

철도차량 주행 시 표면 열전달에 의한 건조(Dry Snow)의 부착 특성 연구 The Study for Characteristics of Dry Snow Adhesion by Surface Heat Transfer on Running Railway Vehicles

서송현*, 지완구*, 김규홍*,**†

Song Hyeon. Seo*, Wan-Gu. Ji*, Kyu Hong. Kim*,**†

초 록 유동에 의해 비산된 눈 입자는 다양한 유형의 열교환으로 인해 함유물의 변화가 발생하며, 고체 표면에 대한 착설 특성은 눈의 함유물에 따라 달라진다. 건조의 경우 낮은 기계적 응집력으로 비가열 표면 충돌시 눈 입자들이 부서지며 착설되지 않으나, 철도차량의 경우 주행 시 하부 열원의 표면 열전달에 의해 착설이 발생한다. 본 연구에서는 주행조건에서 표면 열전달에 의한 건조의 부착특성을 소형 환경풍동을 사용하여 실험적으로 확인하였다. 유동온도에 따른 함유물의 영향 및 대류냉각을 고려하여 시험 조건이 설정되었으며, 착설량을 표면열전달과 대류열전달량의 비로 정리하였다. 또한 동일한 표면 열전달량에 대해 유동온도 변화에 따른 착설량 및 착설 양상을 확인하였다.

주요어 : 착설 현상, 건형 착설, 소형환경풍동, 열전달, 함유물(LWC, Liquid Water Content)

1. 서 론

강설 환경, 열차풍 등 유동에 의해 비산된 눈 입자는 유동과의 열전달로 인해 눈의 함유물(LWC, Liquid Water Content)이 변화된다. 고체 표면에 대한 눈의 부착 특성은 함유물에 따라 달라지는데, 습설(Wet snow)의 경우 얼음 과립의 형태로 표면과 충돌하며 착설된다. 그러나 건조(Dry snow)의 경우 비교적 낮은 기계적 응집력으로 인해 충돌 시 대부분의 눈 입자들은 부서지며 기류에 의해 휩쓸려 착설되지 않는다.[1]

철도 차량의 경우 주행 시 하부 열원의 열전달로 인해 습설뿐만 아니라 건조의 착설이 발생한다. 이러한 철도차량의 하부 착설로 인해 형성된 단단한 설빙은 객차 유리창 파손 등 여러 가지 유형의 피해를 야기한다.[2]

본 연구의 목적은 건조(Dry snow)의 표면 열전달에 의한 착설 조건을 확인하고, 부착 특성과의 상관관계를 파악하는데 있으며, 이를 소형 환경 풍동실험을 통해 확인하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

본 연구는 한국교통대학교에 구축된 소형 환경풍동에서 수행되었다. 아음속 풍동은 개방형 풍동으로 시험부 크기는 $0.3(W) \times 0.3(D) \times 0.8(L)m$ 이며, 시험부 풍속은 $0.5 \sim 30m/s$, $20m/s$ 에서 난류도는 $\pm 0.8\%$ 이하이다. 실험에 사용된 눈은 나일론 와이어에 수증기를 동결시켜 합성된 덴트라이트 구조를 갖는 인공눈이 사용되었다. 표면 착설량은 PIV System을 통해 계측되었으며, 실험 중 환경챔버 내부 온도 편차는 $\pm 0.5^{\circ}C$ 이내로 제어되었다.

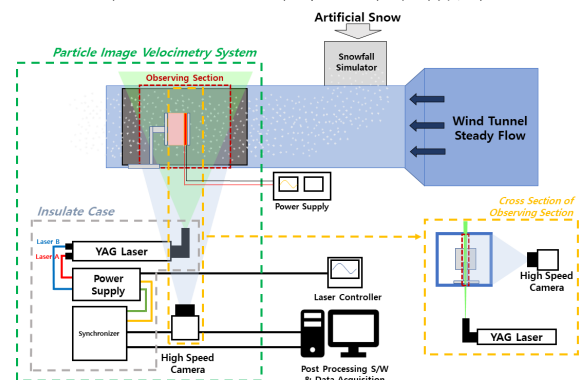


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

† 교신저자: 서울대학교 공과대학 항공우주공학과 (aerocfd1@snu.ac.kr)

* 서울대학교 공과대학 항공우주공학과

** 서울대학교 항공우주신기술연구소

2. 2 실험 모델

실험 모델은 단열재와 알루미늄 평판 사이에 실리콘 라바 히터가 삽입된 형상이다. 부착면은 $100(H) \times 100(D) \times 3(T)$ mm 크기의 알루미늄으로 시험부 차폐도는 11.1%이며, 적외선 카메라를 사용한 표면 온도 측정을 위해 방사율이 알려진 페인트가 도포되었다. 표면으로 부터의 열전달량은 E. M. Sparrow가 제시한 관계식[3]을 통해 계산되었으며 인가 전압에 따른 표면 열전달량은 2nd Polynomial fitting을 통해 획득되었다.

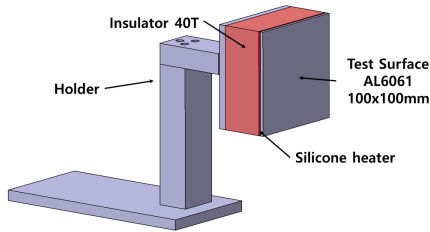


Fig. 2 Schematic view of Test model

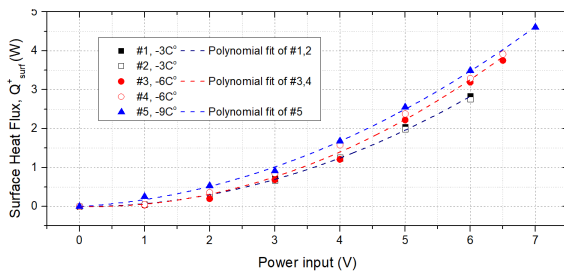


Fig. 3 Surface heat transfer in air for vertical heating plate

2. 3 실험 조건

눈의 함습률은 지면 온도에 따라 달라지며 $-1 \sim -2^\circ\text{C}$ 를 기준으로 습설/건설로 구분된다.[4] 따라서 건설 부착 환경모사를 위해 $-3, -6, -9^\circ\text{C}$ 의 온도 조건에서 착설량을 확인하였으며, 시험부에서 눈입자가 균질분포 되도록 7.8m/s 의 유속에서 실험을 진행하였다. 시험부 눈 투입량은 Snow simulator에 의해 $S = 1.2 \text{ kg/min}$ 로 조절되었다.

2. 4 실험 결과

유동에 의한 대류열전달(Q_{conv}^-)과 표면 열전달(Q_{surf}^+)의 비(Q_{surf}^+/Q_{conv}^-)를 기준으로 히터 전압이 인가되었다. 실험결과 0.9 이상의 열전달비에서 착설이 발생하기 시작하며 표면 열전달량 증가에 따라 착설량이 증가하는 경향을 확인하였다.

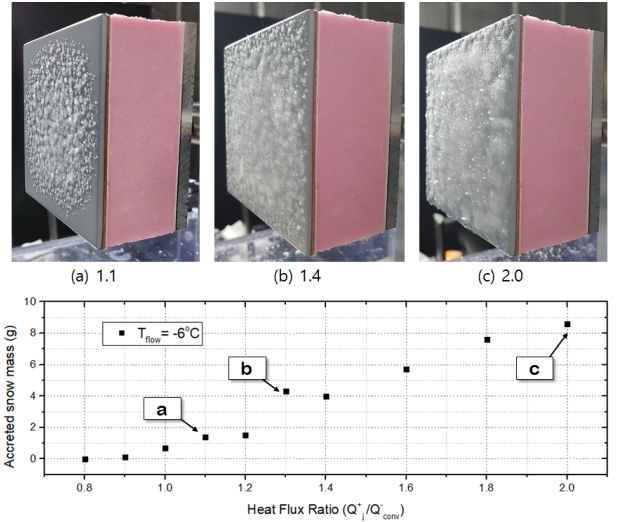


Fig. 4 Accreted snow mass at $T_{flow} = -6^\circ\text{C}$

3. 결론

본 연구를 통해 주행조건에서 표면 열전달량에 따른 건설의 부착특성을 확인하였다. 유동온도에 따른 함습률의 영향 및 대류냉각을 고려하여 시험 조건이 설정되었으며, 표면 열전달량에 따른 착설량을 표면열전달과 대류열전달량의 비로 정리하였다. 또한 동일한 표면 열전달량에 대해 유동온도 변화에 따른 착설량 및 착설 양상을 확인하였다.

후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 21RTRP-146018-04)

참고문헌

- [1] Admirat, p., (2008) Wet Snow Accretion on Overhead Lines, *Atmospheric icing of Power Networks*, Springer Netherlands, pp.119-169
- [2] H.B. Kwon, (2020) Study on Relationship between Weather Condition and Window Glass Damage by Accreted Snow for High-speed Trains, *Journal of the Korean Society for Railway*, 23(2), pp.135-142
- [3] Ephraim M. Sparrow, (2004) Archival Correlations for Average Heat Transfer Coefficients for non-circular and circular cylinders and for spheres in cross-flow, *Int. J. Heat and Mass Transfer*, 47, pp. 5285-5296
- [4] T. Kako, (2004) Adhesion and sliding of wet snow on a super-hydrophobic surface with hydrophilic channels, *J. Mater. Sci*, 39, pp. 547-555