

# FT-IR을 이용한 연소가스 정량화에서 농도별 수분스펙트라 확보 및 적용연구

## Study on the application of different water vapor spectra to quantify smoke gases with FT-IR

이철규\*    이덕희\*\*    박지영\*\*\*    정우성\*\*\*\*    정종학\*\*\*\*\*  
Lee, Cheul-Kyu    Lee, Duck-Hee    Jung, Woo-Sung    Park, Ji-Young    Jung, Jong-Hak

### ABSTRACT

The important factor is keeping the temperature condition in quantifying several toxic components in combustion gases. In case of not keeping the temperature as it was in combustion, the change of component and concentration of smoke gases was inevitable. To solve this problem, FT-IR spectroscopy with gas cell was applied. But, there is also a difficulty in quantitative analysis of specific toxic component because of water vapor. Thus, in this study, water vapor FT-IR spectra with different concentrations were obtained and applied them to quantitative analysis.

### 1. 서 론

철도산업에서 화재안전을 위하여 고려해야할 요소는 아주 다양하며 각 인자들은 승객 및 승무원의 안전과 피난 등의 모든 행동에 영향을 미치게 된다. 화재를 사전에 방지하는 것이 바람직하나 각종 사고사례 등에서 나타난 바와 같이 발생하게 될 경우 대량 인명피해가 예상되며 이를 최소화하기 위하여 조기 감지 및 경보, 대피 및 각종 피난 상황 확보 등의 모든 인자들을 위한 기술개발이 요구된다. 화원에 직접 영향을 받게 되는 철도재료들은 다양한 물질들로 제작하며 이러한 재료의 내화성능 확보를 위하여 평가기준을 수립하고 절차에 따라 착화성능, 착화 후 화염의 전파성능 및 화염의 성장에 따른 열량규모 등을 평가한 후 적용하도록 하고 있다. 이러한 물리적 성능평가 외 인명피해에 가장 큰 영향을 미치고 있는 연소가스 내의 인체 유해성분에 대한 평가와 같은 화학적 성능평가가 필수적으로 요구되고 있다. 현재까지 내화성능평가에서 물리적 평가방법은 표준화<sup>1)2)3)</sup> 되어 있으나 인체 유해 화학성분에 대한 정량화 부분은 현재까지 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 독성성분에 대한 정량화를 위하여 다양한 기기를 활용한 연구가 시도되고 있으나, 국제 기준<sup>4)</sup>에 부합하여 FT-IR 분석장치를 활용한 유독성분 정량화하는 방법에는 실질적인 성과가 미흡한 상황이다.

\* 이철규 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

E-mail : cheul@krri.re.kr

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

\*\* 이덕희 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

\*\*\* 박지영 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

\*\*\*\* 정우성 : 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 정회원

\*\*\*\*\* 정종학 : 부산대학교 환경분석센터

철도차량 재료의 독성성분 정량화 등의 이전 연구<sup>5)</sup>에서 알 수 있는 바와 같이 연소가스 내 포함되어 있는 각종 인체유해 가스종의 정량에 있어서 중요한 요소는 연소 시 발생된 연소가스의 온도조건을 유지하면서 분석하는 것이다. 실제 연소가스 조건을 유지하지 못할 경우 가스 상의 물성변화로 인한 농도변화를 피하기 어렵다. 이를 위하여 샘플링라인 전체를 히팅튜브를 적용하여 온도조건을 유지하였으나 동시에 연소 시 발생된 다량의 고온 수증기 피크의 특정성분과의 중첩으로 정량분석이 어려운 문제가 발생하였다. 연소가스 중의 분석하고자 하는 성분별 물리적 특성이 상이하여 현재까지 선택적으로 수증기만을 제거하는 촉매를 적용하기는 어려운 상황이므로 본 연구에서는 수분발생장치를 이용하여 재료별로 다양하게 발생하는 water vapor의 FT-IR 표준스펙트라를 측정하고 이를 정량분석에 활용할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 실험기기 구성

#### 2.1.1 FT-IR

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 :  $0.5 \text{ cm}^{-1}$
- Gas cell path-length : 10 m
- Heating temperature :  $150 \text{ }^\circ\text{C}$

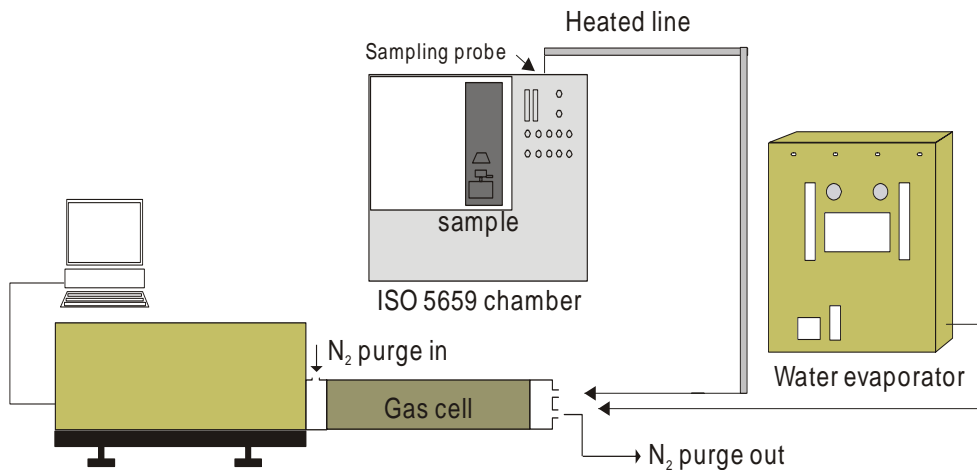


그림 1. 실험기기 구성

#### 2.1.2 Water evaporator

재료 연소 시 발생하는 농도별 수증기를 확보하기 위하여 수분발생장치를 제작하여 수증기 발생 라인을 FT-IR 가스셀로 연결 후 연소 시 온도와 동일한 조건 하에서 표준 수분 스펙트라를 측정할 수 있도록 하였다.

□수증기 농도범위 : 0.4 % ~ 5.0 %

### 2.1.3 표준가스

실험에 사용된 성분별 표준가스를 농도별로 준비하여 FT-IR 스펙트라를 확보하였으며 그 결과를 그림 2와 같이 확보하였다.

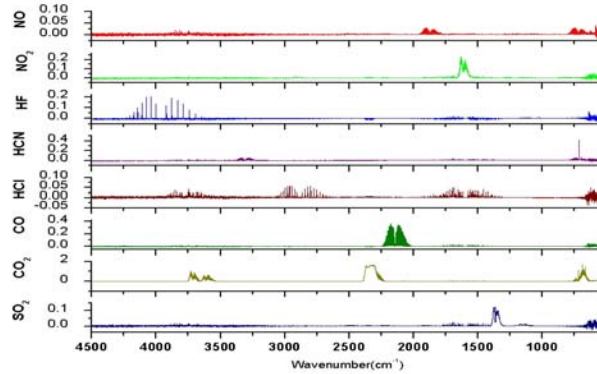


그림 2. 8종 표준가스 FT-IR spectra, 150°C

그림 2에서는 각 성분별 대표적인 FT-IR 스펙트라만을 정리하였으며, MIDAC사 FT-IR기기의 운영 소프트웨어인 AutoQuant 내 실시간 정량분석을 위하여 구축하여야 하는 method 작업에 필요한 표준가스는 성분별 최소 3가지 이상의 농도별 표준가스를 확보하여 특성영역대별로 구분 입력하여 분석을 수행하였다.

### 2.2 실험결과 및 문제점

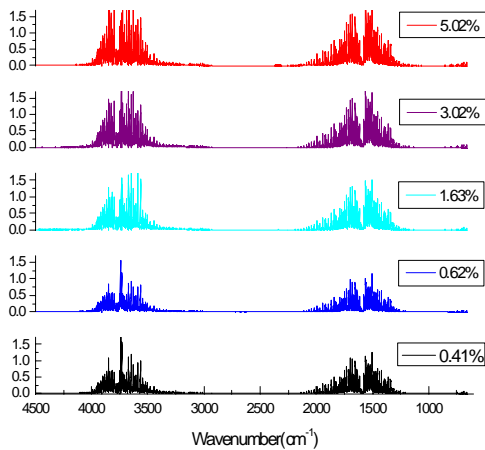


그림 3. 수증기 농도별 FT-IR spectra

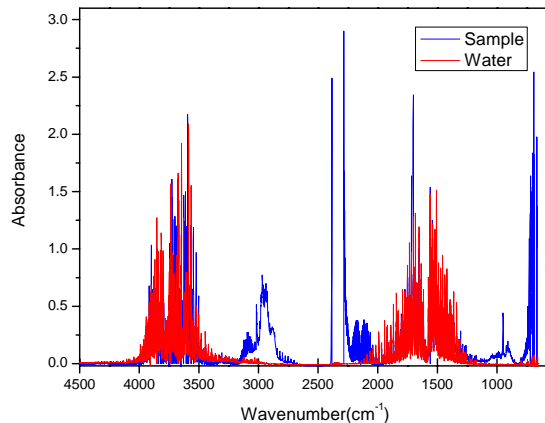


그림 4. 연소가스 및 표준수증기 스펙트라 비교

수분발생장치로부터 농도별 수증기를 측정된 FT-IR 스펙트라 결과를 그림 3과 같이 확보하였다. 측정한 스펙트라는 재료 연소 시 발생하는 수증기 스펙트라와 정확히 일치함을 그림 4로부터 확인할 수 있었다. 측정 결과를 활용하여 연소가스 성분별 특정영역에서 중첩되어 있는 수증기 스펙트라를 제거할 경우 남아있는 특정 성분의 피크로 정량분석이 가능한 지 여부를 확인하기 위하여 표준가스(Nitrogen monoxide와 Sulfur dioxide)와 수증기를 인위적으로 혼합한 IR스펙트라를 그림 5와 같이 확보하였다.

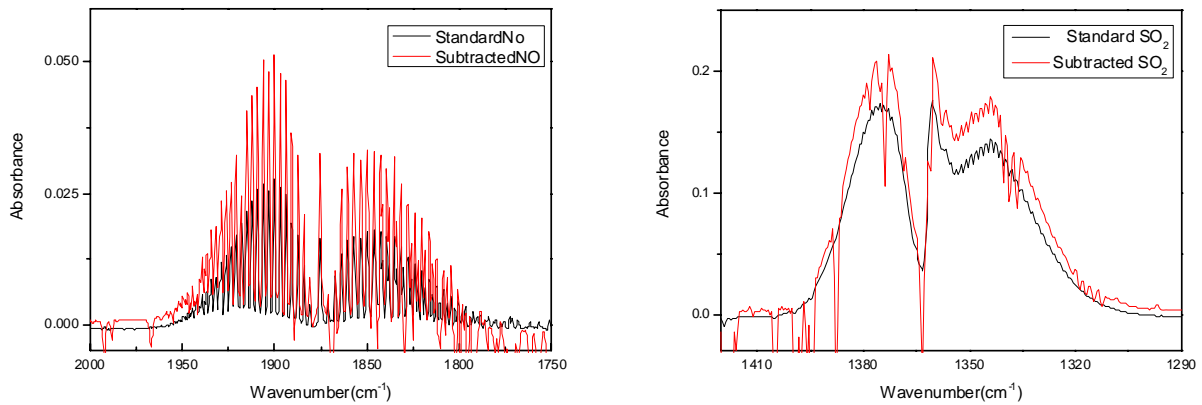


그림 5 표준가스를 활용한 수증기 제거 결과(NO, SO<sub>2</sub>)

그림 5에서 확인 할 수 있듯이 중복되어 있는 특성영역에서 수증기스펙트라를 제거 후 기존 표준가스와 동일한 피크들이 존재함을 확인할 수 있었으며 이로서 실제 시편 연소 시 측정된 스펙트라에 적용하여 전체영역에서의 수증기 제거 결과를 그림 6에 나타내었다. 결과에서 확인할 수 있는 바와 같이 1500 ~ 2000cm<sup>-1</sup> 영역에서는 수증기에 의한 영향이 대부분이었음을 알 수 있으며 3300 ~ 4000cm<sup>-1</sup>에서는 수증기 피크외에도 타 성분에 의한 중첩이 있음을 알 수 있었다.

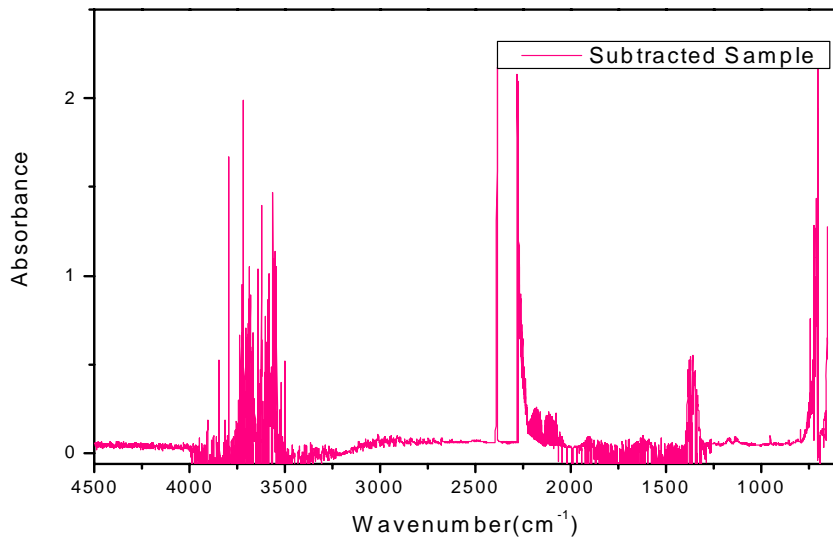


그림 6 연소가스 FT-IR 스펙트라에서 수증기 제거결과

그림 7과 8에서 볼 수 있는 바와 같이 1900 cm<sup>-1</sup> 부근에서 수증기 간섭영향을 받고 있는 일산화질소의 특성피크를 Louise C. Speitel의 연구결과<sup>6)</sup>와 동일하게 관찰 할 수 있으며 여기서 수증기 피크를 제거한 결과 보다 뚜렷한 특성피크가 나타남을 확인할 수 있었으며 분석결과 샘플스펙트라 내 고농도의 일산화질소가스가 포함되어 있음을 알 수 있었다.

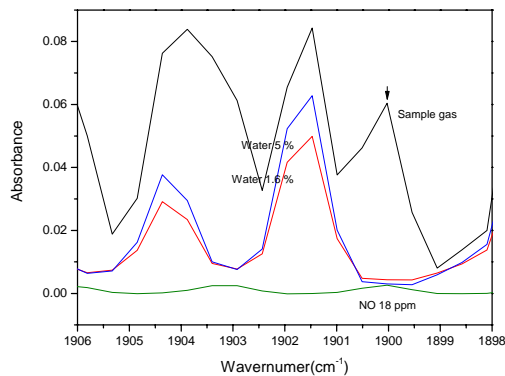


그림 7. 일산화질소 분석결과  
(수증기 제거 전)

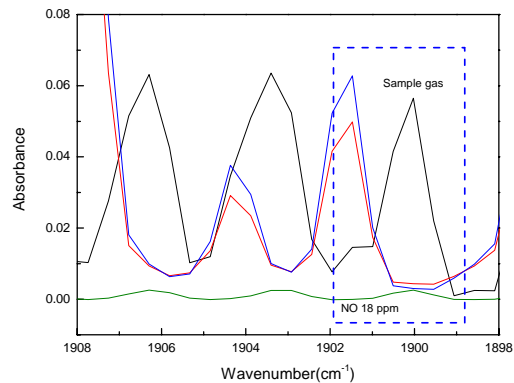


그림 8. 일산화질소 분석결과  
(수증기 제거 후)

### 3. 결과

재료 연소로 발생하는 수증기로 인한 FT-IR 스펙트라와 연소가스 독성성분의 특성피크영역 중첩현상, 특히 일산화질소(NO), 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 이산화황(SO<sub>2</sub>) 영역, 으로 인하여 FT-IR 분석기기를 이용하여 정량, 정성 분석하는데 발생하고 있는 문제점을 해결하고자 수증기 발생장치를 활용하여 재료 별로 다양한 농도별로 발생하는 수증기의 표준 수분스펙트라를 측정하였다. 측정결과를 활용하여 재료의 연소가스 FT-IR 스펙트라로부터 해당되는 수분스펙트라를 적용 후 제거함으로써 분석하고자 하는 가스종별 특성영역의 피크의 잔존여부 및 정량분석 가능여부를 확인하였다. 전반적으로 연소가스 FT-IR 스펙트라로부터 수분제거결과 전체 영역에서 연소가스 종별 특성피크들이 잔존함을 확인하였으며 대표적으로 일산화질소의 정량분석을 통하여 신뢰성 있는 분석결과를 확보할 수 있는 것으로 확인하였다.

### 참고문헌

- 1) ISO 4589-2:1996 Plastics -- Determination of burning behaviour by oxygen index -- Part 2: Ambient-temperature test
- 2) ISO 5659-2:2006 Plastics -- Smoke generation -- Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test
- 3) ISO 5660-1:2002 Reaction-to-fire tests -- Heat release, smoke production and mass loss rate -- Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)
- 4) BS 6853 Annex B.2 CODE OF PRACTICE FOR FIRE PRECAUTIONS IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF PASSENGER CARRYING TRAINS
- 5) 이철규, 정우성, 이덕희, 이관섭, 박지영 (2007년), "철도차량용 재료의 독성성분 정량화 향상기법 연구", 추계 학술대회논문집
- 6) Louise C. Speitel, "Real-time fourier transform infrared analysis of combustion gases", FAA report