Transactions of KSAE, Vol. 18, No. 3, pp.74-79 (2010)

Copyright Ⓒ 2010 KSAE
1225-6382/2010/105-10

유한요소해석을 이용한 자동차 그로멧의 거동에 대한 연구

한 창 용[1] · 이 성 범[*2]

인제대학교 기계공학과[1] · 인제대학교 고안전차량 핵심기술연구소[2]

A Study on the Behavior for Automotive Grommet by Using FEA

Chang Yong Han[1] · Seong Beom Lee[*2]

[1]Department of Mechanical Engineering, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea
[2]High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University, Gyeongnam 621-749, Korea
(Received 22 June 2009 / Accepted 19 November 2009)

Abstract : Automotive industries are interested in material development with low weight and recycling. Grommet is made from EPDM at rubber and used as an automotive component. The nonlinear material properties of rubber are important to predict the behaviors of rubber product. This study concerns material property test to achieve stress-strain curve. Curve fitting is carried out to obtain the nonlinear material constant. The nonlinear material constants of rubber are used for the nonlinear finite element analysis. The results of finite element analysis is executed to predict the behavior property of grommet.

Key words : Grommet(그로멧), EPDM(에틸렌 프로필렌 고무), Material property test(재료물성시험), Curve fitting(커브피팅), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 서 론

최근 자동차 산업이 발달됨에 따라 자동차 부품 분야에서는 경량화 및 재활용이 가능한 친환경적인 제품 개발에 많은 관심을 보이고 있다. 특히, 중・장기 내구성능과 환경오염 문제가 발생되고 있는 고무제품에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.[1)]

고무는 플라스틱이나 다른 재료와는 다른 여러 가지 특성을 가지고 있지만, 가공하기 위해서는 가황가교(vulcanization)등의 복잡한 공정을 거쳐야 하며, 한번 가교되면 더 이상 재생할 수 없는 단점을 가지고 있다.[2)]

이러한 문제점을 개선하기 위해 합성고무에 대한 연구가 진행되었고 EPDM 소재가 개발되어졌다. EPDM 소재를 이용하여 만들어지는 제품으로는 웨더스트립과 그로멧(grommet)으로서 고무를 대신하여 사용되는 부품 중에서 대표적인 것들이다.[3)]

자동차 부품용 그로멧은 주로 LPG 차량의 가스 연료 커플링에 조립되어지며, 먼지 및 이물질을 막아주는 역할을 하는 기능성 제품이다.

따라서 본 논문에서는 많은 장점들을 바탕으로 빠르게 고무 산업에 적용되고 있는 EPDM을 이용하여 만들어진 그로멧의 물성 실험을 통하여 응력-변형률 데이터를 획득하고, 이를 이용하여 비선형 재료상수를 구하고, 각 재료에 대하여 비선형 재료상수에 따른 해석결과를 알아보고 분석하여 유한요소해석 결과에 영향을 미치는 재료 특성을 예측하고자 한다.

2. 재료 물성 시험

2.1 시험 종류 및 시편

고무는 금속과는 달리 큰 변형에서도 탄성을 유

*Corresponding author, E-mail: mechlsb@inje.ac.kr

지하며, 하중과 변형이 비선형 관계를 보이는 초탄성 특성을 지니고 있어 고무재료의 비선형 물성을 파악이 중요하다.[4)]

이에 따라 본 논문에서는 자동차용 그로멧의 소재에 따라 단축 인장, 이축 인장시험을 수행하여 안정화된 응력-변형률 데이터를 획득한 후 유한요소해석에 필요한 비선형 재료상수를 결정하였다.

2.2 단축 인장시험

단축 인장시험은 KS규격 아령형 3호 단축 인장시편으로 사용하였고 시편을 시험기에 장착하여 100mm/min의 속도로 25, 50, 75, 100%의 변형률 구간에서의 각 5회의 반복하중을 가하여 Fig. 1과 같은 응력-변형률 결과를 획득하였다.

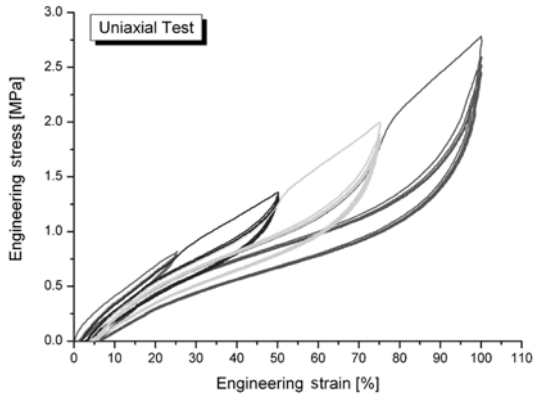


Fig. 1 Experiment result of uniaxial tension test

2.3 이축 인장시험

단축 인장시험은 압축판과 고무시편의 접촉면에서 발생되는 마찰에 의해 순수한 응력-변형률 결과를 획득하기 어렵기 때문에 이러한 문제점을 보완하기 위해 이축 인장시험을 병행하였다.[5)]

이축 인장시험은 원형시편을 시험기에 장착하여 40mm/min의 속도로 25, 50, 75, 100%의 변형률 구간에서 원주방향으로 각 5회의 반복하중을 가하여 응력-변형률 관계를 측정하였다.[6)]

3. 물성 시험 데이터 정리

3.1 응력-변형률 데이터 정리

그로멧의 소재가 되는 EPDM 소재는 고무와 같이

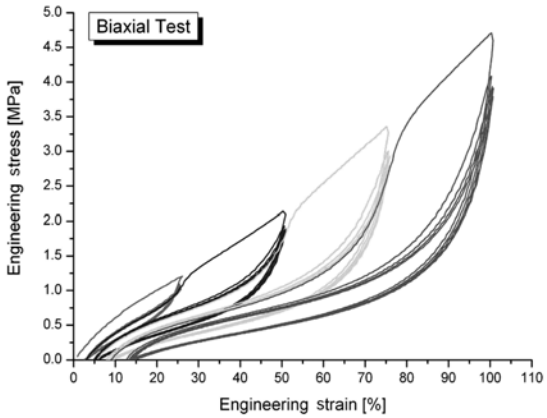


Fig. 2 Experiment result of equi-biaxial tension test

반복되는 하중을 받으면 초기 상태의 분자구조가 재배치되는 Mullins효과가 발생한다.[7)]

Figs. 1, 2와 같이 변형률 범위가 점차 커짐에 따라 이전에 받았던 변형률보다 더 큰 수준의 변형률을 받으면 일정한 영구변형이 발생하여 응력이 0인데도 불구하고 변형률은 0으로 되지 않음을 알 수 있다.

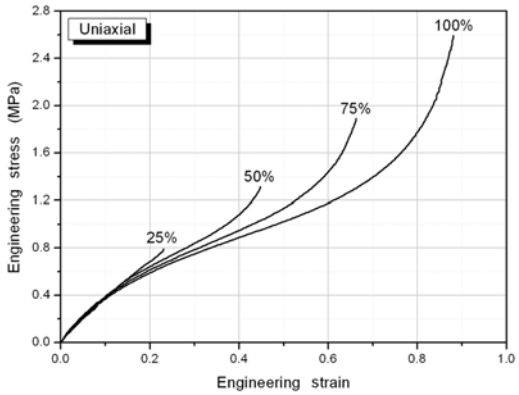
또한, 반복하중 과정에서 시편의 표점거리는 초기보다 증가하지만, 단면적은 감소하게 된다.[8)]

하지만, 일반적으로 유한요소해석을 위해서는 응력-변형률 곡선의 안정화된 데이터를 이용하여야 한다. 실험으로 얻어진 응력-변형률 데이터를 유한요소해석에 사용하기 위해 데이터를 영점으로 이동시키고 안정화된 5번째의 변형률을 시편의 초기 변형에 반복하중으로 늘어난 소성 변형량을 고려하였으며, 고무의 반복하중 과정에서 변화된 단면적을 고려하여 최종 비선형 재료 상수를 획득하기 위한 Fig. 3과 같은 응력-변형률 관계를 획득하였다.[9)]

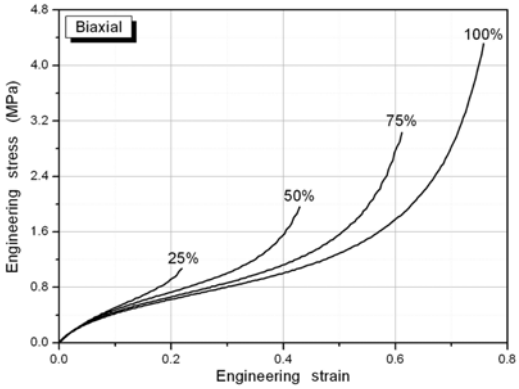
3.2 변형률 구간에 따른 비선형 재료상수

단축 인장시험 및 이축 인장시험을 통해 얻어진 응력-변형률 데이터는 유한요소해석의 비선형 재료상수로서 이용하기 위해 커브피팅 과정을 통하여 비선형 재료상수를 획득하였다.

Table 1, 2는 각각 변형률 범위 25, 50, 75, 100%에 따른 비선형 재료상수인 Mooney-Rivlin과 Ogden 함수이다.



(a) Uni-axial test



(b) Equi-biaxial test

Fig. 3 Stable stress-strain curves

Table 1 Nonlinear material constant for Mooney-Rivlin model

Strain range	25%	50%	75%	100%
C_{10}	0.98556	0.72437	0.60808	0.53925
C_{01}	-0.32992	-0.12616	-0.057876	-0.02363

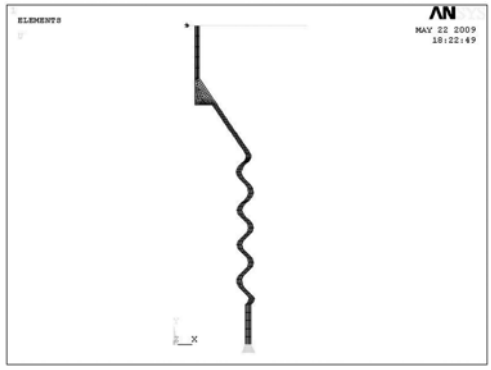
Table 2 Nonlinear material constant for Ogden model

Strain range	μ_1	α_1	μ_2	α_2	μ_3	α_3
25%	4.049	7.4e-7	3.076	4.0e-7	0.583	4.255
50%	1.8e-5	0.413	0.752	2.995	2.193	7.7e-7
75%	12.556	1.6e-7	1.0e-5	0.927	0.725	2.819
100%	0.674	2.764	10.595	0.002	0.002	2.465

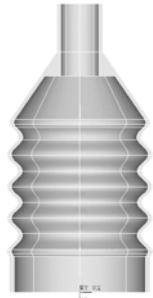
4. 그로멧의 유한요소해석

4.1 유한요소해석 모델링

본 논문에서는 자동차의 그로멧 부품을 대상으로 유한요소해석을 수행하였다.



(a) Section modeling of grommet



(b) 1/2 modeling of grommet

Fig. 4 Modeling of grommet

유한요소해석을 수행하기 위한 그로멧의 모델링은 Fig. 4(a)와 같이 단면만을 모델링하여 수직변형에 따른 해석을 수행하였다. Fig. 4(b)와 같이 전체 형상의 1/2 모형을 이용하여 모델링을 하여 수평변형에 따른 유한요소해석을 수행하였다. 비선형 재료 물성치는 각각 Mooney 모델과 Ogden 모델을 이용하였다. 유한요소해석은 상용프로그램인 ANSYS를 이용하여 수행하였다.

4.2 수직방향에 대한 유한요소해석

구속조건으로는 수직변형을 알아보기 위하여 축대칭 조건을 사용하였으며, 그로멧의 상단과 하단 부위를 강체로 설정하였으며, 아랫방향으로 변위조건을 주어 해석을 수행하였다.

Fig. 5는 그로멧의 수직하중에 대한 20mm의 변형된 형상을 나타내고 있다.

Fig. 6은 각 수직변형에 따른 Mooney와 Ogden 함수의 하중-변위 관계를 나타낸 결과 그래프이며,

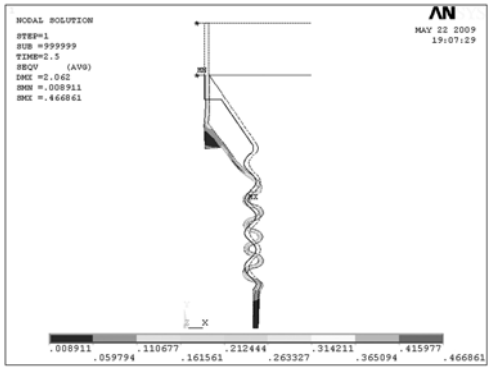
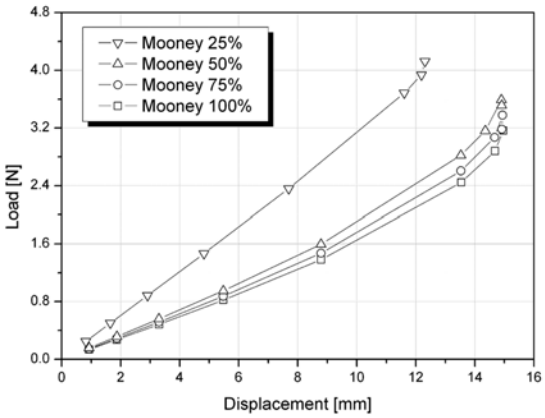
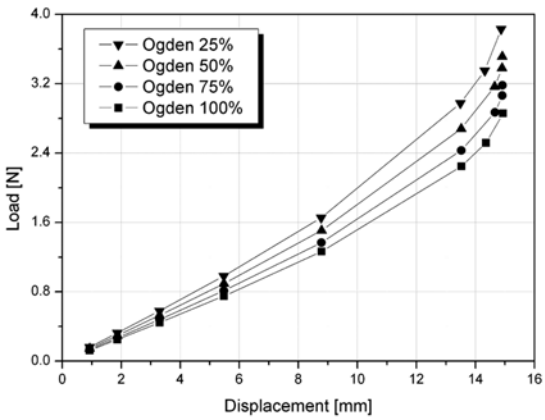


Fig. 5 Analysis results of grommet at vertical load



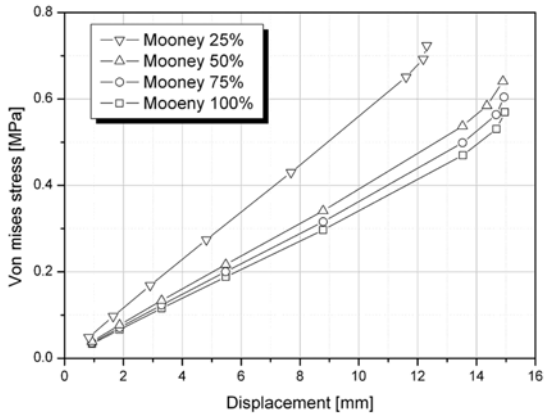
(a) Mooney-Rivlin model



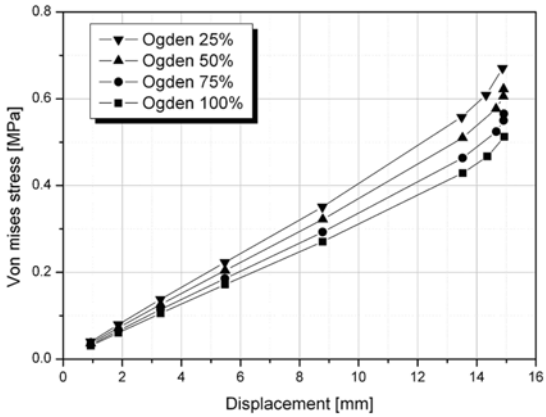
(b) Ogden model

Fig. 6 Load-displacement curve at vertical load

Fig. 7은 최대 Von Mises-stress 값을 나타낸 결과그래프이다. 각 함수에 대한 변형률 값에 따른 비선형 재료상수의 크기가 작을수록 하중 값이 증가함을



(a) Mooney-Rivlin model



(b) Ogden model

Fig. 7 Von mises-stress result at vertical load

알 수 있으며, Mooney 함수를 이용하여 해석을 수행하였을 시 Ogden 함수를 이용하여 해석을 수행한 결과 값보다 큼을 알 수 있다. Mooney 함수 25%의 변형률 값에서의 비선형 재료상수를 사용하였을 시 안정된 결과 값을 획득하기 어려움을 확인할 수 있다.

4.3 수평방향에 대한 유한요소해석

수평변형을 알아보기 위하여 그로멧의 하단 부를 고정하였으며, 대칭 경계조건에 의해 대칭 경계조건을 적용하였다. 중심축을 강체로 설정하여 왼쪽 30° 방향으로 기울여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 8은 그로멧의 수평방향으로의 변형에 대한 결과를 나타내고 있다.

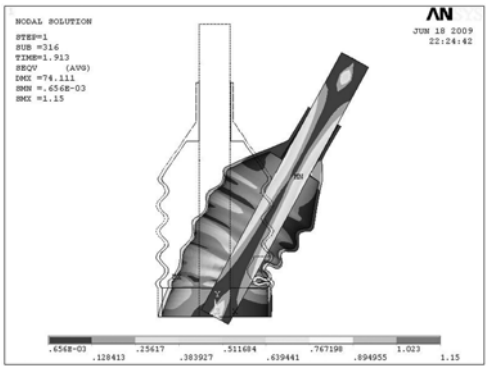
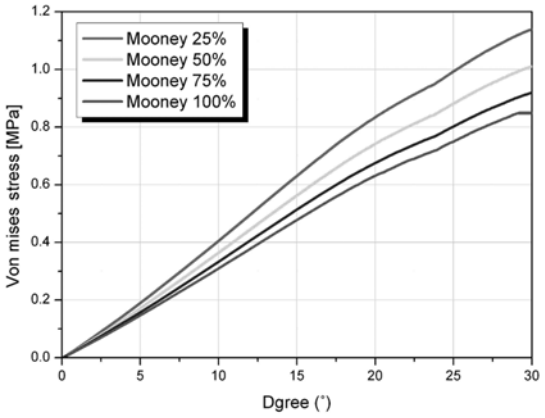
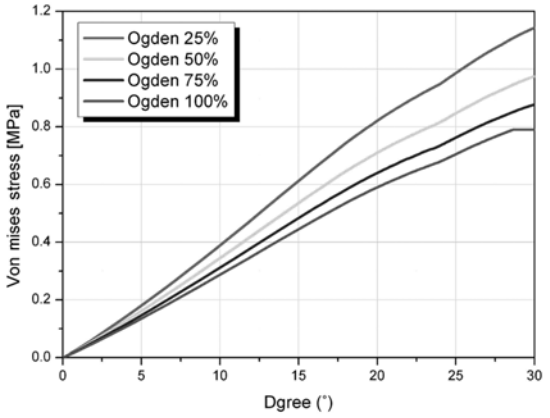


Fig. 8 Analysis results of grommet at horizontal load



(a) Mooney-Rivlin model



(b) Ogden model

Fig. 9 Von mises-stress result at horizontal load

Fig. 9는 수평하중에 따른 Von Mises-stress 결과이다. 각 함수에 대한 변형률 값이 작을수록 Von-Mises stress 값이 큼을 알 수가 있다. 또한, Mooney 함수가 Ogden 함수에 비해 높은 결과 값을 나타냄을 알 수 있다. 수직하중에 비해 각 비선형 재료상수의 값이 작아질수록 Von Mises-stress 값의 차이가 감소함을 확인 할 수 있다. 이는 고무부품의 생산 방향에 따라 물성이 변화함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 자동차용 그로멧의 재료가 되는 EPDM소재에 대한 유한요소해석을 수행하여 특성을 예측하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 자동차용 그로멧의 소재가 되는 EPDM의 물성시험을 통해 획득한 시험 값은 유한요소해석시 비선형 재료상수를 획득하는데 필요한 요소이며, 해석 결과에 영향을 미친다.
2) 단축 및 이축 인장 시험을 통하여 각각의 재료에 대한 응력-변형률 관계로부터 획득한 데이터는 고무의 Mullin's effect를 고려하여 안정화된 응력-변형률 값을 사용하여야 한다.
3) 고무의 변형률 범위에 따라 비선형 상수의 적용시 해석 결과가 달라지므로, 그로멧의 거동을 예측하기 위해서는 실제 그로멧의 변형량을 통하여 변형률 범위에 따른 알맞은 비선형 재료상수 값을 적용해야 한다.

References

1) Y. S. Yoon, M. H. Oh, M. K. Kang and C. B. Lee, “A Study of the non-Flammability of Thermoplastic Elastomer in Automotive Parts,” Spring Conference Proceedings, KSAE, pp.1689-1693, 2004.
2) M. H. R. Ghoreishy, M. Razavi-nouri and G. Naderi, “Finite Element Analysis of a Thermoplastic Elastomer Melt Flow in the Metering Region of a Single Screw Extruder,” Computational Material Sci., Vol.34, pp.389-396, 2005.
3) W. J. Jang, C. Y. Han, C. S. Woo and S. B. Lee, “Prediction for Weather Strip Using Nonlinear Finite Element Analysis,” Transactions of the KSME (A), Vol.32, No.11, pp.1022-1027, 2008.

4) C. S. Woo, W. D. Kim and S. S. Choi, “Material Characteristics Evaluation and Useful Life Prediction by Heating Aging of Rubber Materials for Electronic Component,” Proceedings of the KSME 2005 Spring Annual Meeting, pp.130-135, 2005.
5) C. S. Woo and S. S. Choi, “Effects of Thermal Aging on Properties and Life-time Prediction of NBR and EPDM Vulcanizates,” Elastomer, Vol.40, No.2, pp.119-127, 2005.
6) D. J. Kim, W. D. Kim, W. S. Kim and Y. S. Lee, “A Study on the Equi-biaxial Tension Test of Rubber Material,” Proceedings of the KSME 2003 Spring Annual Meeting, pp.425-430, 2003.
7) W. J. Jang, C. Y. Han and S. B. Lee, “Material Tests and Prediction for Finite Element Analysis of EPDM,” Proceedings of the KSME 2008 Autumn Annual Meeting, pp.65-70, 2008.
8) C. S. Woo, H. S. Park and G. A. Lee, “Material Test and Forming Analysis of Urethane Rubber,” Proceedings of the KSME 2007 Spring Annual Meeting, pp.2654-2659, 2007.
9) W. D. Kim, W. S. Kim, D. J. Kim, C. S. Woo and H. J. Lee, “Mechanical Testing and Nonlinear Material Properties for Finite Element Analysis of Rubber Components,” Transactions of the KSME (A), Vol.28, No.6, pp.848-859, 2004.