

연기 속 이소시아네이트의 위험성

SP Fire Technology에서는 화재시 이소시아네이트 등이 발생하는 연소가스의 독성에 대하여 조사한 결과, 일산화탄소 또는 기타 독성가스보다 더 심각한 위험성이 있음을 보여주고 있다.

이소시아네이트는 인명안전상 허용농도가 매우 낮은 화학물질들이며, 작업장 환경문제와 호흡기질환과 연계하여 상당히 주의를 요하는 물질이다. 이 물질들은 단열재, 실내장식물, 접착제, 바니시 등과 같은 폴리우레탄계 재료의 열분해를 포함하여 다양한 형태로 작업환경에서 생성될 수 있다. SP Fire Technology에서는 다양한 재료와 제품으로부터 발생하는 연소가스를 조사하기 위한 프로젝트를 현재까지 수행하여 왔으며, 여기에는 화재시 이소시아네이트를 발생시키는 정도에 대한 조사도 포함되었다. 시험결과는 이소시아네이트의 존재는 일산화탄소 또는 기타 독성가스보다 더 심각한 위험성이 있음을 보여주었다.

이소시아네이트는 이소시아나화기(-NCO)를 갖는 화합물의 일반적 명칭이다. 이 물질은 1984년 인도의 보팔시 대재해로 인해 엄청난 관심을 끌게 되었는데, 27톤의 메틸이소시아네이트 방출로 인해 20만명이 고농도(0.12~85ppm)의 메틸이소시아네이트에 노출되었었다. 이 사고로 수 시간 내에 2천여 명이 사망하였다. 공기 중 이소시아네이트의 위생학적 허용농도는 0.005ppm으로 극히 낮은 편이다. 천식과 같은 호흡기질환

과 관련된 작업장에 대해서는 이 물질에 관한 심도 있는 논의가 있어왔다. 예를 들면, 폴리우레탄계 재료의 열분해로부터, 용접 또는 금속을 가열할 때 뜨거워진 자동차 페인트로부터, 플라스틱을 부드럽게 하거나 페인트, 접착제, 바니시를 제거하기 위해 사용하는 가열공기 분사기의 사용에 의해 이소시아네이트가 방출된다.

화재는 많은 양의 재료를 가열시킴으로써 다량의 이소시아네이트 방출위험을 수반한다. 소각로에서처럼 연소가 효율적으로 이루어진다면 이소시아네이트도 함께 연소될 것이나, 제어되지 않는 화재에서는 연소가 비효율적으로 이루어지며 그 결과 열분해 생성물이 화재연기에 의해 운반된다. 연기 내의 다른 물질들(일산화탄소, 시안화수소, 방향족 등)은 매우 큰 위험성을 갖고 있어 예전부터 많은 연구가 이루어졌던 반면, 화재시 고농도 이소시아네이트에 의한 명백한 위험이 있음에도 불구하고 화재시 방출되는 이소시아네이트에 대한 자료는 거의 없는 실정이다.

연기 속의 가스 또는 입자형태로 발생하는 이소시아네이트의 양은 측정으로 알 수 있다. 화재로부터 발생하는 연기에는 호흡기를 통과하여 폐

[표1] SP에서 시험한 재료/제품

Material	Comments
Glass wool	Insulation material
Mineral wool	Insulation material
Wood	Planks
Bitumen	Roof covering
Polystyrene	Expanded polystyrene
Nitrile rubber	Pipe insulation material
PVC	Floor covering
Fluoropolymer	Pellet material
Polyethylene pellets	Halon-free, Flame-retardant material
FR4 laminate	Brominated patterned laminate
Melamine	Laminate
Wool	92% wool, 8% polyamide fabric
Chipboard	-
PUR(Polyurethane)	Flexible
PUR	Rigid
PIR	Rigid-modified PUR
Plywood	Laminate
Carbon fibre laminate	Composite material
Cable products	
Polyethylene-based cable	Halon-free
PVC cable	Flame-retardant
Fluoropolymer-based cable	
PVC +Fluoropolymer cable	50% of each material
Optical fibre cable	
Full-scale products	
Sofa	PUR upholstery
Mattress	PUR-based material

깊숙이 들어갈 수 있는 엄청난 양의 미세입자가 존재한다. 입자에 흡착된 이소시아네이트는 폐로 이동하여 가스형태의 이소시아네이트와는 다른 방식으로 폐조직과 반응하게 된다. 입자부유 물질의 독성에 관한 보고서는 몇 있으나 이러한 독성을 측정하거나 특성화하는 데는 어려움이 있다.

시험

SP Fire Technology는 최근에 여러 가지 다른 재료 및 제품(표1 참조)에 대하여 연기 속의 이소시아네이트 농도 측정을 포함한 화재시험을 수행하였다. 시험의 대부분은 초과공기를 공급하는 소규모시험으로 이루어졌으나, 몇몇은 환기가 잘되는 상태의 대규모시험을 하였다.

측정치는 어떤 재료는 입자부유 이소시아네이트를 많이 발생시키는 반면, 다른 것은 입자부유 이소시아네이트를 전혀 발생시키지 않음을 보여 준다. 일산화탄소 및 시안화수소의 농도가 위험 수준보다 훨씬 아래인 상태에서도 이소시아네이트 위험농도가 나타난다.

놀라운 시험결과 중 하나는 폴리우레탄계 가아닌 몇몇 제품 및 물질이 높은 위험수준의 이소시아네이트를 발생시킨다는 것이다. 이러한 제품 중의 하나는 니트릴 고무계 제품으로 배관 단

열재로 사용된다. 케이블에 사용되는 제품은 연소시 이소시아네이트를 발생시키는데, 이는 많은 경우에 있어서 놀라운 일이다. 플루오르폴리머계 케이블 제품은 이소시아네이트를 발생시키지 않아야 하지만, 연소에 의해 소량 발생된다. 폴리우레탄계 접착제가 케이블 제조에 사용되어 왔다는 것을 계속적인 연구조사로 알게 되었다.

일산화탄소보다 더 위험한가?

발생된 이소시아네이트의 잠재위험성을 알기

[표2] 다른 물질과 이소시아네이트의 독성위험 비교

Material	Isocyanates	CO	HCN	Other inorganic gases
Glass wool	1.42	0.01	0.04	NH ₃ =0.04
Nitrile rubber	0.72	0.05	0.12	HCl=0.19; SO ₂ =0.11; NH ₃ =0.06
Melamine	0.62	0.08	0.12	SO ₂ =0.11; NO=0.08; NH ₃ =0.01
PUR(rigid)	0.60	0.15	0.44	HCl=0.23; NO=0.14
PIR	0.56	0.05	0.12	HCl=0.07
Chipboard	0.45	0.02		NO=0.16; NH ₃ =0.02
Wool	0.19	<0.01	<0.04	SO ₂ =0.21; NO=0.10; NH ₃ <0.01
Mineral wool	0.18	<0.01	<0.04	NH ₃ <0.01
PUR(flexible)	0.14	0.02	0.04	NO=0.14; HCN=0.04; CO=0.02
FR4 laminate	0.13	0.13	0.09	HBr=1.48; HCl=0.24; CO=0.13
Optical fibre cable	0.085	0.13	0.09	HCl=15.7; HBr=0.49
Bitumen	0.039	0.07*		
PVC	0.035	0.12		HCl=10.3
Fluorocarbon cable	0.011	0.08		HF=9.1
PVC cable	0.0062	0.19		HCl=11.3
Plywood	0.0056	0.06		
PVC +fluorocarbon cable	0.0040	0.19		HF=10.7; HCl=7.77
Wool	0.0032	0.006*		
Polyethylene cable	0.0032	0.03*		
Polyethylene pellets	0.0010	0.02		
Sofa; full-scale experiment	0.17	0.3*		

* 이 시험에서는 일산화탄소와 이소시아네이트만 분석되었음

위해서는 측정된 값을 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health, www.cdc.gov/noish/idlh/intrid14.html)에서 발행하는 IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health) 값과 비교해 보면 된다. 표2는 대표적 물질의 IDLH 값과 시험에서 측정된 다양한 물질의 평균값의 비율을 보여준다. 표2의 마지막 제품인 소파를 제외하고, 표2의 모든 자료는 초과공기를 공급하는 조건에서 연소시키는 소규모시험에 의한 것이다.

산소가 충분한 상태의 연소시에는 표2에서 볼 수 있는 높은 위험성이 있는 일산화탄소 또는 시안화수소 농도가 거의 발생하지 않는다. 그럼에도 불구하고 많은 물질에 있어 고농도의 이소시아네이트가 발생한다. 이소시아네이트의 IDLH 값이 특정한 하나의 물질(TDI, 톨루엔-디-이소시아네이트)에 근거하고 있음과 표2의 자료는 연기 속의 모든 이소시아네이트들의 합계에 근거하고 있음을 명시하여야 한다. 하지만, 다른 이소시아네이트들은 TDI와 비교하여 거의 동등한 독성을 갖는 것으로 간주된다.

표2를 보면, 이소시아네이트가 일산화탄소보다 더 위험한 것인지에 대한 해답을 알 수 있는데, 많은 화재시나리오가 이소시아네이트가 인명에 가장 민감한 위험요소가 되는 상황을 실제로 만든다는 것이다. 더구나, 이소시아네이트는 일산화탄소 또는 시안화수소와는 달리 장기적인 건강문제(천식 등)를 유발할 수 있다.

폴리우레탄 제품의 열분해로 인한 더 큰 문제는 이소시아네이트와 더불어 발암성 아민이 발생한다는 것이다. 몇몇 이소시아네이트들도 발암성 물질로 분류된다. 그 시험연구 프로젝트에서는 비록 측정된 농도가 일반적으로 매우 낮기는

하였지만, 연기 속의 아민 농도도 측정하였다.

어떤 재료나 제품으로부터 발생하는 할로겐화물(플루오르, 염소, 브롬)의 위험농도에 대해서도 명시되어야 한다.

표2에서 대부분 재료의 연소는 초과공기 속에서 연소가 이루어졌다는 사실에 추가하여, 연기ガ스를 신선한 공기로 5배 내지 10배 묽게 할 수 있는 용량의 연기덕트 속에서 측정된 값이라는 것도 명시하여야 한다. 바꿔 말하면, 실제 연기농도는 표2에서보다 더 독성이 높을 수 있다는 것이다.

대규모시험(룸 화재시험)에서는 소파를 전소시켰다. 시험결과 룸 전체가 화염에 휩싸였으며, 표2에서 보는 바와 같이 엄청난 양의 일산화탄소가 발생하였다. 이 경우에도 역시, 연기 속의 이소시아네이트 농도는 연기의 인명안전위험에 커다란 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 이 경우 농도를 희석시키는 신선한 공기의 양은 소규모시험에서보다 더 많았다.

추가적 연구

몇몇 새로운 연구프로젝트가 계획되고 있다. 예를 들면, 가장 위험한 수준의 이소시아네이트를 발생시키는 화재형태에 대한 조사, 물질의 경년에 따른 영향의 조사 필요성 등을 들 수 있다. 연기 속의 이소시아네이트에 노출되는 사람의 개인보호장비에 대해서도 더 상세히 조사될 것이다. 중요하면서 연구조사 되지 못한 또 다른 영역은 화재로 인해 발생한 가스 및 입자가 폐조직과 접촉할 때 어떤 영향을 주는가이다. 이러한 지식은 화재위험과 방호필요성을 정확히 평가하려 할 때 필요하다. ☺

— BrandPosten(2003.6)

— 번역: 기술지원부 과장 강영은