

자동단열온실의 구조 및 운전특성

李鍾元* · 李錫健 · 李賢雨
慶北大學校 農科大學 農工學科

— Structure and Experimental Results of Automatic Insulation Greenhouse —

Lee, Jong Won*, Lee, Suk Gun, Lee, Hyun Woo
Department of Agricultural Engineering
Kyungpook National University

I. 서 론

최근 국내에서도 시설원예가 급격하게 보급되고 있는 실정이다. 하지만, 시설원예가 에너지 소비형의 농경방식이라 지적되고 있는바 에너지절약형 온실의 개발이 필요할 것으로 판단되어, 본 실험실에서는 본 연구와 관련하여 비닐하우스의 벽체를 이중으로 하여 이중벽사이에 단열입자를 송풍기의 케이싱내로 직접 통하게하는 직송방식으로 충전·회수하는 실험을 실시한 바가 있으며, 그 결과 외기온의 평균이 -4.9°C 인 겨울철 야간에 입자를 충전한 이중비닐 하우스의 내부온도는 평균 9.8°C 로 단열성이 우수함을 알 수 있었다. 그러나 연질비닐로 피복한 경우에는 장기간 입자의 충전·회수과정의 반복이 곤란하여 실용성이 있는 견고한 유리 또는 경질PET필름으로 피복한 온실에 대한 자동단열실험이 요청되어졌으며, 직송방식에 의한 입자공급은 입자의 마모가 크고 정전기발생이 심하여, 간접방식으로 충전·회수하는 방법으로서의 개량이 요청되어졌다.

따라서 본 실험에서는 경질PET필름으로 이중피복한 온실의 자동단열시스템개발을 위한 기초실험을 수행하여 겨울철 난방에너지를 절약할 수 있는 시스템을 구성하고, 보온재의 피복과 제거에 소요되는 노동력의 절감과 적정온실환경을 조성할 수 있는 시스템을 구성하였다.

II. 재료 및 방법

본 실험장치는 이중벽을 가진 온실부와 입자를 저장하는 저립조, 입자의 충전·회수의 동력이 되는 송풍기와 입자의 순환경로인 충전(송입구 포함) 및 회수관(흡인구 포함)으로 구분할 수 있다. 온실부의 온실은 폭 3m, 길이 5m, 동고 2.87m인 양지붕형 온실로서 지붕의 경사는 입자가 원활하게 이동할 수 있는 경사를 가져야 하므로 5/10의 구배를 주었다. 그리고, 충전관, 회수관은 직경 8cm의 PVC를 사용하였으며, 송입구, 흡인구의 직경은 4cm로 하였다. 그리고, 본 실험에 사용된 스티로폼입자는 직경 3~5mm, 중량 $17\text{kg}/\text{m}^3$ 의 구형인 것을 사용하였으며, 입자를 온실로부터 회수하여 저장하는 저립조의 크기는 단면이 150cm인 정사각형이고, 높이가 250cm이 두께 3mm인 철판으로 제작하였다. 저립조의 상단에는 입자의 회수시에 사용되는 감압관이 설치되어 있고, 저립조의 내부 상단에는 감압시 펠레트입자가 감압관으로 나오지 못하도록 하기 위한 철판을 설치하였다. 충전 및 회수 시간에 상당한 영향을 미치는 송풍기는 0.5마력(380W)과 1마력(760W)의 축류팬 송풍기를 사용하여 충전 및 회수실험을 수행하였다.

1. 구 조

자동단열온실이라는 것은 온실의 방열면을 투명한 유리 또는 경질PET필름으로 이중벽을 만들어 8cm의 이중벽 공극에 일몰시에 단열펠레트를 충전해서 보온층을 만들고, 다음날 아침 일출시 배출해서 다시 일사의 투과를 양호하게 하는 구조로서 입자의 충전·회수를 송풍기에 의해서 수행하는 온실이다. 단열입자를 송풍기를 사용해 이중벽

온실부와 저립조사이를 원활히 움직이게 하는 것으로, 하우스 전체를 풍력수송장치로 생각하고 송풍기의 능력을 최대한 발휘하도록 하는 구조라고 할 수 있다. 이러한 자동단열온실의 실험장치를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

2. 송풍 및 제거 시스템

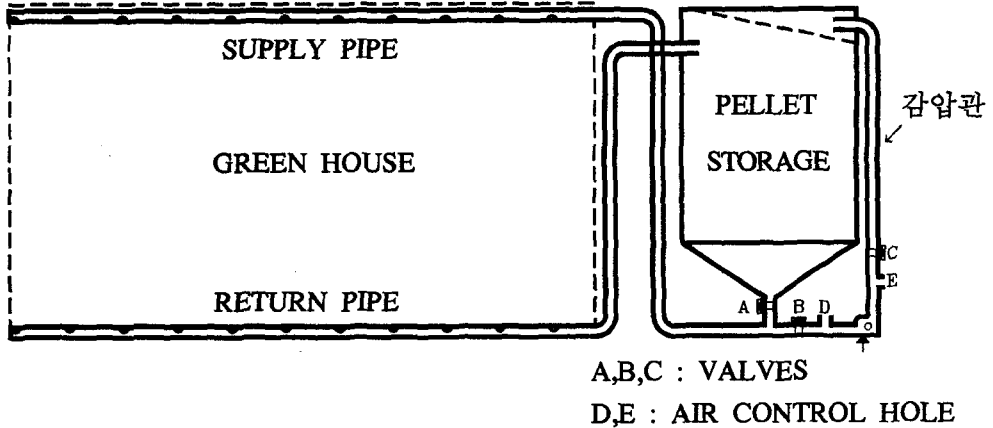


그림 1. Pipe arrangement for the pellet moving.

그림 1에서 보는 바와 같이 완전밀봉된 저립조의 하단부에 설치된 개폐밸브가 저립조 뒷쪽의 송풍기에 연결된 관과 연결되어 있으며 그 사이에는 입자의 회수시에 공기를 배출할 수 있는 개폐가능한 구멍과 개폐밸브가 있다. 또 송풍기 흡입구의 한쪽은 감압관을 통해 저립조의 천정부근에 설치되어 있는 구멍과 연결되어 있으며 그 도중에는 충전시 저립조와 연결된 감압관을 폐쇄할 수 있는 개폐밸브와 외기유입을 위한 개폐가능한 구멍이 있다.

단열입자를 이중벽안으로 충전시킬 때에는 밸브 A, B, E를 열고 송풍기를 가동시키면 밸브 E로부터 외기를 유입시키면서 입자는 저립조하부의 밸브를 통하여 충전관 → 송출구 → 이중벽 사이로 충전된다. 이때 이중벽으로 유입되는 공기는 온실천정부위에 있는 배기구를 통하여 대기중으로 방출된다. 입자를 저립조로 회수시킬 때는 밸브 A, B, E를 닫고 밸브 D, C를 열어서 송풍기를 작동하면 감압관을 통하여 저립조내의 공기는 외부로 방출되어 저립조내의 부압이 되면서 입자는 이중벽 → 흡인구 → 흡입관 → 저립조로 회수된다. 이때 입자의 수송에 필요한 공기는 온실천정양단에 있는 배기구로 유입된다. 즉 이중벽을 가진 온실에 충전 또는 회수시의 순환경로는 다음과 같다.

- ◎ 충전경로 : 저립조 → 송입관 → 송입구 → 이중벽
- ◎ 회수경로 : 이중벽 → 흡인구 → 회수관 → 저립조

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 운전특성

(1) 송풍특성

① 단열입자의 충전·회수에 소요되는 시간

- 측정결과: 0.5마력과 1마력의 축류팬 송풍기를 사용하여 온실부의 이중벽사이에 약 3.5m³의 입자를 충전 및 회수하는데 1시간15분가량이 소요되었다. 좀더 구체적으로

살펴보면, 0.5마력의 송풍기를 입자를 이중벽사이에 충전하는데 소요된 시간은 약 1시간가량이였다. 그리고 입자의 회수시에는 0.5마력의 송풍기를 사용한 결과 흡인력이 약해서 11개의 흡인구중에서 6번째까지의 입자가 회수되어 완전회수가 되지않았다. 그래서 회수시에 1마력의 송풍기를 사용한 결과 완전회수에 소요된 시간은 15분으로 측정되었다.

- 결과분석:충전시 입자는 공기와 혼합되어 이중벽으로 공급되어지므로 이중벽사이의 공기를 외부로 배출시켜주는 배기구의 면적을 좀 더 넓게 해주고, 저립조로부터 충전관으로 공급되는 양을 많이 해 줌으로서 충전에 소요되는 시간을 줄일 수가 있다. 0.5마력의 송풍기를 사용했을 시에 입자가 완전회수가 되지않은 원인은 회수관의 흡인구의 단면적비가 많은 관계로 관내부의 풍압이 부족한 결과이다. 즉, 회수의 경우에는 회수관의 풍압과 밀접하게 관련되어서 관내부의 정압과 풍속은 흡입관과 흡인구의 단면적의 비에 관련되고 직선적으로 감소하게되어 입자는 관의 토대에서 빨리 회수가 되고 끝으로 갈수록 늦어지게되는 것이다. 회수관의 흡인구가 11개인 좌측 이중벽의 회수율과 우측 이중벽의 회수율을 비교했을때 우측 회수관의 회수율이 월등히 나은 것으로 관측된 사실로 알 수가 있다. 그러므로 0.5마력의 송풍기를 사용하였을때는 현재의 회수관과 흡인구의 단면적의 비를 적게한다는 사실을 알수가 있다. 또한 충전·회수시 송풍기의 자동제어를 고려했을 때는 충전소요시간과 회수소요시간을 동일하게 해 줄 필요성이 있으며, 흡인거리를 고려하여야 하는데 이러한 흡인거리 및 시간은 흡인구의 직경을 작게하고, 흡입구의 간격을 크게하여 주면 입자의 충전시의 거리와 시간에 대충 맞출 수가 있다.

② 입자의 송풍방식에 있어서 직접방식과 간접방식의 차이점

저립조에서 온실부 이중벽사이로 입자를 이동시키는 방법에 있어 단열입자를 송풍기케이싱을 통하여 외기의 유입이 없이 온실의 이중벽사이로 충전하는 직접방식과 본 실험에서와 같이 입자를 송풍기케이싱내를 통하지 않고 외기를 유입하여 풍력에 의해 입자를 이중벽내로 충전하는 간접방식이 있다. 직접방식에 의한 입자의 이동은 케이싱 날에 의한 입자의 마모가 심하여 입자의 사용기간이 다소 짧아서 비경제적이나 간접방식에 의한 것은 입자의 마모가 거의 없으므로 직접방식에 비하여 훨씬 사용기간이 길므로 경제적인 방법이다. 그리고 정전기 발생에 있어서도 직접방식이 고속으로 회전하는 케이싱내를 통과하기때문에 그러하지 않은 간접방식에 비하여 훨씬 심한 것으로 본 실험에서 확인하였다.

(2) 보온특성

① 입자충전시 야간의 단열성능

바닥면적 15㎡인 전체벽면적에 대한 단열벽면적의 비가 73.1%인 실험용 단열온실의 야간단열성능을 검토하기 위하여 주간의 일사로 인한 온실내의 기온이 상승하다가 일사량이 감소하여 온실내의 기온이 급격히 하강하게 되는 일몰시에 스티로폼입자를 송입하여 익일(翌日) 일출시까지 단열온실내부의 온도와 외기온을 측정하였다.

그림 2에서 보는 바와 같이 야간에 외기온이 -3.06℃~5.55℃(평균 0.22℃)인 범위내에서 변화할 때, 단열온실의 내부온도는 6.46℃~13.51℃(평균 8.79℃)로 나타났다. 즉 단열온실의 내부온도는 외기보다 평균 9.00℃ 높게 나타나 단열온실의 야간단열성능이 우수함을 알 수 있었으며, 장기간의 야간단열성능을 측정한 결과에 의하면, 단열온실의 내부온도와 외기온의 차가 최대로 되는 시각은 외기온이 최저일때임을 알 수 있었다.

② 입자제거시 주야간의 단열성능

그림 3은 입자를 제거한 단열온실에 대한 주야간의 단열성능을 나타낸 그림이다. 주

간(08:00~18:30)에 외기온이 4.09℃~13.17℃(평균 7.36℃)인 범위내에서 변화 할 때의 PET이중벽온실의 내부온도는 10.06℃ ~ 31.42℃(평균23.42℃)로 나타나, PET이중벽온실의 내부온도가 외기온보다 평균 16.05℃ 높았다. 또, 야간(20:00~07:30)에 외기온이 0.29℃~2.73℃(평균 0.58℃)인 범위내에서 변화 할 때, 입자를 제거한 PET이중벽온실의 내부온도는 5.06℃~14.79℃(평균 6.43℃)로 나타나, PET이중벽온실의 내부온도가 외기온보다 평균 5.86℃ 높았다. 전술한 입자충전시 야간의 온실내부온도가 외기온보다 평균 9℃ 높은것과 비교하면 입자충전시가 입자제거시보다 거의 2배정도 보온성이 높음을 알 수 있었다.

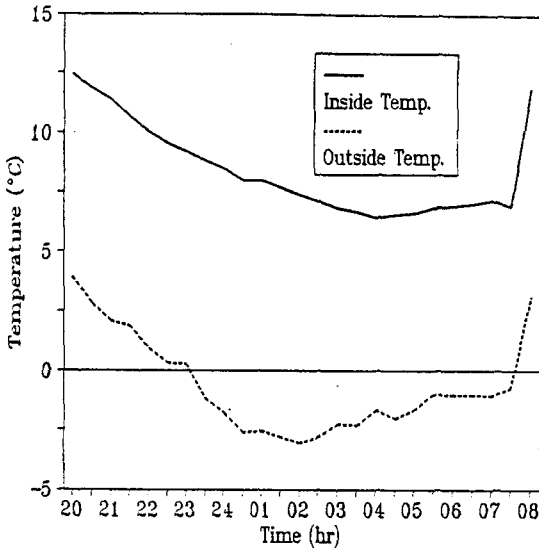


그림 2. Temperature variation of the greenhouse insulated with the pellets.

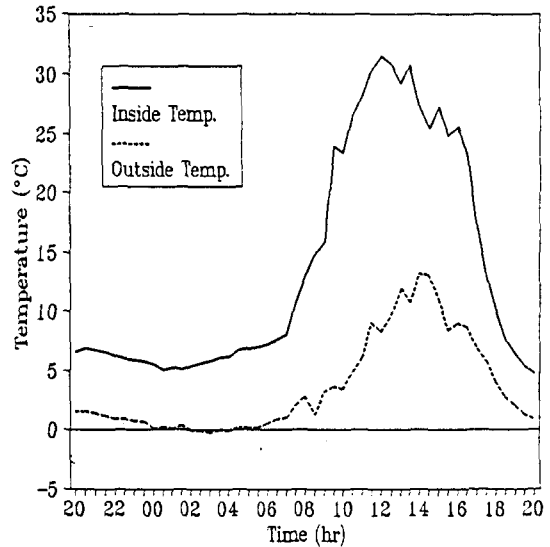


그림 3. Temperature variation of the greenhouse with the pellets removed.

IV. 결 론

온실에 있어서 겨울철 야간에 벽체를 통한 관류전열손실을 줄일 수 있는 자동단열 시스템을 개발할 목적으로 이중벽내부에 스티로폼입자를 자동으로 충전·회수할 수 있는 실험용 단열온실을 제작하여 송풍성능, 주야간단열성능, 투광성 등을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- ① 단열온실에서 이중벽의 간격은 단열층의 열전달계수를 분석한 결과 5~10cm가 적당한 것으로 나타났다.
- ② 바닥면적이 15㎡, 단열벽면적의 비가 73.1%인 실험용 온실에서 8cm의 이중벽사이에 입자를 충전·회수하는데 약 1시간15분이 소요되었으나, 온실의 규모에 적합한 송풍기의 용량, 배기구, 충전관 및 회수관의 조절로 소요시간을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다.
- ③ 야간에 외기온의 평균이 0.22℃일 때, 단열온실의 내부온도는 평균 8.79℃로 외기온보다 평균 9.00℃ 높게 나타나 단열온실의 야간단열성능이 우수함을 알 수 있었다.
- ④ 이중단열온실의 벽체나 천정을 통한 투광성은 10시부터 15시까지 측정된 결과, 평균 투과율이 66.7%로 나타나 양호하였다.