연소온도 조건에 따른 FRP 및 시트커버 내장재의 연소가스 발생량 비교

Comparison of combustion gas release for FRP and seat cover materials to the Furnace temperature

이덕희* 정우성** 이철규* 유문천***

Lee Duck-Hee, Jung Woo-Sung, Lee Cheul-Kyu, Yu, Mun-Chun

ABSTRACT

We have evaluated the toxicity of interior materials for the railway passenger car by checking the release of CO_2, CO, NOx, SO2, HCl, HF, HBr, HCN. The NOx is one of the most effective for the determination of Toxic Index R value. It is generally known that the mechanism of thermal NOx generation without the Interior Material nitrogen source. This study started from the idea to check the NOx difference according to the furnace temperature. But from the results, it was revealed that NOx is not so sensitive for the furnace temperature in case of solid burning. Other gases such as HCN, CO were more changeable to the furnace Temp. We reported the test result as for toxicity index r(x).

1. 서론

현재 국내 철도시스템에 사용되는 내장재의 독성평가 기준으로 CO_2, CO, NOx, SO2, HCl, HF, HBr, HCN이 발생량이 평가되고 있다. 각 성분의 농도 값은 성분별 기준값(Reference value)과의 비로 계산되어 독성지수로 환산된다. 고체재료의 연소 체계를 분석적으로 이해하는 것은 매우 어려운 일이므로 고체 재료의 연소단계에서 발생할 수 있는 연소가스를 예측하는 수준 있는 작업은 현재로써는 진행되고 있지 못하다. 따라서 이러한 데이터는 거의 대부분 시험값에 의하여 구축된 자료를 근거로 하고 있는데 이때 독성가스의 발생량은 선택된 연소 방법에 크게 의존한다고 볼 수 있다. 예컨대 연소온도에 의하여 크게 영향을 받는 성분 중 하나가 질소산화물이다. NOx는 연소재료에 질소가 포함되어 있지 않더라도 연소공간의 공기 중에 포함된 질소(N_2) 분자가 산소(O_2)와 결합되어 발생할 수 있으며 실험적으로 연소공간의 온도가 중요한 발생량의 변화 요인 중 하나가 된다고 알려져 있다. 본 논문은 철도차량용 내장재로 광범위하게 사용 되었던 폴리에스터 수지 유리섬유강화플라스틱(FRP) 판넬과 폴리에스터와 울 혼합계열의 의자시트 커버에 대하여 연소 조건 온도를 변경하여 가면서 발생되는 연소 가스량을 비교하여 보았다.

---

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 연구원, 비회원

2. 본론

2.1 실험조건과 장치

연소가스의 독성정량을 위하여 사용되는 방법은 연소방법과 분석방법의 차이에 의하여 구분되고 있다. 최근에는 실시간 분석이 가능한 FTIR 분석법의 사용이 선호되면서 콘칼로리미터(ISO 5660)와 같이 연속분석과 총량 평가가 가능한 독성분석 방법이 검토되고 있다. 하지만 이는 아직까지는 안정화 연구단계가 진행되고 있는 상황이고 검사 현장에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 방법은 NES 713(British-Naval Engineering Standard) 이나, BS 6853 Annex B와 같은 챔버법이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 국내 철도차량안전기준 평가방법에 해당하며 보편적으로 사용되고 있는 BS 6853 Annex B.2 방법으로 0.5m^3 크기의 NBS 챔버와 ISO 5659-2 콘형전기로(cone type furnace) 연소장치를 이용한 시험 장치를 사용하였다.
이때 시편의 크기는 76mm×76mm면에 25mm 이하의 두께로 할 수 있다. 보통 시편은 25kW/m^2의 복사열에 노출 되도록 정해져 있으며 수평 표면의 상부에 30cm 정도의 불꽃을 가하게 된다. 챔버법에서 중요시 되는 분석시점은 연기밀도가 최대가 되는 지점을 중심으로 85% 이내의 구간에서 허용된다. 그림1과 2는 본 연구에서 사용한 연소챔버의 사진과 구성도이다.

그림 1 독성분석용 챔버 및 콘형 Furnace

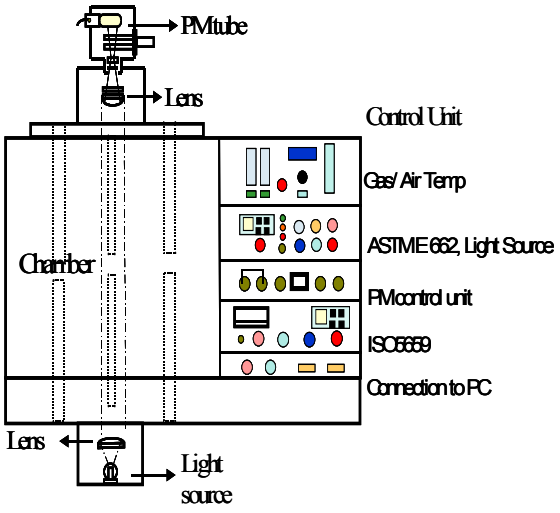

그림 2. Smoke/Toxicity Chamber 구성도

연소가스의 분석은 EUROTRON사의 GRENLINE MK2 분석기와, 일본 가스텍(GASTEC)사의 크로마토식 가스검지관(Colorimetric gas detector tubes)을 이용하여 평가하였다. 연소가스 방출량은 단순한 재료의 검사 시험에서만 의미를 가지는 것은 아니다. 이러한 측정값은 화재공학 측면에서 볼 때 특정 연소재료가 공간에 방출하는 독성가스의 입력 데이터로도 활용될 수 있다. 본 연구에서 관심을 가진 점은 연소구조가 다를 때 발생할 수 있는 독성가스의 방출량이 어떻게 변화하는 가 하는 점이라고 할 수 있다. 25kW/m^2로 대표되는 설정온도가 실질적으로 화재 현상을 대표하는 것이 타당한지에 대한 검증의 작업이라고도 볼 수 있겠다.

따라서 우리의 관심에 따라 우리는 특정한 재료를 선정하여 각 재료에 서로 다른 연소온도 조건을 부가하였는데 이는 복사열 방출장치인 전기로의 온도를 각기 다르게 설정하는 것이었다. 전기로 온도는 25kW/m^2에 해당하는 630℃를 기준으로 50℃씩의 편차를 두어 4단계로 정하였다.

그림 3 GREENLINE MK2 분석기

그림 4 가스검지관 분석법

표면에 화염을 가하는 상태와 화염이 없는 비가염(Non-Flaming) 조건에서 복사열만으로 연소시키는 조건을 부가하였다. 본 시험에서는 연소온도에 의한 편차만 확인하고자 하였으므로 다른 조건은 모두 동일하게 유지하였다. 온도가 높아짐에 따라 최고 연기발생량이 늘어났으며 최고점 도달 시간도 점차 빨라졌다. 이에 따라 분석시간도 동일한 형태로 변경되었다. 시편은 철도차량용 내장재로 많이 사용되어 왔던 폴리에스터 FRP 내장판과 폴리에스터-울 합성섬유 시트커버를 선택하였다. 판넬형과 섬유형 재료의 연소 과정이 매우 상이한 점을 고려하여 달리 선택한 것이라고 할 수 있으나, 시험에 선택된 제품과 해당재료가 동일계열의 재료에 대한 대표성을 가지는 것은 아니다. 그림 5에 시험에 사용된 폴리에스터 FRP 내장판과 폴리에스터 - 울 시트커버의 시험전후 사진 사례를 나타내었다.

구분	폴리에스터 FRP 내장판	폴리에스터-울 시트커버
연소전		
연소후		

그림 5 시험에 사용된 시편의 연소 전후 상태 사례

3. 결과 및 고찰

측정결과를 표 4와 표5에 나타내었고 기준 값과의 비율로 표시된 독성지수로 환산하여 그림 11과 12에 수록하였다. 그림 13은 8가지 연소가스의 성분별 독성지수의 합으로 표시된 값의 비교치이다.

표 4 폴리에스터 수지 섬유강화플라스틱 판넬의 연소가스 발생량(g/m^2)

구분	Furnace 설정온도(℃)				기준값
	580 (F)	630 (F)	680 (F)	730 (F)	
CO2	3,174	3,401	3,514	3,741	14,000
CO	135.80	142.29	159.97	166.64	280
Nox	1.07	1.24	1.36	1.36	7.6
SO2	0.05	0.04	0.03	0.05	53
HCl	ND	ND	ND	ND	15
HCN	ND	ND	ND	0.10	11
HBr	ND	ND	ND	ND	20
HF	ND	ND	ND	ND	4.9

표 5 폴리에스터-울 혼합계열 시트커버 연소가스 발생량(g/m^2)

구분	Furnace 설정온도(℃)					
	580 (NF)	630 (NF)	680 (NF)	730 (NF)	580 (F)	730 (F)
CO2	170	340	340	340	1,474	1,700
CO	40.47	54.46	78.34	105.14	29.79	55.73
Nox	0.24	0.24	0.41	0.53	7.35	7.70
SO2	16.68	14.53	19.40	19.40	2.39	6.77
HCl	ND	ND	ND	ND	ND	ND
HCN	5.56	6.43	6.26	6.26	3.23	6.26
HBr	ND	ND	ND	ND	ND	ND
HF	ND	ND	ND	ND	ND	ND

* ND : Not Detected(0.01g/m^2 이하), F : Flame Mode, NF : Non-Flame Mode

연소조건 온도가 올라갈수록 비슷한 정도로 가스 발생량이 늘어 감을 확인 할 수 있었다. 폴리에스터 FRP 판넬의 경우 일산화탄소의 발생량이 다른 연소가스의 발생량에 비하여 다소 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다. 고온조건에 의한 열분해가 활발해 짐으로 공급되는 기체 연료량이 증가하는데 비하여 산소공급량이 고정되어 있음으로 인해서 생기는 불완전 연소현상이 보여주는 특성으로 판단된다. 이산화탄소의 증가량에 비하여 일산화탄소가 더 급한 증가율을 보이는 동일한 현상은 시트커버의 연소가스 변화 그래프에서도 확인할 수 있었다.

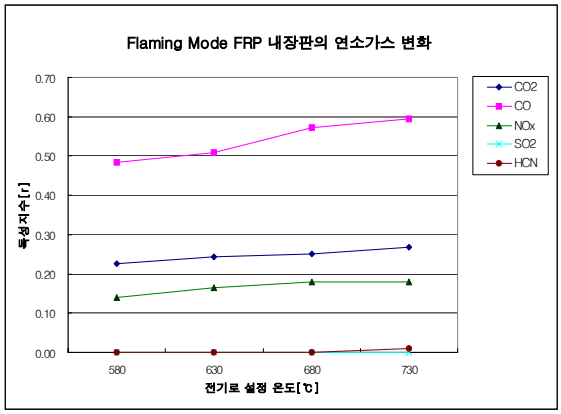

그림 11 FRP 내장판의 연소가스 변화

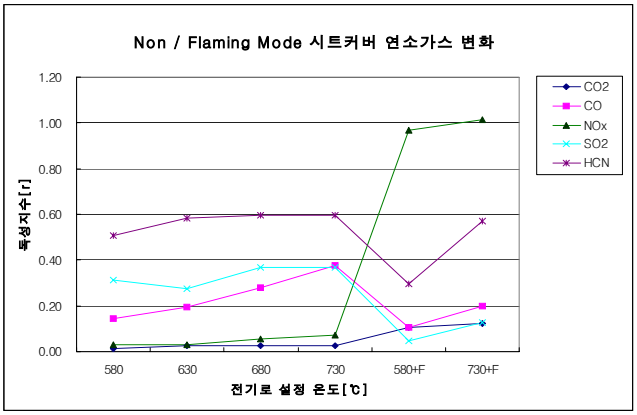

그림 12 연소온도에 따른 시트커버 연소가스 변화

전체 연소가스의 방출량이 많았던 시트커버의 연소의 경우에는 비가염 조건에서는 일산화탄소(CO), 이산화황(SO_2), 시안화수소(HCN) 등의 방출량이 많았다가 가염을 하는 조건으로 변경하였을 때 전체적으로 줄었다가 다시 온도의 상승을 따라 늘어가는 형태를 보여주었다. 특히 시안화수소는 불완전 연소에서 매우 많은 량이 방출되는 것으로 확인되었다. 이산화탄소(CO_2)의 경우는 예측하였던 바와 같이 불완전 연소 때 보다 정상적인 가염 조건에서 더 많이 방출되는 것을 확인할 수 있었다. 시트커버의 연소과정에서 특기할 만한 사항 중 하나는 질소산화물(NOx)의 방출량에 관한 것인데 그림 12에서 볼 수 있는 것처럼 가염조건으로 바뀌었을 때 약 10배 이상으로 급격하게 방출량이 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 서두에서 나타냈던 바와 같이 질소산화물의 발생 메커니즘에 고온의 연소 환경에서 더 활발하다는 점을 보여주는 것이라고 할 수 있겠다. 다만 화염이 유무에 의해서 주로 지배되고 있었으며 연소로의 복사열 조건의 변화에 의해서는 거의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 판단된다. 평가된 구간에서의 전체 독성지수는 전기로의 연소온도에 비례하여 1차원적으로 상승하는 것으로 나타났다.

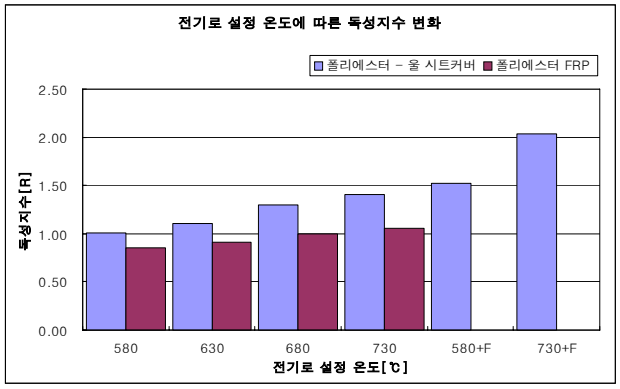

그림 13 연소온도 변화에 따른 독성지수 변화

4. 결론

현재 사용되고 있는 연소가스 독성지수는 연소조건 중 하나인 전기로의 온도에 대하여 선형적으로 변경되는 값임을 제한적인 구간에 대하여 확인하였다. 따라서 독성지수 값에 대한 검사이상의 목적으로 사용할 경우, 예컨대 특정 재료의 연소에 대한 독성가스의 방출량을 이용한 공간 유해성 해석을 하고자 할 경우에는 설정된 화재 및 연소시나리오에 적합한 연소가스 방출량을 검토해야할 필요성이 제기된다. 연소가스의 성분별로 이러한 해석에 요구되는 충분한 시험과 데이터베이스가 확보되어야 공학적으로 보다 신뢰할 수 있는 화재해석이 가능할 것이다.

5. 감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 지원하는 철도종합안전기술개발사업의 일환으로 추진 중인 “철도화재 안전성능평가 및 사고방지 기술개발”의 지원으로 이루어졌음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Stephen R. Turns "An Introduction to Combustion : Concepts and Applications" McBraw-Hill Book Co. 1999
2. The FIRESTARR Research Project on the reaction-to-fire performance of products in European trains, Peter Briggs, Warrington Fire Research, Y LeTallec, A Sainrat, LNE, France, S Metral, SNCF, France, S Messa, LSF, Italy, H Breulet, ISSeP, Belgium
3. 박영근,김동일,현성호 “가스검지관법에 의한 플라스틱재료의 연소가스 독성평가” 한국화재소방학회, 제16권 제 4호, 2002년 pp. 77-84
4. Gordon E. Hartzell, "Advances in Combustion Toxicology", Vol.3, Technomic Publishing Co., Inc.,PA, pp. 8-18(1989)
5. ISO TR 9122,"Toxicity testing of effluents", ISO(1989).
6. IMO MSC 61.(67), "Adoption of the international code for application of fire test procedures, Part 2. Smoke and toxicity test", IMO(1996)
7. Tewarson, A. Generation of heat and chemical compounds in fires. In: DiNenno, P. J., Beyler, C. L., Custer, R. L. P., Walton, W. D., Watts, J. M., Drysdale, D. & Hall, J. R. (eds.). SFPE handbook of fire protection engineering. 2nd edition. Boston: Society of Fire Protection Engineers, 1995. Section 3, pp. 53-124. ISBN 0-87765-354-2
8. ISO 5660-1, 2(2001), "Reaction-to-fire test-heat release, smoke production and mass loss rate-Part 2. Smoke production rate(dynamic measurement)