

화약의 역사

대덕대학교 이원주



1997-2004 대진대학교 화학과 학사
2004-2006 한양대학교 화학과 석사
2006-2009 한양대학교 화학과 박사
2010-2011 한국과학기술연구원(KIST) 박사후과정
2011-2013 삼성전자 종합기술원 전문연구원
2013-현재 대덕대학교 군사학부 조교수
2020-현재 대한민국 폭발물 기술자 협회 교육이사

화약의 역사에 대해 논의하려면 역사를 건전하고 합리적으로 바라보는 시각이 필요하다. 예를 들어 역사관은 역사를 바라보는 관점에 따라 실증주의사관, 유물사관, 식민사관, 민족주의사관 등으로 구분될 수 있다. 하지만 필자는 역사가로서 풍부한 경험과 지식을 갖추고 있지 않다. 이 때문에 화약의 역사를 설명하는 부분은 기존에 전문서적의 내용을 그대로 인용하되 독자의 이해를 돕기 위해 공학적 관점에서 그 내용을 일부 수정·편집하여 기술하였다. 사용된 참고문헌은 한국의 화약 역사: 염초에서 다이너마이트까지(민병만, 아이워크북, 2009), 산업화약개론: 총단법과 함께 보는(민병만, 아이워크북, 2014), 화약과 산업응용(강추원, 구미서관, 2014) 등이다. 화약의 역사에 대해 공부하고 싶은 독자는 위에 언급된 참고문헌을 이용하기 바란다.

1. 화약의 기원과 발달

화약(火藥)이란 마찰, 타격, 열, 불꽃, 전기 스파크 등과 같은 외부의 충격으로 급격한 화학반응이 일어나면서 고온의 열과 함께 다량의 가스를 발생시키는 폭발물 중 공업적으로 이용 가치가 있는 것을 말한다.

역사적 관점에서 최초의 화약은 오늘날 흑색화약과 유사한 조성을 가진 물질이었다. 오늘날의 흑색화약은 초석(질산칼륨, KNO_3), 유황, 숯으로 구성된 혼합물이다.

1.1. 불과 화약

화약의 기원을 정확히 이야기하기는 어려운 일이다. 하지만 각종 기록물을 살펴보면 인류는 오늘날의 흑색화약과 유사한 가연성 혼합물을 오래전부터 사용하고 있었다. 화약의 단어를 살펴보면 불화(火)와 약약(藥)로 구성되어 있다. 화약의 단어에서 알 수 있듯이 화약은 불과 밀접한 관계를 갖고 있다. 어떻게 보면 인류가 불을 사용하기 시작한 것이 화약의 기원이라고 할 수 있을 것이다.

인간이 다른 동물과 다른 것 중 하나는 불을 사용할 줄 안다는 것이다. 그리스 로마 신화에 의하면 인간이 불을 사용하게 된 것은 프로메테우스(Prometheus) 때문이다. 제우스에게서 불을 훔쳐 인간에게 건넨 것이다. 프로메테우스가 인간에게 불을 준 이유는 두 가지 이야기로 나뉜다.

먼저 첫 번째 이야기이다. 프로메테우스(Prometheus)는 먼저 생각하는 자로 오늘날 머리말을 의미하는 프롤로그이다. 먼저 생각하는 자인 만큼 미래를 내다보는 예지를 가진 인물로 무엇가를 알고 행동하는 인물이다. 또한 남자 인간을 만든 창조주이다. 에피메테우스(Epimetheus)는 나중에 생각하는 자로 오늘 날 꼬릿말을 의미하는 에필로그이다. 미래를 내다보는 능력이 없다 보니 행동을 하고 난 후에 시간이 지난 후에 알게 되는 인물이다. 또한 여자 인간을 만든 창조주이다. 행동의 결과를 반성하게 되는 경우가 많은 인물이다. 제우스는 프로메테우스와 에피메테우스 형제에게 이 세상을 살아갈 동물들을 만들어 그들에게 특별한 재능을 부여하게 했다. 에피메테우스는 자신의 능력대로 지금은 알지 못하기에 최대한의 상상력을 발휘하여 다양한 형태의 동물들을 만들어 특별한 능력을 발휘할 수 있도록 했다. 어떤 동물에게는 빨리 뛸 수 있는 다리를, 어떤 동물에게는 날 수 있는 날개를, 어떤 동물에게는 아름다운 꼬리를, 어떤 동물에게는 스스로 보호할 수 있는 딱딱한 껍질을... 이렇게 되는 대로 나누어 주다보니 더 이상 나누어 줄 수 있는 재료는 떨어졌는데, 형상도 재능도 부여 받지 못한 동물이 있었다. 그것은 바로 남자 인간이었다. 에피메테우스는 이 일을 어떻게 해결해야 할 지를 형인 프로메테우스에게 의논했다. 프로메테우스는 인간 남자를 신처럼 두 발로 걸을 수 있도록 하고는 태양으로부터 불을 훔쳐와 주었다. 인간 자체에 부여할 재능이 없어서 불을 이용하여 스스로 보호하고 살아갈 수 있도록 한 것이다. 한편, 제우스는 불을 훔쳐간 사실을 알고 크게 분노하여 프로메테우스를 코카서스 바위에 묶어 매일 독수리에게 간을 파 먹히는 고통을 준다. 파 먹힌 간은 다음 날 재생되어 고통이 반복된다.

다음으로 두 번째 이야기 이다. 프로메테우스는 남자 인간을 만든 창조주이자 인간

들을 매우 사랑했다. 프로메테우스는 인간들이 제우스의 제단에 제물을 올릴 때마다 먹음직한 살코기를 올리는 것을 보고 아담게 여겼다. 인간들에게도 좋은 음식을 먹고 싶은 프로메테우스는 한가지 계락을 꾸민다. 신과 인간 사이에서 음식의 몫을 결정할 때 분배를 맡은 프로메테우스는 거대한 소를 둘로 나뉘어 한 쪽은 살코기와 내장을 소 껍질로 싸서 맛없게 보이게 만들고, 다른 한 쪽은 뼈다귀를 윤기 흐르는 기름 덩어리로 싸서 먹음직스럽게 만들었다. 그리고는 제우스에게 어느 쪽을 선택할 것인지 결정하게 했다. 제우스는 얼핏 보기에 맛있어 보이는 기름 덩어리로 포장된 것을 선택했다. 제우스는 자신을 속인 것에 대해 크게 분노했다. 제우스는 분풀이로 인간에게 평온을 빼앗아 고통을 주기 시작했다. 이를 안타깝게 여긴 포로메테우스는 불을 훔쳐 인간이 불을 활용하여 더욱 편리한 생활을 할 수 있도록 하였다. 먼저 생각하는 프로메테우스는 제우스가 분노할 것을 알고 있었음에도 불을 훔칠 수 있었던 것은 제우스의 미래를 알고 있었기 때문이다. 제우스가 어떤 여인과 결합하여 낳은 아들이 제우스의 권위를 찬탈할 것이라는 예언이다. 제우스는 그 여인이 누구인지를 알지 못했다. 그것은 프로메테우스만이 알고 있는 비밀이다. 비밀을 알아내야하는 제우스는 코카서인 바위에 묶어 매일 독수리에게 간을 파 먹히는 고통을 주었다. 파 먹힌 간은 다음날 재생되어 반복되었지만 굴복하지 않았다.



[그림 1-1] 불을 훔치는 프로메테우스
(Prometheus Carry Fire), Jan Cossierss,
1637, Prado National Museum



[그림 1-2] 프로메테우스의 간을 파 먹는
독수리(귀스타브 모로, Gustave
Moreau)

두 가지의 이야기는 다르지만 공통된 내용은 프로메테우스가 인간이 감히 넘볼 수 없는 신의 도구 불을 인간에게 선물했다는 것이다. 신화 속에서 불은 얻은 인간은 어둠을 밝혔고, 만물을 통제하기 시작했고, 비로소 인간이 ‘만물의 영장’으로 우뚝 선 순간이다.

공학적 관점에서 살펴보면, 인류는 불을 처음으로 발견하고 음식의 조리, 겨울철 난방, 야간 조명, 맹수로부터 보호 등에 사용하였을 것이다. 시간이 지나면서 인류는 불을 때는 데 쓰이는 재료 마다 그 특성이 다르다는 것을 다르다는 것을 알 수 있었을 것이다. 즉, 재료마다 불이 붙는 특성, 불이 지속되는 특성 등이 다르다는 것을 알 수 있었을 것이다. 다시 시간이 지나면서 인류는 여러 가지 가연물 중에 불이 쉽게 꺼지지 않고 오랫동안 타는 유형을 발견하였을 것이다. 이후 인류는 초석을 발견하였고, 유형에 초석과 숯을 섞으면 급속한 연소가 수반되는 강력한 불꽃을 발견하였을 것이다. 이것이 원시 화약의 기원이라 할 수 있을 것이다.



[그림 2] 구석기시대 ‘활비비’와 ‘부싯돌’로 불을 지펴 사용하던 상상도

(출처: www.dolmen.or.kr)

1.2. 화약의 기원설

화약이 어디에서 처음 만들어졌는지는 몇 가지 주장이 있다. 중국에서 처음 만들어졌다는 주장, 유럽 또는 인도에서 처음 만들어졌다는 주장이 있다. 이는 화약을 어떻게 정의하느냐에 따라 발생되는 이견들이다.

일부 역사가들은 화약의 기원을 논의하면서 화약을 일종의 ‘불(火)’로 정의하고 해석하였다. 이런 정의를 사용하면 화약은 실생활에서 사용하는 불 보다는 조금 강한 ‘불(火)’로 해석이 가능하다. 즉, 보통의 ‘불’ 보다 화력은 세고, 잘 꺼지지도 않

으며, 급격히 연소하는 강한 ‘불’을 화약의 범위에 포함시킬 수 있다. 하지만 공학적 관점에서 살펴보면 이러한 강한 ‘불’은 화약의 범위에 포함될 수 없다. 현대적 관점에서 화약과 연료의 가장 큰 차이점은 산소공급제를 가연물에 포함하고 있는지의 여부이다. 즉, 어떤 물질이 산소공급원으로 공기를 사용하면 연료로, 산소공급원을 물질 자체에 포함하고 있다면 화약으로 구분할 수 있다. 이 때문에 화약의 기원을 논할 때 강한 ‘불’보다는 물질에 산소공급제가 사용되었는지가 더 중요하다. 흑색화약을 화약의 시발점으로 해석하는 것은 가연물로 유황과 탄소를 사용하고 산소공급제로 초석을 사용했기 때문이다.



[그림 3] 흑색화약

출처: ko.wikipedia.org

일부 역사가들이 ‘강한 불’을 화약의 기원으로 해석하여 자기 역사 속에 포함시키려는 것은 역사를 민족주의사관으로 바라보고 있기 때문이라 생각된다. 이러한 역사가들은 만약 원시의 화약이 유황이나 목탄이 아닌 어떤 다른 가연제를 초석과 함께 사용했다면 그 가연물이 화약의 시초라고 주장했을지도 모른다. 하지만 앞서 논의하였듯이 유황, 석유, 목탄 등의 혼합물에 화약의 역사에 포함시키는 것은 공학적 관점에서는 합리적이지 않다. 공학적 관점에서 역사를 바라본다면 ‘보다 강한 불’이 아니라 초석을 사용한 ‘강력한 불’이 나온 시점부터 화약의 시발점을 논의하는 것이 합리적인 판단이라 생각된다. 다만 화약의 발명과 발전은 어느 한 개인의 노력에 의해 이루어진 것이 아니고 오랜 기간 여러 사람들의 노력에 의해 이루어진 것에는 별다른 의견이 없을 것이다.

1.3. 화약과 무기

인류가 화약과 비슷한 혼합물로 ‘강력한 불’의 존재를 알아냈다고는 하지만 처음부터 ‘강력한 불’를 제어하지는 못하였을 것이다. ‘강력한 불’이 오늘날의 흑색화

약으로 발전하고 동시에 제어하는 방법까지 같이 터득하면서 화약의 실용화가 가능해졌을 것이다.

불행하게도 화약은 전쟁용 무기로 처음 실용화 되었다. 화공법(火攻法)에 사용된 것이다. 하지만 화공법도 처음에는 적진에 단순히 불을 지르는 정도로 시작하였을 것이다. 이후 화약의 강력한 추진력을 이용한 방법을 터득하고 건축물 파괴나 인마살상이 가능한 무기로 발전되었을 것이다. 화약은 전쟁에서 적을 제압할 수 있는 강력한 무기로 사용되었을 것이고 화약병기의 기술은 급속한 발전을 거듭하였다.

과거에도 현대에도 화약병기에는 화약이라는 물질이 있어야만 한다. 이 때문에 과거 선조들은 보다 강력한 화약병기를 만들기 위해 병기자체를 개발하는 한편 그에 적합한 화약 생산 방법을 찾아 노력 했을 것이다. 초기의 화약들은 화약병기에 적합한 형태로 발전할 수 없었고 결국은 화약의 역사는 무기 또는 전쟁 역사의 일부가 되었다.

역사적 기록물에는 화약을 사용했다는 문구들이 많이 존재한다. 하지만 오늘날 공학적 관점에서의 화약의 정의에 부합되는 가연물과 산소공급제를 함께 사용하면서 추진적 역할 또는 파괴적 역할을 하는 화약은 중국 당(唐)대에 실용화된 것으로 알려져 있다.

2. 중국의 화약의 발명

2.1. 연단술과 화약

18세기 말 프랑스 화학자 라부아지에(Antonine Laurent de Lavoisier, 1743~1794)를 현대 근대 화학의 아버지라 부른다. 라부아지에는 연소에 관한 새로운 이론을 주장하여 플로지스톤설을 폐기하면서 화학을 크게 발전시켰고, 산화 과정에서 산소의 작용, 산화나 호흡 간의 정량적인 유사점 등을 발견하기도 하였다. 또한 화학 반응에서 질량 보존의 법칙을 확립하였으며 원소와 화합물을 구분하여 근대 화합물 명명법의 기초를 마련하였다. 화학에 정량적인 방법을 처음으로 도입한 학자 중 한 명이기도 하다. 하지만 라부아지에 이전에도 화약적 지식을 연구하는 사람들은 많이 있었다. 대표적으로 서양의 연금술사(鍊金術師)와 중국의 연단술사(煉丹術師)가 있다. 특히 화약은 중국 4대 발명의 하나로서 연단술을 구사하는 연단술사의 매우 중요한 업적 중 하나였다.

중국의 도가사상(道家思想)은 우주의 절대적 존재를 무(無)라고 하는 무위자연설(無爲自然說)을 주장하는 사상을 말한다. 도가사상의 대표적인 학자는 노자(老子)와 장자(莊子)가 있다. 이러한 도가사상은 육조시대(六朝時代) 노장(老莊)사상을 바탕으로 했

던 도교가 신선사상과 어우러져 발전한 것이다. 신비적 도가사상속에서 합리주의적 사고와 신비주의적 사고가 공존하면서 여러 가지 과학적 업적이 생겨났다. 도가사상을 바탕으로 신선술(神仙術)을 연구하는 사람들을 방술가(方術家) 또는 연단술사라고 하였다. 당시로는 마법사와 같은 존재였을 것이다.



[그림 4-1] 고대 중국 방술가의 상상도
출처: kr.people.com.cn



[그림 4-2] 유럽 연금술사의 상상도
출처: commons.wikimedia.org

유럽의 연금술사들은 납을 황금으로 만들려고 노력했던 반면 중국의 신선술을 연구하던 연단술사들은 불로불사(不老不死)의 선약(仙藥)을 만들기 위해 노력했다. 즉, 연단술은 훌륭한 단약을 만들고자 했던 기술이다. 선약의 중심이 되는 것이 단(丹)이라고 하는 수은(Hg) 화합물이었기 때문에 유럽의 연금술과 비교하여 중국에서는 연단술이라고 한 것이다. 연단술사들은 단사(丹砂, H_2S)나 금과 함께 초석과 황을 매우 귀중한 것으로 생각하였다. 연단술사들은 선약을 만들기 위한 연단술의 한 과정에 초석이 혼합된 가연물에 점화원이 가해지면 맹렬한 연소반응을 일으킨다는 것을 알아냈을 것이다. 즉, 우리가 훗날 화약이라 부르게 되는 ‘강력한 불’의 존재를 연단술의 한 과정에서 알아냈을 것이다.

2.2. 화학의 발견과 인식

초기의 연단술에 관한 흔적은 BC 220년경 위백양(魏伯陽)이 저술한 주역참동계(周易參同契)에서 찾을 수 있다. 이 서적은 오늘날 가장 오래된 연단술서(煉丹術書)로 일컬어지고 있다. 이 서적에는 유교의 역(易), 도교의 철학, 그리고 단약을 만들려고 했던 연단술을 포함하여 삼위일체론(三位一體論)으로 구성되어 있다. ‘삼동계(三同契)’란 삼자(三者)가 같은 도(道)라는 의미이다.

이후 연단술의 기록은 회남왕 유안(淮南王 劉安)이 저술하였다는 연단술서 회남자(淮南子)에서 찾을 수 있다. 이 서적에서는 단약을 만들기 위해 금과 은의 제조방법으

로 황백술(黃白術)이라는 기술을 소개하고 있다. 소(消, 초석), 류(流, 황), 탄(炭, 숯)을 섞어 만든 니물(泥物)로 금을 만들었으며, 납으로는 은을 만들었다고 한다. 물론 비과학적이긴 하지만 금을 만들려고 했던 원료들이 오늘날 흑색화약의 3가지 성분과 동일하다는 점에서는 화약의 기원을 연상해 볼 수 있다.

이후 송(宋)나라의 이방(李昉) 등이 편집한 태평광기(太平廣記), 서진(西晉)의 정사원(鄭思遠)(264~322)이 저술한 진원묘도요략(眞元妙道要略), 후한(後漢)에서 삼국시대 사이에 성립된 본초서(本草書) 신농본초경(神農本草經), 남조(南朝) 양(梁)나라의 도가(道家) 학자였던 도홍경(陶弘景, 456~536)이 저술한 의서 신농본초경집주(神農本草經集註), 동진(東晉) 시대의 갈홍(葛洪, 283~343)이 저술한 포박자(抱朴子), 당 초기 명의이자 신선가였던 손사막(孫思邈, 581~682)이 저술한 단경 내복유황법(丹經內伏硫黃法), 송대(宋代, 960~1279)에 집대성된 고대 중국의 도교 경전을 모은 책 도장경(道藏經), 당 헌종(唐 憲宗) 3년 청허자(淸虛子)가 저술한 연홍신진지보집성(鉛汞申辰至寶集成)에서 연단술과 흑색화약에 관련된 기록들을 찾을 수 있다.

이 중 송대(宋代, 960~1279)에 저술된 도장경(道藏經)에서는 화약(火藥)이란 단어가 처음으로 발견된다. 다만 당시는 물론이고 고대 중국에서 오랫동안 화약이라고 부르던 것은 오늘날 우리가 말하는 추진적 또는 폭발적 용도로 사용되는 화약이 아니고 병을 치료하기 위한 일종의 약(藥)으로 인식되어 있었다. 약은 약이되 불을 붙이면 타는 약, 불(火)이 되는 약, 불이 되는 재료로 만든 약, 불로 만든 약, 불 같은 약이었기 때문에 화약(火藥)이라 했을 것이라 추측된다.

병을 치료하기 위해 또는 신선이 되기 위해 사용되던 화약이 추진적 또는 폭발적 용도로 발전한 것은 무기에 사용되기 시작한 이후였다. 초석, 유황, 목탄의 혼합물이 폭발성과 함께 추진력을 가지고 있다는 사실을 발견한 것은 의학자들이었지만, 이 기술이 군사 기술자들에게 전해지면서 화약기술은 획기적으로 발달하게 된 것이다. 이렇게 발달한 폭약으로서의 화약제조법은 송(宋)나라 인종(仁宗)이 1040년에 명하여 1044년 발간된 병서 무경총요(武經總要)에서 각종 병기류와 함께 발표되기에 이른다.



[그림 5-1]
회남왕 유안
(淮南王 劉安)
출처: chinesewiki.uos.ac.kr



[그림 5-2]
회남자(淮南子)
출처: www.sohu.com



[그림 5-3]
손사막(孫思邈)
출처: ko.wikipedia.org



[그림 5-4]
바곳
(부자, 초오, 투구꽃)
출처: namu.wiki

화약의 기원과 관련된 고대 중국 저서

	서명	시대	주요내용
1	회남자 (淮南子)	회남왕 유안(淮南王 劉安)이 저술하였다는 연단술서	초석, 유황, 숯을 섞어 금을 만들었다.
2	태평광기 (太平廣記)	송(宋)나라의 이방(李昉) 등이 편집한 후한 순제(後漢 順帝, 125~144) 시대 설화	단약로에서 폭연현상이 일어난 사실을 기술하고 있다.
3	진원묘도요략 (真元妙道要略)	서진(西晉)의 정사원(鄭思遠) (264~322)이 저술한 연단서	목탄에 초석을 대었더니 화염을 내며 연소했다.
4	신농본초경 (神農本草經)	후한(後漢)에서 삼국시대 사이에 성립된 본초서(本草書)	초석에 대한 언급을 하였다. 다른 연단술사와 의술가들에게 초석의 존재를 인식시키는 계기가 되었다.
5	신농본초경집주 (神農本草經集註)	남조(南朝) 양(梁)나라의 도가(道家) 학자였던 도홍경(陶弘景, 456~536)이 저술한 의서	
6	포박자 (抱朴子)	동진(東晉) 시대의 갈홍(葛洪, 283~343)이 저술한 불로장수의 비법	단약 제조에 유황과 초석을 사용하였다.
7	단경내복유황법 (丹經內伏硫黃法)	당 초기 명의이자 신선가였던 손사막(孫思邈, 581~682)이 저술한 의서	초석, 유황, 목탄 등으로 복화(伏火)를 제조하였다.
8	도장경 (道藏經)	송대(宋代, 960~1279)에 집대성된 고대 중국의 도교 경전을 모은 책	‘화약’이란 단어를 최초로 사용하였다.
9	연홍신진지보집성 (鉛汞申辰至寶集成)	당 헌종(唐 憲宗) 3년 청허자(淸虛子)가 저술	초석과 황의 혼합물을 바곳(부자, 附子)을 넣고 가열했더니 발화되었다.

10	무경총요 (武經總要)	송(宋)나라 인종(仁宗)이 1040년 에 명하여 1044년 발간된 병서	군사기술로 흑색화약 제조법을 기 술하였다.
----	----------------	--	----------------------------

이후 11세기 중엽에는 화약제조술이 발달함으로써 폭발성 화기인 벽력화구(霹靂火毬)와 벽력포(霹靂炮)가 제작되었다. 최초의 관형(管形)화기로 볼 수 있는 죽통으로 발사하는 화창(火槍)도 제작되었다. 13세기 금나라와 남송은 철화포(鐵火炮), 진천뢰(震天雷), 비화창(飛火槍) 등을 만들어 사용했다. 죽통으로 자과(탄환)를 발사하는 돌 화창(突火槍)도 사용하였다. 이처럼 8세기경 화약을 무기에 처음 사용하기 시작한 중국에서는 원나라와 명나라를 거치면서 더욱 발전되었는데, 특히 원나라에서는 기존의 죽통 대신 대포의 효시라 할 수 있는 금속 동(銅)제 관형화기도 만들어 사용하였다.

한편, 화약이 전쟁물자로 사용되고 있을 무렵 중국에서는 관상용 폭죽(연화, 煙火, 불꽃놀이용 화약)에도 화약을 사용하였다. 이러한 폭죽은 7세기 초 수(隨)나라에서 시작하여 당나라를 거치면서 송·금 대에 널리 보급되었다고 한다.

3. 유럽의 화약 발명설

일부 사람들은 화약이 유럽에서 처음 만들어졌다는 주장을 하고 있다. 이 주장은 화공(火攻)과 관련된 기록들이 유럽에서 발견되고 있기 때문이다.

- 기원전 1190년경 트로이 전쟁에서 트로이군이 ‘꺼지지 않는 불’로 그리스 함대를 격파
- 기원전 850년경 서남아시아 메소포타미아의 고대국가에서 일종의 연소가열제를 병기에 사용
- 기원전 431~404년경 피치와 유황 및 마대껍질을 섞어 화살에 발라 적진에 방화(放火)를 하는데 사용
- 기원전 410~302년경 스파르타 동맹군이 시라쿠사(Syracusa, 시실리) 전투에서 황, 피치, 송진을 혼합한 소이제(燒夷劑) 사용
- 226년 로마제국의 알렉산더 6세가 페르시아군과의 메소포타미아 전쟁에서 생석회와 아스팔트를 사용한 자동화(自動化)라는 화기사용
- 275년 아프리카니누스(Julius Africanus) 초석과 황의 혼합물 소개
- 380년 베게테우스(Vegeteus) 석유와 피치를 포함한 연소물 소개
- 667년 카리니코스(Kallinikos)가 ‘희랍의 불(Greek fire)’를 발명

- 7세기 비잔틴 제국이 사라센군으로부터 공격을 받을 때 ‘희랍의 불’을 사용, 수도 콘스탄티노플 사수
- 813년 사라센군이 ‘희랍의 불’과 유사한 발화제로 바그다드 공격
- 904년 사라센군이 그리스를 공격할 때 피치, 황, 생석회 혼합물을 도자기통에 넣어 투사
- 941년 비잔틴군이 콘스탄티노플 전투에서 나프타, 생석회, 황의 혼합물로 만든 ‘바다의 불(sea fire)’을 사용, 러시아 함대 소각



[그림 6] 희랍의 불(그리스의 불)을 사용하는 비잔티움 해군(11세기)

출처: ko.wikipedia.org

이러한 기록들은 기원전부터 유럽에서 화약이 사용되었던 것처럼 기술하고 있다. 특히 ‘희랍의 불’에 대해서는 정확히 그 실체가 밝혀진 바가 없음에도 몇몇 중세에 쓰인 자료들을 보면 ‘희랍의 불’은 피치에 유황과 초석을 섞어 만들었던 것으로 흑색 화약의 원형이라고 기록하고 있다. 흑색화약의 성분과 정확하게 일치하지 않지만 유사한 성분으로 되어있었다는 것이다. 하지만 기원전의 기록들은 신화적인 측면이 강하여 실제로 존재하였다고 믿기 어려운 점이 있다. 또한 나머지 기록들도 단순한 발화제 또는 가연체들로 현대적 관점에서 화약과는 거리가 먼 것들이었다.

3.1. 로저 베이컨(Roger Bacon)의 화약 발명

유럽에서 화약이 아닌 발화제가 화공의 주요 수단으로 사용되고 있을 때, 이미 중국은 각종 화약 병기에 화약을 사용하고 있었다. 그럼에도 불구하고 유럽의 일각에서는 르네상스 초기에 1249년 영국의 로저 베이컨(Roger Bacon, 1241~1294)이 최초로 흑색화약을 발명했다고 주장하기도 한다.

베이컨은 중세 프라체스코(Francesco) 교회 소속의 수도승이었다. 하지만 자연과학 분야에서도 뛰어난 재능을 보였던 과학자이기도 하다. 특히 베이컨은 당시 유럽 사회

와 문화에 깊이 자리잡고 있는 비과학적인 연금술에 도전하여 과학적 접근 방법으로 현대과학의 기초를 확립하는데 크게 기여한 과학자였다.

베이컨은 과학이 진정한 학문으로 성립하려면 허구에서 벗어나 사실 자체를 객관적으로 증명해야 한다고 주장했다. 이와 같은 과학철학에 기반하여 베이컨은 전설로만 전해 오던 고대의 소이제나 ‘희랍의 불’을 과학적으로 재현하려고 노력했다. 하지만 군용으로만 사용하던 발화제의 조성과 사용법은 어느 곳이나 비밀로 취급되고 있었기 때문에 참고할 만한 자료를 쉽게 구할 수가 없었다. 이 때문에 베이컨의 실험실은 항상 연기와 불꽃으로 가득 차 있었다고 한다. 수많은 실험의 결과로 베이컨은 발화제의 비밀을 알아낼 수 있었다.

베이컨에 의하면 ‘희랍의 불’을 비롯한 고대의 소이제나 발화제는 가연성 피치나 타르와 같은 물질에 생석회를 배합한 혼합물이었다고 한다. 하지만 중요한 사실은 발화제의 비밀을 알아내는 과정에서 목탄과 황의 혼합물에 초석을 배합하면 연소성이 증가하며, 배합비율에 따라서 폭발적으로 연소한다는 사실을 발견했다는 것이다. 현대적 관점에서 보면 흑색화약의 제조방법을 발견한 것이다.



[그림 7-1] 로저 베이컨(Roger Bacon)
출처: en.wikipedia.org



[그림 7-2] 일체스터(Ilchester) 성 메리
(St. Mary Major) 교회에 있는 베이컨을
기념하는 현판
출처: en.wikipedia.org

정리하면 베이컨은 전설로만 전해지던 ‘희랍의 불’을 재현하는 과정 중에 초석, 황, 목탄의 세 가지 성분을 적절히 배합함으로써 종래의 발화제나 희랍의 불보다 연소성능이 뛰어난 물질을 만들어 낸 것이다. 여기에 흑색화약(black powder)이라는 이름을 붙이게 된다. 이는 목탄가루가 배합되어 있어 혼합물의 색이 검은색이었기 때문이었다.

베이컨은 자신이 발명한 흑색화약의 비밀과 초석의 정제법을 1249년에 저술한 Operikus Artis et Magiao에 수수께끼식으로 기록했다고 한다. 베이컨이 흑색화약

을 발견한 당시에는 종교의 교리 부합되지 않거나 상반되는 내용을 발표하는 것이 엄격하게 금지되어 있었다. 현대적 관점에서 보면 흑색화약의 발견은 과학적 내용이지만 당시에는 과학적이건 비과학적이건 상관없이 종교적 관점이 더 중요했다. 만약 이를 위반하면 종교재판에 회부될 수도 이었다. 이 때문에 베이컨은 자신이 발현한 실험내용을 아무나 읽을 수 없도록 철자의 순서를 바꾼 수수께끼식 라틴어로 표기했다는 것이다. 한편, 일설에 의하면 베이컨은 자신이 발견한 흑색화약이 전쟁이나 살인과 같은 죄악의 수단으로 사용될 것을 우려하여, 훗날 정의로운 목적에만 사용되기를 바라면서 제조방법을 수수께끼로 기록한 것이라고 한다. 이 때문에 일부 사람들은 베이컨에 존경을 표하면서 중세적 신화의 하나로 해석하기도 한다. 이 대목이 사실이건 사실이 아닌건 상관없이 오늘날 화약이 전쟁터에서 파괴와 살상용으로 대량으로 사용되고 있다는 것을 감안하면, 화약을 공부하는 사람로서 학문적 철학에 대해 다시 한번 생각하게 만든다.

베이컨의 고향인 잉글랜드 남서부 서머셋주(Somersetshire)의 일체스터(Ilchester)에 있는 성 메리(St. Mary) 교회에는 베이컨을 기념하는 현판이 있으며, 여기에는 베이컨이 세계 최초의 흑색화약 발명가라고 기도록 되어 있다. 하지만 역사적 관점에서 살펴본다면, 흑색화약이 베이컨에 의해서 최초 발명되었다는 주장은 받아들여질 수 없다. 베이컨이 흑색화약을 처음 제조했던 시기보다 수백년 앞서 중국은 이미 전쟁용으로 흑색화약을 사용하고 있다는 사실이 입증되었다. 또한 베이컨의 화약발명과 같은 시기에 몽고군이 서방원정을 할 때에도 본격적인 화약병기를 가지고 유럽 공략에 사용했다는 기록도 있다. 그러므로 베이컨은 자신만의 독창적인 연구를 통해 흑색화약을 만들었지만 아쉽게도 세계 최초가 아닌 영국 또는 유럽 최초의 화약 발명가라고 해야 하는 것이 타당할 것이다.

한편, 베이컨이 아랍의 연금술사로부터 흑색화약의 제조법을 직접 배웠다가나 스페인의 마드리드에 있는 에스코리알(Escorial) 수도원이 소장하고 있는 도서의 기록을 통해 제조법을 터득했다는 주장도 있다. 베이컨의 경력으로 미루어 이러한 주장도 상당한 설득력이 있다고 보인다. 하지만 베이컨의 흑색화약 발명과 관련된 초기 자료에는 전설적인 성격이 강하기 때문에 확인하기는 어렵고, 베이컨 이후 유럽에서는 장기간에 걸쳐 흑색화약에 관한 자료가 거의 발견되지 않는다.

3.2. 독일의 수도사 베솔드 슈바르츠

14세기 초 독일의 수도사였던 베솔드 슈바르츠(Berthold Schwarz, ?~1384)가 베이

권의 수수께끼를 풀면서 유럽 흑색화약의 역사는 다시 시작하게 된다. 이 때문에 일부 사람들은 슈바르츠를 흑색화약의 발명자라고 주장하고 있다. 하지만 슈바르츠는 아랍의 라틴어 서적 역사서에서 얻은 지식을 활용하여 베이컨의 수수께끼를 푼 것일 뿐 발명가는 아니다.

한편, 슈바르츠는 1380년 금속제 관형 대포를 발명한 사람이다. ‘화약의 오용’을 걱정하며 “정의로운 목적에 사용할 훌륭한 과학자가 나타나 해독할 수 있도록 화약 제조법을 수수께끼화했다”라는 베이컨의 입장에서 본다면 자신의 수수께끼를 풀고 이를 전쟁의 무기로 사용한 슈바르츠는 정의롭지 못한 과학자일 것이다.



[그림 8] 베쉴드 슈바르츠(Berthold Schwarz, ?~1384)의 초상화

출처: en.wikipedia.org

4. 산업용 화약의 발달

화약을 분류하는 기준은 매우 다양하다. 만약 화약을 용도로 구분한다면 크게 군사용과 비군사용으로 나눌 수 있다. 이 중 채광이나 토목공사를 위한 암석발파용 화약이나 불꽃놀이용 화약 등의 비군사용 화약을 일반적으로 산업용 화약이라 한다. 현대적 관점에서 살펴보면 군용 화약도 국방산업을 위한 화약으로 분류할 수 있음에도 불구하고 언제부터인가 우리나라는 산업용 화약을 비군사용 화약을 표현하는 단어로 사용하게 되었다. 따라서 이 책에서도 산업용 화약을 비군사용 화약을 의미하는 단어로 사용하였다.

4.1. 폭약의 발달

흑색화약은 처음 발견되고 나서 채광, 군사용, 불꽃놀이 등 다양한 용도로 사용되기 위해 다양한 제조방법(입상화약, 구형화약 등)이 개발되었다. 그러나 흑색화약은 물

질 자체가 갖고 있는 단점이 있어 암석발파용으로는 한계에 도달할 수밖에 없었다. 이를 해결하기 위해서 새롭게 등장한 물질이 염소산칼륨(KClO_3)이다.

4.1.1. 염소산염 폭약의 발명

프랑스의 베르톨레(Claude Louis Berthollet)는 1786년 염소산칼륨(KClO_3)를 발견하였다. 이 염소산칼륨이 산소공급제 역할을 할 수 있다는 것을 착안하여 베르톨레는 라부아지에(Antonie Laurent Lavoisier)와 함께 일종의 염소산폭약을 만들고자 시도하였다.

염소산칼륨은 마찰과 충격에 예민해 잘 폭발한다. 이 때문에 염소산폭약의 제조는 공업화에 실패하였다. 하지만 이들의 시도는 화약 역사상 최초의 폭굉 물질을 발견하였다는 점에서 커다란 의의가 있다고 생각된다. 염소산칼륨을 사용한 염소산염 폭약은 산업적으로 성공을 거두지 못하였지만, 이 후 1896년 스웨덴의 칼슨(Oscar B. Carlson)이 과염소산염(MClO_4)을 폭약에 사용하면서 산업용 폭약은 한단계 더 발전을 하게 된다. 칼슨은 폭약의 주원료로 과염소산암모늄(NH_4ClO_4)을 사용하였는데, 이는 일제 강점기 ‘카리트(Carlit)’ 라는 이름으로 우리나라에서도 사용되었던 폭약이다.



[그림 9-1] 클로드 루이 베르톨레
(Claude Louis Berthollet)
출처: ko.wikipedia.org



[그림 9-2] 앙투안로랑 드 라부아지에
(Antoine-Laurent de Lavoisier)
출처: ko.wikipedia.org

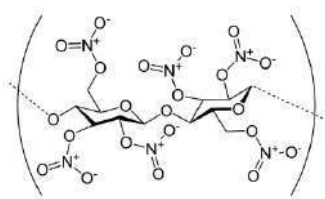
과염소산염은 양이온에 따라 물질의 특성이 달라진다. 이 때문에 갱외의 노천발파에서는 과염소산암모늄이 70~80%까지 사용되었고, 갱내용에는 초안(KNO_3)이나 질산나트륨(NaNO_3)이 40~60%정도 첨가되었다. 갱내의 탄광용 폭약의 경우 과염소산암모늄이 10% 이내로 적게 사용하고 발파 온도를 낮추기 위해 감염소염제로 소금이 사용되었다. 하지만 카리트는 과염소산염이 갖고 있는 단점 때문에 여러 가지 문제점을 발생시킨다. 예를 들어 과염소산 폭약은 발파 후 유독성 가스 발생이 발생하고, 내습성이 취약하여 장기저장이 불가능하고, 마찰과 충격에 민감하여 취급상의 불편하

다. 한편, 과염소산염 폭약의 단점과는 별개로 화약 제조 기술의 발전으로 우수한 폭약들이 개발되면서부터 과염소산염폭약은 사용량이 감소되다가 현재는 거의 사용되지 않고 있다.

4.1.2. 니트로셀룰로오스(면약)의 발명

산업화약의 근대기는 다이너마이트의 개발 이후라고 할 수 있다. 하지만 다이너마이트가 만들어질 수 있던 배경에는 니트로셀룰로오스(면약, nitrocellulose, NC)와 니트로글리세린(nitroglycerine, NG)의 발명이 있었다. 따라서 산업화약의 근대기를 논의하려면 니트로셀룰로오스와 니트로글리세린에 대한 내용을 먼저 논의해야 한다.

1845년 스위스의 쇤바인(Christian Friedrich Schönbein)과 독일의 보트거(R. Bottger)는 면(綿, Cotton)에 초화(硝化, nitration)를 시도하였다. 쇤바인과 보트거는 니트로셀룰로오스의 생산 가능성에 대해 개별적 실험을 하였지만, 니트로셀룰로오스를 폭약의 용도로 활용하는 방안은 서로 협력하여 실험을 하였다. 이 때문에 쇤바인과 보트거 두 사람을 니트로셀룰로오스의 공동 발명자라고 한다.



[그림 10-1] 니트로셀룰로오스(면약)의 구조식



[그림 10-2] 면약(nitrocellulose)의 모습

출처: www.indiamart.com



[그림 11-1] 쇤바인(Christian Friedrich Schönbein)

출처: ko.wikipedia.org



[그림 11-2] 보트거(Rudolf Christian Böttger)

출처: de.wikipedia.org

한편, 셀룰로오스(cellulose)에 대한 초화는 쾨바인과 보트거에 의해 처음 시도된 것은 아니었다. 1833년 브라콩(Henri Braconnot)이 녹말(Starch)을 초화하였고, 또 1838년에는 페로우즈(T.J. Pelouze)도 종이와 면을 비롯하여 다양한 물질에 대해 초화를 했다. 이는 쾨바인과 보트거의 발표가 있기 전에 발간된 문헌에서 셀룰로오스의 초화에 대한 페로우즈의 논문이 발견되면서 확인된 사실이다. 이 때문에 오늘날의 페로우즈를 니트로셀룰로오스 발명자라고도 한다. 하지만 그 당시에 페로우즈는 단순히 초화만 했을 뿐, 자신이 면약을 만들었다는 것을 명확히 인식하지 못하고 있었다고 한다.

이 후 영국에서 톰킨스(Tompkins)가 ‘Pulped Guncotton’이라는 제목으로 특허를 받았으며, 1866년 아벨(Fredric Augustus Abel)은 “Improvements in the Preparation and Treatment of Guncotton”이란 제목으로 특허를 받았다. 아벨의 특허 이후 니트로셀룰로오스는 공업적 생산이 가능해졌다. 한편, 아벨은 화약의 내산 안전도 시험법인 아벨 테스트(Abel Test)법을 고안한 사람이기도 하다.

이 후 1868년 브라운(E.A. Brown)은 압착시킨 건면약(乾綿藥)이 뇌홍(雷汞, mercury fulminate) 뇌관에 의해 기폭된다는 사실을 발견하였다. 얼마후 브라운은 압축된 습면약(濕綿藥)은 소량의 건면약에 의해 기폭된다는 사실을 발견하였다. 현대적 관점에서 보면 전폭약(booster explosive)의 원리를 발견한 것이다.

이 후 1873년 미국의 한 의과대학생이던 메이나드(Eduard Maynard)는 니트로셀룰로오스가 에테르와 알코올의 혼합용액에 용해된다는 사실을 발견하고 이를 콜로디온(collodion)이라 명명하였다. 콜로디온의 발견은 공업용 락카(lacquers) 등으로 발전하면서 니트로셀룰로오스의 응용범위를 한층 더 넓혀 주는 계기가 되었다.

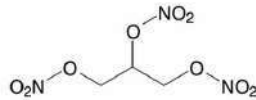
이와 같이 화약에 대한 여러 가지 폭발 특성이 발견되면서 니트로셀룰로오스는 군사용과 산업용 분야에서 다양한 용도로 화약제조에 사용되기 시작하였다.

4.1.3. 니트로글리세린의 발명

니트로셀룰로오스가 만들어진 직후 니트로글리세린(nitroglycerine, NG)이 만들어졌다. 1847년 이탈리아의 소프레로(Ascanio Sborero, 1811~1888)은 유럽의 여러 과학자들의 지식을 바탕으로 니트로글리세린의 제조기술을 완성시켰다. 이 때 만들어진 니트로글리세린을 피로글리세리나(Piroglycerina)라고 명명하였다.



[그림 12-1] 소프레로(Ascanio Sborero)
출처: en.wikipedia.org



[그림 12-2] 니트로글리세린(nitroglycerin)의 구조식

4.1.4. 규조토 다이너마이트의 발명

산업용 화약의 역사에서 다이너마이트만큼 확고한 위치를 차지하고 있었던 폭약은 없었다. 그만큼 다이너마이트의 발명은 획기적이었다고 할 수 있는데, 이런 다이너마이트의 발명은 우연한 계기에서 시작되었다.

1847년 이탈리아의 소프레로가 니트로글리세린을 제조하고 폭발 성질을 확인하였으나 제조과정에서 수차례에 폭발사고가 발생하였다. 이 때문에 니트로글리세린은 공업적으로 이용되지 못하고 사람들의 주목을 받지 못하게 된다.

스웨덴의 노벨(Alfred Bernhard Nobel)은 1850년 파리에 갔을 때 3년 전에 니트로글리세린을 발명한 소프레로를 만난다. 이때 소프레로는 니트로글리세린을 폭약에 사용하면 폭약의 위력이 강력해질 것이라고 노벨에게 조언한다. 이를 계기로 노벨은 니트로글리세린을 이용한 화약 제조에 관심을 가지게 된다. 이 후 1862년 노벨은 니트로글리세린을 공업적으로 생산하기 시작했다. 니트로글리세린이 산업용 발파에 사용되기 시작한 것이다.

노벨은 니트로글리세린을 글로니온 오일(glonion oil)이라는 상품명으로 세계 각지로 수출하였다. 당시 니트로글리세린을 사용하는 방법은 액체상태의 니트로글리세린을 천공 구멍에 부어 넣고 폭발시키는 방법이었다. 하지만 이와 같은 원시적인 취급 방법은 많은 인명과 재산 피해가 발생하는 폭발 사고를 수반할 수밖에 없었다.

발파현장의 사고와 별개로, 니트로글리세린은 수출을 하기 위한 이동 중에도 폭발 사고가 발생하였다. 이 때문에 니트로글리세린을 수출하기 위한 포장 방법에도 많은 신경을 써야 했다. 노벨은 니트로글리세린을 배에 선적할 때 위험성을 감안하여 2중으로 포장을 하였다. 양철 같은 금속제 통에 니트로글리세린을 담은 후 이를 다시 나무 상자에 포장했는데 수송 중에 흔들리는 것을 방지하고 외부의 충격으로부터 니트로

글리세린을 보호하려는 목적으로 금속통과 나무상자 사이에 완충제를 채워 주었다.



[그림 13-1]알프레드 베른하르트 노벨
(Alfred Bernhard Nobel)
출처: ko.wikipedia.org



[그림 13-2] 규조토(珪藻土, Diatomite)
출처: en.wikipedia.org

노벨이 처음 완충제로 사용하던 것은 톱밥이었다. 한편, 당시의 니트로글리세린은 세척 방법이 불완전하여 금속과 반응하는 질산이나 황산 같은 불순물이 포함되어 있었다. 이 때문에 경우에 따라서 금속통이 부식되면서 구멍이 뚫리는 일도 발생하였다. 구멍이 뚫린 철통에서 니트로글리세린이 밖으로 새어나오면 톱밥에 흡착되어야 하지만, 새어나오는 양이 많을 경우 톱밥에 모두 흡착되지 못하고 결국 나무상자 밖으로 흘러나오게 된다. 이 때문에 발파현장의 사고와 별개로 니트로글리세린에 의한 폭발사고가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하고자 노벨은 더욱 흡착력이 좋은 완충제를 찾고 있었으며 마침내 규조토(Kieselguhr, diatomite, diatomaceous earth)라는 물질을 발견하고 완충제를 톱밥에서 규조토로 변경하였다. 다행히 노벨의 함부르크 공장에는 규조토가 대규모로 매장되고 있었기 때문에 얼마든지 값싸게 규조토를 얻을 수 있었다. 하지만 규조토를 사용하면서 수송이나 취급 중의 폭발 위험은 크게 줄었으나 니트로글리세린이 액체이기 때문에 생기는 폭발 사고는 여전히 막을 수가 없었다.

당시의 여론은 니트로글리세린의 폭발 사고에 대해 대단히 부정적이었다. 특히 새로운 폭약의 등장에 불만을 품고 있던 사람들의 여론을 더욱 악화시켰다. 이에 각국 정부에서는 액체 니트로글리세린의 사용을 금지하는 규제 조치를 취하기도 하였다. 그러던 어느 날 노벨은 금속통에서 흘러나온 니트로글리세린이 완충제인 규조토에 흡수되는 것을 보고 한 가지 아이디어를 구상하게 된다. 노벨은 과학적 실험을 통해 규조토가 자기 중량의 약 3배나 되는 니트로글리세린을 흡수한다는 사실과 규조토에 흡수된 니트로글리세린은 액체 상태의 니트로글리세린에 비해 안전하고 취급하기 편하다는 사실을 발견한다. 1867년 노벨은 규조토에 흡수시킨 니트로글리세린을 발파 현장에서 사용하기 편리하도록 약포(paper cartridge)로 만들었고, 이를 ‘다이내마

이트(dynamite)' 라고 명명하였다. 이후 규조토 다이너마이트는 교질 다이너마이트(gelatin dynamite)로 발전하게 된다.

4.1.5. 초안과 폭약

초안(ammonium nitrate, 질산암모늄, NH_4NO_3)은 니트로글리세린 만큼 산업화약의 발전에 크게 기여한 물질이다. 니트로글리세린 빼고 산업용 폭약을 논의하는게 무의미하듯이, 초안을 빼고 산업용 폭약을 논의하는 것은 무의미하다고 생각된다.

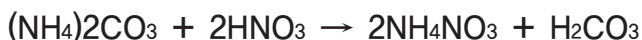
초안은 1659년 독일의 글라우버(Johann Rudolph Glauber, 1604~1670)에 의해 최초로 발견되었다. 글라우버는 탄산암모늄과 질산을 반응시켜 흰색 결정이 만들어졌는데 그때 만들어진 염(salt)을 'nitrum flammans' 라 명명하였다. 이것이 바로 초안의 최초 발견이었다. 그 이름에서 알 수 있듯이 발견 당시부터 초안은 그 연소성이 확인되고 있었다. 19세기에 들어 그멜린(L. Gmelin)은 'flammender saltpeter' 라 부르기도 하였다.



[그림 14-1] 요한 루돌프 글라우버
(Johann Rudolph Glauber)
출처: en.wikipedia.org



[그림 14-2] 초안(ammonium nitrate,
질산암모늄, NH_4NO_3)
출처: en.wikipedia.org



초안을 화약에 처음 사용한 사람은 19세기 초 그린델(Grindel)과 로빈(Robin)이다. 이들은 흑색화약의 초석을 초안으로 대체하려고 시도하였다고 한다. 그 후 1840년 라이스(Reise)와 밀론(Millon)은 초안과 목탄의 혼합물을 170°C 로 가열하면 폭발하다는 사실을 발견하였다.

1867년 스웨덴의 올손(Johan Ohlsson)과 노르바인(John Norrbein)이 초안에 소량의 가연성 물질을 혼합한 폭약을 발명하고 '암모니아크루트(Ammoniakkрут)' 라는

이름으로 특허등록을 하였다. 규조토 다이너마이트가 발명된 같은 년도였다. 이들 두 사람은 화약이 폭발할 때 발생하는 열량과 가스량을 계산해 내는 이론도 전개했으며, 산소공급제에 대한 연구를 통해 화약성분 중에 탄소는 CO_2 로 수소는 H_2O 로 변화한다는 사실도 밝혀냈다. 그뿐만 아니라 폭약이 완전연소할 수 있도록 산소 과부족량을 계산하여 원료의 배합비율을 결정하는 방법을 고안하기도 하였다. 이들은 폭약에 대한 이론적 기초를 확립함으로써 산업용 폭약의 발전에 크게 기여한 과학자들이다.

올손과 노르바인이 처음 만들었던 암모니아크루트 폭약은 초안과 목탄을 80:20의 비율로 혼합한 것이었다. 하지만 초안은 물질 특성상 흡습성을 갖고 있다. 이 때문에 암모니아크루트 폭약도 흡습성이 크고 기폭감도가 낮아 발파를 위한 기폭에 문제가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 올손과 노르바인은 초안의 비율은 그대로 두고 목탄을 6~10%로 줄이는 대신 니트로글리세린을 10~14% 추가한 새로운 폭약을 만들게 된다. 현대적 관점에서 보면 암모니아 다이너마이트(ammonia dynamite)를 개발한 것이다. 이들 바탕으로 데이비스(Davis)는 가연성 물질로 목탄 이외에 톱밥, 나프탈렌, 피크린산, 니트로벤젠 등을 배합하여 다양한 암모니아크루트의 조성들을 발표하였다. 초안은 글라우버에 의해 발견된 후 200년이 지나서야 산업화약의 원료로 각광받기 시작한 것이다. 이후에도 초안에 관한 연구는 계속되었다. 1880년 대에는 베르텔롯(M. Berthelot)은 초안의 분해에 대한 이론 방정식을 발표하였고, 20세기 초에는 카스트(Kast)와 네이움(Naoum)이 기폭·충격 및 열 감도와 폭발속도 등 초안의 화학적 성질을 규명하기도 하였다.

4.1.6. 젤라틴 다이너마이트의 발명

흔히 사람들은 다이너마이트는 노벨이 발명하였다고 한다. 하지만 젤라틴 다이너마이트의 발명은 노벨 혼자만의 공적으로 보기 어렵다. 정확히 이야기하면, 노벨이 규조토 다이너마이트를 발명한 이후 젤라틴 다이너마이트까지 만들게 된 것은 다른 과학자들의 공적이 더 크다고 해야할 것이다.

젤라틴 다이너마이트는 올손과 노르바인이 원조라 해도 좋을 것이다. 왜냐하면 노벨이 올손과 노바인으로부터 ‘Ammoniakkrut’ 특허권을 사들이고, 이를 개량하는 과정에서 젤라틴 다이너마이트를 만들었기 때문이다.

당시 스웨덴에서는 올손과 노르바인이 발명한 니트로글리세린이 침간된 암모니아크루트가 널리 사용되고 있었다. 하지만 이 폭약은 흡습성과 장기 보관할 때 니트로글리세린이 침출하는 문제점 등이 있었다. 1870년 노벨이 올손과 노르바인으로부터 특허

권을 사들이고 암모니아크루트의 가장 큰 단점이었던 흡습성과 니트로글리세린의 침출현상을 보완할 수 있는 연구에 착수하였다.

노벨이 암모니아크루트 폭약의 문제점을 해결하기 위해 처음 시도한 것은 초안 입자를 파라핀, 스테아린, 나프탈렌 등으로 코팅하는 것이었다. 하지만 성공적인 실험결과를 얻지는 못했다. 도리어 실험 과정에서 손가락을 다치게 된다. 노벨은 다친 손가락에 콜로디온을 바르게 된다. 당시 콜로디온은 외상치료에 널리 사용되고 있었다. 콜로디온은 니트로셀룰로오스를 에테르와 알코올에 용해시켜 만든 투명하고 끈기 있는 액체로 외상 부위에 바르면 용매는 휘발하고 상처 부위를 얇은 피막으로 덮어 주었기 때문에 상처를 치료하는 데 매우 효과적이었다. 요즘으로 본다면 페인트(락카)를 바른 것이다. 다친 손가락에 콜로디온을 바른 노벨은 콜로디온이 니트로글리세린과 접촉하면서 서로 용해되는 것을 발견하게 된다. 노벨은 이 현상을 무심하게 넘어가지 않았고, 다이내마이트에 응용할 수 있겠다는 생각을 하게 된다. 니트로글리세린과 콜로디온의 혼합 실험을 하게 된다. 그 결과 콜로디온은 니트로글리세린에 잘 용해되며 콜로디온의 원료인 니트로셀룰로오스도 니트로글리세린에 용해되어 껌(gum)과 같은 교질(gelatine) 상태로 변화되는 것을 발견한다. 그는 이렇게 만들어진 물질이 구조토 다이내마이트보다 폭발력은 강력하면서도 충격이나 마찰에는 둔감하다는 사실도 추가로 발견하게 된다. 교질 상태의 새로운 물질은 고성능 폭약으로 생산되었고, ‘다이내마이트 껌(dynamite gum)’이라는 상품명으로 시판을 시작하였다.

얼마 후 노벨은 기존의 다이내마이트와 구별하기 위해 ‘블라스팅 젤라틴(blasting gelatin)’이라 이름을 바꾼다. 이어서 1870년 올손과 노르바인으로 부터 특허권을 사들였던 암모니아크루트 기술과 블라스팅 젤라틴 기술을 접목하여, 초안을 블라스팅으로 코팅하는 실험을 1875년에 성공하게 된다. 이 기술은 구조토 다이내마이트의 단점, 초안의 단점, 암모니아크루트의 단점까지 일시에 해결하게 된다.

노벨이 만들었던 다이내마이트의 조성들

	초안(NH ₄ NO ₃)	Carcoal(C)	NG	Collodion Cotton
I	23 %	2 %	71%	4%
II	62 %	12 %	25%	1%

콜로디온을 이용한 폭약의 개발에 성공하자 노벨은 이 제품을 ‘엑스트라 다이내마이트 (extra dynamite)’ 또는 ‘암몬 젤라틴 다이내마이트(ammongelatin

dynamite)’라 명명하고 블라스팅 젤라틴과 함께 특허등록을 하였다. 이 때문에 사람들은 흔히 블라스팅 젤라틴은 “시험관이 아니라 노벨의 손가락에서 탄생했다”는 말을 하기도 한다.

블라스팅 젤라틴의 등장으로 광산과 토목공사 분야는 획기적으로 발전하게 된다. 더하여 노벨은 엄청난 부와 명성을 갖게 된다. 하지만 1888년 알프레드의 형 루드비그(Ludvig)가 지병으로 사망하자 프랑스 신문은 동생 알프레드 노벨(Alfred Nobel)이 사망한 것으로 착각하고, “죽음의 상인이 죽다(Merchant of death is dead)”라는 제목으로 기사에서 “알프레드 노벨박사는 예전 그 어느 때보다, 가능한 한 가장 짧은 시간에 많은 사람을 죽이는 방법을 찾아내서 엄청난 재산을 만든 사람이다”라고 썼다. 이 기사를 읽은 노벨은 상당한 충격을 받았고, 사후 끔찍한 묘비명으로 역사에 남겨지기를 원하지 않았다. 노벨은 1895년 11월 27일 “인류복지에 공헌한 사람들에게 나누어 주라”는 유언과 함께 스웨덴 왕립과학아카데미에 거액을 기부하였고, 이 기금을 바탕으로 노벨 재단이 설립되어 1901년부터 매년 노벨상이 수여되고 있다.



[그림 15-1] 노벨의 부고 신문

출처: Nobel, A to Suttner, B in Memoirs of Bertha Von Suttner, The Records of an Eventful Life(1910) p. 298



[그림 15-2] 노벨상 메달

출처: ko.wikipedia.org

4.1.7. 다이너마이트의 발달

젤라틴 다이너마이트가 만들어진 후, 블라스팅 젤라틴 기술은 전 세계로 퍼져 나갔다. 이 후 니트로셀룰로오스, 질산암모늄 등의 사용 여부, 감열소염제의 사용 여부, 제품의 형태와 용도 등에 따라 다른 명칭으로 불리면서 발전을 거듭하게 된다. 특히, ‘Ammonia Dynamite’ 또는 ‘Ammonium Nitrate Dynamite’라 하기도 하고 ‘Ammonia Gelatin’은 ‘Ammonia Gelatin Dynamite’ 또는 ‘Ammonium Nitrate Gelatin Dynamite’라고도 한다.

다이너마이트(dynamite)의 분류

혼합 다이너마이트 (composite dynamite)	규조토 다이너마이트 (kieselguhr dynamite)	NG 70~75%, 규조토 25~30%
	스트레이트 다이너마이트 (straight dynamite)	
	암모니아 다이너마이트 (ammonia dynamite)	
교질 다이너마이트 (gelatin dynamite)	블라스팅 젤라틴 (blasting gelatin)	NG 20~60%, 질산나트륨 (NaNO ₃), 목분, 황 등
	젤라틴 다이너마이트 (gelatin dynamite)	
	젤리그나이크 (gelignite)	
분말 다이너마이트 (powdery dynamite)	암석용 다이너마이트 (coal dynamite)	NG 10~20%, 질산나트 륨(NaNO ₃), 질산암모늄 (NaNO ₃), 목분, 황 등
	질산암모늄 다이너마이트 (ammonium dynamite)	

4.1.8. 탄광용 폭약의 출현

초안을 기재로 하는 폭약(Ammonium Nitrate Blasting Explosive)이 가장 많이 사용된 곳은 탄광이었다. 초안을 기재로 하는 폭약이 발명되기 전까지는 흑색화약이 탄광용 폭약으로 사용되어 왔다. 하지만 흑색화약은 발파시 화염이 강하게 발생해 가연성 가스와 석탄 먼지가 가득한 탄광에서는 2차 폭발위험이 있어 사용하기가 부적합했다. Ammonium Nitrate Blasting Explosive은 산소공급제 및 3차 폭약으로 질산암모늄을 사용하기 때문에 폭발온도가 낮고, 유독가스 발이 낮으며, 가격도 저렴하다는 장점을 갖고 있다.

Ammonium Nitrate Blasting Explosive를 탄광발파에 처음으로 적용하여 시도한 것은 1885년 프랑스의 파비에르(Favier)였다. 그는 니트로 화합물을 폭약의 예감제로 사용할 수 있다는 연구결과를 발표한 사람이기도 하다. 당시에 니트로글리세린이나 니트로셀룰로오스 외에 Ammonium Nitrate Blasting Explosive에 사용되던 니트로 화합물로는 MNN, DNN, TNN 등 니트로나트탈렌 종류와 MNT, DNT, TNT 등 니트로톨루엔 종류 그리고 TNX, Picric Acid 등이 있었다. 파비에르 이후 각국에서는 Ammonium Nitrate Blasting Explosive의 조성을 약간씩 변경하면서 다양한 중

류의 탄광용 폭약을 개발하였다. 이러한 폭약은 미국에서는 ‘permissible’로 영국에서는 ‘permitted’라고 분류되었으며, 탄광발파에 사용하는 것이 허용되었다. 독일에서는 화약의 명칭 자체를 ‘갱내 폭발성 가스에 안전한 화약(schlawettersichere sprengstoffe)’이라고 하였고, 프랑스, 벨기에 등의 다른 유럽나라들도 Ammonium Nitrate Blasting Explosive을 탄광에서 사용하게 되었다.

초기의 탄광용 폭약들은 니트로글리세린을 사용하지 않았지만, 그 위력을 높이기 위해 점차 니트로글리세린을 사용하기 시작하였다. 니트로글리세린을 사용하지 않았던 Ammonium Nitrate Blasting Explosive와 구분하여 니트로글리세린을 사용하는 다이내마이트는 ‘Ammonium Nitrate Gelatin Dynamite’로 구분하기도 하였다. 이후 1887년 독일의 로불리트(Robulit)가 감열소염제로 소금을 배합한 제품을 만들면서 탄광용 폭약의 발전 기술은 일단락되었다.

초창기 탄약용 폭약의 조성

국 가	제품명	조성							비고
		AN	NG	DNN	Resin	DNB	CC	기타	
미 국	Monobel	80.0	10.0	—	—	—	—	—	Dupont
영 국	Ammonite	88.0	—	12.0	—	—	—	—	
	Westfalite	95.0	—	—	5.0	—	—	—	
	Bellite	83.5 93.5	—	—	—	16.5 6.5	—	—	
프 랑 스	Grisounaphthaliteroche	91.5	—	—	—	—	—	—	
	Grisodynamitre	70.0	29.0	—	—	—	1.0	—	
	Grisodynamitecouche	87.5	12.0	—	—	—	0.5	—	

4.1.9. 초안 폭발 사고

초안이 폭약의 원료 사용된 이후 여러 폭약의 주원료로 사용되고 있었지만, 초안 자체는 화약으로 간주되지 않고 있었다. 하지만 1921년 독일의 오파우(Oppau)에서 대규모 초안 폭발 사고가 일어난다. 창고에서 비료용 초안이 고화되어 사용이 곤란해지자 이것을 파쇄하기 위해 폭약을 장전하여 파쇄시키다가 약 4,500톤의 초안이 동시 폭발하는 대형 사고가 발생하였다. 사망자와 행방불명자가 669명, 부상자가 1,952명에 달했던 것에서 사고의 크기를 짐작할 수 있다.

이 폭발 사고 후 초안의 성질에 대한 정밀한 연구가 진행되기 시작하였다. 초안에 대한 다양한 연구결과 논문들이 발표되었으나 초안의 폭발 성질에 대해서는 두 가지 주

장이 엇갈리고 있었다. 초안은 단단히 밀폐상태에서 매우 강력한 기폭약을 사용해야만 폭발될 수 있다는 주장과 밀폐된 상태에서는 기폭약이 없이도 고온으로 가열될 경우 초안이 분해되면서 발생하는 가스가 1차 폭발하고 이 충격으로 나머지 용융상태의 초안도 폭발될 수 있다는 주장이 대립하였다. 한편, 오파우의 폭발 사고는 초안도 폭발할 수 있다는 것을 보여줬지만 이후에도 초안의 화재나 폭발 사고는 소규모지만 곳곳에서 계속 발생되었다.

제2차 세계대전이 끝난 후 미국은 유럽으로 초안을 수출하기 시작하였다. 이는 FGAN(Fertilizer Grade Ammonium Nitrate)이라고 부르던 비료용 초안으로서 0.75%의 왁스로 초안을 코팅하고 3~5%의 점토가루를 혼합한 것이었다. 이 초안은 화약으로 간주되지 않고 있었기 때문에 선적작업 중 흡연도 허용되었을 정도로 취급의 제한을 받지 않고 있었다. 하지만 1947년 텍사스에서 다시 초안의 폭발 사고가 발생하였다. FGAN을 싣고 항구에 정박해 있던 두 척의 증기선 ‘그랜드 캠프(grand camp)’호와 ‘하이 플라이어(high flyer)’호가 4월 16일, 17일에 연쇄적으로 폭발한 것이다.

4월 16일 아침 8시 FGAN 2,300톤을 적재한 프랑스 화물선 그랜드 캠프호에서 화재가 발생, 9시 12분 폭발하였다. 수 톤씩이나 되는 배의 파편들이 사방으로 비산되었고 항구는 물론 인근 시가지와 몬산토(Monsanto)사의 화학공장 등으로 화재는 대규모로 확산되었다. 설상가상으로 그랜드 캠프호 폭발의 충격이 채 가시기도 전인 밤 11시경, FGAN 1,000톤을 싣고 그랜드 캠프호 부근에 정박해 있던 미국 화물선 하이 플라이어호에서도 화재가 발생, 17일 새벽 1시 10분 폭발하고야 말았다. 그랜드 캠프호보다 더욱 강력한 폭발이었다고 한다. 이 두 건의 사고로 사망 568명(행방불명 100명 포함), 부상 3,500명 이상의 인명피해가 발생했는데 이는 그 당시 텍사스 전체 인구 16,000명의 25%에 해당하는 숫자로 미국 역사상 최악의 폭발 사고였다. 이 사고 후 미국에서는 사고 원인에 대한 정밀조사를 실시하였고 동시에 초안뿐만 아니라 초안과 유기 또는 무기물들의 혼합물에 대한 폭발성질에 관한 연구도 병행하였다.



[그림 16-1]

그랜드 캠프(grand camp)호

출처: www.dieselpunk.info



[그림 16-2]

텍사스 항구 화재 모습

출처: www.dieselpunk.info



[그림 16-3]

텍사스 재난에 대한 신문

출처: www.dieselpunk.info

초안을 ‘oxidizing material’ 이자 ‘an explosive ingredient’ 로 분류하여 제조, 저장, 수송 등을 ‘광무국(bureau of mines)’ 이 관장하는 ‘Federal Explosive Act’ 로 규제하였으며 철도 운송 시에는 ‘ammonium perchlorate’ 와 동일한 수준인 ‘yellow label’ 로 관리하기 시작하였다.

1947년 사고 이후 대규모 초안 폭발이라는 중대사고가 없는 것은 다행한 일이다. 하지만 불행하게도 한반도 내에서 다시 한 번 대규모 폭발 사고가 일어났다. 2004년 4월 22일 북한의 평안북도 용천군 용천역 구내에서 일어난 대폭발이다. 북한 당국의 발표로는 이 사고로 150여 명이 사망하고, 1,300여 명이 부상 당했으며 8,000여 명의 이재민이 발생하였고, 3~4억 유로의 재산피해를 입었다고 한다. 당시 언론들은 여러 가지 정황을 들어가며 사고 원인을 추측하여 보도하였는데 초안을 적재한 열차가 유조차와 충돌하면서 폭발하였다는 것은 석유와 LP가스를 실은 화물열차들이 충돌하였다고는 보도가 있었고, 김정일을 목표로 한 테러였을 것이라는 추측이 제기된 바 있었다. 그뿐만 아니라 시리아로 수출하려던 스커드 미사일(노동 1호)이 폭발한 것이라는 주장이 제기되기도 하였다.

한편, 가장 최근에 일어난 대규모 초안 폭발사고는 2020년 8월 4일 레바논의 수도 베이루트에서 일어난 폭발사고 이다. 레바논 당국은 베이루트 항구 창고에 6년 동안 보관된 약 2750ton의 질산암모늄이 폭발해 벌어진 것으로 발표했다. 그리고 이 사고로 157명 이상의 사망자가 발생하였고, 약 5,000명 이상의 부상자가 발생한 것으로 발표했다. 집을 잃은 사람은 약 30만 명으로 추산되고, 피해액은 150억 달러(약 17조 7,000억원)에 달하는 것으로 보고 되었다. 이는 레바논 국내총생산(GDP)의 4분의 1이 넘는 금액이다. 텍사스 초안 폭약폭발사고와 함께 최악의 폭발사고이다.



[그림 17] 레바논의 수도 베이루트 폭발 사고 현장

출처: www.yna.co.kr

4.1.10. 초유폭약의 등장

1867년 노벨에 의해서 발명된 다이너마이트는 100년 이상 산업용 화약 분야에서 독보적 위치를 차지하고 있었다. 하지만 니트로글리세린은 마찰과 충격에 극히 예민하여 다이너마이트의 사용은 항상 폭발 사고의 위험성이 내포될 수 밖에 없었다. 공장을 건설하는데도 많은 자금과 넓은 공장 부지도 필요하며, 니트로글리세린 제조과정 중에 다량으로 발생하는 폐산과 폐수는 환경문제를 수반할 수밖에 없었다. 그뿐만 아니라 제조과정 중에 발생하는 니트로글리세린의 증기는 작업자들에게 두통, 현기증, 구토 등을 일으키게 하는 등 보건문제도 발생하게 되었다. 따라서 많은 화약 연구자들은 좀 더 안전하고 저렴한 폭약에 관심을 기울일 수밖에 없었다.

이 후 1921년 독일 오파우 폭발사고와 1947년 미국의 텍사스 폭발사고를 겪으면서 미국의 화약기술자들은 초안이 예감제 없이도 폭발할 수 있다는 기폭성에 깊은 관심을 두고 초안으로 폭약을 만드는 연구를 시작한다. 초유폭약(Ammonium Nitrate Fuel Oil, ANFO)에 연구가 시작된 것이다.

1955년 미국의 아크레(R.L Akre)는 비료용 초안에 목탄과 기름 등을 섞어 만든 폭약을 개발하고, 이것에 아크레마이트(Akremite)라 이름을 붙였다. 1953년 아크레마이트 폭약의 첫 발파가 시도되었다. 인디애나의 한 노천탄광에서 다이너마이트 20파우드를 부스터(booster)로 사용하여 기폭시키는 실험이 성공되었는데, 이 실험의 책임자가 바로 아크레였다. 1955년 실험결과가 미국에서 발표되었고, 이 폭약은 ‘프릴(prill) 초안’에 디젤유를 섞는 제품으로 발전하고 ANFO라는 이름으로 실용화되어 전 세계로 급속히 퍼지게 되었다.

한편, 프릴 초안이 ANFO에 처음부터 사용된 것은 아니었다. 1921년 독일에서 폭발되었던 초안은 입자형(cystal)이었다. 입자형의 초안은 흐름성이 나빠 취급하기에 불편할 수밖에 없었다. 이 때문에 취급이 용이하도록 초안의 입자크기를 증가시키려는 시도가 있었고 그 과정에서 프릴 초안이 만들어진 것이다.

프릴 초안은 1943년 캐나다에서 개발되었는데 흡습성이 강한 초안의 고화방지를 위해 코팅제로서 소량의 구조토를 첨가하였다. 이로써 프릴 초안은 화약제조과정 중에서의 취급이 보다 용이하게 되었을 뿐 아니라 발파 작업을 할 때 천공 내에 충전하는 작업까지도 편리하게 되자 ANFO의 원료로 널리 사용될 수가 있었다.

이 후 ANFO는 작업의 편리성을 위해 ‘Bagged ANFO’로도 포장되기 시작했으며, 1958년 캐나다의 Canadian Industrial Limited와 Iron Ore Company에 의해 기계식 현장 충전방법이 고안되었고, 1960년 미국에서는 공업식(Pneumatic) ANFO 충

전 트럭도 개발되었다. 이처럼 ANFO는 원료 확보의 용이성, 저렴한 가격, 사용상의 편리성, 취급상의 안전성 때문에 세계 산업용 폭약 수요의 70%를 점유할 정도로 성장하게 되었다.

하지만 공학적 관점에서 본다면 아크레가 만든 초유폭약은 1867년 스웨덴의 올손과 노르바인이 초안에 소량의 목탄을 혼합하여 만들었던 암모니아크루트(Ammoniakkрут)와 비슷한 조성을 갖고 있다. 올손과 노르바인이 가연제로 목탄이라는 고체원료를 사용했다면 아크레는 경유라는 액체 가연제를 사용한 것이 다를 뿐이다. 이 때문에 ANFO의 원조는 암모니아크루트라고 이야기 할 수 있을 것이다.



[그림 18-1] 초유폭약 사진
출처: www.hanwhahistoricalmuseum.co.kr



[그림 18-2] (주)한화의 초유폭약
출처: www.hanwhacorp.co.kr

4.1.11. 슬러리(slurry) 폭약의 출현

ANFO가 세계 산업용 폭약 수요의 70%를 점유할 정도로 성장하지만 초안이 지닌 고유의 성질 때문에 한계에 직면한다. 다이너마이트와 비교하여 위력이 약하고, 내수성이 취약했다. 뇌관만으로는 완벽하게 기폭시킬 수도 없었기 때문에 전폭약(booster)도 필요하였다. 따라서 다이너마이트와 같은 완전한 ‘explosive’ 라기 보다는 ‘blasting agent’로서의 한계를 넘을 수가 없었다. 그뿐만 아니라 ANFO는 비중이 0.8~0.9로서 물보다 가벼운 특성을 갖고 있다. 이 때문에 수공예는 충전하기가 곤란하였으며 장전 후에도 장전비중이 낮아 경암 발파용으로 부적당하다는 문제점을 갖고 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 1956년 12월 미국 유타 대학의 쿡(M.A. Cook)교수와 캐나다의 파르남(H.E. Farnam)이 슬러리 폭약을 발명한다. 초안이 물을 흡수하여 용해되는 것을 방지하고 수공바닥까지 쉽게 들어가도록 ANFO에 물과 가교제(guar gum)를 혼합하였다. 이 혼합물을 슬러리(slurry)상태로 만들고 발열제로 알루미늄 분말과 예감제로 TNT를 배합하였다. 이를 상품화하기 위하여 쿡은 아이레코(Ireco)사를 창립하였고, 아이레코사에서 만든 슬러리 폭약은 캐나다와 미국 중서 북부의 메사

비와 마르케트 지역의 철광석 발파에 사용되며 큰 호응을 얻어 냈다.

슬러리 폭약의 출현은 폭약이 물과 공존할 수 있다는 것을 보여줬으며 화약은 물과 상극이라는 전통적인 관념을 깨뜨려 버렸다. 화약 기술을 한 단계 도약시킨 것이었으며 산업용 화약의 개발에 있어 다이너마이트에 이은 또 다른 혁명이라 할 수 있었다.

이 후 아이레코사는 1963년 예감제로 비금속 가연제를 사용한 슬러리 폭약을 개발하였으며 ‘Field Slurry Mixing System’을 발표하기도 했다. 또한 1969년 미국의 듀퐁(Dupont)사에서는 예감제로 MMAN(mono methylamine nitrate)을 사용한 슬러리 폭약(water gel)도 생산하기 시작하였다.

슬러리 폭약의 발전은 70년대에 절정을 이루었으며 비화약 예감제를 사용하는 기술과 함께 뇌관 기폭성 제품이 개발되어 소구경 발파도 가능하게 되었다. 특히 1964년 개발된 ‘chemical gassing’ 방법에 따른 예감화 기술개발은 슬러리 폭약의 특성을 더욱 보강했고, 후에 이 ‘chemical gassing’ 기술은 에멀전 폭약도 응용되었다.

4.1.12. 에멀전(Emulsion) 폭약의 등장

1956년 쿡(M.A. Cook)과 파르남(H.E. Farnam)이 개발한 슬러리 폭약이 화약은 물과 상극이라는 전통적인 관념을 깨뜨리면서 다이너마이트에 이은 또 다른 혁명으로 격찬을 받았지만, 슬러리 폭약 역시도 다이너마이트나 ANFO와는 또 다른 단점을 갖고 있었다. 슬러리 폭약은 O/W(oil in water)형의 폭약으로서 물 층이 대기와 노출되어 있어 겨울철에는 동결로 인해 기폭성이 감소되는 치명적인 결점이 있었다. 보통 4℃이하에서는 기폭성이 현저히 떨어져 불폭현상이 발생하는 것이다. 슬러리 폭약의 또 다른 약점은 낮은 폭속이었다. ANFO에 비해 폭속이 높아졌지만, 발파 현장에서는 계속해서 다이너마이트와 유사한 수준의 높은 폭속을 요구하고 있었다.

에멀전 폭약은 이러한 슬러리 폭약의 단점을 개선하는 과정에서 만들어졌다. 1961년 미국의 커머션 솔벤트사(Commercial Solvents Corp.)의 어글리(R.S. Egly)가 최초로 W/O(water in oil)형 에멀전과 O/W형 슬러리를 혼합한 형태의 폭약을 만들었다. 이어서 1963년 미국의 아틀라스사(Atlas Chemical Industrial Limited)의 게릭(N.E. Gerhig)이 슬러리를 포함하지 않는 에멀전을 개발하였다. 그러나 에멀전 폭약 기술을 완성한 사람은 미국 아틀라스 화약공업의 블럼(H.F. Bluhm)이었다. 1969년 6월 블럼에 의해서 에멀전 폭약의 기술이 처음 특허 공개되었다. 초기의 에멀전 폭약은 뇌관 비기폭성 폭약으로서 부스터를 사용하여 기폭시켰으며, 소구경의 발파공에는 사용되지 못하고 대구경에만 사용되었다.

많은 폭약 제조회사에서는 새로운 에멀전 폭약에 관심을 갖게 되었고, 에멀전 폭약을 제조하기 위한 새로운 장치와 기술, 그리고 유화제 등에 많은 연구를 기울이기 시작하였다. 1972년 듀퐁사의 카터몰(G.R. Gatemole)은 Aminenitrates(MMAN)을 사용하여 폭굉압도를 증가시킴으로써 직경 25mm의 소구경 천공 내에서도 완폭이 가능한 에멀전 폭약을 개발하였다. 1973년 미국 ICI사(Imperial Chemical Industries American Incorp.)의 찰스 웨이드(Charles G. Wade)는 에멀전 폭약의 기폭압도를 향상시키기 위해 가스를 포함하는 에멀전 폭약과 스트론튬 이온을 폭발 촉매로 사용하는 에멀전 폭약 2가지를 개발하였다. 그해 12월 듀퐁사의 토믹(A. Tomic)은 유화제로 Alkali Stearate 또는 Ammonium Stearate를 사용하여 유동성이 좋은 에멀전 폭약을 개발하였다. 여기서 특징은 Stearate를 유화제로 사용한 것이라 할 수 있는데 Stearate는 HLB가에 따라 O/W용 유화제가 되기도 하는 물질이었지만 토믹이 그것들이 가지고 W/O형 에멀전 폭약을 만들어낸 것이다.

1977년 아트라스 파우더사(Atlas Powder)의 웨이드는 예감제로 화약 종류나 organic amine nitrate를 사용하지 않고도 6호 뇌관으로 기폭시킬 수 있는 에멀전 폭약을 개발하여 특허를 출원하였다. 이 폭약의 특징은 뇌관 기폭성을 갖고 있다는 점이라 할 수 있는데 바로 속이 빈 미세한 유리공, 즉 미소중공구체(hollow microballoons)를 사용함으로써 기폭압도를 증가시킬 수가 있었다. 이것이 바로 오늘날 보편적으로 사용되고 있는 GMB(glass microballoons)를 사용한 에멀전 폭약이다. 1978년 웨이드는 다시 에멀전 폭약의 연속식 제조기술을 개발하여 특허 등록하였고, 제4회 'US Conference on Explosive and Blasting Techniques'에서 'Wade's paep'r'라고 하는 'emulsion vivala difference'를 발표하였다. 이를 계기로 에멀전 폭약은 많은 사람들 사이에 커다란 반향을 불러일으키면서 새로운 내수성 산업용 폭약의 대량 생산 시대가 시작되었다.

이 후 에멀전 폭약은 발전을 거듭하여 비중조절 기술, 유화제와 유화기 등 유화기술을 비롯하여 field loading bulk 에멀전 폭약, 내수성 에멀전 폭약, 에멀전 ANFO 폭약 등 수많은 특허가 등록·발표되었다.

미국의 아트라스 파우더사는 소구경 뇌관기폭성 에멀전 폭약과 지포장(paper cartridge) 에멀전 폭약의 상업생산을 시작하였고, 이제 에멀전 폭약은 전 세계에 걸쳐 다이너마이트, 슬러리 폭약의 수요를 대부분 대체해 가고 있다.

향후 에멀전 폭약을 대체할 수 있는 새로운 폭약이 나오지 않는다는 보장은 없다. 아직은 에멀전 폭약도 개선할 점들이 많이 남아 있으며, 과거에도 그랬듯이 이러한 문

제점을 개선하는 과정에서 새로운 아이디어를 가미한 새로운 폭약이 나올 수 있는 것이기 때문이다. 하지만 현재의 일부 문제점들이 어느 정도 개선만 된다면 에멀전 폭약은 다이너마이트보다도 오랫동안 산업용 폭약으로 유지될 수 있을 것이다.

4.2. 화공품의 발달

면약과 니트로글리세린의 발명은 산업용 화약 근대기의 시발점이라고 할 수 있다. 하지만 화공품 또한 산업용 화약의 역사에서 빼놓을 없는 부분이다. 화공품을 사용하지 않고 폭약을 효율적으로 사용한다는 것은 불가능한 일이기 때문이다.

1867년과 1875년, 노벨에 의해 규조토 다이너마이트와 젤라틴 다이너마이트가 연이어 발명되면서 각종 토목공사와 채광작업 등 산업용 발파작업은 눈부신 발전을 이룰 수가 있었다. 이 후 100여 년간 다이너마이트는 산업용 폭약의 대명사로 자리 잡으며 독보적인 존재로 전성기를 보냈다. 이에 따라 흑색화약은 오랫동안 지켜오던 산업용 화약의 왕좌를 다이너마이트에 넘겨주게 되고야 말았다.

하지만 다이너마이트가 만들어지기 전 흑색화약이 산업용 화약으로 사용되고 있을 때에도 발파를 위해서는 화공품이 필요했다. 따라서 화공품은 다이너마이트 이전에 이미 개발되고 있었다. 만약 화공품의 개발이 선행되지 않았더라면 단순히 화염에 의해서도 점화되던 흑색화약에 비해 기폭시키기가 훨씬 어려운 질산암모늄 폭약나 다이너마이트는 상용화되기에 오랜 시간이 걸렸을 것이다. 기폭 방법이 불확실한 물질을 폭약으로 사용해 보겠다는 아이디어는 시작부터 착상이 불가능했을지도 모르기 때문이다. 따라서 산업용 화약의 발달에 화공품이 기여한 바는 결코 폭약류에 뒤지지 않는다고 할 수 있는 것이다. 실제로 현재의 발파 효율성, 경제성, 안전성 등을 좌우하는 것은 폭약보다 화공품의 역할이 우선되고 있다.

4.2.1. 화약 발파의 유래

고대의 채광 방법은 광석 표면을 불로 뜨겁게 가열한 다음 물을 부어 급랭시켜 암석에 균열을 일으키는 방법이었다. 즉, 물질의 열팽창을 이용한 방법이었다. 우리나라도 조선시대에 화홍법(火洶法)이라고 하는 이와 유사한 방법을 사용한 적이 있다고 한다.

하지만 이러한 방법은 시간, 인력, 목재 등이 너무 많이 필요했다. 17세기에 들어와서 목재 대신 흑색화약을 사용면서부터 이러한 문제점은 해소되었다. 군사용으로만 사용되던 흑색화약이 산업용 발파에 사용되기 시작한 것이다. 17세기 말에는 유럽 대부분의 광산에서 흑색화약을 사용하였다.

흑색화약이 토목공사에 처음 사용된 것은 1548~1572년 네만(Neman)강 준설공사였다고 한다. 1613년 독일의 광산사업가 바이겔(Weigel)이 프라이스베르크(Freisberg)의 한 광산에서 흑색화약을 사용하였다. 1627년 헝가리의 바인들(Kasper Weindle)은 최초로 석탄광산에서 흑색화약을 사용하였다. 문헌상 확실한 최초의 기록은 1665년 모레이(R. Moray)가 발표한 영국 학술원의 논문 「A way to break easily and speedily the hardest rock」이라 할 수 있는데, 이 논문에 따르면 당시 흑색화약을 이용한 발파방법은 프랑스의 뒤 종(du Son)이 발명한 것이라고 한다. 1643년 모겐스틴(Morgenstrn)이 고안한 천공발파법과 1687년 줌베(Znumbe)의 진흙 전색법이 널리 보급되면서 흑색화약을 약포에 넣어 장전하는 아이디어가 추가되었다. 17세기 말 발파기술이 크게 향상되자 18세기에 들어서는 광산 뿐만 아니라 토목공사에도 화약이 사용되는 등 유럽 전역에서 널리 활용되기 시작하였다. 19세기 말 노벨의 다이너마이트 발명과 함께 대부분의 광산과 토목 현장에서 화약 발파는 특별한 일이 아닌 아주 보편적인 일이 되어 오늘에 이른다.

흑색화약의 사용이 증가하면서 그에 따른 안전사고도 증가하였다. 사고의 대부분은 불안정한 점화방법 때문이었다. 그 당시 흑색화약을 점화하는 방법은 갈대나 밀집, 골풀(등심초) 등과 같은 속이 빈 식물 줄기나 종이 또는 나무로 만든 가는 대롱 속에 흑색화약 가루를 넣어 만든 일종의 도화관을 사용하는 것이었다. 도화선의 원시적 형태라고 볼 수 있다. 한편, 학계에서는 불안정한 점화방법을 개선하려는 노력은 꾸준히 진행되었다.

우리나라 조선시대에도 유사한 사례가 있다. 1812년 홍경래의 난(亂)을 진압할 때 손가락 굵기의 대나무를 반으로 쪼개어 중간 중간에 있는 마디들을 파낸 다음 그 안에 종이로 감싼 흑색화약을 넣고 두 조각을 다시 맞대어 묶은 일종의 도화선을 만들어 사용하였다. 그뿐만 아니라 조선시대에는 약선(藥線) 또는 화승(火繩)이라고 부르던 일종의 도화선도 만들어 사용하였는데 도화선의 기능뿐만 아니라 요즘의 속화선(速火線)이나 착화선(着火線)의 기능으로도 사용되었다.

현재와 같은 형태의 도화선은 1831년 영국의 윌리엄 빅포드(William Bickford)에 의해 최초로 개발되었다. 그는 흑색화약을 가늘고 길게 황마사(黃麻絲) 등으로 감싼 도화선을 만들고 ‘Miner’s Safety Fuse’라 명명하였다. 미국 코네티컷(Connecticut)의 카파 힐 마인(Copper Hill Mine)의 책임자였던 리처드 베이컨(Richard Bacon)이 빅포드 도화선을 미국으로 가지고 와 1836년 제조공장을 세웠는데 그 회사가 바로 현재의 엔자인 빅포드(Ensing Bickford Co.)이다.

도화선의 목적은 점화 후 주장약(main charge)이 폭발하기 전 작업자들이 안전한 지역으로 대피할 수 있는 시간을 확보하기 위한 장치로서 말 그대로 ‘safety fuse’이다. 흑색화약의 연소시간을 매우 느리게 했기 때문에 완전 도화선이라고도 한다. 초기의 도화선은 흑색화약에 직접 점화하는 용도로 사용되었으나 1864년 노벨이 뇌홍(mercury fulminate) 뇌관을 만들어 사용하게 되면서 도화선을 점화시키기 위한 장치로서 역할을 수행하게 된다.

4.2.2. 공업뇌관(blasting cap, plain detonator)

뇌관의 역사를 이야기하려면 1803년 하워드(E. Howard)가 개발한 뇌홍[mercury fulminate, 폴민산수은, $\text{Hg}(\text{OCN})_2$]을 먼저 이야기 해야 할 것이다. 뇌홍은 뇌관의 기폭약으로 사용된 첫 번째 물질이다.

흑색화약을 대신하여 니트로글리세린을 암석발파용으로 사용해 보려고 시도하고 있을 때였다. 흑색화약은 도화선의 미약한 불꽃으로도 쉽게 점화가 되었지만 니트로글리세린은 도화선만으로는 쉽게 기폭할 수가 없었다. 다시말해, 니트로글리세린을 기폭할 수 있는 장치가 별도로 필요하게 되었다. 이러한 배경 때문에 뇌관이 탄생하게 된다. 뇌관의 개발을 처음 시도한 사람은 노벨이었다. 뇌관을 개발하기 위해 첫 번째 시도한 방법은 흑색화약을 가지고 니트로글리세린을 기폭하는 방법이었다. 하지만 니트로글리세린을 기폭하려면 기폭약으로 사용해야 하는 흑색화약의 양이 너무 많이 소요되는 문제가 발생하였다. 따라서 작은 양으로도 니트로글리세린을 기폭할 수 있으면서 도화선의 미약한 불꽃으로도 점화가 가능한 예민한 폭약이 필요하였다. 이 때문에 당시에 개발되어 있는 화약 중에 가장 적합한 화약으로 뇌홍이 선정되었다.

노벨이 뇌관에 실험을 착수했을 당시 뇌홍은 이미 총탄의 퍼쿠션 캡(percussion cap)으로 사용되고 있었다. 뇌홍을 기반으로하는 뇌관의 개발은 성공적이었고 1864년 노벨은 주석 관체에 뇌홍을 장전한 ‘fuse blasting detonator’를 발명하게 된다. 1867년 영국에 특허가 등록되었다. 만약 뇌홍 뇌관이 없었다면 니트로글리세린이 산업용 화약으로 사용되기까지는 오랜 시간이 걸렸을 것이다. 또한 니트로글리세린 이후 개발되는 Ammonium Nitrate Blasting Explosive나 다이내마이트와 같은 제품들도 산업용 화약으로 등장하는데 오랜 시간이 걸렸을 것이다.

1890년 쿠르티우스(Curtius)가 아지화연(Lead Azide)을 발명하고, 1907년 독일의 뵐러(Wöhler)가 아지화연을 사용하는 뇌관의 특허를 등록한 후 뇌홍은 아지화연로 대체되기 시작하였다. 하지만 이때까지의 뇌관은 아지화연 등 한 종류의 기폭약만 사용하

는 단일 기폭약 시스템 뇌관(single compound cap)이었다. 제2차 세계대전 이후 뇌관은 기폭약(primary charge)과 첨장약(base, main or secondary charge)으로 구분되는 두 가지 폭약을 사용하는 구조로 발전하게 되는데, 두 가지 폭약을 사용하였기 때문에 2중 기폭약 시스템 뇌관(composite or compound cap)이라고 한다.



[그림 19-1] 퍼쿠션 캡(percussion cap)
출처: thewiki.kr



[그림 19-2] 미국의 남북전쟁 당시 사용했던 머스킷(Musket)
출처: ko.wikipedia.org

처음 단일 기폭약 시스템 뇌관은 No. 1~No. 8로 분류되어 8가지가 있었다. 이 중 No. 8 뇌관은 기폭약으로 뇌홍 1.6g과 KClO_3 0.4g을 사용하였는데 이 뇌관으로는 고폭약을 확실히 기폭시키기에는 어려웠다. 따라서 부스터의 사용이 필요하게 되었으며, 뇌관 자체에 부스터의 기능을 부여한 것이 바로 2중 기폭약 시스템 뇌관이다. 이후로 폭약의 종류가 다양해져서 부스터 기능의 첨장약으로 TNT, Tetryl, PETN, RDX 등이 사용되었다. 기폭약 또한 다양하게 개발 되었다. 뇌홍을 시작으로 아지화연, DDNP, 테트라센, 뇌산염류, 디아조화합물류, 니트로화중금속염류와 그 혼합물 또는 염소산염 등 산화제를 혼합한 것까지 수 많은 기폭약이 개발되었다. 현재는 주로 아지화연, DDNP 등 몇 가지만 사용되고 있으며 나라별, 제조회사별 다양한 구조를 가진 특징 있는 뇌관들이 만들어지고 있다.

4.2.3. 전기뇌관(electric detonator)

공업뇌관을 점화시키는 방법은 도화선을 사용하는 것이다. 하지만 여기에는 여러 가지 문제점들이 내포되어 있다. 먼저 발파 효율 측면에서 본다면 도화선의 길이와 연소 속도를 가지고 발파 시간을 조절하는 것으로는 정밀한 발파를 할 수가 없는 것다. 더하여 사람이 직접 도화선에 점화하는 방법으로는 여러 개의 폭약을 동시에 점화하는데도 한계가 있다. 안전성 측면에서는 도화선의 불규칙한 연소속도, 특히 속연현상과

작업자들의 실수 등으로 작업자가 대피도 하기 전에 폭약이 폭발되는 사고가 발생하는 문제도 있다. 이러한 도화선 발파의 문제점을 해결하게 된 것이 바로 전기식 점화 시스템을 적용한 전기뇌관이다.

전기뇌관에 대한 개발 가능성은 뇌홍 뇌관이 나오기 120년 전에 확인되었다. 1745년 영국의 왓슨(Watson)은 화약이 전기 스파크로도 점화된다는 사실을 발견한다. 당시 흑색화약을 취급하는 과정에서 종종 화재가 발생하였는데 화재원인을 조사하다 보면 현장에는 흑색화약의 분진과 전기스파크가 있다는 공통점을 발견할 수 있었다. 당시 이러한 발견은 흑색화약을 취급할 때 화재 예방을 위한 주의사항을 알아낸 정도에 불과했는지 모르지만 뇌관의 역사로 바라보면 전기 스파크로도 화약이 폭발된다는 것을 발견했다는 데 의의가 있는 것이다.

1749년 벤저민 프랭클린(Benjamin Franklin)은 압착한 소량의 흑색화약에 약간 간격을 두고 두 가닥의 전선을 꼽은 뒤, 전기를 통하면 두 전선 사이에서 발생하는 전기 스파크에 의해 흑색화약이 점화되고 그때 발생하는 화염으로 다른 흑색화약까지 점화시킬 수 있다는 사실을 확인하였다. 뇌관으로 장약을 기폭시키는 원리와 동일한 방법을 개발한 것이다. 하지만 이 장치는 흑색화약에 점화를 할 수 있을 정도였을 뿐 다이너마이트 등 고폭약을 기폭시킬 수 있는 것은 아니었다. 프랭클린의 아이디어는 더 이상 발전되지 못하고 잊히고 말았다.

1830년 모시스 쇼(Moses Shaw)는 프랭클린과 유사한 장치를 만들었다. 뇌산은(Fulminating Silver, AgCNO)과 흑색화약의 혼합물을 기폭약으로 사용하고 여기에 전기를 통하면 그 기폭약이 폭발하면서 동시에 장약인 흑색화약을 폭발시킬 수 있는 장치를 만든 것이다.

전기뇌관은 전기로 화약을 기폭시키는 방법에 따라 크게 두 가지로 구분한다. 하나는 두 전기 사이에 간격을 두고 그 간격에 화약을 채워 넣은 다음 전류를 흘려 두 전극 사이에서 발생하는 스파크를 이용해서 화약을 기폭시키는 방법이고, 다른 하나는 두 전극 사이에 저항이 큰 와이어(wire)를 연결해서 전류를 흘릴 때 발생하는 열로 화약을 기폭시키는 방법이다. 전자의 경우는 고압전류가 필요하기 때문에 'high tension caps' 이라 하고 후자의 경우를 'low tension cap' 이라 한다. 오늘날 우리가 보편적으로 사용하고 있는 전기뇌관이 바로 'low tension cap' 이다.

1830년 모시스 쇼가 개발한 장치는 'high tension cap' 로서 실용화에는 크게 불만족스러운 상태였다. 하지만 1832년 쇼가 다시 미국 펜실베이니아 대학의 로버트 헤어(Robert Hare)와 협력하여 최초로 'low tension cap' 을 만들어냈다. 배터리를 사

용해서 저항이 큰 가느다란 전선(bidge wire)을 고온으로 발열시켜 화약을 기폭시키는 장치였다. 당시 사용한 점화약은 염산칼륨에 비소(As)나 유황을 배합한 혼합물이었는데 오늘날 사용하고 있는 전기뇌관의 기본 아이디어라고 할 수 있다. 하지만 이때는 아직 공업뇌관이 만들어지기 전으로서 역시 하나의 아이디어였을 뿐이고 본격적으로 전기뇌관이 구성되고 만들어진 것은 1864년 노벨에 의해 뇌홍뇌관이 만들어진 이후라고 할 수 있다.

노벨에 의해 전기뇌관과 전기점화장치가 개발되었지만 배터리를 이용한 전기뇌관의 발파작업은 또 다른 문제가 있었다. 오늘날의 비해 배터리의 성능에 한계가 있었기 때문이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 1850년 오스트리아의 에브너(Baron Von Ebner)가 ‘Electric Friction Machine’이라는 발파기를 개발한다. 하지만 이 발파기도 현장에서 널리 사용할 수 있는 수준은 아니었다. 발파 현장에서 실용 가능한 발파기는 1869년 스미스(H. Julius Smith)가 에브너의 장치를 개선하면서 만들어졌다. 스미스는 자기가 만든 발파기를 후삭 터널(Hoosac Tunnel)공사에 처음으로 적용하여 발파작업을 성공적으로 마칠 수가 있었다고 한다. 그 후 모우브레이(Mowbray)가 다시 스미스의 발파기를 개량하여 ‘Power Keg’라는 발파기를, 1871년에는 모지스 파머(Moses G. Farmer)가 Hand-cranked 발파기를 만들었다. 이 후에 스미스가 다시 Hand-crank 대신 Rack and pinion을 사용하는 새로운 아이디어를 추가하면서 전기 뇌관의 사용이 더 편리해졌고 널리 보급될 수 있었다.



[그림 20-1] 연습전기뇌관(KM752)
출처: kpyro.com

KOBLA



[그림 20-2] KOBLA사 발파기
출처: kobla.co

4.2.4. 지발 전기 뇌관(delay electric detonator)

h전기뇌관의 등장으로 발파 현장에서는 안전성과 생산성이 획기적으로 향상되었지만, 당시의 전기뇌관은 도화선의 장점인 뇌관을 터뜨려 주는 시간을 조절하는 기능은 없었다. 도화선은 정밀하지도 못해도 그 길이를 가지고 연소시간을 조절할 수

가 있었지만, 당시의 전기뇌관은 순발전기뇌관(瞬發電氣雷管, instantaneous electric detonator)으로서 여러 개의 뇌관을 동시에 점화시킨 후 순차적으로 기폭시키는 다단 발파는 할 수가 없었다.

이를 해결하기 위해 방법은 1910년 영국에서 처음 시도되었다. 도화선 한쪽에 전기 점화장치를 결합하고 다른 한쪽에는 공업뇌관을 결합하여 전기점화를 하면서 기폭시간까지 조절이 가능하도록 한 것이다. 오늘날 지발전기뇌관의 시초라 할 수 있다. 하지만 이 전기뇌관은 도화선의 양단이 모두 밀폐되었기 때문에 도화선이 연소할 때 발생하는 연소가스에 의해 내부 압력이 증가와 속연 현상이 발생하는 문제점이 있었다. 이를 예방하기 위해 가스 방출용 배기구(Vent Hole)를 뚫기도 하였으나 폭약의 조기폭발 문제점을 완전히 해결하지는 못하였다. 이 후 에쉬바흐(Eschbach)는 가스 발생이 매우 적은 연시약(延時藥, delay powder)을 연구하고 배기구(Vent Hole)가 필요 없는 전기뇌관 전용 연시 도화선이 개발되었다. 이러한 ‘gasless delay powder’의 등장으로 밀리세컨드 단위의 매우 다양한 지연초시를 가진 지발 전기뇌관 생산이 가능하게 되었다. 이 연시도화선은 우리나라에서도 오랫동안 사용되었으나 현재는 지연초시가 더욱 정밀한 알루미늄이나 아연 또는 납과 같은 금속관에 연시약을 충전한 일명 금속관식 연시장치가 사용되고 있다.



[그림 21] 전기뇌관 단면도

출처: www.koryoexp.co.kr

4.2.5. 비전기 뇌관(non-electric detonator)

전기뇌관의 사용으로 도화선 사용에서 발생하는 사고는 어느 정도 막을 수 있었으나 다른 유형의 사고가 발생하기 시작하였다. 전기뇌관은 전기를 이용하여 화약을 기폭시키는 것이기 때문에 원치 않는 전기가 인입되어도 폭발은 일어나고 결국 사고로 연결될 수 밖에 없다. 이러한 사고의 원인이 되는 전기의 유형에는 누설전류, 정전기, 무선전파에너지, 낙뢰 등이 있다.

1967년 스웨덴의 NNAB사에서는 이러한 전기뇌관의 단점을 보완할 수 있는 전기를 사용하지 않는 새로운 점화시스템을 개발하게 되는데 그것이 바로 시그널 튜브

(signal tube, shock tube)이다. 시그널 튜브는 내경 약 1mm, 외경 3mm의 튜브 내면에 HMX(octogen, high melting point explosive)와 알루미늄(Al) 분말을 혼합한 화약을 미량 코팅한 장치이다. 기능은 전기뇌관에 버금가면서도 안전성은 도화선 수준의 기폭시스템이라고 할 수 있다.

이 시그널 튜브식 비전기뇌관은 그 효능이 인정되어 1990년대 전 세계로 전파되었고 현재 가장 발전된 형태의 산업용뇌관으로 자리 잡고 있다. 물론 이 비전기뇌관도 일부 단점은 있지만 유럽 등에서는 안전성 측면을 중시하여 시그널 튜브식 비전기뇌관의 사용이 매우 활성화되어 이미 상당 부분 전기뇌관을 대체하였으며, 우리나라에서도 점차 그 사용량이 증가하고 있다.



[그림 22] 노넬 비전기뇌관 단면도

출처: www.koryoexp.co.kr