

# Fabric/EPDM계 고무의 제작 공정에 따른 삭마 특성

김진용\* · 노태호\* · 이원복\* · 조원만\* · 이영우\*\*†

## The Ablation Effect of Fabric/EPDM Rubber with Manufacturing process

Jinyong Kim\* · Taeho Rho\* · Wonbok Lee\* · Wonman Cho\* · Youngwoo Rhee\*\*†

### ABSTRACT

The dual pulse rocket motor is a pressure vessel containing two pulse grains separated by a pulse separation device such as a fragile bulkhead. One of the important things in this systems is case insulation design using the excellent materials in the 1st stage pulse motor. We investigated manufacturing process of fabric/EPDM chamber insulations in order to protect the 1st stage pulse motor case with high intensity gas flow. Simulation motor connected with extension tube having FRP disc was designed to study ablation characteristics of insulation.

### 초 록

격벽형 펄스분리장치를 갖는 이중펄스 로켓모타의 경우 2단 모타 추진제 연소시 1단 모타 연소실 내부에 높은 강도의 가스흐름이 발생하므로 1단 모타 연소관 내열재 설계가 중요한 변수들 중의 하나이다. 본 논문에서는 이러한 높은 강도의 가스흐름으로부터 연소실 내부를 보호하기 위하여 fabric을 삽입한 EPDM계 고무의 제작 공정을 확립하였으며 높은 강도의 가스흐름을 유발하도록 설계된 모사모타에 적용하여 삭마 특성을 분석하였다.

Key Words: Dual Pulse Rocket Motor(이중펄스 로켓모타), Pulse Separation Device(펄스분리장치), Fabric(직물), EPDM(Ethylene-propylene diene Termonomer), High Intensity Gas Flow(고강도 가스흐름), Ablation(삭마)

### 1. 서 론

추진기관내 추진제 연소시 연소관 내열재는 Fig. 1과 같이 표면에서부터 삭마가 진행되는데 화학적/물리적 영향에 기반을 두고 있다. 화학적

인 영향은 추진제 연소가스 및 액체 입자에 의한 숯층 성분의 표면화학적반응과 숯 영역과 분해 영역에서의 열분해 반응이 진행되는 것이다. 물리적인 영향은 표면마찰에 의한 전단응력과 입자충돌에 기인한 표면침식, 열전달에 의한 열응력, 숯층과 분해 영역의 기계적/열적 응력에 기인한 표면층약화에 의한 것이다. 이는 열분해 가스에 의해 생성되는 내부압력에 기인한 파쇄 현

\* (주)한화

\*\* 충남대학교 녹색에너지기술전문대학원

† 교신저자, E-mail: ywrhee@cnu.ac.kr

상을 말한다. 이러한 화학/물리적 영향에 의한 내열재 삭마는 이중 하나에 의해서 일어날 수도 있지만 동시 다발적으로 발생할 수도 있다[1,2].

연소관 내열재 등으로 쓰이는 NBR, EPDM 등의 고무는 추진제의 연소가스로부터 연소관을 보호하고 기밀을 유지하기 위한 재료로 많이 사용되고 있다. 내열재는 모재를 기본으로 보강제 역할을 하는 충전제 및 기타 첨가제로 이루어진 복합재료이며 고분자로 이루어진 모재는 기계적 성질을, 충전제는 삭마 특성과 열적 특성을 결정하게 된다. 연소관 내열재는 높은 인장 강도와 추진제가 충전, 저장, 이송되는 과정에서의 기계적인 스트레스를 흡수할 수 있는 연신율을 가져야 한다. 또한, 추진기관 연소 시 고온의 연소가스 흐름에 대해 삭마 특성이 우수해야 한다[2,3].

격벽형 펄스분리장치를 갖는 이중펄스 로켓모타와 같이 2단 모타 추진제 연소시 1단 모타 연소실 내부에 고압/고온의 높은 강도 가스흐름이 발생하여 내열재 삭마에 의해 연소관 표면이 노출되는 현상이 발생할 수 있다[4]. 본 연구에서는 높은 강도의 가스 흐름으로부터 연소실 내부를 보호하기 위한 Fabric/EPDM계 고무의 제작 공정에 관하여 연구하였으며 삭마 특성을 분석하기 위하여 모사모타를 설계/제작하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 Fabric/EPDM 제작 공정

본 연구에서 사용한 모재는 EPDM과 CR로, EPDM은 에틸렌 함량이 53.0~60.0wt%, ENB 함량이 6.9~8.9wt%인 금호 폴리켄에서 생산되는 KEP-330을 사용하였다. CR은 Dupont에서 생산되는 NEOPRENE<sup>®</sup> GRT M 시리즈를 20phr 이 내에서 적용하였다. Table 1에서는 각각의 재료에 대한 조성을 대략적으로 나타내었다.

각 조성의 EPDM 고무는 Kneader 믹서를 통하여 혼합이 되며 롤러를 통하여 Sheet 상태의 고무가 제작된다. HI-5 조성의 경우 3mm 길이의 Kevlar를 5phr 첨가하였고, HIJ-CF/GF/SF는 HI-5 조성에 Kevlar를 제외시켰으며 carbon/glass/silica fabric을 각각 삽입하여 제작하였다. HIJ-CFC/HIJ-GFC/HIJ-SFC는 fabric 삽입전에 Chemlok<sup>®</sup> 6108을 도포하여 EPDM과 접착력을 향상시켰다.

Fabric을 삽입한 EPDM계 고무 제작은 Fig. 2와 같이 두 개의 공정으로 나타낼 수 있다. 기계공정의 경우 Fabric 원단을 틀에 고정하고 사전에 제작된 미가류 EPDM 고무를 압착롤에 안착시킨다. Fabric 원단을 압착롤 사이로 통과시키고 그사이에 미가류 EPDM 고무를 접착시켜 제작한다. 접착력 증가를 위하여 Fabric 원단을 압착롤 사이로 통과시키기 전에 Chemlok<sup>®</sup>을 도포한다. 이러한 공정은 대량 생산에 유용하나 불량 위험이 상대적으로 많은 단점을 가지고 있다. 수(手) 공정은 Fabric 원단을 원하는 크기로 절단하고 사전에 제작된 미가류 EPDM 고무를 그 양쪽에 접착시켜 제작한다. 기계 공정과 같이 필요시에는 미가류 EPDM 고무를 접착하기 전에 Chemlok<sup>®</sup>을 도포한다. 수 공정은 불량 위험이 적은 대신에 대량 생산하기에는 적합하지 않지만 소형 추진기관 내열재에 적용하기에 수월하다.

위와 같이 제작된 Sheet 상태의 미가류 고무는 온도 160℃, 압력 50kg/cm<sup>2</sup>이하에서 1 시간 동안 유압 프레스를 이용하여 경화시켜 내열재 시편으로 준비된다.

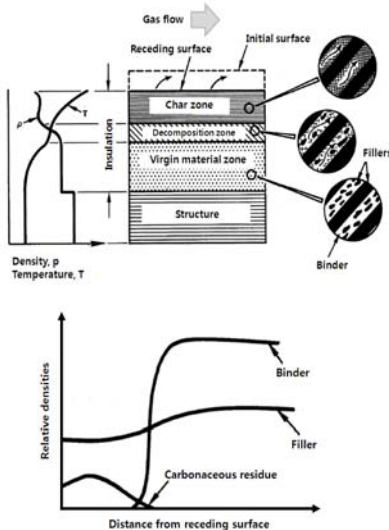


Fig. 1 Model of Ablative Insulation

Table 1. Formulations of the EPDM-based Rubbers

Item	Quantity (phr)						
	HI-5	HIJ-CF	HIJ-CFC	HIJ-GF	HIJ-GFC	HIJ-SF	HIJ-SFC
EPDM /CR	100	100	100	100	100	100	100
Filler	35	35	35	35	35	35	35
Kevlar	5	0	0	0	0	0	0
CF	×	○	○	×	×	×	×
GF	×	×	×	○	○	×	×
SF	×	×	×	×	×	○	○
Ck	×	×	○	×	○	×	○

※CF: Carbon fabric, GF: Glass fabric, SF: Silica fabric, Ck: Chemok 6108

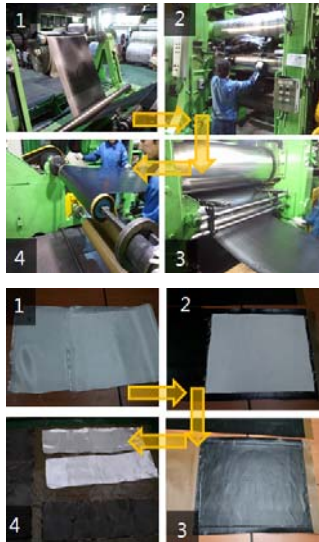


Fig. 2 Manufacturing process

## 2.2 시험 모타 설계

내열재 삭마시험을 위한 모사모타는 높은 강도의 가스흐름을 유도하기 위하여 Fig. 3과 같이 연소실과 extension tube 사이에 구멍이 있는 FRP 구조물을 설계에 반영하였다. 1차 설계는 FRP 구조물 중앙에 유동구멍을 만들어 연소가스가 구멍을 통하여 extension tube 내부 벽으로 확산될 수 있게 하였고, 2차 설계에서는 FRP 구

조물에 15도의 경사가 있는 6개의 구멍을 만들어 extension tube 내부내열재에 직접적으로 연소가스가 부딪치도록 설계하였다.

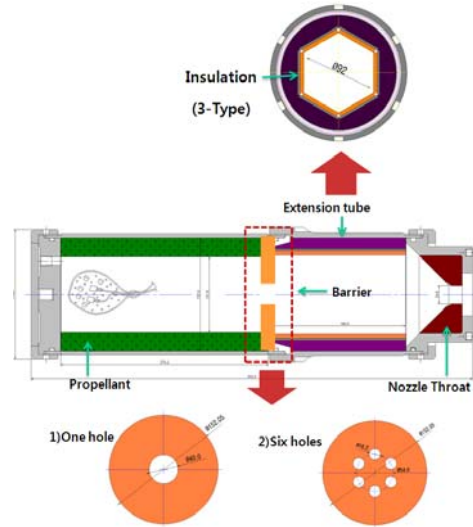


Fig. 3 Design of the Simulation Motor

## 3. 시험 결과

내열재 삭마시험 모타는 Fig. 4,5에서와 같이 연소시간 1.37sec, 평균압력 대략 1,170psi로 분석되었다. 지상연소시험 후 연소관 내열재 삭마량을 분석하기 위하여 extension tube를 분리하였고, 3차원 측정기를 사용하여 시험 전/후의 값을 비교하여 계산하였다. Figure 6,7에서는 1,2차 설계 모타에 대한 내열재 삭마량을 extension tube 거리에 따라 나타내었다.

1차 설계 모타의 경우 내열재는 FRP 홀에서부터 노즐 입구쪽으로 가면서 삭마량이 더 증가하는 경향이 있는 것으로 판단된다. 이는 연소 초기 구멍을 통하여 나오는 연소가스가 노즐 수렴부 영역에 먼저 도달하고, 이후 노즐을 통하여 빠져나가기 때문이다. 이와 더불어 재순환 영역이 노즐 수렴부에서 전방부위로 확대되는 것으로 알 수 있다. 2차 설계 모타 내열재는 FRP 격벽 구조물의 6개의 구멍을 통하여 나오는 높은

강도의 가스흐름이 직접적으로 extension tube 중앙 부위에 부딪치게 되어 많은 삭마가 발생하게 되었다.

1차 설계 모타에서 Chemlok<sup>®</sup>을 도포한 HIJ-CFC 내열재는 HI-5 보다 약 8.2%, HIJ-CF 보다 약 4.0% 삭마율(m/sec)이 감소된 것으로 분석되었다. 2차 설계 모타의 경우 HIJ-CFC 내열재는 HI-5 보다 약 10.3%, HIJ-CF 보다 약 5.0% 삭마율(m/sec)이 감소된 것으로 나타났다. 이는 Fabric과 EPDM 내열재 사이의 접착력 증가에 따라 추진제 연소시 발생하는 높은 강도의 유동장에 의한 내열재 삭마량은 감소될 것으로 판단된다.

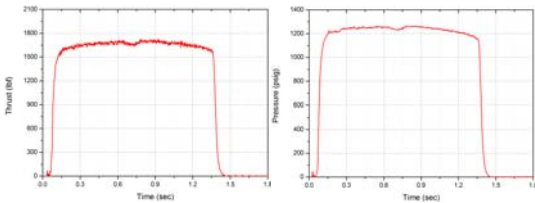


Fig. 4 T-T and P-T Curves of 1st Design

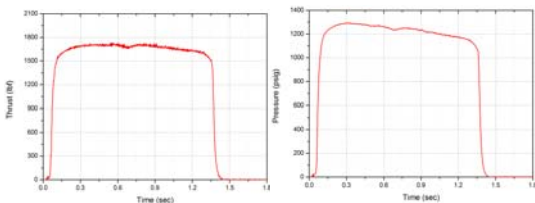


Fig. 5 T-T and P-T Curves of 2nd Design

#### 4. 결 론

본 연구에서는 EPDM계 고무에 Fabric을 삽입하는 제작 공정에 관하여 연구하였으며 HI-5/HIJ-CF/HIJ-CFC 내열재의 삭마 특성을 분석하기 위한 모타를 설계/제작하였다. 결과적으로 Fabric과 EPDM 내열재 사이의 접착력 증가에 따라 삭마량이 감소됨을 알 수 있었으며, 이 공정을 적용하여 높은 강도의 가스유동이 발생하는 이중펄스모타의 1단 연소관 내열재에 적용하면 삭마율을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

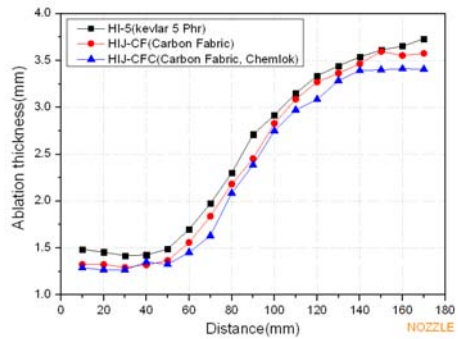


Fig. 6 Ablation Thickness of 1st Design Motor

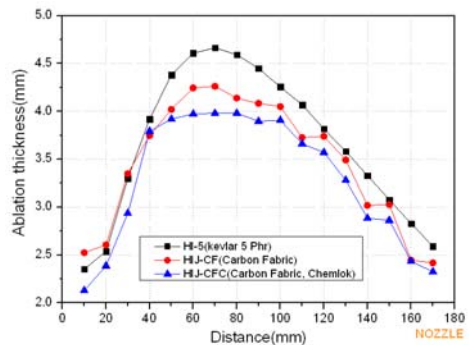


Fig. 7 Ablation Thickness of 2nd Design Motor

#### 참 고 문 헌

1. Tazua, J. M., "Thermal Insulation, Liners and Inhibitors in Solid Rocket Propulsion Technology", Pergamon Press, New York, 1993, pp.553-583.
2. "Solid Rocket Motor Internal Insulation", NASA-SP-8093, 1976.
3. Rajeev, R. S. and De, S. K. et al., "Studies on Thermal Degradation of Short Melamine Fibre Reinforced EPDM, Maleated EPDM and Nitrile rubber composites", Polymer Degradation and Stability, Vol. 79, 2003, pp.449-463.
4. Carrier, J. L. C. and Constantinou, T. et al., "The Dual-Interrupted-Thrust Pulse Motor", AIAA-86-1576, 1986.