리시 용기 표면의 열분포를 조사하기 위하여, 발포율이 각기 다른 3종의 용기에 끓는 물을 300ml 붓고, 시간 경과에 따른 용기 표면의 열 분포 변화를 적외선 열화상 장비로 각각 5분 동안 모니터링 하였음. 장비는 FLIR社의 장비를 사용하였음.

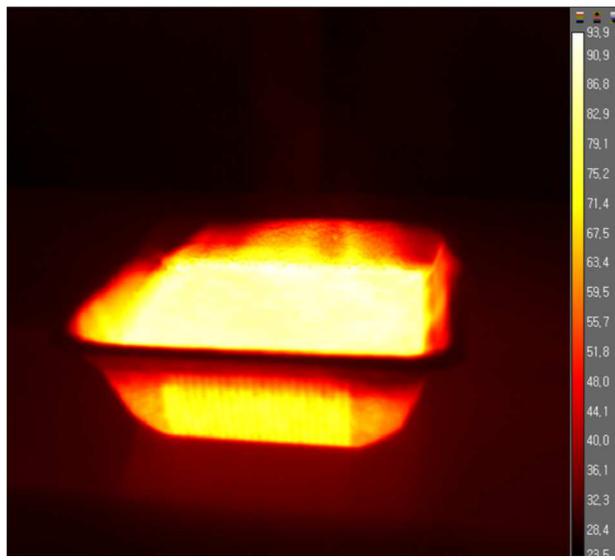
끓는 물은 용기에 담겨지자마자 온도가 하강하기 시작하며, 용기 측면의 온도는 급상승하다 최고점에서 평형을 이룬뒤, 하강을 시작함.

최고점에서의 용기 측면의 온도는 6.5배 발포용기가 가장 낮았고, 최고온도는 61.2°C 였음.

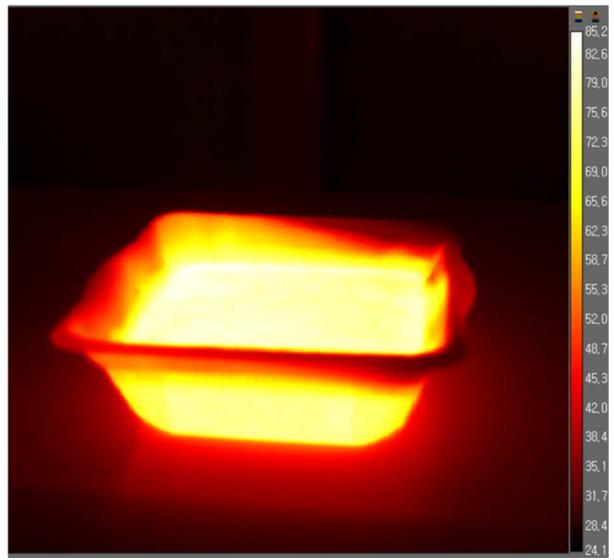
<시간 경과에 따른 물의 온도와 용기측면의 온도>

항목	4.5배 발포용기	5.5배 발포용기	6.5배 발포용기
초기 물의 온도(최대)	93.9℃	93.7℃	94.7℃
4분 경과시 물의 온도(최대)	71.5℃	71.3℃	71.1℃
용기측면의 온도(최대)	67.1℃	64.5℃	61.2℃

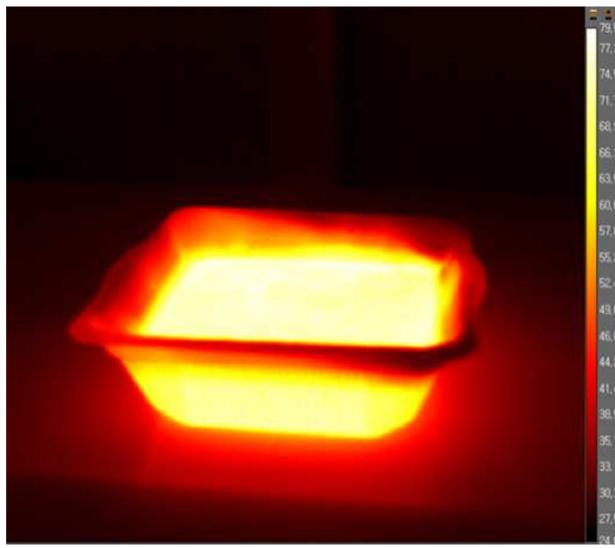
<4.5배 발포용기의 시간 경과에 따른 열 분포>



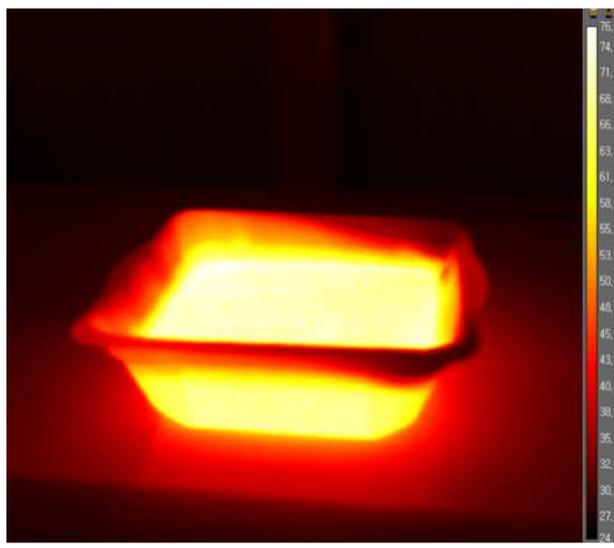
0 min



1 min



2 min



3 min

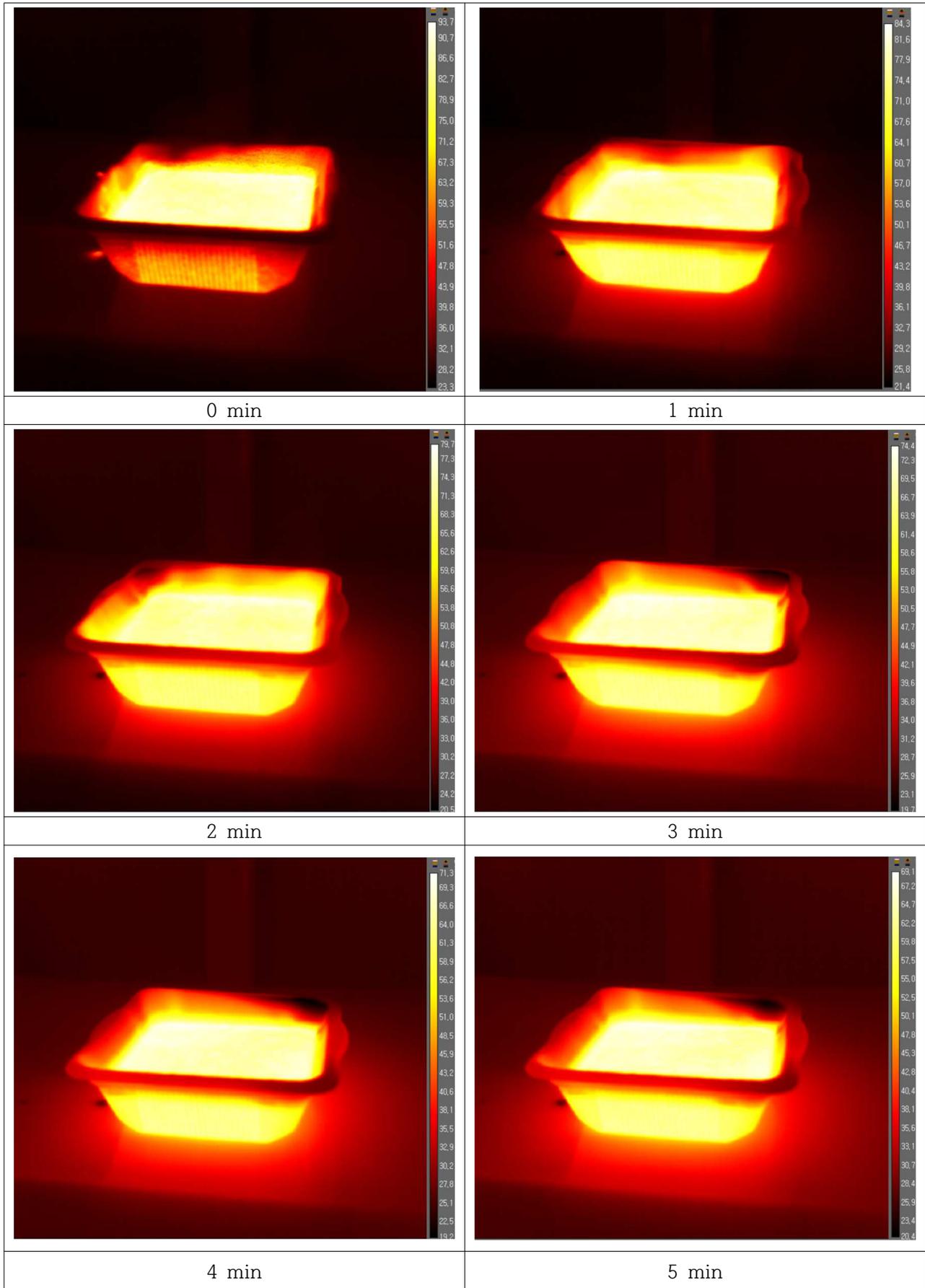


4 min

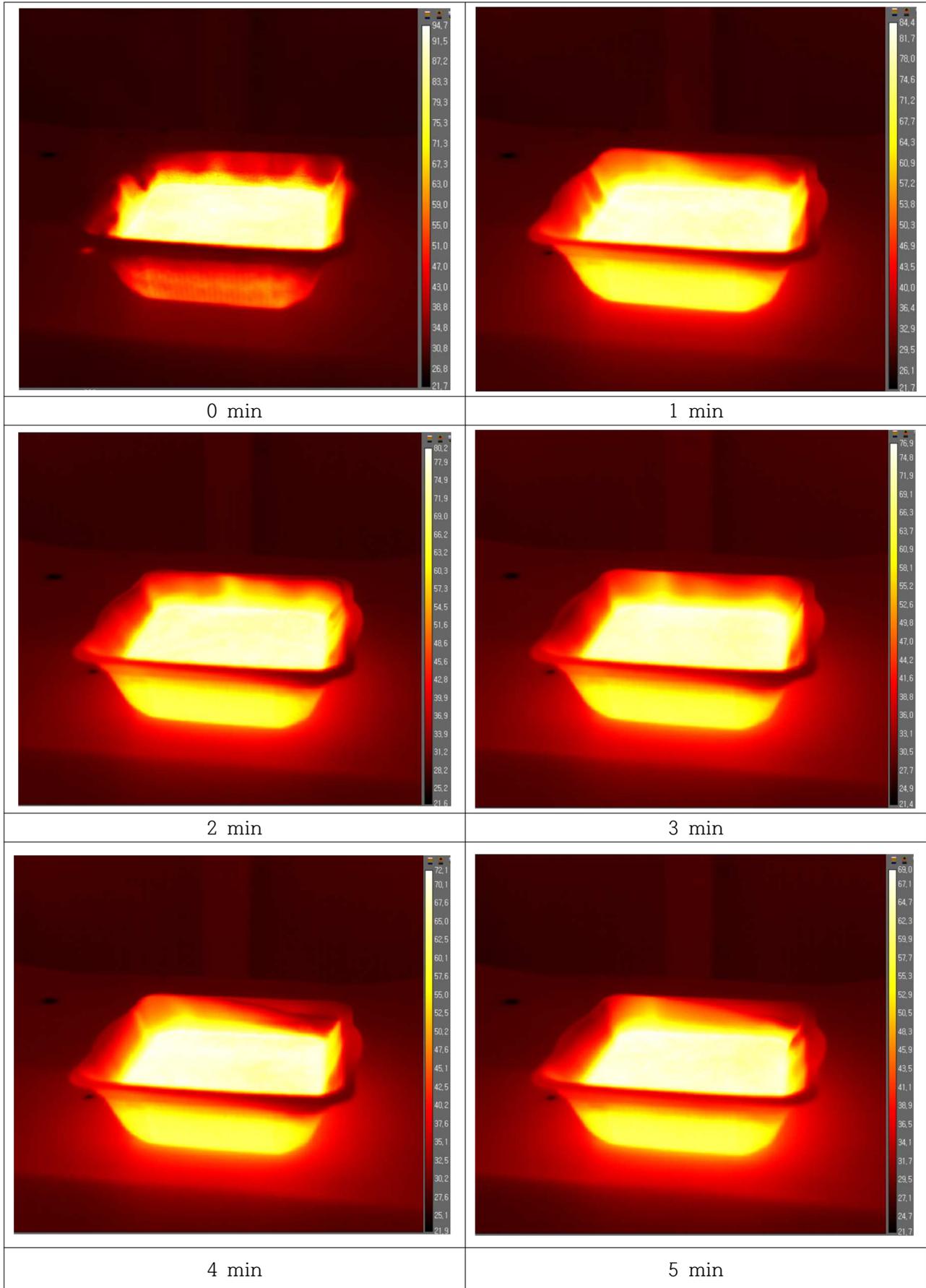


5 min

<5.5배 발포용기의 시간 경과에 따른 열 분포>



<6.5배 발포용기의 시간 경과에 따른 열 분포>



a. 4.5배 발포용기

: 물을 붓자마자 용기 측면의 온도는 50~55℃를 보이는 반면, 측면의 rib 온도는 75℃로 상승하였음. 11초 경과시까지 용기 측면의 온도는 지속적으로 상승하여, 83℃에 도달하였다가, 약 16초 경과후 서서히 하강을 시작함. 4분 뒤에는 약 66℃로 떨어짐.

b. 5.5배 발포 용기

: 물을 붓자마자 용기 측면의 온도는 48~52℃를 보이는 반면, 측면의 rib 온도는 63℃로 상승하였음. 14초 경과시까지 용기 측면의 온도는 지속적으로 상승하여, 79℃까지 상승하였다가 서서히 감소함. 4분뒤에는 약 64℃로 떨어짐.

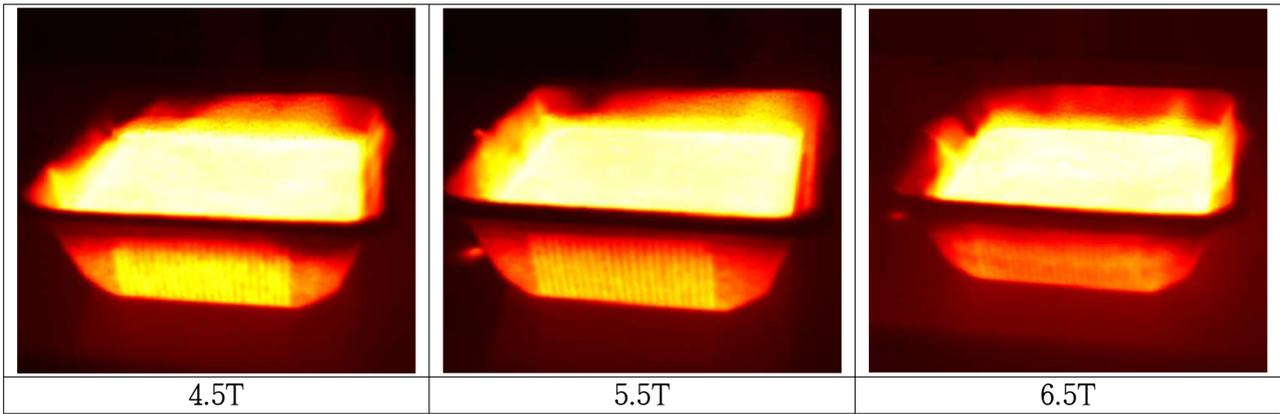
c. 6.5배 발포 용기

: 물을 붓자마자 용기 측면의 온도는 47~52℃를 보이는 반면, 측면의 rib 온도는 58℃로 상승하였음. 1분 경과시까지 용기 측면온도는 지속적으로 상승하여 최대 70℃로 상승하였만, 그 이상 증가하지 않고, 서서히 감소하여 4분뒤에는 60℃로 떨어짐.

<시간 경과에 따른 용기의 온도분포>

항목	4.5배 발포용기	5.5배 발포용기	6.5배 발포용기
초기 용기 측면온도	50~55℃	48~52℃	47~52℃
초기 측면 rib의 온도 (최대)	75℃	63℃	58℃
측면 rib 온도의 최대치 도달 시간	11 sec	14 sec	60 sec
측면 rib의 온도 (최대)	83℃	79℃	70℃
4분뒤 용기측면 온도	66℃	64℃	60℃
Flange 온도	40℃ 이하	40℃ 이하	40℃ 이하

<시작점의 열 분포>



테스트 시작점의 열 분포를 살펴보면, 발포율이 증가할수록 측면의 단열성이 높아져서, 6.5배 발포 용기는 온도상승도 느리고, 최고 온도도 60℃로 가장 낮았음.

측면 rib의 온도가 보다 빨리 상승하는 이유는 이 부분이 세밀한 성형에 의해 이루어져 Cell의 형상도 좋지 않고, 두께도 가장 얇기 때문임.

측면 rib의 온도 상승속도는 sheet의 발포율이 적을수록 빨라져서, 4.5배 발포 sheet의 경우 불과 11초만에 최대 온도인 83℃에 도달하였음. 6.5배 발포 sheet의 경우에는 약 1분이 지나서야 측면 rib가 최대온도에 도달하였으며, 이때의 온도도 70℃로 가장 낮았음.

4분뒤 용기측면의 온도는 발포율이 증가할수록 감소하였으며, 60~66℃의 수준이었음.

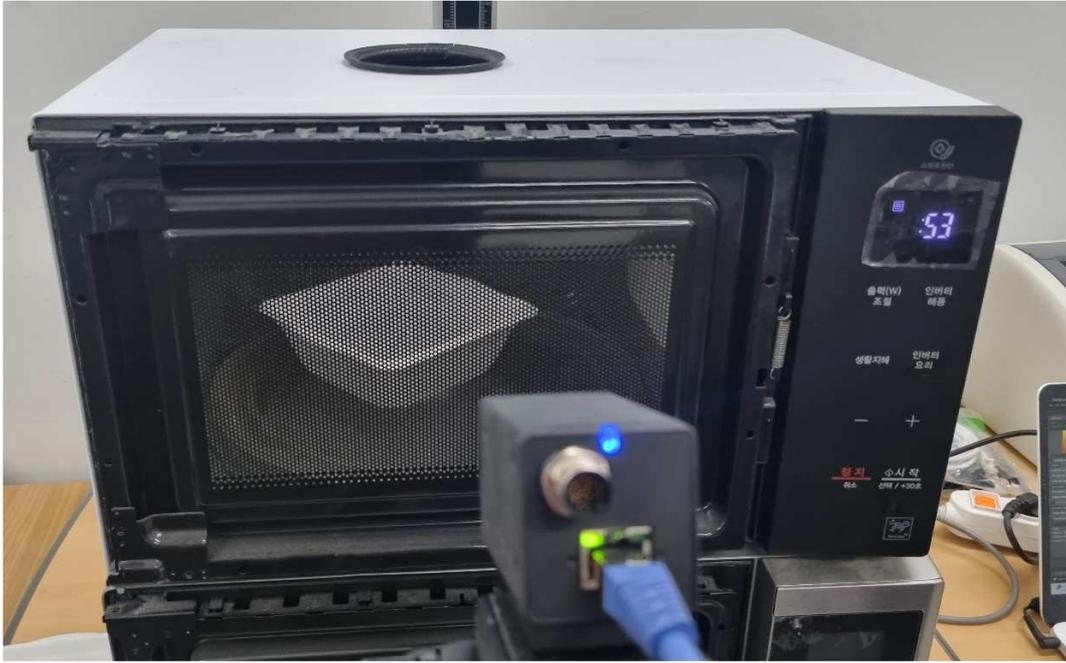
반면 손으로 용기를 잡는 부위인 flange의 온도는 발포율이나 시간의 경과와 상관없이 40℃이하로서, 끓는 물 조리시에는 용기의 발포율이나 조리시간과 관계없이 모두 화상의 위험이 없는 낮은 수준을 유지하였음.

2) 전자레인지 조리시 열분포 분석

: PP 미세발포 용기의 끓는물 조리시 용기 표면의 열분포를 조사하기 위하여, 발포율이 각기 다른 3종의 용기에 찬물을 300ml 채우고, 1000W 전자 레인지에서 3분간 가열하면서 시간 경과에 따른 용기 표면의 열 분포 변화를 적외선 열화상 장비로 각각 4분 동안 모니터링 하였음. 장비는 FLIR社의 장비를 사용하였음.

전자레인지 조리시간에 따른 온도변화를 측정하기 위해, 전자레인지 창에서 유리를 제거하여 적외선 열 화상장비가 용기의 표면온도를 측정할 수 있도록 설계하였으며, 조리시 발생하는 수증기가 전자레인지 내부에 가득차서 온도 감지에 오류를 일으키는 것을 막기 위하여 상단에 구멍을 뚫어, 수증기의 자연스러운 배출을 유도하였음.

실험 기기의 구성은 아래 사진과 같음.



물이 전자레인지 안에서 가열될 때, 턴테이블의 영향을 고려하지 않는다면 부분적인 정재파를 갖는 마이크로파는 전자레인지 내의 공간에서 약 12cm의 파장으로 식품과 닿기 때문에, 가열되는 식품의 표면은 약 12cm 간격으로 마이크로파 입사의 불균일성을 띄게 되며, 식품 내부로 들어온 마이크로파의 파장이 짧아지기 때문에 식품 내부에서는 약 1.37~1.65cm의 간격으로 불균일한 가열이 일어날 수 있다고 할 수 있다.

실험에 사용된 용기의 물의 표면은 가로세로 각각 약 12cm, 대각선이 약 16cm로서 턴테이블에 의해 회전되고 있기 때문에, 물의 표면은 파장보다는 큰 표면이라고 할 수 있다.

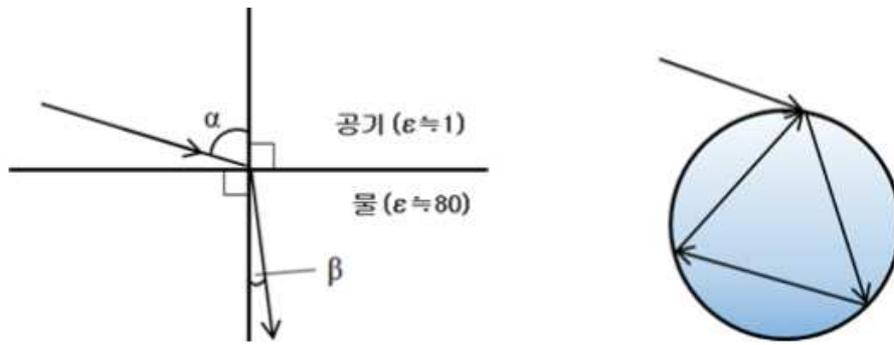
공기에서 유전률 80인 물에 마이크로파가 입사할 때 파장에 비해 물질이 충분히 크면, 빛의 굴절 법칙을 적용할 수 있다.

입사각 α , 유전율 ϵ 의 물질 내에서의 굴절각을 β 로 하면,

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \sqrt{\epsilon} \text{ 이므로, 유전률 } \epsilon = 80 \text{ 인 물의 경우에는 } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \sqrt{80} \approx 8.9 \text{ 가 되며,}$$

입사각 α 로 최대 90° 에 대응한 최대 굴절각 β_{\max} 는 $\sin \beta_{\max} = \frac{\sin 90^\circ}{8.9} = \frac{1}{8.9}$ 이기 때문에, $\beta_{\max} \approx 6.4^\circ$ 가 된다.

즉, 액상식품내에서의 최대 굴절각은 6.4° 보다 작아야 하며, 아래 그림에서와 같이 거의 수직으로 굴절한다.



게다가, 전자레인지 조리 실험에서 사용한 용기에 담겨진 물은 가장 짧은쪽의 두께가 물의 반감심도 이상이기 때문에, 물로 흡수된 마이크로파 에너지가 밖으로 나갈일은 거의 없다고 판단된다.

실험 결과 4.5배 발포용기는 전자레인지 조리 가열시 내용물과 용기 표면의 온도차이가 약 1°C 내외였으며, 5.5배 발포용기는 온도차가 2분 경과시 약 2°C 내외, 3분경과시 약 3°C 내외로 나타났음. 6.5배 발포용기는 전자레인지 조리 가열시 내용물과 용기 표면의 온도차이가 2분 경과시와 3분 경과시 모두 약 4~5°C 내외로 나타났음.

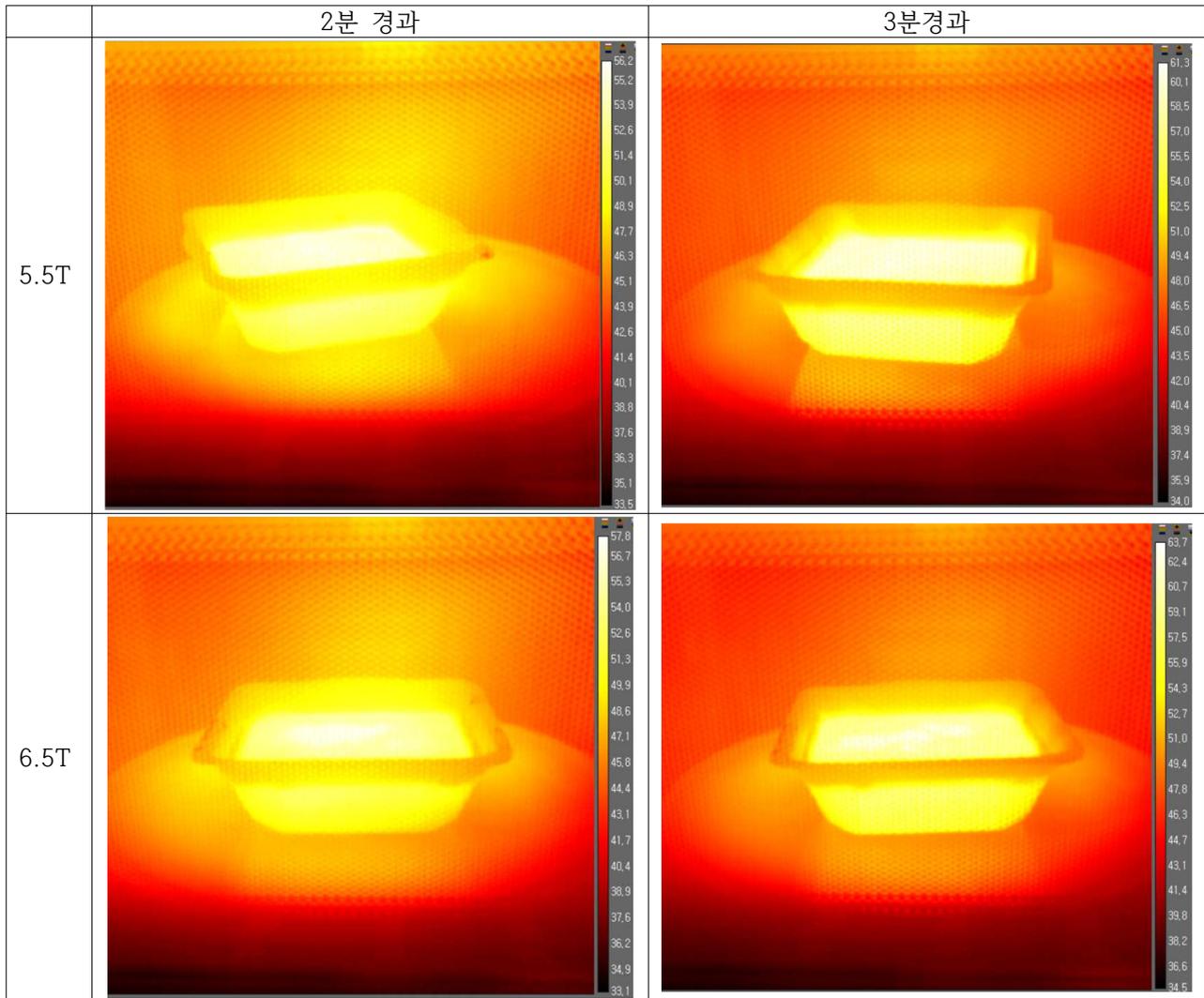
마이크로파에 의한 내용물 직접 유도가열방식인 전자레인지 조리는 물과 같은 액상식품의 경우에는 반감심도가 짧아 용기와 접촉하고 있는 내부의 내용물(약 1~2cm의 두께)부터 온도상승이 일어나기 시작하여, 대류에 의해 균일하게 온도가 상승한다.

<주요 물질의 유전손실계수와 마이크로파의 침투깊이>

물질명	유전 손실 계수	반감심도
공기	0	∞
폴리프로필렌(PP)	0.0005~0.001	10m전후
폴리에틸렌(PE)	0.001~0.005	5m전후
종이	0.1~0.5	50cm전후
물	5~15	1~4cm
식염수	10~40	0.3~1cm

끓는 물을 부었을 때 40°C 이하로 flange부가 유지되었던 것과 달리, 전자레인지 조리시에는 flange부의 온도는 약 50°C 까지 상승하였는데, 이것은 내용물인 물의 온도와 불과 10~15°C 차이를 보이는 것으로서, 전자레인지 조리용 용기로서 PP 발포 용기를 사용하더라도 내용물이 물과 같은 액상식품이라면, 용기 측면과 flange부의 온도가 과도하게 상승하지 않도록 용기 용적의 60%이하로 내용물을 채우거나 혹은 용기의 발포율, 그리고 sheet의 두께를 두껍게 하는 방법을 고려해야 할 것으로 판단된다.

<전자레인지 조리시 발포율과 시간경과에 따른 온도 분포>



(10) 고배율 발포PP 식품용기의 용출 안전성 Test

케미코첨단소재의 고배율 발포 PP 식품용기의 food contact 안전성, 바꿔말하면 용출 안전성을 검증하기 위하여 안전성 분석전문 공인기관인 SGS에 의뢰하여 test를 진행하였음. 결과적으로 하기의 SGS 시험성적서에서 나타나듯이 모든 검출항목에 대해서 안전한 것으로 검증이 완료됨.



참고용 시험성적서 번호 F690101/LF-CTSAYAR23-00096

발행일: 2023. 01. 27 페이지: 2/ 2

시 료 번 호 : AYAR23-00096.001
 제 품 명 : PP Foam
 아 이 템 번 호 : 제조일자 : 2023.01.10
 재 질 : 폴리프로필렌

공통제조기준

시 험 항 목	단 위	경향한계	결 과	비 고
납 (Pb)	mg/kg	2	불검출	100 이하(합계로서)
카드뮴 (Cd)	mg/kg	2	불검출	100 이하(합계로서)
수은 (Hg)	mg/kg	0.2	불검출	100 이하(합계로서)
육가크롬(CrVI)	mg/kg	0.4	불검출	100 이하(합계로서)
시 험 방 법	식품용 기구 및 용기 포장 공전			

용출규격

시 험 항 목	단 위	경향한계	결 과	비 고
납(Pb)	mg/L	0.05	불검출	1 이하
과망간산칼륨소비량	mg/L	0.5	6	10 이하
총용출량(분)	mg/L	5	불검출	30 이하
총용출량(n-헵탄)	mg/L	5	21	30 이하
시 험 방 법	식품용 기구 및 용기 포장 공전			

- 주) (1) 불검출 = 정량한계 이하
 (2) 상기 비고는 고객의 요청에 의해, 식품용 기구 및 용기, 포장 공전 상의 기준을 기입하였습니다.
 (3) 이 시험 결과는 의뢰자가 제시한 제품 및 제품명에만 한정되며, 인쇄 또는 수기 표시사항이 없습니다.
 (4) 이 시험 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 와 KOLAS 인정 분야와 관련 없는 시험 결과입니다.
 (5) 성적서의 진위 판별은 <https://eecloud.sgs.com/index.aspx> 에서 가능합니다.
 (6) 동 시험성적서는 시험목적 이외에는 사용할 수 없습니다.

*** 끝 ***

(11) 발포 용기 관련 해외 포장 조사

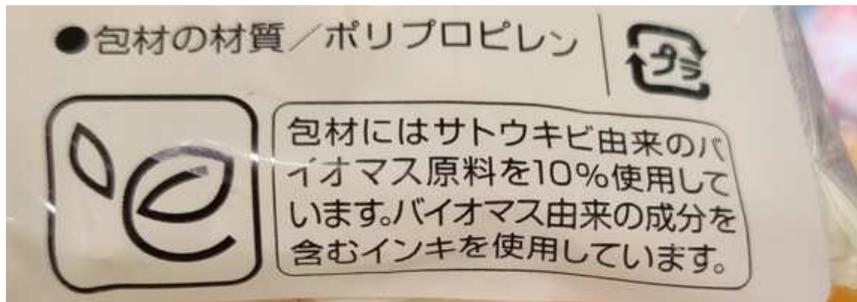
1) 출장지 : 일본 동경

2) 출장기간 : 2022년 10월 10일(월) ~ 10월 13일(목), 3박 4일

3) 내용

식품 포장의 경우 경량화가 두드러짐.

OPP 필름 포장재의 경우, 사탕수수 유래 바이오 매스 원료를 사용하고, 잉크에도 바이오 매스 원료가 사용된 잉크를 채용하고 있다는 문구를 많은 제품에서 발견할 수 있었음(사진).



(가) 컵라면 발포 종이컵

컵라면의 경우 PSP용기는 큰 컵라면용기를 제외하고는 소컵에서는 대부분 사라졌으나, 이것이 절반이상 발포종이컵(Eco cup)으로 전환된 것을 볼 수 있었음.

즉, 소컵의 경우 이중 단열 종이컵을 채용하거나, 아니면 발포 종이컵을 사용하고 있었으며, 큰 컵라면의 경우에는 PSP가 주류를 이루고 있었음.

니신의 경우 기존 소 컵라면에 사용하던 PSP를 전량 발포종이컵(Eco cup)으로 대체하였으나, 전자레인지 조리 불가로 표기되어 있었음(전자레인지 조리 불가표시는 다른 회사제품도 마찬가지로).

니신의 “ECO 컵“에 사용된 플라스틱은 식물 유래 바이오매스 플라스틱이 부분적으로 사용되었으며(바이오매스 함량 81%), 재활용 펄프가 일부 사용되고 있음.



(나) 전자레인지용 발포 PSP 용기

전자레인지용 포장재의 증가가 두드러지고 있음.

전자레인지 조리는 기존의 전열가열에 비하여, 조리시 CO₂ 배출량이 적기 때문에, 지구온난화 측면에서 유리함.

전자레인지용 즉석식품에 채용된 용기의 경우 대부분 PP용기를 사용하고 있으나, 내열성 발포 PS 용기를 사용한 경우도 있었음. 발포 PP용기는 발견되지 않았음.

<사진> 전자레인지용 PSP용기



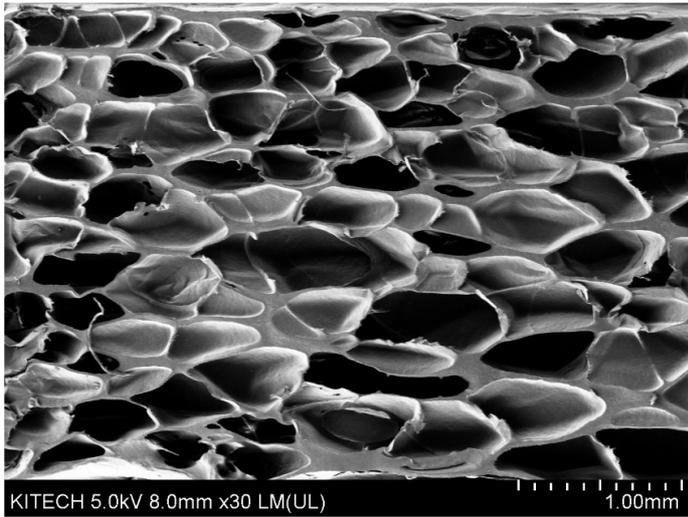


Part 4. PP 미세발포시트의 단면구조 및 열적 특성 분석

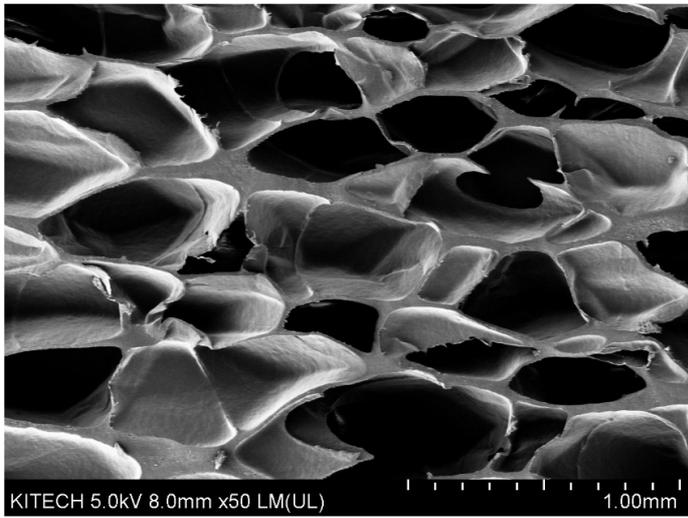
미세발포 필름 및 시트 용 플라스틱 원료 물성 분석

- 1차 시제품 분석

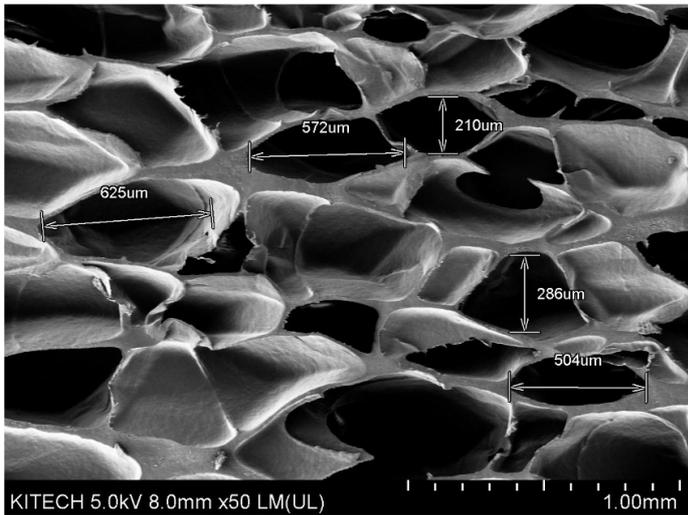
: Polypropylene 발포 시트 1차 시제품의 morphology 분석을 위해 한국생산기술연구원이 보유한 FE-SEM (HITACHI, SU8020)을 통해 분석



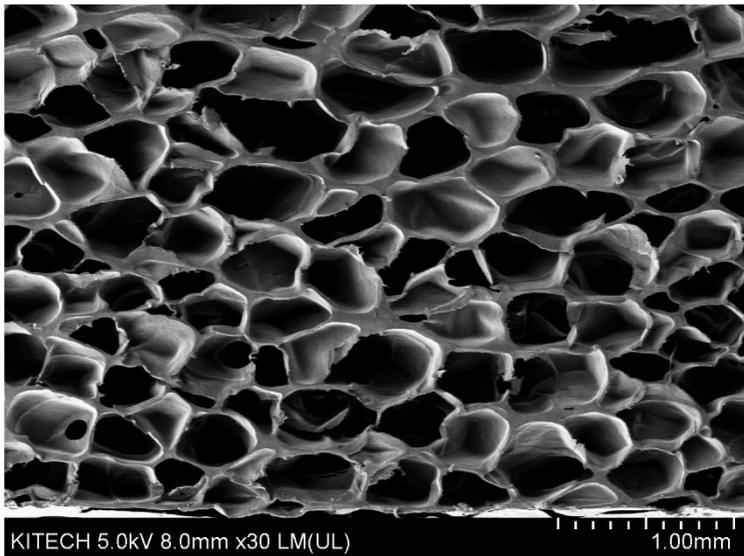
PP 발포 시트 MD 방향
30배율 측정



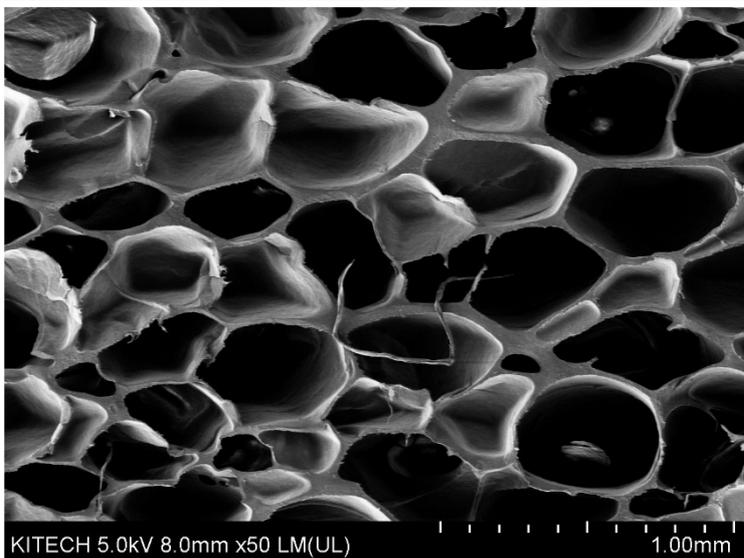
PP 발포 시트 MD 방향
50배율 측정



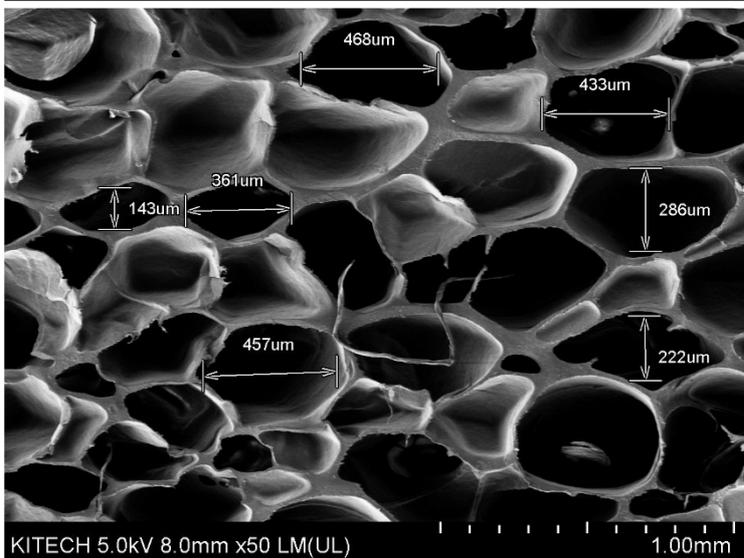
PP 발포 시트 MD 방향 50배율 측정
기준 발포 셀 사이즈 측정



PP 발포 시트 TD 방향
30배율 측정



PP 발포 시트 TD 방향
50배율 측정

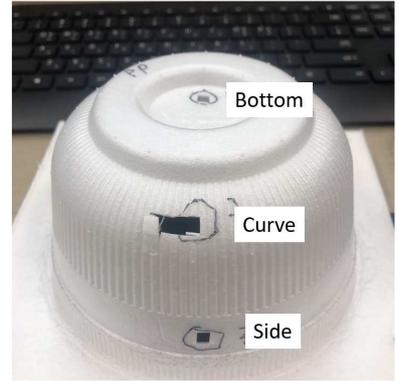


PP 발포 시트 TD 방향 50배율 측정
기준 발포 셀 사이즈 측정

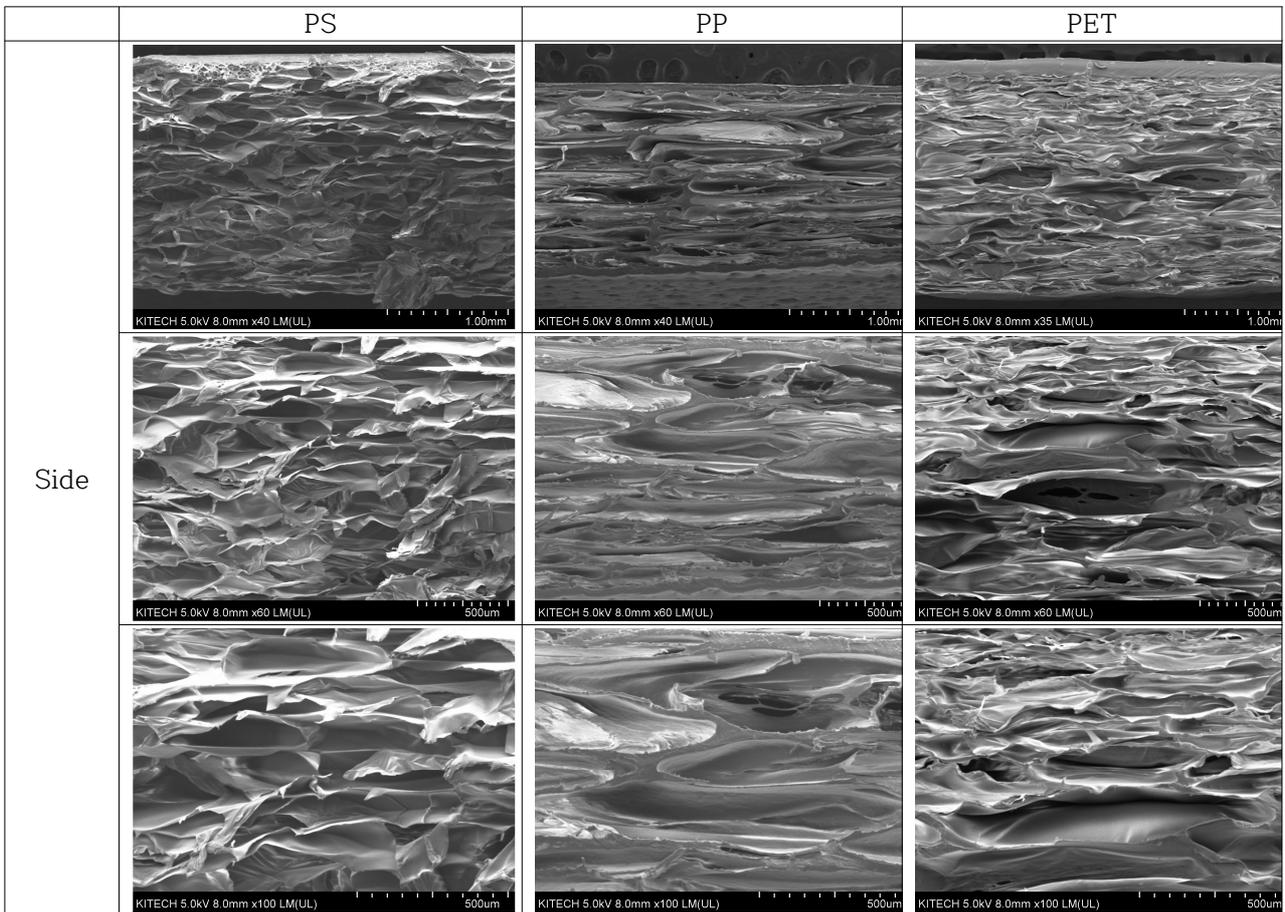
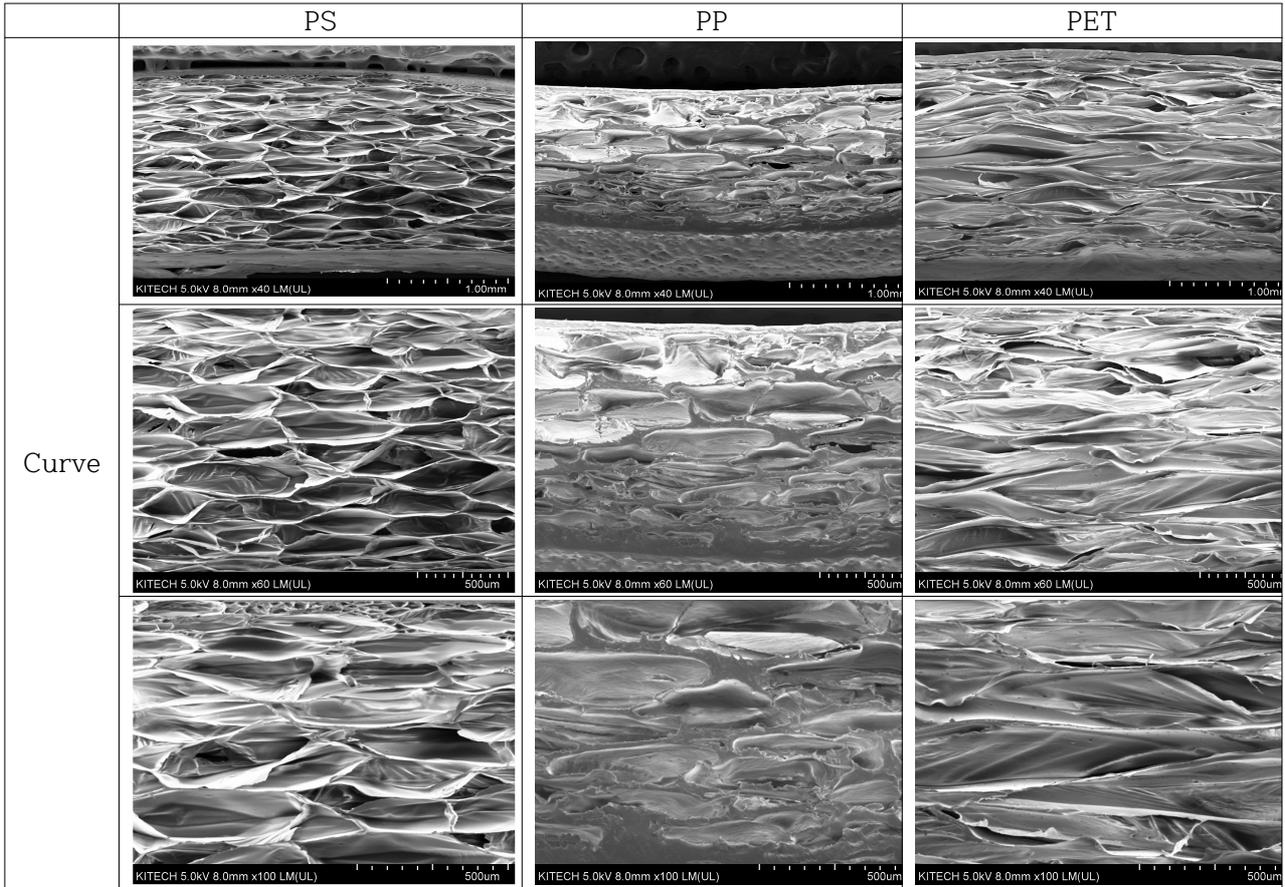
- 2차 시제품 분석

: Polypropylene 발포 시트 2차 시제품과 경쟁 제품 (Polystyrene, Polyethylene terephthalate)의 morphology 비교분석을 위해 한국생산기술연구원이 보유한 FE-SEM (HITACHI, SU8020)을 통해 분석

: PP, PS, PET 발포 시트의 열성형(라면용기) 후 전체 morphology 분석을 위해 용기의 Bottom, Curve, Side 부분을 채취하여 비교 분석



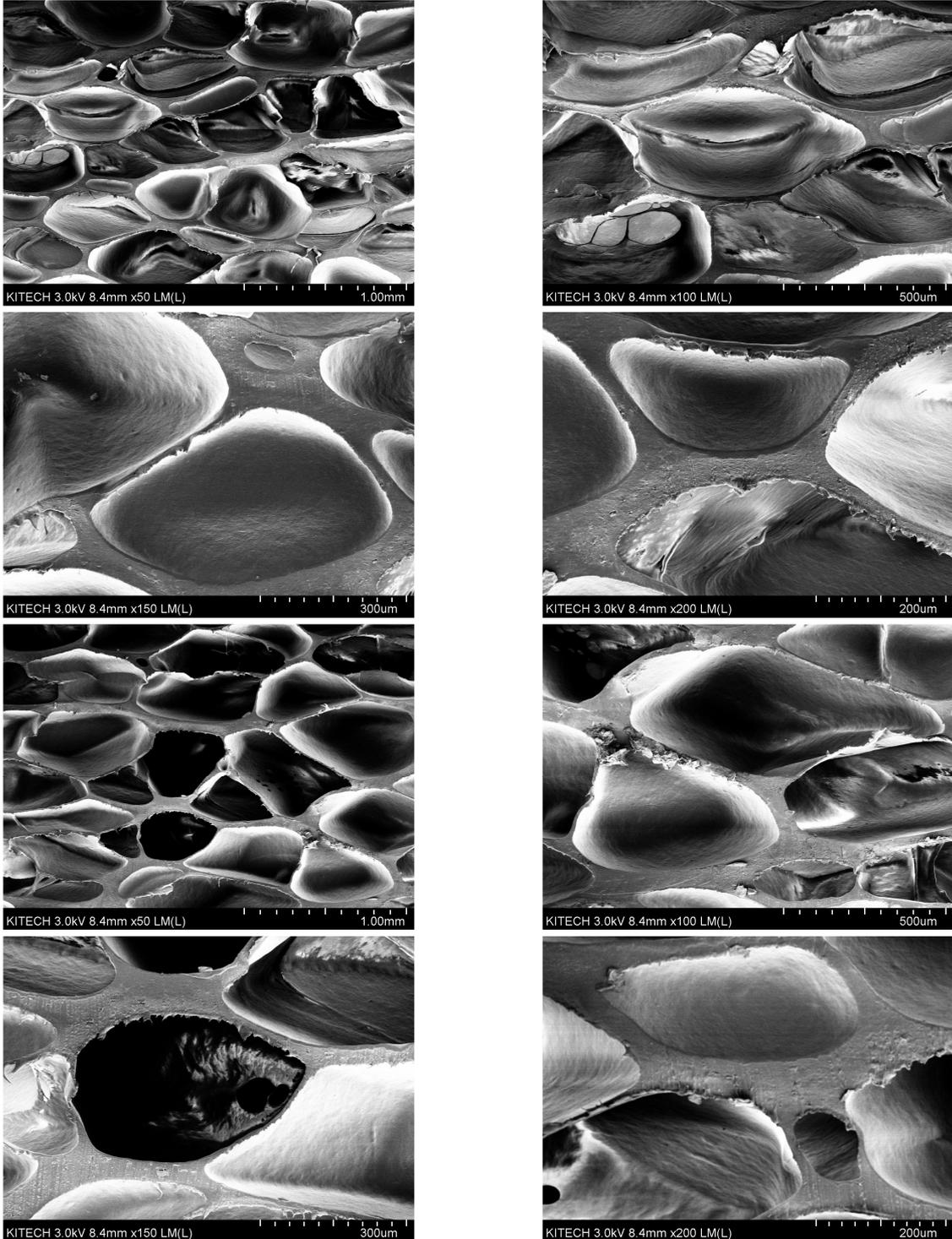
	PS	PP	PET
Bottom			



- 3차 시제품 분석

: Polypropylene 발포 시트 3차 시제품의 morphology 비교분석을 위해 한국생산기술연구원이 보유한 FE-SEM (HITACHI, SU8020)을 통해 분석

: 열적 특성 분석을 위해 시차주사열량분석법 (Differential Scanning Calorimetry, DSC)와 열중량분석 (Thermo Gravimetric Analysis, TGA)를 활용하여 분석

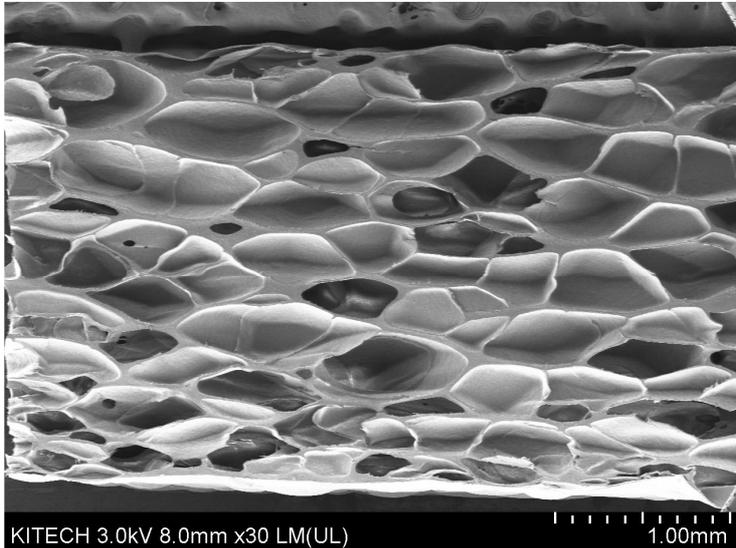


PP 발포 시트 3차 시제품의 morphology 분석

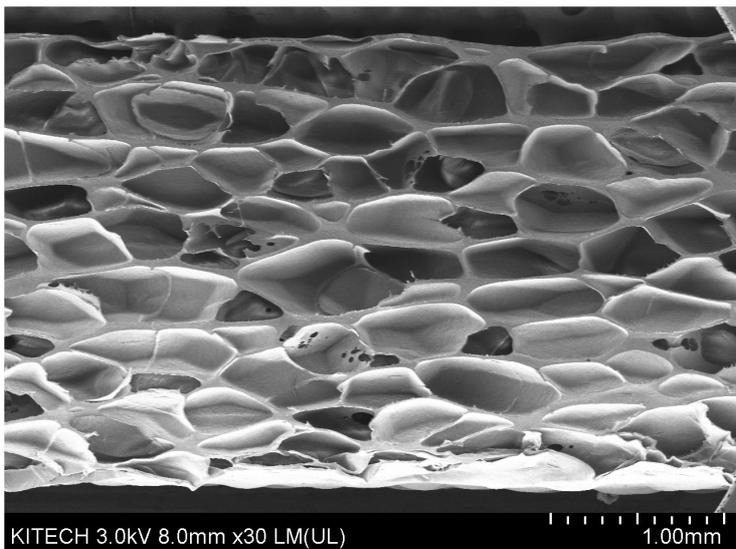
○ 4차 시제품 미세발포 필름 및 시트 물성 분석

- 시제품 분석 (No. 9)

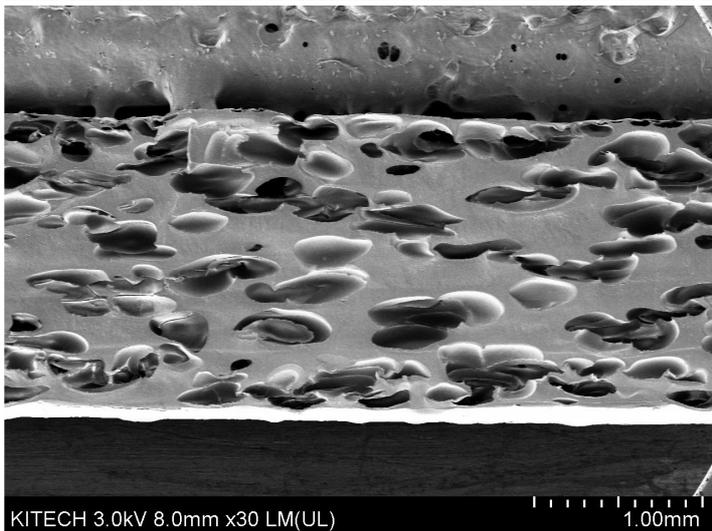
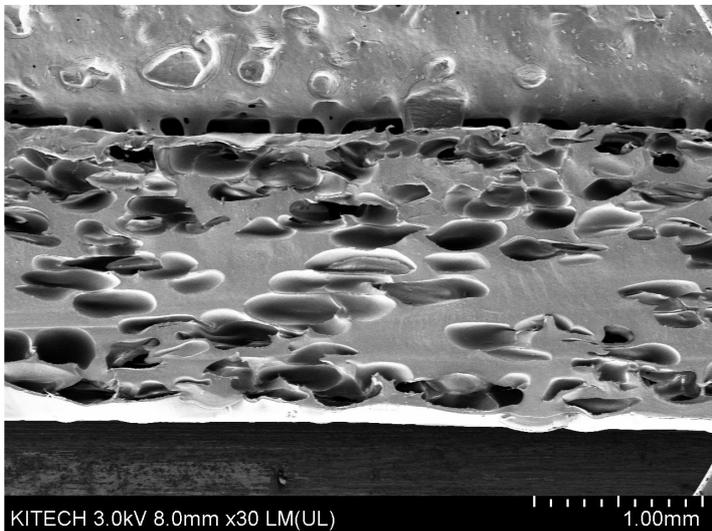
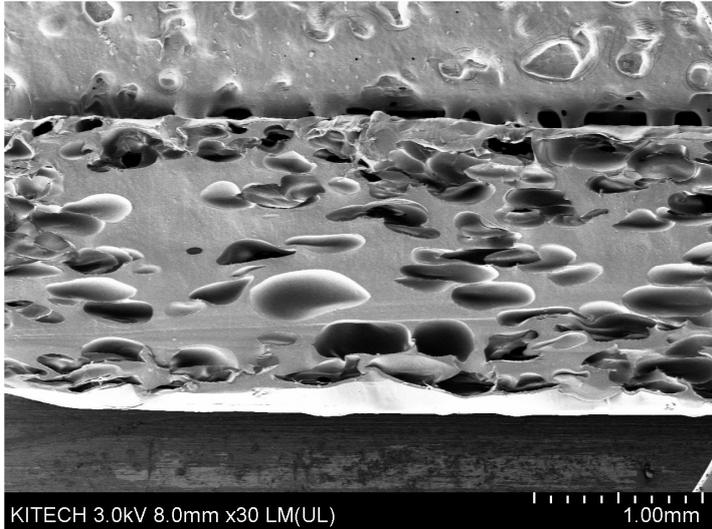
: Polypropylene 발포 시트 1차 시제품의 morphology 분석을 위해 한국생산기술연구원이 보유한 FE-SEM (HITACHI, SU8020)을 통해 분석



PP 발포 시트 MD 방향
30배율 측정



- 시제품 분석 (No. 28)



PP 발포 시트 MD 방향
30배율 측정

- 시제품의 열전도도 분석

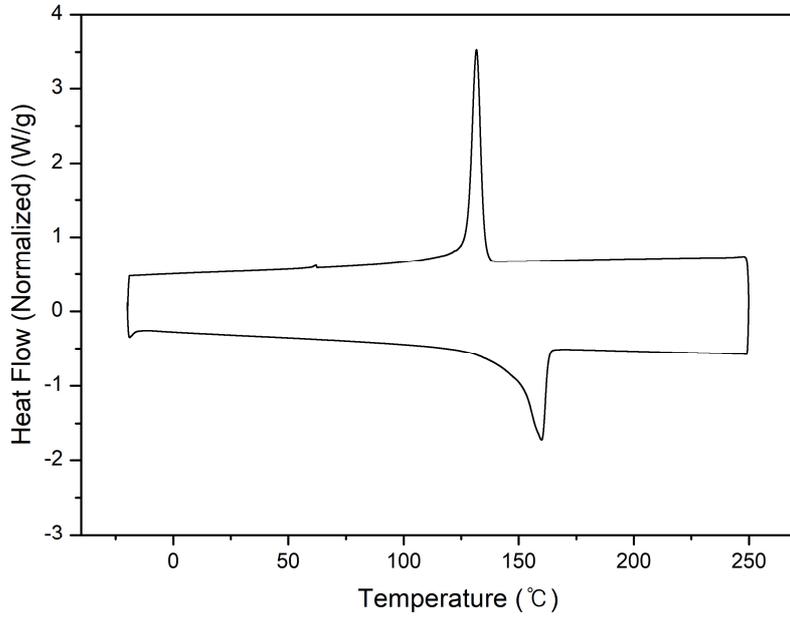
: Polypropylene 발포 시트 시제품 (No. 9, No. 28)의 단열성 분석을 위해 한국생산기술 연구원이 보유한 Thermal conductivity analyzer (DTC 300, TA instrument)를 활용하여 측정

표. 열전도도 분석 결과

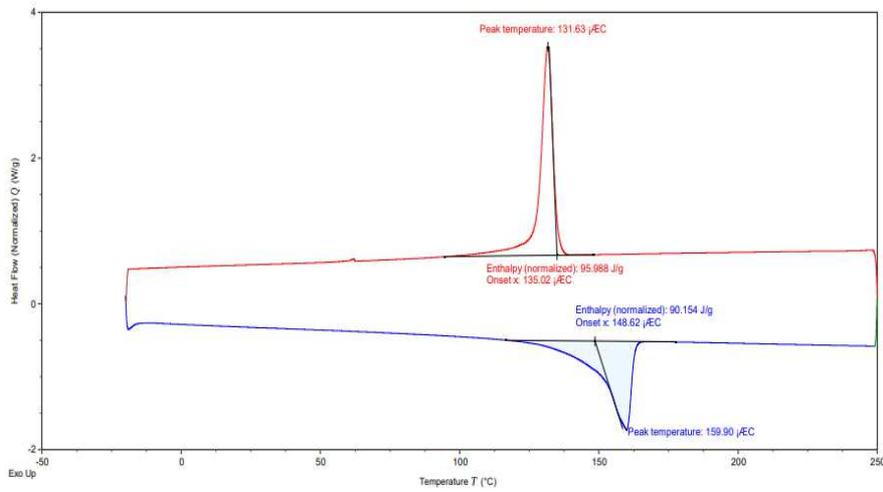
	시제품 No. 9	시제품 No. 28
1	0.0680	0.0410
2	0.0672	0.0423
3	0.0673	0.0435
평균	0.0675	0.0423

시제품에 대한 DSC 열분석 실시

: -20°C ~ 250°C 까지 10°C 씩 온도를 높여가며 3차 시제품의 열적 물성 특성 측정

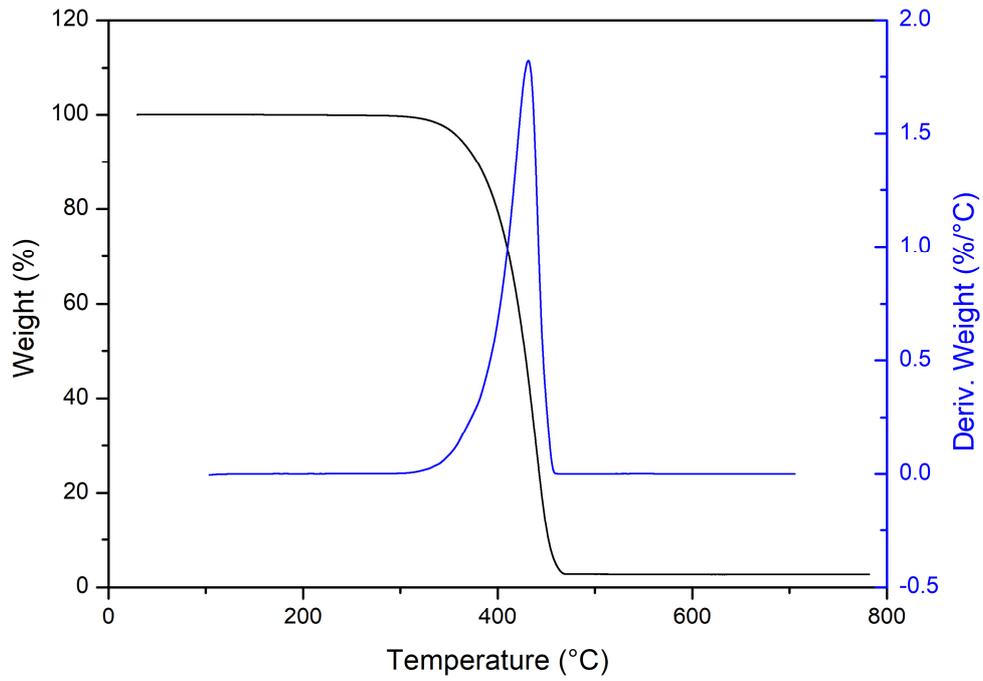


T_c (°C)	131.63
T_m (°C)	159.90
ΔH_c (J/g)	95.988
ΔH_m (J/g)	90.154



3차 시제품의 시차주사열량분석 결과값

: 800°C 까지 10°C 씩 온도를 높여가며 3차 시제품의 무게 변화량 분석



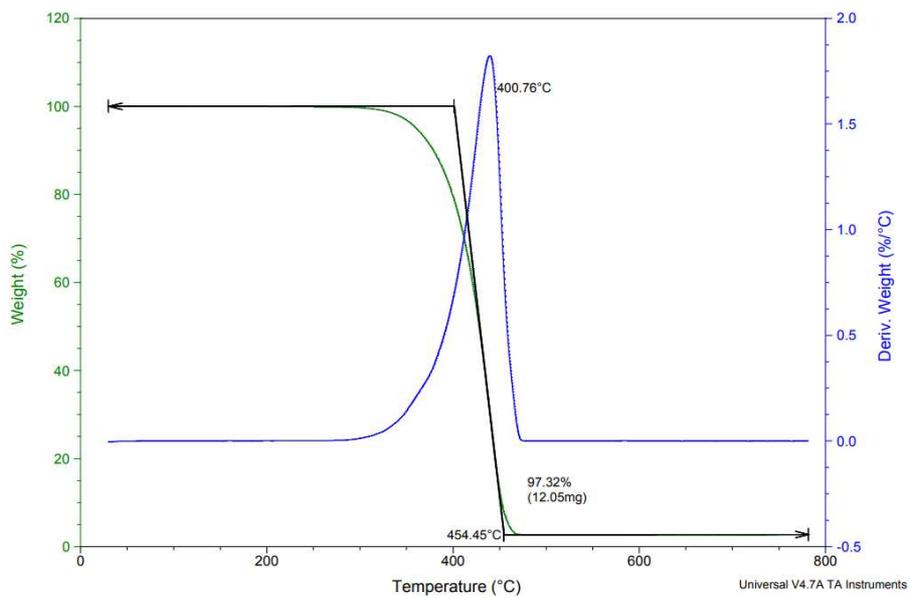
Sample: 211007 PP foam
Size: 12.3820 mg

TGA

File: C:\...TGA\SDS\foam\211007 PP foam.001

Run Date: 07-Oct-2021 09:31

Instrument: TGA Q500 V20.10 Build 36



3차 시제품의 열중량분석 결과값

Part 4. 전과정평가 (Life Cycle Assessment, LCA)

전과정평가의 개요

전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)는 제품의 전과정에서의 원료, 에너지, 화학물질 등의 투입과 폐기물, 오염물질, 재활용 등의 산출 흐름을 규명하고 잠재적인 환경영향을 평가하는 기법이다. 전과정평가에서는 제품에 전 과정 중에 사용되는 원재료 및 제품과 그에 따른 오염 물질 방출이 전부 정량화되어 도출되어진다. 전 과정 평가는 ISO 14040에 표준화되어있으며 1. 목적 및 범위 설정 (Goal and scope definition), 2. 전 과정 목록 분석 (Life cycle inventory analysis), 3. 전 과정 영향 평가 (Life cycle impact assessment), 4. 결과해석 (Interpretation) 단계로 구성되어 있다.

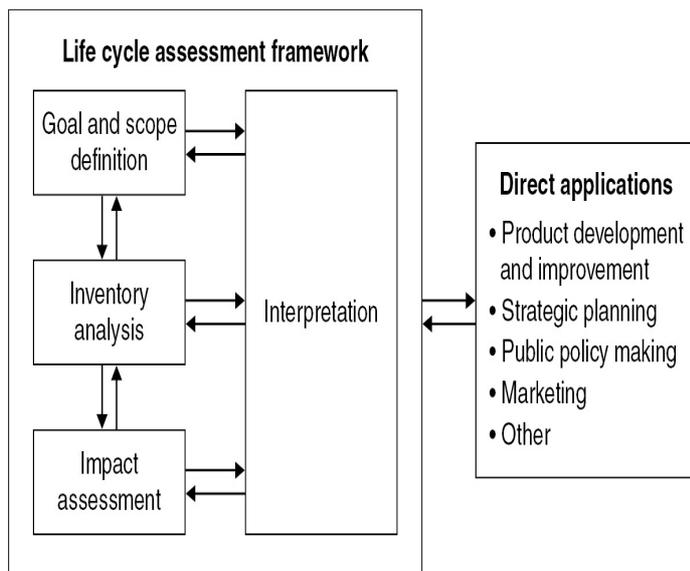


그림 . 전과정 평가 구성요소

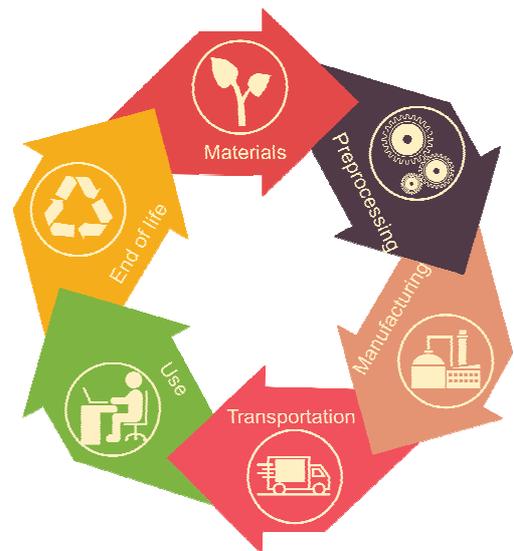


그림 . 제품의 전과정

- (1. 목적 및 범위 설정) 전과정평가를 수행하고자 하는 제품 또는 시스템 선정 및 평가 범위 설정하는 단계이다.

* (기능단위 및 기준 흐름 설정) 제품 및 시스템이 제공하는 기능을 정량화 하는 작업

- (2. 전 과정 목록분석) 연구의 목적 및 범위정의 단계에서 설정한 연구의 목적 및 범위에 따라 데이터를 수집하고 검증 및 계산하는 데이터 처리과정이다.

- (3. 전 과정 영향평가) 전과정 목록분석에서 산출된 전과정 목록의 투입/산출물 데이터를 각 영향범주에 분류하는 과정이다.

* 각각의 투입/산출물 및 오염물질의 각 영향 범주 별 정해진 등가계수를 사용하여 정량화 하는 과정

- (4. 결과해석) 전과정 영향평가의 결과를 해석하는 단계로 기여도, 민감도, 비교 분석과 불확실성 평가를 포함한 불확실성 분석 및 통계 비교 분석이 있다.

○ 전과정 평가 D/B 구축

- 미세발포 경량 포장용기의 전과정 평가 목적 및 분석 범위 설정
- 목적 및 범위 설정을 기반으로 기준 유닛 (Functional unit) 설정
- 단계별 단위공정의 투입물 및 산출물 데이터 수집 (전과정 목록분석, Life cycle inventory analysis)
- Pedigree matrix를 활용한 수집 데이터의 신뢰성 분석

- 미세발포 경량 포장용기의 전과정 평가 목적 및 분석 범위 설정

- 원료 생산에서부터 제품 생산까지 Factory to gate 범위에서 단위 공정별 데이터베이스 수집 및 정리
- 기초 모델을 기반으로 Cradle to grave, Cradle to cradle 까지 범위를 확장하여 전과정 평가 모델 수립 예정

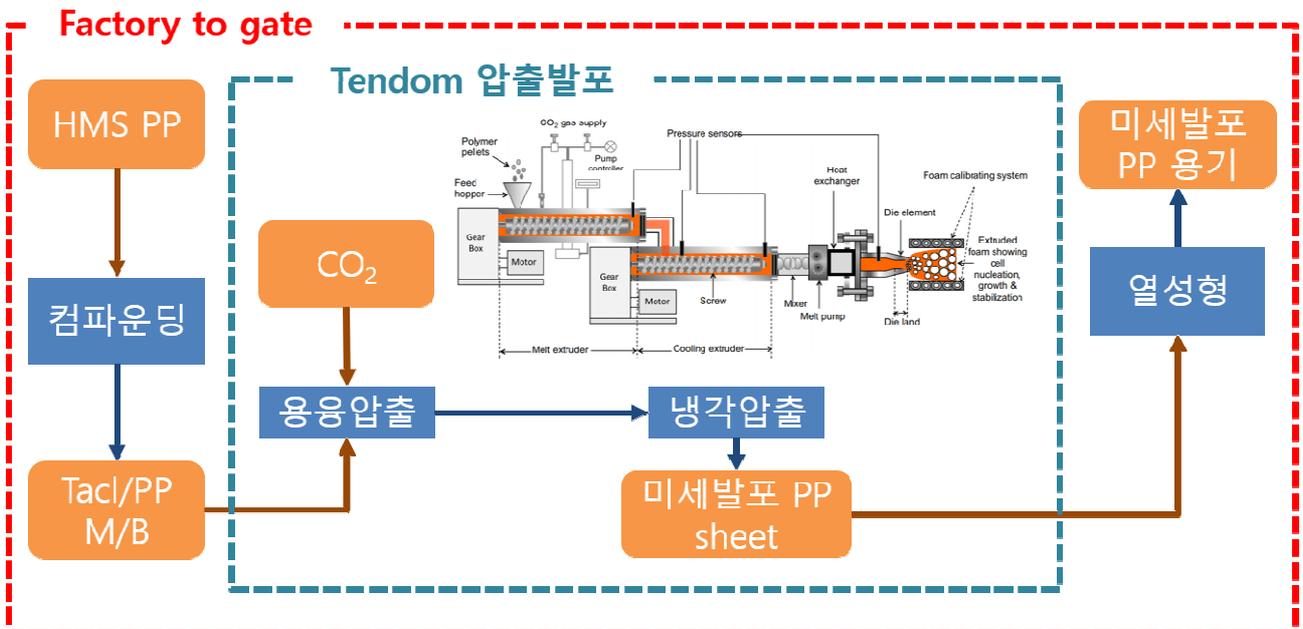


그림 1. 미세발포 PP 용기 생산 공정 Flowchart

- ① (원료 공급) Borealis 사의 High melt strength polypropylene을 사용
- ② (컴파운딩) 공급 받은 PP와 Talc 컴파운딩을 통한 Masterbatch 제작
- ③ (용융압출) 초임계 CO2 주입하면서 PP/Talc M/B 용융 압출
- ④ (냉각압출) 이후 냉각압출을 통해 발포 셀 안정화 작업 및 PP foam 시트 생산
- ⑤ (열성형) PP foam 시트의 열성형을 통해 미세발포 PP 용기 생산

● Secondary data

- 본 연구개발 과제에서 전과정평가를 위해 활용될 Software는 PRé Sustainability사에서 개발한 Simapro v9.2.0.1로서 전과정평가소프트웨어로 가장 많이 활용되고 있으며 각종 소재 및 공정 등에 관한 방대한 database를 탑재하고 있음
- Secondary data로 활용된 주요 데이터베이스는 ETHZ, EPFL, PSI, Empa 와 ART 합작으로 개발한 Ecoinvent v3.0 이며 전 세계에서 가장 방대하고 업데이트 주기가 빠르며 데이터 신뢰도가 높은 전과정 평가 용 database임
- 데이터 베이스로부터 추출한 데이터는 ① Polypropylene의 생산, ② 전기 생산, ③ Talc 생산, ④ 압출공정 ⑤ 열성형을 추출하였음

Table 1. Polypropylene 생산에 대한 전과정목록분석

제품명	Polypropylene		
데이터베이스	Ecoinvent 3		
내용	슬러리 현탁액 중합 (slurry suspension polymerisation), 벌크 현탁액 중합 (Bulk suspension polymerisation), Ziegler-Natta 및 Metallocene 촉매를 사용한 기상 중합에 의해 생산된 Polypropylene 생산 공정		
생산량	1 kg		
자원			
Water	0.01983		m3
Organic chemical	0.00711		kg
Compressed air	0.03988		m3
Ethylene	0.05449		kg
Liquid hydrogen	0.00020		kg
Natural gas	0.00511		m3
Liquid nitrogen	0.05260		kg
Propylene	0.98727		kg
Organic solvent	0.00074		kg
Titanium tetrachloride	0.00109		kg
전력/열			
Medium voltage electricity	0.35140		kWh
Heat from steam	0.56834		MJ
대기 배출			
Carbon dioxide	0.04156		kg
Carbon monoxide	1.59E-05		kg
Dinitrogen monoxide	8.27E-07		kg
Ethene	7.26E-07		kg
Hydrogen	5.73E-08		kg
Methane	3.2E-06		kg
Nitrogen oxides	2E-05		kg
non-methane volatile organic compounds	0.000269		kg
Particulates	9.39E-06		kg
Propene	3.82E-05		kg
Sulfur dioxide	6.34E-08		kg
Sulfur hexafluoride	5.81E-10		kg

수계 배출		
Aluminium	1.09E-07	kg
Adsorbable Organic Halogen as Cl	5.63E-07	kg
Arsenic	6.75E-08	kg
Cadmium	1.52E-09	kg
Chloride	1.49E-10	kg
Chromium	0.000146	kg
Copper	1.18E-08	kg
Fluoride	8.11E-09	kg
Lead	1.24E-07	kg
Mercury	2.3E-09	kg
Nickel	1.42E-11	kg
Nitrate	1.72E-09	kg
Nitrogen	7.39E-07	kg
Phosphorus	3.13E-06	kg
Sulfate	1.14E-06	kg
Zinc	0.000147	kg
폐기물 처리		
Waste mixture plastic	0.001842	kg
Waste water	0.016943	m3

Table 2. 전기 생산에 대한 전과정목록분석

제품명	High voltage electricity	
데이터베이스	Ecoinvent 3	
내용	주요 데이터는 2017: IEA World Energy Statistics and Balances에서 차출하여 계산함	
생산량	1 kWh	
전력/열		
Electricity production, hard coal	0.3991	kWh
Electricity production, hydro	0.0138	kWh
Electricity production, natural gas	0.1621	kWh
Electricity production, lignite	0.0413	kWh
Electricity production, nuclear	0.2772	kWh
Electricity production, oil	0.0096	kWh
Electricity production, wind	0.0042	kWh
Heat and power co-generation	0.0768	kWh

Table 3. Talc 생산에 대한 전과정목록분석

제품명	Lime production	
데이터베이스	Ecoinvent 3	
내용	Lime 생산에 필요한 투입물 및 산출물	
생산량	1 kg	
자원		
Water	0.00280	m3
Industrial machine	0.00023	kg
전력/열		
Diesel	0.00358	MJ
Heat	0.2162	MJ
Electricity	0.03200	kWh
대기 배출		
Water	0.00082	m3
수계 배출		
Water	0.00198	m3

Table 4. 압출공정에 대한 전과정목록분석

제품명	Extrusion of plastic film	
데이터베이스	Ecoinvent 3	
내용	1kg의 플라스틱 압출을 통해 0.976kg의 필름 생산	
생산량	0.976 kg	
자원		
Water	0.04369	m3
Core board	0.00732	kg
Lubricating oil	0.00011	kg
Particleboard	2.15E-05	m3
Polyethylene	0.00215	kg
Polypropylene	0.00068	kg
Polyvinylchloride	4.88E-05	kg
Solid bleached and unbleached board carton	0.00098	kg
전력/열		
Steam	0.05800	kg
Heat	0.81000	MJ
Electricity	0.65990	kWh
대기 배출		
Water	0.01693	m3
수계 배출		
Water	0.02676	m3
폐기물 처리		
Waste mixture plastic	0.02410	kg

Table 5. 열성형 공정에 대한 전과정목록분석

제품명	Thermoforming of plastic sheet		
데이터베이스	Ecoinvent 3		
내용	200um에서 2mm 두께의 플라스틱 시트의 열성형 공정 관련 투입 및 산출물		
생산량	0.946 kg		
자원			
Aluminium ingot	0.00144		kg
Organic chemical	0.00015		kg
Plastic film extrusion	7.83E-07		kg
Metal working	0.00143		m3
Polypropylene	7.83E-07		kg
Steel	7.63E-07		kg
Tap water	2.69E-05		kg
Tissue paper	1.19E-05		kg
전력/열			
Heat	0.10338		MJ
Electricity	0.69462		kWh
대기 배출			
Water	4.04E-09		m3
NMVOC	0.00010		kg
폐기물 처리			
Aluminum scrap	0.00144		kg
Solvent mixture	0.00015		kg
Waste graphical paper	1.19E-05		kg
Waste plastic	0.05162		kg
Waste polypropylene	7.83E-07		kg
Waste water	2.29E-08		m3

2차년도 귀속적 전과정평가 (Attributional life cycle assessment, ALCA) 모델 구축

- 1차년도 수집한 전과정목록분석 데이터를 기반으로 미세발포 경량 PP 시트와 일반 PP 시트의 전과정평가 모델 구축 진행
- 전과정평가 모델 구축은 Software는 PRé Sustainability사에서 개발한 Simapro v9.2.0.1을 활용하였으며 주요 데이터베이스는 Ecoinvent v3.0을 사용함

● Cradle to cradle 범위 전과정평가

1. 목적 및 범위

- **[목적]** 본 연구의 목적은 식품용기로 사용될 미세발포 PP 시트와 일반 PP 시트의 생산 공정에 대한 환경 영향을 비교 분석하는 것임
- **[범위]** 본 연구의 범위는 원료 생산, 제품 생산 단계를 포함하는 Factory to gate로 선정하였음 (그림 1)

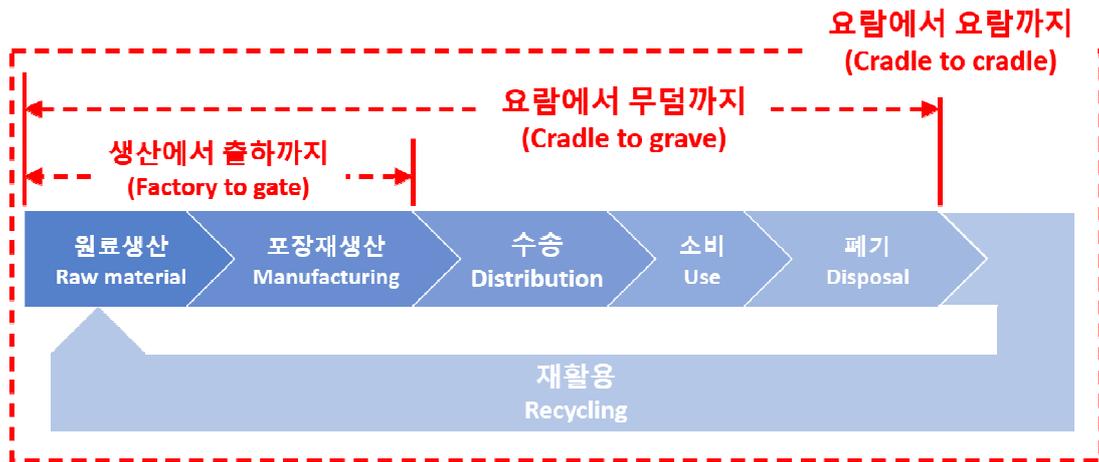


그림 2. 전과정 평가의 단계별 범위

- [기능 유닛] 기능을 정량화 하는 것으로서 앞에서 정의된 기능을 수행하는데 필요한 품질 요건 및 관련 제한사항을 정의
 - ⇒ 본 분석의 기능 유닛은 1kg의 열성형 식품용기를 위한 PP 시트 생산을 위한 모든 투입물 및 산출물

2. 전과정목록분석

- 연구의 목적 및 범위정의 단계에서 설정한 연구의 목적 및 범위에 따라 데이터를 수집하고 검증 및 계산하는 데이터 처리과정
- [가정]
 1. 미세발포 PP 시트는 기존 PP 시트 대비 30% 경량화가 된 것으로 가정
 2. 미세발포 PP 시트에 사용되는 High Melt Strength PP의 경우 일반 PP로 가정
 - * 추후 HMS PP의 전과정목록분석 데이터 확보하여 모델 수정 예정

3. 전과정영향평가

- 전과정 목록 분석 단계에서 도출된 투입/산출물 데이터를 바탕으로 잠재적 환경 영향 평가
- 다양한 전과정영향평가 방법 중 본 연구에서는 ‘ReCiPe 2016 Midpoint (H)’¹⁾를 선택하여 결과 값을 분석

1) Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & Van Zelm, R. (2009). ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, 1, 1-126.

표. 전과정영향평가의 영향 범주 별 기준 단위 및 설명

영향 범주	단위	내용
지구온난화 (Global warming)	kg CO ₂ eq	지구 온난화를 일으킬 수 있는 모든 배출물들을 이산화탄소의 지구 온난화영향력을 기준으로 하여 정량화 한 것임
오존층파괴 (Stratospheric ozone depletion)	kg CFC11 eq	오존층 파괴 물질들의 총 합으로 CFC-11의 오존층 파괴력을 기준으로 정량화
전리방사선 (Ionizing radiation)	kBqCo-60 eq	방사성 핵종의 유출에 따른 인간에게 미치는 영향력을 측정 한 것으로Cobalt-60의 영향력을 기준으로 정량화
오존생성 인체영향 (Ozone formation, Human health)	kg NO _x eq	대기중 오존물질 형성에 따라 인간에게 미치는 영향력을 측정 한 것으로 NO _x 의 영향력을 기준으로 정량화
미세먼지 (Fine particulate matter formation)	kg PM _{2.5} eq	NO _x , NH ₃ , SO ₂ 및 미세먼지의 배출에 따라 인간에게 미치는 영향력을 측정 한 것으로 PM _{2.5} 의 영향력을 기준으로 정량화
오존생성 생태계 영향 (Ozone formation, Terrestrial ecosystems)	kg NO _x eq	대기 중 오존물질 형성에 따라 육상 생태계에 미치는영향력을 측정 한 것으로 NO _x 의 영향력을 기준으로 정량화
육지 산성화 (Terrestrial acidification)	kg SO ₂ eq	육지 산성화에 따른 영향을 측정 한 것으로 SO ₂ 의 영향력을 기준으로 정량화
담수부영양화 (Freshwater eutrophication)	kg P eq	담수 부영양화로 인한 생태계 영향을 측정 한 것으로 P의 영향력을 기준으로 정량화
해양부영양화 (Marine eutrophication)	kg N eq	해수 부영양화로 인한 생태계 영향을 측정 한 것으로 N의 영향력을 기준으로 정량화
토양생태독성 (Terrestrial ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	육지 오염에 따른 생태계 영향을 측정 한 것으로 1,4-dichlorobenzene의 영향력을 기준으로 정량화
담수생태독성 (Freshwater ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	담수 오염에 따른 생태계 영향을 측정 한 것으로 1,4-dichlorobenzene의 영향력을 기준으로 정량화
해양생태독성 (Marine ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	해양 오염에 따른 생태계 영향을 측정 한 것으로 1,4-dichlorobenzene의 영향력을 기준으로 정량화
인체발암성독성 (Human carcinogenic)	kg 1,4-DCB	인간에게 미치는 발암성 영향 측정 한 것으로 1,4-dichlorobenzene의 영향력을 기준으로 정량화

toxicity)		
인체비발암성독성 (Human non-carcinogenic toxicity)	kg 1,4-DCB	인간에게 미치는 비발암성 영향 측정한 것으로 1,4-dichlorobenzene의 영향력을 기준으로 정량화
토지사용 (Land use)	m2a crop eq	제품 생산을 위한 육지 사용에 따른 영향을 측정한 것으로 m2 당 연간 키울 수 있는 작물을 기준으로 정량화
화석자원사용 (Fossil resource scarcity)	kg oil eq	제품 생산을 위해 사용된 화석연료의 소비량을 측정한 것으로 원유 (Oil)의 소비에 따른 영향을 기준으로 정량화

4. 결과 해석

- Factory to gate 범위 하에서는 미세발포 PP 시트의 경우 30% 경량화에 따라 일반 PP 시트 대비 전반적인 환경 영향 범주 값들이 낮게 나옴
- 탄소배출량 기준 기존 PP 시트 (2.713 kg CO2 eq) 대비 미세발포 PP 시트 (2.067 kg CO2 eq)의 경우 대략 24% 절감 효과를 얻음

표. 전과정영향평가 결과 값

영향범주	Unit	미세발포 PP 시트	일반 PP 시트
지구온난화 (Global warming)	kg CO2 eq	2.067	2.713
오존층파괴 (Stratospheric ozone depletion)	kg CFC11 eq	2.10E-07	2.38E-07
전리방사선 (Ionizing radiation)	kBq Co-60 eq	0.2151	0.05575
오존생성 인체영향 (Ozone formation, Human health)	kg NOx eq	0.003729	0.004434
미세먼지 (Fine particulate matter formation)	kg PM2.5 eq	0.001840	0.002901
오존생성 생태계 영향 (Ozone formation, Terrestrial ecosystems)	kg NOx eq	0.003739	0.004446
육지 산성화 (Terrestrial acidification)	kg SO2 eq	0.004811	0.007050
담수부영양화 (Freshwater eutrophication)	kg P eq	0.0004883	0.0003498

해양부영양화 (Marine eutrophication)	kg N eq	3.94E-05	6.45E-05
토양생태독성 (Terrestrial ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	0.4359	0.5543
담수생태독성 (Freshwater ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	0.01776	0.02148
해양생태독성 (Marine ecotoxicity)	kg 1,4-DCB	0.02467	0.02919
인체발암성독성 (Human carcinogenic toxicity)	kg 1,4-DCB	0.05629	0.05979
인체비발암성독성 (Human non-carcinogenic toxicity)	kg 1,4-DCB	0.7073	0.6485
토지사용 (Land use)	m2a crop eq	0.005222	0.008885
화석자원사용 (Fossil resource scarcity)	kg oil eq	1.242	1.677

● 결과론적 전과정평가 구축을 위한 시나리오 설정

- 기존 PP 단일 시트 기반의 편의점 도시락을 원천감량 30% 미세발포 PP 적용 편의점 도시락으로 변경시 지구온난화 발생량을 비교 분석하기 위해 시나리오 설정 진행
- 전체 편의점 도시락 매출은 2013년 779억, 2015년 1천 320억, 2017년 4천800억에서 2019년 4천 800억원으로 평균 증가율 82%로 나타남 (참조: 농림축산식품부)
- 편의점 도시락 천 만개 판매당 500억 매출 비율을 근거로 편의점 도시락 판매량을 산출함

표. 편의점도시락 소비 추산량 (2024~2033년), 82% 증가율 적용

연도	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
소비량 (천개)	96,000	174,720	317,990	578,743	1,053,311	1,917,027	3,488,989	6,349,959	11,556,926	21,033,606

- 편의점 도시락에 영향을 미칠 수 있는 외부 변수를 설정하여 시스템에 미치는 영향을 분석함
- ⇒ (Base 시나리오) 기존 PP 단일 시트 기반의 편의점 도시락의 환경 부하량

⇒ (시장변수) 기존 PP 단일 시트 기반의 편의점 도시락에 미세발포 PP 시트 적용
 편의점 도시락 시장 진입율 3% (M3), 10% (M10) 일 때 환경 부하 감축량 측정
 함

● 결과론적 전과정평가 결과 해석

- Base 시나리오 대비 미세발포 PP 편의점 도시락의 시장 진입률에 따른 지구온난화 (Global Warming Potential) 발생 변화량을 분석

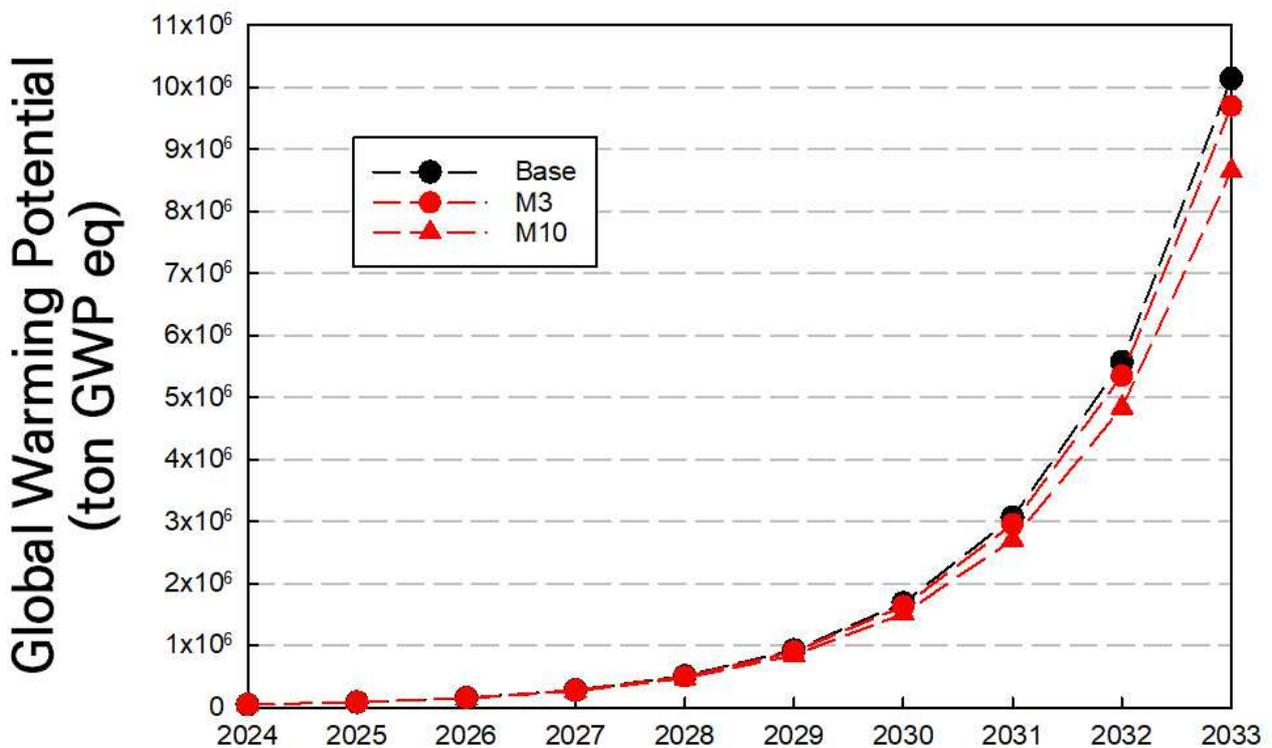


그림. 각 시나리오별 지구온난화 발생량, 2024~2033년

- Base 시나리오의 경우 2024년 4만 6천톤의 지구온난화를 발생하였으며 2033년에는 1013만 6천톤으로 증가하는 추세를 보임
- 미세발포 PP 편의점 도시락의 시장 진입율을 3%로 설정 시 초반 2030년까지는 큰 차이를 보이지 않았으며 그 이후 편의점 도시락 소비량이 급증함에 따라 조금씩 차이를 보임
- 미세발포 PP 편의점 도시락의 시장 진입율을 10%로 설정시 마찬가지로 초반엔 별 차

이를 보이지 않았으며 시간이 흐를수록 큰 차이를 보이게 됨

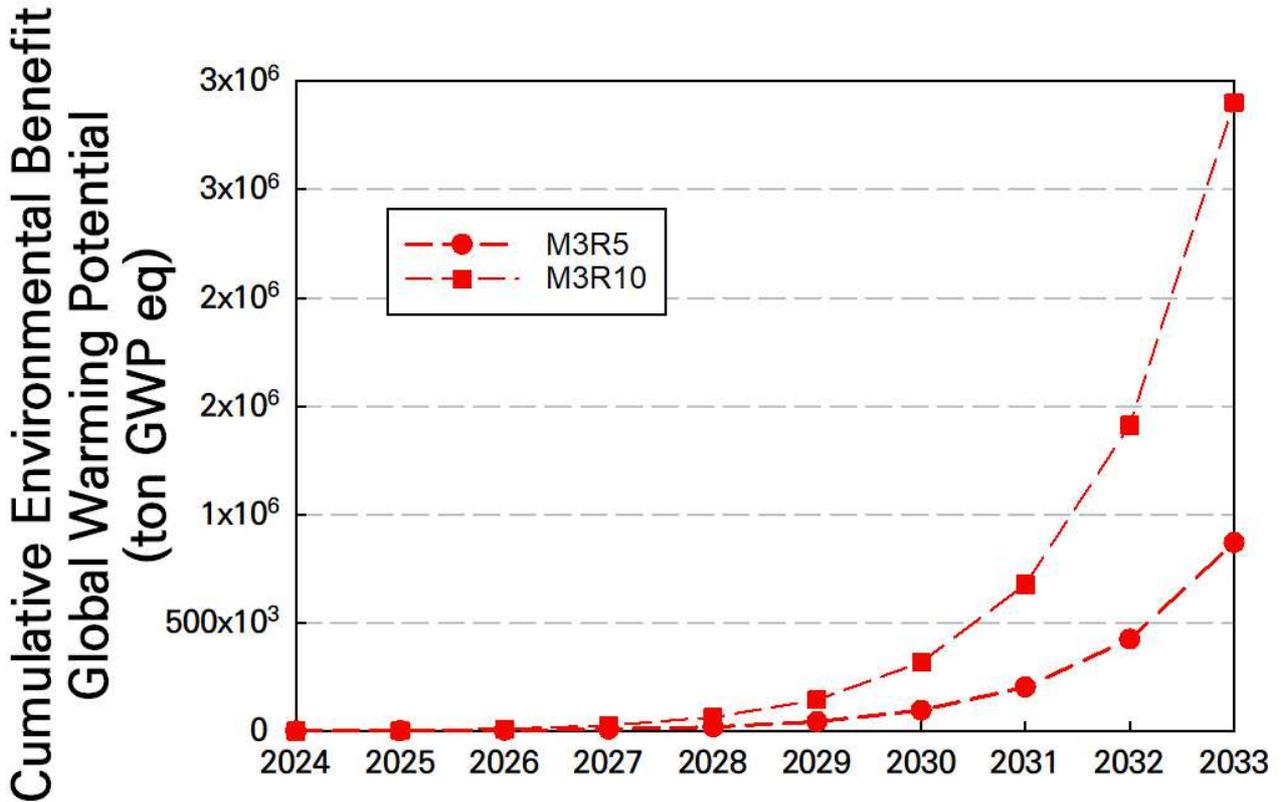


그림. Base 시나리오 대비 각 시나리오의 누적 지구온난화 감축량

- 시장 진입율 3%일 때 (M3) 2033년까지 누적 지구온난화 감축량은 86만 9천톤에 이를 것으로 예상됨
 - ⇒ 이는 나무 한 그루가 연간 8kg의 지구온난화 가스 흡수를 기준으로 총 1억 그루의 나무를 절감하는 효과임
- 시장 진입율 10%일 때 (M10) 2033년까지 누적 지구온난화 감축량은 289만톤 이르는 것으로 나타남
 - ⇒ 이는 나무 한 그루가 연간 8kg의 지구온난화 가스 흡수를 기준으로 총 3억 6천만 그루의 나무를 절감하는 효과임
- 기존 PP 시트 소재 대비 미세발포 PP 시트 소재의 탄소배출량 절감이 효과적이므로 적극적인 시장 공략을 통해 향후 늘어나는 편의점 도시락 소비량에 따른 탄소배출량 관리가 필요할 것으로 예상됨.

Go, Yoo-Jin, et al. “Meta-Analysis of Life Cycle Assessment Studies for Polyethylene Terephthalate Water Bottle System.” *Sustainability* 16.2 (2024): 535.

Supplementary Materials: The following supporting information can be downloaded at: <https://www.mdpi.com/article/10.3390/su16020535/s1>, Figure S1: Illustration of how to extract the GWP from stacked bar chart; Figure S2: Box plot analysis that encompasses all outliers of GWP values for six phases of the PET bottle system; Table S1: The literature screening forms with the references that passed the final screening criteria. The screening forms contain the type of reference with titles, author, year, and information of references; Table S2: Organization of capacities and GWP values for Korean EPD products; Table S3: Results of the Games–Howell post hoc test for GWP values of EPD products per 1 kg; Table S4: Results of the Games–Howell post hoc test for GWP values of EPD products per 100 mL.

Author Contributions: Conceptualization, Y.-J.G. and D.-H.K.; methodology, Y.-J.G. and D.-H.K.; validation, Y.-J.G. and D.-H.K.; investigation, Y.-J.G. and D.-H.K.; formal analysis, Y.-J.G. and D.-H.K.; data curation, Y.-J.G. and D.-H.K.; writing—original draft, Y.-J.G.; visualization, Y.-J.G.; review and editing, D.-H.K. and J.-H.L.; supervision, H.-J.P. and J.-K.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs: 321045-3.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data are contained within the article and Supplementary Materials.

Acknowledgments: This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through the ‘High Value-added Food Technology Development Program’.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

- Kang, D. *Environmental Evaluation of Non-Alcoholic Single-Serve PET Beverage Bottles in the State of California Using Life Cycle Assessment and System Dynamics*; Michigan State University: East Lansing, MI, USA, 2015.
- Burkhardt III, J.J.; Heath, G.; Cohen, E. Life cycle greenhouse gas emissions of trough and tower concentrating solar power electricity generation: Systematic review and harmonization. *J. Ind. Ecol.* **2012**, *16*, S93–S109. [[CrossRef](#)]
- Arvanitoyannis, I.S. ISO 14040: Life cycle assessment (LCA)—principles and guidelines. In *Waste Management for the Food Industries*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2008; pp. 97–132.
- ISO 14040:2006; Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework. ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
- ISO 14044:2006; International Organization of Standardization. Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines. ISO: Geneva, Switzerland, 2006.
- Pesonen, H.-L.; Ekvall, T.; Fleischer, G.; Huppes, G.; Jahn, C.; Klos, Z.S.; Rebitzer, G.; Sonnemann, G.W.; Tintinelli, A.; Weidema, B.P. Framework for scenario development in LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2000**, *5*, 21–30. [[CrossRef](#)]
- Furberg, A.; Moum, A.; Nørsterud, S.; Raadal, H.L. *Review of Life Cycle Assessments of Reuse Systems for Bottles*; NORSUS: Kråkerøy, Norway, 2021.
- Gomes, T.S.; Visconte, L.L.; Pacheco, E.B. Life cycle assessment of polyethylene terephthalate packaging: An overview. *J. Polym. Environ.* **2019**, *27*, 533–548. [[CrossRef](#)]
- Bishop, G.; Styles, D.; Lens, P.N. Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resour. Conserv. Recycl.* **2021**, *168*, 105451. [[CrossRef](#)]
- Ortiz, O.; Castells, F.; Sonnemann, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Constr. Build. Mater.* **2009**, *23*, 28–39. [[CrossRef](#)]
- Fantin, V.; Scalbi, S.; Ottaviano, G.; Masoni, P. A method for improving reliability and relevance of LCA reviews: The case of life-cycle greenhouse gas emissions of tap and bottled water. *Sci. Total Environ.* **2014**, *476*, 228–241. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Weidema, B.; Wenzel, H.; Petersen, C.; Hansen, K. The product, functional unit and reference flows in LCA. *Environ. News* **2004**, *70*, 1–46.
- Hunsager, E.A.; Bach, M.; Breuer, L. An institutional analysis of EPD programs and a global PCR registry. *Int. J. Life Cycle Assess.* **2014**, *19*, 786–795. [[CrossRef](#)]
- Lee, Y.H. An overview of meta-analysis for clinicians. *Korean J. Intern. Med.* **2018**, *33*, 277. [[CrossRef](#)]
- Rosenthal, R. Meta-analysis: A review. *Psychosom. Med.* **1991**, *53*, 247–271. [[CrossRef](#)]
- Aromataris, E.; Pearson, A. The systematic review: An overview. *AJN Am. J. Nurs.* **2014**, *114*, 53–58. [[CrossRef](#)]
- Ownby, R.L.; Crocco, E.; Acevedo, A.; John, V.; Loewenstein, D. Depression and risk for Alzheimer disease: Systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis. *Arch. Gen. Psychiatry* **2006**, *63*, 530–538. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

-
- 식품용기의 food contact 안전성 분석전문 공인기관인 SGS의 분석을 통해서, 고배율 발포 PP 식품용기의 용출 안전성을 확인하였음.
 - 재활용이 가능한 무가교 PP발포 시트를 압출발포 공법으로 제조할 수 있는 기술을 확보하였음.
 - 원천감량을 통해서 기존의 비발포 PP용기 대비 현저히 경량화되고 재활용이 용이한 식품용기의 상업화 성공 가능성을 확보함.
 - 30%의 열성형 스크랩을 신재 PP 수지와 혼합하여 정상적인 고배율 PP발포 용기를 제조할 수 있음을 증명하였으며, 이를 통해서 식품용기의 제조원가를 현저히 낮출 수 있었음.
 - 고가의 수입원재료인 고용용장력 PP수지를 국산화하기 위해서 롯데케미칼과 협력하였으며, 고배율 발포PP 식품용기를 양산하기에 충분한 발포 가공 물성을 갖는 PP수지를 개발할 수 있었음.
 - 발포 셀의 사이즈를 낮추기 위한 미세발포 PP시트를 제조하기 위해서 다양한 변수를 변화시키면서 실험하였고, 평균 발포 셀 사이즈 250마이크론 수준까지 낮춘 미세발포 PP시트를 생산 할 수 있었으며, 이는 당초 목표했던 200 마이크론에는 미치지 못하지만, 최종적인 발포PP 식품용기의 외관이나 구조강도 등 물성에 전혀 문제가 없다는 결론을 얻었음.
 - 다층 구조의 PP 발포시트를 제조할 수 있었으며, 배달용기, 라면용기, 트레이, 냉동즉석식품 등 다양한 형태의 식품용기에 대해서 성형성 테스트를 실시하였고, 성형기의 금형조건을 최적화 시키는 방법을 찾는데 성공하였음.
 - GS25 편의점의 간편식 도시락 용기로 고배율 발포PP 식품용기가 국내 최초로 상업화 적용 완료하였으며, 전자레인지에 가열하여도 용기가 뜨겁지 않아서 사용상 편리함과 화상방지기능을 가짐.
 - 롯데푸드의 전자레인지 가열 스파게티 용기를 기존 비발포PP에서 고배율 발포PP용기로 대체하고자 기본 물성 및 공장투입라인 작업성까지 통과하여 상업화 적용이 임박함.
 - PP 발포시트의 성공적인 성형을 위해서는, 플러그와 캐비티가 양쪽에서 눌러주는 프레스 성형이 필수적으로 필요하다는 점을 확인하였고, 플러그와 캐비티 금형 양쪽에 모두 60도 이상의 고온이 필요하고 금형 양쪽 모두 진공을 걸어줘야 한다는 사실을 밝혀냈음.
 - 농심 생생우동라면 용기에 대한 기본물성을 모두 만족하는 우수한 결과를 보여주어, 세계 최초의 손으로 잡아도 뜨겁지 않은 고배율 발포 PP 라면용기의 개발에 한걸음 더 다가가는 성과를 얻을 수 있었음.
 - 고배율 발포 PP 식품용기 제조기술을 통해서 녹색기술 인증을 획득하였음.
 - 유통중인 배달식품 용기 모니터링 및 DB 구축하였음.
 - PP 발포 시트의 미세단면구조와 물성을 분석하였음.
 - PP발포 식품용기에 대한 전과정평가 (ALCA)를 성공적으로 실시하여, 결과론적 전과정평가 (CLCA) 모델 구축하였고, 전과정평가 모델 기반 시나리오 별 환경 영향력 측정하였음.
 - 대한민국 ESG친환경 대전에 부스를 만들고 고배율 발포 PP 식품용기를 전시홍보 하였음.
 - 가장 안전한 식품용기 소재인 PP를 기본소재로하여, 고배율의 발포 식품용기를 제조하는 연구개발에 성공하였고, 이를 통해서 다양한 식품용기로 적용할 수 있는 친환경 제조기술을 국내 최초로 개발하여 상업화 적용까지 완료하였으며, 향후 이 친환경 PP발포 식품용기 시장의 확대가 기대됨.
-

(2) 정량적 연구개발성과

- 밀도 0.133 g/cm³ 수준의 무가교 PP foam sheet 제조기술을 확보하여 시트무게로는 약 85%, 용기무게로는 비발포용기 대비 약 50%의 원천감량이 가능한 새로운 발포가공기술을 양산규모에서 성공적으로 개발하였음..
- PP 발포시트의 발포셀 평균 직경 250 μ m 수준의 미세발포 PP foam 압출발포 제조기술을 개발함.
- PP 발포시트의 독립기포율을 80% 이상으로 얻을 수 있는 처방기술을 성공적으로 개발함.
- 화학발포제가 전혀 없는 고배율 물리발포 PP foam sheet 개발을 성공함.
- 2 layer 또는 3 layer 구조의 다층구조 PP 발포 시트를 제조하여, 외관이나 강도 측면에서 더욱 완성도가 있는 식품용기 성형품을 제조할 수 있었음.
- 재활용 PP시트 스크랩을 30%까지 혼합하여 안정적으로 고배율 PP발포 식품용기를 제조할 수 있는 원재료 처방 및 공정조건을 개발하였음.
- PP 발포 성형용기의 깊이를 80mm 까지 안정적으로 deep draw 성형작업을 할 수 있는 온도와 금형조건 등 성형작업성을 확보함.
- 발포시트 뿐 아니라, 성형된 PP 발포용기의 단면 발포셀 구조를 분석하였음.
- 발포 시트의 열전도율 값을 0.041 W/mK 수준까지 얻을 수 있었음.
- 발포 시트의 압축강도는 18~60 kgf/cm² 수준으로 우수한 결과를 얻음.
- 비발포 PP 용기 대비 약 90% 수준의 압축강도를 갖는 PP 발포 용기를 제조할 수 있었음.
- 냉동식품(롯데푸드 스파게티) 용기 감량화 용기를 성형하여 전자레인지 가열 내열성이 충분히 나온다는 것을 검증 완료함.
- PP발포 식품용기에 대한 전과정평가 (ALCA)를 성공적으로 실시하였으며, 결론적으로 고배율 발포PP용기가 비발포 용기 대비 24%의 온실가스 저감효과가 있음을 확인하였음.

* 고배율 PP발포 평가항목 및 실적치

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고수준 보유국/보유기관	연구개발 전 국내 수준	연구개발 목표치		근거
			성능수준	성능수준	실적치		
					1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	
발포 밀도	g/cm ³	30	0.15	0.7	≤0.18	≤0.15	ASTMD792 A
					0.18	0.15	
독립기포율	%	20	90	90	≥80	≥90	ASTM D6226
					83	90	
발포 셀 평균직경	μ m	20	200	500	≤300	≤200	Lab 분석
					300	250	
열전도율	W/mK	10	0.07	0.09	≤0.07	≤0.06	ASTM E1530-19
					0.045	0.040	
인장강도	MPa	10	3.3	2.0	≥2.5	≥3.0	ASTM D638
					2.6	3.1	
압축강도 ¹⁾	kgf/cm ²	10	20	8	≥10	≥15	상대평가
					18	25	

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Meta- Analysis of Life Cycle Assessment Studies for Polyethylene Terephthalate Water Bottle System	Sustain-ability	고유진 강동호	16 (2024)	스위스	mdpi	SCIE	2024년 1월 8일	16020535	35

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
	한국식품저장 학회	김효식	2022. 8. 18	경주	한국

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

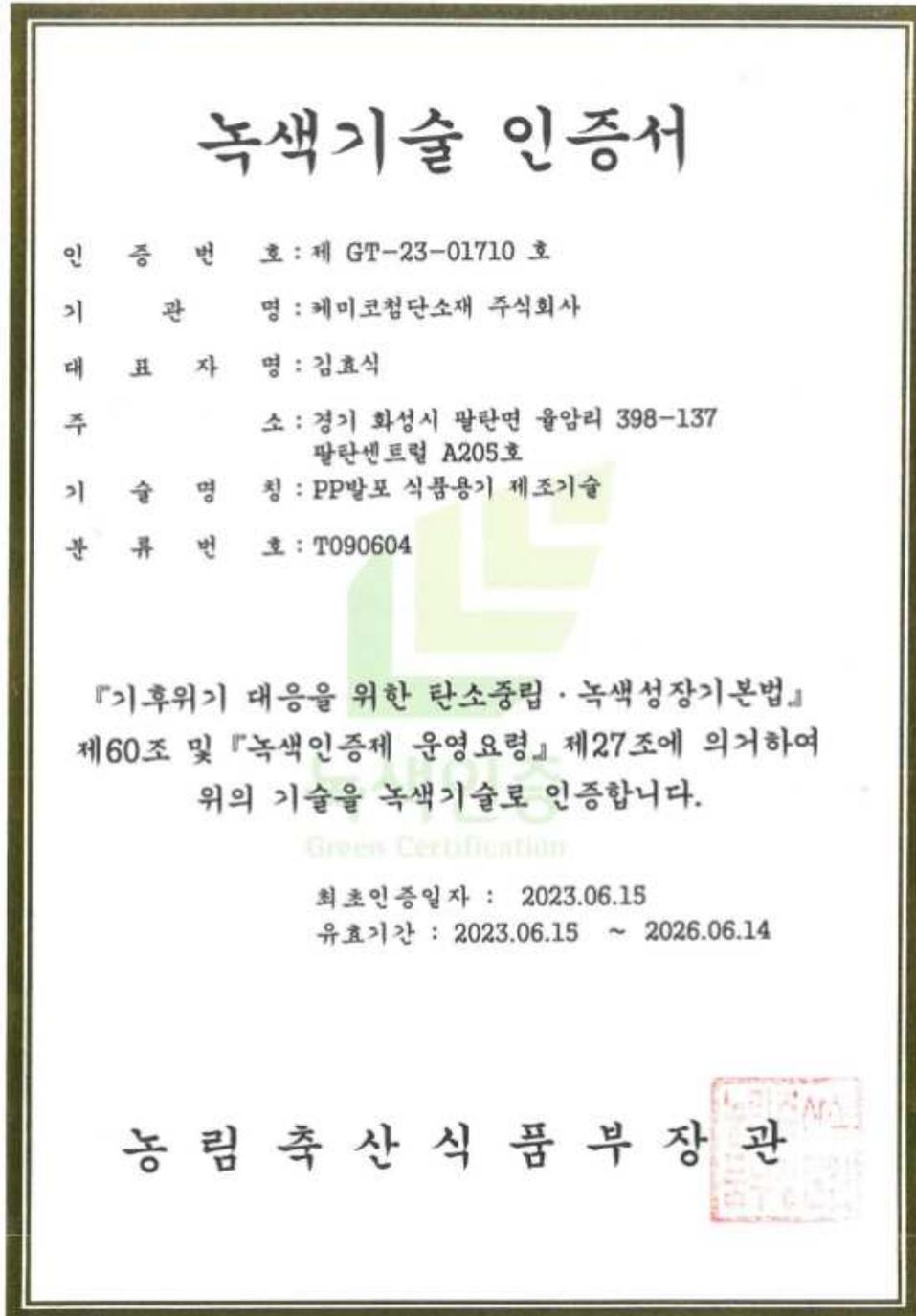
번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		
1	포장재	한국환경산업기술원	환경표지 인증	25125	2021. 9. 8	한국
2	탄소중립 녹색성장	농림축산식품부	녹색기술 인증	GT-23-01710	2023. 6. 15	한국



제 25125 호

환경표지 인증서

1. 상 호 : 케미코첨단소재(주)
2. 사업자등록번호 : 125-86-23397
3. 소재 지 : 경기도 화성시 팔탄면 노하길 513, A동 2층
205호(팔탄센트럴)
4. 공장·사업장소재지 : 경기도 화성시 팔탄면 울암길95번길 76
5. 대표자성명 : 김효식
6. 대상제품 : EL606.포장재
7. 상표명/용도·제공서비스 : EX-PP FS/합성수지재 포장 재료
8. 인증기간 : 2021.09.08 부터 2024.09.07 까지
9. 인증사유 : "자원순환성 향상, 지역 환경오염 감소"

「환경기술 및 환경산업 지원법」 제17조제3항, 같은 법 시행령 제23조제2항 및 같은 법 시행규칙 제34조제2항에 따라 환경표지대상제품의 인증기준에 적합하므로 환경표지의 사용을 인증합니다.

※ 최초교부 : 2021.09.08
※ 재발행 사유 : 소재지

2023년 02월 20일

한국환경산업기술원장



※ 한국환경산업기술원은 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제33조제2항 및 같은 법 시행령 제33조제8항에 따라 환경부장관으로부터 환경표지 인증에 관한 업무를 위탁받은 기관입니다.

표준화

○ 국내 표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

- * 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제 표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	농심 육개장 용기	2022. 12	케미코첨단소재	좌동	라면용기	2년		
2	롯데 스파게티 용기	2023. 5	케미코첨단소재	좌동	즉석식품용기	1년		
3	농심 생생우동 용기	2023. 7	케미코첨단소재	좌동	라면용기	1년		

기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	GS 편의점 간편식도시락 용기	3찬도시락 용기	GS리테일	34,181		2023	
2	자기실시	신제품 개발	국내	GS 편의점 간편식도시락 용기	제주돼지 도시락용기	GS리테일	414,700		2023	
3	자기실시	신제품 개발	국내	라면용기	생생우동 용기	농심	800,000		2024 7월 예정	
4	자기실시	신제품 개발	국내	다회용 컵	Reuseable cup	프렌차이즈	500,000		2024 5월 예정	
5	자기실시	신제품 개발	국내	GS 편의점 간편식도시락 용기	혜자도시락 용기	GS리테일	1,500,000		2024 7월 예정	
6	자기실시	신제품 개발	일본	세븐일레븐 간편식용기	전자레인지 용기	Ricoh	800,000		2024 8월 예정	

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
편의점 간편식 도시락 용기	2023	445,000		445,000	내수 판매
합계				445,000	

2024년 출시 예정인 item을 포함할 경우, 2025년 상반기까지 매출 40억원을 달성할 것으로 예상됨.

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²))
(22쪽 중 9쪽)

□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

성과		고배율 PP발포 식품용기 사업화			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	1			
	소요예산(천원)	3000,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		445,000	10,000,000	30,000,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	0.1	10	30
국외		0	1	5	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		국내 대형 라면회사에 라면용기 납품 추진 중 국내 대형 가공식품회사에 용기 납품 추진 중			
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수 출	0	2,000,000	10,000,000	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	PP발포 시트	케미코첨단소재	1	6	5	12
합계			1	6	5	12

GS리테일 주식회사 지에스리테일

서울시 강남구 논현로 508 GS타워

거래처명 : 케미코첨단소재주
주소 : (우 18530)경기도 화성시 팔탄면 노하길 513 팔탄센트럴 A 동 2 층

수신 : 케미코첨단소재주 이원중 상무
발신 : GS 리테일 MD 본부 간편 MD 부문 IP 파트
제목 : 도시락 용기 사용 관련 회신의件

수신 : 케미코첨단소재주 귀하
참조 : -
제목 : 도시락 용기 사용 관련 회신의件

귀사의 발전을 기원합니다.

1. 케미코첨단소재주의 발포 PP 용기(플라스틱 감소량 25%)를 당사 제주제지 도시락 2종의 식품용기로 사용하고 있음을 확인함.

2024년 1월 24일 (수)

- 끝 -



고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	2
		생산인력	0
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	4

비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도	PP발포 식품용기			450,000		5	
기대 목표	PP발포 식품용기 전세계 대중화		10,000,000	100,000,000		100	

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2023				1	1		1				

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	TV	SBS비즈 TV	재활용 가능한 플라스틱 발포기술 소개	2023-05-12
2	중앙일간지	조선일보	친환경물리발포기술로 지속가능 환경 구축 기여	2023-09-25

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	표창장	표창장	농림축산부 과제 성실 수행하여 식품산업 발전에 기여한 공로	케미코첨단소재	2023-12-18	농림축산식품부

[인프라 성과]

연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과] (해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항 (해당 시 작성합니다)

<참고 1> 연구성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기)을 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	산업재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등
품목허가	미국 식품의약국(FDA) / 식품의약품안전처(MFDS) 허가서
임상시험실시	임상시험계획(IND) 승인서

<참고 2> 국가연구개발혁신법 시행령 제33조제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내의 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상 (부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백질체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체 정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보[소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함한다]
기탁	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
<ul style="list-style-type: none"> - 밀도 0.15 g/cm³ 수준의 PP foam sheet 제조기술 확보 - 평균 셀 직경 200μm 이하, 독립기포율 70% 이상의 PP foam 개발 - 무가교 물리발포 sheet 개발 - 라미네이션 다층 폼시트의 50mm 깊이 식품용기 성형 기술 개발 - 유통중인 배달식품 용기 모니터링 및 DB 구축 - 배달용기/냉동식품 용기 감량화 용기 개발 - 귀속적 전과정평가 (ALCA) 모델 구축 - 상품화 - 기타 사항 	<ul style="list-style-type: none"> - 밀도 0.133 g/cm³ 수준의 무가교 PP foam sheet 제조기술을 확보하여 시트무게로는 약 85%, 용기무게로는 약 50%의 원천감량이 가능한 새로운 발포가공기술을 양산규모에서 성공. - PP 발포시트의 발포셀 평균 직경 200μm 수준의 미세발포 PP foam 압출발포 제조기술을 개발함. PP 발포시트의 독립기포율을 80% 이상으로 얻을 수 있는 처방기술을 성공적으로 개발함. - 화학발포제가 전혀 없는 물리발포무가교 PP 발포시트 개발 성공 - 2 layer 또는 3 layer 구조의 다층구조 PP 발포 시트를 제조하여, 외관이나 강도 측면에서 더욱 완성도가 있는 식품용기 성형품을 제조할 수 있었음. PP 발포 성형용기의 깊이를 80mm 까지 성형성을 확보함. - 유통중인 배달식품 용기 모니터링 및 DB 구축 완료함 - 냉동식품(롯데푸드 스파게티) 용기 감량화 용기를 성형하여 전자레인지 가열 내열성이 충분히 나온다는 것을 검증 완료함. - 귀속적 전과정평가 (ALCA) 모델 구축 성공함 - GS편의점 간편식도시락 용기로 국내 최초 적용 성공함. - 성형된 PP 발포용기의 단면 발포셀 구조를 분석하였음. - PP 발포 시트의 열전도율 값을 0.041 W/mK 수준까지 얻음. - 발포 시트의 압축강도는 18~60 kgf/cm² 수준으로 우수함. - 비발포 PP 용기 대비 약 90% 수준의 압축강도를 갖는 PP 발포 용기를 제조할 수 있었음. - 수입에 의존하던 고용용장력 PP수지를 국산화 성공 하였음. - 식품용기 단열성을 적외선 카메라를 통해서 분석함. - 고배율 발포PP 라면용기를 농심 생생우동용기로 적용 추진 중 	100

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

정량목표항목 중매출액,제품화, 수출액항목의 실적부진의 원인

- 1)본 과제의 매출실적 부진의 근본원인은 코로나19 대유행으로인하여 배달용기, 포장용기, 위생용기의 사용이 급증하였고, 그로 인하여 본 과제의 PP발포 주원료인 고용융장력 HMS-PP(high-melt-strength PP)수지의 공급처인 오스트리아의 Borealis사가 수요공급을 조절하는 정책을 발의하여 2021년 하반기부터 2023년 상반기까지 약18개월 동안 본 과제의 주원료의 국내수입이 불가능하였고 향후 주원료의 공급과 가격정책을 확인할 수 없는 상황이 되었음.
 - 2)본 과제의 1차 시제품은 롯데푸드(주)의 냉장스파게티용기이며 22년 상반기에 개발을 완료하였으나, 원재료 수급이 불안정한 공급처를 기반으로 B2B납품을 시작하는 것은 불가능하기에 중단하게 됨.
 - 3)당사는 불가피하게 국내기업 롯데케미칼(주) 연구소에 HMS-PP 개발을 의뢰하였고 2022년 상반기 부터 2023년 상반기 까지 약 1년간 HMS-PP개발에 시간을 소모하고 납품이 가능한 수준의 양산체제를 2023년 하반기에 완성하여 GS25시 편의점에 납품을 시작할 수 있었음.
 - 4)본 과제 범위 외 원료개발에 시간을 소비하고, 성형기술을 안정화 시키며,판매를 위한 영업활동을 병행하기에는 물리적인 시간이 부족하여 목표했던 매출액과 제품화 건수를 달성하지 못함.
사상 초유의 팬데믹으로 발생한 원료파동 문제가 본 과제의 매출액 목표 미달과 상품화 건 수 미달에 큰 영향을 미침.
-

2) 자체 보완활동

정량목표항목 중 특허실적 보완: 본 과제의 특허실적 보완을 위하여 2024년 5월 23일 부로 특허 3건 출원을 완료하였음.

1. 출원번호 10-2024-0067152, 특허명: 고용용강도 엘라스토머를 혼합한 폴리프로필렌 발포시트 및 그 제조방법
2. 출원번호 30-2024-0019769, 특허명: 라면용기 (디자인특허 1)
3. 출원번호 30-2024-0019770, 특허명: 라면용기 (디자인특허 2)

제품화건 수와 매출성과 미달에 대한 보완방안:

코로나팬데믹시대 원료수급의 불확실성으로 영업활동 조건이 완성되지 못하여 2023년 말 기준 2건 달성으로 목표에 미달하였으나, 본 과제 범위 내 제품의 2024년과 2025년 다음과 같은 세부적인 영업활동 현황을 통해서 달성해 나가고자 함..

-농심(주) 라면의 미국수출용 '생생우동'용기에 적용을 검토 중이며 생산공장 자동포장라인 test까지 완료된 상태이고 공급단가 논의단계에 도달하였고 2024년 하반기부터 매출이 발생할 것으로 예상됨.

-GS편의점은 현재 도시락용기 2종을 납품하였고 2024년 5월 20일 현재 인기 모델인 '혜자도시락' 3종 모델로 확대하여 적용하여 2024년 하반기부터 납품을 시작하는 것으로 협의 완료됨.

- 2024년 5월 23일 PP발포 reusable cup의 첫 주문과 판매가 완료됨. 그러므로, 상품화 건수의 추가 산정되어야 함 (PP발포 컵 매출발생 증빙 - 세금계산서)

상기 추가 상품화 plan을 고려하면 2024년 말까지 제품화 4건 달성, 2025년 상반기까지 매출액 40억원 달성이 가능할 것으로 사료됨.

수출액은 현재 미국 Earth-To-Go사와 수출계약을 협의 중이며, 일본 Ricoh사와도 간편식용기공급을 긴밀하게 논의 중이므로, 2024년 하반기부터 실적이 나올 것으로 예상됨.

3) 연구개발 과정의 성실성

본 연구과제의 성실한 수행을 통해서, 과제공모 당시 FRP의 경량화 요구수준은 비중 0.7~0.8 이었음에도 불구하고, 국내 최초로 비중 0.15 수준의 고배율 PP발포 압출기술과 식품용기 성형기술을 양산설비수준에서 완성하였으며, 전세계적으로 봐도 최고 수준의 고품질 경량식품용기 개발 및 상업화에 성공하였음.

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

본 과제에 무가교 PP 발포 식품용기 원천감량 제조기술은 1단계 연구를 통해서 괄목할만한 발전을 이루었으며, 특히, 배달용기, 즉석식품용기, 라면용기 등에서 시제품을 제조하는데 성공하였고 상업화를 준비 중에 있음.

PP 발포 식품용기는 전자레인지 가열에 안전하고 재활용이 용이하며, 인체에 독성이 없어서 매우 친환경적인 식품용기 소재로서 기존의 PS 발포소재, PP 비발포 용기, 종이용기 등을 대체할 수 있을 것이 확실시 됨.

K-푸드의 인기가 전세계적으로 뜨거운 시점에, 스티로폼이 사용되던 라면용기를 PP발포 라면용기로 대체할 수 있는 기술력이 확보된 것은 매우 큰 의미가 있으며, 보다 친환경적이고 인체에도 안전한 경량 식품용기 대중화 및 보급에 큰 획을 그은 연구개발 과제라고 볼 수 있음.

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

본 과제에 PP 발포 친환경 식품용기 제조기술은 플라스틱 사용량의 원천감량을 가능하게 하는 혁신적인 원천기술이므로 다양한 식품용기 용도에 적용이 가능하고 그 응용범위가 매우 크다고 볼 수 있음.

그러므로, 현 수준의 기술을 더욱 발전시키고 더욱 많은 용도에 적용을 시도할 계획임.

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내				
		2023	2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE		1		1	
	비SCIE					
국내논문	SCIE					
	비SCIE					
특허출원	국내		1		1	
	국외					
특허등록	국내				1	
	국외					
인력양성	학사	2	2	2	5	7
	석사		1	1	1	2
	박사			1		1
사업화	시제품개발	2	2	3	4	5
	상품출시	1	2	2	3	4
	기술이전					
	공정개발					
	매출액(단위 : 천원)	450,000	4,000,000	10,000,000	30,000,000	50,000,000
	기술료(단위 : 천원)					
비임상시험 실시						
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상				
		2상				
		3상				
	의료기기					
진료지침개발						
신의료기술개발						
성과홍보						
포상 및 수상실적		1	2	1	1	2
정성적 성과 주요 내용		상품화	매출 확대	매출 급성장	IP0	해외 현지 사업

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1.	1) 자체평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
2.	1)
	2)

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 고부가가치식품기술연구개발사업 “식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발” 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 “식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발” 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

자체평가의견서

1. 과제현황

		과제번호		321045-3	
사업구분					
연구분야	식품용기 경량화기술		과제구분	단위	
사업명	고부가가치식품기술개발사업			주관	
총괄과제	기재하지 않음		총괄책임자	기재하지 않음	
과제명	식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발		과제유형	(기초,응용, 개발)	
연구개발기관	케미코첨단소재		연구책임자	김효식	
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.4-2021.12	220,000	60,200	280,200
	2차년도	2022.1-2022.12	293,500	92,300	385,800
	3차년도	2023.1-2023.12	293,500	121,500	415,000
	4차년도				
	5차년도				
	계	2021.4-2023.12	807,000	274,000	1,081,000
참여기업	케미코첨단소재, 에이스팩				
상대국		상대국연구개발기관			

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2023.12. 30.

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
케미코첨단소재	대표	김효식

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	김효식
----	------------

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

해당 연구개발결과는
고배율 PP 발포압출이 극도로 까다로워서 전세계적으로도 PP발포 식품용기가 상업화된 사례가 극히 드
문 실정인 것을 감안할 때, 국내 최초로 고배율 PP발포 압출기술과 그를 이용한 경량화된 식품용기 제조
기술은 매우 우수하다고 할 수 있음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

해당 연구개발결과는
종래의 스티로폼 식품용기 뿐만 아니라, 전자레인지 가열용으로 유일하게 사용되는 비발포 PP용기까지
경량화된 고배율 PP 발포 식품용기로 대체할 수 있으므로, 그 파급효과가 국내 뿐 아니라, 해외까지도 매
우 클 것으로 기대됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

해당 연구개발결과는
종래의 다양한 식품용기에 활용이 가능할 것으로 예상이 된다. 특히, K-food의 전세계적인 유행에 따라
급증하고 있는 라면수출물량에 대해서, 고배율 PP발포 라면용기를 세계최초로 적용한다면, 더욱 친환경
적이고 소비자편리성이 높은 식품용기로 인식될 것임. 또한 배달용기, 냉동간편식용기, 등으로도 활용이
가능하며, 전세계적으로도 개발된 사례가 거의 없으므로, 그 확장성과 응용범위를 예상하기 어려움.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

해당 연구개발결과는
고배율 무가교 PP발포 압출설비를 설치하여, 양산규모의 실험장비를 가지고 고품질 미세발포 PP발포시
트를 제조하는 연구개발을 진행하였고, PP발포시트를 열성형하기 위해서, 다양한 조건의 금형과 온도조
건 등을 최적화 시키기위한 연구개발활동 뿐만 아니라, 미세발포 시트의 전자현미경 분석, 단열성 적외선
카메라분석 등은 매우 성실하게 진행되었음. 또한 PP발포 식품용기에 대한 전과정평가 (ALCA)를 성공적
으로 실시하여, 결과론적 전과정평가 (CLCA) 모델 구축하였고, 전과정평가 모델 기반 시나리오 별 환경 영향
력 측정하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : **우수**, 보통, 미흡, 극히불량)

2022년도 한국식품저장학회에서

본 연구개발과제에 대해서 발표를 하였고, 고배율 PP발포 식품용기가 갖는 친환경성과 기능성에 대해서 관해서 많은 관심을 받았음. 특히 스티로폼을 대체할 수 있는 유일한 소재로 인식되어 향후 매우 큰 시장을 형성할 것으로 전문가들은 예측하였음.

[별첨 1]

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
특허 출원	15	0	특허 출원을 준비 중임
제품화	30	50	3찬용기, 제주돼지도시락 출시
매출액	15	11.2	아직 인지도 부족으로 매출 성장 느림
수출액	15	0	해외 마케팅 역량 부족
고용창출	5	100	목표 초과 달성함
투자유치	10	100	목표 초과 달성함
논문평균 IF	5	67	추가 논문 준비 중
홍보 전시	5	100	대한민국ESG대전, SBS비즈니스TV
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

본 연구개발과제의 수행을 통해서, 기술 난이도가 매우 높은 PP연속발포 압출기술을 양산규모 생산설비에서 완성하였고,
당초 목표했던 항목들을 달성했을 뿐 아니라,
국내 최초로 고배율 PP발포 식품용기를 출시하였고,
GS편의점 간편식 도시락 용기로 상업화 적용까지 성공할 수 있었으므로,
본 연구개발과제와 그 결과는 매우 성공적이라고 할 수 있음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

전세계적으로도 개발된 사례가 극히 드문 고배율 PP발포압출기술을 국내 최초로 개발하여 상업화 적용까지 성공한 과제라는 점과 이 과제를 통해 개발된 플라스틱 경량화 및 원천감량기술을 통해 정부가 나아가고자 하는 플라스틱 폐기물 감축 및 재활용 확대정책에 부합하는 기술이라는 점을 평가해 주시길 바랍니다

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

해외에서는 스티로폼 금지법을 시행한 나라들이 많이 있으나 국내는 아직도 스티로폼을 자유롭게 사용하고 있어서, 국민건강과 환경오염 등의 위험이 큰 상황인데, 안전한 범용 소재인 PP를 이용한 발포소재가 더욱 활성화 될 수 있도록 스티로폼 금지에 대한 중장기적인 정책 검토가 필요한 시점으로 판단됩니다

IV. 보안성 검토

○ 해당 내용 없음

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제	분 야	식품용기 경량화 기술	
연구과제명	식품포장 소재의 원천 감량을 위한 경량화 기술 개발			
주관연구개발기관	케미코첨단소재		주관연구책임자	김효식
연구개발비	정부지원 연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	807,000	274,000		1,081,000
연구개발기간	2021. 4 - 2023. 12.			
주요활용유형	<input type="checkbox"/> 산업체이전 <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input checked="" type="checkbox"/> 기타(자체 사업화) <input type="checkbox"/> 미활용 (사유: _____)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 식품용기 무게 15% 감량	식품용기 경량화 50%
② 용기 단열성	열전달계수 0.04 W/mK 확보
③ 용기 열성형성	80mm 깊이 용기 성형 가능

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구활용예외)
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제품 화	매출 액	수출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문 S C I	논 문 비 S C I			학 술 발 표	정 책 활 용	
단위	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건	건	
가중치	15	0					30	15	15	5	10			5				5	
최종 목표	3	3					4	4,000	8,250	1	2,000	4	1	6	4			1	
당해 년도	목표	2	2				4	4,000	8250	1	2,000	4	1	6	4			1	
	실적	3	0				3	450	0	12	5,100	1	0	3.9	1			2	
달성률 (%)	150	0					75	11.2	0	100	100	25	0	65	25			100	

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	고배율 pp 발포압출기술
②	PP발포시트 미세발포 기술
③	고배율 PP발포시트 열성형 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허 출원	산업체이전 (상품화)	현장애로 해결	정책 자료	기타
①의 기술		√								√
②의 기술		√								√
③의 기술		√								√
•										
•										

* 각 해당란에 v 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	친환경 라면용기 등 다양한 경량식품용기 제조에 적용 예정임
②의 기술	친환경 라면용기 등 다양한 경량식품용기 제조에 적용 예정임
③의 기술	친환경 라면용기 등 다양한 경량식품용기 제조에 적용 예정임

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화				기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍보		기타 (타연구 활용액) (백만원)	
	특허 출원	특허 등록	품종 등록	S M A R T	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출		투 자 유 치	논 문				학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
													SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	15	0					30	15	15	5	10			5				5		
최종목표	3	3					4	4,000	8,250	1	2,000	4	1	6	4			1		
연구기간내 달성실적	3	0					3	450	0	12	5,100	1	0	4	1			2		
연구종료후 성과창출 계획	3	3					4	4,000	5,000	20	5,000	3	1	6	3			5		

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

[별첨 2]

(22쪽 중 22쪽)

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

핵심기술명 ¹⁾			
이전형태	<input type="checkbox"/> 무상 <input type="checkbox"/> 유상	기술료 예정액	천원
이전방식 ²⁾	<input type="checkbox"/> 소유권이전 <input type="checkbox"/> 전용실시권 <input type="checkbox"/> 통상실시권 <input type="checkbox"/> 협의결정 <input type="checkbox"/> 기타()		
이전소요기간		실용화예상시기 ³⁾	
기술이전시 선행조건 ⁴⁾			

- 1) 핵심기술이 2개 이상일 경우에는 각 핵심기술별로 위의 표를 별도로 작성
- 2) 전용실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 다른 1인에게 독점적으로 허락한 권리
통상실시 : 특허권자가 그 발명에 대해 기간·장소 및 내용을 제한하여 제3자에게 중복적으로 허락한 권리
- 3) 실용화예상시기 : 상품화인 경우 상품의 최초 출시 시기, 공정개선인 경우 공정개선 완료시기 등
- 4) 기술 이전 시 선행요건 : 기술실시계약을 체결하기 위한 제반 사전협의사항(기술지도, 설비 및 장비 등 기술이전 전에 실시기업에서 갖추어야 할 조건을 기재)

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 **고부가가치 식품기술개발사업**의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 **고부가가치 식품기술개발사업**의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.