

압연되는 스트립의 접촉 및 가공 응력에 대한 유한 요소 해석

조재웅*, 한문식⁺

(논문접수일 2007. 8. 24, 심사완료일 2007. 11. 21)

Finite Element Analysis on Contact and Work Stress of Rolled Strip

Jae Ung Cho*, Moon Sik Han⁺

Abstract

This study analyzes the rolled circular rod strip with radius of 10cm and length of 350cm by using finite element analysis. The material strength and its durability of the rolled strip can be predicted through this study. As the penetration tolerance by contact decreases, the contact rigidity of strip increases. As the contact rigidity becomes the highest at the elapsed time of 1.2 second, the contact stress becomes the lowest. On the contrary, von-Mises stress becomes highest at this time. The total deformation on strip increases from the upper part of strip at the position near to rotating roll to the lower part of strip at the position near to fixing roll.

Key Words : Rolled strip(압연된 스트립), Strength(강도), Durability(내구성), Penetration(침투량), von Mises stress(폰 마이즈 응력), Total deformation(총 변형량)

1. 서론

압연은 일반적으로 금속재료를 회전하는 롤(Roll) 사이를 통과시키고 롤의 압력에 의하여 소성 변형을 시켜 단면적을 감소시키면서 길이를 늘리는 작업과정을 말하는데, 롤에 동력을 공급하여 구동하고 그 속도를 조정한다. 이 압연은 양산적이고 최후 제품의 치수로 비교적 정확히 조정할 수 있기 때문에 금속가공에 가장 널리 이용되고 있다^(1~3). 롤 사이

에서 소성 변형을 하고 있는 금속은 롤의 압하작용에 의한 고압축응력과 롤과 금속 사이의 마찰에 의한 표면 전단응력을 받는다. 이 마찰력은 롤 사이에 금속을 끌어 들이는 역할도 한다. 또한 판, 박판, 로드, 봉, 관, 레일, 구조용 형강 등을 만들 수 있어 산업에 있어서 중요한 위치를 차지하고 있다. 즉 면을 깨끗하게 하고 기계적 강도를 증가함과 동시에 제품 치수를 정확히 유지, 조정할 수 있는 박판, 대강(Band strip), 박(Foil)등을 생산할 수 있다. 특히 냉간압연에

* 공주대학교 기계·자동차공학부

+ 교신저자, 계명대학교 기계·자동차공학부 (sheffhan@kmu.ac.kr)

주소: 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000번지

서 오는 가공경화는 재료의 강도를 증가시킨다. 압연의 일반적인 주목적은 재료의 두께를 감소하고 길이를 늘리는 데에 있다. 압연 성형을 함으로써 판으로 하여금 롤 사이를 냉간에서 통과시켜 복잡한 성형으로 구부릴 수 있어 일정한 단면형의 길이가 긴 봉상의 제품을 얻을 수 있다. 이러한 일련의 실제 성형 가공과정을 이론 해석에 의하여 그 강도를 미리 예측할 수 있다고 사료된다⁽⁴⁻⁷⁾. 따라서 본 연구에서는 두 개의 롤 사이에서 Strip이 일정 속도로 회전하는 롤에 의하여 압착이 되면서 가공 경화가 일어나는 압연 과정을 시뮬레이션 해석하였다. 또한 압연 중 변형량 및 응력 및 접촉 상태를 해석하였다. 또한 본 연구에서는 다른 피로 해석 소프트웨어에 비하여 정확하고 효율적인 해석 결과를 얻어 낼 수 있고 그 응력 및 접촉에 대한 해석 결과들에 대하여 수렴성이 좋은 ANSYS 프로그램을 사용하였다^(8,9). 이러한 본 연구의 결과를 종합하여 압연 성형 재료에 응용한다면 그 강도 및 내구성을 예측하고 증진하는 데에 활용이 클 것으로 사료된다.

2. 모델 및 해석

2.1 유한 요소 모델

본 연구에서의 해석모델의 유한요소분할 모양과 치수는 Fig. 1과 같다. 또한 그 모델의 절점 및 요소들의 개수는 각각 602 및 634이며, 압연될 시험편인 Strip 재료는 가공용 알루미늄 합금으로서 규격이 A2017P이고 그 물성치는

Table 1 Material property of model

Young's modulus	$16 \times 10^6 \text{N/cm}^2$
Poisson's ratio	0.33
Mass density	2770Kg/m^3

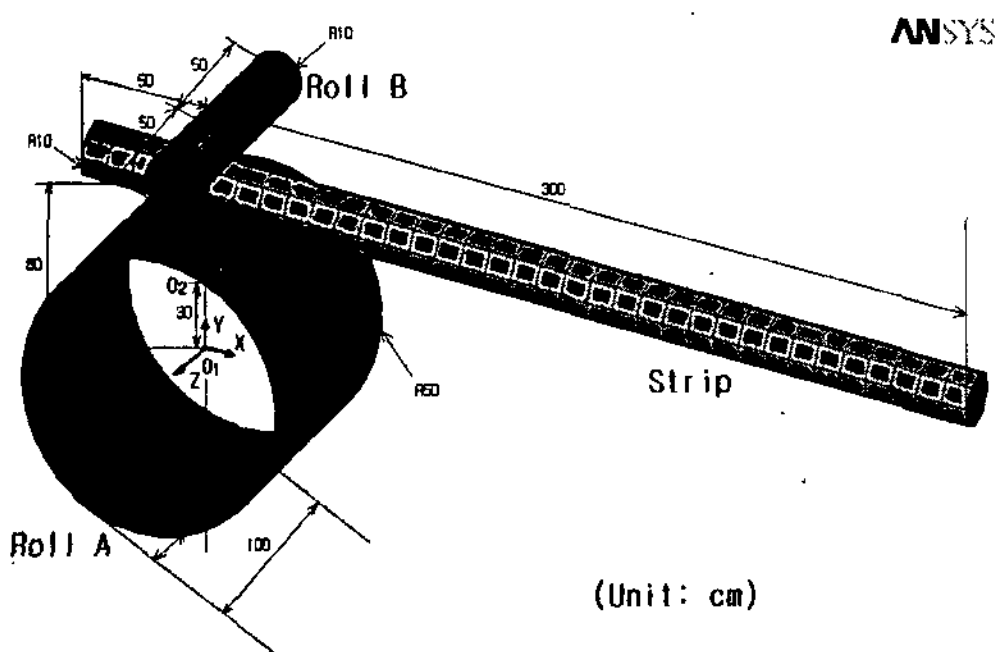


Fig. 1 Finite element division and dimension of model

Table 1에 나타나 있다⁽⁷⁾. 그리고 본 연구 모델은 von Mises에 대한 다중선형 운동 경화 물질로서 그 변형률에 대한 응력 곡선은 Fig. 2와 같다. 또한 구속 조건으로서는 Fig. 1과 같이 Roll A는 원점인 O_1 점을 중심으로 완전히 구속되어 있는 강체이고, Roll B는 원점인 O_2 점을 중심으로 Z축을 둘레로 -0.4 rad/s 로 회전하며 X축 및 Y축 방향의 이동 및 회전은 고정되어 있는 강체이다. 그리고 Strip은 실린더 기둥 모양으로 되어 있고 분할요소는 3차원인 8절점 Structural Solid 요소인 'solid 185'로 되어 있다.

Fig. 3과 같이 강체인 아래쪽에 있는 Roll A는 Target요소로서 그 위쪽에 있는 유연체인 Strip을 Contact 요소로 되어 있으며 Fig. 4와 같이 위쪽에 있는 강체인 Roll B는 Target요소로서 그 아래쪽에 있는 유연체인 Strip을 Contact 요소로 되어 있다. 그리고 강체에 입힌 Target 요소는 3차원

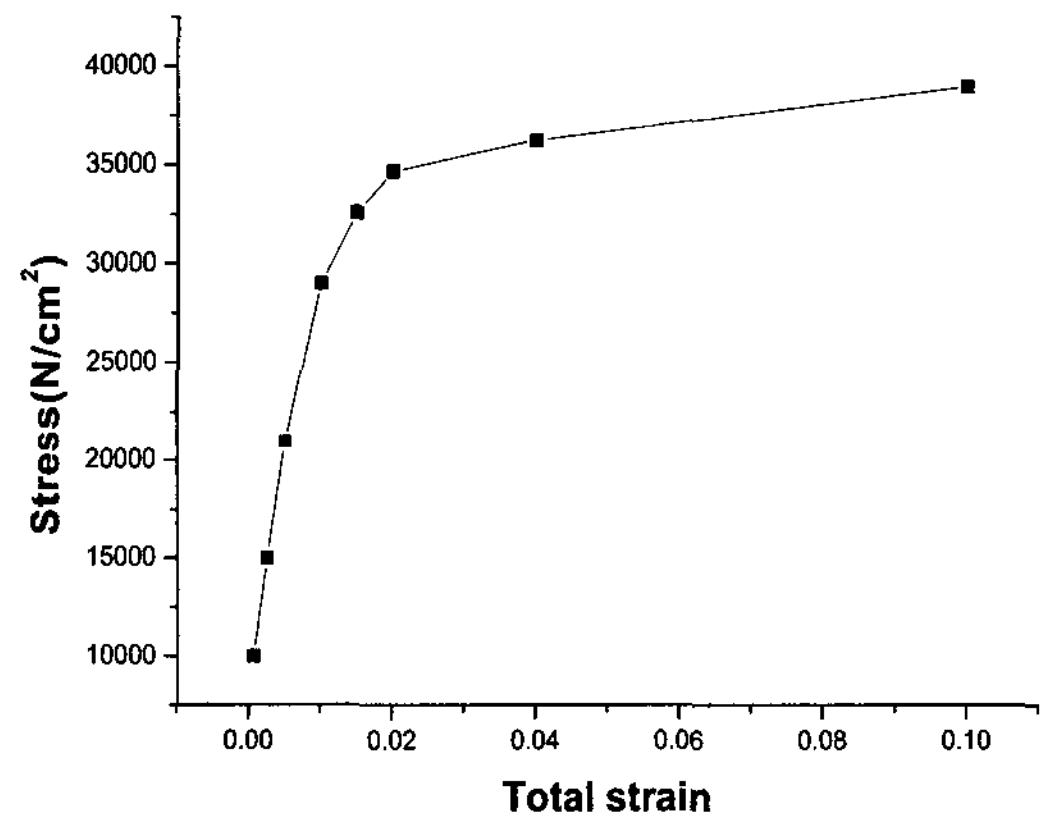


Fig. 2 Strain vs. stress curve of model

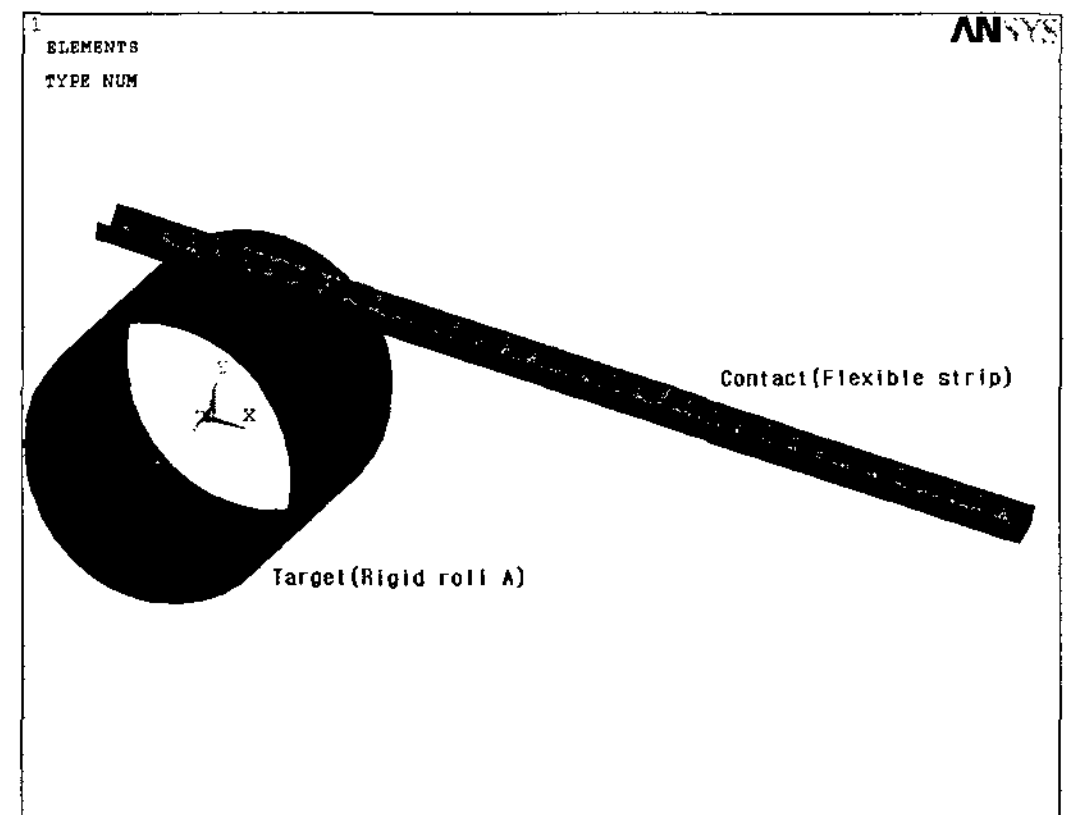


Fig. 3 Contact elements of rigid roll A and flexible strip

Table 2 Contact condition

Friction coefficient	0.2
Normal penalty stiffness coefficient	1
Penetration tolerance	0.1

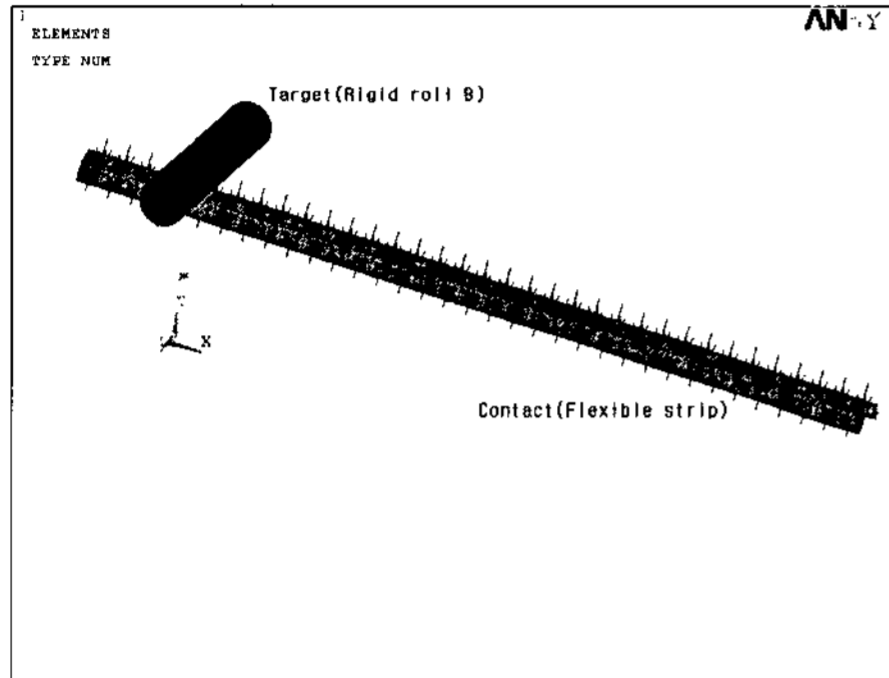


Fig. 4 Contact elements of rigid roll B and flexible strip

인 'targe170'이고 Contact 요소는 Target요소에 접촉된 유연한 물체의 최외각에 입힌 기초 요소인 'conta173'으로서 3차원인 4절점 표면 대 표면 접촉 요소이다⁽⁸⁾.

Table 2는 접촉 조건으로서 강체인 Roll A 또는 Roll B와 유연체인 Strip사이의 마찰 계수는 0.2이다. 또한 법선의 페널티 강성계수(normal penalty stiffness)는 1이고 침투 허용치(penetration tolerance)은 0.1로서 요소의 높이에 대한 비율로 주어진다⁽⁸⁾.

2.2 해석 결과

Fig. 5와 같이 유연한 물체의 최외각에 입힌 기초요소에 대한 강체의 침투량을 경과된 시간에 대하여 우선 살펴보았다. 처음에는 0.8초까지 0.127908cm까지 증가하다가 1.2초에서 0.092809cm까지 상당히 감소함을 알 수 있다. 파단시점인 1.607초까지는 다시 증가함을 알 수 있다. 접촉에 대한 침투량은 적을수록 유연한 물체의 접촉의 강성이 커짐을 알 수 있다. 따라서 경과 시간 1.2초에서 그 접촉의 강성이 가장 큼을 알 수 있다.

본 연구에서는 비선형 압연 과정에 대한 해석 결과들로서 그 경과 시간에 따라서의 von Mises 응력, 전변형량 및 접촉 압력들을 등고선 그림들로서 분석해 보았다.

먼저 본 연구의 Strip 모델에 대하여 von Mises응력 등고선들을 각각 Figs. 6,7,8,9,10과 같이 경과 시간 0.4초, 0.8초, 1.2초, 1.6초 및 최종 파단 시점인 1.607초에서 살펴 보

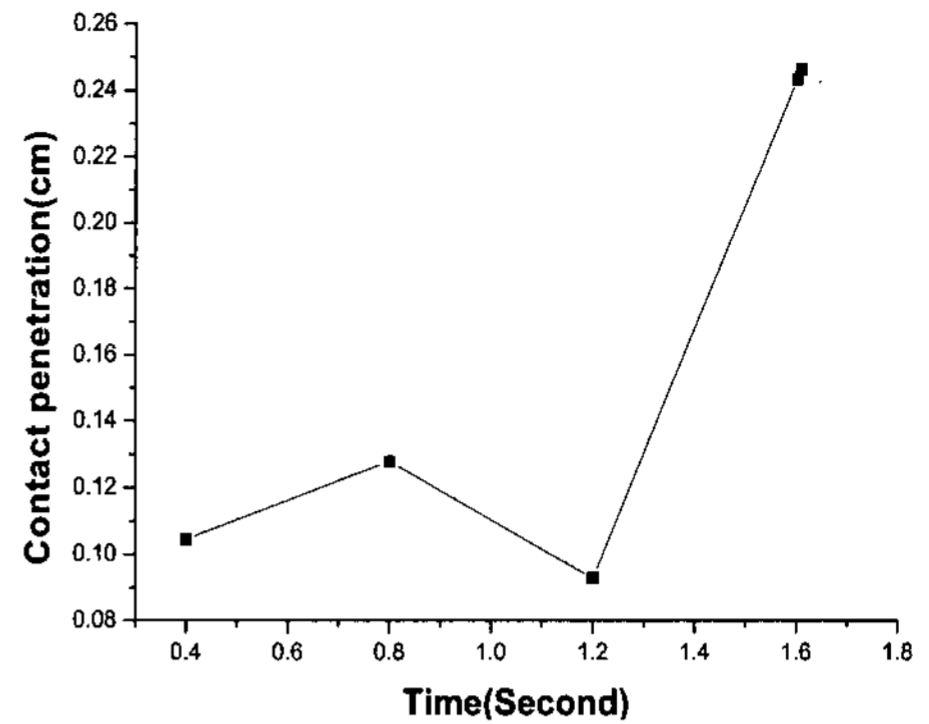


Fig. 5 Contact penetration according to elapsed time

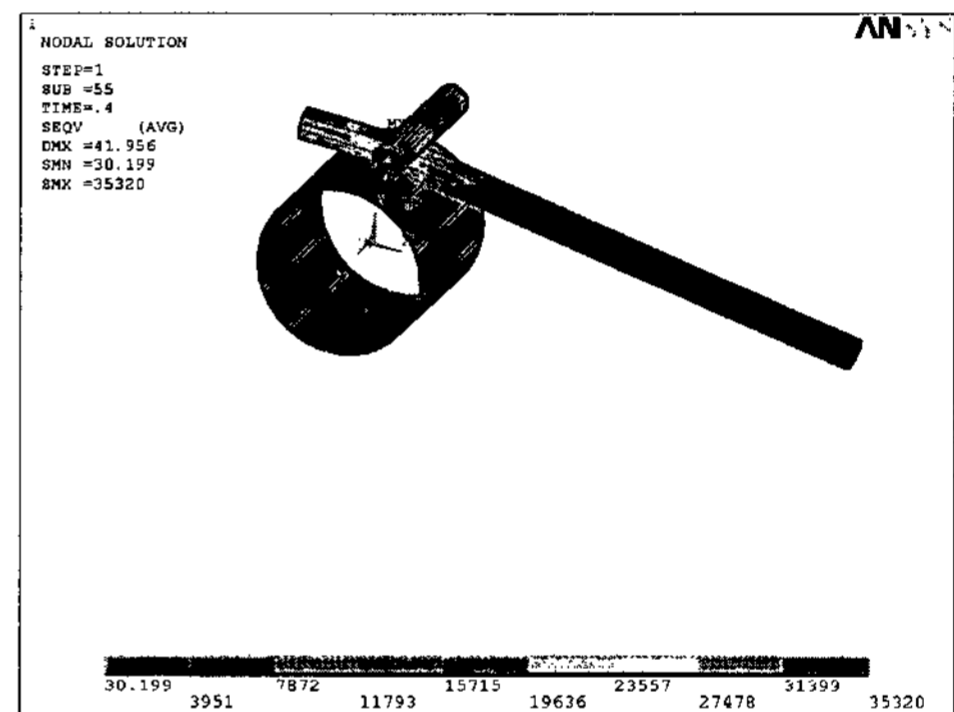


Fig. 6 Contour of von Mises stress on strip model at the elapsed time of 0.4 sec.

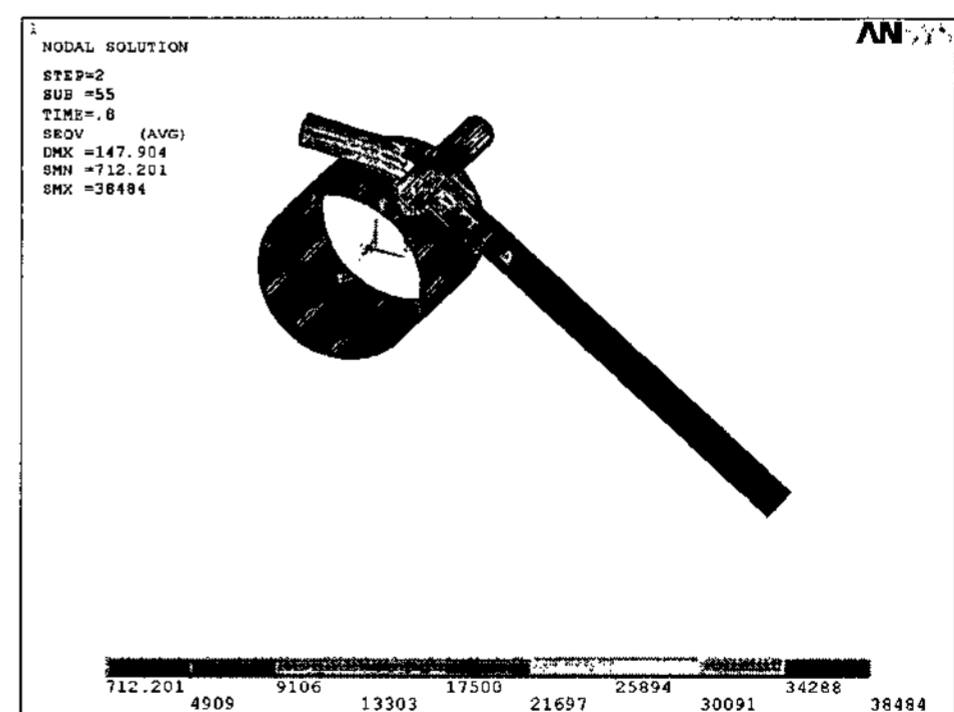


Fig. 7 Contour of von Mises stress on strip model at the elapsed time of 0.8 sec.

았다. 이 그림들에서와 같이 경과 시간들 공히, 위쪽 물에 접촉된 Strip 윗 부분에서 그 응력이 가장 크게 나타났다. 각각의 경과시간에서의 최대응력값들은 각각 35,320N/cm²,

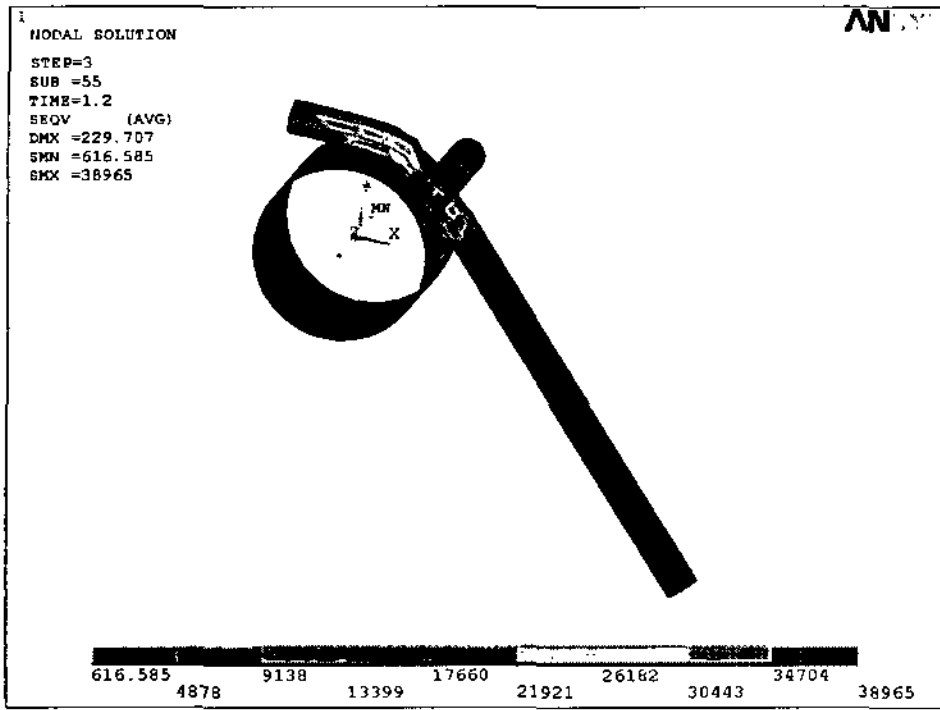


Fig. 8 Contour of von Mises stress on strip model at the elapsed time of 1.2 sec.

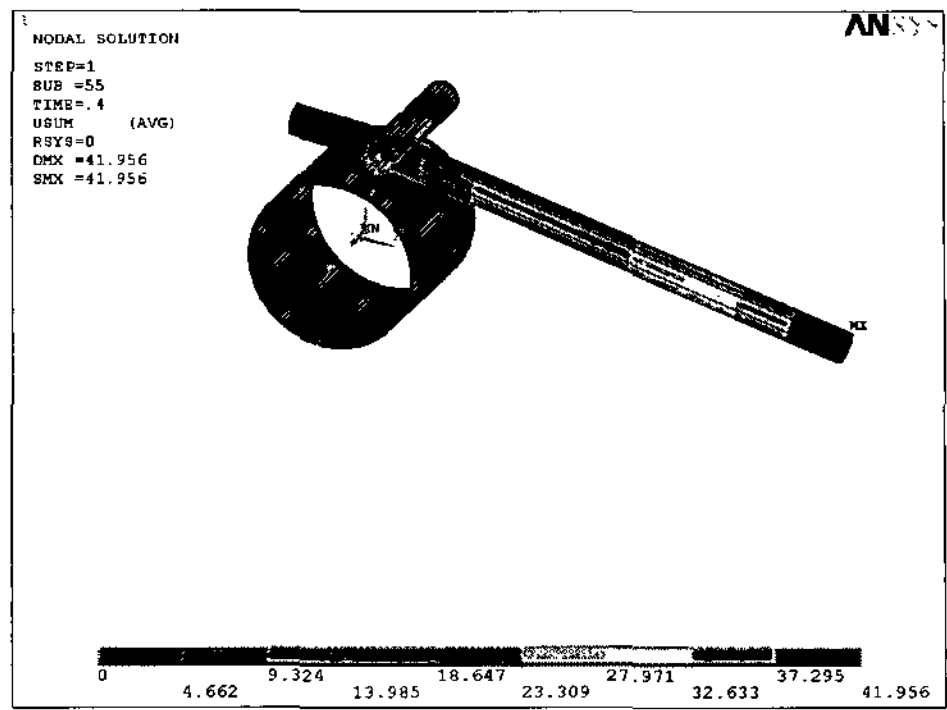


Fig. 11 Contour of total displacement on strip model at the elapsed time of 0.4 sec

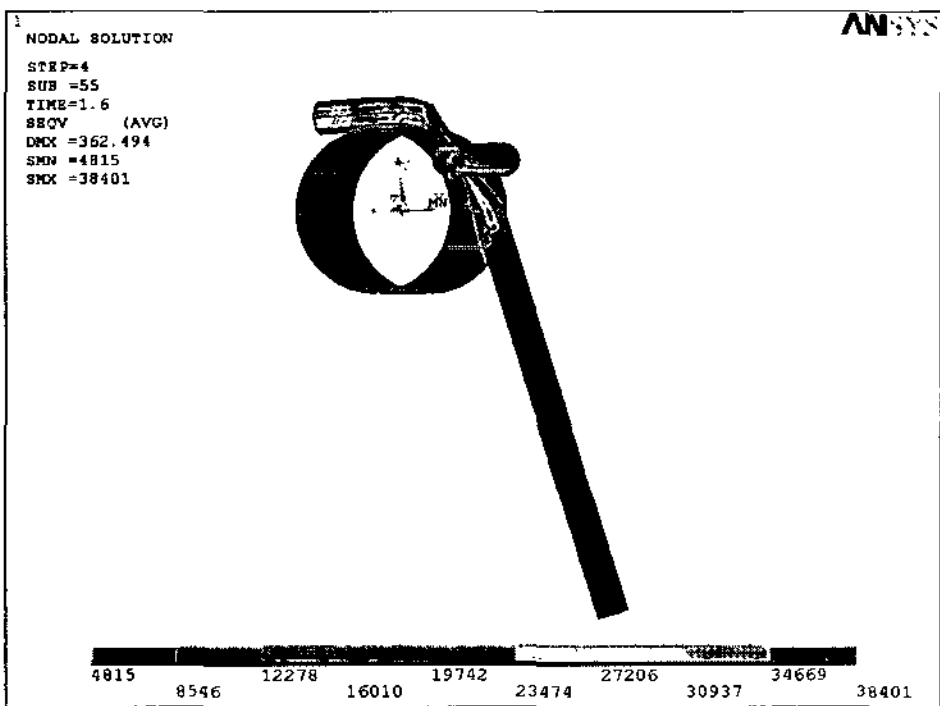


Fig. 9 Contour of von Mises stress on strip model at the elapsed time of 1.6 sec.

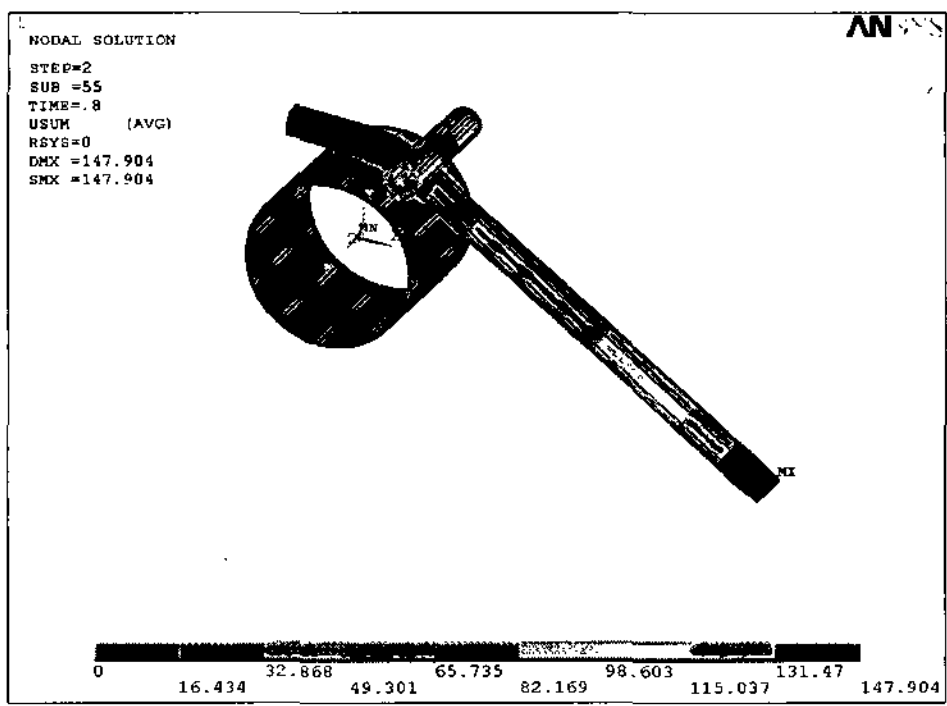


Fig. 12 Contour of total displacement on strip model at the elapsed time of 0.8 sec

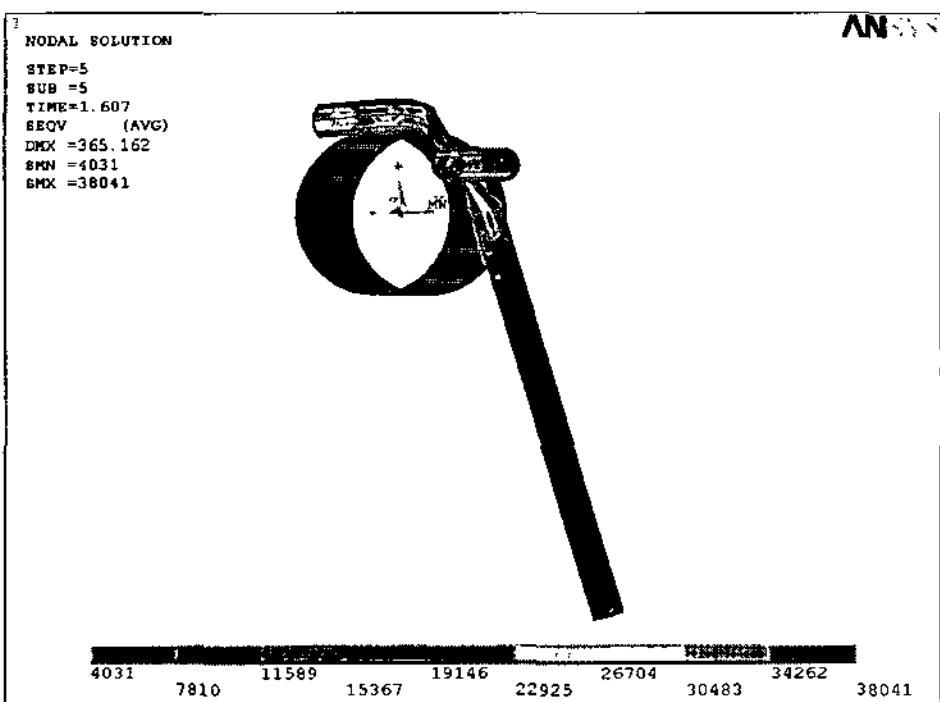


Fig. 10 Contour of von Mises stress on strip model at the elapsed last time of 1.607 sec.

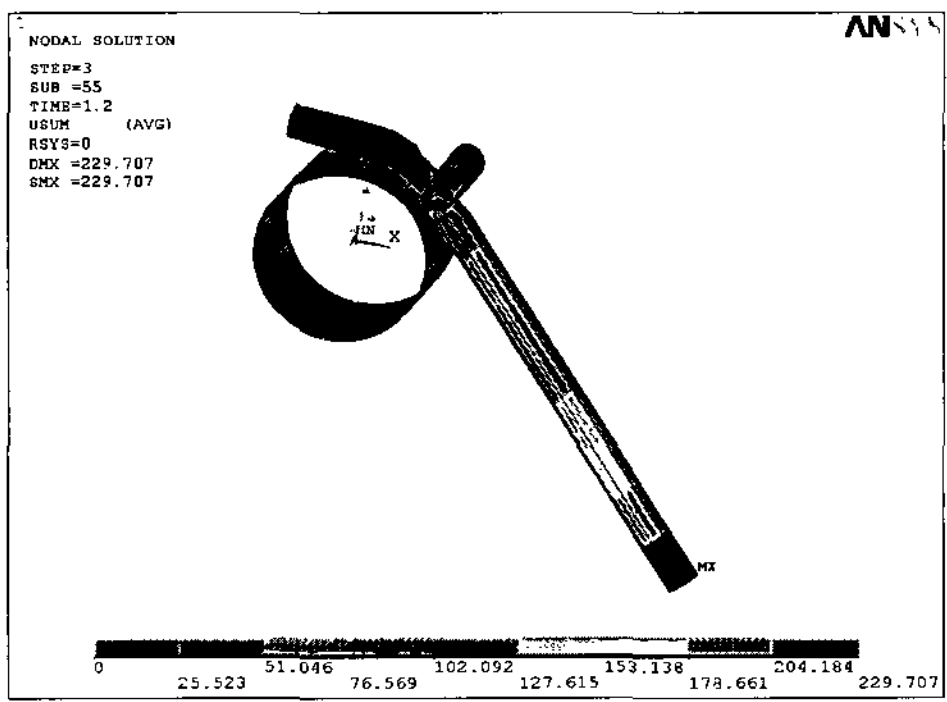


Fig. 13 Contour of total displacement on strip model at the elapsed time of 1.2 sec

38,484N/cm², 38,965N/cm², 38,401N/cm² 및 마지막 파단 시점에서는 38,041N/cm²가 되었다. 1.2초 까지는 그 응력 값이 증가되다가 경과 시간 1.2초인 시점에서 최대의 응력이 38,965N/cm²가 되었다. 그러나 1.2초 이후부터는 그 응력이 파단 시까지 감소가 됨을 알 수 있다. 이는 경과 시간이 1.2초인 경우에 접촉의 강성이 가장 크기 때문에 그 시점에서 최대의 응력이 나타난다고 사료된다.

그리고 Strip에 대하여 Figs. 11,12,13,14,15와 같이 전변형량의 등고선들을 각각 경과 시간 0.4초, 0.8초, 1.2초, 1.6초 및 최종 파단 시점인 1.607초에서 살펴보았다. 이 그림들과 같이 경과시간들 공히, 변형량은 돌아가는 회전하는 롤에 있는 쪽인 Strip의 위 부분에서부터 고정된 롤에 있는 쪽인 Strip의 아래 부분으로 그 변형량이 크게 나타난다. 각각의 경과시간에서의 최대변형값들은 각각 41.956cm, 147.904cm, 229.707cm, 362.494cm, 365.162cm이었다. 전변형량에 대해서는 마지막 파단 시에 그 변형량이 최대가 되어서

365.162cm가 되었다.

또한 Strip에 대하여 접촉응력의 등고선들을 각각 Figs. 16,17,18,19,20과 같이 경과 시간 0.4초, 0.8초, 1.2초, 1.6초

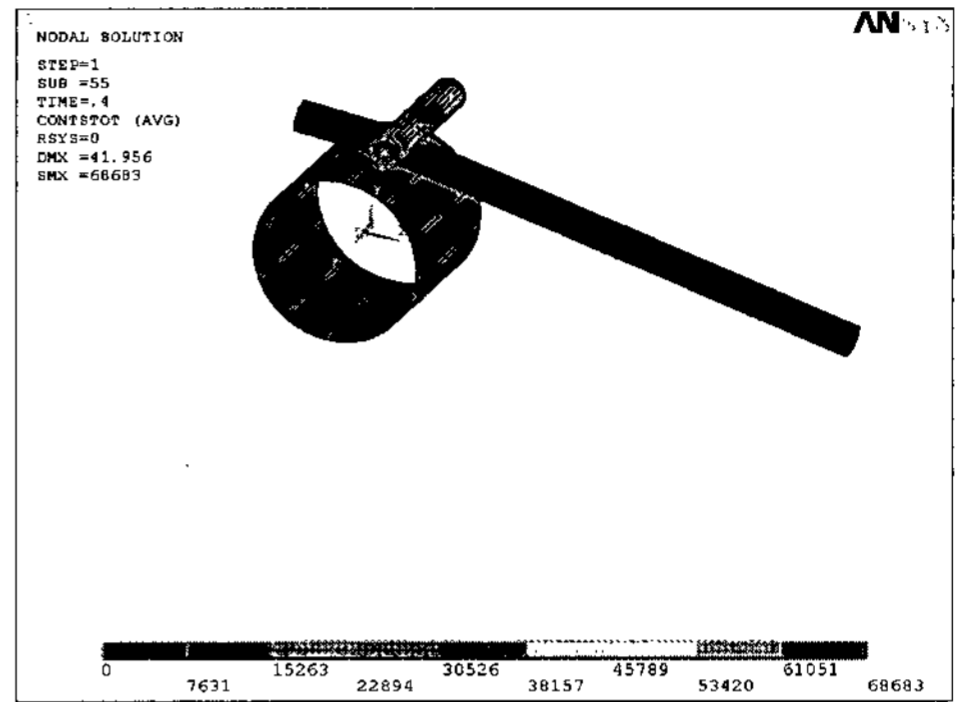


Fig. 16 Contour of contact stress on strip model at the elapsed time of 0.4 sec

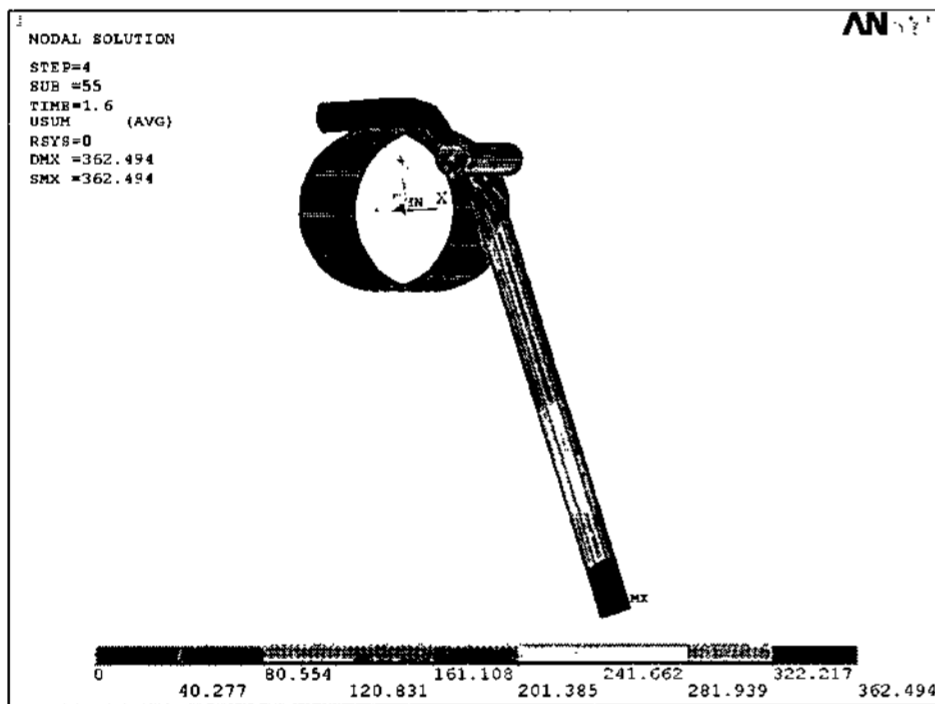


Fig. 14 Contour of total displacement on strip model at the elapsed time of 1.6 sec

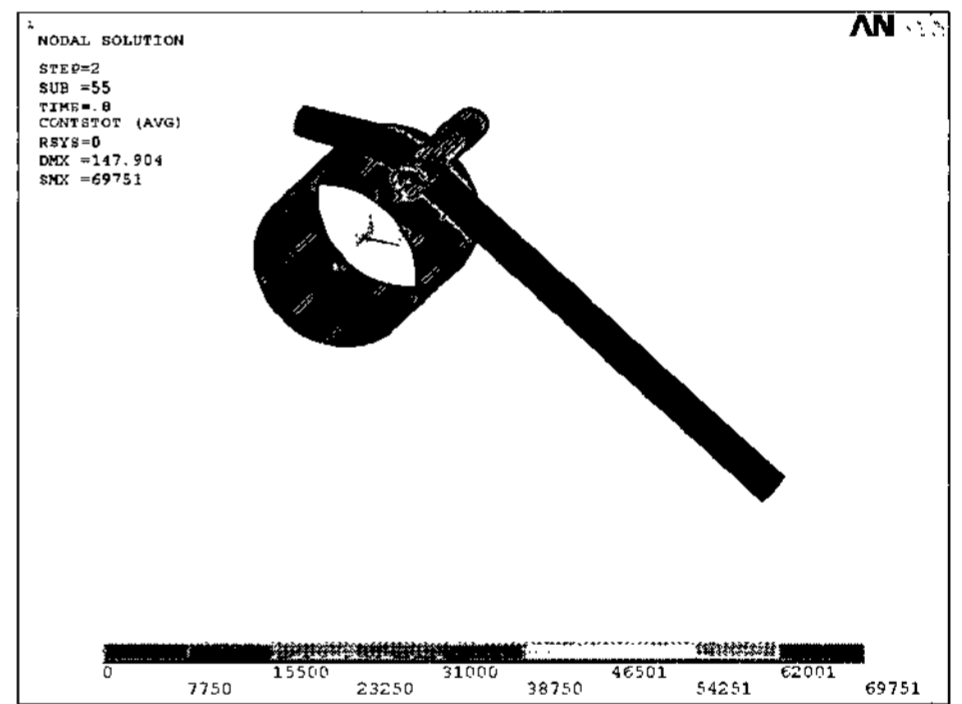


Fig. 17 Contour of contact stress on strip model at the elapsed time of 0.8 sec

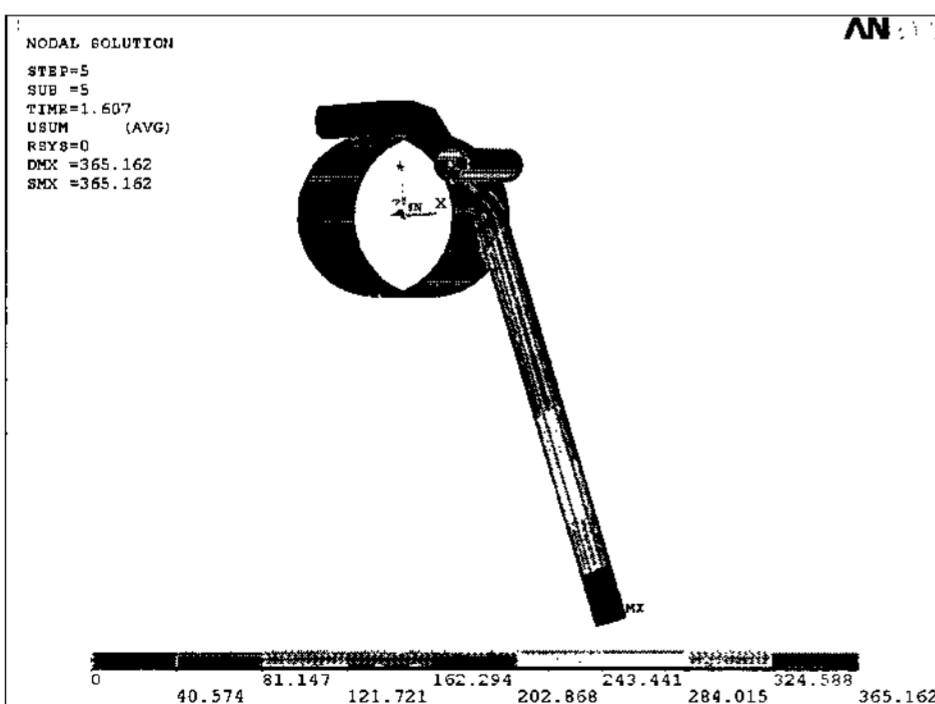


Fig. 15 Contour of total displacement on strip model at the elapsed last time of 1.607 sec

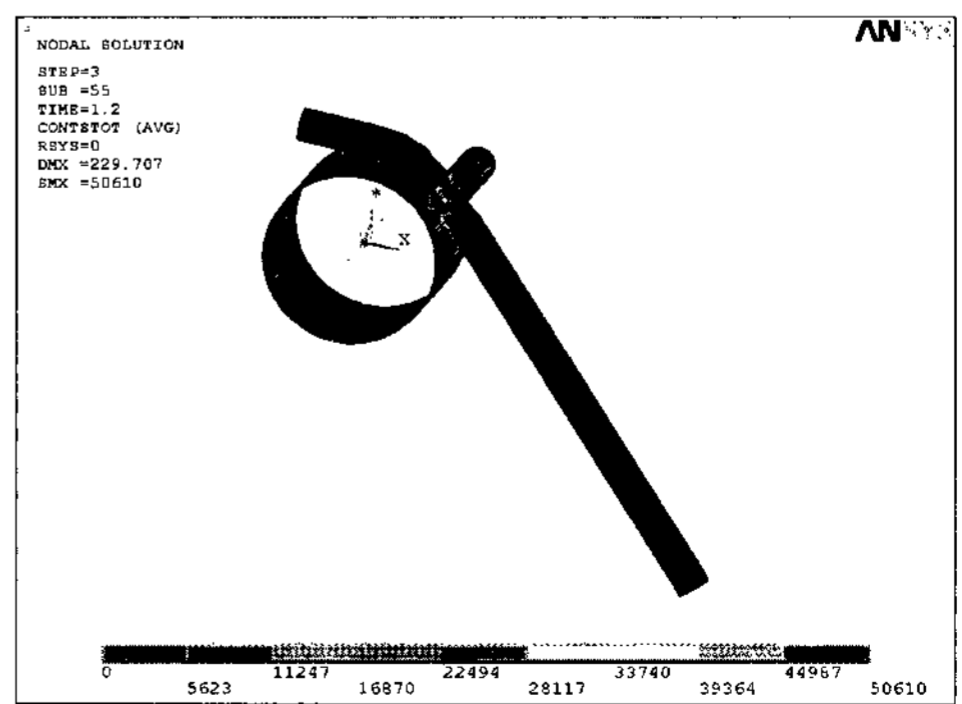


Fig. 18 Contour of contact stress on strip model at the elapsed time of 1.2 sec

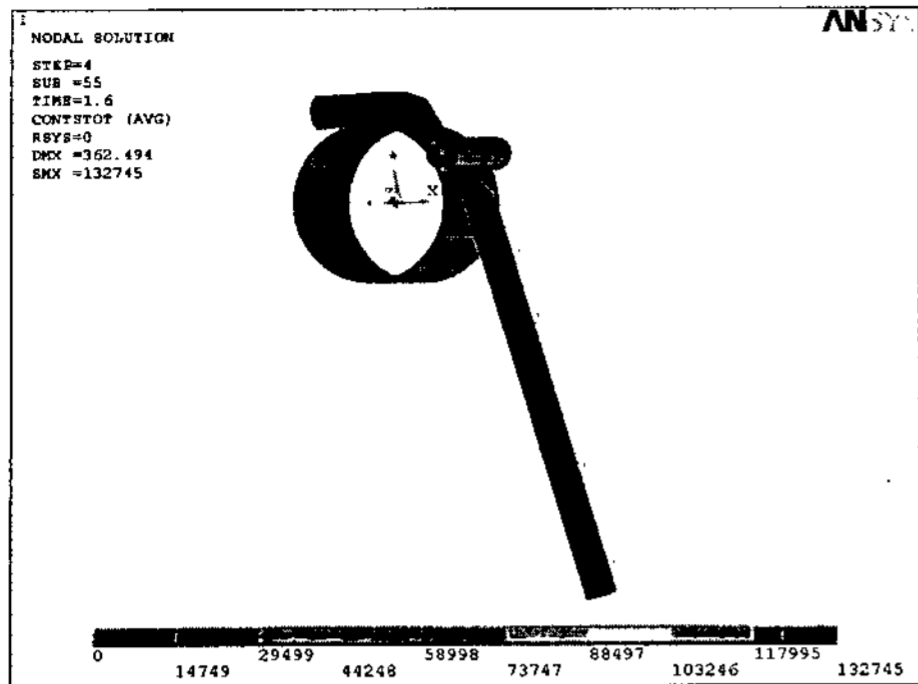


Fig. 19 Contour of contact stress on strip model at the elapsed time of 1.6 sec

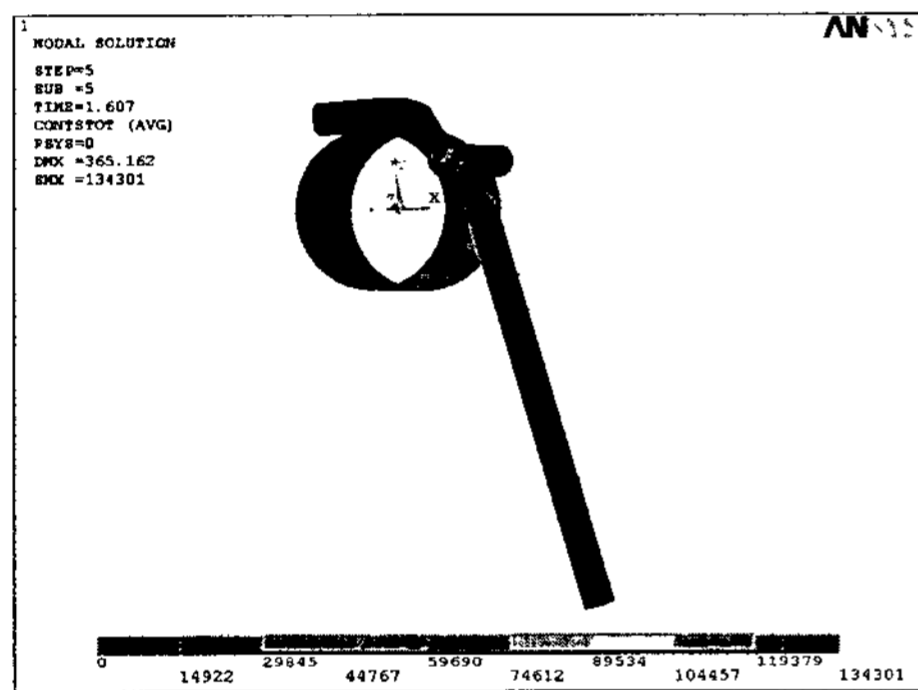


Fig. 20 Contour of contact stress on strip model at the elapsed last time of 1.607 sec

및 최종 파단 시점인 1.607초에서 살펴보았다. 이 그림들에서와 같이 경과시간들 공히, 위쪽 롤에 접촉된 Strip 윗 표면에서 그 응력이 가장 크게 나타났다. 각각의 경과시간에서의 최대의 접촉 응력값들은 각각 68,683N/cm², 69,751N/cm², 50,610N/cm², 132,745N/cm² 및 마지막 파단시점에서는 134,301N/cm²가 되었다. 0.8초 까지는 그 응력값이 증가되다가 경과 시간 1.2 초인 시점에서 그 응력이 가장 작아져서 50,610N/cm²가 되었다. 그러나 1.2초 이후 부터는 그 응력이 파단시까지 상당히 증가가 됨을 알 수 있다. 역시 경과 시간이 1.2초인 경우에 접촉의 강성이 가장 크기 때문에 그 시점에서 접촉 응력이 상당히 낮아졌다고 사료된다.

3. 결론

본 연구를 통하여 반경이 10cm 인 원형 단면을 가진 길이

가 350cm인 압연될 Strip에 대하여 소성 변형이 일어나 압연되는 과정을 시뮬레이션 해석하였는데 이러한 결과들을 이용하여 얻은 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 접촉에 대한 침투량은 적을수록 유연한 물체의 접촉의 강성이 커짐을 알 수 있다. 경과 시간 1.2초에서 그 접촉의 강성이 가장 큼을 알 수 있다.
- (2) 전변형량은 회전하는 롤에 있는 쪽인 Strip의 위 부분에 서부터 고정된 롤에 있는 쪽인 아래 부분으로 그 변형량이 크게 나타난다.
- (3) 경과 시간이 1.2초인 경우에 접촉의 강성이 가장 크기 때문에 그 시점에서 접촉 응력은 상당히 낮아지는 반면, von-Mises 응력은 그 시점에서 최대의 응력이 나타난다.
- (4) 본 해석의 연구 결과로서 압연 부품에 대한 강도 및 내구성을 예측하고 증진하는 데에 있어 그 활용이 클 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) Park, J. J. and Lee, S. J., 2003, "Design of Rolling Pass Schedule utilizing Grain Refinement by Strain Accumulation," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 27, No. 3, pp. 464~471.
- (2) Lee, C. W., Kang, H. K., and Shin, K. H., 2004, "A Study on the Fault Diagnosis of the 3-D Roll Shape in Cold Rolling," *Journal of Mechanical Science and Technology KSME International Journal*, Vol. 18, No. 12, pp. 2174~2181.
- (3) Kim, K. J., Shin, K. S., Jeong, H. T., and Paik, Y. N., 2005, "Textures Evolution of Rolled AA5182 Alloy Sheets after Annealing," *Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 13, No. 6, pp. 128~134.
- (4) Ko, Y. S., Yoon, H. J., and Kim, N. S., 2002, "Prediction of Spread and Contact Region in Ring Rolling Process Using Rigid-Plastic Finite Element Method," *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, Vol. 26, No. 12, pp. 2670~2677.
- (5) Kim, K. W., 2006, "Finite Element Analysis of a

- Steady-state Rolling Tire Taking the Effect of Tread Pattern into Account," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 101~107.
- (6) Kim, G. D. and Kim, J. Y., 2006, "Benchmark Study on Surface Roughness and Mechanical Properties of Rapid Prototypes," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 4, pp. 56~62.
- (7) Cho, J. U. and Han, M. S., 2007, "Study on the Dynamic Fracture of Rod Impacting on Plate at High Speed," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 4, pp. 108~112.
- (8) John Swanson, 2006, Ansys 10.0, Ansys. Inc., U.S.A
- (9) John Swanson, 2005, Nonlinear advanced course, Tae Sung S&E Inc., Republic of Korea.