

발간등록번호
11-1543000-000186-01

신선식품의 품질 보존을 위한
비관류순환 냉각시스템 개발
(The development of anti-cycle cooling system
for preserving the quality of fresh food)

(주)동양화학

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “신선 식품의 품질 보존을 위한 비관류순환 냉각시스템에 관한 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2013년 7월 31일

주관연구기관명 : (주)동양화학

주관연구책임자 : 형 기 우

연 구 원 : 성 동 찬

연 구 원 : 이 상 균

연 구 원 : 원 정 환

연 구 원 : 박 순 철

연 구 원 : 이 준 석

연 구 원 : 김 미 중

연 구 원 : 김 치 훈

요 약 문

I. 제 목

신선 식품의 품질 보존을 위한 비관류순환 냉각시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 가. 냉동 전후로 신선 식품의 맛과 품질에 변화가 없는 냉동 시스템 필요
- 나. 에너지 효율이 뛰어난 냉동 시스템 필요
- 다. 식품의 냉동 작업 시 편리하고 위생적인 냉동 시스템 필요
- 라. 유지 관리 비용이 경제적인 냉동시스템 필요
- 마. 식품 및 음식관련 관계자들의 냉동고에 대한 need 증가

가. 냉동 전후로 신선 식품의 맛과 품질에 변화가 없는 냉동 시스템 필요

경제적인 성장과 더불어 음식문화가 발달함에 따라 소비자들의 식품에 대한 수요가 보다 신선하고 입맛에 맞는 취향으로 변하고 있다. 가정 및 식당에서 식재를 장기간 냉동 보관 시 맛과 품질 저하로 인해 식재를 버리게 되어 경제적 손실은 물론 환경적인 문제도 발생하게 된다.

기존 냉동 방식은 냉기가 식재를 반드시 통과하여 냉각되는 방식으로 식재에 함유된 수분을 빼앗아가기 때문에 수분으로 인한 성에 발생은 물론 식재의 수분감소로 중량 변화 및 식재의 맛과 품질에 영향을 주게 되어 식감이 떨어진다. 따라서 이를 해결할 수 있는 신기술의 냉각시스템이 요구된다.

나. 에너지 효율이 뛰어난 냉동 시스템 필요

현재 사용되어지고 있는 냉동기는 증발기 및 압축기, 제상장치 가동 및 냉매 사용 등에 의한 전기적인 에너지 소모가 매우 크다.

기존의 냉동고는 냉기가 반드시 식재를 통과하기 때문에 냉동고 내부에 수분으로 인한 성에가 발생하는 구조로 반드시 제상장치가 필요하고 송풍 방식은 급속 냉동을 위해 공기를 강하게 송풍하여야 하므로 많은 에너지 소모로 인해 에너지 효율이 떨어져 이에 대한 문제 해결이 가능하여야 한다. 따라서 제상장치의 에너지 소모를 최소화시키고 에너지 효율의 극대화가 가능한 냉동 시스템이 필요하다.

다. 식품의 냉동 작업 시 편리하고 위생적인 냉동 시스템 필요

공기를 이용한 송풍방식의 경우 공기와 더불어 외부의 미생물이 동시에 유입되는 구조로 냉동기 내부의 오염이 쉽게 되며 시간이 흐르면 효율수록 청소가 더욱 어려워 작업이 어려워짐은 물론 위생상의 문제도 발생하게 된다.

침지식의 경우는 액체 질소 및 저온의 2차 냉매 등을 이용하여 냉동 처리를 하기 때문에 냉동 작업 및 냉매 교체의 번거로움이 발생한다.

또한 가열처리 후의 음식은 바로 냉동 보관 시 과부하 발생의 우려가 있어 반드시 상온에서 식혀서 냉동처리를 해야 하는 번거로움도 있다.

따라서 냉동 작업이 용이하고 식자재 보관에 있어서 가장 중요한 위생적인 냉동시스템이 절실히 필요하다.

라. 유지 관리 비용이 경제적인 냉동시스템 필요

기존의 냉동 방식은 외부 공기의 유입 시 미생물도 동시에 유입되는 구조로 미생물에 의한 오염이 심하고 쉽게 성애가 착상되어 청소를 주기적으로 해주어야하며 냉동 효율을 높이기 위하여 부동액, 액체 질소, 제상장치 등 기타 부속 설비가 필요하여 에너지 효율이 떨어져 유지 관리가 어려운 것은 물론 이에 따른 비용이 막대하기 때문에 이를 대체할 수 있는 냉동기술이 시급하다.

마. 식품 및 음식관련 관계자들의 냉동고에 대한 need 증가

정육 혹은 수산물은 처음의 맛과 품질을 그대로 유지하는 하는 것이 가장 중요한 일이다. 기존 냉동고를 통해 보관할 경우 맛과 품질이 냉동전후 차이가 확실하기 때문에 장기간 보관이 어려워 이에 대한 손실이 막심하다. 관계자들은 품질 유지는 최대한으로 손실을 최소로 가능한 냉동고를 요구하고 있다.

제빵 및 제과업체에서도 가급적 바로 제조하여 판매하는 것이 바람직하지만 빵이나 과자류 자체가 냉동할 경우 딱딱해져버리기 때문에 냉동 자체가 어려워 재료 및 빵의 보관이 어려워 이에 대한 손실이 커 빵 혹은 과자류의 품질에 변화가 없는 냉동 보관 기술을 기다리고 있는 실정이다.

또한 택배 및 물류회사 등 유통업체는 신선 식품을 배송 혹은 보관 시에 품질 변화가 잦아 비용 손실은 물론 고객의 불평으로 인한 신뢰저하로 인해 회사 이미지에 큰 타격을 입고 있어 냉동 기술에 대한 need가 증가하고 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 신선 식품의 품질 보존을 위한 냉각시스템 구성요소 개발

- 냉매 및 냉각시스템 구성요소 관련 논문 및 문헌조사
- 냉동기 3D 디자인 설계 및 개발
- 친환경 냉매 검토 및 최적화
- 냉각시스템 구성요소(압축기, 증발기, 냉동기 판넬 등) 개발
- 무착상 비관류순환 냉각시스템 설계
- 냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정

2. Pilot 시험 장비 제작 및 슈퍼컴퓨터를 활용한 유동 해석

- 냉각시스템 구성요소 개발을 통한 pilot 시험 장비 설계 및 제작
- 정밀 급속냉동 제어시스템 개발
- 제상장치 최적화 개발
- 비관류순환 냉각시스템 개발
- 냉동 및 해동 전후의 품질상태 변화 연구·분석
- 냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정
- 시뮬레이션을 통한 냉동 시스템의 냉기 흐름 및 유동장의 거동 파악
- 유동장 해석을 통한 냉기 속도 분포 파악

3. 최적설계조건을 통한 냉각시스템 제품 제작 및 상품화 방안 모색

- 시뮬레이션 결과 분석 및 최적 설계 조건 분석
- 최적설계조건을 통한 냉각시스템 시제품 제작
- 시제품 성능평가 및 수정·보완
- 기술의 경제적 타당성 평가
- 식품별 최적 저장조건 확립
- 식품안전경영시스템 인증 확보 등을 통한 상품화 방안 모색

IV. 연구개발결과

1. 1차 년도

가. 냉동기 3D 디자인 설계 및 개발

- 비관류순환 냉각시스템의 디자인은 기존 냉각시스템에 대한 사진자료를 참조하여 의뢰 업체에서 독자적으로 두가지 형상으로 디자인 개발 완료

나. 친환경 냉매 검토 및 최적화

- 자연냉매, CFC 계열, HCFC 계열, HFC계열, LGWP 계열 등 냉매의 물성 및 장단점, 친환경성, 경제성 등을 문헌 검토를 통해 냉매 최적화(R-404a)

다. 냉동기 panel 제작 및 고밀도 고성능 단열시스템 개발

- 균일성이 높고 고밀도의 냉동기 판넬을 폴리우레탄폼을 이용하여 지그에 주입 제작하여 시제품 확보

라. 무성에 핀코일(증발기) 연구 개발

- 성에 착상을 최소화하기 위하여 기존 핀코일의 형상 및 배열 변경을 통한 무성에 핀코일 개발
- 성능평가를 통한 성에 비착상 확인

마. 무착상 비관류순환 냉각시스템 개발

- 팬과 냉각기의 간극, 팬의 직경, 제어판의 유무가 유동에 미치는 영향 등을 검토를 통한 냉기 유동 제어 및 성에 비착상 기술을 통한 무착상 비관류순환 냉각시스템 개발

바. 냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정

- 비관류순환 냉각시스템의 냉기 유동에 미치는 환류팬, 제어판, 트레이 등의 형상, 배치 등을 고려하여 설계변수를 결정하였으며, 프로그램은 범용적으로 사용되어지는 CFX를 선택하여 시뮬레이션 수행 계획

2. 2차 년도

가. 냉동기 pilot 시험 장비 설계

- 최종 시제품 제작을 위하여 냉기 유동 시뮬레이션과의 비교 분석을 위한 냉동기 pilot 시험 장비 설계

나. 정밀 급속냉동제어장치 개발

- 비관류순환 냉각시스템의 온습도를 정밀하게 제어하기 위한 급속 냉동 제어시스템 개발 결과 고내 상하 온도의 편차를 0.25℃로 최소화

다. Defrost(제상) 장치 최적화 개발

- 고내 성에 착상을 감시하기 위하여 웹카메라를 이용하여 성에 착상을 감시하였으며 제상이 빠르게 진행될 수 있도록 가급적 소비전력을 최소화하기 위하여 제상장치를 구상함.

라. 비관류순환 냉각시스템 및 fan 개발

- 비관류 냉각시스템의 입체 및 급속 냉각 실현을 위한 비벨마우스타입의 특수환류팬 개발을 통한 최적의 성능 확보를 위한 팬의 용량, 수량 및 배치 결정 (200W 2EA, 100W 1EA)

마. 냉동기 pilot 시험 장비 제작 및 시험

- 냉기 유동 시뮬레이션과의 비교 분석을 위한 냉동기 pilot 시험 장비 제작을 통한 성에 착상 및 제상 시험, 식품 품질 test, 고내의 냉기 유동 분석, 냉동고의 에너지 소모량 등의 시험 수행 및 결과 도출

바. 슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 유동 해석

- 슈퍼컴퓨터를 활용하여 고내의 냉기 유동의 유동 해석 및 실제 test를 통한 data와의 비교 분석 통한 팬의 배치, 수량, 증발기의 배치 등에 대한 기초 설계조건 도출

사. 냉동 및 해동전후의 품질 변화 연구

- 돈육을 대상으로 급속 및 완만 냉동 시 품질과 해동 후의 품질을 육안 관찰 및 광학현미경 관찰을 통한 비교분석 결과 급속냉동 시 빙결정 크기가 작아 해동 후에도 완만냉동 대비 품질이 높음을 확인

3. 3차 년도

가. 시뮬레이션 결과 분석

- 최적의 입체 순환 공기 유동 확보를 위해 3개의 팬을 설치
- 최종 시제품 규격과 일치하는 시뮬레이션 수행
- 고내 공기의 속도 및 압력 데이터 확보
- 실제 공기유동과의 일치성 확인 위해 성에 착상 실험과 병행하여 공기 유동 비교
- 최종 시제품 제작을 위한 최적의 시뮬레이션 결과 확보

나. 최적 설계 조건 분석 및 결정

- 3개의 팬이 공급하는 공기 양의 분배를 체계화함
- 열교환기 전면부 및 후면부를 통과하는 공기의 유동량을 시뮬레이션을 통해 검증함
- 시뮬레이션과 실제 시제품 테스트를 통한 성에 착상을 최소화하기 위한 고내 뒷벽과 열교환부의 거리는 2Cm 임
- 열교환 효율 및 성에 착상 정도를 추측할 수 있는 데이터 확보함

다. 냉각시스템 시제품 제작

- 1, 2차년도 시제품 제작과 시뮬레이션을 통해 입체 순환을 최대화하며 성에 착상을 최소화 할 수 있는 최적의 시스템 설계가 가능
- 시뮬레이션 결과와 최종 시제품과의 차이가 약간 발생
- 최종 시제품에서 팬과 열교환기 사이의 거리, 팬과 뒷벽 사이의 거리는 제한된 범위에서 조정이 가능하여 최적의 시스템 구성이 용이함

라. 시제품 성능평가 및 수정 보완

- 제작된 시제품의 열교환부에서 공기 유동과 종래의 공기 유동의 차이를 확인하기 위하여 동일한 성능의 냉동기로 실험을 수행함
- 성에 착상 지연을 위한 세밀한 조정이 완료되어 습기를 많이 포함하는 농림수산 가공 식품의 급속 냉동시 탁월한 성능을 확보함
- 종래형과 비교하여 고내 증발량의 경우 약 14.6% 정도 감소되며 이는 열교환부의 성에 착상이 더욱 감소할 것으로 판단됨

마. 경제적 타당성 평가

- 성에 착상으로 인한 산술적인 에너지 소비 비교 실험결과 12시간 연속 동작 후 13.83%, 24시간 연속 동작 후 18.46%의 에너지 절감 효과를 가짐
- 성에 착상 지연으로 인한 제상이 필요없어, 작업중단 시간이 종래형에 비하여 감소됨
- 고내 냉동건조 현상이 감소하여 식품 감량 종래형보다 약 3~5% 적으므로 원재료 손실 비용이 감소함
- 입체 순환으로 균일하고 빠른 급속냉동이 가능하여 냉동식품의 품질이 향상됨

바. 식품별 최적 저장 조건 확립

- 타 냉동기에서 냉동을 꺼리는 야채 종류의 냉동에서도 식품의 품질 저하가 적음
- 냉동 감량이 종래형에 비해 약 1~4% 차이를 보이며 냉동 품질이 우수함
- 냉동 품질 뿐 아니라 해동 후에도 품질 보존이 탁월하여 종래형에 비하여 최종 소비자가 느끼는 품질의 차이는 더욱 큼
- 과실류 및 낙농품의 경우 종래형과 동일한 저장 기간을 보이거나 약 10% 정도 저장기간이 증가

V. 연구성과 및 성과활용 계획

1. 연구 성과

가. 특허 성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2011	냉각시스템의 트레이	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0064808
2011	성에 착상지연을 위한 냉동냉장고의 냉기유통구조	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0139013
2011	냉동냉장고의 입체적인 냉기 공급 구조	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0139026
2012	비관류 순환 방식의 냉동고 고내 습도 유지 방법 및 그 장치	(주)동양화학	대한민국	10-2012-0145619
2012	절소분사 시스템을 갖춘 하이브리드형 냉동 장치 및 냉동 보조 장치	(주)동양화학	대한민국	10-2012-0145626

나. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	VoL(No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012	비관류순환냉각시스템의 냉동돈육품질 특성연구	형기우	-	류인재, 신대경, 김기철	2012년도 한국산업식품공학회 춘계학술대회	-	국내	비SCI
2013 (예정)	새로운 에어 블라스트 냉동고의 착상과 그에 따른 에너지 소비 특성의 실험적 고찰	형기우	-	김병섭, 류인재, 신대경	한국설비공학회	-	국내	비SCI
2013 (예정)	비관류순환냉각시스템의 냉동돈육 및 신선식품의 품질 특성 연구	형기우	-	김병섭, 류인재, 신대경	한국산업식품공학회	-	국내	비SCI

다. 기술 실시 및 상품화

사업화명	사업화내용	판매 업체	날짜	매출액
제품 판매	비관류순환 냉각시스템 판매	한솔냉동	2012.12.31	4,400만원 (소·중·대형, 각 1대씩)

라. 언론 홍보

- (1) 전남매일(2013년 7월 5일 경제면(6면)) - “동양화학, 비관류순환냉각시스템 개발”
 (2) 전남일보(2013년 7월 11일 경제면(13면)) - “동양화학, 새 급속 냉각시스템 제품 개발”

2. 연구 성과 활용 계획

가. 실용화·산업화 계획

본 과제를 통하여 개발된 비관류순환 냉각시스템을 우선 농림수산 및 식품 산업 분야로 판로 개척을 통하여 사업화를 진행할 계획이며 주후 식품 가공 및 유통 분야, 시약 및 시료 보관용 등으로 연구관련 분야, 의료 및 바이오 산업 분야 등으로 사업화를 확대할 계획임.

(1) 예상 판매처

- 가정 및 식당용 냉동고
- 중·대형 식품 냉동 창고
- 학교, 병원 등 단체급식의 식자재 보관창고
- 육류 및 수산물 가공공장 및 냉동 창고
- 제빵 및 제과업체
- 식품 유통 업체
- 기타 식품 가공업체
- 학교, 기업체, 연구소에서 시약 및 시료 보관용으로 사용되는 deep freezer

나. 홍보 및 마케팅을 활용한 기술 확산 계획

본 과제 기술의 사업화를 활성화하기 위하여 온·오프라인으로 언론 홍보 및 전시회 참가를 통한 적극적인 마케팅을 진행할 계획

(1) 언론 홍보

신문 및 방송, 인터넷 등 온·오프라인을 통해 기술 설명에 대한 언론 홍보 및 추가 연구 진행 결과 및 성과에 대한 적극적인 언론 홍보를 진행할 계획

(2) 전시회 참가

식품 및 농업, 기계·설비 관련 국내의 전시회의 참가를 통한 기술 및 제품 홍보 계획

(3) 마케팅 조직 연계

국내의 냉동연지니어링 전문기업인 한국마이콤과의 업무 제휴를 통해 냉동고 및 냉동 장고 마케팅 지원 계획

다. 특허, 논문 등 지식재산권 확보계획

비관류순환 냉각시스템의 기술원된 특허를 등록시킴과 동시에 주후 연구 개발을 진행하면서 새로 발생하는 기술에 대한 권리 확보를 위해 특허 출원 및 등록, 논문 게재를 통한 지식재산권을 확보할 계획

라. 추가연구, 타연구에 활용 계획

(1) 연속식 냉각시스템 연구

본 과제는 냉기류 제어를 통해 성에 착상을 최소화하고, 에너지 절감은 물론 입체 냉각 기술을 통해 식재에 냉기를 골고루 공급함으로써 신선 식품의 품질을 극대화한 기술로 일반 배치타입으로 개발된 기술이라면 식품 공장 등의 냉동 식품을 대량으로 공급하기 위해 연속식으로 냉각이 가능한 기술 연구 계획

(2) 고내 습도 유지 연구

기존 냉각방식으로는 고내의 건조현상으로 인해 식품 품질 저하가 발생할 수 밖에 없어 고내의 습도를 유지하는 것이 식품 품질 보존에 있어서 가장 중요하다 할 수 있기 때문에 고내의 습도를 유지하는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요

SUMMARY

As the development of food culture with economic growth, consumers demand for quality of food is increasing. When storing frozen ingredients for a long time, degradation of ingredients in taste and quality are occurred, as well as environmental problems reprocessing altered foods and economic loss will occur. Because cold air takes the moisture of ingredients and frost grows on the surface the finned-tube of refrigerator, the surface of ingredients become drier and freeze-drying of ingredients degrade taste and quality of ingredients.

Electric energy consumption of evaporator and compressor, defrost operation and refrigerant unit are very large. As air flows through the path of heat exchanger forming finned-tube, cooling fans and cabinet for food inside refrigerator, frost grows in heat exchanger and humidity inside refrigerator is lower. dry air become wet air while low humidity take water from food, and wet air make frost formation in heat exchanger.

Fast air flow which is necessary for the purpose of high energy efficiency make faster frost formation. Because frost formation on finned-tube reduce heat exchange efficiency and prevent air flow, it is necessary to get rid of the frost on finned-tube. The process to eliminate the frost on heat exchanger is called defrosting, the defrosting is very important in element in refrigerator. Thick frost formation cause more energy consumption and lower freezing performance. There are so many method for the defrosting, but methodology to eliminate the frost in small and high density finned-tube structures is limited. The most popular methodology is to use electric heater, but while defroster is running, refrigerator must stop supplying cold air. and this method require high electric energy consumption. In this study, It is presented new freezing system avoiding freeze-drying phenomenon and assuring quality of ingredients in this study and suggest optimal installation of defrosting heater.

Cooling fans without bell-mouth make three-dimensional air flow inside cabinet for food, structure of making air flow path to reduce frost formation is presented in this study. Cooling fans is installed in front of heat exchanger, the distance between two different devices is very important to make new air flow path. Most air flow start this position between fans and heat exchanger. The main difference between presented and conventional structures is air flow path. All air flow through finned-tube in conventional refrigerator, but only 10% to 30% air flow through finned-bute in presented refrigerator. The rest of air is exchanged in areas between cooling fans and a part of finned-tube. The air which pass finned-tube must detour only the path between the side wall and the edge

of finned-tube, wet air passing this path make frost not inside of finned-tube but on the edge of finned-tube. Therefore dry air flows through the finned-tube. This is main idea to reduce frost formation. More delicate arrangement and additional structures to reduce frost formation.

Less frost formation provide higher electric consumption efficiency and the experimental results is shown. Three-dimensional air mixture is made by three cooling fans inside cabinet for food provide more efficient freezing performance. Various experimental results are shown for the proof of efficiency of presented freezing system.

Content and scope of research and development is described as below.

1. Development of freezing system components
 - Investigation papers and literatures for the refrigerant and freezing system component
 - 3D modeling and design development of refrigerator system
 - Review and optimization of eco-friendly refrigerant
 - Development of cooling system components (compressor, evaporator, refrigerator panels, etc.)
 - Cooling system design to delay frost formation
 - Program decisions for cold flow simulation based design criteria
2. Pilot testing equipment production and flow analysis using supercomputers
 - Pilot test equipment development, design and production
 - Development of precision quick-freezing control system
 - Development of optimized defrosting device
 - Development of non-penetrating circulation cooling system
 - Before and after freezing and thawing of the quality status change research/ analysis
 - For cold flow simulation based design criteria and program decisions
 - Refrigeration system with the simulation of the behavior of the cold flow and determine flow
 - Flow Analysis identified through a cold velocity distribution
3. Cooling system products through optimum design conditions and plans production and commercialization

- Analysis of simulation results analysis and optimal design conditions
- Optimal design conditions through the cooling system prototyping
- Modifying the prototype performance evaluation and complementary
- Technical and economic feasibility study
- Optimal food storage conditions establishment
- Preparation of Ensure food safety management system certification, and seeking ways through the commercialization

The first year of the study can be summarized as follows.

A. Three-dimensional air circulation design and development

- Anti-cycle cooling system design, by referring to convective cooling system

B. Review and optimization of eco-friendly refrigerant

- Natural refrigerant, CFC family, HCFC family, HFC family, LGWP family, including the physical properties of the refrigerant and the pros and cons,
- Eco-friendly, economical refrigerant through a literature review and optimization (R-404a)

C. Refrigerator insulation panel production and development of high-density, high-performance system

- High-density uniformity freezer panel polyurethane foam is injected into the jig by making Prototype

D. Frost-free finned-coil (evaporator) Research and Development

- Frost-free finned-coil implantation to minimize the existing array by changing the shape
- Performance evaluation through the inspection of frost formation

E. The development of anti-cycle cooling system

- Evaluations of air flow path air in heat exchanger and air circulation evaluation in cabinet for food according to the gap between the fan and cooler, fan diameter, the presence of the control panel
- Implementation of frost formation delay through anti-cycle cooling system

- F. design criteria and program decisions for the cold air flow simulation
- Evaluations according to the gap between the fan and cooler, fan diameter, the presence of the control panel
 - Consideration of the design parameters were determined, which are used as general-purpose program for CFX

The second year of the study can be summarized as follows.

A. Freezer pilot test equipment design

- Cold flow simulation for final prototyping and comparative analysis of the pilot test equipment designed for the freezer

B. Development of rapidly-frozen precision control system

- Anti-cycle cooling system to precisely control temperature and humidity control system for rapid freezing results in high durability down the temperature by 0.25 °C to minimize the deviation

C. Optimization of defrosting device

- Monitoring frost formation using web camera.
- optimization of the defrost heater installation location through the frost and defrost process

D. Development of cooling fan for the anti-cycle freezer system

- Developed bell-mouth-free reflux fans for the implementation of three-dimensional circulation and rapid cooling
- The fan capacity, quantity, and placement decision for optimal performance (200W 2EA, 100W 1EA)

E. Production and test of freezer pilot test device

- Freezer pilot production for the comparative analysis of cold flow simulation and test
- Frost formation and defrost process test, food quality test, cold air flow analysis, freezer performance and energy consumption of the test

F. Cold flow analysis utilizing supercomputers

- Compare the differences between supercomputer simulation results and real experimental results.
- Redesign pilot anti-cycle freezer system from the comparison results

G. Studies of Changes in the quality of food after freezing and thawing

- better freezing quality after freezing and thawing compared with conventional freezer
- Smaller ice crystals through visual observation and optical microscopy analysis

And the last year of the study can be summarized as follows.

A. Analysis of simulation results

- Installation 3 fans for ensuring optimum air flow for the three-dimensional circulation
- High durability of the air velocity and pressure data acquisition
- Check the consistency of the actual air flow and the air flow characteristics in parallel with the idea of comparing experimental
- The result final simulation is adopted as the specification of the final prototype

B. Optimal design criteria analysis and decision

- Three fans organize to supply that amount of air
- The front and rear of the heat exchanger through the amount of air flow that verification through simulation.
- Gap is 2Cm through simulation and prototype testing to minimize the frost formation
- Data which reasoning heat exchange efficiency and the degree of frost formation obtained

C. Final prototyping of cooling system

- The solid circulation characteristics implantation can be minimized to maximize the best possible system design from 1, 2nd year prototyping and simulation.
- The difference between the simulation results and the final prototype
- In the final prototype, the distance between the fan and the heat exchanger, the fan and the distance between the back wall can be adjusted in a limited range of the optimal system configuration

D. Prototype performance evaluation and revision

- Carrying out the same experiment with the performance of the two different freezers.
- The fine adjustment which contains a lot of moisture, agriculture, forestry and fisheries of processed foods that ensure superior performance when rapidly frozen for the frost formation delay.
- The amount of evaporation is smaller approximately 14.6% than conventional freezer.

E. Economic feasibility assessment

- Energy-saving due to the frost formation is 13.83% after 12 hours continuous operation, and 18.46% after 24 hours of continuous operation in arithmetic comparison results
- Downtime reduced compared to conventional freezer, because it does not need defrosting
- Food loss is less about 3-5% than conventional freezer, so that raw material costs are reduced
- The quality of frozen foods is improved in three-dimensional uniform and rapid circulations

F. Optimal food storage conditions establishment

- The food quality degradation is less than in conventional freezer
- Frozen conventional weight loss of about 1-4% compared to the difference in the quality of frozen is excellent.
- The quality after thawing is excellent, final consumers feel the difference in quality as the more.
- Storage period increased by about 10% compared with conventional freezer.

Contents

Summary	10
Chapter 1. Overview of R&D project	22
Section 1. The need for research and development	22
1. Background of freezing and refrigeration industry	22
2. Status and Problems of frozen food and related industries	25
3. Freezing methods and problems of refrigeration systems	28
4. The need for research and development compared to conventional refrigeration technology	33
Section 2. A range of research and development	37
1. Research and development goals	37
Chapter 2. Status of technology development at home and abroad	43
Section 1. Technology of frost formation delay	43
1. List of core technologies at home and abroad	43
2. Summary of key technologies at home and abroad	43
3. Details of related technologies	45
Section 2. Three-dimensional cooling technology	49
1. List of core technologies at home and abroad	49
2. Summary of key technologies at home and abroad	50
3. Details of related technologies	51
Chapter 3. Information and results of research and development	57
Section 1. Results of research performed in the first year	57
1. Cooling system 3D design	57
2. Review and optimization of eco-friendly refrigerant	58

3. Refrigerator insulation panel production and high-density, high-performance systems development	64
4. Frostless finned-coil research and development	68
5. Frost formation delay and anti-circle freezing system development	72
6. design criteria and program decision for cold air flow simulation	76
Section 2. Results of research performed in the second year	79
1. Freezer pilot test equipment design	79
2. Precision quick-frozen control system	81
3. Development of defrosting device	84
4. Development of anti-cycle freezing system and circulation fan	95
5. Production of pilot test and test equipment,	98
6. Cold air flow simulation using supercomputers	109
7. The study of changes in the quality after freezing and thawing	117
Section 3. Results of research performed in the third year	125
1. Analysis of simulation results	125
2. Optimal design criteria analysis and decision	131
3. Final prototyping of anti-cycle freezing system	132
4. Prototype performance evaluation and revision	135
5. Economic feasibility analysis	142
6. Establishment of optimal food storage conditions	145
Chapter 4. The contribution of achievement goals and related fields	154
Section 1. R&D achievement of goals	154
1. Implementation and achievement of research and development (the first year)	154
2. Implementation and achievement of research and	

development (the second year)	155
3. Implementation and achievement of research and development (the final year)	156
Section 2. The contribution of technology to the development of related fields	158
1. The utilization of research results	158
2. Expectation of R&D results	159
Chapter 5. Outcomes and plans of study and research	161
Section 1. Outcomes of study and research	161
1. Outcomes and results against goals and performance	161
Section 2. Plans of study and research	164
1. Commercialization and industrialization plans	164
2. PR and marketing plan utilizing technology diffusion	164
3. secure planning of Intellectual property rights	165
4. Further research, other research utilization plan	165
Chapter 6. Global science and technology information	166
Section 1. Global science and technology information	166
1. Ice crystal formation	166
2. Frost formation in heat exchanger(1)	168
3. Frost formation in heat exchanger(2)	170
4. Frost formation in heat exchanger(3)	171
5. Frost formation(1)	172
6. Frost formation(2)	173
7. Frost formation(3)	174
8. Prevention of frost formation	175
Chapter 7. References	177

목 차

요약문	1
제 1 장 연구개발과제의 개요	22
제 1 절 연구개발의 필요성	22
1. 냉동 및 냉장 산업의 배경	22
2. 냉동 식품 및 관련 산업의 현황 및 문제점	25
3. 냉동시스템의 냉동 방법 및 문제점	28
4. 기존 냉동 기술 대비 연구 개발의 필요성	33
제 2 절 연구 개발의 범위	37
1. 연구개발 목표 및 내용	37
제 2 장 국내외 기술개발 현황	43
제 1 절 성에 착상 지연 관련	43
1. 국내외 핵심 관련 기술 리스트	43
2. 국내외 핵심 관련 기술 요약	43
3. 국내외 핵심 관련 기술 상세 설명	45
제 2 절 입체 냉각기술 관련	49
1. 국내외 핵심 관련 기술 리스트	49
2. 국내외 핵심 관련 기술 요약	50
3. 국내외 핵심 관련 기술 상세 설명	51
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	57
제 1 절 1차년도 연구개발수행 내용 및 결과	57
1. 냉각시스템 3D 디자인 설계 및 개발	57
2. 친환경 냉매 검토 및 최적화	58
3. 냉동기 panel 제작 및 고밀도 고성능 단열시스템 개발	64
4. 무성에 핀코일(증발기)연구 개발	68
5. 무착상 비관류순환 냉각시스템 개발	72
6. 냉기유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정	76

제 2 절 2차년도 연구개발수행 내용 및 결과	79
1. 냉동기 pilot 시험 장비 설계	79
2. 정밀 급속냉동 제어시스템 개발	81
3. 세상장치 최적화 개발	84
4. 비관류 냉각시스템 및 fan 개발	95
5. 냉동기 Pilot 시험장비 제작 및 시험	98
6. 슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 흐름 시뮬레이션 수행	109
7. 냉동 및 해동 전후의 품질 변화 연구	117
제 3 절 3차년도 연구개발수행 내용 및 결과	125
1. 시뮬레이션 결과 분석	125
2. 최적 설계 조건 분석 및 결정	131
3. 비관류순환 냉각시스템 시제품 제작	132
4. 시제품 성능 평가 및 수정 보완	135
5. 경제적 타당성 분석	142
6. 식품별 최적 저장 조건 확립	145
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	154
제 1 절 연구개발 목표의 달성도	154
1. 1차년도 연구개발 수행 및 달성도	154
2. 2차년도 연구개발 수행 및 달성도	155
3. 3차년도 연구개발 수행 및 달성도	156
제 2 절 관련 분야의 기술발전예의 기여도	158
1. 연구개발결과의 활용방안도	158
2. 연구개발결과의 기대성과	159
제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획	161
제 1 절 연구개발 성과	161
1. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적	161
제 2 절 연구 성과 활용 계획	164
1. 실용화·산업화 계획	164
2. 홍보 및 마케팅을 활용한 기술 확산 계획	164

3. 특히, 논문 등 지식재산권 확보계획	165
4. 추가연구, 타 연구에 활용 계획	165
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	166
제 1 절 해외과학기술정보	166
1. 얼음 결정의 생성	166
2. 열교환부의 성에 성장(1)	168
3. 열교환부의 성에 성장(2)	170
4. 열교환부의 성에 성장(3)	171
5. 성에 성장(1)	172
6. 성에 성장(2)	173
7. 성에 성장(3)	174
8. 성에 착상 방지	175
제 7 장 참고문헌	177

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 . 연구개발의 필요성

1. 냉동 및 냉장 산업의 배경

가. 산업의 특성

(1) 농수산 식품 산업에서 있어서 식품의 냉동 저장에 대한 중요성 인식

식품을 냉동 저장함으로써 얻어질 수 있는 이익은 실로 다양하다. 우선 식품을 장기간 저장이 가능하고 계획적인 식품의 생산, 분배를 통하여 인간의 식생활을 원만하게 영위시키며 이것이 인간생활에 있어 경제적인 면, 산업적인 면, 사회적인 면, 문화적인 면 등 여러 가지 면에서 지대한 영향을 가져다 줄 수가 있다.

(가) 식품의 저장이 가능하므로 생산 분배가 원만하다.

(나) 저장을 위한 농수산 식품 원재의 가공(부산물 제거 등)로 인한 부피 감소 등으로 식재의 유통 및 적재가 유리하다.

(다) 가공 및 포장으로 인한 유통 시 식품 손실의 최소화가 가능하다.

(라) 식품 저장으로 인해 공급 수요의 조절이 가능하기 때문에 농수산 식품 가격의 안정을 기한다.

(2) 냉동 및 냉장기술은 각 산업에 넓은 활용성을 지닌 기술

냉동 및 냉장 산업은 현재의 인류에 있어서 필수 불가결한 요소이다. 과거 자련빙을 이용할 때에 비해 산업 분야에 냉동 및 냉장 기술이 쓰이지 않는 곳이 거의 없을 정도로 냉동 및 냉장 기술은 높은 이용도를 보이고 있다. 예를 들면 소규모로는 가정용 냉장고를 비롯하여 대형 냉동 저장 창고 및 공장의 냉각 시스템에 이르기까지 식품, 의료, 저장, 발전 분야를 비롯한 전 산업에 이용되고 있다.

(3) 소비자의 식품의 신선도에 대한 중요성 인식

지금까지 “냉동”하면 육류나 수산물, 가공식품 정도만 생각하였으나 쌀이나 빵, 떡과 같은 곡류, 그리고 채소류, 과일류와 같은 계절 음식, 신선도를 특히 필요로 하는 생선회 및 채소류 등 새로운 식품에 대한 수요가 보다 확대되는 상황이며, 기존의 냉동의 경우도 단순히 냉동시키는 차원을 넘어 맛과 향 그리고 자연그대로의 신선도를 유지하는 방향으로 가는 추세이기에 경제가 발달할수록 그 효용도가 커지는 미래성장 산업이며 또한 냉동기에 사용되는 냉매와 관련하여 지구의 온난화 및 대기의 오존층 파괴 등의 환경 문제에 대한 대비가 필요한 친환경의 녹색기술개발 필요산업이다.

(4) 국내외적으로 시설 및 규모가 상승세인 냉동·냉장산업

1975년 이후 30여년간 한국, 일본, 미국의 냉동관련 시설능력 추이를 보면 우리나라는 1975년에 냉동시설 업체수 181개, 총 저장능력 140,000 여톤이던 것이 2009년 현재는 업체수 2,594개, 저장능력 6,013,000여톤으로 급격한 증가를 보였다. 일본과 미국의 경우에도 시설능력이 우리나라보다 월등히 높지만 지난 30년간 냉동시설에 대한 투자가 꾸준히 계속되고 있으며 최근에는 10,000톤 이상의 대규모 시설도 크게 증가하고 있다.

(5) 선진국형 유통 산업의 발전에 따른 식생활의 고급화

이는 생활의 편안함을 추구하는 현대인의 생활방식에도 큰 영향을 받은 것이지만 유통의 근대화를 통하여 식품의 계절적인 가격불안을 해소하고자 하는 선진국형 유통산업의 발전에 기인하는 바 크다. 그러나 아울러서 국민소득이 증대되고 식생활 패턴이 고급화, 다양화됨에 따라 신선식품에 대한 수요도 크게 증가하고 있어 종래 단순히 장기 저장만을 위해 확대해 왔던 냉동시설의 확대는 큰 전기를 맞이할 것이며 이러한 이유로 산업의 양적성장 못지 않게 질적인 성장이 보다 중요하게 대두될 것이다.

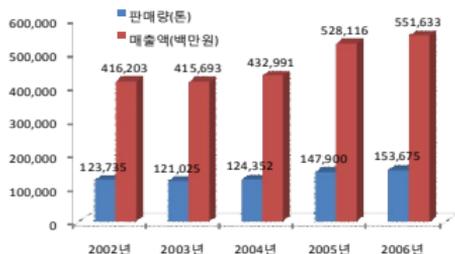


그림 1. 국내 냉동식품의 판매량 및 매출액 추이

日本の冷凍食品生産数数量

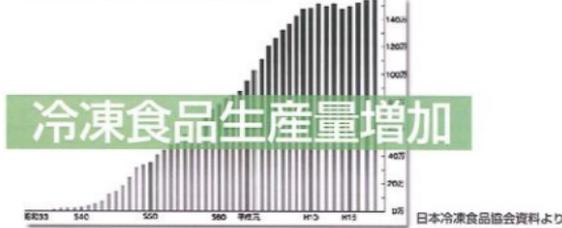


그림 2. 일본 및 독일의 냉동식품 소비량 추이

나. 경기변동의 특성

냉동식품산업은 전형적인 내수산업이자 수출산업이기도 하다. 냉동시설 산업은 인간의 식용 또는 약용을 위해 식품을 장기 보관하는데 필요한 필수품으로 소득과 가격 탄력성이 낮아 경기변동에 둔감하여 비교적 안정적인 사업유지가 가능하다.

이러한 이유로 보통의 냉동식품 기업들은 글로벌 경기 침체기임에도 불구하고 안정적인 매출신장을 이루어내고 있다.

다. 경쟁요소

냉동, 냉장산업의 경쟁요소는 가격, 기술, 제품의 품질, 에너지 절감정도, 단위시간에 공급할 수 있는 냉동물량(용량)등 여러 가지가 있으나 소득수준의 향상과 경제발달에 따라 앞으로는 무엇보다 제공하는 식품의 신선도, 위생문제 등 피냉각 제품의 품질을 얼마나 자연 그대로 유지하면서 가격에 있어서 경제성을 달성하느냐가 경쟁을 좌우할 것이다.

라. 자원조달의 특성

(1) 품질보존을 통한 식품 가격의 안정성 실현

신선식품이 가진 품질의 불안정성, 특히 수산물은 어획이 자연조건에 의해 지배되므로 그 가격 변동이 유동적이나 냉동식품은 상품에 가까운 견본으로서 거래가 이루어지므로 항상 일정한 공급량으로 가격의 안정성을 실현할 수 있다.

(2) 품질규격 위생기준에 따른 제조 식품으로 유통의 합리화 필요

냉동식품은 품질규격 위생기준에 따라 제조된 것이므로 견본 거래를 통한 경로의 단축과 원활화, 합리화가 가능하다. 또한 수송보관에 있어서도 규격화가 가능함데 각 제품의 용기와 크기 등이 통일된 규격으로 정리될 때 유통면에서의 합리화가 기대된다.

2. 냉동 식품 및 관련 산업의 현황 및 문제점

가. 식품별 냉동 현황 및 문제점

(1) 정육 식품

식탁에 가장 많이 올라오는 쇠고기 및 돼지고기 등 정육제품은 가급적 바로 먹는 것이 맛과 영양 면에서 바람직하지만 냉동 보관을 통해 저장해서 다시 요리하는 경우가 더욱 많다. 하지만 해동 후 정육을 요리하면 냉동 전의 맛이나 질감을 느낄 수 없게 된다. 또한 냉동 얼룩짐 현상의 발생으로 외관에도 영향을 미치게 된다. 이유는 냉동 시에 정육이 함유하고 있는 육즙이 동결되어 해동 시에 육즙이 배출되기 때문이다. 특히 해동된 정육을 다시 냉동할 경우 맛과 품질은 더욱 저하하게 된다.



(2) 참치(생선류)

우리나라에도 참치회에 대한 소비가 증가함에 따라 참치회의 맛에 대한 관심도가 증가하고 있다. 국내로 들어오는 참치는 대부분 태평양 동 먼 바다로부터 원양어선을 통해 들어오고 있는데 장기간 동안 냉동보관을 통해 들어오고 있는 실정이다. 냉동보관 시에 냉동고의 종류 및 냉동방법 등에 따라 맛과 품질의 차이가 많이 나게 된다. 급속 냉동까지의 도달시간이 길어질 경우 참치의 빙결정성이 커 맛과 품질의 저하가 우려 된다. 뿐만 아니라 보관 시 참치 표피의 온도는 낮지만 내부의 온도는 냉동이 되지 않은 경우도 발생하여 내부 부패 및 미생물 등의 위생적인 문제도 발생한다.

(3) 초밥류

초밥에 있어서 가장 중요한 재료 중 하나인 쌀밥은 초밥 제조 전에 밥을 지을 경우 가장 중요하지만 식당에서는 쌀밥을 냉동 보관하는 경우가 많다. 쌀밥을 냉동할 경우 희고 딱딱하게 되어 상품으로서 판매가 없으며 밥맛의 재현성의 문제가 발생하게 된다. 특히 초밥으로 보관하는 경우 식초의 맛이 날아가 품질에 악영향을 미치게 된다.

(4) 생면류

소비자가 일상생활에서 면을 즐겨먹는 이유 가운데 즐깃즐깃함이 그 중 하나이다. 생면류를 냉동 후 해동하여 사용할 경우 면의 조직 변경으로 인해 즐깃즐깃함이 사라지거나 면에 따라 형태를 알아볼 수 없을 정도로 풀어져버리는 경우가 많다. 생면은 주로 냉장보관 위주이지만 해동 후 생면의 품질 및 맛을 유지한다면 그 시장은 막대할 것으로 기대된다.

(5) 케익류

케익의 주재료인 생크림 및 초콜릿은 냉동하면 기포가 생기거나 건조 현상이 발생하여 품질의 재현성 및 상품의 가치가 떨어지게 되며 결함이 있는 케익은 폐기처분해야하므로 로스 발생으로 인한 매출에 악영향을 미치게 된다. 또한 미리 만들어 놓고 저장하여 그때그때 사용이 어려워 작업효율에도 악영향을 미친다.

(6) 전통 과자 및 떡류

인절미, 떡류, 경단 등은 냉동시 수분 건조가 치명적이며 표면이 건조한 것만으로 일단 상품가치가 떨어진다(깻소는 제외되고, 떡류의 외형은 광택이 없어진다). 또한

전자레인지로 이용한 인위적인 해동을 할 경우 맛과 품질은 물론 이고 형상이 없어져버려 상품으로 가치가 없다.

나. 냉동 관련 산업의 현황 및 문제점

(1) 업소 및 가정용 냉동고

경제의 발달에 따라 식문화에 대한 관심이 증가하면서 음식 식재의 보관 및 품질에 대한 관심이 증가하고 있다. 하지만 가정 혹은 업소에서 냉동된 식품을 꺼내어 사용할 때 여러 가지의 문제점이 발생하고 있다. 첫째로 냉기의 원활한 흐름이 이루어지지 않아 냉동이 부분적으로 이루어지던지, 수분 건조현상이 발생하여 맛과 품질에 변화가 일어나 조리 후의 맛에 악영향을 미치게 된다. 둘째로 식품의 수분 건조현상으로 인해 냉동고 내부면에 성애가 착상하여 제거 및 청소의 번거로움이 발생하며 제상장치의 가동으로 에너지 소비가 클 뿐만 아니라 오작동으로 인해 제거하기 어려운 빙결정이 생성되기도 하는 문제점이 발생하게 된다.

(2) 대형 냉동 식품 저장고

농산물 개방(UR)에 따른 국내 농산물의 국제 경쟁력 미비와 수입농산물의 유입으로 인하여 좋은 품질의 농산물을 생산한 농민의 가격 경쟁력 및 안정성이 확보될 수 있고 쉽게 실행 가능한 냉동저장고 저장물의 고품질 유지기술이 필요하게 되었다. 그러나 기존에 설치된 많은 냉동저장고의 단열상태가 이상적이지 못하여 성애가 발생하여 이를 제거하기 위해 열에너지 손실이 크고, 저온저장고내의 온도분포가 고르지 못하여 농산물의 많은 양이 부패되거나 품질이 저하되는 문제점이 있다. 일례로, 국내 냉동 창고에 적재된 농산물의 적재용량이 에너지 효율면이나 농산물의 품질유지라는 측면에서 적절치 못한 경우가 많고, 창고에 적재된 농산물에 냉기가 접촉할 수 있는 면적을 높여주어 호흡열을 쉽게 제거함으로써 냉장 및 냉동 효율을 극대화할 수 있는 체계적인 기술이 필요하게 되었다.

(3) 냉동저장선

먼 바다에서 어업을 통해 획득한 어류 혹은 수입 육류 및 과일류를 운송하기 위하여 각각의 각 선장을 적당한 구획으로 나누어 냉장 및 냉동시설을 구비한 배로 냉동 저장고와 마찬가지로 에너지 효율 및 식품의 품질에 대한 문제가 발생할 수 있으며 특히 고온 지역 통과 시 온도 유지를 위해 송풍량을 증가한다면 냉매의 양 및 제상장치의 가동율이 더욱 증가하기 때문에 유지관리 비용이 상당히 크다고 할 수 있다.

3. 냉동시스템의 냉동 방법 및 문제점

가. 냉동시스템의 방법 및 종류

현재 널리 알려진 냉동 방법으로는

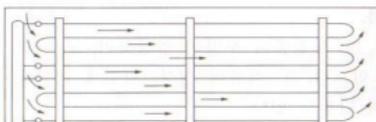
- (1) 공기 송풍을 이용한 공기 냉동법
- (2) 금속판 사이에 접촉시켜 냉동시키는 접촉식 냉동법
- (3) 저온의 냉각 용액에 침지하여 냉동시키는 침지식 냉동법
- (4) 액체질소를 이용하여 침지하거나 살포하여 냉동시키는 액화 가스 냉동법
- (5) 탈수를 이용한 저온 삼투압 탈수 냉동법 등이 있다.

상세한 내용은 아래와 같다.

(1) 공기 냉동법(air freezing)

(가) 정지 공기 냉동법(sharp freezing)

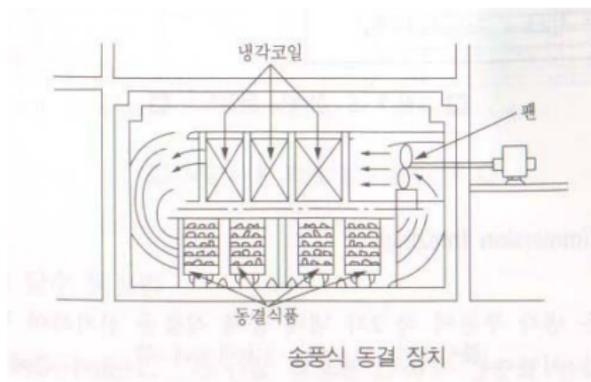
-40 ~ -18℃로 냉각된 실내에 설치된 선반에 식품을 얹어 놓거나 또는 매달아 놓고 동결시키는 방법이다. 그러나 공기는 열의 전도율이 불량하여 동결속도가 느리므로 효율이 낮으나 장치가 간단하여 광범위하게 사용되어 왔다.



공기 동결 장치

(나) 송풍 동결법(air blast freezing)

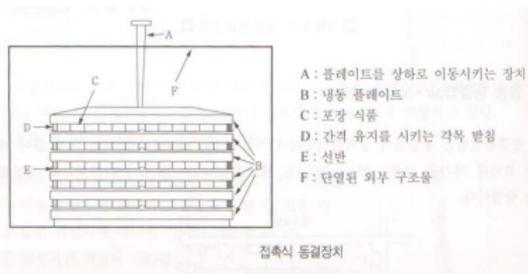
-40℃ ~ -18℃로 냉각된 공기를 분당 30~ 1,000m 의 속도로 강력한 팬으로 송풍하여 흐르는 기류 중에서 동결시키는 방법이다. 송풍 냉동법은 정지 공기 냉동법보다 훨씬 효율이 높고 형태와 크기가 다른 부정형의 식품을 동결시키기에 편리하다.



(2) 접촉식 냉동법(contact freezing)

냉각된 냉매 또는 염수를 홀로 금속판을 냉각(-30℃ ~ -40℃)시킨 후, 이 금속판 사이에 원료를 넣고, 양면을 밀착하여 동결하는 방법이다. 이 냉동법은 소형으로 포장된 소비자 제품을 냉동하는데 가장 적당한 것으로 포장의 상하면이 냉각판과 밀착되어 열전달이 빨리 이루어져 단시간에 냉동할 수 있고 냉동기의 크기가 작아 설치면적이 작다. 그리고 포장제품의 상하면이 판에 밀착된 상태로 냉동되기 때문에 냉동제품의 외관이 좋다.

그러나 제품을 tray에 loading 한 다음 금속판 사이에 정렬해야 하고 냉동이 끝난 다음에 이것을 다시 꺼내 저장실로 옮기는 등 취급에 노동력이 많이 필요한 단점이 있다.

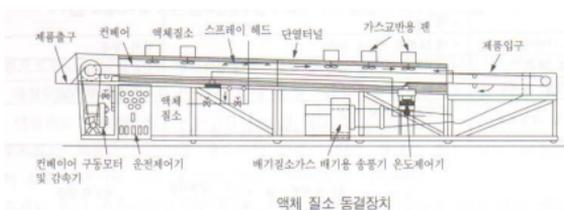


(3) 침지식 냉동법(immersion freezing)

저온으로 냉각된 식염용액이나 염화칼슘용액 또는 식염과 설탕 혼합액들과 같은 2차 냉매에 포장된 식품을 침지하여 동결시키는 방법이다. 액체는 공기에 비하여 열의 전도율과 용량이 크기 때문에 동결속도가 크고 또 모양이 불규칙한 식품의 동결에도 효율적이다. 이 방법은 농축과실주스, 닭, 어류 등의 동결에 이용된다.

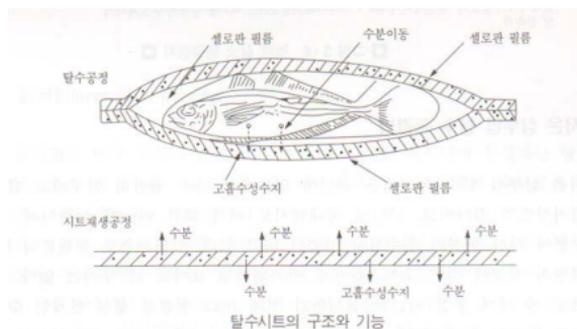
(4) 액화 가스 냉동법(cryogenic freezing)

식품을 액체질소에 직접 담그거나 벨트 컨베이어로 진행시키면서 직접 살포하여 급속 동결하는 방법이다. 이 방법을 이용하면 초급속 동결을 할 수 있고, 연속작업이 가능하다.



(5) 저온 삼투압 탈수 냉동법

동결처리를 실시하기 전에 미리 빙결정 생성 인자인 수분을 탈수시트로 탈수한 후 동결하는 방법이다.



나. 냉동시스템의 종류별 장단점 비교

표 1. 급속냉동기 비교

	대상 식품	제품상태	냉동 품질	냉각 시간	냉동고 내부환경	청소 (미생물오염)	설비 비용	가동제경비
비관류 순환 방식	◎	◎	◎	○	○	◎	○	◎
	모든 식품적용 가능	증량감소 거의 없음	상당히 좋음	보통	Duct가 없기 때문에 위생적	청소는 간단하고 미생물이 없음	보통	전기료30% 절감, 재료비3% 이상 삭감가능
Air Blast식 (종래의 열교환방식)	○	△	△	○	×	×	○	○
	모든 식품 가능	건조해져서 수분함유율 감소	보통	보통	식품구성품으로 인한 내부 및 식품 duct의 오염 발생	오염속도가 빠르고 청소가 어려움	보통	보통
침투식 (부동액 사용)	×	○	△	○	○	△	○	△
	진공포장 식품등에 한정	건조의 영향은 적음	보통	보통	Duct가 없기 때문에 위생적	부동액의 불순물 제거와 용기청소 어려움	보통	부동액의 오염에 의한 교환필요
분 무 식	△	○	◎	◎	△	○	△	×
	비싼 가동 제경비	초급속 동결이므로 증량의 감소는 적음	상당히 좋음	빠름	식품구성품으로 인한 내부 및 식품 duct의 오염 발생	보통	높음	고가의 액체질소의 사용
접 촉 식	×	△	○	○	△	△	×	○
	반고체 식품에 한정	건조해져서 수분함유율 감소	좋음	보통	접촉면이 있어 품종마다 내부환경 조정필요	접촉면의 청결이 필수	높음	보통

다. 외국의 개발 사례

냉동기 관련 기술과 관련하여 앞에서 말한 바와 같이 주로 강제송풍을 통한 간접 냉각 방식이 주를 이루고 있으며, 급속 냉각과 관련하여 액체 질소를 활용한 침지 및 분사 방식이 선호되어지고 있는 실정이다.

이탈리아의 IRINOX사는 급속 냉각 및 자체 가열을 통해 강제 송풍방식으로 식자재의 냉장 보관은 물론 조리까지도 가능한 Blast chiller라는 제품을 개발하였으나, 본 기술의 경우 냉장보관의 식자재를 조리가 가능하다는 편이성 이외에는 냉장 및 냉동에 대한 개념은 일반적인 강제 송풍 방식을 채택한 상황이다.

일본의 냉동고 및 제빙기 전문기업인 HOSHIZAKI도 강제송풍방식의 냉각 방식을 채택을 통해 디자인 및 제품군의 다양화를 꾀하고 있으나 냉각 방식은 기존 방식을 그대로 채택하고 있다.

일본의 Air Operation Technology사는 냉기를 강제적으로 순환시키는 냉기 강제 순환 방식을 사용하지 않고 피냉각물을 냉각시키는 냉각 장치로 냉각실에서 흐르는 공기의 속도를 저속도로 하고, 또한 핀코일을 통과하는 흐름을 최대한 발생시키지 않도록 하여, 성에의 착상을 지연시키는 기술을 개발하였으나 성에착상 지연효과를 극대화하기 위하여 공기가 냉각코일의 일부만 접촉하기 때문에 열교환 효율이 떨어져 이를 높이기 위하여 냉각코일 및 팬의 용량을 과도하게 증가하게 할 필요가 있으나, 본 기술은 상기 기술에 비해 동일한 성에착상 지연 대비 냉각코일 및 팬 용량이 적어도 됨.

따라서 본 기술은 적은 용량의 냉각코일 및 팬 적용을 통해 전체적인 시스템의 컴팩트화가 가능하다는 장점을 가지고 있다.

4. 기존 냉동 기술 대비 연구 개발의 필요성

가. 냉동 전후로 신선 식품의 맛과 품질에 변화가 없는 냉동 시스템 필요
나. 에너지 효율이 뛰어난 냉동 시스템 필요
다. 식품의 냉동 작업 시 편리하고 위생적인 냉동 시스템 필요
라. 유지 관리 비용이 경제적인 냉동시스템 필요
마. 식품 및 음식관련 관계자들의 냉동고에 대한 need 증가

가. 냉동 전후로 신선 식품의 맛과 품질에 변화가 없는 냉동 시스템 필요

경제적인 성장과 더불어 음식문화가 발달함에 따라 소비자들의 식품에 대한 수요가 보다 신선하고 입맛에 맞는 취향으로 변하고 있다. 가정 및 식당에서 식재를 장기간 냉동 보관 시 맛과 품질 저하로 인해 식재를 버리게 되어 경제적 손실은 물론 환경적인 문제도 발생하게 된다.

기존 냉동 방식은 냉기가 식재를 반드시 통과하여 냉각되는 방식으로 식재에 함유된 수분을 빼앗아가기 때문에 수분으로 인한 성에 발생은 물론 식재의 수분감소로 중량 변화 및 식재의 맛과 품질에 영향을 주게 되어 식감이 떨어진다. 따라서 이를 해결할 수 있는 신기술의 냉각시스템이 요구된다.

나. 에너지 효율이 뛰어난 냉동 시스템 필요

현재 사용되어지고 있는 냉동기는 증발기 및 압축기, 제상장치 가동 및 냉매 사용 등에 의한 전기적인 에너지 소모가 매우 크다.

기존의 냉동고는 냉기가 반드시 식재를 통과하기 때문에 냉동고 내부에 수분으로 인한 성에가 발생하는 구조로 반드시 제상장치가 필요하고 송풍 방식은 급속 냉동을 위해 공기를 강하게 송풍하여야 하므로 많은 에너지 소모로 인해 에너지 효율이 떨어져 이에 대한 문제 해결이 가능하여야 한다. 따라서 제상장치의 에너지 소모를 최소화시키고 에너지 효율의 극대화가 가능한 냉동 시스템이 필요하다.

다. 식품의 냉동 작업 시 편리하고 위생적인 냉동 시스템 필요

공기를 이용한 송풍방식의 경우 공기와 더불어 외부의 미생물이 동시에 유입되는 구조로 냉동기 내부의 오염이 쉽게 되며 시간이 흐르면 흐를수록 청소가 더욱 어려워 작업이 어려워짐은 물론 위생상의 문제도 발생하게 된다.

침지식의 경우는 액체 질소 및 저온의 2차 냉매 등을 이용하여 냉동 처리를 하기 때문에 냉동 작업 및 냉매 교체의 번거로움이 발생한다.

또한 가열처리 후의 음식은 바로 냉동 보관 시 과부하 발생의 우려가 있어 반드시 상온에서 식혀서 냉동처리를 해야 하는 번거로움도 있다.

따라서 냉동 작업이 용이하고 식자재 보관에 있어서 가장 중요한 위생적인 냉동시스템이 절실히 필요하다.

라. 유지 관리 비용이 경제적인 냉동시스템 필요

기존의 냉동 방식은 외부 공기의 유입 시 미생물도 동시에 유입되는 구조로 미생물에 의한 오염이 심하고 쉽게 성애가 착상되어 청소를 주기적으로 해주어야하며 냉동 효율을 높이기 위하여 부동액, 액체 질소, 제상장치 등 기타 부속 설비가 필요하여 에너지 효율이 떨어져 유지 관리가 어려움은 물론 이에 따른 비용이 막대하기 때문에 이를 대체할 수 있는 냉동기술이 시급하다.

마. 식품 및 음식관련 관계자들의 냉동고에 대한 need 증가

정육 혹은 수산물은 처음의 맛과 품질을 그대로 유지하는 하는 것이 가장 중요한 일이다. 기존 냉동고를 통해 보관할 경우 맛과 품질이 냉동전후 차이가 확실하기 때문에 장기간 보관이 어려워 이에 대한 손실이 막심하다. 관계자들은 품질 유지는 최대한으로 손실을 최소로 가능한 냉동고를 요구하고 있다.

제빵 및 제과업체에서도 가급적 바로 제조하여 판매하는 것이 바람직하지만 빵이나 과자류 자체가 냉동할 경우 딱딱해져버리기 때문에 냉동 자체가 어려워 재료 및 빵의 보관이 어려워 이에 대한 손실이 커 빵 혹은 과자류의 품질에 변화가 없는 냉동 보관 기술을 기다리고 있는 실정이다.

또한 택배 및 물류회사 등 유통업체는 신선 식품을 배송 혹은 보관 시에 품질 변화가 잦아 비용 손실은 물론 고객의 불평으로 인한 신뢰저하로 인해 회사 이미지에 큰 타격을 입고 있어 냉동 기술에 대한 need가 증가하고 있다.

5. 비관류순환 냉동시스템의 특징

가. 입체순환방식으로 냉각, 피냉각물 전체를 감싸듯이 냉기의 진동으로 냉각시키며, 냉기의 강제적인 순환없이 냉각시키는 신개념의 냉각시스템

현존하는 식품냉각방식으로는 자연냉각(냉장고), 진공냉각, 급속냉각기(Blast chiller), 그리고 비관류순환 방식이 있는데, 자연냉각은 대기 또는 냉장고 안에서 방치한 온도차를 이용해서 냉각하는 방식이며, 진공냉각은 압력을 떨어뜨려 피냉각물의 수분을 증발시킬 때의 잠열을 이용해서 온도를 떨어뜨리고, 진공펌프의 부담을 줄이기 위해서 냉동기를 사용하는 방식이다. 급속냉각기는 냉풍을 피냉각물에 직접 불어서 식품을 냉각하는 방법이며, 냉풍은 냉각기와 열교환기 사이를 순환시킨다. 이에 비해 비관류순환방식은 입체 순환방식으로 냉각, 피냉각물 전체를 감싸듯이 냉기의 진동으로 냉각시키며, 냉기의 강제적인 순환은 없다.

나. 식재의 성에 비חס상 및 건조, 변형이 없는 저에너지·최적 품질의 냉각시스템

제품상태 면에서 타 냉각방식은 거의 다 수분이 감소하는데 반해 비관류순환 방식은 수분감소가 극히 적은 편이며, 에너지 효율 면에서 진공냉각은 많은 전력소모를 하며 다른 냉각방식들도 냉각에너지를 필요로 한다. 이에 비해 비관류순환 방식은 냉각에너지를 필요하지만 냉동기의 부하가 적어서 같은 냉각성능이라면 전력비가 20~30%가 감소한다. 피냉각물 품질은 자연냉각은 고온시간이 길어서 Maillard반응 때문에 거무스름해질 가능성이 있고, 진공냉각은 급속냉각이라서 품질은 양호한 대신에, 수분함유율이 감소하고 가공품의 종류에 따라 변형이 생긴다. 급속냉각기는 급속냉각이라서 수분함유율이 감소하고 부분적인 건조가 발견된다. 비관류 순환방식은 식재의 건조, 변형 등이 생기지 않는 고품질의 냉각이 가능하다.

다. 미생물 번식의 우려가 없고 청소가 용이한 위생적인 냉각시스템

냉각기의 내부환경은 자연방냉의 경우 냉각환경의 정비가 필요하고 장치환경전체를 정비하지 않으면 미생물 오염이 생긴다. 진공냉각은 Duct를 자주 청소하지 않으면, 오염이 생기고 청소하기가 어렵다. 급속냉각기는 냉풍의 풍속이 빨라서 식품 구성품의 일부가 날아가고 냉각기가 오염되며, 순환 Duct안에도 자주 청소하지 않으면 오염이 발생되며, 청소하기가 어렵다. 이에 비해 비관류순환 방식은 Duct, 순환계가 없기 때문에 위생적이고, 청소가 간단하며, 미생물이 없다.

라. 단시간에 냉각이 가능하고 큰 공간이 필요없는 경제적인 냉각시스템

냉각시간은 자연냉방은 중심부까지 냉각하는데 시간이 많이 걸리는데 비해 타 냉각방식들은 단시간에 냉각이 가능하다. 설치공간은 자연냉각은 큰 공간을 필요로 하는 반면 타 냉각방식들은 작은 공간이면 된다. 가격은 자연냉각은 아주 싸고 진공냉각 및 급속냉각기는 비싼 편이고, 이에 비해 비관류순환 방식은 가격이 싸다. 요약하면 비관류순환 방식은 냉각효율이 높고 식품의 건조화도 억제하면서 위생적이고 가동경비 및 설치비가 저렴하다.

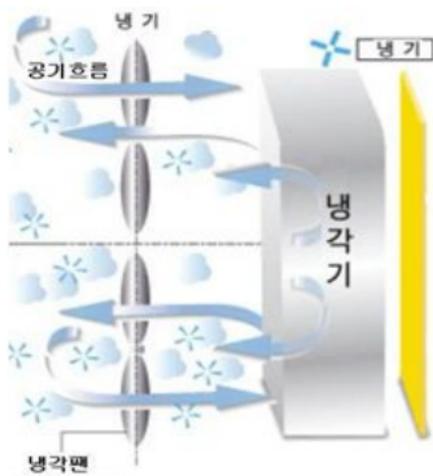


그림 3. 비관류 냉각시스템의 냉기 흐름도

제 2 절. 연구개발의 범위

1. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발의 최종목표 및 주요내용

(1) 연구개발의 최종 목표

기존 방식의 문제점을 해결할 수 있는 냉각시스템 구성요소를 개발하고 pilot 시험 장비의 설계 제작을 통해 시뮬레이션 및 시험분석을 수행하여 최적 설계조건을 결정하여 신산식품의 품질을 보존하기 위한 신기술 비관류순환 냉각시스템을 개발하고자 한다.

(2) 연구개발의 주요 내용

(가) 친환경 냉매 검토 및 최적화

냉동기에 사용되는 냉매로 CFC(염화불화탄소), HFC(수소불화탄소)등이 사용되어져왔으나 오존층 파괴 및 온난화라는 지구환경 문제의 이유로 자연냉매라는 친환경 냉매가 개발 중에 있다. 현재 알려진 친환경 냉매로 프로판, 프로필렌, 부탄, 이소부탄, 암모니아, 이산화탄소, 물과 공기 등이 있으며 HFC계 냉매의 친환경화도 추진 중에 있다. 이러한 여러 가지의 냉매를 각각의 장단점을 비교하고 경제성, 효율성, 친환경성을 검토, 보완하여 최적화한다.

(나) 냉각시스템 구성요소의 개발

① 압축기

압축기는 냉동기의 심장부로서 증발기에서 증발한 냉매가스를 흡입하여 필요 응축 압력까지 압축하여 송출하는 역할을 하며, 냉동 사이클 내의 냉매 순환의 원동력이 된다.

압축기는 가스를 흡입, 압축 기구에 따라 분류하면 체적 압축식과 원심식으로 크게 나눌 수 있다. 체적압축식은 흡입한 가스의 체적을 압축시켜 가스의 압력을

높이는 방식이며, 원심식은 고속도로 회전하는 임펠러로써 생성되는 원심력에 의하여 가스를 압축하는 방식이다. 아래 표에서 와 발이 여러 가지 기준에 의해 분류가 가능하다.

본 기술 개발을 위해 초저온 무소음의 압축기를 검토하고 개발하고자 한다.

표 2. 압축기의 종류

분류기준	압축기의 종류		
압축방식에 의한 분류	체적식 압축기	왕복동식	단동식 복동식
		회전식(로터리식)	회전날개형 고정날개형
			스크류식 스크롤식
	원심식 압축기	단단압축식	
		다단압축식	
	압축기 형상에 의한 분류	일형 압축기	
횡형 압축기		거의 보급 중단	
다기통형 압축기		가장 많이 보급	
회전속도에 의한 분류	저속 압축기	700 rpm 이하	
	중속 압축기	700 ~ 1,000 rpm	
	고속 압축기	1,000 rpm 이상	
냉매가스에 의한 분류	암모니아 압축기		
	프레온 압축기		

② 증발기

증발기는 냉동장치에서 냉각작용을 하는 열교환기이다. 증발관 속에 공급된 냉매액이 저압에서 냉각 대상물인 공기, 물 또는 브라인으로부터 열을 뽑아 냉각 효과를 내는 것이다. 냉각에 필요한 만큼의 냉매액을 팽창밸브에서 공급받고, 증발된 공기는 압축기로 보내진다. 따라서 아래의 여러 가지 증발기를 고려하여 전열율이 좋고 압축기에 액이 흡이 되지 않도록 무성에 핀코일을 개발하고자 한다.

표 3. 증발기의 종류

분류기준	증발기의 종류	
냉매 상태	건식 증발기	
	만액식 증발기	
	역순환식 증발기	
구조	관코일 증발기	
	핀 튜브 증발기	자연 대류식
		강제 대류식
	플레이트형 증발기	
	멀티퍼드멀티섹션	
	헤리본형 증발기	
	원통다관식 증발기	
	보델르 증발기	

③ 냉각기 판넬

냉동시스템에 있어서 냉각기의 판넬은 내부의 냉기가 외부로 유출이 되지 않도록 수밀성이 가장 중요한 인자이다. 수밀성이 좋지 않을 경우 냉기가 외부로 유출되어 식품의 품질 저하는 물론 에너지 효율이 떨어지기 때문에 매우 중요한 요소이다. 수밀성을 강조하기 위해서 성능이 좋은 고밀도의 단열시스템을 개발하고자 한다.

(다) 정밀 급속냉동 제어시스템 개발

냉매의 증발온도의 조정, 냉동부하의 변동에 따른 냉동장치의 조정 등은 운전을 만족스럽게 하며 장치의 수명을 연장시키고, 또한 경제적인 운영을 하는데 필요하다.

냉동장치에 사용되는 제어기기는 다음과 같은 목적으로 사용된다.

- 냉동장치의 운전상태를 안정화시키고 부하변동에 따른 적절한 운전상태를 유지한다. 이를 위하여 온도식 팽창밸브, 증발압력 조정밸브, 자동급수 밸브 등이 사용된다.
- 냉동장치의 안전을 유지한다. 고압차단장치나 안전밸브 등이 이런 목적으로 사용된다.
- 온도 스위치나 습도 스위치 등을 사용하여 냉동장치의 운전을 목적하는 상태로 유지한다.

① 냉매 유량 제어시스템

냉동장치의 냉동부하는 외부여건의 변화에 따라 용량이 변하는데, 일정부하로 냉동장치를 유지하면 부하용량의 불균형이 생기므로 냉매순환량의 과부족을 제어하기 위하여 여러 가지 제어가 사용되는데 이런 제어기는 냉동부하의 변동에 따라 증발기에 공급하는 냉매량을 조절하고 고압측과 저압측의 소정 압력차를 유지시켜주는 기능을 갖는 제어 시스템이 필요하다.

② 냉매 흐름 조절 시스템

증발기의 증발압력, 즉 증발온도를 일정값 이하로 유지할 목적으로 사용되는 증발 압력 조절밸브와 제상이나 기타 원인에 의하여 부하가 급변하였을 때의 압축기의 전동기에 과부하가 걸리는 것을 방지하기 위한 흡입 압력 조절밸브 등 냉매 흐름 조절 시스템이 요구된다.

③ 전자제어 습도조절장치

냉동식품, 특히 포장되지 않은 식품의 경우 적절한 습도 유지가 중요하므로 전자제어 습도조절장치를 개발한다.

④ 안전제어부

고압차단장치, 안전밸브, 파열판, 가용전 등으로 구성되는 안전제어부를 개발한다.

(라) 슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 흐름 시뮬레이션 수행

① 시뮬레이션 수행

냉각시스템의 효율적인 운용을 위해 냉동실의 냉기흐름 파악 및 냉기속도 분포 특성, 냉각기의 위치 및 개수 등의 최적 운전 조건 도출 등 다양하고 많은 case의 해석이 필수적이다. 보다 정밀한 해석결과와 획득 및 최적설계(안)의 도출을 위해 수백만개 이상의 대규모 유한요소의 생성과 다양한 조건에서의 설계최적화 과정이 필요하며 이를 위해 대규모의 컴퓨팅 자원의 활용이 필요하다. 또한 이를 통해

설계시간 및 성능 평가의 기간을 대폭감축하고 빠르게 변화하고 있는 냉각시스템 시장에서의 경쟁력 확보가 가능할 것이다.

② 활용계획

한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 보유하고 있는 슈퍼컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고자 한다. pilot 실험장비를 이용하여 기초 실험을 수행하고 실험 후 도출된 기초 변수를 결정한다.

변수 선정 후 실제 슈퍼컴퓨터에서 구동되는 유동 해석 프로그램 S/W(Fluent, CFX 등)을 활용하여 시뮬레이션을 수행한다. 사용가능한 슈퍼컴퓨터로는 IBM p595 장비 및 SUN C48이 있으며 기존 모델에 대한 해석은 IBM p595장비를 활용하고, 최적 설계를 도출하기 위해 다양한 변수를 설정하여 시뮬레이션을 실행할 경우 SUN C48장비를 활용한다.

표 4. 연구개발내용에 따른 이용장비 및 S/W

내 용	이용장비	S/W
비관류순환 냉각시스템 모델링	PC	CAD 프로그램 활용
냉각시스템 유동 해석	IBM p595	Fluent, CFX 등 활용
해석 결과 분석	--	--
다양한 CASE에서의 설계최적화	SUN C48	Fluent, CFX 등 활용
해석 결과를 시제품에 반영	--	--

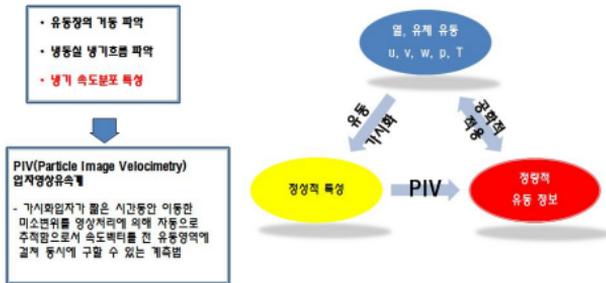


그림 4. 시뮬레이션 수행을 위한 개략도

(마) 시제품 제작 및 성능평가

시뮬레이션을 수행한 결과를 통해 비관류순환 방식의 냉동시스템의 크기 및 구성요소의 배치, 수량, 용량 등을 결정하여 시제품을 제작한다. 시제품의 냉동 및 에너지 효율 평가 등의 자체 성능평가는 물론 다른 냉동시스템과의 차이를 비교 분석하여 최적의 시제품을 제작한다. 또한 식품마다의 냉동 특성이 다르기 때문에 식품별 최적 저장 조건을 확립하여 추후 식품안전경영시스템 인증을 확보한다.

표 5. 최적 저장 조건 확립 적용 및 시험 대상 냉동식품

과자류	인절미, 푸딩, 경단, 콩가루떡, 슈크림, 우유, 떡, 양갱, 몽블랑, 카스 타드크림, 아이스크림 등
생선, 생육	오징어, 연어, 복어, 새우, 스테이크육, 참치, 낙지, 게, 소고기육, 방 어, 소라, 성게, 연어알, 육회, 고등어, 전복, 돼지고기육 등
인스턴트류	햄버거, 두부, 계란무침, 돈까스, 곤약, 가열가공두부, 고로케, 구운 돼지 및 소고기 등
쌀밥, 빵류	주먹밥, 쌀알, 카스테라, 도넛, 치즈케익, 초콜릿케익, 샌드위치, 크림 빵, 식빵, 팔빵, 초콜릿빵 등
기타	어묵, 연근, 된장국, 나물, 크림슈트, 후라이드치킨, 튀김어묵, 스페게 티, 생우동면, 고기만두, 블루베리, 튀김, 비프슈트, 생소바면, 팔만두 등

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절. 성에 착상 지연 관련

1. 국내외 핵심 관련 기술 리스트

NO	공개(등록)번호	공개일 (등록일)	출원인	발명의 명칭
1	JP2005-345060 (공개)	2005.12.15	MATSUSHITA	냉장고
2	EP1074802 (공개)	2001.02.07	CANDY S.p.A	Refrigerator with compartment for the quick cooling of food
3	KR10-1031416	2011.04.19	에어 오퍼레이션 테크놀로지스 가 부시키 가이샤	냉각장치

2. 국내외 핵심 관련 기술 요약

국내의 핵심관련기술 (1)	
공개번호	2005-345060
공개일	2005-12-15
출원인	MATSUSHITA ELECTRIC
명칭	냉장고
기술 구성	대표도면
<ul style="list-style-type: none"> - 냉장고 내측박스 - 증발기: 내측박스의 후면에 따라 배치되되, 공기가 순환하는 통로가 마련되도록 내측박스의 후면으로부터 전방으로 이격된 위치에 설치됨 - 치장판: 증발기를 덮도록 증발기의 전방에 설치되되, 공기가 순환하는 통로가 마련되도록 증발기로부터 전방으로 이격된 위치에 설치됨 - 냉각팬버: 열이디 모듈의 기판의 배면에 면접촉되도록 부착되는 제1판과, 제1판에 접합되는 것에 의해 제1판과의 사이에 내부공간을 형성하는 제2판과, 내부공간에 증진된 작동유체 - 냉각팬 	

국내외 핵심관련기술 (2)	
공개번호	1074802
공개일	2001-02-07
출원인	CANDY S.p.A
출원국가	유럽
명칭	Refrigerator with compartment for the quick cooling of food
기술 구성	대표도면
<ul style="list-style-type: none"> - 냉동고 - 증발기: 냉동고 내부에 설치되되, 전방 및 후방에 공기가 유동하는 유동경로가 각각 마련되도록 냉동고 내벽면으로부터 이격되게 설치됨 - 소형 격실: 냉동고 내에 설치되며, 증발기로부터 발생된 냉기가 순환되어 내부에 수용된 음식물을 급속 냉각시킴 	

국내외 핵심관련기술 (3)	
등록번호	10-1031416
등록일	2011-04-19
출원인	에어 오퍼레이션 테크놀로지 가부시키가이샤
출원국가	한국
명칭	냉각장치
기술 구성	대표도면
<p>외부와 단열적으로 격리된 실내에 냉각기를 설치하고, 냉각기의 전면에 냉각팬을 배치하고, 냉각팬의 전방 공간부를 피냉각물이 설치되는 냉각실로 하고, 냉각 팬의 후방에 있는 냉각 공기를 팬으로 흡인하여 냉각실에 유동시키는 냉각장치에 있어서,</p> <ul style="list-style-type: none"> - 냉각기와 냉각 팬 사이의 간극의 전후 방향의 치수를 a로 하고, 냉각 팬을 직경을 D로 했을 때, $a/D=1/2\sim 1/4$로 설치됨. - 상기 냉각기와 그 후면측에 있는 벽면 사이의 간극의 치수를 50mm보다도 크게 설정함 - 상기 냉각 팬의 회전수를 조정함으로써, 상기 냉각팬의 회전 중심점으로부터, 전방의 100mm 지점에서의 공기압력을 진동 또는 맥동시킴 	

3. 국내의 핵심 관련 기술 상세 설명

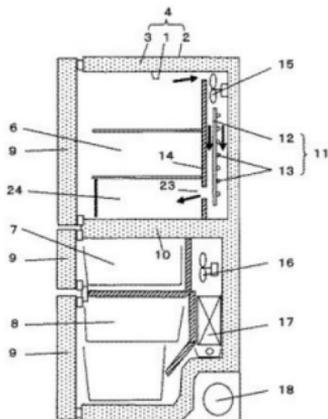
가. 일본 공개 특허 제2005-315060호 (국내의 핵심 관련 기술 1)

(1) 국내의 핵심 관련 기술(1)의 구성

국내의 핵심 관련 기술(1)은 냉각 팬에 의한 결로나 입고 서리를 방지하는 것을 목적으로 하는 냉장고로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

- (가) 물건이 수납되는 내측박스와, 내측박스의 후벽면에 배치되는 증발기와, 증발기를 덮는 치장판 및 냉각팬을 구비함
- (나) 상기 증발기는 내측박스의 후벽면과 치장판 사이에 설치되되, 증발기와 내측상자 및 증발기와 치장판 사이에 냉기 순환 풍로가 형성되도록 배치됨
- (다) 상기 냉각팬은 상기 냉기 순환 풍로 내로의 냉기흐름을 기준으로 증발기의 상류측에 배치됨

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 증발기의 전면부에 설치된 제어패널에 의해 냉동냉장고의 고내로부터 유입될 공기의 일부는 고내 공기의 일부는 제어패널과 증발기 사이공간인 제1열교환부로 이동되어 냉각된 후 토출구로 토출되며, 유입공기의 잔부는 증발기의 후면부와 고내면 사이공간에 형성된 제2열교환부로 이동되도록 하는 점에서, 국내의 핵심 관련 기술(1)의 내측박스, 증발기 및 치장판에 상응하는 기술수단을 갖추고 있다.

다만, 당사 기술은 상기 “냉각팬”에 상응하는 기술수단이 결여되어 있으나, 상기 냉각팬은 냉동냉장고에 필수적인 구성요소로서, 당사 기술을 냉동냉장고에 적용 시 상기 “냉각팬”에 상응하는 기술을 추가할 가능성이 있다.

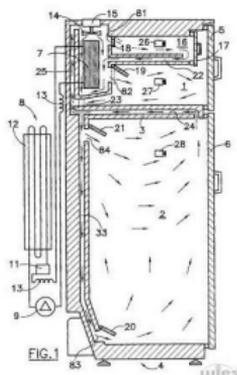
나. 유럽 특허 공개 제1074802호 (국내의 핵심 관련 기술 2)

(1) 국내의 핵심 관련 기술(2)의 구성

국내의 핵심 관련 기술(2)은 내부에 수납된 음식물을 급속 냉각시킬 수 있는 냉장고에 관한 것으로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

- (가) 냉각실 내에 수납된 음식물을 급속 냉각시킬 수 있도록 냉각팬에 의해 냉기가 강제 송풍되는 소형격실을 구비함
- (나) 소형격실 내에 설치된 제1온도조절장치 및 소형격실 외부의 냉각실 내에 설치된 제2온도조절장치를 통해 증발기로부터 공급된 냉기가 소형격실 및 냉각실에 교대로 순환되도록 냉기의 공급을 제어함

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 증발기의 전면부에 설치된 제어패널에 의해 냉동냉장고의 고내로부터 유입될 공기의 일부는 고내 공기의 일부는 제어패널과 증발기 사이공간인 제1열교환부로 이동되어 냉각된 후 토출구로 토출되며, 유입공기의 잔부는 증발기의 후면부와 고내면 사이공간에 형성된 제2열교환부로 이동되도록 하는 점에서, 국내의 핵심 관련 기술(2)와 유사하나, 국내의 핵심 관련 기술(2)은 음식물을 급속 냉각시키기 위해 소형격실을 구비하는 것을 특징으로 하는 바, 당사 기술은 상기 "소형격실"에 상응하는 기술수단이 결여되어 있다.

또한, 당사 기술은 냉기의 유동을 제어하여 증발기에 성애가 착상되는 것을 방지하는 기술인 반면, 국내의 핵심 관련 기술(2)은 내부에 수납된 음식물을 급속 냉각시키는 기술인 점에서 그 기술분야 및 기능이 상이하다.

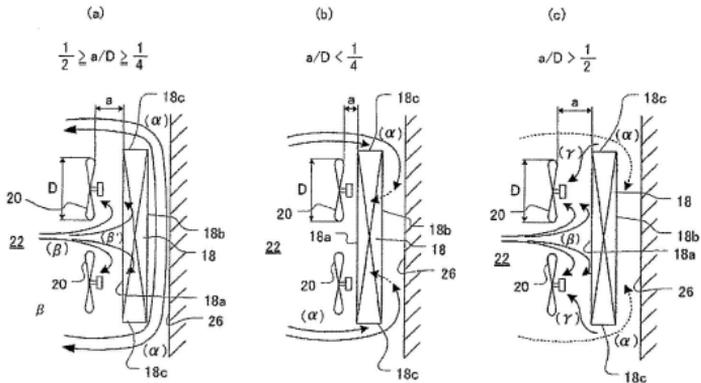
다. 한국 등록 특허 제10-1031416호 (국내의 핵심 관련 기술 3)

(1) 국내의 핵심 관련 기술(3)의 구성

국내의 핵심 관련 기술(3)은 냉기를 강제적으로 순환시키는 냉기 강제 순환 방식을 사용하지 않고 피냉각물을 냉각시키는 냉각장치에 관한 것으로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

- (가) 외부와 단열적으로 격리된 실내에 냉각기를 설치하고, 냉각기의 전면에 냉각 팬을 배치하고, 냉각팬의 전방의 공간부를 피냉각물이 설치되는 냉각실로 하고, 냉각 팬의 후방에 있는 냉각공기를 냉각팬으로 흡인하여 냉각실에 유도시킴
- (나) 냉각기와 냉각 팬 사이의 각극의 전후 방향의 치수를 a 로 하고, 냉각 팬의 직경을 D 로 했을 때, $a/D=1/2\sim 1/4$ 로 설정함
- (다) 냉각기와 그 후면 측에 있는 벽면 사이의 간극의 치수를 50mm보다 크게 설정하고, 냉각 팬의 회전수를 조정함으로써, 상기 냉각 팬의 회전 중심점으로부터 전방의 100mm 지점에서의 공기압력을 진동 또는 맥동시킴

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 증발기의 전면부에 설치된 제어패널에 의해 냉동냉장고의 고내로부터 유입될 공기의 일부는 고내 공기의 일부는 제어패널과 증발기 사이공간인 제1열교환부로 이동되어 냉각된 후 토출구로 토출되며, 유입공기의 잔부는 증발기의 후면부와 고내면 사이공간에 형성된 제2열교환부로 이동되도록 하는 점에서, 국내외 핵심 관련 기술(3)의 냉각기, 냉각 팬과 상응하는 기술수단을 모두 갖추고 있다.

다만, 국내외 핵심 관련 기술(3)은 당사 기술과는 달리 냉각기와 냉각팬의 설치 위치를 수치적으로 한정하고 있으나 당사 출원 특허(1)의 기술을 냉동냉장고에 적용 시 당사 기술의 토출팬 및 냉각기가 국내외 핵심 관련 기술(3)의 냉각기 및 냉각팬의 설치 범위 내에 위치할 가능성이 높다.

제 2 절. 입체 냉각기술 관련

1. 국내외 핵심 관련 기술 리스트

NO	공개(등록)번호	공개일 (등록일)	출원인	발명의 명칭
4	KR20-0160843(등록)	1999.08.21	대우전자 주식회사	입체냉각방식냉장고
5	JP2000-065459(공개)	2000.03.03	FUJITSU GENERAL	냉동 냉장고
6	KR10-1998-083037 (공개)	1998.12.05	대우전자 주식회사	에어커튼 생성장치를 갖는 냉장고

2. 심층분석대상특허 요약

국내의 핵심관련기술 (4)			
등록번호	20-0160843		
등록일	1999-08-21	출원국가	한국
출원인	대우전자 주식회사		
명칭	입체 냉각 방식 냉장고		
기술 구성		대표도면	
<ul style="list-style-type: none"> - 본체: 실내측으로 투출구를 개방 형성하는 냉장실 냉기순환 덕트가 내설된 제1측벽, 상기 제1측벽에 설치된 토출구에 대향되는 개방된 토출구를 갖는 덕트가 내설된 제2측벽, 상기 각각의 제1,2측벽과 연계되는 양측부의 각각 코너부분에 실내측으로 토방된 토출구를 갖는 덕트가 내설된 후방벽으로 이루어짐 - 도어: 상기 본체의 제1측벽의 전방에 회동 가능하게 장착되고, 실내측으로 개방된 토출구를 갖는 덕트가 내설됨 - 연결수단: 상기 본체의 제1측벽의 덕트와 상기 도어의 덕트를 연결 			

국내의 핵심관련기술 (5)			
공개번호	2000-065459		
공개일	2000.03.03	출원국가	일본
출원인	FUJITSU GENERAL		
명칭	냉동 냉장고		
기술 구성		대표도면	
<ul style="list-style-type: none"> - 저장실 - 안쪽문: 저장실의 전면 개구부의 내측에 설치되어 상기 전면 개구부를 개폐함 - 바깥쪽문: 안쪽문의 전방의 저장실에 설치됨 - 덕트: 저장실 내에 냉기를 전달하는 것으로서, 저장실 상부에 설치되며, 냉기가 배출되는 다수의 배출구가 마련됨 			

국내의 핵심관련기술 (6)			
공개번호	10-1998-0083037		
공개일	1998-12-05	출원국가	한국
출원인	대우전자 주식회사		
명칭	에어커튼 생성장치를 갖는 냉장고		
기술 구성		대표도면	
<p>일면이 개구된 냉각실을 형성하는 캐비닛과, 상기 캐비닛의 개구를 개폐하는 도어와, 냉기를 생성하는 증발기를 구비한 냉장고에 있어서,</p> <ul style="list-style-type: none"> - 냉기덕트: 양단부에 각각 상기 증발기에 인접한 영역 및 상기 냉각실의 개구에 인접한 영역에 개구된 냉기구가 마련됨 - 송풍팬: 상기 냉기덕트 내에 설치되며 상기 냉기덕트의 길이방향 상의 양방향 송풍이 가능함 - 도어개폐감지수단: 상기 도어의 개폐 상태를 감지함 - 제어부: 상기 도어개폐감지수단의 감지 결과에 따라 상기 송풍팬에 의한 송풍방향이 전환되도록 상기 송풍팬을 제어하여, 상기 도어의 개방시 상기 냉각실측 냉기구를 통해 상기 증발기로부터의 냉기를 토출하여 상기 캐비닛의 개구를 차단하는 에어커튼을 생성시키고, 상기 도어의 폐쇄시 상기 냉각실측 냉기구를 통해 상기 냉각실 내의 공기를 흡입함 			

3. 국내의 핵심 관련 기술 상세 설명

가. 한국 등록 실용신안 제20-0160843호(국내의 핵심 관련 기술4)

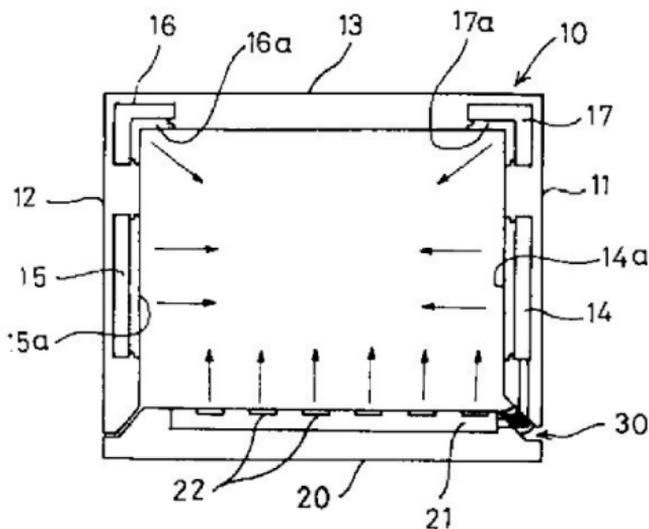
(1) 국내의 핵심관련기술(4)의 기술 구성

국내의 핵심관련기술(4)는 냉장효율을 향상시킬 수 있는 입체 냉각 방식 냉장고에

관한 것으로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

- (가) 실내측으로 토출구를 개방 형성하는 냉장실 냉기순환 덕트가 내설된 제1측벽과, 상기 제1측벽에 설치된 토출구에 대향되게 개방된 토출구를 갖는 덕트가 내설된 제2측벽와, 상기 각각의 제1 및 제2측벽과 연계되는 양측부의 각각 코너부분에 실내측으로 개방된 토출구를 갖는 덕트가 내설된 후방벽으로 이루어진 본체
- (나) 상기 본체의 제1측벽의 전방에 회동가능하게 장착되고, 실내측으로 개방된 토출구를 갖는 덕트가 내설된 도어
- (다) 상기 본체의 제1측벽의 덕트와 상기 도어의 덕트를 연결하는 것으로, 굴곡가능하고 신축가능한 주관(maintube)과, 상기 주관의 일단부에 내삽되고, 상기 본체의 제1측벽의 덕트에 연통하는 제1연결관과 상기 주관의 일단부에 외삽되고, 상기 도어의 덕트에 연통하는 제2연결관으로 이루어진 연결수단

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 냉동냉장고의 저장공간부의 내측면을 따라 덕트가 설치되고, 상기 덕트에는 다수의 토출노즐이 설치되어 있어 저장공간부에 다방향으로 냉기를 토출하는 점에서, 국내의 핵심관련기술(4)의 덕트, 토출구에 상응하는 기술수단을 갖추고 있다.

그러나 국내의 핵심관련기술(4)는 냉기가 냉장실의 측면 뿐 아니라 냉장고의 도어에서도 냉기가 분사되기 위해 냉기를 도어측으로 공급하도록 연결된 연결수단을 구비하는 것을 특징으로 하는 바, 당사 기술은 상기 “연결수단”에 상응하는 기술수단이 결여되어 있다.

나. 일본 특허 공개 제2000-65459호 (국내의 핵심관련기술5)

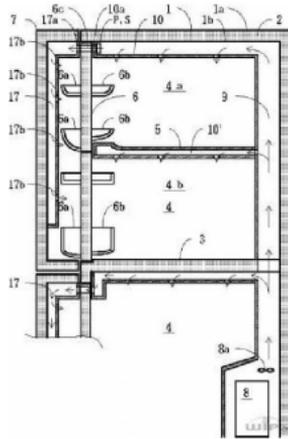
(1) 국내의 핵심관련기술(5)의 기술 구성

국내의 핵심관련기술(5)는 냉장고의 도어 측에 형성된 수납부로 냉기를 효과적으로 공급할 수 있는 냉동 냉장고에 관한 것으로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

(가) 외측박스 및 내측박스 사이에 단열재가 충전되며, 전면이 개구된 단열박스를 내를 수평칸막이체에 의해 다수의 저장실로 구획하고, 상기 저장실의 전면 개구부 내측에 적어도 하나의 수납부를 형성한 내측문이 설치되며, 상기 내측문의 전방측에 외측문을 설치하고, 냉각기로부터의 냉기를 덕트를 통해 상기 저장실로 냉기가 유입되도록 형성됨

(나) 상기 덕트는 저장실 상부에 배치되고, 상기 덕트의 전면에 냉기의 취출구가 형성되며, 상기 내측문에 상기 취출구에 대응되는 통풍구를 형성하고, 외측문의 내부에 상기 통풍구에 대응되는 입구로부터 냉기가 유입되는 외측문 덕트를 설치하고, 상기 외측문 덕트의 출구를 내측문의 외측에 배치된 수납부에 대향되도록 설치함

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 냉동냉장고의 저장공간부의 내측면을 따라 덕트가 설치되고, 상기 덕트에는 다수의 토출노즐이 설치되어 있어 저장공간부에 다방향으로 냉기를 토출하는 점에서, 국내의 핵심관련기술(5)에 상응하는 기술수단을 갖추고 있다. 그러나 국내의 핵심관련기술(5)는 이중 문 구조를 갖고, 내측면에 형성된 수납부에도 냉기가 분출될 수 있도록 덕트로부터 냉기를 공급받아 수납부에 전달하는 외측문 덕트를 구비하는 것을 특징으로 하는 바, 당사 기술은 상기 "내측문", "수납부" 및 "외측문 덕트" 및 에 상응하는 기술수단이 결여되어 있다.

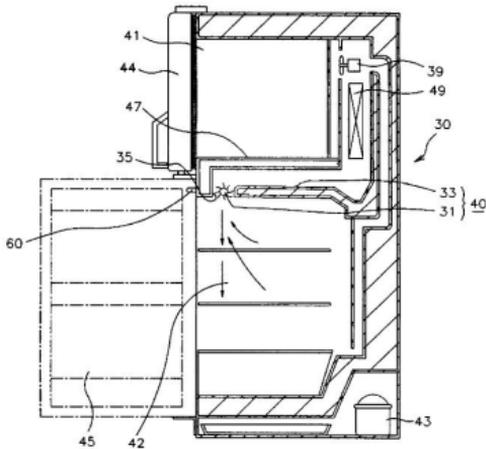
다. 한국 특허 등록 제10-0220972호 (국내의 핵심관련기술6)

(1) 국내의 핵심관련기술(6)의 기술구성

국내의 핵심관련기술(6)는 송풍팬의 양방향 제어에 의해 에어커튼의 생성 및 냉기의 흡입이 선택적으로 이루어지는 에어커튼 생성장치를 갖는 냉장고에 관한 것으로서, 그 청구범위에는 아래와 같은 구성을 필수구성요소로 기재하고 있다.

- (가) 냉기를 형성하는 증발기와, 냉장실의 개구부를 개폐하는 냉장실도어 및 일단이 상기 증발기와 연통되고, 타단에 형성된 냉기토출구가 사이 냉장실과 연통되는 냉기덕트로 이루어짐
- (나) 상기 냉기덕트의 내부에 정역회전 가능하게 설치되어, 냉기를 상기 냉장덕트의 양단방향으로 송풍이 가능하게 하는 송풍팬
- (다) 상기 냉장실도어의 개폐상태를 감지하기 위해 상기 냉장실도어의 개방 및 폐쇄 상태에서 상기 냉장실도어에 의해 각각 눌림 및 해제되는 누름 스위치
- (라) 상기 누름스위치의 감지결과에 따라 상기 냉장실도어가 개방되면, 상기 송풍팬을 강하게 정방향으로 회전시켜, 상기 증발기로부터 발생된 냉기가 상기 냉기토출구를 통해 토출되어 상기 냉장실의 개구를 차단하는 에어커튼을 형성하고, 냉장실도어가 폐쇄되면, 상기 송풍팬을 약하게 역방향으로 회전시켜, 상기 냉장실 내의 냉기가 상기 냉기토출구를 통해 흡입되어 상기 증발기 측으로 보내도록 제어하는 마이컴

(2) 참고도면



(3) 기술 분석

당사 기술은 냉동냉장고의 저장공간부의 내측면을 따라 형성된 덕트의 도어에 인접된 위치에 에어커튼 노즐을 설치하여 냉기에 의한 에어커튼을 형성하는 점에서, 국내의 핵심관련기술(6)의 냉기덕트에 상응하는 기술수단을 갖추고 있다

그러나 국내의 핵심관련기술(6)은 냉기덕트 내에 설치되어 도어의 개폐여부에 따라 냉기의 토출량을 결정하는 송풍팬을 구비하는 것을 특징으로 하는 바, 당사 기술은 상기 “송풍팬”에 상응하는 기술수단이 결여되어 있다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절. 1차년도 연구개발수행 내용 및 결과

1. 냉각시스템 3D 디자인 설계 및 개발

추후 제품화를 위한 비관류순환 냉각시스템의 3D 디자인을 광주소재의 디자인 전문 기업에 의뢰를 통해 두가지 형상으로 개발 하였다.

비관류순환 냉각시스템의 디자인은 기존 냉각시스템에 대한 사진자료를 참조하여 의뢰 업체에서 독자적으로 디자인하였으며 이에 대한 결과물은 그림 5, 6과 같다.

2, 3차년도 본 연구개발을 통해 기존 식품용 냉각기 외에 제품을 다양화하여 실외기형 냉각기와 컨베이어 시스템도 추후에 디자인 설계 및 개발을 수행할 계획이다.



그림 5. 비관류순환 냉각시스템 3D 디자인 결과물(Black)



그림 6. 비관류순환 냉각시스템 3D 디자인 결과물(White)

2. 친환경 냉매 검토 및 최적화

냉매란 냉동장치, 열펌프, 공기조화장치 및 온도차 열에너지 이용기관 등의 사이클 내부를 순환하면서 저온부(증발기)에서 증발하여 주위의 열을 흡수하여 고온부(응축기)에서 열을 방출시키는 작동 유체를 말한다. 일반적으로 증발 또는 응축의 상변화 과정을 통하여 열을 흡수 또는 방출하는 냉매를 1차 냉매라 하고, 단상 상태에서 감열 열전달을 통하여 열을 교환하는 냉매를 2차 냉매라 한다. 그러나 기체 사이클에 적용하는 공기, 헬륨, 수소 등은 1차 냉매로 분류하며, 주요 2차 냉매로는 브라인 및 부동액 등이 있다.

각 시대에 가장 일반적으로 사용되었거나 사용될 냉매의 구성성분을 기준으로 하면, 자연냉매 → CFC → HCFC → HFC → LGWP 냉매의 순서로 사용될 것이 예상되나, LGWP 냉매의 경우 상업적 생산을 하는 회사도 없고, 이것을 사용하기 용이하지 않은 현실이다. 본과제의 냉동고에서 사용할 수 있는 냉매의 선택을 위한 여러 냉매 중 오존 파괴지수가 0이며, 지구 온난화지수가 비교적 낮은 친환경적인 냉매 중 고내 온도를 최적의 상태로 유지할 수 있는 냉매를 선택한다.

가. 자연냉매

자연냉매는 인간이 합성 냉매를 쓰기 이전부터 사용하던 것으로, 최초의 합성 냉매는 CFC-11, 12이고 1930년대 초반에 개발되었다. 그러나 이 이전에는 물이나 NH₃, CO₂ 등을 냉매로 사용하였지만, 물은 냉매로써 사용가능한 구간이 아주 작고, NH₃는 악취가 심하며 독성 및 폭발성이 크고, CO₂는 고압에서 사용한다는 태생적 한계 때문에 대안으로 개발된 것이 CFC 계열 냉매이다.

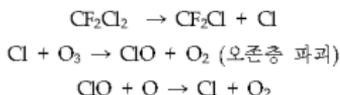
자연냉매는 현재에도 상당히 많이 사용된다. 가령, NH₃ 냉매는 냉동창고 등에서 쓰이고 있으며, CO₂는 냉장/냉동용으로 많이 사용된다. CO₂를 냉매로 사용하는 가장 대표적인 기업이 코카콜라, 유니레버, 테스코 등이다.

지구온난화에 있어 궁극의 해답이 될 수 있는 것이 자연냉매이기 때문에 현재도 많이 논의되고 있고, 특히 HC(Hydro Carbon, 부탄가스, 프로판가스 등)계열의 냉매를 많이 연구하고 있지만, 폭발성 때문에 안전성에 있어 대단히 많은 어려움이 있다. 일례로 얼마 전 폭발한 모전자 회사의 냉장고는 Isobutane(냉매번호는 R-600a)를 사용했었고, 이 냉매를 연료로 폭발한 것으로 보인다.

나. CFC(Chloro Fluoro Carbon) 계열

CFC 또는 염화불화탄소라고도 하며, 화학식은 CF_2Cl_2 이다. 오존층 파괴 물질로 잘 알려진 프레온 가스이며, R-11, R-12 등의 냉매가 여기 속하고, 최초의 합성 냉매이다. 몬트리올 의정서상의 오존층 파괴물질로 규정된 규제 물질로 사용이 금지되었으나, 터보 냉동기에 R-11은 R-123, 냉장고, 정수기, 자동차 에어컨에 R-12는 R-134a로 대체되어 사용되고 있다.

오존은 분자 상태의 산소와 원자 상태의 산소가 자연 발생적으로 결합하여 성층권에 형성된다. 성층권의 오존은 태양광선 중 유해 자외선을 막아 주는 역할을 하며, 고도 25km 부근의 농도가 가장 높다. 하지만 오존 농도는 매우 적어 12ppm 정도이다. 만일 성층권 오존 밀도가 줄어들다면 인간은 피부암, 백내장 증가, 인간 면역 기능 억제, 농작물과 동물의 피해, 해양 식물성 플랑크톤의 성장 억제 등의 건강상 위협에 직면하게 된다. 지상에서 배출되는 화학물질이 성층권으로 올라가 오존을 파괴하는 물질 중 하나인 염화불화탄소인 CFC-11과 CFC-12의 두 종류의 냉매이다. CFC는 매우 안정한 성질을 가지고 있어 대류권에서는 거의 분해되지 않고 대류와 확산에 의해 성층권의 오존층까지 상승한 후 자외선을 받아 분해된다. 이때 염소 원자는 촉매로 작용하여 오존을 분해한 후에도 사라지지 않고 계속해서 다른 오존을 분해한다.



염화불화탄소는 성층권에 도달하는데 약 10년이 걸리지만 CFC 한 분자에서 분해된 염소 원자는 100년가량 존속하면서 약 10만 개 이상의 오존을 분해한다. 이러한 피해 사실 때문에 1987년 국제사회는 CFC 배출량을 감소시키는 데 목표를 둔 몬트리올 의정서에 서명하여 CFC의 방출량을 줄였지만, 이미 대기 중으로 방출된 양이 상당하기 때문에 현재로부터 50년간은 성층권의 오존 파괴가 계속될 것으로 예상된다.

현재 CFC의 대체물질로 HCFC와 HFC가 개발되어 있다. HCFC에는 CFC보다 염소 분자가 적기 때문에 오존층에 미치는 위험이 훨씬 적다. 반면, HFC에는 염소가 전혀 들어 있지 않아 오존 파괴 지수는 0이다.

다. HCFC(Hydro Chloro Fluoro Carbon) 계열

HCFC 계열의 냉매들도 오존층 파괴 물질로 잘 알려진 푸레온 가스이고, 몬트리올 의정서에 의해 규제된다. 가장 대표적인게 일반 가정용 에어컨으로 사용되는 R-22이며, R-123, R-124 등의 냉매가 여기에 속한다. CFC계 사용 규제에 따른 중간 대체품으로서 ODP(Ozone Depletion Potential : 오존파괴지수)가 낮고, 2015년부터 사용 규제를 실시하며 2040년까지 전폐할 계획으로, 대체품 사용이 확산되고 있는 추세이다. HCFC 냉매의 특징은 표 6과 같다. 무색 무취의 기체 혹은 액체이며 비점은 32.1℃에서 -40.8℃로 다양하다. 임계압력은 비교적 낮은 편으로 사용하기 용이하다.

표 6. HCFC 냉매의 특징

품명	R-22	R-123	R-124	R-141b	R-142b
화학식	CHClF ₂	CHCl ₂ CF ₃	CHClFCF ₃	CH ₂ ClCF ₂	CH ₂ ClCF ₂
외관	무색 기체	무색 액체	무색 기체	무색 액체	무색 기체
냄새	무취	무취	무취	무취	무취
분자량	86.5	152.6	136.5	116.9	100.5
비점(1atm, ℃)	-40.8	27.6	-12	32.1	-9.4
응고점(℃)	-160	-106.8	-100	-103.5	-131
임계온도(℃)	96.2	184	122.5	208.2	137.1
임계압력(atm)	49.12	37.4	37	43.4	40.7
임계밀도(g/cc)	0.513	0.549	0.56	0.458	0.435
용도	가정용, 산업용 에어컨, 발포제	터보냉동기 냉매, 경질 우레탄 발포	Chiller용 냉매, 희석제, 절연제	우레탄 발포제, 세정제	Aerosol 분사제, 발포제
비고	R-12 대체	R-11 대체	R-11/12 대체	R-11 대체	

라. HFC(Hydro Fluoro Carbon) 계열

HFC계열 냉매는 오존 파괴 물질은 아니나, 지구 온난화 물질이다. HFC계열의 물질이 합성이 되기 시작한 것은 마찬가지로 1930년대 초반이지만, CFC/HCFC를 대체하는 냉매로 대두하기 시작한 것은 1980년대에 오존층 파괴문제가 이슈화하면서 부터이며, 신냉매라고 부르는 냉매가 HFC 계열 냉매들이다. 대표적인 것들로써 자동차 에어컨, 가정용 냉장고에 사용되는 134a, 천장형 에어컨에 많이 사용되는 410A(R-125와 R-32의 혼합물), 냉동탑차에 쓰이는 404A(R-134a/R-32/R143a의 혼합물) 등이 있다.

ODP가 0라는 장점이 있지만, 1995년 교토의정서에 6대 지구온난화 물질 중 하나로 분류되었다. 그러나 교토의정서에 아무런 강제조항이 없었으므로 사용에는 제한이 없다.

이러한 분류기를 급반전 시킨 것이 2006년 제정된 유럽의 F-gas Regulation인데, (F-gas는 분자식에 F가 들어가는 가스들인 PFC, SF6, HFC 등) 여기에 '2011년부터 유럽에서 판매되는 신규모델의 차량용 에어컨의 냉매는 GWP(Global Warming Potential : 지구온난화지수가 150이하여야 한다.'는 규정이 들어가면서 부터 HFC 대체에 대한 활발한 연구와 개발이 이루어지고 있다. 2012년 교토의정서의 만료 이후 지구 온난화 문제를 이끌어갈 Post Kyoto Protocol에서는 어떤 형태로든 HFC 규제가 강제될 것이 확실하며, 우리나라도 2020년 온난화가스 배출을 2005년 BAU의 4% 감축으로 설정하면서 HFC규제가 명문화되기 시작하고 있다.

CFC/HCFC의 대체냉매는 우수한 열역학적, 물리화학적 특성을 가짐과 동시에 환경 친화적이어야만 한다. 대체냉매는 에너지 효율이 높아야 하며, 오존층분괴지수가 0.0이고 지구온난화지수가 낮아야 하고, 독성 및 가연성이 없어야 한다. 1987년 McLinden과 Didion 등은 현재 인류가 개발한 860종의 산업용 액체 중 냉매의 기준조건을 만족하는 물질은 51개가 있으며 그 중 가연성과 유독성이 높은 물질을 제외하면 단지 20여 개만을 냉매로 쓸 수 있다고 보고하였다. 메탄계 및 에탄계 할로카본 화합물 중에서 독성 및 가연성이 없으며, CFC가 아닌 냉매는 R22, R23, R134a, R123, R124 및 R125 등 소수가 있다. 이 중에서 R22, R123 및 R124 등은 HCFC이므로 규제대상이며 또한 R23은 HFC이지만 열역학적 성질이 좋지 않아 냉매로 활용하기 어렵다.

할로카본 중에서 대체냉매로 사용할 수 있는 HFC 순수냉매는 극히 제한되어 있다. 그러므로 2개 또는 3개의 순수물질을 적절한 조성비로 혼합하여 순수물질이 가지고 있는 단점을 보완하여 좋은 환경지수를 나타낼 수 있는 혼합냉매가 대체냉매로 많이 개발되었고 연구되고 있는 실정이다. 가정용 냉장고 및 자동차 에어컨 등에 널리

사용되어온 R-12를 대체할 수 있는 냉매로는 R-134a, R-152a 및 사이클로 프로판(RC270) 등이 있다. 저온냉매로 주로 많이 사용되고 있는 R-502의 대체냉매로는 R-404a 및 R-507 등의 HFC 혼합냉매가 고려되고 있다. 열펌프 및 각종 공조기기에 사용되고 있는 R-22의 대체냉매로는 R-32를 포함한 HFC 혼합냉매들이 고려되고 있으며 이에 대한 많은 연구가 진행 중이다. R-22 대체냉매로서 고려되고 있는 주요 HFC 혼합냉매로는 R-407c 와 R-410a 등을 들 수 있다. 이 외에도 많은 종류의 혼합냉매 및 자연냉매에 대한 연구가 진행 중이며, 제3세대 대체냉매로 탄소, 불소, 수소 이외에 산소, 질소, 요오드, 규소 등이 더 포함되어 환경친화성이 높은 화합물에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 표 7에 친환경 냉매로 널리 사용되고 있는 HFC 계열의 대체 냉매들의 비등점 및 조성을 보인다.

표 7. CFC, HCFC 계열 냉매 및 대체 냉매(HFC)

기존 CFC, HCFC냉매	비등점(°C)	대체 가능한 냉매
R-11	23.8	R-123, R245a
R-114	3.8	R-236fa
R-12	-29.8	R-134a, R-600a, R-260/600aDME, R-717, R-744
R-500(R-12/152a,73.8/26.2)	-33.5	R-134a
R-22	-40.8	R-22 E-134a R-407c(R-32/125/134A,23/25/52) R-410a(R-32/125,50/50) R-290, R-717, R-744
R-502a(R-22/115,48.8/51.2)	-45.4	R-404a(R-125/143a/134a,44/52/4) R-507(R-125/143a,50/50)
R-13B1	-57.7	R-404a(R-32/125,50/50)
R-13	-81.4	R-23
R-503(R-23/13,40.1/59.9)	-88.7	R-508B(R-23/116,39/61)

표 7에서 R-404a(R-125/134a/134a,44/52/4)를 해석하면, R-404a는 R-125, R-134a, R-134a의 조성비가 각각 44%, 52%, 4%라는 의미이며, 비등점은 -45.4°C이다. 냉매의 선택은 구성하고자 하는 냉동기의 최저 유지 온도의 크기와 직접적인 관계를 갖는다.

R-404a의 비등점은 -45.4°C이며, 냉동기가 유지할 수 있는 최저의 온도는 비등점 -45.4°C보다 낮을 수 없다. 본 과제에서 구현하고자 하는 냉동기 고내의 최저 온도는 -45°C로 최적의 온도 조건을 유지하는 냉매로 R-404a, R-507, R-404a, R-23, R-508B 등의 선택 가능하다. 하지만 고내 최저유지온도인 -45°C와 큰 온도차를 보이는 R-23이나 R-505B와 같은 냉매는 최저 온도 유지에는 유리할 수 있으나 온도 차이만큼 냉매를 압축하는 압축기의 용량이 더 필요하여 최적의 선택은 아니다.

마. LGWP(Low Global Warming Potential : 저온난화지수)냉매

HFC 대체냉매라 할 수 있는 LGWP 냉매는 아직 어떤 것이 될지 확실하지 않고, HFO 계열 냉매들이 가장 강력히 대두되고 있다. HFO 냉매는 아직 상업적 생산을 하는 회사도 없고, 이것을 사용하는 제품도 거의 출시되지 않았을 정도이다. 이 냉매를 개발한 미국 듀폰사의 HFO-1234yf라는 냉매가 HFC-134a를 대체하여 사용하게 될 것으로 보이지만, 많은 시간이 필요할 것으로 판단된다.

바. 냉매의 비등점 및 압력

CO₂는 오존파괴지수(ODP)는 0, 지구온난화지수(GWP)가 1이며, 독성이 없고 연소하지도 않아 이상적인 환경친화성 자연냉매이다. 1860년대부터 CFC 및 HCFC 물질이 개발되기 전까지는 제빙기 냉매로 널리 사용되어왔다. 하지만 CO₂냉매는 임계온도가 31.1°C로 냉방시 외기온도가 높을 경우 성능이 저하되는 문제 등으로 CFC/HCFC 물질로 대체되어왔다. CFC/HCFC 물질이 오존층파괴물질로 규제되기 시작하면서 CO₂ 냉매를 이용한 기술 개발이 다시 시작되고 있다. CO₂ 냉매의 장점으로는 프레온계 냉매에 비해 높은 냉동능력과 낮은 비등점, 낮은 임계온도 등의 장점을 가지고 있으며, 임계압력이나 고압단이 임계점 이상에서 작동되어야하는 초임계 사이클이 되는 단점이 있다. 또한 고압 냉매이므로 체적 냉동 능력이 매우 커서 시스템을 소형화 할 수 있는 반면 고압대응 설계를 해야 하는 어려움이 있다. 따라서 아직까지 CFC/HCFC등 냉매를 사용한 제품에 비하여 CO₂ 냉매를 사용한 제품의 가격이 상대적으로 높아 냉장고 및 일반 에어컨에는 적용을 하지 못하고 있는 실정이다. 표 8은 프레온계 냉매의 대표적인 R-22와 CO₂ 냉매의 물리적인 특성을

보인 것이다. 냉매의 선택은 단순히 비등점, 냉동 능력뿐 아니라 임계온도, 임계압력 등 다양한 특성을 고려하여 선택하여야 한다.

표 8. 프레온계 냉매와 CO₂ 냉매의 특징

구분	R-22	R-774(CO ₂)
냉동능력 (KJ/m ³)	4,356	22,545
비등점 (1atm, °C)	-40.8	-78.5
임계온도 (°C)	96.2	31.1
임계압력 (Mpa)	4.99	37.38

냉매의 선택에 있어서 비등점의 정도, 임계 압력, 오존파괴지수, 지구온난화지수 등 뿐 아니라 납, 수은, 카드뮴 등 환경유해물질의 포함 여부, 시스템 효율과 안전성 향상 등 다양한 측면을 검토하여야 한다. 본 과제에서 사용가능한 친환경냉매로 가장 적합한 냉매는 -45.4°C 의 비등점을 보이며, 오존파괴지수가 0이며, 지구온난화지수가 비교적 높지 않은 R-404a가 최적의 조건을 만족한다.

3. 냉동기 panel 제작 및 고밀도 고성능 단열시스템 개발

냉동시스템에 있어서 냉각기의 판넬은 내부의 냉기가 외부로 유출이 되지 않도록 수밀성이 가장 중요한 인자이다. 수밀성이 좋지 않을 경우 냉기가 외부로 유출되어 식품의 품질 저하는 물론 에너지 효율이 떨어지기 때문에 매우 중요한 요소이다. 수밀성을 강조하기 위해서 성능이 좋은 고밀도의 단열시스템을 개발하고자 한다.

냉동기 판넬 선정시에는 단열성이라는 기본 성질 외에도 경량성, 경제성, 완충성 등의 성질을 검토한 결과 경제적으로 저렴하며 범용적으로 많이 사용되어지는 폴리우레탄을 소재로 선정하였다. 폴리우레탄폼은 실용적인 단열재 중 열전달율이 최고로 낮아 단열재료써의 응용이 전체의 80 ~ 90%를 점유하고 있다(그림 7).

폴리우레탄폼은 우수한 단열성능, 자기접착성, 제조 간편성 및 용도 다양성, 경제성 등 타단열재와 비교하여 많은 특징을 가지고 있다.

이외에도 폴리우레탄폼은 타 단열재와 비교하여 다음의 특징을 갖고 있다.

- 단열성능효과 탁월
- 방수 효과

- 가공성과 시공성 용이
- 면재와 접착성 우수
- 자기부력성
- 작업환경개선
- 난연성 향상
- 기후조건에 안정적
- 경제성

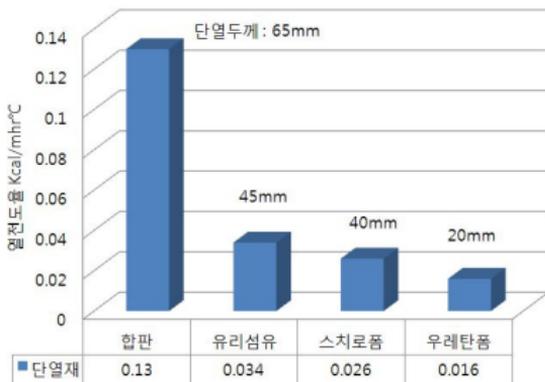


그림 7. 단열소재의 열전달을 비교

일반 저온용 폴리우레탄의 판넬 제조 공정은 대량 생산을 위하여 고압으로 제조하기 어렵기 때문에 단열성 향상을 위해서는 두께가 두꺼워질 수밖에 없다.

두께를 줄이기 위해서는 고압으로 압력을 가하여야하는데 직접 압력을 가하는 방식이기 때문에 외관이 불규칙하게 변형되거나 제작 시 폴리우레탄폼에 기포가 생성되어 균일도가 떨어져 단열 성능에 악영향을 미친다.

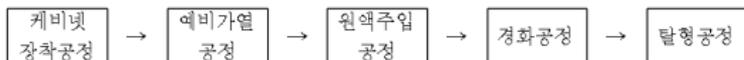


그림 8. 일반적인 폴리우레탄 판넬 제조 공정

이를 보완하기 위하여 별도의 지그를 제작하여 폴리우레탄폼을 주입하고 주입반대편에 주입과 동시에 공기를 배출시켜 주입속도와 폴리우레탄의 양을 변경하면서 균일도가 높고 고밀도의 판넬 시제품을 제작하였다. 이런 방식으로 제작을 할 경우 내부의 공기를 주입과 동시에 배출시킴으로써 폴리우레탄폼이 지그내부에 고밀도로 고르게 분포하기 때문에 높은 균일도와 고밀도를 동시에 만족할 수 있다.

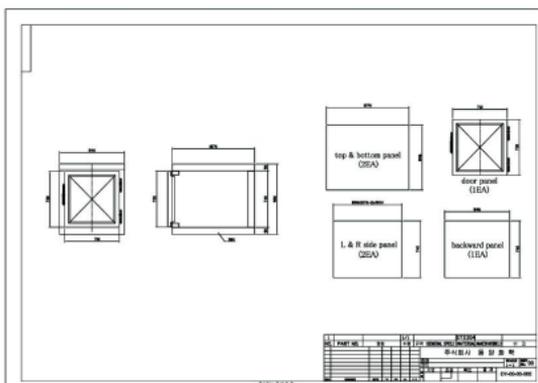


그림 9. 고밀도 고성능 판넬 시제품 제작 도면



그림 10. 고밀도 고성능 단열 판넬 시제품 사진

본 결과의 밀도와 열전도율을 확인하기 위하여 KS L 9106 및 KS F2277에 의거하여 20±5℃ 시험조건에 의하여 자체 실험을 수행한 결과 밀도는 0.045g/cm³의 결과를 확인하였으며 열전달율이 0.015Kcal/mh℃정도로 고밀도임과 동시에 열전달율이 높음을 확인할 수 있었다.

표 9. 단열재의 등급 분류

등급 분류	열전도율의 범위		KS M 3808, 3809 및 KS L 9102에 의한 해당 단열재 및 기타 단열재
	W/mK	kal/mh℃	
가	0.034 이하	0.029 이하	- 압출법보온판 특호, 1호, 2호, 3호 - 경질우레탄폼보온판 1종 1호, 2호, 3호 및 2종 1호, 2호, 3호 - 기타 열재로서 열전도율이 0.034W/mK (0.029 kal/mh℃)이하인 경우
나	0.035 ~0.040	0.030 ~0.034	- 비드법보온판 1호, 2호, 3호 - 암면보온판 1호, 2호, 3호 - 유리면보온판 2호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.035 ~ 0.040 W/mK (0.030 ~ 0.034 kal/mh℃)이하인 경우
다	0.041 ~0.046	0.035 ~0.039	- 비드법보온판 4호 - 기타 단열재로서 열전도율이 0.041~0.046W/mK(0.035~0.039kal/mh℃)이하인 경우
라	0.047 ~0.051	0.040 ~0.044	- 기타 단열재로서 열전도율이 0.047 ~ 0.051 W/mK (0.040 ~ 0.044 kal/mh℃)이하인 경우

4. 무성에 핀코일(증발기)연구 개발

가. 증발기의 종류 및 고려 사항

증발기는 냉동장치에서 냉각작용을 하는 열교환기이다. 증발관 속에 공급된 냉매액이 저압에서 냉각 대상물인 공기, 물 또는 브라인으로부터 열을 뽑아 냉각 효과를 내는 것이다. 냉각에 필요한 만큼의 냉매액을 팽창밸브에서 공급받고 증발된 공기는 압축기로 보내진다. 증발기의 성능은 증발기의 전열성이 가장 중요한 요소로 증발기의 전열은 관외의 피냉각물(공기, 물 등)로부터 관내의 냉매로 열이 전달된다. 이때 전열량은 냉동능력 Q_E 와 동일하다.

$$Q_E = A \cdot K \cdot \Delta t_m$$

A : 전열관의 전열면적 [m^2]

K : 총합열전달계수 [$kcal/m^2h^\circ C$]

Δt_m : 냉매와 피냉각물과의 평균온도차[$^\circ C$] (산술평균 또는 대수평균 온도차)

위에서 보는 바와 같이 전열량은 전열관의 전열면적과 냉매와 피냉각물과의 평균온도차에 비례함을 알 수 있다. 아래의 여러 가지 증발기의 전열성, 평균 온도차, 전열면적 등을 고려하여 핀코일 형상의 증발기를 개발하였다.

표 10. 증발기의 종류

분류기준	증발기의 종류	
냉매 상태	건식 증발기	
	만액식 증발기	
	액순환식 증발기	
구조	관코일 증발기	
	핀 튜브 증발기	자연 대류식
		강제 대류식
	플레이트형 증발기	
	멀티피드멀티섹션	
	헤리본형 증발기	
	원통다관식 증발기	
	보델로 증발기	

기존 냉각시스템의 핀코일은 직선형 배열을 사용하는데 공기가 외부로 흐르면서 동관과의 간섭으로 인해 열전달효율이 좋지 않고 제상 능력도 떨어져 냉각효율에 악영향을 미친다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 비관류순환 냉각시스템은 성애가 착상을 최소화하고 열전달효율을 극대화하기 위하여 증발기의 핀코일 배열을 사선형으로 개발하였다.

기존 냉각시스템의 증발기와 본 과제를 통해 개발된 증발기의 비교는 표 11과 같다.

표 11. 기존 방식과 개발을 통한 핀코일 증발기의 비교

종류 구분	기존 방식의 핀코일 증발기	개발된 핀코일 증발기
사진		
코일배열	직선형 배열	사선형 배열
U자형 곡관크기	60mm	50mm
배관간격	55mm (총 165mm)	43.3mm (총 130mm)
배관배열	4열 10줄	4열 12줄
특징	제상율이 적고 열전달효율도 낮음	제상율이 크고 열전달효율이 높음

나. 성에 비착상 test

본 연구 과제를 통해 개발된 핀코일의 성에 비착상을 확인하기 위하여 성에 비착상 test를 수행하였다. 그림 11에서 보는 바와 같이 고내에 두 개의 금속판으로 된 용기를 두고 그 내부에 물을 담아 히터를 통하여 지속적인 열을 가하여 강제로 증기를 생성시켜 내부에 습기가 가득하도록 극한 상황으로 비착상 test를 수행하였다.

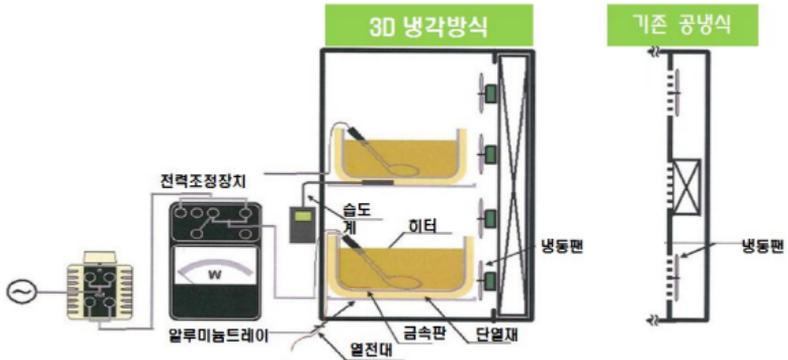
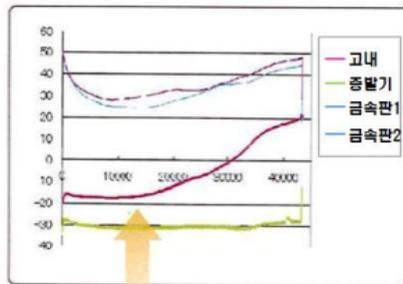


그림 11. 성에 비착상 test 장치 개략도

일반 가동조건으로 실험한 결과 그림 12에서와 같이 기존 증발기는 2시간 50분 가동 후에 고내 온도가 상승하여 제상이 필수적이었으나 본 과제를 통해 개발된 증발기는 12시간을 가동하여도 온도의 변화가 없어 제상이 필요 없음을 확인할 수 있었다.



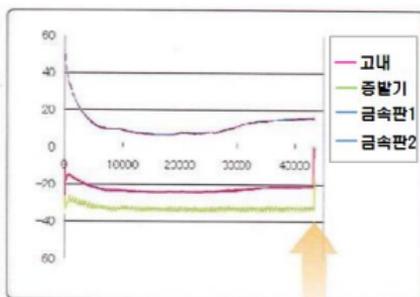


그림 12. 일반 증발기와 개발 증발기와의 성에 비착상 test
 ((상)기존 증발기, (하)개발 증발기)

3시간 후의 성에 비착상 test 수행 결과 사진은 그림 13에서와 같이 기존 증발기(좌)는 핀코일을 알아볼 수 없을 정도로 성에가 가득 착상된 것을 확인할 수 있었으나 본 연구 과제를 통해 개발된 고내는 내부는 약간의 성에가 착상하였으나 빨간원 내부의 핀코일은 성에가 착상되지 않음을 확인할 수 있었다. 이렇게 성에 비착상은 냉동 및 에너지 효율과 식품 보존 시 품질에도 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.



그림 13. 극한 상황에서의 성에 비착상결과((좌)기존 증발기, (우)개발 증발기)

5. 무착상 비관류순환 냉각시스템 개발

본 과제 목표는 신선식품의 품질 보존을 위하여 급속 냉각, 식재에 냉기가 감싸듯이 골고루 전달되도록 입체 냉각이 가능하고, 성에 비착상으로 인한 에너지 절감효과를 기대할 수 있는 비관류순환 냉각시스템을 개발하고자 한다.

비관류순환의 냉각시스템에 있어서 가장 중요한 점은 고내의 급속냉각 여부 및 입체 냉각의 여부가 가장 중요하다. 따라서 핵심 설계 인자는 냉각실 내의 환류팬의 크기 및 직경, 팬과 제어판, 냉각기의 배치 및 간격 등이라 할 수 있다.

따라서 팬과 냉각기의 간극 및 팬의 직경이 유동에 미치는 영향, 냉각기와 후측 벽면의 간격이 유동에 미치는 영향, 제어판의 유무가 유동에 미치는 영향을 검토하였다.

알려진 바에 의하면 팬 전단의 평균 압력(Pave)과 냉각기로 들어가는 흐름(α) 및 팬에 의해 다시 냉각실로 되돌아 가는 흐름(β)이

$$\log \text{Pave} = \alpha + \beta \cdot (a/D)$$

를 만족하고, 이 때의 각 Pave, α , β 의 값은 $\alpha=0.50$, $\beta=1.71$, $\text{Pave}=10\text{gf}/\text{cm}^2 \sim 28\text{gf}/\text{cm}^2$ 를 만족하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다.

가. 팬과 냉각기의 간극(a) 및 팬의 직경(D)이 유동에 미치는 영향

우선 팬과 냉각기의 간격과 팬의 직경이 유동에 미치는 영향을 검토하였다.

$1/2 \geq a/D > 1/4$ 인 경우 냉각기의 양 측면 및 후면을 주회하는 흐름(α)과 냉각기 전면 통과하는 흐름(β)이 균형적으로 발생하여 냉각실 측으로부터의 흐름과 냉각기 주위의 냉각공기와의 열교환을 충분히 할 수 있다. 하지만 $a/D < 1/4$ 인 경우는 냉각기 내로 공기가 흡인되어 냉각실로 공기를 유동시켜, 냉각기의 성에의 부착이 발생하게 되며 이와는 반대로 $a/D > 1/2$ 인 경우는 냉각부와 냉각실이 완전히 분리된 것 같은 상태가 되어 열교환 효율이 떨어지는 단점이 있다. 이처럼 팬과 냉각기의 간극 및 팬의 직경은 냉기의 유동에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

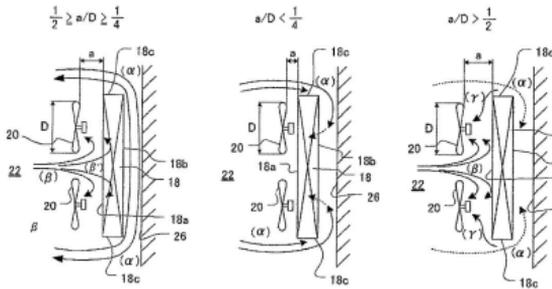


그림 14. 팬과 냉각기의 간극(a) 및 팬의 직경(D)이 유동에 미치는 영향

나. 냉각기와 후측 벽면의 간극(Db)이 유동에 미치는 영향

냉각실내에서의 냉기 유동은 팬 주위에서만 발생하는 것이 아니라 팬 전 후에서 모두 발생하기 때문에 냉각기와 후측 벽면의 간극이 유동에 미치는 영향도 냉기 유동에서 중요한 고려 대상이다. $Db \geq 50\text{mm}$ 인 경우가 가장 바람직한데 이는 냉각기의 양 측면 및 후면의 3면을 주회하는 흐름(α)의 유속이 낮아지기 때문이며 $Db < 50\text{mm}$ 인 경우는 간극에 의한 조여짐의 효과에 의해 냉각기의 양 측면 및 후면의 3면을 주회하는 흐름의 유속이 높아져 바람직하지 않다. 이때의 평균적인 냉기 유속은 $1\sim 5\text{m/min}$ 이 가장 바람직함을 확인할 수 있었다.

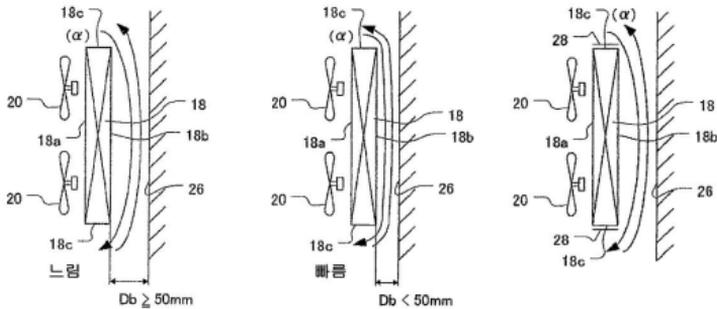


그림 15. 냉각기와 후측 벽면의 간극(Db)이 유동에 미치는 영향

다. 냉각기와 후측 벽면의 간극(Db) 및 제어판 유무가 유동에 미치는 영향

냉각기 사이에 그림 15과 같이 제어판을 등으로써 냉기 유동에 미치는 영향을 검토하였다. 제어판이 없고 $100 > Db \geq 50\text{mm}$ 의 경우는 원활한 열교환이 어려우며 제어판이 없고 $Db \geq 100\text{mm}$ 에서는 원활한 열교환이 확인되었으나 제어판을 설치할 경우 냉각기를 주회하는 공기가 팬으로 유입되는 흐름을 막아주어 냉각기와 후측 벽면의 간극(Db)이 50mm 이상만으로도 충분함을 알 수 있었다. 제어판이 있음으로 해서 냉기 유동을 원활함을 알 수 있었다.

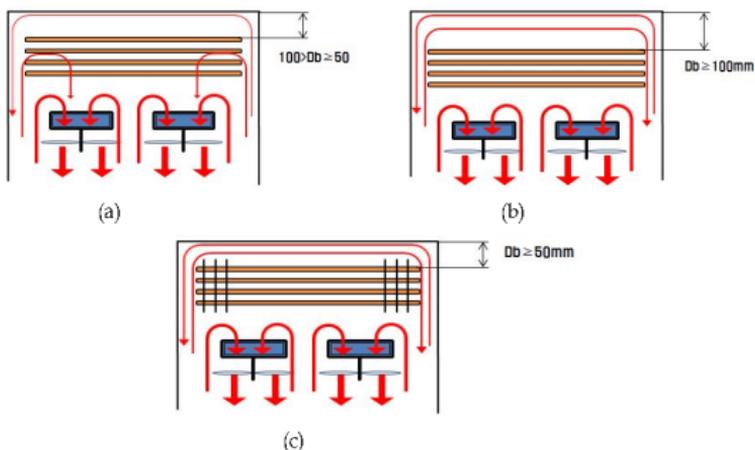


그림 16. 냉각기와 후측 벽면의 간극(Db) 및 제어판 유무가 유동에 미치는 영향
 ((a)제어판이 없고 $100 > Db \geq 50\text{mm}$ (b)제어판이 없고 $Db \geq 100\text{mm}$ (c) 제어판이 있을 경우)

그림 16와 같이 팬의 직경과 후측 벽면과의 간극, 제어판 등을 고려하여 설계한 경우 최적의 냉기 유동에 대한 결론은 그림 17과 같다.

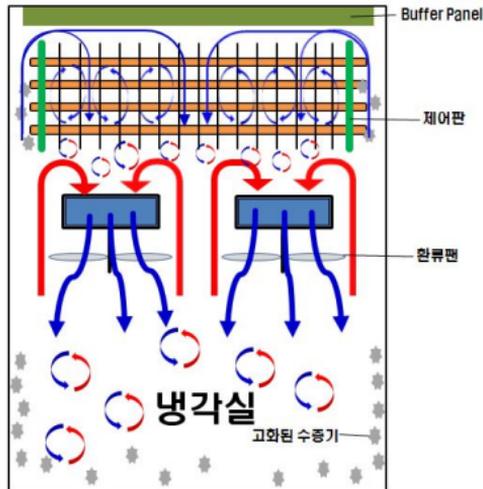


그림 17. 비관류순환 냉각방식의 냉각실 고내 흐름도

팬의 직경(D) 및 팬 후단과 냉각기 전단의 간격(a)이 $1/2 > a/D \geq 1/4$ 이고, 냉각기에 제어판이 설치하고, 냉각기 후단과 후측 벽면의 간격(Db)이 50mm이상일 때 냉각실 내의 냉기 유동이 최적임을 확인하였다.

6. 냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정

가. 냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계 조건 결정

(1) 설계 조건 도출

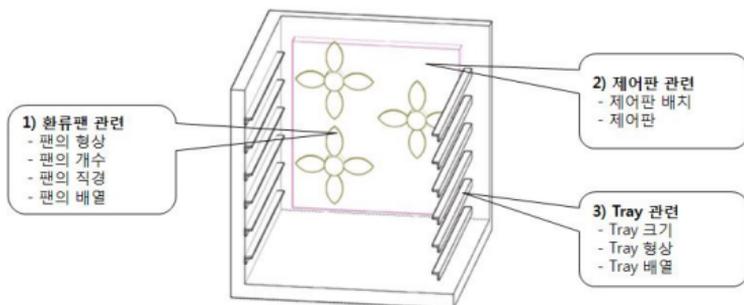


그림 18. 비관류순환 냉각 시스템의 구성요소별 설계 변수

비관류순환 냉각시스템의 고내에 영향을 미치는 변수들은 크게 냉기의 입체적인 유동을 결정하는 특수 환류 팬과 냉기의 흐름을 제어하는 제어판, 냉각 대상의 식재를 놓을 수 있는 tray로 나눌 수 있다.

특수 환류 팬에 관한 변수를 다시 세분화하면 팬의 형상과 개수, 직경이고 이러한 팬들을 어떻게 배열하느냐가 가장 중요한 설계 변수일 수 있다.

또한 본 냉기흐름의 관건은 습도가 중요 요인이기 때문에 제어판의 배치 및 간격이 중요하며, 식재를 놓을 수 있는 tray의 경우 막혀있는 tray는 입체적인 냉기 유동에 문제가 될 수 있기 때문에 tray의 형상과 배열이 중요한 설계 변수로 작용함. 고내의 냉기 유동에 대한 설계 변수는 위 그림과 같으며 주후로 온도와 습도의 변수를 돕으로써 고내 냉기의 유동을 시뮬레이션 하고자한다.

(2) 슈퍼컴퓨터를 활용한 시뮬레이션 수행 계획

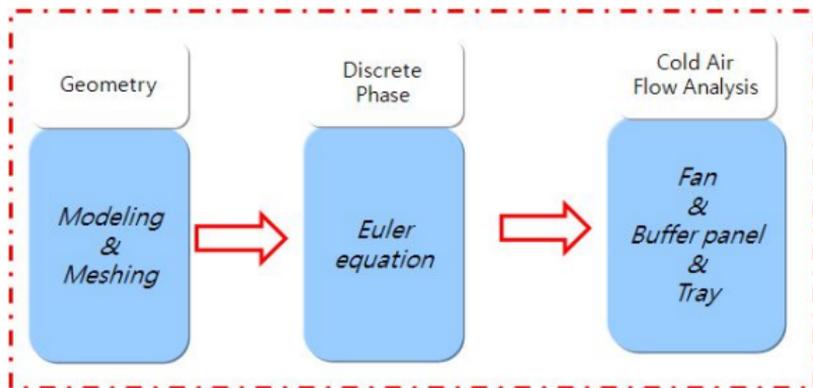


그림 19. 슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 유동 시뮬레이션 수행 절차

앞서 결정된 설계 변수를 활용하여 냉기 유동 해석의 과정은 그림 19와 같이 수행할 예정이다.

(가) Simulation 모델 및 격자를 생성

(나) 모델 설정 및 모델에 따른 추가 옵션(ex 팬, 제어판, 선반 등)을 설정

(다) 모델 선정에 대한 검증울 수행한다.

(라) 모델 및 기법을 선정하여 분석을 수행한다.

나. 시뮬레이션 프로그램 결정

일반적으로 기상 혹은 액상의 유동 해석에 사용되어지는 프로그램은 주로 Ansys사의 CFX 및 Fluent로 많이 사용한다. CFX는 설계 변수를 다양하게 입력할 수 없기 때문에 정확성은 다소 떨어질 수 있으나 범용으로 개발된 소프트웨어로 초보자들도 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. Flunet는 숙련자들을 위한 유동해석 프로그램으로 다양한 설계 변수 입력을 통한 유동해석이 가능하므로 정확성에서 뛰어난 장점을 가지고 있다.

본 냉기 유동 시뮬레이션에는 복잡한 설계 변수가 필요 없기 때문에 CFX를 시뮬레이션 프로그램으로 사용하고자한다. 또한 시뮬레이션 수행 계획은 표 12와 같다.

표 12. 시뮬레이션 수행내용에 따른 장비 및 프로그램

내 용	장비	프로그램
비관류순환 냉각시스템 모델링	PC	CAD 프로그램 활용
냉기 유동 해석	Super Computer (KISTI)	CFX 활용
해석 결과 분석	--	--
다양한 CASE에서의 설계 최적화	Super Computer (KISTI)	CFX 활용
해석 결과를 시제품에 반영	--	--

제 2 절. 2차년도 연구개발수행 내용 및 결과

1. 냉동기 pilot 시험 장비 설계

1차년도 연구과제 수행을 통하여 친환경냉매, 냉동기 판넬, 무성에 핀코일 등 무착상 비관류순환 냉각시스템 관련 요소 기술 개발을 수행하였으며 이러한 결과를 토대로 최종 결과물 제작을 위해 냉동기 pilot 시험 장비 설계를 수행하였다.

가. 냉동기 pilot 설비 제작의 목적

(1) 최적의 냉기 유동 조건 결정

비관류 순환 냉각시스템의 핵심 기술은 특수관류팬 기술과 기류 제어를 통해 성에 무착상 실현 및 입체 냉기 유동이 가장 큰 핵심 기술이다.

고내의 냉기유동, 팬과 증발기사이의 냉기 유동, 증발기 내부의 냉기 유동, 증발기와 후면의 냉기 유동의 냉동기 pilot 설비를 통한 실험 및 시뮬레이션을 통한 냉기 유동을 비교 분석을 통해 최적의 냉기 유동 조건을 결정하고자한다.

(2) 최종 시제품 설계 시 data 반영

최적의 냉기 유동조건을 결정을 통해 입체 냉각과 성에 무착상 실현이 최적화 된 조건을 토대로 고내 내부의 팬, 증발기, 압축기 등의 크기 위치 및 용량을 결정하고 최적의 냉매 선정, 판넬의 밀도 및 두께 등을 결정하여 최종 시제품 설계 시 이러한 data를 반영하고자 한다.

(3) 정밀 제어시스템 test

정밀 제어시스템의 경우 따로 성능 test를 하기에는 무리가 있기 때문에 냉동기 pilot 시스템에 정밀 제어 컨트롤러를 설치하여 실제 가동을 통해 자동 온습도 및 냉매 유량 제어 등 자동 컨트롤에 대한 성능을 평가한다.

나. 냉동기 pilot 시험 장비의 spec.

냉동기 pilot 시험장비의 spec. 은 아래 표 13과 같다.

표 13. 냉동기 pilot 시험장비의 spec.

구분	Spec.
공급전원 / 소비전력	3P, 220V / 2kW
외장	846 X 1,770 X 1,150 (mm)
냉매	R-404A
판넬 두께	140 (mm)
압축방식	Rotary 방식
Compressor	1.5 kW(2HP)
Circulation fan	4 pole, 50W AC fan, 3EA
Defrost Heater	200W 2EA, 100W 1EA

다. 냉동기 pilot 시스템의 설계 도면

성능평가 및 시뮬레이션 수행을 위한 pilot 설계 도면은 그림 20 및 21과 같다.

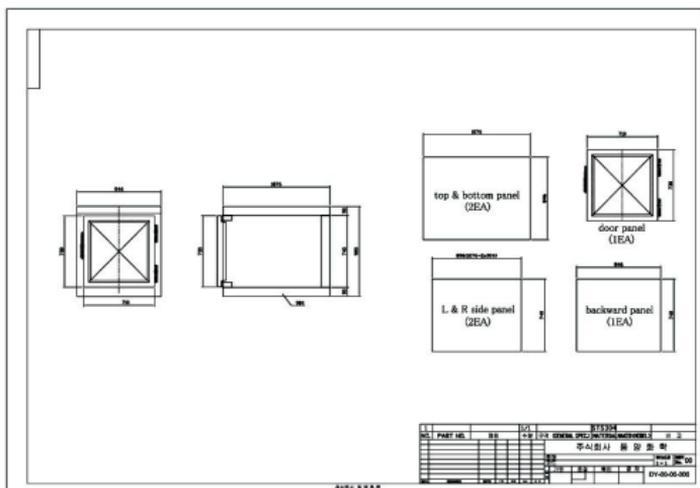


그림 20. pilot 설비 시제품 외장 설계 도면

유지할 목적으로 사용되는 증발 압력 조절 밸브와 제상이나 기타 원인에 의하여 부하가 급변하였을 때의 압축기의 전동기에 과부하가 걸리는 것을 방지하기 위한 흡입 압력 조절 밸브 등 냉매 흐름 조절 시스템이 고려되었으며, 고압 차단 장치, 안전 밸브, 파열판, 가용전 등으로 구성되는 안전 제어부를 구성하였다.

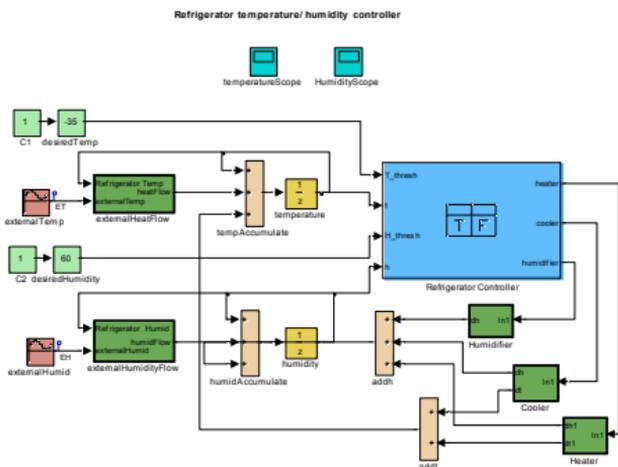


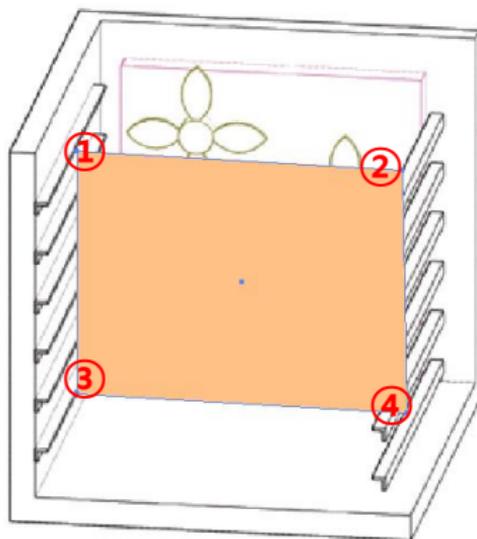
그림 22. Matlab을 이용한 정밀 급속 냉동 제어 시스템 회로 구성도

일반적으로 고내의 온도 조절은 시스템의 구성에 따라 1℃ 이하의 온도 제어도 가능할 만큼 정교하게 설계가 가능하나, 초저온 냉동고의 고내의 습도 제어는 아주 어려운 현실이다. 식품 냉동 시 낮은 상대습도에서 냉동이 수행될 경우 냉동 건조 현상이 심해지고, 냉동 품질에 악영향을 미치게 되어, 가능하면 높은 습도를 유지하는 것이 필요로 하다.

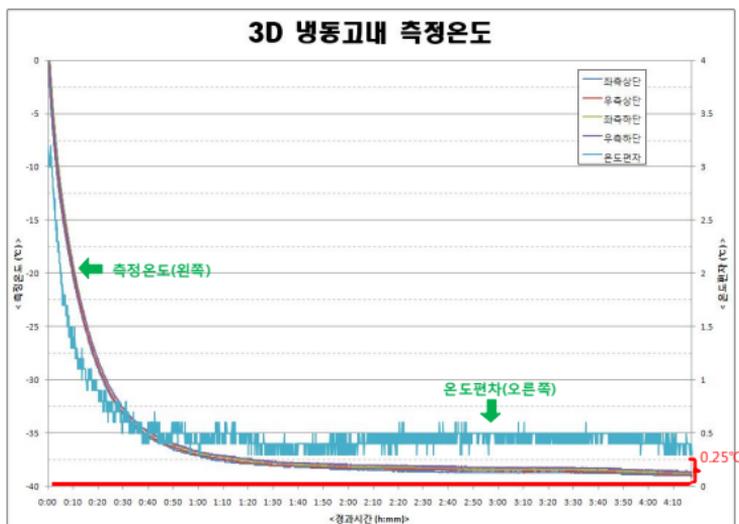
하지만, 높은 습도는 열교환부 성에 착상을 가속화하여 냉각시스템의 전체적인 열교환 성능을 저하시키므로 적절한 습도의 조절이 필수적이다. 일반적으로 고내의 고화되지 않은 수증기는 냉동기 고내의 여러 부분과 열교환부에 성으로 고화되어 점점 상대습도가 낮아지는 경향이 있으며, 폐쇄된 공간에서 이를 방지하는 것은 현실적으로 용이하지 않다.

고내의 습도 제어는 단순한 습도의 공급 혹은 제거의 문제가 아니라 냉각시스템 내부의 고유한 문제이므로 그 구조에 기인하는 영향이 아주 크게 된다. 고내의 상대 습도량은 일반 냉장고의 냉동실에 비해 약 10% 정도 높게 유지되는 것을 실험결과를 통해 확인한다.

3D 냉동고 내 상단과 하단의 온도를 측정한 결과, 급격히 온도편차를 줄여갔으며, 일정시간 경과 후 0.25℃ 이내의 온도편차를 보이며 지속적인 가동시간 경과에도 고른 온도분포를 형성하였다.



(a) 급속 냉동기 파일렛 시제품 온도 분포 측정



(b) 급속 냉동기 파일럿 시제품 온도 제어 결과

그림 23. 정밀 온도 제어 결과

3. 제상장치 최적화 개발

가. 성에 착상 감시용 카메라

성에 착상은 에어블라스트 방식의 냉각시스템에서 피할 수 없는 문제이다. 본 과제에서는 냉동고의 동작 중 성에 착상의 진행을 관측하여 성에 착상의 추이를 파악한 후 최적의 제상 장치를 구현한다. 고내의 성에 착상의 진행 정도를 안정적으로 관측하기 위해서는 고내를 촬영할 수 있는 촬상 장치가 필요하다. 고내 연속 촬상 장치를 구현하기 위하여 HD 급의 동영상 촬영이 가능한 고성능 웹 카메라를 사용한다.



그림 24. 성에 감시용 웹 카메라 [Microsoft] LifeCam Cinema

상기의 그림에 성에 감시용 웹 카메라로 사용된 Microsoft 사의 LifeCam Cinema를 보인다. 일반적인 촬영 소자들은 상온에서 동작하도록 만들어져 영하 35도의 가혹한 환경에서 동작을 보장하지 못한다. Microsoft 사의 LifeCam Cinema의 성능 규격은 표 14와 같으며, 일반 고성능의 웹 카메라를 성에 감시용 웹 카메라로 사용하기 위하여 필요한 요건은 표 15과 같다.

표 14. 웹카메라 규격

동영상 최대 해상도	2백만화소
정지사진 최대해상도	5백만화소
인터페이스	USB2.0
VGA 프레임	30frame/sec
동영상 최대 해상도	1280 x 720
특수기능	디지털줌, 듀얼스탠드, 스냅샷, 오토포커스

고내에서 안정적으로 성에 착상의 진행을 촬영하기 위하여 웹 카메라를 아래의 성능에 만족하도록 개조한다. 감시 카메라는 고내 -35℃에서 동작 가능하여야 하며, 조명이 없는 고내의 촬영을 위하여 조명용 광원을 구비하여야 한다. 또한 장시간의 성에 착상을 감시하기 위하여 최소 4시간 이상의 동작을 보장하여야 하며, 길게는 하루 이상의 시간동안 정상적인 동작이 이루어져야 한다. 최소 감시 영역이 15Cm X 15Cm 정도가 되도록 최단 촬영거리가 짧아야 하며, 협소하고 작은 고내에서 넓게는 60Cm X 40Cm 영역을 촬영할 수 있도록 광각을 지원하여야 한다.

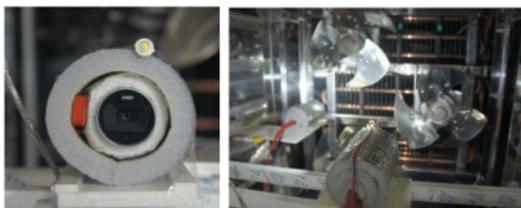
표 15. 성에 감시용 웹 카메라의 요건

동작 온도	-35℃
조명용 광원	1~10W LED
동작 시간	최소 4시간 이상
정보 형태	동영상 및 정지영상
최소 감시 영역	15Cm X 15Cm
최대 감시 영역	60Cm X 40Cm

또한 고품질의 이미지 촬영을 위하여 렌즈에 김 서림이나 성에 부착 없어야 하며, 때 일정한 시간동안 규칙적으로 촬영할 수 있도록 프로그램에 의하여 구동되어야 한다.

본 과제에서 성에 착상 감시용 카메라는 근접 영역 촬영을 위한 카메라와 넓은 영역의 촬영을 위한 카메라, 총 2개의 카메라를 사용하였다. 촬영 시간은 냉동고의 동작 초기에는 약 10초 간격으로 촬영하며, 냉동고의 동작 시간이 길어지면 프로그램이나 수동 조작에 의하여 30초 혹은 1분이나 그 이상의 시간을 주기로 촬영되도록 프로그램 되었다. 2대의 웹 카메라를 이용한 주기적인 촬영은 MATLAB으로 프로그램을 구현하였으며, 촬영된 영상의 처리는 Photoshop으로 수행되었다.

아래 사진은 완성된 고내 감시용 웹 카메라의 정면 모습과 고내에 설치된 모습을 촬영한 것이다. 고내에서 팬의 동작으로 인한 강한 바람에도 안정적인 동작이 가능하도록 거치대를 사용하여 고정하였으며, 웹 카메라의 보호 유리에 김서림이 없도록 충분히 냉각시켜 동작시킨다.



(a) 성에착상 관측용 HD 카메라

(b) 성에착상 관측 예

그림 25. 성에착상 관측 시스템

아래 그림은 초저온의 고내에서 촬영이 가능하도록 개조된 웹 카메라의 제작 과정을 보인 것이다. 낮은 온도에서도 일정한 온도를 유지하도록 실리콘 열선을 사용하여 보온한다.



그림 26. 고내 성에 착상/ 제상 측정을 위한 카메라 시스템

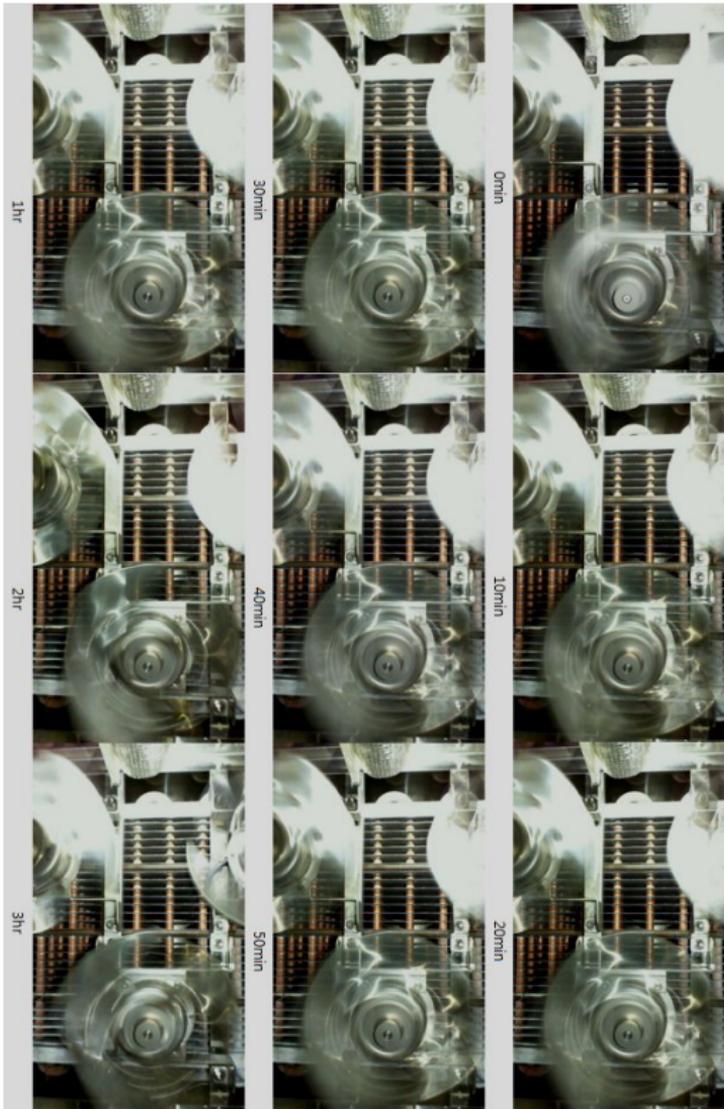
나. 고내 성에 착상 감시

냉동고내에서 발생하는 성에는 초기 고내에 풍부하게 분포하는 습기와 냉동해야할 대상에서 나오는 수증기로 기인한다. 성에 착상이 지연되도록 특수하게 설계된 냉동고의 고내 구조와 특수한 환류팬으로 인해 성에 착상이 지연되는 것을 확인하고, 성에가 착상되는 과정을 특수하게 제작된 고내 감시 카메라로 촬영된 사진을 아래에 보인다.

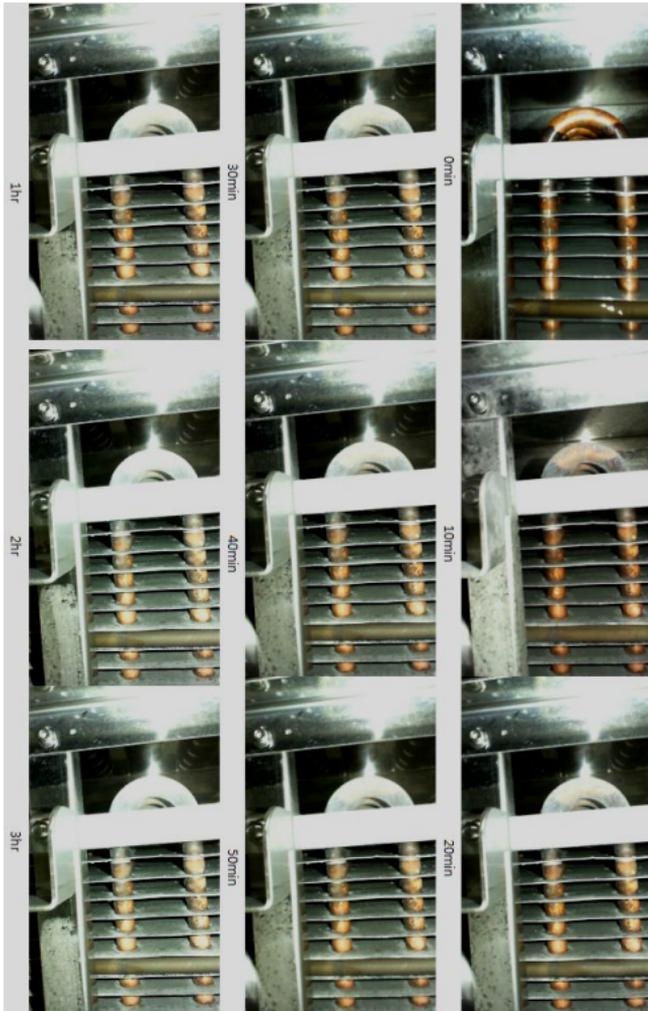
아래 첫 번째 촬영 정보는 일반적인 상황에서 촬영된 고내 열교환부인 핀코일의 약 1/3 영역의 성에 착상 정보와 성에 착상이 가장 심한 부분 중의 하나인 좌측 중앙부의 팬의 영향을 덜 받는 영역을 근접 촬영한 정보를 보인다. 일반적인 환경에서 약 3시간이경과하여도 핀코일의 주 열 교환부인 핀이 설치된 영역에 성에가 착상되는 정도가 아주 미미하며, 고내 공기가 핀코일의 뒷 부분으로 유입되는 핀코일의 최외곽 부분만 약간의 성에가 착상된다. 고안된 성에 착상 지연 방법을 사용하는 냉동고의 성에 착상 지연시간을 초기 열교환 효율과의 차이가 거의 없는 약 95% 이상의 열 교환 효율을 유지하는 시간을 성에 착상 지연 시간으로 하면 약 7시간 이상의 시간동안 성에 착상이 지연된다. 실험에서 사용한 냉동 대상은 고내에 장착하는 트레이에 약 4L의 물을 넣어 사용하였다.

아래 촬영 정보는 냉동고의 문을 약 10Cm 정도 개방한 가혹한 상태에서 성에 착상 정도를 촬영한 것으로 냉동고가 동작한지 약 30분 후에 팬의 영향이 없는 핀코일의 가장자리 부근에 약간의 성에가 착상하였으나, 3시간이 경과한 후에도 그 착상 양에는 거의 차이가 없었다. 또한 열교환이 가장 크게 일어나는 고내 냉각팬의 영향을 받는 영역에서는 성에 착상이 거의 발생하지 않음을 확인 할 수 있었다.

이는 팬의 동작에 의해 고내의 공기가 팬과 냉각 핀코일 사이에서 주로 열교환이 일어나는데, 고내 뒷벽으로 유입된 건조 공기가 고내에서 가장 압력이 낮은 냉각팬의 동작 영역으로 강하게 빨려 들어가서 습도가 높은 고내 공기가 냉각팬의 뒷부분으로 접근하는 것을 차단하기 때문인 것으로 사료된다.

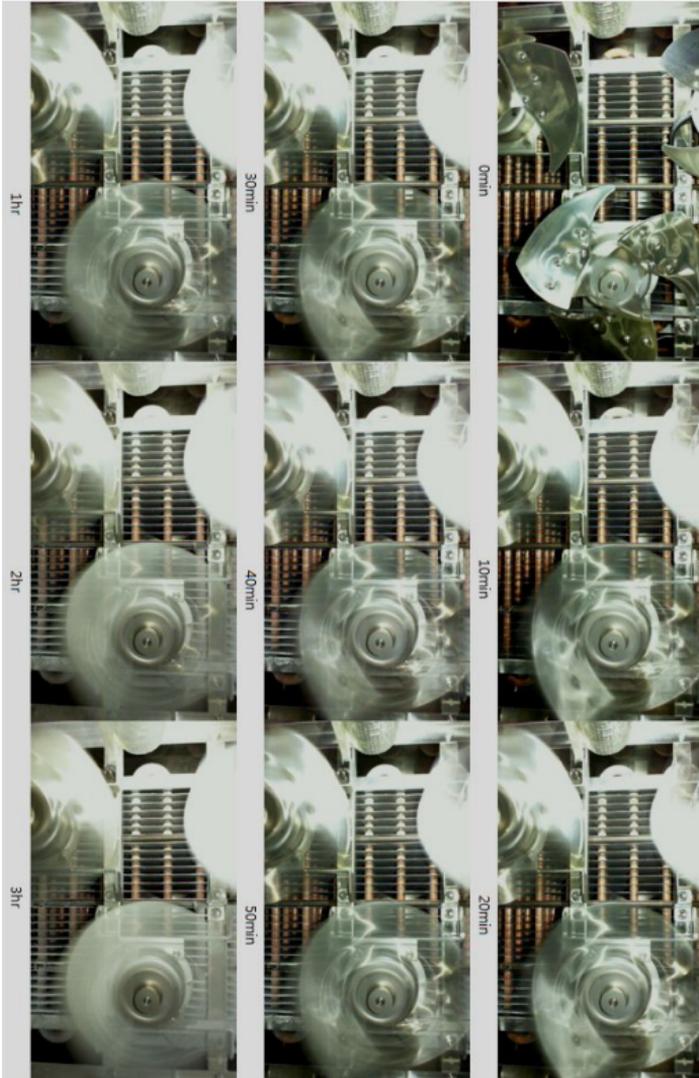


(a) 전체 촬영

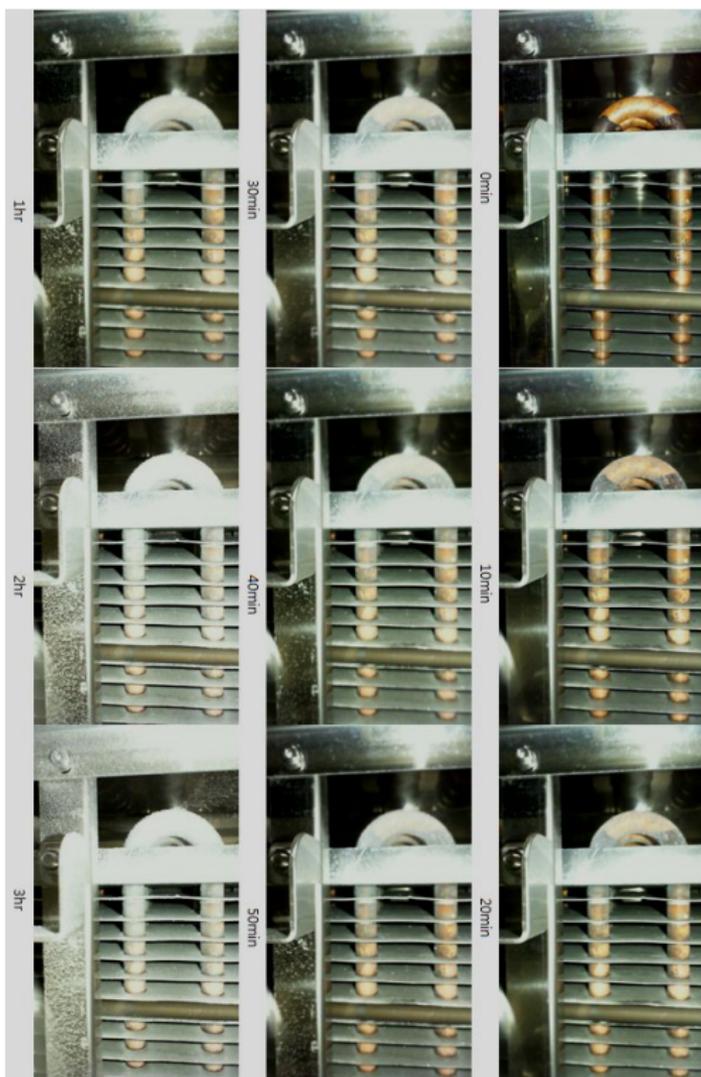


(b) 부분 촬영

그림 27. 일반 운전 조건에서 성에 착상 관측



(a) 전체 촬영



(b) 부분 촬영

그림 28. 가혹 운전 조건에서 성에 착상 관측 (도어 오픈)

다. 제상 히터

에어 블라스트 방식의 냉동고에서 성에 착상을 근본적으로 방지하는 것은 불가능하므로, 본 과제에 냉동고 내의 고내 제상 히터는 필수적이다. 하지만 일반적인 냉동시스템과 비교하여 훨씬 성에가 착상되는 정도가 적어서 오랜 시간동안 연속동작을 수행하여도 열교환 효율이 높기 때문에 제상 히터의 사용은 최소화된다. 고내 온도 변화가 최소화되면서 열교환 효율을 최대화 하기위하여 사용된 제상 히터의 규격은 다음 표와 같다. 일반적인 냉동 환경에서 약 7시간 동작 후 발생하는 성에를 5분 이내에 완전히 제상할 수 있도록 제상 시스템을 구현한다. 250W 제상 히터를 열 교환부 전면에 3개를 일정한 간격으로 설치하였다. 7시간 동작 후 발생된 성에를 제상하는 과정을 아래 그림에 보인다. 제상이 시작된 지 약 120초 후 열교환이 주로 이루어지는 핀코일 영역의 제상이 완료되었으며, 180초 이후에는 핀코일의 전 영역에서 제상이 완료되었다. 제상 시스템의 최적의 설계를 위하여 성에 착상이 심한 영역에는 용량이 큰 제상 히터를, 성에 착상이 미약한 부분에는 작은 용량의 제상 히터를 설치할 필요가 있다. 실험에 의해 최적화된 제상 히터의 규격은 표 16과 같다.

표 16. 최적화된 제상 히터의 규격

항목	용량	설치개수	계	길이	지름	설치 위치
규격	200W	2	400W	53cm	1.4Cm	좌우측 측면 1/5 지점
	100W	1	100W	53cm	1.0Cm	중앙
계		3	500W			



(a) 제상 전



(b) 제상 20초 후



(c) 제상 40초 후



(d) 제상 60초 후



(e) 제상 80초 후



(f) 제상 100초 후



(g) 제상 120초 후



(h) 제상 140초 후



(i) 제상 160초 후



(j) 제상 180초 후

그림 29. 제상 결과

4. 비관류 냉각시스템 및 fan 개발

냉각시스템에서 사용되는 냉각팬은 고내 공기를 핀코일과 접촉시켜 냉각된 공기를 고내에 공급하는 역할을 수행한다. 핀코일과 고내 공기의 접촉을 어떤 방식으로 하나에 따라 전체 시스템의 구조와 크기 및 열교환 효율이 달라진다. 냉각시스템의 열교환부인 핀코일을 관통하는 방식의 냉각시스템이 관류 냉각시스템이라 부르며, 그렇지 않은 방식을 비관류 냉각시스템이라 한다. 고내 공기가 핀코일을 관통하는 종래형의 방식은 열교환부인 핀코일과 공기의 접촉이 최대화되어 열교환 효율이 높기 때문에 널리 사용되는 방식이지만, 직접적인 핀코일과 고온다습한 공기의 접촉이 높아지므로 성에 착상이 활성화되는 단점이 발생한다. 일반적으로 냉동기혹은 냉각 시스템의 설계에 있어 관류형의 순환방식을 유지한 채 성에 착상의 단점을 해결하려는 노력을 집중하고 있는 것이 업계의 현실이다. 이는 공기 순환 방식의 냉각시스템에서 성에 착상을 근본적으로 막는다는 것이 불가능하기 때문이다. 하지만 성에 착상으로 인한 열교환 효율의 저하, 착상된 성에 제거를 위한 냉동기의 동작 중단 및 과도한 열 공급으로 인해 냉동 성능의 저하 및 과도한 에너지 소모를 감수할 수 밖에 없는 실정이다.

본 과제에서 열교환 효율을 저하시키는 성에 착상을 최소화하고, 열교환이 주로 이루어지는 곳에서만큼은 성에 착상을 근본적으로 방지하는 새로운 방식의 비관류 냉각시스템을 개발하기 위하여 냉각 팬의 설치 위치 및 그 구조에 있어 종래의 것과 확연히 다른 방법을 사용한다. 아래 그림에 종래형의 벨 마우스 방식의 팬과 특수 환류 팬의 모습을 보인다.



(a) 벨 마우스형 팬



(b) 특수 환류 팬

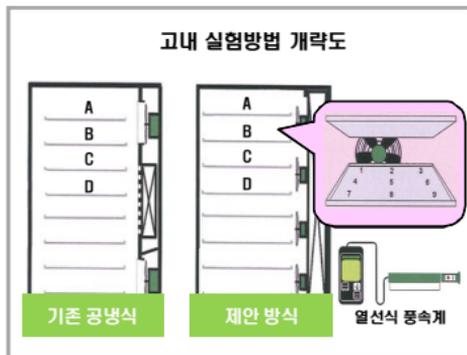


그림 30. 종래형 벨 마우스 팬과 특수 환류 팬

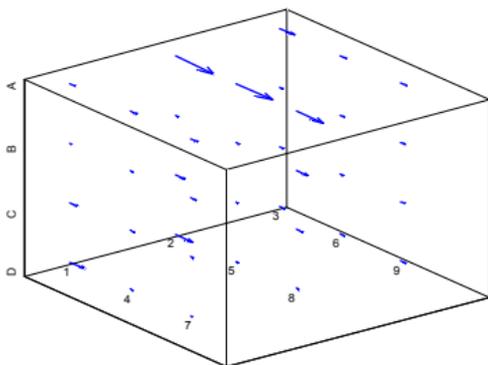
표 17. 종래형 벨 마우스 팬과 특수 환류 팬의 특징

항목	벨 마우스형 팬	특수 환류 팬
팬 영역의 풍속	강함	강함
팬 주변의 풍속	약함	조금 강함
공기 순환 원리	강제 송풍에 의한 대류	강제 송풍에 의한 혼합
고내 온도 편차	큼	작음
열교환부 관통 여부	관류형	비관류형

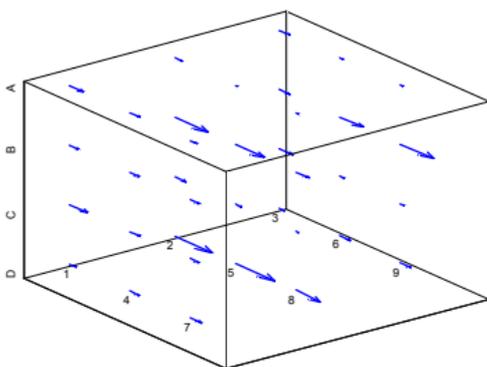
비관류 냉각시스템의 공기 유동 시뮬레이션을 위해 사용된 팬의 규격은 실제 파일럿 시제품에 적용되어 성에 착상의 최소화를 확인할 수 있었다. 아래 그림은 성에 착상 최소화 효과와는 별개로 특수 환류 팬을 사용했을 때 고내 풍속을 측정하여 설계된 팬의 효율성을 확인한다. 종래형의 일반 벨 마우스형의 팬은 강한 풍속을 얻기 위해 부착한 벨마우스로 인해, 공기 유동의 영향이 팬의 주변에서는 거의 없고 더 멀리, 강하게 송풍하는 이유로 고내 전체 영역에서는 자연적인 대류 현상이 가속화된다. 하지만 설계된 특수 환류팬의 사용으로 공기의 강제 혼합이 발생하여 전체적인 고내 온도 편차가 작아지고 고내에서의 열교환 효율이 증가하게 된다.



(a) 고내 풍속 측정의 개략도



(b) 기존 공랭식 풍속 (최대 2.75m/s, 평균 0.58m/s)



(c) 특수 환류팬 사용시 고내 풍속 (최대 5.23m/s, 평균 1.76m/s)

그림 31. 종래형 팬과 특수 환류팬 사용한 고내 풍속 비교

5. 냉동기 Pilot 시험장비 제작 및 시험

제작된 냉동기의 pilot 시제품의 동작을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다. 본 실험의 목적은 첫 번째로 냉동기의 에너지 소비 정도를 측정하여 냉동기 성능의 기본데이터를 확보하는데 있다. 또한 제상과 비제상시 동작시 에너지 소모량을 비교하여 제안된 시스템의 에너지 절감 효과가 어느 정도인지 비교 테스트를 통해 확인한다. 제안된 실험을 위한 실험 장치의 구성은 아래와 같다.

가. 실험 장치 구성

사용된 온도 센서 및 습도 센서와 소프트웨어는 Autonics사의 DAQ Master 시리즈이다.

제작된 Data Logger는 아래 그림과 같으며, 구체적인 온도 및 습도 센서의 규격을 아래에 제시한다.

(1) Data Logger



그림 32. 데이터 로거

- Software : Autonics DAQ Master
 - Sampling Time : 1sec
- DAQ Device
 - TK4S-T4C (Autonics) - 온도
 - TZ4M-T2C (Autonics) - 온/습도
- Sensor
 - 온도 센서 (5ea) - JPt100Ω K type
 - ±0.3%(상온), ±0.5%(상온 이외)
 - 습도 센서 (2ea) - THD-R (Autonics)
 - ±0.5℃, ±3% RH
 - 측정 조건 : 온도 -20~60℃
 - 측정 범위 : 0~90% RH

(2) 3상 전력계

냉동고의 사용중 실시간 소비 전력 측정을 위하여 사용된 3상 전력계의 사진을 아래에 보인다.



그림 33. Yokogawa 3상 전력계 WT1800

3상 전력계의 올바른 사용을 위한 연결도는 다음과 같으며, 전력계의 규격을 아래에 표기한다.

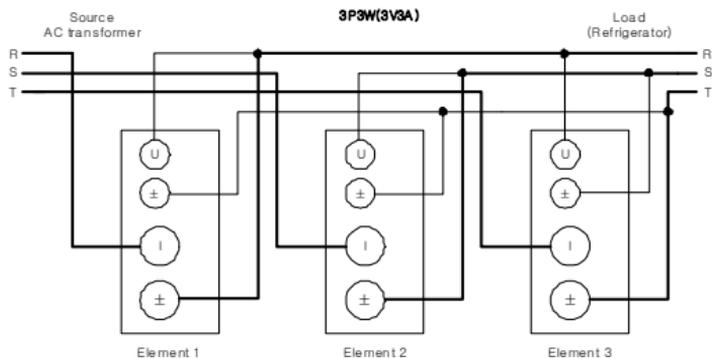
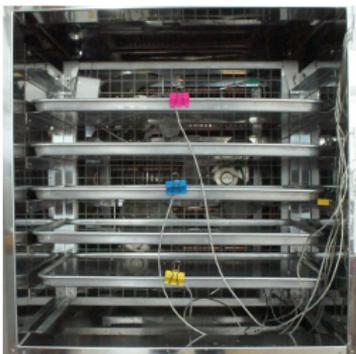


그림 34. 3상 전력계 연결

- 3상 전력계 WT1800의 규격
- Basic Power Accuracy $\pm 0.1\%$
- DC Power Accuracy $\pm 0.05\%$
- Voltage/Current Bandwidth 5 MHz*1 (-3 dB, Typical)
- Sampling Rate 2 MS/s (16-bit)
- Input Elements Max. 6
- Current Measurement 100 μ A to 55 A
- Fast data Capturing 5 ms Response *Max.1ms (When External Sync ON)

(3) 냉동고 Pilot 시제품



(a) 냉동고 Pilot 시제품의 고내 테스트 사진



(b) 제어용 온도센서와 측정용 온도센서



(c) 냉동부하(물)의 고내 설치 모습

그림 35. 냉동고 Pilot 시제품의 고내 테스트 사진

테스트를 위한 냉동 부하의 설치와 고내 온도 및 습도 센서의 배치를 아래 그림에 보인다. 설치 가능한 7개의 트레이의 최상단과 최하단을 제외한 중앙부 5개의 트레이에 각각 4L의 수돗물을 채워 넣었다. 3개의 온도 센서를 냉동 부하인 물의 온도를 측정하기 위하여 트레이 내부에 설치하였으며 원래 트레이가 장착되어야 할 위치인 최상단과 최하단의 중앙부에 습도센서와 온도센서를 각각 하나씩 설치하였다.

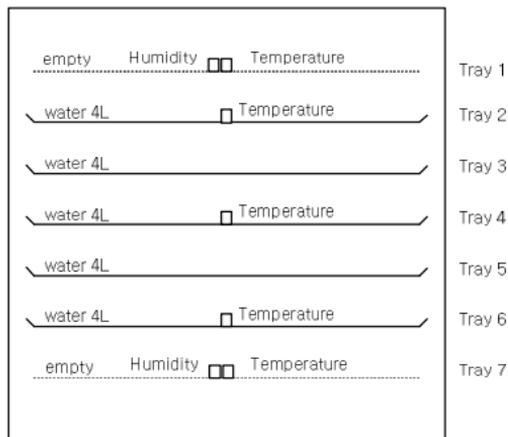


그림 36. 고내 냉동부하(물), 온도/습도 센서의 배치

(4) 성능 실험

성능 실험을 위한 조건은 표 18과 같이 설정 온도를 -18°C 와 -35°C 두 가지로 설정하여 테스트를 진행하였으며, 제상 주기는 모든 경우에 대하여 1시간 45분의 냉동 동작 후 15분의 제상을 수행하였다. 냉동 부하로 상기에 설명한 것과 같이 물 20L를 5개의 트레이에 균등하게 배치하였으며, 비제상 운전은 약 23시간 이상, 제상 운전은 약 14시간 정도 테스트를 수행하였다.

표 18. 성능 실험의 기본 설정

설정 온도	-18℃	-35℃
제상 주기	1hr 45min 냉동, 15min 제상	1hr 45min 냉동, 15min 제상
냉동 부하	물 20L	물 20L
실험 시간	비제상 (23시간 이상), 제상 (14시간)	

• 실험 1. 설정 온도 : -35℃

설정 온도 -35℃인 경우 제상 및 비제상 운전 모두 동작 초기에 약 2788W/h의 소비전력이 필요하다. 고내 온도가 -35℃에 도달하더라도 냉동부하의 심부 온도가 -35℃ 되기까지는 상당한 시간이 필요하여 약 2시간 30분 정도의 시간이 지난 후에야 냉동고의 동작이 잠시 멈추었으며, 이후 설정 온도가 약간 상승하게 되고 다시 냉동기의 동작이 수행되어 설정 온도에 도달하는 반복적인 패턴의 동작을 보인다.

이때의 소비 전력은 약 791.5W/h 이며, 성에의 착상이 아주 미미하다는 것을 알 수 있다. 모든 조건이 동일함에도 불구하고 약 17시간 30분 정도의 시간이 흐른 후에 소비전력이 약 1086.9W/h로 증가함을 측정된 그래프의 기울기를 통해 알 수 있는데, 이는 성에 착상이 열교환 효율에 영향을 미쳤기 때문이다. 냉동 부하로 물 20L를 균등하게 5등분하여 트레이에 설치하여 동작하였을 때 약 17시간 30분 동안은 성에 착상에 의한 열교환 효율의 저하가 미미하여 성에 착상이 지연됨을 알 수 있고, 이후에 성에 착상이 열교환 효율의 저하로 나타난다.

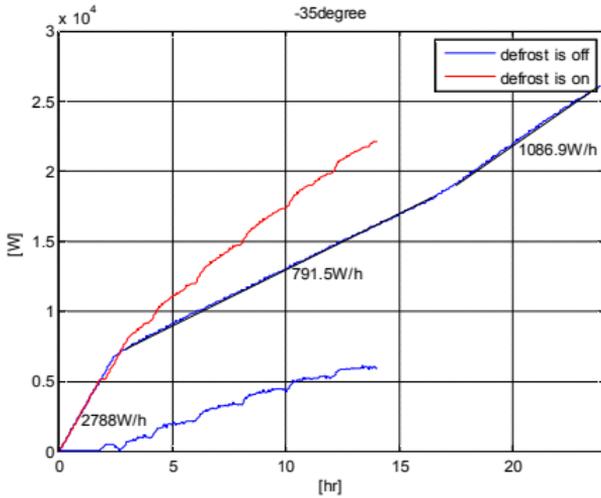


그림 37. 제상 비제상 운전시 에너지 소비량 비교 (설정온도 -35℃)

제상과 비제상 운전시 나타나는 에너지 절감은 동작 후 약 14시간이 지난 후에 약 26.8%의 절감 효과를 보인다. 제상시 에너지 소비량은 약 463W이고, 제상 후 냉동부하의 온도 변화는 최대 약 3.5℃로 나타났다. 제상 후 고내 온도 변화는 최대 19.1℃, 최소 20.7℃로 비교적 크게 나타났는데, 그 이유는 제상 히터와 측정용 온도센서의 위치가 가깝기 때문이다. 제상 후 고내 온도 상승으로 인해 동작되는 냉동기의 동작 시간동안의 소비전력은 약 1003W로 21분 23초 정도 동작하였다.

표 19. 제상 비제상 운전 비교 (설정 온도 -35℃)

	비제상	제상
초기 운전시 에너지 소비량	2785W	2790W
제상이후 에너지 소비량	-	2810W
제상시 에너지 소비량	-	463W
제상후 냉동부하의 온도 변화		3.5℃
제상후 고내 온도 변화		최대 19.1℃, 최소 20.7℃
제상후 가동 시간(소비전력)		21min 23sec(1003W)
에너지 절감 (14시간 후)	73.2%(26.8% 절감)	100%

아래 그림은 비제상 동작 후 성에 착상 정도를 (-35도 설정, 24시간 동작) 촬영한 것으로 2시간 30분후 고내 냉동 부하인 물이 완전히 고화되어 성에 착상이 아주 미미한 것으로 확인되었다.



(a) 위상단 핀 코일



(b) 좌중단 핀 코일



(c) 우하단 핀 코일

그림 38. 비제상 동작후 성에 착상 정도 (-35도 설정, 24시간 동작)

• 실험 2. 설정온도 : -18°C

설정온도가 -18°C 인 테스트는 비제상 운전시 24시간이 넘도록 수행되었다. 실험이 수행되는 동안 정상상태에서 측정된 소비 전력 그래프의 기울기의 변화가 없는 것으로 확인되어 성에 착상으로 인한 열교환 효율의 저하를 확인할 수 없었다. 이는 -18°C 실험에서 24시간 동안 성에 착상이 미미한 것으로 해석할 수 있다. 정상상태에서 약 141W/h 의 소비전력이 필요하며, 초기 운전시 약 2788W/h 의 전력이 필요하였다.

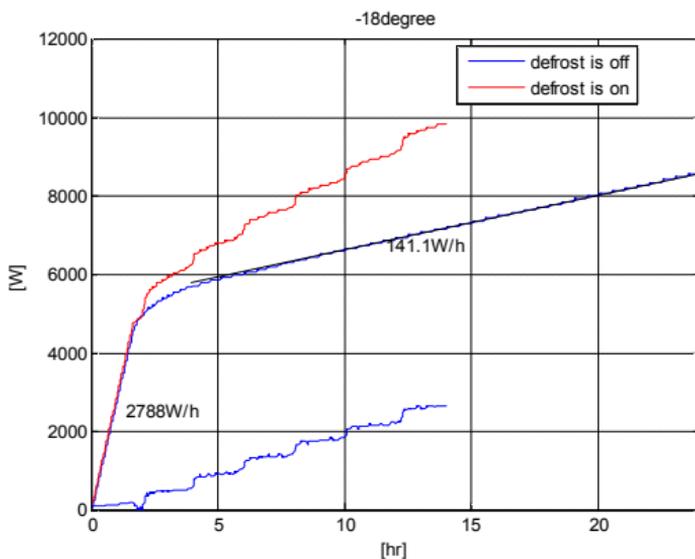
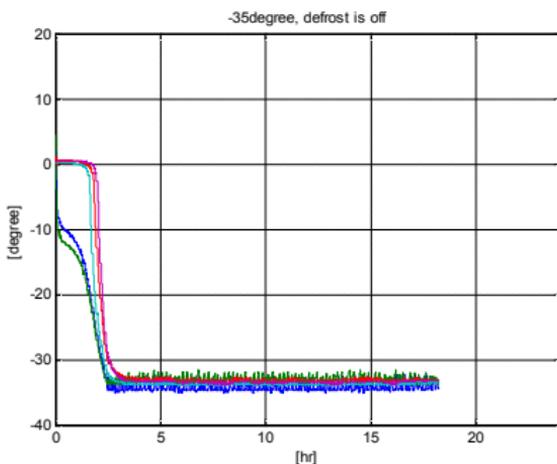


그림 39. 제상 비제상 운전시 에너지 소비량 비교 (설정온도 -18°C)

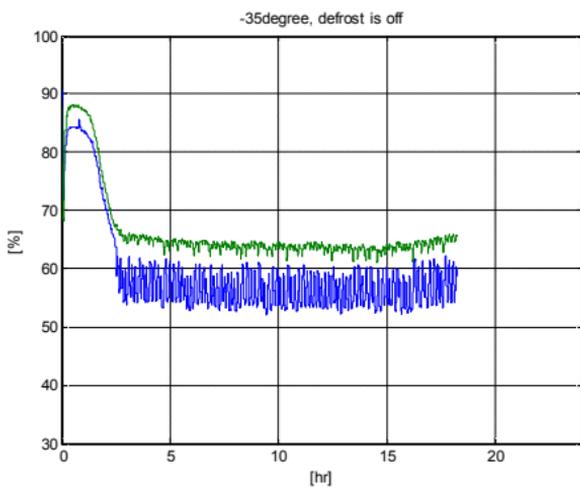
표 20. 제상 비제상 운전 비교 (설정온도 -18℃)

	비제상	제상
초기 운전시 에너지 소비량	2785W	2790W
제상이후 에너지 소비량	-	2920W
제상시 에너지 소비량	-	461W
제상후 냉동부하의 온도 변화	-	-
제상후 고내 온도 변화	-	최대 17.2℃, 최소 13.5℃
제상후 가동 시간(소비전력)	-	6min 33sec(270W)
에너지 절감 (14시간 후)	72.9%(27.1% 절감)	100%

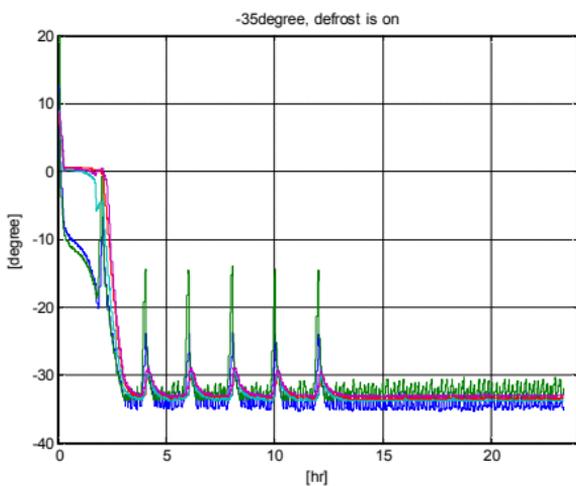
제상 이후 에너지 소비량은 2920W이며, 제상시 에너지 소비량은 약 461W이다. 또한 제상 후 고내 온도 변화량은 최대 17.2℃, 최소 13.5℃으로 확인되었으며, 제상 후 가동시간은 약 6분 33초이며 이때의 소비전력은 약 270W이다. 아래 그림은 비제상/제상 운전시 고내 온도와 습도의 변화를 나타낸 데이터이다.



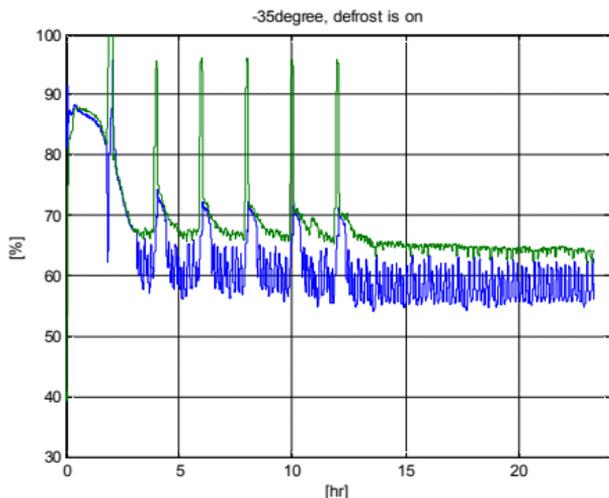
(a) 비제상시 고내 온도 변화



(b) 비제상시 고내 습도 변화



(c) 제상시 고내 온도 변화



(d) 제상시 고내 습도 변화

그림 40. 비제상/제상 운전시 고내 온도/습도 변화

6. 슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 흐름 시뮬레이션 수행

가. 시뮬레이션 수행 및 활용 계획

냉각시스템의 효율적인 운운을 위해 냉동실의 냉기흐름 파악 및 냉기속도 분포 특성, 냉각기의 위치 및 개수 등의 최적 운전 조건 도출 등 다양하고 많은 case의 해석이 필수적이다. 보다 정밀한 해석결과와 획득 및 최적설계(안)의 도출을 위해 수백만개 이상의 대규모 유한요소의 생성과 다양한 조건에서의 설계최적화 과정이 필요하며 이를 위해 대규모의 컴퓨팅 자원의 활용이 필요하다. 또한 이를 통해 설계시간 및 성능 평가의 기간을 대폭감축하고 빠르게 변화하고 있는 냉각시스템 시장에서의 경쟁력 확보가 가능할 것이다.

한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 보유하고 있는 슈퍼컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고자 한다. pilot 실험장비를 이용하여 기초 실험을 수행하고

실험 후 도출된 기초 변수를 결정한다. 변수 선정 후 실제 슈퍼컴퓨터에서 구동되는 유동 해석 프로그램 S/W(Fluent, CFX 등)을 활용하여 시뮬레이션을 수행한다. 사용가능한 슈퍼컴퓨터로는 IBM p595장비 및 SUN C48이 있으며 기존 모델에 대한 해석은 IBM p595장비를 활용하고, 최적 설계를 도출하기 위해 다양한 변수를 설정하여 시뮬레이션을 실행할 경우 SUN C48장비를 활용한다.

표 21. 연구개발내용에 따른 이용 장비 및 S/W

내 용	이용장비	S/W
비관류순환 냉각시스템 모델링	PC	CAD 프로그램 활용
냉각시스템 유동 해석	IBM p595	Fluent, CFX 등 활용
해석 결과 분석	--	--
다양한 CASE에서의 설계최적화	SUN C48	Fluent, CFX 등 활용
해석 결과를 시제품에 반영	--	--

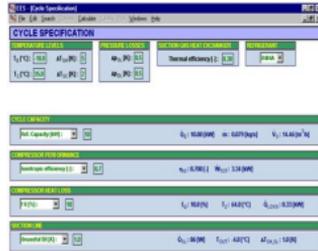
나. 냉동기 설계 툴

고내 공기 유동의 시뮬레이션과는 별도로 냉동기의 스펙을 결정하기 위한 냉동기 설계 툴을 냉동기 전문 설계 툴인 Coolpack을 사용하였다. Coolpack은 덴마크 기술 대학에서 개발된 냉각 시스템을 위한 시뮬레이션 모델의 모음이다. 각 모델은 각각 사이클 분석(공정 설계), 시스템 치수, 시스템 시뮬레이션, 구성 요소 계산, 운영 조건 분석, 과도 시뮬레이션, 냉매 계산, 라이프 사이클 비용 등으로 구성되어 있다.

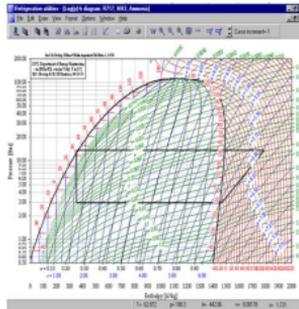
Coolpack은 최저온도 설정을 위한 냉매 결정, Evaporator, Compressor 규격 등 냉동 사이클 전반의 규격을 설정하는 용도로 사용된다. Coolpack을 사용한 냉동기 규격 설계의 예와 설정된 냉동기의 규격을 아래 그림에 보인다.



(a) Evaporator 규격 설계 예



(b) 냉동사이클 규격 결정 예



(c) 냉동기 P-h선도

그림 41. Coolpack 설계 예

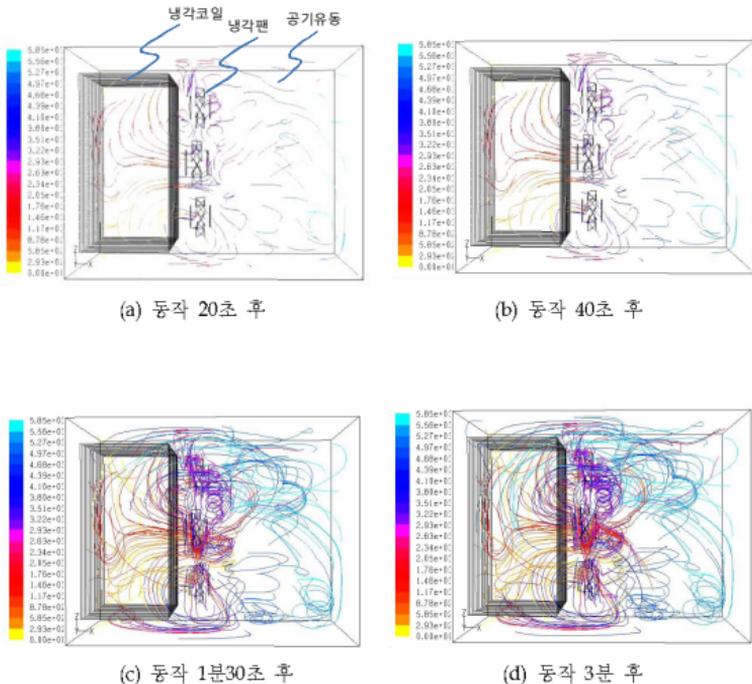
표 22. 설계된 냉동기의 규격

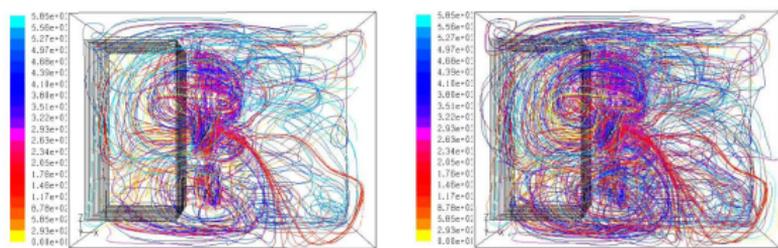
항목	설정온도	냉매	팬의 용량/수량	압축기 용량	내부 용량/ 적재용량	제상히터 용량/수량
규격	-35℃	R404	- KW/3	--KW	400L/ 300L	200W/2, 100W/1

다. 냉동기 공기 유동 시뮬레이션 결과

슈퍼컴퓨터에 의해 결정된 냉동기의 고내 유동 시뮬레이션 결과를 아래 그림에 보인다.

일반적인 냉동 시스템과 달리 특수 환류 팬이 순환시키는 고내 공기는 열교환부 전체를 관통하지 않는다. 아래 그림에서 보이는 것과 같이 냉각팬의 동작으로 냉각팬 뒤쪽의 냉각코일의 열교환 효율을 증대시키기 위한 핀 코일은 세로 방향으로 설치된다. 냉각팬에 의해 냉각코일부의 압력이 낮아지고, 낮은 압력을 평형상태로 유지시키기 위하여 고내의 공기가 냉각코일부로 이동하는데 있어, 종래형의 경우 냉각팬에 의해 이송되는 모든 공기가 냉각코일을 관통하였지만, 제안된 방식의 경우 이송되는 공기의 일부만이 냉각코일과 접촉한다. 대부분의 열교환이 이루어지는 냉각코일과 냉각팬 사이의 공간에서 가장 큰 접촉을 보임을 알 수 있다.





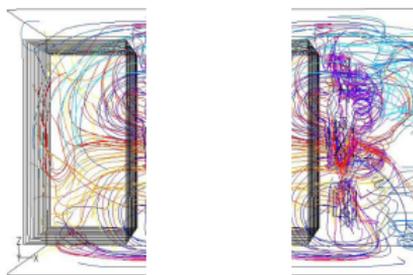
(e) 동작 6분 후

(f) 동작 10분 후

그림 42. 냉동기 공기 유동 시뮬레이션 결과

종래형 냉동시스템의 주 열교환부인 냉각코일부의 공기의 유동을 보면 코일 전면부에 설치된 팬의 동작에 의하여 고내 공기가 냉각코일부의 세로로 설치된 핀의 상하부로 유입되어 팬을 통과하게 된다. 고내의 고온 다습한 공기가 핀 코일부와 최초로 접촉하는 부위인 상부와 하부에 다습한 공기가 고화되어 성으로 착상하여 건조하고 차가운 공기가 된다. 따라서 성에 착상은 그림에 보이는 상부와 하부에서 발생하며, 시뮬레이션 결과에서는 나타나지 않았지만, 고내 뒷부분으로 공기 유입을 유도하기 위하여 배치된 가이드를 따라 측면에서 성에 착상이 발생한다. 그러나 주된 팬과 핀코일 사이의 공간에서 공기의 접촉과 이동이 가장 많으므로 핀코일 테두리 부분의 성에 착상은 비교적 적은 편이다. 핀코일부와 냉각팬 부위의 더 상세한 공기 유동은 아래 그림과 같다.

열교환부를 통과하는 고내 공기는 냉각팬을 통과하는 전체 공기의 약 30% 정도이므로 나머지 약 70%의 고내 공기가 팬과 냉각코일 사이에서 열교환이 이루어진다.



(a) 핀코일부의 공기 유동

(b) 냉각팬 부위의 공기 유동

그림 43. 열교환부의 상세 유동 (동작 3분후)

라. 성에 착상 지연을 위한 고내 공기유동 분석

성에 착상 지연을 위한 시뮬레이션 결과 중 한 예를 검증하기 위한 실제 시스템의 모형을 제작하여 공기 유동을 확인하였다. 열교환부와 고내 저장 공간은 분리판넬이라 불리는 판넬에 의하여 물리적으로 분리되어 있고, 분리판넬의 한쪽 측면을 따라 고내 공기를 흡입할 수 있는 좁고 긴 슬릿을 구성하였으며, 반대쪽 측면에 열교환부의 공기를 흡입할 수 있는 강력한 팬이 설치되어 있다. 흡입구의 위치와 팬의 용량, 유입 슬릿의 길이와 너비에 따라 공기의 흐름이 달라지며, 성에 착상이 최소화되도록 공기의 흐름을 확인한다. 이는 슈퍼컴퓨터를 이용한 시뮬레이션의 원리와 동일하며, 열교환부 내부의 핀코일은 고내에서 열교환부로 유입되는 공기가 관통되지 않도록 하면서 열교환부 내부의 공기유동에 영향이 없도록 설치된다. 유입슬릿 인근에 설치된 방향변환장치는 열교환부 내부의 공기의 흐름을 강제적으로 조정하기 위한 것으로 유입슬릿과 가까울수록 효과가 크며, 국부적인 공기 유동의 변화를 주기 위하여도 사용이 가능하다. 아래 그림에서 방향 변환장치의 영향으로 열교환부 전체의 공기의 유동이 반시계 방향을 유지하지만, 열교환부가 없다면 공기의 유동이 시계방향으로 유지하게 된다. 열교환부의 중앙에는 핀코일이 배치되어야 한다. 핀코일의 배치 유무에 따라 지역적인 공기 유동의 변화가 발생하지만, 전체적인 공기 유동의 변화와는 무관하므로 최초 실험에서는 핀코일의 배치를 생략하고 전체적인 공기의 유동 추이를 확인한다.

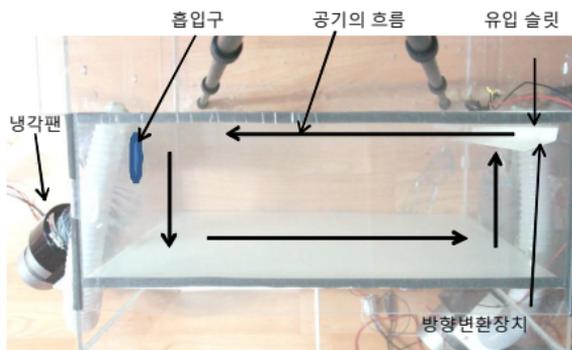


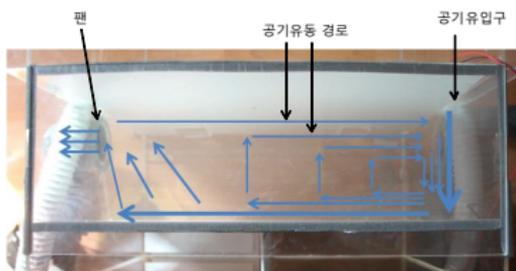


그림 44. 성에 착상 최소화를 위한 고내 공기 유동 테스트 진행 예

아래 그림은 공기 유입구 근처의 방향변환장치의 유무와 내부 핀코일의 설치 유무에 따른 열교환부 내부의 공기 유동의 전체적인 흐름을 분석한 결과이다. 초당 30프레임의 HD 영상으로 녹화된 영상을 jpg 파일로 변환하여 공기의 유동을 matlab에서 분석하였다.

공기의 유동을 확인하기 위하여 유리섬유 풍치 외곽을 열선으로 감싸고 파라핀을 적셔 만든 연기발생장치를 사용하였으며, 불완전 연소시킨 파라핀의 흰색 연기로 공기의 유동을 확인하였다. 연기발생장치의 구동을 위하여 약 9.5V, 6A의 정전압을 공급하였다.

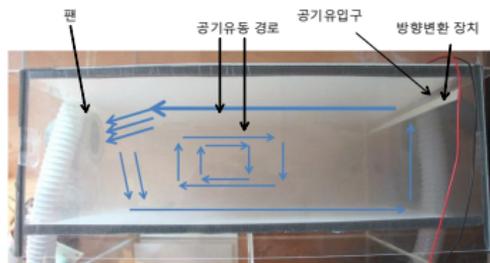
아래 그림 (a)의 열교환기가 없을 때 공기 유동 분석 결과는 상기 그림의 분석 결과와 거의 동일한 것으로 확인되었으며, (b) 열교환기가 있을 때 공기 유동 분석 결과는 전체적인 공기의 흐름의 양상은 동일하였으나 물리적으로 핀코일이 차지한 영역에서 발생했던 작은 범위의 공기 회전이 어려워졌으며, 열교환부 좌우측에서 국부적인 맴돌이 회전이 발생함을 확인할 수 있었다.



(a) 열교환기가 없을 때 공기 유동 분석 결과



(b) 열교환기가 있을 때 공기 유동 분석 결과



(c) 공기 유동 방향 변환시 공기 유동 분석 결과

그림 45. 성에 착상 지연을 위한 고내 공기 유동 테스트 결과

7. 냉동 및 해동 전후의 품질 변화 연구

가. 식품의 냉동/해동 실험

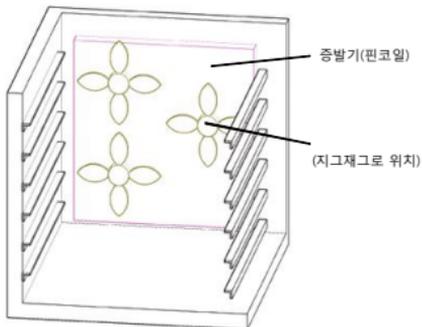
(1) 실험 장치

(가) 냉동고 Pilot 시제품

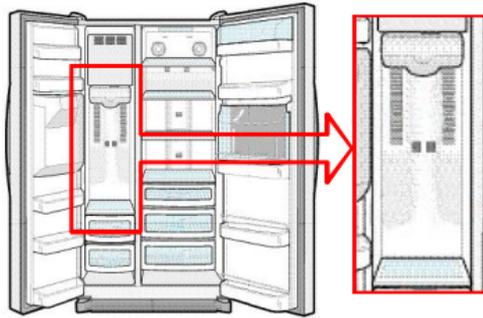
냉동의 4 Cycle을 갖는 냉동기의 핀코일 전면에 3개의 입체 냉동 환류 팬이 지그재그 방향으로 설치되는 개방형 구조이다. 환류 팬의 제어를 통해 와류가 발생하고 성에 착상이 지연되도록 구현되었다.

(나) 일반 냉장고의 냉동실(Model : 삼성 Zipel, SR-S7580)

냉동의 4 Cycle을 갖는 냉동기로 덕트형 유로 구조를 가지는 일반 냉장고의 냉동실의 급속 냉동 기능을 사용하였다. 아래 그림은 실험에 사용한 냉동고 Pilot 시제품과 일반 냉장고의 냉동실 내부 구조를 나타낸 것이다.



(a) 급속 냉동고 Pilot 시제품



(b) 일반 냉장고의 냉동실

그림 46. 실험에 사용된 급속 냉동고 Pilot 시제품과 일반 냉동고

(다) 측정 장치

온도센서(JPT100Ω - L=5cm), 온도 컨트롤러(디스플레이용), 시그널 컨버터(RS485 to RS232), PC(데이터 로그, Logger program : DAQ Master)

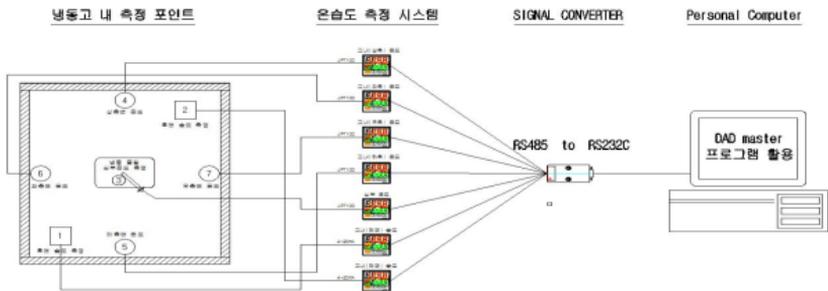


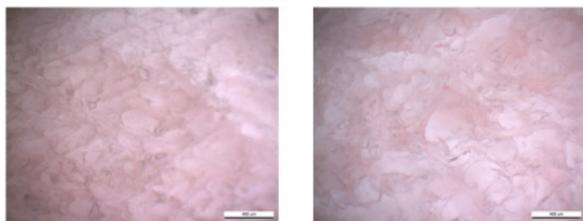
그림 47. DAQ 장치

나. 냉동 패치고기의 냉동/해동 품질 실험 결과

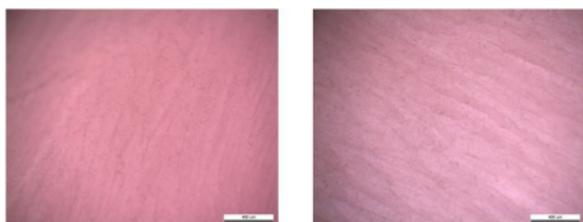
생활수준이 향상되고 식생활 문화가 개선되어 식품에 대한 국민의 관심이 양적인 측면에서 질적인 측면으로 변화하면서, 여러 가지 식품 저장 및 보관 장치들이 점차 고급화되고 다양화되고 있는 추세이다. 특히, 냉동고는 식품의 신선도를 유지시키고 저장기간을 늘려주며 사용이 용이하기 때문에, 일반 가정에서 널리 사용되고 있다. 일반적으로 사용되는 간접식 가정용 및 산업용 냉동고는 열교환기를 통과한 건조한 냉기를 팬을 통하여 직접 식자재에 공급하므로, 냉동 과정에서 식자재 표면의 수분이 쉽게 증발되어 냉동 건조 현상으로 드림이 발생하는 등 식품의 품질이 저하될 수밖에 없는 구조를 가진다. 낮은 최저 온도 설정으로 급속 냉동이 가능하고, 냉동 대상의 수분 감소가 적어 식품의 냉동 및 해동 품질이 우수함을 실험으로 보인다.

(1) 냉동 품질

최대 빙결정 생성역 통과시간 측정을 위하여 사용된 식재는 돈육 후지를 100 X 50 X 30(mm) 로 가공하였으며, 돈육 세포사진 측정용 실험을 위하여 사용된 식재는 돈육 후지를 10 X 10 X 5 (mm) 로 가공하였다. 최대 640배 배율까지 측정이 가능한 Leica사의 DE/DM EP 광학현미경을 사용하여 냉동된 식재의 내외부 모습을 촬영하였다. 냉동된 식재 시편을 드라이아이스로 충전된 상자에 담아 현미경 촬영을 위해 40분 정도 이동하였으며, 현미경 촬영 중 시편의 해동을 방지하기 위하여 현미경 시편 관찰부에 드라이아이스를 올려놓았으며 현미경 바로 옆에서 드라이아이스 상자 내부에서 냉동 시편을 촬영에 적절한 사이즈로 절단하는 등의 과정을 진행하여 냉동 시편의 변화를 최소화하도록 하였다. 아래 그림은 완만 냉동 및 급속 냉동된 돈육의 내부 절단면의 현미경 사진이다. 완만 냉동의 경우 냉동 상태의 절단면에 그림과 같은 얼룩형태의 자국이 과도하게 나타났으며, 급속 냉동의 경우 미세한 선형의 자국이 우세하게 나타났다. 광학 현미경으로 세포 내 수분의 얼음 알갱이를 촬영하는 것은 불가능하였으나, 완만 냉동과 급속 냉동의 차이를 확인할 수 있는 정도로 큰 시료의 차이를 확인할 수 있었다. 냉동 식재의 외부 촬영 정보는 미세한 얼음 알갱이의 크기에 있어서 완만 냉동보다 급속 냉동의 경우 입자가 더욱 작고 균일한 양상을 보임을 확인할 수 있었다.

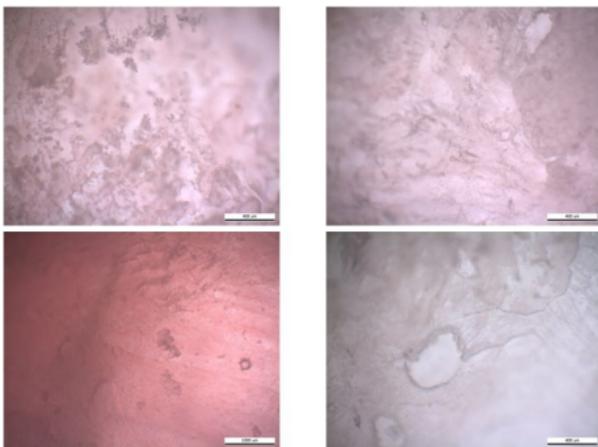


(a) 완판 냉동

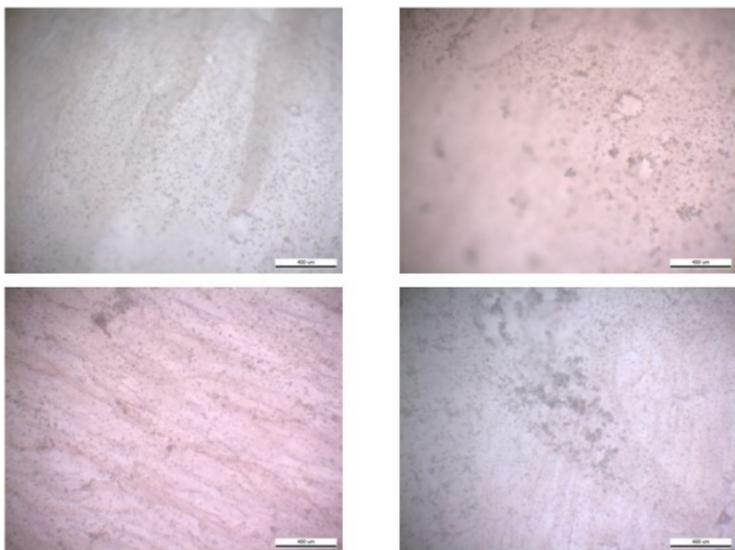


(b) 급속 냉동

그림 48. 내부 절단면의 현미경 사진



(a) 완판냉동



(b) 급속냉동

그림 49. 냉동 돼지고기 표면의 현미경 사진

(2) 해동 품질

가장 널리 사용되는 냉동 식재의 품질을 확인하는 방법 중의 하나가 동일한 조건에서 해동시킨 후 그 품질을 확인하는 것이다. 급속 냉동 후 그리고 완만 냉동 후 18℃에 약 5시간 자연 해동 시킨 결과를 아래에 보인다.

(가) 급속 냉동 후 해동 품질

5 X 10 X 3 Cm 126g의 돈육을 파일렛 냉동기 시제품에서 급속냉동 후, 설정온도 -25℃로 44시간 35분 보관하였다. 냉동 후 관찰된 내용은 전체적으로 균일하게 냉동되었음을 확인 할 수 있었으며, 겉표면에 하얗게 서리가 생겼지만 심하지는 않았으며, 수분 건조 등에 의한 변질(품질열화) 부분은 관찰되지 않았다. 자연 해동 후 손으로 눌러봤을 때 약간 무르며 탄력이 있었으며, 겉 표면이 매우 촉촉하나 얇은 막이 느껴졌다. 또한 지방 부분의 경우 약간 건조되어 찰진 느낌을 보였으며 고기부분 겉 표면이나 지방 부분에 품질 열화는 관찰되지 않았으며, 고기 부분의 투명하고 붉은색도 그대로 유지되었다.

전체적으로 품질을 평가해보면 고기색이나 지방색이 자연 상태의 시편과

유사하기는 하지만, 손으로 만져봤을 때 겉 표면에 필름처럼 얇은 막이 느껴졌으나
 완만 냉동보다 아주 우수한 품질을 보여주었다. 또한 고기나 지방의 모서리에 건조된
 부분이 미세하게 관찰되었다. 아래 사진은 냉동 전/후 그리고 해동 후 시편의
 상태를 보인 것이다.



(a) 냉동 전



(b) 냉동 후



(c) 해동 후

그림 50. 급속냉동 돼지고기의 냉동 전/후, 해동 후 품질 비교

(나) 완만 냉동 후 해동 품질

5 X 10cm 크기의 두께 3cm 돼지고기 126g을 일반 냉동고에서 -18℃로 46시간 냉동하였으며 18℃ 실온에서 약 5시간동안 자연 해동 하였다. 냉동 후 고기부분의 색을 찾아 볼 수 없을 정도로 품질 열화가 심하였으며, 고기의 붉은 부분이 하얗게 변성되었으며, 균일한 냉동이 이루어지지 않아 냉동 얼룩이 부분적으로 발생하였다.

자연 해동 후에는 손으로 눌러봤을 때 무르며 탄력이 있으나 겉 표면은 전체적으로 뻣뻣하고 거칠며 나무껍질 느낌이 났으며, 고기 부분 겉 표면 전체에서 품질 열화가 관찰되었으며, 품질 열화 부분을 손으로 잡아당기자 고기 결 그대로 찢어지는 상태를 보여주었다. 지방 부분도 손으로 눌러봤을 때 겉이 딱딱한 느낌이 나며 표면이 거칠고 질겨진 느낌이었으며, 고기 부분과 지방 부분 모두 매우 건조의 정도가 심하였다. 아래 그림에 완만 냉동 후 자연 해동 시킨 시료의 상태 사진을 보인다.



(a) 냉동 후



(b) 해동 후

그림 51. 완만 냉동 돼지고기의 냉동 전/후, 해동 후 품질 비교

(다) 급속/완만 냉동, 해동 품질 비교

급속 및 완만 냉동 후 동일한 조건에서 자연 해동 시킨 대상의 측정 데이터를 아래 표에 보인다. 아래 표의 실험 결과는 두께 3Cm의 돈육 시편 각 10개씩을 급속 냉동과 일반 냉동한 후 자연 해동한 평균값을 보인 것이다.

표 23. 급속 냉동과 일반 냉동후 품질 비교표

항목	급속 냉동	일반 냉동
냉동전 질량	125.6g	128.7g
냉동시 질량감소 g (%)	2.3g (1.8%)	5.3g (4.1%)
해동시 질량감소 g (%)	3.0g (2.4%)	4.5g (3.5%)
총 질량감소 g (%)	5.3g (4.2%)	9.8g (7.6%)
냉동 후 건조상태 (육안검사)	보통	불량
드립 양	보통	많음
해동 후 건조 상태 (육안검사)	보통	불량
품질열화 발생부위	무	유

제 3 절. 3차년도 연구개발수행 내용 및 결과

1. 시뮬레이션 결과 분석

가. 해석모델

(1) 해석모델

최종 시제품의 제작을 위한 공기 유동 해석을 위해 아래 그림 52와 표 24와 같은 규격의 해석모델에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 열교환부를 포함한 고내 전체 사이즈는 740 mm × 660 mm × 900 mm로 약 0.439m³이며, 열교환기의 사이즈는 약 620 mm × 470 mm × 250 mm에 해당한다. 직경 25Cm, 무게 약 4.1Kg의 냉각 팬은 벨마우스가 없는 개방형 타입으로 200VAC 60Hz 3상 전원에서 약 50W의 전력을 소비하며, 단위 시간당 최대 풍량은 약 1140m³/h이다.

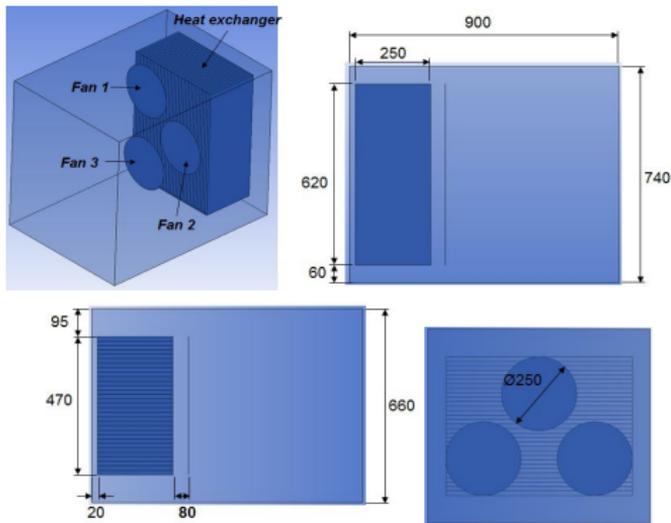


그림 52. 해석 모델의 규격

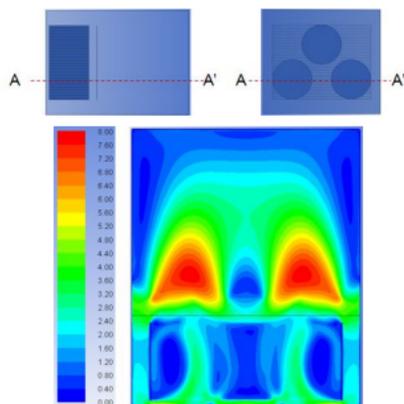
표 24. 해석 모델의 규격

모델 항목	규격
챔버 사이즈	740 mm × 660 mm × 900 mm
열교환기 사이즈	620 mm × 470 mm × 250 mm
팬 사이즈	Ø250 mm × 3 ea
팬의 가압비약	50 Pa
팬과 열교환기 사이의 거리	80 mm

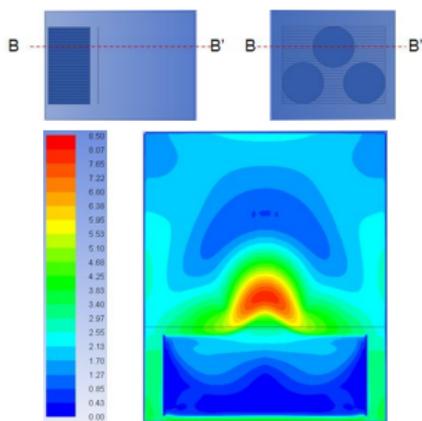
(2) 모델 해석

(가) Velocity contours

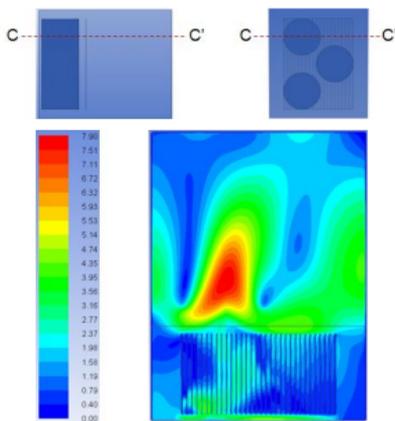
A-A' 단면에서의 속도 해석은 검토하면 팬 뒷부분의 속도가 비교적 높으며 팬이 위치하는 핀-코일 부분의 중앙부분의 속도 또한 비교적 높다. 시뮬레이션 결과 열교환부 내의 유동 속도가 상대적으로 높은 영역으로 고내의 공기가 주로 이동하므로, 이 부분의 성에 착상이 예상된다. B-B', C-C', D-D' 영역 또한 팬 설치의 비대칭으로 인한 공기유동의 변화가 예상되며 공기의 유속이 빠른 열교환부 영역일수록 많은 집축이 발생하며 많은 성에 착상이 예상된다.



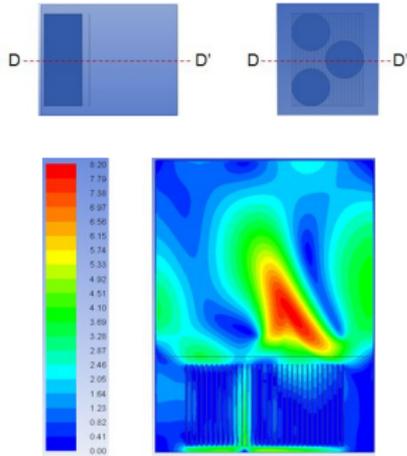
(a)



(b)



(c)

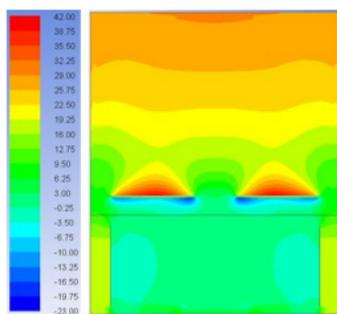
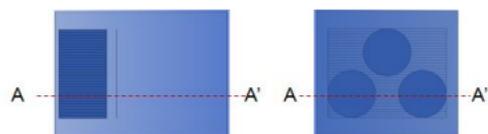


(d)

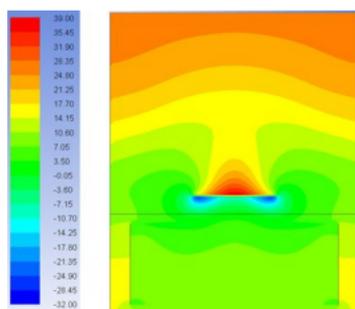
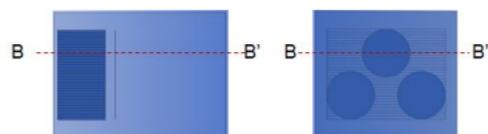
그림 53. Velocity contours

(나) Pressure contours

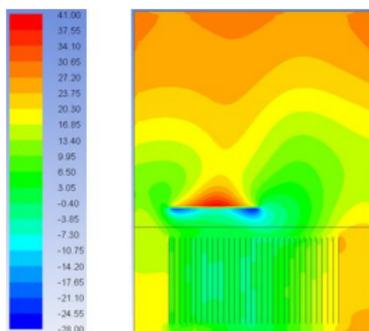
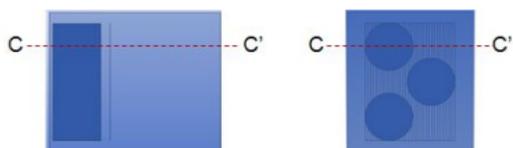
높은 압력으로 표현 되는 붉은 색 부분과 낮은 압력으로 표현되는 푸른색 부분의 정 부 압력으로 인한 공기의 유동은 시뮬레이션 전에도 예상한 바와 같이 팬 뒤쪽과 열교환부 앞쪽에서 주로 열교환이 발생할 것으로 예상된다. 시뮬레이션 결과로 파악되는 특이점은 고내 측면으로 유입되는 것으로 예상되는 고내 공기가 냉각팬 뒤쪽 정 중앙이 아니라 약간 고내 측면 벽쪽으로 치우쳐 부압력을 유발하고, 정확한 공기의 유동 경로가 됨을 해석 할 수 있다. 이는 실제 성에 착상 실험에서 알 수 있듯이 냉각 팬 바로 뒤쪽, 열교환부의 전면부에 많은 성에가 착상될 것이라는 것을 예상할 수 있다.



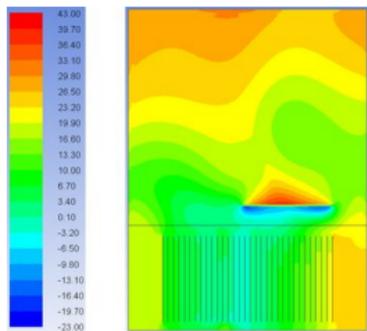
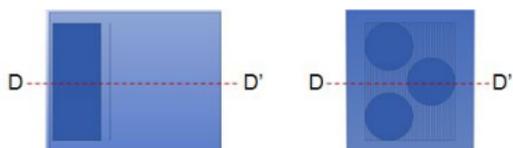
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 54. Pressure contours

2. 최적 설계 조건 분석 및 결정

가. 성능 해석을 통한 최적 설계 조건 분석

성에 착상 지연을 위한 고내 열교환부의 이상적인 공기유동은 ① 팬의 동작과 함께 팬 주변에 있는 고내 습윤 공기가 팬 뒤쪽을 통해서 열교환부의 좌측과 열교환을 하며 바로 고내로 공급되는 것과, ② 열교환부 좌측의 공기 배출로 인해 낮아진 우측의 공기압으로 인해 유도되는 부분으로 구성된다. 공기 순환 ①의 경우 충분한 열교환이 부족한 상태에서 고내로 공급되며 영하의 핀-코일에 성에로 착상되는 것은 최소화된다. 이때 순환되는 고내 공기는 여전히 습윤한 상태를 유지하며 부족한 열교환은 팬의 강한 성능에 의해 공기 순환을 최대화함으로써 보완되어 충분한 냉각이 보장된다. ②의 공기 순환의 경우 고내에서 열교환기의 측면 및 상하부를 통해 유입되는 도중에 핀-코일에 충분히 접촉하여 성에로 착상되고 건조한 공기로 핀코일 뒤쪽(우측)으로 유입한 후 핀-코일을 통과하면서 충분히 냉각된다. 팬에 의해 열교환부에서 열교환이 이루어지는 전체 냉각 공기는 고내 냉동 부하를 충분히 냉각시킬 정도이며, 열교환부의 앞쪽(좌측)과 뒤쪽(우측)으로 유입되는 공기의 양을 조절하여 열교환 효율과 성에 착상 지연을 조절할 수 있다. 이의 조절을 위한 주요 변수는 팬과 핀-코일과의 거리, 고내 열교환부 뒤쪽(우측)과 고내 뒷벽의 간격의 조절에 의해 가능하다. 냉각 효율과 성에 착상 지연을 위한 최적의 조건은 팬과 열교환부의 거리는 약 8Cm, 열교환부 뒤쪽과 고내 뒷벽과의 거리는 약 2Cm 이다. 이때 각 팬에 의해 배출되는 공기의 양과 열교환부의 전면과 후면을 통해 열교환이 이루어지는 순환 공기의 양은 표 25, 26과 같다.

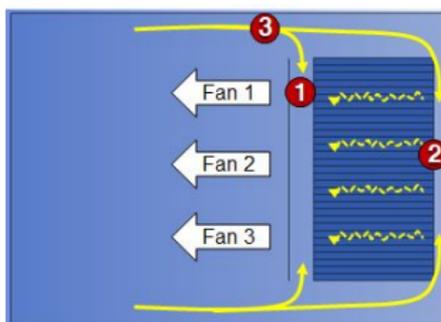


그림 55. 팬의 공기 배출 정도

표 25. 팬의 공기 배출 정도

Fan 1 [kg/s]	Fan 2 [kg/s]	Fan 3 [kg/s]
0.264 [33.7%]	0.256 [32.7%]	0.264 [33.7%]

표 26. 열교환기 전 후면을 통한 유동

③[kg/s]	①[kg/s]	②[kg/s]
0.784 [100%]	0.683 [87.1%]	0.101 [12.9%]

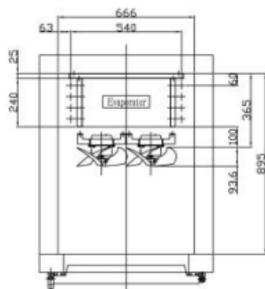
3. 비관류순환 냉각시스템 시제품 제작

가. 비관류순환 냉각시스템 시제품 규격

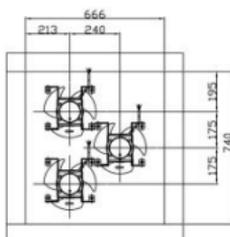
품목	규격
사용 냉매	R404A
압축기	1.8kW(일본 Hitachi) 수평스크롤 압축기 DS1836S1
소비전력(W)	50
송풍량(m ³ /h)	1,140
송풍팬	직경 250mm X 3EA
고내 전체 규격(mm)	900 X 740 X 660
고내 전체 제척(m ³)	0.433

나. 비관류순환 냉각시스템 시제품 도면

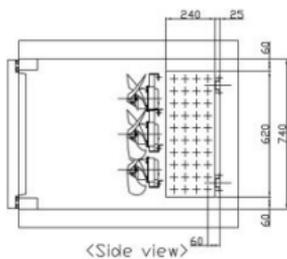
(1) 평면도



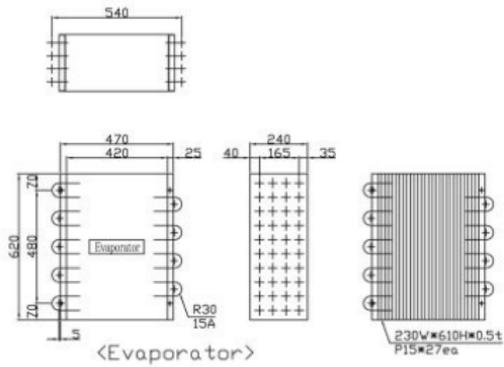
(2) 정면도



(3) 측면도



(4) 증발기



다. 비관류순환 냉각시스템 최종 시제품



그림 56. 비관류순환 냉각시스템 최종 시제품

4. 시제품 성능 평가 및 수정 보완

가. 성에 착상 지연 비교 성능 평가

(1) 비교 실험

(가) 비교 실험 장치

기존 냉동시스템의 주 열교환부인 핀-튜브 측의 공기 유동을 보면, 아래 그림의 (a)에 보여지는 종래의 구조는 핀-튜브 좌측에 설치된 팬의 동작에 의하여 핀-튜브의 우측 면을 통해 유입된 공기 전체가 핀-튜브를 통과하면서 충분히 냉각되며, 팬을 통해 찬 공기를 고내에 공급한다. 고내의 고온 다습한 공기가 차가운 핀-튜브와 최초로 접촉하는 우측부터 핀-튜브 표면에 성에로 고화되어 성장한다. 이러한 착상 메커니즘은 매우 자연스러운 현상이지만, 과도한 성에가 핀-튜브에 성장할 경우 냉동 효율이 크게 감소하게 된다(3,5). 이와는 다르게 아래의 (b)에 보여지는 방식으로 제안된 공기순환 방식의 냉동시스템에서는 팬이 순환시키는 고내 공기 전체가 핀-튜브를 완전히 통과하지 않는다. 본 과제에서 제안된 새로운 구조는 이송되는 공기의 일부만 핀-튜브와 접촉하는 방식의 열전달 구조를 보여준다. 이는 좌측의 고전적인 방식에 비하여 팬에 의해 이송되는 공기의 핀-튜브에서의 열교환 효율이 감소되는 문제점이 있지만, 핀-튜브의 전체 용량을 증가시켜 충분한 냉동 성능을 발휘할 수 있다.

본 과제에서는 제안된 구조를 갖는 냉동시스템의 성에 착상 지연 효과 및 성에 착상으로 인한 냉동 효율 감소로 인한 에너지 소비 증가를 비교하고자 한다. 객관적인 비교를 위하여 동일한 성능의 냉동시스템 확인을 위하여 제안된 아래 그림 (b) 방식으로 제작된 급속 냉동시스템 시제품과 내부 열교환기의 공기 유입 구조를 아래 그림의 (c)와 같은 수정된 동일 냉동시스템을 직접 비교하여 성에 착상 지연 현상과 에너지 소비를 비교 측정한다.

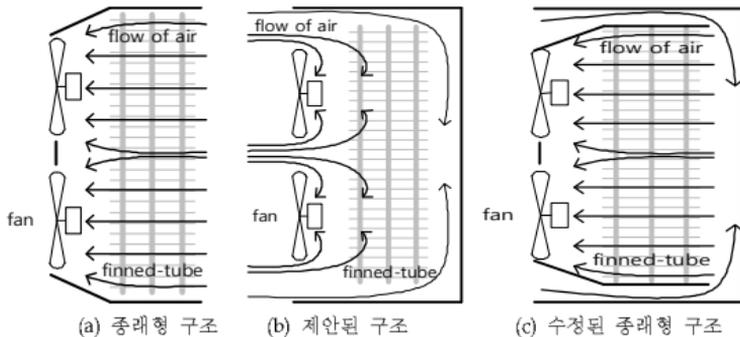


그림 57. 공기 흐름의 비교

냉동시스템의 냉매는 R404A를 사용하였으며, 압축기는 일본 Hitachi사에서 생산한 1.8kW 용량의 수평 스크롤 압축기(Horizontal Scroll Compressor) DG1836S1을 사용하였다. 소비전력 50W, 송풍량 1140m³/h, 직경 250mm의 송풍 팬 3개가 설치된 고내 전체 면적은 열교환부인 핀-튜브가 차지하고 있는 체적을 포함하여 0.433m³ (900mm*740mm*660mm)이다.

(나) 에너지 소비 측정

설치 가능한 7개의 트레이의 최상단과 최 하단을 제외한 중앙부 5개의 트레이에 각각 4L의 섭씨 20℃의 수돗물을 채워 넣고, 3개의 온도센서를 냉동 부하인 물의 온도를 측정하기 위하여 트레이 내부에 설치하였으며 원래 트레이가 장착되어야 할 위치인 최상단과 최하단의 중앙부에 온도센서를 각각 하나씩 설치하였다. 고내 온도 측정을 위하여 Autonics사의 DAQ Device인 TK4S-T4C와 JPt 100Ω K type 온도 센서를 사용하였다. 냉동시스템의 전력 측정을 위하여 Yokogawa사의 3상 전력계인 WT1800을 사용하였다.

(다) 성에 착상 관측

성에 착상은 공기 순환 방식의 냉동시스템에서 피할 수 없는 문제이다. 본 연구에서는 고전적인 공기순환 구조를 가지는 종래형의 냉동시스템과 제한된 구조를 가지는 냉동시스템의 동작 중 성에 착상의 진행을 관측하며 비교할 수 있는 성에 착상 관측 시스템을 구현하였다. 이러한 고내의 성에 착상의 진행 정도를 안정적으로 관측하기 위해서는 고내를 촬영할 수 있는 촬영 장치가 필요하며, 연속 촬영 및 동영상 촬영이 가능한 HD 급 고성능 웹 카메라를 사용하였다. 성에 착상 관측을 위해 Microsoft 사의 LifeCam Cinema를 사용하였는데, 이는 상온에서 동작하도록 만들어져 영하 35도 이하의 가혹한 환경에서 동작을 보장하지 못한다. 고내에서 안정적으로 성에 착상의 진행을 촬영하기 위하여 웹 카메라의 성능을 만족하도록 보온 장치를 구비하였으며, 1W LED 광원을 추가하였다. 성에 착상 확인을 위한 관측시스템 구성을 위한 장치를 그림 3에 보인다. 실험에서 사용한 성에 착상 관측 카메라는 최소 영하 35℃에서 4시간 이상 정상적인 동작을 확인하였으며, 고품질의 이미지 촬영을 위하여 렌즈에 김 서림이나 성에 부착이 없도록 성에 방지 코팅을 하였다.

일정한 시간동안 규칙적으로 정지 영상을 촬영하도록 프로그램 하였으며, 냉동시스템의 동작 초기에는 약 10초 간격으로 촬영하였으며, 프로그램 작동 10분 후부터는 30초에 한번 씩 정지영상을 촬영하였다.



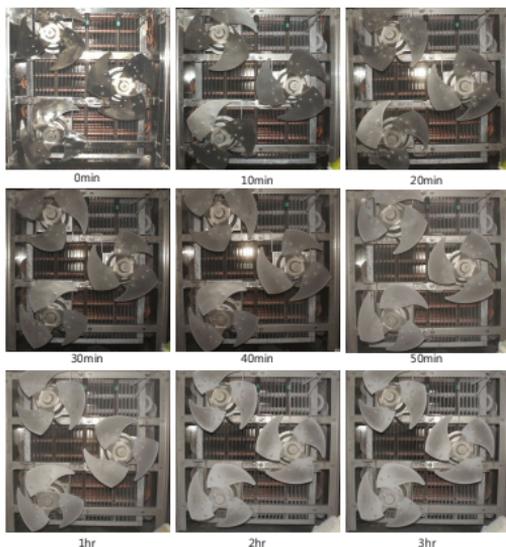
그림 58. 성에 착상 테스트

그림 58은 고내 성에 착상 특성을 확인하기 위한 실험 환경을 보인 것이다. 성에 착상 특성을 확인하기 위하여 물 7L를 용기에 넣고 히터로 가열하여 물의 온도가 20℃가 유지되어 물이 얼지 않고 꾸준히 증발할 수 있도록 실험 장치를 구성하였다.

(라) 성에 착상 특성 실험

냉동시스템 내에서 발생하는 성에는 냉동 초기 고내에 풍부하게 분포하는 습윤 공기와 냉동해야 할 대상에서 나오는 수증기로 기인한다. 성에 착상이 지연되도록 특수하게 설계된 냉동시스템의 고내 구조로 인해 성에 착상이 지연되는 것을 확인하고, 성에가 착상되는 과정이 촬영된 사진을 아래에 보인다.

아래 그림의 (a)와 (b)는 제안된 구조와 일반적인 구조의 냉동시스템에서의 성에 착상 결과를 촬영한 결과이다. 제안된 냉동시스템과 일반적인 냉동시스템의 구조 차이는 공기의 진행이 핀-튜브 뒤쪽에서 앞쪽으로 진행하도록 핀-튜브의 좌우 상하 네 면에 격벽을 설치하여 공기유동을 변화시키는 것이다.



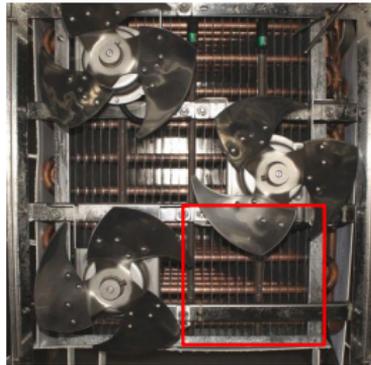
(a) 제안된 구조



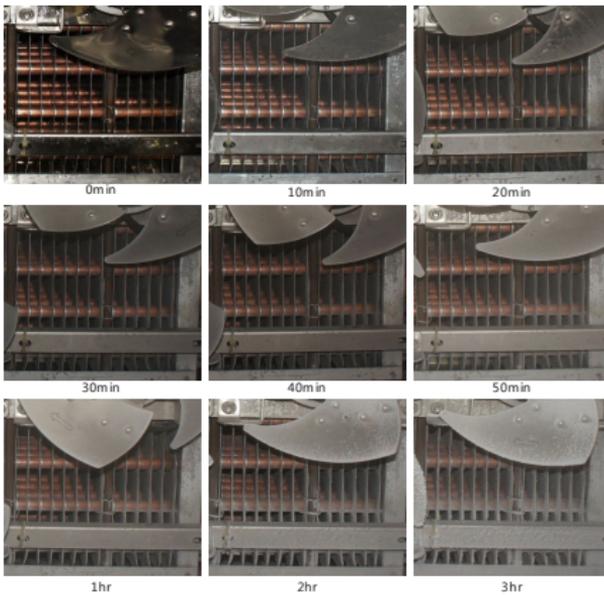
(b) 종래형 구조

그림 59. 냉동고의 성에 착상 비교

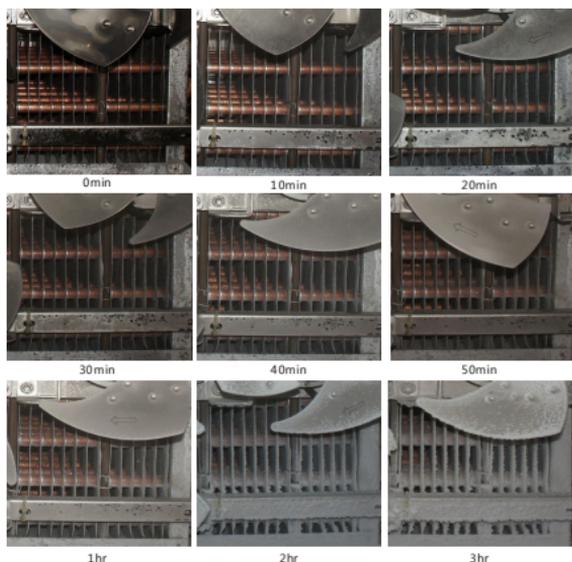
고내 핀-뷰브와 냉각팬의 배치로 인해 우측 상부의 핀-뷰브는 냉동시스템의 동작 초기부터 비교적 빠르게 성에가 착상된다. 이는 비교적 고온의 습윤한 고내 공기가 고내 상부에 분포할 뿐 아니라, 냉매의 유입부가 우측 상부에 있어 고내에서 가장 차갑기 때문이다. 좌측 중앙부의 경우 제안된 냉동시스템과 종래의 냉동시스템 모두 비교적 성에 착상이 미미한 부분이나 제안된 구조에서 성에 착상이 비교적 적게 되었다. 우측 하단의 경우 제안된 구조와 종래의 구조에서 성에 착상 정도의 차이가 큰 부분이며 좀 더 상세한 비교를 위하여 아래 그림에 촬영된 사진 정보를 제공한다. 아래 그림의 (a)에 표기된 우측 하단의 영역이 성에 착상 정도에 있어 확연하게 차이가 나는 부분이다. 냉동시스템이 동작한 후 약 1시간 정도는 두 시스템 모두 성에 착상이 있어 큰 차이가 없으나 그 이후부터 확연한 차이를 보이고 있다. 이는 냉동시스템이 예냉 없이 바로 테스트를 진행한 이유로 사료되며, 충분한 냉각과 꾸준한 강제 증발로 인해 1시간 이후에 성에 착상에 있어 큰 차이를 보인다.



(a) 성에 착상의 상세 비교 위치



(b) 제안된 구조



(c) 수정된 종래형 구조

그림 60. 냉동고 성에 착상 상세 비교

3시간 동안 진행된 실험의 결과를 표 27에 보인다. 제안된 구조의 냉동시스템의 증발량은 약 1.05 리터이며, 종래의 냉동시스템의 증발량은 약 1.23 리터였으며, 핀-튜브의 성에 착상 영역은 가시적으로 관측할 수 있는 표면 부분을 기준으로 53%와 76% 이다. 제안된 구조의 냉동시스템의 증발량이 작은 이유는 핀-튜브에 성으로 착상되는 수증기의 량의 상대적으로 작아 고내 상대 습도가 비교적 높기 때문이다. 제안된 시스템에서 증발량에 비해 핀-튜브에 착상된 면적이 상대적으로 작은 이유는 착상이 핀-튜브가 아닌 고내 벽면과 고내 수증기 공급을 위해 설치된 내부 구조물에 성으로 착상되기 때문이다.

표 27. 성에 착상 비교 표

	증발량	성에 착상 면적(표면기준)
제안된 구조	1.05 L	53 %
종래형 구조	1.23 L	76 %

(마) 성능 평가

본 과제의 성에 착상이 지연되도록 고안된 구조를 갖는 냉동시스템의 성에 착상 지연 성능과 에너지 소비 정도를 실험적으로 확인하였다. 제상없이 냉동시스템을 연속 동작시켰을 때, 에너지 소비는 12시간 기준으로 13.83%, 24시간 기준으로 약 18.46%의 절감을 보였으며, 성에 착상 지연 성능은 3시간 동안 강제 증발되는 상황에서 증발량으로 14.6% 정도 증발량이 적었으며, 성에 착상 면적은 비교 대상보다 약 23%가 적은 결과를 얻었다.

5. 경제적 타당성 분석

가. 에너지 소비 분석

제안된 방식의 구조를 가지는 냉동시스템과 비교대상이 되는 일반적인 구조를 가지는 냉동시스템의 시간에 따른 누적 에너지 소비량을 그림 61에 보인다. 냉동 부하로 물 4L를 5개의 트레이에 설치하여 에너지 소비 실험을 수행하였다.

제안된 구조의 냉동시스템과 일반적인 방식 냉동시스템 모두 초기에 약 2788W/h의 소비전력이 필요하다. 고내 온도가 -35℃에 도달하더라도 냉동 부하인 물의 심부 온도가 -35℃가 되기까지는 상당한 시간이 필요하여 약 2시간 30분 정도의 시간이 지난 후에야 냉동고의 동작이 잠시 멈췄으며, 이후 설정 온도가 약간 상승하게 되고 다시 냉동기의 동작이 수행되어 설정 온도에 도달하는 반복적인 패턴의 동작을 보인다.

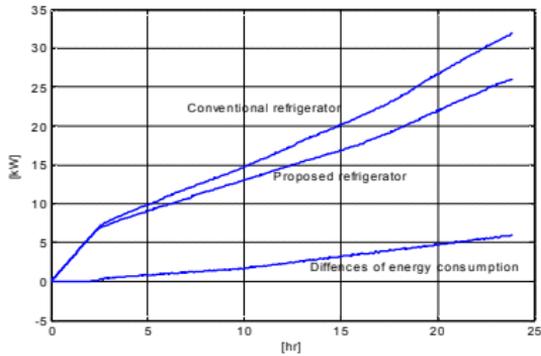


그림 61. 성에 착상으로 인한 에너지 소비 비교

제안된 구조를 가지는 냉동시스템의 설정 온도 도달 수 소비 전력은 약 791.5W/h 이며, 성에 착상이 아주 미미한 경우의 소비전력이다. 모든 조건이 동일함에도 불구하고 약 17시간 30분 정도의 시간이 흐른 후에 소비 전력이 약 1086.9W/h로 증가함을 측정된 그래프의 기울기를 통해 알 수 있는데, 이는 성에 착상이 열교환 효율에 영향을 미쳤기 때문이다. 약 17시간 30분 동안은 성에 착상에 의한 열교환 효율의 저하가 미미하여 성에 착상이 지연됨을 알 수 있고, 이후에 성에 착상이 열교환 효율의 저하로 나타난다.

반면 종래형의 구조를 가지는 냉동시스템의 경우 냉동 부하로 사용한 물이 고화되어 내부 온도가 -35°C 가 될 때까지는 냉동시스템이 쉬지 않고 동작하기 때문에 제안된 시스템과 거의 동일한 에너지 소모가 발생하나, 그 이후의 동작에서 성에가 과도하게 착상되어 열교환 효율이 감소되어 좀 더 많은 에너지가 소비되는 것을 알 수 있다. 동작 이후 10시간 이전까지는 약 1006.1kW, 이후부터 16시간 이전까지는 1085.5kW, 그 이후의 시간에는 약 1400.6kW의 에너지 소비를 측정되었다. 아래 그림의 최상단에 위치하는 그래프는 종래형 냉동시스템, 중간에 위치하는 그래프는 제안된 냉동시스템의 소비 전력을 표기한 것이며, 최하단에 위치한 그래프는 두 소비 전력의 차이를 나타낸 것이다.

약 12시간 후 제안된 냉동시스템의 경우 14.57kW를 종래형의 경우 16.91kW를 소비하여 약 13.83%의 소비 전력 차이를 보였으며, 약 24시간 후 제안된 냉동시스템의 경우 25.98kW를, 종래형 냉동시스템의 경우 31.86kW의 에너지를 소비하여 약 18.46%의 차이를 보였다.

나. 경제성 분석

제품 (회사)	방식	대상 식품	제품상태	냉동 품질	냉각 시간	냉동고 내부환경	설비 비용 ¹⁾	가동제경비
비관류 순환 냉각시 스템 (당사)	비관류 순환 방식	◎	◎	◎	○	○	○	◎
		모든 식품적용 가능	중량감소 거의 없음	상당히 좋음	보통	Duct가 없기 때문에 위생적	100	전기료30% 절감, 재료비3% 이상 삭감가능
Z모델 (S사)	Air Blast식 (종래의 열교환방식)	○	△	△	○	×	○	○
		모든 식품 가능	건조해져서 수분함유율 감소	보통	보통	식품구성품 으로 인한 내부 및 식품 duct의 오염 발생	120	보통
주문 제작형	침투식 (부동액 사용)	×	○	△	○	○	○	△
		진공포장 식품등에 한정	건조의 영향은 적음	보통	보통	Duct가 없기 때문에 위생적	150	부동액의 오염에 의한 교환필요
주문 제작형	분 무 식	△	○	◎	◎	△	△	×
		비싼 가동 제경비	초급속 동결이므로 중량의 감소는 적음	상당히 좋음	빠름	식품구성품 으로 인한 내부 및 식품 duct의 오염 발생	150	고가의 액체질소의 사용
주문 제작형	접 축 식	×	△	○	○	△	×	○
		반고체 식품에 한정	건조해져서 수분함유율 감소	좋음	보통	접촉면이 있어 품종마다 내부환경 조정필요	180	보통

주 1) ① 설치 비용에는 제품 가격 포함.

② 당사 냉동고 가격을 100으로 했을 때 상대비교 수치임.

6. 식품별 최적 저장 조건 확립

가. 신선야채 냉동 실험

신선야채는 배추, 오이, 가지, 참외를 선택하였으며 시편은 각각 7개씩 준비하였으며 정확한 규격은 아래와 같다.

(1) 실험 목적

일반냉동고와 3D냉동고의 성능검사 및 식품별 최적 저장 조건 확립하는 데 있다.

(2) 실험 샘플

- Sample: 배추, 오이, 가지, 참외
- Sampling: 각 Sample마다 7개의 시료제작
 - 오이: D(3 cm) * H(0.5 cm) 크기의 원형으로 시료제작
 - 가지: D(8 cm) * H(0.5 cm) 크기의 원형으로 제작
 - 배추: D(5 cm) * H(0.3 cm)의 크기의 사각형으로 제작
 - 참외: D(3 cm) * H(0.8 cm)의 크기의 삼각플 형태대로 제작

(3) 실험 기기

- (A) : 과제 최종 시제품(3D-냉동고)
- (B) : 일반냉동고(삼성 zipel, SR-S5780)

(4) 실험조건

- 냉동온도: Pilot 시제품: -35 ℃, 일반냉동고: -18 ℃
- 해동온도: RT (1차실험: 29 ℃, 2차실험: 31 ℃)
- 냉동시간: 3 hr
- 해동시간: 1 hr

나. 신선야채 냉동 실험(A: 일반냉동, B: 3D냉동)

(1) 오이

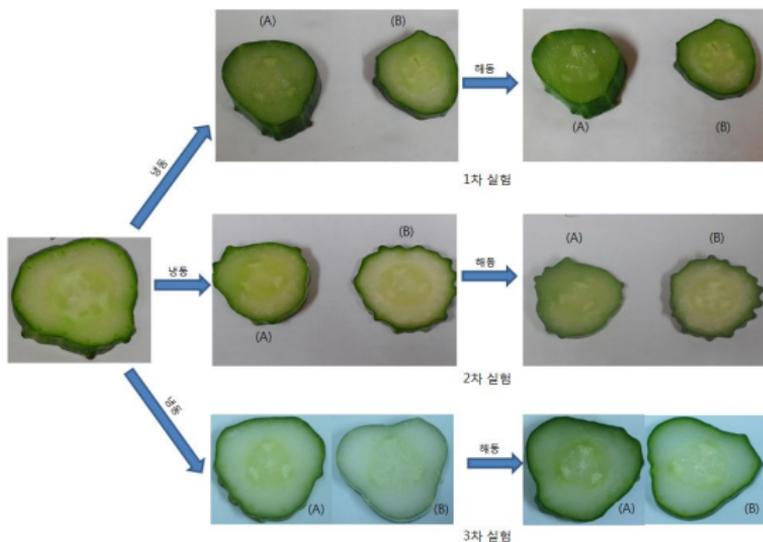


그림 62. 오이의 3D 냉동과 일반냉동의 품질 비교

표 28. 오이의 3D 냉동과 일반냉동의 냉동 전후 감량 비교

항목	1차		2차		3차	
	일반	3D	일반	3D	일반	3D
냉동전 질량 (g)	9.37(1.41)	6.09(0.47)	5.59(0.57)	4.73(0.65)	4.62(0.10)	4.92(0.06)
냉동후 질량 (g)	8.96(1.37)	5.91(0.45)	5.29(0.54)	4.57(0.65)	4.33(0.10)	4.76(0.07)
감소량 (g)	0.41(0.04)	0.18(0.06)	0.30(0.03)	0.16(0.02)	0.29(0.01)	0.17(0.03)
감소율 (%)	4.36(0.34)	2.88(0.88)	5.45(0.09)	3.45(0.57)	6.27(0.16)	3.39(0.54)

일반 냉동된 오이의 냉동 감량은 4.36에서 6.27% 정도이나, 3D 냉동된 오이의 냉동 감량은 2.88%에서 3.45% 정도로 우수했으며, 주관적인 품질의 품평에서도 우수한 냉동 결과를 얻었다. 특히 해동된 오이의 품질에서 더욱 큰 차이를 보였음을 확인하였다. 상기 표에서 () 안은 표준편차이다.

(가) 해동 후 상태분석

냉동 구분	상태 분석
일반 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 열화상태가 더하여 덜 신선함 - 외각 테두리 부분으로 짙은 녹색 - 씨부분 신선도가 떨어져 손상이 쉬움 - 결대로 찢어보았을 때 질겨 찢어지지 않음.
3D 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 열화상태가 덜하여 신선함 - 씨부분 신선도 양호 - 결대로 찢어 보았을 때 부드럽게 찢어짐.

(2) 가지

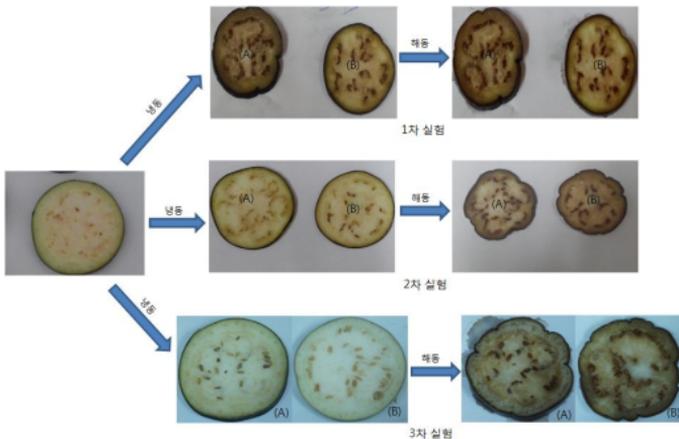


그림 63. 가지의 3D 냉동과 일반냉동의 품질비교

표 29. 가지의 3D 냉동과 일반냉동의 냉동 전후 감량 비교

항목	1차		2차		3차	
	일반	3D	일반	3D	일반	3D
냉동전 질량 (g)	4.10(0.70)	3.73(0.43)	4.09(0.44)	3.22(0.47)	3.06(0.08)	3.06(0.09)
냉동후 질량 (g)	3.84(0.68)	3.60(0.43)	3.82(0.44)	3.06(0.46)	2.85(0.09)	2.98(0.09)
감소량 (g)	0.26(0.03)	0.13(0.03)	0.27(0.02)	0.16(0.01)	0.21(0.02)	0.08(0.01)
감소율 (%)	6.55(0.85)	3.54(0.85)	6.65(0.97)	4.90(0.54)	6.88(0.62)	2.51(0.46)

가지의 경우 냉동 감량이 오이보다 더 큰 값을 보였으며 일반냉동의 경우 6.55%, 6.65%, 6.88%의 냉동감량이 있었으며, 3D 냉동의 경우 3.54%, 4.90%, 2.51%의 감량이 있었다. 일반 냉동과 3D 냉동에서 모두 갈변현상이 발생했다. 가지의 냉동 보관을 위해서는 갈변현상의 방지에 유의할 필요가 있다.

(가) 해동 후 상태분석

냉동 구분	상태 분석
일반 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 변색이 심함 - 내외표면이 처짐 - 결대로 찢기 어려움 - 손으로 눌러보았을 때 잘 으깨짐.
3D 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 변색이 미약함 - 내외표면이 처짐이 적음 - 결대로 잘 찢어짐 - 손으로 눌러보았을 때 으깨짐이 적음

(3) 배추

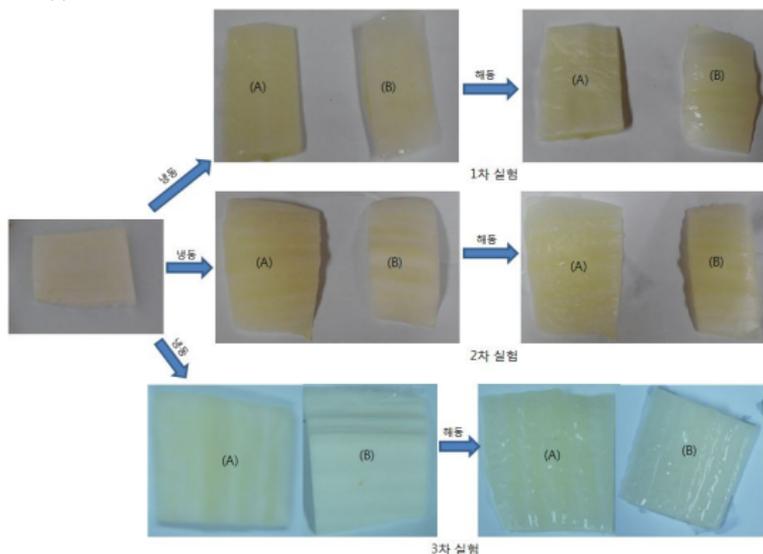


그림 64. 배추의 3D 냉동과 일반냉동의 품질비교

표 30. 배추의 3D 냉동과 일반냉동의 냉동 전후 감량 비교

항목	1차		2차		3차	
	일반	3D	일반	3D	일반	3D
냉동전 질량 (g)	4.55(0.39)	4.34(0.13)	5.09(1.14)	3.70(0.28)	3.71(0.04)	3.77(0.03)
냉동후 질량 (g)	4.46(0.37)	4.30(0.14)	4.88(1.02)	3.69(0.28)	3.61(0.03)	3.76(0.03)
감소량 (g)	0.09(0.04)	0.05(0.01)	0.21(0.35)	0.01(0.00)	0.10(0.01)	0.01(0.00)
감소율 (%)	1.99(0.97)	1.06(0.28)	3.58(5.46)	0.04(0.10)	2.66(0.22)	0.34(0.12)

배추의 경우 일반 냉동, 3D 냉동 모두 냉동 감량이 상대적으로 적은 채소이다. 이는 배추 표면의 두꺼운 세포막 때문으로 판단된다. 일반 냉동의 경우 평균 약 2.74%의 감량이 있었으며, 3D 냉동의 경우 약 0.48%의 감량이 있었다.

(가) 해동 후 상태분석

냉동 구분	상태 분석
일반 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 갈색 빛깔로 변색이 심함 - 외표면이 축축함이 없어 주름이 발생 - 탱탱함이 부족함 - 결대로 잘 찢어지지 않음.
3D 냉동	<ul style="list-style-type: none"> - 변색이 적음 - 외표면이 축축함이 있고 주름이 발생이 아주 적음 - 탱탱함이 유지됨 - 결대로 잘 찢어지지며 신선함

(4) 참외

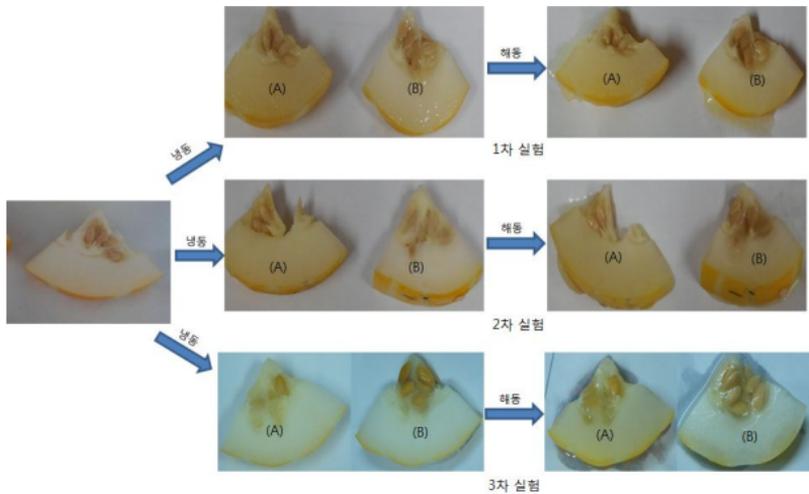


그림 65. 참외의 3D 냉동과 일반냉동의 품질비교

표 31. 참외의 3D 냉동과 일반냉동의 냉동 전후 감량 비교

항목	1차		2차		3차	
	일반	3D	일반	3D	일반	3D
냉동전 질량 (g)	10.51(0.56)	6.39(0.43)	6.78(1.22)	6.39(0.37)	5.10(0.17)	5.04(0.16)
냉동후 질량 (g)	10.13(0.53)	6.24(0.42)	6.51(1.18)	6.28(0.35)	4.90(0.16)	4.90(0.21)
감소량 (g)	0.38(0.05)	0.15(0.04)	0.27(0.04)	0.11(0.03)	0.20(0.02)	0.14(0.06)
감소율 (%)	3.58(0.34)	2.33(0.64)	4.03(0.38)	1.67(0.48)	3.87(0.44)	2.78(1.19)

일반 냉동된 참외의 냉동 감량은 약 3.8%, 3D 냉동의 경우 약 2.26%의 감량이 발생하였다. 참외의 경우 절단 표면에서의 수분함량이 껍질이 많이 추출되는데, 이의 정확한 측정이 쉽지 않아 측정 데이터의 신뢰성은 상기 3개의 샘플보다 떨어진다.

(가) 해동 후 상태분석

냉동 구분	상태 분석
일반 냉동	- 냉동 후 변색이 많음 - 해동 후에도 변색이 더 심해짐 - 신선도가 저하가 크며 쉽게 으깨짐
3D 냉동	- 냉동 후 변색이 적음 - 해동 후에도 변색의 변화가 적음 - 신선도가 저하가 거의 없으며 으깨짐이 아주 적음

(5) 식품냉동 실험 결과

- (가) 3D 냉동으로 시료들을 냉동시켰을 때, 일반냉동보다 상태(신선도)가 우수하였으며, 수분감소가 적었음.
- (나) 해동 후에도 3D냉동시킨 시료들이 일반냉동보다, 모든 면에서 우수함을 알 수 있음.
- (다) 재현성 실험 결과는 오차가 있으나 경향은 비슷하였음.

다. 식품의 최적 저장 조건 확립

식품 재료에 따른 최적의 저장조건을 확립하기 위해 식품 재료에 따른 저장온도 및 저장기간에 따라 장기적인 실험을 진행하였다. 실험 재료로는 식품별 최적 저장 조건이 잘 알려진 과실류, 낙농품들을 이용하였으며 각각 100g을 취하여 10개씩 식품 재료의 샘플을 준비하였다. 각 샘플들은 각각 플라스틱 용기에 넣고 독립적으로 지퍼팩으로 포장하였으며, 실험을 위한 온도 조건은 급속냉동이 필요한 대상물에 대해서는 -35℃로 급속냉동 후 보관용 냉동고에 저장하였다. 포장된 샘플들은 개발한 3D 냉동고에 넣고 각각 설정된 온도 조건 및 저장기간 동안 실험진행을 하면서 주기적으로 저장된 식품 재료의 이상 상태에 대하여 육안으로 살펴보고 저장전과 1~10개월 동안 저장후의 수분함량을 측정하여 비교하였다. 식품의 수분 함량의 측정에는 상압가열건조법을 이용하였다. 비교하고자 하는 시료들은 수분함량이 많은 시료이기 때문에 미리 건조 칭량해둔 증발접시에 시료를 탕육상에서 40~60℃의 온도로 예비 건조를 한 후 건조한 시료를 칭량병에 정확히 칭량한다. 먼저 칭량병의 무게를 재고 예비 건조한 각 샘플 당 10g을 취한 후 칭량병에 넣어 정확히 무게를 잰다. 그리고 칭량한 샘플을 항온건조기(dry oven)에 넣은 후 낙농품은 100℃, 과일류는 105℃로 온도 설정을 한 후 2시간 동안 뚜껑을 열어 놓은 상태로 건조를 시켰다. 그 후 desiccator에서 뚜껑을 닫아 실온이 될 때까지 방냉을 시켰다. 마지막으로 건조된 샘플을 칭량하였다. 그리고 측정된 데이터를 이용하여 수분량을 구하고자 다음의 식을 이용하였다.

$$\text{수분(\%)} = \frac{w1 - w2}{w1 - w0} \times 100$$

- w0 : 칭량병의 중량(g)
- w1 : (시료+칭량병)의 중량(g)
- w2 : w1을 건조하여 항량이 되었을 때의 중량(g)

따라서 온도 및 저장기간에 따라 각각의 식품재료의 육안검사 및 수분함량의 비교를 통하여 식품 냉동 저장을 위한 아래 표와 같이 최적의 저장 조건을 확립하였다.

표 32. 식품별 저장 최적 조건

구분	품명	저장온도(℃)	상대습도(%)	종래 저장기간	당사방식 저장기간	수분함유(%)	동결점(℃)	
과 실 류	파인애플	4.5~7	85~90	2~4주	2~5주	85.3	-1.5	
	감	-0.5~0	85~90	2~3주	2~4주	78.2	-2.0	
	딸기	-0.5~0	80~85	7~10일	9~12일	90	1.5	
	감귤	0~1	85~90	8~10주	8~11주	87.2	-2.0	
	사과	-1~0	85~88	4개월	6개월	84.1	-2	
	수박	2~4.5	75~85	2~3주	2~4주	92.1	-1.5	
	포도	-0.5~0	85~90	3~8주	4~9주	81.9	-2.5	
	자두	-0.5~0	80~85	3~8주	3~8주	85.7	-2.0	
	배	-1.5	85~90	1개월	2~3개월	83.5	2.0	
	복숭아	-0.5~0	80~85	2~4주	3~6주	86.9	-1.5	
	레몬	12.5~14.5	85~90	1~4개월	1.5~4개월	89.3	2.2	
바나나	13.5~22	85~95	2주	2주	75.5	-1.7		
야 채 류	오이	-18	90~95%	6개월	6~8개월	96	-0.5	
	가지	-18	90~95%	6개월	6~8개월	93	-0.8	
	배추	-18	90~95%	6개월	6~8개월	95	-2.0	
	양배추	-18	90~95%	8개월	8~10개월	92	-0.9	
	무	-18	90~95%	8개월	8~10개월	94	0	
	참외	-18	90~95%	6개월	6~8개월	92	-1.2	
	마늘	-18	90~95%	10개월	10~12개월	92	-0.8	
	대파	-18	90~95%	12개월	12개월 이상	91		
양파	-18	90~95%	8개월	8~10개월	89	-0.9		
낙 농 품	돈 육	신선 동결	0~1.5 -25.5~-17	85~90 90~95	3~7주 4~8개월	4~7주 5~10개월	35~42	-2.5~-1.5
	조 류	신선 동결	0 -29	80 90~95	1주 3개월	1주 3~5개월	73	
	햄	신선 동결	0~1.5 -23.5~-17.5	85~95 90~95	7~12일 6~8개월	7~15일 6~9개월	47~54	-2.5~-1.5
	우 육	신선 동결	0~1.5 -23.5~-17.5	88~92 90~95	1~6주 9~12주	1.5~6주 10~15주	62~77	-2.2~-1.7

*과실류의 경우 가공없이 해당 저장온도와 상대습도에서 보관하였음.

**야채류의 경우 두께 5mm 이하로 절단하여 -35℃ 냉동 후 -18℃에서 보관하였음.

*낙농품의 경우 필요시 1차 가공 후 해당 저장온도와 상대습도에서 보관하였음.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도

1. 1차년도 연구개발 수행 및 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 연도 (2010)	냉각시스템 구성요소 개발 및 시뮬레이션 설계조건 결정	냉동기 3D 디자인 설계 및 개발	100	비관류순환 냉각시스템의 디자인 은 기존 냉각시스템에 대한 사진자 료를 참조하여 의뢰 업체에서 독자 적으로 두가지 형상으로 디자인 개 발 완료
		친환경 냉매 검토 및 최적화	100	자연 냉매, CFC 계열, HCFC 계열 HFC 계열, LGWP 계열 등 냉매의 물성 및 장단점, 친환경성, 경제성 등을 문헌 검토를 통해 냉매 최적 화(R-404a)
		냉동기 panel 제작 및 고밀도 고성능 단열시스템 개발	100	균일성이 높고 고밀도의 냉동기 판 넬을 폴리우레탄폼을 이용하여 지 그에 주입하여 제작하여 시제품 확 보
		무성에 핀코일(증발기)연구 개발	100	성에 작상을 최소화하기 위하여 기 존 핀코일의 형상 및 배열 변경을 통한 무성에 핀코일 개발 성능평가를 통한 성에 비작상 확인
		무작상 비관류순환 냉각시스템 개발	100	팬과 냉각기의 간극, 팬의 적경 제어판의 유무가 유동에 미치는 영 향 등을 검토를 통한 냉기 유동 제 어 및 성에 비작상 기술을 통한 무 작상 비관류순환 냉각시스템 개발
		냉기 유동 시뮬레이션을 위한 기초 설계조건 및 프로그램 결정	100	비관류순환 냉각시스템의 냉기 유 동에 미치는 환류팬, 제어판, 트레 이 등의 형상, 배치 등을 고려하여 설계변수를 결정하였으며 프로그램 은 범용적으로 사용되어지는 CFX 를 선택하여 시뮬레이션을 수행할 예정임.

2. 2차년도 연구개발 수행 및 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2011)	Pilot 시험 장비 제작 및 슈퍼컴퓨터를 활용한 유동 해석	냉동기 pilot 시험 장비 설계	100	최종 시제품 제작을 위하여 냉기 유동 시뮬레이션과의 비교분석을 위한 냉동기 pilot 시험 장비 설계
		정밀 급속냉동제어장치 개발	100	비관류순환 냉각시스템의 온습도 를 정밀하게 제어하기 위한 급속냉 동 제어시스템 개발결과 고내 상하 온도의 편차를 0.25℃로 최소화
		Defrost(제상) 장치 최적화개발	100	고내의 성에착상을 감시하기 위하 여 웹카메라를 이용하여 성에착상 을 감시하였으며 제상이 빠르게 진 행될 수 있도록 가급적 소비전력을 최소화하기 위하여 제상장치를 구 상함.
		비관류순환 냉각시스템 및 fan 개발	100	비관류순환 냉각시스템의 입체 및 급속 냉각 실험을 위한 비벨마우스 타입의 특수환류팬 개발을 통한 최 적의 성능확보를 위한 팬의 용량, 수량 및 배치 결정(200W 2EA, 100W 1EA)
		냉동기 pilot 시험장비 제작 및 시험	100	냉기 유동 시뮬레이션과의 비교분 석을 위한 냉동기 pilot 시험 장비 제작을 통한 성에 착상 및 제상 시 험, 식품 품질 test, 고내의 냉기 유 동 분석, 냉동고의 에너지소모량 등의 시험 수행 및 결과 도출
		슈퍼컴퓨터를 활용한 냉기 유동해석	100	슈퍼컴퓨터를 활용하여 고내의 냉 기 유동의 유동 해석 및 실제 test 를 통한 data와의 비교 분석을 통 한 팬의 배치, 수량, 증발기의 배치 등에 대한 기초 설계 조건 도출
		냉동 및 해동전후의 품질 변화 연구	100	돈육을 대상으로 급속 및 완만 냉 동 시 품질과 해동 후의 품질을 육 안 관찰 및 광학현미경 관찰을 통 한 비교분석 결과 급속냉동 시 빙 결정 크기가 작아 해동 후에도 완 만냉동 대비 품질이 높음을 확인

3. 3차년도 연구개발 수행 및 달성도

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2012)	최종시제품 제작 및 홍보 마케팅 전략 수립을 통한 시장진출 모색	시뮬레이션 결과 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> - 최적의 입체 순환 공기 유통 확보를 위해 3개의 팬을 설치 - 최종 시제품 규격과 일치하는 시뮬레이션 수행 - 고내 공기의 속도 및 압력 데이터 확보 - 실제 공기유통과의 일치성 확인 위해 성에 착상 실험과 병행하여 공기 유통 비교 - 최종 시제품 제작을 위한 최적의 시뮬레이션 결과 확보
		최적 설계 조건 분석 및 결정	100	<ul style="list-style-type: none"> - 3개의 팬이 공급하는 공기 양의 분배를 체계화함 - 열교환기 전면부 및 후면부를 통과하는 공기의 유통량을 시뮬레이션을 통해 검증함 - 시뮬레이션과 실제 시제품 테스트를 통한 성에 착상을 최소화하기 위한 고내 뒷벽과 열교환부의 거리는 2Cm 임 - 열교환 효율 및 성에 착상 정도를 추측할 수 있는 데이터 확보함
		냉각시스템 시제품 제작	100	<ul style="list-style-type: none"> - 1, 2차년도 시제품 제작과 시뮬레이션을 통해 입체 순환을 최대화하며 성에 착상을 최소화할 수 있는 최적의 시스템 설계가 가능 - 시뮬레이션 결과와 최종 시제품과의 차이가 약간 발생 - 최종 시제품에서 팬과 열교환기 사이의 거리, 팬과 뒷 벽 사이의 거리는 제한된 범위에서 조정이 가능하여 최적의 시스템 구성이 용이함

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2012)	최종시제품 제작 및 홍보 마케팅 전략 수립을 통한 시장진출 모색	시제품 성능평가 및 수정 보완	100	<ul style="list-style-type: none"> - 제작된 시제품의 열교환부에서 공기 유통과 종래의 공기 유통의 차이를 확인하기 위하여 동일한 성능의 냉동기로 실험을 수행함 - 성에 착상 지연을 위한 세밀한 조정이 완료되어 습기를 많이 포함하는 농림수산 가공식품의 급속 냉동시 탁월한 성능을 확보함 - 종래형과 비교하여 고내 증발량의 경우 약 14.6% 정도 감소되며 이는 열교환부의 성에 착상이 더욱 감소할 것으로 판단됨
		경제적 타당성 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> - 성에 착상으로 인한 산술적인 에너지 소비 비교 실험결과 12시간 연속 동작 후 13.83%, 24시간 연속 동작 후 18.46%의 에너지 절감 효과를 가짐 - 성에 착상 지연으로 인한 제상이 필요없어, 작업중단 시간이 종래형에 비하여 감소됨 - 고내 냉동건조 현상이 감소하여 식품 감량 종래형보다 약 3~5% 적으므로 원재료 손실 비용이 감소함 - 입체 순환으로 균일하고 빠른 급속냉동이 가능하여 냉동식품의 품질이 향상됨
		식품별 최적 저장 조건 확립	100	<ul style="list-style-type: none"> - 타 냉동기에서 냉동을 꺼리는 야채 종류의 냉동에서도 식품의 품질 저하가 적음 - 냉동 감량이 종래형에 비해 약 1~4% 차이를 보이며 냉동 품질이 우수함 - 냉동 품질 뿐 아니라 해동 후에도 품질 보전이 탁월하여 종래형에 비하여 최종 소비자가 느끼는 품질의 차이는 더욱 큼 - 과일류 및 낙농품의 경우 종래형과 동일한 저장 기간을 보이거나 약 10% 정도 저장 기간이 증가

제 2 절 관련 분야의 기술발전예의 기여도

1. 연구개발결과와 활용방안

가. 농림수산 및 식품 산업 분야에서의 활용

(1) 가정 및 식당용 냉동고

- 냉동 전·후의 맛의 변화 없이 그대로 보존이 가능하고 제상장치가 불필요하여 에너지 효율 면에서 뛰어나기 때문에 가정용 혹은 식당용 냉동고로 사용

(2) 중·대형 식품 냉동 창고

- 장기간 다량의 식품을 보관하여야하는 식품에 있어서 냉동 창고에 사용하여 유지관리비용 절감

(3) 학교, 병원 등 단체급식의 식자재 보관창고

- 위생이 최우선인 단체 급식소의 식자재 보관에 최적

나. 식품 가공 및 유통업체에서의 활용

(1) 육류 및 수산물 가공공장 및 냉동 창고

- 신선도가 최우선인 정육 및 수산업 및 수산가공업에 활용도가 높음

(2) 제빵 및 제과업체

- 빵 및 과자의 원재료 및 초콜릿시럽, 생크림 등 부재료 등 최적상태로 보관

(3) 식품 유통 업체

- 유통 전의 신선식품을 최적의 유지가 요구되는 운송용 탑차, 원양어선의 냉동보관 창고에 활용 가능

(4) 기타 식품 가공업체

- 어묵, 맛살, 초밥, 참치가공 등 농수산물을 원재료로 사용하는 식품 가공업체로의 활용 가능

다. 시약 및 시료 보관용 등으로 연구관련 분야에서의 활용

- 학교, 기업체, 연구소에서 시약 및 시료 보관용으로 사용되는 **deep freezer** 대체 가능

라. 의료 및 바이오 산업 분야에서의 활용

- MRI진단장치, SOLID자속계-심전도계, 뇌파계, blood storage 등

마. 에너지 산업 분야에서의 활용

- 융합발전, 초전도발전, 전력송전, 에너지 저장 등

바. 수송 산업 분야에서의 활용

- 자기부상열차, 자기추진선박 등

2. 연구개발결과의 기대성과

가. 기술적 측면

(1) 신기술개발을 통한 냉각 기술의 혁신적인 발전

- (가) 입체 순환방식으로 냉각, 피냉각물 전체를 감싸듯이 냉기의 진동으로 냉각시키며, 냉기의 강제적인 순환없이 냉각 시키는 신개념의 냉각시스템
- (나) 급속냉각을 위해서 반드시 제상장치가 필요한 기존 냉각 기술에서 제상장치가 필요없는 획기적인 냉각 기술 개발
- (다) 기존 냉동 기술 대비 신선 식품의 보존성 증대로 인한 냉동 이전 그대로의 맛 유지

(2) 식품의 안전성이 보장되는 냉각 기술

- (가) 새로운 냉장 및 냉동 저장법의 개발로 안전한 식생활 보장
- (나) 단체 급식 시설에 안전하고 신선한 식품 저장법 제공

(3) 활용도가 다양한 냉각 기술

- (가) 일반 식품 보관 및 수산식품 보관, 나아가 연구기관 및 바이오, 의료, 에너지 분야로의 접목이 가능

나. 경제·산업적 측면

(1) 경제적 측면

- (가) 대량으로 냉동처리 및 포장 가능하여 이로 인한 경비 절감
- (나) 제상장치로 따로 들 필요가 없어 운영 비용 절감
- (다) 에너지 효율 증가로 인해 유지 비용 절감
- (라) 보존성이 큰 식품재료의 생산으로 인한 농가 수익의 증대

(2) 산업적 측면

- (가) 신개념의 냉동 및 냉장기술에 적합한 식품 개발에 따른 설비 및 공장 설치에 따른 관련 산업의 활성화
- (나) 식품 가공 및 유통산업의 활성화
- (다) 신기술 확보를 통한 산업체의 경쟁력 우위 확보
- (라) 에너지 효율 면에서 담보상태에 있는 냉동 산업 분야에 효율성 증대로 인해 획기적인 개선 방안 효과

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과

1. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적

가. 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분	(예시)특허		(예시)신제품				(예시)유권자원 등록	(예시)논문		기타
	출원	등록	영양분 신제품 인용특허	제품 수입 생산물 신규	제품 보호	출원		등록	SCI	
1차 년도	목표	1							1	
	달성	1							1	
2차 년도	목표	1							1	
	달성	2							1(진행중)	
3차 년도	목표	1	1						1	1
	달성									
계	목표	3	1						1	3
	달성									1(진행중)

(1) 특허 성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2011	냉각시스템의 트레이	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0064808
2011	성에 착상지연을 위한 냉동냉장고의 냉기유통구조	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0139013
2011	냉동냉장고의 입체적인 냉기 공급 구조	(주)동양화학	대한민국	10-2011-0139026
2012	비관류 순환 방식의 냉동고 고내 습도 유지 방법 및 그 장치	(주)동양화학	대한민국	10-2012-0145619
2012	질소분사 시스템을 갖춘 하이브리드형 냉동 장치 및 냉동 보조 장치	(주)동양화학	대한민국	10-2012-0145626

(2) 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2012	비관류순환냉각 시스템의 냉동 돈육품질 특성연구	형기우	-	류인재, 신대정, 김기철	2012년도 한국산업식 품공학회 춘계학술대 회	-	국내	비SCI
2013 (예정)	새로운 에어 블라스트 냉동고의 작상과 그에 따른 에너지 소비 특성의 실험적 고찰	형기우	-	김병섭, 류인재, 신대정	한국설비공 학회	-	국내	비SCI
2013 (예정)	비관류순환냉각 시스템의 냉동 돈육 및 신선 식품의 품질 특성 연구	형기우	-	김병섭, 류인재, 신대정	한국산업식 품공학회	-	국내	비SCI

나. 연구성과 활용 목표

(단위 : 건수)

구분	기술실시(이전)	상용화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표	1	3		1	
	달성	1	3		2	

(1) 기술 실시 및 상용화

사업화명	사업화내용	판매 업체	날짜	매출액
제품 판매	비관류순환 냉각시스템 판매	한솔냉동	2012.12.31	4,400만원 (소·중·대형, 각 1대씩)

(2) 언론 홍보

(가) 전남매일(2013년 7월 5일 경제면(6면))

동양화학, 비관류순환냉각시스템 개발

신선식품 품질 유지 탁월·에너지 절감·생산성 향상 기대

(주)동양화학(대표이사·형기우·사진)이 '신선식품 품질 보존을 위한 비관류순환 급속 냉각시스템'을 개발, 제품 출시를 목전에 두고 있어 동종업계 및 소비자의 관심이 집중되고 있다.

이 제품은 농림수산축산부가 지원한 농림수산식품 기술개발사업의 하나로 개발됐다. 동양화학은 지난 2010년부터 연구개발을 수행, 시제품을 제작한 뒤 최근 3년간 특허 5건 및 논문 3건 등 연구 성과를 거뒀다.

신선식품 품질 보존을 위해 개발된 이 냉각시스템은 냉각류 제어 기술을 이용해 고내의 고온 습윤한 공기를 열교환기를 완전히 통과시키지 않더라도 충분히 냉각시킨다는 강점을 지녔다. 또 성에 착상으로 인한 수분의 고화현상이 적어져 일반 냉



동고보다 최소 10% 이상의 고내 습도를 유지할 수 있는 획기적인 냉각시스템으로 평가받고 있다. 이 시스템은 비관류순환 구조를 유지하면서도 효율적인 열교환을 위해 다수의 특수 환류팬이 열교환기 전면부에 사용됐다. 특수 환류팬은 다습한 고내 공기를 입체 순환시킴으로써 냉동 시 건조현상이 최소화되며 식재의 노출된 모든 부분에 균일하게 다습하고 강한 냉기를 접촉시킴으로써 급속 냉각이 더욱 용이하게 이뤄져 신선식품의 품질을 보존할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 형기우 대표는 "이 비관류 순환 급

속냉각 시스템은 냉동 후에도 식품의 품질을 그대로 유지하는 물론 에너지 절감 및 생산성 향상에 기여하기 때문에 냉동식품의 가공 및 생산 공장, 식품관련 프랜차이즈 업소, 중대형 식당 등의 수요가 매우 높을 것으로 기대된다"며 자신감을 보였다.

영업권에 위치한 동양화학은 기반 산업인 암모니아 및 암모니아수, 액화염소 등 화학 관련사업 이외에 냉매 및 냉동유, 유닛플러, 냉각시스템을 제작·판매하는 냉동 냉방 전문 기업으로 지난해 200억원의 매출 실적을 올렸다. 또 후반기부터는 비관류순환 급속냉각시스템을 본격적으로 사업화함으로써 총 매출 250억 달성을 통해 냉동 공조산업과 광주·전남 지역 농수산업 발전에 이바지할 것으로 전망된다.

(나) 전남일보(2013년 7월 11일 경제면(13면))

전남일보 2013년 7월 11일 목요일

경제 13

동양화학, 새 급속 냉각시스템 제품 개발

하반기 본격 출시... 지역 농수산업 발전 기여

일종의 속도감이 감지된다. 이렇듯 농수축산 관련 사업의 성공 여부는 물론 지역 농수산업 발전에 크게 기여할 수 있는 특기적인 기술이다. 특히 이 제품은 일교차가 큰지역에 설치된 농수축산 시설의 고내 습도를 낮추고 열교환기를 전면부에 설치함으로써 다습하고 강한 냉기를 입체 순환시킴으로써 냉동 시 건조현상이 최소화되며 식재의 노출된 모든 부분에 균일하게 다습하고 강한 냉기를 접촉시킴으로써 급속 냉각이 더욱 용이하게 이뤄져 신선식품의 품질을 보존할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 형기우 대표는 "이 비관류 순환 급속냉각 시스템은 냉동 후에도 식품의 품질을 그대로 유지하는



동양화학이 비관류 순환급속 냉각시스템을 개발한 신제품

에너지 절감 및 생산성 향상에 기여하기 때문이다. 특히 이 제품은 일교차가 큰지역에 설치된 농수축산 시설의 고내 습도를 낮추고 열교환기를 전면부에 설치함으로써 다습하고 강한 냉기를 입체 순환시킴으로써 냉동 시 건조현상이 최소화되며 식재의 노출된 모든 부분에 균일하게 다습하고 강한 냉기를 접촉시킴으로써 급속 냉각이 더욱 용이하게 이뤄져 신선식품의 품질을 보존할 수 있다는 특징을 갖고 있다. 형기우 대표는 "이 비관류 순환급속냉각 시스템은 냉동 후에도 식품의 품질을 그대로 유지하는

경제특수

현역서비스 이사를 미리 알려준다

신용카드 발급서비스를 이용해 즉시 가족과 이용수주 등을 미리 확인할 수 있다. 신용카드는 결제가 완료된 뒤 10일(카드사)의 한도까지도, 이자를 그 다음 10일 만에 이자를 원금보다 더하게 되므로 가족카드(신용카드)를 출제하기를 통해 이자를 단축할 수 있다.

제 2 절 연구 성과 활용 계획

1. 실용화·산업화 계획

본 과제를 통하여 개발된 비관류순환 냉각시스템을 우선 농림수산 및 식품 산업 분야로 판로 개척을 통하여 사업화를 진행할 계획이며 추후 식품 가공 및 유통 분야, 시약 및 시료 보관용 등으로 연구관련 분야, 의료 및 바이오 산업 분야 등으로 사업화를 확대할 계획임.

가. 예상 판매처

- (1) 가정 및 식당용 냉동고
- (2) 중·대형 식품 냉동 창고
- (3) 학교, 병원 등 단체급식의 식자재 보관창고
- (4) 육류 및 수산물 가공공장 및 냉동 창고
- (5) 제빵 및 제과업체
- (6) 식품 유통 업체
- (7) 기타 식품 가공업체
- (8) 학교, 기업체, 연구소에서 시약 및 시료 보관용으로 사용되는 deep freezer

2. 홍보 및 마케팅을 활용한 기술 확산 계획

본 과제 기술의 사업화를 활성화하기 위하여 온·오프라인으로 언론 홍보 및 전시회 참가를 통한 적극적인 마케팅을 진행할 계획

가. 언론 홍보

신문 및 방송, 인터넷 등 온·오프라인을 통해 기술 설명에 대한 언론 홍보 및 추가 연구 진행 결과 및 성과에 대한 적극적인 언론 홍보를 진행할 계획

나. 전시회 참가

식품 및 농업, 기계·설비 관련 국내외 전시회의 참가를 통한 기술 및 제품 홍보 계획

다. 마케팅 조직 연계

국내의 냉동엔지니어링 전문기업인 한국마이크로파의 업무 제휴를 통해 냉동고 및 냉동 창고 마케팅 지원 계획

3. 특허, 논문 등 지식재산권 확보계획

비관류순환 냉각시스템의 기술원된 특허를 등록시킴과 동시에 추후 연구 개발을 진행하면서 새로 발생하는 기술에 대한 권리 확보를 위해 특허 출원 및 등록, 논문 게재를 통한 지식재산권을 확보할 계획

4. 추가연구, 타연구에 활용 계획

가. 연속식 냉각시스템 연구

본 과제는 냉기류 제어를 통해 성에 착상을 최소화하고, 에너지 절감은 물론 입체 냉각 기술을 통해 식재에 냉기를 골고루 공급함으로써 신선 식품의 품질을 극대화한 기술로 일반 배치타입으로 개발된 기술이라면 식품 공장 등의 냉동 식품을 대량으로 공급하기 위해 연속식으로 냉각이 가능한 기술 연구 계획

나. 고내 습도 유지 연구

기존 냉각방식으로는 고내의 건조현상으로 인해 식품 품질 저하가 발생할 수 밖에 없어 고내의 습도를 유지하는 것이 식품 품질 보존에 있어서 가장 중요하다 할 수 있기 때문에 고내의 습도를 유지하는 방법에 대한 추가적인 연구가 필요

다. 다양한 용량에 따른 급속냉동 속도 검증 연구

본 기술 개발을 통해 개발된 시제품은 산업용 및 식당을 대상으로 개발되어 300L의 내용적으로 제작되었으며 용량 확대 시 용량에 따른 급속 냉동 속도 및 품질 검증 관련 추가적인 연구가 필요

라. 냉동 후 제품의 검증 결과 보강

신개념의 비관류순환 냉각시스템의 사업화를 위한 에너지 고효율 인증 등 제품 검증을 진행할 계획이며 식품에 대한 품질 검증을 한국식품연구원에 의뢰 진행할 계획임.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

연구개발 과정에서 수집한 성에착상 관련 해외과학기술정보와 기술력이 뛰어난 냉동고 관련 글로벌 기업들을 요약하면 아래와 같다.

제 1 절. 해외과학기술정보

본 과제의 주요 연구 내용 중 차별성 있는 연구 내용 중 성에 착상의 원리 및 과정, 이의 지연 방법에 대한 연구를 조사하였으며, 그 내용을 발췌하여 아래와 같이 제시한다. 해외과학기술정보는 첫째로, 성에 착상에 대한 이론적 메커니즘을 포함한 얼음의 결정화, 둘째로 성에 착상에 관한 실험적 연구내용 들과 마지막으로 성에 착상을 지연시키고자 하는 방법을 제시한다.

1. 얼음 결정의 생성

본 과제의 주요 연구 내용 중 온도별, 과냉기밀도에 따른 얼음 결정의 형상이 달라지는 얼음의 결정화에 관한 실험적/이론적 모델을 제시한 것으로 냉동고의 열교환부에 착상된 성에의 형상을 미리 예측하고, 착상된 성에 결정들의 결합에 관하여 예측이 가능하다. 아래 그림의 (a)는 일반 냉동고의 저장온도인 -18°C 가 포함된 영역인 $-10^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$ 에서 발생하는 성에와 개발된 냉동고의 냉동온도인 -35°C 영역에서 발생가능한 성에의 모양이 다른 것을 확인할 수 있다. 실제 열교환기 내 냉매의 온도는 훨씬 더 낮으나 고내 공기와 열교환을 하면서 고내에서 성에가 착상하는 핀-튜브 영역의 온도는 저장온도와 크게 다르지 않는다.

수집 문헌

: B. Na, R.L. Webb / New model for frost growth rate / International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 925 - 936

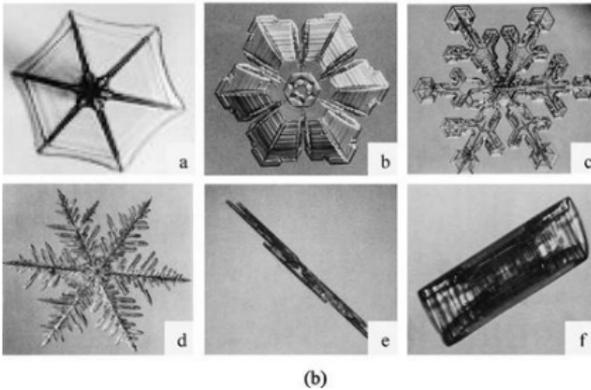
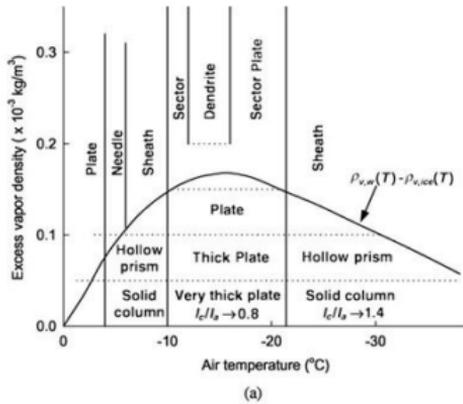


그림 66. Morphology of ice crystal. (a) Diagram showing the snow crystal forms depending on excess vapor density and air temperature. (b) Ice crystal shape [18] - - (1) Plate-like forms: (a) plate, (b) simple sectored plate, (c) dendritic sectored plate, (d) fern-like stellar dendrite; (2) Column-like forms: (e) needle crystal, (f) hollow column, or sheath-like crystal.

2. 열교환부의 성에 성장(1)

냉동시스템이 아닌 히트펌프 시스템에서 공기 소스에 따른 성에의 착상을 실험적으로 분석한 자료이다. 성에의 성장률은 열교환부가 설치되어 있는 외부 온도가 높을수록, 상대습도가 높을수록 성에의 성장률과 착상되는 성에의 두께, 착상되는 무게 등이 직접적으로 영향을 받는다. 또한 외부온도 0℃, 상대습도 75%에서 성에 착상을 직접 촬영한 정보를 제공한다.

수집 문헌

: X-M. Guo et al. / Experimental study on frost growth and dynamic performance of air source heat pump system / Applied Thermal Engineering 28 (2008) 2267 - 2278

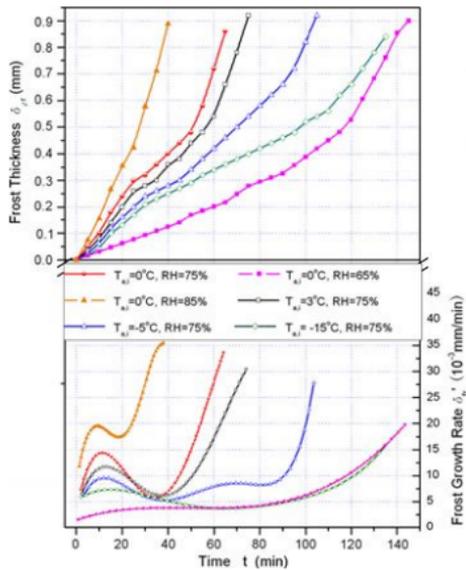


그림 67. Frost thickness and frost thickness growth rate with frosting time under different conditions.

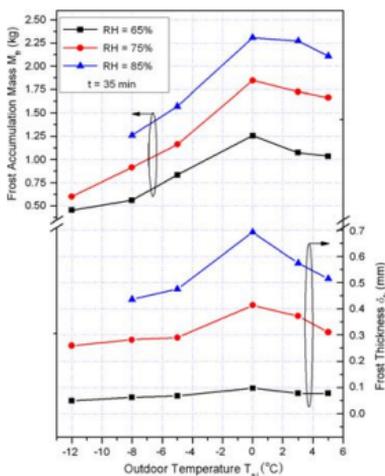


그림 68. Comparison of frost accumulation mass and frost thickness after 35 min operating.

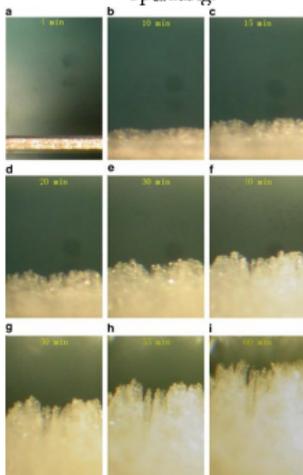


그림 69. Photographs of frost layer on the fins under condition of $T_{a,i} = 0$ °C, $RH = 75\%$.

3. 열교환부의 성에 성장(2)

이십분 간격으로 촬영한 서리의 성장을 분석하였다. 첫 번째 사진 촬영 후 한 시간 간격으로 탱크의 서리 착상 정도를 촬영하였으며, 압력 온도 등 주변 환경에 따른 서리의 형성을 실험적으로 관측한 것이다.

수집 문헌

: Robert William Style, The formation and evolution of frost flowers and related phenomena, University of Cambridge, September 2007

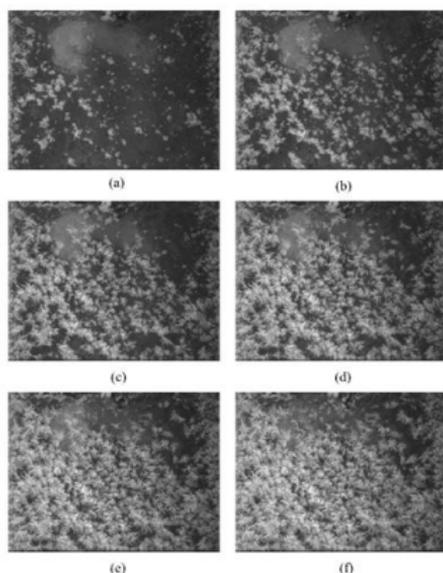


그림 70. A sequence of photographs of growing frost flowers on fresh ice, taken at 20 minute intervals. The first photograph is taken one hour after the initial appearance of ice in the tank. The width of the photographs corresponds to approximately 20cm on the ice surface. The white spot in the upper left hand quadrant of each photo is a blemish in the ice. Bulging of the ice due to pressure increases below the surface is evidenced by the region clear of frost flowers along the top of the picture. See text for details.

4. 열교환부의 성에 성장(3)

상대습도, 공기의 흐름률에 따른 히트펌프의 열교환부에서 성에 착상에 관한 관측을 연구하였다. 히트펌프의 열교환부는 성에 착상으로 인해 열전달 효율이 감소하며, 적절한 시점에 효율적으로 제거하지 않으면 전체 시스템의 성능 저하가 심각해진다. 외부 환경에 따른 성에의 착상을 예측하면 제상 또한 효율적으로 수행이 가능하다.

수집 문헌

: JIANXIN YANG, A STUDY OF HEAT PUMP FIN STAGED EVAPORATORS UNDER FROSTING CONDITIONS, Texas A&M University, 2003

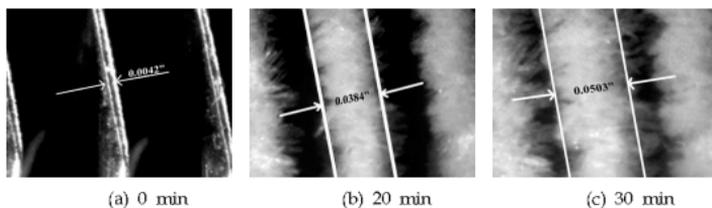


그림 71. Sample image of the fin leading edges at the start of the frost test for two-row fin staged coil (15/20 fpi) with medium airflow (2100 cfm) at 28°F DB and 90% RH

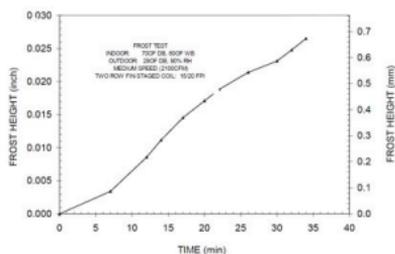


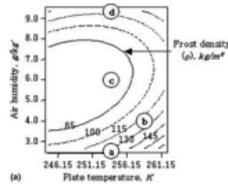
그림 72. Sample plot of frost thickness versus time for two-row fin staged coil (15/20fpi) with medium airflow (2100 cfm) at 28°F DB and 90% RH frost test

5. 성에 성장(1)

친수성 정도가 다른 표면을 가지는 열교환부의 플레이트에 성에가 착상하는 정도를 관측하여 성에 착상이 최소화 되는 방법을 연구하였다. 상대습도, 플레이트의 온도 등 다양한 변수들에 대하여 서로 다른 성질의 플레이트에 착상되는 정도를 확인함으로써 성에 착상이 최소화되는 플레이트의 개발이 가능하다. 성에 착상을 최소화하기 위한 소재 개발과 본 연구과제의 결합은 성에 착상 지면에 굉장히 우수한 성능을 보장할 것으로 판단된다. 소재 개발 뿐 아니라 성에 착상을 최소화하기 위한 다양한 연구개발이 필수적이다.

수집 문헌

: H. Lee et al. /Frost formation on a plate with different surface hydrophilicity
/International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 4881 - 4893



Point	Test conditions	Deposition time, min		Test No
		5	30	
a	Re = 12000 W = 2.64 g/kg T _p = 253.15K			1
b	Re = 15000 W = 4.0 g/kg T _p = 258.15K			5
c	Re = 12000 W = 6.0 g/kg T _p = 253.15K			8
d	Re = 12000 W = 9.36 g/kg T _p = 253.15K			20

(b)

그림 73. Frost density profile for different air humidity and plate temperature and those images of frost structure: (a) contour plot and (b) frost images.

6. 성에 성장(2)

신재생 에너지의 활용으로 널리 사용되는 히트 펌프 시스템의 실외 열교환부의 성에 성장에 관한 실험적인 연구를 제시하였다. 폐쇄된 냉동 시스템보다 성에 착상이 훨씬 심한 실외 열교환부의 성에 착상은 열교환기의 효율을 감소시키는 큰 원인이다. 본 연구과제는 폐쇄된 냉동 시스템에서의 성에착상보다 그 정도가 훨씬 심한 일부 오픈된 냉동시스템에 적용될 수 있으므로, 수집된 연구개발 기술 정보의 활용이 필수적이다.

수집 문헌

: Ehsan Moallem , EXPERIMENTAL STUDY OF ONSET AND GROWTH OF FROST ON OUTDOOR COILS OF AIR-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS, A SME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems 16 - 19 May, 2010, Sorrento, Italy

Table 1. Fin & Tube Heat Exchanger Geometries

Parameter	Value
No. of Rows	1
Finned Length (mm)	305
Coil (Finned) Height (mm)	305
No. of Tubes	12
Fin (Coil) Depth (mm)	22.1
Fin Distance (mm)	1.59
Fin Thickness (mm)	0.10
Tube Outer Diameter (Riffle Expanded) (mm)	10.67
Tube Inner Diameter (Riffle Expanded) (mm)	10.06

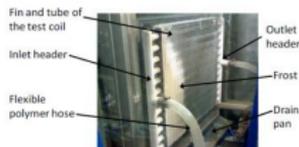


Figure 1: Image of the fin-and-tube test coil under frosting inside the low temperature air wind tunnel

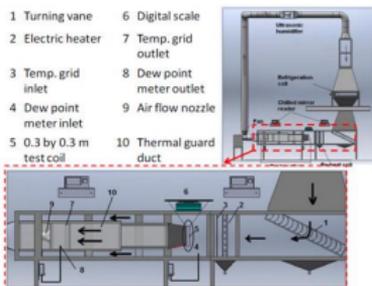


Figure 2: Schematic of the air wind tunnel for low temperature frosting experiments

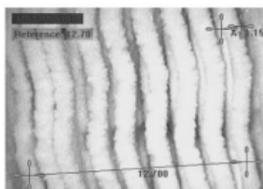


Figure 3: Example of frost thickness measurement on fins of the fin and tube heat exchanger

그림 74. 히트펌프 열교환부의 성에 착상

7. 성에 성장(3)

성에 착상 및 제상에 대한 분석적이고 경험적인 연구를 수행하였다. 루버핀에서의 성에 착상 정도 그리고 제상에 대한 정확한 분석으로 효율적인 성에 제거가 가능하다. 제상단계에서 완벽하게 성에를 제거하고, 핀 표면에 녹아내린 성에가 완전히 제거된 이후에 다시 열교환기를 가동시키면 핀 표면에서 완전히 제거되지 않은 물이 성에가 아닌 얼음으로 고화될 가능성도 있다. 성에 착상량에 따른 제상을 위한 정보로 사용가능할 정도의 정확한 정보의 분석이 필수적이다.

수집 문헌 : Y. Xia, P. S. Hrnjak, and A. M. Jacobi, An Analytical and Empirical Study of Frost Accumulation Effects on Louvered-Fin, Microchannel Heat Exchangers, December 2006

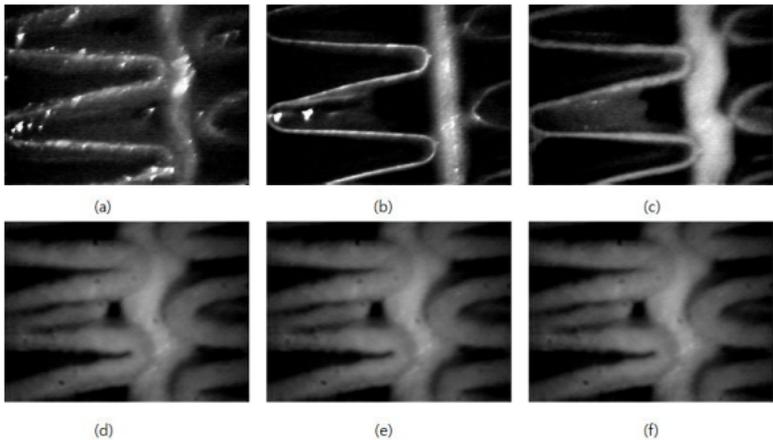


그림 77. Images of fins between two successive defrosting cycles: (a) melting frost; (b) end of defrost; (c) refrost (d) end of refrost (e) re-melting ; (f) end of second defrost.

8. 성에 착상 방지

성에 착상을 감소시키는 페인트를 사용한 금속표면과 이를 사용하지 않는 금속표면에서의 성에 착상 정도를 확인하였다. 하기 논문에 언급된 정보로는 약 120분 정도의 시간이 경과하여도 성에 착상이 거의 없는 것으로 확인된다. 그 이상의 시간에서 성에 착상 정도에 대한 정보 확인이 필요하며, 성에 착상을 감소시키는 페인트의 수명 및 내구성, 그리고 경제성을 검토할 필요가 있다. 비교적 높은 온도 외기 온도, 아주 낮은 상대 습도에서 수행된 실험이므로, 냉동고 내의 조건에서도 유사한 결과를 얻을 수 있는지에 대한 정보의 추가 수집도 필요하다.

수집 문헌 : Z. Liu et al. / An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface / International Journal of Refrigeration 29 (2006) 229 - 236



그림 75. Cold plate coated with the anti-frosting paint on the left half and Comparison of frost deposition in the central area of the coated (left) and uncoated (right) surfaces at 120 min.

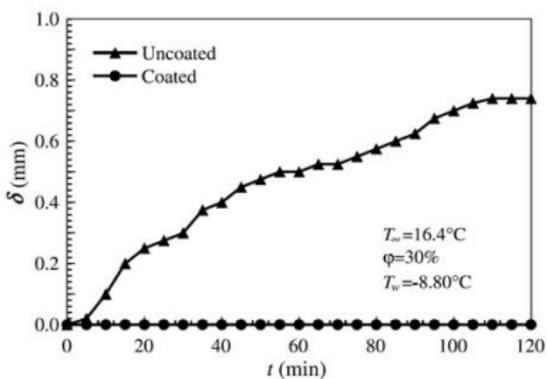


그림 76. Comparison of frost deposition processes on the coated and uncoated surfaces: High plate temperature and low humidity conditions.

제 7 장 참고문헌

1. 김재돌, 2010, 착상과 제상이 냉동장치의 운전특성에 미치는 영향, 한국동력기계공학회지 제 14권 제 4호, pp.5-10.
2. 최봉준, 신종민, 2002, 표면특성이 다른 두 핀-관 열교환기의 착상 및 제상 성능, 설비공학논문집 제 14권 제 6호 pp. 525-531
3. 이관수, 2012, 열교환기에서 착상 및 제상 특성, 설비저널 제 41권 제 10호 pp. 36-43.
4. Kim, K. and Lee, K.S., 2012, Frosting and defrosting characteristics of a fin according to surface contact angle, Int. J. Heat and Mass Transfer Vol. 54 (13-14), pp. 2758-2764.
5. 이강석, 지성, 박진구, 이관수, 2004, 여러 종류의 재질을 이용한 판상 착상 거동에 대한 실험적 연구, 대한기계학회 2004년도 춘계학술대회, pp. 1576-1581
6. B. Na, R.L. Webb / New model for frost growth rate / International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004) 925 - 936
7. X.-M. Guo et al. / Experimental study on frost growth and dynamic performance of air source heat pump system / Applied Thermal Engineering 28 (2008) 2267 - 2278
8. Robert William Style, The formation and evolution of frost flowers and related phenomena, University of Cambridge, September 2007
9. JIANXIN YANG, A STUDY OF HEAT PUMP FIN STAGED EVAPORATORS UNDER FROSTING CONDITIONS, Texas A&M University, 2003

10. B. Na, R.L. Webb / A fundamental understanding of factors affecting frost nucleation / *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46 (2003) 3797 - 3808
11. H. Lee et al. / Frost formation on a plate with different surface hydrophilicity / *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47 (2004) 4881 - 4893
12. Ehsan Moallem , EXPERIMENTAL STUDY OF ONSET AND GROWTH OF FROST ON OUTDOOR COILS OF AIR-SOURCE HEAT PUMP SYSTEMS, ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems 16 - 19 May, 2010, Sorrento, Italy
13. Z. Liu et al. / An experimental study on minimizing frost deposition on a cold surface under natural convection conditions by use of a novel anti-frosting paint. Part I. Anti-frosting performance and comparison with the uncoated metallic surface / *International Journal of Refrigeration* 29 (2006) 229 - 236
14. Y. Xia, P. S. Hrnjak, and A. M. Jacobi, An Analytical and Empirical Study of Frost Accumulation Effects on Louvered-Fin, Microchannel Heat Exchangers, December 2006