

결로방지용 도료의 성능평가에 관한 연구

A Study on the Performance Evaluation of the Anti-Condensation Paint

○김 상 욱* 김 기 훈** 홍 봉 재***
Kim, Sang-Wook Kim, Ki-Hoon Hong, Bong-Jae

Abstract

Generally, anti-condensation paints are known as materials having water absorption, blocking or delaying surface condensation generated at the wall. Therefore these goods are commercialized and used in apartment recently. We analyzed and assessed the thermal and anti-condensation performances of these goods through the 2-dimensional computer simulation and the laboratory experiment.

From the results of this study, the anti-condensation paints are not as good as the insulation mortar at the viewpoint of the thermal performance. However, since these goods have economic and construction merits simultaneously, we can apply them to the place that doesn't have the problem of load increasement or discomfort of the living people, like underground parking-lot and balcony wall.

키워드 : 결로, 열성능, 결로방지성능, 결로방지용 도료, 단열모르타르

Keywords : Condensation, Thermal Performance, Anti-Condensation Performance,
Anti-Condensation Paints, Insulation Mortar

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 공동주택의 경우, 발코니 벽체접합부 및 벽체 우각부에서의 외벽 단열재 단락에 의한 열교현상은 동절기 난방부하를 가중시킬 수 있는 문제점을 내포하고 있다.

또한 열교현상으로 야기되는 결로는 공동주택에 있어서 단열시공을 하지 않고 있는 발코니 외벽체 및 지하주차장 벽체 등에서 동절기 및 하절기 장마철 시기에 더욱 심각하게 나타나고 있는 실정이다.

이와 같이 열성능 및 결로성능에서의 문제점

이 공동주택에서 점차로 심각해짐에 따라 국내 건설업체에서는 발코니와 실내벽체 접합부 사이에 단열모르타르를 시공하여 열교현상에 따른 피해를 최소화하려 하고 있다. 그러나, 시공상의 어려움 등으로 인해 최근에는 결로방지용 도료의 적용 가능성을 검토하고 있다. 기존에 개발된 결로방지용 도료는 주로 흡습성질을 가진 재료로 구성된 제품으로서 눈에 보이는 표면결로를 지연시킬 수 있다고 알려져 왔지만 열교현상에 의해 나타날 수 있는 난방부하의 증대, 용도별 적용 공간 등에 있어서는 문제점으로 지적될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 공동주택의 결로방지를 목적으로 사용되고 있는 단열모르타르와 결로방지용 도료를 대상으로 실험을 통하여 열성능 및

*정회원, (주)대우 건설기술연구소 선임연구원

**정회원, (주)대우 건설기술연구소 주임연구원

***정회원, 청운대학교 건축설비학과 전임강사, 공학박사

결로방지성능 등을 평가하였다

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 먼저 2차원 전열해석 프로그램 인 Kobru86을 이용, 대상재료별로 기존 공동주택의 외벽 접합부와 우각부에서 발생하는 온도 분포를 예측하여 열교현상에 따른 문제점을 제기하였다.

다음으로 1개사의 단열모르타르 및 2개사의 결로방지용 도료 A, B를 대상으로 열성능 및 결로방지성능, 흡습량 및 증발량 실험을 실시하여 전반적인 성능을 평가하였다.

2. 벽체의 온도분포 예측 Simulation

2.1 Simulation 개요

본 절에서는 전열해석 S/W인 Physibel 프로그램 중 Kobru86을 이용하여 공동주택 벽체 접합부의 온도분포를 예측하였다.

대상벽체는 그림 1과 같이 직·간접적으로 외기에 면하는 경우로 하여 Simulation하였다.

Simulation에 적용한 주요 입력조건은 표 1과 같다.

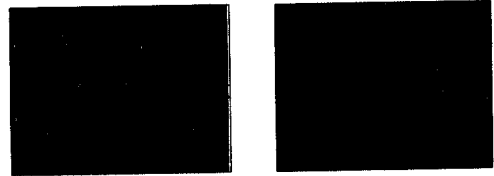
표 1. 벽체 전열해석 Simulation 입력조건

실내외 조건	실내 23℃ 외기 -15℃
적용재료	결로방지용 도료/단열모르타르
열전도율 (측정치)	0.039kcal/m℃(결로방지용 도료A) 0.095kcal/m℃(단열모르타르)
재료별 두께	1.0mm(결로방지용 도료) 15mm(단열모르타르)

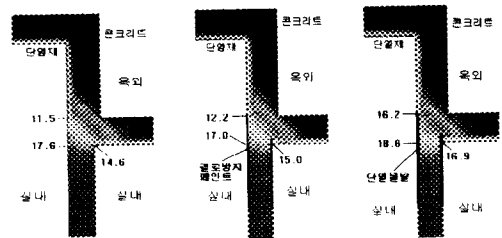
2.2 Simulation 결과

그림 2와 그림 3에 대상벽체의 온도분포를 나타내었다. 직접외기에 면하는 좌측 벽체 접합부의 경우 단열성의 마감재가 없는 경우 11.5℃, 결로방지도료 12.2℃, 단열모르타르 16.2℃로 단열모르타르를 제외한 모든 경우에서(실내습도를 약 50%로 가정하였을 경우) 노점온도 약 12℃ 이하에 이룸으로 단열모르타르 이외의 시공시에는 실내에서 결로가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 간접적으로 외기에 면하는 경우에는 단열

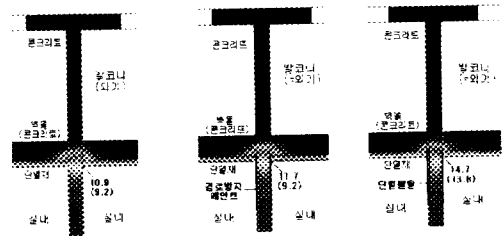
모르타르를 시공하는 것이 타 경우에 비해 조적조일 경우 3~4℃, 콘크리트 벽체일 경우에는 5℃ 정도 높게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 즉, 실내조건 23℃, 50%(노점온도는 약 12℃)에 대하여 정상적으로 시공되는 단열모르타르라면 결로의 발생은 거의 없을 것이나, 타 재료의 적용시에는 결로가 발생할 것으로 판단된다.



a) 직접외기 b) 간접외기(Balcony)
그림 1. 대상벽체의 평면도



a) 마감재 없음 b) 결로방지용 도료 c) 단열모르타르
그림 2 직접외기에 면한 벽체의 온도분포



a) 마감재 없음 b) 결로방지용도료 c) 단열모르타르
그림 3 간접외기에 면한 벽체의 온도분포

한편, 발코니에 새시를 설치할 경우는 발코니 공간이 완충공간으로 작용할 수 있으므로 실내에서의 결로발생은 줄어들겠지만 오히려 발코니의 벽체 우각부에서는 실내의 다습한 공기 유입이나 창고공간에서의 공기 정체 등으로 인해 결로는 더욱 발생하기 쉬울 것으로 생각된다.

3. 성능실험 및 분석

3.1 실험개요

본 연구에서는 Simulation에서 나타난 문제점을 확인하고 재료별 열성능 및 결로방지성능을 파악하고자 성능실험을 실시하였다. 성능실험은 대우건설기술연구소 설비실험동내 환경실험챔버 사이의 Pair Glass 표면에 시편부위를 제외한 외기측을 50mm 단열재로 기밀하게 단열하여 시편으로 열교부위를 집중시킨 후 시편을 설치하여 '98.11.9~10 양일에 걸쳐 수행하였다.

표 2. 성능실험 개요

구분	열성능	결로방지성능	함습량
측정 항목	부위별 표면온도	부위별 표면온도	경과시간 별 증량
	실내의 온·습도 표면열류량	실내의 온·습도 표면열류량	
조건	-20℃/23℃,38%	-30℃/23℃,65%	23℃,40%
크기(mm)	400x400		100x100
대상시편 두께(mm)	압출폴리스티렌폼(10)·단열모르타르 (15)·결로방지용 도료 A(0.7), B(1.0)		도료 A,B

먼저 실험실 Pair Glass의 단열치를 고려하여 외기측을 -20℃로 설정한 후, 동절기 실내조건 23℃에서 습도제어없이 재료에 따른 열성능을 평가하였으며, 다음으로 외기온을 -30℃까지 낮추고 실내기온 23℃, 상대습도 65%의 조건에서 인위적으로 결로를 유도한 후 결로방지성능을 실험하였다.

또한 함습량과 증발량 실험은 시편을 6시간 함습한 후 23℃, 40%의 실내조건에서 10분간격으로 증량을 측정하고 감소에 대한 변화율을 산정함으로써 시편간의 특성을 비교하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 열성능 실험결과

열성능 실험에 있어서는 실내 습도의 고려없이 각 시편에 있어서 시편을 중심으로 양측의 온도분포 및 시편표면을 통과하는 열류량분포를 상대비교하였으며, 실내외의 온도가 안정되어 정상상태에 이르렀을 때의 온도차와 열류량의 평균값을 비교·분석하였다. 열성능 실험이 진행되는 동안의 평균 실내기온은 23℃, 외기온은 -20℃로 측정되었으며, 실내 상대습도는 평균

37.36%를 유지하였다.

(1) 외기측 Pair Glass 표면온도분포

정상상태에서의 외기측 Pair Glass의 표면온도의 평균치 비교를 표 3에 나타내었다.

표 3. 외기측 Pair Glass 평균표면온도(정상상태)

구분	압출 폴리스티렌 폼	단열 모르타르	결로방지 도료A	결로방지 도료B
온도(℃)	-13.47	-11.54	-9.43	-9.15

외기측의 Pair Glass 평균표면온도는 압출 폴리스티렌 폼 -13.47℃, 단열모르타르 -11.54℃, 결로방지용 도료A -9.43℃, 도료 B -9.15℃의 순으로 높게 나타나고 있으며, 이러한 원인은 Pair Glass를 사이에 두고 각 시편의 열전도율 및 두께에 따른 열저항의 크기에 따른 것임을 알 수 있다.

(2) 실내측 Pair Glass 표면온도분포

Pair Glass를 경계로 실내측 표면온도분포 역시 실외측과 유사한 형태를 지님을 알 수 있으며, 특히 압출 폴리스티렌 폼과 단열모르타르와 같이 열저항치가 큰 경우 열저항체인 시편에서의 온도구배가 더욱 커짐에 따라 Pair Glass 사이의 온도구배는 결로방지용 도료에 비해 작게 나타났다. 표 4에 정상상태에서의 실내측 Pair Glass 표면온도의 평균치를 상대비교하였다.

표 4. 실내측 Pair Glass 평균표면온도(정상상태)

구분	압출 폴리스티렌 폼	단열 모르타르	결로방지 도료A	결로방지 도료B
온도(℃)	-2.56	2.36	11.55	11.57

(3) 실내측 시편 표면온도분포

실내측 시편의 표면온도분포를 살펴보면 시편 반대측의 현상과는 반대로 압출 폴리스티렌 폼, 단열모르타르, 결로방지용 도료A, 결로방지용 도료B의 순으로 온도분포가 낮아짐을 알 수 있으며, 이러한 현상은 압출 폴리스티렌 폼 및 단열모르타르와 같이 열저항이 큰 경우는 시편을 통과하면서 급한 온도구배를 형성하여 표면온도를 상승시키고, 결로방지용 도료의 경우 열저항

이 상대적으로 작음에 따라 완만한 온도구배를 형성하여 표면온도가 낮아진 때문으로 판단된다. 표 5와 그림 4에 정상상태에서의 시편의 표면온도 평균치 및 분포를 비교하였다.

표 5. 실내측 시편 평균표면온도(정상상태)

구분	압출 폴리스티렌 폼	단열 모르타르	결로방지 도료A	결로방지 도료B
온도(℃)	17.26	15.00	12.23	12.24

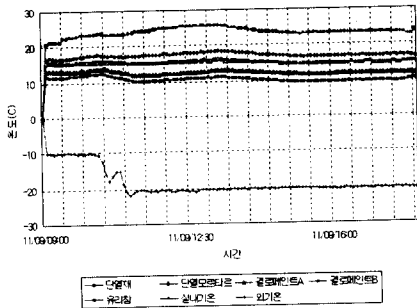


그림 4. 실내측 시편 표면온도분포(열성능실험)

지금까지의 온도분포 측정결과를 토대로 각 시편에서의 온도구배를 그림 5에 나타내었다.

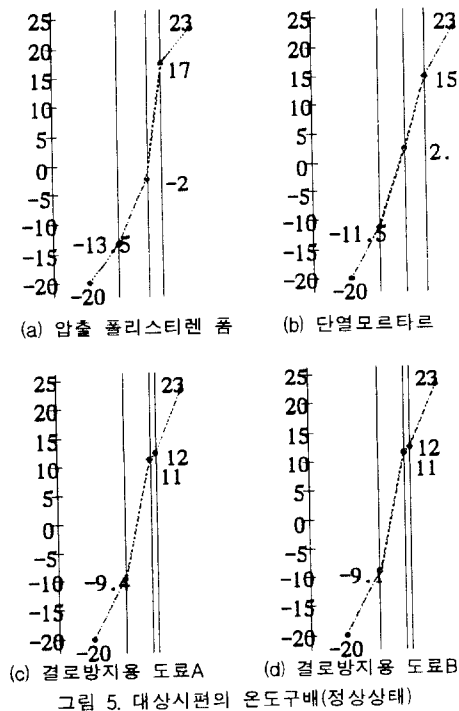


그림 5. 대상시편의 온도구배(정상상태)

그림 5로부터 압출 폴리스티렌 폼과 단열모르타르와 같이 열저항치가 큰 경우 열저항체인 시편에서의 온도구배가 더욱 커짐에 따라 Pair Glass의 온도구배는 결로방지용 도료에 비해 상대적으로 작게 나타났다. 반면 시편의 온도구배 측면에서는 압출 폴리스티렌 폼, 단열모르타르, 결로방지용 도료A, 결로방지용 도료B의 순으로 온도구배가 급해짐을 알 수 있으며, 이러한 현상은 압출 폴리스티렌 폼 및 단열모르타르와 같이 열저항이 큰 경우는 시편을 통과하면서 급한 온도구배를 형성하여 표면온도를 상승시키고, 결로방지용 도료의 경우 열저항이 상대적으로 작음에 따라 완만한 온도구배를 형성하여 표면온도가 낮아진 때문으로 판단된다.

따라서 결로방지용 도료의 경우 압출 폴리스티렌 폼이나 단열모르타르에 비해 실내의 표면온도가 크게 낮아질 수 있으며, 이는 동절기에 난방부하를 가중시키는 동시에 재실자들에게도 국부적 냉기류의 발생 등 불쾌감을 형성시킬 수 있을 것으로 판단된다.

3.2.2 결로방지성능 실험결과

결로방지 성능실험은 열성능실험시에 비해 인위적인 결로발생을 유도하기 위하여 실외기온 -30°C , 실내습도 65%로 실험실 조건을 설정한 후, 대상시편의 실내표면온도가 실내공기의 노점온도 이하에서 표면결로 발생여부를 육안으로 관찰하여 경과시간별 상태를 파악하였으며, 각 시편특성에 따른 노점온도와 표면결로와의 관계를 파악하고 표면결로 발생여부를 분석하였다.

(1) 노점온도 도달 및 표면상태

실외기온 -30°C , 실내기온 23°C 및 실내 상대습도 65%의 조건에서 실내공기의 노점온도는 약 16°C 가 된다. 본 측정에서 실내외 기온이 안정되어 정상상태를 이루기까지는 약 3시간이 소요되었고, 3시간 이후의 시편 표면온도를 측정 한 결과, 압출 폴리스티렌 폼을 제외한 모든 시편에서 노점온도이하의 온도치를 나타내었으며, 압출 폴리스티렌 폼 역시 거의 노점온도에 근접

하는 표면온도를 나타내었다. 이에 따라 본 실험에서는 실내의 기온이 정상상태에 도달한 이후 모든 시편의 실내측 표면온도를 측정함과 동시에 표면결로의 여부를 실험시작 후 9시간동안 지속적으로 관찰하였다.

모든 시편이 노점온도 16℃에 이른 정상상태 이후 Pair Glass에서는 결로수가 흐르고 있었으나, 모든 시편에 있어서 표면결로는 관찰되지 않고 있었다.

그러나 세부적으로 관찰한 결과, 단열모르타르의 경우 표면결로 없이 초기상태를 아주 양호하게 유지하고 있었고, 결로방지용 도료A 및 결로방지용 도료B에서는 표면결로는 관찰되지 않았지만 다소의 눅눅함과 차가움이 느껴졌다. 따라서 결로방지용 도료의 경우 시편에서 흡습하고 있는 수분의 증발시 발생하는 실내가습으로 인한 실내기온 저하의 가능성을 찾아볼 수 있었다. 또한 시편의 표면온도 측면에서도 압출 폴리스티렌 폼 17℃, 단열모르타르 15℃에 비해 시편 A, B 모두에서 3℃ 정도 낮은 약 12℃의 분포를 보였고, 이는 Pair Glass 표면온도(10℃)에 가까운 상당히 낮은 온도임에 따라 실내에 결로방지용 도료를 적용하였을 경우 재실자들에게 아주 차가운 표면으로부터의 불균등복사로 인한 불편감을 형성시킬 가능성이 있음을 찾을 수 있었다. 그림 6에 결로발생조건하에서의 표면온도분포를 나타내었다.

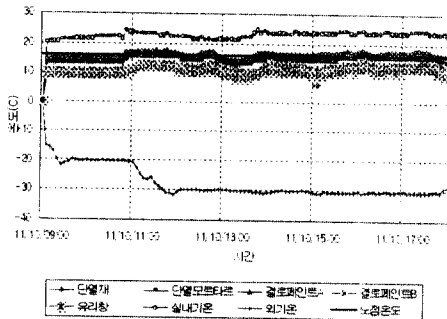


그림 6. 실내측 시편 표면온도분포(결로방지성능실험)

(2) 결로발생 소요시간 및 표면상태

정상상태 도달 즉, 실내측 표면이 실내공기의

노점온도 이하에 도달한 이후 약 3시간이 경과 하면서 결로방지용 도료A와 결로방지용 도료B의 표면에서 표면결로가 발생하기 시작하였다. 이러한 현상은 초기에 결로가 발생할 조건에서 표면결로를 내부에서 흡습하여 눅눅함을 나타내고 있을 때 시편 내에 함유하고 있던 수분의 양이 지나치게 많아짐에 따라 내부에서의 포화상태를 넘어선 이후부터 함유한 수분을 실내로 분출한 것으로 판단된다. 이에 대해 단열모르타르의 경우에는 노점온도 이하에 도달한 이후 6시간 경과시에도 표면에서의 약간의 눅눅함이 느껴질 뿐 표면결로는 관찰되지 않았다. 또한 압출 폴리스티렌 폼의 경우 시편의 특성상 투습이 전혀 이루어지지 않음에 따라 노점온도에 도달 이후 얇은 결로막이 형성되었으나 거의 일정하게 막으로만 형성시키며 실험종료시까지 유지되었다.

따라서 일정정도의 흡습효과를 가진 재료를 사용하는 경우 표면결로에 있어서 노점온도에 이르더라도 다소의 시간적 지연효과를 가짐을 알 수 있었다.

3.2.3 흡습량 및 증발량 실험결과

흡습량과 증발량 실험은 시편을 6시간 흡습한 후 23℃, 40%의 실내조건에서 10분간격으로 증량을 측정하고 감소에 대한 변화율을 산정함으로써 시편간의 특성을 비교하였다.

앞서 살펴본 결로방지성능 실험결과, 결로방지용 도료의 경우 노점온도 이하에서도 3시간 정도 표면결로가 관찰되지 않음에 따라 본 실험에서는 제품 자체가 가지는 흡습량 및 증발량을 측정하였다. 결로방지용 도료A와 B 각각에 있어서 표 2에서 나타낸 바와 같이 A 0.7mm 및 B 1.0mm 두께의 10cm×10cm 시편을 제작하여 6시간 흡습한 후 23℃, 40%의 실내조건에서 10분간격으로 증량을 측정하고 감소에 대한 변화율을 산정하여 시편간의 특성을 비교하였다.

시편제작 후 24시간 공기중에서 양생한 후 초기증량을 측정한 결과, 결로방지용 도료A의 경우 3.21g, 결로방지용 도료B의 경우 8.26g으로

측정됨에 따라 도료의 적정두께차이와 더불어 결로방지용 도료B가 그 성분에 있어서 상대적으로 비중이 큼을 알 수 있었다. 또한 동일한 조건하에서 6시간동안 이루어진 함습이후의 증량은 결로방지용 도료A 6.90g, 결로방지용 도료 B 13.56g으로 초기증량에 비해 시편 A 215% 및 시편 B 164%의 증량증가비율을 보임으로써 결로방지용 도료A가 상대적으로 많은 양의 수분을 함유할 수 있음을 보여주었다. 실험결과, 시편 A의 경우 증발이 시작된 지 약 3시간 40분 경과 후에 초기증량에 도달하였고, 시편 B의 경우 약 4시간 30분 이후까지 초기증량에 도달하지 못하였다. 표 6에 시편당 초기증량, 함습이후의 증량 및 경과시간별 각 시편의 증발에 따른 증량감소비율 등을 나타내었으며, 그림 7에 증량감소의 추세를 나타내었다.

표 6. 시편당 초기치 및 함습이후 증량증감비율

구 분	결로방지도료 A	결로방지도료 B
초기증량	3.21 (g)	8.26 (g)
6시간 함습이후 증량	6.90 (g)	13.56 (g)
증량증가비율	215 (%)	164 (%)
증량감소비율	0.0155 (g/10min)	0.0163 (g/10min)

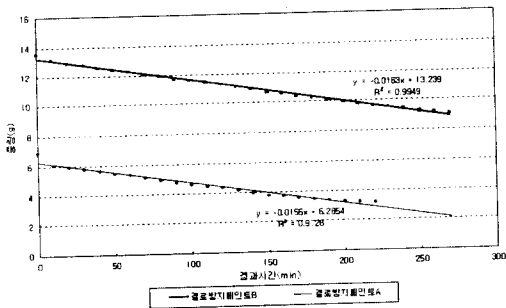


그림 7. 증발에 따른 시편의 증량감소 추세선

표 6과 그림 7로부터 초기증량 및 초기함습비율에서 나타난 시편간의 차이와는 달리 실제 함습이후 증발에 따른 변화율은 시편 A 0.0155g/10min 및 시편 B 0.0163g/10min으로 아주 유사함을 알 수 있다. 따라서 결로방지용 도료의 경우 대상시편 A,B 사이의 증발정도 측면에서 그 성능차이는 거의 없음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) Simulation결과, 벽체 접합부의 열교부위에서는 결로발생의 위험이 있음에 따라 적절한 재료의 적용이 필요한 것으로 나타났다.
- (2) 열성능 실험결과, 결로방지용 도료의 경우 단열모르타르에 비해 실내의 표면온도가 약 3℃ 낮게 나타나 동절기에 난방부하를 증가시키는 동시에 국부적인 냉기류의 발생이나 불균등 복사를 야기하여 거주자들에게 불쾌감을 형성시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- (3) 결로방지성능 측면에 있어서 단열모르타르 및 결로방지용 도료 모두 함습효과를 가짐에 따라 노점온도에 도달한 이후에도 곧바로 표면결로는 나타나지 않았다. 따라서 일정정도의 함습효과를 가진 재료를 사용하는 경우 표면결로를 피할 수 있음에 알 수 있었다.
- (4) 열성능 및 결로방지성능 측면에서 결로방지용 도료는 단열모르타르에 비해 우수하지 않은 것으로 나타났으며 도료의 종류별(A, B)로도 두드러진 성능의 차이를 발견할 수 없었다. 하지만 성능 이외에 도료의 도포두께 및 현장 시공성, 경제성 등의 장점이 있으므로 열성능의 단점으로 발생하는 부하증가 및 재실자의 불쾌감의 위험이 적은 지하주차장이나 발코니 벽체의 내표면 마감에는 충분히 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구사항

본 연구 이후 접합부 및 우각부에서의 적용재료에 따른 실내 난방부하와의 관계에 대한 연구를 진행시켜 나갈 예정이다.

참고문헌

1. 이연구 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 1993.
2. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 1994.
3. B.Givony, Man, Climate & Architecture, Van Nostrand Reinhold Co., 1976.