

◆ 기술논문

파이로테크닉스 (1)

장 석 태

Pyrotechnics (1)

S.T.Chang

1. 파이로테크닉스란 무엇인가?

파이로테크닉스라는 용어는 근래에 통용되기 시작한 단어로 일반인에게는 생소한 용어이다. 어원은 그리스어의 파이르(Pyr)라는 불, 열, 열작용에 의한 뜻을 가진 화학류라는 의미와 테크네(Techne)라는 Art, 즉 만들어낸다는 의미의 기술이라는 테크닉스의 합성어이다. 따라서 파이로테크닉스라 함은 화학류를 이용하여 어떠한 것을 만들어내는 기술적인 제품이라고 개념을 정리할 수 있다. 즉 "art of making fireworks"라고 대부분의 주요사전에서 언급되고 있다. 따라서 파이로라는 개념의 화학에 대한 이해가 있어야 하며 또한 그것을 이용한 기술적인 측면에서의 적용성에 대해 파악하는 것이 파이로테크닉스를 이해하는 가장 기본적인 사항이다.

최근 들어 우주관련 추진공학의 발달과 더불어 파이로테크닉스 제품의 중요성이 한층 고조되고 있는데 이러한 제품의 발달이 없었으면 오늘날의 우주공학은 발전 할 수가 없었다고 해도 과언이 아니다. 따라서 추진공학과 더불어 파이로테크닉스에 대한 이해가 필요한데 우리 주변의 자동차 Air Bag도 산업용으로 중요하게 쓰이는 파이로테크닉스 제품이며 Space Shuttle 우주왕복선, 인공위성, ICBM 유도탄 등을 비롯한 거의 모든 우주 추진기관 제품들이 파이로테크닉스 제품을 사용하지 않으면 기능을

발휘 할 수 없을 정도의 중요한 분야이다. 또한 이러한 파이로테크닉스 제품의 성능 신뢰도는 대단히 중요한 것으로 인식되고 있는데 그 이유는 이러한 파이로테크닉스 제품 하나의 성능 실패는 그 시스템 전체의 실패와 직결되기 때문이다. 따라서 모든 파이로테크닉스 제품은 대단히 높은 성능 신뢰도를 유지하여야만 사용이 가능한데 일례로 Space Shuttle 우주왕복선의 폭발사고는 폭발볼트(Explosive Bolt)라는 일종의 파이로테크닉스 제품으로 부스터 로켓의 단분리 목적으로 설계/제작 되었으나 그 성능 실패에 기인한 것으로 보고된 바 있었다. 이외에도 수많은 사례가 파이로테크닉스와 관련되어 실패하였다는 보고가 있는데 이러한 조그마한 파이로테크닉스 제품의 실패가 그 시스템 실패는 물론 존귀한 인간의 생명과 직접 관련되어 있기 때문에 특히 그 중요성이 높게 인식되어 있는 것이다.

파이로테크닉스에는 어떠한 분류가 가능할까? 간단히 살펴보면

- 1) Initiators, Detonators, Primers
- 2) Linear Pyrotechnics (MDC, SMDC등)
- 3) Shaped Charges (CSC, LSC, FLSC등)
- 4) Cartridge-Actuated Devices(CAD)
- 5) Propellant-Actuated Devices(PAD)
- 6) Specialized Pyrotechnic Devices
- 7) 기타

2. 화약류와의 관계는?

화약류라 함은 실용가치가 있는 액체 또는 고체의 가연성 물질로서 그 일부분에 경미한 작용(가열, 충격, 마찰)을 가했을 때 그 자체는 순간적으로 변화를 일으켜 막대한 용적의 가스를 방출함과 동시에 고도의 열이 생기고 이 열로 말미암아 그 가스는 급격히 팽창되어 주위에 압력을 가하고 주위의 물체를 추진, 또는 손상시키는 물질이다. 따라서 화약류만으로는 파이로테크닉스 제품이라고 하기에는 개념상 문제가 있다고 본다.

파이로테크닉스라함은 어떠한 특성을 지닌 화약류를 사용하여 유용한 목적을 위해 설계 및 제작된 모든 제품을 통틀어 표현하는 용어로 개념을 정의할 수 있다. 따라서 파이로테크닉스에 대한 개념을 이해하기 위해서는 이러한 화약류와 화약류의 폭발현상에 대한 올바른 인식이 있어야만 가능할 것으로 생각되어 이에 대해 정리하여 본다.

3. 화약류의 발전과정은?

인류 역사에 있어서 화약은 어느 때부터 사용하기 시작하였을까? 유태의 존장 아브라함이 발명하였다는 전설적인 설도 있으나 과학의 체계가 서지 않았던 시대부터 어떠한 발전과 발전의 과정을 밝힌 것은 분명하다.

서기 275 이집트의 유리우스 아프리카누스(Jullius Africanus)는 초석(KNO_3)과 유황을 혼합하여 폭발성 물질을 만들고 케스토라는 명칭을 부쳤다는 기록이 있다.

서기 660-667 사라센 사람이 동로마제국의 수도 비잔틴을 공격할 때 희랍사람은 오늘날의 흑색화약 성분과 유사한 초석, 유황, 송진, 역청 및 석회와 혼합물을 가지고 성을 방비하였다는 기록이 있다. 이것이 희랍인 카리니쿠스(Kallnikas)가 발명한 희랍의 불(Greek Fire)로서 희랍은 이것을 수세기 동안 비밀에 부쳐가며 비잔틴을 수비하였다는 것이다

서기 846마커스 그레커스(Marcus Graecus)가 만든 초석6, 목탄2, 유황 2의 배합은 오늘날의 흑색화약과 동일한 배합이며 이들에 대한 기록이 있다.

이러한 내용들이 고대 인류문명 속에서 발전되어 온 화약의 발전과정으로 생각되며 서기1000년경 전후 중국에서 화약 병기를 사용하였다는 기록이 있는 약400년간 기록이 남아있지 않다고 한다.

중국에서는 970년(宋의 開寶 3년)에 화전(火箭), 1000년(宋의 咸平3년)에 화구(火毬)를 만들었고 1161년에 南宋軍이 화약을 사용한 火器로 金軍을 대패 시켰고 1232년 金軍은 진천뢰(震天雷)라는 철포(鐵砲)와 화창(火創)을 사용하였다. 또 1281년 원군(元軍)은 일본 하카다만에서 대포를 사용하였다는 기록이 있다.

따라서 구미의 역사에서는 화약은 르네상스 시대(13~15세기)의 초기에 유럽에서 발명되었다고 되어 있으나 중국에서 발명된 후 유럽에 전해지고 14세기부터 그 제조가 성행하면서 철포 등의 발명과 함께 개량이 거듭되어 근대적인 흑색화약으로 다시 동양으로 들어온 것으로 생각된다.

1313년 독일의 Schwarz가 화약의 제조법과 대포에 화약을 사용하기 시작한 이후 유럽에서는 14세기부터 화약의 사용량이 증가해 왔다. 흑색화약의 발달은 총포의 진보를 촉진 시켰고 종래의 전쟁 방법에 대변혁을 가져왔다. 따라서 대포의 발달은 급속히 진보하기 시작하였고 16세기 중엽부터는 약육강식(弱肉強食)의 시대로 접어들면서 모든 나라들이 부국강병(富國強兵)을 국시로 하고 화약공업의 진흥에 힘쓰게 되었다.

그러나 흑색화약은 분상(粉狀)으로 대구경포에 사용할 때는 포내 압력이 높아지므로 이것을 방지하기 위해 연소면이 점화개시와 종료시 대차가 없도록 고안된 흑색육능화약(黑色六稜火藥)이 발명되었다. 그 후 독일에서 흑색화약의 목탄을 저탄화도의 목탄으로 한 갈색육능화약이 고안되어 대구경포용으로 각국에서 널리 사용하게 되었다. 그렇지만 흑색화약은 발포 때 연기가 많고 포내에 많은 찌꺼기가 남는 등 결점이 있었다.

1845년 Nitrocellulose(棉藥, NC)

1847년 Nitroglycerine 이 발견되고 특히 NC에 있어서는 더욱 많은 연구가 진행되어 이것을 무연화약의 원료로 쓰게 되었다.

Vieille는 1884년 NC를 주성분으로 하는 Single

base 화약의 B 화약을 고안하였다.

NC, NG를 주성분으로 하는 Double base 화약에 있어서는 1888년 Nobel이 Baristite, 1889년 Abel 등이 Cordite를 완성해서 총포와 함께 무연화약의 시대를 개척하였다.

르네상스 시대에 와서 과학이 발달됨에 따라 화약의 연구도 17세기 이래 많은 폭발성 화합물이 합성되었다. 그 중요한 것을 보면 다음과 같다.

1690	뇌홍
1846	Nitroglycerine
1858	Diazodinitro phenol(DDNP)
1863	Trinitrotoluene(TNT)
1877	Tetryl
1890	Lead azide
1891	Pentrit
1899	Hexogen(RDX)

이 화합물들은 군용폭약으로 사용되었으며 2~3종의 화합물을 같이 사용하기도 하였다. 뇌홍, DDNP 등은 뇌관, 신포탄 등에 사용되고 있다.

산업용 폭약은 Nobel 이 Dynamite를 발명하고부터 급속히 발달했다. Dynamite는 Nitroglycerine을 주재료로 한 폭약이나 그 Nitroglycerine 은 1846년에 Sohrero가 발견하고부터 오랫동안 이용방법을 몰랐었다. 그러나 Novel 이 1866년에 구조토다이나마이트를 1875년 교질다이나마이트를 발명하고부터 뇌관의 발명과 함께 다이나마이트의 용도는 급속히 토목 및 광산에 활용 할 수 있게 되었다.

1896년 Carlson이 과염소산암모늄을 주재료하여 Nitroglycerine을 함유치 않은 Carlit를 발명했고 최근에는 질산암모늄 유제폭약(ANFO)이 연구되어 많이 사용되고 있다. 폭약을 기폭시키는 공업뇌관은 Nobel이 1866년 뇌홍뇌관을 발명하고부터 급속히 발전되어 왔다. 1903년 Wöhler는 아지화연을 함유한 뇌관의 특허를 얻어 1907년에는 아지화연을 기폭약으로 하는 뇌관을 발명하였다. DDNP나 염소산칼륨의 혼합물을 기폭약으로 하는 뇌관도 많이 사용되고 있으며 전기뇌관은 최근 현저히 발달되어 우수한 제품들이 사용되고 있다.

최신의 화약류는 각 산업 전 분야에 걸쳐 눈부신

발전에 따라 급속히 발전되어 왔는데 이와 더불어 파이로테크닉스의 발전도 자동차 Air bag을 비롯하여 인간생활 전반에 걸쳐 눈부신 발전을 하면서 이용되고 있다. 이에 대해서는 보다 더 자세히 후에 기술하기로 하자.

4. 화약류의 폭발현상(Explosion) 개념(1)

우리 주변에서 우리는 폭발의 현상을 잘 볼 수 있다. 고무 풍선이나 자동차의 타이어가 음향을 일으키며 파열하는 현상도 일종의 폭발이다. 고무풍선 안에 대기압보다 높은 압력의 수소가스가 넣어 있어서 이 수소가스가 고무주머니의 약한 곳을 택하여 파열하는 순간 고무주머니 안에 있는 고압의 수소가스가 외부에 터져 나와 대기압과 동일한 압력상태로 이동하려는데 급한 팽창이 생겨 고무풍선의 폭발이 일어나고 자동차의 타이어의 펑크는 튜브내에 있는 고압의 공기가 폭발하는 것이다. 그러므로 물체가 급히 그 체적을 증대할 때 생기는 현상을 물리적 효과의 폭발이라 할 것이고 대략 이러한 경우에는 용기와 외부의 공기를 진동시키게 됨으로 음향(폭음)을 수반한다. 그러나 전술한 고무풍선이 주머니의 파열이 아니라 불에 접촉된다면 그 폭발은 일층 격렬한 폭발상태를 나타낸다. 그것은 풍선 안에 있는 수소와 공기중의 산소가 혼합되면서 화염에 부딪치면 양자가 급한 화학 반응을 일으켜 수증기가 되는 것이다. 즉 수소 2그램과 산소 16그램이 화합하여 18그램의 수증기가 생기고 이때 약 58,000 칼로리의 열을 발생시킨다. 이 열로 인하여 수증기는 수천도의 온도로 상승하고 체적은 상온의 경우 10배 이상으로 급등 팽창한다. 그러므로 고무풍선은 보통 '펑' 하는 파열로서 끝이지 않고 굉장한 폭발을 야기한다. 이러한 폭발반응의 결과를 폭발(폭반응)이라고 한다. 예를 들면

- 하수구에 가득찬 메탄가스의 폭발
- 용접공장의 아세틸렌 가스의 폭발
- 가솔린 공드럼통의 폭발
- 탄광등에서의 항내가스 폭발

등의 기체폭발이 있고, 제분공장의 소맥분이나 탄광의 탄진폭발은 분체 즉, 고체폭발이다. 이러한 기체

표 1. 화약류의 발전과정

서기	발명자	발명품의내용	한국사항
275	불명	일종의 흑색화약, 유리아스아프리카누스	
668	시리아인 카리니커스	희랍의 불, 나후타린, 생석회유황의 혼합물 또는 석등유, 송진, 유황의 혼합물	
846	마커스 그레커스	흑색화약의 일종, 초석6, 목탄2의 혼합물	중국. 화약병기 사용(970)
1249	영국인 로저 베컨	흑색화약, 초석7, 목탄2, 유황5	고려인종시 김부식, 화구 및 화포로 해적평정
1313	독일인 벨토루드 슈왈쯔	화포화약연구	고려우왕시 최무선 원나라의 염초술 습득, 왜구선박 격파
1525	프랑스	흑색입상화약을 발명	
1543		일본에 총포화약이 전래됨	임진왜란(1592~1598)
1627	치롤의 광산가, 카스파와인달	채광에 화약을 사용함	
1788	프랑스 벨토레	염소산염폭약	
1799	영국인 에드워드 허위-드	뇌홍	
1816	미국인 지-쇼	뇌관(뇌홍을 동관에 충전)	
1831	영국인 빅포-드	안전도화선	
1842	프랑스 로-란	피크린산	
1846	이태리인 아스카노소푸레로	니트로글리세린 발명	
1846	영국인 후리-판	지연신관(탄환발사후일정시간경과후작동)	
1850	영국인 무-아슨	착발신관(탄착시 작동)	일본. 흑색화약 제조, 채광에 이용(1856)
1861	미국인 로-도산	분상흑색화약을 성형	
1863	스웨덴 알프렛 노벨	니트로글리세린을폭파용으로사용	
1864	독일인 울체	염용무연화약	
1866	스웨덴 알프렛 노벨	규조토다이나마이트 발명	
1871	독일인 스프랭겔	폭약 피크린산 실용화	
1878	스웨덴 알프렛 노벨	부라스팅 제라전 공업폭약	
1884	프랑스 후위-비에	초안폭약	
1890	독일인 커티스	카아치(질화납)화합물을 발견	화약을 채광에 사용
1901	독일 아돌프카 보낫트회사	TNT 폭약을 실용화	
1907	독일인 웨-렐	아지화연	
1907	독일인 히모니스	아지화연뇌관	
1910	호푸만/로스	테트라센제조	
1914	제1차 세계대전		
1920	미국인 본.허츠	헥소오젠의 폭약적 가치발견	
1933	미국인 크라야크	DDNP 기폭약 성능 발표	폭약 생산(1936)
1940	제2차 세계대전		

또는 고체의 폭발은 가연성가스나 미립자와 공기중의 산소간에 일어나는 화학반응으로서 그 연소상태가 급격히 이루어지는데 기인한다.

이러한 제물질의 폭발상태를 공업적으로 이용하여 물체를 어느 목적인 곳에 이동하거나 또는 물체의 파괴를 이끌어 보려는 것이 화약류의 근본적인 생각이다.

그러나 기체의 폭발과 고체 또는 액체의 폭발, 양자를 비교할 때 기체 그 자체로서는 우리가 목적하는 용도에 이용하기 어려울 뿐만 아니라 고체, 액체에 비하여 기체의 폭발로 인하여 발생하는 압력은 극히 약하여 실질적으로 이용가치가 없으므로 화약류로 이용되지는 않는다. 따라서 화약류의 특성을 갖고 있는 폭발물이라 할지라도 실지 이용가치가 없는 것은 화약류라 부르지 않는다고 할 수 있다.

화약류의 공통적인 특징은 공기가 존재하지 않아도 연소, 또는 순간적으로 분해상태에 들어갈 수 있다는 것이다. 분해는 화약류에 경미한 작용을 가하므로서 일어나는 것이다. 다시 말하면 공기가 없는 곳에서 연소하는 것은 화약류를 구성하는 인자가 가연체와 산소와의 화합물이거나 또는 가연체와 산소를 다량으로 함유하여 용이하게 산소를 방출할 수 있는 물질과의 혼합물로 되어 있는 까닭이다.

그래서 화약류의 일반적인 분해상태를 말하면 연소상태로부터 급격한 분해상태로 들어가거나 또는 어느 작용을 가하였을 때 순간적으로 연소상태를 거치지 않고 분해상태로 들어가는 두 가지 형태가 있다. 이러한 화약류의 분해반응을 폭발(Explosion) 또는 폭발(Explosion) 이라고 한다.

대기중에서 화약류에 열을 가한다면 화약류는 그곳에서 구성인자인 가연성분과 산소간의 작용이 발생하여 연소를 일으키게 된다. 이 결과 다량의 열이 다른 부분에 전파되어 그 구성인자의 활동을 촉구하여 연소상태는 계속 그 화약류 전체에 이르게 된다. 이러한 연소의 전파 속도는 매초 수cm로부터 수백m로서 화약류의 연소는 연료의 연소와 유사한 것이다.

그러나 다이ना마이트와 같은 폭약류는 이를 밀폐

용기중에서 연소시키거나 또는 뇌관으로 분해 시킬 때는 열이 전파하는 속도 이상으로 폭발을 완료한다. 이 폭발의 속도는 매초 2000~8000m 나 된다. 다이나마이트류와 달리 흑색화약은 뇌관을 사용하여도 그 폭발속도는 300m/sec 정도이고 무연화약에 있어서는 극히 적은 속도로 연소 할 뿐이다. 여기서 흑색화약 또는 무연화약의 폭발 반응은 다이나마이트류의 폭발반응에 비하여 저속도로써 이 양자간의 폭발반응은 그 한계에 있어서 구별이 생기게 되는 것을 알 수 있다.

이러한 한계의 구분을 화약류에서는 화약류의 평형상태가 급격히 파괴 할 때 생기는 화학변화 즉 폭발 반응 혹은 폭발을 폭연(Deflagration)과 폭굉(Detonation)의 두가지형태로 구분하고 있다.

폭연(Deflagration) : 일개분자의 연소열이 인접 분자간을 순차로 연소하여 진행되는 현상을 말한다.

추진작용

폭굉(Detonation) : 연소열의 전도로 인접분자를 연소시켜 나간다고 설명 할 수 없는 마찰이나 충격이라는 기계적 충격에 의한 에너지가 화약류의 전체를 순식간에 분해하는 현상을 말한다. 파괴작용

일반적으로 말할 때 폭연에 의해서는 물체의 파괴 작용 보다는 추진작용이 있고 폭굉에 의해서는 파괴 작용을 갖게 된다고 한다.

참 고 문 헌

1. Richard J. Barbour, "Pyrotechnics in Industry", McGraw-Hill Book Co.,
2. Herbert Ellern, "Military and Civilian Pyrotechnics", Chemical Publishing Co., Inc
3. John A. Conkling "Chemistry of Pyrotechnics, Marcel Dekker, Inc.
4. 金明會, 金容旭, "火藥·發破學, 東明社"
5. 須藤秀治, "火藥·發破", オーム社