

# 氣體爆藥(Fuel-Air-Explosives, FAE)

崔 星 洛

## 1. 머리 말

産業이 발달하면서 비례적으로 우발적인 爆發事故(Accidental Explosion)의 빈도와 그 규모가 증대하여 왔다. 이러한 事故는 말할나위도 없이 科學技術文明의 발달로 부터 야기된 원치않았던 부산물이다.

産業革命후 石炭의 수요가 급증하였고 이때부터 炭鑛에서의 炭塵爆發(Coal Dust Explosion)事故가 人類에 소개되었다. 근래에 와서 石油가 주요한 에너지源으로 등장하고 石油化學工業이 급속히 발전하면서 化學工場에서 폭발사고가 일어나기 시작하였고 고압상태로 液化된 연료의 저장, 운동 및 사용과정에서 氣象爆發(Gaseous Explosion)事故가 빈번하게 발생하여 왔다<sup>1)</sup>.

可燃性 炭化水素나 그의 유도체가 저장 容器로부터 大氣중으로 流出될때 발생할 수 있는 현상은 다음 네가지 경우중 하나이다.

① 燃料가 유출된 후에도 點火되지 않고 大氣중에 分散稀釋되어 아무 사고도 일어나지 않는 경우,

② 유출되는 즉시 點火源에 의해 火災가 발생하나 폭발이 일어나지 않는 경우,

③ 燃料가 보다 넓은 空間으로 分散된후에 點火가 일어나 보다 큰 규모의 火災가 발생하는 경우,

④ 유출된 燃料가 大氣중에 분산된 후 點火되며 形成된 火염이 빠른속도로 가속되어 파괴적인 爆轟波(Detonation Wave)를 생성하는 경우, 마지막 경우는 事故發生時 앞의 세 경우에 비해 피해가 훨씬 크며, 1974年 英國 Flixborough 에

서 발생하였던 Nypro 化學工場 폭발사고는 이러한 例이다. 약 150°C로 加熱되어 있던 45톤의 Cyclohexanone 이 유출된 후 미확인된 點火源에 의해 폭발이 일어났는데 공장주변 2km 半徑내의 모든 住宅이 完破된 정도의 威力的인 폭발사고 였다<sup>2)</sup>.

이러한 사고는 비억류폭발(Unconfined Explosion) 현상의 대표적인 예이다.

可燃性化合物 즉, 연료와 空氣의 혼합물이 爆發에너지를 供給해 준다는 이유에서 이 현상은 "Fuel-Air-Explosion"이라고 일반적으로 불리운다.

이러한 FAE현상을 軍事的 목적으로 사용하기 위해 武器化한 것을 총칭하여 氣體爆彈(Fuel-Air-Explosive Munition)이라 부르며, 연료와 공기의 혼합물을 氣體爆藥(Fuel-Air-Explosives), 約語로는 FAX 또는 FAE로 부른다.

學術文獻 및 軍事報告書에서 "Fuel-Air-Explosion"과 "Fuel-Air-Explosives"를 모두 FAE로 표시하는 경우가 많기 때문에 讀者들은 글의 前後關係를 고려하여 이를 구분해야 할것이다. 이 글에서는 "Fuel-Air-Explosive"를 FAE로, "Fuel-Air-Explosion"을 FAE 爆發로 기술한다.

## 2. 氣體爆藥(Fuel-Air-Explosives), 氣體爆發(Fuel-Air-Explosion)의 특성

氣體爆彈(Fuel-Air-Explosive Munition)의 기본적인 武器概念은 "연료를 넓은 地域에 분산시킨 후 연료가 空氣중에 확산되어 爆轟(Detonable) 가능한 연료/공기(比)를 형성할때 自然點火裝置를 사용 起爆시키므로서 爆轟波(Detonation

〈표 1〉

연료의 연소열과 고폭약의 폭발열과의 비교

구 분	화 합 물	반 응 생 성 물 질	반응열 Kcal/g	비 고
연 료	수소(H <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O	28.5	아분자 산화반응
	알루미늄(Al)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.1	
	에틸렌옥사이드(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)	CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O	6.55	
	아세틸렌(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	CO+H <sub>2</sub> O	6.4	
고 폭 약	HMX (cyclotetramethylenetetranitramine)	H <sub>2</sub> O+CO+N <sub>2</sub>	1.3	단분자 분해반응
	HBX (RDX, TNT 및 Alumium)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O+CO	1.9	

Wave) 및 爆風波(Blast Wave)를 生成, 過壓(Overpressure)效果에 의해 목표물을 파괴하는 것"이다.

爆藥의 위력을 결정하는 중요한 요소중의 하나는 爆藥物質 單位重量當 방출하는 反應熱(Heat of Reaction)이다.

燃料가 大氣중에 분산되어서 酸素와 當量比(Stoichiometric Ratio) 또는 그 이상의 濃度條件을 형성한 상태에서 점화되어 爆轟反應(Detoration Reaction)이 일어날 경우 主反應은 酸化反應이며 이때 발생하는 燃燒熱(Heat of Combustion)은 單位重量의 연료를 기준으로 생각할때 TNT와 같은 高爆藥(Higt Explosive)의 爆藥熱(Heat of Explosion)보다 5 배이상 크다.(표 1 참조)

이러한 사실은 大氣중의 酸素를 酸化體로 사용하는 FAE 爆發의 경우 同一重量의 고폭약에 비해 5 배 이상의 에너지를 放出할 수 있다는 것을 의미하게 된다.

이러한 사실에도 불구하고 FAE 爆發時 얻어지는 爆轟波의 最高壓(Peak Pressure)이 200~300 psi로 밝혀졌기 때문에 百만 psi 單位의 最高壓을 生成하는 고폭약 폭발현상연구에 종사하던 科學者나 工學者들이 氣體狀態(혹은 에어러줄 상태)에서 비억류형태(Unconfined Fashion)로 발생하는 FAE 爆發現象을 軍事的으로 이용할 수 있다고 믿기까지는 상당히 많은 시간이 소요되었다.

그러나 爆風型 武器(Blast Weapon)에 대한 標的分析(Target Analysis)이 체계적으로 연구되면서 200 psi 이하의 最高壓을 갖는 壓力波도 많은 종류의 표적에 대해 破壞的이고 效果의 일 수 있

다는 사실이 알려짐에 따라 FAE 爆發現象의 군사적 利用價值가 구체적으로 평가되기 시작하였다.<sup>3)</sup>

그렇다면 FAE의 특성은 무엇인가? 또 TNT와 같은 基準의 高爆藥과 다른점은 무엇인가?에 대해 잠시 생각해 보고자 한다.

앞서 記述한 바와같이 FAE 爆發反應으로 부터 발생하는 發熱量은 酸化에틸렌(Ethyrene Oxide)의 경우 6.55 Kcal/gr으로서 TNT와 같은 高爆藥의 폭발반응시 爆發熱 약 1 Kcal/gr에 비해 훨씬 크다.

이것은 FAE의 경우 反應形態가 이 原子酸化反應인데 반해 TNT의 경우나 보통 高爆藥의 폭발반응기구(Mechanism)가 單分子 分解反應形態(Unimoleculay Decomposition Reaction)를 취한다는 사실과, FAE 경우 大氣중의 酸素를 酸化劑로 사용하기 때문에 單位燃料重量當 發熱量이 상대적으로 커지게 된다는 점에 기인한다.

이 사실은 FAE가 지니고 있는 強點으로 평가될 수 있다.

그러나 이 사실이 잘못 認識되어 "FAE는 同一重量의 TNT나 기타 高爆藥에 비해 5~6 배의 威力이 있다"고 여겨진적이 있었다. 이는 폭약의 위력을 放出하는 爆發에너지 크기뿐만 아니라 比較한데에서 기인한 잘못이라 여겨진다.

한편, FAE 爆發時 나타나는 爆轟壓力(P<sub>2</sub>)은 열수력학적(Thermohydro Dynamic)이론으로부터 아래와 같이 근사적으로 표시된다.

$$P_2 = \frac{1}{\gamma_2 + 1} (\delta_1 D)^2$$

〈표 2〉

당량비 FAE의 폭굉특성

연료	폭굉압력(P <sub>2</sub> )atm	기체밀도(δ <sub>1</sub> )g/cm <sup>3</sup>	폭굉속도(D)km/sec
메탄(Methane)	16.58	0.001903	1,837
산화프로피렌(Propylene Oxide)	19.80	0.002274	1,826
가솔린(Gasoline)	19.05	0.002266	1,807
알루미늄분말(Al)	24.30	0.002784	1,847
키로신(Kerosene)	17.05	0.002313	1,789

여기서  $\gamma_2 = C_p$  (정압에서의 열용량) /  $C_v$  (정용력에서의 열용량)로 폭발상태에서의 값이고  $\delta_1$ 은 FAE의 밀도, D는 폭굉속도(Detonation Velocity)를 각각 나타낸다. 표 2에서 FAE 폭발시 폭굉속도는 약 1,800m/sec이며, 대기중에 연료가 분산, 공기중의 산소와 혼합되어 당량비를 형성할 때 기체밀도는 약 0.002 g/cm<sup>3</sup> 정도임을 알 수 있고  $\gamma_2 = 1.3$ 의 값을 취할 때 앞의 식으로부터 계산되는 P<sub>2</sub> 값은 약 20기압, 즉 약 300 psi 정도임을 알 수 있다.

TNT와 같은 고폭약은  $\delta_1 = 1.0 \sim 1.7$  (g/cm<sup>3</sup>),  $D = 6,000 \sim 7,000$  m/sec의 값을 갖기 때문에 앞의 식으로 부터의 TNT 경우 P<sub>2</sub> 값은 FAE에 비해 약 10<sup>4</sup>배가량 클 것이 쉽게 예상된다.

따라서 放出에너지가 크고(약 5배), 폭발시 폭굉波의 압력이 훨씬 적다(10<sup>4</sup> 배)는 사실과 낮은 밀도 조건(고체폭약의 약 10<sup>-3</sup> 배) 등으로 부터는 同一重量의 고폭약에 비해 보다 넓은 공간(약 10<sup>3</sup> 배)속에 보다 넓은 공간(약 10<sup>3</sup> 배)속에 보다 많은 량의 에너지를 보다 느린 형태로 放出한다는 사실을 알 수 있다.

이를 다른 말로 요약하면, 즉 FAE는 고폭약에 비해 넓은 공간에 매우 낮은 에너지源密度 ( $\frac{\text{에너지}}{\text{부피} \times \text{시간}}$ )를 갖는 폭약이라는 것이다.

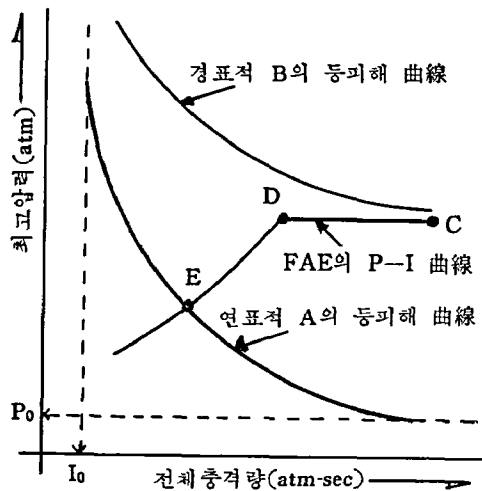
FAE와 같은 폭풍型武器의 파괴효과는 폭발파의 最高過壓(Peak Overpressure, P)에만 의존하는 것이 아니고 作用壓力的 시간에 대한 積分値에 해당하는 충격량(Impulse, I)과 最高過壓의 복합효과에 의해 결정된다<sup>4)</sup>.

따라서 폭풍型武器의 파괴효과를 판정하기 위해서는 일반적으로 P-I 曲線法을 이용한다<sup>4)</sup>. 이 방법은 피해를 받을 표적물의 등피해曲線(Iso-Damage Curve)과 폭풍波의 P-I 曲線을 비교함

으로써 파괴효과 有無를 판단하는 기준으로 삼는다.

標的物의 등피해曲線과 폭풍효과를 나타내는 P-I 曲線을 중첩시켰을 때 두曲線의 교점(E)을 기준하여 등피해曲線의 右上部分에 폭풍효과를 나타내는 P-I 曲線이 존재할 때 주어진 표적에 대해 被害效果가 있다는 것을 의미한다<sup>5)</sup>. (그림 1참조)

여기서 등피해曲線에 대해 고찰해볼 필요가 있다. 등피해曲線은 주어진 標的物에 지정된 피해효과를 줄 수 있는 最高過壓 P와 충격량 I 사이의 관계를 말하는데, 그림 1에서와 같이  $I < I_0$  인 경우 P가 아무리 큰 값을 갖는다 하더라도 이 표적에 被害를 줄 수 없으며,  $P < P_0$  인 경우 역시 아무리 I 값이 크더라도 피해가 發生하지 않



〈그림 1〉 임의의 표적 A, B에 대한 FAE의 상대적 파괴효과

- 점 C: FAE 구름의 중심점,
- 점 D: FAE 구름과 대기와의 경계점,
- 점 E: 연표적 A에 대한 FAE의 파괴효과가 가능한 폭발지점 C에서의 최대거리 지점.

는다.

이러한 性質은 모든 표적물의 本質的인 특성으로서 FAE의 武器效果를 평가하는데 있어 표적물의 특성을 고려해야 된다는 必然性이 여기에 내포되어 있다.

FAE와 같은 爆風型武器의 P-I 曲線의 특징은 연료/공기混合物 내에서 爆轟壓力과 層積量이 軍事的으로 일정하고 최대값을 갖게되며, 혼합물과 大氣와의 경계를 始發로하여 距離가 멀어질수록 P와 I 값은 급격히 감소한다.

따라서 공기/혼합물 내부에서의 破壞效果가 혼합물의 바깥地域보다 훨씬 크리라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다.

TNT와 같은 高爆藥의 경우 P-I 曲線은 에너지源密度가 극히 크고 點源(Point Source)으로 볼 수 있기 때문에 同一重量의 FAE와 비교시 그림1에서 점 C보다 훨씬 큰 P와 I 값을 갖는 점에서 출발하나 D와 같은 特性點을 갖지않고 급속히 距離에 따라 감소하는 경향을 보인다고 생각하면 크게 틀리지 않는다.

따라서 FAE는 高爆藥에 비해 標的破壞에 있어 넓은 面積을 갖고 충격량에 예민한 연표적(Soft Target)에 대해 매우 효과적일 수 있는 반면 큰 最高過壓을 요하는 경표적(Hard Target)에 대해서는 일반적으로 非效果의이라 말할 수 있다.

### 3. 氣體爆彈(Fuel-Air-Explosive Munition)

#### 開發略史 및 彈의 종류<sup>6, 7, 8, 9, 10, 11)</sup>

現在까지 FAE 彈을 개발하여 확보하고 있는 나라는 美國과 소련 2개국으로 알려져 있다. 소련의 FAE 연구현황에 관한 자료가 全無한 상태이고, 따라서 주로 美國의 FAE 彈의 開發略史와 개발된 FAE 彈을 소개하고자 한다.

1960~1962年 사이에 美國 海軍兵器試驗所(U.S. Naval Ordnance Test Station)에서는 FAE 彈의 개발가능성 檢討를 실시하였다<sup>3)</sup>.

그들이 검토한 主要內容은 FAE가 지니고 있는 本質的인 특성, FAE의 武器化 방안, 그리고 FAE의 파괴효과에 관한 分析으로 이루어져 있다.

◎ 酸化에틸렌(Ethylene Oxide)와 같은 연료가 넓은 범위의 爆轟限界(Detonability Limit)를 갖고, 비교적 낮은 點火에너지에 의해 짧은 誘導過程(Induction Period)을 거쳐 爆轟波를 生成한다는 점에서 적합한 FAE 燃料로 사용될 수 있다는 사실,

◎ 燃料分散은 液化된 연료를 거의 순간적으로 분산시켜야만 氣象條件의 영향을 받지않기 때문에 高爆藥을 사용하는 燃料分散方式이 적합하며,

◎ 點火方式은 遲延信管과 결합된 폭발계열의 主爆藥(Main Charge)을 폭발성 FAE 구름 내에서 폭발시킴으로서 誘導過程없이 직접 爆轟波를 生成시키는 방식(Direct Initiation, 또는 Shock Induced Detonation 이라 부름)이 효과적이라는 점.

등을 지적하였고 그들은 최종적으로 FAE의 破壞效果를 평가하기 위하여 여러種類의 표적에 대하여 FAE 試驗彈(酸化에틸렌 5~10 파운드 규모)을 사용하여 野外試驗을 실시하였는데 그들이 얻은 試驗結果는 매우 고무적이었다. 그림 2, 3은 B-29 航空機를 표적으로 사용한 FAE의 野外試驗 결과를 보여주고 있다.

이러한 검토 및 기초연구 결과를 토대로하여 1966年 美國海軍武器研究所(US. Naval Weapons Center, China Lake)는 美國最初의 FAE 彈인 CBU 55/B 設計를 완료한후 1969年 Honeywell Inc. 과 공동으로 이 彈을 연구개발, 1970年 1次로 500 만弗을 투입하여 200基의 CBU 55/B를 試製하였다.

이 彈에 대한 運用試驗(Operational Test)은 1969~1970年사이 美海兵隊에 의해 파나마와 越南에서 각각 수행된 것으로 알려져 있다.

이에 앞서 1967年 越南에서 地雷除去를 목적으로 CBU-55/B에 單位彈으로 사용되는 100 파운드級 BLU-73 子彈(Bomblet) 20여발이 美工兵隊에 의해 地上에서 靜的으로 사용되었다는 기록도 있다.

1971年 越南에서의 運用시험 종결후 美海軍은 500 파운드級 CBU-55/B FAE 母子爆彈(Cluster Bomb)을 정글地域에서의 視界淸宵나 지뢰지대 除去를 위한 標準武器로 채택하였다.

CBU 55/B는 直徑 약 30cm, 길이 50cm를 갖는 100 파운드級 BLU-73 FAE 子爆彈 3개와 彈體(Dispenser)로 구성되어 있다. CBU 55/B가 비행기로부터 投下되면 3개의 BLU-73은 彈體로부터 분리되어 低抗낙하산(Droge Pavachutes)에 의해 減速落下하다가 地面에 충돌시 子彈體가 파열되면 내부에 充塡된 液體酸化에칠렌이 直徑 약 15m, 높이 2~3m의 煙霧/공기혼합물을 生成하는데, 이 혼합물은 遲延作用點火爆藥에 의해 起爆, 爆風過壓(약 300 psi)을 발생한다고 報告되어 있다.

CBU 55/B는 헬리콥터등 低速航空機用으로 개발되었는데(그림 2, 3참조) 運用試驗結果 목표물에 대한 투하정확도에 있어서는 다소의 결함(낙하산 사용에 기인)사항이 있는 것으로 알려져 있다.

投下最終速度(Terminal Velocity)를 증대시키고 高速航空機에 적재할 수 있는 FAE 母子爆彈 CBU-72가 개발된것으로 알려져 있으나, 그 諸元과 내용은 公開되지 않고있다.

美國에서의 초기의 FAE 彈 개발이 美海軍에 의해 主導되었고 매우 성공적이었다는 사실은 美陸軍을 크게 자극하여 1972~1973년에 독자적인 FAE 연구개발계획을 수립하게 하였다.

美陸軍은 4~20km 거리내에 있는 각종 地雷埋設地域을 청소하거나 탱크群 등을 무력화할 수

있는 武器시스템을 개발하는데 중점을 두었고, 1973年 地雷除去를 목적으로 FAE 방사포 시스템(Surface Launching Unit Fuel-Air Explosive; SLUFAE) 개발에 착수한 후 性能試驗까지 완료한 것으로 報告되어 있다.

2次大戰후 地雷除去를 목적으로 개발된 가장 효과적인 武器로 평가되고 있는 SLUFAE는 地上發射式으로 M548 軌道車輛(5톤)에 탑재된 30聯裝로켓트 발사기(차체중량 59kg)로 FAE 彈을 발사하는 장치이다.

약 80파운드의 燃料(酸化에칠렌 또는 酸化프로필렌)을 充塡한 BLU-73子彈과 동일한 諸元을 갖는 FAE 彈頭들은 파상적으로 발사되는데 이때 彈頭に 연결되어 있는 制동낙하산(Brake Parachute)이 퍼지는 시간을 信管으로 조절하여 地域 조건을 가능케 하도록 설계되어 있다.

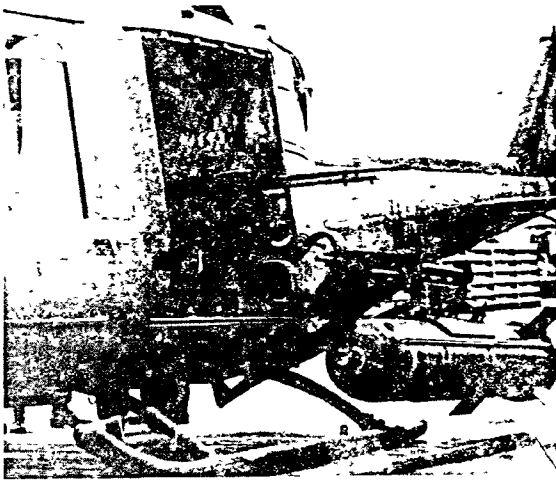
SLUFAE 彈은 30°高度까지는 電氣作動器에 의해 발사되며 30초내에 發射高角狀態로 되고 20秒내에 다시 運行狀態로 낮출 수 있다.

有效射距離는 800m 이므로 友軍과 장비를 敵과 地雷地帶로부터 충분히 보호받는 隱蔽地點에서 폭 8m의 車輛用 通路를 개설할 수 있다.

方向偏差 약 2.5m, 射距離 偏差 약 6m로 알려져 있고 압력식 對戰車地雷, 牽引式 對人地雷 이외에도 磁氣式 內충격地雷와, 水中敷設地雷도 처리된다.



〈그림 2〉 McDonnell Douglas A-1 Skyraider에 14발의 CBU-55 FAE 彈을 장착한 모양

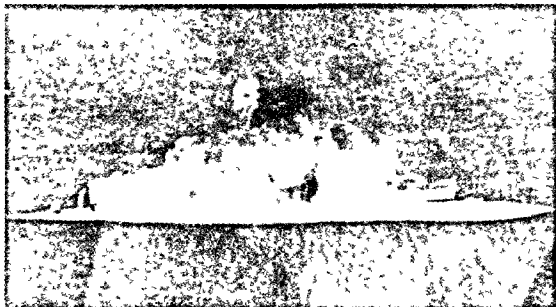


〈그림 3〉 500 파운드級 FAE彈이 UH-1 헬리콥터 후미에 장착되어 있는 모습

1,500m 까지 발사되어 직경 18m의 廣域도 처리할 수 있도록 개량되어 있고 全天候晝夜間에 걸쳐 사용가능하다.

1967年 부터 美空軍(The Weapon Development and Test Center, Eglin AFB)에서는 독자적인 FAE彈 개발계획의 일환으로 2,500 파운드級 低速航空機用 FAE彈을 設計製作하였으나 투하 정확성에 역시 결함사항이 있어 계획이 중단된 것으로 알려져있다.

그후 A-1 航空機 및 F-4 팬텀機에 裝着 可能한 BLU-76 FAE 母子爆彈을 개발한 것으로 알려져 있으나 開發時期 및 그 諸元이 전혀 알려져 있지않다.



〈그림 4〉 호위구축함 USS McNulty 가 FAE 폭풍 효과에 의해 침몰되고 있는 모습

1973年 이후 美空軍은 투하정확도를 증대시키고 高速航空機에 장착가능한 大型 FAE 彈頭

개발에 착수하였다.

500 파운드級 HSF- I (High Speed FAE- I)은 非誘導(Unguided)爆彈으로 1974年말에 Prototype 이 試製된 것으로 알려져 있으나 완전한 開發品은 그후에 이루어 진것으로 믿어진다.

HSF- II 는 2,000 파운드級 FAE 彈으로 주로 着陸狀態의 航空機와 레이더(Radar), 또 그와 비슷한 輕量이면서 高價인 목표물을 겨냥하여 제작했다.

1974年 動的試驗(Dynamic Test)을 실시하였는데 誘導(Guided) 또는 非誘導 爆彈으로 개발가능하다는 판단하에 1975年 이후에도 계속 開發研究되고 있는 것으로 믿어진다.

1973年 이후 美海軍은 高速로켓트와 Cable 또는 Sled 등을 이용하여 여러 飛行速度條件에서 FAE Glide 爆彈의 성능시험을 실시한바 있고, 艦積載對미사일 FAE 武器시스템 개발가능성 검토를 위한 예비시험, FAE의 對潛水艦用 魚雷나 爆雷彈頭로서 사용가능성등을 또한 검토한 것으로 알려져 있다.

美陸軍에서도 FAE의 ABM 시스템에의 사용가능성 여부를 판단키 위하여 高度10km에 해당하는 환경조건하에서 FAE 爆發現象에 대한 연구를 실시한적이 있다.

#### 4. FAE 研究現況

1975年 이후 開發되고 있는 새로운 FAE 武器 시스템이나 彈頭に 관해서는 전혀 알려져 있지 않다. 따라서 “비억류폭발현상” 研究와 관련된 여러 研究報告書들이나 매년 美空軍에서 주관하여 실시하는 심포지움 “AFOSR Contractor Meeting on Unconfined Detonation and Fuel Air-Explosion Related Research”의 發表論文題目내지 抄錄(본문은 秘文化되어 공개되지 않음) 등으로 부터 拔萃한 내용들을 근거로 液體燃料의 분산 연료, 기폭방식등에 관한 최근의 FAE 研究경향을 간략히 기술하여 보고자 한다.

燃料의 分散方式을 개선하여 보다 넓은 面積(半徑 100m 이상)을 찾아하는 연료/공기혼합물을 生成하기 위해 많은 연구가 이루어져왔다.

燃料을 대량으로 充填키 위해 彈體의 大型化

가 한때 시도되었으나 近來에 와서는 적합한 크기의 彈頭들을 Multiple 시스템으로 사용하는 방법도 검토되었다<sup>5)</sup>.

燃料分散時 형성되는 구름의 FAE 幾何學의 形態가 파괴효과에 미치는 영향이 크다는 것이 實驗的으로 입증되었고, 특히 분산된 구름높이에 대한 구름直徑의 크기(比)는 매우 중요한 變數로 알려져 이러한 효과를 評價하기 위해 많은 시험이 수행되어 왔다.

液化된 燃料가 FAE의 燃料로 사용되는 경우 분산된 液體방울 크기의 分布가 起爆效果에 미치는 영향이 크기 때문에 보다 微粒化된 液體방울을 生成시키기 위해 또한 많은 실험이 실시되었다.

보다 效率的인 FAE 燃料를 찾기위한 연구도 계속되고 있다. 高爆藥을 사용하는 재래식 彈頭에 비해 일반적으로 FAE 彈은 密度가 1/2 정도인 液體燃料를 사용하기 때문에 彈의 부피가 상대적으로 커지고 投發時 여러가지 제약조건을 갖는 것이 사실이다.

따라서 높은 密度와 높은 에너지를 갖는 燃料를 찾기 위해 理論的 또는 實驗的인 검토가 계속되어 왔다. 특히 固體燃料에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔고 보론(Boron), 알루미늄, 마그네슘 및 RDX 爆藥粉末등에 대한 FAE 燃料로서의 資質을 갖춘 化學物質로 평가되고 있다.

分散된 FAE 구름을 起爆시키는 방법에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다.

기존의 FAE 彈의 作動機構(Mechanism)는 2 단계로 구성되어 있기 때문에(분산 및 기폭) 信管과 爆發系列(Explosive Train)이 二元化되어 있다. 이는 일반적으로 單一信管爆發系列을 갖는 재래식 武器에 비해 信賴度(Reliability)가 떨어지는 것을 의미한다.

이러한 결함사항을 補完하려는 목적과 起爆方式을 보다 효율적인 것으로 改善하려는 목적으로 소위 全點火方式(Volumetric Initiation)이 한때 활발히 연구되었으며 현재도 계속되고 있는 것으로 믿어진다<sup>13)</sup>.

全點火方式은 개념적으로 無限大數의 點火源을 사용하는 방식이다. 실제 燃料가 분산되는 과정에서 동시에 제 2의 化學物質을 분산시켜 “燃

料酸化劑(대기중의 산소)제 2의 化學物質”로 구성되는 化學反應系에서 일차적으로 燃料分散과 정중 반응성이 지극히 큰 자유라디칼(Free Radical)이 分散구름 내에서 生成되기 시작하여 적절한 크기의 FAE 구름이 形成되는 단계에서 자유라디칼의 濃度가 충분히 큰 값을 갖게되어 라디칼의 존재가 燃料와 大氣중의 酸素(주로 酸素原子)와의 반응을 爆發的으로 유도케하는 것이 原理이다.

이 全點火方式은 단순하고 信賴度가 큰 방법이나, 제 2의 化合物(라디칼 生成體)이 酸化성이 극히 크고 다루기 힘들기 때문에 實用的인 방법으로 개발되지 못하고 있다. 보다 간편한 點火시스템으로 강력한 紫外線펄스(U. V. Light Pulse)를 사용하여 FAE를 Irradiation시켜 光分解反應을 통해 자유라디칼을 生成시키기 위한 노력도 실험적으로 시도되었었다<sup>14)</sup>

閃光分解法(Flash Photolysis)原理를 이용한 점화방식, 뜨거운 증기젯트(jet)를 사용한 點火方式등도 실험실규모로 연구되었었다<sup>14)</sup>.

FAE 현상과 관련된 기초연구, 파괴효과에 대한 理論的 연구등에 관해서는 “Combustion and Flame”, “Astronautica Acta”, “Syposium(International)에 Combustion”등 學術雜誌에 많이 나타나 있어 보다 깊은 관심이 있는 讀者들은 참고하기 바란다.

## 5. 맺음말

FAE 彈은 爆風型武器(Blast-Type Weapon)으로 분류되며 재래식 破片型彈頭(Fragment-Type Weapon)와 다른 특성을 갖는 비교적 새로운 형태의 武器임을 설명하였다.

이 글에서 FAE의 武器概念, 特性, 그리고 FAE 彈에 관하여 두서없는 설명을 하였고 근래의 FAE 연구경향에 대해서도 短篇的으로 소개하여 보았다. 글 쓴 사람이 목적하였던 것은 두 가지였다.

그중 하나는 FAE의 實像을 가능한 한 정확히 소개하는 것이었고 다른 하나는 FAE의 威力를 TNT와 같은 高爆藥과 직접 비교하는 것이 잘못이란 사실을 밝히는 것이었다.

F AE 爆發과 같은 비억류폭발의 효율을 定義하기 위하여 TNT 등가(TNT Equiva Lence) 척도가 최근까지 사용되어 왔었으나 FAE 爆發에서의 에너지 放出速度가 고폭약에 비해 너무 느리기 때문에 生成되는 爆風波의 파괴효과를 TNT의 急速한 폭발과 직접 비교할 경우 심한 착오가 發生한다는 사실이 실험적으로 밝혀지기 시작했다<sup>15)</sup>.

1977年 스웨덴의 스톡홀름에서 열렸던 第6次 "International Colloquium on Gasdynamics of Explosion and Reactive System"에서 獨逸의 Göttingen 大學 Wagner 教授는 다음과 같이 말했다<sup>16)</sup>.

"연료/공기 混合物(증기상태)의 폭발로부터 發生되는 폭풍파에 관해 보다 정확히 理解하기 위해서는 보다 많은 연구가 수행되어야 할 것이며, 연료/공기 混合物의 폭발효과에 대한 과장은 피해야 될 것이다."

이 말은 그 당시 FAE 爆發威力이 사실이상으로 과장되어 알려져 있었던 사실을 反映한다. 특히 日本에서는 FAE를 공포의 熱雲兵器로 호칭하고 그 놀라운 파괴력 때문에 核彈使用을 유발시킬 可能인자가 될것으로 評價되었었고 이전의 TNT 彈頭威力의 수배의 위력을 갖는 武器로 알려져 있었다.

FAE는 그 자신의 級(Class)에 속하며 다른 武器나 武器시스템과 직접 비교할 수 없는 特殊한 武器라는 것을 결론적으로 말하고 싶다.

### 참 고 문 헌

- 1) R.A. Strehlow, Accidental Explosions, American Scientist, Vol. 64, p.420 (1980).
- 2) K. Guban, 1978 Unconfined Vapor Cloud Explosions, Rigley Wark, England; Inst. of Chem. Eng.
- 3) W.A. Gey and M.A. Nygaard, "Feasibility Study of FAX Explosives" Navy Weapons Center Report 8065 (1962).
- 4) G.R. Abrahamson and H.E. Lindberg. "Peak Load-impulse Characterization of Critical Pulse Loads in Structural Dynamics" in Dynamic Respones of Structures, Pergamon Press, New York, 1972.
- 5) R.T. Sedgwick and H.R. Kratz "fuel air explosives," Proceeding of the 10th Symposium on Eyplosives and Pyrotechnics, 33-1~33-18. 1976.
- 6) G. Johannsohn, "Fuel Air Explosives Revolutionise Conventional Warfare" International Defense, Review, p.992, Nov. Dec. 1976.
- 7) C.A. Robinson, Jr., "Fuel-Air-Explosives-Services Ready Joint Development Plan", Aviation Week & Space Technology Feb, 19, 1973.
- 8) James A. Dennis, "SLUFAE" Army Research and Development News Magazine p.14. May/June 1976.
- 9) 氣體爆藥(FAE) 通常型戰爭を革新するもの, 兵器と技術 p.19, 1977. 6月 (참고문헌 ⑥번안)
- 10) J.A. Dennis, "MERDC Demonstrate FAE mine-neutralization Capabilities, Army Researcd & Development News Magazine, p.12, Jan, Feb, 1975.
- 11) Janes Infantry Weapons, H.R. Archer and H. R Dennis, 1977.
- 12) Agenda and Abstracts, 1974 AFOSR Contractors Meeting on Unconfined Octonation and Fuel-Air Explosion Related Research June 13 ~14, 1974. AFOSR 73-2524.
- 13) F.E. Walker, UCID-16758-75-1. FAE Initiation Project Progress Report No. 1.
- 14) R. Knystaytas and J.H. Lee "Mechanisms of Initiation of Detonation in Explosive Vapor Clouds, AD. AO. 51854 March 1978.
- 15) R.A. Strehlow and W.E. Baker; "Evaluation and Characterzation of Accidental Explosions. Prog. Energy Comb. Sci. 27~60, 1976.
- 16) H.J. Pasman and H. Phillips "Summary of Discussion on Explosive Clouds." Acta Astronautica Vol. 5, pp.1231~1232. 1978.

