

스웨이징 행정에 따른 고압호스의 변형 특성에 관한 연구

김병탁* · 김형제**

*부경대학교 기계공학부

**부경대학교 대학원 정밀기계공학과

A Study on the Deformation Characteristics of a High-Pressure Hose with respect to the Swaging Strokes

BYUNG-TAK KIM* AND HYUNG-JE KIM**

*School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**Dept. of Precision Mechanical Eng., Graduate School of Pukyong National Univ., Busan, Korea

KEY WORDS: Finite Element Method 유한요소법, Swaging Process 스웨이징 과정, Contact Condition 접촉조건, Mooney-Rivlin Model 부니-리블린 모델, High-Pressure Hose 고압호스

ABSTRACT: The mechanical components with high-pressure hoses are generally produced by the swaging process. The hoses are composed of the rubber materials and the reinforced braids to support tensile forces. In case they are subjected to high mechanical and thermal loads under severe operating conditions, the oil in hoses can leak at the parts of small clamping forces. In this paper, the deformation characteristics of a fiber-reinforced hose are analyzed with respect to the jaw strokes using the finite element method. The manufacturing process is modeled with a contact problem in consideration of a real situation, and the material properties based on the experimental results are used in the analysis. Examinations of the relationship between the swaging strokes and the deformation behaviors of the hose were made on the basis of the stress and strain values of the hose components. The relations between clamping forces and separating forces are also proposed, in order to estimate clamping forces corresponding to separating forces for the given model.

1. 서 론

선박용 기계나 자동차, 기타 산업 기계에 널리 사용되고 있는 고압 호스는 일반적으로 인장력에 대한 저항강도를 증대시키기 위하여 고무 내부에 강선이나 합성섬유 등의 보강층을 포함하고 있다(SAE, 1997; Bregman et al., 1993). 이러한 호스 내에는 일반적으로 고압의 유체가 유동하고 있을 뿐만 아니라, 유체 온도도 운전 초기부터 상승하기 시작하여 정상상태에서 상당히 높은 값을 유지하게 된다. 따라서 호스가 기계장치에 조립되어 원활한 기능을 수행하기 위해서는 설치 이전에 밀봉 유지에 관한 고려가 필요하며, 이를 위하여 부품 제작시에 호스의 양쪽 끝에 금구(금속재 용구)를 체결하여 기밀성과 조립시 정밀도를 증대시키고 있다. 그러나 운전 중의 호스내 하중상태는 일정하지 않으며, 짧은 시간에 매우 높은 압력이 작용할 경우도 있다. 기계장치가 이와 같은 가혹한 조건에서 운전될 경우, 고무 재질의 연화와 함께 체결력이 약한 부분에서 누유 등이 발생하여 호스 수명을 단축시킬 수 있을 뿐 아니라, 호스 주변 온도 등의 외부 조건도 호스의 성능이나 수명(Nicols and Pett, 1995; Goettler et al., 1979)에 영향을 미치므로 이에 대한 종합적인 고려와 대책이 필요하다.

고압 호스에서 누유는 호스의 수명을 결정하는 가장 중요한 인자이며, 이것은 제작 과정에서 금구와 호스 사이의 초기 체결력과 밀접한 관계가 있다. 주로 섬유 보강 고압 호스 부품은 스웨이징(swaging) 작업(Piela, 1997)을 통하여 양단의 금구와 체결되고 있으며, 제작 후 체결력은 작업시 조(jaw)의 행정 거리(stroke)와 직접적인 관계가 있다. 즉 스웨이징 작업시 조의 행정 거리가 너무 크면 내면 고무에 손상을 준다던가 니플(nipple)이 함몰하는 결과를 초래할 수 있다. 그러나 행정거리가 너무 작으면 접촉력의 부족으로 고온·고압하의 유체의 누출과 호스가 금구에서 이탈할 가능성이 있기 때문에 적당한 행정 거리의 선정이 중요하다 하겠다.

지금까지 고압호스에 대한 연구(Fineey, 1987; Nair and Dollar, 1997)는 이론으로 수식을 유도하고 이를 단순 형상에 대해 적용한 것이 대부분으로, 호스 제작시의 과정이 호스의 성능에 큰 영향을 미침에도 불구하고 이에 대한 연구(김형제와 김병탁, 2002)가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 섬유로 이중 보강된 고압 호스를 금구와 체결할 때 조의 행정 거리에 따른 변형특성을 유한요소법으로 해석하고자 한다. 이를 위하여 해석 대상을 실제 작업과 동일한 과정의 접촉문제로 모델링하고, 호스 구성 재료와 금구의 물성치는 실험을 통하여 구한 값을 입력하였다. 각 행정 거리에서 스웨이징이 완료된 후, 호스 각 부분의 응력과 변형률을 기준으로 작업 조건과 제품 성능의 상관 관계를 검토하였으며, 주어진 모델에 대한 호스 이탈력을

제1저자 김병탁 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산100

051-620-1538 btkim@pknu.ac.kr

측정하여 해당 체결력(수직 접촉력)을 추정할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 연구를 통하여 정립된 해석 기법은 사용 모델이 변경될 경우에도 적용 가능할 것으로 생각되며, 신제품 개발 초기 단계에서 시제품의 호스 이탈력을 측정하여 그 모델의 체결력을 추정할 수 있기 때문에 주어진 사양을 만족하는 모델을 조기에 결정하는데 상당한 도움을 줄 것으로 사료된다.

2. 유한요소 해석

2.1 관련 이론

엘라스토머(elastomer) 재료에 발생하는 응력을 계산하기 위해서는 일반적으로 불변량(invariant) 또는 연신비(stretch ratio)로 정의되는 변형률 에너지 함수(Crisfield, 1997)가 필요하다. 실제로 재료의 거동이 비압축성일 경우 다음과 같은 구속 방정식이 성립된다.

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1 \tag{1}$$

여기서 λ_i 는 주연신비를 나타내며, 변형률 불변량은 다음 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_1^2 \lambda_3^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \tag{2}$$

비압축성 엘라스토머 재료에 대한 일반화된 무나-리블린 모델(Mooney-Rivlin model)의 변형률 에너지 함수는 다음 식으로 표현된다.

$$W = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n C_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \tag{3}$$

이 식에서 재료 상수 C_{ij} (단, $C_{00} = 0$)는 실험 데이터로부터 구할 수 있다.

갱신 라그랑지 정식(updated Lagrange formulation)에서 변형률은 진변형률 또는 대수 변형률이며, 다음과 같이 코시-그린 텐서(Cauchy-Green tensor) b_{ij} 를 사용하여 정의할 수 있다.

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} \ln b_{ij} \tag{4}$$

일단 변형률 에너지 함수가 정의되면, 응력과 재료의 구성 텐서(constitutive tensor)를 각각 다음 식과 같이 구할 수 있는데 이 때의 응력은 코시(Cauchy) 응력 또는 진응력에 해당한다.

$$\sigma_{ij} = \frac{2}{J} \frac{\partial W}{\partial b_{ik}} \partial b_{kj} \tag{5}$$

$$E_{ijkl} = \frac{4}{J} \partial b_{im} \frac{\partial^2 W}{\partial b_{mj} \partial b_{kn}} \partial b_{nl} \tag{6}$$

여기서 J 는 자코비안(Jacobian)이며, 다음 식으로 정의된다.

$$J = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = (\det b_{ij})^{1/2} \tag{7}$$

2.2 해석 모델

Fig. 1은 본 연구에 사용된 유한 요소 모델을 도시한 것으로, 바깥쪽의 슬리브(sleeve)와 호스에 삽입된 니플이 금구를 구성하고 있다. 호스는 작업 시작전 초기 상태와 동일하게 금구에 끼워져 있는 상태이며, 안쪽에서부터 내면고무, 보강 편조층, 중간고무, 편조층, 외면고무 순으로 구성되어 있다. 외면고무는 제품의 정밀도를 높이기 위하여 슬리브 접촉부를 0.45 mm로 연마 가공하였기 때문에 단이 저 있음을 관찰할 수 있다.

모델의 해석에는 상용 프로그램 MARC를 사용하였으며, 해석 시작 시에 사용된 초기 절점과 요소의 수는 각각 3691개와 2859개였다. 또한 해석 모델의 형상이 호스의 중심축을 기준으로 대칭이기 때문에 축대칭 모델을 사용하였다.

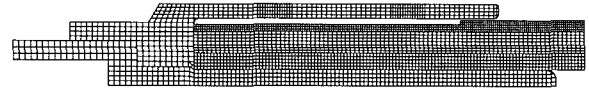


Fig. 1 Initial finite element model for the swaging process

2.3 재료의 물성치

해석 모델을 구성하고 있는 재료 중 먼저 세 고무에 대한 재료 상수를 계산하기 위하여 각각에 대한 인장시험과 압축시험을 실시하여 응력-변형률 선도를 구하였다. 이 데이터를 MARC에 입력하면 식 (3)의 여러 모델에 대한 상수를 구할 수 있는데, 각 모델을 실험치와 비교하면 어느 모델이 가장 적합한지를 결정할 수 있다. 본 연구에서는 2차 불변량 모델(second order invariant model)이 가장 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 이 모델로 구한 재료 상수를 Table 1에 나타내었다. Fig. 2는 MARC로 계산된 외면고무의 재료 상수(Table 1의 C_{ij})로부터 얻은 응력-변형률 관계를 실험치와 비교하여 도시한 것으로, 두 선도가 전 구간에서 비교적 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

두 보강사 편조층의 물성치를 추정하기 위해 본 연구에서는 호스 완제품을 사용하여 시험편을 가공하고, 반경방향으로 압축 시험을 실시하였다. 주어진 하중에 대한 시험편의 총 변형량은 각 층의 변형량의 합이 되므로, 다음 식을 이용하여 각 응력에 해당하는 편조층의 변형률을 계산할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 l_1 + \epsilon_3 l_3 + \epsilon_5 l_5}{l_2 + l_4} \tag{8}$$

이 식에서 하첨자 1, 3, 5는 각각 내면고무, 중간고무, 외면고무를 나타내며, 2와 4는 두 편조층을 나타낸다.

Table 1 Material constants of rubber materials for the second order invariant model (unit : MPa)

	C_{10}	C_{01}	C_{11}	C_{20}
In-Rubber	2.38281	-0.78872	0.04513	0.50527
Mid-Rubber	0.95818	-1.29741	0.05900	0.03207
Out-Rubber	1.33394	-0.45644	0.11302	0.02709

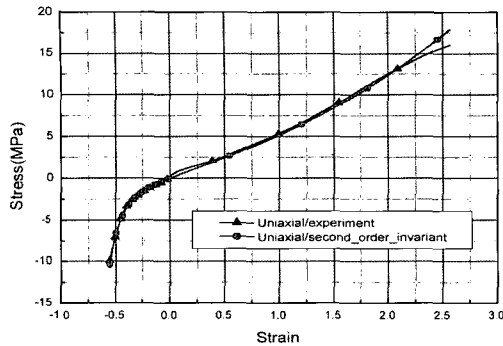


Fig. 2 Comparison of the second order invariant model with the experimental data for outer rubber material

식 (8)로 계산된 응력과 변형률을 곡선 맞춤(curve fitting)해 본 결과 명확한 선형 관계를 얻을 수 있었으며, 그 기울기는 39.44 MPa의 값을 나타내었다.

금구에 사용되는 강재는 열처리한 SWCH10A로서, 그 물성치를 구하기 위해 시험편 5개를 사용하여 인장시험을 실시한 결과, 항복강도 261.9 MPa, 인장강도 427.7 MPa, 종탄성계수 206 GPa을 얻을 수 있었으며, 항복 이후의 가공 경화 거동에는 구분적 선형 모델(piecewise linear model)을 사용하였다.

2.4 해석 방법

스웨이징 작업시 호스는 대변형을 하므로 초기 격자는 작업이 진행됨에 따라 찌그러지기 시작한다. 이 현상이 심할 경우에는 해석이 중단되기 때문에 해석을 계속하기 위해서는 격자를 재구성(remeshing)해 줄 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 일정 시간 증분(increment)마다 찌그러진 요소에 대한 격자 재구성을 용이하게 하기 위하여 호스 구성 재료의 접합면에 서로 다른 조밀도(density)를 갖는 초기 격자를 구성하였다. 그러나 실제로 이들 재료는 완전 접합 상태이므로, 이를 모델링하기 위해 접착(glue) 조건과 큰 분리력(separation force)을 사용하여 두 접촉물체의 접선방향과 법선방향의 상대운동을 구속하였다. 격자 재구성은 슬리브와 접촉하는 외면고무에 한정하였으며, 재구성시 요소는 크기가 0.2 mm인 4각형 요소를 사용하였고, 요소간 침투현상이 발생하는 경우에도 격자를 재구성하도록 하였다.

스웨이징 과정에서 조는 전진하였다가 후퇴하므로 해석시간은 접촉 초기부터 조가 완전히 분리되는 시점까지 125 간격(step)으로 나누었으며, 어떠한 간격 내에서 해가 수렴하지 않을 경우에는 그 간격을 10번까지 줄여 실행을 계속하도록 하였다.

조의 행정거리는 2.2mm를 기준으로 2.0mm, 2.1mm, 2.3mm, 2.4mm로 변화시키면서 해석을 수행하였으며, 해석에는 대변형 조건과 갱신 라그랑지법(updated Lagrangian)을 적용하였다.

3. 해석결과

3.1 변형 형상 및 호스의 압축률

Fig. 3은 조가 행정거리 2.2 mm를 최대로 전진했을 때의 변형 형상을 도시한 것이며, 조가 슬리브에서 완전히 분리되어 제

작이 완료된 후의 변형 형상도 탄성 에너지에 의한 미소 변위의 회복 현상을 제외하고는 유사하게 나타났다.



Fig. 3 Deformed shape of the model (stroke = 2.2mm)

Fig. 4는 스웨이징이 완료된 후 호스와 내·외면고무의 압축률을 살펴보기 위하여, 좌측 조의 중앙 하부에 해당하는 최대 압축률 발생 위치를 참고로 도시한 것이다. Fig. 5는 행정 거리 2.2 mm에 대하여 내면고무의 상하 두 절점에 발생하는 반경방향 변위를 시간 증분에 따라 나타낸 것으로, 제작이 완료된 후에 최대 두께 감소량은 0.63 mm를 나타내었다.

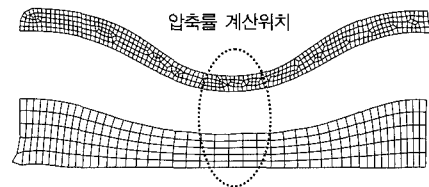


Fig. 4 Reference position for the calculation of maximum compressibilities in the inner and outer rubbers

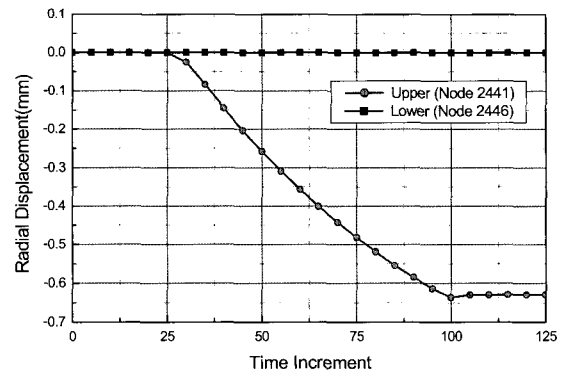


Fig. 5 Radial displacements of two nodes at the surface of the inner rubber (stroke = 2.2 mm)

Fig. 6은 각 행정별로 조가 슬리브에서 완전히 이탈한 후 내·외면고무와 호스 전체의 압축률을 나타낸 것으로, 각 구성 부품의 표면 두 절점의 변위차로 최대 두께 감소량을 구하여 계산한 값이다. 이 그림에서 조 행정이 증가하게 되면 내면고무와 전체 호스의 압축률은 비슷한 기울기를 가지고 증가할 뿐 아니라 그 값도 유사한 것을 알 수 있다. 반면 외면고무는 조 행정에 따른 변형률 증가율이 가장 큰 값을 나타내었으며, 조 행정이 2.3 mm를 초과할 경우 내면고무보다 더 큰 압축률을 발생함을 알 수 있다. 고온, 고압하에서 작동되는 호스의 경우, 내면고무

의 압축률이 과대한 장소에 유압에 의한 벌지(bulge) 현상이 발생하게 되면 표면 손상에 의한 누유 발생 가능성이 커지게 되므로 이에 대한 적절한 관리가 필요하다. 따라서 이와 같은 자료를 근거로 실제 실험을 통하여 최적 압축률을 도출하고 그에 상응하는 조의 행정을 선정하는 것이 바람직하다 하겠다.

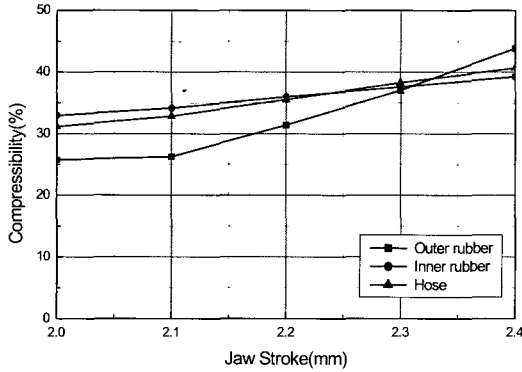


Fig. 6 Compressibility of the hose, inner and outer rubbers

3.2 호스의 변형률 분포

Fig. 7은 호스에 발생하는 등가 전 변형률(equivalent total strain)을 조 행정 2.2 mm에 대해 도시한 것으로, 강재에 비해 호스의 변형률이 상대적으로 더 크게 나타남을 볼 수 있다. 실제로 강재에서 변위는 큰 값을 가지지만 상당부분이 강체 운동에 의해 발생하므로 변형률은 비교적 작게 나타난다. 예상대로 호스의 변형률은 조와 직접 접촉하고 있는 슬리브 아래 중앙부분에서 크게 발생하며, 압축력에 대한 보강사의 저항력이 미미하기 때문에 편조층의 변형률이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 호스의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 내면고무에 대하여 조가 최대로 전진한 시점의 등가 전 변형률을 도시한 것이다. 조가 슬리브에서 분리된 후의 변형률 분포 양상도 이 그림과 유사하게 나타났으며, 변형률 크기는 약간 감소하나 그 차이는 매우 작게 나타났다. 이는 강재의 소성 변형이 완전히 이

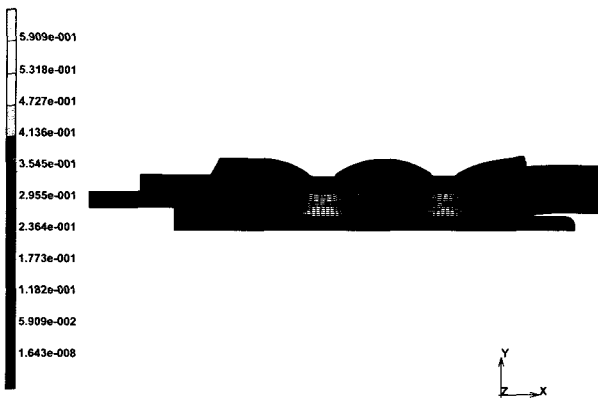


Fig. 7 Equivalent total strain of the model (stroke = 2.2mm)

루어진 뒤에 조가 후퇴하여 일부 변형이 회복된다고 하더라도 강재와 고무의 강성 차이로 인하여 고무의 변형률은 거의 변화하지 않는다고 볼 수 있다.

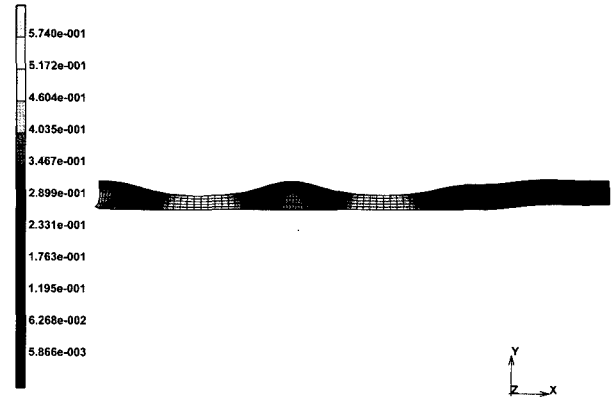


Fig. 8 Equivalent total strain of the inner rubber (stroke = 2.2mm)

Fig. 9는 호스 제작시 불량으로 누유가 발생할 가능성이 가장 높은 니플과 접촉하고 있는 내면고무에 대한 변형률을 각 행정별로 접촉길이에 따라 나타낸 것이다. 이 그림에서 두 개의 봉우리는 가장 큰 압축력을 받는 조 중앙부의 두 절점에 해당되며 행정거리가 2.2mm일 때 각각 57.4%와 54.1%로서 좌측 조가 우측 조보다 약 3.3% 더 큰 변형률이 발생하였다. 조가 슬리브에서 이탈된 후 두 피크점에서의 변형률은 각각 56.7%와 53.5%로서, 축적된 탄성 에너지에 의한 변형의 일부 복원으로 그 값들이 약 0.6~0.7% 감소하였지만 두 피크 변형률의 차이는 거의 동일함을 알 수 있었다.

조 행정에 따른 내면고무의 두 조 중앙부에서 변형률 피크값을 살펴 보면, 최소 행정(2.0mm)과 최대 행정(2.4mm)의 변형률은 각각 51.3%, 47.1%와 61.3%, 57.4%로서 좌측 조에서 약간 큰 값을 발생하였으며, 행정거리별로는 약 3.3~4.3% 정도의 차이를 나타내었다. 두 피크점의 변형률은 조 행정별로 약간의 차이는 있지만 대략 5%미만에서 행정 거리가 증가함에 따라 일정하

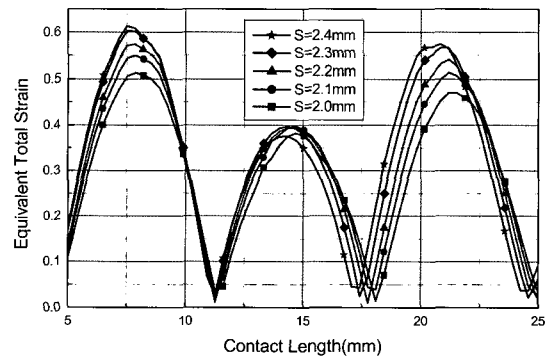


Fig. 9 Strain variations of inner rubber with respect to the contact length

계 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 조 행정의 증가함에 따라 호스 재료는 우측으로 유동하므로 변형률 피크치는 행정의 커질수록 좌측으로 약간씩 이동하는 것은 알 수 있다.

3.3 호스와 강재의 응력 분포

Fig. 10은 조가 2.2 mm를 최대로 전진했을 때 호스에 발생하는 응력을 도시한 것으로, 변형률과 동일하게 두 조의 중앙 하부의 응력이 다른 부분보다 현저하게 크게 나타나며, 두 보강사편조층에서 상대적으로 큰 응력이 발생하고 있음을 알 수 있다.

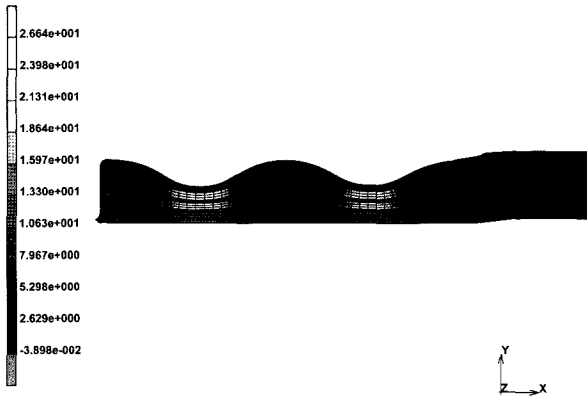


Fig. 10 Equivalent Cauchy stress of the hose (stroke = 2.2mm)

일반적으로 호스 제작시 내면고무에 결함이 발생할 경우, 그 위치는 니플과 접촉하고 있는 부위가 될 가능성이 많기 때문에 이 부분의 응력분포 특성을 살펴보기 위하여 Fig. 11에 니플 접촉면의 내면고무에 발생하는 응력을 나타내었다.

전체적인 응력의 분포양상은 전술한 변형률과 유사하였으며, 가장 압축이 심한 조의 중앙부 두 절점에서의 발생응력은 행정거리가 2.2mm일 때 각각 약 12.07 MPa와 10.59 MPa으로서, 좌측 조에서 약 1.47 MPa 더 큰 값을 나타내었다. 또한 스웨이징이 완료된 후 두 피크점에서의 응력은 각각 약 11.77 MPa와 10.3 MPa정도로 최대 전진 시점보다 대략 0.29 MPa 정도 감소함을 알 수 있었다. 다른 조 행정에서 두 응력 피크치는 약 1.47

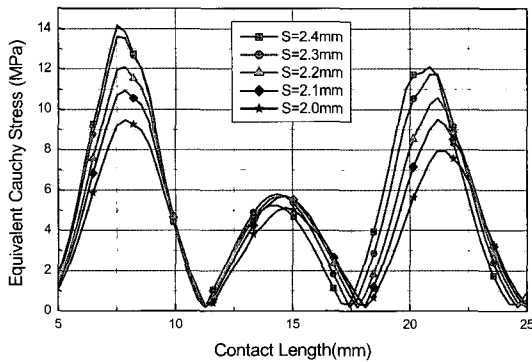


Fig. 11 Cauchy stress variations of inner rubber with respect to the contact length

~2.06 MPa의 범위에서 좌측 조에서 더 큰 값을 나타내었으며, 조의 행정의 증가함에 따라 응력은 증가하지만 그 증가율은 점차 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 12는 조가 최대로 전진했을 때 강재에 발생하는 응력을 도시한 것으로, 슬리브에서 항복응력을 초과하는 약 438 MPa의 응력이 발생함을 알 수 있다. 그러나 조가 이탈된 후에는 탄성 복원에 의해 조 행정 2.2 mm의 경우 약 36.49 MPa 정도의 응력이 감소함을 알 수 있었다. 한편 니플의 최대응력은 좌측 조의 중앙 내경부에서 발생하였으며, 그 크기는 슬리브에 비해 매우 작음을 알 수 있다. 실제로 니플에 발생하는 응력이 과도한 경우에는 부분적 함몰이 발생하여 호스 성능에 영향을 미칠 수 있으나, 본 해석에서는 스웨이징 과정 내내 68.67 MPa 정도의 비교적 작은 값을 나타냈기 때문에 제품의 형상 등에는 별 영향을 주지 못할 것으로 파악된다.

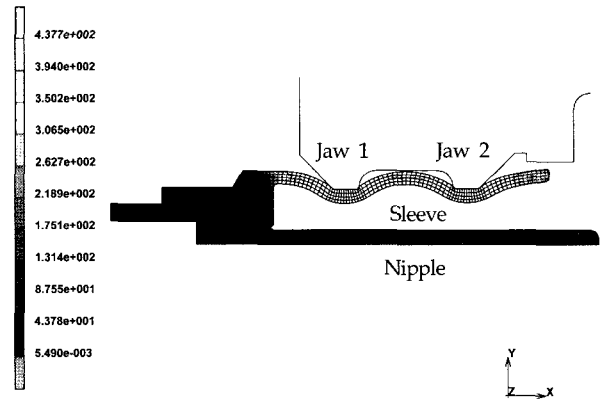


Fig. 12 Stress distribution of the steel components at the maximum jaw stroke (stroke = 2.2mm)

3.4 호스의 접촉 수직력(contact normal force)

Fig. 13은 조 행정에 따른 접촉 수직력의 변화를 도시한 것이며, 그 크기는 조 행정에 관계없이 약 6:4의 일정 비율로 슬리브 쪽에서 더 큰 값을 나타내고 있다. 또한 행정거리가 증가함에 따라 접촉 수직력은 거의 선형적으로 증가하고 있으므로 이들을 곡선 맞춤(curve fitting)하면 다음과 같이 접촉력의 크기를 조 행정의 함수로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F_{sleeve} &= 14.3 \times (\text{Jaw Stroke}) - 18.9 \text{ (kN)} \\
 F_{nipple} &= 8.57 \times (\text{Jaw Stroke}) - 11.4 \text{ (kN)}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

이 값들은 호스의 요구 사양 중의 하나인 이탈력(separation force)의 비를 개략적으로 추정하는데 사용될 수 있다. 즉 조 행정에 따른 슬리브의 최종 형상의 차이를 무시할 경우, 이탈력은 접촉 수직력에 비례하므로 식 (9)를 사용하면 가상의 여러 행정 거리에 대한 이탈력의 비를 계산할 수 있다. Table 2는 본 해석에 사용한 여러 조 행정에 대한 접촉 수직력의 크기와 이탈력의 비를 해석치와 비교하여 나타낸 것이다. Table 2는 각 모델간의 이탈력의 비를 계산한 것이므로 각 행정 거리에 대한 구체적인 이탈력의 크기는 어느 한 모델에 대한 실험 결과가 있어야 구할 수 있다. 즉 현재 생산 중인 모델의 사양 검토 측면에서 이탈력

을 측정하여 그 자료를 확보하고 있는 경우, 식 (9)를 이용하면 다른 조 행정에 대한 이탈력을 추정할 수 있다. 따라서, 이러한 해석 결과는 여러 조 행정에 대한 시제품 제작하기에 앞서 요구 사양을 만족하는 적당한 행정 거리를 결정하는데 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것으로 사료된다.

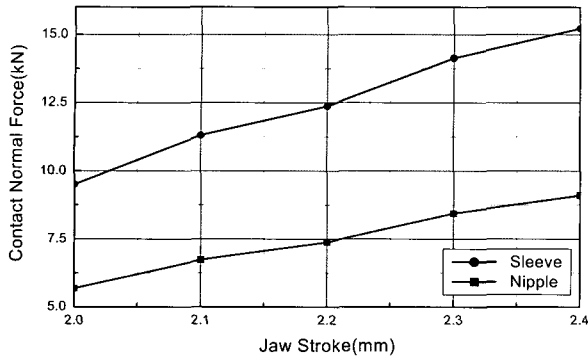


Fig. 13 Contact normal forces with respect to the jaw strokes

Table 2 Comparison of contact normal forces and the ratio of separation force with the results obtained by Eq. (9) (unit : kN)

		S=2.0	S=2.1	S=2.2	S=2.3	S=2.4
F_{sleeve}	FEM	9.50	11.31	12.38	14.13	15.23
	Eq.(9)	9.65	11.08	12.51	13.94	15.36
F_{nipple}	FEM	5.68	6.73	7.38	8.44	9.11
	Eq.(9)	5.75	6.61	7.47	8.32	9.18
Ratio	FEM	0.769	0.913	1	1.143	1.232
	Eq.(9)	0.771	0.886	1	1.114	1.229

4. 결 론

본 연구에서는 스웨이징 작업시 조 행정에 따른 고압호스의 변형특성을 유한요소법으로 해석하였다. 해석에 사용된 호스는 섬유로 보강된 고무호스로서 각 재료의 물성치는 실험과 역학적 관계식을 사용하여 계산하였다. 해석 구간은 조가 슬리브에 접촉하는 시점부터 조가 슬리브를 완전히 이탈하여 제품이 완성되는 시점까지를 그 대상으로 하였으며, 호스 각 구성부품 사이에는 실제와 동일한 접촉조건을 부여하였다.

해석 결과는 조가 최대로 전진한 시점에서 호스에 발생하는 응력 및 변형률 특성과 호스 재료의 압축률, 조 분리 후의 접촉 수직력을 중심으로 제품 성능과의 상관 관계를 고찰하였다. 응력과 변형률은 조 행정거리가 과다할 시 결합 빈도가 가장 높은 내면고무에 대하여 중점적으로 고찰되었으며, 호스 전체에 대한 압축률을 조 행정별로 계산하여 그 구체적인 자료를 제시하였다. 또한 호스 내·외면에 발생하는 접촉 수직력을 구하고 이를 조

행정의 함수로 표시하는 계산식과 완제품의 호스 이탈력을 추정하기 위한 방법을 제안하였다.

본 연구에서 정립된 해석 기법과 그 결과는 추후 스웨이징 작업과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 해결하기 위한 방안을 모색하는 경우에도 적용될 수 있을 것이며, 이 해석은 완제품이 실제로 기계에 장착되어 열 및 기계적 하중을 받고 있는 상태를 해석할 경우에도 초기조건을 파악하기 위하여 반드시 수행해야할 단계라고 사료된다.

후 기

본 논문은 2002년도 1학기 부경대학교 연구년 교수지원에 의하여 연구되었으며, 재료 물성 시험에 도움을 주신 (주)화승 R&A 관계자에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

김형제, 김병탁 (2002). "호스 제작시 니플 돌기부가 변형 특성에 미치는 영향", 한국해양공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집, pp 51-56.

Bregman, P.C., Kuipers, M., Teerling, H.L.J. and van der Veen, W. A. (1993). "Strength and Stiffness of a Flexible High-Pressure Spiral Hose", Acta Mechanica, Vol 97, No 3, pp 185-204.

Crisfield, M.A. (1997). Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, John Wiley and Sons.

Fineey, R.H. (1987). "Application of Finite Element Analysis", Elastmerics, Vol 119, No 1, pp 18-23.

Goettler, R.A., Leib, R.I. and Lambright, A.J. (1979). "Short Fiber Reinforced Hose-A New Concept in Production and Performance", Rubber Chemistry and Technology, Vol 52, No 4, pp 838-863.

Nair, S. and Dollar A. (1997). "Stresses and Strains in High-Pressure Composite Hoses", J. of Pressure Vessel Technology, Vol 119, pp 351-355.

Nicols, M.E. and Pett, R.A. (1995). "Predicting the Life of Automotive Power Steering Hose Materials", Rubber World, Vol 211, No 6, pp 27-31.

Piela, A. (1997). "Analysis of the Metal Flow in Swaging - Numerical Modelling and Experimental Verification", Int. J. Mech. Sci., Vol 39, No 2, pp 221-231.

SAE (1997). "Wire Braid Angle Response Characteristics in Hydraulic Hose", SAE Trans. 972706, Vol 22, pp 107-126.

2003년 4월 22일 원고 접수

2003년 7월 7일 최종 수정본 채택