

혼합형(COMPOSITE) 추진제 성형법

김원걸*, 황영준, 유광호 (주식회사 한화)

우리 나라에서 고체추진기관에 대하여 관심을 갖고 연구를 시작한 것은 1970년대 중반 국방과학연구소를 중심으로 이루어 졌으며, 그후 추진기관의 설계와 제조분야에서 괄목할만한 기술축적을 이루어 왔다. 고체추진제 그레인의 성형기술도 이에 발맞추어 상당한 기술발전이 있었다. 앞으로 우리 나라도 우주산업 진출이 가시화 되고 있으며 이에 따른 우주발사체 추진제 성형기술도 선진국 수준의 기술 개발이 요구되는 실정이다. 본 논문에서는 추진기관 제조 기술중 중요한 기술인 고체 추진제 그레인 성형용 코아 설계를 중심으로한 그 동안의 개발내용과 향후 발전 방향에 대하여 기술하였다.

1. 서론

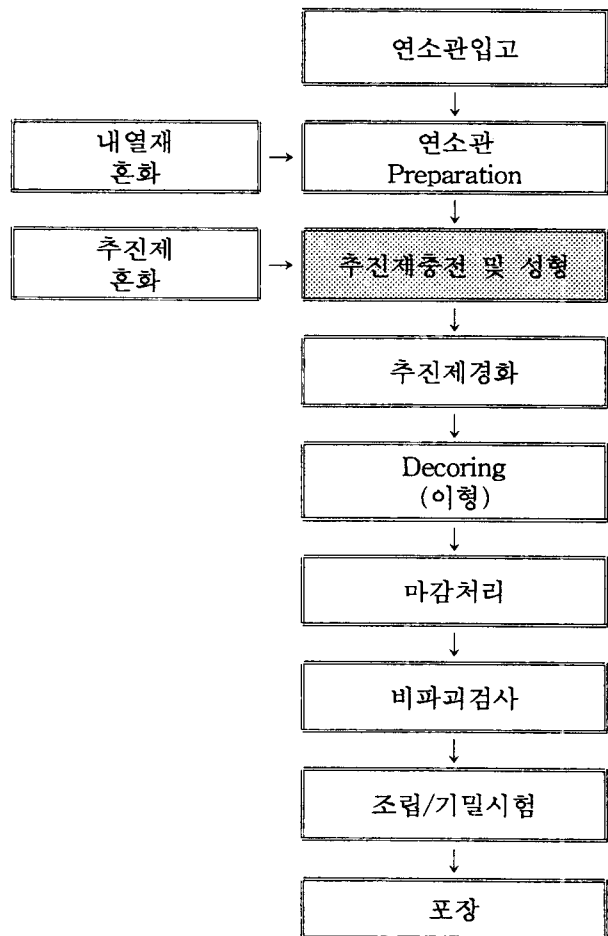
1-1. 개요

고체추진기관(Solid Rocket Motor ,SRM)은 고체 추진제를 사용하여 추진력을 얻는다. 고체추진제는 더블베이스추진제, 혼합형추진제, 더블-혼합형추진제등 크게 세 가지로 분류된다. 추진제의 종류에 따라 제작 방법이 달라지는데, 본 논문에서는 혼합형추진제 그레인 제작에 필요한 성형기술에 대해서만 기술하고자 한다. SRM의 그레인 형상은 그 임무에 따라 다양한 형태로 주어지는데, SRM의 용도와 요구되는 성능,기능을 고려해서 크기 및 형상을 결정한다. 그레인 형상 제작은 시스템 전체에 영향을 줄수 있음을 염두에 두고 성형코아를 비롯한 Tool을 설계해야 한다. 혼합형추진제 제작은 혼합이 끝난 추진제를 연소관에 충전하여 성형한다. 이때 그레인의 형상에 따라 성형법을 달리하게 된다. 성형법은 크게 일반형과 특수형으로 구분할 수 있는데, 일체형 코아에 의해 성형하는 것을 일반형, 그 외 방법을 특수형으로 구분하였다. 적용 예로는 구룡, 현무, 과학관측로켓등의 일반형과 해룡, 전술지대지, 추복등의 특수형이 있다.

현재까지 알려진 특수형 성형법은 Collapsible 코아를 이용하는 방법과 분해조립형 코아, RTV Rope , Urethane Foam , Soluble 코아 , 그레인 기계가공 등이 있다. 본 논문에서는 현장경험을 바탕으로한 일반형 성형공법에 필요한 코아 및 성형 Tool 설계조건과 특수형의 분해 조립형 코아에 의한 성형법, Urethane Foam을 이용한 성형법, 이중추력형 그레인 성형법을 설명하고 국내에서는

실용화 되지못한 Soluble 코아,그레인 기계가공 등의 성형방법도 간단히 소개한다.

1-2. 고체추진기관 복합 추진제 제작공정



1-3. 국내에서 개발된 그레인 형상

추진제 그레인의 형태는 대단히 많을 수 있으며 정해진 종류는 없지만 국내에서 개발된 그레인 몇 가지를 일반형 과 특수형으로 구분하여 그림1에 나타내었다.

2. 본문

2-1. 일반형 성형 코아 및 Guide ,Seat 설계

일반형 성형 치구는 코아 , Guide , Seat로 구성된다. 코아는 그레인 형상을 결정해주며 Guide , Seat는 코아가 추진제 속에 삽입될 때 원하는 위치로 코아를 안내하는 역할을 한다. 또한 Guide 와 Seat의 형상은 코아에 의한 그레인 편심을 최소화할 수 있도록 설계한다.

코아 설계시 고려사항

- ① 추진제 충전 전,후의 작업성을 고려한다.
- ② 추진제 내부에 기포가 발생하지 않도록 코아의 앞쪽 끝부분을 설계한다.
- ③ 코아의 기울기는 이형(Decoring) 작업시 무리한 힘이 걸리지 않게 한다.

Guide 설계시 고려사항

- ① 코아와 Guide의 틈새를 최소한으로 하여 Guide 길이를 정한다.
- ② Guide 길이는 그레인 편심을 최소화 하기 위해 Case 와 Guide의 직각도 및 동심도를 고려한다.

Seat 설계시 고려사항

- ① 코아의 최대 편심반경에 안전을 고려한 충분한 미끄럼 면을 주어야한다.

2-2. 특수형 그레인 성형법

2-2-1. 분해,조립형 코아에 의한 성형법

Bowl 형상

Bowl 형상은 연소관 입구보다 그레인 내경이 더 큰 동굴과 같은 형상이다. Bowl 성형용 코아의 설계조건은 다음과 같다.

- ① 연소관 내부에서 분할형 코아를 분해/조립할 수 있는 공간이 필요하다.
- ② 분할형 코아는 추진제 충전 및 이동 경화시 정위치를 유지해야한다.
- ③ 추진제 주입 공간이 있어야 한다.
- ④ 그레인 끝단까지 정확히 성형되어야 한다.
- ⑤ 그레인의 편심은 허용되지 않는다.
- ⑥ 추진제 Trimming 면적을 최소화한다.
- ⑦ 코아 소재가 국내 조달이 가능 해야한다.

상기 코아의 설계조건을 고려하여 Bowl 그레인 성형코아 분할 수를 12 조각(C 추진기관 경우) 으로하였다. 그림2에서 보는바와 같이 해체시 큰 조각(L) 6 EA 의 해체 공간을 위해서 작은 조각(S) 6 EA로 분할하였다. 분할 코아의 조립시 편심을 방지하기 위해 코아 Guide를 설치하였고,연소관 중심축의 편심(5 mm 까지)에도 대응할 수 있도록 코아 Bar형상을 결정하였다. 또한 그레인 끝단까지 정확하게 성형하기위해 분할 코아 각 조각마다

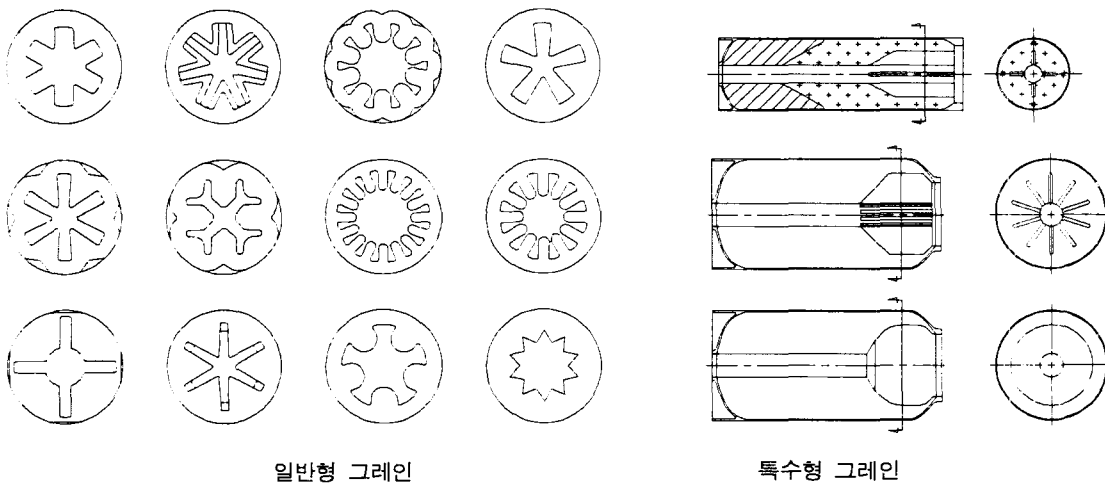


그림 1 : 국내에서 개발된 그레인 형상

공기통로를 설치하여 뒷단면에 모여있는 공기를 진공압에 의해 밖으로 빠져 나올 수 있도록 하였다. 그림3의 우측참조

Finocyl 형상

Finocyl 그레인 형상은(G 추진기관 경우) 원통형에 10개의 Fin 형상으로 되어있다. Fin 형상 외경이 연소관 입구 내경보다 크기 때문에 일체형 코아로는 성형이 불가능하다. 따라서 성형코아를 분해/조립형으로(6개 부품) 분할하였다. 성형코아 구성은 ① 코아몸체, ② 코아날개, ③ 보조날개, ④ 사각봉, ⑤ 윗코아, ⑥ 안내봉으로 되어있다. Fin 형상 성형을 위해 축방향으로 4 Part, 반지름 방향으로 3 Part로 성형 코아를 분할하였으며, 각 조각의 분해/조립이 용이하도록 고려하였다. 코아 날개는 그레인의 Fin 형상을 결정해주며, 보조날개는 그레인 끝단 Fin 형상 및 코아날개 해체공간을 위하여 코아날개와 분할하였다. 코아날개 결합체 고정과 비틀림 방지를 위해 사각봉을 이용하고, 안내봉은 윗코아가 그레인 중심 축에 편심되지 않게 안내 역할을 한다.추진제 경화 완료후 성형코아 해체 순서는 그림4와 같다.

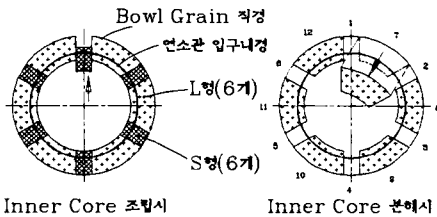


그림 2 : Bowl 그레인 성형코아 조립/분해

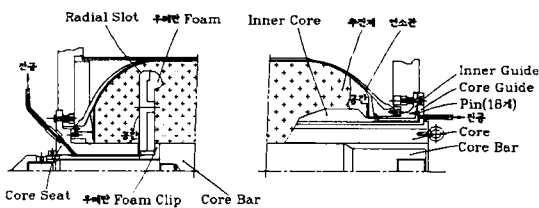


그림 3 : Bowl 및 Radial Slot 성형코아 조립도

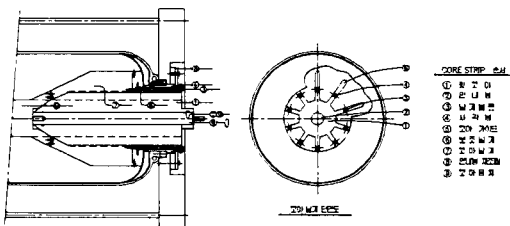


그림 4 : Finocyl 성형코아 조립도

2-2-2. Urethane Foam을 이용한 성형법

Radial Slot 형상

Radial Slot Grain(RSG)은 내탄도성능 (초기추력에 관련되는 연소표면적)과 추진제 내부응력을 완화해주는 Boots와 같은 역할을 한다. Radial Slot 형상은 충전 Tool에 의한 성형이 상당히 어렵기 때문에 RSG의 역할에 영향을 주지 않는 Urethane Foam에 의한 성형방법이 효과적이다. 공정설계시 고려사항은 다음과 같다.

- ① Urethane Foam 설치방법: RSG 외경이 연소관 입구보다 클 경우 Urethane Foam 을 일체형으로 하는 것은 불가능하다.
- ② 위치유지: 충전시 추진제 무게를 지탱할 수 있는 구조적 안정성이 필요하다.
- ③ Urethane Foam 뒷단면 성형방법 : Urethane Foam 뒷단면에 형성되는 공간을 제거해야만 그레인 끝부분 까지 성형된다.

Urethane Foam의 형상은 RSG 형상에 맞추어 제작한다.Urethane Foam을 연소관에 넣기 위해서는 Urethane Foam을 분할하여 연소관 내부에서 한 몸체로 조립한다. 2,3조각은 한 몸체로 조립이 어려우며 여러 조각은 구조적 안정성이 떨어지는 관계로 4 조각(상부 2 조각,하부 2 조각) 이 서로 엇갈려 조립되게 하여 구조적 안정성을 기하여야 한다. 또한 상,하부 조각의 정확한 조립을 위해 위치 고정용 Pin을 설치하였다. Urethane Foam의 고정과 뒷단면 성형은 그림3 좌측과 같다.

Cone 형상

자체 개발 중에 있는 거룡의 경우 Urethane Foam 외경이 연소관 내경보다 작기 때문에 형상 제작은 일체형으로 제작할 수 있었다. 여기서의 Urethane Foam 역할은 RSG 적용시와 같고 , RSG기능에 추가하여 Seat 역할도할수있게 설계하였다. (거룡은 후방점화 방식으로 앞돔부에 점화기 조립구멍이 없어 Seat 설치공간이 없음).Urethane Foam 이 포함된 헤드부 형상은 다음과 같다

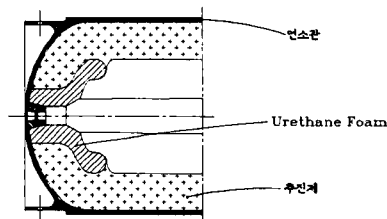


그림 5 : 거룡 추진기관 헤드부

2-2-3. 이중추력형 그레인

한 개의 추진기관에 Booster 와 Sustainer용 추진제를 함께 성형하는 방법으로 먼저 Sustainer용 추진제를 용량만큼 주입하고 Main 코아와 보조 코아를 삽입한다. 추진제 경화후 보조 코아를 해체하고, Booster용 추진제와의 접촉력을 좋게하기 위해 Sustainer용 추진제 면을 표면처리 한다. 그런 후에 Booster용 추진제를 주입하며 Booster용 형상코아를 삽입하여 성형한다. 보조코아 역할은 두 추진제가 결합되는 부분의 형상을 결정해 주고, Sustainer용 추진제 성형시 끝부분이 날카롭게 되어 있어 경화 완료후 흘러 넘친 추진제를 용이하게 제거할 수 있게 하였다. 보조코아 설계시 주의 사항은 보조코아를 해체하는 힘이 Main 코아에 영향을 주지 않게 하는 것이다. 성형 그림은 아래와 같다.

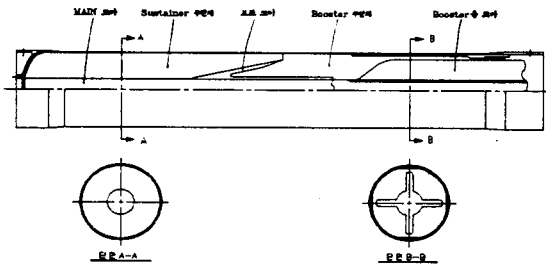


그림 6 : 이중추력형 성형도

2-3. 선진국 동향

선진 외국의 경우 상기에 소개되었던 성형 기술로도 성형이 불가능할 경우 (고체추진기관의 대형화, 복잡한 그레인 형상 등) Soluble 코아 또는 그레인 기계가공등을 통하여 그레인을 제작하고 있다. 미국 Aerojet 이나 프랑스의 MATRA의 경우를 예로 살펴보면 다음과 같다.

2-3-1. Soluble 코아에 의한 성형법

Soluble 코아는 다음에 소개될 기계가공 보다 안전성이 뛰어나고 그레인 형상을 자유롭게 바꿀 수 있는 장점이 있다. 이 기술을 국내에 적용하기 위해서는 Soluble 코아 재료 개발이 선행되어야 할 것이다.

< 미국의 ASRM의 경우 >

Soluble 코아 구성: 그림 7 참조

- ① Frame : Carbon Fiber Composite
- ② Soluble Filler:

PVA(Poly Vinyl Alcohol) and Microballons Mixture (경화온도:104~121℃)

- ③ Barrier : Silicon rubber 가 코팅된 성형체

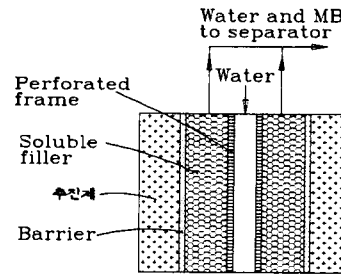


그림 7 : Soluble 코아 구성

Soluble 코아 Process

- ① Mix the Soluble Filler
- ② Mold the Soluble Filler around the Frame
- ③ "Barrier" around the Soluble Filler
- ④ Dissolve the Soluble Filler Out of a propellant loaded segment
- ⑤ Remove the Barrier from the loaded segment

재료 특성

- ① PVA (PolyVinyl Alcohol)
Binder 로 사용되며 미생물에 의해서 분해되고 독성이 없으며 물에 용해되는 물질.
- ② Microballoon (MB)
기존의 FRP 연소관 제작시 사용되던 맨드릴 재료는 PVA/SAND 이나 용해 작업이 단순하고 무게비에 따른 강도가 높아 SAND 대신 MB 를 적용하고 있음.
- ③ Barrier 재료
추진제와 친화력 (compatible) 이 있어야 하고 추진제 물성값 및 점화특성에 영향을 주어서는 안되며, 추진제와 분리가 용이 해야한다. 또한 전도성이 있어야하고, 물의 침투를 방지할수 있어야한다.

2-3-2. 그레인 기계가공

기계가공에 의한 그레인 제작은 형상을 다양하게 할 수 있으므로 내탄도 개발에 유리하나 가공시 추진제 분진발생 및 마찰열에 따른 화재, 폭발 위험성이 있어 상당한 가공기술이 요구된다. 그림 8 좌측은 Aerojet 에서 수행하고 있는 방법을 소개하고 있는데, 절삭공구가 연소관 중심 축을 기

준으로 하여 공전과 자전을 하면서 추진제를 가공하는 모습으로 공전속도가 자전속도 보다 빨리 회전해야 한다. 그림8 우측은 MATRA 에서 그레인 형상을 모방가공 하고 있는 모습을 보여주고 있다

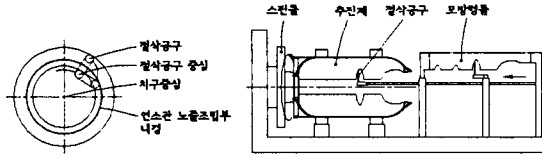


그림 8 : 그레인 기계가공

2-4. 우리 나라의 성형기술 발전과정

우리 나라에서 추진기관 분야에 관심을 갖고 본격개발을 시작한 것은 1975년도 국방과학연구소에서였다. 개발 초기에는 기술인력이나 장비,시설이 제대로 확보되지 않은 상황에서 시작되었기 때문에 자연히 대외 의존도가 높을 수밖에 없었다. 최초 성형기술 개발은 프랑스 SNPE 와 기술제휴하여 개발한 일반형 그레인 이었다.그후 양산화에 이른 현무,구룡등이 70년대 말부터 80년대에 자체개발이 이루어 졌다. 90년대에 들어서면서 부터 특수형 그레인의 제작요구가 본격화되면서 자체개발 노력이 활발히 이루어 지고 있다.

2-5. 향후 발전방향 및 과제

추진제 그레인의 품질을 향상시키기 위해서는 형상치수 뿐만 아니라 추진제 내의 결함을(Void 및 Crack,균형등) 발생을 방지 할 수 있는 무결점 충전공정 연구가 계속적으로 필요하다.

대형 추진기관의 경우 코아 소재의 조달이 어렵기 때문에 코아 개발에 많은 어려움을 겪고 있다. 그에 따른 대체 방안으로 Soluble 코아에 의한 성형기술 개발이 시급한 당면 과제이다.또한 기계가공 기술도 상당한 가공 기술이 요구되는 부문으로 향후 확보 되어야할 기술이다. 우선 초보적인 단계로 추진제 Trimming(마감처리) 공정에 적용하여 안전성 및 작업성에 대해 검증을 실시한 후에 점차 가공 범위를 확대해 나가야 할 것이다.

3. 결론

이상에서 보는바와 같이 복합추진제 성형공법에 대해 개략적으로 설명하였고 외국의 경우도 간략하게 소개하였다.일반형 그레인은 현재보다 한 단계 앞선 품질향상 노력이 지속적으로 있어야

하며, 특수형 그레인에 대해서는 고체 추진기관 내탄도 설계자의 그레인 설계 폭을 넓힐 수 있도록 성형공법에 대한 투자와 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 본 논문은 그 동안의 국방과학연구소와의 사업을 통하여 수행한 실제 제작경험을 통하여 얻은 기술을 전반적으로 정리하였음을 부언한다.

참고문헌

1. 홍용식 , 우주추진공학 , 청문각 , 1990
2. 오광환 외 1명 , 해외출장귀국보고서 13p , ADD MSRD-621-92112 , 1992
3. E.G Janson 외 3명 ,ASRM SOLUBLE CORE , AIAA 93-2057 29th Conference , 1993
4. Rocket Motor Technology 79p , MATRA DEFENSE , 1990
5. 유희진의 1명, 혼합형 고체 추진제의 발전 추세와 최근 개발동향, 대한화학회, 화학세계 35권 2호 23~28p , 1995