

가스화재의 성상과 소화방법

박 인 수
(시험소 연구원)

1. 서언

가스화재는 최근 많이 일어난 콤비나트 화재를 예로 알수있는 바와 같이 발생시에는 우선 가연성 가스의 누설이 시작되며 뒤이어 인화, 폭발한다. 그리고 그후 잔류된 가스가 연소하나 통상 이것이 다 탈때까지 수수방관 하는 것이 현 실정인 것이다. 이것은 잘못 소화작업을 행하면 2차적인 인화 폭발을 일으켜 사실상 소화가 불가능 하게 되기 때문이며 가스화재의 소화 후 계속하여 가연성 가스의 발생을 억제하지 않는다면 오히려 소화하지 않는 편이 좋다는 것이다.

일반 사람들은 가스화재를 소방대가 소화하지 않는데 있어서 종종 비난의 소리를 하기도 하지만 끄고난 후를 생각하기 때문이라고 말하지 않을 수 없다. 그점에서 소화가 가능하지 않은 것이 아니고 가능하지만 소화하지 않는 것이며 소화 후의 확실한 수단이 없으므로 “안전하게 태우고 만다” 라고 말할 수 있다.

따라서 가스화재의 소화는 소화제를 사용하여 소화 하는것 보다는 화재의 원인이된 “것”을 물리적으로 관리하는 수단을 강구해야만 한다.

2. 가스화재

가. 가스 화재의 성상

가스배관 또는 가스용기로 부터 누설된 가연성 기체에 불이 붙어 연소가 지속되고 있는 상태 즉, 가연성 가스의 공급이 차단되지 않은 상태에서 불이 붙은 경우를 가스화재라 부른다. 가스화재에 있어서는 소화하여도 가연성 기체의 공급이 정지되는 것은 아니므로 화원이 있다면 언제라도 재 착화하여 소화하기 어려운 성질을 가진다. 가스화재는 화염에 의하여 다른 가연물에 착화하는 위험성이 높은 화재이다. 따라서 이 화재에는 화염에 도달하는 거리(화염길이) 및 화염내의 최고온도(화염온도)가 특성으로서 중요하다.

(1). 화염길이

가스화재의 경우 그 성상으로 부터 알수있는 바와 같이 화염은 확산 버어너 화염과 모양이 같다. 형상은 가연성 기체의 특성 이라 든지 그 흐름의 상태에 의존한다. 가연성 기체의 흐름의 상태를 대표하는 레이놀즈수 $Re=dv/\nu$

(d:가연성기체가 유출하는 구경

v :유출구에서의 평균속도

ν :동점성계수)에 따른 화염변화의 모양을 그림 1에 나타낸다.

Re 가 임계치 Re_c 보다 작은 범위에서는 화염

은 층류화염이고 그 길이 L_f 는 체적유량의 평방근에 비례하여 커진다.

$$\text{즉, } L_f = \alpha d \sqrt{v} \quad (Re \leq Re_c)$$

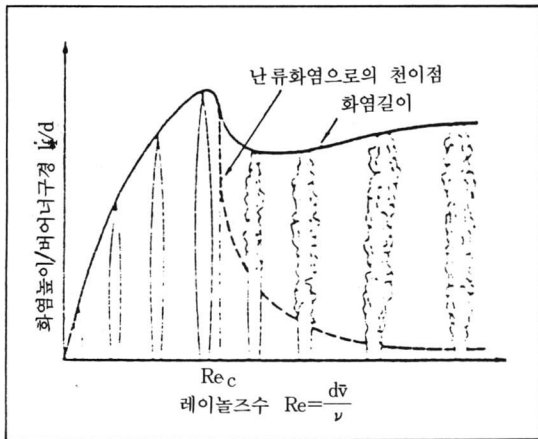
여기에서 α 는 계수이고 부탄화염에서는 약 8.55라는 값이 얻어진다.

Re 가 Re_c 보다 크게 되면 화염 선단으로 부터 흔들리기 시작하여 Re 가 커짐에 따라 흔들린 부분이 화염 기부에 까지 넓어져간다. 다시 Re 가 커져 10000 이상이 되면 화염은 가연성기체의 유출구로부터 떠오른다.

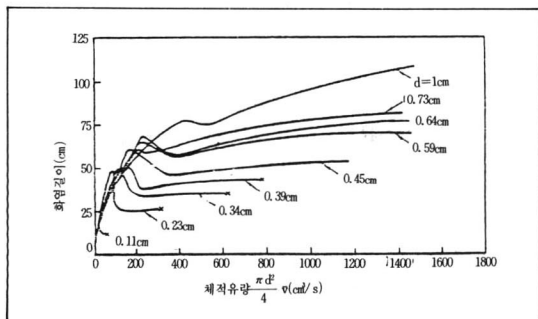
L_f 는 Re 가 Re_c 보다 커지면 일단은 감소하고 다시 조금씩 커지며 Re 가 Re_c 보다 훨씬 커지면 거의 일정한 값으로 된다. 이 일정치는 d 에 비례한다.

$$\text{즉, } L_f = \beta d \quad (Re > Re_c)$$

여기에서 β 는 계수이고 도시가스에서는 110이라는 값이 얻어진다.



(그림1) 레이놀즈수에 따른 확산 화염 변화모양



(그림2) 흐름속도에 따른 확산화염의 길이변화 (도시가스)

L_f 변화 모양은 거의 앞서 말 한 바와 같으나 상세한 것은 관경에 따라 어느정도 틀린다. 일에 로서 그림2에 여러가지 관경을 사용하여 도시가스의 체적유량과 화염길이의 관계를 조사 그 결과를 나타냈다. 관경이 큰만큼 난류화염으로 천이할 때의 $L_f d$ 의 값이 작게 됨을 알 수 있다.

Re_c 값은 가연성 기체의 종류에 따라 틀리고 2000~11000 사이에 분산해 있다. (표1)

(표1) 여러가지 가연성기체를 공기중에 유출시킨 경우에 형성되는 확산 화염의 임계 레이놀즈수 (Re_c)

가연성기체	Re_c
수소	2000
도시가스	3300~3800
일산화탄소	4800~5000
프로판	8800~11000
아세틸렌	8800~11000
수소	5500~8500
도시가스	6400~9200

이처럼 Re_c 가 넓은 범위에 분산하고 있는 것은 가연성기체에 따라 연소생성물의 밀도 또는 온도가 틀리며 동점성 계수가 그것과 함께 폭 넓게 변화하기 때문이라고 생각된다.

(2) 화염온도

확산화염의 온도는 가연성기체와 지연성기체의 조합 또는 연소 모양에 따라 틀리나 최고온도는 예혼합연소의 경우와 가깝다고 생각된다. 표2에는 공기를 지연성 기체로한 경우에 대표적인 가연성 기체의 연소에 의해 얻어진 온도를 나타낸다. 단, 확산화염에 있어서는 연소반응이 일어나있는 영역에서의 최고온도는 반응대에 위치하고 그것보다 가연성 기체측에서도 지연성 기체측에서도 온도는 낮다. 이것은 예혼합 화염에 있어서는 열손실이 없다면 화염면의 연소 생성물 측에서는 화염온도인 것과 대조적인 것이다.

(표2) 가연성 기체를 공기중에서 연소시킨 경우의 화염온도

가 연 성 기 체	당 량 비	화 염 온 도 (K)	가 연 성 기 체	당 량 비	화 염 온 도 (K)
벤젠	1.08	2365	산화에치렌	1.25	2411
n-부탄	1.13	2256	수소	1.70	2380
I-부텐	1.16	2319	메탄	1.06	2236
시크로부탄	1.15	2308	푸로판	1.14	2250
시크로푸로판	1.13	2328	푸로펜	1.14	2239
에탄	1.12	2244			

* 화산 버너 화염 : 가연성 기체를 확산연소시키는 경우에 가장 일반적으로 사용되는 화염이며 많은 실용 연소기중의 화염에서 볼수있다. 화염의 모양은 가연성 기체와 지연성 기체의 조합, 버너 컷수, 유량 등에 따라 틀린다.

3. 가스 화재의 생성조건

화재의 생성조건으로서 다음 3가지가 잘 거론되고 있다. 즉, 가연물, 산화제 및 착화에너지가 존재 해야한다는 것이다. 근년에는 이밖에 소화기구(消火機構)의 설명으로 부터 화염연쇄의 계속을 말하고 있으나 이것도 3번째에 넣어 착화 에너지의 존재와 계속으로 생각하면 옳다고 생각된다. 화재는 재해를 수반하는 연소 현상이다. 혹은 사람의 의지에 어긋나게 일어나는 연소현상이다. 그러나 연소현상이라고 말하는 관점만으로 본다면 보통의 화학현상과 다를바가 없다. 화학반응 이라면 우선 물질적으로 어떤 물질이 있어 이것이 화학변화하기 때문이다. 연소현상에 있어서는 2종의 물질이 있어 이것이 산화환원 반응을 하기 때문이고 한편, 산화제는 보통 화재에 있어서는 공기중의 산소이다. 환원제의 역할을 하는것이 가연물로서 지금 이 경우라면 가연성 가스라고 말하는 것이된다. 그러나 이 양자가 화학반응을 일으키기 위해서는 적당히 혼합되어 있거나 혼합된 상태로 되지 않으면 안된다. 전자의 조건의 혼합비는 통상 폭발 한계라고 불리고 있는 것으로서 어떤 혼합비 범위 내가 아니면 착화하지 않는것을 의미한다. 후자

의 경우에는 가연성 gas와 공기(실제로는 그중의 산소)가 상호 확산혼합하여 계속적으로 전자의 조건에 합치해 가는 것을 의미한다.

다음으로 에너지적으로 보면 산화제와 환원제의 혼합물에 반응을 개시하는데 필요한 활성화 에너지를 준다고 말하는 것으로 그것은 전기불꽃이기도 하고 마찰열이기도 하며 다른 불꽃이기도 하다. 이들은 각각 전기, 열, 화학등의 에너지 이나 이것에 의해 활성화 에너지를 부여 받으면 두개 물질의 혼합물 사이에 화학반응의 개시-결국 착화가 일어나며 그 후는 스스로 발하는 화학 에너지에 의해 연소를 계속한다. 그것은 연소가 발열반응이기 때문이다. 소화제의 작용에는 이렇게 발생하는 열에너지 또는 화학 에너지를 제거하여 그 목적을 달성하고자 하는 것도 있다. 따라서 가스화재의 발생에는 가연성 gas가 누설하여 공기중에서 혼합되고 다시 이것에 무언가의 형태로 발화에 필요한 활성화 에너지가 주어지는 것이 필수조건 이다. 또 화재가 계속되기 위해서는 가연성 gas가 계속해서 공급되고 화학반응의 계속을 방해하는 조건, 예를 들면 소화제의 혼입이 없어야 되는것이 충분 조건이 된다.

4. 소화제의 종류와 작용

소화제에는 다음과 같은 종류가 있으며 차례로 주성분과 작용에 관하여 설명하고자 한다. 불활성 gas는 공기중의 산소농도를 저하시키는 역할을 하며 통상 질소와 이산화탄소가 사용되

나 특수한 용도에는 헬륨, 알곤등도 고려해 봄직하다. 불활성가스는 자신은 소화에 사용되지 못하나 다른 소화제의 수송을 위해서는 사용된다. 하로겐화물 이라고 불리는 것은 하로겐화탄화수소, 그 중에서도 메탄과 에탄의 수소를 하로겐으로 치환한 것이다. F, Cl, Br, I의 순으로 효력이 있다고 말하나 가격면에서 앞의 3가지 조합품이 실용화 되어있다. 통상 하로겐번호로 불리나 이것은 C, F, Cl, Br, I의 순에 원자수를 붙이고 마지막 0은 생략한다. 하로 104는 사염화탄소로서 이것은 가스 그 자체 및 분해 가스의 독성이 강하기 때문에 사용되지 않고있다. 현재 하로 1211, 1301이 흔히 사용되고 있으며 하로 1011은 104와 같이 분해시에 포스젠을 내기 때문에 특히 주의할 필요가 있다. 또 가스 자체의 독성도 위에서 배열한 순으로 약해지나 어느것이나 화염중에서 분해하여 하로겐화수소를 발생한다.

분말소화제는 고체를 미분으로 하여 흡습방지와 유동을 좋게하기 위해 첨가물로 처리 또는 부가한 것으로서 주성분 으로서는 탄산수소나트륨, 탄산수소칼륨, 인산제1암모늄의 것이 사용되고있다. 이상 기술한 3종의 것은 가스계 소화제로 불리며 어느것도 화염속에 일정 농도 이상 혼합하면 화염중의 화학반응을 제어하는 역할을 한다.

불활성 가스는 주로 산소농도의 희석에 의하나 하로겐화물과 분말소화제는 화염중에서의 에너지 전달을 저해한다. 즉, 화염중에서 연쇄반응을 억제하는 작용을 발휘한다. 가스화재의 소화에는 이와같은 계통의 소화제가 그 목적에 합치 하고있다. 물 및 물의 소화효력을 증대시키기 위하여 여러가지 첨가제를 가한것도 사용된다. 물은 주로 큰 비열과 증발잠열에 의해 가연물을 냉각하므로 냉각력을 필요로 하는 것에는 사용 할 수 있으나 가스화재와 같은 것에는 주변의 냉각에 도움을 주는것만으로 화염을 직접 제압하는 것은 곤란하다.

포는 물이 그 자체로서는 기름화재 등에 적용되지 않으므로 고안된 것이다. 물과 같은 형태의 냉각효과 외에 포의 피복에 의한 공기의 차단효과가 있으나 가스화재의 경우에는 가스 분출력 때문에 포의 피복이 완전히 되지않으므로 소화하기 어렵다.

5. 가스 화재의 소화방법

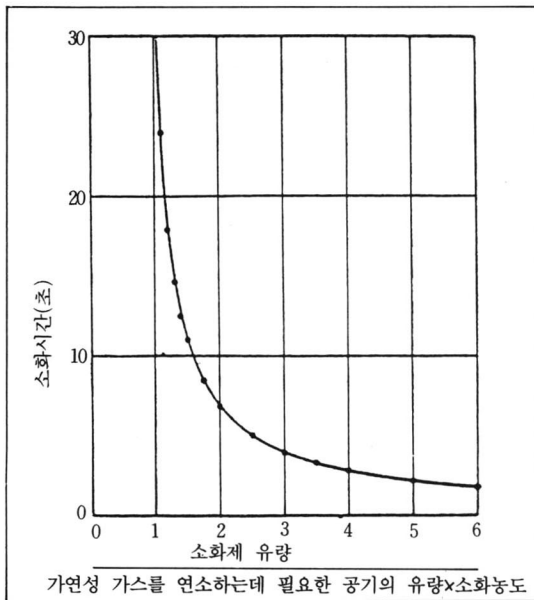
가. 소화제를 사용하는 방법

가스화재의 소화를 위해서는 앞에서 언급한 소화제중 가스계 소화제가 사용된다. 이 소화제는 화염중에서 소화제의 농도가 소화의 성패를

(표3) 각종 가연성가스에 대한 각종 소화제의 소화농도

	불활성가스(%)		하 로(%)				분 말 소 화 제(g/l)			
	질소	이산화탄소	1301	1211	1011	2402	탄산수소칼륨 주제	탄산수소 칼륨 주제	인산암모늄 주제	
가연성가스 희석	N ₂	CO ₂	CF ₃ Br	CF ₂ ClBr	CH ₂ ClBr	C ₂ F ₄ Br ₂	NaHCO ₃	KHCO ₃	NH ₄ H ₂ PO ₄	KC ₂ H ₃ N ₂ O ₃
아세치렌	42	35	7.0	7.2	8.7	5.2	—	—	—	0.17
일산화탄소	45	30	2.0	2.6	5.5	1.6	0.20	0.16	0.14	0.10
에치렌	31	25	4.4	4.6	3.6	3.0	0.24	0.16	0.14	0.12
염화비닐	20	15	2.9	2.8	11.7	1.9	—	—	0.14	—
수소	62	51	12.7	16.8	3.9	9.0	—	—	—	0.37
부타디엔-1,3	27	18	4.0	3.9	2.5	2.4	0.42	0.19	0.18	0.13
프로판	20	14	1.9	2.1	1.3	1.7	0.17	0.13	0.13	0.10
메탄	17	10	0.9	1.3		0.8	0.13	0.11	0.12	0.09
(참고) 가스	30	19	3.5	3.8	4.6	2.3	0.28	0.13	0.14	0.10

좌우하므로 그 양에 있어서 충분히 고려하지 않으면 안된다. 확산염에 대한 소화농도는 표3과 같다. 또 예혼합염에 대한 값은 이 값에 약50% 증가한다.



(그림3) 소화제의 유량과 소화시간의 관계

가스화재의 소화에는 소화제의 공급유량과 가연성 가스의 화염중에 흘러들어오는 공기의 유량과의 비를 표3의 값 이상이 되는 상태에서 일정시간 유지하고, 그 위에 소화제는 화염중에 균일하게 분포 하도록 배려하여 적용하지 않으면 안된다. 소화할 때 까지의 시간은 대개 그림 3에 나타난 정도로 충분하나 과열에 의해 주변 부분의 온도가 가스 발화 온도 이상이 되어있는 경우에는 소화제의 농도가 희박해짐에 따라 재착화 하므로 그 부분을 냉각하는 수단을 병용하거나 냉각할때 까지 소화제를 계속 방출해야만 한다. 그러나 가스계 소화제는, 물계통의 소화제는 펌프 하나로 연속적으로 방출할 수 있는 것과는 달리 일정용기에 들어있기 때문에 모두 방출해버리면 끝이므로 그점을 충분히 알아두지 않으면 안된다. 결국 부분적인 소화는 아무 소용이 없는 것이다.

또 이러한 종류의 소화제는 소화후라도 재인화 방지에는 완전히 무방비 상태이고 가스가 계속 누설되므로 재인화하여 폭발하는 점도 알아둘 필요가 있다. 이런 종류의 소화제로 소화하는 것은 어디까지나 일시 소화하여 다음에 가스 누설을 정지시키는 수단을 취하는 전제에서 행해야 하는 성질의 것이다.

나. 소화제를 사용하지 않는 방법

화재의 소화에는 앞에서 언급한 화재 생성조건 중의 어느하나를 제거하면 된다. 그 방법으로서 일반적으로는 소화제를 사용한다 그러나 소화제를 사용하지 않고 소화하는 방법도 있다. 게다가 가스화재의 경우에는 그 방법이 보다 적절하다고 느끼는 것은 소화제에 의한 소화가 완전한 위험정지는 아니기 때문이다. 화재 생성의 물적 조건은 가연물과 공기이나 공기는 우리들의 생활조건에서 볼 때 제거하기란 어려운 일이다. 그렇다면 가연물의 발생 내지는 공기와의 혼합을 피하면 된다. 가스가 유출된때에 가스와 공기의 혼합을 피하게 하기란 어렵다. 결국 가연성 가스의 발생을 억제 해야만 된다는 것이다. 통상 사용상태에 있어서 화재는 메인발브를 잠그는 것으로 소화 할 수가 있다.그와 같이 실제 화재에 있어서도 우선 이 방법으로 가연성 가스의 유출이 정지된다면 그대로 소화로 연결된다. 그러나 화재란 오히려 그러한 것이 불가능한 상태가 많다. 용기 또는 관이 파손되어 그곳에서 가스가 누출된다. 파손부위가 작다면 무엇인가로 막으면 되나 아주 크다면 막을 도리가 없다. 가스화재에서 소화제를 사용하지 않는 방법이란 가스의 누출을 막는 것이 된다. 그러기 위해서는 평상시에 관의 가능한 한 많은곳에 가스의 흐름을 폐쇄하는 밸브등을 설치해 둘 필요가 있다. 그리고 비상수단으로서는 임시로 관의 도중을 폐쇄하는 수단을 강구함에 진력해야 한다. 고무풍선을 부풀려서 막거나, 점성질의 고체(또는 액체)로 채우거나, 초고압으로 관을 압괴 시

켜 폐쇄하는 등의 방법을 생각 할수도 있다.

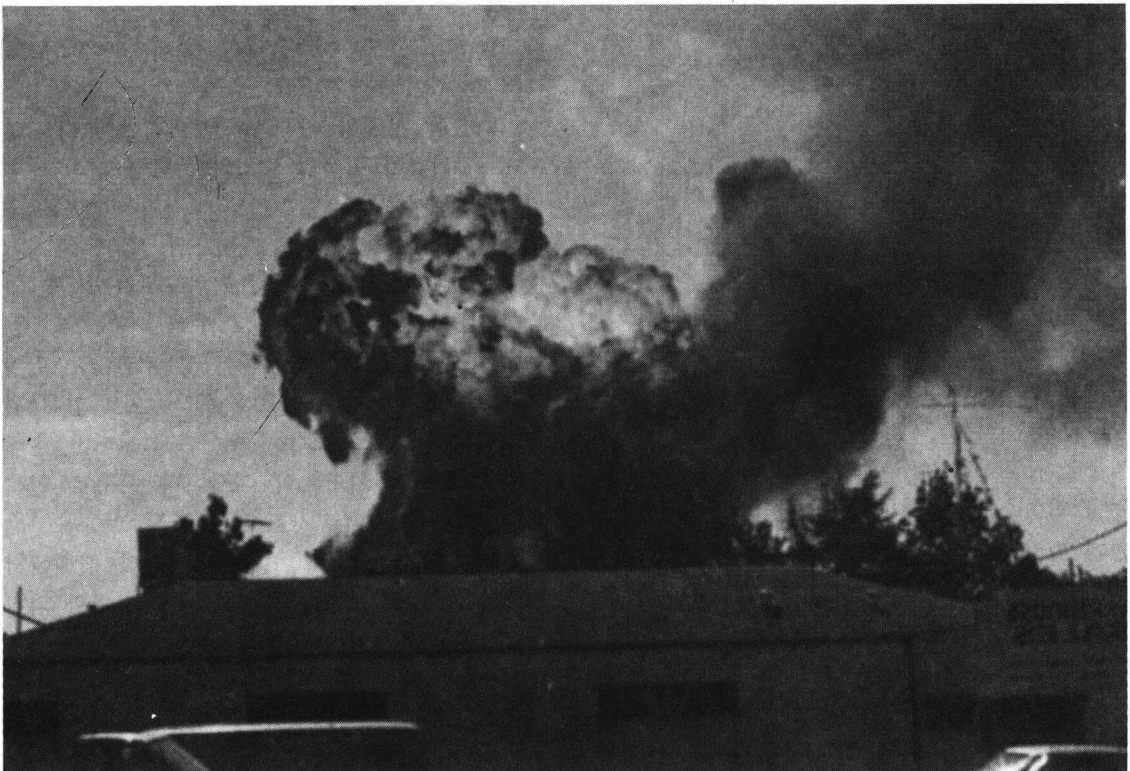
6. 결론

이상 언급한 것은 여러사람이 잘 알고 있는것이 많으며 지금 다시 거론할 필요가 없는 것인 지도 모르나 알고 있으면서 사고를 당하는 것은 결국 모른다는 것과 같다. 가스화재는 가연성 가스가 존재하고 그것에 착화원의 존재가 부가된 것에 의해 생기는 것이다. 소화에 소화제를 사용하는 것은 많은 경우 일시적인 방편에 지나지 않으며 완전 소화 하는 데는 가스 누출을

막지 않으면 안된다. 그리고 그것을 위해서는 결국 가스를 새지 않게 하는 예방수단이 무엇보다도 중요하고 효과적이라는 것을 재삼 강조해 두고 싶다.

참고문헌

- 가스화재의 소화방법
—화학공업사—
- 가스화재
—화재편람—



○LPG 가스 저장고 폭발 상황