

화재현상과 재료의 연소특성에 관한 연구

이 지 섭 / 건축구조부 선임연구원

1. 서론

최근 씨랜드 수련원 화재와 같은 어처구니없는 대형 화재사고가 발생하였다. 발생 원인은 여러 가지 있겠지만, 가장 근본적인 원인은 매스컴에서 지적하였듯이 원칙을 무시하는데서 오는 안전 불감증일 것이다. 불이 위험하다고 인식하는데 비해, 화재에 대한 방어는 소홀한 것 같이 보인다. 왜냐하면 화재에 있어 매우 상식적인 것들에 - 실내에서 사용하는 내장재는 난연재료 이상의 것을 사용하여야 그나마 불에 안전하다는 것등 - 무관심하기 때문이다. 화재가 어떻게 일어나는 지, 또 어떤 방식으로 진행되는 지, 자세히 아는 것은 정말 어려운 문제이다. 그러나 일반적으로 생각 할 수 있는 물질연소는 많은 연구자들에 의해 파악되고 있지만, 그것 자체가 수치적, 이론적으로 이루어진 것이다. 본고에서는 그런 이론을 중심으로 화재에 대한 기초적인 화재현상을 정리하고, 재료의 연소성에 대한 일반적 사항을 소개함으로써 화재 발생을 억제시키고, 발생시 소화나 피난에 쉽게 대처 할 수 있도록 하고자 정리하여 본다.

2. 화재사고의 최근 동향

화재의 발생장소마다 출화건수, 인명피해 및 재산피해

표1 '98년도 장소별 화재피해 현황
(인명피해:부상자/사망자, 재산피해:전원)

화재장소	출화건수	인명피해	재산피해
건물	19,322	1374/375	118,327,666
선박	188	7/10	1,064,572
차량	5,377	109/50	11,404,497
항공기	1	0/2	251,550
기타	7,849	289/68	28,672,875
계	32,664	1,779/505	159,721,160

를 조사해 보면 아래 표1에서 보는 바와 같이 건물화재가 압도적으로 다른 것과 구별되고 있다. 다시말하면, 화재라하면 건물화재라 생각해도 좋을 것이다. 건축에 관련 된 사람에게 있어서는 방화의 필요성을 부르짖고, 실행에 옮겨야 한다. 화재사고는 인명손실과 재산손실과의 2가지 상관관계를 갖는 재해인 것은 다른 사고와 마찬가지로 다르다.

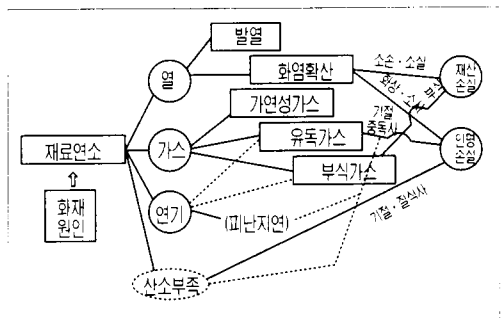


그림1 재료의 연소와 화재 손실

이것을 재료가 타는 관점에서 정리해보면 그림1과 같이 나타낼 수 있다. 내화건축물 화재에서 사망자가 매우 많이 나오는 경우가 주목되는 곳은 여관화재, 복합빌딩 화재이다. 구체적으로 말하면 내장재로 인한 사망 일 것이다. 매스컴 등에서도 이제는 소사(燒死)로 보도하는 경우는 적어졌지만, 여전히 사망원인에 대한 인식부족이 여론을 지배하고 있다. 최근 화재에서 보더라도 명백한 것처럼 충분히 피난 할 수 있는 상황에서 인명이 손실되는 이유는 특히 주목된다. 이것은 이제는 "소사가 아니라 유독가스에 의한 중독사나 산소부족에 의한 질식사이다"라고 생각하는 것이 적절한 것이다. 설계상, 피난기능이 부족하였다고 하더라도, 사고현상은 다음과 같은 최근

의 경향을 나타내고 있다고 하여도 과언은 아니다.

1) 내화건축물화재라도 목조에 뒤떨어지지 않는 급격한 화재 확대를 나타내는 경우가 있다.

2) 내장, 가구류의 다양한 취향과 더불어 가연물량이 절대적으로 증대했다.

3) 재료의 종류가 급격히 다양하게 되었고, 종래와는 다른 연소성상을 나타내는 것이 나오게 되었다.

4) 감지, 통보, 피난, 소화, 방화의 상호기능을 재검토할 필요성이 높아졌다.

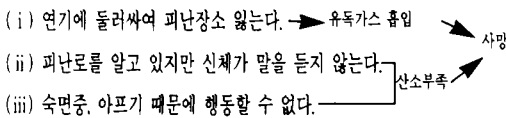
이상의 경향을 재료의 관점에서 검토하고, 문제점을 정리한다면 다음과 같다.

a) 새로 첨가된 재료는, 연소특성을 보다 광범위한 각도에서 다시 검토할 필요가 있다

b) 재료의 방화성능을 통일적으로 평가 할 수 있는 시험방법의 확립과 체계적 정리가 필요하다.

c) 재료의 방화성능 check list, 사용기준이 재료설계를 골자로 하여 실용화될 필요가 있다.

a)에 관하여는 실제화재와 재료의 연소특성을 유기적으로 연결하여 검토하는 것이 중요하다. 왜냐하면 "어떤 원인으로 생명을 잃었는지"를 해명하는 중요한 열쇠가 숨겨져 있기 때문이다. 화재에서 사망 예를 보면 shock 사 이외에는 사망전에 어떤 일들을 자기판단으로 행동하였는지에 대한 행적을 볼 수 있는 점은 중요하며, 이것과 화염, 연기, 유독가스, 산소와 관련시켜보면 다음과 같은 죽음에 이르는 경우를 생각할 수 있다. 앞의 도식과 관련하여



에 이르지만, 실제 문제로서 허용치 문제와도 관련되어 불확정사항이 매우 많은 것이 현재의 상태이다.

3. 화재의 진전단계와 요구되는 성능

실제의 건물에 화재가 일어났을 때 발화로부터 화재의 진전이 수반되는 각 단계는 대략 그림2처럼 된다.

물론 엄밀하게는 건물의 규모, 개구부, 가연물량 등에 따라 상당한 변화가 있다. 화재의 각 단계에 대응하는

재료의 안전성을 고려할 때, 연소성이나 열적성질을 정리해보면 다음과 같다.

a) 출화시--출화원에 의한 가열로서 착화하는지 안하는

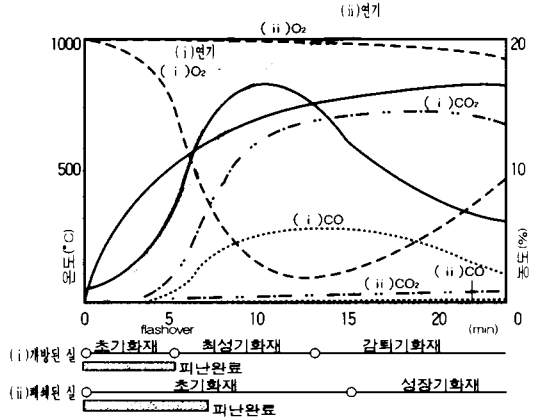


그림2 화재진전의 개략도
(i)은 목조화재와 유사한 형상을 나타내는 경우(화재가 급격히 성장) : 화재가 위험
(ii)는 개구부가 작은 내화건축물의 화재(타지않고, 연기만 계속난다) : 연기·CO가 위험

지 또는 착화하여 그대로 자기연소를 계속하는지, 자기소화성이 있는지 등이 문제이다.

b) 확대시--자기연소가 대규모로 확대하는지 않는지, 또는 그것으로 발생한 연기, 가스의 유해성이나 산소 소비성은 어느 정도가 되는지 등이 문제이다.

c) 최성기시--간막이나 문 등의 변형, 균열에 의한 화염이나 연기의 타 구획으로전파, 구조체의 내력저하가 어느 정도인가가 문제가 된다.

더욱이 재료의 방화성능에 대해서 생각해보면, 다시말해서 방화성, 재료에 요구되는 성능을 그림2와 대비해서 생각하면 잘 이해 할 수 있을 것이다.

- 연소에 대한 성능(착염성, 화염전파성, 연소성)
재료가 불이 붙는지, 착화하여 어떻게 불꽃이 확대해가는지, 연소속도와 발열량 등이 문제가 되는 성능이다. 화원이 되는 불꽃을 제거하고 나서의 잔진(afterglow), 자기소염이라고 하는 것은 직접 방화성능과 그다지 관련이 없다고 생각해도 좋을 것이다.
- 발연에 대한 성능(발연성)
재료를 연소시키면, 특별한 화학약품이 없는 한 연기

가 발생한다. 이 연기에 의해 심리적 압박이 피난시의 행동을 이상하게 한다. 또 빛의 차단이 시야를 방해하여 짧게 하고, 더욱이 연기의 화학성분이 점막에 자극을 주어 고통을 배가 시킨다.

3) 발생된 가스에 대한 성능

연기와 더불어 연소생성물에 포함되어 있다. 연기의 농도와 가스의 유해성과는 일치하지 않으므로 개별로 판단 할 필요가 있다. 시험이 복잡하고, 판단이 곤란하므로 연구의 진척이 더디어 문제는 많이 있다.

4) 차열에 관한 성능(열전도, 변형)

화재열을 차단하기 위해서는 재료의 열적성질을 조사해야 한다. 특히 열전도율·열용량이 직접 요인이 된다. 실제적인 문제로는 재료 단독의 문제보다도 공법상의 문제가 크다. 따라서 재료의 팽창·수축·균열·용융·분리·분말화 등의 요인이 크게 관계한다.

4. 연소조건

일반적으로 연소가 일어나려면 가연물, 산화제, 열 3가지를 생각해야한다. 이들을 3요소라 한다. 즉 연소란 가연성의 물질이 산소와 화합하는 산화반응중에 그 반응열이 커져, 그 열에 의해 피산화물질이 발광에 이르는 현상을 말한다. 그러므로 이들 3개중 1개라도 없으면 연소는 일어나지 않는다.

1) 가연물질

가연물질로서는 산화되기 쉽고, 그 결과 다량의 열을 유지하는 물질이면 좋다. 대부분의 유기물이 그렇다. 유기물은 무기물과 다르며, 비교적 저온 영역에서 열분해를 일으켜 다량을 열을 방출한다. 또 열분해의 활성이 있는 고체 유리탄소가 생성되어 밝은 불꽃을 발생한다. 그외 가연성물질로는 금속성이나 가스상 인 것이 있고, 전자는 마그네슘, 알루미늄, 나트륨 등이 있다. 나트륨은 물과 반응하여 수소가스를 발생시켜 격렬하게 연소한다. 후자는 일반적으로 가연성가스라고하며 산화제와의 혼합조성이 일정범위에 있는 것이다. 즉 연소범위에 있어 열에너지가 주어지면 폭발적으로 연소하는 것이다. 무색

투명의 가스이며, 일반적으로 가연성물질보다 위험성이 크다. 수소, 일산화탄소, 프로판가스 등이 있다.

2) 산소원

연소반응을 일으키려면 가연성물질에 대하여 산소를 공급할 필요가 있다. 그것들의 대표적인 산소원은 공기이지만, 화약처럼 물질자체가 산소분자를 안에 포함하여 그것을 사용하여 연소하는것도 있다.

3) 열원

산화반응을 일으키려면 산소-가연성물질의 반응계에 충분한 활성화에너지를 줄 필요가 있고, 통상 이 에너지는 가연성물질을 가열시킨다고 하는 형태로 주어지고 있다. 또 물질과 물질을 마찰시킬 때에 열을 축적해서 발화점 이상이 되어 연소하게 된다. 이처럼 마찰에 대한 열원도 있지만, 통상은 가열시킨다고하는 형태가 대다수이다.

5. 연소형태

가연성물질의 연소는 고체, 액체, 기체, 각각 형태가 다르며 또 산소의 공급방법에 따라서도 다르다.

1) 증발연소

말할것도 없이 액체는 표면에서 발생한 증기가 공기중의 산소와 혼합하여 연소한다. 가솔린이나 알콜이 연소하는 경우에는 액체의 가솔린이나 알콜 자체가 연소하는 것이 아니고, 액체표면에서 발생한 가연성증기가 공기중의 산소와 액면상의 혼합조성이 생겨, 이것이 연소범위에 있는 경우 발화에너지에 의해 연소에 이르는 현상을 말하며, 이것을 증발연소라 한다. 따라서 액체 자체가 연소하는 것이 아니므로 액체의 온도는 별로 상승하지 않는다. 액체중에서도 가솔린이나 알콜처럼 인화점이 낮은 것은 상온에서도 증발이 일어나므로 조그마한 점화원으로도 증발 연소가 일어나지만, 석유나 경우는 성냥으로 연소시키려해도 좀처럼 연소시키기 어렵고, 어

느정도 열을 가하여 액체온도를 상승시키지 않으면, 증발연소가 일어나기 어렵다. 또 고체에서도 파라핀과 같은 것은 가열에 의해 용융된 액체가 표면증발하여, 그 증기가 연소한다. 이러한 고체의 수는 적지만 유황이나 유지 등의 연소도 이런 형태를 취한다.

2) 분해연소

목재나 석탄 등의 유기물질의 고체는 가열하면 분해가 일어나고, 그 온도에 따라서 각종 분해가스(CO, 수소, CH₄ 등)가 발생한다. 이것을 열분해라하고, 이것에 의해 발생한 가연성가스가 공기중의 산소와 혼합하여 연소하는 현상을 분해연소라 한다. 그런데 열분해라고 하는 현상은 유기물질의 고체가 가열되었을 때, 그 온도에 대응한 속도에 따라서 분해생성가스를 발생하여 점차 기체로 변화하는 현상이다. 이 생성가스에는 가연성가스도 있고 탄산가스나 수증기와 같은 불연성인 것도 있다. 또 셀룰로오스와 같이 직접고체로부터 탄산잔재를 남기고 기체로 되는 것도 있다. 어떤 속도로 어떤 생성물이 발생하는지는, 물질의 종류와 가열온도에 따라 다르다. 플라스틱처럼 가열에 의해 용융하여, 그 후에 분해가 시작되는 것도 있다. 액체에 있어서 증발과 고체의 열분해에 의한 연소에서는 고체의 경우 열분해라고하는 과정이 사이에 들어 있기 때문에 비교적 고온을 요하므로 분해연소는 일어나기 어렵다.

3) 표면연소

앞의 2가지는 어찌거나 증발·열분해에 의해 발생한 가연성가스가 연소하는 상태이지만, 고체의 연소에는 분해연소하는 것 이외에, 열분해가 일어나기 매우 어려운 물질은 그 자체가 연소한다. 산소원은 물질의 표면에 흡착한 산소분자이며, 표면만이 연소해가므로 이것을 표면연소라 한다. 표면연소하는 물질은 가연성기체가 관여하지 않으므로 발염을 수반하지 않는 연소형식이다. 그렇기 때문에 무염연소라고도 한다. 그러나 어떠한 경우에 있어서도 연소가 일어나기 위해서는 혼합조성과 에너지의 2조건이 갖추어져야 한다. 얼핏 보기에 숯의 연소 등

에서는 연소한계가 없는 것처럼 보일 수 있지만, 실제로는 보통 연소범위가 기체혼합물의 경우에 비해 대단히 넓다. 표면연소를 하는 것으로는 숯·코크스·금속성물질(마그네슘, 알루미늄) 등이 있다.

4) 확산연소

가스 난로에서 가연성가스를 연소시킬 경우, 공기구를 조절하여 가연성가스와 공기를 혼합시켜 연소시키는 것을 혼합연소라 하며, 그리고 나서 공기구를 닫고 산소의 공급을 주위의 공기로부터 확산에 의해 연소시키는 것을 확산연소라 한다. 후자는 산소의 공급을 주위의 공기에 의존하고 있으므로 일부를 제거하여서는 화염의 위치나 형상이 바뀌지 않는 정상연소이다. 또는 확산에 의해 공기가 흡입된 만큼만 반응이 일어나므로, 연소는 불충분하며, 바람 등의 영향을 받기 쉽다. 전자는 미리 가연성가스와 공기를 적당히 혼합한 것을 점화원에 의해 점화하므로 반응도 빠르고, 온도도 높아 폭발적인 연소를 일으킨다.

5) 자기연소

보통 가연성물질이 연소하고 있는 경우에 산소의 공급을 끊으면, 산소부족으로 질식현상을 일으켜 불은 꺼져 버린다. 이것은 가연성물질과 산소가 따로따로이기 때문에 연소의 3요소중 1개가 없어서 꺼지는 것을 의미한다. 그러나 화약처럼 그 물질자체의 분자내에 산소를 포함하고 있는 것은 연소하여, 대기중의 산소를 필요로 하지 않으므로 물질자체의 산소를 소비하여 연소한다. 이 연소의 형태를 자기연소라 하고 산화반응이 대단히 빠르므로 폭발적으로 연소한다. 로켓연료에는 이런 물질이 사용된다.

6. 연소범위

가연성 물질은 그것이 고체, 액체, 기체 어느 것이나 본질적으로 발생하는 가연성가스와 공기와의 혼합가스가 연소한다. 연소가 일어나기 위해서는 혼합조성과 에너지 2가지의 조건이 동시에 만족되는 것이 필요하다.

이 가연성물질과 산화제의 혼합조성이 열원에 의해 연소가능한 범위를 연소범위라 한다. 혼합조성에는 한계가 있어 하한계와 상한계가 존재하며, 그 범위 이외에서는 아무리 큰 열에너지를 주더라도 연소는 일어나지 않는다. 하한계와 상한계의 존재 이유에 대해서는, 반응계중의 연료 및 산소분자의 어느 것이든 한 쪽의 수가 과잉되면, 열의 발생과 방산의 조화가 되지 않아, 연료분자와 산소분자의 유효한 충돌이 감소하기 때문에 일어난다. 따라서 연료분자가 적은 쪽을 하한계 많은쪽을 상한계라 하고 이 양한계의 범위를 연소범위라 한다. 일반적으로 물질에 의해 연소범위는 결정되고 있지만, 온도나 압력 등의 조건이 변화하면 그것에 따라 변화한다. 천연가스-공기 혼합계의 예를 보면, 압력이 증가함과 동시에 상한계는 현저하게 증가하는 경향이 있지만, 하한계는 그것만큼 큰 변화를 나타내지 않는다. 이 압력의 증가에 따라서 상한계가 늘고, 연소범위는 넓어져 위험성은 커진다. 표2에 각종 가연성 기체의 연소한계 그림3, 그림4에 각각 천연가스-공기혼합기의 연소한계에 대한 압력의 영향. 메탄가스-공기혼합기의 연소한계에 대한 온도

의 영향을 나타냈다. 또한 가연성 물질이라도 공기중의 경우에 연소범위는 그 정도 넓어지지 않고, 심한 경우에는 거의 연소하지 않을 때도 있지만, 상대가 공기 일 때에 비해서 산소중에서는 연소범위가 넓어지고, 공기중에서 연소하지 않는 것이라도 산소중의 넓은 범위에서 연소하는 것이 있다.

7. 인화와 발화

1) 인화

물체를 170 ~ 180°C 이상의 온도로 가열하면 상당한 속도를 갖고 열분해를 일으키고 CO, CH₄, C₂H₄, H₂, 유기산, 알데히드 등의 가연성 기체와 CO₂, H₂O 등의 불연성 기체를 발생하지만, 연소까지는 상당한 가열을 계속해야 한다. 그리고 이 물체에 점화원을 주면서 가열을 계속해 가면, 불꽃을 일으켜 발화하는 현상을 인화라 한다. 이것은 물체의 열분해 생성가스의 농도가 연소한계에 들어 조성조건과 에너지 조건이 만족되기 때문이다. 또 액체의 경우에는 표면에서의 증기의 발생이라는 단계가 있어 표면상의 혼합조성에 에너지가 충족되면 연소한다고 하는 것은 앞에서도 기술한 것처럼 알고 있다.

그런데 액면상의 증기압은 clausius-clapeyron의 법칙에 따라 온도가 관계한다.(식으로 나타내면 $P = c \cdot e^{-L/RT}$ 이다).

여기서 L: 증발열, R: 가스정수, C: 정수, P: 증기압
증기압 P의 대수와 절대온도 T의 역수를 양축으로 취해 연소한계에 대응하는 온도를 구하여 인화점을 알 수 있다. 이것을 Cox선도에 의한 표시라 하며, 그림5에 각 액체의 Cox선도를 나타냈다.

여기서 액체가 연소범위 내에 있는 증기를 발생 하는 온도가 되면, 혼합조성조건은 명확히 만족되어 있으므로, 혼합기의 연소에 필요한 점화원이 있으면 즉시 연소 할 수 있다.

이와 같이 혼합기의 연소에 필요한 점화원이 있는 경우의 발화를 인화라하고, 연소에 필요한 증기를 발생 하는 온도를 인화온도라 한다. 이처럼 액체의 증기압 및 고체의 분해생성물의 농도는 액체나 고체의 온도에 지

표2 각종 기체의 공기중에서 연소한계

기 체	연소한계(%)	
	하한계	상한계
수소	4.0	75
일산화탄소	12.5	74
메탄	5.3	14
프로판	2.2	9.5
n-헥산	1.2	7.5
아세틸렌	2.5	81
메탄올	7.3	36
에탄올	4.3	19
벤젠	1.4	7.1
암모니아	16.0	25
가솔린	1.4	7.6

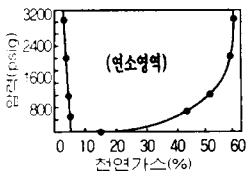


그림3 천연가스-공기의 연소한계

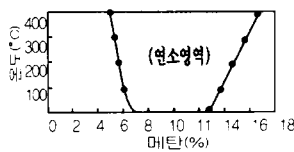


그림4 메탄의 연소범위에 대한 온도

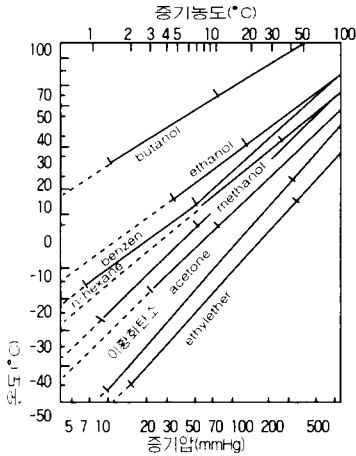


그림5 액체의 Cox 선도

배된다. 이 가연성물질이 연소범위에 들어 인화를 일으키려면 일정한 가열온도가 필요하다. 이 온도를 인화점이라하며 인화점이 낮은 물질은 위험성이 크다. 일반적으로 액체인 것은 인화점이 낮고, 고체의 경우에는 열분해가 시작되기까지 어느정도의 가열을 하여야하므로 인화온도는 높아진다. 표3에 인화성 액체의 인화온도를 표4에 목재 인화온도를 나타내었다.

2) 발 화

앞의 인화에서 기술한 것처럼 가연성 물질을 가열하면

표3 각종 액체의 인화점

화합물명	인화점(°C)
아세트알데히드	-27
아세톤	-18
벤젠	-11
이황화탄소	-30
시크로헥산	-17
시아화수소	-32
니트로벤젠	88
톨루엔	4

표4 목재의 인화점 및 발화 온도

수 종	밀도(g/cm ³)	인화점	발화온도
오동나무	0.23	269	435
삼목	0.32	240	435
노송나무	0.35	253	446
벗나무	0.36	257	442
가문비나무	0.42	262	437
후박나무	0.48	268	436
너도밤나무	0.56	272	415
느티나무	0.76	264	426

고체의 경우에는 열분해에 의해 가연성가스, 액체의 경우에는 증발현상에 의해 가연성증기가 각각 연소범위에 있다면 인화하는 것을 알 수 있다. 발화현상이란 연소한계에 있는 가연성물질과 산소의 혼합기, 다시말해 가연성 혼합기를 더욱 가열함으로써, 계내의 온도상승이 이루어지고, 화학반응의 결과 발생하는 열이나 특수한 화학종의 양이 증가하여, 혼합기내의 발열속도와 전도 등에 의한 방열속도의 밸런스가 무너져, 전자가 화학종의 파괴속도를 상회하고 계내의 온도가 급격히 상승하여, 연소가 일어나는 것을 말한다. 이 때 발화에 이르는 온도를 발화온도라 한다. 그림6에 목재 발화형식, 표4에 각종 목재의 발화온도를 나타냈다.

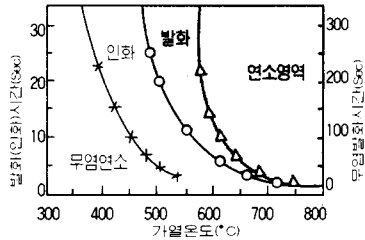


그림 6 목재발화의 형식

8. 고온시에 있어서 재료의 성능

재료에는 각각 고유의 성능이 있지만 고온시에는 상온과는 대단히 다른 성능을 나타내는 것이 많다. 따라서 고온시, 구체적으로는 화재의 온도영역에서의 각 재료의 성능을 파악해, 요구되는 성능을 만족하는 재료를 선정해야 한다. 고온시에 중요시 되는 성능의 개략을 아래에 기술한다.

1) 화재의 온도

화재는 다음과 같은 과정을 밟아 가는 것이 일반적이다.

- 가연물에 착화현상이 일어나는 출화
- 출화원이 벽, 천장으로 확대하여 폭발적으로 일어나는 flash over
- 가장 화세가 강한 화재 최성기
- 그리고 불이 붙은 가연물의 진화

화재시 온도는 화재 최성기에 최고를 나타내며, 목조에 서는 약 1,100 ~ 1,200°C 되는 것이 보통이며, 이 고온도의 연속시간은 짧고, 길더라도 수분에 끝나며, 이후 온도는 급강하한다. 이것에 대하여 내화구조의 최고 온도는 목조보다도 조금 적어 약 1,000°C 전후이지만, 지속시간은 길며, 2 ~ 3시간에 이르는 경우도 있다 어찌든 최고온도를 1,200°C로 하고 이것 이하의 온도 영역에서의 재료성능을 파악하면 충분할 것이다.

2) 열분해, 연소

열분해개시 온도나 연소개시 온도가 높은 정도의 것이 방화상 좋은 재료라고 할 수 있다. 이 성능은 목질계·플라스틱계의 유기질 재료에 요구되는 것으로, 내장재 등의 열분해·연소의 난이성은 flashover에 이르기까지의 시간을 좌우하며, 화재의 성장에 크게 영향을 미친다. 또 이들에 수반되는 연기·유해가스의 발생도 자주 문제가 되기도 한다. 또 무기질에서도 석회암·대리석 등의 석회질 재료는 약 800°C의 고온에서 열분해를 일으켜 탄산가스를 방출하여 강도가 현저하게 저하 된다.

3) 연화·용융

플라스틱·유리·금속등은 온도가 높아지면 연화·용융하여 탈락이나 변형을 일으키고 또 강도의 저하를 초래하여 본래의 기능을 상실한다. 따라서 사용부위의 온도조건을 고려하여 유리섬유를 넣은 강화 플라스틱·망입유리 등의 성능이 좋은 것을 사용해야 한다. 강재의 용점은 1,400 ~ 1,500°C로 높고, 용융의 걱정은 없지만 낮은 온도에서도 휨변형이 커지므로 구조부재에서는 강재 표면을 안전온도로 보존하기위한 내화피복재를 입힌다.

돌·콘크리트·석고·석면 등은 연화·용융하기 전에 결정수의 방출 등에 의해 조직이 붕괴한다.

4) 팽창·수축

재료의 열팽창·열수축은 균열·변형 등의 원인이 되고 콘크리트처럼 팽창하는 골재와 수축하는 시멘트페이스트(cement paste)가 혼재된 것에서는 조직이 헐거워

져, 강도저하·붕괴를 초래한다. 따라서 열팽창계수가 작은 것이 바람직하다. 열수축은 자유수·결정수의 방출에 따른 것이 일반적이다.

5) 결정수의 방출

콘크리트·석고·석면 등 처럼 결정수를 갖는 것은 가열되면, 이것을 점차 방출하고 최종적으로 조직이 붕괴한다. 따라서 이 현상은 강도저하의 큰 요인 중의 하나이다. 방출이 시작되는 온도가 높은 정도의 것이, 고온 성능에 좋은 것은 당연하다. 콘크리트에서는 약 260°C로 결정수의 방출이 시작되지만, 석고에서는 약 100°C에서 방출이 시작되고, 190°C에서 이수석고에서 반수석고로 옮겨지고, 200°C 이상에서 무수석고가 된다. 이 때문에 석고의 조직붕괴는 비교적 저온시에 일어난다. 석고보드 등의 방화성은 이 결정수의 방출에 영향을 받는 것이 많다. 석면(溫석면)의 결정수는 400 ~ 500°C에서 방출을 시작하기 때문에 석면 시멘트 등은 약 500°C에서 급격한 강도저하를 볼 수 있다.

6) 열전도

화재에서는 직접 화열을 받는 것 외에, 전열(傳熱)에 의해 바탕재가 착화하거나 구조부재의 내력이 저하되거나 하는 것이 많다. 그래서 사용부위에 따라서 재료는, 예를 들면 내화피복재와 같이 열전도율이 적은 것이 요구되는 경우가 있다. 일반적으로 열전도율은 비중에 비례하여, 예를 들면 보통 콘크리트보다도 경량콘크리트 쪽이 작다. 그러나 단열성에 얽매이면, 강도 등의 성능을 저해하는 경우도 발생하므로 주의를 요한다.

9. 재료의 연소에 관한 고찰

재료의 열분해 특성은 재질에 따라 대단히 다르다. 따라서 분해에 수반된 연기·가스발생은 복잡한 연소반응에 기인한 것이고, 순리적으로 발생량이나 발생속도를 산정하는 것은 매우 어려우며, 실험이 큰 의미를 가지므로 그때의 조건설정이 중요하다. 건축재료 등의 복잡한 조성을 갖는 경우, 발생 煙霧質의 화학조성을 이론적으

로 예측하는 것은 불가능에 가깝지만 열분해 반응의 늦음과 빠름을 결정하는 것은 가능하다. 이것을 알음으로서 연소특성의 개략을 파악하는 단서를 얻을 수 있다.

고체가 열분해 해가는 과정은 대개 일성분계의 해리반응으로 볼 수 있으므로 일차반응에 가깝다고 예상된다. 즉, $\frac{dw}{dt} = k(w_0 - w)$ (k : 반응속도정수, w_0 : 분해가능량, w : t 시간까지 분해량)

k 는 온도의 함수이며, 아레니우스 법칙에 따른다고 하면 $k = k_0 \exp(-\frac{E}{RT})$ (k : 빈도인자, E : 활성화에너지, R : 가스정수, T : 절대온도)가 되는 관계가 있다. 지금 어느 일정온도에서 열분해를 한 경우 R 이 일정하다고 할 수 있으며, w_0 도 일정하다고 할 수 있으므로(엄밀히는 온도의 함수로 보아야 한다) 위의 식은 쉽게 적분할 수 있어 $\ln(\frac{w_0}{w_0 - w}) = kt$ 즉 일차반응으로 간주하면 $\ln(\frac{w_0}{w_0 - w})$ 와 t 는 일정한 직선관계를 갖는다.

1) 유기재료

유기질재료라하면 가연성으로 취급되는 경향이 있다. 일반적으로, 유기재료는 300°C 이하에서 탄화·연소·용융등의 변질을 일으키고, 무기질재료와 비교하여 열적안정성이 떨어진다. 그러나 비중이 비교적 작으므로 전열성이 우수하거나, 열응력에 대해 강하고, 조각이나거나 폭발이 일어나기 어려운 것도 특징이다. 목재·종이·포목·플라스틱등의 유기재료의 연소는 소위 분해연소의 형태를 취한다. 즉 가열에 따라 이들 재료는 열분해를 일으키고, 분해생성가스 중의 CO, H₂, CnHm등의 가연성가스와 분해탄소가 공기 중의 O₂와 화합하여 연소한다. 이 때 점화원을 가하면 상기 가연성가스와 공기의 혼합기가 발염연소 할 경우를 인화, 점화원이 없이 재료의 고체표면이 착화하는 경우를 발화라고 한다.

2) 무기재료

통상의 화재에 의한 가열정도로는 연소하지 않는 돌·콘크리트·철등의 재료가 대상이다. 따라서 이들 재료에서 문제가 되는 고온성상은 전열·변형·폭렬·강도저하 등이지만, 변형·균열·강도저하·붕괴등의 현상은

재료의 열팽창·수축에 의한 것이 많다. 가열시 수축이 일어나는 것은 결정수의 방출이 크기 때문이라고 생각할 수 있다. 열팽창계수의 절대치가 큰 것은 가열시에 변형이 격심하다고 할 수 있지만, 이 계수의 값은 재료의 종류·가열온도에 따라 꽤 다르다. 따라서 사용부위의 조건을 충분히 고려하여 재료를 선택 할 필요가 있다. 연화·용융에 관하여는 건재에 관계 있는 무기재, 즉 알루미늄(용점 658°C)·화강암(성분중의 석영의 제1 변태점 575°C)·대리석(생석회로 이행하는 반응이 활성화 되는 온도: 약800°C)을 고려해 두면 방화공학상에서는 충분할 것이다.

10. 맺는말

화재와 관련된 업무를 생각하면, 화재감지기·스프링클러설비등 각종 소화설비에 대한 연구, 홍보가 대부분이지 않았나 생각된다. 각종 건물에는 화재 발생시를 대비하여 여러 종류의 소화설비, 피난설비등이 설치된다. 그러나 대개의 설비들이 실제 상황시 관리 소홀등으로 그 기능을 발휘하지 못하는 일이 종종 발생한다. 관리상의 어려움, 노후등 여러 원인에 기인 한다고 생각된다. 이와 같이 설비들은 그 운용등에 어려움이 따른다고 생각 할 수 있다. 사후약방문처럼 이미 벌어진 상황에 대한 손해의 최소화를 꾀하는 것도 좋겠지만, 화재가 어떤 경우에 일어나는지, 어떻게 진행되는지, 즉 화재 현상 및 진행상황등을 이해하고 교육, 홍보 된다면 화재 발생 전 또는 발생후 예컨대 화원의 규모, 내장재료의 종류, 실내 가연물량, 개구부의 크기등에 따라 플래시오버에 이르는 시간이 약3분에서 8분정도라는 기초적인 것을 이해한다면, 그 시간 내에 소화 할 수 있는 적절한 소화 시설을 갖추는 것은 물론 화재 발생 억제 및 지연시키기 위해 실내 마감재의 난연처리 등의 조치에 대해서도 감히 소홀하지 않을 것이라 생각된다. 따라서 응용분야인 설비적 측면을 더욱 발전시키기 위해서도 화재 현상 및 진행상황등에 대한 기초적인 사항들을 정리하여 볼 필요가 있어 본고에서 정리하여 보았다. (FLK)