

# 고체 추진기관 비군사화 해외 동향 및 국내 개발 현황

권오석\* · 지도진\* · 최성한\*

## Foreign State and Domestic Development of Solid Rocket Motor Demilitarization

Osuk Kwon\* · Dojin Ji\* · Sunghan Choi\*

### ABSTRACT

Various types of solid rocket motors which manufactured by each aim have their own shelf life. So they must be done away if not used. And inferior goods during manufacturing must be done away too. In the past, out burning and out detonation is usual but now, environmental pollution should be concerned so that there are related technologies and commercial plants in other countries already from 1970's. Hence in this paper, we will talk about foreign state and domestic development of solid rocket motor demilitarization using wash out.

### 초 록

여러 가지 목적으로 제작되는 고체 추진기관은 사용 가능한 기간이 정해져 있어 그 용도에 따라 사용되지 않은 한 적절한 방법으로 폐기 처리 되어야 한다. 또한 제작 과정 중 발생하는 불량 탄 역시 적절한 방법으로 폐기 되어야 한다. 과거에는 야외에서 소각하거나 폭발하는 방법이 일반적이었으나 최근 환경오염 문제가 대두되어 이를 해결하기 위한 대안이 필요하여 해외에서는 이미 1970년대부터 관련 기술이 개발되어 상용화 하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 Water Jet을 이용한 비군사화 관련 해외 동향 및 국내 개발 현황에 대하여 논하고자 한다.

Key Words: Solid Rocket Motor(고체 추진기관), Solid Propellant(고체 추진제), Water Jet(물 분사), Demilitarization(비군사화)

### 1. 서 론

일반적으로 고체 추진기관은 적정 사용 기간이 정해져 있어 실전 배치된 무기 체계 중 추진

제의 수명이 다하여 폐기 처리가 필요한 경우가 불가피하게 발생하며 제조 공정 중에서도 불량 추진기관이 발생하는 경우, 폐기가 불가피하다. 과거에는 야외에서 소각하거나 폭발시키는 방법을 사용하였으나 최근 환경 문제가 대두됨에 따라 친환경적인 처리 공정 개발이 필요하게 되었다.

\* (주)한화 대전공장 개발부  
연락처, E-mail: kostack@hanwha.co.kr

미국 등 해외에서는 이미 1960년대 관련 기술 개발을 시작하여 70년대 상용화 설비를 구축하였으며, 최근까지 비용 절감, 공정 최적화, 물질 회수 등과 관련된 목적으로 개선을 진행하고 있다. 특히, Water Jet을 이용하여 ICBM이나 SRB 등 대형 고체 추진기관에 대한 처리 및 에너지 물질 회수를 위한 설비를 운용하고 있다. 그러나 국내에서는 관련 기술에 대한 검토 및 필요성에 대한 인식은 있었으나 실제 진행은 최근에서야 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 Water Jet을 이용한 미국 ATK사의 고체 추진기관 비군사화 설비 및 공정에 대한 소개와 국내 비군사화 공정 개발 현황에 대하여 논하였다.

## 2 분 론

### 2.1 해외 기술 동향

서론에서 언급한 바와 같이 미국(ATK, 구 Thiokol)은 1960년대부터 관련 기반 기술을 개발하여 70년대에 대형 고체 추진기관을 처리할 수 있는 설비를 갖추어 현재까지 운용하고 있다. 공정은 크게 Wash out, Shredder/Comitrol grinder, Centrifuge, Evaporator로 구성되어 있으며 모든 공정은 continuous type으로 대부분 자동화 되어 있다.

Water Jet을 이용하여 고압의 물을 추진제에 분사하여 일정 크기로 분리(Deloding)하고 분리된 추진제를 물과 함께 반응기 내에서 미세한 크기로 분쇄(Shredder/Comitrol grinder)하며 이 과정에서 추진제에 포함된 AP(Ammonium Perchlorate)가 물에 용해된다. AP가 용해된 solution과 나머지 residue를 분리(Centrifuge)하고 AP solution의 물을 증발(Evaporator)하여 AP를 재 결정화 하는 일련의 공정으로 구성되어 있다. 특히, 일반적으로 복합 추진제에는 70~80%의 AP를 산화제로 포함하고 있어, 이를 회수하는 공정까지를 포함한다.

아래 그림은 ATK의 공정 흐름도를 나타낸다.

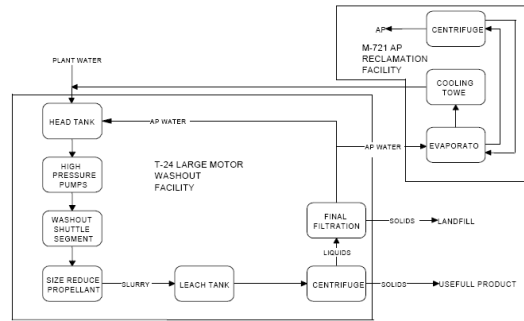


Fig. 1 ATK 비군사화 공정 흐름도

#### 2.1.1 Wash Out

고체 추진기관을 처리하기 위하여 먼저 연소관으로부터 내부의 고체 추진제를 분리하는 공정이 필요하며 특히, 추진제가 점화되는 경우 대형 사고로 이어질 수 있으므로 추진제를 분리하는데 연마제가 포함되지 않은 순수한 물을 사용한다.

물을 분사하는 노즐이 추진기관 내부로 회전과 전진을 함께 하며 추진제를 cutting 하며 후진과 동시에 별도의 노즐에서 물을 분사하여 연소관 외부로 추진제를 배출한다. 추진제의 web이 두꺼울 경우에는 이를 수 차례 반복하여 추진제를 분리한다.

분리된 추진제는 shker tray에 의해 물과 추진제로 구분되며 물은 추출 탱크로, 추진제는 Shredder 공정으로 이송된다.

평균 처리량은 약 680kg/hr이다.

아래 그림은 추진기관의 크기에 따라 ATK에서 운용하고 있는 여러 종류의 Wash out 설비를 나타낸다.



Fig. 2 Washout 야외 설비

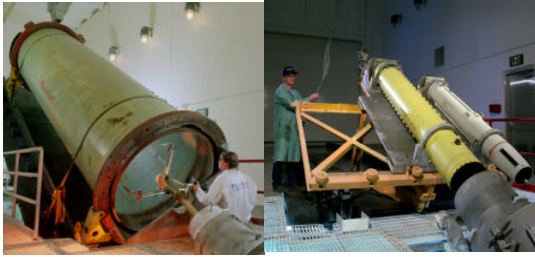


Fig. 3 Washout 실내 설비

### 2.1.2 후처리 공정

Water Jet을 이용하여 washout된 추진제는 크기를 감소시키기 위하여 Shredder 및 Grinding 공정으로 이동한다.

Shredder는 두 축의 cutter를 이용하여 최대 2 cm로 분쇄된다. 이때 공정은 안전 및 AP 용해를 위하여 물속에서 이루어진다. 또한 고정된 톱니 모양의 cutter와 고속 회전 impeller로 구성된 Comitrol Grinder를 통과하면서 더 작은 입자로 갈아 주는 과정을 수행한다. 여기서 추진제에 포함되어 있는 대부분의 AP는 물에 용해되어 바인더 및 기타 성분들만 residue로 남게 된다.

AP solution과 residue를 분리하기 위하여 Centrifuge를 적용하며 분리 후 남은 residue(solid)에 포함된 수분은 10%, AP는 약 4% 이하 수준이다. 특히, Residue는 비활성이므로 매립 처리하는 방법도 적용한다.

분리된 AP solution(liquid)은 AP를 재 결정하기 위해 Evaporator의 holding tank로 이송된다. Evaporator는 두 단계로 구성되어 있으며 첫 단계에서 전체 물의 1/2을 증발시켜 농축 시키고, 다음 단계에서 나머지를 증발 시키는데 증발 시용해도 차에 의해 AP결정이 생성되며 이는 다시 centrifuge에서 물과 분리 한다. 분당 약 20gallon(757 l)이 증발하며 특히, 증발된 물은 공정수로 재 사용한다.

Wash out에도 AP 일부가 물에 녹게 되는데 위에 언급했듯이 이 물 역시 폐수로 처리하지 않는다. 일정 AP 농도 이하인 경우, 공정에 재 사용을 하고 그 이상인 경우, Evaporator에서 AP를 결정화하는 데 사용되기 때문이다.

결론적으로, ATK에서 적용하는 공정은 물을

사용하여 안전할 뿐만 아니라 AP를 회수할 수 있는 장점이 있고 특히, closed loop로 구성되어 중간 단계에서 누출되거나 최종 단계에서 폐수 처리되는 AP solution이 없어 환경적으로 유리한 장점이 있다.

## 2.2 국내 개발 현황

고체 추진기관의 처리를 위해 특정 소각로를 제작하여 연소시키며 이때 배출되는 가스를 배출 기준에 적합한 성분으로 치환하는 방법을 개발 중이다. 그러나 해외에서는 대부분 Water Jet을 이용한 처리 방법을 적용하고 있고 국내에서도 90년대부터 관련 기술에 대한 검토가 이루어져 왔으나 현실화 하지는 못했다. 이에 당사에서는 추진기관 처리 방법의 안전성, 친환경성, 장기적 적용성 등을 위하여 Lab scale의 Water Jet 등의 장비를 설계하고 이를 이용하여 추진기관을 분해하고 AP를 회수하는 공정을 개발중에 있다.

Water Jet, Shredder, Macerator, Vacuum Filter, 결정화기로 구성되어 있으며 batch type으로 설계되었다.

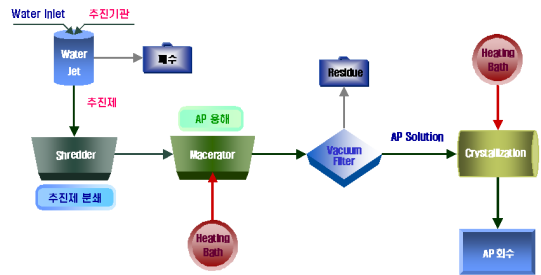


Fig. 3 중형 추진기관용 실내 설비

### 2.2.1 Water Jet

Booster를 이용하여 유압을 약 4000bar까지의 수압으로 바꾸어 연소관 내부의 추진제 그레이드에 분사하게 된다. 두 가지 노즐을 이용하여 총 세 단계로 추진제를 분리하게 된다.

아래 표는 기 적용한 두 가지 추진기관에 대한 적용 결과를 나타내며 아래에 장비 사진을 나타내었다.

Table 1. Water Jet 적용 추진기관 분해

구 분	추진기관 1	추진기관 2
추진제량	5kg	20kg
소요시간	1 hr	2.6 hr
물 소요량	150~200 ℓ	600~700 ℓ
적용 수압	1200 ~ 1400 bar	

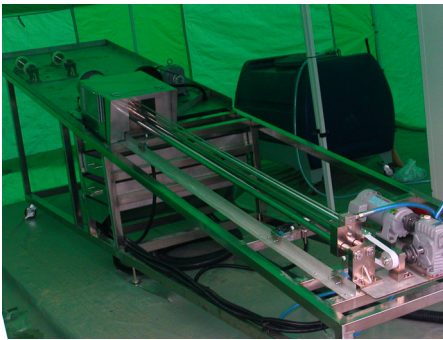


Fig. 4 Water Jet 설비

### 2.2.2 후처리 공정

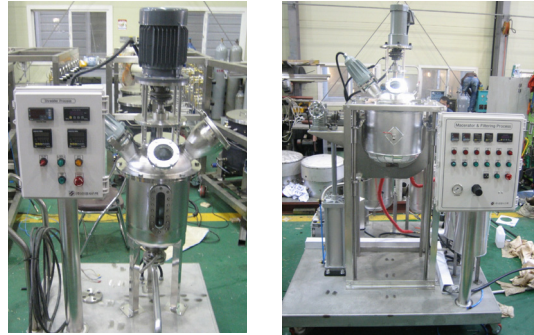
상기 공정에서 분리된 추진제 block은 Shredder를 통해 1~3mm 크기로 분쇄된다. 한 개의 blade 축에 두개의 blade와 impeller가 설치되어 고속으로 회전하며 물과 함께 추진제를 분쇄한다. 약 5kg의 추진제를 1시간 이내에 상기 크기로 분쇄가 가능하다.

분쇄된 추진제 입자로부터 AP를 용해시키기 위해 Macertor에서 약 4시간 동안 교반을 시킨다. 이 후 Vacuum Filter에서 진공을 이용하여 AP solution과 residue를 분리한다.

분리된 AP 용액은 결정화기에서 100℃와 25℃ 사이의 용해도 차를 이용한 AP 재결정에 사용된다. 시간당 약 350g의 물을 증발하며, 증발 효율을 높이기 위해 증발압을 진공 펌프를 이용하여 낮추어 준다.

현 단계에서 회수되는 AP의 양은 전체의 50% 수준이며 중간 단계에서 손실되는 부분은 지속적으로 추적하여 회수율을 증가시킬 예정이다.

아래 그림은 후 처리 공정에 적용하는 장비이다. (a)는 Shredder 및 control 장비를 나타내고, (b)는 Macerator, Vacuum Filter, 결정화기, 응축기 및 control 장비를 나타낸다.



(a) Shredder

(b) Macerator/Filter 등

Fig. 5 후 처리 설비

아래 Fig. 6은 최종적으로 재 회수한 AP 결정을 일정 기간 건조한 후의 상태를 나타낸다.



Fig. 6 재 결정 AP

### 3. 결 론

본 논문에서는 Water Jet을 이용한 고체 추진기관의 해외 기술 동향에 대하여 ATK의 예를 들어 나타내었다. 또한 현재 진행하고 있는 국내 처리 공정에 대한 소개와 현재까지의 진행 결과에 대하여 간략하게 언급하였다.

국내에서 개발하고 있는 공정이 해외 상용화 기술과 유사한 개념에서 진행하고 있음을 확인

할 수 있으며 관련 기술에 대한 기반 지식이 부족한 국내 상황에서 현실적으로 당면한 추진기관 처리 문제의 해결책을 모색한다는 점에서 중요한 의미를 가지고 있다.

현재 약 100kg의 추진제가 충전된 추진기관에 대한 공정 개발을 지속적으로 진행하고 있으며 후 처리 공정에 대한 최적화 및 AP 수율 향상에 대한 연구도 실시하고 있다.

추후 상용화 설비에 대한 전반적 개념 설계를 위하여 본 연구가 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Thiokol Propulsion, "Large Rocket Motor Demilitarization", Brian Morton and John Rechards, 1999
2. Thiokol Propulsion, "Tactical Missile Solid Rocket Motor Demilitarization : Past, Present, & Future", Leon A. Hyde and Eddie L. Diehl, 1999
3. SNPE, "Biochemical Treatment of Industrial Waste Waters containing Ammonium Perchlorate", Marie Gaudre and Jean-Michel Tauzia, 1999
- 4 한화 기술 직무 교육 교재 - 추진기관 개론