

# 환경 조건변화에 따른 배전반 결로 특성에 관한 연구

김재돌\*, 오갑석\*\*

\*동명대학교 공과대학 냉동공조공학과

\*\*동명대학교 정보통신대학 전자공학과

## A Study of Dew Condensation Characteristics to Switchboard due to Environmental Conditions

Jae-Dol Kim\*, Kab-Suk Oh\*\*

\*Dept. of Refrigeration and Air Conditioning Engineering, TongMyong University

\*\*Dept. of Electronics Engineering, TongMyong University

### 요 약

본 논문은 결로 방지 기능을 가진 배전반 개발을 위해 다양한 온습도 환경 조건에서 결로의 생성 및 제거에 관한 특성을 파악하였다. 획득된 결과는 외부 온도변화에 따라 배전반 내부의 온도도 변화되며, 내외부의 온도차는 일정한 차이를 나타내었다. 결로 생성의 특성은 초기에는 미세한 분무상에서 시간이 경과함에 따라 주위 물방울들과 결합하여 성장하며, 최종적으로는 표면장력이 작용하지만 중력에 의해 하부로 처지면서 떨어지는 과정으로 진행되었다. 또한 히터 등으로 결로 생성조건을 파괴시키면 생성시와 동일한 온습도 조건이 유지되어도 결로는 제거되는 것을 알 수 있었다.

### 1. 서론

고도 정보화 사회를 맞이하여 국내에서도 배전반과 시스템의 안전한 활용을 위해 전원 공급 장치산업의 중요성이 크게 부각되고 있다. 이 가운데 배전반 및 자동화 장치는 전원공급 장치에 없어서는 안 될 중요한 설비이며, 장치 작동의 안전성과 신뢰성이 매우 중요하다. 특히, 중요 생산설비에 있어서 배전반의 안전성 문제로 인한 피해는 상상을 초월할 수 없을 정도로 엄청나다[1,2]. 배전반의 안전성, 효율성 및 배전반 내에 설치되는 각종 수배전 설비들의 수명연장을 확보하기 위해서는 배전반 내의 온도, 습도, 결로의 제어가 반드시 필요한 기술이다.

국내외적으로도 최근 전자기술, 컴퓨터 및 통신기술의 발달로 각종 Plant, 및 대형 빌딩의 전기설비의 첨단 자동화가 가능해짐에 따라 전기설비에서도 설비의 고기능화, 고신뢰화, 소형화 및 표준화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[3,4].

따라서, 본 연구에서는 각종 가정용 및 산업용 분야 전반에 걸쳐서 폭넓게 사용되고 있는 배전반의 안전성 및 효율성에 가장 큰 영향을 미치는 결로(Dew Condensation)의 특성을 다양한 온습도 환경 조건에서 파악하여 결로 방지기능을 가진 배전반 개발을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 노점온도 계산

결로란 학술적으로 공기 중의 수분이 응축되어 이슬이 맺히는 현상을 말한다. 결로가 생성되는 조건은 어떤 물체의 표면온도가 공기의 노점(이슬점)온도(Dew Point Temperature)보다 낮아질 때 발생하게 된다. 결로를 방지하기 위한 방법은 어떤 물체의 표면온도를 히터나 온풍, 단열 등으로 공기의 노점(이슬점)온도보다 높여야 한다. 공기의 노점온도는 결로가 발생하는 물체의 표면이 물체가 존재하는 상태의 공기 건구온도와 습구온도 및 상대습도와 절대습도 가운데 2가지 공기의 성질을 가지고 계산할 수 있다. 그러나 물체가 존재하는 상태에서 공기의 성질은 장소별, 계절별, 시간별에 따라 시시각각으로 변화하고, 이에 따라 노점온도도 변화하게 된다.

본 연구에서는 배전반 내부 공기의 노점온도( $T_d$ )를 식(1)의 배전반 내부 공기의 상대습도(H)와 건구온도(T)로부터 수증기 분압( $P_w$ )을 계산하여 식(2)과 같이 계산하였다.

$$P_w = (H/100) * 0.611 * \text{EXP}(17.27 * T / (T + 237.3)) \quad (1)$$

$$T_d = [116.9 + 237.3 \ln(P_w)] / [16.78 - \ln(P_w)] \quad (2)$$

여기서, H는 공기습도, T는 건구온도,  $P_w$ 는 수증

기 분압을 나타낸다.

식(1)에서와 같이 노점온도가 계산되면, 계산된 노점온도와 결로가 발생하는 배전반의 표면온도를 비교하여 결로 발생 유무를 판단할 수 있다. 이 경우, 배전반의 표면온도가 내부 노점온도보다 높은 경우에는 결로가 발생되지 않으며, 표면온도가 노점온도보다 낮을 경우에는 결로가 발생하게 된다. 이와 같은 방법으로 배전반 표면의 결로 발생 유무를 판단하고, 결로가 발생하는 조건에 해당되면, 표면을 히터나 온풍 또는 단열 등의 방법으로 노점온도보다 높게 유지하여 결로 생성을 방지할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 제어 알고리즘을 구성하여 실시간으로 배전반 내부의 온도 및 습도로부터 노점온도를 계산하고, 계산된 노점온도와 배전반 내부 합체 표면온도를 비교하여 결로 발생 유무를 판단하고, 만약 결로 생성조건이 이루어지면 결로 방지장치인 히터가 가동될 수 있도록 하였다.

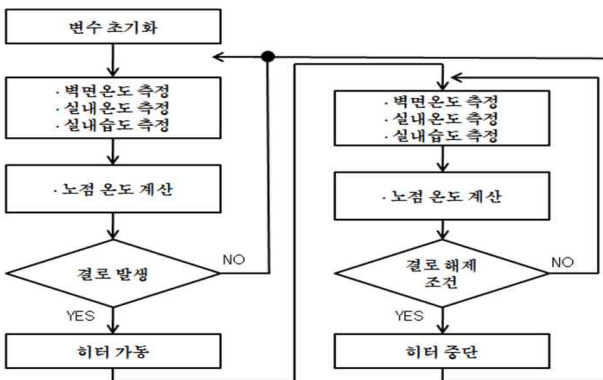


Fig. 1 Control algorithm of prevent condensation

### 2.2 실험장치 및 방법

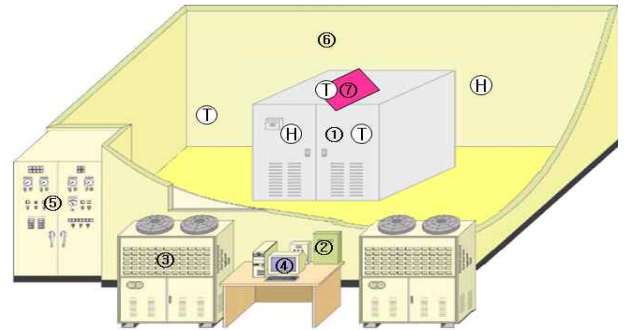
Fig. 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다.

실험용 배전반은 Fig. 3과 같은 규격으로 상부에 결로 방지장치(필름 히터)를 설치하였으며, 온도 및 습도의 조절이 가능한 약 13m<sup>2</sup> 규모의 환경 챔버 내에 설치하여 실험을 실시하였다. 그리고 챔버 내부와 배전반 내부, 배전반 천정 벽체부 등의 일정 위치에는 각각 복수개의 온도 및 습도센서를 부착하여 데이터로그를 통해 자료를 수집하였으며, 수집된 자료는 오차 검증을 통해 평균값을 이용하였다.

실험은 먼저, 각 온도 및 습도를 일정한 조건으로 유지하고, 결로의 생성과 제거 실험을 실시하였다. 온도는 -15℃~15℃범위에서 실시하였고, 습도는 40%~95%범위에서 각 5℃와 10%범위로 반복 실시

하였다.

Fig. 3, 4는 본 실험에 사용된 배전반의 규격 및 실험 사진을 나타낸다.



- ① Switchboard
- ② Dew point temperature controller
- ③ Temperature control unit
- ④ Data collector
- ⑤ Humidity control unit
- ⑥ Environmental chamber
- ⑦ Anti-condensation heater
- Ⓧ : Temperature sensor
- Ⓜ : Humidity sensor

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

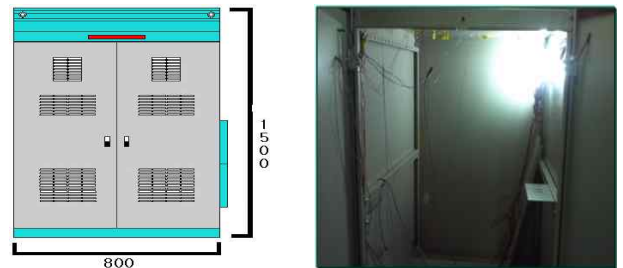


Fig. 3 Specification of switchboard used in the experiment



Fig. 4 Photograph of experiment

### 3. 실험 및 고찰

Fig. 5는 환경 챔버 내의 온도를 -15℃에서 -8℃까지 상승시킴에 따라 환경 챔버 내부 즉, 외기온도 변화와 배전반 내부 온도의 변화를 시간에 따라 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 외부온도를 -15℃에서 -8℃까지 변화시킴에 따라 배전반 내외부의 온도차는 약 2℃정도의 일정한 차이를 나타내었다. 이와 같은 결과는 실제 배전반이 운전되고 있을 경우,

배전반 내 변압기를 포함한 각종 수배전 설비들이 운전 중에는 열을 발생시킴에 따라 배전반 내부의 환경조건 즉, 내부의 온도 및 습도조건이 달라지고, 이에 따라 내부 공기의 노점온도도 달라지며, 실제 결로가 생성되는 벽체의 표면온도도 달라지게 된다. 따라서, 실제적 사항에 가까운 결과를 획득하기 위해 배전반 내외부의 온도차를 측정하였다.

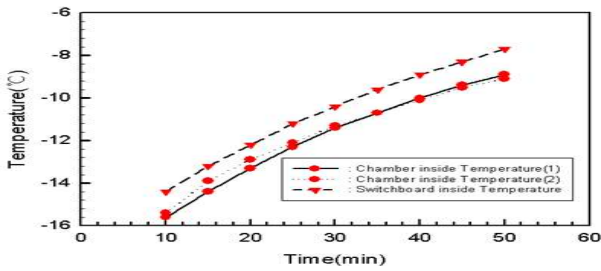


Fig. 5 The internal and external temperature change of switchboard over time

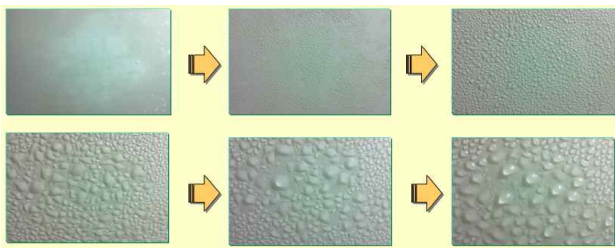


Fig. 6 Photograph of generation the switchboard ceiling wall condensation over time( $t_o : 15^{\circ}\text{C}$ ,  $x_o : 80\%$ )

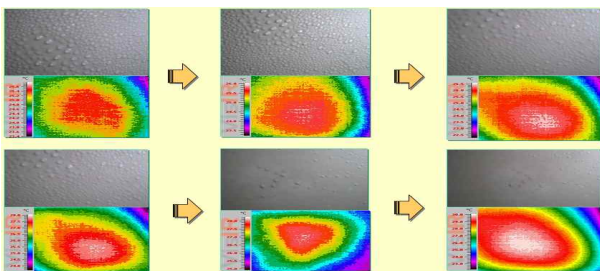


Fig. 7 Photograph of removing the switchboard ceiling wall condensation over time( $t_o : 15^{\circ}\text{C}$ ,  $x_o : 80\%$ )

Fig. 6은 외기온도( $t_o$ ) $15^{\circ}\text{C}$ , 습도( $x_o$ )  $80\%$ 의 조건에서 시간에 따른 배전반 내부 결로의 생성과정을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같이 결로는 초기에는 미세한 분무상으로 생성되어 주위의 물방울들과 결합해 가면서 그 크기가 성장하며, 최종적으로는 표면장력이 작용하고 있지만 중력에 의해 하부로 치지면서 떨어지는 형태를 나타낸다.

Fig. 7은 상기의 결로 생성조건 실험 후, 동일한 온도와 습도를 유지한 상태에서 배전반 천정에 부착된 필름 히터를 작동시켜 결로의 제거 과정을 나타낸 결과이다. 그림에서와 같

이 히터가 작동하여 천정 표면온도가 올라가 결로의 생성조건이 파괴됨에 따라 동일한 온습도 조건이 유지되어도 결로는 제거되는 것을 알 수 있다. 이때, 결로의 생성조건을 파괴시키는 히터의 열확산 과정을 열화상 카메라에 의해 확인하였다.

#### 4. 결론

결로 방지 기능을 가진 배전반 개발을 위해 다양한 온습도 환경 조건에서 결로의 생성 및 제거과정을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 외부온도를  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서  $-8^{\circ}\text{C}$ 까지 변화시킴에 따라 배전반 내외부의 온도차는 약  $2^{\circ}\text{C}$  정도의 일정한 차이를 나타내었으며, 이와 같은 결과는 향후 결로 방지장치의 콘트롤러 설정값 결정시 고려할 사항으로 판단된다.

2. 결로의 생성 특성은 초기에는 미세한 분무상으로 표면에 존재하고, 시간이 경과함에 따라 주위 물방울과 결합하여 성장해가며, 최종적으로는 표면장력이 작용하지만 중력에 의해 하부로 치지면서 떨어지는 과정으로 진행되었다.

3. 결로가 생성된 후, 히터 등의 장치로 결로 생성조건을 파괴시키면 생성시와 동일한 온습도 조건이 유지되어도 결로는 제거되는 것을 알 수 있었다.

향후, 다양한 온습도 조건에서 추가적인 실험을 실시하여 각 온도별, 습도별에 따른 결로의 특성을 비교 분석하여 결로 방지장치 설계를 위한 자료를 확보할 계획이다.

#### 참고문헌

- [1] 김순호, 성진경, 이홍로, 2008, “공동주택 외벽 모서리 접합부위의 결로방지에 관한 연구”, 2008년 대한건축학회지회연합회 학술발표회 논문집, pp. 507-511.
- [2] 이종성, 김종엽, 황하진, 2006, “자연환기구를 이용한 발코니 공간의 결로 저감 효과 분석”, 주택도시(주택도시연구원), 제90호, pp. 127-139.
- [3] 권태웅, 2007, “외벽체 결로 개선 사례와 결로수 배출 방안”, 대한설비공학회지 Vol. 36, No. 8, pp. 35-40.
- [4] 안창환, 공성훈, 2007, “배관재에 따른 표면결로 해석에 관한 연구”, 한국생활환경학회지 Vol. 14, No. 3, pp. 171-179.