

# 불꽃놀이의 수행방법과 안전성에 대한 고찰

유원상<sup>1)</sup> · 강추원<sup>2)</sup>

## 1. 서론

이미 수세기를 두고 밤하늘을 수놓아온 불꽃놀이는 얼른 보기에는 무척 간단해 보이지만, 이 불꽃놀이에는 여러 분야의 도움이 있어야 한다. 우선, 현대식 로켓 원리가 필요로 하고, 장엄하고도 휘황한 불꽃을 만들어 내기 위하여 현대화학과 물리학, 전자공학, 컴퓨터 등의 기술이 필요하다. 그러나 이러한 불꽃놀이의 설계나 제작, 발사과정은 오랫동안 과학으로 대접받지 못했다. 실제로 불꽃놀이가 담고 있는 물리적 원리가 소상히 연구되고 그 신비한 색깔과 소리의 비밀이 밝혀지기 시작한 것은 얼마 되지 않았다.

우리나라의 경우 불꽃놀이에 대한 자료나 문헌은 거의 없는 실정이며, 현재 국내에서 행해지고 있는 작업방법 등은 일반 산업용 화약의 취급방법을 기초로 하여 기술자들에 의해 수십 년 동안 발전을 거듭해 오고 있다.

또한, 안전성을 위한 법적기준의 경우 불꽃놀이와 일반 화약류를 사용하는 발파는 그 특성상 완전한 차이를 보이고 있음에도 불구하고 “총포·도검·화약류 등 단속법”에서는 법적 규제수단으로 일반화약류와 같은 기준을 적용하고 있는 실정이다. 이에 반해 외국의 경우는 일반 산업용 화약류와는 별개로 불꽃놀이를 수행하기 위한 기준을 법으로 규정하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 그동안의 현장 실무경험과 국내외 자료들을 바탕으로 불꽃놀이를 수행하는 방법과 수행과정에서 고려하여야 할 문제점 및 안전성에 대하여 고찰하였다.

## 2. 연화의 이론적 배경

### 2.1 연화의 정의 및 개요

불꽃놀이(Fireworks display)란 화약류를 연소·폭발시켜 빛, 소리, 형태 및 그 밖의 연기를 정교하게 조합하여 발생시키는 화공품을 발사·폭발시켜 관상하는 것을 말하며, 불꽃놀이를 하기 위해 사용되는 재료(화공품)를 연화(Fireworks, 煙火, 煙花, 불꽃, 일본에서는 화화(花火, 하나비, 꽃불), 중국에서는 폭죽(爆竹))라고 한다.

연화의 기초는 ①산화제와 ②산소와 맹렬히 반응하는 연료제, ③색상이나 불티 생성제, ④이 배합물들을 단단히 결합시키는 강한 접합제, ⑤점화를 빠르게 시켜주는 점화 촉진제 및

---

1) 세기토건(주)

2) 조선대학교

⑥기타 첨가물 등을 물리 화학적인 이론에 의해 적절히 배합하여 불꽃을 만들게 된다. 배합의 기초는 산소를 가진 연료체의 열 생성반응(연소)이고, 이러한 연소에 의해 가열되어 많은 양의 가스를 생성하며, 이 가스는 빛을 내거나 혹은 빛을 내는 배합체를 가열한다.

## 2.2 연화의 분류

연화 자체를 분류하는 방법에 대해서는 보는 이의 관점에 따라 달라지며, 연화의 종류도 매우 많아서 그것을 간단히 분류하기가 상당히 어려운 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 일반적으로 연화를 분류하는 여러 가지 방법들을 검토하여 Fig.1 과 같은 결론을 얻었다.

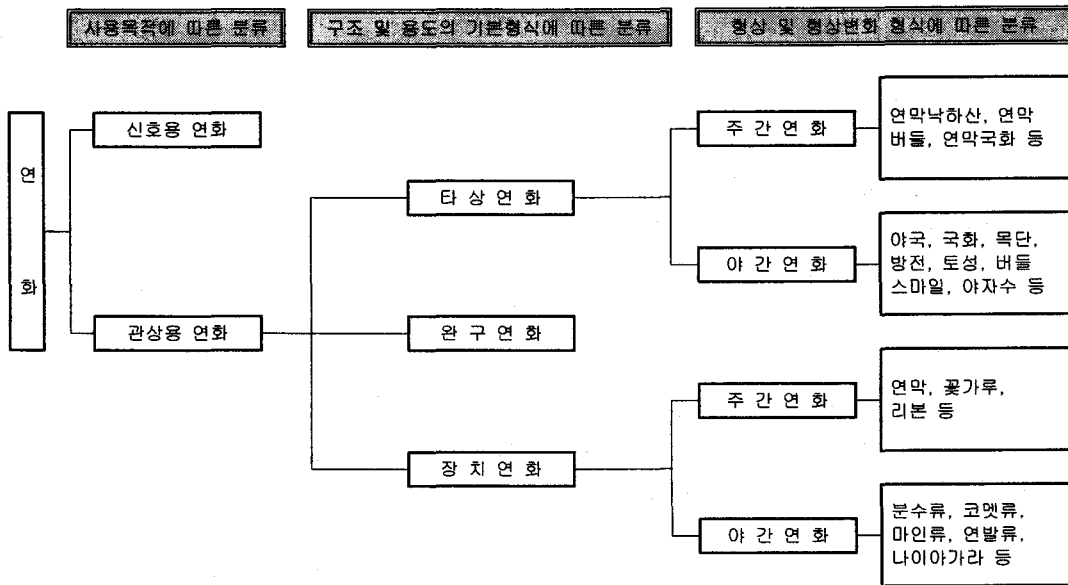


Fig. 1. Classification of fireworks by its purpose, structure, function, and pattern

## 2.3 타상연화

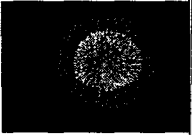
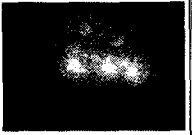






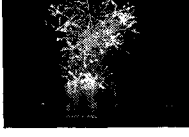
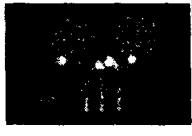











타상연화(打像煙火)의 어원은 일본에서 온 것으로 알려져 있으며, 국제적인 용어는 Aerial shell이라 하고, 옥이 깨어지면서 형상을 만들어내는 연화류를 말한다. 즉, 타상연화란 발사포를 이용해 공중으로 쏘아 올려 일정 고도에서 개화되며, 이 때 내장된 별들이 어둠 속을 퍼져 나가면서 여러 가지 빛이나 소리 등의 효과를 내는 불꽃을 말하는데, Table 1과 같이 지름이 클수록 발사고도가 높고 개화범위가 넓으며 가격도 비싸진다.

타상연화의 경우 그 효과, 즉 Pattern에 따라 수백 가지의 종류가 있으며, 현재에도 새로운 Pattern의 제품이 개발되고 있고, 이 중 가장 대표적인 것들은 Table 2와 같다.

Table 1. Specification of cylinder shells

| 계원                          | 크기(inch) | 2    | 2.5  | 3      | 4       | 5       | 6       | 8       | 10      | 12      |
|-----------------------------|----------|------|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 옥의 직경<br>(Shell Size, cm)   |          | 5.0  | 6.3  | 7.6    | 10.2    | 12.7    | 15.5    | 20.5    | 25.5    | 30.5    |
| 옥의 중량<br>(Shell Weight, kg) |          | 0.05 | 0.08 | 0.15   | 0.26    | 0.50    | 0.90    | 2.20    | 4.50    | 8.00    |
| 도발 고도<br>(Burst Height, m)  |          | 40   | 60   | 80~120 | 100~150 | 120~180 | 180~210 | 200~270 | 250~320 | 300~350 |
| 개화 직경<br>(Burst Size, m)    |          | 15   | 25   | 50~80  | 90~100  | 100~130 | 120~150 | 160~250 | 180~280 | 200~300 |

Table 2. Types and effects of aerial shell for nighttime use

| 구분  | 품명                                | 효과 사진   | 품명                       | 효과 사진   | 품명  | 효과 사진   |
|-----|-----------------------------------|---|--------------------------|---|---|---|
| 야간용 | 국화<br>(Chrysanthemum)             |    | 목단(모란)<br>(Peony)        |    | 아국<br>(Thousand blooming)                 |    |
|     | 야자수<br>(Palm tree)                |   | 버들<br>(Willow)           |   | 국화와 야자수<br>(Chrysanthemum with palm tree) |   |
|     | 목단과 야자수<br>(Peony with palm tree) |  | 골든까뮤로<br>(Golden kamuro) |  | 십자성<br>(Crossette)                        |  |
|     | 방전<br>(Drizzle)                   |  | 하트<br>(Heart)            |  | 왕관<br>(Crown)                             |  |
|     | 고양이<br>(Cat)                      |  | 나비<br>(Butterfly)        |  | 링<br>(Ring)                               |  |
|     | 벌<br>(Bee)                        |  | 스마일<br>(Smiling face)    |  | 토성<br>(Saturn)                            |  |
| 주간용 | 연막버들                              |  | 연막낙하산                    |  | 연막국화                                      |  |

한편, 타상연화는 ①옥피(Shell casing), ②별(Star), ③활약(Burst charge), ④후미도화선(Time fuse), ⑤추진제(Lifting charge)의 다섯 가지 중요한 구성요소로 이루어져 있다.(Fig. 2 참조)

또한, 타상연화에는 기본적으로 두 가지 형태가 있는데, Fig.3과 같이 Italian-American 형이라 부르는 원주형 타입과 동양 형이라 부르는 공 모양의 구형 타입으로 대별된다.

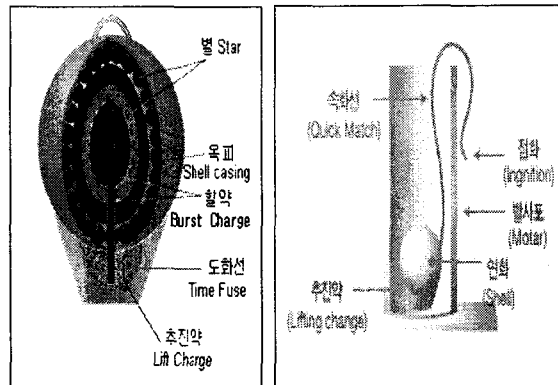


Fig. 2. Basic structure of aerial shell

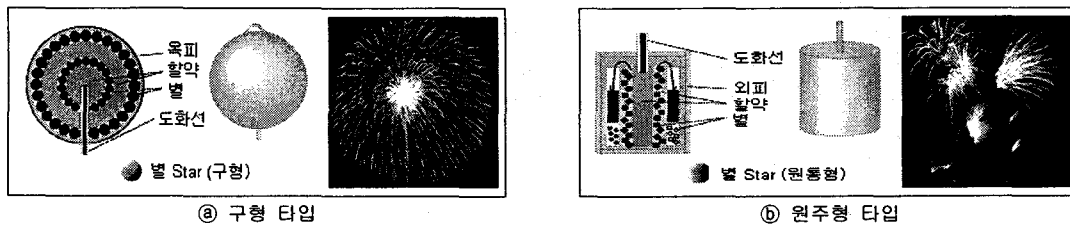


Fig. 3. Shapes of aerial shell

## 2.4 장치연화

장치연화(裝置煙火)의 어원은 명확하지 않으나, 일반적으로 Ground fireworks이라 표현하고 있으며, 타상연화를 제외한 모든 연화류를 장치연화라 할 수 있다. 즉, 장치연화란 설치 방법 및 효과 등을 쉽게 변경할 수 있고, 사용자의 목적 및 의도에 따라 연출효과를 다양하게 할 수 있는 단발 및 연발류 제품을 말하며, 타상연화보다 불꽃의 크기 및 높이 면에서는 적으나 다양한 모양이 있으며, 설치 방법에 따라 색다른 연출이 가능하고, 타상연화에 비해 지속성을 가진다.

장치연화의 구조는 타상연화에서처럼 일정한 형태가 있는 것이 아니라 연화의 종류에 따라 각각의 구조 및 형식이 다르며, 그 중 대표적인 것들은 Fig. 4 및 Table 3과 같다.

## 2.5 완구연화

완구연화(玩具煙火)란 총포·도검·화약류 등 단속법에서 규정하고 있는 소규모의 연화를 말하는 것으로 일반 연화와 같이 특정한 기관의 허가를 득하지 아니하여도 되며, 일반인도 누구나 쉽게 구입·사용이 가능한 제품들을 말한다. 엄밀히 따지면 완구연화도 장치연화의 일종으로 장치연화와 기본구조 및 형태가 비슷하고, 사용 시에 나타나는 효과도 비슷하다. 그러나 장치연화에 비해 훨씬 소량의 불꽃화약을 사용하므로 효과도 매우 작다.

완구연화의 구조는 장치연화와 동일한 경우가 많으므로 Fig. 5에서는 앞에서 설명한 것 외에 또 다른 완구연화 몇 가지의 구조에 대해 소개하고자 한다. 또한, Table 4는 완구연화의 대표적인 완구연화의 종류 및 효과를 설명하고 있다.

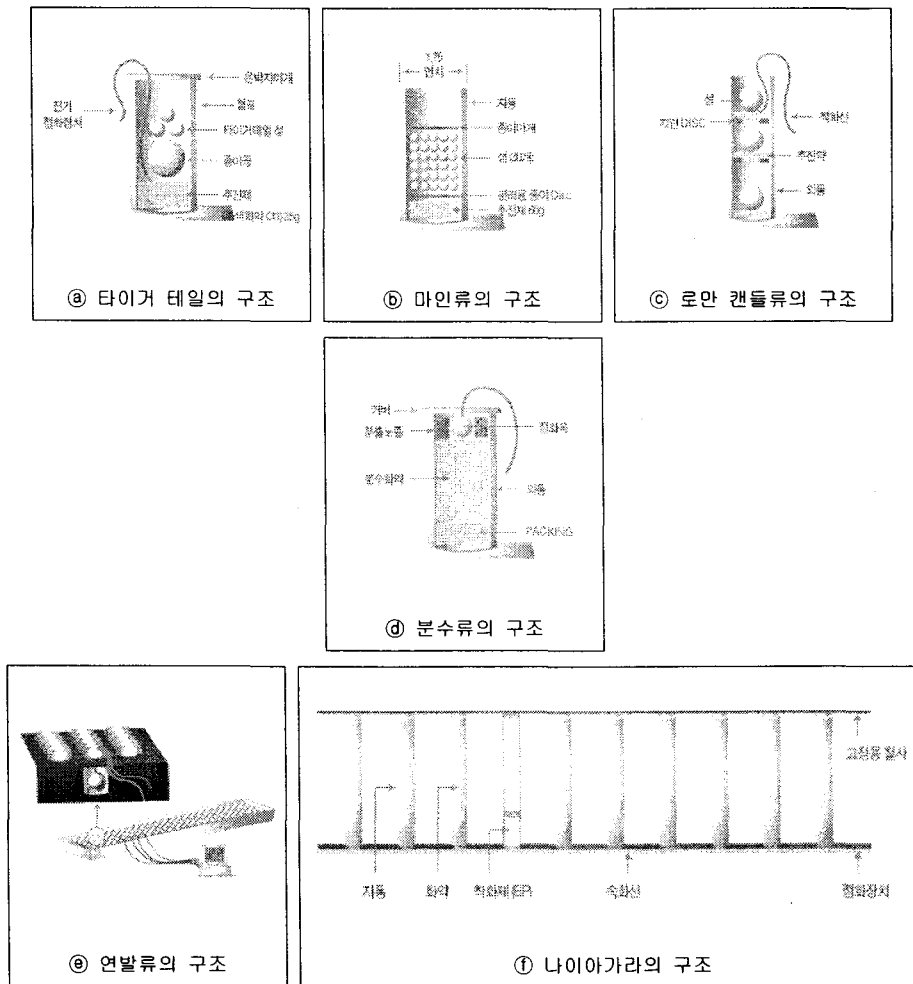

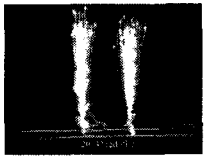
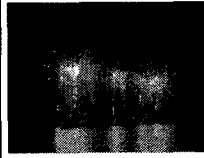

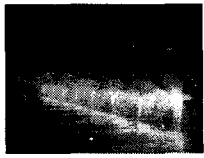
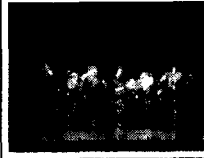
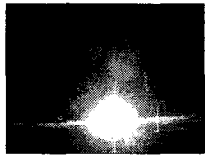

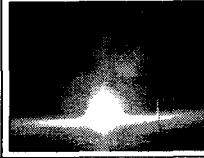


Fig. 4. structure of ground fireworks

Table 3. Types and effects of ground fireworks

| 품명                                | 효과 사진   | 품명                                | 효과 사진   | 품명                        | 효과 사진   |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|---------------------------|---|
| 타이거 테일<br>(Tiger tail)            |  | 마인류<br>(Mines)                    |  | 로만 캔들류<br>(Roman candles) |  |
| 분수류<br>(Fountains)                |  | 나이아가라<br>(Niagara 또는 Water falls) |  | 연발류<br>(Cakes)            |  |
| 싸이키 또는 스트로브<br>(Psyche or Strobe) |  | 코멧류<br>(Comets)                   |  | 불공<br>(Fire ball)         |  |

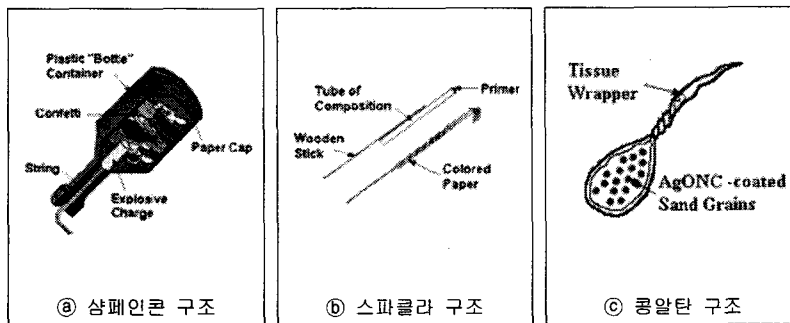
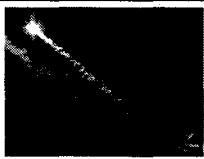




Fig. 5. Structure of toy fireworks

Table 4. Types and effects of toy fireworks

| 품명                        | 효과 사진   | 품명                 | 효과 사진   | 품명                    | 효과 사진   |
|---------------------------|---|--------------------|---|-----------------------|---|
| 로만 캔들류<br>(Roman candles) |  | 분수류<br>(Fountains) |  | 단발류<br>(Single shots) |  |

## 2.6 연화의 색(色)

연화의 구성요소 중 가장 중요한 것은 별(Star)이다. 이는 별을 만드는 재료 및 별의 배열에 따라 연화의 색과 효과 등이 결정되기 때문이다.

별은 Fig. 6과 같이 주로 3가지 주성분의 혼합에 의해 만들어진다. 색을 내는 염색제, 산

소를 공급하는 산화제, 연소를 촉진하는 가연제가 바로 그것이다. 물론, 이 밖에도 기타 여러 가지 재료들을 사용하지만 가장 기본이 되는 재료들은 위의 3가지 재료라 할 수 있다.

산화제와 가연제는 연소반응을 일으켜 높은 온도를 발생시키고, 염색제는 그 고온에 의해 다양한 색의 불길을 내며, 이것이 바로 불꽃의 색이 된다. 즉, 불꽃의 색은 어떤 염색제를 쓰는가에 따라 달라지며, 이 염색제에는 주로 Table 5에서와 같은 금속원소가 사용된다.

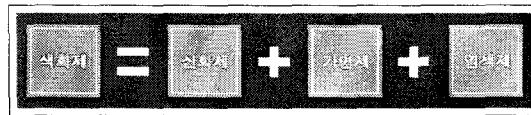


Fig. 6. A chemical composition for making colors

Table 5. Flame color by elements

| 원 소      | 불꽃색    | 원 소      | 불꽃색 |
|----------|--------|----------|-----|
| 알루미늄(Al) | 은색(백색) | 구리(Cu)   | 청록색 |
| 나트륨(Na)  | 노란색    | 스트론튬(Sr) | 빨강색 |
| 칼륨(K)    | 보라색    | 세슘(Cs)   | 청색  |
| 칼슘(Ca)   | 주황색    | 바륨(Ba)   | 황록색 |

한편, 불꽃놀이에서 여러 색깔의 화려한 불꽃을 낼 수 있는 데에는 화약과 금속원소 등의 여러 가지 배합제가 불꽃반응과 연소반응을 일으키기 때문이다. 특히, 불꽃반응은 주로 물질에 포함된 금속성원소에 의해 나타나며, 순수한 물질로 존재할 때는 물론, 다른 물질과 화학적으로 결합한 상태에서도 똑같은 반응이 나타난다.

또한, 불꽃놀이에서 연화가 개화되는 도중에 불꽃의 색이 변하는 것은 Fig.7과 같이 변색별의 구조에 의한 것이다.

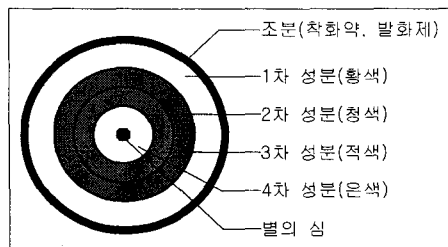


Fig. 7. Principle and structure of changing color star

변색별은 별을 제조하는 과정에서 핵을 중심으로 각기 다른 색을 내는 성분의 혼합제를 여러 층의 동심구(同心球)로 둥글게 만들게 되는데, 이렇게 된 별을 패성(掛星)이라고 한다. 별의 중심에는 일반별과 마찬가지로 유채씨나 초등에 화약을 차례로 입혀 만들어 가게 되며, 변색별(패성)이 연소 시에는 외측에서 중심부로 차례차례로 연소되어 색이 바뀌어 간다.

## 2.7 연화의 제조

불꽃놀이에 사용되는 모든 연화의 기본이 되는 것이 타상연화이다. 또한, 타상연화를 제작하는데 있어서는 상당한 과학적 지식을 필요로 하며, 다른 종류의 연화도 타상연화의 원리를 응용한 것이므로 타상연화를 만드는 기술은 모든 연화를 만드는 원천기술이라 할 수 있다. Fig. 8은 타상연화의 제조과정 모식도이다.

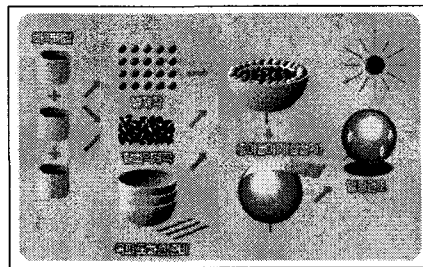


Fig. 8. A diagram for manufacturing process of aerial shell

연화가 만들어지기까지는 상당한 시간을 필요로 하며, 대부분 수작업에 의존한다. 물론, 현재는 제작과정 중 일부가 기계화된 부분이 있지만, 예전부터 화약의 특성상 기계화 될 수 없는 부분이 많기 때문에 수작업에 대한 의존도가 높다. 일반적으로 연화의 제조과정은 원료 조제(배합 공정), 별 및 활약 제조, 조립, 건조의 4가지로 나눌 수 있으며, 타상연화 제조공정의 세부적인 흐름도는 Fig.9와 같다.

## 2.8 연화의 발사

일반적으로 모든 연화의 발사원리는 타상연화의 발사원리를 기초로 한다. 타상연화는 발사포 안에 연화옥을 장전하고, 연화옥에 연결된 속연도화선을 사람이 직접 점화하거나 점화옥을 연결하여 전기로 점화하면, 속연도화선에 연결된 추진제가 점화되어 폭발하면서 연화옥이 하늘로 쏘아 올려지게 되고, 쏘아 올려진 연화옥이 일정한 고도에 도달하면 옥 내부에 활약이 폭발하면서 연화옥이 파열되어 불꽃의 형태를 만들어내게 된다. Fig. 10은 연화의 발사원리에 대한 모식도이다.

이처럼 불꽃놀이에서 연화를 발사하기 위해서는 ①발사포, ②점화옥, ③발사 장비 등의 기본적인 장비 및 재료들을 필요로 하는데, 먼저 ①발사포(Mortar)는 타상연화를 장전·발사하기 위한 장비를 말하며, 발사관 또는 연화포라고도 한다. 재질은 종이, 강철, 섬유강화 플라스틱, 고밀도폴리에틸렌수지 등이 이용되며, 발사포의 규격은 연화의 크기에 따라 달라지고, 제조사나 사용자에 따라 달라지기도 한다. Fig. 11은 FRP 재질의 발사포를 보여주고 있다. 발사포의 종류와 특징을 알아보면 Table 6과 같다.

다음으로 ②점화옥(Electric match)은 Squib이라고도 하며, 백금선(니크롬선)의 저항열을 이용하여 점화약을 발화시키는 전기 점화장치를 말한다. Fig.12은 점화옥의 형상, 구조 및



점화되는 모습을 보여주고 있다.

마지막으로 설치 완료된 연화를 발사하는 ③발사 장비(Firing equipment)는 Table 7에서 나타내고 있는 바와 같이 발사기와 스프리터 및 모듈로 구성되어 있으며, 기본적으로 이 세 가지의 장비로 발사 시스템을 형성하게 된다. 또한, 장비의 종류에 따라 발사기와 모듈이 일체화 된 것도 있다.

Table 6. Types and characteristics of mortars

| 종 류                               | 특 징                                     |
|-----------------------------------|---|
| Paper/Cardboard mortar<br>종이관(지관) | 가장 많이 사용되며 가격이 낮은 편이며, 내수성이 매우 약하다.     |
| Thick steel mortar<br>강철관         | 강도 면에서 우수하나, 작업성이 나쁘고, 대형타상연화에 많이 사용된다. |
| FRP mortar<br>섬유강화에폭시수지           | 가볍고, 강도와 내수성은 우수하지만 가격이 비싸다.            |
| HDPE mortar<br>고밀도폴리에틸렌수지         | 강도와 내수성은 우수하지만 가격이 비싸다.                 |

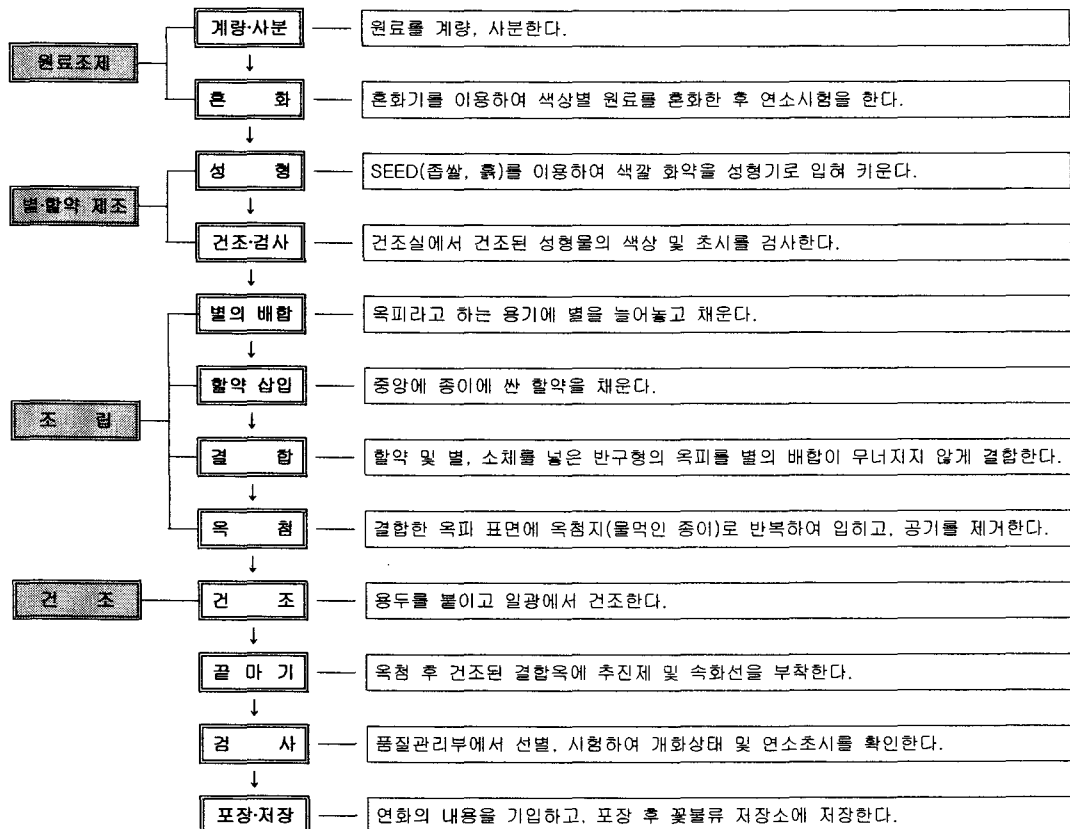


Fig. 9. A flow chart for manufacturing of aerial shell

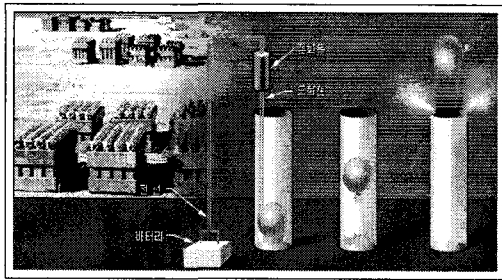


Fig. 10. A diagram for the principle of fireworks discharge

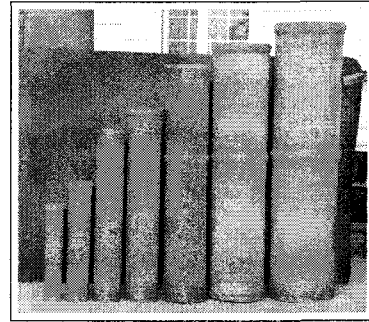


Fig. 11. Mortar(FRP)

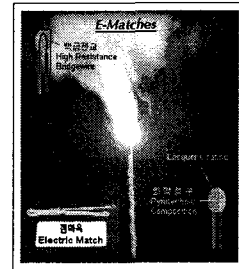
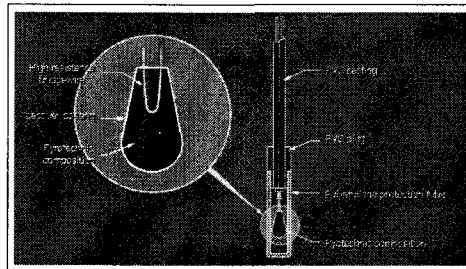
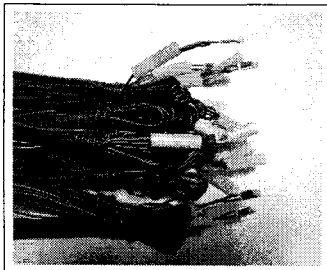


Fig. 12. An example of ignition of electric match and its structure

Table 7. Firing equipment

| 명 칭                  | 설 명  | 사 진 |
|----------------------|--|-----|
| 발사기<br>(Firing unit) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설치된 연화를 계획된 프로그램에 따라 발사하기 위해 각각의 모듈에 전기·전자신호를 보내거나 또는 모듈에 연결된 점화옥에 직접 전류를 공급하는 장치.</li> <li>- 기종에 따라 모듈과 일체화 된 것도 있다.</li> </ul>                      |     |
| 모듈<br>(Module)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발사기 본체에서 전기·전자신호를 받아 모듈에서 직접 전류를 공급하거나 또는 발사기 본체에서 공급한 전류를 점화옥에 바로 전달하는 장치.</li> </ul>  |     |
| 스프리터<br>(Splitter)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발사기에서 내보내는 전기·전자신호를 각각의 모듈로 배분하는 장비.</li> <li>- 발사기와 모듈의 연결 장치로서, 자동발사 시스템에서 사용되고, 연화의 설치장소가 넓거나 연화의 수량이 많을 경우 이를 일정한 구역으로 나누어 배선할 경우에 사용.</li> </ul> |     |

### 3. 불꽃놀이 수행절차 및 안전성을 고려한 작업방법 고찰

연화는 기본적으로 화약을 재료로 하여 만들어진 제품이니 만큼 불꽃놀이를 안전하게 즐기거나 장난감 꽃불류를 안전하게 사용하는 것은 개인의 안전은 물론, 공공의 안전을 위해서도 매우 중요한 일이다. 이에 본 논문에서는 불꽃놀이의 수행절차 및 방법과 안전을 위해 고려하여야 할 사항을 과정별로 검토하고자 한다.

Fig. 13은 불꽃놀이의 수행절차를 간략히 모식화한 것이며, 불꽃놀이의 수행과정을 좀 더 세밀하게 알아보면 다음과 같다.

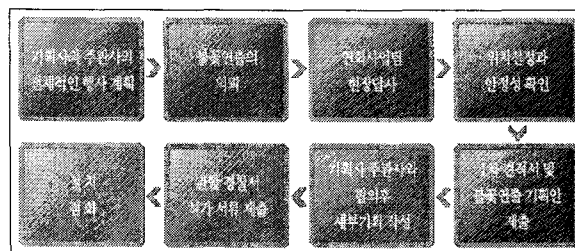


Fig. 13. A flow chart for whole procedure of fireworks display

#### 3.1 불꽃놀이의 기획

불꽃놀이의 기획은 불꽃놀이의 목적, 수행위치에 따라 다를 수 있으며, 성공적인 연출을 위해서는 치밀한 기획이 요구된다. 따라서 성공적인 불꽃놀이의 기획에서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

- 불꽃놀이의 목적 및 주최자
- 불꽃놀이를 진행할 위치 및 공간
- 불꽃놀이의 예산
- 사용할 연화의 종류와 수량
- 운집할 예상 관중의 수
- 가용한 발사 장치의 수와 설치 및 발사에 필요한 기술 인력의 수
- 음악이나 레이저 등 부가적인 요소
- 발사 방법 및 컨트롤 시스템의 종류
- 소방 및 인원 통제 등 안전 조치
- 발사장 수와 각 발사장 간의 통신 및 연결 케이블 등의 수단
- 중계방송이나 촬영을 위한 협조

기획과정에서는 불꽃놀이에서 발생할 수 있는 모든 문제점에 대한 검토가 이루어져야 한

다. 이러한 문제점들은 기획 단계부터 예방조치를 취할 뿐 아니라, 불가피하게 발생할 수 있는 문제들의 경우 현장에서 신속히 조치하거나 복구할 수 있는 검토와 대비책이 마련되어 있어야 한다. 또한, 당일의 기후에도 상당한 고려와 대비를 하여야 하며, 쇼에는 수많은 관중들이 운집할 것이므로 이에 대한 대비 또한 충분하여야 한다.

### 3.2 불꽃놀이의 디자인 설계

불꽃놀이의 디자인 설계, 즉 프로그램을 제작하는 것은 우선 스크립트를 입수하여 음악 또는 레이저의 사용 여부를 확인한 후, 현장 답사를 통해 현장 여건을 점검하고, 발사방법을 결정한다. 특히, 최근에는 불꽃놀이에 음악이 수반되는 경우가 많아지고 있으며, 이때의 음악은 불꽃놀이의 프로그래머가 불꽃놀이의 성격에 맞는 음악의 형식, 작곡자, 전개 등을 검토하여 선별하고, 이를 다시 발주자 및 음악 감독 등의 스태프들과 협의해 결정하게 된다.

불꽃놀이에 사용되는 음악은 여러 가지 테마로 구성되며, 각각의 테마에 따라 일차적으로 발사할 연화의 종류와 크기 등을 대별해 둔다. 다음으로 전체 발사할 연화의 종류와 수를 고려하여 도입부, 본 프로그램, 피날레 부분에 따라 발사 수량을 정한다.

상기의 내용들이 결정되면 선정된 음악에 맞추어 각각의 연화를 발사할 타이밍을 결정하게 되는데, 이러한 과정을 프로그래밍(Programing)이라 한다.

마지막으로 상기의 과정들이 완료되면 발사 큐(Cue) 넘버, 타임 코드, 연화의 종류와 크기 및 수량, 기타 상세한 사항이 기록된 소프트웨어를 작성하면 디자인이 완성되게 된다.

### 3.3 사전 준비

이 과정에서는 작성된 프로그램에 따라 연화를 저장소에서 출고하여 적절한 부위에 연화의 종류·크기·수량 및 큐 넘버와 기타사항을 기록하거나 부착하여 이동을 위한 포장을 하며, 이에 대응하는 적절한 발사포를 준비하게 된다. 특히, 장치연화의 경우 설치하는 방법에 따라 연출되는 효과는 매우 상이하게 나타나므로 프로그래머의 의도에 맞춰 편리하고 안전하게 설치할 수 있도록 사전에 치구를 제작하기도 한다. 다음으로 운반 수단, 연결 박스와 케이블 및 기타 장치에 필요한 부자재와 공구들을 준비한다.

### 3.4 허가서류 제출 및 운반

우리나라의 경우 모든 화약류를 취급함에 있어 총포·도검·화약류 등 단속법의 규정을 준수하여야 하며, 이를 위반할 시에는 법적인 처벌을 받게 되므로, 이에 따른 법적 절차를 밟아야 한다.

이 법규에 의하면 우선 화약류를 취급하기 위해서는 사용지 관할 경찰서, 즉 불꽃놀이를 진행할 장소를 관할하는 경찰서로부터 화약류 사용허가 및 화약류 양수허가를 필히 득하여야 하며, 이를 위해서는 불꽃놀이 시행일로부터 최소 7일전에 관할 경찰서에 일련의 양식에

맞춘 허가서류를 제출하여야 한다(Table 9).

관할 경찰서에 제출한 허가서류는 경찰서 담당자의 현장 확인 등에 의해 법 규정 및 안전성에 대한 충분한 검토가 이루어지고, 이에 대한 문제점이 발생하지 않으면 행정사항 및 조치사항을 첨부한 화약류 사용허가증 및 화약류 양수허가증을 발급 받게 된다.

이와 같이 연화를 설치할 장소를 관할하는 경찰서에서 화약류 사용에 대한 허가증을 발급 받은 후에 연화 및 장비를 설치할 장소로 운반하게 되는데, 이 경우에도 법규에서 규정하고 있는 일련의 양식에 맞춰 화약류 운반신고서를 출발지 관할 경찰서, 즉 저장소 관할 경찰서에 제출하고, 화약류 운반신고필증을 교부받아야 하며, 운반 시에도 법규에서 규정하고 있는 운반방법 및 절차에 맞춰 운반한다.

Table 9. Document lists regarding the permission of explosive use

| 구 분                   | 기본 구비서류  | 기타 첨부서류   |
|-----------------------|--|---|
| 화약류<br>사용허가 및<br>양수허가 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 화약류 사용(소지)허가 신청서</li> <li>2. 꽃불류 사용 순서 대장</li> <li>3. 화약류 양도/양수허가 신청서</li> <li>4. 화약류 관리보안책임자 선임 신고서<br/>- 화약류 관리보안책임자 면허증 사본</li> <li>5. 화약류 관리보안책임자 선임 승낙서</li> <li>6. 서약서</li> <li>7. 화약류 사용 계획서<br/>- 발사장소 주변 전경 사진<br/>- 발사장소 약도(발사장소 위치상세도 포함)<br/>- 안전 관련 계획</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 화약류 저장소 설치허가증 사본</li> <li>2. 화약류 판매업허가증 사본</li> <li>3. 화약류 저장소 완성검사 합격증 사본</li> <li>3. 사용 꽃불류 상세 내역서</li> <li>4. 불꽃놀이 연출 계획서</li> <li>5. 꽃불류 발사 배치도</li> <li>6. 작업보조원·경계요원 투입인원 명단</li> <li>7. 계약서 사본</li> <li>8. 계약서상의 ‘갑’ 과 ‘을’ 의 사업자 등록증 사본</li> </ol> |
| 운반신고                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 운반신고서<br/>- 화약류 양수허가증 사본</li> <li>2. 운반신고필증</li> </ol>   |   |

### 3.5 설치

이 과정은 화약류 관리보안 책임자의 감독 하에 이루어져야 하며, 화약류 관리보안 책임자는 안전과 정확한 발사를 위한 Setting이 되도록 지휘·감독하여야 한다. 또한, 이때의 화약류 관리보안 책임자는 경찰관서에 신고 된 면허소지자여야 하며, 사용지 관할 경찰서에 선임신고가 되어 있는 사람이어야 한다.

설치작업은 우선 설치장소로 지정된 지역을 통제하고, 작업인원에 대한 안전교육을 실시한 후, 연화 및 장비를 하역하는 것으로부터 시작하게 된다. 설치작업은 다음과 같이 총 6과정으로 이루어진다.

(1) 발사포 및 치구의 배치와 설치 : 작성된 프로그램 및 포 배치도에 의해 발사포 및 치구를 배치하고 설치하는 과정으로, 이 때 주의해야 할 점은 점화 시 연화가 발사되는 힘에

의해 발사포가 넘어지거나 또는 다른 발사포에 영향을 미치지 않도록 고정하고, 발사포를 설치할 장소 주변에 발사 시에 피해가 발생할 수 있는 구조물이나 물건들이 있다면 다른 장소로 이동시키거나 이를 피해서 설치하여야 하며, 프로그램에 따라 정확하게 배치를 하여야 한다

(2) 연화 장전 : 이 과정은 기본적으로 타상연화를 발사포에 넣는 것을 의미하며, 넓게는 장치연화를 계획된 프로그램에 맞게 설치하는 작업과 각각의 연화에 점화옥을 연결하는 작업도 포함된다.

이 작업에서 가장 주의할 점은 타상연화의 경우 연화가 발사포 바닥에 완전히 닿도록 하여야 하며, 연화를 거꾸로 장전하여 추진제가 연화옥의 위쪽에 놓이지 않도록 해야 한다는 것이다. 그밖에 여러 발의 연화를 지연 체인(Delay chain fuse)으로 연결하여 장전 시 지연 체인에 연결된 순서대로 장전하여야 하며, 프로그램에 따라 장전 순서가 바뀌지 않도록 주의하여야 한다. 또한, 연화를 장전하기 전에 발사포 안의 이물질 등을 제거하는 것도 잊지 말아야 한다.

장치연화의 경우에는 계획된 프로그램에 따라 설치할 위치, 설치방법(각도, 높이, 방향 등)을 충분히 확인한 후 설치하여야 하며, 발사 시 쓰러지지 않도록 단단히 고정하여야 한다.

한편, 점화옥을 연화에 연결하는 작업의 경우에는 점화옥을 추진제에 직접 연결하거나, 또는 추진제에 연결된 속연도화선에 연결하는 방법이 있다. 이 중 점화옥을 추진제에 직접 연결할 경우에는 추진제를 감싸고 있는 종이와 비닐 부분에 송곳 등으로 작은 구멍을 뚫어 점화옥을 삽입하게 되는데, 이때 사용되는 송곳의 경우 녹이 슬거나 표면이 매끄럽지 못한 것을 사용해서는 안되며, 점화옥을 삽입한 후에 비닐테이프 또는 종이테이프로 반드시 마무리를 하여야 한다. 또한, 추진제에 연결된 속연도화선에 점화옥을 연결할 경우에는 속연도화선 끝을 잘라낸 후 심지와 심지를 감싸고 있는 종이 사이에 정확히 점화옥을 삽입하고 테이프 등으로 마무리하여야 하며, 특히, 속연도화선을 잘라낼 때에도 일반적으로는 니퍼를 사용하고 있으나, 이보다는 자를 때의 마찰이나 충격에 의해 스파크가 발생할 확률이 적은 가위나 날카로운 칼 등을 사용하는 것이 좋다. 최근에는 속연도화선 끝부분에 점화옥을 삽입할 수 있는 캡이 부착되어 있는 것도 있다.

(3) 결선 : 연화의 장전작업이 종료되면 연화의 추진제 또는 속연도화선에 연결된 점화옥을 발사 순서, 즉 프로그램에 따라 연결하게 되는데, 이 과정을 결선이라고 하며, 이와 같은 결선작업에는 점화옥과 점화옥 간의 연결, 각선과 보조모선의 연결, 그리고 보조모선과 발사모선의 연결 모두가 포함된다. 넓은 의미에서는 점화옥이나 점화옥에 연결한 보조모선을 발사기 또는 모듈에 연결하는 작업도 포함한다.

점화옥은 연화의 추진제를 점화시키는데 사용되는 것으로 전기뇌관이 기폭 되는 원리와 마찬가지로 전기에 의해 점화된다.

결선방법은 연결할 선 각각의 끝 부분을 3~5cm 정도씩 피복을 벗긴 다음, 두 선을 함께 한 묶음으로 하여 고리를 만들고, 이를 5회 이상 돌려 감은 후, 종이테이프 또는 절연테이프로 마무리 한다.

결선 방식에는 ①직렬 결선, ②병렬 결선, 그리고 이 두 가지 방법을 혼합한 ③직·병렬

결선의 세 가지 방식으로 나누어진다.

(4) 도통시험 및 저항측정 : 결선이 완료된 후 단선의 유·무를 확인하는 과정으로 도통시험 및 저항측정을 통해 가능하다. 도통시험과 저항측정 모두 별도의 도통 시험기 및 저항측정기를 사용하여야 하나, 최근에는 발사기 자체에 이러한 장비 또는 시스템이 탑재되어 있어 더욱 편리하고 안전하게 이러한 과정을 수행할 수 있게 되었다.

한편, 저항 값의 경우 이론적인 계산법에 의해 산출할 수도 있으며, 실제 측정된 값과 이론적으로 계산한 값의 차가 이론적으로 계산된 저항 값의 0.5% 이내이면 안전한 결선이 이루어졌다고 할 수 있다.

(5) 배선 : 결선작업이 종료된 후, 각각의 위치에 있는 모듈과 발사기를 일정한 규격의 케이블로 연결하는 작업을 말하며, 대형 불꽃놀이에서는 발사기와 모듈 사이에 스프리터를 사용하기도 한다.

배선작업에서는 모듈간의 연결과 모듈과 발사기 간의 연결을 되도록 간결하게 하고, 작업 전에 사용할 케이블의 단선 여부와 피복의 이상 유무 등을 확인하여야 오류를 최소화 할 수 있다.

(6) 설치검사 및 마무리 : 마지막으로 배선작업이 완료되면 설치의 이상 유무를 확인하고, 위험이 예상되는 부분에는 보강작업을 실시하며, 점화옥 및 결선의 이상 유무를 확인하기 위하여 통전시험을 실시하여 오류를 최소화하여야 한다.

또한, 발사장소 주변에 화재 발생의 위험이 있는 물건(비닐, 종이류)이 있는지 확인하고, 이러한 물건들이 위치하여 있다면 다른 장소로 이동시켜야 한다.

### 3.6 통제

설치과정이 완료된 후 설치한 연화를 발사하기 전에 발사장소 주변 통제에 임하여야 한다. 이는 먼저 발사장소의 주변 현황과 풍향 및 풍속, 사용 연화의 크기 등을 고려하여 연화 잔재(별, 옥피, 지관, 내통, 소체 등)의 낙하 예상 지역을 검토하고, 보안거리를 설정하며, 이에 따라 통제 선을 결정한 후, 이 통제 선을 기준으로 인원 및 자동차 등의 통제에 들어간다.

통제 선에는 바리게이트, 경고판, 경광등 등을 배치하여 일반 대중과 격리하여 안전 조치를 취하도록 하며, 발사장소로 통하는 출입구에는 통제요원을 배치하고, 통제요원들과의 의사소통 수단(무전기, 비상연락망 등)을 마련하여 만일의 사태에 대비하도록 한다.

또한, 화약류 관리보안 책임자는 다시 한 번 계획을 검토하고 이상 유무를 점검하며, 소방당국 및 응급의료기관과 협조하여 소방차 및 구급차 등을 배치하고, 기상 상태, 습도, 풍향 및 풍속, 지형·지물, 발사 종사 인원의 점검, 교통 및 대중 통제 계획 등을 면밀히 검토하여 이상이 발견되면 시정될 때까지 발사를 지연시켜야 한다.

### 3.7 점화 및 발사

일반적으로 연화를 계획된 순서에 맞게 쏘아 올리는 것을 발사라 하고, 연화를 발사하기

위해 연화 하부에 장착한 추진제 또는 이에 연결된 도화선에 불을 붙이는 것을 점화라 한다.

연화를 발사하기 위한 점화 방식에는 (1)수 점화 및 (2)전기점화 두 가지의 방식이 있으며, 이는 불꽃놀이의 규모, 예산, 발사 인력 등을 고려하여 선택하나, 최근에는 안전상의 문제점을 고려하여 대부분 전기점화 방식을 사용하고 있다.

수 점화 방식은 발사자가 점화에 사용할 도구(토치, 점화 팁 등)를 이용하여 연화의 하부에 장착된 추진제에 연결되어 있는 도화선에 불을 붙이는 방식으로 안전에 큰 주의를 요하는 방식이며, 주로 일본에서 사용되고 있다.

수 점화는 발사할 연화의 수량만큼 발사포가 필요한 것은 아니다. 같은 발사포로 계속해서 발사할 수 있기 때문에 경제적이며, 컨트롤러와 같은 값비싼 장비도 필요하지 않다. 따라서 소규모의 불꽃놀이에서는 장비의 수도 적고, 비용도 절감되므로 수 점화하는 것도 괜찮은 방법이라 할 수 있으나, 안정성에 심각한 문제점을 내포하고 있어 권장할 만한 방식은 아닌 것으로 판단된다.

수 점화 시에는 지관포(종이포)를 쓰는 경우도 있으나, 하나의 발사포로 여러 발의 연화를 발사 할 때에는 철포를 사용하는 것이 좋다. 발사포는 일렬이나 그룹별로 땅에 묻고, 사냥(모래주머니)을 주위에 쌓아 직발<sup>1)</sup> 시 발사자를 보호토록 한다. 또한, 인접한 발사포의 규격은 차이가 나도록 하여 발사 및 장전 시 오인하지 않도록 한다.

또한, 발사자와 장전자는 가급적 다른 사람으로 구분하고, 재장전 할 연화는 최소한 10m 이상의 거리에 이격시키며, 발사한 연화가 직발 시에 대비하기 위하여 안전한 용기에 담아 대기시켜야 한다. 발사자는 토치나 점화 팁으로 점화한 후 안전거리 밖으로 대피하고, 발사포 쪽으로 등을 돌린 자세로 앉아서 발사되기를 대기한다. 발사된 후에는 장전자가 포의 내부를 확인 걸개로 불발여부를 확인한 후 재 장전한다. 이 때 발사포 위로 신체의 일부가 덮이지 않도록 유의한다.

수점화의 경우 발사 타이밍을 정교하게 맞추기 힘들고, 현장에서의 발사자의 감각에 의존할 수밖에 없으므로 디자인을 정교하게 하기는 곤란하다. 다만 타상연화의 발사 타이밍을 조정하기 위하여 타상연화를 발사하는 사이사이에 장치연화를 끼워 넣어 발사 간격을 조정하고 타상연화의 재장전 및 점화자의 대피 등의 시간을 벌 수가 있다.

또한, 발사포의 여유가 있다면 포틀(Mor-tar rack)에 발사포를 장치하여 타상연화를 미리 세팅하고 지연도화선을 사용하여 발사 간격을 조정한 후 포틀 사이에도 속연도화선이나 지연도화선을 사용하여 연결한 후, 한 번의 수점화로 순차적으로 발사하게 하는 방법도 좋은 방법이다. 이 경우는 미리 세팅하는 시간이 많이 소요되고 불발이나 도화선의 예상치 않은 이상 등으로 발사가 중단되었을 때의 조치방법에 대해 상당한 경험이 요구된다.

전기점화 방식은 점화옥에 전류를 흘려 보내주면 점화옥의 백금선이 높은 저항으로 가열되어 열을 발생시키고, 이렇게 되면 스파크가 발생하여 도화선에 불이 붙게 되며, 이어서 추진제가 발화하여 연화가 발사된다.

1) 직발 : 연화가 발사되어 일정한 고도에 도달한 후 개화되지 않고, 발사포 안에서 개화되거나, 발사포에서 발사된 후 지면 근처에서 개화되는 것을 말한다. 직발의 원인은 추진제로부터 할약으로 연결된 후미도화선의 불량이 가장 큰 원인이라 할 수 있다.



이는 다량의 연화를 정교한 타이밍에 맞추어 발사할 수 있어 규모가 큰 불꽃놀이를 진행하는데 효과적인 방법이다.

전기점화는 포틀에 미리 발사포를 장치하여 타상연화를 장전하고, 장전된 타상연화에 점화옥을 연결하여 이를 계획된 프로그램의 발사 순서에 따라 모듈 또는 발사기에 연결한 후, 이들을 개별 또는 그룹별로 스프리터 등을 통해 케이블로 중앙 컨트롤러에 연결하면 중앙 컨트롤러로 전체 발사를 통제한다.

전기점화 방식은 프로그램에 의해 발사하므로 수 점화 방식에 비해 정교하고 계획에 맞는 발사를 할 수는 있지만, 장비의 값과 이동의 비용 등이 비싸다는 것과 발사 현장에서 세팅(Setting)하기 위하여 많은 인원이 소요된다는 단점이 있으며, 또한, 발사 시 발사인원은 발사현장에서 격리되어 안전성이 확보되지만 세팅 시에 점화옥의 오작동 등에 의해 발생할 수 있는 문제점에 각별한 주의와 안전대책이 요구되기도 한다.

한편, 발사장소 주변의 통제가 완료되면 설치한 연화를 발사하여 불꽃놀이를 진행하게 되는데, 발사의 통제는 수동으로 하거나 미리 정교하게 프로그램 된 컴퓨터를 통해 자동 통제하여 발사한다. 수동으로 발사를 통제할 경우에는 계획된 프로그램에 따라 발사자가 일일이 발사 타이밍에 맞춰 버튼을 눌러 발사하지만, 컴퓨터를 이용해 자동으로 발사를 통제할 경우에는 컴퓨터에 입력된 프로그램에 따라 자동으로 발사 타이밍에 맞춰 발사되므로 10분의 1초 간격으로 정교하게 발사할 수도 있으며, 단일 품목의 많은 수의 연화를 일렬로 설치하여 각각의 연화에 일정한 간격의 단차를 주는 릴레이식 발사도 가능하다.

전기점화의 경우는 발사자와 보조자, 음향 담당만이 발사 위치에서 충분히 이격된 곳에 설치된 발사 컨트롤러에 위치하며, 이상 발생 시나 응급사태에 대비하여 경비 부서, 소방 부서, 의료기관, 기타 스태프들과의 유무선 통신망을 구성하고 점검한다. 발사장 내의 인원은 헬멧, 보안경, 발사복, 안전화 등을 착용하여야 한다.

수 점화 시에도 대체로 비슷하나 화약류 관리보안 책임자는 모든 종사자의 할당 임무를 점검하고, 기자재의 이상 유무를 점검한다. 발사 직전에는 발사자들을 통제하여 일사불란하게 수 점화하고 대피하며, 재장전 할 경우 착오 없이 진행되는가를 쇼가 끝날 때까지 계속 감시하며 통제 조정한다.

### 3.8 철수 및 뒷마무리

이상으로 모든 발사가 종료되면, 이후에도 일정한 시간동안 발사장소로의 출입을 완전히 차단하고, 발사현장 주변의 보안 상태를 계속 유지하여야 하며, 일정한 시간이 지나면 발사현장을 조명장치(부득이한 경우 차량 전조등)로 환히 밝히고, 역시 발사장소의 보안은 계속 유지한 채로 화약류 관리보안 책임자가 지휘하여 발사포 내의 불발탄과 지상에 추락된 잔재(특히 불발탄 및 점화 안 되고 낙하된 별)를 수거하여야 한다. 불발탄의 수거는 발사포가 어느 정도 냉각된 후에 도구를 사용하여 점검하되, 발사포의 발사구가 얼굴 등 신체 부위를 향하게 해서는 안 된다.

상기의 과정에서 모든 것이 이상이 없는 것으로 확인되면 현장을 정리하고, 발사장비 등

을 수거·포장하여 현장에서 철수한다. 특히, 대형 불꽃놀이의 경우, 다음날 첫 새벽에 다시 한 번 재점검하는 것이 좋은 방법일 것이다.

#### 4. 불꽃놀이의 수행을 위한 안전성 고찰

호주에서는 보다 더 안전한 불꽃놀이를 위해 일반 산업용 화약류와는 별개로 ‘Queensland code of practice-control of outdoor fireworks displays’에서 연화류의 제조·보관·운반·사용 및 불꽃놀이의 진행방법(계획, 조직 구성, 장비, 설치, 발사)과 관련한 모든 사항들에 대하여 매우 자세히 규정하고 있다. 반면에, 우리나라의 경우 일반 산업용 화약류에 대해서는 총포·도검·화약류 등 단속법에서 매우 엄격하게 규정하고 있으나, 연화류(꽃불류)에 대해서는 동법에서 일부분(연화류의 분류 및 저장소의 규격, 운반방법 등)만을 규정하고 있고, 그 외에는 일반 화약류와 같은 규정을 적용하고 있는 실정이다. 그러나 이는 일반 화약류나 연화류가 모두 기본적인 화약의 특징을 가졌다는 점에서 본다면 문제가 없을 수도 있겠으나, 엄밀히 따지면 일반 화약류와 연화류는 많은 차이점을 가지고 있고, 특히 일반 화약류와는 달리 연화류는 많은 대중들을 상대로 다루어지기 때문에 취급방법 및 안전성에서 일반 화약류와는 별개의 규정을 마련하여야 할 것으로 사료된다.

따라서, 본 논문에서는 호주의 ‘Queensland code of practice-control of outdoor fireworks displays’에서 각 요소별로 규정하고 있는 규제 기준을 알아보고, 여기에서 적용되고 있는 기준에 대하여 국내에서의 적용이 가능한지에 대한 타당성에 대하여 고찰하였다.

##### 4.1 불꽃놀이의 안정성에 영향을 미치는 요인

일반적으로 불꽃놀이의 진행에 따른 안전성에 영향을 미치는 요인으로는 ①풍속, ②풍향, ③기후(기상 상태), ④발사장소 주변 현황, ⑤지형·지물 조건, ⑥보안거리 등이 있으며, 이중 보안거리의 경우는 상기의 요인들을 충분히 검토하고, 그 결과를 바탕으로 산정하는 것으로 가장 중요한 요인이라 할 수 있다.

특히, 불꽃놀이는 공기 중에서 화약을 기폭시켜 화려한 불꽃을 만들게 되며, 대체로 지상에서 설치 및 진행이 이루어지고, 경우에 따라서는 지상 또는 해상의 구조물 상부에서 진행되기도 한다. 또한, 불꽃놀이는 대중들과 매우 근접하여 화약을 사용하는 것이니 만큼 안전관리에 세심한 주의를 요하게 되며, 특히 발사장소 주변의 보안물건 및 인원에 대한 안전관리는 대단히 중요한 문제로서 발사장소로부터 인원 및 보안물건까지는 충분한 보안거리를 두어야 한다.

그러나, 우리나라에서는 아직까지 이러한 보안거리 산정에 대해 명확한 규정이 없는 실정이며, 일반적으로는 타상연화의 개화직경에 따라 달리 적용하고 있다.

## 4.2 보안거리에 대한 규제 기준

호주의 ‘Queensland code of practice—control of outdoor fireworks displays’ 에서는 기본적으로 연화의 종류 및 크기에 따라 최소 보안거리(통제거리)를 Table 10과 같이 규정하고 있다.

Table 10. Default minimum clearance distances—Outdoor display fireworks

| DEFAULT MINIMUM CLEARANCE DISTANCES  |  |
|--|--|
| Display Fireworks  | Default Minimum Clearance Distance (metres)  |
| Lances and strings of firecrackers   | 10   |
| Fountains  | 20   |
| - up to 25 mm max inside diameter  |  |
| - greater than 25 mm inside diameter   | 35   |
| All other fireworks not listed above including ground level and aerial fireworks   | <p>a) 1 metre per millimetre of internal diameter of ground display fireworks and 1 metre per millimetre diameter of aerial fireworks. For example, a 75 mm aerial shell will have a minimum clearance distance of 75 metres and a 50 mm Roman candle will have a minimum clearance distance of 50 m. However, this distance must not be less than 35 metres.</p> <p>b) The minimum clearance distance must be doubled when items of ground level fireworks or aerial shells are delay chain-fused by the manufacturer, the fireworks contractor or the fireworks operator, e.g. a large multi-shot boxed item or a preloaded aerial barrage.</p> <p>c) For multi-break aerial shells, the minimum clearance distance for aerial shells under 200 mm diameter must be based on treating the shell as the next largest diameter shell. For example, a 100 mm diameter multi-break shell must have the minimum clearance distance for a 125 mm diameter single break aerial shell.</p> <p>For multi-break aerial shells 200 mm diameter and greater, the minimum clearance distance must be based on calculating the minimum clearance for a shell using the rule 5 metres per millimetre diameter of aerial fireworks and adding 50 per cent or half the distance to the calculated minimum clearance distance. For example, a 200 mm diameter multi-break shell must have a minimum clearance distance of 300 metres and a 300 mm (16 inch) diameter multi-break shell must have a minimum clearance distance of 600 metres.</p> |
| * Note : Fireworks including aerial shells instantaneous chain—chain—fused are not subjected to doubling of the default minimum clearance distances. |  |

Table 10에서는 소형의 장치연화를 총 3가지로 분류하여 보안거리를 규정하고 있고, 직경이 200mm 이하인 장치연화와 타상연화는 직경 1mm당 1m로 환산하여 보안거리를 산출하도록 규정하고 있다. 또한, 지연 체인(Delay chain fuse)을 사용할 경우에는 보안거리를 2배로 설정하고, 직경 200mm 이하의 Multi-break 타상연화의 경우 다음 단계의 크기를 가진 Single-break 타상연화의 보안거리를 적용하며, 직경 200mm 이상의 Multi-break 타상연화의 경우 원래의 보안거리에 50%를 더한 값을 최소 보안거리로 설정하도록 규정하고 있다.

한편, 불꽃놀이는 바람의 세기, 즉 풍속에 의한 영향을 많이 받는다. 이에 호주에서는 풍속에 따라 일어나는 자연현상 등을 Table 11과 같이 제시하고, 이를 현장에서 직접 풍속을 예측하는 기준으로 삼고 있으며, Table 12와 같이 풍속과 연화의 크기를 고려한 보안거리 및 Table 13~Table 16과 같이 풍속에 따라 발사각과 연화의 크기를 고려한 보안거리를 산출하여 추가함으로써 보다 안전한 불꽃놀이를 진행하도록 규정하고 있다.

마지막으로 호주의 ‘Queensland code of practice—control of outdoor fireworks displays’ 에서 규정하고 있는 각각의 규제 기준을 바탕으로 실 보안거리를 산정하는 방법을 알아보면, 다음과 같다.

예를 들어 직경 75mm(≈3인치)의 Single-break 타상연화를 사용하며, 풍속은 16km/h, 발사각은 15°라고 하였을 때 보안거리는 계산하면 다음과 같다.

- ① 직경이 75mm 이므로 Table 10에서와 같이 최소 보안거리는 75m 가 되고,

Table 11. Wind speed equivalents

| WIND SPEED EQUIVALENTS |                 |  |                         |         |                      |   |
|------------------------|-----------------|--|-------------------------|---------|----------------------|---|
| Beaufort No            | Category        | Wind speed equivalent at a standard height of 10 metres above open flat ground |                         |         |                      | Specifications for estimating speed over land   |
|                        |                 | Knots per hour (kn)  | Meters per second (m/s) | km/h    | Miles per hour (mph) |   |
| 0                      | Calm            | <1   | 0-0.2                   | <1      | <1                   | Calm, smoke rises vertically.   |
| 1                      | Light air       | 1-3  | 0.3-1.5                 | 1-3     | 1-3                  | Direction of wind shown by smoke drift, but not by wind vanes.                                |
| 2                      | Light breeze    | 4-6  | 1.8-3.3                 | 6-11    | 4-7                  | Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vane moved by wind.                                |
| 3                      | Gentle breeze   | 7-10   | 3.4-5.4                 | 12-19   | 8-12                 | Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag.                           |
| 4                      | Moderate breeze | 11-16  | 5.5-7.9                 | 20-28   | 13-18                | Raises dust and loose paper; small branches move.   |
| 5                      | Fresh breeze    | 17-21  | 8.0-10.7                | 29-38   | 18-24                | Small trees in leaf begin to sway; crested waves form on inland waters.                       |
| 6                      | Strong breeze   | 22-27  | 10.8-13.8               | 39-49   | 25-31                | Large branches in motion; whistling heard in telegraph wires; umbrellas used with difficulty. |
| 7                      | Near gale       | 28-33  | 13.9-17.1               | 50-61   | 32-38                | Whole trees in motion; inconvenience felt when walking against wind.                          |
| 8                      | Gale            | 34-40  | 17.2-20.7               | 62-74   | 39-46                | Breaks twigs off trees; generally impedes progress.   |
| 9                      | Strong gale     | 41-47  | 20.8-24.4               | 75-88   | 47-54                | Slight structural damage occurs (chimney-pots and slates removed).                            |
| 10                     | Storm           | 48-55  | 24.5-28.4               | 89-102  | 54-63                | Seldom experienced inland; trees uprooted; considerable structural damage occurs.             |
| 11                     | Violent storm   | 56-63  | 28.5-32.6               | 103-117 | 64-72                | Very rarely experienced; accompanied by widespread damage.                                    |
| 12                     | Hurricane       | > 64   | > 32.7                  | > 118   | > 73                 | Severe and extensive damage.  |

(Source: Bureau of Meteorology, Manual of Meteorology, Part 1 - General Meteorology - AGPS 1993.)

Table 12. Typical aerial shell drift in windy conditions

| AERIAL SHELL DRIFT IN WINDY CONDITIONS |   |                              |        |        |
|--|---|------------------------------|--------|--------|
| Wind Speed                             | Description   | Shell Drift (Shell Diameter) |        |        |
|  |   | 75 mm                        | 150 mm | 300 mm |
| Light breeze<br>8 km/h<br>(5 mph)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>wind felt on face;</li> <li>leaves rustle;</li> <li>ordinary vane moved by wind</li> </ul>   | 15m                          | 16m    | 17m    |
| Gentle breeze<br>16 km/h<br>(10 mph)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>leaves in constant motion;</li> <li>wind extends light flags.</li> </ul>                     | 30m                          | 32m    | 34m    |
| Moderate breeze<br>24 km/h<br>(15 mph) | <ul style="list-style-type: none"> <li>raises dust and paper;</li> <li>small branches move.</li> </ul>                              | 45m                          | 48m    | 52m    |
| Fresh breeze<br>32 km/h<br>(20 mph)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>small leafy trees sway;</li> <li>crested waves form on inland waters.</li> </ul>             | 60m                          | 65m    | 69m    |
| Strong breeze<br>40 km/h<br>(25 mph)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>large branches move;</li> <li>wires whistle;</li> <li>umbrellas difficult to use.</li> </ul> | 75m                          | 81m    | 87m    |

- ② 풍속이 16km/h 이므로 Table 12를 기준하여 추가 보안거리는 30m 가 되며,
- ③ 발사각이 15°이므로 Table 16을 기준하여 보안거리는 154m 가 추가된다.
- ④ 최종적으로 ①~③항을 모두 합해 최종 산출된 실 보안거리는 259m 가 된다.

이처럼 호주의 규제 기준은 매우 엄격하고 안전하게 규정되어 있고, 불꽃놀이의 안전성에 영향을 미치는 요인을 포괄적으로 반영하고 있으며, 매우 합리적인 방법으로 보안거리를 산출하고 있는 것을 알 수 있다.

Table 13. Shell drift(meters) wind speed 0km/h

| Shell diameter | Angle from vertical [degrees] |    |     |     |     |     |     |
|----------------|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 0                             | 5  | 10  | 15  | 20  | 30  | 45  |
| 50mm           | 0                             | 24 | 48  | 69  | 88  | 130 | 153 |
| 62mm           | 0                             | 28 | 57  | 82  | 105 | 143 | 179 |
| 75mm           | 0                             | 33 | 64  | 93  | 119 | 161 | 202 |
| 100mm          | 0                             | 43 | 79  | 114 | 145 | 197 | 245 |
| 125mm          | 0                             | 47 | 91  | 132 | 169 | 229 | 284 |
| 150mm          | 0                             | 53 | 103 | 150 | 191 | 258 | 319 |
| 175mm          | 0                             | 59 | 114 | 165 | 211 | 289 | 351 |
| 200mm          | 0                             | 64 | 124 | 180 | 230 | 310 | 382 |
| 225mm          | 0                             | 73 | 143 | 207 | 264 | 355 | 434 |
| 250mm          | 0                             | 81 | 159 | 230 | 294 | 390 | 482 |

Table 14. Shell drift(meters) wind speed 5km/h

| Shell diameter | Angle from vertical [degrees] |    |     |     |     |     |     |
|----------------|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 0                             | 5  | 10  | 15  | 20  | 30  | 45  |
| 50mm           | 13                            | 38 | 61  | 83  | 103 | 134 | 169 |
| 62mm           | 14                            | 43 | 71  | 96  | 119 | 157 | 191 |
| 75mm           | 15                            | 48 | 79  | 106 | 133 | 176 | 219 |
| 100mm          | 15                            | 58 | 94  | 120 | 162 | 213 | 259 |
| 125mm          | 16                            | 65 | 108 | 149 | 186 | 249 | 299 |
| 150mm          | 16                            | 70 | 120 | 167 | 209 | 275 | 334 |
| 175mm          | 16                            | 75 | 131 | 183 | 229 | 302 | 366 |
| 200mm          | 17                            | 81 | 142 | 198 | 248 | 329 | 387 |
| 225mm          | 17                            | 89 | 160 | 225 | 283 | 374 | 451 |
| 250mm          | 18                            | 98 | 177 | 249 | 313 | 413 | 500 |

Table 15. Shell drift(meters) wind speed 10km/h

| Shell diameter | Angle from vertical [degrees] |     |     |     |     |     |     |
|----------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 0                             | 5   | 10  | 15  | 20  | 30  | 45  |
| 50mm           | 26                            | 51  | 74  | 96  | 116 | 147 | 178 |
| 62mm           | 29                            | 57  | 85  | 111 | 134 | 171 | 204 |
| 75mm           | 29                            | 62  | 94  | 122 | 149 | 191 | 228 |
| 100mm          | 31                            | 71  | 110 | 146 | 178 | 229 | 273 |
| 125mm          | 32                            | 79  | 124 | 166 | 203 | 263 | 313 |
| 150mm          | 33                            | 86  | 137 | 184 | 229 | 293 | 350 |
| 175mm          | 33                            | 92  | 148 | 201 | 246 | 321 | 382 |
| 200mm          | 33                            | 97  | 159 | 215 | 269 | 346 | 412 |
| 225mm          | 33                            | 107 | 175 | 242 | 301 | 392 | 467 |
| 250mm          | 33                            | 115 | 194 | 266 | 331 | 433 | 515 |

Table 16. Shell drift(meters) wind speed 20km/h

| Shell diameter | Angle from vertical [degrees] |     |     |     |     |     |     |
|----------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                | 0                             | 5   | 10  | 15  | 20  | 30  | 45  |
| 50mm           | 33                            | 77  | 102 | 123 | 142 | 173 | 198 |
| 62mm           | 56                            | 85  | 113 | 140 | 162 | 199 | 227 |
| 75mm           | 59                            | 92  | 123 | 154 | 179 | 221 | 254 |
| 100mm          | 62                            | 102 | 141 | 177 | 210 | 261 | 301 |
| 125mm          | 67                            | 111 | 157 | 199 | 234 | 296 | 343 |
| 150mm          | 67                            | 119 | 170 | 218 | 261 | 327 | 380 |
| 175mm          | 68                            | 126 | 182 | 235 | 282 | 356 | 414 |
| 200mm          | 69                            | 130 | 192 | 250 | 302 | 382 | 444 |
| 225mm          | 67                            | 140 | 211 | 278 | 336 | 423 | 499 |
| 250mm          | 68                            | 147 | 228 | 301 | 367 | 470 | 548 |

### 4.3 장비 및 재료에 대한 규제 기준

호주에서는 발사포의 직경에 따라 발사포 내부의 최소 길이와 발사포의 재질에 따른 두께를 규정하고 있으며, 설치에 있어서도 발사포의 직경에 따라 발사포간의 최소 이격거리를 규정하고 있는데, 이는 발사포를 만드는 재질에 따라 강도 및 내구성이 틀리고, 연화의 직경에 따라 화약의 양이 틀려 개화 시 폭발강도가 틀리기 때문으로 파악된다.

Table 17~Table 19는 발사포의 재질과 직경에 따른 두께를 나타내고 있으며, Table 20은 발사포의 직경과 연화의 종류에 따른 발사포 내부의 최소 길이를 나타내고 있다.

또한, Table 21은 발사포 설치 시 발사포간의 최소 이격거리를 발사포의 직경에 따라 규정하고 있다.

Table 17. Cardboard mortars (Convolute or Spiral) – Adequate mortar wall thickness(mm)

| Mortar ID (mm) | Spherical shell | Cylindrical shell Single Break | Cylindrical shell Two Break |
|----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 50             | 4.5             | 6.25                           | 9.25                        |
| 62.5           | 4.5             | 6.25                           | 9.25                        |
| 75             | 6.25            | 6.25                           | 9.25                        |
| 100            | 6.25            | 8.25                           | 12.5                        |
| 125            | 7.75            | 10.5                           | 15.5                        |
| 150            | 9.25            | 12.5                           | 18.75                       |
| 200            | 12.5            | -                              | -                           |
| 250            | 15.5            | -                              | -                           |
| 300            | 18.75           | -                              | -                           |
| 400            | -               | -                              | -                           |

\*Note : The cross-grain tensile strength of the paper should be at least 16,000 kPa  
 - Data not currently available.

Table 18. High density polyethylene(HDPE) mortars – Adequate mortar wall thickness(mm)

| Mortar ID (mm) | Spherical shell | Cylindrical shell Single Break | Cylindrical shell Two Break |
|----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 50             | 3.0             | 4.25                           | 4.25                        |
| 62.5           | 3.0             | 4.25                           | 4.25                        |
| 75             | 3.75            | 4.25                           | 4.25                        |
| 100            | 5.0             | 5.0                            | 5.0                         |
| 125            | 5.0             | 5.0                            | 5.0                         |
| 150            | 7.5             | 8.0                            | 8.0                         |
| 200            | 8.0             | -                              | -                           |
| 250            | 8.0             | -                              | -                           |
| 300            | 9.25            | -                              | -                           |
| 300            | -               | -                              | -                           |

\*Note : The tensile strength of plastic should be at least 22,750 kPa  
- Data not currently available.

Table 19. Fiberglass mortars-Adequate mortar wall thickness(mm) for fiberglass reinforced epoxy

| Mortar ID (mm) | Spherical shell | Cylindrical shell Single Break | Cylindrical shell Two Break |
|----------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 50             | 3.0             | 4.25                           | 4.25                        |
| 62.5           | 3.0             | 4.25                           | 4.25                        |
| 75             | 3.75            | 4.25                           | 4.25                        |
| 100            | 5.0             | 5.0                            | 5.0                         |
| 125            | 5.0             | 5.0                            | 5.0                         |
| 150            | 7.5             | 8.0                            | 8.0                         |
| 200            | 8.0             | -                              | -                           |
| 250            | 8.0             | -                              | -                           |
| 300            | 9.25            | -                              | -                           |
| 300            | -               | -                              | -                           |

\*Note : The tensile strength of fiberglass should be at least 76,000 kPa  
- Data not currently available.

Table 20. Minimum inside mortar length(mm)

| Mortar ID (mm) | Single Break shell | Double Break shell | Up to 4-Break shell |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| 75             | 375                | 450                | 525                 |
| 100            | 500                | 575                | 675                 |
| 125            | 600                | 700                | 800                 |
| 150            | 700                | 800                | 925                 |
| 200            | 850                | 1000               | 1150                |
| 250            | 1000               | 1150               | 1350                |
| 300            | 1150               | 1300               | 1550                |

Table 21. Minimum separation of mortars

| Internal Diameter Size of Mortar | Minimum Separation (See Note 1)        |
|----------------------------------|--|
| 100 mm or less                   | No separation required                 |
| more than 100 mm to 150 mm       | 0.25 x D (See Note 2)                  |
| more than 150 mm to 225 mm       | 0.5 x D (See Note 2)                   |
| more than 225 mm to 300 mm       | 2.0 x D (See Note 2)                   |
| more than 300 mm                 | protection and separation are required |

지금까지 발사포의 규격 및 설치 기준에 대한 규정을 확인하였으며, 상기의 내용에서 알 수 있듯이 발사포의 규격을 기준 하는데 있어, 연화의 크기뿐만이 아니라 연화의 형태에 의해서도 그 규격은 달라져야 한다는 것을 알 수 있다. 물론, 발사포의 규격과 연화의 형태가 어떠한 관계가 있는지에 대한 연구 결과는 확인되지 않았으므로 상기의 내용을 무조건 수용하는 것은 어렵다고 할 수 있으며, 이를 위해선 국내에서 사용되고 있는 발사포의 종류 및 규격을 확인하고, 많은 실험을 통해 새로운 규정을 만들어야 한다고 판단된다.

점화옥은 일반 전기뇌관과 마찬가지로 전기에 의해 발화되는 전기점화장치이며, 이에 대한 규격은 따로 정해진 바가 없다.

다만, 호주의 'Queensland code of practice-control of outdoor fireworks displays' 에서는 점화옥이 전기점화 장치인 점을 감안하여 전기뇌관과 마찬가지로 전자장비에서 방출되는 전파에 의해 발화할 수 있으며, 이에 대한 대책으로 전자장비의 종류에 따라 발생하는 전파의 주파수와 최대 유도전력 및 이에 따른 안전거리를 Table 22에서와 같이 규정하고 있다.

Table 22에서 나타내고 있는 장비의 종류에 따른 주파수 및 최대 유도전력의 경우 호주에서 사용되고 있는 장비들을 기준하였을 것으로 판단되며, 이를 국내에 적용하기 위해선 국내에서 사용되고 있는 장비에 대한 조사가 먼저 선행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 22. Safe distances for electric igniters subject to radio frequency radiation

| Single Source Safe Distances Calculated For Electro-Explosive Devices |  |                 |                                    |  |
|---|--|-----------------|------------------------------------|--|
| Serial  | Description of equipment   | Frequency Range | Maximum transmitted power          | Safe distance (see Note 2) metres                            |
| 1   | Radar  | > 5 GHz         | 100 kW peak                        | 500  |
| 2   | Radar  | 1 to 5 GHz      | 5 MW peak<br>50 kW continuous work | 500  |
| 3   | Radar  | 0.2 to 1 GHz    | 5 MW peak<br>50 kW continuous work | 1500   |
| 4   | SHF radio relay  | > 3 GHz         | 50 W                               | 50   |
| 5   | VHF radio relay  | 0.5 to 3 GHz    | 50 W                               | 150  |
| 6   | UHF fixed installation broadcast                                     | > 0.3 GHz       | 5 MW                               | 500  |
| 7   | UHF mobile (see Note 5)  | > 0.3 GHz       | 50 kW                              | 150  |
| 8   | VHF fixed broadcast  | 30 to 300 MHz   | 50 kW                              | 500  |
| 9   | VHF mobile   | 30 to 300 MHz   | 5 kW                               | 150  |
| 10  | HF broadcast   | 3 to 30 MHz     | 500 kW                             | 1000   |
| 11  | MF broadcast   | 0.5 to 3 MHz    | 500 kW                             | 1000   |
| 12  | LF broadcast   | 30 to 300 kHz   | 500 kW                             | 500  |
| 13  | VLF broadcast  | < 30 kHz        | 200 kW                             | 100  |
| 14  | Mobile radio (see Note 5)  | Any frequency   | 100 to 500 W                       | 40   |
| 15  | Mobile radio (see Note 5)  | Any frequency   | 10 to 100 W                        | 20   |
| 16  | Mobile radio (see Note 5)  | Any frequency   | < 10 W                             | No hazard provided no direct contact is made with the aerial |
| 17  | High frequency areas (provided there is no significant r.f. leakage) |                 |                                    | No hazard outside the equipment                              |
| 18  | Civil aircraft equipment. All types at maximum permitted power.      |                 |                                    | 50   |

NOTES :

- If there are two or more significant transmitting sites radiating powers in excess of 50kW, each within 3,000 m (see also Note 2) of the hazarded firing site, then a detailed site assessment should be undertaken.
- The table distances do not necessarily apply to transmitters utilizing troposcatter.
- The distances apply directly in the case of standard commercial igniters with leads unwound or partially unwound during normal handling and when connected into firing circuits. The distances are from the transmitter to the nearest point of the proposed firing circuit.
- This table may require amendment as further information on radiation sources becomes available.
- Movable implies vehicle-borne equipment which requires erection of a portable aerial for operation.
- Mobile implies capable of operation whilst vehicle is moving (seagoing vessel radios should not be assumed mobile in this context).



## 5. 결 론

불꽃놀이는 일반적으로 화약 또는 폭약을 사용하여 목적하는 물체를 파괴하는 발파(폭파)와는 달리 연화 자체가 화약으로 만들어진 제품으로 화약을 사용한다는 점에서는 발파의 개념과 일치하나, 불꽃놀이는 어떤 물체를 상공으로 쏘아 올려 이것이 어느 일정고도에 이르면 개화되어 화려한 빛과 색을 만들어서, 이것을 많은 사람들이 감상하도록 하는데 목적이 있으나 불꽃놀이를 수행함에 있어서는 행사에 적합한 연출력과 취급과 설치에 따른 안전성이 확보되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 불꽃놀이에 대한 이론적인 부분을 재확인 하고, 이를 바탕으로 불꽃놀이의 수행절차 및 방법과 이에 따른 안전성을 검토하였다.

연구결과를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 우리나라의 경우 불꽃놀이에 대한 관련 규정은 ‘총포·도검·화약류 등 단속법’에서 일반 화약류와 동일한 기준에 의해 규정되어지고 있으나, 연화산업의 발달 수준과 수요를 감안할 때, 안전적인 관리측면에서는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

(2) 불꽃놀이의 안전성을 확보하기 위한 기준으로 호주(Australia)에서 적용하고 있는 ‘Queensland code of practice—control of outdoor fireworks displays’의 규정의 검토결과, 국내의 ‘총포·도검·화약류 등 단속법’보다 체계적이며 매우 합리적이다.

따라서, 불꽃놀이의 안전성을 확보하는데 있어서는 상당한 효과를 낼 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 우리나라의 경우 불꽃놀이에 대한 문헌이나 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구 또한 현장 실무경험의 바탕과 대부분 연화산업 관련 업체의 홈페이지 또는 교육 자료를 토대로 기술한 바, 연화산업에 종사하고자 하는 이들의 기초 교육 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료되며, 추후 많은 실험과 연구를 통해 이를 뒷받침 할 수 있는 자료를 충분히 확보한다면 불꽃놀이의 안전한 시행과 연화산업의 발달에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. Ancona, G., Fiesta Fireworks, Lothrop Lee & Shepard.
2. Donner, J., Professional's Guide to Pyrotechnics : Understanding and Making Exploding Fireworks, Paladin Pr.
3. Merrick, P., Fourth of July Fireworks(Holiday Symbols), Childs World.
4. Russell, M.S., Chemistry of Fireworks, Royal Society of Chemistry.

유원상, 강추원

5. Weingart, G.W., PYROTECHNICS : Second Edition—Revised and Enlarged, Chemical Publishing Company, INC.
6. Conkling, J.A., Chemistry of Pyrotechnics:Basic Principles and Theory, Marcel dekker, INC.
7. 清水武, 花火, 一橋書房刊
8. Queensland Code of Practice Control of Outdoor Fireworks Displays, Australia,2003
9. (주)한화 연화사업팀 교육 자료.
10. <http://www.dhfireworks.com>, 대한화공 홈페이지.
11. <http://www.eventtown.co.kr>, 동영폭죽 홈페이지.
12. <http://www.pokjuk.com>, (주)하늘 홈페이지.
13. <http://www.seoulfireworks.com>, 서울화약(주) 홈페이지.
14. <http://www.woojinspt.com>, (주)우진 S.P.T 홈페이지.
15. <http://www.fireworks.co.kr>, 폭죽나라 홈페이지.
16. <http://www.bulnori.com>, (주)한화 연화사업팀 홈페이지.