

# 유량 및 온도변화에 따른 코일튜브 열교환기의 방열 특성

## Heat Transfer Characteristics of Coil Tube Heat Exchanger by Water Flow Rate and Temperature Change

유영선\*      김영중\*      백 이\*      강금춘\*      강연구\*      장춘환\*\*  
정회원      정회원      정회원      정회원      정회원      정회원  
Y. S. Ryou    Y. J. Kim    Y. Paek    G. C. Kang    Y. K. Kang    C. H. Jang

### 1. 서론

우리나라의 시설원예를 고부가가치 산업으로 발전시키기 위해서는 우선 우수한 품종의 육성과 효율적인 재배관리기술의 확립이 필요하며, 그 다음으로는 노력비, 난방비 등의 절감을 위한 기계기술의 개발이 뒤따라야 한다. 시설재배 농업인의 대부분이 고령화 되고 있으며, 난방비가 생산비의 20~40%를 차지하고 있는 현실을 고려한다면 노동력과 난방비 절감기술의 개발은 동시에 이루어져야 할 과제라 할 수 있다.

국내의 온실설치면적은 약 52,000ha이며, 설치면적의 20%를 상회하는 12,000ha 정도는 겨울재배를 위하여 난방이 이루어지고 있다. 겨울철 온실의 난방은 경유를 연료로 이용하는 온풍난방기가 대부분을 차지하고 있으며, 대형 유리온실에서는 온수보일러를 이용하고 있다. 또한, 근권부 난방을 위한 소형 온수보일러의 사용이 증가하고 있으나 아직은 보급이 미비한 실정이다.

2003년도에 농업용으로 공급된 전체 면세유 공급량은 2,950,000kl이며, 약 55%에 해당하는 1,073,000kl가 시설원예의 난방에 사용되었고, 이로 인한 시설원예농가의 연간 난방비 지출은 약 4,292억원으로 추정된다(면세가격 400원/ℓ, 2003년).

온실의 효과적인 온도관리를 위해서는 단열효과가 우수한 보온재를 이용하거나 또는 난방공간의 체적을 최소화 할 수 있는 보온터널재배가 바람직하다. 지금까지는 딸기, 수박 등 포복성 덩굴작물에 한하여 보온터널재배가 이루어지고 있으며, 보온터널의 개폐를 인력에 의존하고 있기 때문에 노동력이 많이 들고, 개폐에 소요되는 시간도 상당한 비중을 차지하고 있다. 또한 난방비가 많이 드는 토마토, 오이 등의 과채류와 화훼작물 등은 지금까지의 방법으로는 보온터널재배가 불가능하기 때문에 시설비가 많이 드는 2~3중의 수평커튼이나 보온커튼을 이용하여 난방비를 절감하고 있으나, 작물이 자라는 공간 뿐만 아니라 불필요한 공간도 난방을 하기 때문에 농가의 난방비 지출이 과다한 실정이다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 온실의 난방공간을 줄이고 공조부하를 최소화 할 수 있는 보온터널재배의 확대보급이 필요하며, 또한 보온터널재배에 적합한 난방시스템의

\* 농업공학연구소 생산기반공학과 에너지공학연구소

\*\* 성장ESC(주)

개발이 요구된다.

본 연구는 보온터널의 난방을 위한 온수난방시스템에 적용할 수 있는 코일튜브 열교환기를 개발할 목적으로 수행되었으며, 나선형 코일튜브의 형상으로 고안된 열교환기를 보온터널에 설치하여 난방효과를 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 보온터널 및 계측시스템 구성

보온터널의 높이는 재배작물에 따라 소형, 중형, 대형(1.0, 1.5, 2.0m)의 3가지 유형으로 분류하였으며, 두둑의 폭은 재배작형에 따라 다양한 형태로 분류할 수 있지만 본 연구에서는 온실재배에서 가장 많이 이용되고 있는 1.2m로 설정하여 난방부하를 결정하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 폭 7.0m의 단동온실에 3가지 유형의 보온터널을 설치하였으며, 보온터널의 난방은 소형 온수보일러, 펌프 그리고 본 연구에서 개발한 코일튜브 열교환기를 이용하였다.

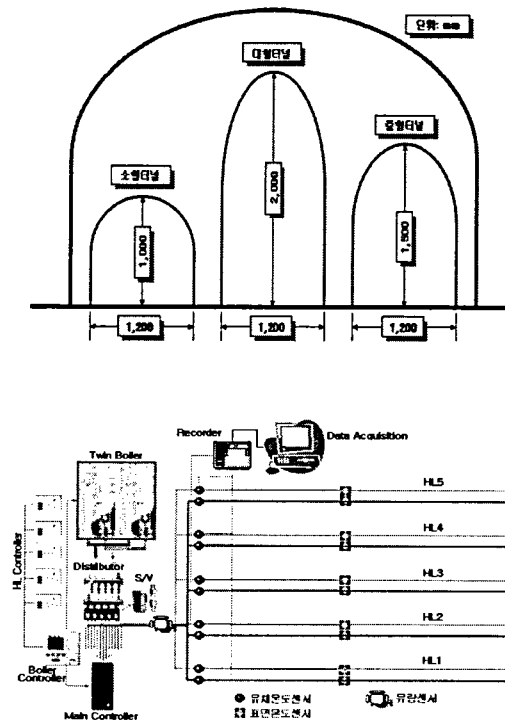


Fig. 1. Configuration and measurement of hot water heating system for heating of thermal tunnel

### 나. 코일튜브 열교환기 제작 및 설치

일반적으로 온수난방에 주로 이용되는 배관자재는 내구성이 우수하고 가격이 저렴한 XL

파이프이다. XL 파이프는 주택 등의 매설용 온수배관에 주로 사용되고 있으며, 농업용으로는 근권부 또는 지표 난방을 위하여 이용하고 있다. XL 파이프는 폴리부텐-1에서 추출되는 폴리올레핀 계열의 수지인 폴리부틸렌을 원료로 만든 파이프로 내식성과 화학적 물질에 대한 저항이 뛰어나 옥내의 배관재로 널리 이용되며, 사용온도가  $-20\sim 100^{\circ}\text{C}$ 이고 사용압력이  $4.6\sim 10.2\text{kg/cm}^2$ (온수온도:  $90\sim 0^{\circ}\text{C}$ )으로서 온수난방에 적합한 배관소재이나 대류열전달계수가 작기 때문에 난방부하가 큰 공간난방에 사용하기 위해서는 다수의 배관이 필요하므로 작은 공간에 충분한 배관을 할 수 있는 효과적인 방법을 강구해야 한다.

따라서 본 연구에서는 그림 2에서 보는 바와 같이 내경이 12mm이고, 외경이 16mm인 XL 파이프를 나선형 코일형태로 제작함으로써 단위 길이당 방열면적을 5배 이상으로 크게 하여 보온터널로 축소된 공간의 최대난방부하에 적합하도록 하였으며, 베드재배용 보온터널에 설치하여 방열특성을 분석하였다.

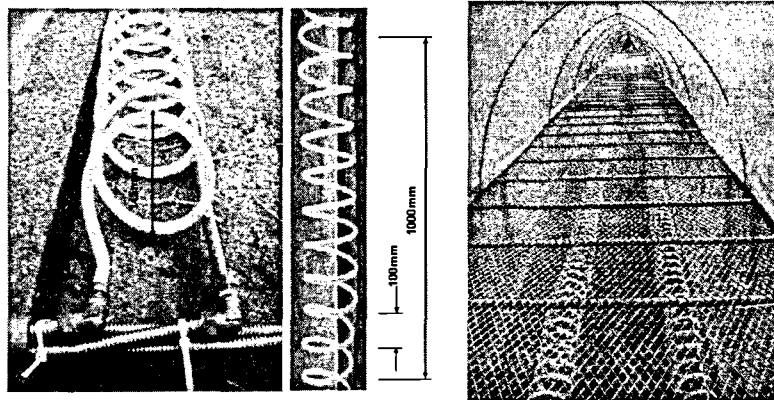


Fig. 2. Coil tube heat exchanger installed in thermal tunnel.

코일튜브 열교환기의 열전달 특성을 분석하기 위하여 그림 2에서 보는 바와 같이 베드재배용 보온터널을 설치하였고, 보온터널 내부 바닥의 양쪽 측면에 2줄의 코일튜브를 배치하였다. 코일튜브의 간격은 100mm로 하였으며, 35,000kcal/h 용량의 온수보일러와 2줄의 코일튜브를 병렬로 연결하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 보온터널의 최대난방부하 분석

온실의 난방부하는 300평을 기준으로 표기하는 것이 일반적인 경향이며, 본 연구에서는 농촌진흥청에서 표준온실로 고시한 1-2W형 3연동 자동화 온실을 기준으로 보온터널의 크기에 따른 최대난방부하를 산정하였다. 보온터널의 크기에 따른 최대난방부하를 산정하기 위하여 일반적으로 이용되는 이론식에 우리나라의 기상조건을 고려한 일난방 데그리 아우어 ( $^{\circ}\text{Chr}$ ) 실험식을 도입하였으며, 보온터널내부의 설정온도를  $10^{\circ}\text{C}$ 로 하는 경우 최저외기온의 변화에 따른 보온터널의 형태별 난방부하를 분석하였다. 분석 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 최저외기온도가  $-20^{\circ}\text{C}$ 이고 설정온도를  $10^{\circ}\text{C}$ 로 하는 경우 1-2W 300평 온실에 설치된

보온터널의 최대난방부하는 소형터널에서 48,000, 중형터널에서 57,000, 대형터널에서 63,000 kcal/h로 나타났다.

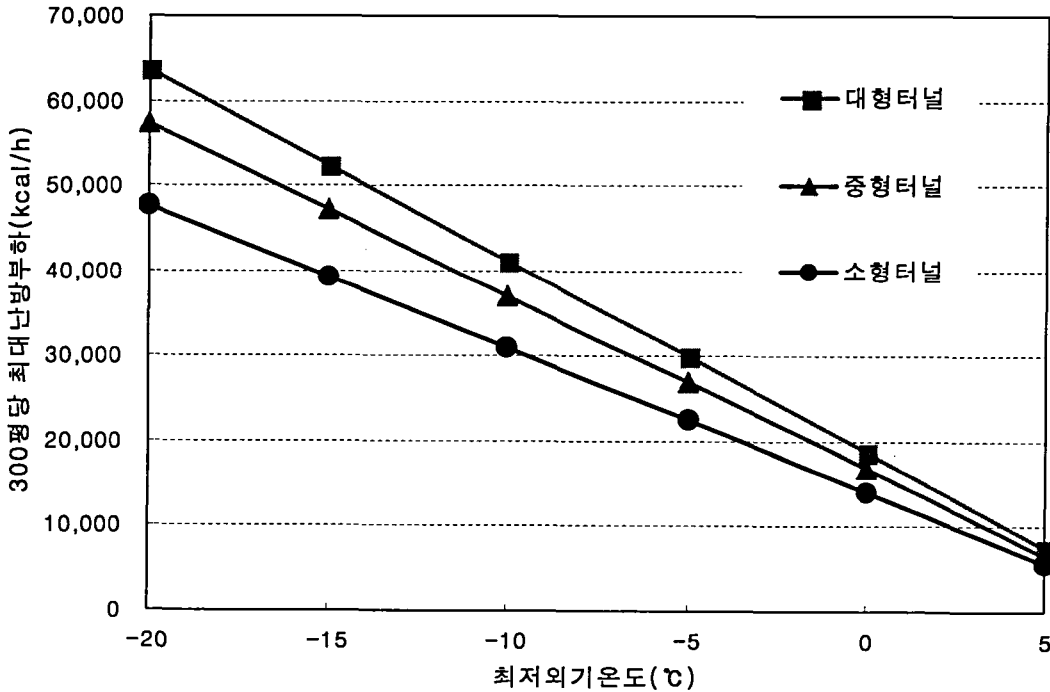


Fig. 3. Maximum heating load of thermal tunnel according to maximum ambient air variation

#### 나. 온수보일러 및 펌프의 설치 기준 설정

대형터널의 최대난방부하인 63,000kcal/h를 기준으로 온수보일러를 선정한다면 300평을 기준으로 하는 경우에는 35,000kcal/h용량의 보일러를 2대 설치하는 것이 바람직하며, 600평을 기준으로 하는 경우에는 70,000kcal/h용량의 보일러를 2대 설치하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 또한 온수보일러에 연결되는 코일튜브 열교환기에는 별도의 펌프를 이용하여 온수를 공급해야 한다.

대형터널의 최대난방부하인 63,000kcal/h 이상의 방열량을 얻기 위해서는 코일튜브의 방열량이 105 kcal/h·m 이상이어야 하며, 105 kcal/h·m 이상의 방열량을 얻기 위해서는 공급수의 온도를 60℃ 이상으로 유지해야 한다.

이와 같은 기준을 만족시키기 위해서 펌프는 농업용으로 이용하고 있는 순환펌프가 적합하며, 300평 온실의 경우 40 l/min 용량의 펌프가 2대 필요하고, 600평의 경우에는 4대가 설치되어야 하며, 이와 같은 펌프의 용량 선정은 보온터널의 최대난방부하와 코일튜브 열교환기의 유량변화에 따른 방열특성을 분석하여 결정하였다.

#### 다. 코일튜브 열교환기의 방열특성분석

코일튜브 주위의 공기온도가 20℃인 경우 코일튜브에 공급되는 온수의 유량을 600~1,500 ℓ/h로 변화시켜가며 코일튜브의 방열량을 분석한 결과 그림 4에서 보는 바와 같이 공급수의 온도가 50℃일 때는 코일튜브의 방열량이 77~105 kcal/h·m 로 직선적인 증가 경향을 보였다. 공급수의 온도를 60℃로 하였을 때는 코일튜브의 방열량이 105~145 kcal/h·m로 크게 증가하였으며, 공급수의 온도를 70℃까지 높였을 경우에는 코일튜브의 방열량이 134~190 kcal/h·m까지 증가하여 공급수의 온도가 높을수록 방열량이 증가하는 경향을 보였다.

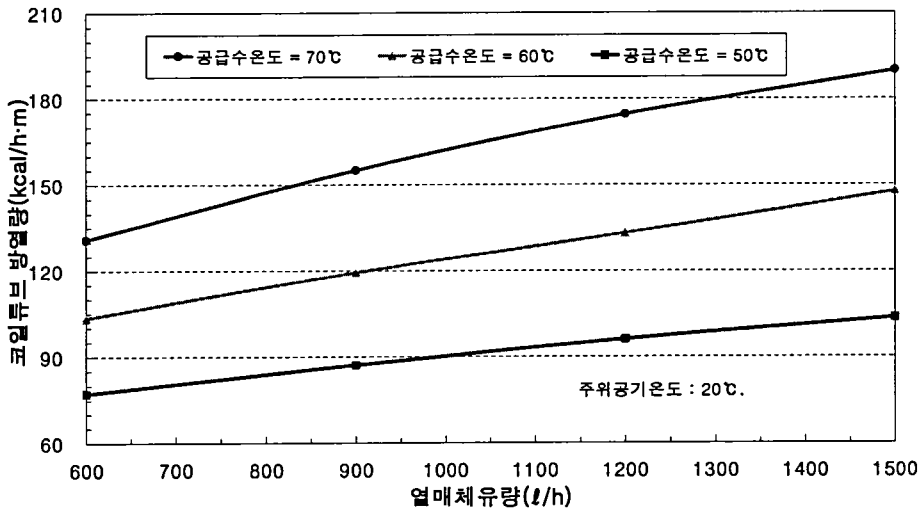


Fig. 4. Heat release rate of coil tube heat exchanger according to temperature variation of heat transfer fluid in ambient air temperature of 20℃.

공급수의 온도를 70℃로 고정하고 주위공기온도를 12, 15, 20℃로 변화시켜가며 코일튜브의 방열량을 분석하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 공기온도가 20℃인 경우에는 코일튜브의 방열량이 137~190 kcal/h·m까지 변화하였고, 공기온도가 15℃인 경우에는 코일튜브의 방열량이 148~217 kcal/h·m, 공기온도가 12℃인 경우에는 코일튜브의 방열량이 157~245 kcal/h·m까지 변화하였다.

이와 같은 결과로 보아 코일튜브 열교환기의 방열량은 주위공기온도가 일정한 경우에는 공급수의 온도가 높고 유량이 커질수록 증가하고, 공급수의 온도가 일정한 경우에는 주위공기온도가 낮고 유량이 커질수록 증가한다는 것을 알 수 있다.

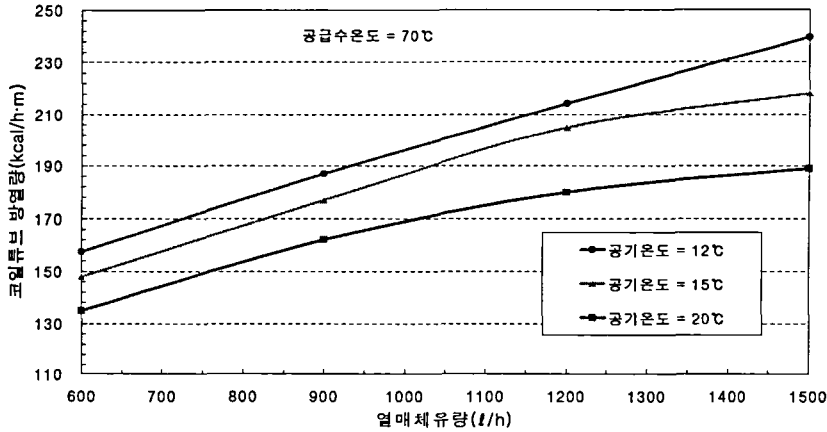


Fig. 5. Heat release rate of coil tube heat exchanger according to temperature variation of ambient air in heat transfer fluid temperature of 20℃.

라. 코일튜브 열교환기의 보온터널 난방효과

코일튜브 열교환기의 보온터널 난방효과를 분석한 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 외기온이 -15.4℃일 때 보온터널내부기온을 18.3℃까지 유지할 수 있었으며, 외기온과 보온터널 내부기온과의 온도차는 33.7℃이므로 외기온이 -20℃인 경우 보온터널 내부기온을 13.7℃까지 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 토마토, 오이 등과 같은 과채류의 경우에도 소형온수보일러를 이용한 겨울재배가 가능할 것으로 판단된다.

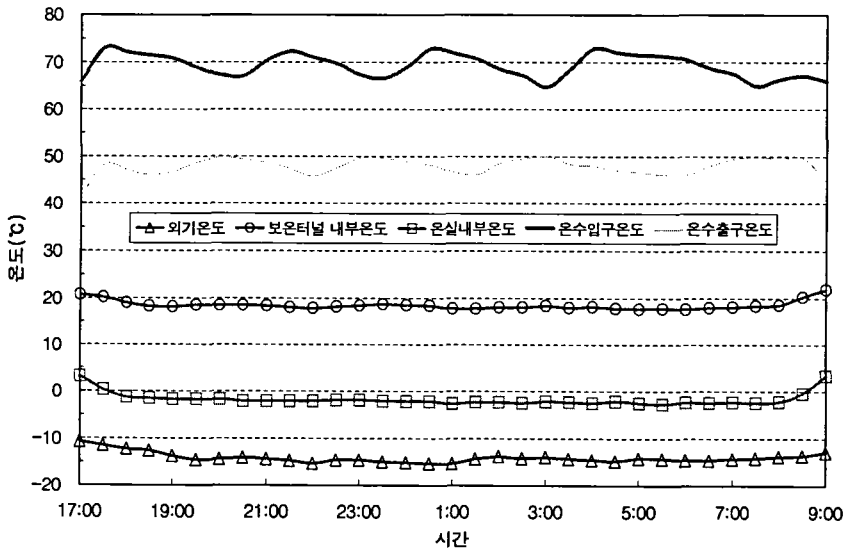


Fig. 6. Heating effect of thermal tunnel by coil tube heat exchanger.

### 마. 코일튜브 열교환기를 설치한 보온터널의 경유소비량

그림 7은 1-2W 300평형(10a) 3연동 온실에 폭 1.2m, 높이 2.0m의 보온터널을 길이 방향으로 6개 설치하는 경우 보온터널의 설정온도( $T_s$ )와 1일 최저외기온( $T_o$ )과의 온도차에 따른 1일 경유소비량을 분석한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 300평 온실에 설치된 보온터널의 난방을 위하여 필요한 경유량은 온도차가  $15^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는  $66\ell$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는  $98\ell$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는  $130\ell$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는  $162\ell$ 로 분석되었다.

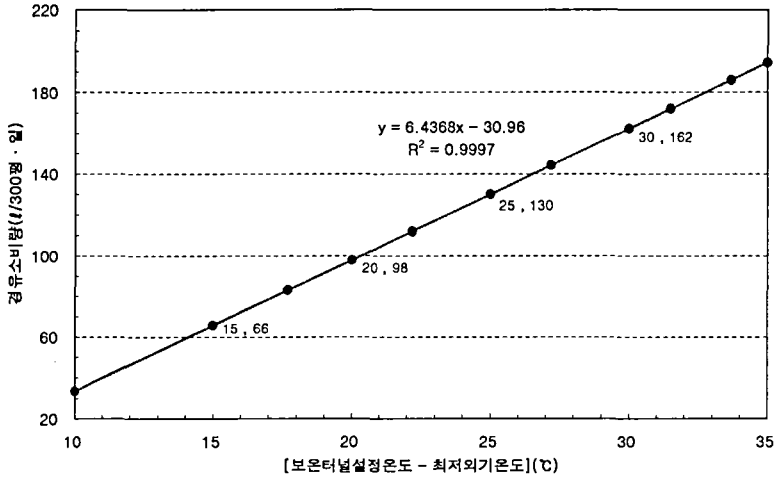


Fig. 7. Variation of light oil consumption according to difference of thermal tunnel set temperature and maximum ambient air temperature.

### 바. 코일튜브 열교환기의 설치비용

온실에서 이용하고 있는 관행의 온수난방용 열교환기는 에어로핀과 이동식나관이 있으며, 주로 대형온실의 난방에 사용하고 있다. 이와 같은 관행의 열교환기는 철재파이프로 제작되어 고정설비의 형태로 설치되기 때문에 경운이 필요한 토경재배온실에는 적용이 불가능하며 또한 설치비용이 고가이므로 주로 양액재배온실에서 사용하고 있다. 따라서 소형온실이나 토경재배온실을 위한 저가의 온수난방용 열교환기의 개발이 필요하며, 본 연구서 개발한 코일튜브 열교환기가 하나의 해결책으로 제시될 수 있다.

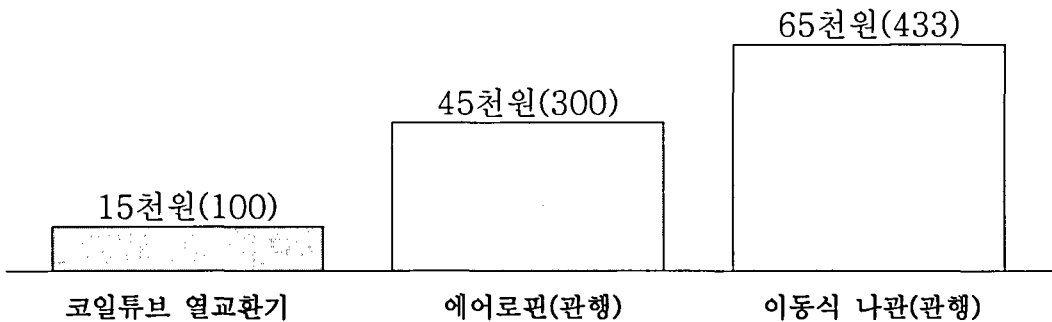


Fig. 8. Installation cost analysis of coil tube heat exchanger.

본 연구에서 개발한 코일튜브 열교환기는 기존의 대형온실에서 사용하고 있는 철재로 제작한 열교환기를 대체할 수 있을 뿐만 아니라 그림 8에서 보는 바와 같이 경제성에 있어서도 에어로핀 설치비용의 1/2 수준으로 저렴하고, 설치 후에도 좌우이동이 가능하기 때문에 단동온실과 토경재배온실에서도 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

**사. 코일튜브 열교환기의 현장설치 사례**

이상과 같이 개발된 코일튜브 열교환기는 2년간의 현장시험을 거쳐 현재 농가에 보급중에 있으며, 대표적인 설치 사례는 그림 9, 10, 11에서 보는 바와 같다.

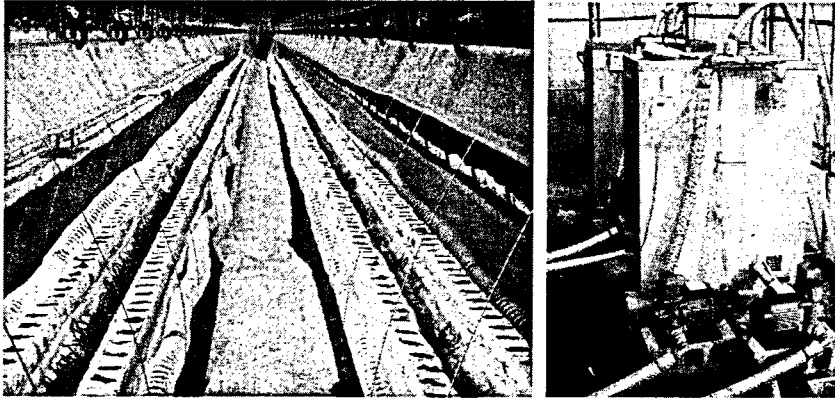


Fig. 9. Coil tube heat exchange system installed in Paprika cultivation greenhouse.



Fig. 10. Coil tube heat exchange system installed in *Phalaenopsis* cultivation greenhouse.



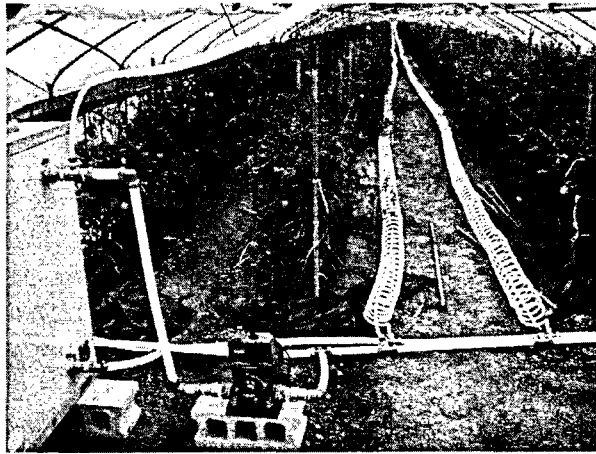


Fig. 11. Coil tube heat exchange system installed in Tomato cultivation greenhouse.

#### 4. 요약 및 결론

보온터널의 온수난방을 위하여 개발한 코일튜브 열교환기의 방열특성과 난방용량, 소요유량, 난방효과 등을 농업공학연구소에 설치된 시험용 온실에서 정밀 분석하였고, 또한 분석한 결과의 검증시험을 수행하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 최저외기온도가  $-20^{\circ}\text{C}$ 이고 설정온도를  $10^{\circ}\text{C}$ 로 하는 경우 1-2W 300평 온실에 설치된 보온터널의 최대난방부하를 분석한 결과 소형터널은 48,000, 중형터널은 57,000, 대형터널은 63,000 kcal/h로 나타났다.
- 나. 보온터널의 최대난방부하와 코일튜브 열교환기의 유량변화에 따른 방열특성을 분석한 결과 온수보일러에 연결되는 코일튜브 열교환기용 온수순환펌프는 300평 온실의 경우 40 l/min 용량의 펌프가 2대, 600평의 경우에는 4대가 설치되어야 하는 것으로 나타났다.
- 다. 대형터널의 최대난방부하인 63,000kcal/h 이상의 방열량을 얻기 위해서는 코일튜브의 방열량이 105 kcal/h·m 이상이어야 하며, 105 kcal/h·m 이상의 방열량을 얻기 위해서는 공급수의 온도를  $60^{\circ}\text{C}$  이상으로 유지해야 하는 것으로 분석되었다.
- 라. 공급수 온도별 코일튜브 열교환기 방열량을 분석한 결과 주위공기온도가  $20^{\circ}\text{C}$ 이고, 공급수 유량이 600~1500 l/h로 변화할 때 공급수의 온도가  $70^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 134~190 kcal/h·m로 나타났으며,  $60^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 105~145 kcal/h·m였고,  $50^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 77~105 kcal/h·m로 나타났다.
- 마. 주위공기 온도별 코일튜브 열교환기의 방열량 분석한 결과 공급수 온도가  $70^{\circ}\text{C}$ 이고, 공급수 유량이 600~1500 l/h로 변화할 때 주위공기 온도가  $12^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 157~245 kcal/h·m로 나타났으며, 주위공기 온도가  $15^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 148~217 kcal/h·m로 나타났고, 주위공기 온도가  $20^{\circ}\text{C}$ 인 경우에는 코일튜브 열교환기의 방열량이 137~190 kcal/h·m로 나타났다.

- 바. 300평 온실에 설치된 보온터널의 난방을 위하여 하루 동안 필요한 경유량은 온도차가 15℃인 경우에는 66ℓ, 20℃인 경우에는 98ℓ, 25℃인 경우에는 130ℓ, 30℃인 경우에는 162ℓ로 분석되었다.
- 사. 코일튜브 열교환기의 설치비용은 에어로핀 열교환기(관행)의 1/3 수준으로 경제성이 우수하였으며, 난방효과에 있어서도 외기온이 -15.4℃일 때 보온터널 내부기온을 18.3℃까지 유지할 수 있었으며, 외기온과 보온터널 내부기온과의 온도차는 33.7℃이므로 외기온이 -20℃인 경우 보온터널 내부기온을 13.7℃까지 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. 유영선, 강금춘, 김영중, 백 이, 강연구. 2004. 코일튜브 열교환기를 이용한 보온터널 난방효과. 한국농업기계학회 9(1). pp 396~400.
2. 유영선, 강금춘, 김영중, 백 이, 2002. 보온터널개폐 생력화 장치를 이용한 온실의 난방 에너지 절감 효과. 한국농업기계학회 7(2). pp 255~260.
3. 농림부 농업기술지원과, 2003. 업무자료. 농림부. pp 62~64.