

# 다용도 단시간 연소 로켓모타 개발

김윤곤, 김경무, 양준서, 임유진 (국방과학연구소)

황영준, 주두엽 (한화 대전공장 연구개발실)

## 1. 서론

어떠한 공산품이든지 최초구상에서 최종제품으로 나오기까지는 많은 시행착오 및 설계개선 작업이 있기 마련이다. 이는 설계/해석과 시험/평가 작업을 병행하여 실시한다. 유도무기체계에 있어서도 마찬가지이며, 특히 발사초기 거동이 체계성능에 미치는 영향이 지대하여 발사초기 거동과 관련된 부품들의 최적 설계를 위해서는 필수적으로 발사초기 시험자료를 획득해야 한다. 발사초기에 추진기관 배기가스의 영향을 받는 부품이나 탄의 발사관 이탈 전후의 자료가 필요한 부품 등을 위한 시험자료를 얻기 위해서는 대략 0.5초이내의 추진기관 연소가 필요하다. 즉, 해당체계에 사용될 추진기관 대신 시험자료를 얻기위해 필요한 만큼의 단시간 연소하는 추진기관이 필요하다.

본 논문에서는 해당체계용 추진기관과 되도록 동일한 초기조건을 갖는 단시간 연소 추진기관을 연소 안정 및 모사 정확성, 구조 견고성, 예산절감, 제작기간 단축, 및 제작공정 용이성을 얻을 수 있도록 설계/제작하는 기법과 실제 적용한 결과에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 활용분야

단시간 연소모타 활용분야는 크게 나누어 3가지로 분류할 수 있다. 즉, i) 추진기관 자체연구, ii) 추진기관의 영향을 받는 주변 부품들에 대한 연구, 그리고 iii) 발사 초기 탄 자체성능 연구분야로 나뉜다.

### 2.1. 추진기관 자체 연구분야

추진기관 자체와 관련해서는 추진체의 점화 특성, 점화 초기 추진기관 성능변화 분석, 점화

기 최적설계자료도출, 점화 안전장치 성능확인, 추력방향 조정장치가 있는 노즐에 대한 설계자료 도출, 배기가스 특성분석, 노즐마개 최적설계 자료 도출 등의 분야에 쓰일 수 있다.

### 2.2. 추진기관의 영향을 받는 주변 부품들에 대한 연구분야

탄의 발사초기에 추진기관의 영향을 받거나 이와 관련된 부품은 의외로 많이 있다. 소형 전술 탄에서 볼 때, tension pin 장치, 발사관 앞 뒷마개 및 구조물 자체, 발사관 내 레일, Sabot, 발사대, 발사차량의 열방호 상판 등이 있으며 차량 발사형 중 대형일 경우에는 이와 함께 차량보호를 위한 화염편향기 등을 들 수 있다. 이들 부품들은 추진기관 화염에 노출되는 시간이 대략 0.5초 이내인 특징을 가지고 있으며 어떤것들은 추진기관의 배기가스에 의해 작동된다. 탄의 발사초기에 발사관 내에 형성되는 배기가스 흐름은 발사관 뒤로 뿐만 아니라 일부가 앞으로 진행하며 연소개스 내 불완전 연소된 성분이 탄의 표면에 검댕이를 입힐 수가 있다. 이와 같은 현상은 레이저 감응형 신관을 사용할 시 창에 검댕이를 입혀 신관의 작동성능을 감소시킨다. 또한 탄이 발사관을 빠져 나간후 잠시동안은 주변 발사관이 고온, 고속 배기가스에 노출된다. 단시간 연소모타는 이상과 같은 여러 가지 주변부품의 성능확인/설계자료 도출에 유용하게 활용될 수 있다.

### 2.3. 발사초기 탄 자체성능 연구분야

체계성능을 크게 좌우하는 발사초기 거동과 관련된 것으로는 발사관 내 탄 진동, 발사관 내 탄 진행특성, sabot 이탈 직후의 tip-off 정도분석, 발사관을 이탈한 탄의 초기자세, 주날개/조종날개 전개특성, 탄내 각종 부품의 작동 신뢰도 확인 등을 들 수 있다. 이들 역시 전(全)

연소 모타가 아닌 단시간 연소모타로 충분히 시험 가능한 것들이며, 특히 짧은 추진기관의 연소시간은 탄의 비행거리를 대폭 줄이기 때문에 필요시 시야 내의 근거리에 착지한 탄을 쉽게 회수하여 분석할 수 있는 가능성도 부여한다.

### 3. 설계/제작

서론에서 언급했듯이, 되도록 체계적용 모타의 초기성능을 갖도록 하면서 설계와 제작이 용이하고 예산을 절감할 수 있는 형태로 개발하고자 했으며, 이를 위해 가능한 한 일차 시험한 모타 부품을 재 사용하는 개념에 바탕을 두고 설계/제작하였다.

#### 3.1. 설계

가장 주요부분인 추진제 그레인 형상설계를 다양한 형태의 추력-시간 선도가 얻어질 수 있도록, 그리고 안정된 연소를 기대할 수 있는 방향으로 구상하였다: 즉, 여러가지 많은 그레인 형상 중 가장 널리 쓰이고, 구조 및 연소측면에서 안정성이 있는 별 모양 형상으로 설계되도록 하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 체계적용 모타의 초기 연소 면적과 초기 free volume을 맞출 수 있도록 적정크기 및 개수의 별 모양을 갖게 하고 초기 free volume을 되도록 실제와 가깝게 할 수 있게 연소관 내에 또 다른 연소관을 끼워 넣고 잉여부피는 라이너로 채워 넣는 식으로 설계하였다.

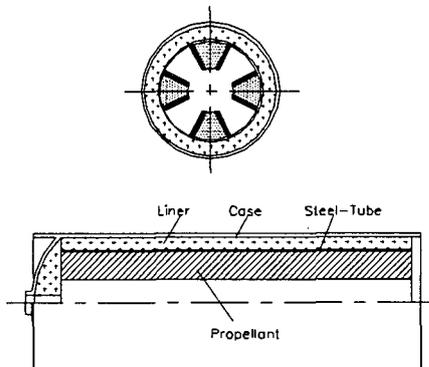


그림 1. 산이 4개인 경우의 설계의 개략도

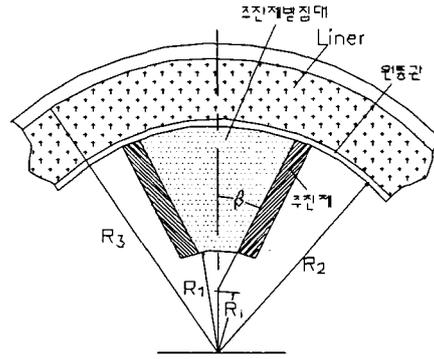


그림 2. 산 부분 설계 개념도

그림 2는 그림 1의 별 모양 하나를 확대하여 나타낸 것으로서 최종형상을 찾기 위한 설계 방식은 다음과 같다. 먼저, 제작성을 고려한 최대 원관 내경  $R_2$ 와 최소내경  $R_1$ 을 설정해 놓고, 임의의 별의 각도  $\beta$ 와 최소  $R_1$ 에서 최대  $R_2$ 인 임의의  $R$ 을 조정하면서 주어진 초기연소 면적과 초기 자유체적에 맞게 최적  $\beta$ 와 추진제의 길이를 계산하여 이를 주어진 추진제 최대 길이와 비교하는데, 이때 합당한 값(길이)이 아닐 경우에 별의 개수를 조절하여 다시 위의 과정을 반복한다. 이때 추진제 연소면적은 반경 방향 양변의 Insulation여부를 주어 계산 되게 했으며, 산이 많을 경우 인접한 산끼리의 간격을 계산하여 제작성이 좋은 것을 선택할 수 있게 하였다.

추력-시간 형태는 점진적 증가형, 점진적 감소형 및 일정 수준형으로 크게 나뉜다. 이들 3가지 형태를 임의로 얻기 위해 그림 3과 같은 일반적 그레인 단면을 구상하면 각도  $\alpha$ 의 조정과 insulation의 유무로 쉽게 3가지를 재현할 수 있다.



그림 3. 추진제 평판의 반경 및 길이방향 개략도

그레인의 두께는 연소초기 압력상승 구간에도 얼마큼 두께의 추진제가 연소되어 없어지는 것을 감안하여 원하는 연소시간 만큼 연소할 수 있도록 결정하였다.

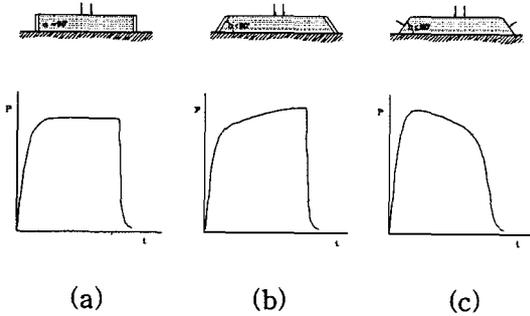


그림 4. 그레인 형상별 성능형태

### 3.2. 제작

구조물 제작과 추진제 그레인 제작은 구조의 견고성, 제작의 용이성, 그리고 제작비 절감에 중점을 두었다. 그림 2의 추진제 받침대는 그림에서 보이는 바와 같은 프리즘 형태로 제작하여, 별도로 제작한 요구조건에 맞춰 설계된 형상의 얇은 평판형 추진제 그레인을 접착시킨 뒤 안측 원관에 볼트로 고정시켰다(그림5참조). 이렇게 제작한 추진제 그레인 원관을 단시간 연소 모터 연소관에 삽입한 뒤, 사이공간을 라이너로 충전하여 경화시키면 필요한 단시간 연소모터 추진제 충전체가 제작된다. 이를 기 제작한 노즐과 조립하면 최종적인 단시간 연소모터를 얻는다.

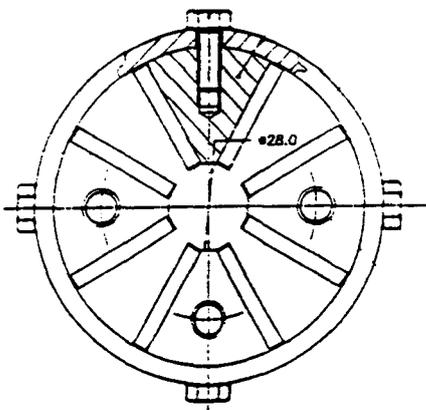


그림 5. 추진제 받침대 고정 개념도

### 4. 적용

3장에서 기술한 기법을 적용하여 소형 단시간 연소모터를 설계, 제작하여 시험까지 실시한 것과 다른 기법으로 기 제작/시험되었던 대형 단시간 연소모터를 본 기법으로 설계한 결과는 다음과 같다.

#### 4.1 소형 단시간 연소모터에의 적용

차량에서 발사되는 체계의 차량상판에는 탄발사시 추진기관의 고온, 고압 및 고속가스에 반복 노출되기 때문에 이를 보호하고, 보강하기 위한 열방호판이 설치되어 있다.

최근에 이의 최적설계자료 도출과 제작품의 성능평가를 위한 목적으로 0.2초 정도 연소하는 단시간 연소모터를 3장에 기술한 기법을 적용하여 설계/제작하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 수 mm 두께의  $L/D \approx 30$ 인 직사각형 추진제 평판 8장이 필요하며 전체적 단면이 4-point star grain 형상을 갖도록 설계되었다. 또한 제작된 평판 윗면을 제외하고는 모두 인슐레이션을 도포 하여 그림 4a와 같은 성능선도를 얻도록 하였다.

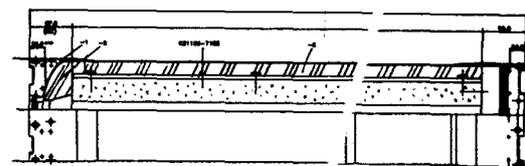
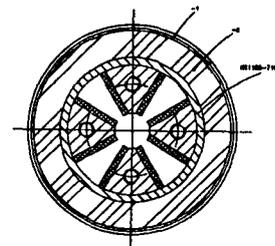


그림 6. 소형 단시간 연소모터 설계 결과

이를 제작하여 연소 시험한 결과 그림 7과 같은 형태의 성능선도가 얻어졌으며 전체적으로 안정된 연소 양상을 보였다. 예측 선도와 비교해 볼 때 실제 시험선도가 성능강화시간이 긴 것으로 나타나고 있는데, 이는 제작된 추진제 평판의 두께 불균일(평균치  $\pm 20\%$  정도), 평판주위 인슐레이션 도포 상태미비, 및 부분적 추진제 평판 접착 상태 불완전 등에 기인하는 것으로 판단된다.

추력-시간 선도에서 볼 때 총역적이 당초 설계보다 30% 가까이 증가하였음을 알 수 있으며 이는 그만큼 추진제 양이 더 추가되었음을 의미한다. 즉, 설계개념상 단시간 연소모타에 쓰이는 추진제 평판의 두께가 비교적 얇기 때문에 추진제 두께의 균일성이 전체성능에 미치는 영향이 지대함을 알 수 있다.

단시간 연소모타는 성격상 짧은시간동안만 연소하기 때문에 체계적용형 모타를 시험한 뒤의 부품을 재 사용할 수 있는 가능성을 갖고 있다. 본 소형 단시간 연소모타 제작시 이를 검토한 결과 주요 부품들을 재 사용함으로써 제작비를 약  $\frac{1}{3}$ 로 크게 감소시킬 수 있었다.

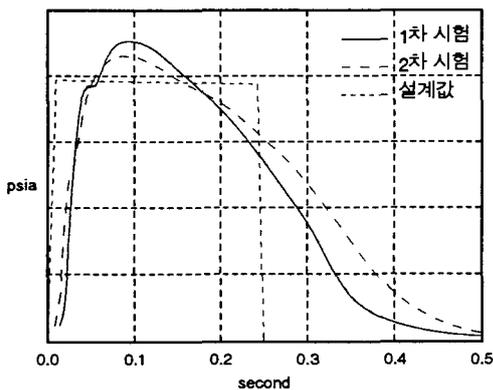


그림 7. 소형 단시간 연소모타 성능 선도

#### 4.2 대형 단시간 연소모타에의 적용

그림 8은 배기가스 편향기 성능시험을 목적으로 기 제작된 단시간 연소모타이며 그림 9는 3장에서 기술한 기법을 적용하여 설계된 결과

를 보여주고 있다. 상호 비교해 볼 때, 구조적으로 더 간단하고 연소면이 점화기 화염에 더 잘 노출되도록 설계되어 제작비 절감, 제작기간 단축, 제작공정 용이, 연소안정 등의 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

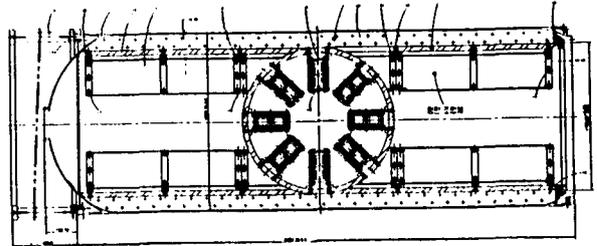


그림 8. 기존 배기가스 편향기 성능 시험 모타 단면도

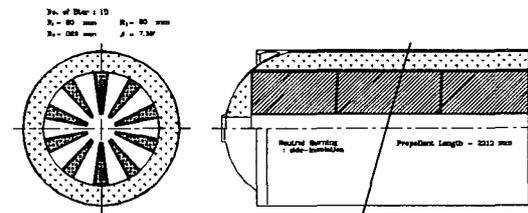


그림 9. 개선된 기법을 적용한 배기가스 편향기 성능 시험 모타 단면도

#### 5. 고찰

이론과 실제가 상이하거나 얼마 크의 편차를 보이는 부분들을 고찰해 볼 때, 좋은 결과를 얻기 위해서는 추진제 그레인의 제작성과 추진제 충전체 제작 공정의 정확성에 유의해야 함을 알 수 있었다. 추진제 그레인 평판 제작시 점도가 높은 추진제의 경우 고른 면의 평판을 제작할 수 없었으며 그렇지 않은 경우의 추진제로는 고른 평면을 얻을 수 있었으나 제작 공정상 두께가 균일하지 않았고 추진제 평판 부착 작업과 인슐레이션 도포 작업이 부정확할

경우 예측과 상이한 형태의 성능선도가 얻어질 수 있음을 알 수 있었다. 또한 추진제 충전체 제작 공정시 연소관과 추진제 받침대 조립체가 정확히 동심축을 이루지 못할 경우 노즐 조립 상에 어려움을 초래할 수 있음을 볼 때 정확한 형태의 성능을 얻기 위해서는 제작 공정성과 작업정확도에 특히 유의해야 할 것이다.

## 6. 결론

다용도 단시간 연소모타의 활용분야를 종합적으로 알아 보았으며 이의 설계/제작 기법과 실제 적용 결과를 논하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- i) 단 시간 연소모타는 활용도가 높으며,
- ii) 다양한 형태의 성능 요구조건을 맞출 수 있도록 설계/제작될 수 있고,
- iii) 전(全) 시간 연소모타 보다 훨씬 저렴하게 제작될 수 있어 예산 절감 효과가 높으며,
- iv) 정확한 성능을 얻기 위해서는 추진제의 제작공정 정확도에 각별히 유의해야 한다.

## 7. 참고 문헌

- 1) NASA-SP-8039, "Solid Rocket Motor Performance Analysis and Prediction", 1971. 5
- 2) 최용규, 윤일선 "현무 복합소재 화염 편향기 개발용 추진기관의 설계와 성능분석연구", 국방과학연구소, MSDC-521-950142, 1995. 3
- 3) 양준서, 김윤곤 "다용도 단시간 로켓모타 내탄도 설계 프로그램", 국방과학연구소, 4-4-1, Tech Memo 96-IB-004, 1996. 4