

PCM Thermal Properties According to Stack Structures

김동호, 박기덕, 유혜리,
최유정, 김광배, 송오성

서울시립대학교
신소재공학과

Abstract

- ◆ 상변화 물질의 효율적 사용을 위해 실험 모델을 구성하여 PCM의 적층구조 변화에 따른 열저감을 확인함.
- ◆ 실험에서 사용된 PCM은 Octadecane ($C_{18}H_{38}$, $T_m=28^{\circ}C$), Eicosane ($C_{20}H_{42}$, $T_m=36^{\circ}C$), 그리고 Hexadecane ($C_{16}H_{34}$, $T_m=18^{\circ}C$)임.
- ◆ 열저항에 의한 열교환 양상을 관찰하기 위해 PCM 접합 계면과 적층순서에 따라 분류하여 서로 다른 조건의 모델에 대하여 정량적인 비교 평가를 진행함.
- ◆ 분석 결과, 동일 PCM에 대해 중간 계면 물질이 다른 적층구조에서 계면 물질의 열전도도가 높을수록 높은 열저감 효과를 확인함. 또한, 이종의 PCM을 적층하는 경우에는 상부 배치한 PCM의 상변화온도가 더 큰 모델이 상대적으로 우수한 열저감 효과를 보임.

Introduction_PCM의 필요성

- ◆ 최근 전 세계적으로 상승하는 기온과 심각한 폭염이 주목받고 있다. 이상기후 현상은 전 지구적인 차원의 문제임.
- ◆ 이상기후의 근본적인 예방책은 새로운 에너지의 개발보다는 에너지 소비의 절감에 가까움. 그 절감안의 하나로, 상변화물질(이하 PCM)을 활용한 방식을 모색함.
- ◆ PCM(Phase change material)이란 상변화를 통하여 온도에 따라 열을 흡수, 방출할 수 있는 소재임. PCM은 타 물질에 비해 많은 열에너지를 저장, 방출할 수 있다는 점에서 차별성을 지님.

Introduction_PCM의 종류

- ◆ PCM은 크게 유기계(Organic) PCM과 무기계(Inorganic) PCM으로 분류됨. 유기계 PCM 소재는 대체로 안정하며 물질마다 상변화온도가 다양하여 광범위하게 적용될 수 있지만 대체로 비싼 가격과 작은 잠열을 가짐. 무기계 PCM 같은 경우, 일반적으로 유기계 PCM의 정반대 특성을 보인다. 본 연구에서는 유기계 PCM 중 한 종류인 파라핀계 PCM을 사용함.
- ◆ 한 국내 연구에서는 기존 플라스틱 지붕과 단열재 적용된 지붕 그리고 단열재와 PCM이 함께 적용된 지붕을 비교하여 열적 성능을 평가함. 이에 따르면 일반적 지붕에 비해 단열재와 PCM이 함께 적용된 지붕은 약 52.7%의 에너지 절감율을 보이며 PCM의 가능성을 입증함.

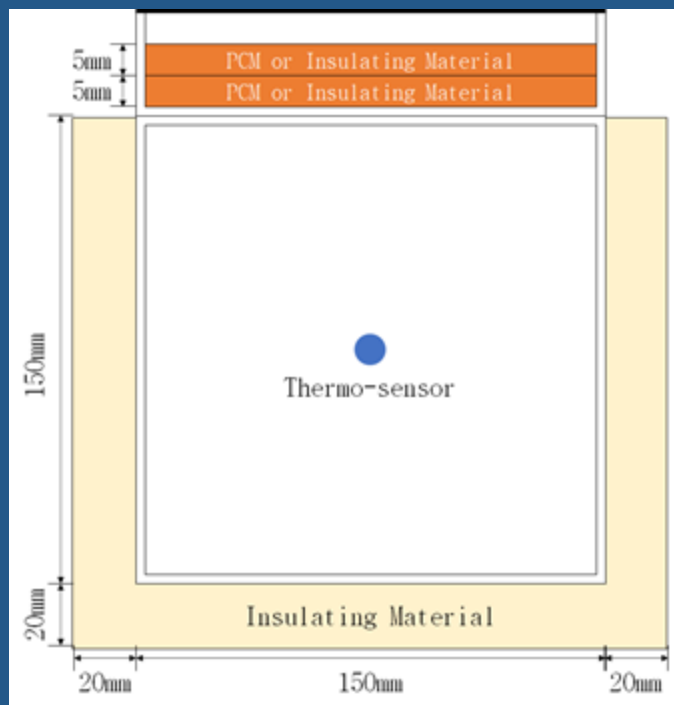
Introduction_PCM의 물성

PCM	Octadecane	Eicosane	Hexadecane
$T_m(^{\circ}\text{C})$	28	36	18
Molecular Weight (g/mol)	240	254	226
Latent Heat (kJ/kg)	220	200	220
Price (₩/kg)	50,000	50,000	50,000

Experiment Method_실험준비

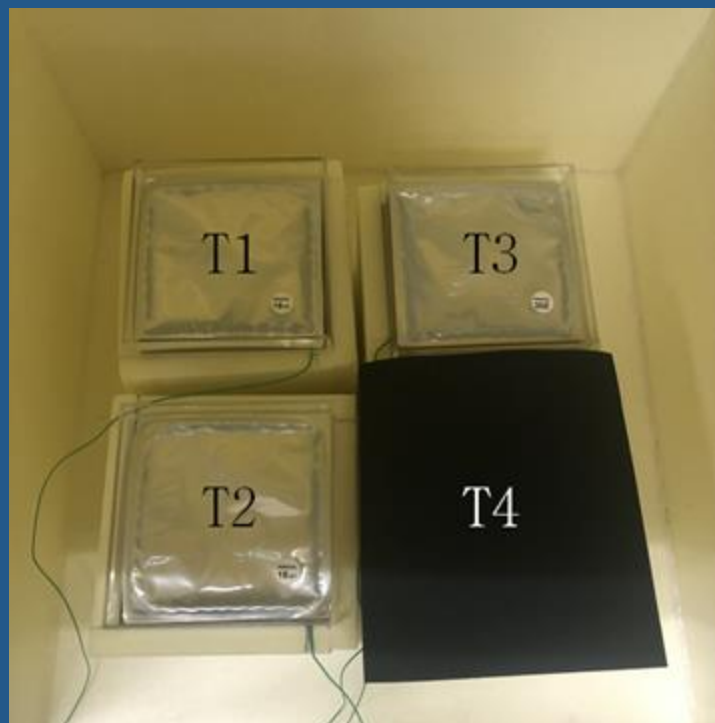


- ◆ 실험의 PCM은 150×150×5mm의 팩에 진공 충전함. PCM은 한 면은 나일론 필름 그리고 다른 한 면은 알루미늄 필름으로 제작됨. PCM팩의 투명한 나일론 필름이 광원을 바라보고 있을 때를 앞면, Front(이하 F)라 정의하고, 반대의 경우 뒷면 Back(이하 B)이라 정의함.



- ◆ 상이한 조건을 적용할 모델을 위해 150×150×150mm 아크릴 박스 4개를 제작함. 상부를 제외한 외부는 20mm 두께의 스티로폼 단열재를 감쌌. PCM은 단열처리한 아크릴 박스 상부에 적층됨.

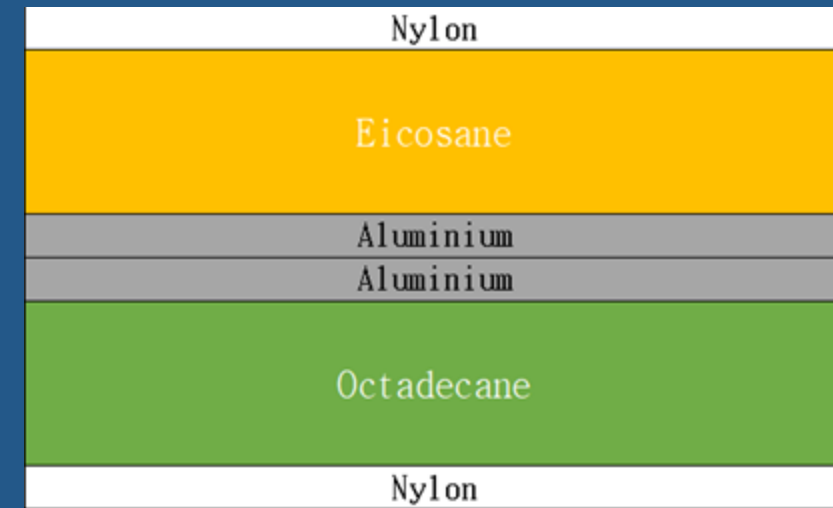
Experiment Method_실내실험배치



- ◆ 20mm 단열재를 이용해 600×600×900mm 크기의 직육면체 실내 밀폐공간을 제작함. 밀폐공간의 천장 정가운데에 100W 열구를 설치함. 또한, 각 실험모델 상부에 빛을 차단한 뒤 실험을 진행함.
- ◆ 실외 실험은 태양을 광원으로 진행함. 실시간 온도 측정을 위해 4 channel data logger (CENTER 309, CENTER(Taiwan)) 를 이용함. 사진과 같이 T1, T2, T3 그리고 T4를 정하여 실내 및 실외 실험을 동일하게 진행함. T4는 REF로, 단열 스티로폼을 적층한 모델로 이로 비교평가를 진행함.

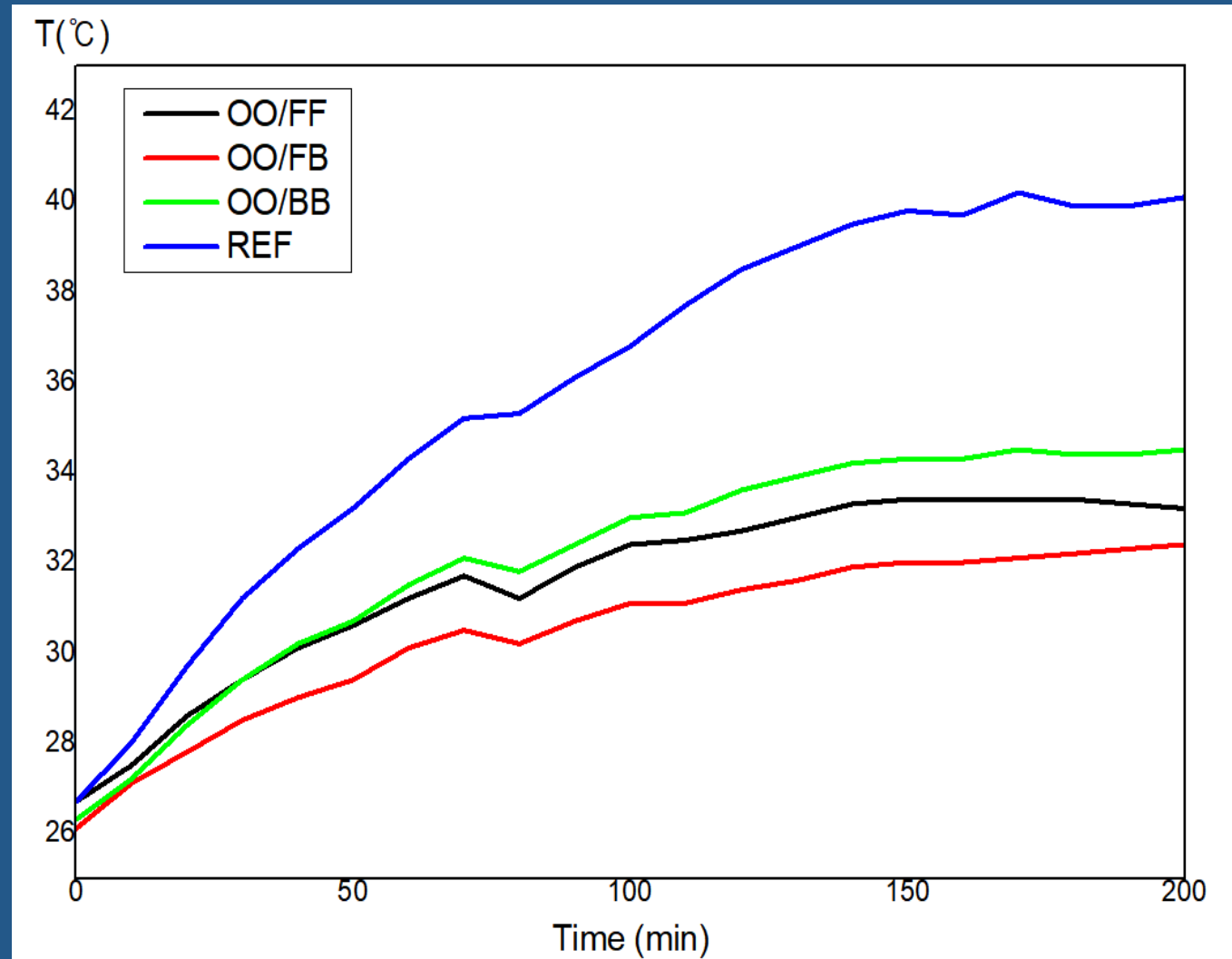
Experiment Method_실험 설계

	Place	T1	T2	T3	T4
Experiment1	Indoor	OO/FF	OO/FB	OO/BB	REF
Experiment2	Indoor	OO/FB	OE/FB	EO/FB	REF
Experiment3-1	Indoor	OO/FB	EO/FB	OH/FB	REF
Experiment3-2	Outdoor	OO/FB	EO/FB	OH/FB	REF



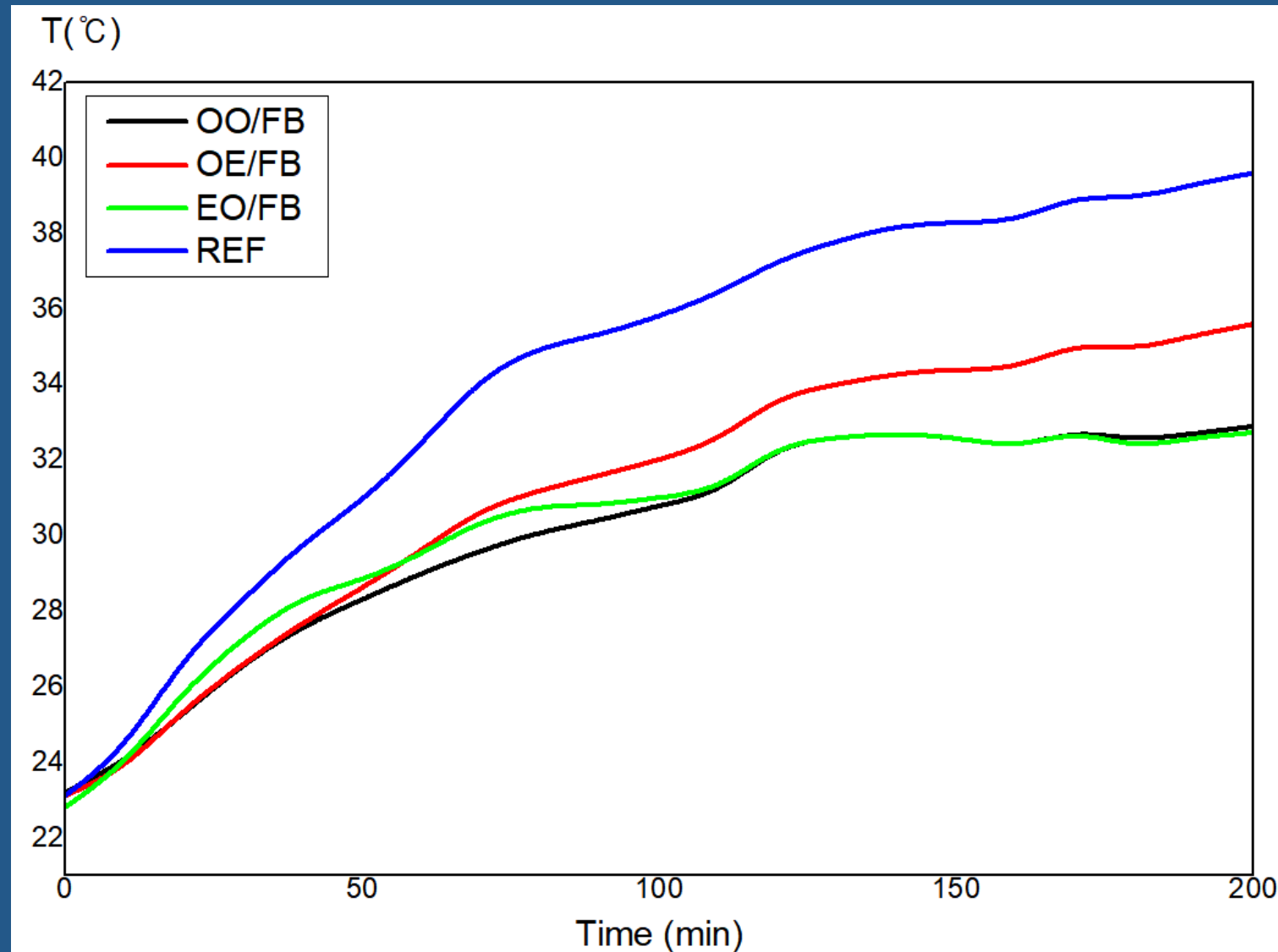
- ◆ 상기 표는 본 연구의 실험조건을 정리하여 나타냄. Experiment 1은 동일 PCM 적층 구조 내 접촉 계면의 열전도도를 변수로 두고 진행한 실험임. Experiment 2는 상변화온도가 다른 이종의 PCM의 적층 순서를 변수로 두고 진행함. Experiment 3-1과 Experiment 3-2는 이전 실험에서 우수한 성능을 보여준 모델과 함께 낮은 상변화온도를 가진 Hexadecane을 포함하여 실험함.

Results and Discussion_EX(1) 계면의 열전도도



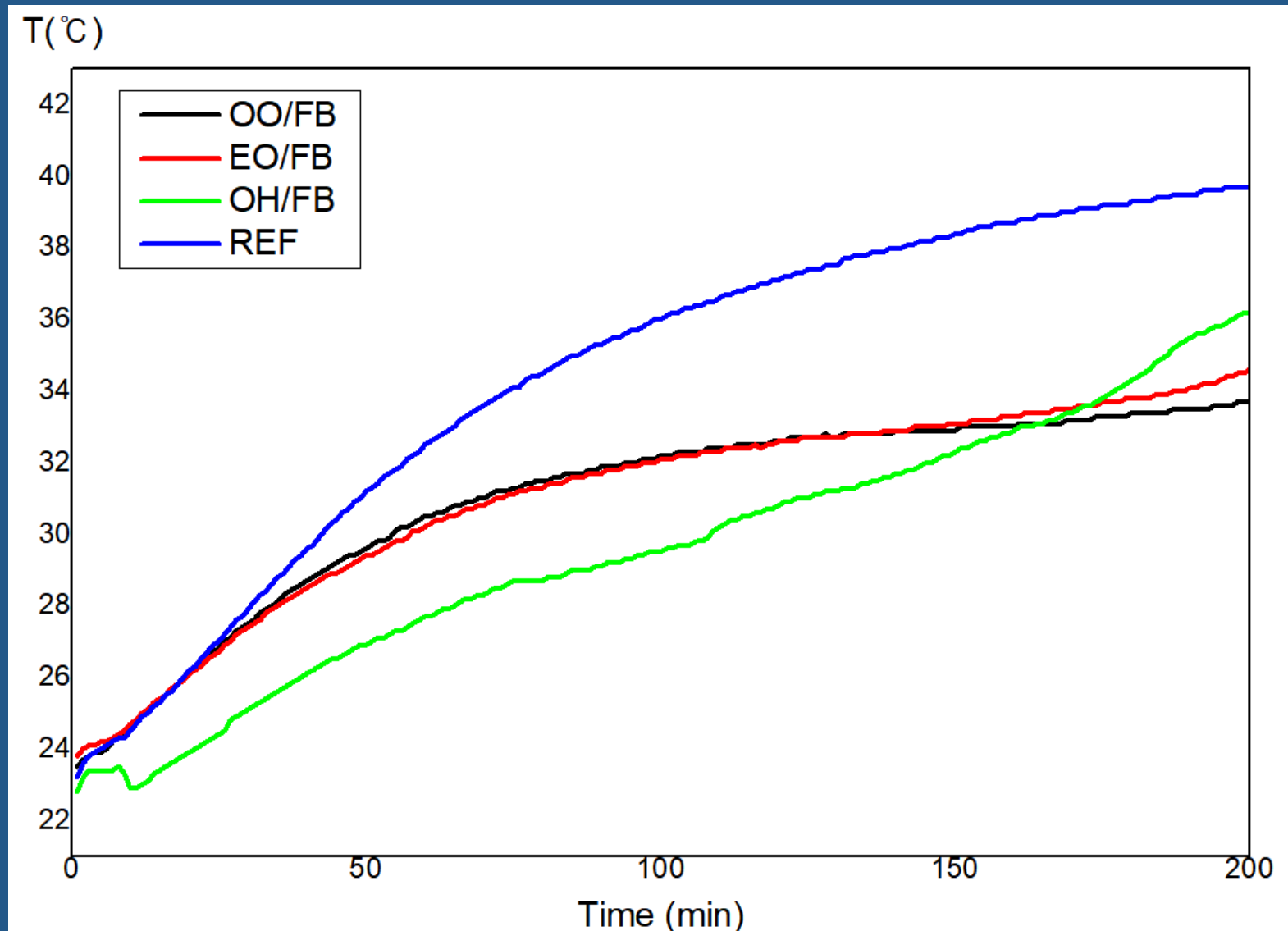
- ◆ 해당 실험 모델의 변수는 PCM 간 접촉 계면의 열전도도 차이임. OO/FB이 전반적으로 가장 우수한 열저감 성능을 보임.
- ◆ PCM모델 중 적층 구조 중 계면 사이 열전도도가 우수한 FB가 열저감 성능이 가장 우수한 구조로 확인됨. PCM 사이의 계면 제어가 열저감 효과에 있어 중요한 요인으로 작용하는 것으로 판단됨.

Results and Discussion_EX(2) PCM 적층순서



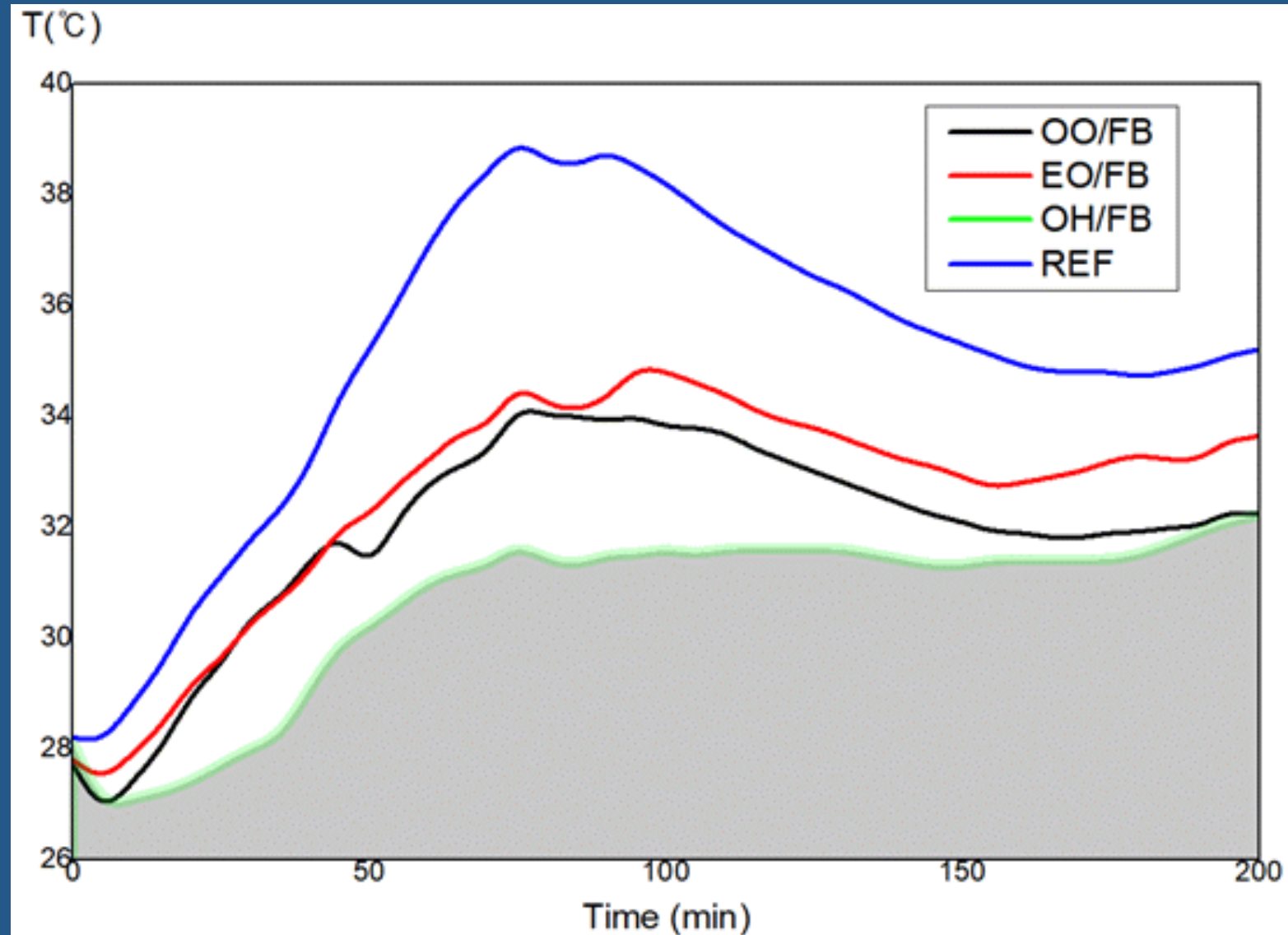
- ◆ 세 모델 중 가장 우수한 결과를 보인 모델은 OO/FB임.
- ◆ 상변화 온도가 더 낮은 O를 두 번 적층한 구조가 가장 빠르게 열을 흡수한 것으로 판단됨. 전반적으로 EO가 OE보다 더 낮은 온도를 갖는 이유로는 광원의 열이 상부의 E를 거친 후 O로 가기 때문에 온도지연효과가 연장된 것으로 판단됨.

Results and Discussion_EX(3-1) O, E, H 실내실험



- ◆ 상변화 온도가 가장 낮은 H를 사용한 OH/FB가 전반적으로 가장 큰 열저감을 보임. 그 이유는 OH/FB에 쓰인 H의 상변화온도가 O, E보다 비교적 낮아 실험 초반에 먼저 축열한 것으로 판단됨. 같은 원리로 170분 이후에 보이는 내부 온도 상승의 이유는 H가 상변화를 모두 마쳤기 때문으로 보임.

Results and Discussion_EX(3-2) 실외실험



- ◆ 실험 결과, 실외 실험 결과는 실내 실험 결과와 매우 비슷한 경향을 보임.
- ◆ 본 실험의 분석 결과, EO/FB 와 OO/FB에 비해 OH/FB의 상변화온도 범위가 낮기 때문에 실험모델 내부 33도 이하로 가장 큰 효율을 보인 것으로 확인됨.

Conclusion

- ◆ 유한한 에너지를 대체하기 위해 상업적으로 활발히 쓰이고 있는 Octadecane($C_{18}H_{38}$, $T_m=28^\circ C$), Eicosane($C_{20}H_{42}$, $T_m=36^\circ C$), 그리고 Hexadecane($C_{16}H_{34}$, $T_m=18^\circ C$)를 사용하여 PCM 적층구조에 따른 열특성 변화를 확인함.
- ◆ 동일 PCM(Octadecane)에 대해 계면 물질이 다른 적층구조는 중간 계면 물질이 열전도도가 높을수록 PCM 효과에 유리함을 확인함. 한편, 이종의 PCM를 적층하는 경우 상부에 배치된 PCM의 T_m 이 더 큰 조합이 상대적으로 우수함. 실제 여름기온을 고려하였을 때, 상변화온도가 비교적 낮은 Hexadecane과 Octadecane을 함께 사용한 조합이 가장 우수한 온도지연 효과를 보였고, 최고 기온이 $29.5^\circ C$ 까지 보인 야외에서 동일한 조건 하에 진행한 실험에서도 동일한 양상을 보임.
- ◆ 결론적으로 동일 PCM에서는 중간 계면 물질의 열전도도가 높을수록, 이종의 PCM을 사용하는 경우 축열 성능이 우수한 PCM을 상부에 적층하는 조합이 유리함을 확인함.