# 농산물 저온저장고의 열펌프 냉동기를 이용한 건조 저장기술로 생산성 향상 사례

이 태 호
농협중앙회 (nacflee@korea.com)

## 서 론

상주시조합공동사업법인에서 종합처리시설의 농산물 건조저장시설에 대한 열펌프 냉동제습 · 큐어링방식을 적용한 시공사례를 기술한 것으로, 본 원고에서는 6월에 생산되는 양파의 수확 후 관리기술로서 양파저장에 대해서 설명하였다. 우리나라의 양파는 하절기 6월부터 생산되는데 수확시기에 따라 양파의 모양이 달라지는 것을 시작으로 처음에는 구(球)의 높이가 직경에 비례하면서 점차 도복(倒伏)이 진행됨과 동시에 구의 직경이 커지고 품종 고유의 모양을 갖게 되는 적당한 시기에 수확을 해야 저장성에도 영향을 미치게 된다. 비록 좋은 품종의 양파를 수확하였다 하더라도 적합한 저장시설과 관리기술이 없으면 출하 때 예상치 못한 문제로 손실이 발생하게 된다. 따라서 산지에서부터 수확 후 관리기술을 적용한 저온저장고 열펌프냉동시스템 저장기술로 소개하고자 한다.

## 양파의 수확과 저장환경

### 양파의 수확기 판정 및 생리

양파는 구가 비대 성숙하면서 내부로부터 새로운 잎이 더 이상 자라지 않게 되면서 엽초부터 조직이 약해져 지상부의 무게에 의해 스스로 넘어지는 상태의 도복(倒伏)이 진행되며 수확기 판정 기준으로 삼는다. 도복은 같은 품종이라도 시비량, 재배방법, 외기의 조건 등에 따라 차이가 생긴다. 도복이 시작되면서 1주일 전후로 재배양파가 일제히 진행되며, 이때 잎과 줄기의 양분이 내려와서 구의 비대(肥大)를 도와준다.

도복 후에도 지상부가 완전히 고사될 때까지 구의 비대가 계속되므로 도복이 진행될수록 수확량은 좋아진다. 일반적으로 수확기는 수확하는 목적에 따라 달리하게 되는데 조생종의 경우는 조기출하할수록 가격이 높으므로 도복시작 때부터 시장가격을 보아 수확하며, 중 · 만생종은 도복 후 경엽이 완전히 마르기전에 수확하게 된다. 저장을 위한 양파는 수확에서 맹아(萌芽)가 발생하는 과정에 생기는 부패와 후반에 맹아를 지연시키는 저장환경기술이 출하 단가를 가름하게 된다. 저장고의 온도는 구(球)가 얼지 않을 만큼의 낮은 온도(0~0.5℃)에서 저장하고, 습도는 65~75%정도로 유지함으로써 호흡작용 및 증산작용에 의한 중량감소, 신선도 저하, 부패 및 맹아를 억제한다. 저장용기는 바람이 잘 통하는 플라스틱 상자나 그물망

을 이용하여 18~20kg씩 담아 저장한다.

### 저장성 향상을 위한 건조와 큐어링

주로 비가 오는 날에 수확한 양파는 습기가 많아 건조되지 않은 상태에서 저장할 경우에 부패가 가장 많이 발생하게 된다. 비록 좋은 날씨에 수확을 하였다 하더라도 토질이 다르고 수확시기에 따라서 태양에 노출되면 내부 품온이 상승하고 저온창고에 입고하였을 때 높은 냉동부하로 쿨러의 강한 냉기가 양파 표면에 냉해를 입히게 된다. 그래서 산지에서 수확한 양파는 P-Box(망)에 담아 팔레트에 적재한 후 습기가 많은 양파는 서늘한 곳에 두어 자연건조 후 큐어링(curing)을 하는데 일반적으로 자연건조→큐어링→저장→출하 단계를 거친다. 본고에서는 저온창고에 바로 입고한 양파를 자연건조 대신 열펌프 냉동시스템을 이용한 제습 건조와 큐어링을 효과적으로 실시하게 되어 저장성을 높임으로써 이듬해 3월까지 저장 후 출하하여도 감모율이 5%가까이 낮아져서 양파 부패로 인한 추가 선별에 따른 시간과 노동력이 절감되어 생산성과 수익성이 향상된다.

큐어링에 따른 양파 부패율은 **표 1**과 같다.

〈표 1〉 큐어링별 부패율 (단위: %)

| 구 분 | 밭 | 논 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 미실시 | 54.0 | 41.6 | |
| 포장 큐어링 | 38.2 | 15.3 | |
| 적재 큐어링 | 29.2 | 12.9 | |
| 실내 큐어링 | 20.2 | 10.3 | |
| 열풍 큐어링 | 23.6 | 10.0 | |
| 송풍 큐어링 | 15.9 | 5.3 | |

※ (사)한국양파산업연합회 현황자료 인용

## 저온저장고시설의 열펌프 적용사례

상주시 조합공동 사업법인 종합처리시설 냉동설비공사에서 추진한 냉장 · 건조 · 큐어링 설비공사의 개요를 살펴보기로 한다. 냉장실 면적은 65.0 m × 31.5 m = 2,047.5 m² 이고, 작업장면적은 26.0 m × 49.0 m = 1,274 m² 이며 레이아웃 도면을 **그림 1**에 냉장실에 들어가는 냉동장비 제원은 **표 2**에 관련된 현장은 **그림 2~6**에 각각 나타내었다. 냉동기는 열펌프를 조합하여 제습 · 건조운전, 냉장보관, 열펌프운전 등으로 냉동사이클을 이용한 저장시설로서 효율화를 꾀한 첨단시설이라 할 수 있겠다.

〈표 2〉 냉동장비 제원

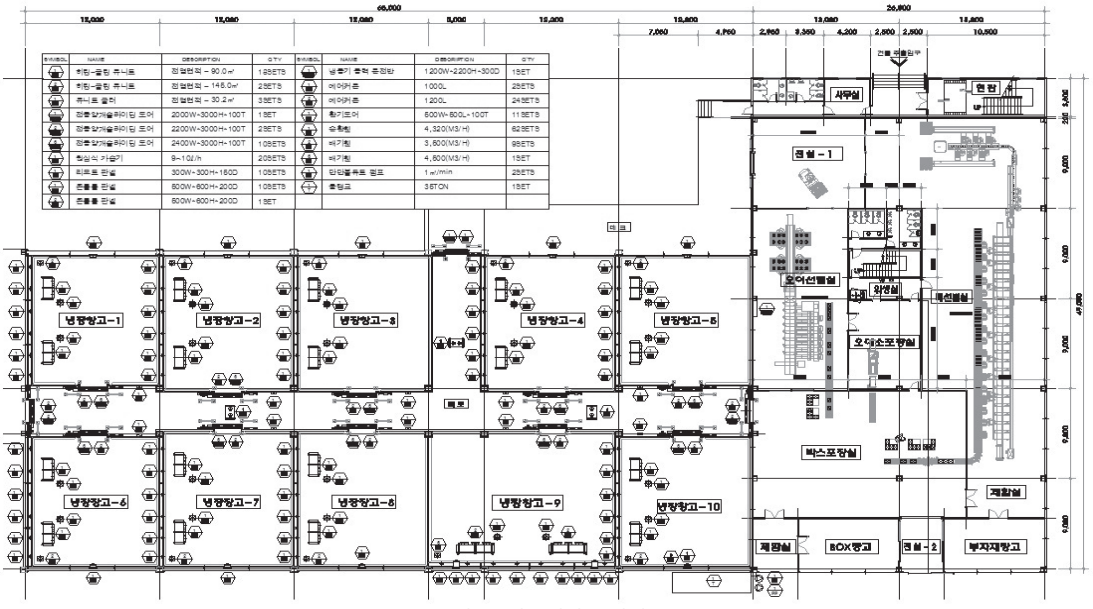
| 실 명 | 설계온도 | 증발기 (전열면적) | 콘덴싱 유닛(Heat pump) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 압축기 | 응축기 · 증발기 |
| 냉장창고-1 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-2 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-3 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-4 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-5 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-6 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-7 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-8 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 냉장창고-9 | 최저-2℃ | 145.0㎡*2대 | 30(15+15)HP*1대 | 418.3㎡ 1대 |
| 냉장창고-10 | 최저-2℃ | 90.0㎡*2대 | 20(10+10)HP*1대 | 247.7㎡ 1대 |
| 복 도 | 최저15℃ | 30.2㎡*3대 | 10HP*1대 | 108㎡ 1대 |

### 건조(제습) 운전

① 저장고내의 제품을 건조할 때 사용한다(**그림 7** 참조).

② 건조기는 실내의 온도를 높여 제품에서 나온 습기를 증발코일에서 제거하고, 다시 핫코일로 실내의 온도를 높이는 방식으로 구동된다.

③ 전자밸브 10, 5, 6, 7, 8번을 열어 액냉매를 통

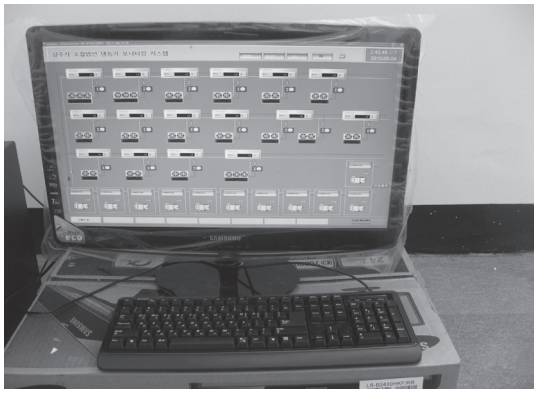



[그림 1] 저온저장고 평면도

[그림 2] 저장실 유닛 쿨러

[그림 3] 전실 유닛쿨러 설치

[그림 4] 열펌프 냉동유닛 설치



[그림 6] 중앙관제 컴퓨터

[그림 5] 저장실 제어기와 자동제어반

과해 팽창밸브에서 감압된 냉매는 저장고 내의 열을 흡수하고 습기를 제거한다.

④ 증발된 냉매는 액분리겸 열교환기, 액가스 열교환기에서 액냉매의 열을 흡수하고 과열되어 압축기로 보내진다.

⑤ 압축기를 나온 고온고압의 냉매는 전자밸브 9, 1, 2, 3, 4번을 열어주어 3번항의 습기가 제거된 실내공기를 가열하고 응축되어 수액기로 보내진다.

⑥ 수액기를 나온 액냉매는 3번항의 증발된 냉매와 열교환이 이루어지고 온도가 낮아져 냉동기의 효율을 높인다.

⑦ 전자밸브 11번은 압축기 가동시 항상 열리고, 온수를 생산한다.

⑧ 5번항 운전 중 고압이 높으면 전자밸브 12, 15번을 열어주고 압력을 낮춰주고 응축된 냉매는 수액기로 보내진다.

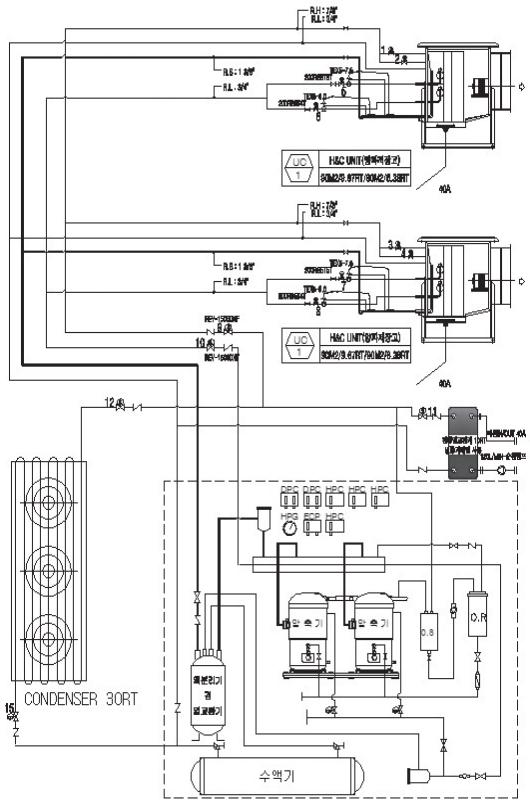
**열펌프(큐어링) 운전**

① 저장고의 온도를 높일 때 사용한다(**그림 8** 참조).

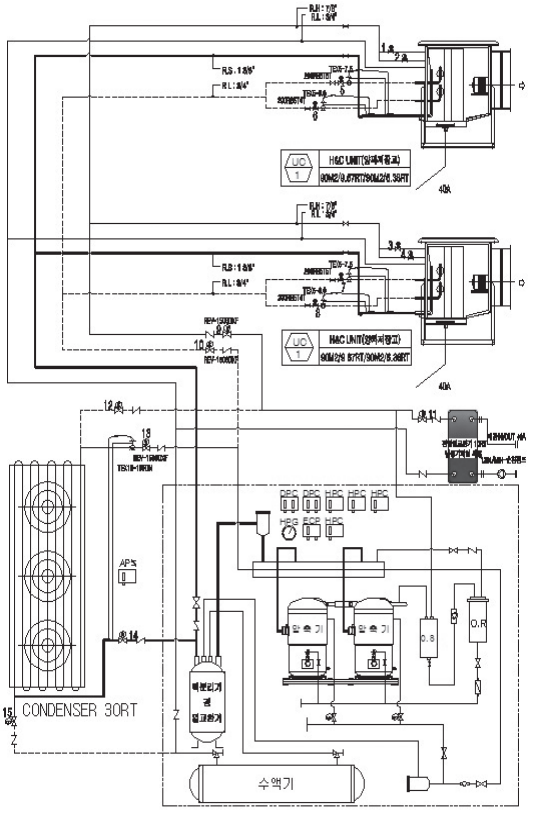
② 압축기를 나온 고온고압의 냉매가스는 전자밸브 9, 1, 2, 3, 4번을 열어 히팅코일로 들어가 저장고 내에 열을 방출하고 응축되어 수액기로 보내진다.

③ 수액기를 나온 냉매는 액분리기겸 열교환기 및 액가스 열교환기를 통과하여 온도가 낮아지고 냉동기의 효율을 높인다.

④ 열교환기를 지나온 냉매는 전자밸브 13, 14번을 열어 팽창밸브을 지나 감압되어 응축기(역 사이클)에서 외부공기의 열을 흡수하여 증발되고, 증발된 냉매는 액분리겸 열교환기, 액가스 열교환기




[그림 7] 건조(제습)운전 플로시트




[그림 8] 열펌프(큐어링)운전 플로시트

에서 액냉매의 열을 흡수하고 과열되어 압축기로 보내진다.

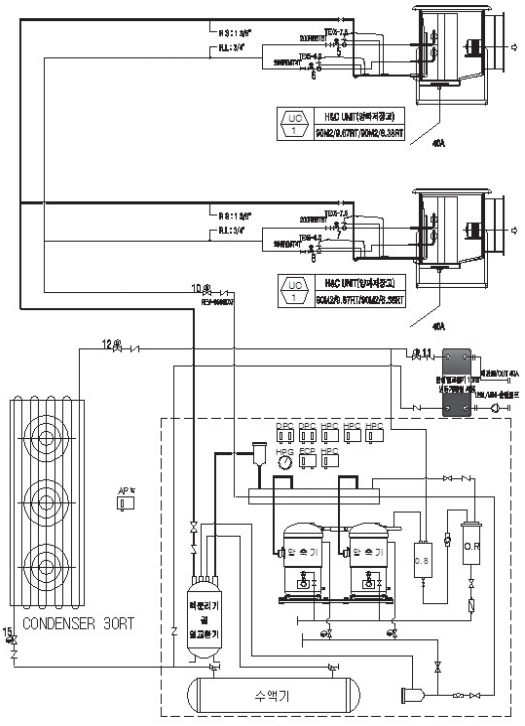
⑤ 응축기의 역 사이클 운전시 외부온도가 낮으면 전열핀에 적상이 생긴다, 이를 제거하기 위해 APS의 신호를 받아 정사이클(전자밸브 10, 5, 6, 7, 8, 12, 15번은 on / 9, 1, 2, 3, 4, 13, 14번 off)로 냉동기를 가동시켜 핫가스로 제상한다.

### 냉동보관 운전

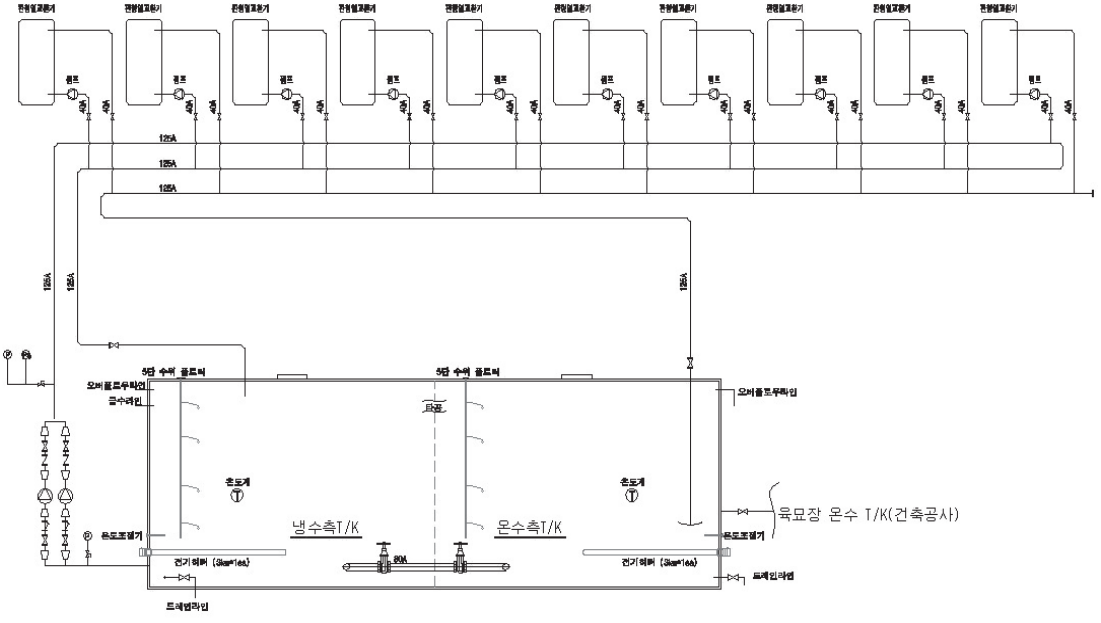
① 일반적인 저온저장고의 냉동시스템과 같이 작동된다.(건조된 양파 저장시 사용)(**그림 9**참조).

② 전자밸브 12, 15, 10, 5, 6, 7, 8번이 열리고 증발기코일에서 팽창밸브를 지나 감압된 냉매는 저장고내 열을 흡수하여 증발한다.

③ 온수를 생산 할 때는 압축기를 나온 고온고압의 냉매는 전자밸브 11번을 열어 판형열교환기를 HOT GAS가 통과하여 냉수와 열교환 과정에서 냉매는 응축되어 수액기로 보내진다




[그림 9] 냉장보관 운전 플로시트




[그림 10] 열펌프를 이용한 온수 계통도

## 저온저장고 냉동시스템의 열펌프를 이용한 에너지절약

### 건조적용

비오는 날이거나 습기가 많은 토질의 양파를 수확한 경우에는 저장고내의 냉동사이클을 제습모드로 설정하여 제습하는 방법으로 양파를 건조하여 좋은 결과를 얻었다.

### 열펌프 적용

본문의 열펌프는 응축기에 있어서 공기열원과 수열원을 결합하여 온수를 만들어 육모장에 이용하는 것과 저장실내의 건조를 하는 등의 냉동시스템에서의 최적화를 도모한 시스템이다. **그림 10**은 수냉식 열교환기를 이용한 계통도이다.

## 맺음말

일반적으로 노지에서 생산된 양파는 표면에 습기가 많거나, 장시간 태양에 노출되어 품온이 높은 경우에 그늘진 장소나 저온창고 전실에서 자연건조 또는 큐어링방식으로 건조 저장하는 수확 후 관리를 하고 있다. 이러한 작업 과정은 원물 이동에 필요한 노동력과 시간이 소비되는 단점이 있어, 열펌프 방식을 이용한 냉동시스템은 원물을 노지에서 바로 반입한 상태에서 제습건조와 큐어링을 순차적으로 실시하는 새로운 엔지니어링 응용기술이다. 본 기술을 적용한 종합처리 시설의 양파 저온창고 운영 실정을 자문해본 결과 양파의 부패율이 5%이내로 현저히 감소하는 등 좋은 결과를 얻었다. 또한 냉동과정에서 생산되는 응축열을 열교환기로 회수하여 온수로 이용함에 따라 부수적인 에너지 절감효과도 있어 우수 건조저장시설이라 할 수 있다. 최근 지구환경 변화에 따른 온난화로 대기가 불안전하여 예상치 못한 잦은 비와 폭우로 수확 후 관리에 어려움이 가중되고 있는 현실이다. 늘어나는 양파 재배면적에 비례하여 저온저장고 건립도 증가할 것으로 예상되는 바, 수확 후 저장기술에 활용할 수 있는 열펌프를 이용한 제습건조 냉동시스템기술은 시의적절한 것이라 할 수 있으며, 앞으로 저온저장고 건립에 본 시스템이 참고가 되어 농업인의 생산성 향상에 기여하였으면 한다.

## 후 기

상기 저온저장고의 운용상황 등 자문을 해주신 상주시조합 공동사업 법인 종합처리시설 관리자분과 냉동창고 설비공사의 관련 자료를 제공하여 주신 (주)지에스이엔지의 이경규 사장님께 감사드립니다.

## 참고문헌

1.상주시조합공동사업법인 종합처리시설 냉동설비공사 시방서,설계도서
2. (사)한국양파산업연합회 “고품질양파생산 및 수확 후 처리기술”