

연구자료
화학연 95-5-14

금수성물질(禁水性物質)의 취급·저장에 관한 기술지침개발

1995. 12. 31



한국산업안전공단
산업안전연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 “산업안전연구 개발” 사업의 일환으로 수행한 “금수성물질(禁水性物質)의 취급·저장에 관한 기술지침 개발”의 최종 보고서로 제출합니다.

1995년 12월 31일

주관연구부서 : 산 업 안 전 연 구 원
화 학 연 구 실
연구수행자 : 선임연구원 김 관 응

목 차

제 1 장 서 론	1
1. 연구목적	1
2. 연구기간	2
3. 연구내용	2
제 2 장 금수성물질	4
1. 위험물	4
2. 금수성물질의 분류	8
가. 법규상 분류	8
나. 물질별 분류	10
3. 금수성물질의 위험성	35
4. 금수성물질의 시험방법	37
5. 금수성물질로 인한 재해사례	41
가. 국내	41
나. 해외	45
제 3 장 취급·저장시 안전대책	47
1. 일반적 주의사항	47
2. 금수성물질별 안전대책	49

가. 금속류	49
나. 금속수소화물	58
 제 4 장 소화대책	62
1. 소화제	62
가. MET-L-X 분말	62
나. Na-X 분말	62
다. 기타 소화제	63
라. 미특허등록 소화제	65
2. 소화방법	66
가. 알카리금속류	66
나. 기타 금속류	67
다. 금속수소화물	69
 제 5 장 결 론	70
 참 고 문 헌	71
 부 록	73
1. 국제연합(UN)의 위험물 분류	75
2. L.Bretherick의 「위험물 Handbook」에 기재되어 있는 금수성물질 ...	81
3. 금속화재시 사용할 수 있는 화학소화제	86

제 1 장 서 론

1. 연구목적

물은 가장 보편적이고 일반화된 소화제이지만, 이를 화재소화에 적용시에는 많은 주의가 필요하다. 연소상태에 있는 일반가연물의 소화에는 아주 효과적이지만 화학물질이 포함되어 있는 화재에서는 이들 물질과 물과의 반응성 및 주변상황 등을 고려하여 사용해야 한다.

화학적으로 연소상태에 있는 화학물질에 사용시 물질자체에 의한 것보다 더 중대한 사고를 일으킬 수 있다. 리튬(Li), 나트륨(Na), 칼륨(K) 등과 같은 금속화재나 이와 같은 금속을 포함하고 있는 물질의 화재시, 소화제로서 물을 사용하면 수소(H_2)기체와 같은 가연성기체가 발생되어 화재위험성을 더욱 확대시킬 수 있다.

화학적으로 활발한 상태에 있는 물질은 공기중의 수분이나 물과 접촉시 상당한량의 열이 발생될 수 있어, 열이 물질 내부에 축적되면 화염이나 전기불꽃과 같은 점화원이 없어도 발화하여 중대사고를 일으킬 수 있다. 이와 같이 물과 접촉하여 가연성기체를 발생시키거나 자기발열로 인해 위험한 상황을 만드는 물질을 금수성 물질(禁水性物質)이라고 한다.

일반적으로 금수성물질로 인한 사고는 적지만 물과 반응하여 자연발화를 일으키는 물질이 매우 다양하다는 특징이 있다. 알칼리금속류, 유기금속화합물류, 금속수소화합물류, 무기과산화물류, 금속탄화물류 등이 물과 접촉시 자연발화를 일으키기 용이한 물질로 유기합성공업이나 분말금속공업 등에서 다양하게 취급되고 있다.

금수성물질이 물과 반응시 발생할 수 있는 위험성은 수소나 아세틸렌과 같은 가연성기체를 발생하여 발화·폭발하는 것, 고온의 발열반응을 하는 것, 염화수소

(HCl)와 포스겐(COCl_2)과 같은 유독성기체를 발생시키는 것, 부식성이 매우 강한 강산과 강알카리를 생성하는 것, 부유하거나 비산하여 화재면적을 확대시키는 것 그리고 산소와 같은 조연성기체를 발생시키는 것 등이 있으나 가연성기체의 발생 위험이 보다 크다.

대부분의 사업장에서 금수성물질에 대해서 그 화학적 특성 및 잠재적 위험성을 충분히 인식하지 못하는 경우가 많아 이에 대한 적절한 대책이 요구되고 있다.

따라서, 우리 연구실에서는 금수성물질의 종류 및 물과의 반응특성, 안전한 취급·저장방법, 화재시 사용할 수 있는 소화제와 소화방법 등을 정리하여 사업장에서 작업자들이 물질의 화학적 특성을 이해, 숙지하고 위험성을 인지하여 안전한 취급과 화재시 적절한 소화를 통하여 재해예방에 기여할 수 있도록 기술지침서를 작성하여 사업장에 보급하고자 한다.

2. 연구기간

1995. 1. 1 ~ 1995. 12. 31.

3. 연구내용

본 지침서에서는 금수성물질과 관련된 국내외 관련자료에 기술된 내용을 정리하여 이들 물질에 대한 개념을 파악하고 물질의 물리·화학적 특성을 고려하여 물질별로 분류하여 정리하였다.

또한 물과의 반응에서 발생할 수 있는 위험성과 시험방법을 정리하여 각 물질별 위험특성을 파악하고 간단한 시험을 통해서 금수성물질을 확인할 수 있도록 하였다. 사고사례가 충분하지는 않으나 재해사례를 수집하여 정리하였다.

금수성물질중 특히 위험성이 큰 금속류와 금속수소화물의 안전한 취급과 저장방법을 제시하였으며, 일반적인 소화제 및 소화방법으로 소화가 매우 곤란한 금속화

재시 사용가능한 소화제를 정리하고 소화방법을 제시하여 금속화재시 적절한 소화제와 소화방법을 선택함으로써 피해를 최소화할 수 있도록 하였다.

또한 사업장에서 금수성물질을 손쉽게 찾아볼 수 있도록 하기 위해서 L.Bretherick의 위험물 핸드북에 기재되어 있는 금수성물질 목록과 금속화재시 사용할 수 있는 화학소화제를 참고문헌과 함께 부록으로 정리하여 찾아보기 쉽도록 구성하였다.

제 2 장 금수성물질

1. 위험물

위험성물질 또는 위험물이란, 어떤 형태이든 간에 잠재적인 위험성을 갖고 있는 물질을 말하는데, 일반적으로 화재 또는 폭발을 일으킬 위험이 있거나, 인간의 건강에 유해하든지 인간의 안전을 위협할 우려가 있는 물질이라고 한다.

1971년 미국 노동성의 산업안전보건청(OSHA)에서는 다음과 같이 위험물을 정의하고 있다. 즉, 위험물이라 함은 다음의 한가지 또는 그이상의 성질을 갖고 있는 물질을 의미한다.

- (1) 밀폐식(C.C)인화점이 60℃ 이하, 또는 자연발열을 일으키기 쉬운 물질.
- (2) 허용농도가 기체 또는 증기로서 500ppm이하, 연무로서 500mg/m³이하 및 분진으로서 25mppcf(1mppcf=1ft³당 100만 입자) 이하인 물질
- (3) 1회 투여의 경구 50% 치사량(LD₅₀)이 50mg/kg 이하인 물질
- (4) 다량의 발열을 동반하여 중합하기 쉬운 물질
- (5) 강산화성 또는 환원성 물질
- (6) 단시간 폭로로서 제1도 화상을 일으키든지, 피부접촉에 의하여 상해를 일으키는 물질
- (7) 일반작업중 한가지 또는 그이상의 상기성질을 가진 분진, 가스, 연무, 증기, 안개, 연기를 발생시키는 물질.

위험물질은 화학적 성질에 따라 가연성가스, 가연성액체, 이연성물질(易燃性物質), 가연성분체, 폭발성물질, 자연발열성물질, 금수성물질 및 혼합위험성물질 등 8가지로 분류한다.

또한 위험물질의 화학적 위험성에 따라 분류하면 반응위험성, 연소위험성, 유독 위험성, 부식위험성, 방사위험성 등으로 분류된다. 화학적 성질에 의해 분류된 위험물질에 대해 간단히 설명하면 다음과 같다.

가. 가연성가스

가연성가스류로 분류될 수 있는 위험성물질은 상온에서 기체상태인 가연성가스(예를 들면, 수소, 에틸렌, 아세틸렌, 암모니아 등)와 가연성의 액화가스(액화암모니아, 액화산화에틸렌 등) 및 가연성액체의 증기(에테르, 알코올 등)가 있다.

이와 같은 가연성가스는 공기(산소)와 혼합하여, 이 혼합가스의 조성이 어느 폭발범위(연소범위)에 있을 때 착화되면 화염은 순간적으로 혼합가스 속을 전파하여 가스폭발을 일으킨다.

나. 가연성액체

가연성액체는 가연성인데다 상온에서 액체이므로 액체로서의 유동성을 가지고 있어서 유출되면 광범위하게 퍼지고 또한 낮은 곳으로 흘러내려 표면에서 가연성 증기를 발생시키므로 발화원에 의해 인화 또는 가스폭발의 위험을 갖고 있다.

가연성액체의 위험성은 그 물질의 인화점에 의해서 나타나는데, 인화점이 비교적 낮은 가연성액체를 특히 인화성 액체(flammable liquid)라고 한다. 인화점이 상온이하인 것은 상온에서 항상 발화원에 의해 인화의 위험을 갖고 있다. 또한 인화점이 높은 가연성액체도 그것이 인화점 이상의 온도로 가열될 때 위의 경우와 똑같은 인화의 위험을 갖게 된다.

가연성액체는 인화점의 범위에 의해 분류되는데, 국내소방법에서는 제4류 위험물에 가연성액체를 규정하고 있으며 인화점에 따라 특수인화물, 제1석유류, 제2석유류, 제3석유류, 제4석유류 등으로 나누고 있다.

다. 이연성물질(易燃性物質)

종이, 형료, 실, 면 등의 섬유제품과 이들 부스러기는 화재시에 불을 자주 일으키는 물질이다. 이외에 목재, 석탄, 아스팔트, 펄치, 파라핀, 생고무, 황, 수지, 도료, 성냥 등과 같은 일반가연물과 연료류의 일부가 이연성물질로 분류된다. 이들 이연성물질의 위험성은 발화온도와 연소열로서 결정짓는다. 상온에서 고체인 것도 연소에 의해 용융되어 액체로 되어 유동성을 나타내기 때문에 위험성이 증가된다. 섬유류는 다공성으로 공기를 보유하여, 공기와의 접촉면적이 커져서 착화하기 쉽고 착화 후에도 완전히 소화하기가 어렵다. 또한 코르크와 발포성 합성수지도 다공성으로 보온성이 좋기 때문에 발화원에 의해 착화되면 용이하게 소화가 되지 않으며 불완전연소가 일어나 일산화탄소(CO) 등을 발생할 위험이 있다.

라. 가연성분체

이연성물질(易燃性物質)이 분체 또는 액적(液滴)으로 되어 공기중에 분산되어 있는 상태에서 착화되면 분진폭발(dust explosion)은 일으킬 위험이 있는데, 이와 같은 상태의 분진을 폭발성분진 이라고 한다. 이와 같은 분진폭발을 일으킬 수 있는 가연성 분체로서는 공기중에 분산되어 있는 석탄가루(炭塵), 황분(黃粉), 소맥분, 합성수지 분말(폴리에틸렌 분말 등), 금속분말(알루미늄, 마그네슘, 티탄늄 등), 중유액적(重油液滴) 등이 있다.

마. 폭발성물질

고체 또는 액체상태로 폭발성을 가지는 화합물을 폭발성물질(explosive substance)이라고 한다. 폭발성물질에는 그 폭발성을 공업적으로 이용할 수 있는 것과 너무 예민하여 실용성이 없는 것이 있다. 이 중에서 실용성이 있는 것을 화약류라고 일컫는데, 피크린산, TNT(trinitrotoluene), 니트로 글리세린(NG) 등과 같

은 폭약과 질화납(lead azide, PbN_6), 뇌홍($\text{Hg}(\text{CNO})_2$), 트리니트로레조르신납(lead trinitroresorcine) 등과 같은 기폭약 그리고 뇌관, 도화선, 신호염관(信號炎管), 연화(煙火) 등과 같은 발사약이 이에 속한다.

바. 자연발화성물질

외부로부터의 어떠한 발화원도 없이 물질이 상온의 공기 중에서 자연히 발열하여, 그 열이 오랜 시간에 걸쳐 축적되면서 발화점에 도달하여 결과적으로 발화·연소에 이르는 물질을 자연발화성 물질이라고 한다. 이와 같은 물질이 자연발열을 일으키는 원인에는 분해열, 산화열, 흡착열, 중합열, 발화열 등이 있다.

자연발화는 물질의 발열속도가 방열(放熱)속도 보다 커져서 평형이 깨져, 이에 따른 열의 축적이 일어나 발생하는 것이기 때문에, 열의 방열을 방해하는 인자는 자연발화를 촉진시키는 것이 된다. 자연발화성물질은 발열하는 원인에 따라 산화열의 축적에 의해 발열하는 것, 자연분해에 의해 발열하는 것, 중합 및 발효에 의해 발열하는 것, 발화온도가 낮은 것 등으로 분류된다.

사. 금수성 물질

공기중의 습기를 흡수하든지 또는 수분에 접촉되었을 때 발화 또는 발열을 일으킬 위험이 있는 물질을 금수성물질이라고 한다. 금수성물질중에는 수분과 반응하여 가연성가스를 발생하여 발화하거나, 수분과 반응하여 발열하는 것 그리고 염화수소기체와 같은 유독성 부식성의 기체를 발생시키는 것 등의 유형이 있다. 금속 나트륨, 알루미늄 등의 분말, 칼슘카바이드, 인화칼슘(Ca_3P_2)등은 가연성가스(수소, 아세틸렌, 인화수소)를 발생하고 삼염화인(PCl_3) 및 오염화인(PCl_5) 등은 유독성 부식성 물질(HCl)이 생성된다.

이와 같은 금수성물질로는 금속류, 유기금속화합물, 수소화합물, 금속수소화물,

과산화물, 탄화물 및 인화물류, 무기염화물, 등이 있는데 이들에 대해서는 이 보고서 제2장 물질별 분류에서 구체적으로 기술하고 L.Bretherick 위험물H/B에 나와 있는 금수성물질을 부록으로 하여 게재하였다.

아. 혼합위험성물질

2종 또는 그이상의 물질이 혼합하거나 서로 접촉함으로써 발화의 위험을 만드는 것을 혼합위험 또는 혼촉위험이라고 말하며, 이들 물질을 혼합위험성물질이라고 한다.

이와 같은 혼합위험은 물질을 혼합하면 혼합폭약과 유사한 폭발성 혼합물을 형성하는 경우와 물질을 혼합하면 동시에 발열, 분해하여 연소 또는 폭발을 일으키는 경우 그리고 물질을 혼합하면 서로 화학반응을 일으켜 민감한 폭발성 화합물을 형성하는 경우 등이 있다.

2. 금수성물질의 분류

가. 법규상 분류

위험성물질은 그 저장, 취급 등에 있어서 필요한 법규에 따라 규제가 있는데, 이와 관계가 있는 법규 및 규약은 국내에는 산업안전보건법, 소방법, 화약류 취급법, 고압가스취급법 등이 있고 국제적으로는 국제해상수송자문기관(Inter-Governmental Maritime Consultive Organization, IMCO)규약과 미국운수성(U.S Department of Transportation, DOT)규약 등이 있다. 이들 국내 및 국제적인 관계법규 및 규약은 위험성이 아니고 물질로 분류하고 있다.

위험물질의 분류방법을 통일하고 화재·폭발위험성, 부식성, 독성 등의 위험성을 가지고 있는 물질을 망라하기 위해서 국제연합(UN)의 경제사회이사회에 설치되어

있는 위험물 운송전문위원회(Committee of Experts of the Transport of Dangerous Goods)가 작업을 완료하고 권고하고 있다. UN분류는 위험물을 9가지의 류(class)로 분류하고 있는데, UN의 위험물 분류방법은 부록에 기재되어있다.

이 보고서에서 논의하고자 하는 금수성물질에 대한 법규나 규약에 나타나있는 정의는 다음과 같다.

(1) 국내법

(가) 산업안전보건법

산업안전보건법(산안법)에서 금수성물질은 발화성물질로 분류되고 있으며 “스스로 발화하거나 발화가 용이하거나 물과 접촉하여 발화하고 가연성가스를 발생할 수 있는 물질”로 정의하고 있으며, 발화성물질에는 가연성고체와 자연발화성 및 금수성물질이 이에 속한다.

(나) 소방법

소방법에서 금수성물질은 위험물 제3류 자연발화성물질 및 금수성물질에 속하고 “자연발화성 및 금수성물질이라함은 고체 또는 액체로서 공기 중에서 발화의 위험성이 있는 것 또는 물과 접촉하여 발화하거나 가연성가스의 발생 위험성이 있는 것”으로 정의하고 있다.

(2) 국제법

(가) 국제연합(UN)

국제연합에서 금수성물질은 class 4의 division 4.3 물과 접촉하여 인화성가스를 발생하는 물질(substance which, on contact with water, emit inflammable gases)에 속하고 “물과 반응해서 스스로 인화성으로 되거나 (물과 접촉하여 자연 발화하거나), 위험한량의 인화성가스를 발생하는 물질”로 정의하고 있다.

(나) IMCO 규약

국제해상자문기관(IMCO)규약에서 금수성물질은 class 4 가연성고체 중 division 4.3 물과 접촉하여 가연성가스를 발생시키는 물질에 속하며 “물과 접촉하여 가연성가스를 발생시키는 물질로 물과 접촉하여 가연성가스를 발생하고 또한 이때, 자연발화의 위험이 있는 고체 또는 액체물질을 말한다.” 라고 정의하고 있다.

(다) IMDG-code

IMDG-code(International Maritime Dangerous Goods code)에서 금수성물질은 class 4 가연성고체중 division 4.3 물에 젖으면 위험한 물질에 속하며 “물과 접촉시 인화성가스를 발생시키는 공통성이 있고, 때로는 발생된 가스는 반응열에 의해 자연발화가 용이한 경우나 습기, 물 또는 산과 접촉될 때 유독한 가스를 발생하는 물질”로 규정하고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 금수성물질은“물이나 공기중의 습기를 흡수하여 화학반응을 일으켜 가연성가스를 발생시키거나 많은 량의 열을 발생하여 발화의 위험이 있는 물질이라고 할 수 있다.

나. 물질별 분류

물은 가장 보편적이고 일반화된 소화제이다. 그러나, 물이 불을 끄는데 사용될 때에는 많은 주의가 필요하다. 물은 화학적으로 연소상태에 있는 물질과 작용해서 타고 있는 물질자체에 의한 것보다도 더 중대한 사고를 일으킬 수도 있다. 특히 화학적으로 활발한 상태에 있는 것은 공기나 물과 접촉될 경우 자연발화를 일으킬 수 있다. 점화원이 없어도 공기중에서 발화하는 물질을 자연발화성 물질이라고 하며, 이와 같은 물질중 물과 접촉시 위험한 상황을 초래할 수 있는 물질을 금수성 물질이라고 부르고 있다. 물이 위험한 상황을 만드는 경우는 수산화나트륨

(NaOH)이나 진한 황산(conc H₂SO₄)과 같은 흡습성 물질이 사고에 의해 공기중에 방출되는 경우 중대한 재해가 일어나게 된다. 물과 작용해서 화학반응을 일으킬 수 있는 물질에 부주의로, 아니면 소화시 물을 가하게 되면 중대한 재해가 발생되게 된다. 이러한 화학반응의 형태를 일반적으로 가수분해라고 부른다. 이와 같은 반응은 가연성물질을 방출하기도 하고 어떤 경우에는 유독한 물질을 발생하기도 한다. 또다른 반응은 금속을 부식시키고 피부조직을 파괴시키는 물질을 생성하기도 한다. 이와 같은 물질들은 화학적인 특성을 고려하여 다음과 같이 분류하여 볼 수 있다.

(1) 알칼리금속류

알칼리금속류는 모든 원소중에서 가장 화학적으로 반응하기 쉬운 원소 그룹중에 하나이다. 알칼리금속류는 리튬(Li), 나트륨(Na), 칼륨(K), 루비듐(Rb), 세슘(Cs), 프란슘(Fr) 등을 말하는데, 이들과 관련된 위험성은 이들의 특별한 반응성에 기인하고 있다. 이들 금속 중에서 루비듐(Rb), 세슘(Cs), 프란슘(Fr)은 시장가치를 대부분 갖고 있지 않거나 또는 전부 갖고 있지 않지만, 그 외의 알칼리 금속은 공업적으로 아주 유용하게 쓰인다.

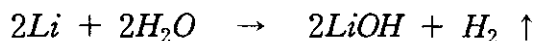
이들의 물리적인 성질은 <표2-1>에 나타나 있다.

<표2-1> 알칼리금속류의 물리적성질

	리튬(Li)	나트륨(Na)	칼륨(K)
비 중(20℃)	0.534g/cm ³	0.972g/cm ³	0.819g/cm ³
용 융 점(m.p)	179℃	97.5℃	63.7℃
비 점(b.p)	1317℃	883℃	760℃
용 해 열	103.2cal/g	27.2cal/g	14.6cal/g
기 화 열	4,680cal/g	1,005cal/g	496cal/g
열 용 량	0.90cal/g℃	0.30cal/g℃	0.19cal/g℃

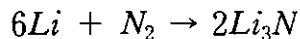
(가) 리튬(Li)

리튬은 비교적 낮은 온도에서 쉽게 녹는 연(軟)한 은색의 반응성이 매우 큰 금속이다. 이 금속은 알려져 있는 고체원소 가운데 가장 가볍다. 리튬은 시장에서 도자기, 주물류, 살균제, 표백제, 의약 등의 제조시 유용하게 쓰이고 있다. 금속리튬과의 수소화물은 유기합성에 아주 많이 쓰이고 있으며 구리와는 합금은 가스제거제로 쓰이고 있다. 리튬은 높은 비열을 갖고 있어 냉각제로서 쓰이고 있으며 물과 반응하여 물중의 수소와 치환반응이 일어난다.



리튬의 물과의 화학반응은 다른 알칼리금속의 물과의 반응보다도 아주 천천히 진행된다. 리튬은 용융점(m.p)이 100℃보다 높은 유일한 알칼리 금속이다. 그 결과로서, 리튬금속덩어리는 물과 반응하고 있는 동안 고체상태를 유지하고 있다.

리튬이외의 알칼리금속은 물과 반응할 때 반응하는 열에 의해 용융하게 된다. 그 결과 표면적이 증가하게 되고 물과의 반응도 크게 된다. 리튬과 물과의 반응으로부터 발생된 수소는 점화원이 없어도 발화되는 것은 아니다. 왜냐하면, 물과의 반응시 발생하는 열은 리튬에 의해 흡수되기 때문이다. 괴상(塊狀)의 고체 리튬은 순 산소와 접촉되어도 실온에서는 자연발화하지는 않는다. 용융상태의 리튬도 천천히 산화되어 광택을 잃지 않는다. 그렇지만, 200℃ 이상의 온도에서 리튬은 산소중에서 독특한 심홍색으로 빛을 내는 산화리튬을 생성한다. 리튬은 다른 알칼리 금속과는 달리 질소와 직접화합해서 질화리튬을 만들 수 있다.



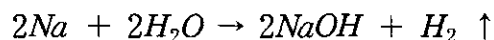
그러므로 리튬금속화재에서는 질소를 이용한 질식소화방법은 사용할 수 없다.

(나) 나트륨(Na)

나트륨도 리튬과 같이 은색의 광택이 있는 금속이다. 이 금속은 알칼리금속 중에서 가장 일반적인 것으로 수톤씩 제조되고 있는 금속이다. 나트륨은 유기합성과 정에서 환원제로 쓰이고, 또한 반응성이 강한 나트륨화합물 합성시 쓰이고 있다.

금속나트륨은 다른 금속과는 달리 특별한 형태로 쓰이고 있는데, 하나는 나트륨 아말감으로 또 하나는 칼륨과의 합금이다. 아말감은 금속수은에 대한 고용체이다. 덩어리(塊)로 되어있는 나트륨의 자연발화온도는 일반적으로 115℃ 이상이라고 생각되고 있다. 그렇지만 금속나트륨은 공기중 상온에서도 자연발화를 일으킬 가능성이 있다. 이 금속은 공기중에서 표면이 이산화물 및 수산화물로 피복되게 되는데 수산화물은 흡습성이 있으므로 대기중의 수증기를 흡수하게 되고 그 수분이 금속과 반응해서 화재를 일으킨다.

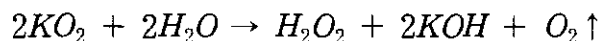
나트륨은 공기중에서 연소해서 독특한 황색불꽃을 내며 산화나트륨으로 되고 순수한 산소중에서는 과산화나트륨(Na_2O_2)이 생성된다. 리튬과는 달리 나트륨은 높은 온도에서도 질소와의 화학적인 결합은 없다. 그렇지만, 물과 접촉하면 나트륨은 리튬보다도 빠르게 수소를 발생한다. 나트륨은 고체 덩어리로 있어도 용융되며 발생된 수소는 연소된다.



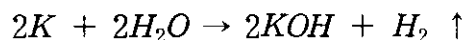
(다) 칼륨(K)

칼륨은 은색의 광택이 있는 금속으로 다른 알칼리금속보다도 반응성이 크다. 상온에서 질소와 접촉하면, 즉시 자색(紫色)의 불꽃을 내며 탄다. 주로 산화칼륨, K_2O 을 생성하고 동시에 과산화칼륨, K_2O_2 도 생성한다. 리튬과 나트륨은 초과산화물(superoxide)을 만드는 것은 상당히 어렵다. 초과산화물은 O_2^- 이온을 갖고 있는

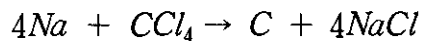
며 초과산화칼륨은 KO_2 로 표시한다. 초과산화물은 물과 반응시 산소와 과산화수소로 가수분해된다.



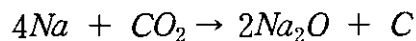
나트륨이 공기중에 노출되면 흔적정도의 초과산화물이 생성되지만, 칼륨은 표면에 초과산화칼륨이 약간만 생겨도 아주 위험하다. 이 초과산화물은 칼륨이 예외적으로 아주 강한데 등유나 그 밖의 유기물과 접촉시 폭발이 일어난다. 칼륨은 액체 브롬과 접촉하면 폭발하나 리튬과 나트륨은 표면에서 약간의 반응이 일어날 뿐이다. 칼륨의 물과 반응은 리튬 또는 나트륨의 동일한 반응과 비교해서 상당히 격렬한데, 이는 폭발이 일어나는 것에 의해 이 금속이 비산하기 때문이다. 금속칼륨이 물과 반응하는 화학식은 다음과 같이 나타낸다.



물과 반응하는 것에 덧붙여 알칼리금속은 또한 할로젠화탄화수소(halogenated hydrocarbon)와 반응한다. 예를 들면 사염화탄소(CCl_4)는 타고 있는 나트륨에 가해지면 탄소의 연기가 발생해 화재가 계속되게 된다.

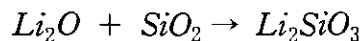


이산화탄소(CO_2)도 또한 알칼리금속류 화재의 소화제로서는 적합하지 않다. 이산화탄소는 화학적으로 금속나트륨과 다음과 같이 반응한다.

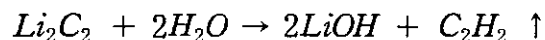
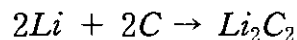


또 건조된 모래(SiO_2)도 알칼리금속화재에 사용할 수 없다. 그것은 알칼리금속

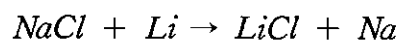
의 산화물이 모래와 화학적으로 반응하기 때문이다. 예를 들면, 산화리튬은 모래와 다음과 같이 반응한다.



소다회(soda-ash), 염화나트륨(NaCl), 질소(N₂) 또는 흑연이 나트륨 및 칼륨, 화재의 소화에 유용하다고 생각된다. 그렇지만, 어느 알칼리금속의 화재에 대해서도 소화제로서 흑연을 쓰는 것은 다소의 주의가 필요하다. 예로, 불이 꺼져도 연소에 의해 높은 온도에 있던 금속의 탄화물이 조금은 생성된다. 이 금속의 탄화물이 물에 적셔지면 아세틸렌(C₂H₂)이 생성되어 이것이 발화하기 때문이다. 탄화물은 특히 금속리튬에 생성되기 쉽다.



리튬화학은 다른 알칼리금속화학과의 현저하게 다르다. 이것은 알칼리금속 각각의 화재에 쓰여지는 소화제의 형태가 다르게 반영되고 있다. 리튬화재에 소다회 또는 염화나트륨(NaCl)을 사용하면 금속나트륨이 유리되어 원래의 리튬보다도 더 위험하게 된다.



리튬은 나트륨이나 칼륨과는 달리 질소와 화학적으로 반응하므로 리튬화재는 염화리튬(LiCl) 또는 흑연으로 소화하는 것이 가장 좋다. 흑연을 쓰는 경우에는 이

재료가 완전히 건조되어 있어야 한다. 금속리튬과의 반응에서 생성된 탄화물은 불이 꺼진 후의 처리시 물과 반응할 염려가 있기 때문이다.

(2) 기타 금속류

마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 아연(Zn), 지르코늄(Zr) 및 티탄늄(Ti) 등과 같은 금속은 각각 공통된 몇가지 위험한 성질을 갖고 있다.

분말상태의 이 금속들은 중대한 폭발 및 화재를 일으키는 성질이 있다. 이들 금속의 순도는 잠재적인 위험성인 연소와 관련된 중요한 요소이다. 그 위험은 각각의 금속 표면위에 산화물이 형성된 경우에는 결정적으로 감소된다. 마그네슘, 알루미늄 및 아연을 공기 중에 놓아두면 금속산화물이 서서히 생성된다. 이 산화물은 보호피막으로서 작용해 그 이상 금속이 화학적으로 부식받는것을 방지한다. 금속의 순도와는 별개로 몇몇 다른 본질적인 요소가 자연발화를 포함한 연소성에 영향을 준다. 즉, 입자의 크기, 입자의 분포와 분산상태, 수분의 함유량, 금속의 자연발화온도 및 흡착되어 있는 가스, 특히 산소의 량 등이며 이들 금속들은 물과 반응한다.

마그네슘, 지르코늄, 티탄늄, 알루미늄 및 아연은 각각 속도는 다르나 물로부터 수소를 유리시킨다. 수소생성의 속도는 그 금속의 순도에 의존하고 또한 부서진 상태에 의존한다. 이 화학반응은 발열적으로 진행되어 발생된 수소가 자연발화되어 불꽃을 내면서 탄다. 이들 금속분말의 자연발화는 이들 금속과 공기중의 수증기와의 작용으로 생성된 수소의 연소에 의해 일어날 가능성이 있다.

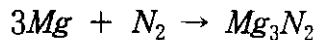
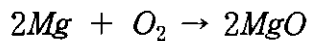
이들 금속의 물과의 반응성은 재해의 간접적인 원인이 된다. 용기의 파열은 발화와 화재가 같이 일어나기 쉽다. 이들 5종의 금속분말은 아주 자연발화되기 쉽기 때문에 높은 인화점을 갖는 액체속에 저장된다. 이들 금속의 물리적 성질이 <표 2-2>에 나타나있다.

<표 2-2> 물과 반응하는 금속류의 물리적 성질

	마그네슘	지르코늄	티탄늄	알루미늄	아연
비중(20℃)	1.74g/cm ³	6.5g/cm ³	4.5g/cm ³	2.7g/cm ³	7.4g/cm ³
용점(m.p)	651℃	1850℃	1800℃	660℃	419℃
비점(b.p)	1107℃	3578℃	3262℃	2056℃	905℃
용해열	88.9cal/g	60cal/g	104.4cal/g	94.5cal/g	24.4cal/g
열용량	0.25cal/g℃	0.068cal/g℃	0.10cal/g℃	0.21cal/g℃	-
금속분의 자연 발화온도(착화원 이 있는 경우)	520℃	21℃	480℃	645℃	-

(가) 마그네슘(Mg)

마그네슘은 아주 가벼운 금속으로 비행기, 경주용 자동차, 이동할 수 있는 기계류, 엔진의 부품 등에 쓰인다. 마그네슘은 금속상태에서는 아주 반응하기 쉬운 물질이나, 마그네슘 산화물의 피막이 금속표면에 생성되어 있는 경우에는 반응성이 감소된다. 마그네슘이 공기중에서 타는 경우에는 산화마그네슘이 생성되는데, 이 중 약75%가 산소와 결합되어 있고 약25%는 공기중의 질소와 결합해서 질화마그네슘을 생성한다. 마그네슘의 공기중에서의 연소에 대한 화학반응은 다음과 같이 나타내어진다.

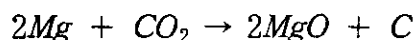


마그네슘의 연소는 강한 열과 백색의 빛나는 불꽃을 수반한다. 그 불꽃은 자외선을 포함하고 있기 때문에 눈의 망막에 장애를 줄 가능성이 있다. 마그네슘은 실온에서는 물과 서서히 반응하나, 물의 온도가 높아지면 격렬하게 진행되어 수소를

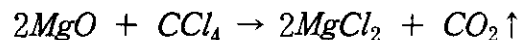
발생한다.



타고 있는 마그네슘의 소화제로 물을 사용하는 것은 주의하지 않으면 안된다. 만약, 물이 타고 있는 마그네슘 더미(堆積)에 가하는 속도가 완만하다면, 대량의 수소가 발생하게 되어 폭발을 피할 수 없게 된다. 그렇지만, 급속히 물을 가하면, 그 물이 금속을 냉각시키어 연소가 정지되는 온도이하로 되어 끝난다. 고온의 마그네슘은 몇몇 소화제와 반응하는데, 이산화탄소를 사용한 경우에는 쉽게 산화물을 생성한다.

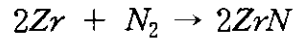
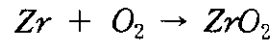


할론(Halon)류 소화제는 타고 있는 마그네슘 소화에는 어느 것도 효과가 없다. 산화마그네슘, 즉 산화생성물은 아주 활발해서 소화제와 화학적으로 결합한다. 이와 같은 반응은 다음과 같이 나타내어진다.

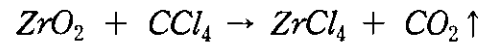
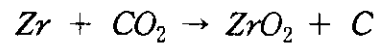
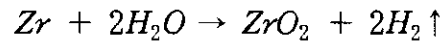


(나) 지르코늄(Zr)

지르코늄은 대부분 원자력 공업이나 철공업에서 쓰여지고 있는데, 분말이나 부스러기는 자연발화성 금속중에서 가장 발화하기 쉬운 금속중의 하나이다. 이 금속 분말의 자연발화온도는 약21℃이다. 지르코늄 분말은 단지 분말입자의 마찰에 의해 생긴 열만으로도 가공할 폭발을 수반한 자연발화를 일으키는 것으로 알려져 있다. 마그네슘과 같은 형태의 지르코늄도 아주 밝은 백색불꽃을 내며 공기중에서 타서 산화물과 질화물을 생성한다.



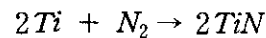
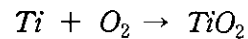
높은 온도에서 타고 있는 지르코늄은 화학적으로 물, 이산화탄소 및 할론류와 반응한다.



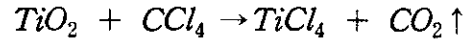
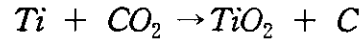
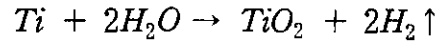
따라서 위 소화제를 사용해서는 타고 있는 지르코늄화재를 소화할 수 없다.

(다) 티탄늄(Ti)

티탄늄은 자연계에서 비교적 풍부한 원소로 마그네슘과 같이 대부분의 다른 금속에 비해 낮은 비중을 갖고 있어 구조재료로서 쓰일 수 있는 조건을 갖추고 있다. 그렇지만, 금속티탄늄의 제조비용은 현재 대단히 높기 때문에 널리 사용되는 것이 제한되고 있다. 금속티탄늄은 마그네슘이나 지르코늄과 같이 자연발화의 위험을 갖고 있으나, 이들 금속과 다른 점은 분말상태 뿐만 아니라 덩어리상태에서도 용이하게 연소한다는 점이다. 700℃ 이상에서 티탄늄은 자연연소해서 산화물과 질화물의 혼합물을 만들어낸다.

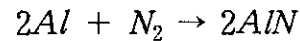
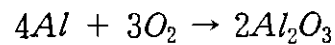


높은 온도의 티탄늄과 그 산화물도 또한 용이하게 물, 이산화탄소 및 할론류와 반응한다.

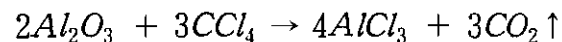
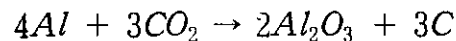
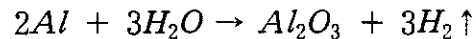


(라) 알루미늄(Al)

순수한 알루미늄은 가장 화학적인 반응을 하기 쉬운 금속중의 하나로 알려지고 있다. 그렇지만, 알루미늄의 표면에 존재하는 산화알루미늄이 금속을 화학물질의 침식으로부터 보호하고 있다. 알루미늄은 지각중에 존재하는 원소중에서 세번째로 풍부한 원소이다. 알루미늄은 지르코늄이나 티탄늄보다도 가벼우나 마그네슘만큼 가볍지는 않다. 알루미늄산화물에 의한 피복때문에 알루미늄은 아주 위험성이 없는 원소같이 보이지만, 산화물의 얇은 축적물은 전선에 알루미늄을 사용한 경우 화재의 원인도 된다. 산화물이 전류의 흐름을 방해해 전선이 가열되는 원인이 된다. 순 알루미늄분말은 점화원이 존재하는 경우에는 폭발을 일으킨다. 알루미늄이 공기중에서 연소할 때에는 산화물과 질화물의 혼합물이 생성된다.

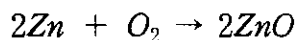


높은 온도에서 타고 있는 알루미늄도 또한 물, 이산화탄소 및 할론류와 반응한다.

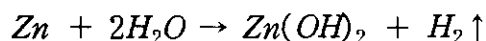


(마) 아연(Zn)

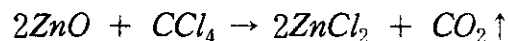
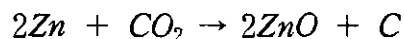
아연은 아주 잘 알려진 금속이나 실제로 지르코늄이나 티탄늄 보다도 존재가 희소한 금속이다. 그렇지만, 지르코늄이나 티탄늄이 광석으로부터 간단히 추출할 수 없는 것에 반하여 아연은 광석으로부터 쉽게 추출되므로 그 결과 아연은 오래 전부터 금속으로서 쓰여지고 있다. 아연은 마그네슘, 지르코늄, 티탄늄 및 알루미늄과 같이 미세한 분말 또는 입자상태일때 특히 위험하다. 아연분말이 습기를 갖게 되면 자연히 열을 내며 발화되어 산화물로 된다. 아연이 공기중에서 타는 경우에는 산화물만 생성되고 질화물은 생성되지 않는다.



분말로 된 아연은 물과 천천히 반응해서 수소를 발생시킨다.



타고 있는 아연은 화학적으로 이산화탄소, 할론류와 반응한다.



(3) 유기금속화합물

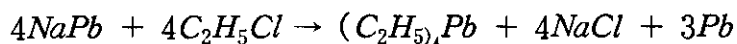
금속원자와 탄소원자가 결합된 화합물을 총괄해서 유기금속화합물이라고 부르고 있는데, 합성과정에서 화학반응 매개물질로서, 또한 중합촉매로서 쓰여지고 있다. 공업용으로 이용되고 있는 유기금속화합물은 50종류이상에 이른다. 이들 화합물과 그 용액은 넓은 의미의 자연발화성액체 또는 자연발화성 고체 속에 넣고 있다. 유기금속화합물은 몇몇 예외는 있지만, 공기가 존재하는 곳에서 취급할 수 없고 수

분과 접촉시 급속히 분해한다. 몇몇 유기금속화합물의 성질이 <표 2-3>에 나타나 있다.

<표 2-3> 몇몇 유기금속화합물의 성질

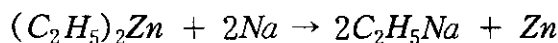
화 학 명	화 학 식	성 질
Trimethylaluminium	$\text{Al}(\text{CH}_3)_3$	무색액체로 물에 의해 분해되고 폭발을 일으킴; 융고점 15.4°C ; 공기중에서 자연발화를 일으킴; 증기는 150°C 이상에서 분해함.
Dimethylcadmium	$\text{Cd}(\text{CH}_3)_2$	자극성냄새를 가진 무색액체; 100°C 이상에서 폭발적으로 분해; -4.2°C 에서 융고; 자연발화함; 물에서 분해.
Tetramethyltin	$\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$	무색으로 높은 휘발성액체; 물에 녹지 않음; 공기 및 수분에 대해 안정; -53°C 에서 융고; 400°C 까지 열에 안정.
Triisobutylaluminium	$\text{Al}(\text{C}_4\text{H}_9)_3$	무색액체; 자연발화성; 1°C 에서 융고; 75°C 이상에서 열에 의해 불안정하게 됨; 물과 반응함.

유기금속 화합물중에 가장 잘 알려져 있는 것으로는 사에틸납($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$)이 있는데, 이것은 일찍부터 가솔린의 녹킹방지제로서 쓰여지고 있다. 미국에서 제조되는 금속나트륨 총량의 60%는 사에틸납의 합성에 쓰여지고 있다. 그것은 염화에틸과 나트륨, 납합금으로 부터 만들어진다.

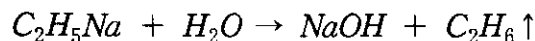


그렇지만, 사에틸납은 대부분의 유기금속화합물과 비교해서 그 위험한 성질에 있어서 몇가지 이상(異狀)한 점이 있다. 그것은 자연발화도 아니고 또한 물과 반응하는 것도 아닌데 가연성이다. 사에틸납의 주요한 위험성은 그것이 유독한 액체

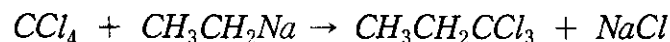
라는 사실이다. 사에틸납에 연관된 화재는 물로 소화할 수 있다. 유독한 사에틸납의 증기 또는 산화납을 흡입하는 것을 막기 위해, 산소 또는 압축공기를 이용한 호흡장치를 쓰는 것이 요망된다. 가장 단순한 유기금속화합물로 얻기 쉬운것중의 하나가 디에틸아연(diethylzinc)인데, 썩은 냄새를 내는 액체로 공기와 접촉시 즉시 발화하게 된다. 이것은 금속나트륨과 함께 에틸나트륨을 만드는데 쓰여진다.



디에틸아연과 에틸나트륨은 대부분의 유기금속화합물중에서 특히 전형적인 것이다. 그것은 물과 같이 수소를 갖고 있는 화합물과도 순간적으로 반응을 일으킨다. 에틸나트륨이 물과 반응할 때에 발생된 유기물질은 가연성 탄화수소인 에탄이다.



따라서, 자연발화성 유기금속화합물화재에 물을 사용하는 것은 단지 화재를 강하게 할뿐이다. 물과 반응하는 유기금속화합물은 또한 할론류와도 반응한다.



이러한 반응의 결과 생성된 유기물은 일반적으로 가연성이다.

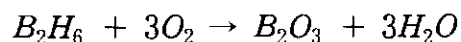
따라서, 이런 종류의 약품은 불을 소화하는데 사용할 수 없지만, 이산화탄소는 유기금속화합물과는 반응하지 않기 때문에 이들 화합물의 작은 화재를 질식시키는데 쓸 수 있다. 그렇지만, 이산화탄소로 덮고 장시간 유지하는 것은 할 수 없다. 일단 그 화합물이 공기와 재접촉하면 불꽃으로 되어 타오른다. 일반적으로 다량의 유기금속화합물의 화재에는 마른 모래, 흑연, 규조토 및 그 밖의 흡수제가 소화에 쓰여진다.

(4) 수소화합물

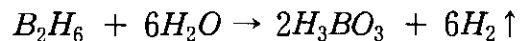
수소의 다른 원소와의 이 원소 화합물을 수소화물이라고 부른다. 이들 화합물은 그 화학구조로 부터 두 가지 형태로 나누어진다. 즉, 분자상태의 것과 염류(鹽類) 모양의 수소화물이다. 분자수소화물은 주로 분자가 응집한 상태로 존재하는 화합물이다. 분자수소화물의 대부분은 약간의 위험성은 있으나, 물과는 반응하지 않는 물질이다. 그러나 이들 분자수소화물중 붕소, 규소수소화물은 물과 반응하며 매우 불안정하다.

(가) 붕소화합물

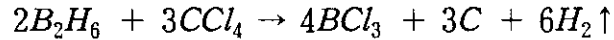
붕소의 분자수소화물을 보란(borane)이라고 부른다. 보란은 적어도 14종류가 존재하는데, 이들 대부분은 실온에서 불안정하다. 300℃을 넘으면 모든 보란 화합물은 분해되어 붕소와 수소로 된다. 디보란(B_2H_6)은 기체로서 비중이 0.96이고 가연성이 있다. 공기중에 0.8%농도의 디보란이 존재하면 자연히 연소가 일어난다. 이 기체는 독특한 녹색의 불꽃을 내며 타고 527kcal/mole의 열을 낸다.



아주 높은 연소열과 낮은 분자량으로 디보란은 로켓트연료로서 쓰여지고 있다. 보란은 물과 반응하는 물질로서 공기중의 수증기와 격렬하게 반응하여 수소를 발생시킨다.



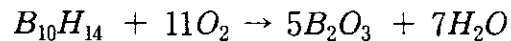
디보란과 관련된 화재에는 수소의 연소가 수반되기 쉽다. 물과의 반응성 이외에 디보란은 또한 할론류와도 반응한다. 디보란은 할론104 즉 사염화탄소와 다음과 같이 반응한다.



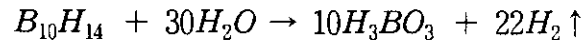
물은 디보란 화재시 용기를 냉각하는데 사용할 수는 있으나 직접 소화에 사용할 수는 없다. 이산화탄소와 질소는 디보란과 반응하지 않으므로 이들 모두 소화제로서 사용할 수 있다.

그렇지만, 이중 어느 것을 사용해도 타고 있는 가스에 대해서는 그것이 공기보다 가볍기 때문에 일시적인 효과를 주는 것이 전부이다.

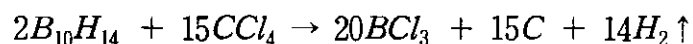
따라서, 디보란화재를 소화시키기 위해서는 디보란의 유출을 막는 것이 절대 필요하며, 남아있는 화재는 다 탈 때까지 방치하는 것이 최선책이다. 데카보란($B_{10}H_{14}$)은 백색고체 물질이다. 이것은 보란류 중에서 가장 안정화되어 있으나 연소성을 갖고 있다.



데카보란은 상온에서도 상당한 증기압을 갖고 있는데, 그 증기는 자극성의 불쾌한 냄새를 갖고 있으며 인화점은 $80^{\circ}C$ 이다. 데카보란은 디보란 보다도 좀더 천천히 가수분해를 일으키고, 이 경우에도 가수분해 생성물은 수소이다.

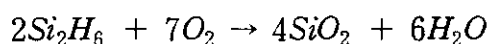
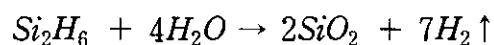


이 가수분해는 완만히 진행되나 수소와 데카보란 증기가 섞이면 아주 중대한 화재로 되는 위험성이 있다. 데카보란화재는 이산화탄소 또는 물을 이용해 소화하는 것이 가장 좋은데 적어도 남아있는 데카보란이 있으면 그것은 3%암모니아수로 분해시키지 않으면 안된다. 할론류 소화제는 데카보란과 화학적으로 반응하므로 소화에 사용할 수 없다.



(나) 규소화합물

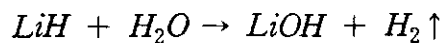
규소의 분자수소화물을 실란(규화수소)이라고 부르는데, 가장 간단한 실란은 모노실란과 디실란이 있으며 그 화학식은 SiH_4 와 Si_2H_6 이다. 그들은 상온에서 기체 상태의 수소화물인데 성질은 디보란과 유사하다. 실란은 공기중에서 자연발화되어 연소하며 또한 물과도 반응한다.



(다) 알칼리금속 수소화물

염과 비슷한 수소화물은 대부분 알칼리금속의 수소화물이다. 그 밖의 금속의 수소화물은 물과 극히 빠른 속도로 반응하고, 또한 아주 불안정하므로 상업적으로 쓰여지는 것은 거의 없다.

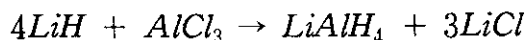
알칼리금속의 수소화물은 몇 가지 공통적인 성질을 갖고 있는데, 이들은 공기중에 존재하는 수분을 포함해서 물과 반응하나 그 속도는 각기 정도가 다르다. 이들은 비교적 안정하나 용점에서는 성분원소로 분해된다. 물과의 반응에서 수소가 생성되는 것은 다음과 같다.



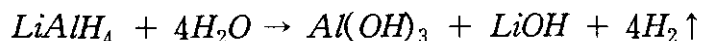
이 반응은 아주 발열적으로 일어나기 때문에 발생된 수소는 대부분 순간적으로

타오른다. 몇몇 알칼리금속의 착염으로 되어있는 수소화물도 또한 공업적으로 널리 이용되고 있다.

리튬과 알루미늄 수소화물은 수소화리튬과 염화알루미늄으로 부터 만들어진다.

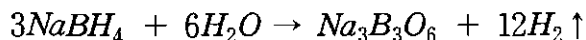


LiAlH₄는 백색고체로 염류형의 수소화물과 비슷한 반응을 하며 수소화알루미늄리튬(lithium aluminium hydride, LAH)이라고 부른다. 수소화알루미늄리튬은 유기합성화학에서 환원제로서 널리 사용되고 있으며, 물과의 반응은 특히 격렬해서 자기열로 연소한다.



수소화알루미늄리튬은 상업적으로 순수한 화합물 또는 에테르에 녹여진 용액으로 이용되는데, 순수한 화합물은 가연성고체로 분류되고 에테르 용액은 가연성 액체로 분류된다.

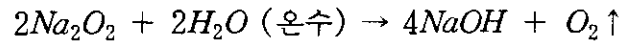
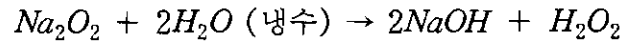
수소화붕소나트륨(sodiumborohydride, NaBH₄)도 또한 착염형 수소화물이다. 이 화합물의 공업상 이점은 물에 의해 천천히 분해되는 것이다. 이것은 공기중의 습기와는 다른 수소화물 염류보다도 좀더 천천히 반응하여 수소를 발생시킨다.



착염형 수소화물을 포함한 수소화물의 화재에는 고체물질인 경우 소다회, NaCl 또는 흑연가루로 질식시키어 소화한다. 이산화탄소와 할론류는 일시적인 소화제로서 쓸모가 있으나, 일단 공기와 접촉되는 경우에는 공기중의 수증기와 작용해서 불꽃을 내며 타오른다.

(5) 과산화물

O_2^{2-} 이온($-O-O-$) $^{2-}$ 을 갖고 있는 화합물은 과산화물이라고 불리며, 이들 화합물은 산화제로서 일차적인 위험성을 갖고 있다. 유기과산화물류와 알카리 및 알카리토금속 과산화물은 공업적으로 중요하다. 무기과산화물은 금속이 과잉의 산소 중에서 탈 때 생성되는데, 이들은 물과 반응시 물의 온도에 의해 산소 또는 과산화수소가 생성된다.

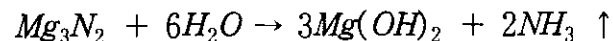


따라서, 과산화물의 용기는 수분을 흡수하는 것에 대해 보호되어 있어야 한다. 다량의 과산화물염에 물이 가해지면 폭발적으로 반응할 가능성이 있다. 소다회, NaCl, 및 모래는 무기과산화물류의 화재시 가장 좋은 소화제이나, 물은 주변의 가연성물질의 소화에 주의해서 사용할 수 있다.

(6) 질화물, 탄화물 및 인화물

(가) 질화물

질소를 N^{3-} 이온의 모양으로 갖고 있는 이 원소 화합물을 질화물이라고 부른다. 마그네슘, 리튬, 티탄늄 및 지르코늄 등은 질소하에서 연소시 질화물이 생성되는데, 이들은 물과 반응하여 유독성가스가 발생된다.



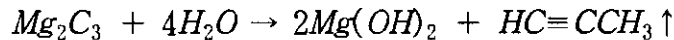
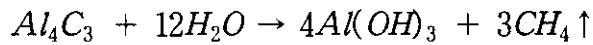
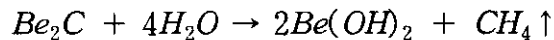
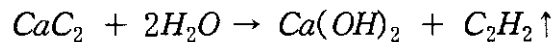
(나) 탄화물

탄화물은 탄소음이온을 포함한 이원소 화합물이다. 탄화물에는 두종류가 있는데,

하나의 공유결합에 의한 것이고, 다른 하나는 염의 성질을 갖는 것이다.

공유결합 탄화물은 분자용집체로서 존재하는데 반하여, 염의 성질을 갖는 탄화물은 양이온과 음이온의 결합물로서 존재한다. 공유결합 탄화물의 대부분은 탄화수소이다. 탄화규소인 SiC(carborundum)는 공유결합 탄화물로서 다이아몬드에 가까운 단단함을 갖고 있으며 화학적으로 불활성이다.

염의 성질을 갖는 탄화물류는 물과 반응하는 물질로서, 탄소는 화합물 속에서 C_2^{2-} , C^{4-} 및 C_3^{4-} 와 같이 여러 형태로 존재한다. 가수분해되면 염류형 탄화물은 가연성의 탄화수소(아세틸렌, 메탄, 프로판 등)를 생성한다.



각각의 반응은 상당히 발열적이어서 가수분해에서 생성된 기체를 착화시킬 수 있다.

탄화칼슘(CaC_2)은 아세틸렌 제조시 주원료로서 공업적으로 비료의 칼슘시안아미드($CaCN_2$)를 제조하는데 쓰인다. 이 물질 속에는 불순물로서 인화칼슘이 존재하는데, 이 때문에 포스핀 냄새가 난다.

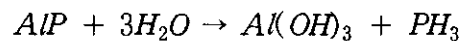
물과 접촉시 아세틸렌을 발생하므로 이 물질은 저장, 취급시 또는 화재시 소화 활동을 하는 경우에는 건조상태를 유지하는 것이 중요한 주의사항이다.

(다) 인화물

P^{3-} 인 음이온을 갖고 있는 이원소화합물을 인화물이라고 부르며 중금속류의 인

화물은 금속과 인을 직접화합시켜 얻어지는데, 알카리 및 알카리토금속류의 인화물은 그들 인산염과 금속알루미늄을 낮은 온도에서 반응시켜 얻는다.

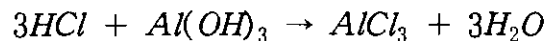
인화합물은 가수분해시 가연성의 유독한 화합물인 포스핀을 생성한다. 예를 들면 인화알루미늄(ALP)은 다음과 같이 물과 반응한다.



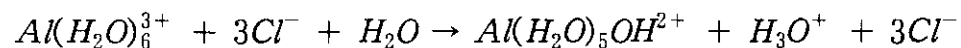
이때 발생하는 포스핀(PH₃)은 쉽게 발화하며 높은 독성(TWA : 0.3ppm)을 가진 물질이다.

(7) 무기염화물

금속의 염화물류는 일반적으로 약염기와 강산의 염이다. 예를 들면, 염화알루미늄은 강산인 염산과 약염기인 수산화 알루미늄이 화학적인 반응을 일으킨 결과 생성된 물질이다.



이와 같이 생성된 염은 물과 접촉시 수화물로 되는데, 무수염화알루미늄(AlCl₃)과 물이 결합되면 AlCl₃·6H₂O 또는 Al(H₂O)₆Cl₃ 형태의 수화물로 된다. 염화알루미늄의 용액 속에서 가수분해는 다음 식에 의하여 나타내진다.



염화알루미늄과 같은 몇몇 금속의 염화물은 산과 비슷한 부식작용을 갖는다. 그것들은 화학적으로 대부분의 금속과 반응을 일으키며, 또한 피부에 부착되면 피부 조직의 파괴작용이 일어난다. 이들 물질의 부식작용은 가수분해 결과 생긴 산에 의해 일어난다.

금속염화물 또는 비금속염화물과 접촉하는 물의 양이 비교적 많지 않을 때는 기

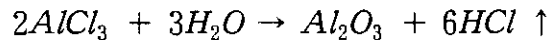
체염화수소가 발생하나, 물의 양이 비교적 많을 때는 용액 속에서 염산형태로 남게 된다.

이들 화합물의 각각은 불연성이나 가수분해시에 생긴 열은 부근에 있는 가연물에 착화되어 인체에 심한 화상을 일으키는 원인이 되기도 한다.

이상의 성질을 갖는 금속 및 비금속의 일반적인 염화물은 다음과 같다.

(가) 무수염화알루미늄($AlCl_3$)

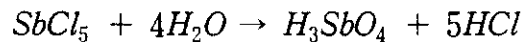
무수염화알루미늄은 백색내지 황색의 고체로 공기중의 습기와 천천히 반응해서 유독성의 염화수소(TWA : C5ppm) 기체를 발생시킨다.



물과 접촉시 염화알루미늄은 격렬하게 가수분해를 일으킨다.

(나) 오염화안티몬($SbCl_5$)

오염화안티몬은 황적색의 액체로 물에 의해 가수분해를 일으켜 백색의 불용성 안티몬산(H_3SbO_4)과 유독성기체(HCl)를 생성한다.

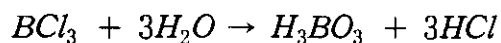


오염화안티몬의 가수분해시 상당한 열이 발생되고 또한 부식성의 물질이 생성되므로 취급, 저장이나 수송시 주의가 필요하다. 안티몬의 삼염화물인 삼염화안티몬($SbCl_3$) 등 여러 화합물이 존재하는데, 이들 화합물은 오염화안티몬에 비하여 비교적 위험성이 적다.

(다) 삼염화붕소(BCl_3)

삼염화붕소는 무색으로 18℃에서 끓고 발연하는 액체로 물과 쉽게 반응해서 붕

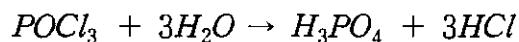
산과 염화수소를 생성한다.



상당량의 삼염화붕소가 유기합성과정에서 공업적인 촉매로서 쓰여지고 있는데, 이 물질은 부식성물질로서 취급되고 있다.

(라) 옥시염화인($POCl_3$)

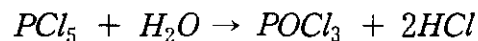
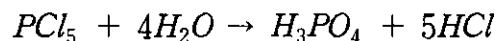
옥시염화인은 염화포스포릴이라고 불려지는 발연하는 액체이다. 물에 의해 격렬하게 가수분해되어 인산과 염화수소를 생성한다.



옥시염화인은 취급, 저장 및 수송시 부식성물질로 분류된다.

(마) 오염화인(PCl_5)

오염화인은 황색내지 노란색의 고체로 가수분해시 생성물은 염화물 몰(mole)당 반응하는 물의 양에 따라 결정된다. 다량의 물과 작용시킬 때 인산이 생성되며, 소량의 물과 작용시 옥시염화인이 생성되며 각 반응마다 염화수소가 발생된다.

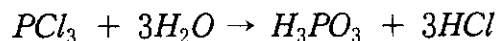


오염화인의 가수분해열은 특히 크므로, 이 물질은 가연성고체로서 분류되고 있다.

(바) 삼염화인(PCl_3)

삼염화인은 발연성의 무색액체로서, 물과 접촉시 격렬하게 가수분해되어 아인산

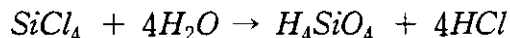
과 염산으로 되며 상당한 열이 발생된다.



삼염화인은 부식성물질로서 분류된다. 삼염화인, 오염화인 및 옥시염화인은 다른 화합물로부터 산소를 떼어내는데 큰 친화력을 갖고 있어, 이들은 유기합성에서 중요하게 사용되고 있다.

(사) 사염화규소($SiCl_4$)

사염화규소는 무색의 발연하는 액체로 가수분해시 규산(H_4SiO_4)과 염화수소로 분해된다.



사염화규소는 부식성물질로서 분류되는데, 각종 규소수지를 만들때 출발물질로서 쓰여진다.

규소수지는 일반적으로 실리콘이라고 불려지고 있는데, 실리콘은 각종 그리스, 기름, 왁스 등에 널리 쓰여지고 있다.

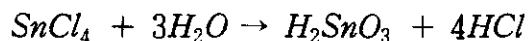
1974년 4월에 시카고에서 약1만 갤런의 액체사염화규소가 저장탱크로 부터 유출되어 약 100명의 주민을 피난시키는 원인이 되었다. 이 액체는 대기압 조건에서는 기체로 되어 공기중의 습기와 반응해서 유독한 염화수소를 발생시킨다.

사염화규소 이외에도 메틸트리클로로실란(methyltrichlorosilane), 디에틸클로로실란(diethylchlorosilane) 등 약 20여종의 유기실란이 사용되고 있는데, 이들 모두 가연성이고 유독하며 또한 물과 반응한다.

(아) 무수사염화주석($SnCl_4$)

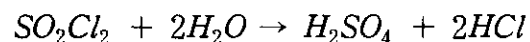
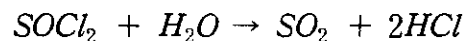
무수사염화주석은 무색으로 발연하는 액체로 물보다 두배이상 무겁고 (비중

2.23), 가수분해되어 불용성의 주석산(H_2SnO_3)과 염화수소가 생성된다.



(자) 염화티오닐($SOCl_2$) 및 염화슬포닐(SO_2Cl_2)

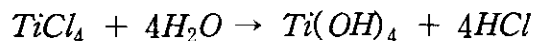
염화티오닐 및 염화슬포닐은 무색의 액체가 나는 액체로 이 두물질의 화학반응은 상당히 유사하다. 가수분해시에는 둘다 염화수소와 황화합물이 생성되는데, 그 화학반응식은 다음과 같다.



염화티오닐의 가수분해는 특히 격렬하므로 수분과 접촉시 특별한 주의가 필요하다.

(차) 사염화티탄늄($TiCl_4$)

사염화티탄늄은 무색의 휘발성액체로 염화수소의 자극성이 있는 냄새를 갖고 있다. 사염화티탄늄의 가수분해 반응식은 다음과 같다.



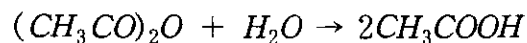
사염화티탄늄과 유기알루미늄화합물의 혼합물은 공업적으로 지글러(Ziegler)촉매로서 알려져 있는데, 이것은 불포화탄화수소류의 중합촉매로서 널리 쓰이고 있다.

(8) 유기화합물

몇몇 유기액체는 용이하게 가수분해를 일으켜 부식성물질을 생성한다. 이들 물질은 대부분 공기중의 수분과 반응하여 발연하며 쉽게 가수분해를 일으키는 유기물질로 다음과 같은 것이 있다.

(가) 무수초산((CH₃CO)₂O)

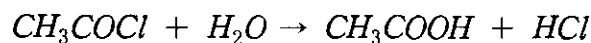
무수초산은 무색의 발연하는 액체로 유기합성에 널리 쓰이고 있다. 이 물질은 가수분해되면 부식성의 초산(CH₃COOH)을 생성한다.



무수초산을 공기중에 놓아두면 초산증기가 발산하여 호흡이 곤란하게 된다. 또한 공기중에서 초산증기는 무수초산과 혼합물을 형성하며 이 혼합물은 가연성이 있으므로 상당한 주의가 필요하다.

(나) 염화아세틸(CH₃COCl)

염화아세틸은 무색의 발연하는 액체로 주로 유기합성에 쓰인다. 염화아세틸이 가수분해되면 염화수소와 초산이 생성된다.



염화아세틸은 부식성물질로 분류되고 있으나, 이 물질의 인화점은 4.4℃로 가연성물질로서의 위험성도 매우 크다.

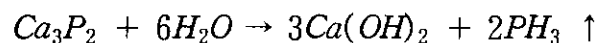
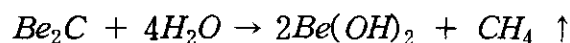
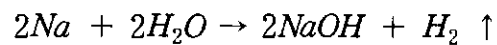
3. 금수성물질의 위험성

금수성물질이 물이나 습기 등과 접촉하여 이로 인해 발생하는 위험성으로는 가연성가스의 발생, 발열발화, 유독성물질의 생성, 부식성물질의 생성, 부유하거나 비산하여 화재면적을 확대 및 조연성가스를 발생시키는 등이 있다. 이중 화재·폭발

의 잠재적 위험이 큰 것을 살펴보면 다음과 같다.

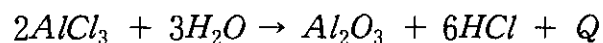
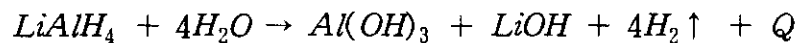
가. 수분과 반응시 가연성가스의 발생

이때 발생하는 가연성가스로는 주로 수소, 아세틸렌, 메탄, 인화수소 등이 있고, 이와같이 물과 반응하여 가연성가스를 발생시키는 물질은 금속나트륨, 알루미늄의 분말과 칼슘카바이드, 탄화알루미늄과 같은 탄화물, 실란과 같은 수소화합물 등이 있다.



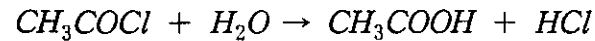
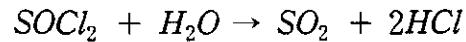
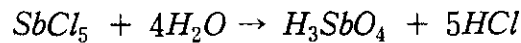
나. 수분과 반응시 발열

금수성물질중에서는 물이나 공기중의 수분을 흡수해 화학반응을 일으키는 동시에 많은 량의 열을 발생시켜 이로 인해 발화에 이르는 것으로 수소화알루미늄 리튬(LiAlH₄)과 같은 알카리금속 수소화물, 무수염화알루미늄(AlCl₃)이나 오염화안티몬(SbCl₅)등이 있는데, 이와같은 무기염화물류는 가수분해시 생긴 열로 자기연소하거나 부근에 있는 가연물을 착화시키는 등의 위험이 있다.



다. 수분과 반응시 유독성기체 발생

금수성물질중에서 알루미늄(Al), 안티몬(Sb), 붕소(B), 인(P), 규소(Si), 주석(Sn), 황(S), 티탄늄(Ti) 등의 염화물과 무수초산 및 염화아세틸과 같은 유기화합물 등은 물과 반응시 유독성, 부식성의 염화수소(HCl) 인산(H₃PO₄), 초산(CH₃COOH), 이산화황가스(SO₂) 등의 물질이 생성된다.



4. 금수성물질의 시험방법

금수성물질의 위험성은 물과의 반응성시험을 통하여 측정되는데 고체 또는 액체 물질을 대상으로 물과 접촉하여 발화하든지 또는 가연성가스 발생위험을 측정하는 것이다. 다음은 일본소방법에 의한 금수성물질의 물과의 반응성 시험법이다.

가. 시험의 목적

이 시험은 고체 또는 액체물질이 물과 접촉하여 발화하든지 또는 가연성가스를 발생할 위험성을 판단하는 것을 목적으로 한다. 따라서, 시험물질을 물과 접촉시켜 가연성가스가 발생되는가 여부를 조사하는 것이다.

나. 시험물질

용기 속에 보관되어 있는 시험물질은 용기를 개봉후 바로 시험에 사용한다. 보호액중에 보관되어 있는 고체 시험물질은 보호액을 여과지를 써서 제거후 신속하게 시험에 사용한다.

다. 시험장소

시험을 행하는 장소는 온도 $20\pm5^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm10\%$ 대기압하의 바람이 거의 없는 상태의 장소이다.

라. 시험방법

(1) (가) 50㎖ 비이커(beaker)아래에 여과지 침하(沈下)방지대를 설치하고, 그 대 윗면까지 $20\pm5^{\circ}\text{C}$ 의 순수한 물(이온교환수 또는 증류수)을 넣는다. 그 위에 직경7cm의 여과지를 올려놓는다. 여과지가 수면에 뜬 상태가 되도록 수량조절후, 소량(고체의 경우 직경 2mm 정도, 액체의 경우 약 4㎖)의 시험물질을 여과지 중앙에 놓고, 발생된 가스가 자연발화하는가 여부를 관찰한다. 가스가 자연발화하지 않는 경우에는 같은 조작을 5회 반복한다. 가스가 자연발화하지 않는 것을 확인한 경우, 발생되고 있는 가스에 작은 불꽃을 근접시켜 착화하는가 여부를 관찰하는 것에 의해 그 가스가 가연성인가 여부를 확인한다.

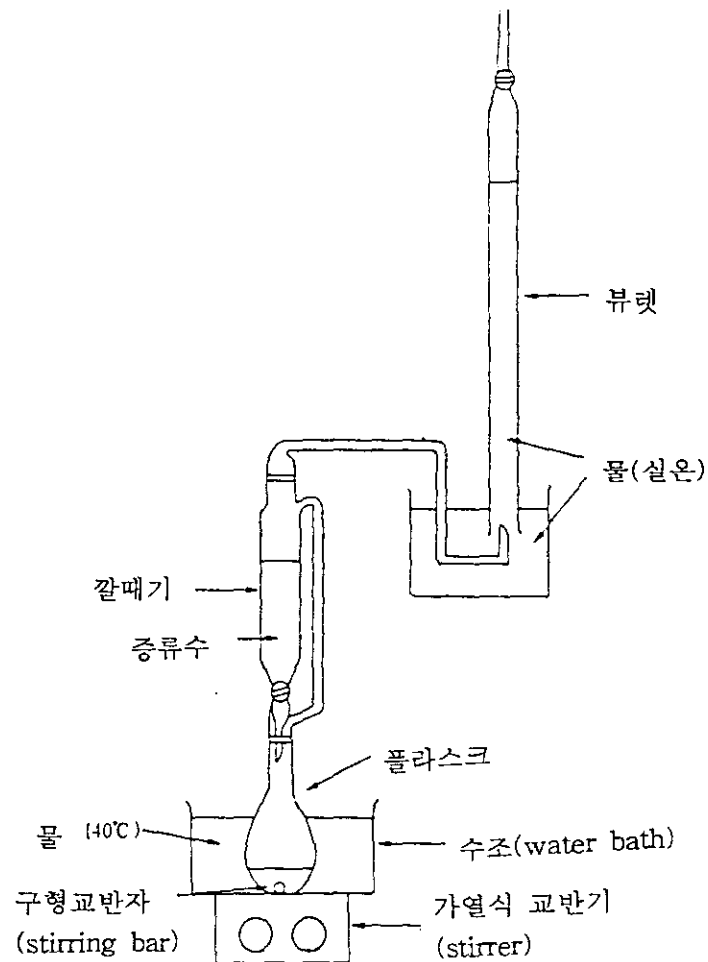
(나) (가)에서 자연발화하지 않는 가스를 발생시킨 경우, 또는 가스발생이 확인되지 않을 경우, (가)에서 사용한 시험물질의량을 증가시켜(고체의 경우 (가)의 2배정도의 직경, 액체의 경우 50㎖), (가)와 같은 시험을 실시해 가스가 발생하는가 및 자연발화하는가를 관찰한다. 가스가 자연발화하지 않는 경우에는 같은 조작을 5회 반복 실시한다. 자연발화하지 않는 것이 확인된 경우는, 발생되고 있는 가스에 작은 불꽃을 근접시켜 착화하는가 여부를 관찰하는 것에 의해 그 가스가 가연성이 있는가 여부를 확인한다. 단, (가)에서 이미 확인된 경우에는 이것을 행하지 않는다. 가스가 자연발화된 경우나 또는 발생된 가스가 가연성이 있는 것이 확인된 경우에

는 다음의 시험을 행하지 않는다.

- (2) 위의 (1)의(나)의 시험에서 발생된 가스가 자연발화된 경우, 가스가 가연성이 있는 것이 확인된 경우 또는 가스의 발생이 확인된 경우에는 100ml 가스를 발생시키기에 충분한량(최대2g)의 시험물질을 용량100ml의 둥근 플라스크(round flask)에 넣고, 이것을 40℃의 수조(water bath)에 담근다([그림 2-1] 참조). 적하깔대기(dropping funnel)로 부터 40℃ 순수(이온교환수 또는 증류수) 50ml를 신속하게 가한다. 플라스크내를 직경12mm 크기의 구형의 교반자(stirring bar)를 이용해 교반하면서 가스의 발생을 1시간 간격으로 5시간동안 측정한다. 이때 발생하는 가스가 물에 녹지 않는 경우에는 뷰렛을 써서 수상치환 방법으로 모으고, 물에 녹는 경우에는 밀봉한 플라스틱제 봉지 등에 보집(補集)해서 가스를 주사기로 취하는 것에 의해 측정한다. 여기서 각 1시간당 발생된 가스의 량(시험물질 1kg에 대한 1시간당 발생량으로 표시한다)의 최대치를 최대가스발생량으로 한다. 같은 조작을 5회 실시하여 이중 최대의 것을 쓴다. 발생하는 가스에 대해 알지 못하는 경우에는 이 가스에 가연성가스가 포함되어 있는가 여부를 조사한다. 이 조사는 기체크로마토그래프(G.C) 등과 같은 분석기기를 이용해 확인한다.

마. 판정

라(1)의 시험에서 발생된 가스가 발화된 경우, 발생된 가스가 작은 불꽃을 근접시키는 것에 의해 착화되어 가연성가스로 확인된 경우, 또는 라(2)의 시험에서 가연성가스의 최대발생량이 시험물질 1kg에 대해 1시간당 $0.2\text{m}^3(200\text{ l/kg.h})$ 이상인 경우에는 시험물질을 위험물(금수성물질)로 한다.



[그림 2-1] 물과의 반응성 시험장치

바. 시험결과 예

금수성 물질의 물과의 반응성시험에 대한 예로서 금속나트륨, 마그네슘 분말 등에 대한 시험결과를 <표 2-4>에 나타내었다.

<표 2-4> 물과의 반응성 시험결과

시 험 물 질	기체의 발생	자 연 발 화	착 화 유 무
금속나트륨	발 생	발 화	-
마그네슘 분말	×	×	×
알루미늄 분말	×	×	×
칼슘카바이드	발 생	×	착 화
적린	×	×	×
오산화 인	발 생	×	×
하이드로 설페이트	×	×	×

금속나트륨(Na)은 물과 반응해서 발화하고 칼슘 카바이드(CaC_2)는 가연성의 아세틸렌가스를 발생했다. 오산화인은 수증기라고 생각되는 흰연기를 발생시켰다.

나머지 물질은 발화되지도 않았고 가연성가스의 발생도 없었다.

5. 금수성물질로 인한 재해사례

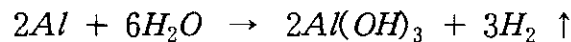
국내외에서 금수성물질, 특히 금속에 의한 화재, 폭발사고를 살펴보면 다음과 같다.

가. 국내

금수성물질로 인한 재해사례가 체계적으로 정리되어 있지는 않으나 국내에서는 주로 알카리금속류에 의한 재해사례가 있다. 알루미늄 분진이나 마그네슘 분말에 의한 화재·폭발사고나 알루미늄, 카바이드가 물과 반응시 생성된 수소, 아세틸렌 가스에 의한 화재·폭발사고 등이 있다.

(1) 알루미늄(Al) 분진에 의한 화재·폭발

1992년 8월 경기도 오산시 소재의 한 수송용 기계기구제조업체에서 집진기 상부에서 용접작업중 용접불꽃이 집진기 분진배출구의 알루미늄 분진이 담겨져 있는 마대에 비산되어 화재가 발생되고 폭발로 이어져 1명이 사망하고 3명이 부상당한 재해가 발생되었다. 원인은 화재를 진압하기 위해 사용한 모래의 수분이 아래와 같은 화학반응을 일으켜 생성된 가연성가스(수소)에 의해 폭발되었을 것으로 추정되는 재해이다.



금속화재시 소화제로서 모래를 사용할 수 있으나 모래는 완전히 건조되기 어렵기 때문에 바람직한 소화제는 아니다. 그러므로 알루미늄 화재에 적절한 분말소화제(제4장 참조)를 사용하는 것이 바람직하다고 하겠다.

(2) 수소기체에 의한 폭발

1992년 11월 충남 연기군 소재의 한 요업제품제조업체 주조반에서 단열제 원료 혼합작업중, 혼합기 하단부에 설치된 배출밸브가 작동되지 않아 혼합기 상단 맨홀을 열고 라이터를 이용하여 내부를 확인하다 혼합기내에 축만된 수소에 점화, 3명이 화상을 입은 재해가 발생되었다.

이때 발생된 수소는 원료로 투입된 알루미늄 분(粉)과 물과의 반응에서 생성된 것으로 배출밸브 고장으로 혼합기 내부에 축만된 것으로 추정되고 있다.

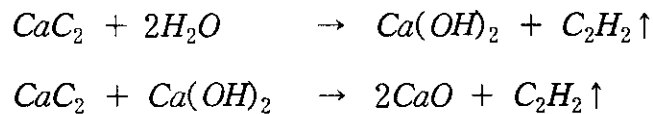


배출밸브가 작동되지 않아 혼합기 내부에 수소기체가 충전되어 있다는 것을 알았다면 방지되었을 사고로 반응공정에 대한 이해부족으로 생각되는 재해이다.

(3) 카바이드에서 발생한 아세틸렌가스에 의한 폭발

1994년 1월 경기도 안산시 소재의 한 가스제조업체 소석회 저장탱크 부근에서, 탱크로리 내부에 저장된 소석회를 저장탱크로 이송하기 위해서 로리상부의 맨홀뚜껑을 개방하던중 가연성가스에 의해 로리내부가 폭발하여 맨홀뚜껑이 비래하면서 1명이 사망한 사고가 발생하였다.

이 사고는 액상소석회 중에 미반응 카바이드(CaC_2)가 존재하여 다음과 같은 반응들이 진행되면서 가연성가스인 아세틸렌가스가 발생되어 내부공기와 폭발성 혼합가스를 형성, 폭발된 것으로 추정된다.



(4) 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al) 분말에 의한 폭발

1994년 3월 인천시 남동구 소재 한 금속재료품 제조업체에서 호이스트(hoist)로 운반된 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al) 분말을 안정화 처리기에 투입하던중 스크류 샤프트(screw shaft) 지지용 베어링(bearing) 마모에 의한 마찰로 추정되는 점화원에 의해 마그네슘, 알루미늄 분말의 화재·폭발이 발생되어 1명이 사망한 재해가 발생되었다.

이 사고는 마그네슘과 알루미늄 분말이 공기중의 습기와 접촉되고, 이때 발생한 수소기체가 공기중의 산소와 폭발성 혼합가스를 형성하고, 마찰열에 의해 점화, 폭발된 것으로 추정되는 재해이다.



(5) 용융알루미늄에 의한 수증기 폭발

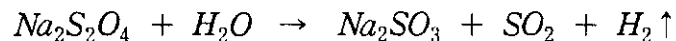
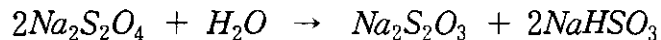
1994년 3월 인천시 서구 소재 한 기계기구 제조업체에서 용고되지 않은 용융상태의 알루미늄(Al)이 전기유도로의 인고트 인출부분을 관찰중, 일시적으로 쏟아지면서 집수호퍼내에 고여있는 냉각수로 흘러내려 수증기폭발을 일으켜 1명이 사망하고 4명이 화상을 입은 재해가 발생하였다.

용융알루미늄이 물과 접촉시 수증기 폭발위험성은 여러 참고자료에도 나와있는 대표적인 위험성이다. 이에 대한 주의가 부족한 것으로 생각된다.

(6) 건조중인 차아황산소다 분해에 의한 폭발

1994년 1월 경북 봉화군 소재 (주)○○제련소 차아황산소다($Na_2S_2O_4$) 제조공장에서 건조작업중 건조기 내부 온수코일에서 온수($90^\circ C$)가 누출되어, 건조중인 차아황산소다와 접촉하여 급격한 분해반응을 일으켜 여과건조기가 폭발하여 3명이 부상당한 재해가 발생하였다.

이 사고는 건조기 내부의 온수코일 용접부위에서 온수($90^\circ C$)가 누수되어 차아황산소다와 접촉, 아래와 같이 급격한 분해반응을 일으켜 압력이 급상승하여 건조기가 폭발된 것으로 추정되고 있다.



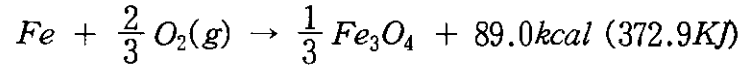
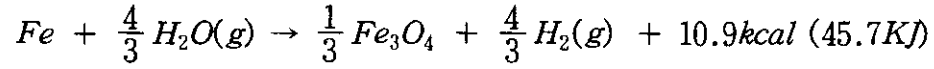
나. 국외

금수성물질로 인한 재해사례는 많지는 않으나 철분에 의한 재해사례가 있다. 철분 또는 철부스러기(切削屑)를 선박으로 수송 중에 선창내에 빗물 또는 바닷물이 침입해서 철분 등이 젖게 되어, 이로 인해 자연발열을 일으키고 수증기를 내뿜으며 때로는 백열(白熱)상태로 되어, 이를 소화하기 위하여 물을 뿌려도 쉽게 소화되지 않은 예가 일본에서 다음과 같이 있다.

(1) 철분에 의한 화재

- (가) 1962년 11월 16일 일본 高松市 朝日町해안에서 바닷물에 적혀진 철분을 싣던 화물선의 선창(船倉)으로부터 맹렬하게 수증기를 분출하며 화재가 발생하였다.
- (나) 1963년 2월 2일 일본 坂出市 東浜中央해안에서 철부스러기 3,000톤(ton) 정도를 싣고 있던 하물선 내에서 발화가 일어나 물을 뿌려도 화재가 용이하게 소화되지 않아, 배에 있던 곡물은 변색되고 용접부분이 열팽창에 의해 변형되고 균열이 발생되었다.
- (다) 1968년 1월 14일 일본 大坂市 港區 海岸通 1丁目の 해안에서 철분 45톤을 싣다가 빗물이 스며들어 선적작업 종료 4시간후 화재가 발생되어 불꽃이 치솟았다.
- (라) 1968년 1월 27일 大坂市 西淀川區 大谷重工業(주) 공장해안에서 화물선에 싣고 있던 철부스러기(400톤)에서 발화가 일어나 선창내의 철판(鐵片)은 차광보호안경을 필요로 하는 정도의 백열(白熱)상태로 되었다.
- (마) 그밖에 육지에 야적되어 있던 철분 또는 철부스러기가 발화하여 화재가 난 경우가 다수 있다. 이와 같은 발화현상은 표면적이 큰 철분이 물 또는

수증기와 접촉될 때



의 발열반응을 일으킨 결과로 나타난 것이다. 특히 바닷물은 위의 반응을 촉진시키는 효과가 뛰어난데, 이는 바닷물중의 염화물은 반응에 의해 생긴 산화철(Fe_3O_4)의 피막을 제거해 피막이 없는 철표면을 만드는 작용이 있는 것으로 생각되고 있다.

(2) 사염화규소($SiCl_4$) 누출사고

미국시카고에서는 1974년 4월에 약 1만갈론의 액체 사염화규소($SiCl_4$)가 저장탱크로부터 유출되어 공기중의 습기와 반응하여 유독한 염화수소기체가 발생되는 중대산업재해가 발생하여 인근의 주민 100여명이 피난하는 사고가 발생되었다.

제 3 장 취급·저장시 안전대책

1. 일반적 주의사항

각종 위험물에 대한 안전관리는 이들 물질이나 약품의 위험성을 숙지하고 이에 대한 정확한 지식을 가지고 다루어야 할 것이다. 산업안전보건법상의 산업안전기준에 관한 규칙 제 254조에 의한 위험물 등의 규제, 관리에 의거한 위험물질을 크게 6구분하였는데, 이들의 종류별 취급상의 관리에 대한 사항을 정리하면 다음과 같다.

가. 폭발성물질

파열, 마찰, 충격 또는 다른 화학물질과의 접촉 등으로 인하여 산소나 산화제의 공급이 없어도 폭발 등의 반응을 일으킬 수 있는 고체나 액체이다. 이들 물질을 관리시 적절한 방호조치를 취하지 아니하고 이 물질을 화기나 기타 발화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 가열, 마찰 그리고 충격을 가하는 행위를 금하여야 한다. 또한 필요이상으로 많은량의 저장이나 취급을 금하여야 한다.

나. 발화성물질

스스로 발화하거나 발화가 용이하거나 또는 물과 접촉하여 발화하고 가연성가스를 발생할 수 있는 물질로서 가연성 고체와 자연발화성 및 금수성물질이 이에 속한다. 이와 같은 물질을 관리시 적절한 방호조치를 취하지 아니하고 이 물질을 화기 또는 발화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 산화를 촉진하는 물질 또는

물에 접촉시키거나 가열·충격을 가하는 행위를 금하여야 한다. 이 물질의 취급·저장시에는 공기와 접촉되지 않도록 하고 다른 위험물과 격리시켜 저장한다. 또한 물과의 접촉도 피하여야 한다.

다. 산화성물질

산화력이 강하고 가열, 충격 및 다른 화학물질과의 접촉 등으로 인하여 격렬하게 분해되거나 반응하는 고체 및 액체이다. 이들 물질을 관리시, 이들 물질의 분해를 촉진시킬 우려가 있는 물질과 접촉시키거나 가열, 마찰 및 충격을 가하는 행위를 금하여야 한다. 이 물질의 취급·저장시에는 환원성물질이나 유기물질과의 접촉이나 혼합을 피하여야 한다. 이 물질은 충격, 마찰 또는 가열에 의해 격렬히 폭발을 일으키기 쉬우므로 이를 피하여야 한다.

라. 인화성물질

대기압(1기압)하에서 인화점이 65℃이하인 가연성액체를 말하는데, 인화점 -30℃미만인 물질, -30℃이상 0℃미만인 물질, 0℃이상 30℃미만인 물질 그리고 30℃이상 65℃이하인 물질로 분류된다.

이들 물질을 관리시, 적절한 방호조치를 취하지 아니하고, 이 물질을 화기 및 기타 발화원이 될 우려가 있는 것에 접근시키거나 주입 또는 가열, 중발시키는 것을 금하여야 한다. 발화원이 있으면 상온에서 용이하게 인화하므로 취급, 저장중에는 가까운 곳에서의 화기사용을 금한다. 인화된 경우에 즉시 사용할 수 있도록 소화용 설비를 갖춘다. 저장중에는 항상 밀봉하여 가스나 증기가 새지 않도록 해야 한다. 가스폭발의 위험이 있으므로 방폭형 설비가 갖추어진 곳에서 취급·저장하고 다량의 폐액을 배수구에 버려서는 안된다.

마. 가연성가스

폭발범위의 하한이 10%이하 또는 상하한의 범위가 20%이상인 가스를 말한다. 이 물질을 관리시, 적절한 방호조치를 취하지 아니하고 화기 및 기타 발화원이 될 우려가 있는 곳에 접근시키거나 압축, 가열 또는 주입하는 행위를 금하여야 한다.

바. 부식성물질

금속 등을 쉽게 부식시키고 인체에 접촉되면 심한 상해(화상)를 입히는 물질을 말하며 농도가 20%이상인 염산, 황산, 질산 등과 같은 부식성산류와 농도가 40% 이상인 수산화나트륨, 수산화칼륨 등의 부식성 염기류로 분류된다.

이 물질을 관리시, 적절한 방호조치를 취하지 아니하고 이 물질을 누출시키는 등으로 인하여 인체에 접촉시키는 행위를 금하여야 한다. 눈에 들어가면 아주 큰 통증을 느끼며 실명하게 되는 경우가 있으므로, 취급시 꼭 보호안경을 착용해야 한다. 만약 눈에 들어간 경우는 즉시 다량의 물로 충분히 씻고 의사의 치료를 받아야 한다. 또한 피부에 직접 접촉되지 않도록 하며 의복에 묻었을 때는 즉시 옷을 갈아입어야 한다.

2. 금속성물질별 안전대책

금속성물질의 물리·화학적 특성을 고려한 물질별 취급·안전대책에 대한 사항은 다음과 같다.

가. 금속류

리튬, 나트륨, 칼륨, 나트륨-칼륨합금, 마그네슘, 알루미늄, 아연 등과 같은 금속류는 물과의 반응성 때문에 수분과의 접촉방지에 대해 다음과 같은 특별한 예방조

치가 필요하다.

(1) 기본사항

- (가) 금속이 들어있는 드럼이나 그 밖의 용기는 건조하고 내화시설이 되어있는 저장실이나 건물에 저장해야 한다.
- (나) 스프링클러 소화시설은 알카리금속이 저장되어 있는 곳에는 적합하지 않으며, 비가연성물질이 금속과 같이 저장되어 있어야 한다.
- (다) 금속저장실에는 들어있는 용기뿐만 아니라 빈 용기도 저장하고, 모든 용기는 미끄럼방지 장치가 되어있어야 한다.
- (라) 저장실에는 물뿐만 아니라 스팀관(steam pipe)도 없어야 하지만, 적당한 열은 대기의 변화로 인한 습기의 응축을 방지하는데 도움이 된다.
- (마) 사고로 금속이 습기와 접촉되어 발생된 수소를 환기할 수 있도록 하기 위해 저장실의 상부에 환기시설을 설치해야 한다.
- (바) 많은 량의 금속은 옥외지상탱크에 저장하고, 탱크의 맨홀(manhole)부분은 기상변화에 대비한 설비가 되어있어야 한다. 탱크내부의 빈 공간(금속이 채워지고 남은 공간)은 질소기체로 채워져야 한다. 리튬의 경우에는 질소기체 대신에 아르곤(Ar)이나 헬륨(He)으로 대체할 수 있다.
- (사) 금속은 저장실로부터 사용하고자 하는 장소로 소량을 옮길 때에는 완전히 밀봉된 용기를 사용한다. 이때 사용하는데 필요한 최소한의 량을 저장실로부터 꺼내야 한다.
- (아) 금속은 습기에 대한 친화력이 매우 크므로 밀봉할 때 대기중의 습기와 반응할 수 있다. 이로 인해 용기 내에 수소기체가 있을 수 있기 때문에 용기를 햄머 등을 이용해 밀봉된 뚜껑을 여는 것을 금지한다.

(2) 리튬(Li)

(가) 저장

- 1) 리튬(Li)은 보통 실온에서 저장한다. 물과의 접촉을 피하고 공기나 반응할 수 있는 다른 물질과 접촉되는 것을 피하여야 한다. 리튬(Li)금속은 반응성이 없는 물질(등유, white mineral oil)과 함께 철제드럼속에 저장한다. 공정상 필요시에는 아르곤이나 헬륨과 같은 건조한 비활성기체로 채워진 드럼에 보관하기도 한다.
- 2) 저장시 광물유가 보호매개체로서 사용되었을 때, 리튬 잉곳(ingots)은 과량의 광물유속에 완전히 잠기게 하거나 단지 보호필름처럼 둘러쌀 수 있다. 공기가 차단된 용기 속에서 완전히 잠겼다고 하더라도 오랫동안 금속을 저장하는 긍정적인 방법이다. 경제적인 측면에서는 금속을 단지 보호필름만으로 저장하는 것을 요구하기도 한다.
- 3) 많은 량의 리튬을 취급·사용시 약간의 적재물(scrap)이 쌓일 것이다. 남은 금속의 작은 조각, 작은 부스러기, 미반응 리튬이 포함된 부생성물, 용융작업시 나온 찌꺼기, 리튬 니트라이드(lithium nitride) 그리고 부분적으로 연소된 금속 등 이러한 모든 찌꺼기와 잔류물은 안전하게 폐기될 때까지 광물유속에 저장한다.
- 4) 리튬금속 저장을 위한 지정된 지역이 마련되어야 한다. 이는 분리된 방이나 건물이어야 한다.
- 5) 즉시 필요로 하는 적정량을 저장지역에서 꺼내와 반응지역에서 남은량을 보관하지 않도록 한다. 금속을 원용기에서 다른 용기로 옮길 때, 두 번째 용기는 완전히 건조되고 어떠한 다른 물질도 없어야 한다. 대기 중에 노출을 최소화하며 가능한 한 빨리 옮겨야 한다.

- 6) 드림으로 옥내저장시 가장 중요한 요건은 건조하게 유지되는 것이다. 자동스프링클러시스템을 사용해서는 안되고 물이나 수증기관(steam pipe)이 저장지역을 통과해서도 안된다. 빗물이나 지표수가 저장지역으로 흐르는 것을 방지해야 한다.
- 7) 저장실의 대기조건 변화에 기인한 습기의 응축을 방지하기 위해 나화(裸火)를 사용하지 않고 충분한 열을 공급해야 한다.
- 8) 저장지역과 저장용기는 부주의로 인하여 물과 접촉되거나 취급잘못 혹은 화재시 적절한 소화제의 사용을 위하여 표지를 붙인다.

(나) 취급

- 1) 대부분의 경우에 리튬금속을 사용하기 전에 보호코팅을 제거해야 한다. 통상적으로 헥산(hexane), 헵탄(heptane)과 같은 탄화수소 용매와 스토다드(stoddard)용매가 쓰인다. 에테르, 알코올, 불포화탄화수소, 염소화탄화수소 혹은 물을 함유한 용매는 리튬이 이들 물질과 폭발적인 반응을 할 가능성이 있기 때문에 사용해서는 안된다.
- 2) 금속제드럼, 반응용기, 연장 그리고 철제금속은 리튬과 녹이 없는 상태에서 접촉되어야 한다. 리튬이 녹슨 표면과 마찰되었을 때 스파크가 일어나고 가연성기체가 존재한다면 폭발위험이 생겨난다.
- 3) 리튬과 물과의 반응으로부터 생성된 수소기체는 공기와 폭발성의 혼합물을 형성한다. 수소기체를 발화시키는 리튬의 능력은 시스템의 부피에 대한 표면비에 의존한다. 금속의 고체조각 하나는 예측가능하나 미세한 분말상태의 금속과 금속니트라이드(nitride)는 예측할 수 없다. 이들은 폭발을 야기하는 수소를 발화시키는 것으로 알려져 있다.
- 4) 고체 상태의 리튬은 용융리튬보다 반응성이 작다. 고체리튬의 반응성은

온도가 용융점(m.p)에 접근할수록 급격히 증가한다. 그러므로 취급방법, 위험성 및 예방은 사용되는 온도에 따라 달라져야 한다.

- 5) 용융상태의 리튬은 적절한 예방이 준수되면 안전하게 취급할 수 있다. 리튬은 온도가 자동적으로 190~225℃사이로 조절되는 전기적으로 가열되는 광물유에서 녹일 수 있다. 용융금속은 광물유 위로 부유하게 되나 표면장력 때문에 오일 보호막을 갖게 된다. 녹는 동안 보호막을 철제젓개로 오일을 부드럽게 젓거나 금속표면위로 적은 량의 오일을 직접 떨어뜨려 다시 생성시킨다. 용융포트(pot)로 부터 금속의 옮김은 쇠물바가지(stainless ladle)로 하거나 붓는 방법으로 한다.
- 6) 225℃이상 가열은 아르곤(Ar) 혹은 헬륨(He)의 불활성 분위기하의 밀폐된 용기 속에서 행한다. 질소는 산소와 마찬가지로 리튬과 반응하여 리트라이드(nitride)를 형성하기 때문에 배제하여야 한다.
- 7) 화학반응에서 리튬을 안전하게 사용하기 위해서는 다음 사항을 준수해야 한다.
 - 가) 리튬과 반응시키려고 하는 화학물질의 물리 화학적 성질을 알고 반응의 위험에 대해 잘 숙지해야 한다.
 - 나) 반응잔류물(residues)은 쌓아 놓아서는 안되며 적절한 폐기방법을 수립해야 한다.
 - 다) 적은 량으로 시험반응을 해본다.
 - 라) 불활성용매와 희석하든지 다른 방법으로 반응속도를 줄일 수 있게 하여 반응속도를 조절한다.
 - 마) 많은 량의 리튬은 취급할 때 특히 높은 온도에서 화재나 설비결함의 경우에 대비해서 비상계획을 수립한다.

(다) 개인보호장비

- 1) 리튬 금속이 피부나 눈과 접촉되어서는 안된다. 리튬 취급시 필요한 보호장비는 금속의 량과 온도에 전적으로 의존한다. 고체리튬은 고체나 플라스틱 장갑 혹은 금속집게(tong)로 취급해야 한다. 눈보호구와 장갑은 적은 량의 작업에 적합하다. 탄화수소 용매 속에 분산된 리튬금속을 취급할 때는 고무와 플라스틱장갑, 보호앞치마, 고글 및 보안면 등을 필히 착용해야 한다.
- 2) 용융리튬을 취급할 때 작업자는 내화복, 안전화, 석면장갑 그리고 보안면을 착용해야 한다. 장갑을 포함한 모든 의복은 여유있게 착용하여 쉽게 벗을 수 있어야 한다.

(3) 나트륨(Na)

(가) 저장

드럼상태로 옥내저장시 유의할 사항은 다음과 같다.

- 1) 나트륨 저장시 고려되어야할 가장 중요한 사항은 만약 나트륨이 물과 접촉시 발생되는 수소폭발이므로 저장지역은 건조해야 한다는 것이다. 저장지역에는 물이나 스팀파이프가 지나가서도 안되며 방에서 사용해서도 안된다. 또한 자동스프링클러 설비가 없어야 한다.
- 2) 건물은 빗물이 스며들지 않고 지하수가 침투하지 않는 저장지역이 되도록 건축되어야 한다. 저장지역의 습기의 응축을 방지하기 위해 나화(裸火)를 사용하지 않고 충분한 열이 공급되어야 한다.
- 3) 나트륨 소화제로 건조염화나트륨, 건조소다회 혹은 건조흑연이 저장지역에 놓여 있어야 한다. 모든 소화물질은 건조하게 보관.유지되어야 한다.

- 4) 물, 탄산가스(CO_2), 사염화탄소(CCl_4), 소다산(H_2CO_3) 혹은 드라이케미칼(dry chemical) 소화제는 결코 사용해서는 안된다. 저장지역에 이와 같은 소화제를 사용해서는 안된다는 경고표지를 부착해야 한다.
- 5) 나트륨에 대해 승인된 소화제에 대해 표준색으로서 노란색, 승인되지 않은 형태에 대해서는 붉은 색으로 구분하여 명시한다.
- 6) 빈 나트륨용기(드럼)는 완전히 밀폐하고 나트륨 저장지역에 보관하며 오염을 피한다.
- 7) 필요한 나트륨 양만을 저장지역으로부터 즉시 꺼낸다. 꼭 맞는 뚜껑이 부착된 특별한 금속제 용기를 이용해서 저장지역으로 부터 사용지역으로 필요양만을 옮긴다.
- 8) 나트륨이 한 용기로부터 다른 용기로 옮겨져야 할 때 옮겨 담는 용기(두 번째 용기)는 완전히 건조하고 외부의 다른 어느 물질도 없는 것을 확인하여야 한다. 그런 다음, 나트륨 덩어리는 가능한 빨리, 대기 중에 노출을 최소화하고 습기가 낮은 조건하에서 옮겨야 한다.
- 9) 실험실에 보관시에는 나트륨용 보관장소가 구비되어야 한다. 실험대 위에서는 녹이 없는 금속제 캔(friction-top metal can)에 등유(kerosene)나 톨루엔과 같은 탄화수소와 함께 건조한 상태로 보관되어야 한다. 만약, 유리용기를 사용할 때에는 파손시 나트륨의 유출을 제한하기 위해 금속제 양동이 내부에서 사용해야 한다.

(나) 취급

- 1) 나트륨의 적절하고 안전한 취급을 위하여 다음 사항을 준수해야 한다.
 - 가) 산소가 있을 때 반응열에 의해 발화할 수 있는 수소의 발생을 피하기 위해 물을 멀리한다.

- 나) 나트륨을 피복하기 위해 건조질소($> 0.1\text{mgH}_2\text{O}/\text{ft}^3$)만을 사용한다.
 - 다) 나트륨의 물리 화학적 성질을 알고, 하고자하는 반응의 포텐셜 (potential)을 고려한다.
 - 라) 먼저 나트륨 잔류물의 폐기 계획을 세우고 폐기물의 적재를 금지한다.
 - 마) 장갑을 착용하고 적절하게 잘 맞는 케미칼타입 안경을 착용한다. 크름가 즉 앞치마는 용융나트륨 작업자에게 공급되어야 한다.
- 2) 실험실에서 나트륨을 취급시 다음과 같은 예방이 준수되어야 한다.
- 가) 공기가 차단되고, 표지가 부착되어 있는 녹이 없는 금속제 용기에 물로 부터 격리해서 보관한다.
 - 나) 적은 양으로 시험반응을 시켜본다. 나트륨을 조금씩 증가시키고 불활성 용매로 반응물을 희석해서 반응속도를 조절한다.
 - 다) 보안경, 장갑 그리고 긴소매의 실험복을 착용한다.
- 3) 나트륨 분산액은 등유(kerosene) 혹은 톨루엔과 같은 나트륨에 대해 불활성인 탄화수소 속에 나트륨 금속이 분산되어 있는 것이다. 나트륨 분산액은 덩어리 형태의 나트륨보다 금속표면적이 더 크기 때문에 특별히 주의해야 한다.
- 4) 나트륨 분산액이 공기중 습기와 접촉시 조해에 의해 물방울이 생기면서 수산화나트륨(NaOH)이 생성된다. 나트륨과 물과의 반응결과 생성된 반응열은 탄화수소 매체를 발화시키기에 충분하게 된다. 만약 분산액이 형집이나 종이와 같은 흡수제 위에 유출시, 이러한 물질은 탄화수소 용매를 흡수하고 공기중 습기에 미세한 금속이 노출되므로 결과적으로 화재가 발생한다.
- 5) 나트륨 분산액 화재는 우선 탄화수소 화재인데, 이 화재는 종래의 드라이

케미칼(dry chemical)소화제로 소화할 수 있다. 모든 나트륨 화재에서 물 또는 물이 포함된 폼소화제, 염소화탄화수소 소화제는 사용해서는 안된다.

(다) 개인보호장비

- 1) 개인보호장비는 취급되는 화학물질량과 온도에 따라 나트륨을 취급하는 작업자에게 착용시킨다.
- 2) 나트륨 제조작업에서 많은 양이 고온에서 취급될 때 최대한의 보호가 요구된다.
- 3) 나트륨이 용융온도(120℃)에서 플랜트 스케일로 소비되고 있는 곳이나 나트륨 덩어리가 취급되고 있는 곳은 크롬가죽 미트(mitt : 손가락 부분이 없는 긴 장갑), 얼굴가리개, 크롬가죽 앞치마 그리고 케미컬 타입-고글과 같은 종래의 보호장비가 적절하다. 모든 의류는 여유있게 착용해야 하고 움직이기 쉬워야 한다. 이런 이유로 크롬가죽 미트(mitt)는 팔목끈이 있는 장갑(wristlet-type glove)이 더 좋다.
- 4) 장갑과 보안경은 나트륨이 포함된 반응을 취급하거나 관여하는 작업자에게 착용되어야 한다.
- 5) 분산액이 취급되는 곳에서는 고무 혹은 고무로 코팅된 불침투성 장갑과 보안경을 착용해야 한다.

(라) 환기

- 1) 나트륨이 실온에서 취급되는 곳은 특별한 환기가 필요하지 않다. 나트륨 금속은 매우 낮은 증기압을 갖고 있어 증기흡입 위험이 거의 없다.
- 2) 적재된 나트륨과 반응잔류물이 타고 있는 지역에 스크라버(scrubber)를 통한 적절한 국소배기가 갖추어져야 한다. 진한 산화나트륨(sodium

oxide) 흠(fume)은 기관지계통에 심한 자극이 있으나 금속 흠 호흡구는 적절하게 보호해준다. 흠(fume)은 피부에 습기가 있을 때 노출된 피부에 자극이 있다.

나. 금속수소화물

하나의 금속과 수소가 결합된 금속수소화물(binary saline hydride)인 수소화리튬(LiH), 수소화나트륨(NaH), 수소화칼슘(CaH_2) 등과 서로 다른 두금속과 수소가 결합된 금속수소화물(complex saline hydride)인 수소화알루미늄리튬(LiAlH_4), 수소화붕소나트륨(NaBH_4) 등의 안전한 취급,저장을 위한 사항은 다음과 같다.

(1) 저장

- (가) 소량의 금속수소화합물은 완전히 건조된 캔(friction-tip can)이나 병(screw-top bottle)용기에 넣어 보관한다.
- (나) 수소화리튬(LiH)의 경우 CFR 49에 명시된 17C, 17H 혹은 37A 철제드럼으로 포장되어야 한다.
- (다) 금속수소화물 용기는 적절한 환기가 이루어지고 건조한 곳에 보관하여야 한다.
- (라) 수소화붕소나트륨이나 칼륨(NaBH_4 , KBH_4)은 어떠한 경우에도 수소화물과 습기가 접촉되어서는 안되며 또한 다음과 같은 장소에서 사용하거나 저장해서는 안된다.
 - 1) 스프링클러시스템이 갖추어진 건물
 - 2) 습기가 매우 높은 지역
 - 3) 냉수파이프(cold water pipe)로 격리되어 있지 않은 곳
 - 4) 가연성용매가 저장되어 있는 곳

5) 산(acid) 저장지역

- (마) 저장실과 생산시설지역에 모든 전등, 스위치, 모터, 전기콘센트 등은 방폭 구조이어야 하고 적절한 강제환기가 이루어져야 한다. 흡연과 성냥의 사용은 발생될 수도 있는 수소의 발화를 방지하기 위해 금한다.
- (바) 수소화붕소나트륨이나 칼륨(NaBH_4 , KBH_4)을 제외하고 사용자가 금속수소화물 용기를 열 때에는 여는 사람을 위해 고글(goggle), 보안면, 장갑 등을 착용할 것을 권고한다.
- (사) 만약 수소화물이 들어있는 캔(can)의 비틀림이 없어 보이면 리드(lid)를 써서 뚜껑을 연다. 이때 리드(lid)는 서서히 당겨서는 결코 안된다. 치찰음은 수소가 빠져나가는 것을 나타낸다. 만약 캔(can)이 눈에 뜨일 정도로 부풀어올랐으면 더욱더 조심해야 한다. 수소화물을 소량씩 수시로 꺼내기 위해 반복적으로 용기를 열 때에는 매번 불활성분위기(drybox 이용)하에 서 행하여야 한다.
- (아) 수소화붕소나트륨이나 칼륨(NaBH_4 , KBH_4)을 제외한 금속수소화물의 용기가 다시 밀폐되기 전에 건조한 불활성기체를 주입하여 습기를 제거하여야 한다. 용기안에 있는 습기는 수소화물과 반응하여 수소를 발생시키고 이로 인하여 용기내부의 과압을 일으켜 용기가 일그러지거나 파열될 수 있다.

(2) 취급

- (가) 금속수소화물이 포함된 공정에서 사용되는 설비는 수소-산소 혼합물의 불꽃에 의한 발화를 방지하기 위해 방폭구역에 위치해 있어야 한다. 이 지역에서 담배를 피우거나 성냥을 지니는 것은 금지되어야 한다. 전기설비는 방폭구조이어야 하고 적절한 환기는 수소를 제거하기 위해 설치되어야

한다.

- (나) 모든 반응기, 용액 리시버(receiver) 그리고 기타 공정설비는 실험실이든 플랜트이든지 철저히 건조되어야 하고 수소화물 투입 전에 건조한 불활성기체로 파지(purge)해야 한다.
- (다) 수소화붕소나트륨이나 칼륨(NaBH_4 , KBH_4)을 사용하는 설비는 제외하고 모든 공정설비는 건조된 불활성기체로 몇 번 파지(purge)한 후 설비의 산소농도를 측정해야 한다. 산소부피는 수소화물이 리시버(receiver)속으로 투입 전에 1%보다 적어야 한다.
- (라) 배기관(exhaust line)은 큰 직경의 것이어야 하고 사람이나 설비, 그리고 습기 등을 고려한 안전한 지역으로 유도되어야 한다.
- (마) 각 반응기와 저장탱크는 예기치 않았던 수소기체 생성에 따라 압력의 상승을 경고하기 위해 릴리프 밸브(relief valve)와 파열판(reputure disk)을 갖추어야 한다. 파열판은 릴리프 밸브보다 10psi 게이지 위에 설정되어야 한다. 밸브와 파열판 모두 주기적으로 점검해야 한다.
- (바) 스파크(spark)는 미세한 분말의 수소화물이나 발생하는 수소기체를 발화시킬 수 있으므로 연장(tools), 무게측정용 팬(weighing pan), 깔때기(funnel) 그리고 기타 설비는 베릴륨-구리(Be-Cu) 합금과 같은 스파크방지용 금속(spark-resistance metal)으로 만들어진 것이어야 한다. 설비는 접지되어야 하고 옷은 면과 같이 정전기를 생성하지 않는 물질로 만들어진 것을 작업자에게 입혀야 한다.
- (사) 수소화나트륨(NaH)에 대한 반응용기의 자켓(Jacket)은 열매체로서 물보다는 다른 열매체를 사용한다.
- (아) 수소화나트륨(NaH)과 수소화알루미늄리튬(LiAlH_4)은 일반적으로 가연성

유기용제속에서 반응한다. 이들 용매는 사용하기 전에 습기가 없는 상태로 되어 있어야 한다. 먼저 수소화물은 불활성기체하의 반응기속에 있어야 하고 그런 다음 건조된 용매가 가해져야 한다.

(자) 용매가 먼저 반응기속에 들어있고 수소화물이 밀봉된 폴리에틸렌(P.E) 용기(bag)상태에서 넣어질 수 있다. 반응기가 밀폐되었을 때 폴리에틸렌 용기(bag)가 파손되면서 알갱이(granular)상태의 수소화물은 용매로 떨어지게 된다.

(차) 가연성용매와 알갱이(granular)상태의 수소화나트륨(NaH), 수소화알루미늄 리튬(LiAlH_4), 수소화알루미늄 나트륨(NaAlH_4)은 대기중에 결코 동시에 노출시켜서는 안된다.

제 4 장 소화대책

화학물질에 의한 화재시 사용할 수 있는 소화제나 소화기술 등에 관해서는 많이 알려져 있다. 이 장에서는 금속성물질중에서 연소성 금속화재시 사용할 수 있는 소화제와 소화방법 등에 관하여 기술하였다.

1. 소화제

마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 나트륨(Na), 칼륨(K) 그리고 리튬(Li) 화재소화시 효과를 나타내거나 사용되는 소화제로는 다음과 같은 것이 있다.

가. MET-L-X 분말

염화나트륨(NaCl)과 첨가물로 이루어진 이 분말소화제는 마그네슘(Mg), 나트륨(Na), 칼륨(K) 그리고 나트륨-칼륨합금(Na-K)이 포함된 화재에 사용하는데 적합하다. 이 분말은 비가연성이고 타고 있는 금속에 적용함으로써 야기되는 2차 화재가 일어나지 않는다. 또한 이 소화제를 사용함으로써 야기되는 건강위험도 알려진 것이 없다. 소화기(消火器)나 원래의 용기에 보관될 때, 이 분말은 분해되거나 물리적 성질의 변화가 없다. 따라서 주기적으로 소화기의 소화제를 교환해주지 않아도 된다.

나. Na-X 분말

이 분말소화제는 나트륨(Na)화재에 사용할 수 있는데, 염소(Cl)가 포함되어 있지 않은 비염소화물 소화제로 개발된 것이다. Na-X분말은 탄산나트륨(Na_2CO_3)과 첨가제로 되어있는데, 이때 첨가제는 습기에 대한 저항성과 소화기의 기압을 일정

하게 유지시키기 위한 유동성을 증가시킨다.

또한 이 분말소화제는 타고 있는 나트륨금속 표면 위에 크러스트(crust)를 형성하는 폴리머를 포함하고 있다. 이 분말소화제는 비가연성이고 649~816℃ 온도범위의 타고 있는 금속에 적용했을 때 2차 재해를 일으키지 않는다.

이 소화제를 사용함으로써 야기되는 건강위험에 대해 알려진 것은 없고, 이 소화제는 분해되지 않으므로 주기적으로 소화제의 교환이 필요하지 않다.

다. 기타 소화제

MET-L-X 및 Na-X 분말소화제 이외의 연소성금속 소화제로 다음과 같은 것이 있다.

(1) G-1분말/Metal GuardTM분말

G-1분말은 유기인과 흑연이 입혀진 코크스로 구성되어 있는데 독성이 없고 비가연성분말이다. 흑연은 열전도체로서 화재로부터 열을 흡수해 금속의 온도를 발화온도 이하로 낮추어 소화가 되는 역할을 한다.

Metal GuardTM분말은 조성면에서는 G-1분말과 같고 단지 상품명이다. G-1분말은 마그네슘(Mg), 나트륨(Na), 칼륨(K), 티탄늄(Ti), 리튬(Li) 등과 같은 금속화재의 소화에 효과적이다.

(2) Lith-X분말

이 건조분말은 특수한 흑연과 첨가물로 구성되어 있다. 첨가물은 소화기로부터 방사되는 것을 용이하게 하다. 이 분말을 타고 있는 금속에 적용했을 때 케이크(cake)나 부스러기가 생성되지 않는다.

이 분말은 공기를 차단시키고 타고 있는 금속덩어리로부터 열을 제거하여 소화한다. 이 분말은 리튬(Li)화재를 소화시킬 수 있고 마그네슘(Mg)과 지르코늄(Zr)

금속의 부스러기(chip) 화재의 조절과 소화에 적합하다.

(3) TEC(Ternary Eutectic Chloride) 분말

TEC 분말은 염화칼륨(KCl), 염화나트륨(NaCl) 그리고 염화바륨(BaCl_2)의 혼합물로서 연소성 금속화재를 소화하는데 효과적이다. 이 분말을 타고 있는 금속에 적용했을 때, 금속표면에 용융된 염(KCl, NaCl, BaCl_2)이 덮히면서 공기를 차단하여 소화한다.

TEC 분말은 나트륨(Na), 칼륨(K) 그리고 나트륨-칼륨(Na-K) 합금화재의 조절용으로 가장 효과적인 분말이다. 염화바륨(BaCl_2)은 유독하므로 조작자가 이 분말을 흡입하지 않도록 주의해야 한다.

(4) Boralon

Boralon은 트리메톡시보란(trimethoxyborane, TMB)과 Halon 1211(bromochlorodifluoromethane)의 혼합물로 구성되어 있다. 할로겐화 탄화수소(halogenated hydrocarbon)인 Halon은 TMB의 물리적 특성을 증가시키고 물질이 쉽게 가수분해되어 붕소산과 메틸알코올로 되게 한다. 공기중의 습기나 수분과의 접촉은 가수분해를 방해하므로 피하여야 한다. 금속화재에 Boralon을 적용하면 용융된 산화붕소(boric oxide)에 의해 소화되는데, 이때 생성되는 메틸알코올에 의한 2차 화재는 Halon에 의해 소화된다. Boralon은 마그네슘(Mg)화재에 사용되기 위해서 개발되었는데, 가수분해되기 쉽기 때문에 주기적인 유지관리와 소화약제의 교환이 필요하다.

(5) Copper 분말

구리분말은 소화능력면에서 리튬(Li) 화재시 소화제로서 뛰어난 것으로 알려졌으며 일정한 크기의 입자로 된 건조분말은 보다 신속하게 리튬(Li)화재를 효과적

으로 소화할 수 있다. 용융리튬 표면 위에 구리-리튬(Cu-Li)합금이 형성되어 소화된다. 구리-리튬 합금은 공기와 용융금속(Li)사이를 차단하여 미반응 리튬의 재발화를 방지하고 식힘을 촉진시키는 역할을 한다. 아르곤(Ar)가스를 추진제로서 사용하는데 마그네슘(Mg)과 알루미늄(Al)화재를 소화할 수 있다.

라. 미특허등록 소화제

그 밖의 연소성금속 소화제로서 상품으로 특허등록되어 있지 않은 소화제로서는 다음과 같은 것이 있다.

(1) Foundry Flux

용융금속의 세척제로 쓰이는 이 플럭스(Flux)는 염화칼륨(KCl), 염화바륨(BaCl_2), 염화마그네슘(MgCl_2), 염화나트륨(NaCl) 그리고 불화칼슘(CaF_2)의 다양한 량으로 구성되어 있다. 주로 마그네슘화재에 적용되는데, 고체나 용융금속 표면 위에 녹아 얇은 보호막을 형성하여 공기를 차단 소화한다.

(2) Talc(분말)

주로 마그네슘(Mg)화재에 사용되는데, 화재를 소화하는것 보다 조절하는데 이용된다. Talc는 냉각제로서 작용하기보다는 화재의 열을 차단하는 작용을 한다.

(3) 흑연분말

금속화재에 대한 소화제로서 사용되는데 앞에서 기술한 흑연분말이 냉각제로서 작용하는 G-1분말의 작용과 비슷하다. 미세한 분말상태로 되어 있고 타고 있는 금속 위에 조밀하게 쌓여도 공기가 금속으로 통할 수 있어 소화는 G-1처럼 신속하지 않다.

(4) 모래

건조한 모래는 금속화재를 조절하고 소화하는 소화제로서 쓰인다. 그러나 마그

네슘과 같은 금속은 모래 속의 산화규소(SiO_2)로부터 산소를 얻어 타는 것이 계속 된다. 또한 모래는 완전히 건조된 것이 거의 없어 타고 있는 금속은 모래 속의 습기와 반응해 수증기를 생성한다. 이는 어느 특수한 조건하에서 폭발적인 금속-물 반응을 일으킬 수 있으므로 주의해야 한다.

(5) 염화나트륨(NaCl)

염화나트륨은 나트륨(Na)과 칼륨(K) 화재 소화시에 사용될 수 있는데 금속으로의 공기의 유입을 차단시켜 금속을 연소온도 이하로 냉각시켜 소화시킨다.

(6) Zirconium silicate

리튬(Li)화재시 사용할 수 있다.

(7) Dolomite(백운암)

건조분말 형태로 지르코늄(Zr)이나 티탄늄(Ti)이 발화되면 쉽게 소화시킬 수 있는 소화제는 없다. 연소지역 주위에 dolomite, 탄산칼슘(CaCO_3), 탄산마그네슘(MgCO_3)을 타고 있는 금속더미에 완전히 덮힐때까지 분말을 가해서 화재를 조절한다.

이 밖에 금속화재시 사용할 수 있는 소화제를 정리하여 부록으로 실었다.

2. 소화방법

가. 알칼리금속류

물이나 폼(foam)과 같은 일반적인 소화제는 알칼리금속과 격렬하게 반응하기 때문에 절대로 사용할 수 없다. 금속화재에 사용하기 위해 개발된 건조분말과 건조모래, 건조염화나트륨 그리고 건조소다회(소다회)가 효과적이다. 이들 물질로 타고 있는 금속을 덮어 금속의 인화온도 이하로 식힌다.

어떤 장치 속에서 타고 있는 알칼리금속은 모든 개구부를 밀폐하여 소화한다. 질소기체로 덮는 것도 효과적인데 리튬(Li)의 경우에는 아르곤(Ar)이나 헬륨(He)을 사용할 수 있다.

연소하고 있는 리튬(Li)은 분말의 건조염화리튬(LiCl), 탄소분말, 지르코늄실리케이트 등으로 덮어 질식소화하거나 앞절에서 기술한 소화제를 이용해 소화한다. 탄산나트륨과 염화나트륨 소화제는 리튬화재시에는 적합하지 않은데, 리튬은 소화제로부터 나트륨(Na)을 유리시켜 반응성을 더 크게 한다. 이와 마찬가지로 물, 탄산가스(CO_2), 사염화탄소(CCl_4), 탄산(H_2CO_3) 혹은 승인되지 않은 드라이케미칼 소화제는 절대로 사용해서는 안된다.

나트륨(Na)화재를 소화하기 위해서는 불활성기체를 사용해서 산소공급을 차단해야 한다. 건조탄산나트륨, 건조소금, 건조흑연 등이 쓰일 수 있다. 상업적으로 만들어진 것은 이미 앞절에서 기술한 바와 같고 어떤 장치속에서의 나트륨화재는 모든 열려있는 것을 닫아서 소화한다. 나트륨이 공기중에서 탈 때 형성되는 산화물이나 과산화물은 아직 연소되지 않은 나트륨이 있을 때 아주 반응적이고 불안정하게 된다. 연소되었거나 아직 연소되지 않은 나트륨혼합물은 완전보호장비를 착용한 작업자에 의해서 아주 조심스럽게 취급해야 한다.

나. 기타 금속류

(1) 마그네슘(Mg)

마그네슘과 그 합금은 방화(防火)하는데 특별한 문제를 고려해야 한다. 마그네슘은 어떤 조건하에서 산소와 쉽게 결합하는데 마그네슘 화재를 소화하는데 물을 사용할 경우, 사용된 물은 산소와 수소로 분해되게 된다. 이때 산소는 마그네슘과 결합하고 수소는 방출되어 화재의 세기를 증가시킨다. 마그네슘 화재소화에 적합

한 일반적으로 이용할 수 있는 불활성가스는 없다. 산소에 대한 친화력이 매우 크기 때문에 탄산가스(CO_2) 속에서도 마그네슘은 탈 수 있다. 또한 마그네슘은 질소 기체 속에서도 마그네슘니트리드(magnesium nitride)를 형성하면서 탈 수 있다. 이러한 이유로 물, 수용액, 불활성기체에 의존하는 일반적인 소화방법 그 어느 것도 마그네슘 화재에서는 비효과적이다. 할로겐이 포함되어 있는 할론(Halon)소화제는 타고 있는 마그네슘과 격렬하게 반응한다.

마그네슘 화재를 소화하는 방법은 물질의 형태에 많이 좌우된다. 타고 있는 깎아낸 부스러기(chips, shaving) 등 작은 조각을 흑연(graphite)이나 염화나트륨(NaCl)과 같은 적당한 건조소화제로 질식.냉각시키어 소화한다. 분말상태의 마그네슘은 소화제를 적용하는 동안 공기중에서 분진폭발을 일으킬 수 있는 분진운의 생성에 주의해야 한다.

(2) 티탄늄(Ti)

대량의 물을 뿌려 소화하는 방법은 적은 량의 티탄늄 부스러기(chip) 소화방법으로 안전하고 효과적이다. 탄산가스(CO_2), 폼(foam) 그리고 분말소화제는 티탄늄 소화에는 비효과적이나 마그네슘 화재에 사용하기 위해 개발된 소화제는 효과적이다.

적은 량의 티탄늄 분말화재에 가장 안전한 소화방법은 금속화재에 적합한 특수 분말로 화재를 에워싸서 금속이 타 없어지도록 하는 것이다. 티탄늄 분진운의 형성을 방지하는 조치가 취해져야 한다.

(3) 지르코늄(Zr)

소량의 지르코늄 분말이 타고 있을 때, 화재의 확산을 방지하기 위해 분말소화제로 화재를 에워싸고 다 타 없어지도록 한다. 이때 사용되는 분말소화제는 지르코늄 소화에 효과적인 것이어야 한다. 지르코늄 분진이 있을 때 소화제는 분진운

이 형성되지 않도록 적용해야 한다.

만약 화재가 밀폐공간에서 발생되었다면 아르곤(Ar)이나 헬륨(He)으로 질식소화시킨다.

(4) 칼슘(Ca), 아연(Zn) 및 알루미늄(Al)

이들 금속의 화재시 마그네슘 소화방법을 적용할 수 있다.

다. 금속수소화물

물, 탄산가스(CO_2), 할로젠화탄화수소 혹은 소다회는 금속수소화물 화재시 소화제로서 결코 사용해서는 안된다. 또한 이러한 소화제는 수소화물이 저장되어 있는 건물에서 결코 사용해서는 안된다. 건조분말상태의 dolomite 혹은 건조흑연분말로 덮어 소화하는 방법이 일반적으로 추천되는 방법이다.

연소하는 수소화물의 흠(fume)은 원래의 알칼리 금속보다 더 독성이 있지는 않지만 수소화물 흠(fume)을 흡입시 기관지 자극을 일으킬 수 있으므로 소화작업자는 호흡보호구를 착용해야 한다.

제 5 장 결 론

금수성물질은 매우 다양해서 가연성고체나 발화성물질에 포함시키는 경우가 많아 체계적인 정리가 미흡하고 그 위험성에 대해서도 심각하게 인식하지 못하고 있다. 이는 금수성물질로 인한 재해가 발생빈도가 작고 원인불명의 화재로 처리되는 경우가 많기 때문이다.

본 지침서에서는 금수성물질의 위험성을 인식시키고 사업장에서 취급·저장시 지침서로서 활용할 수 있도록 금수성물질별로 정리하였다.

또한 금수성물질 시험법을 기술하여 사업장에서 금수성물질 여부를 판별하는데 지침이 되도록 하였다.

금속이나 금속수소화물은 화재에 노출시 상당한 위험이 뒤따른다. 또한 이들 물질을 적절히 소화시킬 수 있는 소화제와 소화방법의 선택은 피해의 최소화를 위하여 대단히 중요한 일이다. 본 지침서에서 기술한 상품화된 소화제나 상품화되어 있지 않은 일반적인 소화제 중에서 금속특성을 고려한 적절한 소화제를 준비하고 이의 소화특성과 사용방법, 소화활동시 주의사항 등을 작업자에게 주지시킨다면 재해감소에 기여할 것이다.

끝으로 본 지침서가 금수성물질을 취급하는 사업장에서 기술자료나 교육자료로서 유용하게 사용될 있기를 바란다.

참 고 문 헌

1. Eugene Meyer 著, 崎川範行 譯, 危険物の化學, 海文堂, pp.141~165, 1983
2. Arther E. Cote, P.E., Fire Protection H/B. NFPA, pp.2-253, 3-83~91, 3-143~151, 5-282~286, 1991
3. M.M.Markowitz, J.Chem.Educ., Alkali Metal-Water Reactions, Vol.40, pp.636~663, 1963
4. James E.Knap, et al., Industrial and Engineering Chemistry, Vol.49, No.5, pp.874~879, 1957
5. National Safety Council(NSC), Data sheet 1-462-79
6. National Safety Council(NSC), Data sheet 1-231-86
7. National Safety Council(NSC), Data sheet 1-566-85
8. National Safety Council(NSC), Data sheet 1-241-82
9. National Safety Council(NSC), Data sheet 1-373-82
10. NFPA 480, "Standard for the Storage, Handling and Processing of Magnesium", 1987
11. S.B.Mirviss, et al., Ind. Eng. Chem., Vol.53, No.1, pp.58~60, 1962
12. M.D.Banus, Chemical and Engineering News, Vol.32, No.24, pp.2424~2427, 1954
13. W.B.Heck, Jr., Ind. Eng. Chem., Vol 54, No.12, pp.35~38, 1962
14. 北川徹三著, 爆發災害の解析, 日刊工業新聞社, pp.219~226, 1980

15. 吉田忠雄, 田村昌三 編著, 反應性 化學物質と化工品の安全, 大成出版社, 1988
16. L.Bretherick, H/B of Reactive Chemical Hazards, 4 th ed., Butterworths, 1990
17. 정국삼, 김홍 공저, 화학안전공학, 신광문화사, 1994
18. 목인수 외 3인 공저, 화학안전공학, 동화기술, 1994
19. 김용욱 편저, 최신화학안전공학, 형설출판사, 1982
20. 일본화재학회, 화재편람, 공립출판(주), 1984

부 록

1. 국제연합(UN)의 위험물 분류
2. L.Bretherick의 「위험물 H/B」에 기재되어 있는
금수성물질
3. 금속화재시 사용할 수 있는 화학소화제

여 백

부록 1.

국제연합(United Nations)의 위험물 분류

Class 1. Explosives(화약류)

(a) 폭발성 물질(물질 자체는 폭발성이 없지만 폭발성 가스, 증기 또는 먼지가 생기는 것은 포함되지 않음). 위험성이 너무 커서 수송할 수 없는 것이나 기타 위험성이 탁월한 것은 제외한다.

(b) 폭발성 물질. 폭발성 물질의 량 또는 성질에 따라서 운송 중에 소홀히 하여 혹은 사고로서 발화 또는 기폭하여도 비상, 화재, 연기, 열 또는 고음에 의해 물품의 외부에서 알지 못하는 것을 제외한다.

(c)상기 (a) 및 (b)에 속하지 않는 물질 또는 물품으로서, 폭발이나 불꽃의 효과를 갖게하기 위해서 제조된 물질.

Division 1.1 Substances and articles which have a mass explosion hazard.

대량폭발의 위험을 갖고 있는 물질 및 물품

(대량폭발이라고 하는 것은 거의 순간적으로 전량이 폭발하는 폭발이다.)

Division 1.2 Substances and articles which have a projection hazard but not a mass explosion hazard.

비상(飛翔)의 위험을 갖고 있지만 대량폭발의 위험성을 갖고 있지 않는 물질 및 물품.

Divison 1.3 Substances and articles which have a fire hazard and either a minor blast hazard or minor projection hazard or both, but not a mass explosion hazard.

화재의 위험성을 갖고, 소규모의폭파 또는 비상의 위험성 또는 양쪽을 모두 갖고 있지만, 대량폭발의 위험성을 갖고 있지 않는 물질 및 물품.

Division 1.4 Substances and articles which present no significant hazard.

중대한 위험성을 나타내지 않는 물질 및 물품.

Division 1.5 Very insensitive substances. 대단히 둔감한 물질

Class 2. Gases : Compressed, liquefied or dissolved under pressure

가스류: 고압, 액화 또는 가압하 용해

기준 1. 임계온도가 50℃ 이하의 물질, 또는 50℃에서 증기압이 3kg/cm²이상의 물질

기준 2. (a) ① 21.1℃에서 절대압 2.8kg/cm² 이상

② 54.4℃에서 절대압 7.3kg/cm² 이상으로 되는 물질.

(b) 37.8℃에서 Reid 증기압이 2.8kg/cm² 이상으로 되는 물질.

현재의 이 두가지의 기준의 정리가 이루어지지 않아서 어느 쪽의 기준에라도 맞는 것을 취하고 있다. 다음의 4가지가 포함되어 있다.

① Permanent gases 영구가스 : 실온에서 액화되지 않는 가스

- ② Liquefied gases 액화가스 : 실온에서 가압에 의해 액화되는 가스
- ③ Dissolved gases 용해가스 : 가압하에서 용제에 녹는 가스로서 다공성 물질에 흡수시킨 것.
- ④ Deeply refrigerated permanent gases : 심냉액화영구가스

Class 3. Inflammable liquids 인화성 액체

Division 3.1 Liquids with a flash-point below 73°F(23°C) closed test or 80°F(26.6°C) open test.

밀폐식 측정으로 인화점이 73°F(23°C) 또는 개방식 측정으로 80°F(26.6°C) 이하의 액체

Division 3.2 Liquids with a flash-point below 73°F(23°C) closed test or 80°F(26.6°C) open test, to 141°F(60.5°C) closed test, or 150°F(65.6°C) open test.

밀폐식 측정으로 인화점이 73°F(23°C) 또는 개방식 측정으로 80°F(26.6°C)로부터 밀폐식 측정으로 인화점이 141°F(60.5°C) 또는 개방식 측정으로 150°F(65.6°C)까지의 액체.

Class 4. Inflammable solids : substances liable to spontaneous combustion substances which, on contact with water, emit inflammable gases.

인화성 고체(가연성 고체) : 스스로 연소하기 쉬운 물질 : 물과 접촉하여 인화성 가스를 발생하는 물질.

Division 4.1 Inflammable solids 인화성 고체(가연성 고체)

화약류로 분류되어진 것은 제외하고, 수송 중에 부딪히는 조건하에서 용이하게 연소하든가, 또는 마찰에 의해 화재를 일으키든가, 화재를 돕는 고체.

Division 4.2 Substances liable to spontaneous combustion. 자연연소
하기 쉬운 물질(자연 발화성 물질)

수송 중에 통상 부딪히는 조건하에서 자연발화하기 쉽거나, 공기와 접촉하여 발열하고, 화재를 일으키기 쉬운 물질.

Division 4.3 Substances which, in contact with water, emit
inflammable gases.

물과 접촉하여 인화성 가스를 발생하는 물질(금수성 물질)

물과 반응해서 스스로 인화성으로 되거나(물과 접촉하여 자연발화하거나), 위험한 양의 인화성 가스를 발생하는 물질.

**Class 5. Oxidizing substances : organic peroxides 산화성
물질 : 유기과산화물**

Division 5.1 Oxidizing substances, other than organic peroxides. 유
기과산화물 이외의 산화성 물질

그 자체는 반드시 가연성은 아니나, 일반적으로 산소를 유리하여 다른 물질의 연소를 일으키기 쉽게 하든가 또는 연소를 조장하는 물질.

Division 5.2 Oxidizing peroxides 유기과산화물

2개의 -O-O-의 구조를 갖고, 과산화수소의 수소 1개 또는 2개가 유기기(有機

基)로써 치환된 유기물질. 유기과산화물은 열적으로 불안정함으로서 자기가속(自己加速) 발열분해를 일으키기 쉽다.

Class 6. Poisonous(toxic) and infectious substances. **유독성 물질 및 병원물질**

Division 6.1 Poisonous(toxic) substances 유독성물질

마신다든지 흡입한다든지 피부에 접촉했을 때에 사람을 사망에 이르게 하든지, 중대한 장애를 일으키든지, 사람의 건강에 해를 끼치는 물질.

Sub-division 6.1.1. 유독한 가스나 증기를 발생하는 물질.

Sub-division 6.1.2. 유독한 가스나 증기를 발생하는 물질 이외의 유독성 물질

Division 6.2 Infectious substances 전염성병원물질.

질병을 일으키는 미생물을 지닌 물질.

동물 또는 인간의 병의 원인으로 되는 것이 알려져 있든지, 또는 의심이 있는 미생물 또는 독소를 함유하는 물질

Class 7. Radioactive substances. 방사성물질

자연에 방사선을 방출하여, 그 비방사능이 0.002microcurie/gram을 초과하는 물질.

Class 8. Corrosives 부식성물질

생물조직에 접촉하면 화학작용에 의해 심한 손상을 주며, 누설하였을 때에는 다른 물이나 수송수단에 본질적인 손상을 주고, 파괴하는 경우도 있는 물질 : 기타

의 위험성도 있다.

**Class 9. Miscellaneous dangerous substances. 여러가지의
위험성을 가지는 물질**

수중에 다른 Class에서 지적하지 않는 위험을 나타내는 물질. 철도 또는 도로에
서의 수송에는 중요하지 않다.

부록 2.

L.Bretherick의 「危險物 Handbook」에 記載되어 있는 禁水性 物質

외 국 명	한 글 명	분 자 식	CAS 番 號
Acetyl chloride(ethanoyl chloride)	아세틸 클로라이드	CH_3COCl	75-36-5
Aluminium-nickel alloys(raney nickel alloys)	알루미늄-닉켈합금	Al-Ni	12635-29-9
Aluminium tetrahydroborate	알루미늄 테트라하이드로보레이트	$\text{Al}[\text{BH}_4]_3$	16962-07-5
Antimony(III) nitride	안티몬니트리드	SbN	12333-57-2
B-1,3,5-Trichloroborazine	B-1,3,5-트리클로로보라진	$\text{B}_3\text{Cl}_3\text{H}_3\text{N}_3$	26445-82-9
Barium acetylide	바륨아세틸리드	$(\text{BaC}\equiv\text{C})_n$	12070-27-8
Barium nitride	바륨니트리드	Ba_3N_2	12047-79-9
Barium peroxide	바륨퍼옥사이드	BaO_2	1304-29-6
Beryllium hydride	베릴륨 하이드라이드	BeH_2	7787-52-2
Beryllium tetrahydroborate	베릴륨테트라하이드로보레이트	$\text{Be}[\text{BH}_4]_2$	17440-85-6
Beryllium tetrahydroborate trimethylamine	베릴륨테트라하이드로보레이트트리메틸아민	$\text{C}_3\text{H}_9\text{B}_2\text{BeN}$	
Bis(difluoroboryl)methane	비스(디플로로보릴)메탄	$(\text{F}_2\text{B})_2\text{CH}_2$	55124-14-6
Bis(dimethylaminoborane)aluminium tetrahydroborate	비스(디메틸아미노보란)알루미늄 테트라하이드로보레이트	$(\text{Me}_2\text{NBH}_3)_2\text{AlBH}_4$	39047-21-7
Bismuth pentafluoride	오불화비스무트	BiF_5	7787-62-4
Boron azide diiodide	보론아지드디요오드	N_3BI_2	68533-38-0
Boron triiodide	삼요오드붕소	BI_3	13517-10-7
Bromine pentafluoride	오불화브롬	BrF_5	7789-30-2
Bromyl fluoride	브로밀플로라이드	O_2BrF	22585-64-4

외 국 명	한 글 명	分 子 式	CAS 番 號
Cadmium amide	카드뮴아미드	$\text{Cd}(\text{NH}_2)_2$	22750-53-4
Cesium amide	세슘아미드	CsNH_2	22205-57-8
Cesium oxide	세슘옥사이드	Cs_2O	20281-00-9
Cesium trioxide(cesium ozonide)	세슘트리옥사이드 (세슘오존나이드)	CsO_3	12053-67-7
Chlorine fluoride	불화염소	ClF	7790-89-8
Chromyl fluorosulfate	크로밀플로로설페이트	$\text{O}_2\text{Cr}(\text{OSO}_2\text{F})_2$	33497-88-0
Cyanoformyl chloride	시아노포밀클로라이드	$\text{N}\equiv\text{CCOCl}$	4474-17-3
Diaminophosphorous acid	디아미노포스포러스 산	$(\text{H}_2\text{N})_2\text{P}(\text{O})\text{H}$	22750-67-0
Dicarbonyltungsten diazide	디카르보닐텅그스텐 디아지드	$(\text{CO})_2\text{W}(\text{N}_3)_2$	68379-32-8
Dichlorodimethylsilane	디클로로디메틸실란	Cl_2SiMe_2	75-78-5
Diethylberyllium	디에틸베릴륨	Et_2Be	542-63-2
Diethylgallium hydride	디에틸갈륨하이드라이드	Et_2GaH	
Diethylmagnesium	디에틸마그네슘	Et_2Mg	557-18-6
Diethylzinc	디에틸아연	Et_2Zn	557-20-0
Dimethylaluminium chloride	디메틸알루미늄클로라이드	Me_2AlCl	1184-58-3
(Dimethylamino)acetylene	(디메틸아미노)아세틸렌	$\text{Me}_2\text{NC}\equiv\text{CH}$	24869-88-3
Dimethylmagnesium	디메틸마그네슘	Me_2Mg	2999-74-8
Dipotassium phosphinate	디포타슘포스핀에이트	$\text{KHP}(\text{O})\text{OK}$	13492-26-7
Disulfur dichloride	이염화이황	ClSSCl	10025-67-9
Disulfuryl dichloride	디설프릴디클로라이드	$(\text{ClSO}_2)_2\text{O}$	7791-27-7
Ethylenedicesium	에틸렌디세슘	$\text{CsCH}_2\text{CH}_2\text{Cs}$	65313-36-2
Ethylene diperchlorate	에틸렌디퍼클로레이트	$(-\text{CH}_2\text{OClO}_3)_2$	52936-25-1
Fluoronium perchlorate	플로론륨퍼클로레이트	$\text{H}_2\text{F}^+\text{ClO}_4^-$	

외 국 명	한 글 명	분 자 식	CAS 番 號
Germanium tetrachloride	사염화게르마늄	GeCl_4	10038-98-9
Hexaamminetitanium(III)chloride	염화육아민티탄늄	$\text{Cl}_3\text{H}_{18}\text{N}_6\text{Ti}$	
Hexalithium disilicide	헥사니튬디실리시드	$\text{Li}_3\text{SiSiLi}_3$	12136-61-7
Lithium	니튬	Li	7439-93-2
Lithium amide	니튬아미드	LiNH_2	7782-89-0
Lithium tetrahydroborate(lithium boro hydride)	니튬테트라하이드로보레이트(니튬 보로하이드라이드)	LiBH_4	16949-15-8
Monolithium acetylide-ammonia	아세틸리드니튬 암모니아	$\text{LiC}\equiv\text{CH}\cdot\text{NH}_3$	
Neptunium hexafluoride	육불화넵튬	NpF_6	14521-05-2
Nitritonitrosylnickel	니트리토니트로실닉켈	ONNiONO	
Palladium tetrafluoride	사불화팔라듐	PdF_4	13709-55-2
Phosphorus triiodide	삼요오드인	PI_3	13455-01-1
Phosphoryl chloride	염화포스포닐	OPCl_3	10025-87-3
Pivaloyloxydiethylborane	피발로일옥시디에틸보란	$\text{Me}_3\text{COOBet}_2$	32970-52-8
Poly(disilicon nitride)	폴리디실리콘니트리드	$(-\text{N}=\text{Si}=\text{Si}=\text{N}-)_n$	12438-96-9
Potassium	칼륨	K	7440-09-7
Potassium acetylide	아세틸리드칼륨	$\text{KC}\equiv\text{CK}$	22754-96-7
Potassium azidodisulfate	아지도디설펜네이트칼륨	$\text{KOSO}_2\text{OSO}_2\text{N}_3$	67880-14-2
Potassium azodisulfonate	아조디설펜네이트칼륨	$\text{KOSO}_2\text{NNSO}_2\text{OK}$	
Potassium benzenehexoxide	포타슘벤젠헥사옥사이드	$\text{C}_6\text{K}_6\text{O}_6$	3264-86-6
Potassium bis(phenylethynyl)palladate(2-)	비스페닐에틴닐팔라데이트칼륨	$\text{K}_2[\text{Pd}(\text{C}\equiv\text{CPh})_2]$	66986-75-2
Potassium bis(phenylethynyl)platinate(2-)	비스페닐에틴닐플라티네이트칼륨	$\text{K}_2[\text{Pt}(\text{C}\equiv\text{CPh})_2]$	
Potassium bis(propynyl)platinate	비스프로핀닐플라티네이트칼륨	$\text{K}_2[\text{Pt}(\text{C}\equiv\text{CMe})_2]$	

외 국 명	한 글 명	분 자 식	CAS 番 號
Potassium graphite	포타슘그래파이트	KC_8	12081-88-8
Potassium methanediazoate(potassium methyldiazene oxide)	메탄디아조에이트칼륨	$H_3CN=NOK$	19416-93-4
Potassium sulfurdiiimdate	실퍼디이미데이트칼륨	KNSNK	79796-14-8
Potassium tetracyanotitanate(IV)	테트라시아노티탄네이트칼륨	$K_4[Ti(CN)_4]$	75038-71-0
Potassium tetraethynynickelate(2-)	테트라에틴닐닉켈레이트칼륨	$K_2[(HC\equiv C)_4Ni]$	65664-23-5
Silicon monosulfide	실리콘모노설파이드	SiS	12504-41-5
Silver(I) nitrate	질산은	$AgNO_3$	7761-88-8
Sodium aluminum tetrahydride	소듐알루미늄하이드라이드	$NaAlH_4$	13770-96-2
Sodium dithionite(sodium hydrosulfite)	소듐디티온이트	$NaOS(O)S(O)ONa$	7775-14-6
Sodium germanide	소듐게르만이드	$NaGe$	12265-93-9
Sodium hydride	소듐하이드라이드	NaH	7646-69-7
Sodium nitroxylate	소듐니트록실레이트	$Na[ONONa]$	13968-14-4
Sodium oxide	소듐옥사이드	Na_2O	1313-59-3
Sodium phosphide	소듐포스파이드	Na_3P	12058-85-4
Sodium tetrahydrogallate	소듐테트라하이드로갈레이트	$Na[H_4Ga]$	32106-51-7
Strontium peroxide	스트론튬퍼옥사이드	SrO_2	1314-18-7
Sulfur dichloride	이염화황	Cl_2S	10545-99-0
Tetraamminelithium dihydrogenphosphide	테트라암민니튬 디하이드로젠포스파이드	$[(H_3N)_4Li]PH_2$	44023-01-6
Tetrakis(diethylphosphino)silane	테트라키스(디에틸포스포노)실란	$(Et_2P)_4Si$	
Tetraphosphorus decasulfide (Phosphorus(V)sulfide)	테트라포스포러스데카설파이드	P_4S_{10}	15857-57-5

외 국 명	한 글 명	분 자 식	CAS 番 號
Tetraphosphorus hexaoxide-bis(borane)	테트라포스포러스헥사옥사이드-비스 보란	$P_4O_6 \cdot 2BH_3$	14940-94-4
Tetraphosphorus tetraoxide trisulfide	테트라포스포러스트리옥사이드 트리 설파이드	$O_4P_4S_3$	
Thallium(I) nitride	탈륨(I)니트리드	TlN	12033-67-9
Titanium(II) chloride	이염화티탄늄	$TiCl_2$	10049-06-6
Titanium chloride	삼염화티탄늄	$TiCl_3$	7705-07-9
Triboron pentafluoride	오불화삼붕소	B_3F_5	15538-67-7
1,3,5-Trichloro-2,4,6-trifluoroborazine	1,3,5-트리클로로-2,4,6-트리플로로 보라진	$B_3Cl_3F_3N_3$	56943-26-1
1,3,5-Trichlorotrithiahexahydro-1,3,5-triazinemolybdenum	1,3,5-트리클로로트리타이아헥사히드로 -1,3,5-트리아진몰리브덴늄	$Cl_3MoN_3S_3$	
Triethoxydialuminium tribromide	트리에톡시디알루미늄트리브로마이드	$(EtO)_3Al \cdot AlBr_3$	65232-69-1
Trifluoroselenium hexafluoroarsenate	트리플로로셀렌나옉헥사플로로아르센 네이트	$F_3Se[AsF_6]$	59544-89-7
Uranium dicarbide	우라늄디카바이드	UC_2	12071-33-9
Uranium hexachloride	육염화우라늄	UCl_6	1373-23-0
Uranium(III) hydride	우라늄하이드라이드	UH_3	13598-56-6
Vanadium dichloride	이염화바나듐	VCl_2	10580-52-6
Vanadium tribromide oxide	바나듐트리브로마이드옥사이드	$OVBBr_3$	13520-90-6
Zinc phosphide	포스파이드아연	Zn_3P_2	1314-85-7
Zirconium	지르코늄	Zr	7440-67-7
Zirconium trichloride	삼염화지르코늄	$ZrCl_3$	10241-03-9

부록 3.

金屬火災時 使用할 수 있는 化學消化劑

No.	年度	研究 者	使用된 化學物質	金 屬
1	1959	Zensaei Miyashima ¹⁾ (Miyata Works & Co)	NaCl 85%; MgCo 6%; Mg Stearate 4%; Na ₂ B ₂ O ₄ 2%; Thiourea 2%	Na, K, Mg
2	1959	Kensuka Ichioka ¹⁾ (Asaji Glass & Co)	10 atm하의 CO ₂ 로 처리된 잘 건 조된 실리카겔(200 mesh)	Na, K, Mg, Zr
3	1960	J.D.Commerford ²⁾ , etc.	액체 Trimethoxy Boroxine	Zr, Th, Mg, Na
4	1960	Biro Fils ³⁾	석유핏치 5~20%; PE 10~30%; Urea 50~80%	Mg
5	1961	P.Nash ⁴⁾	분말 PVC와 Sodium Borate(1:1) 혼합물; Additives 1~2%	Al, Mg
6	1961	U.K.Atomic Energy Authority ⁵⁾	분말 Chloride와 Fluoride의 혼 합물	Al, Mg, Th, etc.
7	1963	U.K.Atomic Energy Authority ⁶⁾	1) LiF 19 ; NaF 4 ; RbF 77 2) LiF 29 ; NaF 12 ; KF 59 3) LiF 18 ; KF 33 ; RbF 49 4) NaF 10 ; KF 3 ; RbF 87 5) LiF 9 ; CsF 91 6) LiF 16 ; RbF 84 7) LiF 31 ; KF 69 8) LiF 37 ; NaF 40 ; CaF 23	Al, Mg, U, Th, Pu
8	1963	Hurbert Frieser ⁷⁾	멜라민 50~98%; Mg Stearate 2%	Mg, Al
9	1964	G.H.J.Elkins ⁸⁾	분말 B ₂ O ₃ (20 ~ 250 μ), Flow Improver로서 10% Mg Stearate	Na, Mg, Al

No.	年度	연구자	사용된 化學物質	금 屬
10	1969	Jenkner Herbert ⁹⁾	P ₂ O ₅ 혹은 P ₂ O ₃ In Halophosphate 용액	Na, Mg, Al
11	1970	Guillemoutot ¹⁰⁾ , etc.	알카리 금속 Borate, DMSO, Sod.Silicate 혹은 Sod.Tungstate	Mg
12	1970	Firma Weinstock ¹¹⁾ , etc.	NaCl, KCl, Borax, Silicone Oil 혼합물	-
13	1972	Rainaldi ¹²⁾ , etc.	Tricresyl Phosphate 34~50%, BrF ₂ C-CF ₂ Br 50~66%	Mg
14	1973	Chahvekilian ¹³⁾ , etc.	Polystyrene Microball, Mono- ammonium Hydrogen Phosphate Fluidizer로 Silica와 Silicone 사용	Na
15	1974	Furukawa Kazuo ¹⁴⁾ , etc.	무수 Na ₂ CO ₃ , Metal Soap 혹은 Silicone Resin	Na, K
16	1974	J.W.McCormic ¹⁵⁾ , etc.	Petroleum Cake Microspheroid	Na, Li, Na-K합금, Mg
17	1974	J.F.Riley ¹⁶⁾ , etc.	Na-X와 Na ₂ CO ₃ 혼합물, Flowing 와 Anticaking Agent	Na, K
18	1976	T.Morikawa ¹⁷⁾	Na ₂ CO ₃ 90%, PAN 6%. 이들의 PE.PS 혹은 Mg Stearate 4%	Na
19	1977	Sharovarnikov A.F. ¹⁸⁾ , etc.	무수 AlCl ₃ , Acetyl Pyridinium Chloride 혹은 Bromide	Zr
20	1978	Sarrut Jean ²²⁾ , etc.	Graphite, Graphite Nitrate	Na
21	1979	Lawrence, K.D. ¹⁹⁾ , etc.	유리분말(Ground Glass Powder)	Mg

No.	年度	연구자	사용된 化學物質	金 屬
22	1980	Krutov, V.A. ²⁰⁾ ; etc.	NaHCO ₃ 74~78%; Bitumens 12~15%; 금속 Stearate 1~2%; Balance Talc	알카리 금 속
23	1980	Zemskii, G.T. ²¹⁾ ; etc.	Triaminoheptazine 40~80 wt%; Carbon Microspheres 20~60 wt%;	Na
24	1981	CeCa, S.A. ²²⁾ ; etc.	25g의 FeCl ₃ -NH-Graphite(흑연) Intercalation Compd로 부터 얻어진 剝離 Graphite(흑연)	Na
25	1982	Vorobev, E.I. ²³⁾ ; etc.	Zn-분말 60~95wt%; Ammonium Phosphate 4.95~39.6wt%; Aerosil 0.4~0.5%	light metal
26	1982	Slobodynaik, N.S. ²⁴⁾ ; etc.	H ₃ PO ₄ Compd(0.5~1.0wt% Aserosil; Urea-Phosphate; 0.5~10.0wt% B ₂ O ₃)	-
27	1983	Zhartovskii, V.M. ²⁵⁾ ; etc.	0.05~1.5wt% Li-12-Hydroxy-Stearate; 0.5~2.0wt% Aerosil, Amonium Phosphate	Mg, Chips
28	1983	Asahi Asbestoes Co. Ltd. ²⁶⁾	Al ₂ O ₃ 분말 100; SiO ₂ 분말 20; Mg Stearate	Na
29	1984	Raju Chander ²⁷⁾ ; etc.	Dry Chemical Powder NaHCO ₃	Na
30	1985	Mossee, M. ²⁸⁾ ; etc.	Granulated 무기물 70~80%, Hydraulic Binder 13~14%, Bound H ₂ O 4~4.5%, Graphite Inclusion Compd 1.5~6.5%	Na

No.	年度	研究者	使用된 化學物質	金 屬
31	1985	Rhein R.A. ²⁹⁾ ; etc.	CaF ₂ , LiF, NaF	Ti
32	1987	T.P.Sharma ³⁰⁾ ; etc.	30% Zinc Stearate, 70% Sand	Al, Mg

- 1) Zensaei, M. and Kensuka, I., "Fire Extinguishing Agents," Chem. Abstracts, Vol. 53, p. 4722, 1959
- 2) Commerford, J. D., Chamberlain, D. L., and Shepherd, J. W., "Trimethoxy Boroxine, an Extinguishing Agent for Metal Fires," Chem. Abstracts, Vol. 54, p. 5089, 1960.
- 3) Biro Fils, "Fire Extinguishing Composition for Metal Fires," Chem. Absrtact, Vol. 54, p. 25830, 1960
- 4) Nash, P., "A Dry Powder Extinguishing Agent for Metal Fires," Q. Jour. Inst. Fire Engrs., Vol. 23, pp. 275-6, 1963
- 5) AUTHOR NAME, "Powder Developed at Dounreay Fight Metal Fires," New Scientist, Vol. 10, p. 516, 1961
- 6) U.K, Atomic Energy Authority, "Powders for Extinguishment of Uranium, Plutonium and Thorium Fires," Chem. Abstracts, Vol. 58, p.7634, 1963.
- 7) Frieser, H., "Dry Extinguishing Powder," Chem, Abstracts, Vol 58, p. 2187, 1963.
- 8) Elkins, G. H. J., "The Development of a Dry Powder Extinguishing Agent for Metal Fires," Fire Research, Note 545, 1964.
- 9) Jenkner, H., "Extinguishing Metal Fires," Chem. Abstracts, Vol. 70, p. 21472, 1962.

- 10) Guillemautot, P., Coustaury, G., "Fire Extinguishing Agents for Magnesium," Chem. Abstract, Vol. 73, p. 99, 1970.
- 11) Firma Weinstock and Siebert, "Dry Fire Extinguishing Powders," Chem. Abstracts, Vol. 72, 1970.
- 12) Rainaldi, N. and Fatutto, P., "Liquid Extinguishments for Light Metal Fires", Chem. Abstracts, Vol. 76, p.103172, 1972.
- 13) Chahvekilian, E., Peteri, R., and Hennequart, A., "Powdered Extinguishing Compositions for Metallic Fires," Chem. Abstracts, Vol. 78, 1973.
- 14) Furukawa, K., Yamada, E., Tsukahara, Y., Anazawa, F., "Fire Extinguishing Agent Useful for Metal Fires," Chem. Abstracts, Vol. 80, 1974.
- 15) McCormic, J.W. and Schmitt, C.R., "Carbon Microspheroids as Extinguishing Agents for Metal Fires," Fire Technology, Vol. 10, pp. 197~200, 1974.
- 16) Riley, J., and Stauffer, E. E., "Na-X, A New Fire Extinguishing Agent for Metal Fires," Fire Technology, Vol. 10, pp. 269~274, 1974.
- 17) Morikawa, T., "An Improved Sodium Carbonate Based Extinguishant for Sodium Fires," Fire Technology, Vol. 12, pp. 124~132, 1976.
- 18) Sharovarnikov, A. F., Zemskii, G. T., Popov, A. V., "Composition for Extinguishing Metals," Chem. Abstracts, Vol. 87, 1977.
- 19) Lawrence, K. D., et al., "New Agents for the Extinguishment of Magnesium Fires," Chem. Abstracts, Vol. 91, 1979.
- 20) Krutov, V.A., et al., "Powder for Extinguishing Alkali Metal Fires,"

Chem Anstracts, Vol. 92, 1980.

- 21) Zemskii, G. T., et al., "Composition for Extinguishing Burning Sodium," Chem. Abstracts, Vol. 92, 1980.
- 22) Ceca, S.A. and Carbone-Lorraine, S.A., "Improvements is or Relating to the Extinction of Metal Fires," Chem, Abstracts, Vol. 95, 1981.
- 23) Vorobev, E. I., et al., "Agent Containing Zn-Powder for Extinguishing Metal Fires." Chem Abstracts, Vol. 97, p.75020, 1982.
- 24) Slobodynaik, N.S., et al., "Composition for Extinguishing Fires", Chem, Absrtacts, Vol. 96, 1982.
- 25) Zhartovskii, V. M., et al., "Powdered Fire Extinguishing Composition," Chem, Absrtacts, Vol. 99, 1983.
- 26) Asahi Asbestos Co., Ltd., "Fire Extinguishers for Metal Fires," Chem, Abstracts, Vol. 99, 1983.
- 27) Raju, C. and Kale, R.D., "Investigation of a Commercially Available Chemical Powder for Extinguishing Liquid Pool Fires," Chem. Absrtacts, Vol. 103, 1985.
- 28) Mossee, M. and Rousseau, G., "Fire Extinguishing Material Used Mainly as Coating Mortar for Extinguishing Sodium Fires," Chem Abstracts, Vol. 100, 1984.
- 29) Rhein, R.A., Baldwin, J.C., and Beach, C.L., "Composition for Extinguishing Titanium Fires" Chem. Abstracts, Vol. 103, 1985
- 30) T.P.Sharma, et al., Fire Technology, Vol. 23, N.23, pp205~229, 1987

금수성물질의 취급·저장에 관한 기술지침 개발
연구자료 (화학연 95-5-14)

발 행 일 : 1995. 12. 31

발 행 인 : 원 장 이 한 훈

연구수행자 : 선임 연구원 김 관 응

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업 안전 연구원

화 학 연 구 실

주 소 : 인천직할시 부평구 구산동 34-4

전 화 : (032) 5100-844~7, 860
