

화약 및 화공품의 역사와 향후 전망에 관한 연구

The History & Future Prospect of Industrial Explosives and Pyrotechnic

김희창¹⁾ · 안명석²⁾ · 김종현²⁾

Hee Chang Kim, Myung Seog Ahn and Jong Hyun Kim

¹⁾대한화약기술학회, ²⁾동서대학교

초 록

인류의 역사에서 “제2의불”의 발견이라고 하는 것이 화약의 발명이다. 이 화약은 활용성과 기능성 및 안전성에 따라 흑색화약으로부터 에멀전(Emulsion)폭약에 이르기까지, 그리고 공업 뇌관에서부터 비전기식 뇌관에 이르기까지 부단히 개발 발전되어 왔고, 그 응용범위도 다양해졌다. 또한 “불의 예술”이라고도 하고 “밤하늘의 서사시”라고도 일컬어지는 연화를 사용한 불꽃놀이가 각종 기념행사 때 불거리로 모든 이를 즐겁게 하여준다. 이에 화약류의 올바른 이해와 사용을 위해 연화를 포함한 화약류의 역사를 살펴보고 화약기술의 발전방향을 전망해 보고자 한다.

핵심어 : 흑색화약, 에멀전폭약, 공업용뇌관, 비전기식뇌관, 화공품, 연화

1. 서 론

화약이라고 하면 폭발이나 파괴가 연상되어 무섭고 위험한 생각이 난다. 그러나 알고 보면 산업적으로 유용하게 활용되고 있을 뿐 아니라, 연화를 사용한 불꽃놀이는 불거리를 제공하여 보는 이로 하여금 즐겁게 하여준다.

제 2의 불이라고 하는 화약의 발명으로 인류사는 크게 발전되어 왔고, 지속적인 수요의 창조와 신제품 개발로 다종 다양하게 꾸준히 개발 발전하여 왔으며, 장래에도 무한한 발전이 예상된다. 그러나 화약류는 위험성으로 해서 제조와 사용에 특별한 주의가 필요하다. 이에 화약의 올바른 이해와 사용을 위하여 연화를 포함한 화약류의 역사를 살펴보고, 화약기술의 발전방향을 전망해 보고자 한다.

2. 화약의 역사¹⁾

2.1 흑색 화약 : Black powder

인류가 최초로 발명한 화약은 흑색 화약이다. 그 원형이 기원전 160년경에 이미 고대 중국에서 나타났다고 한다. 그리고 그 후 2~3세기에 고대 중국의 연단가에 의해서 우연하게 화약적인 현상을 알게 되었다고 생각된다. 이것들은 화약을 목적으로 한 것이 아니고 연단술에 사용한 약품이었다. 이 시기에는 고대 중국에 연단술이 성행하였는데 이는 일종의 화약처리기술이며, 값싼 금속으로부터 비싼 금속과 불로장생 약을 만드는 기술로서 단약 재료를 광물과 함께 가열하였다. 이 단약의 성분이 흑색 화약의 성분중 일부인 초석(질산 칼륨)과 황이다. 목탄이 포함되지 않았으므로 흑색 화약은 아니지만 쉽게 화약으로 발전될

수 있었을 것으로 추측된다.²⁾

중국에서는 당나라 시대(618~907년)에 흑색화약이 출현하였다고 말한다.⁹⁾ 그 후 송나라와 원나라에 와서 점차 군용으로 실용화되었다. 화전이나 화창과 같은 로켓식 또는 발연통식이 화약의 주된 용도였다. 1232년 몽고군(원)과 금나라군과의 싸움에 화약을 이용하였다는 기록이 있다.

화약이 유럽으로 전해진 것은 13세기 초에 중국에서 아랍을 경유해서 이루어졌다. 한편, 고대 유럽에서는 야금법으로 연금술이 있었는데 여기에 사용되는 약품이 황과 가연물이고, 질산칼륨은 섞이지 않았으므로 화약은 아니다.

기원전 1200년에 트로이(Troy), 기원전 500년경에 희랍 등에서 화기가 사용되었지만, 이것들은 석유계 물질, 황 및 나무성분 등이었고, 질산 칼륨이 함유되지 않았으므로 화약이 아니고 소위 소이제 (발화제)이거나 햇불이었다. 60년경 시리아의 건축기사 Kallinikos가 발명한 그리스의 불(Greek Fire)도 피치, 황, 석유 및 생석회 등으로 된 소이제이다⁵⁷⁾

구미 역사에서는 화약은 유럽에서 발명되었고 발명자는 영국인 승려 로저 베이컨(Roger Bacon)이라고 한다. 그는 1242년에 소이제와 폭발용 질산칼륨의 용도를 최초로 명확하게 한 학자로서 질산칼륨과 황의 혼합물에 목탄을 가하여 흑색 화약을 만드는 방법을 자세하게 기록하였다. 그는 이 방법을 연금술사에게서 들어서 썼다고 하는 데 당시에는 흑색 화약의 제법을 공표 하거나 말하면 준엄한 종교 재판관을 받게 되는 시대이었으므로 Roger Bacon은 이것을 두려워하여 음어로 기록하였다고 한다. 그러다가 1313년 독일의 Berthold Schwarz가 음어를 해독하여 흑색 화약의 제조법을 재발견하고 연구하여 대포에 화약을 이용하였다고 한다. 이런 것으로 해서 구미에

서는 Roger Bacon이 흑색화약을 발명하였다고 하나 Roger Bacon의 진필인 지 의심이 되고 있다고도 한다.

13세기부터 본격적으로 개량 발전된 흑색 화약은 다이너마이트가 출현되기까지 거의 유일한 화약이었다. 14세기 중반에는 중국과 유럽에서 거의 같은 때에 총이 개발되었다. 그러나 그 후 중국의 화약기술은 발전되지 않았는데 비하여 유럽에서는 군사적인 용도로 급속도로 발전되고 개량이 거듭되어 근대적인 흑색 화약으로 되어 다시 동양으로 들어왔다.

화기와 병기로만 주로 사용되던 화약을 처음으로 산업적인 용도로 사용하게 된 것은 17세기에 접어들어서이다. 1627년 경 광산가 Kasper Weindle이 헝가리에서 흑색 화약을 이용하여 채광발파를 하였다.

2.2 다이너마이트

17세기부터 19세기를 전후해서 유럽에서는 근대화학의 이론이 개척되고 새로운 유기화합물의 구조가 발견되어 이에 여러 가지 화약이 발명되었고 화약이 채광 및 토목공사에 널리 사용되는 계기가 되었다.

1875년 쉰바이(Schorbein)가 니트로 셀룰로오스를 발명하였고 1846년 소브레로(Sobrero)가 니트로 글리세린을 발명하였다.

현대산업화약의 본격적인 발전은 1866년 Alfred Nobel의 규조토 다이너마이트 발명과 1875년 젤라틴 다이너마이트 발명이 시초이다. 이로부터 약100년 간 다이너마이트는 광산, 토목 또는 탄광용 등의 산업용으로 발전되어 왔고 용도에 따라서 여러 가지 조성물로 변경 발전되어 왔다.

2.3 초유폭약 : ANFO

다이너마이트 발명으로부터 약100년 후 화약의 혁신기가 왔다. 즉, 1945년 미국의 리

(Lee)와 아크레(Akre)가 질산암모늄에 기름을 흡수시킨 것만으로 폭발성을 갖는 ANFO를 발명하였다. ANFO는 Ammonium Nitrate Fuel Oil의 약자이며 질산암모늄유제 폭약으로 초유폭약 또는 안포폭약이라고 한다.

ANFO가 발명된 동기를 보면, 1947년에 프랑스의 Brest에서 3,000톤의 비료용 질산 암모늄이 폭발하였고, 같은 해 미국 텍사스 시에서 3,200톤의 비료용 질산암모늄이 폭발하였다. 또한 그 이전 1921년에 독일 Oppau에서 4,000톤의 질산암모늄이 폭발한 대 참사가 있었다. 이로 인하여 질산암모늄의 폭발성이 인식되고 이를 이용하여 화약을 만들려는 계기가 되었다.

이렇게 하여 1948년 Lee와 Akre가 질산암모늄에 1~12%의 목탄과 유연(Carbon Black) 등을 섞은 Akremite를 발명하였다. 이 Akremite는 여러 가지 결점이 있어서 널리 쓰여지지 않았으나, 1954년 미국 미네소타주의 철광산에서 질산암모늄과 기름을 혼합한 ANFO가 시험 성공하였다. 이것이 ANFO에 의한 최초의 폭발이었다. 그 후 1958년 경 미국, 캐나다, 스웨덴 등에 널리 보급되었다.

이 ANFO는 6호 뇌관으로 기폭 되지 않으며 전폭약(Booster)을 사용하여야 전폭된다. ANFO는 폭력이 적고 내수성이 없는 단점에도 불구하고, 값이 싸고 취급이 쉬운 이점이 있으므로 사용이 급격히 증가하여 근래 미국에서는 전 공업용 폭약의 약 84%가 ANFO로 대체되었고, 일본에서는 약 74%가 대체되었다. 한국에서는 약 31%이다. 이처럼 미국, 캐나다, 일본 등에서 ANFO가 산업폭약의 주역이 되었다.

2.4 슬러리폭약³⁾ : Slurry explosive

내수성이 없는 ANFO의 단점을 개선하여 나타난 화약이 슬러리폭약이다. 이것은 물이

함유되어 있기 때문에 합수폭약이라고도 말한다.

슬러리폭약의 발명은 종래에 금기시 되었던 물을 5~20% 함유하고 있기 때문에 화약의 혁명이라 할 수 있다.

캐나다 철광산의 기술자 H.E Farnam과 미국의 과학자 M. A. Cook이 공동으로 연구하여 1956년 12월 캐나다 라브라도(Labrador)에 있는 Nob Lake Mine에서 세계 최초로 슬러리 폭약을 사용하여 발파시험에 성공하였다. 이때 제조한 슬러리폭약은 질산암모늄과 물을 사용하고 예감제로 TNT를 사용한 폭약으로 2인이 공동으로 특허를 냈다. 두 사람은 다시 1958년 화약(TNT)을 조성 중에서 빼고, 질산암모늄, 물, 알루미늄분말로 만든 슬러리폭약을 발표하고 제2특허를 내었다.

이 후 슬러리폭약은 더욱 발전되어 유기질 산업이 첨가되고 1971년경에는 6호 뇌관으로 기폭 가능한 형태를 이루게되었다.

2.5 에멀전폭약³⁾ : Emulsion explosive

합수폭약의 또 다른 형태의 에멀전폭약은 슬러리폭약보다 조금 늦게 나타났다. 이것은 기름이 함유되어 있어서 유화제의 발달과 더불어 개발된 화약이다.

이 화약은 1961년에 Richard S. Egly 등이 최초로 발명하였다. 그 후 Dynamit Nobel, Dupont, ICI 등 여러 회사에서 연구를 하였으나, 실용화에는 훨씬 먼 것이었다. 그러다가 1977년에 Atlas Powder Co.의 Charles G. Wade등이 화약이나, 알루미늄 또는 유기 예감제를 사용하지 않고도, 6호 뇌관으로 기폭 가능한 에멀전폭약을 특허로서 세상에 소개하고 상품화하는데 성공하였다.

에멀전폭약의 조성은 슬러리폭약과 같이 질산암모늄과 5~20%의 물이며, 그 외에 기름과 유화제 그리고 GMB(Glass Micro Balloon)라

고 하는 무기질중공구체이다. 이 에멀전폭약은 소구경 종이 포장이 가능하고, 슬러리폭약이 -5°C 이하에서는 사용할 수 없는데 비하여 에멀전폭약은 -20°C 에서도 사용할 수 있고, 폭력도 슬러리폭약보다 크며, 여러 가지 면에서 슬러리폭약보다 우수하고 발전된 폭약으로서, 향후 계속 발전될 수 있는 여지가 많은 화약이다.

2.6 뇌관 : Detonator

뇌관의 기폭시스템은 1831년 Bickford가 흑색화약을 심약으로 해서 도화선을 발명하였고, Nobel이 1867년에 뇌홍뇌관을 발명하였다. 뇌관은 그 후 개량되어 뇌홍 외에 전폭 작용을 하는 첨장약을 사용하고, 뇌홍도 DDNP로 바뀌었다. 공업용뇌관에 이어 미국의 Smith가 1870년과 1895년에 각각 전기뇌관과 지발 전기뇌관을 발명하였다.

비전기식 뇌관은 1960년대 말에서 1970년대 초에 전기적으로 점화되는 전기뇌관에 대한 안전대책으로 연구가 시작되어 1973년 Persson 박사에 의해 개발되고 1979년에 Nitro Nobel사에서 최초로 생산 시판되었다. 비전기식뇌관의 장점은 누설전류와 낙뢰에 의한 유도전류 등에 안전하다는데 있고, 무한단수를 얻을 수 있다. 캐나다의 CIL, 미국의 ETI, 호주의 ICI, (주)한화, (주)고려노벨화약 등에서 제조 판매하고 있다.

그 외 비전기식 뇌관으로 HERCUDET가 Hercules사에서 생산되었으나 그리 널리 알려져 있지 않으며 원격기폭이 가능한 전자뇌관의 출현을 눈앞에 두고 있다.

2.7 연화 : Fire work

연화는 “불의 예술”이라고도 하며 화약류가 나타낼 수 있는 빛, 소리 및 연기 등의 각종 효과를 예술적으로 형상화하여 불거리를 제공

하는 화공품의 일종이다.

연화의 종류와 품종은 다양하나 관상용과 완구용으로 대별되며 관상용은 타상연화와 장치연화로 분류된다.

연화가 언제 발명되었는지 확실하지는 않지만 660년경 흑색화약과 같이 중국에서 시작되어 유럽으로 전파되는 과정을 거쳤으며, 중국에서는 폭죽이라고 표현되고, 일본에서는 하나비(花火)라고 하며, 총포도검 화약류등 단속법에는 “꽃불”이라고 한다. 중국에서는 동한(25-220)이후의 여러 가지 문헌에서 폭죽의 사용에 관한 기록을 자주 볼 수 있다. 당시의 폭죽은 화약이 아니었으며, 대나무 통을 태울 때에 마디에서 발생하는 폭음으로 악귀를 쫓기 위한 주술적 의미를 갖고 있었다.

당대에 이르러서 연단술에서 파생된 초기적인 흑색화약이 폭죽이나 연화의 제조에 전용되었다.

또한 연단술에서 사용하던 여러 가지 금속류를 첨가함으로써 소리와 연기만이 아닌 여러 가지 빛을 발생시키는 방법도 고안되었다. 그리고 흑색화약의 연소시에 각종 색채를 나타내는 발색제나 발광제를 배합시켜 관상의 효과를 높이게 되었다.

초기에는 화약병기의 개발과정에서 파생되었지만 차츰 독자적인 발전을 하게되었다.

12세기 경에 폭넓게 사용되었는데 주로 폭죽과 장치연화가 중심이 되었으며, 왕후귀족뿐만 아니라 일반 대중들도 명절에 가두에서 즐길 정도로 성행하였다

유럽에는 13세기에 남송으로부터 아랍으로 연화제조법이 전파되었고, 14세기 후반에 이태리에 소개되었으며, 영국에는 16세기에 전해졌는데,¹⁰⁾ 유럽에서의 연화는 중국과는 달리 성주나 귀족과 같은 특권계급만이 신분의 상징으로 사용하였다.

특히 세력이 큰 국왕들은 전속 연화사를 두

면서까지 각종 축제일에 대규모 연화대회를 여는 등 적극적이었다. 따라서 17세기 경에는 연화의 기술도 크게 향상되었는데 주로 영국이나 제정 러시아의 황실이 중심이 되었다.

한편 중국이나 유럽과는 별개로 연화의 개발과 발전에 크게 기여한 나라는 일본이었다. 13세기 후반 몽고(원)군의 침략시에 화약류의 위력을 경험했던 일본이지만 연화가 도입된 것은 상당히 늦은 16세기 중반 이후이다. 그 후 연화에 대한 관심이 컸기 때문에 17세기 초부터 대중화가 되었고 많은 개발이 이루어졌다. 최근에는 기공식 행사와 건물폭파 이벤트 등에도 많이 응용되고 있는 실정이다.⁶⁸⁾

3. 우리나라 화약의 역사

우리나라에서는 고려 말 우왕 3년(1377년)에 최무선의 건의에 의하여 설치된 화통도감(火筒都監)에서 흑색 화약과 각종 화기를 생산하므로 시작되었다. 최무선은 당시 원나라에서 비밀에 감춰져 있던 화약제조법을 중국인에게 일부 듣고 대부분은 스스로 연구하여 터득한 발명가였다. 그 후 조선시대에 들어와서도 화약감조창(火藥監造廠)의 설립, 총통등록(銃筒騰錄)의 발행 등, 국책에 의한 화약기술의 발전은 계속되었다. 이로서 화약기술이 본 궤도에 진입하였으나, 그 후 조정의 무관심과 질산칼륨의 조달 곤란 등으로 산업으로서의 토착화는 실패한 채 근대 개화기를 맞게 되었다.

우리나라에서 화약이 최초로 산업용으로 쓰여진 것은 1890년 경 경상남도 마산에서 일본인이 채광에 흑색화약을 사용한 것이 처음이다.

일제 식민지하에서 한국에서는 군용화약이나 화약병기의 제조는 금지되어 왔지만 한반도와 만주 등의 지하자원을 개발할 목적으로

광산용 또는 공업용 화약의 생산이 1930년대에 일본인들에 의하여 흥남에 대규모 종합화약공장을 건설하고 각종 화약 및 이에 필요한 원료를 생산하였다. 이어서 1937년에는 해주 화약공장, 1939년에는 봉산 화약공장, 그리고 1940년에는 인천에 조선유지 주식회사 인천화약공장을 건설하여 다이너마이트, 뇌관 및 도화선을 생산하였다.

해방 후 정부 산하에 있던 조선유지 주식회사 인천화약공장은 1952년 (주)한화(구 한국 화약 주식회사)에 불하됨으로서 민간 화약공장으로 운영하게 되었다.

인수될 당시 폐허와 같았던 인천공장에서는 1955년부터 여러 차례의 복구공사를 거쳐 1957년부터는 다이너마이트, 도화선 등 각종 화약이 점진적으로 생산되어 공급하게 되었다.

현재 우리나라에는 다이너마이트를 비롯하여 ANFO, 정밀폭약, 슬러리폭약, 에멀전폭약, 미진동파쇄기, 각종 뇌관 및 연화를 포함한 화공품 등이 생산 공급되고 있다.

우리나라에서는 1968년에 ANFO가 처음으로 생산 공급되었으며, 1977년에 진동을 억제해주는 도심지 발파용 미진동파쇄기(CCR)가 개발되어 생산 공급되었다. 1981년 제어발파에 사용되는 정밀폭약 1, 2호와 함수폭약인 슬러리폭약이 순수 국내 기술로 개발되어 생산 공급되었다. 그 후 1983년 슬러리폭약 증설시 Du Pont사에서 특허기술을 도입하여 생산 공급되었다.

또 다른 형태의 함수폭약인 에멀전폭약은 1993년 (주)한화가 일본유지에서, (주)고려노벨화약이 스웨덴 Nobel사에서, 각각 기술 도입하여 생산 공급되고 있다.

한편, 현대적 의미의 연화는 일제시 일본인들에 의해 전해졌고 해방 후 그 기술이 (주)한화로 1960년대까지 이어졌으며, 1962년부터

연화에 대한 국내 개발이 이루어지기 시작하였고, 70년대 말에는 활발한 기술개발과 함께 완구연화의 수출이 이루어졌으며, 80년대에는 중요한 기술개발이 완성단계에 이르렀으며, 세계화의 초석을 구축하였다. 이후 86년 아시안게임, 88년 올림픽을 준비하는 과정에서 (주)한화가 별도의 조직을 구성하여 양 대회 의 개. 폐회식을 성공적으로 연출하여 세계 각국으로부터 찬사와 함께 세계적 수준으로 다가갈 수 있었다.

현재 국내 연화 생산업체로는 (주)한화,(주)고려화공, 동일화공 등이 있고, 완구연화 생산업체로는 대해실업, 동일화공, 흥능물산 등이 있다.

외국의 연화와 비교할 때 기술적으로는 매우 섬세하고 화려하며 세계적인 기술 수준에 와 있다고 할 수 있다.

4. 전망

제2의 불이라고 하는 화약의 발명으로 인류사는 크게 변혁되어 왔다. 석탄산업의 사양으로 화약도 사양일 것이라고 하였으나 계속적인 수요의 창조와 신제품의 개발로 꾸준히 발전하여 왔고 장래에도 무한한 발전이 예상된다.

왜냐하면 화약은 없어서는 안될 산업근간을 이루는 핵심물질일 뿐 아니라 현재까지 인류가 사용할 수 있는 에너지 중 화약류만큼 최단 시간에 고온 고압의 에너지를 간단히 얻을 수 있는 방법이 없기 때문이다.

화약의 용도도 광물자원의 채굴, 채석, 도로 및 터널발과 등 화약의 파괴력을 이용하는 분야 외에 화약의 제어된 폭발력과 에너지 또는 고온 고압을 활용하는 응용분야가 발전될 것이다.

예를 들면 종류가 다른 금속의 폭발압접 원

자로 열 교환기의 냉각관의 확관, 폭발로 인하여 발생된 고온고압을 이용한 인공 다이아몬드의 합성, 금속재료나 폐선박 또는 구조물의 폭발절단, 내마모성이나 특수강도가 요구되는 재료에 고경도를 부여하는 폭발경화, 금속분말이나 세라믹 분말의 소결, 폭약을 이용한 초고자장의 발생과 발전, 초전도체의 제조, 지질탐사, 임업에의 이용, 초고온 초고압에 의한 신규물질의 합성 등이 있고, 의료용으로는 캡슐화약과 화약에 의한 요로 방광결석 파쇄술 등이 있다. 이외에도 많으나 이러한 것은 계속 연구되어야 할 분야이다.

화약의 발전과정을 보면 위력이 큰 것을 목표로 하여 발전되어 왔다. 그러나 2차대전 이후 제조, 취급, 사용 및 저장에 용이하고 안전한 화약을 목표로 하여 개발되었다.

이러한 경향은 최근에 더욱 두드러졌고, 소음, 진동, 환경 등 발파공해에 관한 문제가 대두되어 위력이 조금 떨어지더라도 안전한 화약을 선택하려는 경향이 나타나고 있고, 향후 이러한 경향은 더욱 증가될 것이다.⁴⁾

에멀전폭약의 위력이 다이어마이트에 비해 약 90% 정도 약한 것은 사실이지만 발파패턴을 잘 선택하면 해결할 수 있어 큰 문제는 아니다. 이러한 것을 고려할 때 지금까지 등장한 화약 중에서 에멀전폭약이 가장 우수함으로 이것이 향후 다이어마이트를 대체하여 많이 사용될 것으로 전망된다.

그러므로 에멀전폭약은 이제 시작단계로 보아도 좋다. 계면활성제의 발달과 기포형성과 내압성을 부여하는 중공구체의 발전으로, 또한 여기에 특수 고분자 물질을 첨가하거나 접합시킴으로서 보다 나은 에멀전폭약으로 발전될 것으로 본다.

뇌관을 살펴보면 천둥번개 시에 발생하는 낙뢰에 기존의 전기뇌관은 기폭될 수 있으므로 낙뢰에 안전하고 진동저감효과가 매우 뛰

어난 비전기식뇌관이 향후 안전한 측면에서 수요가 증가할 것이다. 그 외에 제조분야에서는 내열폭약 등 특수용도에 필요한 새로운 화약이나, 특별한 기폭 장치 외에는 폭발이 안 되는 화약, 고분자물질을 활용한 안전 화약, 반도체와 전자기술을 활용한 초정밀 뇌관 및 광화학을 이용한 Laser 뇌관 등이 개발될 것이다.

연화에 대해서 살펴보면, 외국은 연화대회 등이 활성화되어 있으나 우리나라는 국내 대회가 없고 시장이 협소하여 전망이 밝지만은 않다. 그러나, 88서울올림픽에서 경험했듯이 불거리 및 분위기 상승 효과는 엄청나므로 외국과 같은 연화대회의 실시와 국가적인 행사나 기념 시에 홍보차원에서 연화사용이 적극 권장된다면, 앞으로도 계속해서 수요향상 및 발전이 예상된다.

5. 결 론

1) 화약의 기원인 흑색화약을 제1세대 화약이라고 한다면 다이너마이트는 제2세대 화약이고, 제3세대 화약은 ANFO이며, 제4세대 화약은 슬러리 폭약이다. 최근에 나온 에멀전폭약은 제5세대의 안전화약이라 할 수 있다.

한편 뇌관은 공업용뇌관이 제1세대 뇌관이라고 한다면, 전기뇌관은 제2세대 뇌관이고, 비전기식 뇌관은 제3세대 뇌관이라고 할 수 있다.

2) 불꽃놀이(연화)는 중국에서 폭죽이라는 이름으로 처음 시작되었으며, 화약역사의 기원이다. 고대 중국의 연단술로 인해 흑색화약과 연화의 발명에 크게 기여하였고, 흑색화약에 이어 발색제와 발광제의 응용으로 불꽃놀이 기술이 더욱 화려하고 다양하게 개발 응용될 수 있었다.

3) 화약의 응용분야와 이에 필요한 다이너마이트계열 및 에멀전 계열의 폭약을 중심으로 보다 발전된 화약이 개발될 것이다. 한편 연화는 소리, 빛, 연기 및 형상 등의 다양화와 함께 대량 사용기술 및 자동발사장치개발, computer 응용기술과 안전화약개발 및 품질관리와 안전조치 강화로 더욱 빠르게 개발 발전될 것이다.

참 고 문 헌

1. 김희창, 1991, 화약공업의 현황과 전망, 총포안전기술협회 계간 총포화약, 제 5호, p.12-13.
2. 김영식, 박성래, 송상용, 1997, 과학사, 전파과학사, p.51-52.
3. 김희창, 1995, 함수폭약에 대한 소고, 대한화약기술학회지 13(2) p.5-6.
4. 김종현, 김민식, 황일주, 1982, 화학실험안전관리, 공업교육연구소, 경신사, p.73-85.
5. 안명석, 1988, Pyrotechnics 산업의 발전방향, 대한화약기술학회지, vol.6, No.2 June p.19-32.
6. 안명석, 1993, 구조물폭과공법시공시 발파공해안전대책, 한국산업안전학회지, vol. 8, No.3, Sep. P.91-107.
7. 허진, 안명석, 1987, 안전한 불꽃놀이를 위한 고찰, 기술사, 한국기술사회, vol 20, MAR, p.21-26.
8. 황현주, 1991, 폭과해체공법, 대한토목학회지, 제 39권 제 4호 p.10.
9. 工業火藥協會, 1987, 火藥 Handbook, 日本共立出版社, p.7.
10. 小勝郷右, 1983, 花火-火의 藝術, 日本岩波書店, p.2-10.