

철도차량용 재료의 독성성분 정량화 향상기법 연구

The improvement of quantification method of toxic gas components from the materials of the railway vehicle

이철규* 정우성** 이덕희*** 이관섭**** 박지영*****
Lee, Cheul-Kyu Jung, Woo-Sung Lee, Duck-Hee Lee, Kwan-Sub Park, Ji-Young

ABSTRACT

This study is on the fire resistance evaluation method, especially on the toxicity of smoke gases generated from the fire, of materials for railway car and structures. Until now, Although international standard related to the quantifying evaluation method of smoke gas is provided but the specific procedure is not contained. On this reason, Test results of toxicity show deviation with the different technique being applied. For now, In advanced railway country, various instrument, like ion chromatography and etc., is used but FT-IR is recommended due to its lots of advantages. while FT-IR has a lot of strong points but still has some problems like water vapor interferences. In this paper, To improve credibility and repeatability of FT-IR it contains some technical solutions in quantifying the 8 toxic components.

1. 서 론

산업화와 도시화가 진행된 선진국을 중심으로 대중교통에서 철도차량의 분담율이 높게 나타나고 있다. 타 교통수단에 비하여 다소 안전한 것으로 인식되었던 철도차량은 건물이 밀집되어 있는 도심구간의 지하공간을 주행하면서 그 안전성을 위협받게 되었다. 특히, 출퇴근 시간 이용이 집중됨에 따라 대형사고를 초래할 수 있는 위험성을 지난 대구화재사고 사례로부터 알 수 있었으며 이후 철도차량의 안전성에 많은 의문을 제기하게 되면서 철도차량의 안전도 향상을 위하여 기준 제정 등 많은 노력을 기울이고 있다. 철도차량의 화재안전기준은 내장재를 중심으로 많이 향상되었으며 최근의 도시 철도차량의 경우 대부분 화재기준에 적합한 재료를 채택하고 있다. 인적 또는 물적 특성상 철도차량의 화재를 근본적으로 차단하는 것은 불가능하며 최근 개정된 대부분의 기준은 화재발생 시 승객들의 대피시간 확보를 중심으로 수립되고 있다. 대부분 화재로 인한 인명피해는 화재로부터 발생하는 유독가스의 흡입에 기인하는 것으로 소량의 유독가스에 노출되더라도 인체에는 치명적으로 작용하게 된다. 따라서, 철도차량의 화재 발생 시 승객의 안전을 보장하기 위해서는 대피시간 동안 유독가스 생성을 최소화하여야 한다. 유독가스는 시트 등 차량내부에 적용된 고분자 물질의 불완전 연소로 인하여 발생되며 재료 및 난연물질 성분에 따라 다양한 유독가스가 발생된다. 국내의 철도차량 화재안전 기준에서는 다양한 연소가스 종류 중 인체에 유해한 8성분(CO, CO₂, NO_x, SO₂, HBr, HCN, HF, HCN)에 대한 농도기준을 규정하고 있다. 각 성분별로 인체에 미치는 영향이 다른 8성분에 대한 분석방법은 표준화된 절차가 아닌 국가별로 상이한 방법을 적용하고 있는 실정이다. 유럽연합에서는 철도차량 화재안전에서 interoperability를 확보하기 위

* 이철규 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

E-mail : cheul@krrri.re.kr

TEL : (031)460-5372 FAX : (031)460-5319

** 정우성 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

*** 이덕희 : 한국철도기술연구원, 환경화재연구팀, 정회원

**** 이관섭 : 한국철도기술연구원, 시스템인터페이스연구팀, 정회원

***** 박지영 : 한국철도기술연구원, 시험기준연구팀, 정회원

하여 수년간의 SAFIR Project¹⁾를 추진하여 표준화된 연소가스 농도기준²⁾을 구축하였다. 하지만 연소가스 정량을 위한 FT-IR 분석기법의 표준화를 위한 여러 가지 요인을 해결하기 위한 세부절차를 제시하지는 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 FT-IR을 이용하여 철도차량 재료의 유독성분에 대한 농도를 정량화 하는데 발생하는 여러 가지 문제점을 살펴보고 측정결과와 신뢰성 및 재현성을 높이는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 본 문

2.1 실험기기 구성

FT-IR 장치로는 Midac Model I 4001 모델을 사용하였으며, 재료 연소 시 발생하는 연소가스의 물성을 유지한 상태에서 정량분석이 가능하도록 가스셀을 설치하였다. FT-IR 및 Gas Cell의 실험조건은 아래와 같다.

- Cell window : zinc selenide(ZnSe)
- Detector : MCT(Mercury Cadmium Telluride)
- Sample scan : 16 scan/spectrum
- Resolution : 0.5 cm^{-1}
- Gas cell path-length : 10 m
- Heating temperature : $150 \text{ }^\circ\text{C}$

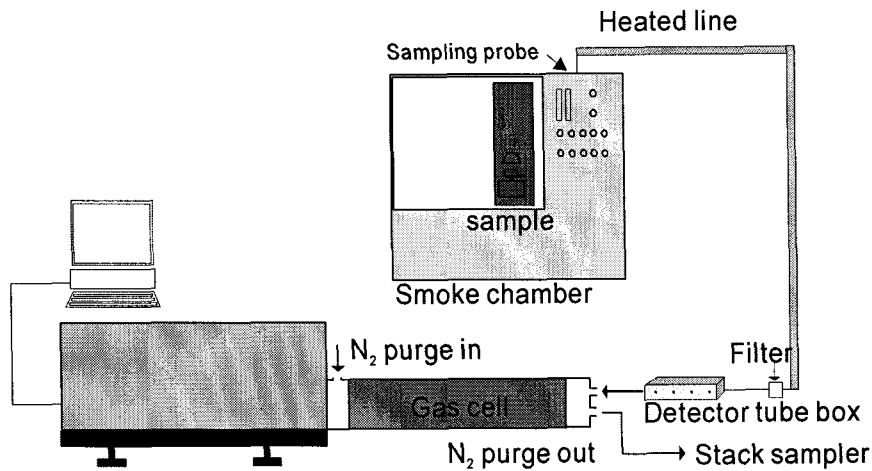


그림 1. 실험기기의 구성

개략적인 재료 연소 및 정량분석 장치를 그림 1에 나타내었으며 재료 연소를 위한 장치로는 ISO 5659 기준에 따른 챔버를 사용하였다. ISO 5659 기준에 따라 재료의 크기는 $75 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ 규격으로 사용하였으며 시편에 노출시킨 복사열 크기는 25 kW 이다.

2.2 실험결과 및 문제점

FT-IR을 활용하여 특정성분에 대한 정량분석을 하기 위해서는 특정성분에 대한 농도별 IR spectra 준비하여야 한다. 실험에서는 각 성분별로 철도차량 재료 연소 시 발생하는 농도범위에 해당되는 표준가스를 준비하여 측정을 하였으며 그 결과를 그림 2와 같이 얻을 수 있었다. ISO 5659 연소 챔버에서 재료를 연소하였을 때 연소가스 내에는 soot를 포함한 다양한 미지 성분 가스들이 발생하며 이들 중에는 수증기가 다량 포함되어 있다. 일정 온도 이하에서는 고온의 수증기가 액화되기 때문에 분석하고자 하는 8종 성분의 특성을 유지하기 위하여 샘플라인을 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

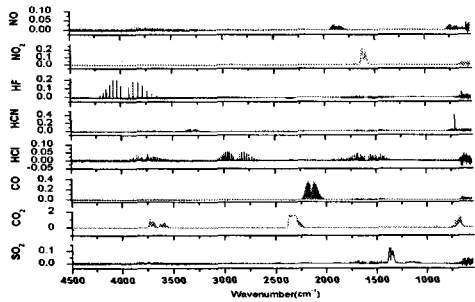


그림 2. 표준가스 spectra

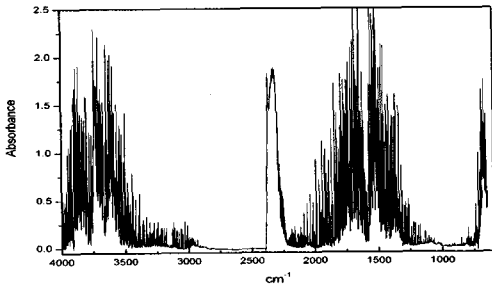


그림 3. 연소가스 spectra

그림 3에는 철도차량 재료의 FT-IR 측정결과를 나타내었으며 결과에서와 같이 연소가스 내에는 수증기가 다량 포함되어 있음을 확인할 수 있었다. ISO 5659 기준에서 요구하는 시편의 크기가 비교적 작으며 연소가스의 유량도 많은 편이 아니기 때문에 세밀한 정량분석 절차를 거쳐야한다. 분석하고자 하는 8종 성분 중 특정성분의 농도는 대개 수 ppm ~ 수십 ppm 수준으로 저농도의 성분들 중에 수 %의 수증기가 포함이 되어 있고 특성영역에서 중첩되는 점이 FT-IR 분석의 문제점이다. 수분중첩 등의 문제점을 해결하기위하여 SAFIR 프로젝트 등에서는 QTFA(Quantitative Target Factor Analysis)와 같은 통계적 방법을 적용하였으며 그림 4와 같이 중첩된 스펙트럼간의 분리를 통한 정량화를 시도하였다.

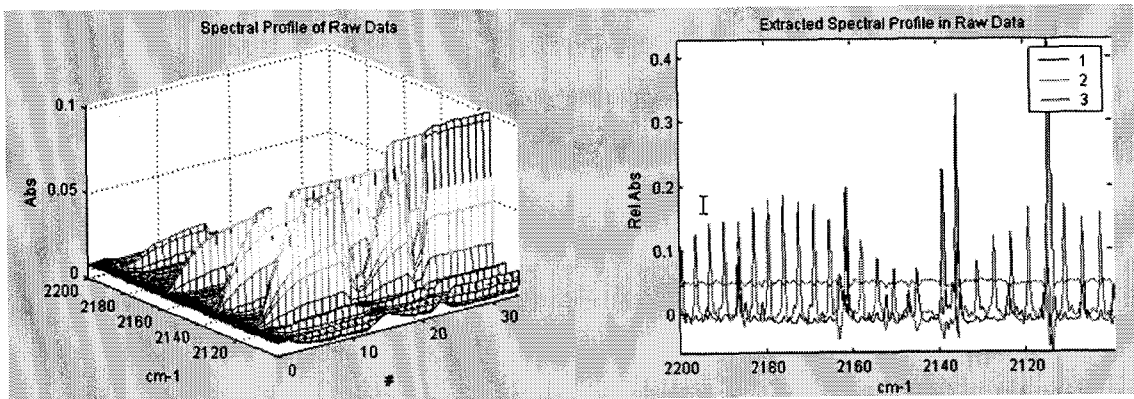


그림 4. QTFA(Quantitative Target Factor Analysis) 분석 사례

그림 4의 우측그래프가 일산화탄소 영역에서 중첩된 스펙트럼을 분리한 결과이며 적색의 스펙트럼이 일산화탄소이다. 분리한 스펙트럼의 분석영역에서의 특성 피크 높이 또는 영역을 이용하여 정량한 값을 신뢰도와 함께 제공하는 장점을 가지고 있다. 하지만 일산화탄소는 특성피크 영역에서 수증기로 인한 간섭영향이 이산화황에 비해 비교적 심하지 않아 QTFA기법 적용으로 신뢰성있는 결과를 얻을 수 있었으나 그림 5 이산화황의 경우처럼 수증기로 인한 중첩이 심각한 성분은 신뢰할 수 있는 결과를 확보할

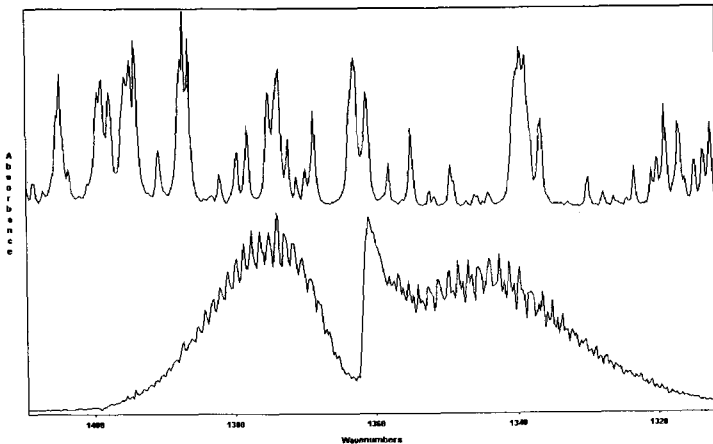


그림 5. H₂O & SO₂ spectrum

수 없었다.

그림 5와 같이 연소 시 발생되는 수증기로 인한 간섭이 심한 성분의 경우 그 영향을 배제하기 위하여 수증기의 농도별 표준 스펙트라를 확보하여 특성 영역에서 수증기 피크를 분리하는 실험을 수행한 결과 QTFA에서와 같이 수 ppm대의 저농도 성분에서는 신뢰성을 가지는 결과를 확보하지 못하였다.

3. 결과 및 토의

앞에서 살펴 본 바와 같이 연소가스 중 8종 성분에 대하여 QTFA 등 통계적 기법과 같이 다양한 방법을 적용하면서도 성분별로 상이한 물리, 화학적 특성 및 시험방법 상의 문제 등으로 인하여 정량분석에 많은 제약사항이 있음을 알 수 있었다. 이러한 분석상의 문제를 해결하고 신뢰성 있는 결과를 제시하기 위하여 저농도 성분의 표준가스와 다양한 농도의 수증기 표준스펙트라를 확보하는 것이 필요함을 알 수 있었다. 또한 확보된 표준스펙트라로부터 얻어진 FT-IR분석결과에 대한 신뢰성을 제시하기 위하여 FT-IR 결과값과 비교할 수 있는 대체 기법의 적용이 필요하였다. 국내 KS F ISO/TR 9122³⁾에서 제시하고 있는 습식분석에 의한 결과 또는 저농도 성분을 분석할 수 있는 전용분석기와의 상호 비교로 FT-IR의 연소가스 성분별 농도에 대한 정량분석 절차를 세부적으로 구축 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Tuula Hakkarainen, Smoke gas analysis by Fourier transform infrared spectroscopy, TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND ESPOO 1999
2. prEN 45545-2:2004 : Requirements for fire behaviour of materials and components
3. KS F ISO/TR 9122-2, '화재생성물의 독성시험 - 제2부 : 화재생성물의 급성 흡입독성 결정을 위한 생물학적 시험 지침'