

자동차용 에어컨 호스 제조를 위한 스웨이징 공정 유한요소해석

민규영¹, 김태범², 박용복^{2*}

Finite Element Analysis of Swaging Process for Manufacturing of Automotive Air-Conditioning Hose

Kyu-Young Min¹, Tae-Beom Kim² and Yong-Bok Park^{2*}

요 약 다양한 기계적 거동을 관찰할 때 예상되는 역효과의 측정 방법을 연구하는 것이 필수적이고, 고무 호스, 알루미늄 sleeve 와 pipe에 의해 만들어진 Automotive Air-Conditioner-Hose의 응력과 변형 특성을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 자동차에 있어 에어컨 냉매 순환에 중요한 역할을 하는 Automotive Air-Conditioner-Hose의 응력과 변형 특성을 유한요소법을 이용하여 분석하였다.

Abstract It's necessary to invent a measure to deal with expected counter results when observing mechanical behaviors under the various operations and it can be done by measuring the stress and deformation characteristics of the Automotive Air-Conditioner Hose, which is a hose made up of a rubber hose, an aluminum sleeve and pipe. In this paper, characteristics of the stress and deformation characteristics of the Automotive Air-Conditioner Hose which plays an important role in circulation of refrigerant of an air conditioner in an automobile are analyzed using the finite element method.

Key Words : Air-Conditioner Hose, Swaging Process, Finite Element Analysis

1. 서론

자동차용 에어컨 호스는 자동차의 여러 운전 조건하에서 다양한 기계적 하중과 열 하중을 받고 있다. 호스의 양쪽은 금속을 사용하는 자동차의 콤프레셔, 콘덴서와 연결되어 있는 금속 파이프와 연결되어 있기 때문에 열악한 운전 조건이 계속되는 경우에는 고압호스와 파이프의 연결 부위에서 냉매가 흘러나오는 현상으로 인하여 자동차의 성능 저하를 일으키는 요인으로 작용할 수 있다. 실제로 운전 조건이 바뀔 때마다 고압 호스내의 하중 조건이 변하게 되고, 대기 온도 등의 외부 조건에도 고압 호스의 성능이나 수명에 영향을 미치므로, 어떠한 운전 조건하에서도 자동차용 에어컨 호스가 기능을 다하기 위해서는 금속 파이프와 호스의 체결 부분에 대한 유한요소해석이 이루어져야 해석에서 예상되는 결합에 대한 대책

을 마련할 수 있을 것이다.^[1~2] 국내의 독자적인 기술력 확보와 제품의 성능 향상을 위해서 해석과 실험을 통해 금속 파이프와 호스 체결부의 거동에 대한 기술 확보와 최적인자의 기준이 마련되어야 한다. 호스에 대한 유한요소해석은 이론에 근거를 둔 계산식의 유도 및 적용이 대부분을 이루고 있고 호스를 제작하는데 있어 유한요소해석의 최적인자를 찾는 과정이 호스 성능에 큰 영향을 미치는데 불구하고 이에 대한 유한요소해석은 거의 없는 상황이다.^[3] 본 연구에서는 스웨이징 공정에서 고무, 슬리브, 파이프에 발생하는 응력 및 변형특성을 확인하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 해석을 위하여 실제 공정과 동일한 조건을 주었으며 해석 완료 후 각 부위에 발생하는 응력분포와 압력 분포를 분석하여 제품성능과의 관계를 검토 하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과로 독자적인 스웨이징 공정 설계 기술을 확보하고 신기술을

본 연구는 지방대학혁신역량강화사업(NURI)인 「충남 자동차-부품산업 인력양성 사업」 중 '산화공동연구' 과제로서 수행되었습니다.

¹공주대학교 일반대학원 기계공학과

*교신저자 : 박용복(ybpark@kongju.ac.kr)

접수일 08년 07월 07일

수정일 08년 10월 14일

²공주대학교 기계자동차공학부

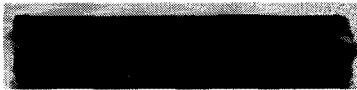
계재확정일 08년 10월 16일

연구 개발하는데 기본적인 정보를 제공할 수 있다.

2. 유한요소해석

2.1 유한요소해석 각 부위 형상

그림.1은 에어컨 호스의 단면 형상을 보여주고 있다. 에어컨 호스 내부에 압력 작용 시 인장력을 지탱하기 위해 나이론 편조층이 삽입되어 있다. 그림.2는 파이프와 슬리브, 고무호스를 보여주고 있다. 그림.3은 파이프와 슬리브, 고무호스를 조립해 놓은 모습을 보여주고 있다. 각 부품의 제원은 표.1에 보이는 것처럼 슬리브의 내경은 5.9mm 외경은 10.75mm 길이는 32mm이고 파이프의 내경은 4.4mm 외경은 6mm 길이는 38mm이다. 고무호스의 제원은 내경 11mm 외경 19mm 길이는 38mm로 해석에 적용하였다.



[그림 1] 에어컨 호스의 단면 형상



[그림 2] 에어컨 호스의 부품 형상



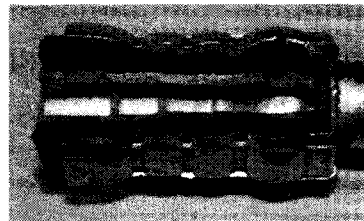
[그림 3] 에어컨 호스의 조립된 형상

[표 1] 주요 부품의 제원

Components	Inner diameter	Outer diameter	Length
Sleeve	5.9	10.75	32
Pipe	4.4	6	38
Rubber	11	19	38

2.2 유한요소해석 모델

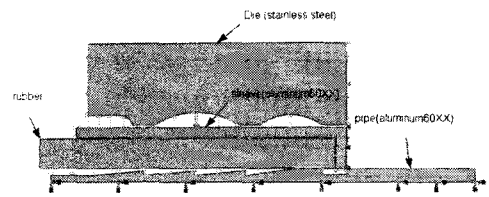
그림.4는 스웨이징 공정이 끝난 후의 모습을 보여주고 있고 그림.5는 유한요소해석 시 해석에 적용될 모델을 보여주고 있다. 해석 모델이 호스의 중심축에 대하여 대칭으로 축대칭모형을 사용하여 유한요소해석에 적용하였다. 해석에 사용된 프로그램은 범용 유한요소해석 프로그램인 abaqus/CAE를 사용하여 2차원 형상으로 모델링하였고 abaqus/Standard를 사용하여 유한요소해석을 진행하였다.



[그림 4] 스웨이징 공정 후 형상

2.3 물성치

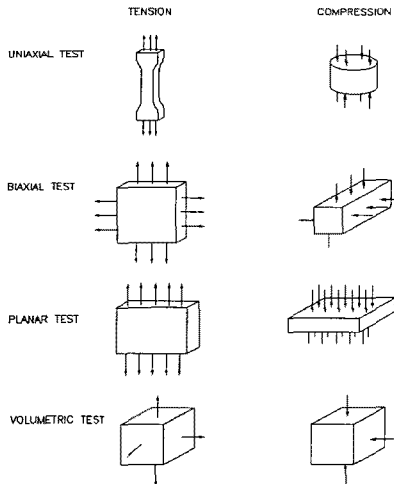
에어컨 호스는 축대칭 형상으로 본 연구에서는 모델을 축대칭 2차원 형상으로 모델링 하였다. 호스는 고무로 이루어져 있고 R134a 냉매가 유동되는 고무호스이다. 고무는 3개의 층으로 이루어져 있고 각 층 사이에는 편조사가 삽입되어 있다. 하지만 고무호스에 대한 정확한 실험이 이루어지지 않았기 때문에 고무 형상을 단일 층으로 가정하고 문제에 접근하였고 Ogden 상수는 표.2와 같다. abaqus에서는 그림.6과 같이 hyperelastic 물질을 분석하는 uniaxial test, biaxial test, combined test, volumetric test의 인장, 압축 시험을 통하여 Ogden 상수를 구하였다.^[5] 본 연구에서는 고무물성의 일반적인 거동에서 응력 이완의 고려를 제외한 오그덴 방법(Ogden method)을 채택하였다. 다이는 Stainless steel을 사용하였고, 호스와 결합되는 파이프와 슬리브는 AL6061를 사용하였다.



[그림 5] 2D 유한 요소 해석 모델

[표 2] 오그덴(Ogden) 상수

test mode	μ	α
uniaxial test	2.30281e-04	3.76430
	3.344363e-07	8.62759
	6.594500e-02	-3.44653
biaxial test	0.5876e-01	2.673
	-0.6715e-01	9.774
	0.3360e-01	-4.887
combined test	3.569065e-02	1.42709
	9.005109e-06	6.81965
	3.939088e-03	-2.41737
volumetric test	1.228e-02	
	1.7258e-02	
	-3.369e-05	



[그림 6] 실험적 시험의 변형 모델

2.3 해석 형상 및 경계조건

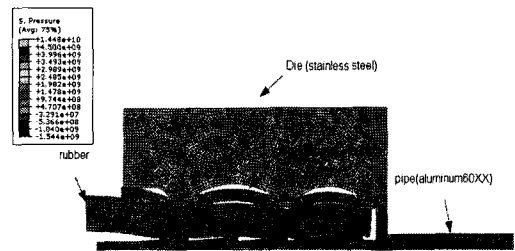
자동차에 사용되는 에어컨 호스는 고무호스와 알루미늄 파이프와 슬리브로 구성되어 있다. 구성되는 각각의 부품들이 스웨이징 공정을 통하여 결합 된다. 본 연구에서는 이러한 결합이 끝난 후에 자료를 바탕으로 압력분포와 응력분포를 얻기 위해 유한요소해석을 수행한다. 그림. 5에서 보는 것과 같이 경계조건은 슬리브의 우측 끝단의 변위가 고정되어 있고, 슬리브와 파이프의 끝단을 실제 공정과 유사한 경계조건을 부여하였다. 슬리브, 파이프, 고무호스를 결합시키는 다이의 속도는 10mm/s로 제어하였다.

3. Swaging Process 해석

swaging process는 그림.7에서 나타낸 것과 같이 다이

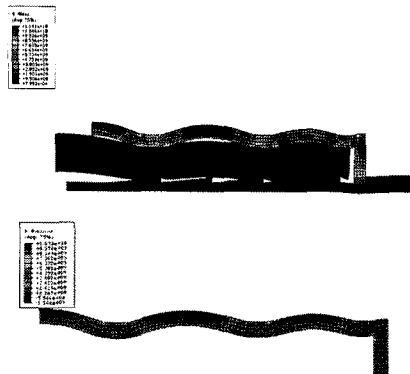
로 파이프와 슬리브와 고무호스를 결합하게 된다. 고무호스의 변형율은 다이와 직접 접촉하고 있는 슬리브의 아래 중앙 부위에서 변형율이 높게 나타나고 있다. swaging process에서 공정 중 불량으로 인해서 냉매가 누출되는 불량이 발생한다면 슬리브와 고무호스가 접촉하는 부위 일 가능성이 매우 높기 때문에 슬리브와 접촉하는 부위의 내부압력을 측정 하였다.

그림.8은 부품별로 내부압력을 보여주고 있다. 고무호스 하단부위의 내부압력은 상단부위 표면부위의 내부압력보다 20% 높게 나타나고 있다.



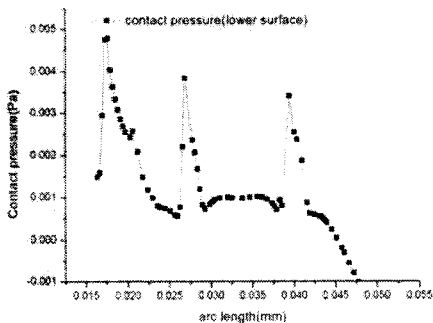
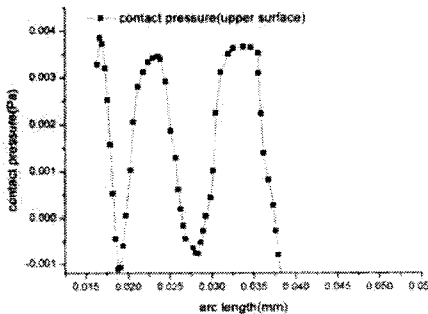
[그림 7] 에어컨 호스의 스웨이징 유한요소해석

특히 파이프에서 첫 번째로 돌출된 부위에서 가장 높은 내부압력 값을 보여주고 있다. 그림.9는 고무호스의 위 표면과 아래 표면 우측 끝단으로 부터 호 길이로의 탄성 응력 측정하였다. 본 연구의 전반적인 고무호스의 탄성 응력 분배는 J.R.Cho^[4]의 결과인 0.001Pa 보다 대략 4 배 높은 값이다. 그 이유는 swaging loading condition 뿐만 아니라 다이 형상과 재료의 물성이 다르기 때문이다. 무던 다이는 고무의 비압축성과 관련되었던 큰 압력을 가한 부위 때문에 고무에 접촉압력을 산출할 수 있었다. swaging의 효율성을 높이기 위해서는 다이의 기하학적 요인과 소재는 변경되어야 한다. 더구나 hyperelastic의 물성에 관한 수치해석방법은 더 연구되어야 할 것이다.





[그림 8] 스웨이징 해석 후 각 부품의 압력 분포



[그림 9] 고무호스 상, 하단 표면의 탄성 응력 분포

4. 결론

본 연구에서는 스웨이징 공정 시 자동차용 에어컨 호스 고무, 파이프 및 슬리브에 발생하는 변형 특성을 유한요소해석 하였다.

본 연구 시뮬레이션의 결과를 정리해보면 다음과 같다.

- (1) 고무호스 하단부위의 내부압력은 상단부위 표면부위 내부압력보다 20% 높게 나타나고 있다.
- (2) Swaging Process의 효율성을 높이기 위해서는 다

이의 기하학적 요인과 소재는 변경되어야 한다.

참고문헌

- [1] 박성한, 이방업, 홍명표, 류백능(2000), “고무 알루미늄 적층 구조물의 유한요소해석” 대한기계학회 2000년도 추계학술대회 논문집. pp. 402-406.
- [2] 김병탁, 김형제, 송한중, 강창기(2001), “Swaging 시 P/S 호스의 변형 특성에 대한 유한요소해석” 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회 논문집. pp. 692-697.
- [3] 노기태, 전도형, 최주형, 조진래(2003), “자동차 파워스티어링 호스의 열내압 특성 유한요소해석” 대한기계학회 2003년도 춘계학술대회 논문집. pp. 409-414.
- [4] J.R.Cho, J.I.Song(2007), "Swaging process of power steering hose: It's finite element analysis considering the stress relaxation" Journal of Material Processing Technology. pp. 497-501.
- [5] abaqus inc.(2006), "Getting Start With abaqus" abaqus manual version 6.6. pp. 10.51-10.54

민 규 영(Kyu-Young Min)

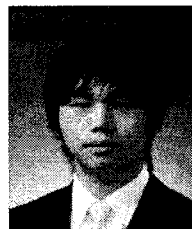
[정회원]



- 2008년 10월 : 공주대학교 대학원 기계공학과 생산공학실험실

김 태 범(Tae-Beom Kim)

[준회원]



- 2008년 10월 : 공주대학교 기계자동차공학부 자동차공학과 생산공학실험실

박 용 복(Yong-Bok Park)

[정회원]



- 2008년 10월 : 공주대학교 천안
공과대학 기계자동차공학부 교
수