

철도차량 객차외측면 오염도 조사·분석 연구 A Study on the Investigation and Analysis of the Passenger Car Surface Contamination

김용기*

정우성**

박덕신***

이덕희****

Kim, Yong-Ki Jung, Woo-Sung Park, Duck-Shin Lee, Duck-Hee

ABSTRACT

This study investigated and analysed the surface contaminant of the passenger car. Because the surface contaminants change the paint color of the passenger car, it is necessary to cleanse them for prolongating the maintenance period. Analysis method of the contaminant according to the kind of the passenger car, the line and the part of the train are systemized. Contamination mechanism and deterioration reason of paint colors on the surface of passenger car are studied. We expect that results of this study could contribute to providing of a fundamental research data, which is necessary for the development of a low-pollution passenger car cleanser.

1. 서 론

현재 운행 중에 있는 철도객차는 방식성능과 내구성을 부여하기 위하여 객차의 외부에 도장을 실시하고 있다. 도장 후 형성된 외부도막은 대기중에 부유하는 환경오염물질과 미세먼지 등의 각종 오염의 영향을 받고 있다. 철도차량 중 일부 객차에서는 각종 오염물질과 환경오염으로 인한 도막의 침해로 도장 주기가 단축되며 자외선에 의한 도막의 열화로 도색이 변색되고 있다.¹⁾ 페인트 도막은 그 형성 주 요소가 유기물이기 때문에 태양광선, 빛, 산화, 온도, 수분, 산소 등의 영향을 받아 도막의 내후성능이 저하되므로 객차의 측벽 유지관리에 많은 노력이 필요하다.²⁾

새마을 객차의 경우 페인트 도장공정 대신 보수 및 유지관리가 편리하고 미적감각을 증대시키기 위해 점착시트로 도색하여 객차외판의 보호와 외관의 선명도를 유지하고 있는 실정이다. 앞으로 철도차량은 속도 향상 및 경량화가 필요하며 보수유지가 용이한 도장재의 적용이 더욱 증가될 것으로 판단된다. 그러므로 객차외부 도장 관리의 효율성과 내구성 있는 재료를 적용하여 보수주기연장과 도장재의 물리화학적 성질, 내후성을 고려한 점착시트의 적용이 증가할 것으로 판단된다.

따라서 객차 외부도막과 점착 시이트의 보수주기연장과 외관의 선명도 유지를 위해서는 도막의

* 한국철도기술연구원 선임연구원

** 한국철도기술연구원 책임연구원

*** 한국철도기술연구원 주임연구원

**** 한국철도기술연구원 연구원

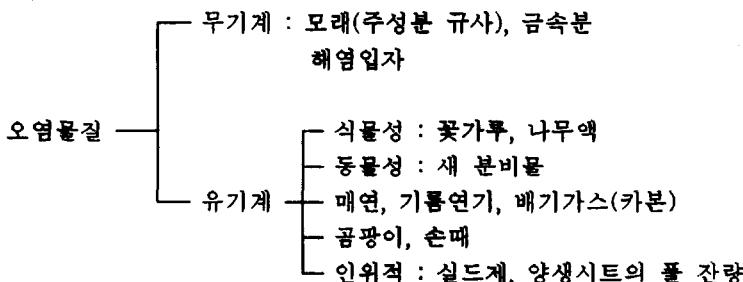
내구성을 확보하고 철도주변에서 발생하는 오염물질의 조사 분석을 통해 폭넓은 자료를 확보함과 동시에 외측면의 세정성능을 향상시켜야 한다. 본 연구에서는 철도 객차의 차종별, 노선별, 부위별 오염물질을 조사 분석하여 오염의 전반적인 경향과 오염성분 및 주 오염원을 파악함으로써 향후 철도차량 객차 외측면의 유지보수 관리 기술을 향상시키고자 객차외측면 오염도 분석에 대한 체계적인 연구를 수행하였다.

2. 오염물질의 특성

2.1 오염물질과 부착의 작용

도막표면에 부착하는 오염물질은 모래나 해염입자 등의 무기성분과 배기가스, 대기중의 분진, 마모분이나 매연 등의 카본을 주성분으로 하는 유기성분으로 대별할 수 있다.⁴⁾ 특히 오염물질로 인식되는 것은 유·무기 극미세 성분으로 대기중에 대전부유하고 있다. 또한 그 표면이 친유성기를 나타내는 것은 유기재료와도 친화성이 크다.

오염을 친수성 물질, 소수성(친유성)물질로 구분하여 보면 먼지, 흙 등과 같은 친수성 물질은 빗물에 의해 씻겨 흘러가기 쉽지만 자동차 배기가스, 매연 등 대도시나 도심지역의 오염성분은 주로 카본을 둘러싼 매체와의 관련으로 부착이 쉽고 제거가 어렵다.⁵⁾



대기중의 오염물질은 바람과 비, 눈에 의하여 운반되고, 중력에 의한 퇴적, 반데르발스(Van der Waals) 힘, 정전기, 표면장력, 모세관 현상에 의해 도막에 부착된다.⁶⁾ 이중에서도 공기중에 부유하는 먼지입자의 크기는 퇴적이나 부착에 영향을 주고 입자가 큰 쪽이 침강하기 쉽고, 도막표면에서 씻겨나가기 쉽다. 이를 오염물질은 화학적·물리적인 부착작용에 의해 고정화되며 부착작용으로는 다음과 같은 항목을 들 수 있다.⁷⁾

1) 화학적 부착

- ① 도막표면과 오염입자와의 분자간 인력
- ② 오염물질의 대전에 의한 정전기력

2) 물리적 흡착

- ① 도막표면의 미세한 요철쪽의 결림
- ② 오염물질의 충돌에 의한 세찬 부착
- ③ 오염물질의 표면 접착성에 기인하는 부착
- ④ 미립자상의 오염물질이 도막내로 침투

한편 입자가 작은 것은 부착력이 강하고 제거하기 어렵다. 이와같이 부착된 오염은 습윤, 건조의 반복에 의해 도막표면에 강고한 오염으로 남게된다. 또한 최근에는 실링제에 기인한 오염을 무

시할 수 없다.

차체 측면에 오염되는 정도는 운행환경 및 지역조건과 차량의 형상 부위에 따라 다르다. 일반적으로 무기질 성분이 많지만 도심지역에서는 카본을 주성분으로 한 친유성 오염물질의 오염이 많다. 또한 오염물질의 조사에서도 계절적인 영향과 위치에 따라서 측면의 오염도는 다르며 바람이 끌는 위치가 오염되기 쉽고 강수량이 많은 곳에서는 측면의 오염은 적다.

오염물질이 일시적으로 퇴적하고 비가 내릴 때 빗물이 흘러내리는 경우 표면위에 적셔져 출무부상의 오염이 보여지며, 시간이 경과하면 도막표면에 떠돌아다니는 오염물질이 부착되어 색채적으로 희~흑색의 단일한 색상을 나타내어 미관상의 큰 문제로 대두된다.

2.2 오염물질 조사 분석

2.2.1 시료채취 및 분석방법

우선 차종별로 오염의 정도를 알아보기 위하여 새마을호와 무궁화호를 선정하였다. 오염도는 차량의 형태나 운행속도와 관련되어 있으며 오염물의 상당 부분이 열차의 운행시 와류에 의해 노면에 누적되어 있는 오염물질이 부상하고, 차륜과 궤도의 접촉으로 인해 발생되는 금속분동 제반설비에 의한 영향을 받기 때문에 차량의 종류별로 구분하여 샘플을 채취하였다. 또한 각 차량의 부위별 오염도가 매우 다르게 나타날 수 있으므로 객차의 외측면을 상, 중, 하로 구분하여 분석의 정밀도를 높이고자 하였으며 차량이 운행하는 지역과 오염물질과의 연관성을 파악하기 위하여 노선별로도 구분하였다. 또한 열차가 통과하는 지역의 기후 및 지리적 특성과 대기중 오염물질 특성과의 연관성을 파악해야 할 중요한 인자이다.⁴⁾ 이와 같은 분류 기준에 의하여 객차의 경부선, 호남선, 태백선, 중앙선을 운행하는 객차중 무궁화, 새마을호를 선별하였다. 시료의 채취는 물속에 들어있는 이물질 성분의 영향을 최대한 줄이고자 중류수를 사용하였다. 먼저 소량의 중류수를 분무한 후 브러쉬로 문질러서 오염물을 객차에서 분리하고, 중류수를 계속 분무하면서 물받이로 모아 시료병에 채집하는 방법을 이용하였다. 시료를 새마을, 무궁화 객차 외측면에서 비교적 오염도가 심한 4~5곳을 중심으로 약 1m' 넓이를 기준으로 선택하여 채취하였다.

본 연구조사에서는 객차외측면에 부착되어 있는 미지상의 오염물질을 양이온성을 띠는 물질과 음이온성을 띠는 오염물질로 구분하여 분석하였다. 무기계 오염물질 중 Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Zn, P, Si, Sn 등은 질산-황산의 전처리방법을 이용하여 ICP(XMP GBC 호주)로 분석하였다. 또한 시료중 이온성분을 나타내는 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ 시료는 Ion Chromatography(모델 : Dionex 500 미국)를 이용하여 분석하였다. 철련은 AS4A-SC-4mm를 사용하였고, 이동상으로 1.8mm Na₂CO₃+1.7mm NaHCO₃, 유속은 2.0ml/min, 검출기로는 Conductivity meter를 사용하였다. 시료의 전처리는 membrane filter(pore size : 0.45μm)로 여과 후 200ml를 취하고 다시 on-Guard P cartridge로 유기산등을 제거한 후 분석하였다.

2.2.2 일반적 오염원

오염물질 중 무기성분들을 Factor Analysis 프로그램인 SPSS를 이용하여 군집분석해 도표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

도표 1의 결과에 의하면 Ca, Mg, Na, K의 오염도가 같은 원인(factor)에 의하여 나타남을 알 수 있다. 같은 방법으로 P, Al, Zn, Si가 한 그룹으로 Fe, Mn, Cu 가 역시 다른 한 그룹을 이루을 수 있다. Sn의 경우는 다른 성분과는 달리 군집을 형성하지 않았다. 이러한 군집을 형성하는 이유를 분석하기 위하여 다음과 같이 주 오염원과 이를 추적할 수 있는 무기오염성분을 예측하였다.

도표 1. 오염성분의 군집분석

성분 \ 분류	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
Ca	0.93	0.04	0.19	0.08
Mg	0.86	0.17	0.18	0.03
Na	0.77	0.46	-0.20	0.05
K	0.74	0.51	-0.13	-0.08
P	0.05	0.82	0.16	0.34
Al	0.44	0.78	0.24	-0.13
Zn	0.30	0.73	0.15	0.34
Si	0.50	0.71	0.34	0.03
Fe	0.04	0.34	0.90	0.10
Mn	0.10	0.37	0.88	0.14
Cu	0.04	-0.12	0.68	-0.30
Sn	0.09	-0.02	-0.03	0.91

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy = .68629

Rotated Factor Matrix:

- ① 일반 토양성분에 의한 오염(Si, Al, Fe…)
- ② 석탄, 시멘트 성분에 의한 오염(K, Ca, Si, Fe, Mg…)
- ③ 차량 및 레일, 브레이크 디스크, 전차선로 마찰분에 의한 오염(Fe, Cu, Si, Mn, P…)
- ④ 윤활유 및 세척제 잔류 성분에 의한 오염(Si, Na…)
- ⑤ 엔진 배출가스에 의한 오염(S, NO₃⁻, SO₄²⁻…)
- ⑥ 공기중 해염입자에 의한 오염(Na, Cl⁻, Mg, K…)

위와 같이 분석된 각각의 Factor는 두 세 가지 이상의 복합적인 원인들로 이루어져 있겠지만 그 중에서도 주요 원인이 되었을 것으로 추정되는 오염원을 추적하여 보았다. 위의 추적 성분과 첫 번째 군집으로 형성된 오염성분을 비교하여 보면 태백선, 중앙선에서 비교적 강하게 나타나는 시멘트, 석탄 분진의 성분과 매우 가깝게 나타나고 있음을 알 수 있다. 두 번째 군집은 일반 토양 성분의 오염원과 Si와 Al 성분이 일치한다. Fe의 경우는 토양뿐만 아니라 철로 및 차량의 금속분에 훨씬 더 많은 양이 포함되어 있는데 이는 세 번째 군집을 통하여 나타난다고 볼 수 있다.

Fe의 농도가 다른 성분들에 비하여 매우 크게 나타남을 볼 수 있다. 이것은 일반적으로 오염원에 다양한 철분이 포함되어 있다는 것을 의미함과 동시에 철분이 일단 외측면에 부착되면 수분에 의해 산화되면서 일반적인 세정작업으로 제거되지 않는 강한 오염으로 누적되고 있음을 알려준다. 산화철 오염은 붉은 색을 띠게 되어 미관상으로도 좋지 않으며 도막의 내구성에도 악영향을 주게 된다. 이러한 현상은 수명이 오래된 차량일수록 심각한 수준을 나타내고 있었다.

세 번째 오염원은 차량 및 레일, 전차설비(중앙선, 태백선 일부구간) 마모분이 선로 부근에 오랫동안 누적되었다가 차량이 이동할 때 생기는 강한 와류에 의해 부상하면서 외측면에 부착되는 것으로 생각된다.

3. 시험결과 및 고찰

각 샘플의 중류수 농도, 세척 후 경과시간 등의 차이에 대한 보정을 위하여 각각의 값들을 분석된 샘플별 성분들의 총 오염량에 대한 각 성분의 비율로 환산하였다.

3.3.1 노선별 비교

경부선과 호남선의 경우 특별한 차이가 나타나지 않았다. 자리적으로 가깝고 지역적으로 어느 특정한 오염원이 없기 때문에 두 노선의 오염원에 큰 차이가 없었다고 판단된다. 마찬가지로 중앙선과 태백선의 오염물질도 비슷한 비율로 나타났으나 도표 2와 그림 1을 보면 경부-호남선과 중앙-태백선 사이에는 몇 가지 차이점을 발견할 수 있다.

도표 2. 노선별 오염성분 비교

성분 노선	Cu	Ca	Cl^-	NO_3^-	SO_4^-
중앙	5.41E-03	7.49E-02	9.00E-02	2.07E-02	1.11E-01
태백	1.16E-02	6.15E-02	8.51E-02	2.97E-02	1.02E-01
경부	4.37E-03	6.88E-02	1.25E-01	3.65E-02	5.79E-02
호남	4.51E-03	2.60E-02	1.30E-01	2.99E-02	8.44E-02

산업선 전철화 구간을 운행하는 중앙-태백선의 경우 전선 재료로 사용되는 Cu 성분이 상대적으로 많았고, 석탄과 시멘트 공장 분진지역과 인접되어 있는 지역의 특성상 K, Ca, Mg의 농도비가 높게 나타났다. 반면 경부-호남선의 경우는 바다와 가까운 부산, 여수지역과 같은 해안과 인접된 지역에서 장시간 정체하거나 운행으로 해염 입자가 많이 부착되어 있는 것으로 조사 분석되었으며 그 성분을 나타내는 Cl^- 의 농도가 안동 및 철암 등을 운행한 중앙-태백선에 비하여 높게 나타났다. 중앙-태백선의 경우 터널지역을 많이 통과함으로 터널벽에 붙어 있다가 차량이 통과할 때 물어 나오는 검댕이 등 엔진 배출물의 농도비가 경부-호남선에 비하여 높게 나타났다.

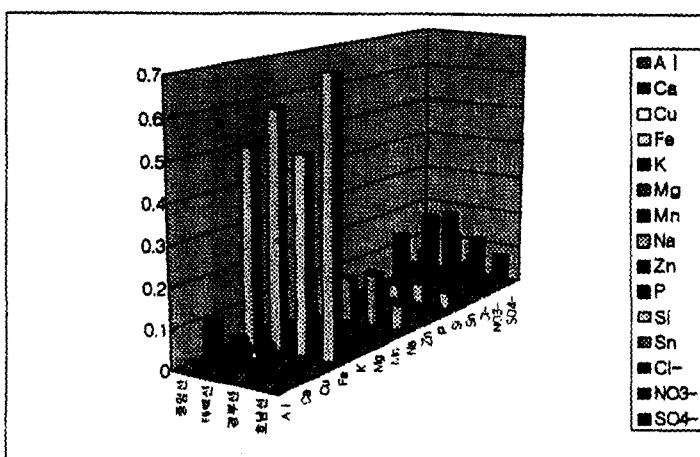


그림 1. 노선별 오염성분 비교

3.3.2 차량별 비교

무궁화 차량과 새마을 차량은 차체의 재질과 차체의 형상 및 도장 등에 많은 차이를 가지고 있다. 이러한 차이는 오염의 부착 및 세척성능 등에 차이를 가져오리라고 생각된다. 도표 3에 나타낸 성분비에 의하면 객차 외벽을 강판으로 하는 무궁화 차량의 경우 스테인레스로 만들어진 새마을 차량에 비하여 Fe 성분이 높게 나타났으며 도막과 점착시이트와의 오염물질이 계면의 차이에 따라 오염의 농도비가 다르게 나타나는 것으로 생각된다.

도표 3. 차량별 오염도 비교

성분 객차종류 \	Al	Fe	SO ₄ ⁻
새마을	2.26E-02	4.20E-01	8.64E-02
무궁화	1.24E-02	5.87E-01	8.78E-02

일반적으로 3000마력 2행정방식 디젤기관을 사용하는 무궁화 차량의 경우 1980마력 4행정 디젤방식을 선택한 새마을 PMC동차에 비하여 연료 배출가스와 불연소 탄화수소류가 다량 배출된다는 것을 확인할 수 있었다.⁸⁾

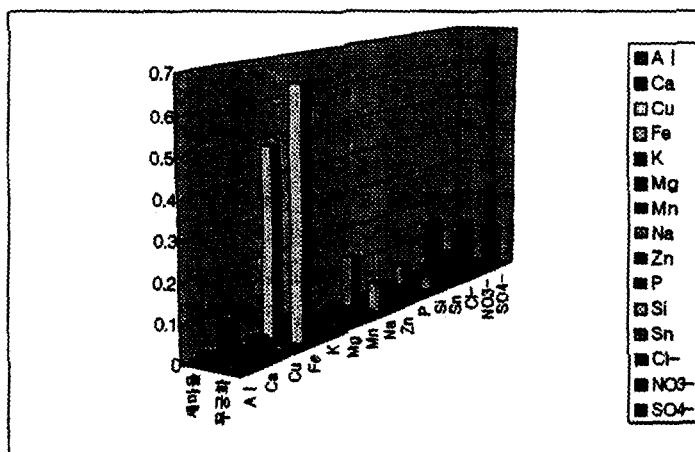


그림 2. 차량별 오염도 비교

3.3.3 부위별 비교

육안으로 파악되는 오염도는 상부의 경우가 가장 심하였다. 이는 차량 윗면에 누적되었던 오염물들이 비나 눈이 올 때 또는 세척시 물에 녹아 아래로 흐르면서 외측면의 상부에 부착되기 때문이다. 대부분 줄무늬 오염을 나타내었다. 차량의 상부에 오염이 심하게 나타나는 것은 차량 세정시 장대브러시 등을 이용하여 상부를 닦아내는데 작업상 높은 위치를 적절하게 세척하는데 어려움이 따르기 때문이다. 총량대비 성분의 도식을 그림 3에 나타내었는데 이에 따르면 Fe의 경우 다른 부위에 비하여 중앙부분에서 조금 높은 비율을 나타내었다. 중앙-태백선의 경우 터널지역을 많이 통과함으로 상부에 오염되는 엔진 배출물의 농도가 다른 부위에 비하여 높게 나타났다.

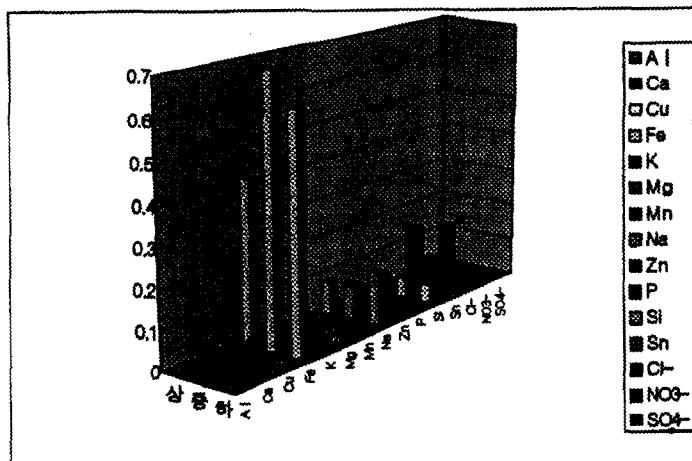


그림 3. 부위별 오염도 비교

4. 결 론

본 연구는 객차외측면 오염도 조사 분석으로서 국내철도의 객차외측면 오염도를 차량별, 차량부위별, 노선별로 오염물질을 분석하여 오염의 경향에 관해서 기본적인 자료를 확보하였다.

오염물질 조사분석 결과 객차외측면에 부착하는 오염은 무기성분과 배기가스, 대기증의 분진이나, 금속 마모분, 매연등의 흑색카본을 주성분으로 하는 유기성분 등의 오염이었으며, 철도 연변의 토양에서 발생하는 미세 분진 등은 열차 주행시 발생하는 와류 현상에 의해 노면에서 부유하면서 객차표면에 부착되어 나타나는 복합적인 오염이었다. 본 연구의 오염도 성분 조사분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 객차 외측면의 무기성분에 대한 오염도 분석결과 일반적으로 세 가지의 오염원 군집을 발견할 수 있었으며 산화되어 부착된 Fe의 오염도가 가장 높게 나타남을 확인할 수 있었다.

2) 노선별 오염도 경향을 비교하여 보면 중앙-태백선과 경부-호남선으로 구분됨을 알 수 있었다. 중앙-태백선은 전철화 구간으로 석탄과 시멘트 분진지역을 통과하게 되므로 이 영향으로 Cu, K, Ca 농도가 높게 나타났으며, 또한 산악지역을 운행하는 지역의 특수성으로 장대터널을 통과하게 되므로 검댕 등의 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 경부-호남선은 Cl⁻이 상대적으로 더 많이 오염되어 있음을 관찰할 수 있었다. 차종별로 비교할 때는 무궁화가 새마을 차량에 비하여 Fe와 엔진 배출물이 많은 분포를 나타내었다. 부위별로는 상부의 오염도가 심각한 문제임을 알 수 있었다.

3) 오염물질들은 개별적인 오염보다는 오염물질과 계면의 영향으로 나타나는 복합적인 작용의 오염으로서 주 오염원과 무기오염성분을 예측할 수 있었다. 주 오염원로서는 일반 토양성분에 의한 오염, 석탄, 시멘트 성분에 의한 오염, 차량 및 레일, 브레이크 디스크 등의 제반설비에 의한 오염의 영향을 받는 것으로 나타났다.

본 연구는 철도 차량중 객차 외측면 오염도 조사로서 일부 무궁화 및 새마을호에 대하여 한정적인 부분만을 다루었다. 객차외측면 오염과 객차 세정과는 밀접한 관계가 있으므로 객차의 외측면 설계, 차량세정장치의 세정력을 도모하고 환경 친화적인 제공해 세척제 성능향상과 오염방지 기능을 가진 저오염 도료 및 객차용 점착시트 재질 설계에 필요하고 유익한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. “自動車 塗膜の酸性雨および紫外線劣化対策における表面技術”, 表面技術, Vol.48, No. 6, 1997
2. “塗装工學”耐候性, 10 1986
3. 남성원, 김용기, 정우성 외 5인, “객화차 보수주기 개선방안 연구”, 철도청(1997)
4. “JR 東海新幹線電車外板 汚れ實態調査”, Rolling Stock & Machinery Vol. 5 No. 11, 1995
5. “불소수지도료”, 페인트 코팅 12 1997
6. “건축외장용 세라믹 도료”, 페인트 코팅 12 1997
7. “세라믹 복합 저오염형 도료”, 페인트 코팅 11 1997
8. 정우성, 한석윤, 김용기, 박덕신 외 2인 “디젤기관의 배출가스 대기오염저감에 관한 연구”, 철도청(1997)