

단열구조용 표면 코팅제의 열전달 특성 실험

Experiment of Heat Transfer Characteristics through Insulated Farm Structures Coated with Surface Treatment

서원명 · 윤용철 · 권진근 · 박성우
경상대학교 농업시스템공학부

Suh, W. M. · Yoon, Y. C · Kwon, J. K · Park, S. W
Division of Agricultural Systems Eng., Gyeongsang National University,
Jinju, 660-701

서 론

일반적인 시설농업의 경우, 광을 주된 에너지원으로 하는 온실을 제외하면, 시설내부의 주요 환경인자인 온도 유지를 위해 단열이 요구된다. 특히 곡물을 저장하는 사일로를 비롯하여 최근 증가 추세를 보이는 시설버섯 재배사, 그리고 양봉사나 축사 등의 단열은 냉방 및 난방에 소요되는 경비와 관련됨으로서 영농의 경영합리화와 직결된다. 따라서 단열의 정도를 나타내는 R-치의 적정범위와 단열처리의 시공성 등은 시설의 초기투자과 유지관리에 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 이와 같이 비교적 높은 단열성을 요구하는 시설물에 열적 저항성을 높이고, 하절기 큰 열적 부하인자인 태양광 반사효과를 동시에 높게 할 수 있는 구조재 표면 코팅제의 단열 및 보온효과를 실험적으로 측정하여, 경시적 온도변화를 비교 검토하였다.

재료 및 방법

표면 코팅에 의한 열적 저항효과의 개선을 위한 실험은 다음과 같이 3단계로 이루어졌으며, 본 실험결과를 바탕으로 현장 확인 실험이 앞으로 이루어질 것이다:

1) 1차 실험에서는 $1,500 \times 2,000 \times 2,500$ mm 크기를 가진 6개의 사각형 중공 박스를 대상으로 박스 벽체 및 천정의 내·외표면의 온도와 실내기온 등, 박스 당 총 5~6점의 온도와 외기온을 Thermocouple(T-type) 이용하여 1분 간격으로 측정하였으며, 측정값은 Data logger(EKO, SOLAK-V)에 저장하여 분석하였다. 측정된 자료를 바탕으로 표면처리가 되어 있지 않은 기존의 0.45mm 아연도 철판시트와 이 철판의 한 면 또는 양면에 0.2mm 두께로 코팅한 철판시트, 시판중인 발포 폴리스티렌 (polystyrene form, 일명 스티로폼)를 내장한 샌드위치패널(Sandwich Panel)을 포함한 3종의 두께 50mm 패널 등 총 6개의 상이한 처리간의 경시적 온도변화의 특성을 비교 검토하였다.

2) 1차 실험에서 얻은 결과를 바탕으로 표면 코팅제의 열적 저항 효과를 확인하기 위하여, 직경 약 28cm, 높이 약 33cm인 18ℓ 용량의 일반 페인트 용기의 표면에 백색

단열 코팅제와 백색 수성페인트를 칠하여, 표면의 내·외 온도 및 실내 기온의 변화를 1분 간격으로 측정하여, 두 처리간 열저항 특성을 비교 분석하였다.

3) 1차 및 2차 실험 결과를 바탕으로 2차 실험에서 사용한 2개의 페인트용기를 포함하여 표면에 전혀 피복처리가 되지 않은 용기 1개에 각각 건조된 벼를 채워, 2차 실험 때와 동일한 방법으로 온도변화를 측정함으로써 곡물저장 상태에서 용기 내·외 열적 거동을 비교 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 1차 실험(6종의 중공형 대형 박스)

중공형 대형박스에 대한 열적 분석은 일차적으로 3개의 아연도 철판간 비교와 3개의 50mm 두께 샌드위치패널간 분석을 각각 실시한 후, 단열 코팅제를 피복한 아연도 철판의 경우를 시중의 50mm 샌드위치패널과 비교하였다.

3가지 아연도 철판의 경우, 비교구로 이용된 표면처리가 되어 있지 않은 철판에 비해 한 면 및 양면에 단열 코팅제로 처리한 철판이 현저한 열저항 특성을 보였으며, 한 면만 코팅한 것에 비해 양면 코팅에 의한 효과는 비록 현저하지는 않더라도 상당한 차이를 나타낼 수 있었다. 결국 표면 외측에만 코팅한 한 면 피복에 비해 양면 피복의 효과는 오직 열저항 값 R-치의 추가에 의한 효과로 판단할 수 있다. 본 실험에 사용된 단열 코팅제의 전도열전달계수는 약 $0.12 W/(m.K)$ 로서, 일반 단열제로 쓰이는 발포 폴리스티렌(0.038, polystyrene)이나 유리섬유(0.042, glass wool)에 비해 단열효과가 1/3 정도임을 알 수 있다. 그러나 외국에서 개발된 Thermo Shield의 경우, 전도열전달계수가 $0.055 W/(m.K)$ 정도로서 단열효과 측면에서는 기존의 단열제와 비슷할 뿐만 아니라 일사량 반사율이 85% 정도로 높기 때문에 특히 주간동안의 열 부하를 현저히 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

한편 두께 50mm판넬 3개의 경우, 평균적으로 우레탄(urethane), 유리섬유(glass wool), 발포 폴리스티렌의 순서로 표면온도가 높게 나타났으나, 이는 피복자체의 단열 특성에 의한 차이보다는 외표면 피복제의 복사 특성에 기인한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 날씨가 맑은 주간에 나타나는 현상이며, 야간이나 일사량이 적은 흐린 날씨에서는 처리간의 차이가 미미하였다.

Fig. 1의 상단(맑은 날씨)에서 알 수 있듯이 양면 코팅제로 처리한 철판과 시중 샌드위치패널(발포 폴리스티렌 패널) 간의 주간 내·외표면 온도차를 비교해 보면, 코팅제로 처리한 철판의 온도가 낮게 유지됨을 알 수 있다. 또한 주간의 박스 내부 기온 변화 역시 코팅제로 처리한 철판의 온도가 낮다. 다만, 패널의 두께로 야기되는 벽표면 내외간 시간지연이 약 1시간 전후임을 알 수 있다.

결국 이러한 수치적 차이만을 고려하면, 양면 코팅제 처리효과가 샌드위치패널 못지 않은 단열효과를 보인다는 것을 추정할 수 있다.

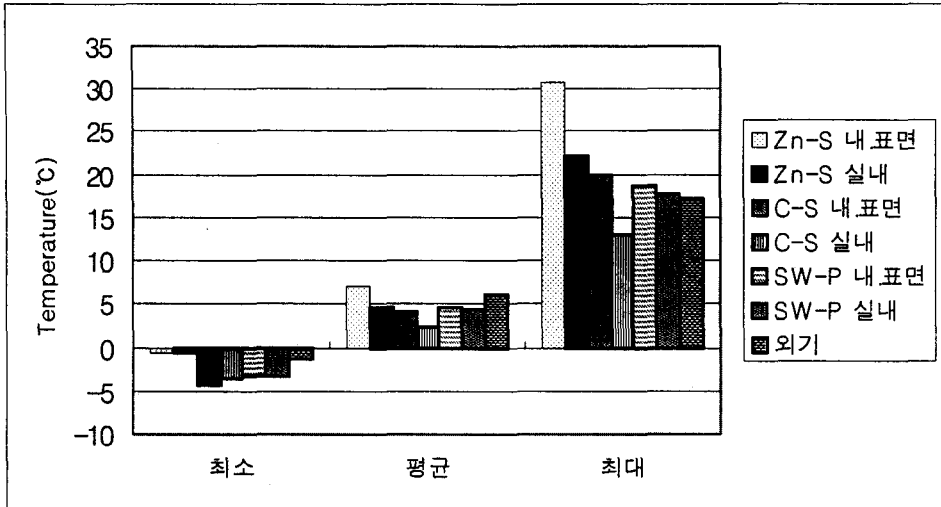


Fig. 1. 중공형 대형 박스의 온도비교

2. 2차 실험(단열 코팅제와 수성페인트 효과 비교)

Table 1에서 알 수 있듯이 두 처리간에는 거의 차이가 없으며, 용기 표면의 온도 역시 거의 같음을 알 수 있다. 두 처리간 모두 일사가 있는 주간에는 외기온 이상으로 상승하지만, 특히 날씨가 맑은 야간에는 복사 열교환 현상에 의해 외기온 이하로 떨어짐을 확인할 수 있다. 결론적으로 온도변화 측면에서 관측된 결과는 처리간에 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 표면 코팅이 단열효과에 미치는 영향은 피복제의 전도열전달에 의한 것이 아니라 태양 복사의 반사효과에 기인한다는 결론을 내릴 수 있을 것이다. 앞으로 두 피복제 간의 복사특성 및 전도열전달 특성이 명확히 밝혀지면 이러한 결과에 대한 해명이 더욱 명료해질 것으로 판단된다.

Table 1. 중공형 드럼통 온도분석(°C)

비교		TEC 도색드럼통		수성 도색드럼통	
		내.표면	실내	내.표면	실내
주간(맑음)	최소	-1.60	-1.90	-1.80	-2.20
	최대	20.30	16.40	19.60	15.40
	평균	10.75	9.06	10.14	8.32
야간(맑음)	최소	-5.90	-6.20	-6.10	-6.50
	최대	5.50	5.20	5.10	4.90
	평균	-1.36	-1.68	-1.57	-1.88

3. 3차실험(곡물로 채워진 용기의 온도변화)

Table 2에서 알 수 있듯이 외기온이 최저 -1.3℃에서 최고 17.3℃ 사이로 변하는 동안, 용기 중앙부 곡물의 온도는 표면처리 되지 않은 대비구에 비해 두 개의 피복처리구에서 현저히 낮은 온도를 보이지만, 피복처리구간의 온도차는 매우 미미함을 알 수 있다. 이 결과는 2차 실험에서 확인된 결과와 거의 동일함을 알 수 있다.

본 실험의 경우 사용된 용기의 용량이 0.02 m³ 정도로 매우 작지만, 표면과 내부 중심부 곡물 온도간에는 약 6시간 정도의 시간 지연현상이 있음을 확인할 수 있다. 이런 현상은 대형 사이로 등에서 더욱 클 것으로 판단된다.

Table 2. 곡물로 채운 드럼통 온도분석

비교		TEC 도색드럼통		수성 도색드럼통		무도색 드럼통	
		내.표면	실내	내.표면	실내	내.표면	실내
주간(맑음)	최소	-1.80	2.50	-2.20	2.20	-0.50	3.90
	최대	20.70	9.50	20.20	9.00	32.80	15.70
	평균	12.29	4.82	11.76	4.39	20.08	7.81
야간(맑음)	최소	-1.70	4.70	-2.20	4.20	-0.50	5.60
	최대	9.80	10.40	9.50	9.80	14.00	16.90
	평균	2.32	8.19	2.02	7.65	4.64	13.13

요약 및 결론

1) 중공형 박스를 이용한 열저항 특성 분석결과, 단열 코팅제의 단열효과가 현저함을 보였다. 단기간에 측정된 결과만을 기준으로 비교해 보면, 단열 코팅제로 피복처리 하는 것만으로도 50mm 두께의 샌드위치패널 구조와 단열효과가 거의 유사함을 알 수 있었다.

2) 단열 코팅제의 단열효과를 일반 페인트 피복의 단열효과와 비교하고, 단열효과와 열적 특성을 분석하기 위한 실험결과 단열 코팅제의 효과가 약간 높은 것으로 나타났으나 두 처리간에 현저한 차이가 발견되지는 않았다.

3) 중공형 용기 내부에 곡물을 넣었을 경우, 열전달 현상을 검토한 결과 벽체 내의 표면에서의 온도변화 및 피복 처리간의 차이는 아연도 철판의 중공형 대형 박스와 유사하였다. 용기 중앙에 위치한 곡물의 온도와 표면온도 간에는 약 6시간의 시간 지연이 있음을 발견할 수 있었다.

4) 따라서 이러한 결과를 바탕으로 구조물의 사용 목적별 현장 실험이 이루어지면, 단열 코팅제의 열전달 특성이 보다 현실적으로 규명될 것임은 물론, 그 사용 가능성과 기타 처리방법과 대비하여 경제적인 타당성 검토가 가능할 것으로 판단된다.