화학합성재료의 연소성상 및 피해요인

HSB-PLC한국지사장 김원국

화학합성재료의 연소성상 및 피해요인

김 원 국

1.0 개요

플라스틱 공업은 아마 2차대전 이후로 가장 급속하게 발전한 기술중의 하나가 될 것이다. 실제로 여지껏 개발된 플라스틱의 종류 및 용도는 상상을 초월할 정도로 다양하다. 이렇듯 다양한 종류의 플라스틱도 하나의 공통점을 갖고 있는데, 그것은 이들 모두가 가연성 물질이라는 점이다. 어떤 플라스틱은 다른 종류에 비해서 연소 속도가 빠르기도 하고, 또 어떤 물질은 연소시 다량의 독성가스를 방출하기도 한다. 따라서 플라스틱은 평상시 여러가지 장점을 갖고 있으나, 화재시에는 인명과 재산에 막대한 손실을 초래하기도 한다.

플라스틱의 연소현상 및 독성가스의 생성등을 이해하고 그에 관한 시험방법등을 살펴 봄으로써 플라스틱 화재의 위험을 평가해 보도록 한다.

2.0 프라스틱의 분류

공학용 물질의 분류로써 고분자화합물은 비금속의 한가지 분류에 속하는데, 비금속류에는 자기류, 유리, 오일, 그리스, 윤활유, 종이 등이 있다. 고분자화합물은 다시 탄성체, 열가소성, 열환원성으로 표1에서와 같이 분류된다

POLYMERS

THERMOSETS	THERMOPLASTICS	ELASTOMERS
Alkyds	ABS	Butadien
Allyls	Acetals	Butyl
Epoxies	Acrylics	Fluoroelastomers
Melamine	Cellulosics	Hypalon
Phenolics	Fluoroplastics	Isoprene
Polyesters	Ionomers	Natural rubber
Polyurethane	Nylons	Neoprene
Silicones	Olefins	Nitrile
Urea	Polycarbonate	Polysulfide
and others	Polyester	Silicones
	Polyimide	Urethane
	Polystyrene	and others
	Vinyls	
	and others	

표1. 고분자화합물의 분류

탄성체 (Elastomers)

고분자화합물 중의 탄성체는 흔히들 합성고무라고 부르기도 하는데, 이는 그들이 고무와 같은 탄성을 갖고 있는데서 비롯된다. 대체적으로 이러한 부류의 고분자 화합물은 천연고무의 성질을 재현하거나 능가하도록 만들어 졌다. 연소특성 역시 천연고무와 유사하다.

열경화성 플라스틱(Thermosetting Plastics)

열경화성플라스틱은 제조공정에서 영구히 모양을 갖게 되며 열에 의해서 연화되지 않는다. 따라서 경화되기 이전상태로 되돌아갈 수가 없다. 열경화성 플라스틱은 액체상태의 모노마 상태나 부분적으로 폴리마가 된 상태의 몰딩 콤파운드
상태로 공급되며 이들은 열이나 가압상태의 열에 의해 성형된다.

열가소성 플라스틱(Thermoplastics)

열가소성 플라스틱은 열에 의해서 다시 연화되기 때문에 열로써 영구히 성형시킬 수 없다. 이들 열가소성 플라스틱류는 한도는 있지만 연속해서 재성형시킬 수 있다. 열에 의해 녹으면 액상으로 변하며 틀로 흘러들어간 후 냉각되면 성형이 된다. 열가소성 플라스틱류는 또한 사출성형이 되기도 한다(예: 전선 절연피복).

3.0 플라스틱의 화재특성

현재 사용되고 있는 대부분의 플라스틱은 전통적으로 사용되어 온 섬유소구조의 건축자재와 비교할 때 특별히 구분되는 화재 위험을 갖고 있지 않지만, 어떤 플라스틱류는 특별한 연소특성을 갖고 있다.

3.1 특수 화재특성의 문제점

기존 시험방법으로는 상대적인 화재 위험성을 예측할 수 없는 플라스틱류가 있다. 상이한 화재 조건은 매우 다른 연소 특성을 만들어 내는 것이다. 인명을 위협하고 재산에 막대한 피해를 입히는 이들 연소 특성들은 다음과 같다.

점화성 및 연소율: 플라스틱류는 일반적으로 목재나 기타 섬유질제품에 비교하여 높은 점화온도를 갖고 있으나, 아주 쉽게 점화되어 매우 빠른 속도로 연소하는 종류도 있다. 일반적으로 플라스틱의 표면연소확대속도(0.6m/sec)는 나무에 비하여 열배정도 빠른 것으로 보고되어 있다.

연기의 발생: 대부분의 플라스틱의 연소시에는 많은 양의 짙고 검은 연기가 발생한다. 난연성을 증진시키기 위해 첨가한 화학제품이 연기의 발생을 증가시킨다.

독성 가스: 모든화재의 경우 치명적인 가스가 발생하는 데, 일산화탄소가 그 주류를 이룬다. 그러나 플라스틱의 경우 그 종류와 화재 조건에 따라서 시안화수소, 염화수소, 포스겐등과 같은 맹독성 가스를 발생하기도 한다.

용융상태의 화재: 열가소성 플라스틱은 열을 받으면 녹아서 흘러내리게 된다. 화재 상황에서는 이러한 특성때문에 화재가 쉽게 번지기도 한다.

기존 시험 결과와의 차이점: "Bunsen burner" 의 소규모 시험에서 어떤 플라스틱류는 자소성(self-extinguishing)물질 혹은 난연성물질로 판단되어 안전하게 사용할 수 있다고 믿었다. 그러나 실제 화재에서는 이러한 물질들이 불꽃을 발하며 연소하였다. NFPA 225, Tunnel Test("Standard Method of Test of Surface Burning Characteristics of Building Materials)와 같은 다소 규모가 큰 시험에서도 이들 플라스틱류의 연소성 예측에 실패하였다.

부식성: PVC와 같은 플라스틱류의 화재후에는 금속표면 및 전기적으로 예민한 전자장비를 부식시킨 사실이 발견 되었다.

3.2 플라스틱 화재 시험(미국의 경우)

새로운 물질이 개발되거나 기존 물질을 사용한 새로운 공법이 소개되면 이를 사용하기에 앞서 시험을 거쳐서 이 물질의 화재 안전성을 확인하여야 한다. 그러나 앞 항에서 거론한 바와 같이, 작은 규모의 시험으로써는 정확하게 실제 상황에서의 연소 특성을 예측할 수 없다. 소규모의 시험에서는 점화성등을 판단할 수가 있고, 연소 특성등은 실제규모의 시험에서 발견할 수 있다. 실제 규모의 화재 시험에는 FM의 Corner 시험등이 있다. 아래의 그림1에서는 (a) 각기 다른 복사에너지에서의 PVC의 연소시 염화수소(HCl) 발생량 과 (b) Ohio State University Release Rate Apparatus를 이용해서 측정한 몇가지 물질의 연소열 방출량을 보여주고 있다.

ASTM(American Society for Testing and Materials)과 UL(Underwriters Laboratories)에서 실시하고 있는 소규모의 인화성 시험종목을 소개하면 다음과 같다.

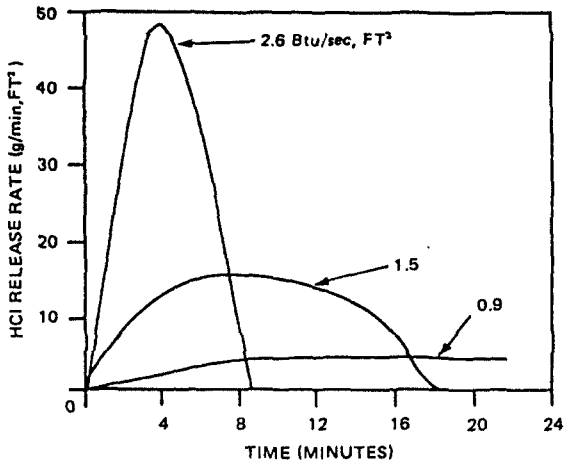

그림1.(a)PVC 연소시 염화수소 발생량

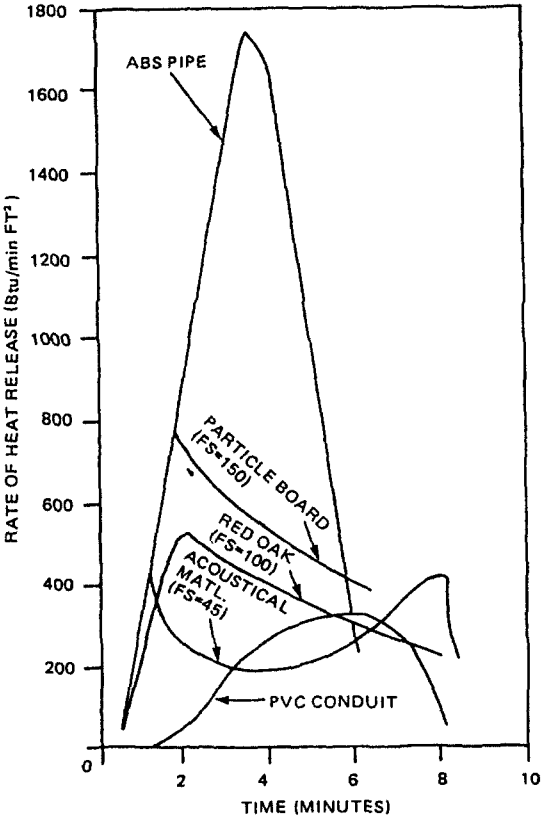

그림1.(b) 연소열 방출량

<ASTM>

D229-82, Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation(연소속도 및 내화성능 포함)

D568-77, Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Flexible Plastics in a Vertical Position

D635-81, Rate of Burning and/or Extend and Time of Burning of Self-supporting Plastics in a Horizontal Position

D1929-77, Ignition Properties of Plastics(Pilot 불꽃으로 점화 시키기 전에 시편을 Setchkin로에서 예열시킨다)

D2843-77, Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics

D2863-77, Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candlelike Combustion of Plastics(Oxygen Index)

D3675-78, Surface Flammaability of Flexible Cellular Materials Using a Radiant Heat Energy Source

D3713-78, Measuring Response of Solid Plastics to Ignition by a Small Flame

D-3894-81, Evaluation of Fire Response of Rigid Cellular Plastics Using a Small Corner Configuration(mini-corner test)

<Underwriters Laboratories>

UL 746A - Polymeric Materials - Short-Term Property Tests

UL 746B - Polymeric Materials - Long-Term Property Tests

UL 746C - Polymeric Materials - Use in Electrical Equipment Evaluations

UL 746D - Polymeric Materials - Fabricated Parts

UL 94, Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and

Appliances

Hot Wire Ignition Test: 13x127㎜ 크기의 시편을 니크롬선으로 5회 감은 후에 5분동안 가열하여 점화가 되는 시간을 측정한다.

High Current Arc Ignition Test: 2개의 전극 사이에 시편을 넣고 1분간 40회씩 5분간 방전을 가한다. 점화되기 전까지의 방전회수를 고압방전점화지수로 삼는다.

Vertical Burning Test: 13x127㎜ 크기의 시편을 수직으로 설치한다. 19㎜ 크기의 파란색 불꽃을 10초 동안 시편 하부에 댄다. 불꽃을 떼어낸 후 연소하는 시간, 시편 및에 깔아 놓은 면이 시편에서 흘러내린 불꽃에 의해서 착화하는지의 여부에 따라서 UL94V-0, 94V-1, 94V-2 등으로 분류한다.

Horizontal Burning Test: 수직연소시험과 같은 크기의 시편을 수평으로 설치한 후, 25.4㎜ 크기의 파란색 불꽃을 30초 동안 시편 끝에 댄다. 일정한 연소 거리내로 연소가 끝나면 94HB로 분류된다. 94-5V는 좀 더 심한 환경의 시험이고, 94HBF, 94HF-1, 94HF-2등은 포움플라스틱의 등급이다. 복사열에 의한 시험은 ASTM E-162로써 가능하다.

<정부기관의 시험>

교통부(DOT): MVSS-302에 의해서 자동차 실내장식으로 쓰이는 플라스틱의 수평연소속도를 측정한다.

해안경비대(US Coast Guard): Subchapter T, 6명이상의 여객선의 선체를 만드는데 쓰이는 수지를 제한한다. 또 ASTM E-136을 기준으로, 여객선의 실내장식에 쓰이는 물질의 난연성 기준을 확립하고 있다.

소비자제품안전기구(US Consummer Product Safety Commission): 카페트, 카텐류, 어린이들의 잠옷류, 침구류 등의 점화성에 대한 지침서가 있으며, 현재 담배불에 의한 가구류의 점화 시험을 개발 중이다.

원자력규제의원회(Nuclear Regulaory Commission): IEEE 383, 케이블의 내화성 시험.

3.3 독성 시험 방법

화재시 발생하는 연기의 독성을 측정하기 위해서는 실험실에서 정량적인 방법을 사용한다. 농도에 따른 반응을 보기 위해서는 설치류의 동

물을 사용하여 일정시간 동안에 각기 다른 농도에 이들을 노출 시키는 실험을 한다.

다음은 동물 실험 결과를 나타내는 방법이다:

EC50 - 정해진 시간동안 독성 가스에 노출되었을 때, 50%의 동물들이 영향을 받은 경우.

LC50 - 정해진 시간동안 독성 가스에 노출되었을 때, 50%의 동물들이 죽는 경우.

IC50 - 정해진 시간동안 독성 가스에 노출되었을 때, 50%의 동물들이 무력화 되는 경우.

연소 가스의 독성을 측정하는 방법에는 적어도 최소한 다섯가지 방법이 있다. 이들 다섯가지 방법에는 DIN, FFA, NBS, PITT 그리고 USF등이 있으며 이들 방법들은 이미 연소독성분야에서 인정을 받고 있다.

DIN Method: 독일의 DIN 53 436 시험 방법으로 연소 장비를 지정하고 있으며, 시험 방법 및 동물의 반응 모델등은 아직 초안으로 마련되어 있다. 연소 가스를 공기로 희석하여 각기 다른 농도에서의 동물의 반응을 기록한다.

FAA Method: 미연방항공관리국(US Federal Aviation Administration)에서는 튜브타잎의 연소로를 사용해서 시험하며, 일정 온도에서 실험용 쥐들이 무력화 그리고 죽는데까지의 시간을 측정한다.

NBS Method: 미국표준국(US Natioonal Bureau of Standard)에서 컵형태의 연소로를 사용해서 자연발화점 바로 아래 및 바로 위 온도로 시험하는 방법임. 쥐를 사용하여 농도 및 그에 따른 반응을 시험하는데 농도의 변화는 연료의 무게로 조절하게 된다. 시편의 표면적과 복사시간을 조절함으로써 가스의 농도를 변화시키는 복사열연소로 방법도 있다.

PITT Method: PITT 방법은 피츠버그대학에서 개발한 방법으로써 열균형로(thermobalance furnace)내에서 가열된 시편으로 부터 발생하는 연기에 실험용 쥐를 노출시키는 시험이다. 농도에 따른 반응, 사망까지의 시간, 호흡의 변화등의 생물학적정량분석을 한다.

USF Method: 샌프란시스코 대학에서 개발한 USF 방법은 돔챔버방법(Dome Chamber Method)로도 잘 알려져 있다. 작은 도움 모양의 방에 튜브로로 부터 발생된 연기에 실험용 쥐를 노출 시킨다. 시편의 무게

를 변화 시키면서 농도에 따른 반응을 실험한다. 무능력화 까지의 시간 및 사망 까지의 시간을 측정한다.

이들 다섯가지 실험의 중간과정에 포함되어 있는 화학분석 방법은 거의가 비슷하다. 각자의 방법은 CO, CO2, O2 등을 측정한다. 추가적으로 HCN 과 HCl과 같은 가스들은 이들 실험에서 선택적으로 측정될 수 있다. 혈중에서 일산화탄소와 결합된 헤모글로빈(COHb)포화정도의 측정은 DIN 이나 NBS 실험방법에서만 가능하다.

4.0 플라스틱화재의 소방

질산섬유소(Cellulose Nitrate)이외의 플라스틱류들은 일반 연소물질로 분류된다. 따라서 소화 방법도 Class A 화재 방법과 동일하다. 효율적인 소방시설에는 스프링클러설비, 소화전설비, 물소화기등이 있다. 그러나 전기화재 및 유류화재로 이어질 수 있는 경우 이러한 화재를 진압할 수 있는 특수 자동 및 수동 소화설비를 고려해야 한다.

플라스틱은 물리적 형상에 따라 연소상태가 변하게 된다. 용기(자루, 드럼, 상자)에 담긴 몰딩용 플라스틱 입자들은 내부까지 산소가 공급되기 힘들다. 내부까지 산소의 유입이 쉬운 경우에는 연소 초반부터 연소속도가 매우 빠를것이다. 플라스틱화재의 경우 녹아 흘러서 화재가 전파되는 경우를 고려하여야 한다. 이경우 연소중인 플라스틱뿐 아니라 인근 화재에 노출된 플라스틱도 식혀 주어 플라스틱이 녹아 흘러서 점화되는 것을 막아야 하는데, 이경우 효과적인 소화 방법이 스프링클러 시스템이다. 스프링클러 설계시에는 연소열량 및 연소 속도등을 고려하여 살수량 및 헤드 작동 온도와 속도를 결정하여야 한다.

플라스틱 화재시에는 많은 열과 연기, 독성 가스등이 발생하게 되므로 자동소화 설비와 함께 배연(열)설비를 고려해야 한다.

이상의 내용은 National Fire Protection Association에서 발간된 Fire Protection Handbook에서 주로 인용하였다. 끝으로 플라스틱화재에 관한연구를 하실 분들을 위하여 관련서적을 소개한다.

Bouge, R.J.1979."Spirit of 746". UL Lab Data. Underwriters Laboratories, Northbrook, IL.

FMRC. Various dates. Loss Prevention Data of the Factory Mutual System. 1151 Boston-Providence Turnpike. Norwood, MA.

1. 1-57. Rigid Foamed Polyurethane and Polyisocyanurate for Construction
2. 1-58. Foamed Polystyrene for Construction
3. 1-59. Reinforced Plastic Pannels in Construction

Gaskill, J.R.1970."Smoke Development in Polymers During Pyrolysis or Combustion." Lournal of Fire and Flammability. Vol 1. July 19790. pp183-216

Katz, Cassel and Collier.1978. Plastic Designs and Materials. Mcmillan Publishers, London, England.

Modern Plastics Encyclopedia. 1984-85. Vol 56 No 10A. 1979-180. ed.McGraw-Hill, NY.

NBS.1983. Fire Hazard Evaluation of Shipboard Hull Insulation and Documentation of a Quarter-Scale Room Fire Test Protocol. NBSIR 83-2642. National Bureau of Standards. Washington,DC.

Parker, W.J.and Long, M.E.1972. "Development of a Heat Release Rate Calorimeter at NBS." ASTM Special Technical Publication 502. ASTM, Philadelphia.PA.

PRC.1980."Fire Research on Plastics: The Final Report of the Product Research Committee." Product Research Committee. John W.Lyons, Chairman. National Bureau of Standards. Washington,DC.

SPI.1977. Fire Safety Guidelines for Use of Expanded Polystyrene in Building Construction. WPS-301. EPS Division. The Society of the Plastics Industry Inc. Des Plaines,IL.

SPI.1975. Fact-Finding Reports of the EPS Division. The Society of the Plastics Industry. Des Plaines,IL:

1. Flammability of Expanded Polystyrene Insulation Used in Construction with Gypsum Wallboard.
2. Flammability of Expanded Polystyrene Insulation When Used as Full-Scale Building Enclosure Ceiling Construction Material.
3. Flammability of Expanded Polystyrene Insulation Used in Conjuction with Plywood Paneling.
4. Flammability of Exposed Polystyrene Insulation (With and Without Wooden Dividers).

SPI. Various dates. Bulletins of the Urethane Safety Group. Society of the Plastics Industry Inc. 355 Lexington Ave.NY 10017.

1. U-100R. Fire Safety Guidelines for Use of Rigid Polyurethane Foam Insulation in Building Construction.
2. U-102R. An Update Report on Findings of Fire Study of Rigid Celluar Plastic Materials for Wall and Roof Ceiling Insulation.
3. U-103. Large-Scale Corner Wall Fire Tests of Spray-On Coatings Over Rigid Polyurethane Foam Insulation.
4. U-104. Model Code Provisions Pertaining to Rigid Polyurethane Foam Insulation.
5. U-105. Evaluation of the Fire Performance of Carpet Underlayments.
6. U-106. Fire Safety Guidelines on Flexible Polyurethane Foams Used in Upholstered Furniture and Bedding.
7. U-107. Room-Scale Compartment Corner Tests of Spray-On Coatings Over

Rigid Polyurethane Foam Insulation.

Troup, W.W.J.1969. Cellular Plastics and the Building Fire Problem. Factory Mutual Research Corp. Norwood, MA.

UL.1969. Report on Flammability Study of Cellular Plastics, File NC522. The Society of the Plastics Industry. Underwriters Laboratories Inc. Northbrook, IL.

UL.1975. Flammability Studies of Cellular Plastics and Other Building Materials Used for Interior Finishes. Subject 723. Underwriters Laboratories Inc. Northbrook, IL.