

# 철도 차량 유리창에 발열 유리 시스템 사용시 객실 온도 변화에 대한 연구

## The study of temperature changes heat on the window glass using the rolling stock

안종곤                  유석희                  강범수                  권진                  임원석                  강주희  
Ahn jong-kon,      Yoo suk-hee,      Kang beom-su,      Kwon-jin,      IM won-suk,      Kang ju-hee

### ABSTRACT

To the development of construction techniques and construction of glass-walled structure is generalized. Existing wall to support the role of the vertical load was lose. Features and the beautiful side of the curtain wall job was to be highlighted. Carriage access to the interior of the windows will cause pain in the neck with a cold feeling. And in the windows, drafty windows, under floor heating occurs despite the condensation phenomenon occurs. droplets that occurs around the window (the cause of the mold) in summer and winter, the heat energy and move through the glass is warmer outside. Therefore, to reduce energy efficiency affects absolutely. When you apply heat to the carriage window, the surface of the glass system, the spread of the cold air does not occur. Therefore, energy savings cars and heating of the interior is cold.

### 국문 요약

건축기술의 발달로 유리가 벽의 구조로 일반화되어 건축되고 있으며, 기존 벽의 역할인 수직 하중을 지탱하는 역할이 없어지게 되었다. 기능과 아름다운 면을 강조하게 되어 벽이 커튼의 역할만 하게 되어, 객차 실내 유리창에 접근시 차가운 느낌으로 불쾌감을 유발 한다.그리고 유리창 아래에 바닥 난방을 했음에도 유리창에 외풍 발생으로 결로 현상이 발생하며, 즉 유리창 주변에 물방울이 발생(곰팡이 발생 원인)하여 겨울철 난방 에너지와 여름철 외부 온열이 유리를 통해 이동 하게 된다. 그러므로 에너지효율 감소에 절대적으로 영향을 준다. 객차에 발열 유리시스템을 적용하면 유리창 표면에는 냉기의 확산이 발생 하지 않으며, 객차의 실내 냉 난방시 에너지 절감 효과가 있다.

### 1. 서론

건물을 건축하면서 창 기능이 단순히 외관을 보는 것으로 만족하지 않고 외관을 보는 동시에 미적인 부분을 강조하기위해 유리가 벽의 구조로 일반화되어 건축되고 있다. 기존 벽의 역할인 수직 하중을 지탱하는 역할이 없어지게 되었다. 기능과 아름다운 면을 강조하게 되어 벽이 커튼의 역할만 하게 되었다 이는 냉난방열의 손실을 쉽게 일으키는 주요 원인이 되는데 건축외장재의 모든 부분은 창 뿐만 아니라

1. 정회원.	안종곤	서울	메트로	지축차량사무소	Email 332350@hanmail.net	HP 016-790-6643
2. 비회원.	유석희	서울	메트로	지축차량사무소	Email naogo@hanmail.net	HP 011-319-5604
3. 비회원.	강범수	서울	메트로	지축차량사무소	Emailbskang1349@hanmail.net	HP 018-403-1293
4. 비회원.	권진	서울	메트로	지축차량사무소	Emailrexruder@hanmail.net	HP 010-7158-8052
5. 비회원.	임원석	서울	메트로	지축차량사무소	Email herzz@hanmail.net	HP 017-246-0651
6. 정회원	강주희	서울	메트로	지축차량사무소	Email flightno001@naver.com	HP 017-257-2642

지붕, 벽, 바닥으로 유출되는 에너지를 막기 위한 단열재가 벽체로 쓰일 경우 두께가 문제다. 현재 국내 건축법상 건축물의 단열재는 지역과 건축물 부분에 따라 차이가 있지만 50mm만 만족시키면 된다. 단열성능이 지속적으로 발전하고 있으나 유리만큼은 획기적인 발전이 없었다. 창호 제조는 창, 창호, 실란트를 일일이 조립하는 전통적인 새시(Sash)에서 좀더 단열성, 기밀성을 높인 시스템 창호로 옮겨가는 추를 일일이 조립하는 전통적인 새시(Sash)에서 좀더 단열성, 기밀성을 높인 시스템 창호로 옮겨가는 추세다. 최근 들어 창틀의 기밀성이 좋아져서 실내와 실외의 온도차가 높아졌다. 난방열이 창틈을 통해 손실되는 것이 적어 실내의 훈훈한 공기가 지속되지만 반면에 실외는 영하의 온도가 계속되므로 실내의 따뜻한 공기가 단열이 가장 취약한 유리의 찬공기를 만나 물로 변해 창에서 흘러 내린다. 최근에는 좀더 발전한 이중외피 시스템, 삼중창 시스템 등이 개발되고 최근에 유리가 갖는 단점을 보완한 단열유리(발열유리)가 개발 되었다

현재 철도차량의 실내 유리창에 접근시 차가운 느낌으로 불쾌감을 유발 한다.그리고 유리창 아래에 난방을 했음에도 유리창에 외풍 발생으로 결로 현상이 발생 하고있으며.즉 유리창 주변에 물방울이 발생 (곰팡이 발생 원인)하여 겨울철 난방에너지와 여름철 외부 온열이 유리를 통해 이동 하게 되므로.에너지 효율을 높이기 위해서 객차에 발열 유리시스템을 적용하면 유리창 표면에는 냉기의 확산이 발생 하지 않는다. 그러므로 객차의 실내 냉 난방시 에너지 절감 효과가 있다.

## 2. 본 론

### 1) 결로

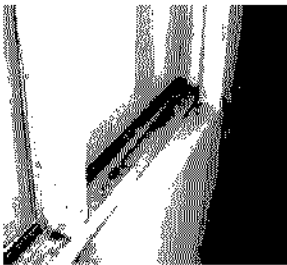


그림1 창틀의 부식

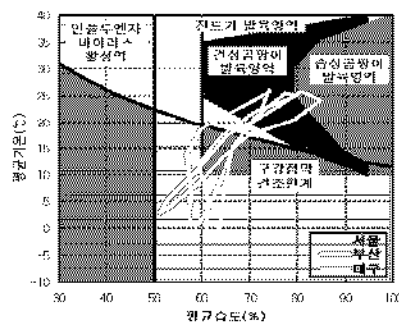


그림2 습도별 곰팡이 생성

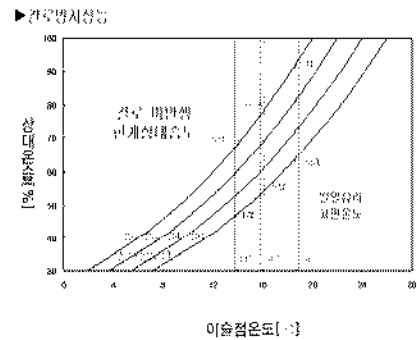


그림3 결로 발생 비교

#### ① 습도와 건강과의 관계

<그림1.2.3.>에서 공기중의 습도는 인체의 체온조절기구, 공기중의 병원균 번식 등에 영향을 미치기 때문에 인체의 건강과 쾌적성에 중요한 요소라 할 수 있다. 따라서 노점온도를 낮추기 위해 실내 습도를 너무 낮게 유지하는 것이 아니라 인체의 건강과 쾌적성을 해치지 않는 최저 습도를 유지할 필요가 있다.

특히, 건강에 대한 습도의 영향을 정리하면 아래와 같이 두 가지로 분류할 수 있다.

① 습도가 높을 경우: 곰팡이, 진드기의 번식에 따른 건강상의 악영향

② 습도가 낮을 경우: 인플루엔자 바이러스 등의 생존시간이 연장 콧구멍, 인후 점막의 건조를 유발 아토피성 피부염, 기관지 천식 등 알레르기성 질환 증가

결로에 의해 창에서 떨어진 물이 벽지에 스며들게 되면 진드기와 곰팡이가 객실내에 서식하게 된다. 이는 기관지질환과 피부질환의 원인을 안고 생활하는 것과 같다

※ 상대습도 75~86%의 조건에서 진드기의 수는 계속 증가 한다

※ 습도가 높을 수록 곰팡이 균사의 신장속도가 빨라진다

#### ② 결로발생

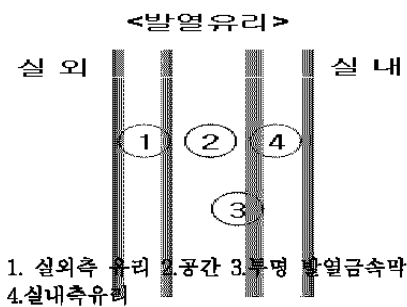
<그림3>에서 결로 현상은 외부온도와 실내온도의 차이가 15℃ 이상 차이가 날 때 실내에 결로가 생기는 현상으로 곰팡이 포자균은 고온 다습한 환경을 선호하여 실내 습도가 높아지므로 곰팡이 얼룩이 발생하

는 것이다. 따라서 결로현상은 환기를 통하여 온도를 조절하고, 실내 습도를 낮추는 방법이 최선이며 결로를 방지하기 위해서는 구조체(특히 벽체)의 열흐름을 작게 하여야 한다. 따라서 객실을 단열하면 겨울에는 실내의 따뜻한 공기손실을 방지하고, 여름에는 바깥의 더운 공기를 차단하여 실내의 적절한 공기를 유지함으로써, 난방비와 냉방비를 절약하게 된다.

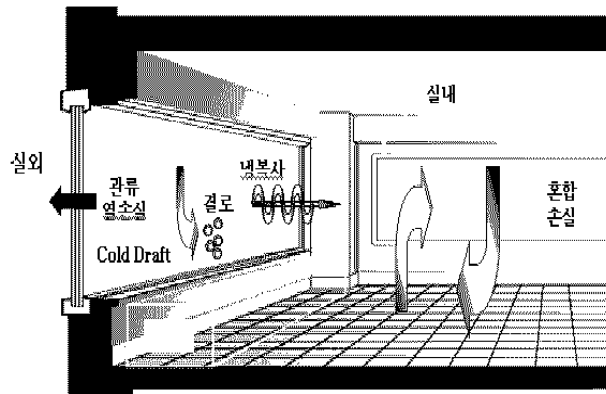
## 2) 발열 유리

철도 차량에는 측면이 유리로 이루어져있고 단부에는 통로문이 개폐형 구조를 지닌 통로를 비롯해 창호의 면적비율이 높은 특징이 있다. 수직적 실내 구조에 따르는 온도 성층화가 예상되며 동절기 유리 벽체 표면 온도가 낮아 콜드 드래프트 등의 현상도 예상할 수 있다. 재실자의 온열 환경 및 난방효율의 개선을 위해 발열유리의 도입이 검토 되어야 한다. <그림4>에서 발열유리는 유리면의 금속막 용착을 통해 통전이 가능하게 하고, 통전 시 발생하는 전기 저항의 열을 이용해 표면 온도를 일정하게 유지시키는 원리로 작동한다. <그림5>에서 발열유리가 적용될 경우 온열환경의 개선과 열차단 효과를 통한 난방 효율의 증가가 기대된다. 이러한 발열유리의 개선 효과와 더불어 고려할 점은 경제성 분석을 포함한 적용성 평가이다.

현재 발열유리의 단가가 복층 유리보다 높은 상태이므로 발열유리 적용으로 인해 절감되는 연간 난방비용 또는 재실자의 온열감 개선의 경제성을 분석하려 한다. 이를 위해 정밀 에너지 시뮬레이션을 통해 실내 온도, 유리창의 표면 온도, 에너지 부하량을 예측해 보고, 정량적 수치들의 비교 분석을 통해 유리 재질의 변화에 따른 건물 온열 환경 및 에너지 성능의 상대적 차이를 관찰할 수 있다.



<그림4> 발열유리원리및구조



<그림5> 발열유리 시스템 효과

## 3) 발열유리 특징

- 열관류율이 획기적으로 낮아져서 외부의 공기가 내부로 유입되는 것을 차단한다. (냉난방비 절감에 획기적인 역할을 한다. 한기(cold draft)를 느끼지 못하게 한다.
- 창가쪽에 외풍을 느끼지 못하게 한다.
- 냉복사를 방지한다.
- 결로를 발생하지 못하게 한다 - 습도가 높은 곳에 김서림이 발생하지 못하게 한다.
- 실내의 상하 온도차에 의해 생기는 혼합손실을 방지한다.
- 공조에서 창가에 있는 fcu가 불필요하게 되며 그에 따른 배관 및 공조설비의 예산이 절감한다.

## 4) 일반유리와 발열유리 비교

<도표1>에서 관류율은 벽을 통해서 벽 안쪽의 고온 유체로부터 반대측의 저온 유체에 열이 이동하는 상태를 열관류라고 하며 열관류에 의한 관류 열량의 계수로써 전열의 정도를 나타낼 때 사용한다. 일사차폐 계수는 유리로부터 침입하는 햇빛에 의한 열량을 계산하기 위한 계수이며 유리의 종류별 로 비교하였다.

도표1 유리종류별 관류율 및 차폐계수

구분	일사관류율 (%)	일사차폐계수
일반복층유리	2.51	0.82
Low-e 복층유리	1.45	0.68
발열유리	1.38	0.66

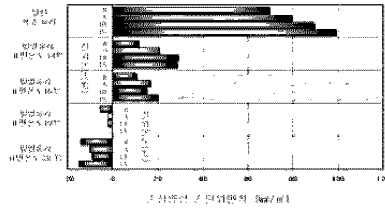


그림6 동절기 손실열량

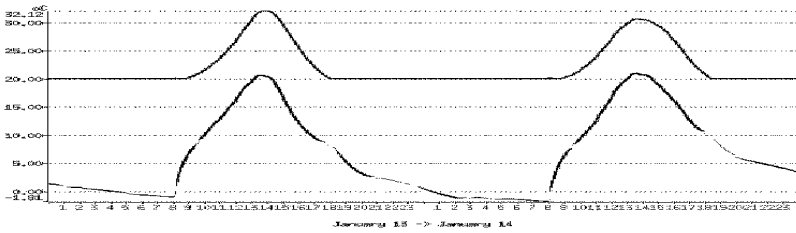


그림7 유리재질별 표면 온도 분포

<그림6>에서 각 유리 재질별 실 내측 표면 온도 분포를 나타내었다. 발열유리는 설정 온도 20℃로 표면 온도가 일정하게 유지되다가 주간 동안 일사 에너지가 유입됨에 따라 한낮에는 32℃까지 표면 온도가 올라가는 것을 볼 수 있다. 투명복층 유리 및 로이 유리는 표면 온도가 최저 -1.8℃까지 떨어진다. 로이유리의 표면온도가 일사 취득 시간대에 투명 유리 표면 온도보다 약 7℃ 높게 상승하는 것으로 나타난다. 발열 유리 표면온도는 로이유리 표면온도보다 10℃ 가량 높게 나타난다. 외기 온도와 실내 유리 표면 온도 사이에 15~35℃의 온도 차이가 형성되어 있다.

(시뮬레이션 대상일의 외기온도 : 최저 -13 ~ -4℃) <그림7>에서 투명유리(-2 ~ 13℃), 로이유리(-2 ~ 21℃), 열유리(20 ~ 32℃) 온도 분포를 보이고 있다.

발열유리 적용시 실내 온도는 동일 시간대에 최저 9℃로 분포하여 투명 또는 로이 유리 적용 대비 4~5℃ 가량 높게 나타난다.

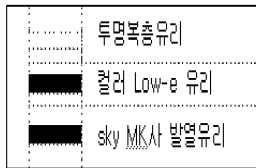
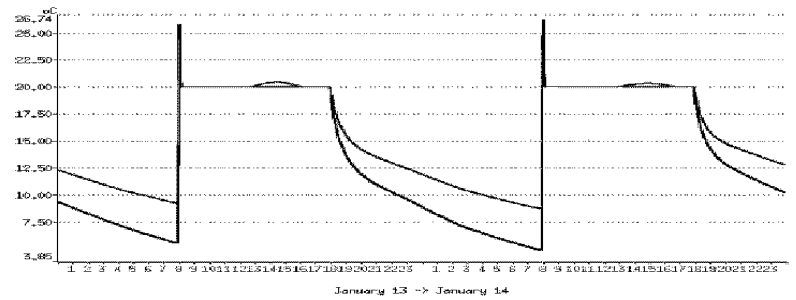


그림8 유리재질별 실내온도 분포

발열유리를 24시간 가동하는 것으로 가정한 상태에서 실내 온도 분포를 살펴보았다. 공조 시간대인 8 ~ 18시에 컬러 로이 유리 및 투명 복층 유리의 경우, 실내 온도가 난방 설정온도 20℃로 일정하게 유지되는 반면 발열 유리는 14-16시 사이에 일사 부하로 인해 약 0.5도 상승하는 양상을 보인다. 비 공조 시간대는 유리 재질에 따라 온도 분포가 차이를 나타낸다. 최저 온도는 공조 시작 직전 시간대에 투명복층 유리 적용 시 4℃, 컬러 로이 유리 적용 시 5℃ 가량으로 나타난다. 반면 발열 유리는 9℃이다.

### 3. 분석

## 1) 실험 및 방법

냉난방부하 저감효과를 분석하기 위한 건물의 열에너지 성능에 대한 시뮬레이션 프로그램은 ASHREA 전달 함수법을 기본으로 사용하는 비정상 해석 프로그램 DOE-2와 TRANSYS 등이 있으며, 대표적인 해석 프로그램으로는 ESP-r 등이 있다. 철도 차량의 에너지 성능평가 시뮬레이션을 위해 DASS ESP-r을 사용하였다. ESP-r은 영국의 University of Strathclyde 의 Energy System Research Unit에서 개발한 정밀 건물 에너지 환경 시뮬레이션 툴로서 유럽의 대표적인 빌딩모델링 소프트웨어 프로그램이다. 공식명칭은 Environmental System rformance-reference로서 유한 체적법을 기본 알고리즘으로 적용하고 있으며, 유닉스 운영체제의 워크스테이션에서 수행되는 시스템으로 건물에너지 시뮬레이션 분야에서 최근에 개발되었다.

ESP-r 사용자는 건물 에너지 시스템의 여러 다양한 영역의 문제를 통합된 모델 안에서 동적으로 수행할 수 있다. 예를 들면 외벽체 열 성능, 실내 열 환경 쾌적도, 최적 제어 알고리즘 등이 하나의 모델 안에서 동시에 평가 가능하다. 각각의 이슈에 대한 해석이 따로 독립적으로 수행할 경우 상호 연관되는 인자들 간에 효과를 고려할 수 없고 결과의 신뢰성에 제약을 갖게 되는데 반해 ESP-r의 통합 환경 모델링 시스템은 이러한 한계를 넘어 보다 사실적인 현상을 반영하여 신뢰성 높은 해석 결과를 얻을 수 있다.

## 2) 전동차 실험 조건

### ● 제38조 (창문)

- ①창문의 유리는 내부압력변화·외부온도변화 및 승객의 하중을 견딜 수 있는 충분한 강도를 가져야 하며, 물이 새지 아니하여야 한다.
- ②창문의 유리는 안전유리를 사용하여야 한다.
- ③창문은 승객이 몸의 일부를 내밀기 어려운 구조이어야 한다.

### ● 전동차 객실차

- 객차 : 3호선 객차
- 총 면적 : 19,500 x 3,269 x 2,030
- 구조 : 철골조, 철판
- 규모 : 1개량

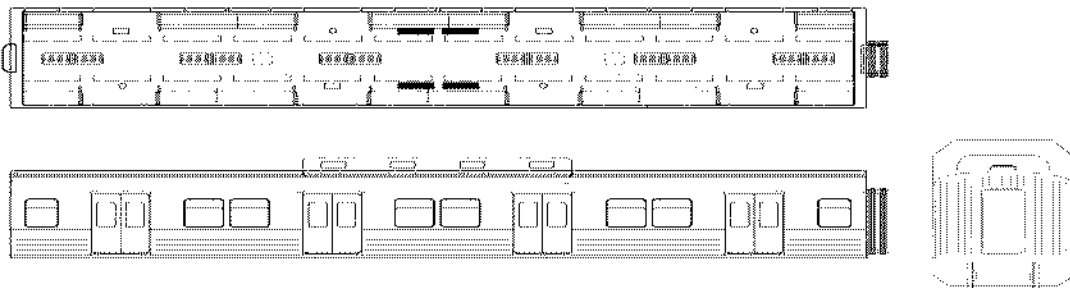


그림9 서울 메트로 전동차

## 4. 분석결과

<그림9>의 시뮬레이션을 기반으로 난방에너지 부하량 산출을 온도별로 산출하였다

외기	실내	기존안 (투명복층유리)	개선안 (발열유리)
0℃	22℃	7,700	2,310
-5℃	22℃	7,700	2,310
-10℃	22℃	7,700	2,910
-15℃	22℃	7,770	3,080

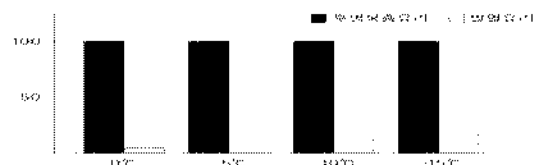
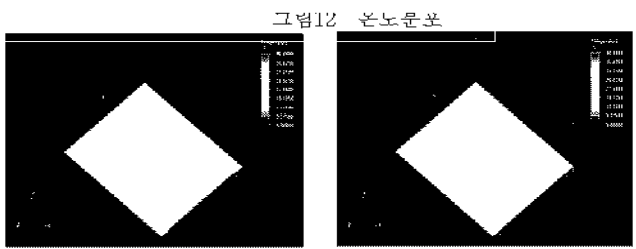
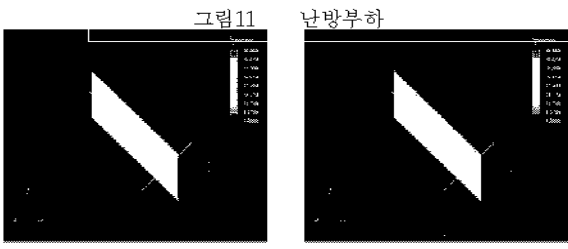
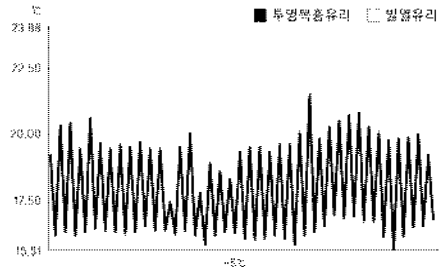
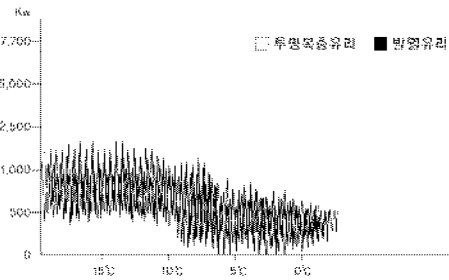


도표2 ● 난방절기 에너지 부하량(kwhrs)

그림10● 단위면적당 난방 에너지부하량(kwhr/m²)

<도표 2> <그림10>는 외기온도 변화에 대한 난방 에너지 부하량과 관련된 결과들을 나타내고 있다. <도표 2>은 대상 시뮬레이션 결과의 난방 에너지 부하량을 나타낸다. <그림10>은 투명 복층 유리, 발열 유리에 대하여 각각 단위 면적당 난방 에너지부하량(kwhr/m<sup>2</sup>)을 보면 발열유리 사용시 에너지 부하량의 감소를 보여 주고있다. <그림11>에서 이를 평균하여 1일 평균 난방 부하량으로 산정하여 나타내며 이 결과를 연중 난방 부하량 산정에 사용하였다. <그림12,13,14,15,16>에서는 객실내 온도분포를 보여주며 <그림17,18>은 객실내 기류의 흐름현상을 보여 주고 있다.

<시뮬레이션 결과객실 난방부하 및 온도분포>



복층 유리

발열유리 시스템

복층 유리

발열유리 시스템

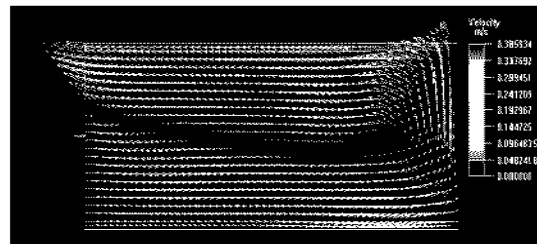
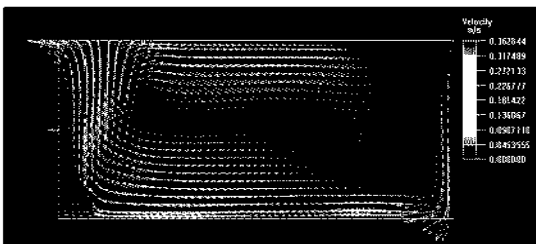
그림13 수직온도 분포

그림14 수직온도 분포

그림15 평면온도 분포

그림16 수평면온도 분포

<그림13>의 단일복층 유리 적용한 방의 창유리 면에는 한기가 퍼지고 있지만 <그림14>의 발열시스템을 적용한 창유리에는 냉기의 확산이 발생하지 않는다. 단, <그림15>의 열복층 유리를 적용한 방의 마루면에 한기가 퍼지고 있지만 <그림16>의 발열시스템을 적용한 창유리 방의 마루 면에는 냉기의 확산이 발생하지 않는다.



복층 유리

발열유리 시스템

그림17 수직기류분포 비교

그림18 수직기류분포 비교

단일복층 유리 <그림17>의 적용 기류는 냉기가 하부로 향하고 <그림18>의 발열창 시스템 적용의 기류는 난기가 상부로 향하고 있다.

5. 분석결과

기존 복층유리 대비 발열유리 시스템 사용시 에너지 저감율(60%)이 높다. 유리 재질별 부하량 차이를

상대적인 절감량으로 나타내면, 투명 복층 유리 사용시 대비 부하량 절감을 발열 유리 경우와 비교하니 발열 유리 사용시 약 60%의 난방 부하량이 절감 된다. 실제 에너지 소비량은 부하량에 더해 공조 설비의 효율이나 손실을 고려해야 함으로 에너지 소비량 측면에서의 절감율은 더 높을 것으로 예상된다.

결로는 온도차에 의해서 생기는 일종의 현상이다. 공기중에는 기온에 따라 일정액의 물이 보이지 않는 기체 형태로 숨어 있다. 일정 온도의 공기가 약 5도 이하의 공기를 만나게 되면 그 공기는 5도 낮은 공기의 성질로 바뀌는 과정에서 기체로 있던 물을 액체로 바꾸어 내보내게 되는데 이 물이 결로이며 해결책으로 환기와 통풍으로 습한 공기 제거 및 난방으로 실내온도 조절 표면온도를 올리고 실내기온을 이슬점 이상으로 유지 시키며, 열의 이동을 방지한다.

## 6. 결 론

### 실내 및 유리 표면 온도 특성

실내 이용자의 온열환경에 영향을 미치는 표면온도 시뮬레이션 결과, 시뮬레이션 대상 기간 중에 얻어진 실내측 유리의 표면 온도는 투명 유리 적용시  $-2^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ , 발열유리 적용시  $20^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ (발열유리 상시 가동 기간)로 나타났다. 공조 가동 시간대에도 유리 재질별 표면 온도차가 많게는  $20^{\circ}\text{C}$  가량의 차이를 보여 발열유리 적용을 통한 온열감 개선 효과를 정량적으로 확인할 수 있다.

#### 가. 유리 재질에 따른 에너지 부하량 특성

투명 복층 유리, 대신 발열 유리가 적용되었을 경우 약 60 %의 난방 부하 량이 절감되는 것으로 나타났다. 실제 에너지 소비량은 부하량에 더해 공조 설비의 효율이나 손실을 고려해야 함으로 에너지 소비량 측면에서의 절감율은 더 높을 것으로 예상된다.

#### 나. 발열유리의 경제성 및 효율성 분석

철도 차량의 창문에 복층 유리 대비 발열 유리를 객실내 면적에 대한 난방 부하량에 따른 난방비 절감 효과를 고찰해보면 난방비 절감효과 증가되어 기대된다. 이는 발열유리가 적용되는 창문에 한정된 추산으로 발열유리 적용 면적이 증가함에 따라 즉 운전실 전면 유리창 측면 창문등에 적용시 연간 난방비용 절감액이 더욱 증가하게 된다. 철도차량의 통근용의 지하철 전동차보다 장거리를 운행하며 정차역이 30분이 상인 KTX 새마을호 무궁화 열차에 적용하면 객실내 결로 방지로 쾌적한 실내환경을 이룰수 있으며 더욱 냉난방 에너지절감으로 경제적 일것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- 1). 서울 메트로 전동차 정비지침서
- 2) 스카이엠 (주) 발열유리 시스템
- 3) Yook, I. S., 2007, Simulation-based Performance Assessment of Slit-type Ventilation System for Domestic Buildings in Korea, Proceedings of the IBPSA, pp.958-963
- 4) Kim, D. H., 2006, Study on the integrated simulation method between thermal environment and IAQ in building, AIK Vol.50, pp.629-632.
- 5) Nam, H. J., 2008, A Study on Simulation modeling for Energy Performance Evaluation of the Double Window System, Proceedings of the KIAEBS, pp. 84-89.
- 6) Kim, J. Y., 2008, The Impact of Internal heat gain on heating and Cooling Load in Curtain Wall Office Buildings, Proceedings of the SAREK, pp.925-930.
- 7) Kim, E. H., 2008, Airflow pattern of Double window system for Remodeling by using Integrated Simulation, Proceedings of the SAREK, pp.1036-1041
- 8) Kim, M. H., 2008, A Study on Simulation Methodology for Energy Consumption of Complex Unit Apartment Housings, Proceedings of the SAREK, pp.931-936.
- 9) <https://www.esru.strath.ac.uk>
- 10) <http://www.heatglass.com/005.htm>
- 11) <https://www.myhnglas.co.kr/product/read.asp?sfield0=com&uid=4>  
University of Strathclyde 의 Energy System Research Unit