



외기에 직접 면하는 외벽부위용 결로 방지 콘센트 박스 개발

Development of condensation-free Outlet Box Installed in the Exterior Walls

최강희* · 김선희**

Choi, Kang-Hee* · Kim, Sean Hay**

* Graduate School of Housing and Urban Planning, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, South Korea (kanghee1119@naver.com)

** Corresponding Author, School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, South Korea (seanhay.kim@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: It is a practical custom that power outlet boxes are installed in the exterior wall after taking out the existing insulation. Additionally, since generic type outlet boxes are made of steel that has higher conductivity, power receptacle can be easily chilled down; condensation thus easily occurs in the surface of the receptacle and inner surface of the outlet box. **Method:** We develop a new condensation-free outlet box that is made of phenolic resin layers between which air cavity and insulation are inserted. The developed outbox is also covered by urethane gasket to prevent the indoor air flowing into the outlet box. **Result:** Compared to steel outlet boxes and other available phenolic resin outlet boxes, the developed outlet box turns out to be more insulating in heat transfer simulations. In a physical field test, the developed outlet box outperforms the steel outlet box in terms of preventing condensations, even in the situation that condensation is apparently expected.

KEYWORD

결로
전기 콘센트
콘센트 박스
외벽

Condensation
Power outlet
Outlet box
Exterior wall

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 20, 2017
Final revision received Dec 7, 2017
Accepted Dec 12, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

국토교통부 하자심사분쟁조정위원회의 2010년부터 2014년까지 진행된 하자심사 및 분쟁조정심사를 참고한 결과, 건축부문이 72%로 가장 큰 비중을 차지하고 있고 그중 결로 하자는 두 번째로 높은 하자비율을 차지하고 있다.¹⁾

특히 공동주택의 발코니 확장으로 인해 단열재 누락과 같은 시공 하자가 빈번히 발생하고 있으며, 외벽부위에 위치한 콘센트는 설치되어 있는 단열재를 탈락시키고 설치하는 것이 관행이다. 게다가 일반적으로 설치되는 철제 콘센트 박스는 열전도율이 높아 단열 효과를 전혀 기대할 수 없다. 따라서 겨울철 외부의 냉열이 콘센트 내부로 쉽게 전달되며, 이로 인해 콘센트 박스 및 콘센트의 표면 온도가 콘센트 내부로 침투한 실내 공기의 노점온도보다 낮아지게 되어 결로가 쉽게 발생한다. 특히 겨울철 환기 부족으로 실내 습도가 상승하게 되면 콘센트 내부 결로는 더욱 쉽게 발생한다. 결국 콘센트 내부의 결로수가 흘러내려 내부 전선을 타고 흐르면 감전 및 누전 사고의 가능성이 커지고, 화재 발생의 위험성이 커질 수밖에 없다.

통상적으로 조치되는 콘센트 내부 결로에 대한 해결방안으로 벽

체 내 콘센트 인입구(Outlet hole)에 우레탄폼이나 실리콘을 주입하여 단열보강을 하고 있으나, 우레탄은 난연성 재료가 아니므로 화재 위험과 콘센트 전선부위의 누전위험을 더욱 가중시키고 있으며 보수 보강 시 우레탄폼을 다시 뜯어내고 시공해야 하는 문제점이 있어 해결방안으로 적합하지 않다.

선행연구에서 단열이 비교적 취약한 외기에 직접 면하는 외벽부위에 설치되는 콘센트 박스의 결로 발생 원인을 파악하여, 콘센트 내부 결로를 방지할 수 있는 결로 방지 콘센트 박스를 개발하였다. 본 연구는 개발된 결로 방지 콘센트 박스의 성능을 기존의 철제 및 페놀수지 콘센트 박스와 비교하여 실험 및 검증하는데 목적이 있다.

1.2. 기존 철제 콘센트 박스의 결로 취약성

흔히 볼 수 있는 철제 콘센트 박스는 주로 열전도율이 높아 단열효과를 전혀 기대할 수 없다. 또한 콘센트 박스 측면의 전선 인입구와 콘센트 커버의 통기구로 실내공기와 습기가 콘센트 내부로 유입되는데, 콘센트 박스 내부의 표면온도가 유입된 공기의 노점온도보다 낮으면 결로가 발생하게 된다. 이 현상이 반복되면 콘센트 내부에서 결로수가 흘러내려 누전발생 가능성이 현저히 높아진다.

2. 선행연구

2.1. 실리콘 패킹을 이용한 방수 콘센트

방수 콘센트의 경우 실리콘 층을 통과하여 접속되는 구조로 만들어져 이물질 유입을 막는 방수 기능을 가지고 있다 (Fig 1의 좌측). 후면 전선 결선부, 상하판 사이에 고무패킹 장치를 하였으며, 기밀성을 향상하고자 플러그 삽입부에 공기유입 방지 패킹을 이용하여 결로와 습기로부터 전기회로를 보호한다.²⁾

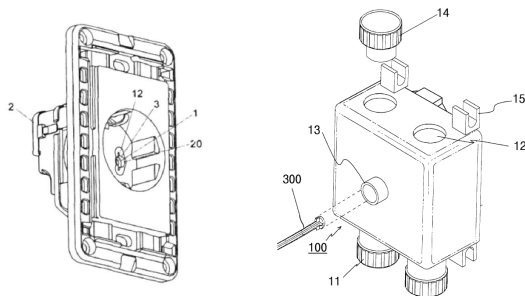


Fig. 1. Waterproof electric outlet with silicon packing (left)³⁾ and insulated outlet box with lids (right)⁴⁾

2.2. 결로 방지 기능을 갖는 벽체 매립형 콘센트 박스

벽체 시공 시 건물의 벽체에 매설되는 콘센트 박스⁵⁾는 전선의 인입로를 제공하여 실내로 전선이 배선될 수 있도록 하며, 또한 결로 방지 공간부가 외부로 노출되지 않도록 방포수지를 충전 함으로써 결로 발생을 방지한다.

콘센트 부위의 결로에 대한 취약성을 주목하여 기존에 개발된 결로 방지 콘센트 박스⁶⁾는 벽체 시공 시 동시에 설치되는 매립형 박스로 박스 뒤쪽에 결로가 발생할 가능성이 낮은 장점이 있다.

그러나 방수 콘센트는 콘센트 박스 내부의 결로 방지보다는 결로 발생 시 누전을 방지하는 목적이며, 결로 방지 박스는 설계가 복잡하고 매립형이기 때문에 시공방법이 까다로우며, 벽을 부수지 않는 한 기존 주택에 적용하기 힘든 문제점이 있다.

3. 결로 방지 콘센트 박스의 시뮬레이션

3.1. 결로 방지 콘센트 박스 개발

선행연구에서 건물의 외벽부위에 시공되어 있는 콘센트 박스의 주요문제인 취약한 단열과 콘센트 내 습기 유입을 해결하기 위해 Fig 2와 같이 결로 방지 콘센트 박스를 개발하였다.

결로 콘센트 박스의 재질로는 모양변형도 자유로우면서 기존의 철제박스보다 열전도율이 낮은 페놀수지로 제작되었으며, 기존 콘

센트 박스를 교체할 수 있도록 기존 콘센트 박스와 동일한 치수로 설계하였다. 박스의 단열은 콘센트의 전선인입을 고려하여 최대 5mm 공간을 두어 열반사 단열재 3mm(열관류율 0.031W/m².h)로 충전 하였으며, 약간의 공기층을 주어 열반사 단열재의 단열효과를 더욱 높였다. 실내 쪽 콘센트의 플러그 삽입구와 PB 관 삽입구는 습기 유입 차단을 위해 캡을 설치하였다. 콘센트 커버보다 약간 큰 크기의 우레탄 가스켓(Gasket)을 콘센트 커버와 콘센트 박스 사이에 삽입하여, 벽체에 설치하였을 때 커버와 박스 사이의 틈새로 실내공기가 유입되는 것을 방지하였으며, 박스와 벽체 내 콘센트 인입구 사이의 틈새로 실내공기가 유입되는 것도 방지하였다.

3.2. 시뮬레이션 설정

온도 차이 비율(TDR: Temperature Difference Ratio)을 분석하는 시뮬레이션인 THERM을 이용하여 국토교통부의 ‘공동주택 결로 방지 설계기준’⁷⁾에 따라 결로 방지 콘센트 박스와 기존의 상용 콘센트 박스를 외기에 직접 면하는 외벽에 설치하여 2차원 열전달을 시뮬레이션 하였다.

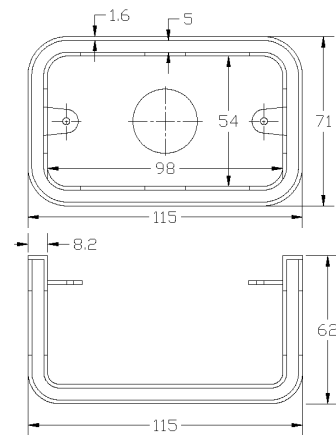
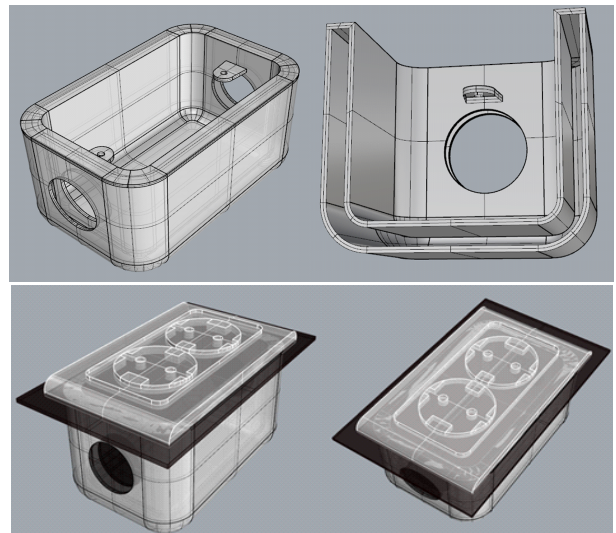


Fig. 2. Developed condensation-free outlet box (unit: mm)

2) 최충석, 김창성. (2008). 실리콘 패킹 기술을 이용한 방수 콘센트의 개발. 대한전기학회 학술대회 논문집, 85-87

3) (주)위너스, <http://www.wns21.co.kr/>

4) 한국특허정보원, 결로방지기능을 갖는 아울렛박스의 결로방지기능을 갖는 아울렛박스의 제조방법, 2012.08

5) 한국특허정보원, 결로방지커버가 구비된 아울렛박스, 2000.2

6) (주)진성테크, ED 결로방지 기술자료, 2016

7) 국토교통부, ‘공동주택 결로 방지를 위한 상세도 가이드라인, 2013.10

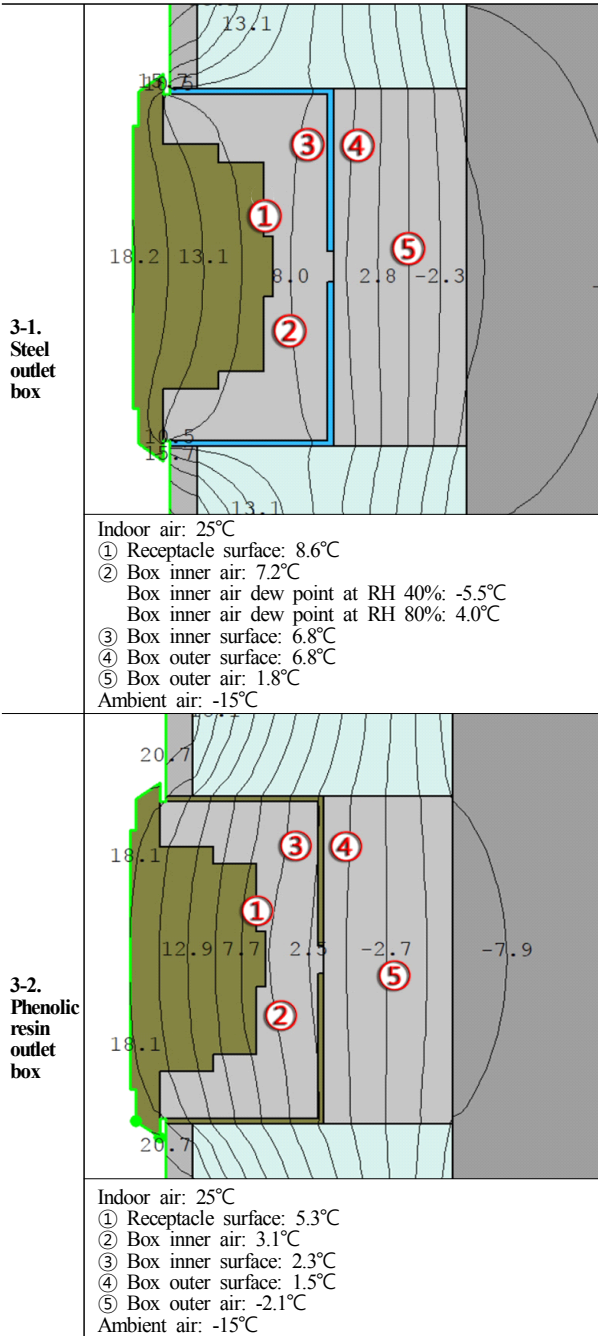


Fig. 3. Temperature profile at the steady state simulated by THERM

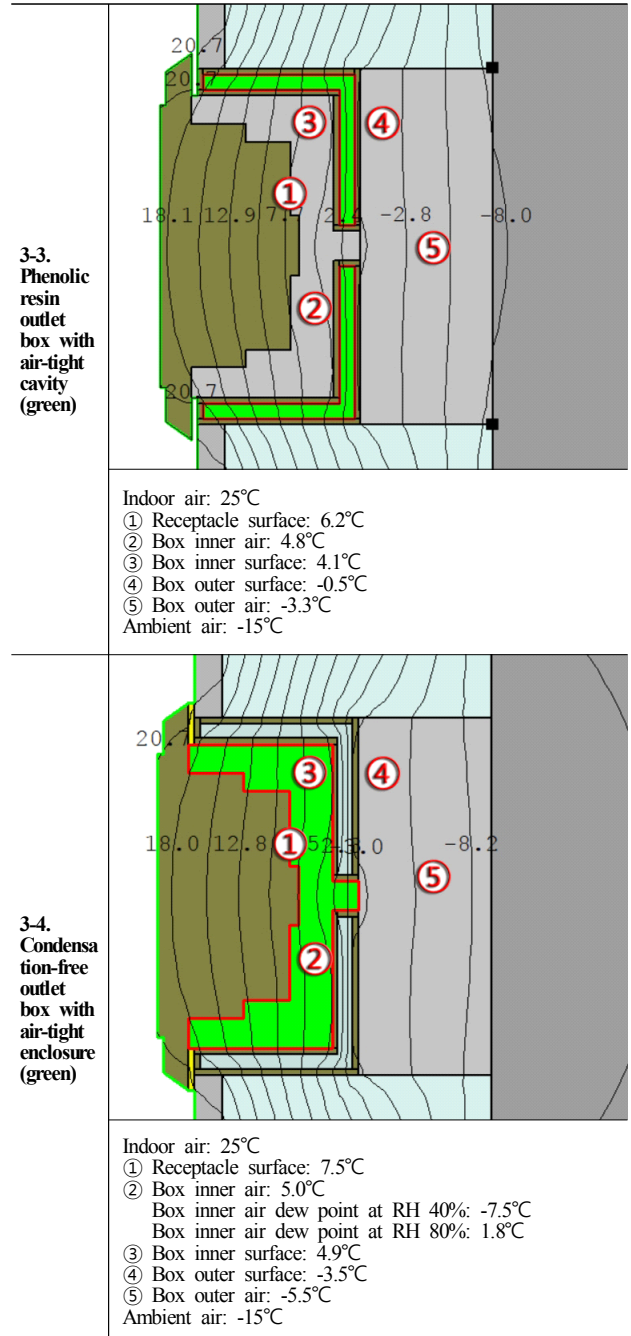


Fig. 3. Temperature profile at the steady state simulated by THERM (continued)

‘공동주택 결로 방지 성능 평가 가이드라인’을 참고하여 실내외 환경조건으로 중부지방 기준, 외기온도 -15°C, 실내온도 25°C로 설정하였으며, 벽체조건은 4.1절의 실증실험 아파트와 동일하게 외부에서부터 콘크리트 200mm, 단열재 90mm 석고보드 9.5mm로 설정하였다. 콘센트 박스 뒷부분의 벽체부위는 (단열재 누락으로) 겨울철 냉기가 콘센트 박스 후면까지 침투하며 실내공기는 콘센트 플러그 삽입부를 통해 박스 내부로 침투한다고 가정하여, 박스 내부와 콘센트 박스 후면 공간은 미세공기가 침투하는 것으로 설정하였다 (Fig 3의 3-1, 3-2, 3-3의 ②과 ⑤, 3-4의 ⑤). 그러나 개발된 결로 방지 박스는 실내공기를 박스 내부로 유입시키지 않는 구조이므로, 콘센트 박스

의 내부는 밀실하다고 설정하였다 (Fig 3.의 3-4의 ②).

3.3. 콘센트 박스 성능의 시뮬레이션 비교 분석 결과

Fig 3에서 철제 박스(3-1)에서 결로 방지 박스(3-4)로 갈수록 박스의 내·외부 표면 온도차(③-④)가 커지는 점을 관찰할 수 있다. 이는 박스 재질 및 구조가 철제→페놀수지→{페놀수지+중공층}→{페놀수지+단열재+ 내부 기밀성 보강}으로 강화될수록 단열 또한 향상된다는 것을 의미한다.

1) 콘센트 박스의 단열이 잘 될수록 콘센트 박스 내부와 후면의 공기 온도차(②-⑤)도 커지게 된다.

2)철제 박스의 경우 통기성이 좋지 때문에 실내 공기 습도가 80%까지 상승하면 박스 내부 공기의 노점온도가 4.0℃까지 상승할 수 있으며, 이때 박스 내부 표면 온도와 차이가 단지 2.8℃ (6.8℃-4℃)밖에 되지 않기 때문에 결로 발생 가능성이 높아진다.

그러나 결로 방지 박스의 경우 박스 내부가 밀실하기 때문에 실내 공기 습도가 80%까지 상승하여도 박스 내부 공기의 습도는 겨울철 통상 습도인 40% 정도를 유지할 것이므로 박스 내부 공기의 노점온도는 -7.5℃ 정도까지 떨어질 수 있다. 따라서 박스 내부 표면 온도와 12.4℃ (4.9℃-(-7.5℃))차이를 유지할 수 있으므로 결로 발생 가능성은 낮아진다.

정상 상태를 가정하는 2차원 전열해석 시뮬레이션 THERM에서는 박스 내부 공기와 박스 내부 표면 온도의 차가 각각 0.4℃ 및 0.1℃밖에 차이가 나지 않기 때문에 시뮬레이션만으로 결로 발생 가능성을 예측하기에는 다소 무리가 있으므로, 철제와 결로 방지 콘센트 박스의 결로 발생 가능성을 실제 아파트 외벽에 설치하여 실증 실험을 실시하였다.

4. 결로 방지 콘센트 박스의 실증 실험

4.1. 결로 방지 콘센트 박스의 실증 실험 환경

2017년 1월, 실험 아파트(2014년 준공)의 콘크리트 200mm, 단열재 90mm, 석고보드 9.5mm로 구성된 외벽에 설치된 콘센트를 해체하였을 때 (Fig. 4), 콘센트 박스 내부 뒷벽부분에 상당한 결로가 발견되었으며 내부전선에서도 쉽게 결로를 관찰할 수 있었다.

열화상카메라로 표면 온도를 측정하였을 때 (Fig. 5) 콘센트 실내 표면(11.4℃)과 콘센트 내부 온도(1.0℃) 차이가 크다는 사실을 알 수 있었는데, 이는 콘센트 박스의 매립 시 뒤쪽의 단열재 누락으로 외기로부터의 냉열이 콘센트 박스 뒷부분의 빈 공간으로 직접적으로 전달되어 발생하는 결로 문제로 사료된다.

4.2. 결로 방지 콘센트 박스의 실증 실험 절차

2017년 1월, 기존 철제 콘센트 박스와 결로 방지 박스의 결로 발생 비교를 위해, Fig.4의 콘센트 위치에 2017년 1월 11일 6시부터 13시까지 철제 박스를 설치하고, 2017년 1월 12일 6시부터 13까지는 결로

바닥 난방으로 실내 온도를 27-28℃까지 서서히 상승시키고 가습기를 이용하여 실내 습도를 80%까지 서서히 상승시키면서, Fig. 6과 Fig. 7과 같이 센서를 부착하여 실내의 온습도와 콘센트 박스 내·외부 공간의 공기온도, 박스 내·외부 표면 온도차를 측정하였다.

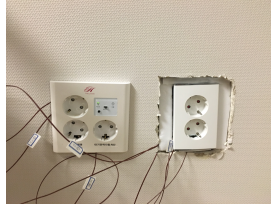
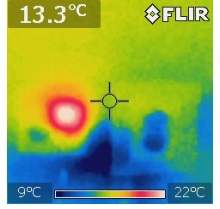
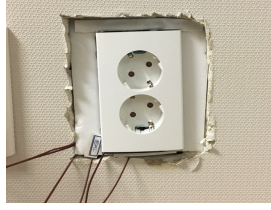
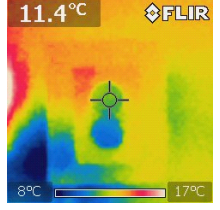

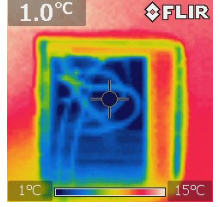
	Experiment setting	Thermal images
Room surface		
Outlet surface		
Outlet hole		

Fig. 5. Experiment configuration and thermal images

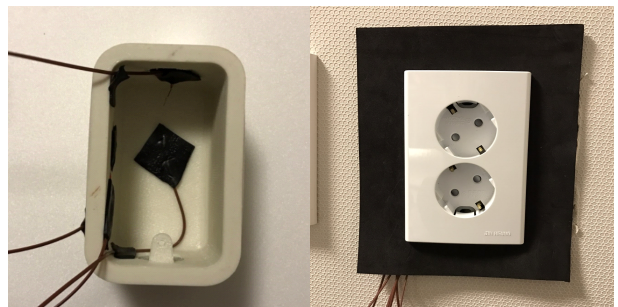


Fig. 6. Condensation-free outlet box with urethane gasket

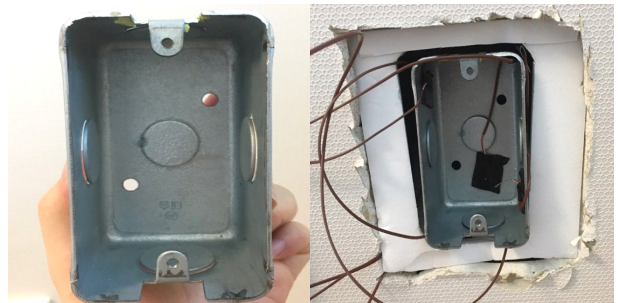


Fig. 7. Steel outlet box with no outlet cover

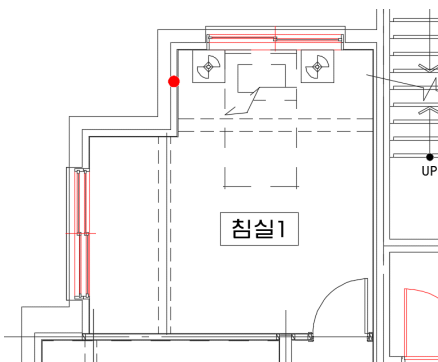


Fig. 4. Outlet boxes are installed in the red spot of the exterior wall

방지 박스를 설치하여 실증 실험을 진행하였다. 단힌 실험공간에서

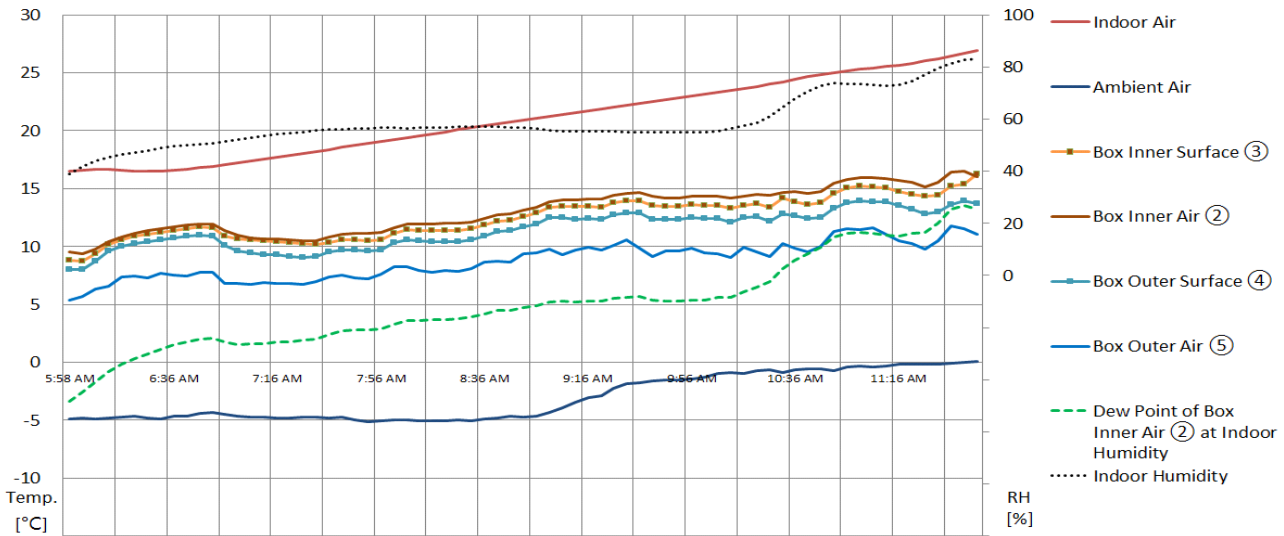


Fig. 8. Air & surface temperature, dew point temperature and relative humidity in case of the steel outlet box (Jan.11th 2017)

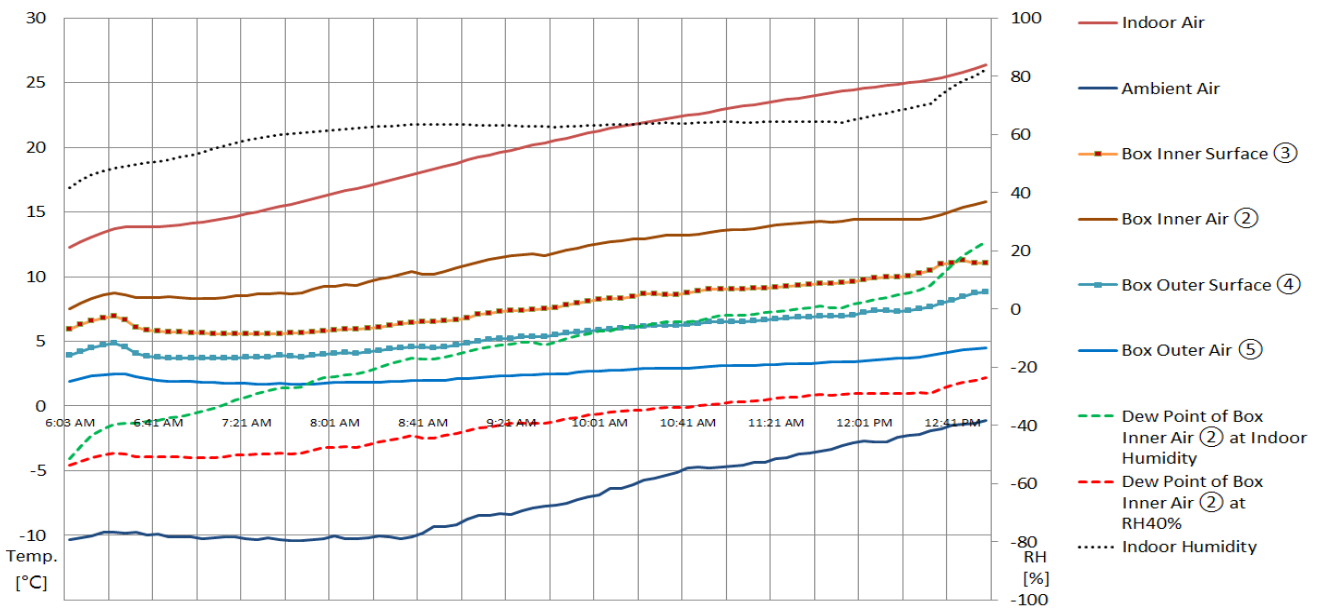


Fig. 9. Air & surface temperature, dew point temperature and relative humidity in case of the condensation-free outlet box (Jan.12th 2017)

4.3. 실험 결과

철제 콘센트박스의 경우 다음을 관찰할 수 있었다.

- 1) 철제의 높은 열전도율로 인해 박스 내·외부의 표면온도차(③-④)는 실험이 진행되는 동안 계속 약 1°C 정도를 유지하였다. 또한 박스 내부 공기와 박스 내부 표면의 온도차도 1°C에 못 미치는 정도를 유지하였다.
- 2) 박스 내외부의 공기 온도차(②-⑤)는 실험이 진행되는 동안 계속 약 4°C 정도를 유지하였다.
- 3) 실험이 끝난 후 철제 박스를 검사하였을 때 박스 내부와 콘센트 회로에서 결로수가 타고 내렸음을 확인할 수 있었다. 철제 박스는 기밀성이 거의 없기 때문에 박스 내부 공기와 실내 공기가 상호 통기가 가능하다는 점을 고려하여, 박스 내부 공기의 습도도 실내 공기 습도와 동일하다고 가정하고 박스 내부 공기의 노점온도를 계산하였다.

Fig.8에서 나타난 바와 같이 실험 후반부에 박스 내부 공기 온도가 완만히 상승함에도 불구하고, 박스 내부 습도가 60%에서 80%로 빠르게 상승함에 따라 박스 내부 공기의 노점 온도도 빠르게 상승하였으며, 결국 실험 중반에는 노점온도가 박스 내부 표면 온도까지 상당히 근접하였다. 철제 박스 내부에서 결로가 언제 발생하기 시작하였는지는 정확히 알 수는 없지만, 내부 공기의 노점 온도가 빠르게 상승하기 시작한 시점이 결로가 발생하기 시작한 시점이라 사료된다.

4) 실험 시작 후 약 3시간 동안 외기 온도가 -5°C를 유지함에도 불구하고, 실내 공기 온도가 상승함에 따라 철제 박스 후면 공기 온도가 완만하게 상승하는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 철제 콘센트 박스에 콘센트 커버를 씌우고 설치하였음에도 불구하고, 실내 공기가 철제 콘센트 박스 후면으로 침투하였음을 유추할 수 있다.

결로 방지 콘센트 박스의 경우 다음을 관찰할 수 있었다.

1) 박스 내·외부의 표면온도차(③-④)는 실험이 진행되는 동안 계속 약 3℃ 정도를 유지하였다. 특히 외기 온도가 -10℃까지 떨어져도 박스의 내·외부 표면 온도차를 3℃로 유지하는 점을 보아 결로 방지 박스의 단열이 비교적 잘 기능한다는 점을 유추할 수 있다.

2) 실험 초반 외기 온도가 -10℃를 유지할 동안 박스 내외의 공기 온도차(②-⑤)는 약 8℃ 정도를 유지하였지만, 실험 후반부로 갈수록 실내외 온도차가 실험초반과 비슷하게 유지됨에도 박스 내외의 공기 온도 격차는 점점 더 커져 12℃까지 차이가 발생하였다. 이 또한 결로 방지 박스의 단열이 비교적 잘 기능하고 있다는 점을 의미한다.

3) 실험이 끝난 후 결로 방지 박스를 검사하였을 때 박스 내부와 콘센트 회로에서 전혀 결로를 발견 할 수 없었다. 박스 내부 공기의 습도가 실내 공기 습도와 동일하다고 가정하고 박스 내부 공기의 노점온도를 계산하였을 때, 심지어 실험후반부에서는 박스 내부의 표면 온도가 공기 노점 온도보다 낮아 졌다 (Fig. 9의 초록색 점선). 그러나 결로는 발생하지 않았는데 이는 박스가 기밀한 구조이기 때문에 실내의 습기가 박스 내부로 유입되지 않았기 때문이다. 따라서 박스 내부 공기의 습도를 겨울철 통상적인 실내 습도 40%로 가정하여 박스 내부 공기의 노점온도를 다시 계산하였을 때, 박스 내부 공기 온도와 노점 온도 차이는 거의 13℃를 유지함으로 박스 내부에 결로가 발생할 가능성이 거의 없다는 점을 유추할 수 있다 (Fig. 9의 붉은색 점선).

4) 실험 시작 후 약 2시간 반 동안 외기온도가 -10℃를 유지할 때 실내 공기 온도가 꾸준히 상승함에도 불구하고, 결로 방지 박스 후면 공기 온도가 2℃를 유지함을 관찰할 수 있다. 이는 결로 방지 박스의 우레탄 가스켓이 실내공기가 벽체와 박스의 틈새를 통해 결로 방지 후면으로 침투하는 것을 막아 주는 기능을 하였음을 유추할 수 있다.

5. 결론

단열재를 탈락시키고 외벽 부위에 설치하는 철제 콘센트 박스는 탈락된 단열재와 더불어 박스 자체의 높은 열전도율로 단열효과를 전혀 기대할 수 없다. 따라서 겨울철 외기의 냉열이 콘센트 내부로 쉽게 전달되며 이로 인해 콘센트 박스 및 콘센트의 표면 온도가 콘센트 내부로 침투한 실내 공기의 노점온도보다 낮아지게 되어 결로가 쉽게 발생한다.

외벽부위에 설치되는 콘센트 박스의 결로 발생은 박스 자체의 취약한 단열과 실내 습기 유입 때문이며, 이를 해결하고자 선행연구에서 결로 방지 콘센트 박스를 개발하였다. 본 연구에서는 결로 방지 콘센트 박스의 단열 성능이 기존의 철제 및 페놀수지 박스와 비교하여 우수하다는 점을 시뮬레이션으로 확인하였으며, 기존의 철제 콘센트 박스보다 결로 방지 성능 또한 월등함을 실증 실험을 통하여 확인하였다.

외벽부위에 설치되는 콘센트박스의 결로 문제에 대한 기존 조치는 주로 단열 보강에만 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 결로의 원인이 되는 습기의 유입을 방지한다는 측면에서, 실내공기가 콘센트 내부와 콘센트 박스 후면으로 침투하는 것을 방지하는 것이 보다 더 근본적인 해결방법일 것이다.

Acknowledgement

This study was supported by the Research Program funded by the Seoul National University of Science and Technology.

Reference

- [1] 이화여자대학교, “주거복지 구현을 위한 생활밀착형 공동주택 성능향상 기술개발 1차년도 보고서”, 국토교통부, 2015.03 // (Ewha Women's Univ, “Development of Building Technology to Improve the Living Performance Closely Related with Lifestyle to Realize the Housing Welfare, 2015.03)
- [2] 최충석, 김창성. (2008). 실리콘 패키징 기술을 이용한 방수 콘센트의 개발. 대한전기학회 학술대회 논문집, 85-87. // (Choi, C.S. and Kim, C.S., “Development of Waterproof Electric Outlet using Silicon Parking Technology”, Proceedings of the KIEE Conference 2008)
- [3] (주)위너스, <http://www.wns21.co.kr>
- [4] 한국특허정보원, “결로방지기능을 갖는 아울렛박스 및 결로방지기능을 갖는 아울렛박스의 제조방법”, 2012.08 // (KIPI, “Wiring Box having Dew Preventing Function and Manufacturing Method”, 2012.08)
- [5] 한국특허정보원, “결로방지커버가 구비된 아울렛박스”, 2000.02 // (KIPI, “Outlet Box with Preventing Frost cover”, 2000.02)
- [6] (주)진성테크, ED 결로방지 기술자료, 2016
- [7] 국토교통부, “공동주택 결로방지를 위한 설계기준”, 2016 // (MOLIT, “Standard of a Design for Preventing the Condensation in Multi-residential House”, 2016)