

<技術解說>



安全한 불꽃놀이를 爲한 考察

On the safety study in fire works display

許 填*

Huh, Ginn

安 明 碩**

Ahn, Myong Sok

I. 서 론

화약을 이용한 예술이라고 일컫는 불꽃놀이는 일본에서는 花火·煙火라고 불리우고 중국에서는 爆竹그리고 구미에서는 Fire works display라고 불리어지고 있으며, 당공장에서는 60년 대 이후 출기찬 개발을 계속하여 현재는 괄목할만한 발전을 해왔으며 '86 아세안게임' '88 올림픽 대회 등 큼직한 국제행사를 맞이하여 고도의 기술 확보를 위하여 연화 개발팀의 신설 등 힘찬 전진을 하고 있다.

이에 앞으로의 대형화, 고급화 추세에 발맞추어 여태까지의 경험을 토대로 더욱 완전한 불꽃놀이를 위해 이 글을 정리하게 되었다.

II. 본 론

가) 사용방법

1. 총포·도검·화약류 단속법에 의한 사용 방법

연화는 총포·도검·화약류 단속법에 의하면 화공품의 부류에 속하며 이를 사용하기 위해서는 사용지 관할 경찰서장의 허가를 받아 관리보

안책임자의 주관하에 운반·발사하게 되어 있다. 구체적인 취급 방법으로는 총포·도검·화약류 단속법 시행령 제 22 조, 24 조, 29 조, 57 조, 60 조, 61 조, 62 조, 72 조를 참조하기 바라며 이를 수행하기 위한 면허는 일반적으로 화약류 관리 보안 책임자 2급 이상의 면허 소지자이며 발사 작업을 수행할 수 있다.

(법 제 68 조·별표 15에 의하면 2급 소지자 사용 가능 수량은 1,667 발까지)

연화 사용에 대한 구체적인 법규상 사용방법은령 제 29 조에 의하면 아래와 같다.

* 제 29 조(연화의 사용) *

1) 연화의 사용은 다음 각호의 기준에 의한다.

(1) 연화를 사용하고자 하는 장소는 연화의 종류 및 중량에 따라서 도로·건물·인축 등에 위해가 없도록 이들과 안전한 거리를 둘 것.

(2) 바람이 강하게 불 때에는 연화의 사용을 중지할 것.

(3) 연화를 사용하고자 하는 장소의 부근에는 소화 작업에 필요한 장비를 갖출 것.

(4) 음주를 하고 연화를 사용하는 작업에 종사하지 못하도록 할 것.

(5) 연화(연화의 발사용 화약을 포함한다)는 용기에 넣어 뚜껑을 덮고 그 용기에는 화기를

* 鐵業技術士(採鐵)工博, 韓國技術士會副會長.

** 火藥技師

접근시키지 아니할 것.

(6) 발사용을 2개 이상 사용한때에는 발사중 상호간에 상당한 거리를 둘 것.

(7) 타상용 발사통은 풍향을 고려하여 윗 방향으로 견고하게 고정시키고 사용중에는 자주 청소를 할 것.

(8) 사용준비를 완료한 타상연화로 부터 20미터 이내의 장소에서는 타상연화를 사용하지 아니할 것.

(9) 타상연화는 20 미터 이상의 높이에서 산개하도록 할 것.

(10) 동결·흡습 기타 이상의 유무를 검사하고 이상이 없다고 인정되는 연화는 이를 사용하지 아니할 것.

(11) 연화를 발사통안에 넣을 때에는 끈등을 사용하여 서서히 넣을 것.

(12) 미리 정한 위험 지역안에 관계인 의의 출입을 금하는 등 위해 발생의 염려가 없음을 확인하고 점화할 것.

(13) 연화를 쏘아 올리거나 폭발 또는 연소시키고 있을 때에는 그 장소의 부근에서 연화의 발사용 화약의 계량을 하지 아니할 것.

(14) 연화의 발사용 화약에 점화하여도 그 화약이 폭발 또는 연소되지 아니할 때에는 당해 발사통에 다량의 물을 넣고 10분 이상 경과한 뒤에 서서히 발사통을 눕히어 연화를 꺼낼 것.

(15) 불발된 연화가 있을 때에는 지체없이 이를 회수하여 물에 넣는 등 적절한 안전 조치를 할 것.

2) 타상연화의 사용은 화약류 관리 보안책임자의 책임하에 하여야 한다.

2. 문현에 의한 사용 방법

일본에서 발행된 문현이나 협회지에 의하면 연화를 안전하게 사용하기 위한 방법으로는 다음과 같이 요약, 정리할 수 있다.

* 연화의 사용 방법 *

1) 연화의 운반 취급시에는 난폭하게 취급하지 않도록 한다.

2) 연화의 보관 위치는 발사포로 부터 가능한 멀리 바람부는 방향에 두어야 하며 사고나 도난의 우려가 없는 장소를 택해야 하며 별도 기록인을 두어서 감시토록 한다.

3) 발사장소는 평활하고 넓으며 가까이에 화재의 우려가 없는 장소를 택하여 통로를 감안한 운반이 용이한 장소를 선택한다.

4) 발사전 도화선 흡습·옥의변형·BP 누출등 이상유무를 검사해야 하며 검사결과 불량판정은 표기하여 별도 용기에 보관 처리한다.

5) 발사장소에는 물을 가득 채운 드럼·바퀴 및 소화기등을 준비해 놓아야 하며 주변이 인화성이 있는 나무·풀등의 초지일 경우에는 물을 뿌려둔다.

6) 작업자는 절대 음주를 금한다.

7) 발사장소에서는 흡연등 화기 취급을 일절 금하며 이들은 발사장소로 부터 바람부는 반대 방향으로 20 미터 이상 떨어져야 한다.

8) 발사장소 주변에는 “연화” “출입금지” “화기임금” 등의 표지를 붙여두고 관계자외 출입을 금한다.

9) 작업 중 창상·복통 일사병등을 대비한 내·외과용 구급약품을 준비해야 한다.

10) 발사통은 견고하게 고정해야 하며 8" 이상의 대형포는 3 군데 이상 고정시킨다.

11) 야간 발사시에는 발사장소에 간단한 조명 설치를 하여야 한다.

12) 발사통은 풍향을 고려하여 설치해야 한다.

13) 타상연화의 추진약 계량은 발사시에는 금하고 가능한 발사전이나 공장에서 계량해 놓아야 한다.

14) 2인 이상 발사 작업시에는 발사통 상호 간 거리는 2 미터 이상 유지해야 한다.

15) 강풍·폭우·화재경보 발령시에는 연화 사용을 중지한다.

16) 작업자는 방염처리된 작업복을 입고 안전화·장갑·운동화 등으로 가벼운 복장을 한다.

17) 발사통은 연소잔사의 제거를 위해 젖은 소제기구로 청소하여야 하며 이때 발사통이 젖어 BP 등이 흡습되는 점에 특히 주의한다.

18) 연화는 발사시 불똥에 의한 사고방지를 위해 뚜껑 있는 용기에 수납·밀폐하고 옥은 소탕색 꺼내며 특히 방화와 우뢰를 막기위해 시트 등으로 덮어 놓아야 한다.

19) 작업자는 지휘자·장진자·운반자·포소제자·옥정리자·급구체등으로 구분하여 규모에

1-1. 한국의 경우

〈表 1〉

爆發物 事故 發生 狀況(韓國)

구분 년도	발생건수	발생 원인						피해		
		이회중	고철수집	습득장난	불의폭발	다용도	기타	사망	부상	물질 피해(원)
1962	287	11	37	142	46	22	29	154	363	—
1963	221	18	45	68	25	29	36	190	324	—
1964	204	21	64	46	40	14	19	152	261	600
1965	200	16	71	59	40	6	8	194	283	28,000
1966	270	25	126	84	26	4	5	205	372	36,50
1967	206	43	41	80	36	1	5	137	264	35,000
1968	110	12	15	50	23	1	9	56	158	—
1969	110	14	17	46	14	12	13	61	192	267,955
1970	132	19	11	49	21	1	31	67	199	355,000
1971	129	24	10	49	19	3	34	67	194	—
1972	88	9	13	37	14	1	14	76	130	103건
1976	78	3	6	37	20	1	11	40	93	—
1977	51	2	5	19	14	—	11	101	1,475	—
1978	45	1	3	16	10	1	14	30	58	—
합계	2,131건	218	764	782건	348	96	239	1530	4366	690,308

구분 년도	연령별			폭발물 종류								
	10세 이하	20세 까지	21세 이상	수류탄	로켓트탄	박격포탄	지뢰	소총탄	다이너마이트	연화	기타	포탄
사망	부상	사망	부상	사망	부상							
1962	26	94	43	110	85	159	17	22	28	27	14	12
1963	45	87	49	118	96	119	20	17	9	20	7	25
1964	34	53	29	104	89	104	20	5	11	38	5	28
1965	45	55	47	83	102	145	14	7	12	31	4	15
1966	23	93	56	126	126	153	16	7	11	33	4	26
1967	25	55	44	105	08	104	16	4	17	19	6	32
1968	10	30	18	81	28	47	13	3	5	13	5	10
1969	13	50	24	88	25	54	15	2	3	10	4	14
1970	18	24	22	97	27	78	11	8	8	10	1	15
1971	18	35	23	103	26	56	20	8	2	6	—	18
1972	13	25	27	71	36	34	7	14	8	7	—	19
1976							3	4	1	14	1	12
1977							5	—	3	7	2	20
1978							8	1	5	4	—	17
합계	270	601	382	1085	648	1053	185	102	123	239	53	263
											50	576
												546

따라 겹임 증원을 할 수 있다.

20) 발사자는 겹화등 작업시 가능한 낮은 자세로 조작해야 한다.

21) 작업 전·후라 할지라도 발사포 상부에 손이 간다든가 들여다 보아서는 안된다.

22) 불발 연화는 즉시 회수하여 물에 넣는등의 적절한 조치를 취해야 하며 당일 회수가 불가능할 경우 일반인의 출입이 있기 전인 아침 일찍 회수 조치하여야 한다.

나) 화약류에 대한 사고 분석

표에서와 같이 내무부 치안본부 보안과에서 집계한 화약류 사고 사례는

1. 한국의 경우

폭발물 사고 발생 현황으로는 1962~1978년 사이 폭발물에 의한 사고 총 2,137 건 중 습득 장난에 의한 사고가 782 건으로 가장 많으며 폭발물 종류별로는 총 9 종류 2,138 건에서 연화로 인한 사고는 50 건을 차지한다.

2. 일본의 경우

화약류 제조중 폭발 사고는 1902~1962년 사이 총 768 건 중 연화사고가 349 건 중 사망 579. 부상 795 건으로 가장 높으며, 사용중 폭발 사

고로는 동기간에 총 2,217 건 중 150 건으로 78 명 사망, 719 명 부상으로 굉장히 높은 편이다.

이에 대한 사고 방지 대책으로는 화약류 사고는 H.W. Heinrich 가 제안한 300:29:1의 법칙이 적용될 수 없으며 Near Accident 현상도 없을뿐더러 사고는 우연이 있을 수 없다.

그러므로 기술적 대책, 관리적 대책의 확립이 요구되며 또한 교육적 훈련도 필요하다. 이들 안전 대책을 효율적으로 운영하기 위한 기구의 설정도 또한 필연적으로 요구된다.

결론적으로 기술(Engineering), 교육(Education), 규제(Enforcement)의 3E를 효율적으로 운영 관리해야 한다.

1-2 일본의 경우

〈表 2〉 火薬類 製造中의 爆發事故(1903~1962, 日本)

種 別	件 數	死亡者數	負傷者數	種 別	數	死亡者數	負傷者數
黑色火薬	9	32	27	해키소젠	7	1	10
綿火薬	9	1	9	네트릴	9	4	5
無煙火蘇	51	61	170	雷汞 및 爆粉	39	59	160
니트로글리세린	16	14	47	室化 납 및 爆粉	22	3	14
다이나마이트	13	28	101	工業雷管	25	17	41
질산암모늄爆蘇	3	0	0	電氣雷管	29	26	38
피크로酸	4	8	19	導火線	10	7	13
TNT	6	3	1	軍用火工品	165	395	484
페트리트	2	4	4	煙火	349	579	795

〈表 3〉 火薬類의 運搬 및 貯藏中의 事故(1902~1962, 日本)

	件 數	死 亡 者 數	負 傷 者 數
運 搬 中	31	188	802
貯 藏 中	42	25	8

〈表 4〉 火薬類 使用中의 爆發事故(1902~1962, 日本)

作 業 別	件 數	死 亡 者 數	負 傷 者 數	
發 破	不發 및 殘留 待避遲延 岩石落下 및 飛石 裝填中 電氣雷管結線中 信號不完全 早期接近 待避場所不適合 運搬中 다이나마이트融解中 其 他	502 402 209 160 22 71 216 57 34 42 352	410 398 204 132 28 61 188 53 42 64 530	1,175 550 194 252 48 82 144 24 49 106 775
煙 火	各種作業中	150	78	719

한편 表 4에서 보는 바와 같이 火藥類 使用 中의 發生한 事故는 不發 및 殘留가 最高發生率 을 나타냈으며 待避遲延, 早期接近의 順序로 되어 있으며, 煙火는 製造中이나 使用時 보다 事故發生의 頻度가 매우 커다는 事實을 알았다. 그리고 火藥類를 運搬 및 貯藏할 때도 (表 3) 事故의 發生은 比較的 커으며 많은 死傷者를 냈다는 事實도 無視할수는 없는 일이라고 생각된다.

다) 안전거리 확보를 위한 실험 결과

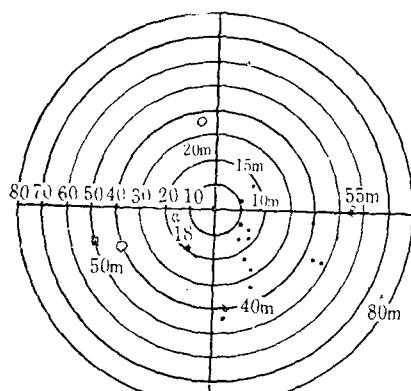
당사에서 제조한 타상연화는 1984. 5~7월까지 연화 개발팀에서 연구한 바에 의하면 연화의 평균 발사속도는 66m/sec이며 개화는 4초 후 임으로 법규에서 규정한 20미터의 고도를 훨씬 Over 한바 고도에 대한 안정성은 입증되었으며 또한 Safety time interval도 11.5초라는 광범위한 범위를 갖고 있으므로 개화에 대한 안정성은 충분히 입증되었다. 이에 덧붙여 불발연화 발생 등 만약의 사고를 대비한 연화 발사시 안전 거리에 대해 다시 한번 정리하고자 한다.

* 실험 예

1) 소화 31년 1월 동경군에서 청수무부씨가 실시한 각 종류별 흑우의 낙하 지점은 그림 1과 같으며 그중 5" 연화의 경우 보통 반경 5—80미터 지점에 낙하 한다.

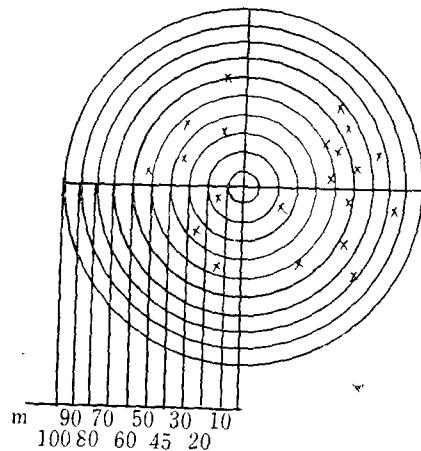
2) 1981년 9월 20일 당공장 염전에서 120발의 흑우 실험을 실시한 결과 그림 2 같으며

[그림 1]



三·四寸王

[그림 2]



15, 52, 60, 65, 80 미터 등으로 보통 30—90 미터 지점에 낙하하였다.

3) 1984년 9월 3일 당공장 염전 사무실앞에서 실시한 118발의 고도측정 시험에서 다음과 같이 고도와 예측 낙하 지점을 계산할 수 있다.

(1) 실험방법 : 5" 연화 118발을 각 3발씩 약 90g, 80, 70, 60, 50, 40 고도 측정을 한 결과 최고고도 183.84미터, 최저고도 97.48미터이었다.

(2) 고도측정법 : Transit 간이 측정법으로 각 도를 구해 거리 300미터를 계산

(3) 계산방법

가) 고도 계산법

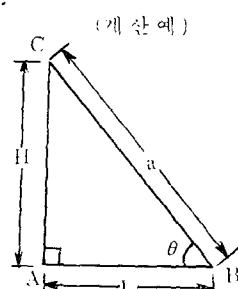
(가정) ○ 수직으로 발사된다.

○ 바람의 영향은 무시한다.

○ 발사포의 유격은 무시한다.

○ 발사포는 수직으로 놓여져 있다.

○ 기타 factor 모두를 무시한다.



A : 발사포의 위치

C : 개화점

B : 측정위치 (Transit)

L : 거리 = 300 미터

H : 고도

θ : 측정 각 (31.5°) ($+10^\circ$)

(9) 피타고라스의 정리에 의해

$$H^2 + L^2 = a^2$$

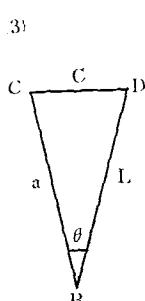
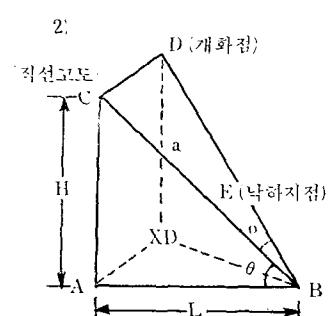
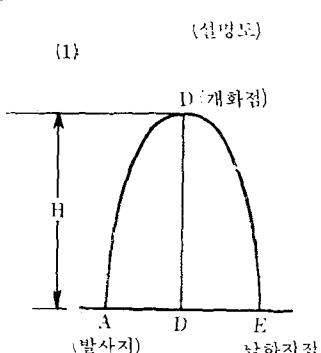
$$* H = \tan \theta \times L$$

$$= \tan 31.5 \times 300m = 183.84m$$

나) 낙하지점 계산법

- (가정) ○ 고도 계산법의 1, 2, 3, 4, 5 항 성립
 ○ 개화점은 발사지와 낙하지점의 정중
 앙에서 터진다.
 ○ 평작은 무시하고 최대 각이 최대 개
 화점이다.
 ○ $a=b$ 이다.

(설명도)



(계산예)

피타고라스 정리에 의해

$$H^2 + L^2 = a^2$$

$$* a^2 = H^2 + L^2 = 300^2 + 183.84^2 = 123797$$

$$a = \sqrt{123797} = 351.848m$$

coshin 제 1 법칙은

$$a^2 = ac \cos B - ab \cos C$$

$$b^2 = ab \cos C + bc \cos A$$

$$c^2 = ac \cos B + bc \cos A$$
 이므로

coshin 제 2 법칙은

$$a^2 - b^2 - c^2 = -2bc \cos A$$

$$* a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$
 이다.

그러므로 $c^2 = b^2 + a^2 - 2ab \cos C$

$$= 351.84^2 + 351.84^2 - 2 \times 351.84$$

$$\times \cos 10$$

$$= 3761.5119$$

$$* C = 3761.5119 = 61.331m(AD)$$

$$AE = 2AD$$
 이므로

$$* AE = 61.331 \times 2 = 122.662m$$
 이다

2. 실제 흑옥 발생 예

1975년~1984년 사이 당공장에서 실제 발사한 연화중 흑옥에 의한 사고에는 78년 경희대 학교에서 일어나서 1명 중상의 예가 있으며 기타 30m, 50m, 60m, 50m, 90m 지점에 떨어졌다. 예가 있다.

연도	장소	낙하지점	낙하수
78년	경희대 축제	30m 지점 1발	1발
84년	올림픽 개선 국민축제 국군의 날 행사	50m, 60m 지점 각 1발 50m, 90m 지점 각 1발	2발 2발
계			5발

3. 안전 거리 설정

- 1) 문현상 최대 낙하지점은 반경 80m
- 2) 실험 및 실제 최대 낙하지점은 반경 90m
- 3) 이론상 예상 낙하지점은 반경 122m 이므로 기타 포 위치 불균일, 포와 옥의 유격으로 인한 오차등을 감안하면 반경 150m로 설정할 수 있다.

III. 결 론

연화 발사 장소의 안전 거리 확보는 반경 150m 가 되어야 하며 불발화약류는 즉시 회수 조치 하여야 한다.

덧붙여 연화 발사시 주의사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

가) 연화 발사시 주의사항—안전수칙—

(1) 연화 발사 장소의 안전 거리는 반경 150m 이어야 한다.

(2) 연화 사용 장소로 부터 풍하 20m 이내에서는 흡연을 하여서는 아니된다(풍상 방향에서는 염금).

(3) 발사 작업자는 헬멧, 보호장갑·방열복·안전화를 착용하고 복장은 작업에 적합한 것을 입어야 한다.

(4) 발사 작업자는 점화원을 들고 다녀서는 아니되며 점화후는 본인 앞지면의 적정 위치에 놓고 사용 하여야 한다.

(5) 발사자(점화자)는 특별한 경우를 제외하고는 1명이 한다.

(6) 발사시 풍향에 의한 불티의 날림을 확인하면서 작업에 임하여야 한다.

(7) 연화포는 풍향을 고려하여 치하고 지면과 수직으로 밀착되도록 설치하고 발사 충격으로 넘어지지 않게 고정하여야 한다.

(8) 연화를 사용하고자 하는 장소의 부근에는 소화 작업에 필요한 소화기·방화수·소방차 및 구급차를 대기 하여야 한다.

(9) 발사 작업자는 음주를 하고 작업에 임하여서는 안된다.

(10) 연화의 적재 장소에는 감시자가 있어야 하며 화기에 의한 발화가 안되도록 조치하여야 한다.

(11) 연화를 장진한 후에는 불연성 씨트로 덮어 놓아야 한다.

(12) 연화포는 원형이 변형 되었나 혹은 이물질이 들어 있나를 확인한 후 사용하여야 한다.

(13) 장진 작업시는 소량씩 운반하여 포 내부를 확인한후 1발씩 포구를 비껴서서 서서히 추

진 약부가 밑중심에 오도록 넣는다.

(14) 인화포에서 연화가 발사되지 않았을 때는 다량의 물을 주입하고 그대로 방치후 작업 종료후(10분 이상) 제거 조치하여야 한다.

(15) 발사 종료후에는 포 내부의 불티를 제거하고 완전히 식은후 처리하여야 한다.

(16) 불발연화 및 불발화약류가 발생시는 자체 없이 회수조치하여야 한다.

(17) 점화는 최대한 낮은 자세로 하고 속화선 점화를 확인한후 신속히 허리를 굽힌 상태에서 5m 이상 대피한다.

(18) 사용전 연화에 부착된 속화선 흑색화약의 흡습 및 변형여부와 발사포의 흡습·부식·변형 여부등을 검사후 발사작업에 임해야 한다.

나) 사고 방지를 위한 보완사항

1. 별도의 Pyrotechnician 면허 제도가 필요하다.

2. 발사 장소는 발사 책임자가 사전에 답사 선정하여야 한다.

3. 발사장소에서는 절대 발사 책임자 주관하에 시행하여야 한다(강력한 지휘체계 확립)

4. 행사 주최측과 발사 책임자간의 사전 협의가 요망된다.

5. 작업 시작전에 지휘자, 장전자, 운반자, 점화자, 정리자, 감시자 등 임무를 부여하여 책임제로 실시한다.

6. 불발등으로 인한 사고 방지를 위한 원인 분석 및 해결 방안등 지속적인 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. 연화 제조 기법 '83.12.1.
2. 다이나마이트지 '84.4. p.30.
3. 폴든로 제82065호 '82.5.24.
4. 연화발사 교육자료 '84.9.
5. KEC 타상연화 고도에 따른 안전도 및 품질향상에 관한 고찰(1) '84.9.25.
6. 大韓火薬協會誌 Vol. 4, No. 1, Oct. 1. 1981, p.38~49.
7. 工業火薬協會誌 Vol. 40, No. 3, 1979. p.193.
8. 工業火薬協會誌 Vol. 31, No. 1, 1970. p.40~43.
9. 工業火薬ハソドヅツク