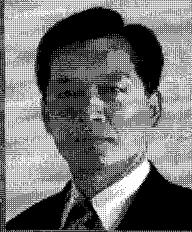
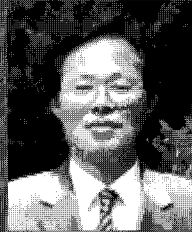


도시철도 전동차 냉방기 냄새 발생원인 및 대책 소개



최 용 운
서울도시철도공사
공학박사



한 재 현
서울도시철도공사

I. 개요

서울도시철도 공사는 개통이후 지속적인 전동차 정비품질 관리노력과 병행하여, 객실 내에서 발생하는 민원문제 또한 정비 대상에 포함시키는 등 전동차 관리에 지속적으로 외부요인을 반영하여 왔다. 또한 2009년 실시간 민원시스템을 도입하여, 고객의 불편사항을 수렴함과 동시에 전동차 정비 시 활용하고 있다.

본고에서는 국내·외에 잘 소개되지 않은 전동차 냉방기 운영문제 중 환절기에 다수 발생하는 냉방기 냄새의 원인 소개 및 대책에 대하여 논해보고, 서울도시철도공사의 냉방기 관리방법을 소개하기로 한다.

1. 현황

지하철의 경우 다른 교통수단과 다르게 정차 구간이 일반철도에 비하여 짧고, 시간대별/구간별 혼잡율이 급변하며, 승강장이 심도 깊은 지하구간에

위치하다 보니, 승객의 동선이 커져, 남녀노소별 체감온도가 서로 상이하게 된다. 이로 인한 냉방가동 "ON/OFF" 요구가 상호 공존하여 냉방기 가동의 스케줄화가 불가능한 실정이다.

또한 냄새가 많이 발생하는 환절기의 경우, 혼잡율이 높은 구간을 제외하고는 객실온도가 냉방 설정 값보다 낮은 상황으로, 냉방기를 가동하여도 실제적인 냉방일은 없고, 증발기 팬(Evaporator Fan)에 의해 외부 공기만 객실로 유입되어진다.

2. 환절기 객실 온도변화 특성

□ 실측 결과: '10. 5. 20, 07:53 ~ 09:21, 센서 설정 값 24℃ 기준

| 대기 온도(℃) | | | 대기 습도(%) | |
|-------------|------|------|----------|------|
| 측정시 | 최대 | 일교차 | 측정시 | 평균 |
| 15.1 ⇔ 18.5 | 25.4 | 11.8 | 86 ⇔ 62 | 65.6 |

□ 승객량 증가에 따른 분석

- 환승구간을 중심으로 혼잡율 변화에 따라 객실 온도 변화되나, 외기 온도는 23℃ 이하로

교통수단별 냉방기 가동 및 동작 특성

| 구분 | 사용 | 특징 | 비고 |
|------|----------|-----------------------------------|-----------------------|
| 가정용 | 성하기 | 냉방 설정 값보다 외기가 높음 | 감각적 ON/OFF 가능 |
| 자동차 | 성하기 | 냉방 설정 값보다 외기가 높음 | 감각적 ON/OFF 가능 |
| 일반철도 | 환절기, 성하기 | 역간거리가 길고, 승차인원 변동이 적어 냉방 스케줄화 가능 | 자동 및 스케줄화 가능 |
| 지하철 | 환절기, 성하기 | 역간거리가 짧고, 승차인원 변동이 크고, 승객별 체감온도 큼 | ON/OFF 요구 많음(스케줄화 불가) |

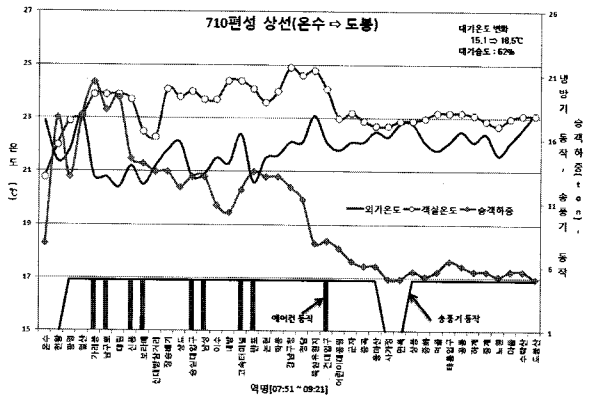


그림 1. 환절기 객실 및 외기 온도 특성

유지됨

- 냉방기 동작 상태 분석
 - 객실온도 상승과 함께 냉방일은 시작되지만, 짧은 시간만 동작하고, 대부분 증발기 팬만 지속적으로 동작
- 기관사 냉방시스템 운영 분석
 - 객실민원 발생 예상 구간별 탄력적인 배기팬 및 송풍기 가동으로 객실내 쾌적성이 확보되어 냄새 민원이 발생되지 않음

3. 서울도시철도공사 냉방기 냄새현황

- 계절(월)별
 - 냉방기 가동 조건(냉방기 설정온도) 보다 객실온도가 낮은, 봄 환절기에 주로 발생
- 구간(혼잡도)
 - 열차 진행방향으로 혼잡도가 끝나는 구간부터 다수 발생

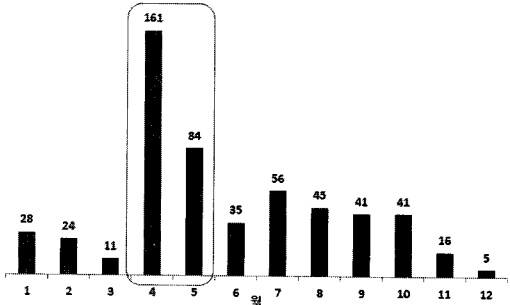


그림 2. 계절별(월) 냉방기 냄새 발생 특성

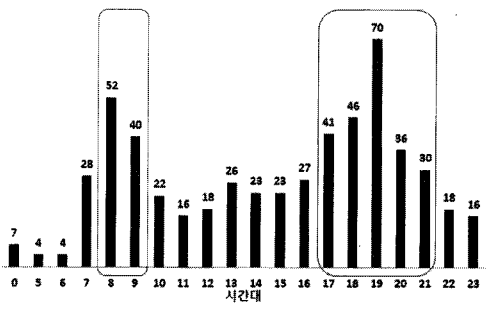


그림 3. 시간대별 냉방기 냄새 발생 특성

□ 시간대 별

- 러시를 포함한 전 · 후 시간대에 집중 발생됨

□ 공통 특성

- 냉방기 동작온도 이하에서 증발기 팬만 장시간 가동되는 경우에 냄새 발생

II. 발생원인 고찰¹⁾

국내의 적으로 전동차 냄새에 관한 문헌은 현재 존재하지 않는 실정으로 국외의 보고는 냉방 메커니즘이 유사한 자동차 냉방기 냄새 문헌을 참고 하였으며, 이러한 자료를 근거로 도시철도공사는 냉방기 냄새 분석시험을 시행하였다.

1. 일본

DENSO & TOYOTA의 논문에는 “Normal-mode Pattern”¹⁾과 “Eco-mode Pattern”²⁾의 조작을 통하여 발생된 냄새성분의 분석결과를 발표(1998-2000) 하였는데, 여기서 “Eco-mode Patter”은 Dry, Dry to Wet, Wet 및 Wet to Dry 조건으로 세분하여 나눌 수 있으며, 주로 자동차 증발기 표면의 수분 변화가 심하게 일어나는 Dry to Wet 및 Wet to Dry 조건에서 냄새성분이 검출됨을 확인하였다고 주장하였다. 또한 Iso-Valeric acid³⁾와 Toluene⁴⁾을 분석한 결

1) 온도센서 설정 값에 관계없이 지속적인 냉방일 수행-수동모드
 2) 온도센서 설정 값 이 하 시 냉방일 을 중단하고 증발기 팬만 가동-자동모드
 3) C5H10O2, 분자량 102.13, 녹는점 -37.6℃, 끓는점 176.7℃, 탄소수가 5인 이소(iso)부지포화지방산. 에탄올, 디에틸에테르에 잘 녹지만 물에는 거의 녹지 않는다. 특유의 오래된 치즈 냄새가 난다. - 네이버 백과
 4) 화학식 C7H8 특이한 냄새가 나는 무색 액체이며, 분자량 92.14, 녹는점 -95℃, 끓는점 110.8℃, 비중 0.87(15℃)이다. - 네이버 백과

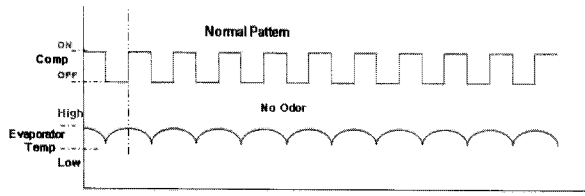


그림 4. 수동(냉방일이 지속될 때) 모드시 냄새 발생 특성

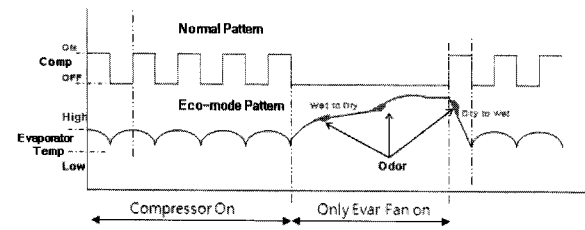


그림 5. 자동 모드시 냄새 발생 특성

과, 증발기에 수분이 응축되기 시작하는 Dry to Wet 조건에서 상대적으로 용해도가 낮은 Toluene이 높게 검출되었고, 증발기에 응축된 수분이 탈착/증발되는 Wet to Dry 조건에선 응축기에 수분과 함께 용해되어 있던 Iso-valeric acid 성분이 높게 검출되어, 발생 메커니즘에 영향을 주고 있다고 내용이다.(Kazuhisa et al, 2000)

2. 미국

Simmons 등에 의한 연구는²⁾ 세 나라의 6개 자동차 냉방기 생산업체로부터 12개의 냉방기 시스템을 분리하여 연구의 대상으로 삼았는데, 이는 소비자로부터 냄새문제로 불만이 있었던 대상이었다고 한다. 이 연구 결과는, 증발기 표면에 성장하고 곰팡이와 세균류가 형성하고 있는 Biofilm을 확인하였다고 주장하였으며, 이러한 세균과 곰팡이의 Biofilm은 27개월의 건조 보관 후에도 다시 생성되고, 이러한 Biofilm이 냉방기의 악취에 기여한다고 결론지었다.

Simmons 이후, Rose 등에 의한 연구는³⁾ 냄새문제를 발생시키는 5년 미만 사용된 차량으로부터 분리된 냉방기 증발기를 대상으로 수행되었다. Bofilm이 냉방기 증발기와 insulation foam에 생성되고, 이 Biofilm은 증발기 표면(Aluminum evaporator component)까지 확산되어 이들 종이 성장 가능한 기질을 형성하고 높은 상대습도 환경이

조성되어 미생물 성장에 매우 적절한 조건을 만들어 준다는 것이었다.

이들의 연구결과를 종합해 보면, 냉방기의 냄새는 증발기에서 성장하는 위의 미생물들에 의해 발생이 되며, 냉방기 시스템에서 유해한 냄새를 저감하는 최선의 방법은 바로 수분의 양을 저감하는 것이라고 주장하였다.

3. 전동차 냉방기 냄새 분석시행

위의 두 가지 국외논문의 주장과 관련하여, 도시철도공사에서는 환절기 냉방기 냄새 발생의 원인을 냉방일이 없는 상태에서 지속적인 증발기 팬만 가동이 냄새의 주요 발생 메커니즘이라고 판단하여, 이와 유사한 현상을 구현하여 냉방기 냄새 원인 물질의 성분을 분석하였다.

Ⅲ. 냉방기 냄새 분석

1. 측정 대상 및 조건

- 대상: 730편성(7530호), '09. 6. 24
- 수행자: 냄새분석 전문기관 & 7호선 냉방기 원제작사
- 측정조건
 - 객실의 모든 출입문을 닫아 외부공기 유입차단
 - 일정시간 냉방장치 가동 후 증발기 팬(fan)만 가동
 - 분석대상: 냉방장치를 통과한 공기가 실내로 토출되는 부분(덕트)에 흡입노즐에서 채취한 공기 및 냉방기 함내 단열재에서의 악취유발 물질 분석

2. 분석 결과 및 발생 메커니즘

악취 발생의 주된 원인인 암모니아(NH3), 트리메틸아민(TMA), 황화수소(H2S)은 대기 중 액적 상태로 존재하다가 냉방일이 시작되면, 습도가 높은 냉방장치(증발기 팬)에 부착되고, 증발기 팬만 가동 시(냉방기 함내 온도 증가

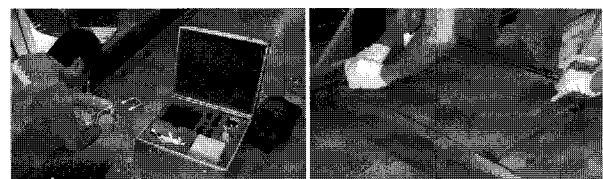


그림 6. 냄새발생물질 포집

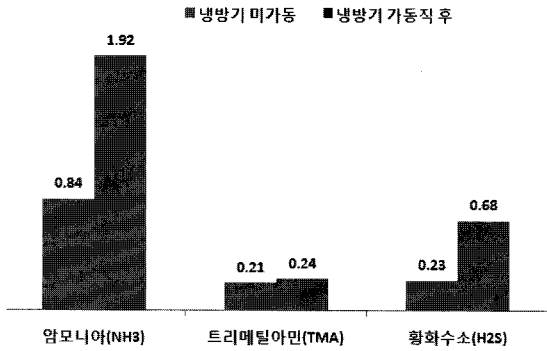
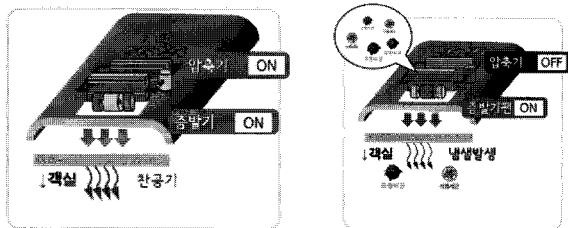


그림 7. 실내 공기분석 결과



냉방센서 설정온도 이상(혼잡구간 등) 냉방센서 설정온도 이하(비 혼잡구간)

그림 8. 냄새 발생 메커니즘

시) 악취를 발생시켜 실내공기와 함께 객실로 유입되어 이에 대한 대책 마련이 필요한 것으로 판단되었다.

□ 실내 공기 분석

- 냉방장치 on/off시 악취원인 물질 농도변화를 비교해 보면, 냉방장치를 가동했을 경우 암모니아(NH3)의 농도는 2.3배로 가장 높은 변화를 보였고, 트리메틸아민(TMA)의 농도는 2배 이상 증가한 것을 확인 하였다.

□ 단열재 시료 분석 결과

- 암모니아(NH3) 성분만 검출(2.736ppm)되었고, 트리메틸아민(TMA)과 황화수소(H2S)는 미검출 되었다.

IV. 냄새 저감을 위한 대책 소개

국내외 대책 및 냄새저감 7호선 전동차 측정결과를 바탕으로 아래와 같이 냉방기 냄새 저감 대책을 추진하고 있으며, 이에 대하여 간략하게 소개하고자 한다.

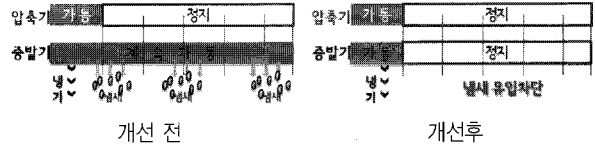


그림 9. 냄새저감 회로 구현 원리

1. 냄새저감회로 구현 시행

□ 증발기 팬만 가동 시(냉방일이 없을 때) 발생하는 냄새가 객실로 유입되지 않도록 하기 위하여, 환절기에만 전호선 냉방 시스템을 개선 운용하였다.

- 냉방일(압축기 미동작시) 정지 시 증발기 팬도 정지

2. 냉방기 및 부속 기기 청소 강화

□ 기존 냉방기 및 부속 기기의 청소 횟수 및 질적 향상을 위하여 다음과 같이 관리 방법을 강화 하였다.

| 내용 | 기존 | 강화(지속추진) |
|--------------------|------|--------------|
| 냉방기 함내 스팀청소 시행 | - | 환절기 위주, 년 3회 |
| 살균코팅제 도포 | - | 년 3회 |
| 냉방기 필터류 일광건조 | 월 2회 | 월 2회 |
| 천연 탈취제 설치 | 년 2개 | 년 3회 |
| 냉방 토출구 청소 | 주 1회 | 주 1회 |
| 송.환풍기 청소 | 월 1회 | 월 1회 |
| 냄새발생시 일광건조 및 환기 철저 | 계속 | 계속 |

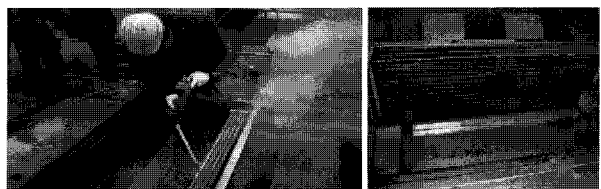


그림 10. 냉방기 및 부속기기 청소강화



그림 11. 증발기 팬 항균 코팅 시험

3. 증발기 코일 항균 코팅 시험

증발기 핀에 붙은 먼지와 응축수로 인하여 발생하는 곰팡이 균의 발생을 저감하고자, 증발기 핀(Evaporator-fin)에 스팀청소 시행한 후 항균 코팅제를 도포하였다.

4. 냉방장치 자외선 살균 시험

증발기 코일 주위에 증식하는 곰팡이류의 제거를 위하여, 냉방기 함내 자외선 에너지를 방출시킴으로써, 곰팡이류의 세포핵 주위의 수분이 자외선 에너지에 의해 H⁺와 OH⁻로 분리되고, OH⁻는 인근의 물 분자를 자극하여 곰팡이를 제거하는 방법을 시험하였다.

현재 시험편성에 자외선램프를 설치하여 오존 농도 시험, 멸균 시험 등을 지속적으로 추진하고 있으며, 결과에 따라 향후 확대 여부를 결정할 예정이다.

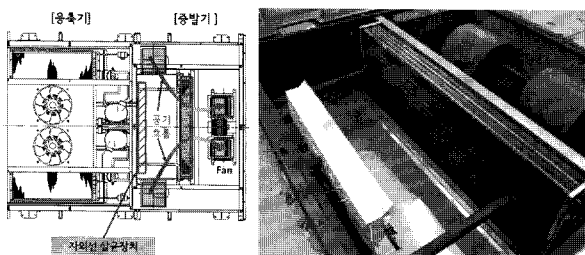
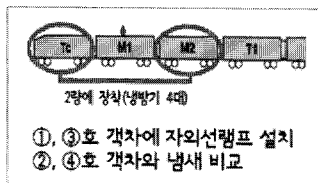


그림 12 냉방기 및 부속기기 청소 강화

5. 시행대책 효과 분석

| 시행 내용 | 효과 |
|-------------------|--|
| 냄새저감회로 구현 시험 | 냄새 저감은 다소 효과가 있는 것으로 판단되나, 냉방효율 저하로 기관사에 의한 임의 조작 발생 |
| 살균코팅제 도포 | '11년 하절기부터 시험, 일부 효과가 있는 것으로 판단되어, 시험기간을 2012년까지 연장 추진 |
| 냉방기 및 부속 기기 청소 강화 | 미비 |
| 냉방장치 자외선 살균 시험 | 시험 중 |

V. 맺음말

현재 우리공사는 문자, 전화등의 실시간 민원접수 시스템을 운영하고 있다. 실제로 차량과 관련된 민원들은 정지 상태(기지)에서 정비할 때 발견하기 어려운 문제를 쉽게 해결해 주는 단서를 제공하기도 한다. 하지만 냉방기 냄새 등과 같은 객실환경 민원은 대부분 지하철의 복합적 특성에 기인하고 있기 때문에, 정확한 해결책을 제시하기가 쉽지 않다. 또한 환절기 짧은 시간(1~2일 사이에 환절기 발생량의 50% 이상이 발생하는 경우도 있음)에 집중적으로 발생하는 냉방기 냄새 문제의 경우, 시험실에서는 대책을 상대적으로 쉽게 제시할 수 있으나, 현실적으로는 시간상의 문제 등으로, 제시된 대책에 대한 효과 검증이 어려운 것이 사실이다.

우리공사는 이러한 문제를 미봉책으로 남겨두기 보다는 공개적으로 대책을 추진해 나가고 있으며, 청소를 포함한 추가 대책을 시행할 예정이다.

본 저자는 2010년 화학연구원 송시용 박사의 신문 기사를 대신해 본고를 마감하고자 한다.

“세균 등 막 형태 존재... 제거제 효과 못봐” 박사는 “세균과 곰팡이 등의 막을 제거해야 냉방기에서 나는 냄새를 없앨 수 있다”면서 “이를 위해서는 냉방기 증발기 표면에 막이 형성되지 않도록 하는 코팅기술이나 형성된 생물막을 분해하는 기술을 개발해야 할 것”이라고 말했다.

♣ 참고 문헌

1. 자동차 냉방기 증발기의 냄새원인물질 규명에 관한 연구 - 김경환 (2007)
2. The occurrence and persistence of mixed biofilms in automobile air conditioning(Simmons et al. 1999)
3. Volatile organic compounds associated with microbial growth in automobile air conditioning systems