

고체 추진제 연속식 혼화 공정 고찰

정세용* · 원종완* · 최용석* · 황형노* · 유규철*

Review of Solid Propellant Continuous Mix Process

Seyong Jung* · Jongwan Won* · Youngseok Choi* · Hyungno Hwang* · Kyuchul Yoo*

ABSTRACT

This paper presents solid propulsion manufacturing processes. Solid rocket motors propellants are made of several batches of propellant being mixed in mixers and made of continuous mixers. This paper discusses the technology of continuous mix process of Aerojet, US and SNPE Materiaux Energetiques, France.

초 록

혼합형 고체 추진제 혼화방법은 배치 믹서를 사용하는 방법과 연속식 믹서를 사용하는 방법이 있다. 배치 혼화는 믹서에 추진제를 첨가하면서 블레이드를 회전시켜 혼화하는 방법이며, 연속식 혼화는 추진제를 연속식 믹서에 정량적으로 이송하여 혼화한 후에 deaerator에서 공기가 제거되면서 충전장비로 공급되는 방법이다. 미국 Aerojet사와 프랑스 SNPE Materiaux Energetiques사의 기술을 조사 고찰하여 소개하고자 한다.

Key Words: Solid Propellant(고체 추진제), Composite Propellant(혼합형 추진제), Continuous Mix Process(연속식 혼화 공정), Continuous Mixer(연속식 믹서)

1. 서 론

고체 추진기관은 고추력, 신뢰도 및 가격면에서 액체 추진기관과 달리 미사일과 우주 추진기관 저단에서 많이 사용한다. 현재 고체 추진기관에 사용하는 추진제는 혼합형 고체 추진제로 우주발사체용 부스터나 우주왕복선 부스터, 전술

전략 미사일의 고체 추진기관에 대부분 적용되고 있다[1].

혼합형 고체 추진제 혼화방법은 크게 배치 믹서를 사용하는 방법(Batch Mixing)과 연속식 믹서를 사용하는 방법(Continuous Mixing)이 있다. 배치 믹서는 물과 밀가루를 균일하게 혼화하여 반죽하는 믹서에서 유래하였으며, 비용 감소와 대용량의 혼화를 필요로 하게 되면서 연속식으로 발전하고 있다. 배치 믹서는 크기에 따라 1~5 갤런 규모의 소형 믹서와 50~1800 갤런의 중대

* (주)한화 대전공장 생산1부
연락처, E-mail: syjung@hanwha.co.kr

형 믹서로 나뉘고, 형태에 따라 수평형과 수직형으로 나뉜다[2]. 연속식 믹서의 공정개발은 1960년대 미국의 Aerojet사로부터 시작되어 상당한 경제성, 신뢰성, 안전성 등의 장점으로 일부 선진국에서 적용 사례를 보고하고 있다[3-7]. 연속식 믹서의 공정 설계에 앞서 관련 기술을 조사 고찰하여 소개하고자 한다.

2. 배치 혼화 방법

혼합형 고체 추진제 1회 믹서 혼화량을 배치(Batch)라 하는데, 배치 믹서는 크게 크기와 형태에 따라 구분할 수 있다. 크기에 따라 연구개발 목적으로 고체 추진제 최대 300 g까지 혼화하는데 사용하는 작은 크기의 1/4 파인트(Pint) 믹서부터 최대 12톤까지 혼화하는데 사용하는 1800 갤런(G/L, Gallon) 믹서까지 사용하고 있다. 혼화 형태에 따라 2~3개의 나선형 블레이드가 수평 방향으로 혼화하는 수평형(Horizontal) 믹서와 수직 방향으로 혼화하는 수직형(Vertical) 믹서가 있다. 믹서에 추진제를 첨가하면서 블레이드를 회전시켜 혼화하는 방법으로 온도조절과 진공유지를 필요로 한다. Figure 1은 다양한 크기의 수직형 믹서를 보여주고 있다.

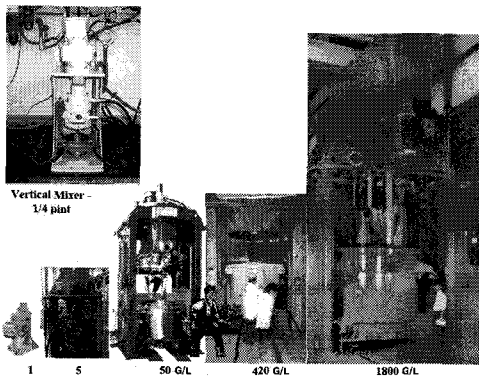


Fig. 1 Some Vertical Mixers of Different Sizes

혼화 배치량이 추진기관 충전량 보다 두배 이상인 중소형 추진기관인 경우에는 한번의 배치에서 다수 충전(Multi-casting form single batch)

을 하고, 혼화 배치량이 추진기관 충전량 보다 적은 대형 추진기관이나 연결형 추진기관에는 다수 배치 충전(Multi-batch casting)을 한다.

혼합형 고체 추진제 혼화공정의 특성은 점도, 유동성, Pot Life, 충전성, 경화 진행성 등으로 확인하고, 추진제 특성은 물리적인 특성시험, 화학적인 특성시험, 연소속도 등으로 확인한다.

아래 Table 1은 일반적인 믹서 크기에 따른 혼화량을 보여주고 있다.

Table 1. General Mixing Sizes

Mixer	Capacity (Volume, Gallon)	Capacity (Volume, Liter)	Maximum Mass (Kg)*
1 G/L	1	4	5
5 G/L	5	19	40
50 G/L	50	189	300
300 G/L	300	1136	2000
420 G/L	420	1590	2900
1800 G/L	1800	6814	11000

* 혼합형 추진제 밀도 1750kg/m³

3. 연속식 혼화 방법

혼합형 고체 추진제의 연속식 혼화 공정개발은 1960년대 미국의 Aerojet사로부터 시작되었고 프랑스 SNPE Materiaux Energetiques사는 1980년대 중반 시작하였으며, 러시아 연방국가에서도 개발 중임을 보고하고 있다. 고체 추진기관의 원가절감과 위험최소화 일환으로 대량의 고체 추진제를 혼화하기 위하여 개발되었다.

현재 고체 추진제는 성능, 비용과 안전을 이유로 대부분 AP(Ammonium Perchlorate), HTPB(Hydroxy Terminated Polybutadiene)와 Aluminum powder를 기본적으로 사용한다.

대략적 공정을 보면, 산화제, 프리믹스(premix), 원료를 연속식 믹서에 정량적으로 이송한다. 연속식 믹서에서 혼화한 후에 수조(surge pot)에서 deaerator로 보내진다. 진공상태에서 공기가 제거되면서 배관을 통해 시편 채취 및 분석실로 이송되고 지연 시간 후에 충전장비로 공급되게 된다.

미국 Aerojet사의 ASRM(Advanced Solid Rocket Motor)은 NASA 주관의 우주왕복선용 고체 추진기관 개발로 연속식 혼화공정을 적용하였으며, Fig. 2는 미국 Aerojet사의 ASRM 제작을 위한 연속식 혼화공정의 개략적 흐름도를 보여주고 있다.

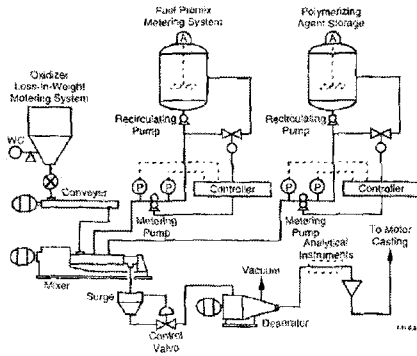


Fig. 2 Simplified Continuous Mix Process Flow Diagram of the ASRM

연속식 혼화 공정의 2가지 주요 장비로 믹서와 deaerator가 있는데, Ko-Kneader 연속식 믹서와 Rotofeed deaerator를 사용하였다. 연속식 혼화공정에 적합한 추진제 조성개발을 진행하여 배치 믹서와 유사한 혼화 효율을 보고하였다. 아래 Table 2는 미국 Aerojet사의 ASRM의 추진제의 혼화방법차이에 따른 특성이 유사함을 보여주고 있다.

Table 2. Baseline ASRM Propellant Properties

Property	Goal	1G/L Mixes	30G/L Mixes	6000-lb Mix	Contin uous Mix
Tensile Strength, psi	≥100	110	113	112	127
Elongation at Max. Stress, %	≥30	38	38	32	36
Tangent Modulus, psi	500-900	619	700	827	631
Buring Rate, ips@625psia	0.345-0.355	0.349	0.352	0.347	0.349
Density, lb/cu in	0.0649-0.0653	0.0651	0.0651	0.0650	0.0650

Table 3은 연속식 혼화공정을 보고하고 있는 미국 Aerojet사의 ASRM과 프랑스 SNPE Materiaux Energetiques사의 Arian V의 추진제

조성을 보여주고 있다.

Table 3. Nominal Arian V & ASRM Propellant Formulation

Ingredients	%*	Ingredients	%**
Oxidizer AP	67.800	Oxidizer AP	69.000
Fuel AL	18.000	Fuel AL	19.000
Burn Rate Ferric oxide	0.200	Burn Rate Iron oxide	0.125
Polymer HTPB		Polymer HTPB	8.938
Curing Isocyanate		Curing IPDI	0.635
Plasticizer DOZ	Σ=14.0	Plasticizer DOA	2.000
Bonding Aziridine		Bonding HX-752	0.300
Catalyst 2 catalysts		Curing TPB	0.002

* Arian V Solid Propellant Formulation [5]

** ASRM(Advanced Solid Rocket Motor, Aerojet) Solid Propellant Formulation [4]

그러나, 1994년 NASA의 표면적인 재정적 이유로 사업이 취소되면서 설비가 철거되었다.

프랑스 SNPE Materiaux Energetiques사의 혼화공정 개발을 보면, 연속적인 추진제 계량 및 공급이 가능하고, 믹서는 Twin-screw 형태며, 혼화 시간이 상당히 짧지만 수직 배치 믹서와 유사한 혼화 효율을 보였으며, 대형 믹서보다 열교환 효율이 우수하였다. 1995년부터 2003년까지 압출형 혼합형 추진제 그레인 생산라인 3개를 가동하여 현재까지 1500톤 이상을 생산하였다. 2005년부터 우주 추진기관에 적용하고자 연속식 혼화 공정에 대한 새로운 설비투자가 진행 중으로 실제 착수 전에 시험가동(pilot) 설비를 설치하였다. Figure 3은 pilot 설비를 보여주고 있다.



Fig. 3 SNPE Materiaux Energetiques New Pilot Installation

4. 결론 및 향후 계획

Aerojet사의 ASRM용 연속식 혼화공정과 SNPE Materiaux Energetiques사의 자동차 에어백용 압출형 혼합형 추진제 연속식 혼화공정과 연구시험용 추진기관 적용 등을 고찰하였다. 향후 우주발사체용 부스터나 대형 고체 추진기관 개발시 비용문제와 신뢰도 문제를 고려해 볼 때 연속식 공정적용은 필수적이라 하겠다.

참 고 문 헌

1. Alain Davenas, 2003, "Development of Modern Solid Propellants", Journal of Propulsion and Power Vol. 19, No. 6, 2003
2. F. Lillo, G. Marcelli, S. Cianfanelli and B. D. Andrea, 2006, "Process Scale Factor of Solid Propellants as Function of the Mixing Batch Size", AIAA 2006-4945
3. D. Chan, et al, 1991, "Adaptation of Brabender Plasti-Corder fir Optimizing the Mixing and Rheological Properties of the ASRM Solid Propellant", AIAA 1991-2069
4. C. A. Cervenka, 1993, "The Development of a Continuous Mix Process for ASRM Propellant Production", AIAA 1993-2056
5. Jean-Francois Guery, et al, 2005, "A New Continuous Mixing Facility for the Demonstration of Solid Propulsion Technologies of Future ELV", IAC-05-C4.2.02
6. John S. Chapman and Michael B. Nix, 1992, "Overview of the Manufacturing Sequence of the Advanced Solid Rocket Motor", AIAA 1992-1275
7. L. C. Landers, C. B. Stanley and D. W. Ricks, 1991, "Propellant Development for the Advanced Solid Rocket Motor", AIAA 1991-2074