

외부에 둥근 홈이 있는 형상환상압연공정의 유한요소해석

김광희* · 김병탁* · 석한길**

(2003년 7월 25일 접수)

Finite Element Analysis of Externally Round Grooved Profile Ring Rolling Process

K. H. Kim, B. T. Kim and H. G. Suk

Abstract

Ring rolling process is simulated by using the general-purpose commercial finite element analysis software, MSC.Superform. Because the deforming region is restricted to the vicinity of the roll gap, only a ring segment spanning the roll gap is analyzed in order to save computation time and cost. First, a plain ring rolling of rectangular cross-section is simulated. Comparisons between computation and experiment show good agreement in the cross-sectional configuration of the deformed ring. Then, a profile ring with an external round groove is analyzed. The rolls with and without groove have been analyzed to compare the amount of side spread. It is found that the grooves in the rolls are effective in reducing the amount of side spread.

Key Words : Profile Ring Rolling, Finite Element Analysis, MSC.Superform, Side Spread

1. 서 론

환상압연공정은 링(ring) 모양의 소재가 구동롤(driven roll)과 압력롤(pressure roll) 사이에서 반경 방향의 두께가 점진적으로 감소되면서 직경이 증가되는 공정으로 우수한 기계적 성질 및 생산 원가 절감 등의 장점으로 적용 분야가 꾸준히 늘어나고 있으며 최근에는 복잡한 단면형상을 가진 환상압연제품의 수요가 크게 증가하고 있다. 이 공정 중 각각의 순간에는 이 공정의 모식도 Fig. 1에서 해칭된 영역으로 표시된 두 롤 사이 근처의 소재 영역에서만 미소한 3차원 소성변형이 발생하고 나머지 영역에서는 거의 강제회전 운동이

발생하므로 대부분의 다른 소성가공 공정에 비하여 공정시간이 상대적으로 긴 특징이 있다.

따라서 국부적인 미소 소성변형이 누적되는 이 공정을 매우 정밀하게 유한요소해석하기 위해서는 링 소재 전체를 막대한 수의 미소 요소로 모델링하여야 하고 이를 처리하기 위해서는 막대한 기억 용량 및 고속 연산 능력을 가진 고성능 컴퓨터가 필요하다. 또한 공정시간이 길어서 필요한 계산시간도 늘어나므로 현재까지는 컴퓨터 성능 및 계산비용의 한계 등으로 인하여 이 공정을 시작부터 끝까지를 완전하게 3차원적으로 해석하지는 못하고 있다.

지금까지 시도된 유한요소해석 중에서 대표적

* 부경대학교 기계공학부

** 삼척대학교 금속공학과

인 두가지 3 차원 해석방법을 살펴보면, 먼저 김낙수 등⁽¹⁾은 두 롤 사이 근처의 영역에서 조밀한 요소를 가지면서 공간 상에 고정된 격자시스템을 도입하여 해석하고 그 결과를 이용하여 링 소재의 전체에 걸쳐있는 또다른 격자시스템을 매번 갱신하는 방법으로 해석하였으나 복잡한 단면형상을 가진 링 소재를 정밀하게 해석하고자 할 경우에는 격자시스템의 요소 수가 급격히 증가하고 따라서 계산시간도 급격히 증가하는 문제점이 있다. 링 소재는 공정 중에 두 롤 사이 근처의 영역에서만 소성변형을 하고 나머지 영역에서는 거의 강체회전운동을 하는 것에 주목하여 양동열 등⁽²⁾은 링 소재가 매회 완전히 1 회전하는 순간마다 두 롤 사이 근처에 존재하게 되는 링 소재의 일부 영역만을 비연속적인 비대칭 압연의 일종으로 해석하는 방법을 격자시스템을 재구성하면서 반복적으로 적용하여 T-형 단면을 해석하여 비교적 정확한 해석결과를 얻을 수 있었으나 임의의 단면형상을 처리할 수 있는 기능은 아직 갖추지 못하고 있다.

최근에는 열간 환상압연공정 중의 열전달 문제까지 고려한 연구들도 시도되고 있으나 과도한 계산 시간 및 비용 문제 등으로 인하여 아직은 2 차원 변형으로 단순화한 문제⁽³⁾ 및 단순한 사각단면 형상을 가진 링 문제⁽⁴⁾까지 밖에 적용되지 못하고 있다.

본 연구에서는 산업체에서 비교적 쉽게 구할 수 있고 사용법이 비교적 간단하며 복잡한 단면형상을 비교적 수월하게 처리할 수 있는 범용상용 유한요소해석 프로그램을 이용하여 환상압연공정을 해석할 수 있는 방법을 개발하고 해석 결과를 기존의 해석 및 실험 결과와 비교 분석하여 이 방법의 타당성을 검증하고 외부에 등근 흠이 있는 대형 형상 링 제품의 개발에 적용할 수 있도록 하였다.

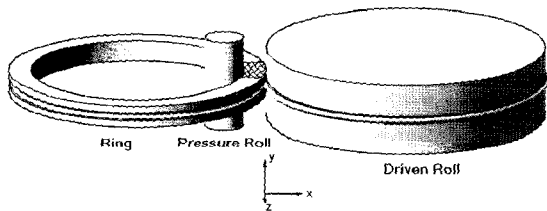


Fig. 1 Schematic diagram of ring rolling process

2. 해석 방법 및 사각 단면 링의 해석

2.1 해석 방법

본 연구에서는 회전하면서 동시에 직선운동까지 하는 강체를 비교적 손쉽게 처리할 수 있는 기능을 갖춘 상용범용 유한요소해석 소프트웨어인 MSC.SuperForm 을 이용하여 링 소재의 일부만 반복적으로 해석하는 양동열 등⁽²⁾의 방법으로 해석하였으며 해석 방법 및 순서는 다음과 같다.

(1) 구동롤과 링 소재의 접촉면에서 미끄러짐이 없는 것으로 가정하고, 구동롤의 반경과 회전속도 및 현재 링 소재의 외측반경과 단면형상 등을 이용하여 현재 링 소재의 회전속도를 계산한다.

(2) 현재 링 소재의 회전속도와 외측반경으로부터 현재의 링 소재가 1 회전을 완료하는데 필요한 시간을 계산한다.

(3) 현재의 링 소재가 1 회전을 완료하는데 필요한 시간 및 현재의 압력을 진입속도로부터 현재의 링 소재가 1 회전을 완료하는 동안 압력롤이 진입할 거리를 계산한다.

(4) 역시 압력롤과 링 소재의 접촉면에서 미끄러짐이 없는 것으로 가정하고, 현재 링 소재의 회전속도와 내측반경 및 압력롤의 반경으로부터 압력롤의 회전속도를 계산한다.

(5) 환상압연공정 중에 링 소재가 구동롤 및 압력롤과 각각 접촉하는 형태는 구동롤과 압력롤이 회전하지 않으면서 압력롤만 진입하는 단순 압입(indentation)의 경우와 유사할 것으로 가정하여, Fig. 2 에서처럼 압력롤만 (3)에서 구한 진입거리만큼 화살표 방향으로 진입하는 단순 압입으로 예비 유한요소해석하여 현재 링 소재의 중심 위치를 결정한다. 두 롤 근처의 영역만을 해석하며 Fig. 2 에서 앞쪽의 곡면은 압력롤을, 뒤쪽의 곡면은 구동롤의 일부를 나타내며 모두 강체로 처리한다.

(6) 이상에서 구한 모든 자료를 이용하여 Fig. 3 에서처럼 중심각이 15°정도 되는 링 소재의 일부만을 유한요소 모델링하고 두 롤 사이에서의 환상압연으로 유한요소해석하여 두 롤 사이를 막 빠져나온 링 소재의 변형된 단면형상을 구한다. 구동롤은 공간상에 고정된 축을 중심으로 화살표 방향으로 일정한 각속도로 회전하고 압력롤은 (4)에서 구한 회전속도로 화살표 방향으로 회전하면서 동시에 구동롤 쪽으로 진입하도록 한다. 우측의 밀어주는 판(pushing plate)은 링 소재를 두 롤 사이로 밀어 넣어주는 역할과 함께 링 소재가 공

정 중에 한쪽으로 쏠리지 않고 현재 링 소재 중심에 대한 회전 운동을 유지하도록 하는 역할을 수행한다. 이 판은 (5)에서 구한 현재 링 소재의 중심에 대하여 (1)에서 구한 회전속도로 화살표 방향으로 회전하도록 한다.

(7) 위에서 구한 링 소재의 변형된 단면형상 및 체적일정의 조건으로부터 링 소재의 내측 및 외측반경을 계산한다.

(8) 원하는 소재의 반경 방향 두께를 얻을 때까지 위의 (1)에서 (7)까지의 과정을 반복한다.

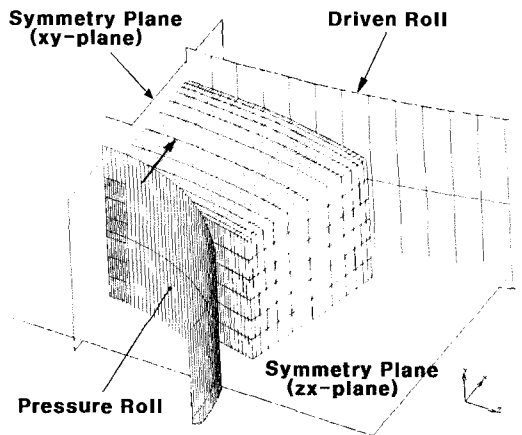


Fig. 2 Mesh system and contact surfaces for simple indentation

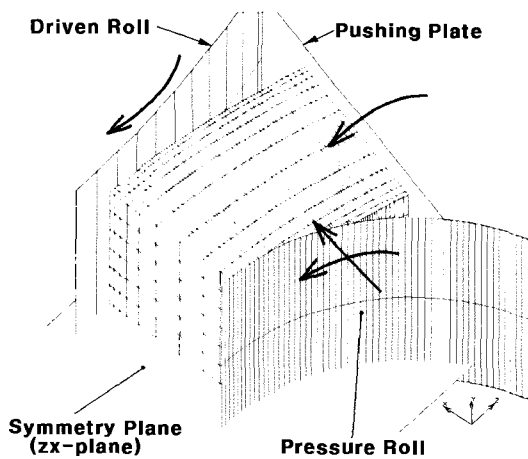


Fig. 3 Initial mesh system and contact surfaces for plain ring rolling

2.2 사각 단면 링의 해석

앞에서 기술한 해석 방법의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 해석 및 실험⁽⁵⁾과 동일한 공정 조건으로 사각단면 링의 환상압연을 해석하였다. 구동롤의 반경 및 회전속도는 각각 269mm, 46.5rpm 이고, 압력롤의 반경은 45mm 이며 진입속도는 다음의 식 (1)과 같다.

$$V_p = V_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 V_p 는 압력롤의 진입속도, V_0 는 압력롤의 초기 진입속도를 나타내며 1.0mm/s 이다. T 는 현재 링 소재의 반경방향 두께이며 T_0 는 초기 링 소재의 반경방향 두께로 35.06mm 이다. 초기 링 소재의 외측반경, 내측반경 및 축방향 높이는 각각 175mm, 139.95mm, 63mm 이고, 최종제품의 외측반경, 내측반경 및 축방향 높이는 각각 272.97mm, 251.94mm, 63mm 이다. 재질은 강재 (ANSI 1045)이며 930~1000°C 의 열간에서 환상압연이 수행되었지만 해석시간의 단축을 위하여 이전의 해석과 같은 방법으로 평균온도인 965°C 에서 온도 변화가 없는 것으로 가정하여 해석하였다. 롤과 소재의 접촉면에서의 마찰은 전단 마찰로 가정하고 마찰상수 m 은 이전의 해석에서는 0.5 로 잡았으나 여기서는 0.3 으로 잡았다.

2.3 사각 단면 링의 해석 결과 및 검토

링 제품의 단면 형상이 상하대칭이므로 Fig. 3 에 보이는 것처럼 위쪽의 반만 모델링하였다. 링 소재가 최초의 1 회전을 완료하는 순간의 상당소성변형률속도(equivalent plastic strain rate)의 분포를 Fig. 4 에서, 두 롤 사이를 막 빠져나온 링 소재의 변형된 단면모습을 Fig. 5 에서 각각 보여주고 있다. 이 때의 링 소재의 반경방향 두께의 감소율(thickness reduction)은 2.4% 정도이다.

Fig. 3 의 격자시스템에서 왼쪽 부분의 요소들은 두 롤 사이로 진입하게 될 링 소재의 선단 부분으로 이 부분에서는 두 롤 사이로 진입하면서 소재가 환상으로 연속된 실제 공정에서의 변형과는 약간 차이가 나는 과도적인 변형이 발생하여 다음 단계의 해석에 이용될 정보를 주지 못할 것이므로 상대적으로 크게 잡았고, 오른쪽 부분의 요소들은 후미 부분으로 두 롤 사이에 진입하지 못하고 이 단계의 해석이 종료될 것이므로 역시 상대적으로 굵게 잡아서 요소의 수를 줄였다.

Fig. 4 에서 소성변형이 두 롤과 접촉하는 부분

의 근처 영역에만 집중되고 나머지 부분에서는 거의 변형하지 않음을 알 수 있으며 이전의 해석 결과⁽⁵⁾와도 비슷한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또 링 소재가 구동롤 및 압력롤과 각각 접촉하는 형태 및 링 소재의 중심위치는 단순 압입으로 예비 성형해석하여 구한 추정치와 큰 차이를 보이지 않음을 역시 확인할 수 있었다.

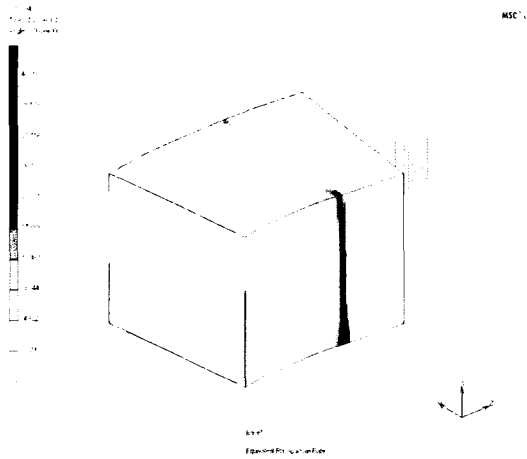


Fig. 4 Distribution of equivalent plastic strain rate after the first revolution of the ring

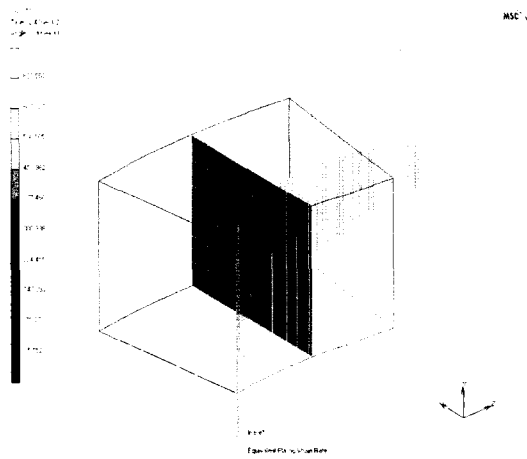


Fig. 5 Cross-section of the ring after the first revolution of the ring

Fig. 5의 링 소재의 변형된 단면형상을 이용하여 두번째 회전을 해석하기 위한 격자시스템 및 접촉면들의 위치를 결정하여 해석하였으며 이와

같은 해석을 원하는 소재의 반경방향 두께를 얻을 때까지 반복하였다.

링 소재가 21 번째 회전을 완료하는 순간의 상당소성변형률속도 분포를 Fig.6에서 보여주고 있으며 두 롤과의 접촉면 근처에서 링 소재의 축방향으로 더 많이 퍼지는 현상이 누적되어 어미현상(fishtailing)이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이 때까지의 링 소재의 반경방향 두께의 감소율은 38%정도이다.

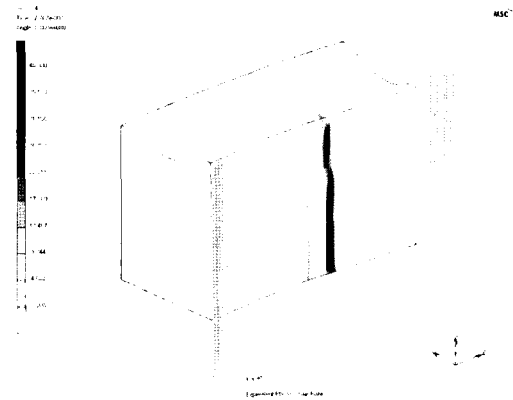


Fig. 6 Distribution of equivalent plastic strain rate after the 21st revolution of the ring

링 소재가 6 번째, 16 번째, 21 번째 회전을 완료하는 순간 링 소재의 출구쪽 단면의 계산된 형상과 이전의 계산 및 실험 결과⁽⁵⁾를 각각 Fig. 7의 (a), (b), (c)에 비교하여 보였다. 계산된 단면형상과 이전의 해석 및 실험 결과는 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 약간의 차이는 열간상태에서의 환상압연의 결과로 링 소재에 발생하는 스케일과 링 소재가 환상압연기의 지지판에 마찰되어 약간 변형되거나 마멸되는 것 등에 의해 발생한 것으로 생각할 수 있다.

링 소재가 6 번째, 16 번째, 21 번째 회전을 완료하는 순간 계산된 링 소재의 내측반경과 외측반경을 이전의 계산 및 실험 결과⁽⁵⁾와 비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 참고로 측면 유동이 발생하지 않는 이상적인 경우의 내측반경을 실선으로, 외측반경을 점선으로 나타내었다. 해석 및 실험에서는 약간의 어미 현상이 발생함으로 인하여 동일한 반경방향 두께에 대하여 단면적이 약간 증가되므로 내·외경 모두 약간 작아지는 경향을 보이고 있으나, 해석결과와 실험 결과는 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

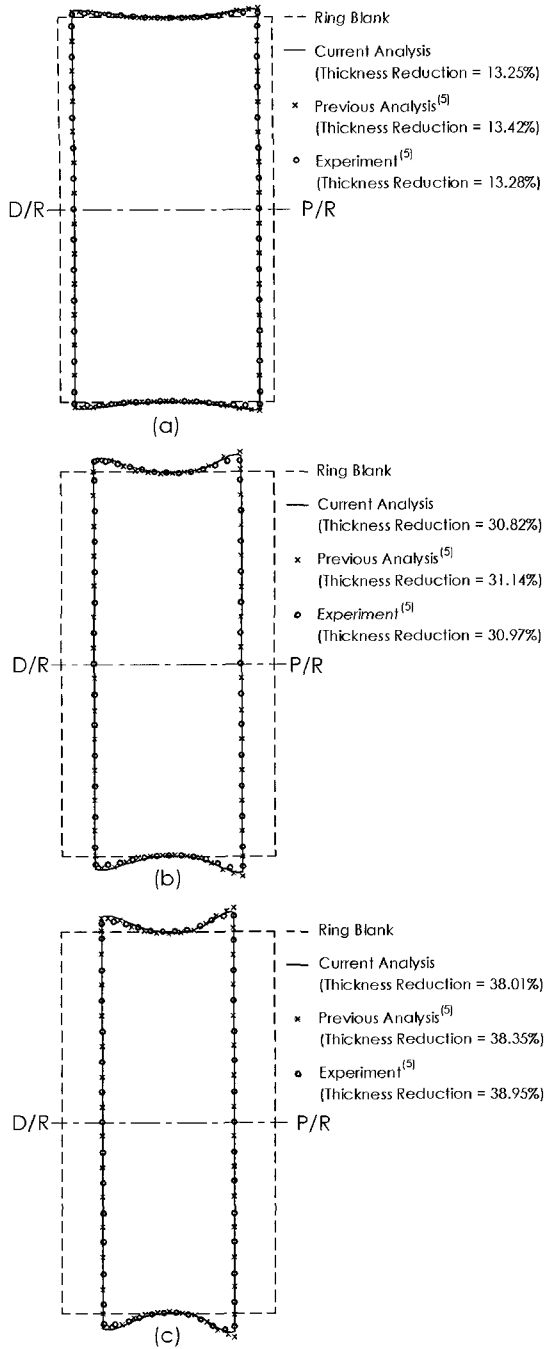


Fig. 7 Comparisons between the computed configurations of the ring cross-section and the previous analysis and experimental results⁽⁵⁾ after, (a) 6th revolution, (b) 16th revolution, (c) 21st revolution of the ring

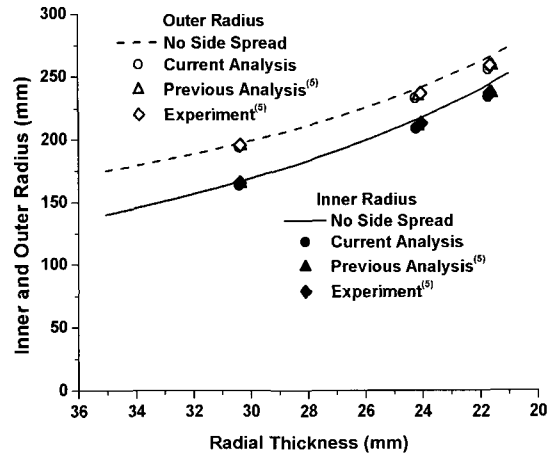


Fig. 8 Variation of the inner and outer radius with respect to the radial thickness of the ring workpiece

본 연구에서는 모든 접촉면들을 강제 공구로 처리하였다. 환상압연공정만의 특징인 압력롤이 공회전(idle)하는 조건을 부과하기 위해서는 압력롤까지 탄성체로 유한요소 모델링하여 해석하는 것이 바람직하지만 요소의 수가 너무 방대하게 증가하고 계산 시간이 과도하게 늘어나서 아직은 적용할 수 없었다. 다른 방법으로 압력롤과 링 소재 사이에 마찰이 없다고 가정하는 방법이 있는데, 이전의 2 차원 해석의 경우⁽⁷⁾에 변형률속도의 분포에 큰 영향이 없고 마찰상수의 영향도 매우 적게 받음을 알 수 있었으나 3 차원 해석의 경우에는 링 소재가 실제보다 축방향으로 과도하게 퍼지는 현상이 발생할 우려가 있어서 채택하지 않았다. 마찰을 적절히 고려하면서도 해석시간을 단축하는 방법으로 링 소재와 구동롤의 접촉면에서 미끄러짐이 발생하지 않는 것으로 가정하여 링 소재의 회전속도를 구하고, 역시 링 소재와 압력롤의 접촉면에서도 미끄러짐이 발생하지 않는다는 가정과 링 소재의 회전속도로부터 계산된 일정한 회전 속도로 압력롤이 회전하도록 하는 방법을 채택하였다.

압력롤이 공회전하는 실제 공정조건을 정확하게 만족시키지 못하고, 마찰 상수의 값도 이전의 해석에서의 0.5 와 달리 0.3 으로 잡았음에도 불구하고 이전의 해석 및 실험결과와 비교적 잘 일치하는 것은 링 소재의 매회전당 반경방향 두께의 감소량이 일반적인 판재압연 공정에 비하여 매우 적으므로 압연방향으로의 롤과 링 소재의 접촉길

이가 매우 짧아져서 결국 전체적인 접촉면적이 매우 좁아지므로 마찰의 영향을 비교적 적게 받기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 수 많은 압력롤 회전속도와 마찰상수 값의 조합에 대하여 해석하여 결과를 비교 분석할 필요가 있다.

이상의 사각단면 링의 해석으로부터 본 연구에서의 해석방법이 링 소재의 변형된 단면형상을 비교적 잘 예측할 수 있으므로 복잡한 단면형상을 가진 형상 링의 경우에도 적용 가능한 것으로 판단하여 우선 외부에 둥근 홈이 있고 상하대칭인 형상 링의 해석을 시도하였다.

3. 외부에 둥근 홈이 있는 형상 링의 해석

3.1 형상 링 및 롤 형상

다음의 Fig. 9 에 나타낸 외경, 내경 및 축방향 높이가 각각 736mm, 610mm, 62mm 이고 외부에 반경이 8.11mm 인 둥근 홈이 수평 방향의 중심선에 위치하는 링 제품을 예제로 선정하였다. 상하대칭이므로 축방향 높이가 31mm 가 되는 위쪽 반만 해석하였다.

초기 링 블랭크(blank)로는 외경, 내경 및 축방향 높이가 각각 621.55mm, 473.33mm, 62mm 가 되는 사각단면의 링을 선택하였고, 추후 실험에 사용될 환상압연기의 사양에 맞춰 선정된 공정변수는 다음과 같다.

구동롤 최소 직경	: 800mm
구동롤 최대(돌출부) 직경	: 822.23mm
구동롤 회전속도	: 33.73rpm
압력롤 직경	: 110 mm
압력롤 진입 속도	: 1.0 mm/s

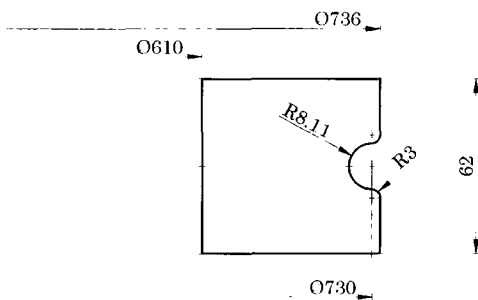


Fig. 9 Externally round grooved profile ring to be rolled

다음의 Fig. 10 은 해석에 사용된 두가지 종류의 롤들의 모습이다. (a)는 구동롤에만 둥근 돌출부가 있는 일반적인 형상 롤의 모습이고, (b)는 어미현상을 완화하기 위하여 압력롤과 구동롤에 각각 10mm 와 15mm 깊이의 홈을 가공하고 반경 3mm 로 모서리 가공한 형상 롤의 모습이다.

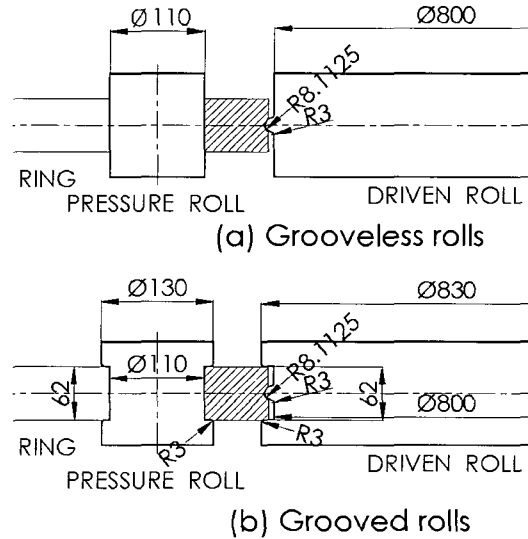


Fig. 10 Profile rolls (a) without grooves and (b) with grooves

3.2 유한요소해석

Fig. 11 은 초기 유한요소해석 격자시스템 및 접촉면들의 모습이다. 사각단면 링의 해석에서와 같이 역시 중심각이 15° 정도 되는 소재의 일부분만을 유한요소 모델링하였으며 뒤쪽과 앞쪽의 곡면은 각각 구동롤과 압력롤의 일부를 나타낸다. 구동롤의 돌출부와 접촉할 부분에서 소성변형이 많이 발생할 것이므로 이 부분의 요소를 조밀하게 잡았다.

소재는 SCM440 으로 선정하였고, Fig. 10(a)의 홈이 없는 형상 롤을 사용할 경우 계산시간을 단축하기 위하여 강소성(rigid-plastic) 해석을 실시하였다. 실제의 형상환상압연공정이 1000~1200°C 에서 수행되므로 참고문헌⁽⁶⁾의 도표를 평균온도 1100°C 에서의 응력-변형도 관계로 이용하였다.

홈이 없는 롤의 경우에는 폭방향의 퍼짐이 과도하게 발생하므로 이를 억제하기 위하여 Fig. 10(b)와 같이 두 롤에 홈을 만들어 해석을 다시 시도하였다. 이 경우에 강소성해석을 시도하자 해가 수렴하지 못하는 현상이 자주 발생하여 소프

트웨어 자체에 내장된 SCM440 의 물성자료를 이용하여 탄소성으로 해석하였다.

위의 두 경우 모두에서 계산시간을 단축하기 위하여 우선 공정이 1100°C 의 균일하고 일정한 온도에서 이루어지며 주위로의 열전달은 없다고 가정하였고, 두 개의 롤과 소재의 접촉면들에서의 마찰은 전단마찰로 가정하고 마찰상수(friction factor) m 은 역시 0.3 으로 선택하였다.

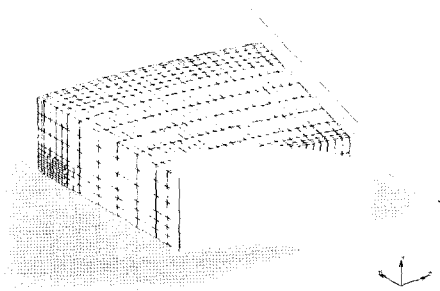


Fig. 11 Initial mesh system and contact surfaces for profile ring rolling with grooveless rolls

3.3 형상환상압연의 해석 결과 및 검토

다음의 Fig. 12 는 Fig. 11 의 초기 격자시스템과 Fig. 10(a)의 홈이 없는 롤들을 이용하여 해석된, 링 소재가 첫번째 회전을 완료하는 순간 상당소성변형률(equivalent plastic strain) 분포를 구동롤쪽으로부터 바라본 모습을 대칭면의 아래쪽까지 대칭복사하여 보여주는 모습이다. 공정의 초기에는 링 소재가 구동롤의 돌출부와 먼저 접촉하므로 이 부분에서 변형이 많이 발생함을 알 수 있다.

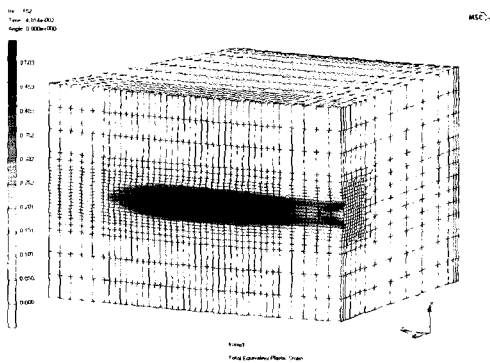


Fig. 12 Distribution of equivalent plastic strain after the first revolution of the ring

Fig. 13 은 링 소재가 첫번째 회전을 완료하는 순간 상당소성변형률속도의 분포를 보여주고 있다. 변형이 두 롤과 접촉하는 부분 근처 영역에만 집중되고 나머지 영역에서는 변형이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

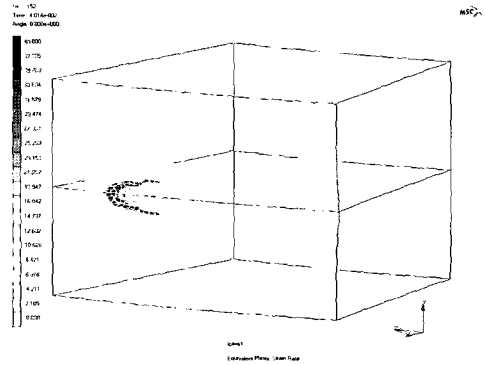


Fig. 13 Distribution of equivalent plastic strain rate after the first revolution of the ring

Fig. 14 는 최종 반경방향두께를 얻게 되는 16 번째 회전 직후의 상당소성변형률 분포를 보여주고 있다. 링 소재의 폭방향으로의 유동이 누적되어 어미현상이 심하게 발생함을 알 수 있다.

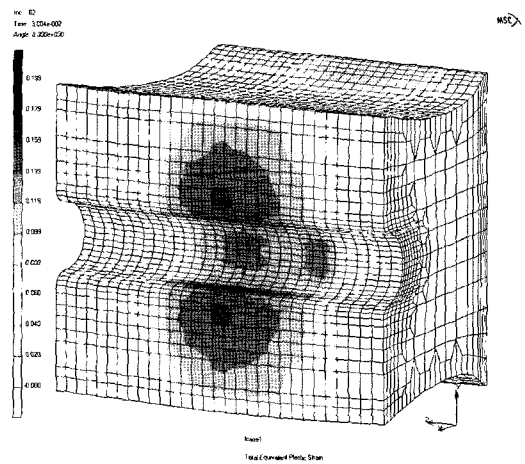


Fig. 14 Distribution of equivalent plastic strain after the 16th revolution of the ring

어미현상을 억제하는 방법의 하나로 Fig. 10(b)와 같이 각각의 롤에 홈을 가공하여 환상압연할 경우의 초기 격자시스템 및 접촉면들의 모습을 Fig. 15 에서 보여주고 있다. 역시 뒤쪽과 앞쪽의

꼭면은 각각 구동롤과 압력롤의 일부를 나타낸다.

Fig. 16 은 홈이 있는 롤들을 이용하여 해석된, 링 소재가 16 번째 회전을 완료하는 순간 상당소성변형률의 분포를 보여주고 있다. Fig. 14 와 비교하여 보면 어미현상이 대폭 억제되었을 알 수 있다.

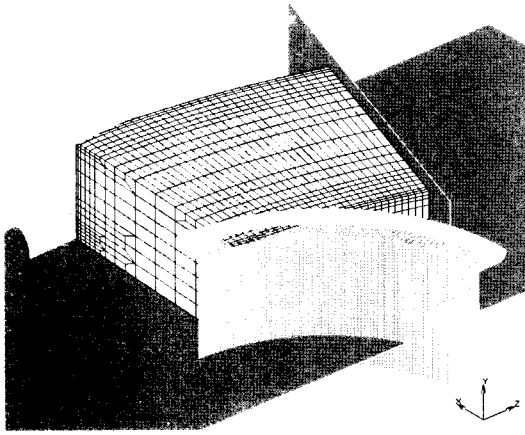


Fig. 15 Initial mesh system and contact surfaces for profile ring rolling with grooved rolls

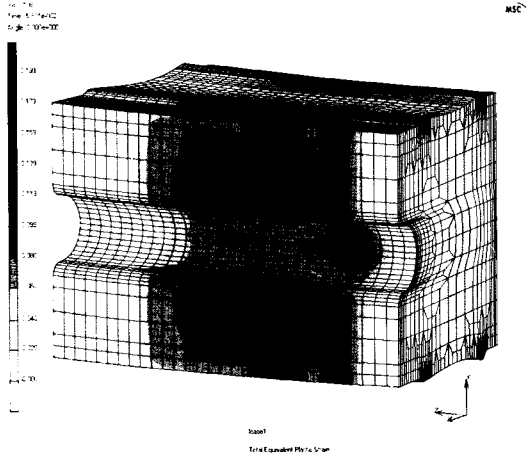


Fig. 16 Distribution of equivalent plastic strain after the 16th revolution of the ring

Fig. 17 은 초기 블랭크로부터 16 번째 회전까지 매회전 직후 링 소재의 변형된 단면모습들과 최종 제품의 단면모습을 압력롤과 접촉하는 면을 일치시켜 비교하여 보여주고 있다. 위쪽은 홈이

없는 롤들을 사용한 경우이고, 아래쪽은 홈을 가진 롤들을 사용한 경우이다. 구동롤에 동근 돌출부가 있는 관계로 링 소재의 외부는 초기에는 구동롤의 돌출부와만 접촉하며 홈이 없는 롤들의 경우에는 16 번째 회전까지도 링 소재의 외부 상하단부에는 구동롤과 접촉하지 못하는 부분이 있는 것을 볼 수 있고, 롤에 홈을 가공할 경우에는 아래쪽에 보이는 것과 같이 12 회전 직후 소재의 외부가 구동롤에 완전히 접촉하게 되며 어미현상이 크게 감소함을 알 수 있다. 보다 완벽하게 어미현상을 억제하기 위해서는 좀 더 깊게 홈을 가공하여야 할 필요가 있으나, 홈의 깊이가 깊어지면 압력롤의 반경이 강도를 위한 최소 반경으로부터 이 홈의 깊이만큼 증가되어야 하므로 초기 링 블랭크의 내경이 증가되어 링 블랭크 제작 비용이 증가될 문제점이 있다.

롤에 홈을 가공하지 않고 공정 중에 원추롤(conical roll or edge roll)을 이용하여 링 소재를 축방향으로 눌러주어 어미현상을 억제하는 방법이 보다 바람직하지만 원추롤의 위치, 회전속도 및 압하량 등의 최적치를 구하여 공정 중에 정밀하게 제어해 주어야 하며 단면 형상이 복잡해질수록 생산하기가 더욱 어려워지는 문제가 있으며, 이 분야에 대한 많은 추가 연구가 요구되고 있다.

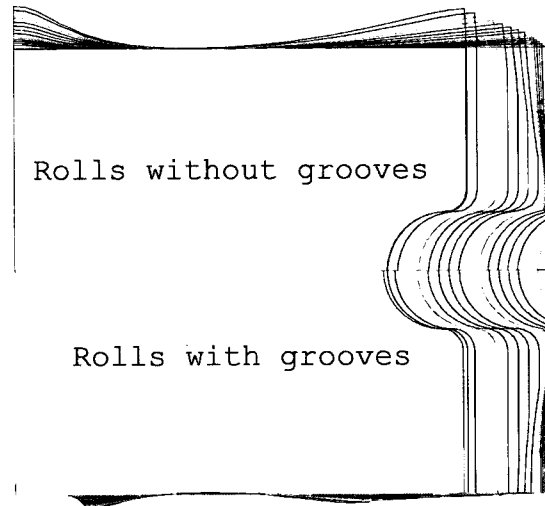


Fig. 17 Comparison of the cross-sections of the ring after each revolution of the ring

4. 결론

본 연구에서는 범용상용 유한요소해석 프로그램을 이용하여 환상압연공정을 해석하는 방법을 개발하였다. 사각단면을 가진 링의 해석결과는 실험과 비교적 잘 일치하여 복잡한 단면형상을 가진 대형 링 제품의 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

외부에 등근 흠이 있는 형상 링의 해석에서는 구동롤과 압력롤에 흠을 설치할 경우 어미현상의 억제에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

추후과제로는 상하비대칭 단면형상을 가진 대형 형상 링의 해석에 적용하고 실제 환상압연기에서 직접 제작하여 그 결과를 비교 검토할 것과 해석을 좀더 편리하게 수행할 수 있도록 입력 출력 데이터를 자동으로 생성하는 보조 프로그램을 개발할 것 등이 있다.

후 기

본 연구는 과학재단 지역대학 우수과학자 지원연구(R05-2002-000-00819-0)의 지원으로 수행된 연구결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

(1) Kim, N. S., Machida, S., and Kobayashi, S., 1990,

"Ring rolling process simulation by the three dimensional finite element method", *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 30, pp. 569~577.

(2) Yang, D. Y., Kim, K. H., and Hawkyard, J. B., 1991, "Simulation of T-section profile ring rolling by the 3-D rigid-plastic finite element method", *Int. J. Mech. Sci.* Vol. 33, No. 7, pp. 541~550.

(3) Song, J. L., Dowson, A. L., Jacobs, M. H., Brooks, J., and Beden, I., 2002, "Coupled thermo-mechanical finite-element modeling of hot ring rolling process", *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 121, pp. 332~340.

(4) Xu, S. G., Weinmann, K. J., Yang, D. Y., and Lian, J. C., 1997, "Simulation of the hot ring rolling process by using a thermo-coupled three-dimensional rigid-viscoplastic finite element method", *J. Manuf. Sci. Eng.*, ASME, Vol. 119, pp. 542~549.

(5) 김광희, 양동열, 1992, "환상압연공정에서 측면 유동에 의한 어미현상의 예측에 관한 연구", *유변학회지*, 제 4 권 제 1 호, pp. 35~45.

(6) 한형기, 김성일, 전태성, 유연철, 2000, "SCM 440 강재의 정적 및 준동적 연화에 미치는 공정변수의 영향", *한국소성가공학회지*, 제 9 권 제 1 호, pp. 80~87.

(7) Yang, D.Y. and Kim, K. H., 1988, "Rigid-plastic finite element analysis of plane ring rolling", *Int. J. Mech. Sci.*, Vol. 30, pp. 571~580.