고체 추진기관 비군사화를 통한 암모늄퍼클로레이트의 회수

최재서*† · 한상근* · 최성한*

Recovery of Ammonium Perchlorate from Solid Rocket Motor Demilitarization

Jaeseo Choi*† · Sangkeun Han* · Sunghan Choi*

ABSTRACT

Different kinds of solid rocket motors manufactured for various aim have their own shelf life. So they must be done away if not used. In general, ammonium perchlorate(AP) has used in the process of solid rocket motors, which is environmental pollutant. Out-burning and out-detonation were usual in the past, but they polluted the surrounding environment and raised safety issues. As an alternative to resolve these, water-washout process to separate the propellant from rocket motors and an eco-friendly way for recovering AP are studied in this paper.

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. 일반적으로 고체 추진기관 제작에는 암모늄퍼클로레이트를 사용하는데, 이는 환경 오염물질이다. 과거에는 소각하거나 폭파하는 방법이 일반적이었으나, 이는 주변 환경을 오염시키고 폭발 안전문제를 야기한다. 이를 해결하기 위한 대안으로, Water-washout 공정을 이용하여 추진기관을 분리하고, 암모늄퍼클로레이트를 친환경적으로 회수하는 방법을 연구하였다.

Key Words: Solid Rocket Motor(고체 추진기관), Solid Propellant(고체 추진제), Ammonium Perchlorate(암모늄 퍼클로레이트), Demilitarization(비군사화)

1. 서 론

일반적으로 고체 추진기관은 적정 사용 기간이 정해져 있어 실전 배치된 무기 체계 중 추진제의 수명이 다하여 폐기 처리가 필요한 경우가 불가피하게 발생하며 제조 공정 중에서도 불량 추진기관이 발생하는 경우, 폐기가 불가피하다. 과거에는 야외에서 소각하거나 폭파시키는 방법을 사용하였으나 주변 환경을 오염시키고 폭발 안전문제를 야기하기 때문에 친환경적인 처리 공정이 필요하게 되었다.

일반적으로 고체 로켓추진제는 산화제와 금속

* (주)한화 대전사업장 개발부
† 교신저자, E-mail: joeapt@hanwha.co.kr

연료 및 다양한 첨가제와 추진제를 결합하는 결합제로 구성된다. 첨가제로는 가소제, 연소속도 조절제, 연소안정제, 산화방지제, curing제, 음향억제제 등을 사용하며 다연장로켓 추진제의 조성은 산화제(AP): 82-85%, 결합제(HTPB 또는 CTPB) : 10-13%, 금속연료(Al 분말): 2% 및 기타 첨가제 3%로 구성된다.

산화제로는 사용되는 AP(암모늄퍼클로레이트)는 과염소산 염(perchlorates)의 한 형태로서 백색의 정사방형 결정으로 용해도가 높아(200g/물 1L @25℃) 계 외로 누출될 경우 지하수, 지표수 및 토양에 신속히 확산된다. 과염소산 염은 자연상태 및 생산과정을 통하여 발생할 수 있으나 대부분 과염소산 염을 생산하거나 이를 사용하는 군 관련지역에서 발생한다. 그러나 최근 퍼클로레이트가 환경호르몬 유발물질로 알려짐에 따라 이에 대한 관심과 규제가 강화되고 있다.

기술 선진국들은 군에서 대부분 사용하는 AP의 대체물질 개발에 노력하고 있으나 아직까지 적절한 대안이 없어 AP를 사용하는 로켓 및 미사일 추진기관 폐기 시 AP의 친환경적 처리문제가 시급한 문제로 대두되고 있다.

각종 탄약류 및 로켓 미사일 등의 비군사화 기술을 선도하고 있는 미국은 이미 80년대 초부터 water-washout 공정을 개발하여 AP 추진제를 사용하는 각종 전략 및 전술미사일, 우주 왕복선 추진기관에서 다량의 AP를 회수한 바 있다.

본 논문에서는 추진기관으로부터 환경오염 물질인 AP를 안전하고 친환경적인 방법으로 회수하기 위해 water-washout 공정 및 추진제 분쇄 및 AP 용해/재결정을 통해 AP를 회수하는 방법을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 추진기관 분해 및 AP 회수 공정

당사에서는 추진기관 처리 방법의 안전성, 친환경성, 장기적 적용성 등을 위하여 Lab scale의 Water-Jet, Shredder, Macerator, Vacuum Filter, 결정화기를 설계하고 이를 이용하여 당사에서 제작된 추진기관 2종류에 대해, 추진제를 분리하고 AP를 회수하는 공정을 Fig. 1과 같이 진행하였다.

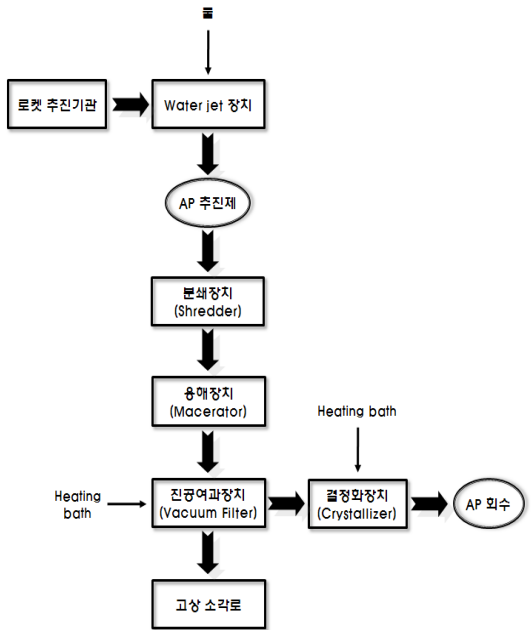


Fig. 1 Process of Rocket Motor Demilitarization and AP Recovery

2.1.1 Water-washout 공정

Water-washout 공정은 초고압수를 사용하여 추진기관으로부터 추진제를 절단하여 분리하는 방법을 사용한다. Water-Jet장비의 유압 Booster를 이용하여 유압을 약 4000bar까지의 수압으로 바꾸어 연소관 내부의 추진제 그레인에 분사하게 된다. 두 가지 노즐을 이용하여 추진기관 축방향 및 횡방향, 추진제 접착면 절단의 총 세 단계로 추진제를 분리하게 된다.

Table 1은 기 적용한 두 가지 추진기관에 대한 적용 결과를 나타내며 Fig. 2는 장비 사진을 나타내었다.

2.1.2 추진제 분쇄

상기 공정에서 분리된 추진제는 Fig. 3의 Shredder를 통해 1~5㎜² 크기로 분쇄된다. 한 개

의 blade 축에 두개의 blade와 impeller가 설치되어 고속으로 회전하며 물과 함께 추진제를 분쇄한다. 약 6kg의 추진제를 1시간 이내에 1~5㎜ 크기로 분쇄가 가능하다. 투입하는 물의 비율이 적을수록 분쇄 효율이 높으나 분쇄 중 AP가 석출되어 공정효율이 저하되므로 AP가 석출되지 않을 정도(1:4 적용)로 물을 투입하는 것이 필요하다.

Table 1. Result of Water-washout Process

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	

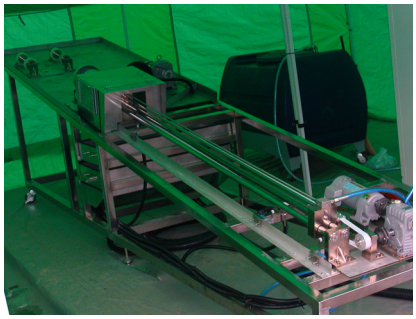
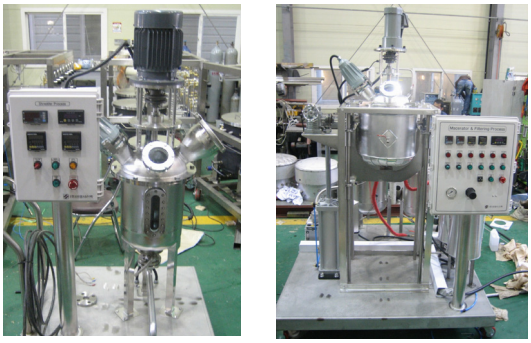


Fig. 2 Water-Jet Equipment

2.1.3 AP 용해/재결정

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 용액 온도차이에 따른 용해도 차를 이용한 AP 재결정에 사용된다. 시간당 약 350g의 물을 증발하며, 증발효율을 높이기 위해 진공펌프를 이용하여 결정화기 내부를 감압시켜 증발압을 낮추어 준다.



(a) Shredder (b) Macerator/Filter

Fig. 3 AP Recovery Equipment

회수되는 AP의 양은 전체의 50% 수준이며, 이는 Water-washout, 분쇄, 용해, 재결정 등 각 공정을 진행하면서 발생되는 손실분일 것이다.

Figure 4은 최종적으로 재 회수한 AP 결정을 건조한 후의 상태를 나타낸다.

Fig. 4 Re-crytallized AP

2.2 해외 기술 동향

미국(ATK, 구 Thiokol)은 1960년대부터 관련 기반 기술을 개발하여 70년대에 대형 고체 추진기관을 처리할 수 있는 설비를 갖추어 현재까지 운용하고 있다. 공정은 크게 Water-washout, 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(Deloading)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, 전 공정이 Close loop system으로 되어있어, 발생되는 모든 공정수가 재활용 되어 Water-washout 공정에 투입된다. ATK사의 비군사 공정 AP 회수율은 98% 이상이다.

Figure 5은 ATK의 공정 흐름도를 나타낸다.

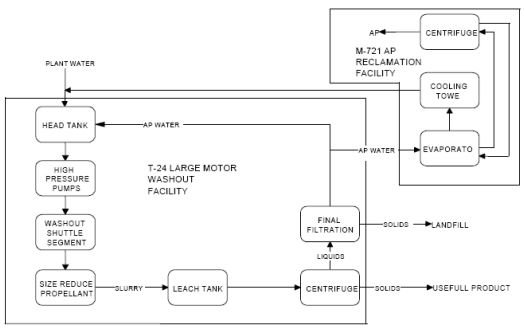


Fig. 5 ATK 비군사화 공정 흐름도

3. 결 론

AP의 환경유해성을 감안했을 때, 앞으로 발생되는 폐 추진기관의 처리는 기존의 야외소각 및 폭파와 같이 환경오염 및 안전문제를 동반하지 않는 친환경적 공정이 적용되어야 할 것이다.

본 연구에서는 친환경적 공정으로 Water-washout 공정을 적용하여 추진기관으로부터 AP를 회수하는 전 공정을 진행하였다.

연구 중 인 공정이 해외 상용화 기술과 유사한 개념을 가지고 있음을 확인할 수 있으며 현실적으로 당면한 추진기관 처리 문제의 해결책을 모색한다는 점에서 중요한 의미를 가지고 있다.

현재 소형에서부터 대형에 이르는 추진기관에 대한 공정 개발을 지속적으로 진행하고 있으며, 회수한 AP 결정을 생산규격에 적합하도록 재결정 및 정제과정을 통한 보완연구가 진행 중이다.

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

참 고 문 헌

1. Thiokol Propulsion, "Large Rdcket 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. 이종철, 이용한, 한상근, 김선환, “고체 로켓 추진기관 처리기술”, 제 19회 지상무기 학술대회논문집, 2011