

# 전산해석을 통한 고무전단강성 예측

권태훈\* · 김병훈\*\* · 노태호\* · 이원복\* · 조인현\*\*

## Rubber Shear Modulus Prediction of Finite Element Method

Taehoon Kwon\* · Byunghoon Kim\*\* · Taeho Rho\* · Wonbok Lee\* · Inhyun Cho\*\*

### ABSTRACT

The qualification test of rubber product is consisted of uniaxial tensile, pure shear, biaxial and compression test. Uniaxial test result is used for material property of Finite Element Method. Comparison of uniaxial tensile test and analysis satisfied requirement. A study has qualified result of QLS analysis model for material property of uniaxial test and shear modulus

### 초 록

고무제품의 경우 구조성능평가를 위해 단축인장, 순수전단, 이축인장 및 압축시험을 수행한다. 일반적으로 단축인장시험값을 기초물성으로 사용하며 용도에 따라 다른 시험을 수행한다. 검증을 위해 단축인장시험/해석 결과를 비교하여 타당성을 확인했다. 본 연구에서는 전단강성이 주요인자인 제품의 성능평가를 위해 단축인장시험에서 획득한 물성을 적용한 QLS 해석모델의 결과를 비교, 검증하였다.

Key Words: Rubber, Hyperelasticity(초탄성), Shear Modulus(전단강성), FEM, Uniaxial Tensile Test (단축 인장 시험), QLS(Quadruple Lap Shear)

### 1. 서 론

일반적으로 고무 제품은 기계적인 성능평가를 위해 단축 인장 시험, 순수 전단 시험, 이축 인장 시험, 압축 시험[1]등을 수행하여 물성 및 구조적인 성능을 확인한다. 대부분의 경우 단축 인장 시험에서 획득한 데이터를 기준으로 평가를 진행하며 제품특성에 따라 다른 시험을 추가

적으로 수행하게 된다.

유한요소해석시 단축 인장 시험결과를 토대로 프로그램내에서 곡선맞춤(Curve Fitting)을 통해 다른 시험결과와 값을 유추할 수 있다[2].

본 연구에서는 적용할 제품의 주요물성인 전단 강성(Shear Modulus)의 검증을 위해 재료의 단축 인장 시험 결과를 토대로 유한요소해석을 수행하여 추후 진행될 제품의 구조 성능해석시 필요한 물성의 해석 신뢰도를 비교, 검증하였다.

\* (주)한화 대전공장 개발부

\*\* 한국항공우주연구원 추진제어팀

연락처자, E-mail: alkaid@hanwha.co.kr

## 2. 본 론

### 2.1 단축 인장

#### 2.1.1 단축 인장 시험

인장 시험은 고무의 신장률 및 인장 강도를 확인하기 위해 수행된다. 시험을 위해 Fig. 1과 같은 시편을 제작했으며, 시편을 제품 제작시마다 3개를 제작하여 인장 시험을 수행했다. 인장 시험기 시험속도는 500mm/min으로 설정했다. Fig. 2는 인장 시험시 변형률과 응력간의 관계를 나타내고 있다.

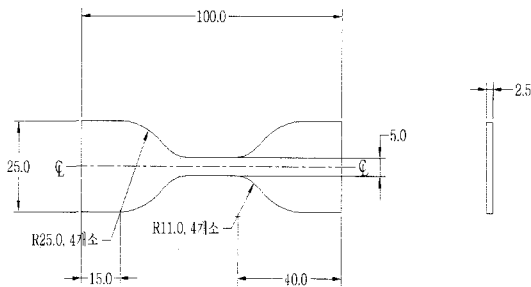


Fig. 1 KSM 6518 인장시험 시편 3호형

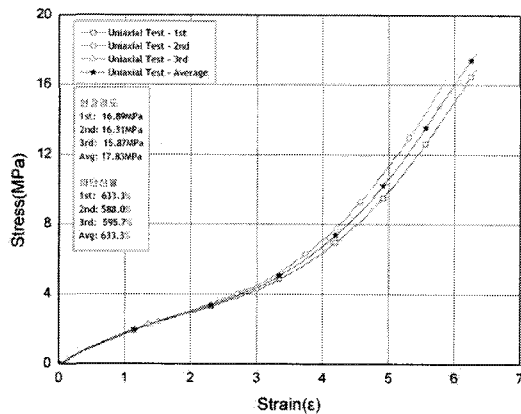


Fig. 2 고무 인장 시험 결과

#### 2.1.2 단축 인장 시험 해석

인장 시험과 해석 결과를 비교하기 위해 ABAQUS를 사용하여 모델 생성 후 해석을 수행했다. 해석은 시험 결과와 비교를 위해 신장률 100%, 200%, 600% 과정으로 순차적으로 신장시

켰다. Fig. 3은 해석 모델의 3차원 형상이고 Fig. 4는 600% 신장시 응력분포를 나타내고 있다. Table 1.은 각 신장 단계마다 시험과 해석을 비교한 결과이다. 신장률 200%까지는 시험과 해석의 오차가 10%이내이나 과단직적인 600%에서는 오차가 크며 이는 대변형시 해석과 실제시험조건사이의 차이로 판단된다.



Fig. 3 인장 시험 시편 형상

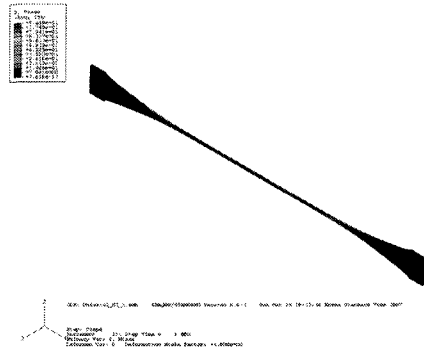


Fig. 4 응력 분포(600% 신장)

Table 1. Test and Analysis Result Comparison

신장률 (%)	시험값 (MPa)	해석값 (MPa)	오차 (%)
100	1.74	1.71	1.7
200	2.99	3.23	8.0
600	15.94	12.13	23.9

## 2.2 QLS

### 2.2.1 QLS 시험

QLS 시험은 고무의 전단 변형이 주로 발생하는 제품의 성능을 평가하는데 중요한 검증 과정이다. QLS 시험 규격은 NASA SP 8114[3]에서 정한 규격을 사용했다. Fig. 5는 제작된 시편 형상을 나타내며 시험을 위해 10개를 제작하여 5개를 시험했으며 나머지 5개의 시편은 노화 시험용으로 보관했다. 시험을 위해 크로스헤드 속도는 25.4mm/min로 변위 제어 방식을 사용했으며 Fig. 6은 시험 결과를 나타낸다.

시험 결과 분석시 전단 계수가 선형성을 나타내야하므로 Secant Method[1]를 사용하여 신장률 100% 구간까지의 기울기를 전단 계수 값으로 정의했다. 전단 계수는 평균 0.4457MPa정도이며 파단 응력은 평균 3.0MPa로 나타난다.

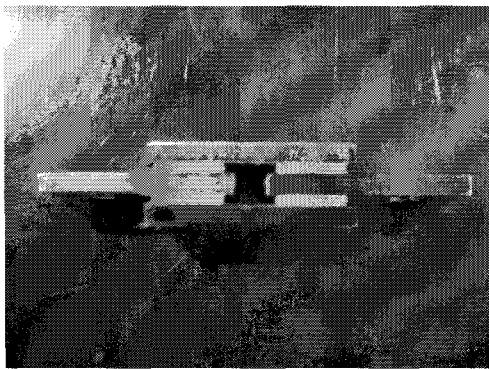


Fig. 5 QLS 시편 제작 모습

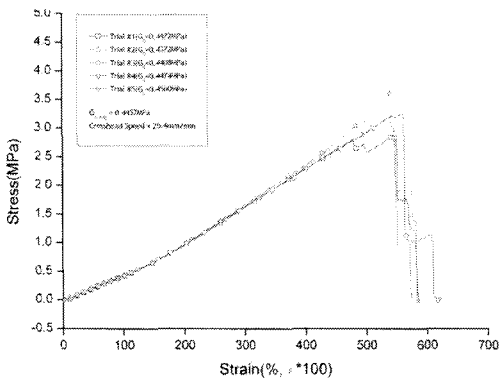


Fig. 6 QLS 시편 시험 결과

### 2.2.2 QLS 시험 해석

QLS 시편 해석은 단축 인장 시험 해석과 같이 ABAQUS를 사용하여 진행했으며 해석의 정확도를 높이기 위해 3차원 모델을 사용했다.

QLS 시험은 단축 인장 시험과 달리 단계별로 신장시키지 않고 한 과정으로 파단까지 신장시켰다. 해석에서는 500%까지 시편을 신장시킨 후 결과와 비교했다. Fig. 7은 500% 신장시 시편의 전단 응력 분포를 나타내고 있으며 Fig. 8은 해석에서 계산된 고무의 변형률 - 전단 응력 그래프이다. Table 2는 시험과 해석을 비교한 결과이다. 결과 비교시 전단 계수와 파단응력은 시험 결과와 약 20%정도의 오차가 나타나고 있다.

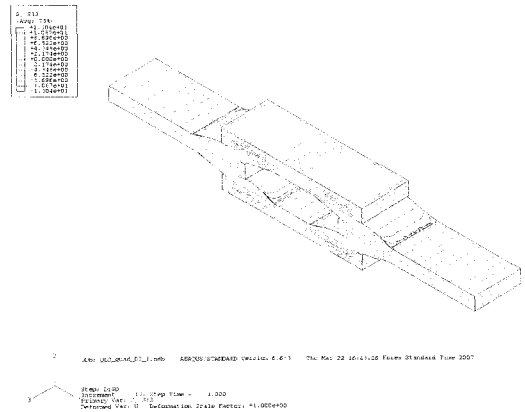


Fig. 7 전단 응력 분포(500% 신장)

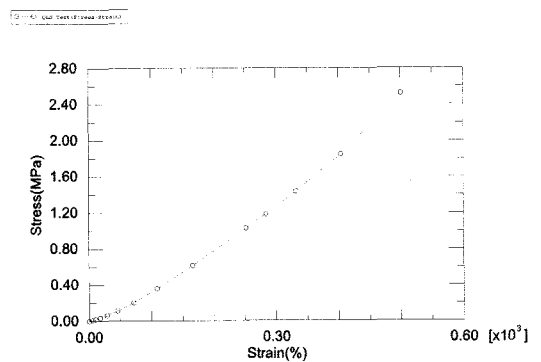


Fig. 8 변형률 - 전단 응력 그래프

Table 2. Test and Analysis Result Comparison

	시험값	해석값	오차(%)
전단 계수	0.4457	0.3564	20
파단 응력	3.20	2.52	21

### 3. 결 론

전단 변형이 주요 인자로 작용하는 제품에 적용하기 위해 고무 재료의 단축 인장 시험 및 QLS(Quadruple Lap Shear) 시험을 수행했으며 유한요소해석에 적용하기 위해 각각의 시험에 대해 해석을 한 후 시험 결과와 비교, 분석하였다.

물성 시험 결과 고무 재료는 단축 인장 시험에서 파단 응력과 변형률이 약 16.0MPa, 600% 수준이며 QLS 시험에서는 약 3.0MPa, 500% 수준으로 나타나고 있다. 해석 결과와 비교시 단축 인장 시험 해석에서는 초기 200% 변형까지 시험 결과와 오차가 10%이내 수준으로 크지 않지만 QLS 시험 해석에서는 전단 계수와 전단 파단

응력이 약 20% 정도의 오차를 나타내고 있음을 알 수 있다.

본 연구를 통해 단축 인장 시험에서 계산된 고무의 물성값을 QLS 시험과 같은 전단 변형 현상에 물성값의 적용이 가능함을 알 수 있다.

추후 전단 해석의 경우 신뢰성을 향상시키기 위해 모델의 구속 조건 및 신장 속도, 해석 조건 변경이 진행되어야 하며 재료 물성의 경우 정적 시험이 아닌 점탄성 물성까지 고려하여 연구를 진행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

1. ALAN N. GENT, "Engineering with Rubber : How to Design Rubber Components," Hanser Publishers, 1992
2. ABAQUS, Version 6.6, User's Manual, Hibbit, Karlson and Sorensen, Inc. Palo Alto, CA
3. NASA, "Solid Rocket Thrust Vector Control", SP-8114