

## 스냅링 체결 공정 해석

류 일 훈\* · 임 영 훈

위아

### Finite Element Analysis for Fastening Process of Snap Ring

Ilhun Ryu\* · Younghun Lim

Department of Automotive Parts Research, WIA, 447-26 Onseok-dong, Hwasung-si, Gyeonggi 445-110, Korea  
(Received 1 October 2008 / Accepted 13 November 2008)

**Abstract** : A snap ring is a kind of metal spring with open ends which can be installed into a groove to prevent lateral movement. In this study a nonlinear finite element analysis model is developed to simulate the fastening process of a snap ring connecting the constant velocity joint and the transmission. Insert load, disengage load and breakage are three important issues. They are analyzed using the developed model. The load histories of simulations are similar to those of tests and the differences of maximum load are around 10%. Bending of the entire ring and unfolding of the end section are major contributors of the fastening load. The load variations caused by the angular position of spline tooth are about 50%. Breakage is highly sensitive to the position of a snap ring.

**Key words** : Snap ring(스냅링), Breakage(결림), Assembly load(삽입 하중), Disengage load(이탈 하중), Side gear(사이드 기어), T/Housing(하우징)

#### 1. 서 론

스냅링은 한쪽 끝이 트인 C자 형태의 결속 스프링으로 차량 구동계에서 스플라인 연결, 베어링 고정 등에 사용되고 있다. 특히 변속기 차동장치의 사이드 기어와 등속조인트의 하우징은 스플라인 축으로 연결되는데, 이 축을 고정하기 위해 스냅링을 사용한다. 등속조인트는 하우징의 홈에 스냅링이 끼워진 상태로 생산하며, 차량 조립 공정에서 차동 장치의 사이드 기어 스플라인으로 삽입하여 조립한다. 사이드 기어의 스플라인에는 적절한 경사면을 설정하여 조립 및 분해가 가능하도록 한다. 스냅링 체결은 바로 밀어 넣는 것만으로 작업을 수행할 수 있기 때문에, 생산성과 작업 편의성 측면에서 상당한 이점이 있다. 하지만 적절한 작업 하중을 유지하

고, 작업 조건에 상관없이 안정적인 체결 공정을 유지하도록 개발하는데 있어 어려움이 있다. 스냅링 체결 공정에 대해서는 분할 면을 가지는 링의 응력 분포에 대한 연구<sup>3)</sup>와 클러치 팩 내에 사용된 스냅링의 조립 공정에 대한 연구<sup>1)</sup>를 비롯하여, 피스톤 링의 조립 공정 중 변형에 대한 연구<sup>2)</sup>가 수행된 바 있다. 스냅링 개발에 있어 주요 성능 및 제한 요인으로는 삽입 하중, 이탈 하중 및 결림 파손의 세 가지가 있다. 삽입 하중은 조립 시의 작업 편의성과 안전을 위해 최대 수준을 제한한다. 이탈 하중은 체결 안정성과 적정 분해 하중을 위해 그 범위를 제한한다. 결림 파손은 작업 중 스플라인에 스냅링이 걸려서 파손되는 현상이다.

본 연구에서는 스냅링 체결 공정을 평가할 수 있는 비선형 유한요소 해석 모델을 개발하고,<sup>4)</sup> 이를 이용하여 체결 공정을 단계적으로 분석하고자 한다.

\*Corresponding author, E-mail: ryuilhun@wia.co.kr

체결 과정에서 각 부품의 불규칙 접촉에 따른 작업 하중 변화를 분석하고, 결립 파손의 발생 과정을 분석하여 그 대처 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 스냅링 체결 공정 해석

### 2.1 스냅링

Fig. 1에서와 같이 등속조인트 하우징(3)과 차동 장치 사이드기어(2)는 인벌류트 치형의 스플라인으로 연결된다. 하우징 스플라인에 가공된 홈에는 스냅링(1)을 설치하여 축 방향 이동을 고정하고, 체결 상태를 유지한다.

스냅링은 굽힘 탄성을 이용하여 수축과 복원 과정을 거치면서 체결한다. Fig. 2는 C형 스냅링을 이용하여 등속조인트와 차동 장치를 고정하는 조립 공정을 나타낸 것이다. 하우징(3)을 사이드 기어(2)로 밀어 넣으면, 하우징 홈의 옆면에서 스냅링에 축 방향으로 작업 하중( $F_{hsg}$ )이 작용하고, 사이드 기어의 입구에는 진입 경사면에 반력( $F_{gear}$ )이 형성된다. 경사면 반력의 반경 방향 성분에 의해 스냅링이 오므라든다. 스냅링의 직경이 내접 스플라인 최소경과 같아질 때까지 축소되면서 안쪽으로 진입한다. 진입된 스냅링은 계속 진행하여 반대편 끝 쪽의

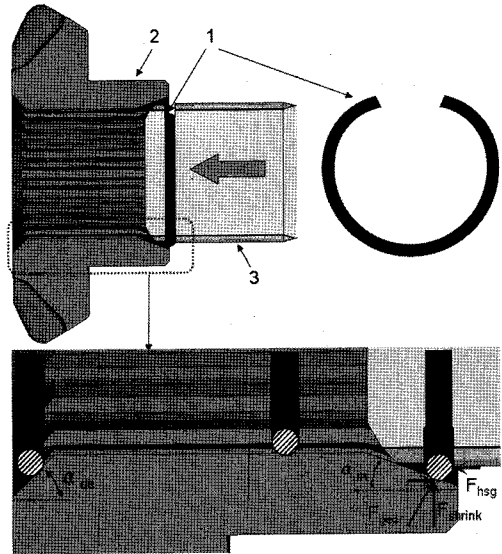


Fig. 2 Procedures for inserting snap ring into spline

경사를 만나서 다시 원상태로 복원된다. 반대편에는 이탈 경사각( $\alpha_{de}$ )이 설정되어 있어 스냅링이 빠져나오지 못하도록 적절한 체결 하중을 유지한다. 이탈 경사각은 일반적으로 진입 경사각보다는 상대적으로 크다. 스냅링 체결 공정의 작업 하중에는 경사각의 크기와 위치가 중요하게 작용한다.

### 2.2 체결 공정 해석 모델

절점(Nodal) 정보를 이용한 유연체 동역학 해석을 이용하여, 대변형과 비선형 접촉 하중 전달을 포함한 스냅링 체결 공정을 평가하였다. 해석 모델은 Fig. 3과 같이 스냅링(1), 사이드 기어(2), 하우징(3)을 포함하여 구성하였다. 하우징과 사이드 기어는 강체 요소로 구성하였으며, 스냅링은 연성체로 구성하였다. 스냅링은 Fig. 3의 아래에 왼쪽의 원형 모델과 오른쪽의 꺾임형 모델의 두 가지를 적용하였다. 원형 모델은 전체 내경이 같은 곡률을 가지는 모델이며, 꺾임형 모델은 개구부의 끝 부분이 작은 곡률로 안쪽으로 꺾인 형상의 모델로서 처짐량이 작고, 조립 과정에서 오일씰 파손 방지 측면에서 우수하다. 스냅링의 재질은 인장강도 2110~2300MPa 수준의 고장력 선재이다. 해석 모델 경계조건으로는 사이드 기어(2)를 고정하였으며, 스플라인 홈에 스냅링이 설치된 하우징(3)을 축 방향으로 일정 속도

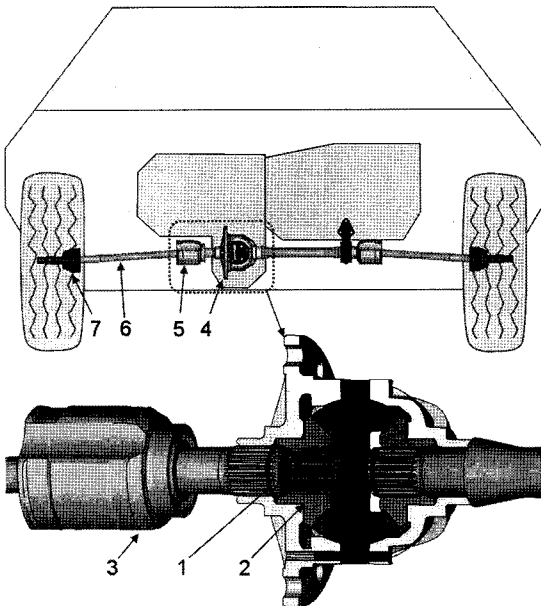


Fig. 1 Snap ring used to fix CVJ on differential

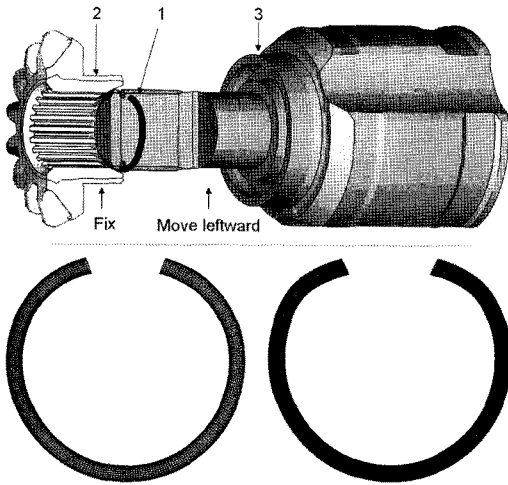


Fig. 3 Analysis model to simulate assembly operation

이 아래쪽 부분에 인장응력이 발생한다. 특히 하우징 홈과의 접촉은 왼쪽 아래 그림과 같이 아래쪽 가운데와 양쪽 위쪽 두 군데의 전체 세 개소에서 집중적으로 접촉하여 하중이 전달되고 있다. 이 세 가지 하중으로 인해 스냅링 선상에 발생한 굽힘 모멘트가 스냅링의 곡률을 축소시킨다. 사이드 기어의 입구 경사면과 닿는 부분의 접촉 압력을 표시한 오른쪽 아래 그림에서도 접촉 위치가 3개소에 집중되어 발생하는 것이 나타나고 있다. 특히 사이드 기어 측은 치 부분에서만 접촉하기 때문에 접촉 위치가 단속적으로 형성되고 있다.

### 3. 체결 공정 해석 결과

#### 3.1 삽입 하중

삽입 하중은 등속조인트를 차동 장치에 조립할 때 필요한 하중으로서 사이드 기어의 진입 경사면을 따라 스냅링이 수축되면서 작용한다. 등속조인트 조립 공정은 대부분 수작업으로 수행되기 때문에 삽입 하중의 최대치를 규제한다. Fig. 5는 끼임형 스냅링을 진입 경사각 20°의 사이드 기어로 조립하는 공정의 삽입 하중을 평가한 결과이다. 스냅링의 초기 위치는 개구부를 위쪽으로 향하게 설치하고, 자중에 의해 하우징 홈 위에 가볍게 얹혀진 상태로 가정하였다. 축 방향 하중은 사이드 기어 입구 측 경사면을 만나 진행하면서 기하급수적으로 증가하다가 등경사각이 끝나는 지점(②)에서 최대치를 형성한다. 이후 경사각이 작아지면서 급격히 감소한 후에 수평면을 만나는 지점(④)에서부터 일정한 수준을 유지한다. 수평면에서의 하중은 축소된 스냅링이 팽창하려는 힘에 의해 발생한 반경방향 하중이 사이드 기어의 내접 스플라인 면에 작용하여 발생하는 마찰 저항력으로 상대적으로 낮은 수준이다.

끼임형 스냅링은 끝부분이 작은 곡률 반경을 가지고 안쪽으로 꺾이기 때문에, 체결 공정의 후반부에 끝 부분이 퍼지는 변형이 발생한다. 이에 따라 하우징 홈의 바닥면과 위쪽 부분 4개소에서 접촉하여 수직 방향 하중을 형성한다. 수직 방향 하중은 끝 단 부분 변형의 발생에 따라 기하급수적으로 증가한다. 개구부의 폭도 경사를 따라 지속적으로 감소하여 수평부에서 일정하게 유지된다.

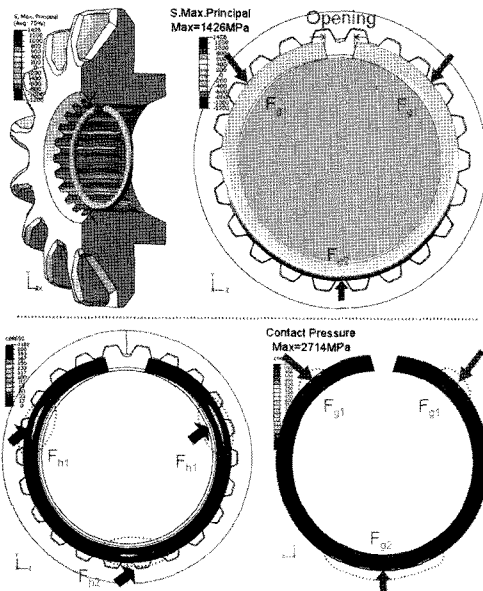


Fig. 4 Stress and contact pressure of circular snap ring

로 강제 이동시켰다. 스냅링(1)은 하우징 홈 안에서 접촉을 통하여 위치를 유지하도록 하였다. 부품 간 접촉 모델에서 마찰계수로는 동적, 정적 마찰 계수를 모두 0.1로 일정하게 적용하였으며<sup>5)</sup> 감쇠계수로는 임계 감쇠의 10%를 적용하였다.

Fig. 4는 원형 스냅링 체결 과정의 응력과 접촉 압력을 나타내었다. 개구부를 가지는 C형의 스냅링에 굽힘 하중 작용하여 직경을 축소된다. 스냅링의 직경이 축소되면서 Fig. 4의 위쪽 응력 선도에서와 같

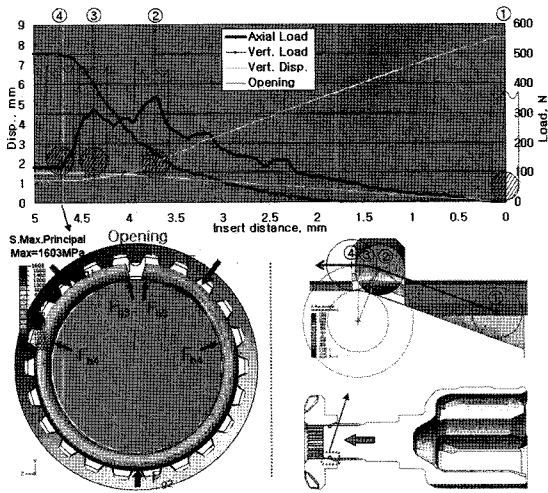


Fig. 5 Four stages of insert process for snap ring

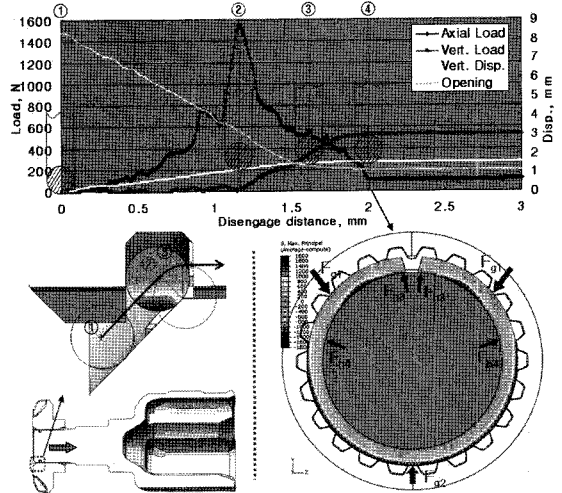


Fig. 7 Four stages of disengage process for snap ring

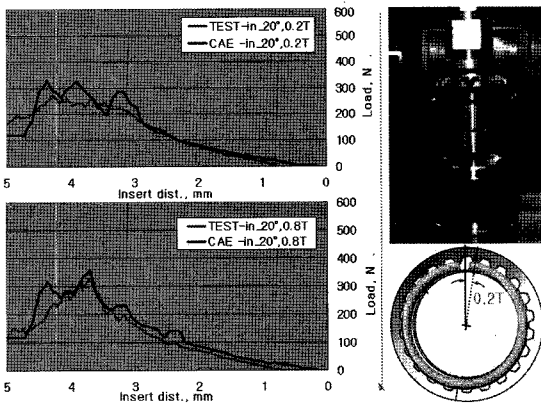


Fig. 6 Comparison between test and simulation of insert

Fig. 6은 단축 압축 시험을 통해 측정된 조립 공정의 삽입 하중 이력을 해석 결과와 비교한 것이다. 스플라인의 치 회전 위치에 따라 0.2치와 0.8치 회전 위상의 하중 이력을 비교하였다. 진입부의 증가 형태를 비롯한 하중 변화 이력과 하중 크기에서 상당한 유사성을 나타내었다.

### 3.2 이탈 하중

이탈 하중은 삽입된 등속조인트를 분해할 때 필요한 하중으로서 삽입 시와 마찬가지로 이탈 경사각을 따라 스냅링이 수축되면서 발생한다. 구동 중에 빠지는 것을 방지하기 위하여 최소치를 규제하며, 정비 등의 목적으로 분해할 수 있도록 최대치도 규제한다.

Fig. 7은 이탈 경사각이 45°인 사이드 기어에 조립된 꺾임형 스냅링을 대상으로 분해 공정 해석을 수행하여 이탈 하중을 평가한 결과이다. 축 방향 하중은 삽입 공정과 마찬가지로 경사면에 접하는 지점(①)을 기점으로 기하 급수적으로 증가하여, 등경사각이 끝나는 지점(②)에서 최대치를 형성하였다. 이후 경사각이 작아지면서 급격히 감소하여 수평부(④)에서는 일정한 수준을 유지하였다. 수직 방향 하중은 스냅링 끝 단의 폐짐 변형이 시작되는 지점에서 발생하여 급격히 증가한다. 개구부의 폭도 마찬가지로 경사를 따라 지속적으로 감소하여 수평부에 진입하면서 일정한 수준을 유지한다.

Fig. 8은 단축 압축 시험을 통해 측정된 이탈 하중 이력을 해석 결과와 비교한 것이다. 스플라인의 치 회전 위치에 따라 0.2치와 0.4치 회전 위상의 하중 이력을 비교하였다. 전체적으로 이탈 경사부분의 증가 형태를 비롯한 하중 변화와 크기에서는 상당한 유사성을 나타내었다.

Fig. 9에서는 스플라인 치의 회전 위치에 따른 이탈 하중의 변화를 평가하였다. 그 변화폭은 최대 하중 기준으로 51% 수준으로서 상당히 크게 나타났다. 스냅링은 진입 경사면과 3개 위치에서만 국부적으로 접촉하는데, 스플라인의 회전 위치에 따라 이 접촉점들이 이동하면서 축 방향 하중이 크게 변화하는 것으로 판단된다. 특히 경사각의 크기가 바뀌는 최대 하중 부근에서 하중 변화가 큰 폭으로 나타나고 있다.

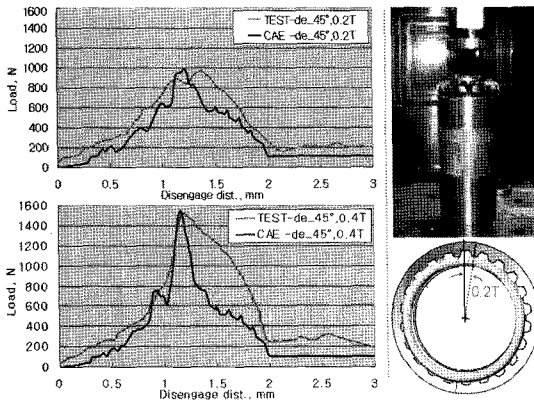


Fig. 8 Comparison between test and simulation of disengage

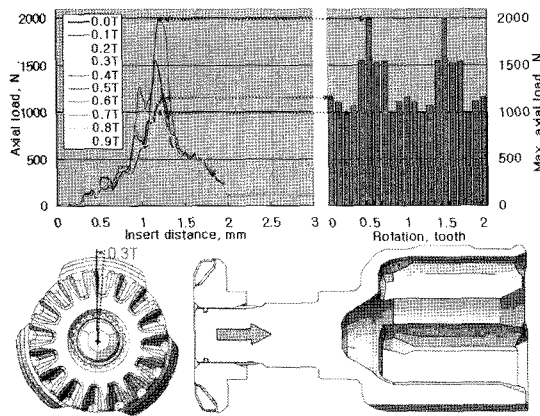


Fig. 9 Variation of disengage load due to rotation of spline

### 3.3 걸림 파손

걸림 파손은 작업 중 스냅링의 일부분이 내측 스플라인과 외측 스플라인 사이에 끼어서 파손되는 현상이다. 스냅링의 내경은 하우징 홈의 직경보다 크기 때문에, 조립 시에 중력의 작용에 의한 처짐이 발생한다. 스냅링이 하우징의 홈 위에 설치될 때 개구부의 위치가 어디를 향하는 지가 걸림 파손의 발생 여부에 영향을 준다. 일부 공정에서는 조립 시의 스냅링 개구부의 위치를 위쪽으로 향하도록 규제하기도 한다. 개구부의 위치에 상관없이 그대로 조립하여도 문제가 없도록 스냅링을 개발하는 것이 생산성 향상과 불량률 축소에 유리하다. Fig. 10은 조립 중 스냅링의 분포 가능 위치를 제시하였다. 하우징 홈의 중심점이 스냅링 내경에서 분포 가능한 영역은 뒤집어진 은행 모양으로 나타난다. 그 중 전체를 대표할 수 있는 중요한 위치는 ㉠~㉥의 여섯 개소이다.

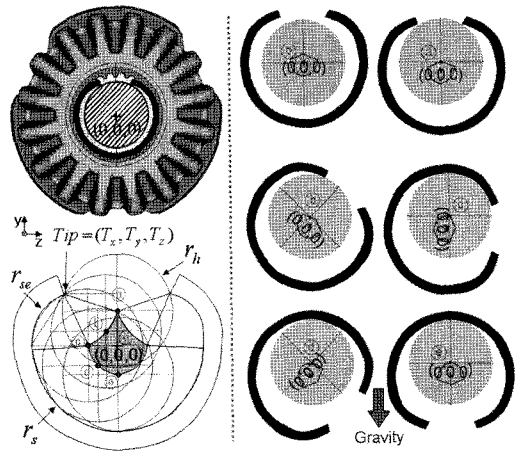


Fig. 10 Position of snap ring in groove of housing

식 (1)은 각 지점의 위치 좌표를 계산하는 방법을 제시하였다.

$$P_a = (0, T_y - \sqrt{r_h^2 - T_z^2}, 0) \quad (1)$$

$$P_b = \left(0, T_y - \sqrt{r_h^2 - \left(\frac{B - T_y C - 2T_z}{2T_z}\right)^2}, \frac{B - T_y C}{2T_z}\right)$$

$$P_c = \left(0, C, \frac{B - T_y C}{T_z}\right)$$

$$P_d = \left(0, -\frac{r_s - r_h}{\sqrt{2}}, -\frac{r_s - r_h}{\sqrt{2}}\right)$$

$$P_e = (0, -r_s + r_h, 0)$$

where  $r_s$  : inner radius of snap ring, mm

$r_h$  : radius of housing groove, mm

$T_x, T_y, T_z$  : coordinate of tip, mm

Fig. 11은 조립 공정 중의 스냅링 걸림 파손현상을 나타낸 것이다. 6개소 중 ㉠, ㉡의 두 위치에서만 파손이 발생하였다. 스냅링의 중심선이 스플라인의 치선 외경을 벗어난 상태로 삽입되면서 걸림 파손이 발생하였다. 전체적인 발생 특성을 분석하여 본 결과 걸림 파손 여부는 ㉠ 위치를 기준으로 하여 스냅링의 중심선이 외측 스플라인의 치선 외경을 벗어나는 지를 기준으로 판별하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다. 대부분의 걸림 파손은 진입 경사가 작은 조립 공정에서 발생하는데, 이는 내측 스플라인의 진입 경사가 큰 경우에는 스냅링이 접촉 초

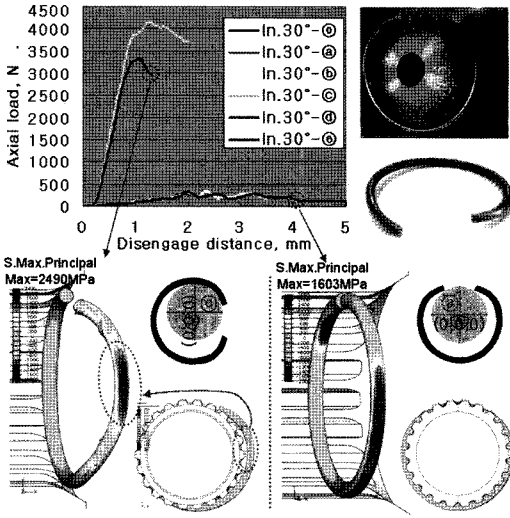


Fig. 10 Breakage of snap ring during insert process

기에 빠르게 가운데 쪽의 안정된 영역으로 이동하기 때문에 판단된다. 또한 스냅링의 내경이 작으면 돌출량이 작아져서 걸림 파손에는 유리하지만, 초기에 하우징 홈에 장착하거나 분해하기가 어려우며, 무리한 체결로 영구변형이 발생할 가능성이 높아진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 등속조인트와 변속기를 연결하는 스냅링 체결 공정을 대상으로 유연체 동역학 해석과 공정 시험을 수행하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 기어 및 하우징 스플라인과의 접촉 및 소성 변형을 수반한 대 변형 과정이 포함된 스냅링 체결 공정을 평가할 수 있는 해석적 방법을 제시하였다. 체결 공정 시험을 수행하여 하중의 수준과 변화 이력을 기준으로 해석 모델의 유의성을 확인하였다.
- 2) 작업 하중은 스냅링 전체의 굽힘 변형과 끝 단 펴짐 변형에 의해 형성되었다. 개구부로 인해 가로 방향 강성이 약화되면서, 아래쪽 세 지점에서만

국부적으로 접촉하여 작업 하중을 형성하였다.

- 3) 진입 경사각도의 크기와 위치가 중요하게 작용하였으며, 등경사각의 끝 지점에서 최대 하중이 작용하였다. 특히 스플라인 치의 회전 위치에 따른 작업 하중의 변화도 50% 내외로 발생하였다.
- 4) 걸림 파손의 발생 메커니즘을 분석하여, 특히 개구부가 측면으로 향해진 특정 조립 위치에서 걸림 파손이 주로 발생하는 것을 구명하였으며, 이를 바탕으로 걸림 파손에 대처할 수 있는 방안을 제시하였다.
- 5) 높은 계산 부하로 그 활용이 제한적이기는 하지만, 안정적인 접촉 모델 개발과 효율적 연산 알고리즘 개발이 진행되면서 여타의 많은 공학적 문제에도 이러한 해석 방법론을 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- 1) M. M. R. Krishna, "Non-Linear Finite Element Analysis of a Clutch Pack Assembly with Snap Ring and End Plate," SAE 2000-01-2625, 2000.
- 2) V. V. Dunaevsky, J. T. Sawicki, J. Frater and H. Chen, "Analysis of Elastic Distortions of a Piston Ring in the Reciprocating Air Brake Compressor Due to the Installation Stresses," SAE 1999-01-3770, 1999.
- 3) Y. M. Lee, S. W. Cho and J.W. Nam, "Stress Analysis of Split Ring," Journal of KSAE, Vol.6, No.1, pp.71-77 1984.
- 4) W. J. Kang and H. Huh, "Crash Analysis of Auto-Body Structures Considering The Strain-Rate Hardening Effect," Int. J. Automotive Technology, Vol.1, No.1, pp.35-41, 2000.
- 5) H. Gao, G. C. Barber and H. Chu, "Friction Characteristics of A Paper-Based Friction Material," Int. J. Automotive Technology, Vol.3, No.4, pp.171-176, 2002.