

## 유동가압성형(TPM)을 이용한 휴대용 유도무기용 연소관 조립체 제작공정연구

정 상 기 · 윤 남 균

### A study on the manufacturing of motor case assembly for K-PSAM propulsion system by Trans. power molding(TPM) process

S. K. Chung and N. G. Yun

#### ABSTRACT

This paper deals with the study on injection with EPDM(Ethylene propylene dien ter polymer) the gap which narrow, long, and tubular between an ablative composite tube and a steel motor case. Small size motor assembly was designed and manufactured for man-portable air defense propulsion system. Motor assembly is consisted with steel tube, ablative composite tube and insulation rubber. Ablative composite tube was made of carbon/phenolic prepreg by rolling process and insulation rubber was made of EPDM by TPM(Trans-power molding) process. To select the insulation rubber material, we tested ablative insulation property and degradation property at first and we tested fluidity, adhesive property and hardness of EPDM rubber. Finally we designed TPM process to manufacture motor case assembly and the motor case assembly was examined by non-destructive test(X-ray).

#### 초 록

복합재료와 금속 튜브 사이의 좁고 긴 원통형 공간을 EPDM(Ethylene propylene dien ter polymer)으로 충전하는 연구를 수행하였다. 휴대용 유도무기의 추진기관을 개발하기 위하여 소형 연소관 조립체를 설계하고 제작하였다. 연소관 조립체는 연소관 금속튜브, 연소관 내열재, 그리고 연소관 단열재로 이루어져 있는데 연소관 내열재는 탄소/페놀릭을 사용하여 롤링 공법으로 제작하였으며 연소관 단열재는 EPDM을 사용하여 TPM 공법으로 제작하였다. EPDM의 조성 선정을 위하여 내열 식마특성, 열분해특성 실험을 수행하였으며 흐름성, 접착성, 경도측정 등을 통하여 최종 조성을 결정하였다. 연소관 조립체를 제작하기 위한 EPDM 충전을 위하여 TPM 공법을 설계하고 금형과 치구를 제작하였다. 충전된 연소관 조립체는 비파괴검사를 통하여 접착, 기공 등을 검사하여 최종 선정되었다.

## 1. 서 론

본 연구는 휴대용 유도무기 추진기관내의 연소관 조립체 개발 기술에 대한 내용을 담고 있다. 전 보 고서[1] 및 논문[2]에서 발표한 바와 같이 소형 추진 기관을 이용한 세계 각국의 개인 휴대용 대공 유도 무기의 연구개발 및 실전운용은 매우 활발하여 미국 휴즈사의 스팅거, 프랑스 마트라사의 미스트랄, 러시아의 이글라, 영국 쇼트사의 스타버스트 등<sup>[3~10]</sup>이 개발, 운용되어 왔다. 항공기의 끝없는 성능개선에 대응하여 소재변경 등 개선항목 변경에 의한 각 무기체계의 성능개량은 부단히 이루어져 최초모델을 개선한 후속모델들이 계속 개발, 운용되고 있는 형편이며, 국내에서도 국산 휴대용 대공 유도무기의 개발을 위해 지난 수년간 연구개발을 진행하여 왔다.

본 연구의 목적은 휴대용 대공 유도무기의 비행모 타 연소관 조립체 개발을 위하여 연소관 조립체의 제작에 관한 내용을 기술한 것으로서, 실제 비행형 연소관(Flight-Type) 적용 이전에 두꺼운 연소관 (Heavy-Type)을 사용하여 체계 요구성능을 만족 시키는 연소관 조립체의 공정개발을 확인하는 것에 그 목적을 두고 있다. Fig. 1에 연소관 조립체의 형 상을 나타내었다. 실험 및 지상연소시험 결과에 따 라 초기 설계의 폴리우레탄계<sup>[11~14]</sup> 연소관 단열재의 내열특성 부족이 지적되었으며, 이에 대한 대안으로 요구치의 내열 삭마특성을 가지는 EPDM계 내열고 무조성을 소재물성과 충전 공정성 등을 고려하여 선 정하였다.<sup>[15~17]</sup> 이에 대한 필요조건으로 고무조성은 액상고무를 혼련하여 흐름성이 최대한 좋도록 하였 으며, 연소관 단열재로서의 요구조건인 내열성, 접착 성, 경도 등 예비 시험항목의 측정을 통하여 적용성 을 확인한 후 부품에 적용하였다. 또한 복합재료 연

소관 내열재와 연소관 금속튜브 사이의 좁고 긴 공 간에 액상의 연소관 단열재를 충전하여 연소관 조립 체의 제작이 가능하도록 열을 가하며 프레스 압력으 로 EPDM 고무를 채울 수 있는 TPM 공법을 개발 하였다. 연소관 조립체 제작은 내열성 복합재료인 탄소/페놀릭 프리프레그를 사용하여 설계, 제작된 연소관 내열재를 TPM 중심 금형에 위치시킨 후 각 부위의 부품금형을 조립, 예열하고, EPDM계 고무 혼련물을 유압프레스의 압축용 용기에 넣은 후 가압 성형하는 TPM 공정에 의해 연소관 조립체를 제작하였다. 비파괴 검사를 통하여 연소관 조립체의 접착상태, 기공여부 등을 검사하였으며 지상연소시 험을 통하여 내열성능 및 안정성을 평가하였다.

본 연구의 결과는 카트리지 형태 추진체를 삽입하 는 방식의 연소관 조립체를 개발하기 위하여 내열성 복합재료인 탄소/페놀릭을 내면에 삽입하여 치수안 정성을 유지하며, 연소관 단열재를 사용하여 연소관 금속튜브와 연소관 내열재 사이를 충전하는 기술을 확보하였다. 연소관 단열재의 재료로는 EPDM계 고무가 요구조건을 충분히 만족시켜줌으로써 최종 선택되었으며 충전공정으로서 본 연구에 적합한 TPM 공정을 설계하고 적용하였다. 결과적으로 향후 수행 될 비행형 연소관 제작은 예비공정조건의 보완 및 변경을 통하여 계속 진행될 것으로 판단된다. 이러 한 조건에 의한 비행형 연소관 조립체의 개발은 현 재 진행중이다 .

## 2. 실험 및 결과

### 2.1 연소관 내열재

#### 2.1.1 연소관 내열재 제작

이 부품은 연소관내의 추진체와 접하는 부품으로

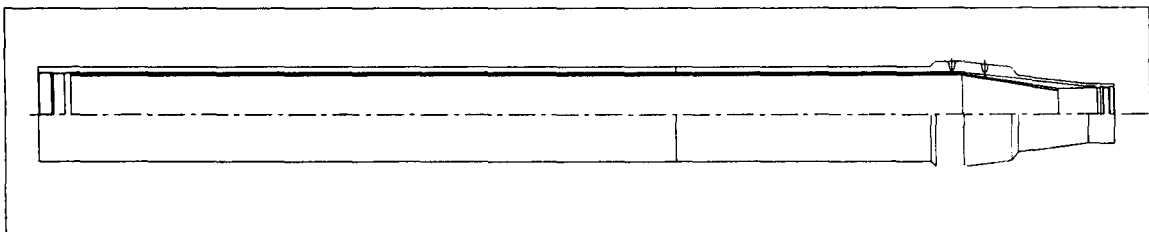


Fig. 1. Configuration of motor assembly

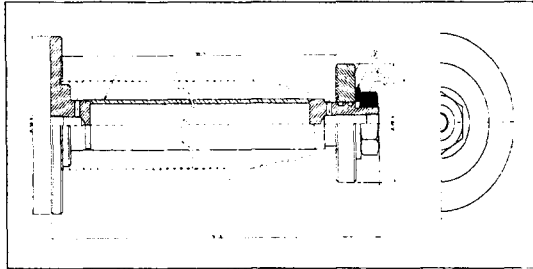


Fig. 2. Hydrostatic bursting test assembly of FRP tube

서 추진제의 화염으로부터 연소관을 보호하는 내열 특성을 갖추며 삽입식 추진제와의 치수를 유지하는 역할을 한다. 부품 제작에 사용한 소재는 탄소/페놀릭 프리프레그(상품명:FM5055)이며 내열 성능 이외에도 연소관내의 압력에 일정수준까지는 구조강도를 유지해야 하는 요구조건을 갖추고 있기 때문에 구조강도가 높은 롤링 공법으로 제작하였다. 적층된 프리프레그는 하이드로크레이브(Hydroclave)에서 150°C, 1000 psi 압력으로 성형하였다.

### 2.1.2 구조강도 평가

연소관 내열재는 탄소/페놀릭 프리프레그를 적층, 성형, 가공하여 제조된 두께 1mm의 내열 복합재로서 초기 개발단계에서는 로젯 성형품을 적용하였으며, 개발 과정중 구조강도의 평가 및 구조강도의 증진이 요구되었다. 로젯의 경우 여러 장(ply)의 패턴 형상을 적층함에 따라 형상유지는 용이하나 인접 층과의 불연속으로 인하여 구조적인 취약성이 존재하게 된다. 한편 롤링에 의해 연소관 내열재를 제작할 시 소재의 연속성으로 인해 상대적으로 높은 구조강도가 예상되며, 하이드로크레이브 성형 후 가공시 소재손실도 적게되는 특성이 고려되었다. 따라서 상기 두 제작 공법에 따라 제작된 제품의 구조해석과 강도 평가를 위하여 내압에 의한 수압파괴시험을 수행하였다. 수압시험은 밀봉을 위해 내부에 고무튜브를 넣고 내부 샤프트를 삽입한 후 이 샤프트의 양쪽 끝단의 나사가공 부위에 플렌지 형태의 치구를 체결하고, 수압시험기와 연결하여 내부 고무튜브에 물을 넣고 압력을 가하여 연소관 내열재가 파괴될 때까지 시험하였다. Fig. 2에 수압시험 치구형상을 나타내었다. 스트레인 게이지는 저항 350Ω, 이축게이지를

사용하였으며, 게이지 부착위치는 각 공법에 대해 시험번호 1~2는 연소관 내열재 튜브의 원통부 및 축소부 시작점에 8개씩 설치하였으며, 이 두번의 시험이후 게이지 수량을 축소하여 시험번호 3~4는 3개씩 부착하였다.

### 2.1.3 실험 결과

수압시험 결과는 Table 1과 같으며 탄소/페놀릭의 고유특성과 얇은 두께로 인해 낮은 파열강도를 나타내었다. 초기 실험에서는 롤링 적층이 로젯 적층보다 높은 파열강도 값을 보였으나 수압시험기의 승압속도를 조절할 수 있는 저압용 시험장비의 적용 결과 롤링이 로젯 보다 2.5배나 높은 값을 나타내었다. 따라서 수압시험 결과에 의해 롤링 적층이 구조적으로 더 안전하다고 판단되어 최종 적용하였다. 그러나 시험결과 데이터 분석과정에서 측정값의 불안정등 결과 해석의 어려움으로 인하여 시험방법 변경등 재시험 필요성이 대두되었다. 따라서 보다 상세한 평가를 위해 상기 두 공법에 의해 제작된 연소관 내열재 원통부 단면의 놀링(NOL-Ring)시험(폭 6mm) 및 원통부 채취시편의 인장시험을 현재 수행하고 있다.

## 2.2 연소관 단열재

### 2.2.1 연소관 단열재 제작

연소관 단열재는 연소관 내열재를 연소관 내에 일정 위치로 고정시켜주고 연소관 내열재와 더불어 연소중 내열성능을 발휘하도록 설계되었다. 따라서 연

Table 1. Result of hydrostatic bursting test of FRP tube

구 분	시편명	파괴압력 (psi)	비 고
로젯 공법	Ros-1	30	
	Ros-2	58	
	Ros-3	20	저압용 시험장비
	Ros-4	20	저압용 시험장비
롤링 공법	Rol-1	67	
	Rol-2	50	
	Rol-3	50	저압용 시험장비
	Rol-4	50	저압용 시험장비

소관 단열재로서의 요구조건은 내열성과 금속튜브 case와 연소관 내열재의 양쪽 계면의 접착성, 경도 등이며, 내부는 기포 없이 충전되어야 한다. 내열성을 위하여 EPDM을 선택하였으며 고점도인 EPDM을 두께 1.5mm, 길이 약 900mm의 좁고 긴 공간을 충전하기 위하여 TPM 공법을 적용하였다.

## 2.2.2 실험기기 및 실험항목

### (1) 열분석기

열분석기는 TA 인스트루먼트사의 SDT 2960 Simultaneous TGA-DTA 기종을 사용하여 분석하였으며, 질소 분위기에서 10°C/min의 승온속도로 800°C 까지 측정하였다. 무게감소 후의 잔량과 1차 무게감소가 발생하는 분해온도와 무게감소시의 무게감소율을 분석하였다.

### (2) 무늬점도

혼련된 조성의 고무를 무늬 점도계에 넣고 승온시키면서 온도와 시간에 따른 점도의 변화를 측정하였다.

### (3) 경도측정

Instruments & MFG사의 Durotronic model 2000 Shore A Hardness Tester를 사용하여 각 시편의 경도를 측정하였다.

### (4) 고온유지 실험

내열성 및 고온에서의 형상 변화 관찰을 위해 400°C의 로(furnace) 내부에 초기 설계 재료인 폴리우레탄(R-LH9) 시편과 본 연구의 EPDM 시편을 넣고 유지시간을 다르게 하며 열적 거동변화를 관찰하였다. 이때 각 시편은 두께 약 3mm의 판상으로 폴리우레탄은 조성을 혼합하여 수지틀에 부어 오븐에서 성형하였으며, EPDM 시편은 프레스에서 가열, 가압하여 제작하였다.

### (5) 밀도측정

각 시편의 밀도측정을 위하여 METTLER AT 200 전자저울과 밀도 측정용 장치를 사용하였다. 공기중 무게와 수중 무게를 측정하여 밀도를 계산하였다.

### (6) 토치 시험기

각 시편의 삭마시험을 위해 ASTM E-285에 의하여 산소 아세틸렌 토치 시험기를 사용하였다. 이때 토치 팁과 시편의 거리는 30mm, 화염각도는

90°, 산소:아세틸렌 비는 40:10 이었다. 시험기의 노즐 팁은 빅터 웰딩 노즐(Victor Welding Nozzle)을 사용하였다. 시험기의 시편 홀더에 시편을 설치한 후 산소/아세틸렌 혼합가스의 불꽃으로 주사하여 화염이 시편을 관통하는 시간을 기록한 후 시편의 두께를 시편의 화염 관통시간으로 나누어 삭마속도(Erosion Rate)를 구하였다.

### (7) 비파괴(X-ray)

TPM공정을 통해 제작한 연소관 조립체의 비파괴검사는 일본 리가쿠(Rigaku)사의 모델 250EG-B를 사용하였다. 시험조건은 사용 전압 250 KVP, 시험전류 5mA, 노출시간은 2분 30초, 초점 크기는 2×2 mm, 광원에서 필름까지의 거리는 105cm 이었다.

## 2.3 결과 및 고찰

### 2.3.1 연소관 단열재의 밀도 및 경도

TPM 공법에 의해 제작된 연소관 단열재의 밀도 및 경도를 측정하여 RTM(Resin transfer molding)에서 사용하였던 폴리우레탄계(Urox, R-LH7, LH9) 연소관 단열재와 비교하여 Table 2에 나타내었다. 밀도는 폴리우레탄계보다 낮게 나타났는데 이는 TPM공정을 원활하게 하기 위하여 내열성 충전제를 적게 혼합하였기 때문이다. 경도는 폴리우레탄계보다 높게 나타났는데 이는 연소관 조립체에서 요구하는 형태 안정성을 만족하기에 충분하였다.

### 2.3.2 연소관 단열재의 내열 삭마특성

Table 2에 삭마속도의 결과를 나타내었다. 삭마특성은 외부의 고온 열 환경에 대한 재료의 분해속도를 나타낸다. 삭마재료의 분해는 가시쇄에서 먼저 시작되어 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, 불포화 탄화수소 등을 발생하며, 자신은 탄소가 주성분인 숯층을 형성하게 된다. 이들 숯층은 외부의 열을 차폐시키는 역할을 하며 숯층이 두꺼울수록 열 차폐효과가 크다. 토치 시험기를 사용한 삭마특성을 측정한 결과 본 실험의 EPDM 시편은 0.4 mm/sec 로서 기존소재인 폴리우레탄계(UROX, R-LH7, R-LH9)의 0.9 mm/sec 보다 내열성능이 상당히 향상되었음을 확인하였다. 이는 폴리우레탄계보다 EPDM이 열에 대

Table 2. Composition and physical properties of thermal insulators

	폴리우레탄계			EPDM
	UROX	R-LH7	LH9	
사용공법	RTM	RTM	RTM	TPM
경화제(wt%)	TDI	IPDI	IPDI	KEP 210(40)
촉매(wt%)	OP soln.	FeAA	FeAA	Trilene 67(60)
내열 filler(wt%)	Calcium oxalate(35)	Silica powder	Silica powder	Zeosil-155 (15 phr)
Phenol resin				30 phr
가소제		DOA	DOA	
경화주기	60°C/6 hr	60°C/12 hr	60°C/12 hr	150°C/1 hr, 가압
밀도(g/cm <sup>3</sup> )	1.2	1.28	1.28	약 1.1
경도(Shore A)	30	20	20	60
삭마 속도(mm/sec)	0.9	0.8	0.8	0.4



Fig. 3. Photographs of EPDM after torch test

한 저항성이 크며 EPDM의 주쇄인  $-CH_2-$  결합을 분해하는데 더 많은 열이 소모됨을 알수가 있다. 토치시험후의 EPDM 시편형상의 사진은 Fig. 3과 같으며 화염이 관통된 주위에 숯층이 고르게 형성되었음이 확인되었다.

### 2.3.3 연소관 단열재의, 열 분해특성

(1) EPDM의 열 분해특성을 조사하기 위하여 상온에서 부터 800°C 까지 질소 분위기에서 10°C/min의 승온 속도로 열 중량분석(TGA)을 수행하였다. 무게감소 후의 잔량과 1차 무게감소가 발생하는 분해온도 및 무게감소시의 무게 감소율을 비교하였다. 먼저 800°C 까지 승온시의 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 800°C 까지 승온 후 약 19% 정도의 잔량이

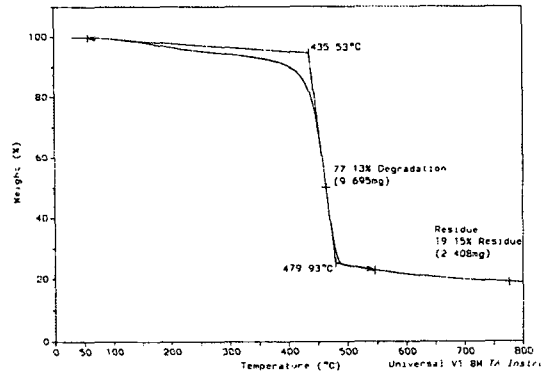


Fig. 4. TGA thermogram of EPDM

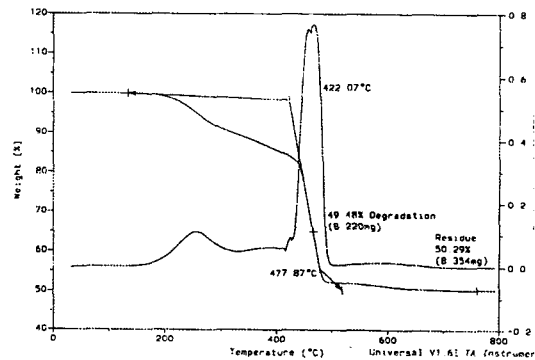


Fig. 5. TGA thermogram of R-LH9

남아있으며, 400~500℃의 영역에서 70% 이상의 무게감소가 나타남을 알 수 있다. 분해 후에는 어느 정도 숯이 형성되었다. 한편 기존의 사용재료인 폴리우레탄계 R-LH9의 결과(Fig. 5)와 비교할 때 R-LH9은 200~300℃영역에서 1차 무게감소가, 그 이후 500℃까지에서 주된 2차 무게감소가 발생하였다. R-LH9은 800℃에서의 시험 종료후 초기무게의 50%의 무게 잔량을 보였으나 충전제만이 존재하였고 숯을 형성하지는 못했다. 이 실험의 결과로 볼 때 EPDM은 폴리우레탄계보다도 높은 온도에서 분해가 일어나 내열성이 우수한 것으로 나타났으며, EPDM은 800℃까지의 열분해 후 숯이 많이 형성되어 있었던 것에 반하여 폴리우레탄계는 거의 형성되지 않아 EPDM이 연소관 단열재로서의 성능을 충분히 만족하고 있음을 알 수가 있다.

(2) 내열성 및 고온에서의 형상 변화를 관찰하기 위해 400℃의 로 내부에 기존소재인 R-LH9 시편과 본 연구의 EPDM 시편을 넣고 시간에 따른 형상 변화를 비교 관찰하였다. 이때 각 시편은 두께 약 3mm의 판상으로서 R-LH9은 조성을 혼합하여 수지들에 부어 오븐에서 성형(60℃, 12시간)하였으며, EPDM 시편은 프레스에서 가열, 가압하여 제작하였다. 40분 경과시 R-LH9은 이미 상온에서의 본래의 형상을 잃고 부피가 팽창하면서 딱딱한 형상으로 변한 반면에 EPDM은 큰 변화없이 본래의 형상

을 유지하였다. 60분, 80분, 120분으로 유지시간이 늘어남에 따라 R-LH9의 부피팽창 및 이로 인한 균열은 더욱 심화되었으며, EPDM은 흑갈색의 점성액이 묻어나오지만 고무의 형태를 유지하였다. 최종적으로 150분 경과후 R-LH9은 상온에서의 본래 모습과는 전혀 다른 형태로 마치 건빵과 같은 부풀어오르고 딱딱한 촉감을 느낄 수 있었으며, 균열을 동반한 부피팽창으로 인하여 두께는 약 6mm로 본래두께의 200%의 치수로 나타났다. 이 시편은 충격을 가했을 때 부서져 재로 변하였고, EPDM은 양쪽 표면은 주글주글해지면서 표면의 요철은 발생하였으나 거의 변함없는 두께로 고무의 촉감과 형상을 유지하였다. 이 실험 결과로 볼 때 EPDM은 연소관 단열재가 받는 온도인 400~500℃에서 R-LH9보다 열 분해에 대한 저항력이 우수하며 치수안정성이 우수함을 알 수가 있다.

### 3. TPM 공정 개발

#### 3.1 TPM 공정 설계 개념

상기의 실험 결과로 연소관 단열재 소재를 EPDM으로 결정하였는데 Fig. 1의 연소관 조립체를 제작하기 위하여 TPM공정을 개발하였다. Fig. 6에 TPM 공정의 개략도를 나타내었다. 연소관 금

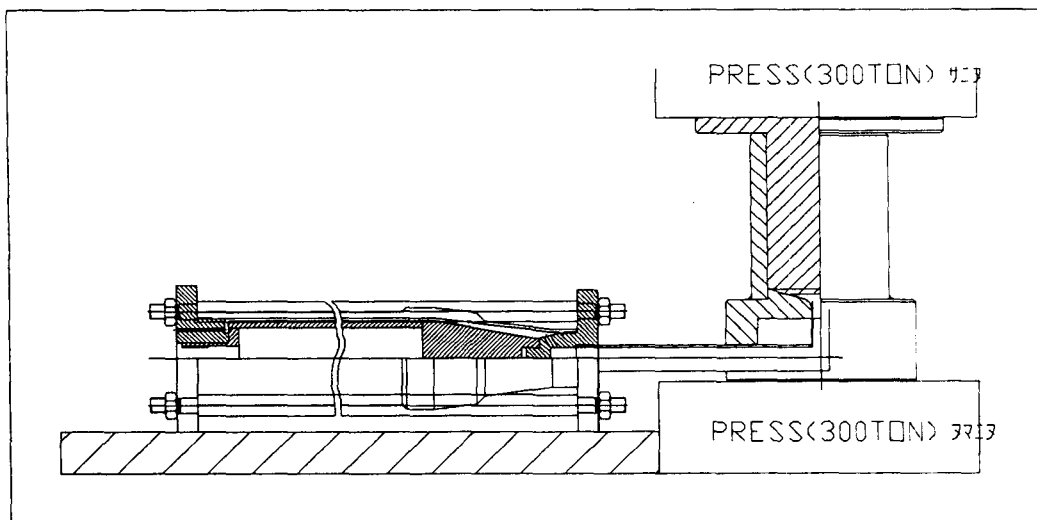


Fig. 6. Configuration of TPM process

속튜브와 연소관 내열재 사이는 1.5mm의 간극과 900mm의 길이의 공간이 있는데 이 공간을 연소관 단열재인 EPDM으로 충전하여야 한다. EPDM은 상온에서는 고형의 형태이나 150℃ 정도의 고온에서는 가황이 되기 전까지 점성을 가진 유체의 특성을 가진다. 이러한 EPDM의 고유 특성을 이용하여 TPM공정을 설계하였는데, 먼저 EPDM을 가황제, 충전제, 유화제등을 혼련하여 프레스의 압력으로 압입한 후 외부에 온도를 가하여 EPDM을 경화하는 방법이다.

EPDM 혼련물의 TPM 공정 적합성 검토를 위하여 승온에 따른 EPDM의 무늬점도 값과 스카치 타임을 실험을 통하여 결정하였다. 주어진 경계조건이 짧은 시간내에 고무사출을 종료하여 연소관 금속튜브 축소부부터 원통부 상부까지 연소관 단열재를 충전시킬 수 있어야 하는 조건이므로 수 차례의 조성 변경시험을 통하여 최종 고무조성을 선정하였다. 세부적인 고무의 조성은 생략하였다. 또한 EPDM과 연소관 금속튜브, EPDM과 연소관 내열재와의 접착력을 위하여 챔록 접착제시스템을 적용하였다.

### 3.2 TPM 금형 및 치구

연소관 조립체 제작용 조립치구는 Fig. 1과 같이 연소관 금속튜브 내부에서 연소관 내열재를 잡아주는 금형과 연소관 금속튜브 상부와 하부를 막아주는 두 개의 플랜지 그리고 이 플랜지를 연소관 외부에서 잡아주는 4개의 샤프트, 고무금형, 고무 이송 파이프로 구성되었다. 하부 플랜지에는 고무 주입을 위한 지름 6mm의 구멍을 연소관 중심축 방향에 대해 60°로 기울어지게 4개소에 가공하였고, 기밀을

위하여 O-ring을 삽입, 체결하도록 설계하였다. 상부 플랜지에는 고무가 충전된 후 밀려나오는 것을 확인하기 위하여 지름 2.5mm의 구멍을 4개소에 가공하였다. 이 상, 하부 플랜지는 고무 주입압력으로 인한 위치이동 및 변형을 방지하기 위하여 연소관 외부에서 네 개의 샤프트를 볼트와 너트를 사용하여 체결하였다. 프레스 내에서 승온, 가압에 의해 유동이 생긴 EPDM이 연소관 조립체내의 연소관 단열재가 충전될 공간으로 이동되도록 고무가 채워지는 하판금형의 고무 배출구에서 치구의 높이 범위내에 직접 수직으로 끼이는 파이프를 용접하였고, 고무 하판금형에서 나온 파이프와 연소관 조립치구에서 이어진 파이프는 체결되도록 하였다. 프레스 하판의 높이와 연소관 조립치구가 수평이 유지되도록 연소관 조립치구를 눕혀서 연소관 축소부에서 연소관 전방쪽으로 연소관 단열재를 주입하도록 치구를 설계하였으며, 프레스 가압시 미가류 EPDM의 유동을 원활하게 하기위해 고무금형의 하판금형의 고무 배출면은 15° 경사 처리하였고, 출구 구멍크기는 직경 17mm로 설계하였다.

### 3.3 TPM 공정 절차

전체적인 TPM 공정의 흐름도는 Fig. 7에 나타내었으며 실제 공정사진을 Fig. 8에 나타내었다. 연소관 내열재 외면과 연소관 금속튜브 내면을 세척한 후 양쪽 면에 접착제 챔록을 도포하고 건조시킨 후 연소관 단열재 충전용 치구를 연소관 내면에 삽입하고 연소관 내열재를 고정하여 체결하였다. 연소관 단열재 충전 후 성형을 위해 연소관 금속튜브 외면에 9조각을 이어 일체형으로 제작된 밴드형 히터를

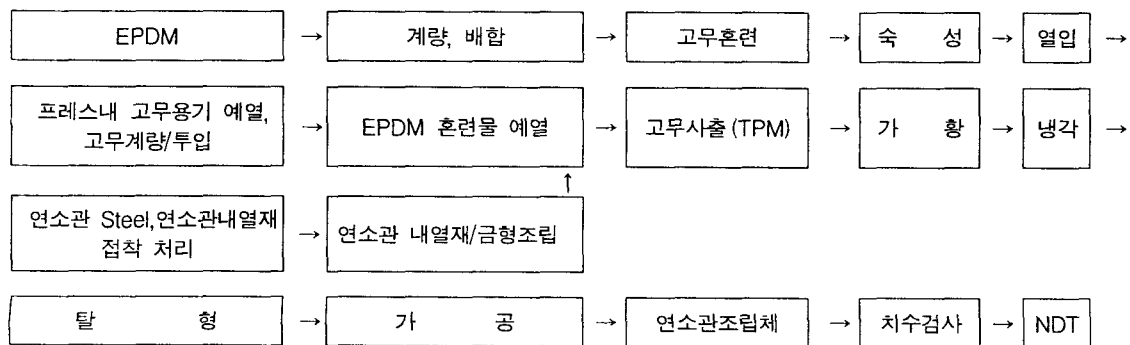


Fig. 7. Manufacturing flow chart of TPM proces

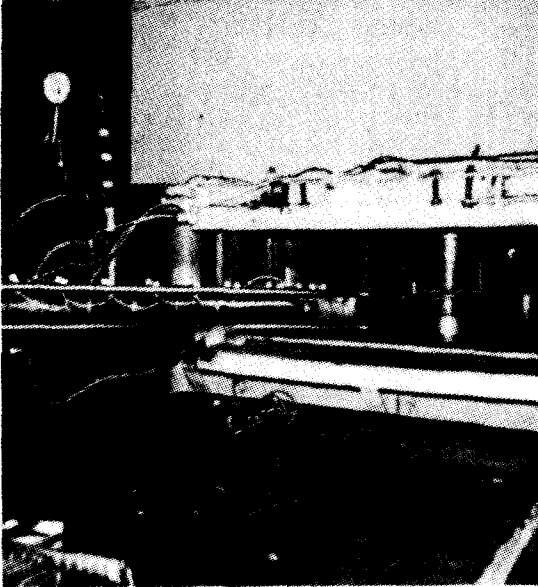


Fig. 8. Photograph of TPM process

장치하여 150~155℃의 온도를 유지하였고, 이때의 온도 측정은 디지털 온도지시기를 금속튜브 외면에 접촉시켜 측정하였다. 금형과 치구를 조립한 후 전방 원통부 끝단의 상부 플랜지 부위는 4개의 봉과 너트를 이용하여 체결하였다. 한편 미리 혼련한 연소관 단열재 충전용 미가류 EPDM 고무는 300톤 프레스에서 프레스 접촉온도와 외부 스팀 공급에 의해 150℃로 예열시킨 고무금형 내부에 넣고 고무점도를 낮추기 위해 다시 약 5분간 예열시킨 후 고무금형과 연소관 충전치구 조립체를 파이프로 연결시켰다. 프레스에서 약 5분간 가압하여 고무를 압력(프레스 게이지 압력 30kg/cm<sup>2</sup>)에 의해 밀어 넣었으며 고무가 내부공간에 충전되고 연소관 전방의 치구 끝단 구멍으로 밀려나오는 것을 확인하였다. 치구 예열상태에서 고무 압출완료까지 소요된 시간은 약 10분이었으며, 이어서 고무의 가류를 위해 프레스 유압을 제거한 자체 충전상태(고무용기와 프레스는 접촉상태)에서 70분간 유지시켰다. 고무 가류후 연소관 외면의 밴드형 히터와 고무 금형과의 연결 라인, 고무 금형을 먼저 해체하고, 연소관 충전치구 조립체는 온도를 낮춘후 탈형하였다. 과량으로 충전된 연소관 축소부 등의 연소관 단열재를 설계치수대로 가공하여 연소관 조

립체를 완성하였다.

### 3.4 부품검사 및 지상연소시험

#### 3.4.1 비파괴(X-ray) 검사

연소관 단열재용 소재로서 EPDM계 조성을 선정하여 실제 TPM공정을 통하여 연소관 조립체를 제작하고 내부의 접촉력과 충전상태를 확인하기 위하여 비파괴 검사를 수행하였다. 검사에 의해 발견된 결함의 종류는 TPM 공정중 압력에 의한 치구이동 등에 기인한 연소관 내열재와 연소관 단열재의 편심, 연소관 내열재와 연소관 단열재의 미접착, 연소관 단열재 EPDM 내부의 그룹형 기포등 이었다. 대체로 축소부에 결함이 존재하였고, 원통부는 몇 개의 조립체에서 편심이 발견된 것 외에는 충전상태가 매우 양호하였다.

## 4. 결 론

소형 추진기관을 제작하기 위하여 연소관 조립체를 설계하고 제작하는 연구를 수행하였다. 이 연구를 통하여 소형 추진기관의 연소관 조립체를 개발할 수 있는 가능성을 확인하였으며 이를 통하여 얻어진 연구 결과들은 아래와 같다.

- (1) 연소관 내열재는 내열성과 구조적인 성능을 함께 갖추는 롤링 공법으로 제작하였다.
- (2) 연소관 단열재 소재 선정을 위하여 내열성이 우수한 EPDM을 시험시험을 통하여 결정하였다.
- (3) EPDM으로 좁고 긴 공간의 연소관 단열재를 충전하기 위하여 TPM 공정을 개발하고, 이 공정을 통하여 연소관 조립체를 제작하였다.
- (4) TPM 공법으로 제작된 연소관 조립체는 치수검사, 비파괴검사를 통하여 확인되었다.

이상의 소형 추진기관 연소관 조립체의 소재, 공정설계, 제작, 시험 평가에 대한 연구를 통하여 국내 개발가능성을 확인하였으며, 본 연구에서 얻어진 기술을 바탕으로 연소관 조립체의 제작 공정에 대한 보충 연구가 이루어진다면 소형 추진기관용 연소관 조립체 개발은 큰 어려움이 없을 것으로 판단된다.



## 참 고 문 헌

1. 정상기, 윤남균, "KPSAM용 연소관 조립체 제작공정 연구", MSDC-416-970493, 국방과학연구소, 1997.
2. 정상기, 윤남균, 정 발, "내열성 복합재료와 Steel 구조물 사이의 폴리우레탄 충전연구", 한국 복합재료학회지, Vol.10, No.4, pp.18, 1997.
3. Jane's Land-Based Air Defence, Jane's Information Group Limited, U.K, 8th ed., 1995~1996, pp.32~35.
4. ibid, pp.39~43.
5. ibid, pp.51~54.
6. ibid, pp.58~62.
7. 이규중, "중 단거리 대공미사일의 개발동향", 국방기술연구, 국방과학연구소, 1997, pp.64~75.
8. G. Lubin, HDBK of fiberglass and Advanced plastics composites, Van Nostrand Reinhold company, New York, 1969, pp.361.
9. P.K. Mallick, Fiber Reinforced Composites, Marcel Dekker, Inc., New York, 1988, pp.361.
10. B. M. Walker, HDBK of thermoplastic elastomers, ibid, 1982, pp.216.
11. G. Woods, "The polyurethanes books", ICI Polyurethanes Book, Netherlands, 1987, pp.175.
12. Gunter Oertel, "Polyurethane Handbook", Hanser Publishers, New York, 1985, pp.7-30.
13. 홍명표, 류문삼, 고승원, 김천석, "현무 1,2단용 라이너(LH-5, LH-6) 조성 연구", MSDC-421-93230, 국방과학연구소, 1993.
14. 황갑성, 이범재, "추진제, 라이너 및 인슐레이숀 원료의 규격(II)", MSDC-521-93558, 국방과학연구소, 1993.
15. 홍명표, 류문삼, 고승원, "EPDM계 Internal Insulator 조성 연구(I: Base polymer 선정 및 1차 조성연구)", MSDC-421-93134, 국방과학연구소, 1993.
16. 홍명표, 류문삼, 고승원, "EPDM계 Internal Insulator 조성 연구(II: 충전제 및 가류제에 따른 내열삭마특성)", MSDC-421-950103, 국방과학연구소, 1995.
17. 윤남균, 김형근, 이형식, 예병한, "기초부품용 EPDM 고무와 복합재료와의 접착에 관한 연구", MSDC-411-93474, 국방과학연구소, 1993.