

폴리우레탄 모재를 적용한 CFRR 기계적 특성 연구

이 원 복 · 노 태 호 · 권 태 훈

The Study of Mechanical Properties of CFRR(Carbon Fiber Reinforced Rubber) with Polyurethane Matrix

Won-Bok Lee · Tae-Ho Rho and Tae-Hoon Kwon

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the shear modulus, the shear strength at failure and the failure process of QLS(quadruple-lap shear) Test specimen were made of two different fiber contents CFRR and HTPB based polyurethane matrix. The CFRR specimen were prepared with 6.16% chopped carbon fiber and 11.6% chopped carbon fiber. We carried out the shear tests for three types of specimen. The shear modulus and strength of the CFRR was inspected with the increasing contents of chopped carbon fiber. In the other hand the shear strain of the CFRR was inspected with the decreasing contents of chopped carbon fiber.

1. 서 론

고체 추진기관 작동시 고체 추진제 연소에 의해 발생하는 고온 고압의 연소가스로부터 연소관 내부를 보호하기 위해 연소관 내열재를 적용한다.

연소관 내열재는 가열되었을 때 많은 양의 기체를 분출시키거나 숯 층을 형성하여 열을 차단하여야 하며 melt flow에 의한 물질의 손실이 없어야 하고 전단응력 및 압력에 잘 견뎌야 한다. 또한 쉽게 산화되지 않아야 하고 단열효과가 커야 하며, 열적, 기계적 충격에 대한 저항성

이 있는 삭마성 재료여야 한다.

연소관 내열재의 용도는 연소관의 열적 보호 외에도 추진제 그레인 특정 표면 연소 방지, 추진제 및 라이너에 포함되어 있는 이동성 화학물질의 침투 방지, 모타 케이스의 변형 또는 외부 충격으로부터 고체 추진제 그레인 보호, 연소가스에 의한 압력과 열로부터 연소관 연결부 및 배관부 기밀 유지 등이 있다.

연소관 내열재는 탄성 내열재로 모재(matrix)와 강화재 역할을 하는 충전재(filler) 또는 보강재로 이루어진 복합재료이다. 고무 재질의 모재는 기계적 성질을 결정하며, 실리카 입자, 케블라 또는 탄소단섬유 재질의 충전재 또는 보강

* (주)한화

재는 삭마 특성과 열적 특성을 결정하게 된다.

일반적으로 복합형 추진제를 적용한 추진기관의 경우 연소관 내열재로 NBR 계열, DB 추진제의 경우 SBR 계열이, 저온 특성이 요구되는 추진제에는 Butyl, EPDM 계열이 주로 이용되어 왔으나, NBR, SBR계 탄성 내열재는 우수한 내열 삭마성 및 접착성을 갖고 있음에도 불구하고 저온 극한 사용 온도를 결정하는 유리전이온도(Tg)가 -20 ~ -40℃ 부근으로 저온 특성에 취약한 단점이 있어 현재 거의 모든 고체추진기관에는 base polymer의 유리전이온도가 -40℃ 이하이고 고무 중에서 가장 낮은 밀도와 뛰어난 내노화성 및 가공성을 갖는 EPDM 내열재를 연소관 내열재로 적용하고 있다.)

본 연구는 연소관 내열재로 EPDM 내열재 대신 그림.1과 같은 화학반응 및 분자구조로 이루어진 HTPB/IPDI 계열의 polyurethane을 모재로 적용한 연소관 내열재 개발과 관련된 기초연구의 일환으로 수행되었다. 시험을 통해 탄소단섬유 함량에 따른 내열재 전단강성, 파괴시 전단강도, 전단변형을 및 접착 상태 등의 물성 변화를 알아보기 위해 QLS(quadruple-lap shear) 시험시편을 제작해 전단시험을 실시하였다.

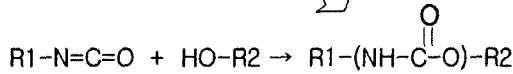
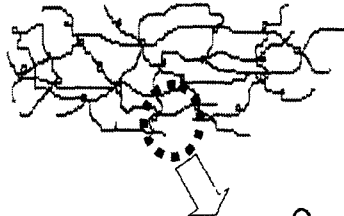


그림1. matrix 분자배열 및 urethane 반응

2. 시편 준비 및 전단시험

2.1 시편 준비

본 시험에서 사용한 시편은 표1.과 같이 탄소단섬유 조성을 달리하여 그림.2와 같은 형상으로 제작되었다.

표.1 시편 조성비

	#1	#2	#3
원료명	%(wt)	%(wt)	%(wt)
프리폴리머(HTPB)	70.59	66.25	62.40
탄소단섬유(C/F)	0.00	6.16	11.60
충진재	22.75	21.35	20.12
경화제/촉매	6.66	6.24	5.88

프리폴리머와 경화제의 당량비(-NCO/-OH)는 0.9로 하였다. 경화제는 IPDI(Iso Phorone Di-Isocyanate)를 사용하였으며 촉매는 FeAA(Ferric tris Acetyl Acetonate)를 사용하였다. 원료 혼합은 프리폴리머에 길이 3 ~ 10mm 되는 탄소단섬유를 4번 분산 투입한 후 충진재를 다시 2번 분산 투입하여 충분히 혼합한 후 경화제/촉매를 투입하고 진공 혼합하였다. 내열재 혼합이 완료된 후 표면을 샌딩처리하고 캐록 205/252를 도포하여 건조한 철판에 혼합된 내열재를 놓고 120℃에서 60분간 프레스에서 가압성형하여 시편 내열재 두께를 5mm가 되도록 제작하였다. 시편은 동일 재료를 이용해 한번의 성형으로 5개를 제작하였다.

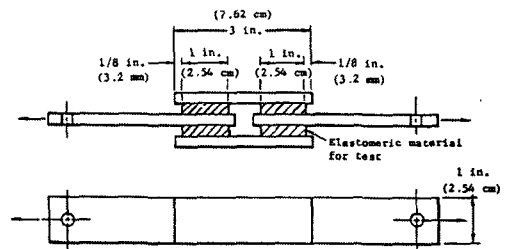


그림2 QLS(quadruple-lap shear) 시편 형상

2.2 전단시험

전단시험은 그림.3과 같이 INSTRON 4505형 (100kN)을 이용하여 시료가 파괴될 때까지 시험하였다. 크로스 헤드속도는 254mm/min를 적용하였다.

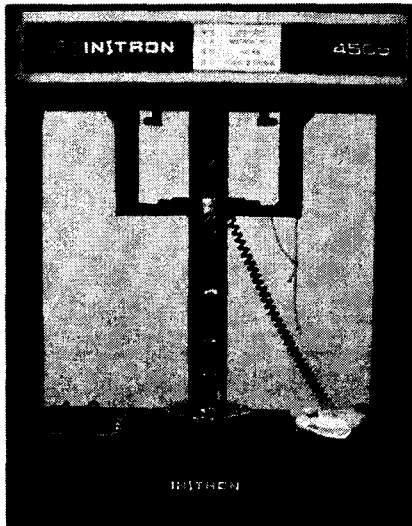


그림.3 전단시험 장면

3. 시험 결과 및 고찰

탄소단섬유를 포함하지 않은 #1 시편, 6.16% 포함한 #2 시편 및 11.6% 포함한 #3 시편의 시험결과를 그림.4, 그림.5 및 그림.6에 차례로 나타내었다. 전단시험 응력/변형률 선도에서 최대 응력 후 파괴가 일어나며 최대응력의 약 1/2 부근에서 힘을 받는 부분이 관찰된다. 이는 그림.2와 같은 형상의 시편에서 두 면이 동시에 파괴되지 않고 한쪽 면이 먼저 파괴된 후 나머지 면이 파괴되면서 나타나는 현상이다.

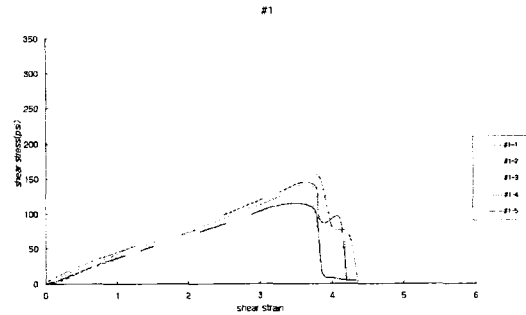


그림.4 #1 전단시험 응력/변형률 선도

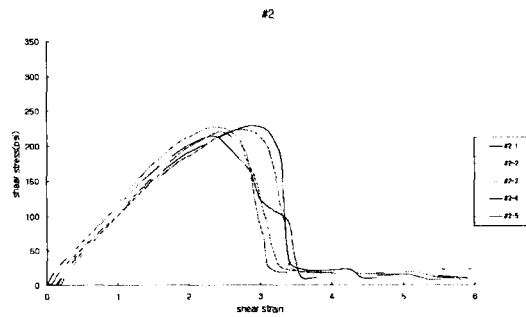


그림.5 #2 전단시험 응력/변형률 선도

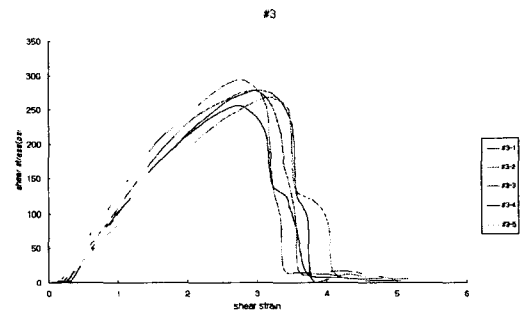


그림.6 #3 전단시험 응력/변형률 선도

각 시편에 대한 전단시험 물성치를 표2.에 나타내었다.

표2. 전단시험 물성치 비교

	최대응력 작용시 변형률	최대응력 (psi)	50psi 응력 작용시 전단강성 (psi)
시편 #1	3.8	152.7	37.8
시편 #2	3.1	224.1	97.0
시편 #3	2.8	293.1	106.4

그림.4, 그림.5 및 그림.6의 시험결과를 종합한 결과를 그림.7에 도시하였다. 그림.7 및 표2.로부터 탄소단섬유 함량이 많아질수록 최대 응력은 증가하고, 변형률은 감소함을 알 수 있다. 그러나 탄소단섬유 함량이 증가함에 따라 최대 응력과 50psi 응력 작용시 전단강성은 크게 증가한 반면 최대응력 작용시 변형률은 크게 감소되지 않음을 표3.을 통해 알 수 있다.

표3. 시편별 전단시험 물성치 변화율 비교

	최대응력 작용시 변형률 변화 (%)	최대 응력 변화 (%)	50psi 응력 작용시 전단강성 변화 (%)
시편 #1	100	100	100
시편 #2	80.5	146.8	256.7
시편 #3	73.2	192.0	281.6

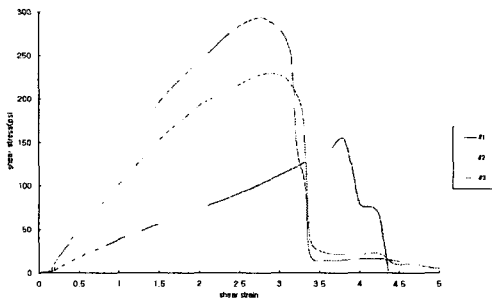


그림.7 전단시편 응력/변형률 선도 비교

4. 결 론

HTPB/IPDI 계열 polyurethane을 모재로 하는 CFRR의 탄소단섬유 함량에 따른 전단력 작용에 의한 물성 변화를 고찰한 결과 탄소단섬유함량 증가에 따라 다음과 같은 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

탄소단섬유함량이 증가함에 따라 전단강성의 변화율이 가장 크게 영향을 받는 반면 최대응력 작용시 전단변형률은 최대응력 및 전단강성 변화에 비해 적은 영향을 받는 것을 알게 되었다.

상기와 같은 결과를 바탕으로 향후 HTPB/IPDI 계열 polyurethane을 모재로 하는 CFRR 재질의 연소관 내열재 개발시 추진기관의 작동환경 및 조건에 따라 발생하는 응력 및 변형률에 의한 실패 요인 제거 및 내삭마성을 최대화시킬 수 있는 최적의 탄소단섬유 함량 결정을 위한 실험실적 기준을 마련할 수 있게 되었다.

참고 문헌

- 이원복., "(주)한화 기술 직무 교재", 1998. 7, sec.4-3-1.