

농산물 저온저장고 환경관리 자동화시스템 개발

Development of an Automatic Environmental Control System for Low Temperature Storage Warehouse

정 훈*	윤홍선*	오병기*	조광환*	김유호*	조영길*
정희원	정희원	정희원	정희원	정희원	정희원
H.Chung	H.S.Yun	P.K.Oh	K. H. Cho	Y.H.Kim	Y.K.Cho

1. 서론

최근 우리나라 농업은 WTO출범에 따라 농산물 시장이 개방됨으로써 수입농산물과의 경쟁이 치열하게 되었다. 외국 농산물의 국내시장 반입은 한국의 농업과 농산물 시장의 존립 기반마저 위협하고 있다. 따라서 국내 농산물이 외국 농산물과 경쟁해서 이길 수 있는 길은 보다 신선한 고품질의 농산물로 소비자에게 만족도를 주어야 할 것이다. 이를 위해서는 농산물의 예냉, 저장, 수송, 판매 등의 저온유통체계가 잘 확립되어야 한다.

그러므로 농산물을 신선하게 유지시켜주는 저온저장고의 중요성은 크다고 할 수 있다. 그러나, 전국의 농산물 저온저장고의 운영에 있어서 여러가지 문제점이 있다. 수확후의 농산물을 고품질로 유지하기 위하여 저장온도와 습도 및 가스 등의 복합 환경조절이 필요하나, 대부분의 저온저장고에서는 온도조절에만 의존하고 있어 이로 인한 저장 농산물의 손실이 매우 크다.

또한, 농산물 저온저장고 환경관리의 정밀성과 냉각기기의 정확한 작동여부는 농산물 저장의 성패를 좌우하는 중요한 사항이나, 환경관리의 정밀성이 떨어지고 과부하에 의한 냉동기 정지시 재가동에 따른 저장물의 손상을 방지하기 위한 조기 감지 경보체계가 미비한 실정이다.

따라서 본 연구는 이러한 농산물 저온저장고의 문제점을 해결하기 위하여 저장고내의 환경을 예측하여 최적의 상태로 농산물을 저장할 수 있는 복합 환경제어 시스템 및 이상시 조기경보를 할 수 있는 경보시스템을 개발하기 위하여 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 저온저장고 현황조사

기존에 보급되어 있는 저온저장고의 농산물저장 현황을 조사하고, 저온저장고의 문제점을 파악하기 위하여 6개도 40개소, 사과 등 16작목에 대한 환경조절 시스템 및 기자재 현황을 조사하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

(1) 농산물 저온저장고 보급현황

전국에 분포되어 있는 농산물 저온저장고의 보급현황을 조사해 본 결과 '95년 8월말 현재 총 999개소(1,324동, 239,732평)가 보급되어 719,196톤의 농산물이 저장되어 있는 것으로 조사되었다. 보급순위는 경남, 경북, 전남 등이었으며, 과실·채소류의 저장 품목별로는 양파 34%, 사과 12.4%, 마늘 10.7%로 양파, 마늘이 전체 저장물량의 44.7%를 차지하였다.

(2) 환경조절시스템 및 기자재 현황조사

6개도 40개소, 사과 등 16작목에 대해서 조사한 결과 냉동기 이상감지 경보장치가 구비된 저온저장고는 40개소 중 23개소, 자동 습도조절장치가 구비된 곳은 40개소 중 8개소에 불과하였으며, 자동 환기조절장치가 구비되어 있는 저온저장고는 한 곳도 없었다.

조사결과 문제점으로는 과부하시 기계식 압력센서에 의해 냉동기가 자동 정지하는 방식으로 냉동기가 정지되었다는 정보를 알 수 없어 현장에서 냉동기의 정비여부를 확인한 후 재가동 시켜야 하기 때문에 인력에 의한 냉동기 재가동지연에 따라 저장물 손상이 과다하였으며, 습도센서의 부정밀과 가습기의 소용량 등에 따른 습도조절의 정밀성이 미흡하였고, 수동 환기팬 가동에 따른 노력과다 및 저장성 저하가 초래되었다. 따라서 복합 환경제어시스템에 의한 온·습도, 환기의 자동화와 냉동기 이상감지 경보 및 연속운전 조절시스템의 개발이 요구되었다.

나. 시작기 제작

실험에는 저온저장고의 크기가 길이 5.9m, 폭 2.5m, 높이 5m인 기존 저장실험실을 활용

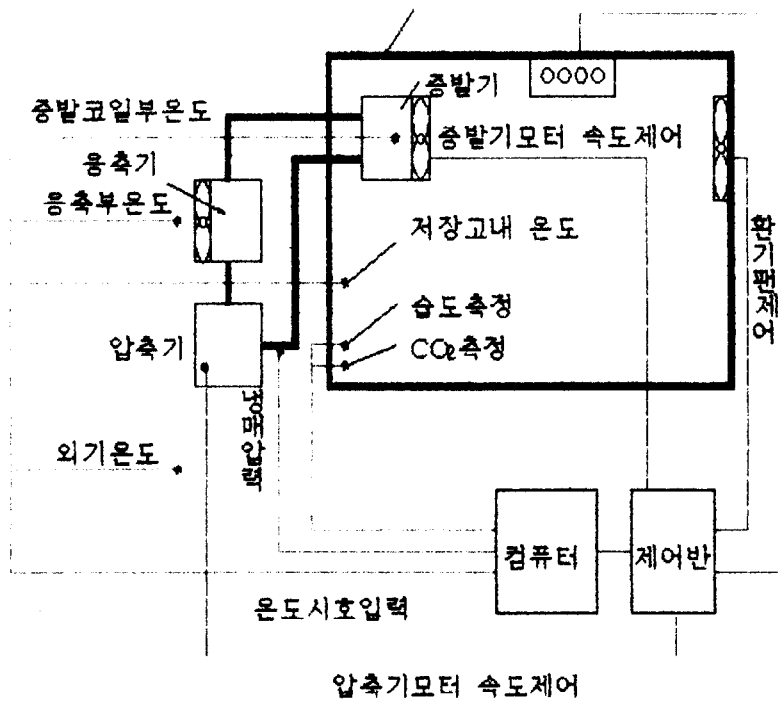


Fig. 1. Schematic diagram of the prototype for an automatic control system.

하였으며, 냉동기는 왕복압축 공냉식(3ps)을 사용하였다.

시작기의 구조를 Fig.1에 나타내었다. 저장고내의 냉각은 압축기, 응축기, 증발기에 의해 이루어지며 냉매관의 고압측에 전기식 압력센서를 설치하였고, 온도센서는 Pt100 Ω 을 사용하였으며, 증발코일부, 응축부, 저장고 바깥쪽에 하나씩 설치하고 저장고내에 상하 대각방향으로 두 개를 설치하였다. 가습기를 제어하기 위해 전기저항식 습도센서와 환기팬을 제어하기 위해 적외선 흡광식 CO₂가스센서를 저장고내에 설치하였다. 그리고, 컴퓨터로 각종 센서 신호를 입력받아 냉동기, 환기팬 등의 제어를 하도록 하였다.

제어시스템 구성도를 Fig.2에 나타내었다. 압력, 습도, CO₂가스 신호는 A/D변환기에 의

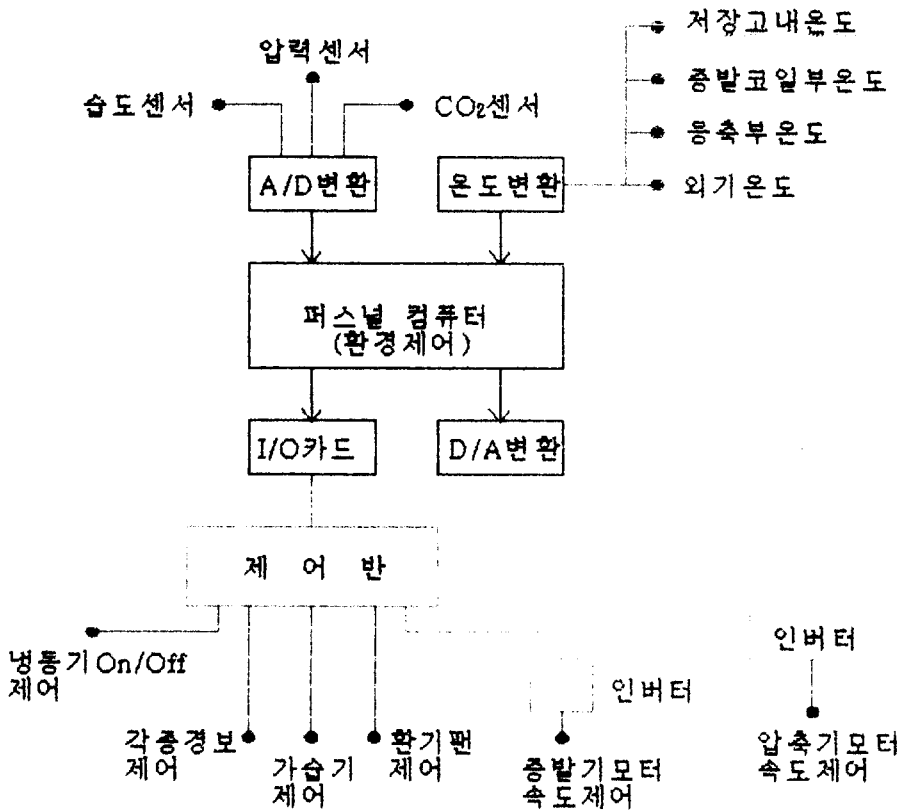


Fig. 2. Schematic diagram of the control system

해 변환되도록하고, 각종 부위의 온도신호는 온도변환기에 의해 변환되어 컴퓨터에 입력되고 입력된 센서신호는 컴퓨터에 의해 연산되어 각종 기기들을 제어하도록 하였다. D/A변환기에 의해 인버터를 제어하여 압축기 모터 속도를 제어하고, I/O카드를 통해 제어반에서 증발기의 모터 속도, 환기팬, 가습기, 냉동기, 각종 경보 등을 제어하도록 하였다. 압축기와 증발기의 모터 속도는 냉동기 과부하시 부하를 최대한 억제하여 냉동기의 작동정지를 방지하고, 과부하가 아닐 때는 정밀한 온도조절을 하기 위한 것이다.

제어시스템 운영 소프트웨어는 Turbo C언어로 작성하였으며, 제어프로그램의 개략적인 순서도를 Fig.3에 나타내었고, 온도, 냉각기 부하 및 제상제어 알고리즘을 Table 1에 나타내었다.

제어프로그램 순서도에서 먼저 온도, 습도, CO₂농도 등의 설정치를 읽은후 각종 센서에

Table 1. Algorithm of the control of a temperature, load and defrost

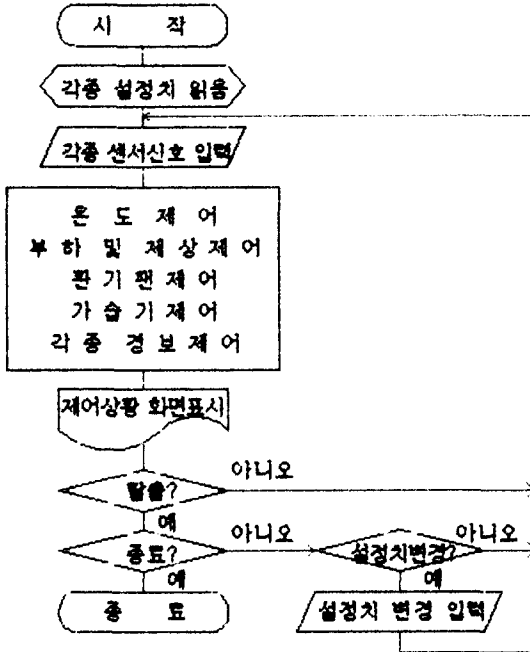


Fig.3. Flowchart of the control program

저장고내 온도	냉매압력 (kgf/cm ²)	증발코일부 온도 (°C)	제어 1순위
(설정온도-고내온도) < 0°C	16이하	-15이상	온도
		-15이하	제상
	16~18	15이상	부하
		-15이하	제상
18이상	전범위	부하	
19이상	전범위	부하	
0 < (설정온도-고내온도) <= 0.3	16이하	-15이상	온도
		-15이하	제상
	16~18	-15이상	부하
		-15이하	제상
18이상	전범위	부하	
19이상	전범위	부하	
(설정온도-고내온도) > 0.3	전범위	전범위	온도

서 신호를 입력 받는다. 이 센서들의 값을 연산하여 온도, 부하 및 제상, 환기팬, 가습기 및 각종 경보를 제어하고 제어상황을 화면에 표시한다. 키보드의 [Esc]키를 치면 설정치 변경을 묻고 다음에 종료여부를 묻는데 종료가 아닐 때는 다시 센서신호 입력루틴으로 루프를 돌게 된다.

Table 1은 저장고 내의 온도와 냉매압력, 증발코일부 온도가 표에 나타난 것과 같을 때 제어 1순위를 나타낸 것이다. 제어시에는 냉동기 ON/OFF제어 및 압축기, 증발기 모터 회전수도 병용해서 제어가 된다.

다. 저온저장고 원격 환경관리시스템

Fig.4에 저온저장고 원격 환경관리시스템의 구조도를 나타내었다. 저장고와 저장고 관리자의 위치가 멀리 떨어져 있을 때 가정이나 사무실에서 저장고내의 온도, 습도, CO₂가스 등의 환경상황을 전화선을 이용해서 계측하고 제어할 수 있도록 하였다. 원격 통신소프트웨어는 직접 제어가 가능한 상용소프트웨어를 사용하였다. 또, 농산물 저장중에 기기이상으로 저장

고 내의 온도가 크게 변하거나 과부하로 냉동기가 정지되었을 때는 작업자에게 전화 또는 호출을 하는 루틴을 제어프로그램에 삽입하였다.

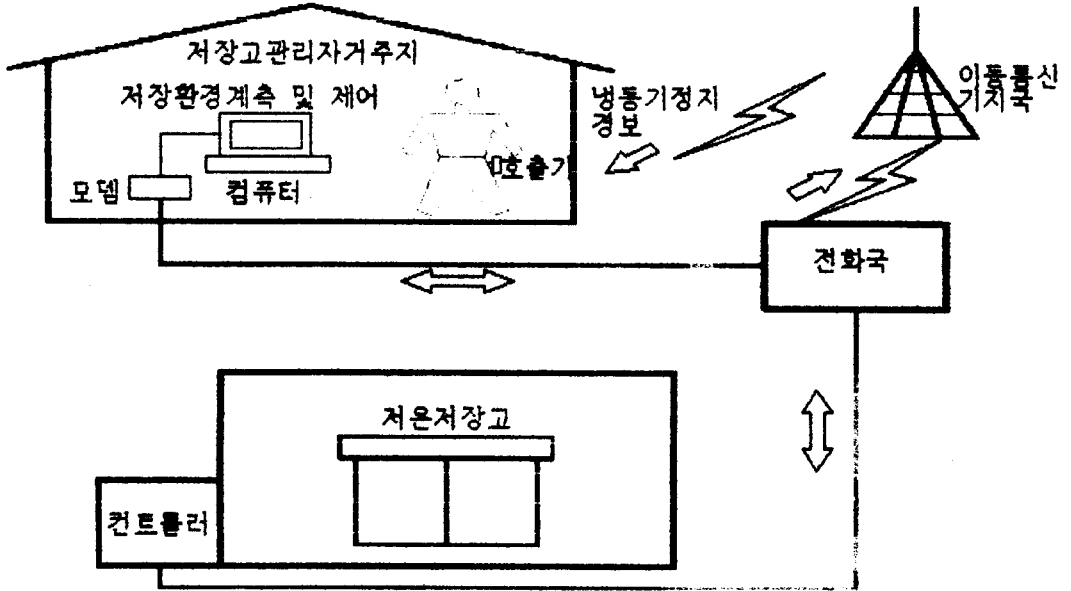


Fig. 4. Schematic diagram of the remote control system

라. 시험방법

저온저장고 복합 환경제어시스템의 성능시험에 있어서 시험요인으로는 냉각 과부하와 외기과부하이며, 주요 조사항목으로는 이상감지 정보 및 부하조절 정밀도, 온·습도 조절 정밀도, CO₂가스 배기 정밀도 등이다. 여기서 냉각 과부하는 저장물의 양에 관계하지만 저장고 내의 체적을 조절하므로써 대체하였고, 외기 과부하는 외기온도가 고온일 때 응축량이 부족하여 생기는 부하이지만, 응축부의 공기유입면적을 조절하여 대체하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 부하 및 온도조절 정밀도

Table 2. Accuracy of the control of load and temperature

응축부 공기유입면적율 (%)	외기 온도 (°C)	설정 온도 (°C)	온도 편차 (°C)	비고
20	26.4	18	±0.4	평균 온도편차 ±0.4°C
40	27.3	18	±0.4	
80	28.0	17	±0.4	

시험요인으로는 냉각과부하와 외기과부하이며, 시험결과는 Table 2.와 같이 평균 온도편차가 ±0.4°C로 나타나 부하 및 온도조절이 정밀한 것으로 나타났다.

※ 온도편차 : 설정온도와 저장고 실내온도의 편차

※ 응축부공기유입면적율 : 공기 유입량에 따른 외기과부하량

나. 이상감지 경보장치 작동정밀도

Table 3. Operating accuracy of an alarm

구 분	경 보 범 위	조 사 항 목	조 사 결 과
과부하경보	냉매압력 19kgf/cm ² 이상	경보유부	100%
제상이상경보	증발코일부온도 -20도 이하	경보유부	100%
냉동기이상경보	압축기가동시 냉매압력 11kgf/cm ² 이하	경보유부	100%

냉동기의 과부하나 제상이상, 또는 냉동기의 정지시 경보를 얼마나 정확히 할 수 있는가에 대한 시험결과 경보범위가 Table 3과 같을 때 100%의 경보 정밀도를 보였다. 경보확인 은 제어장치의 램프점등으로 확인하였다.

다. 온·습도조절 정밀도

Table 4. Accuracy of temperature control

실험 회수	설정 온도 °C	설정습도 % (RH)	외기 온도 °C	저장고내 온도편차 °C	저장고내 습도편차 % (RH)
1 회	4	85	21.7	±0.5	+5.4
2 회	3	80	21.5	±0.2	+6.0
3 회	2	90	6.8	±0.6	+2.7
4 회	2	80	13.7	±0.5	+3.8
5 회	2	70	16	±0.5	+6.8
평 균	-	-	-	±0.5	±5.0

외기온도, 설정온도 및 습도가 Table 4와 같을 때 저장고내의 온도와 습도의 편차를 조사해 본 결과, 평균 온도편차는 ±0.5°C이었으며, 평균 습도편차는 ±5%로 양호하게 나타났다.

라. CO₂가스 배기 정밀도

Table 5. Exhausting accuracy of CO₂

실험 회수	설정 온도 °C	설정 CO ₂ 농도 ppm	외기 온도 °C	저장고내 CO ₂ 농도편차 ppm
1 회	2	700	18.6	±23.6
2 회	3	800	21.4	±22.4
3 회	5	700	20.4	±90.5
4 회	5	600	11.7	±63.2
5 회	3	700	13.0	±33.2
6 회	4	800	14.0	±98.2
7 회	4	700	14.7	±64.7
8 회	4	600	14.0	±82.2
9 회	2	700	12.9	±87.8
10 회	5	700	3.0	±73.1
11 회	1	700	7.1	±22.5
12 회	2	800	9.9	±65.6
13 회	2	700	10.3	±52.1
14 회	2	800	6.3	±53.6
평 균	-	-	-	±60

농산물의 저장시에 부패를 촉진시키는 에틸렌 가스와 완전히 비례하지는 않지만, 호흡량과 비례하는 CO₂가스 발생량을 측정할 수 있는 센서를 사용하여 자동으로 환개팬 문을 열고 환기팬을 가동시키는 방식으로 시스템을 구성하였다. Table 5와 같은 시험 조건에서 자동환기를 해서 저장고 내의 CO₂가스 농도의 편차를 조사해 본 결과 평균 ±60 ppm의 정밀도를 보였다.

4. 결론 및 요약

본 연구는 농산물의 고품질 유지 저온저장을 위해서 최적의 상태로 농산물을 저장할 수 있는 복합 환경제어시스템을 개발하기 위한 것으로 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저온저장고 환경조절시스템 및 기자재 현황을 조사한 결과, 냉동기 이상감지 경보장치가 구비된 저온저장고는 58%, 자동 습도조절장치가 구비된 곳은 20%에 불과하였으며, 자동 환기조절장치가 구비되어 있는 저장고는 한 곳도 없었다.
2. 현황조사결과 냉동기 정지시 재가동 지연에 따른 저장물 손상이 과다하였으며, 습도조절의 정밀성도 저하하였으며, 수동환기팬 가동에 따른 노력과다 및 저장성 저하가 초래되었다.
3. 저온저장고 환경관리 자동화시스템을 개발하기위해 시작기를 제작하였는데, 저장고 크기는 길이, 폭, 높이가 5.9m, 2.5m, 5m로 하였으며, 냉동기는 왕복압축 공냉식 3마력짜리로 하여 냉매관에 전기식 압력센서를 설치하였고, 가습기, 환기팬, 온도센서, 습도센서, CO₂가스센서등을 설비하였다.
4. 제어시스템은 각종 부위의 센서신호를 컴퓨터에서 입력받아 연산하여, 압축기모터 및 증발기모터 속도, 환개팬, 가습기 및 각종 경보 등을 제어하게 하였다.
5. 저온저장고와 관리자가 멀리 떨어져 있을 때, 전화선을 통해 환경상황을 계측 및 제어할 수 있게 하였고, 냉동기 정지 등 저장환경에 이상이 있을 때는 전화나 호출기를 이용하여 관리자에게 알리도록 하였다.
6. 과부하시의 경보유무를 조사하기 위하여 냉동기의 과부하나 제상 및 냉동기의 정지시 경보작동 정밀도를 시험해 본 결과 100%의 정밀도를 보였다.
7. 저장고내의 온도와 습도의 편차를 시험한 결과, 평균 온도편차는 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 평균 습도편차는 $\pm 5\%$ 로 기존의 저장고 편차보다 정밀하게 나타났으며, 환기자동화를 위해 저장고 내의 CO₂가스 농도의 편차를 시험한 결과, 평균 $\pm 60\text{ppm}$ 의 정밀도를 보였다.
8. 실용화를 위해서는 PC제어방식과 마이컴제어방식, 원격 환경제어방식, 원격 경보방식 등의 옵션화를 하고, 저장품목 및 규모별로 설계가 되어 수요자의 요구에 맞추어야 할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 농림부, 1995, '95 농산물 저온저장고 시설현황.
2. 이기명 외, 1994, 원예작물 현대화시설 환경조절장치 및 제어기술 개발, 농진청 특정연구보고서.
3. 이상영, 1997. 8, 산지에서 소비자까지 콜드체인시스템의 필요성과 구축방향, 원예저장유통연구회지 제 9호 : p3~5.
4. 한국냉동공조기술협회, 1994, 냉장창고.
5. 홍순호, 1995, 식물공장의 생육환경 제어에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교.
6. 漆崎末夫, 1996, 農産物の鮮度保持 - エチレン制御とその利用, 筑波書房.