

# 수송기계용 Stabilizer Link의 광센서를 이용한 부품성능평가 Analyzing Materials Property using Optical Sensing Technique of Stabilizer Link for Automobile Parts

남기우 · 우영만 · 오정환 · 문창권

K. W. Nam, Y. M. Woo, J. H. Oh and C. K. Moon

(접수일: 2010년 9월 7일, 수정일: 2010년 11월 5일, 채택확정: 2010년 11월 8일)

**Key Words** : Stabilizer Link(스테빌라이즈 링크), Optical Fiber Sensor(광섬유 센서), Link Body(링크 본체), Knurling Rod(널링 로드), Safety(안전성)

**Abstract** : A stabilizer link connects the stabilizer bar to the lower arm of the suspension. When a vehicle is turning, lateral forces from the tire are transmitted through the stabilizer link into the stabilizer bar. The stabilizer bar will twist, thus adding rigidity to the vehicle body. In this study, the stabilizer link body was manufactured by using composite material with POM-GF25%. Therefore, the strength evaluation of stability link body with composite material carried out from tensile, wear and fatigue test. The tensile strength between the stability link body with composite material and the rod with knurling was the largest of four types of rod. In Analyzing materials property using optical sensing technique of stabilizer link for automobile parts, its has been identified the safety.

## 1. 서 론

스테빌라이저는 자동차의 차체가 좌우로 기울어지는 것을 줄이기 위하여 장착하는 자세 안정장치로서 앞뒤바퀴에 모두 쓰인다. 토션바 스프링의 양끝을 서스펜션(로어암)에 달아 좌우 바퀴가 다른 동작을 보일 때 작동하는데, 차량의 상하 진동을 막아주는 쇼크 업소버와 달리 차체의 좌우 흔들림을 방지하는 역할을 한다.<sup>1)</sup> 최근에는 자동차의 중요한 기술로서 연비를 향상시키는 기술이 이슈가 되고 있는데<sup>2,7)</sup>, 이를 위하여 스테빌라이저 부품에 대한 경량화 또한 해결되어야 할 부분으로 지적되고 있는 실정이다.<sup>8)</sup> 그러나 자동차 부품의 경량화는 안전성 문제를 발생시킬 요소가 많기 때문에 최적화 설계나 재질변경 등의 관점으로부터 개발을 한다면, 그에 상응한 많은 시험을 거쳐야 비로소 보증할 수 있다.

최근에 관심을 끄는 하이브리드자동차, 전기자동차 등에 있어서도 연비향상을 위한 공통적인 문제는 차체의 중량을 줄이는 것이다.<sup>9)</sup> 그러므로 연비향상 및 안정성강화의 문제를 극복하기 위한 대안으로서 많이 사용되는 것 중 하나가 복합재료이다.<sup>10-13)</sup>

따라서 본 연구에서는 자동차 부품의 경량화를 도모하기 위하여 금속제품인 스테빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하기 위한 기술, 특히 본체에 유리섬유가 함유된 POM+GF25% 수지를 금속재 인서트 형식으로 사용하여 사출 성형을 할 때, 금속부분인 로드(rod)와 결합되는 복합재료의 성형 부위에 대한 기계적 특성에 관하여 연구하였으며, 특히 결합부의 내구성을 평가에 광섬유 센서를 사용하여 변위량을 측정하였다.

## 2. 재료 및 실험방법

### 2.1 재료 및 시험편

금속형 제품인 스테빌라이저 링크 본체(link body)를 복합재료로 대체하기 위하여 금속 로드(rod)의 끝부분 형상을 다양화하여 금속과 복합재의 결합력을 향상시키도록 하였다. 로드(rod)는 SCM435를 사용

남기우(교신저자) : 부경대학교 신소재공학부  
E-mail : namkw@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6358  
문창권 : 부경대학교 신소재공학부  
우영만 : (주) 센트랄링크텍  
오정환 : 부경대학교 의공학과

하였고, 로드 직경은 10 mm로 하였다. 본체는 Table 1에 나타내듯이 POM + GF25%(한국엔지니어링(주))로써 과도한 함유량은 성형성이 나쁘므로 유리섬유가 25 % 함유된 것을 사용하였다. 시험편의 형상을 Fig. 1에 나타낸다.

Table 1 Tensile strength (MPa) and elongation (%) of POM

	POM	POM+GF15%	POM+GF20%	POM+GF25%
$\sigma_t$	64	120	140	160
$\varepsilon$	40	3.6	3	3



Fig. 1 Example of injection molded product

### 2.2 사출성형 조건

POM의 성형에는 전동식 사출성형기를 이용하였으며, 시험편 제작을 위한 금형은 1캐비티 금형으로 제작하였다. 일반적으로 POM 사출을 위하여 오픈 타입 노즐을 사용하여 성형하고 있다. 오픈 타입 노즐은 가끔 수지의 흐름 현상이 문제가 되므로, 역테이퍼 노즐이나 밸브 타입 노즐을 사용하여 방지하였다. POM은 흡수율이 작고 방습을 고려한 포장을 하고 있다. 성형 전에는 예비 건조를 해야 한다. 이때 성형시의 펠렛의 흡습율은 0.1 %이하를 적용하였다. 또한 POM의 용점은 약 165 °C이지만, 실제로 성형을 할 경우의 수지 온도는 190 ~ 210 °C(가능하면 200 ~ 210 °C)가 적당하기 때문에, 수지 온도를 실린더 설정 온도보다 10 ~ 15 °C 정도 높은 온도를 적용하였다. POM을 성형할 때의 표준적인 금형 온도로서 60 ~ 80 °C로 하였다. POM의 사출압력 98 MPa 이상, 보압력 49 ~ 98 MPa로 설정하였다. 사출 속도는 5 ~ 50 mm/s로 하였다. 사출 시간과 보압 시간은 합계가 게이트 쉘 시간 보다 약간 긴 값이 되도록 설정하였다.

### 2.3 실험방법

Fig. 2와 같은 4가지의 서로 다른 형상의 로드 시험편을 인서트(insert)로 하여 스테빌라이즈 링크 본체를 형성하고 있는 복합재 사출성형 부분(링크 본

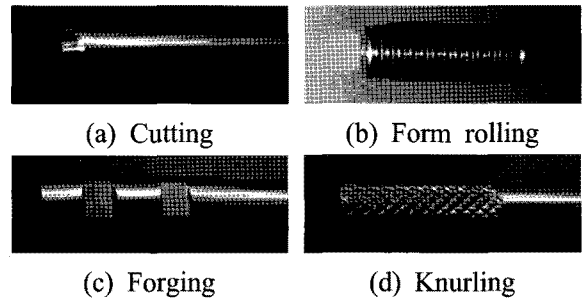


Fig. 2 Shapes of rod end

체)과의 결합력을 조사하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 또한 인장시험 결과에 의해 널링(knurling)을 실시한 경우에 한해서는 인장시험편에 링크 본체의 냉각시간을 각각 20, 40, 80 sec로 냉각시켜 널링시험편을 제작하여 상호 비교하였다. 인장시험은 Fig. 3과 같이 볼 스테르드를 고정된 다음 로드 시험편을 축 방향으로 크로스헤드 속도 2 mm/min으로 실온 대기 중에서 실시하였다.

유격시험은 축 방향 하중, 요동각도 및 요동속도, 회전각도 및 회전속도를 부여하여 요동기준을 일정한 수만큼 진행하는 시험이다. 즉, 유격을 확인하기 위하여 3축 마모 내구시험기를 이용하여 마모시험을 실시 후 유격을 측정하였다. 즉, 70 °C에서 7일간 방치한 후 ± 15°의 구배로 회전주파수 0.5 Hz, ±

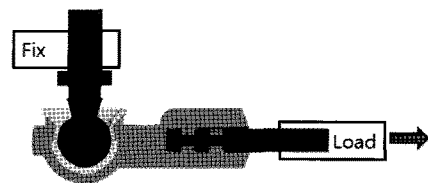


Fig. 3 Schematic and loading direction of stabilizer link

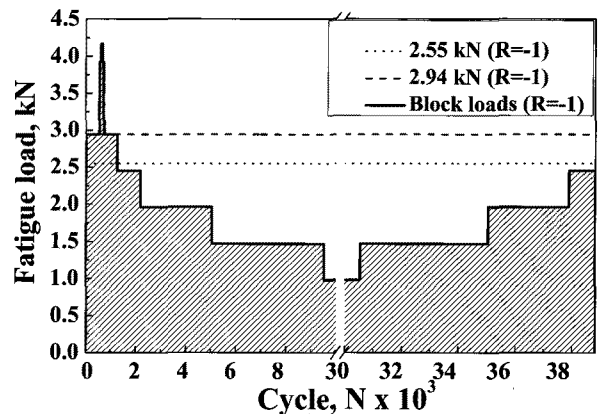


Fig. 4 Three type of fatigue load

Table 2 The condition of one block load

Block order	± kN	Hz	Cycle
1	2.94	5	540
2	3.43	5	10
3	3.92	5	50
4	4.17	5	60
5	3.92	5	50
6	3.43	5	10
7	2.94	5	540
8	2.45	5	930
9	1.96	5	2850
10	1.47	5	4500
11	0.98	5	21000
12	1.47	5	4500
13	1.96	5	2850
14	2.45	5	930

15°의 구배로 요동주파수 2.5 Hz로 설정하고 ± 1.57 kN의 횡 하중을 12 Hz로 10<sup>6</sup>회 작용시켜 축 및 횡 유격량을 측정하였다.

스태빌라이저 본체와 로드와 내구성을 평가하기 위한 피로시험은 1축 피로 시험기를 이용하여 정현파, 반복주파수 10 Hz, 반복 하중 ± 2.55 kN의 응력비 R = -1로 실시하였다. 또한, 비교하기 위하여 ± 2.94 kN 및 블록 하중에 대하여 응력비 R = -1의 피로시험을 실시하였다. Fig. 4에 3종류의 피로시험 하중을 나타내며, Table 2에 1 cycle에 대한 블록 하중을 나타낸다. 이 때, 본체와 로드와 결합된 부분에 대한 변위량을 측정하기 위하여 광섬유 센서를 장착하여 외부 빛을 차단하여 실험을 진행하였다. 특히 본 연구에서 적용한 광섬유 변위량 측정 기술은 헤테로 코어형 광섬유 센싱 시스템 기술을 사용하였다. 즉 Fig. 5와 같이 서로 다른 크기의 광파이버를 융착시킨 광섬유에 빛이 통과할 때, 융착된 부분의 벤딩 정도에 따라 누설되는 광전달 손실량이 달라짐을 이용하여 변위량을 측정하는 기술로서 코어 부분에 부하가 없어 내구성이 우수하다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장강도

링크 본체와 4가지 형태의 금속 로드와의 결합 상태를 파악하기 위하여, 각 시험편 당 30개씩 인장 시험을 행하였다. 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이것은 4가지 로드형상에 따른 인장강도의 평균치를 나타낸 것이다. Fig. 6으로부터 알 수 있듯이 널

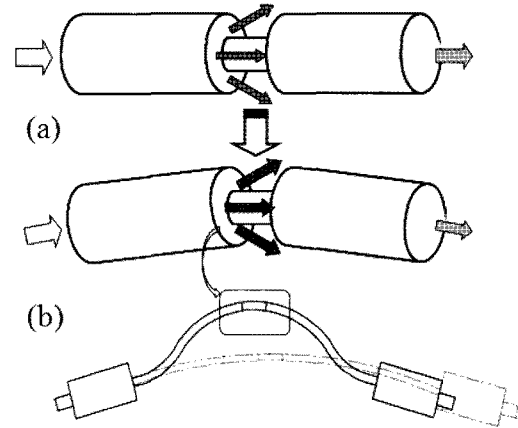


Fig. 5 (a) Structure of hetero-core sensor and (b) a conversion structure for linear displacement to macro bending

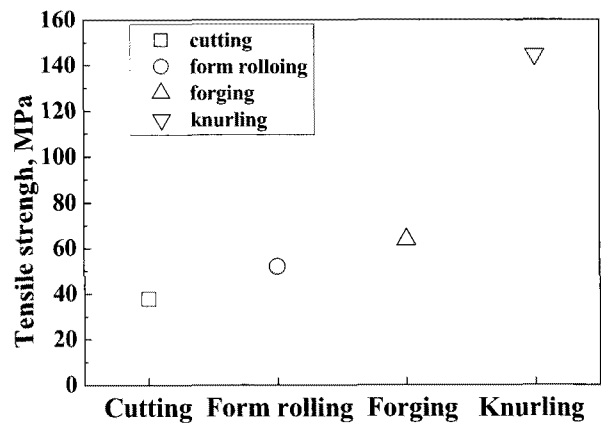


Fig. 6 Relationship of between tensile strength and four types of rod

링한 로드의 인장응력이 가장 높게 나타났다. 이것은 금속 로드부를 경사지게 가공하므로서 접착부가 미끄러지지 않도록 가공되었기 때문이다.

사출성형 해석 결과, 충전 후 냉각시간의 차이가 인장강도에 영향을 미칠 것으로 판단하여, Fig. 7은 충전 후 냉각시간에 따른 링크 본체의 냉각체적을 비교 검토한 것이다. 결과적으로 적어도 90%의 고화가 진행된 상태에서 취출한다고 하였을 때, 적어도 80 sec일 때 취출하여야 적절한 냉각체적을 유지할 것으로 판단된다.

따라서, 가장 양호한 널링된 로드를 인서트로 하고 링크 본체의 냉각시간을 각각 20, 40, 80 sec로 냉각시켜 링크 본체의 사출성형 시의 건조정도를 달리하여 인장시험을 실시하였다. 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 평균 170.8 MPa을 나타내어 목표인 160 MPa을 초과하여 인장강도를 만족하는 것으로 판단된다. 이때 링크 본체의 냉각시간을 달리한 이

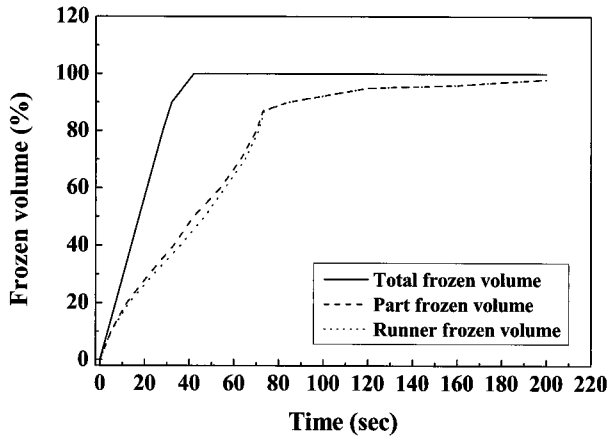


Fig. 7 Frozen volume versus time

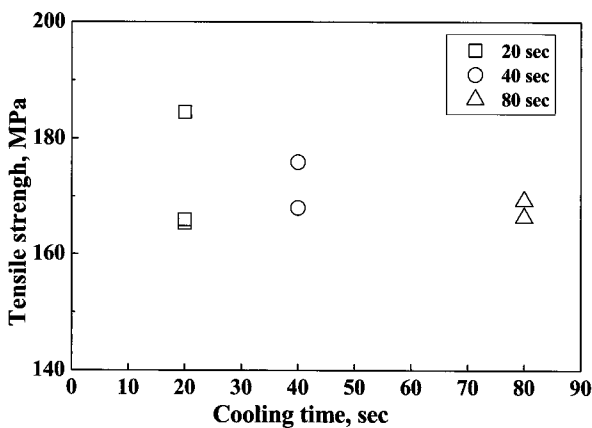


Fig. 8 Relationship of between tensile strength and cooling time at knurling

유는 복합소재의 사출성형 시의 건조를 위한 냉각 시간을 달리했을 때 링크 본체의 사출성형강도가 인장력에 어떤 영향을 받는지를 평가하기 위한 것이었다. 시험결과 링크 본체의 사출성형 냉각시간은 인장강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

### 3.2 유격

복합소재로 제작된 링크 본체에 대하여 요동을 일정한 횟수만큼 진행시켜 볼 스테드와의 유격을 측정하였다. 유격은 부품에 마모가 발생하였을 경우 발생하는 것으로서 여기서는 축 방향과 횡 방향의 유격을 측정하였다. 유격측정은 마모시험 후에 본체 부분을 고정시킨 뒤 볼 스테드를 옆으로 밀어 측정을 하였다. 볼 조인트가 볼 스테드에서 전달되는 요동 혹은 회전력을 받았을 때 링크 본체에 대하여 마모 혹은 균열 등이 발생한다면 유격이 생기는 것이다. 축 및 횡 유격은 0.1 mm 이하를 평가기준으로 하였다. 그 결과를 Table 3에 나타낸다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 축 방향 유격은 평균 0.02 mm를

Table 3 Gap of both direction by wear test

	Axial gap (mm)	Transverse gap (mm)
Avg.	0.02	0.13

Table 4 Fatigue life of rolling and forging

classification	Cycles	Remarks
DI forging	198,464	damage of B
TO rolling	202,239	
DI forging	55,349	damage of B
TO rolling	474,331	
DI forging	22,110	pull-out of rod end
TO rolling	144,747	damage of B
DI forging	582	pull-out of rod end
TO rolling	24,368	damage of B

DI : Rod forging + grease IN injection product

TO : grease injection product after injection

나타내어 평가기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, 횡 유격은 0.13 mm로서 평가기준보다 약간 크다. 이와 같이 횡 유격량이 많이 나타나는 이유는 스테빌라이저는 외부로부터 요동하중을 받으면, 즉 볼 스테드가 볼 조인트 내부에서 360° 회전 가능한 상태로 있게 되는데 이때 충격하중을 완충시키는 역할을 하는 것이다. 따라서 축 방향 유격보다는 대부분 횡 방향의 유격, 즉 횡 방향의 마모량이 증가하는 것으로 판단된다. 횡 유격에 대하여 금후 본체에 사용되는 소재 등을 검토할 필요가 있다고 판단된다.

### 3.3 내구성 평가

전조 및 단조 로드를 적용한 본체와 로드부의 피로시험 결과를 Table 4에 나타낸다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 전반적으로 피로내구성이 낮은 것을 알 수 있다. 전조 가공한 로드를 인서트 한 시험편이 단조 가공한 로드를 인서트 한 시험편보다도 수명이 더 길었는데, 단조의 경우에는 볼 스테드 빠짐이 발생하여 상대적으로 수명이 짧았다. 전체적으로는 주로 볼 조인트(Bolt joint)의 파손과 로드(rod) 끝부분의 빠짐의 형태로 손상이 발생하였다.

Fig. 9는 단조 가공한 로드 및 전조 가공한 로드를 인서트 한 경우의 볼 조인트의 파손과 로드 끝부분의 빠짐의 대표적인 일례를 보여주고 있다.

링크 본체와 널링된 로드와 연결한 총 11개의 시험편에 대하여 반복 하중 ± 2.55 kN의 피로시험 결

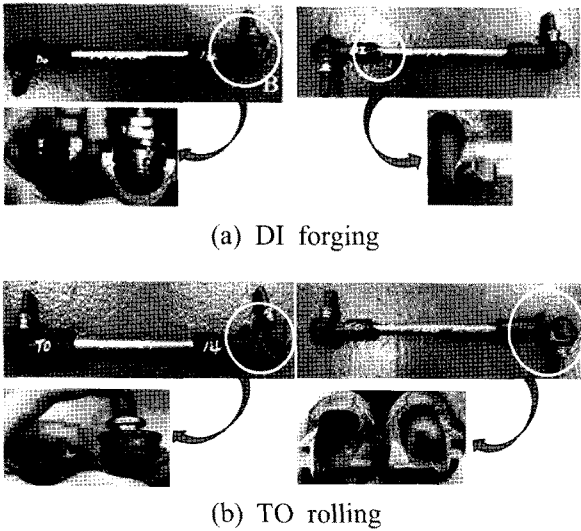


Fig. 9 Typical example of pull out of rod end and damage of ball joint

과를 Fig. 10에 나타내었다. 피로 수명은 분산이 많으나 최대 874,000 cycle에서 복합소재로 제작된 링크 본체가 아닌 볼 스테드에서 최종 파단이 발생하였다. 또한 비교하기 위한  $\pm 2.94$  kN의 과하중에서 피로 수명은 213,000 cycle 및 260,000 cycle로  $\pm 2.55$  kN 피로 하중에 비하여 상당히 짧은 피로 수명을 나타내었음에도 불구하고, 볼 스테드에서 파괴가 발생하였다. 블록 하중에 대한 피로 수명은 815,000 cycle로  $\pm 2.55$  kN 피로 하중에 의한 피로 수명과 유사하게 나타났다. 이것은 블록 하중에서는 과대하중에 의하여 형성된 소성역에 작은 하중이 작용하면 아무런 손상을 줄 수 없기 때문에, 궁극적으로 과대 하중에 의하여 피로 수명이 결정되기 때문이다.

3종류의 피로 하중에서 링크 본체와 널링부의 연

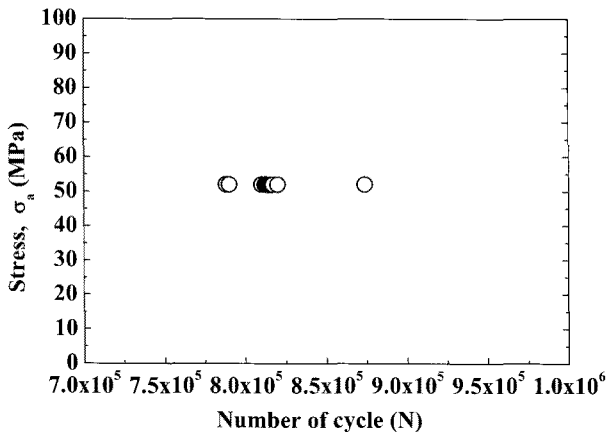
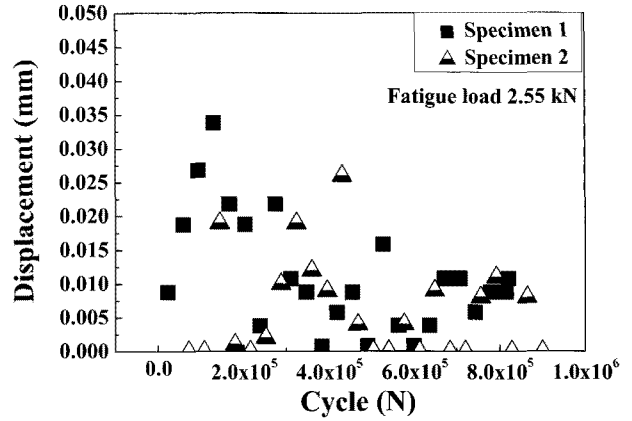
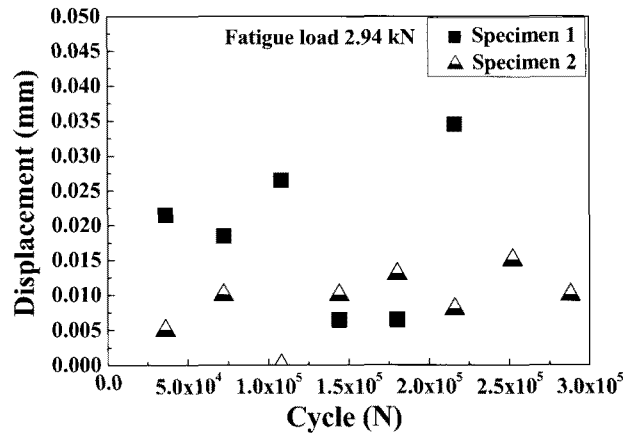


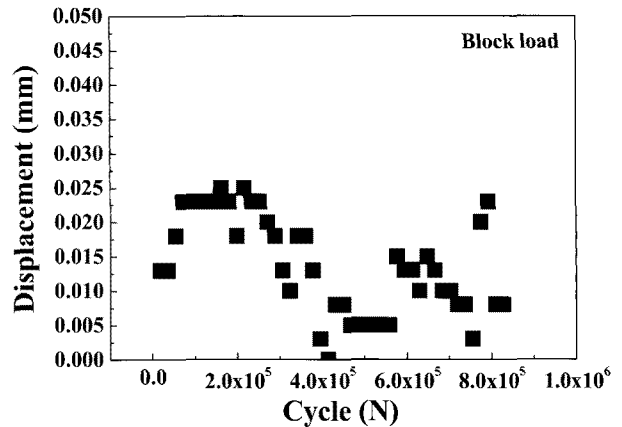
Fig. 10 Fatigue life of knurling rod specimen



(a) Displacement vs cycle from load  $\pm 2.55$  kN



(b) Displacement vs cycle from load  $\pm 2.94$  kN



(c) Displacement vs cycle from block load

Fig. 11 Relationship between displacement and cycle from various load

결부가 파손되지 않아 복합소재 링크 본체 연결부는 강도가 향상되었음을 알 수 있었다. 따라서 링크 본체의 연결부 형상설계가 양호한 것으로 판단되며, 제품 자체에는 큰 이상이 없는 것으로 판단된다.

널링 시험편을 사용하여 실시한 피로시험에서 본체와 널링의 연결부 변위량은 광섬유 센서를 사용

하여 측정하였다. 그 결과를 Fig. 11 (a), (b) 및 (c)에 나타낸다. (a)는  $\pm 2.55$  kN에서 얻어진 반복수에 대한 변위량의 변화이다. 2개의 시험편에서 얻어진 최대 변위량은 시험편1 은 약 0.034 mm, 시험편2는 약 0.026 mm로 나타났다. (b)는 과하중  $\pm 2.94$  kN에서 얻어진 변위량이다. 큰 하중이 작용하였지만, 최대 변위량은 0.034 mm와 0.015 mm로 (a)의 결과와 큰 차이를 나타내지 않았다. 한편 블록하중인 (c)의 결과는 최대 변위량 0.025 mm로 나타났다. 이것은 Table 1에서 POM + GF25%의 연신율이 3%이므로 인장에서 최대 변위량이 0.15 mm이다. 따라서 피로 시험에서 얻어진 널링부의 변위량은 POM + GF25% 변위량의 23 ~ 10 %이하를 나타낸다. 따라서 널링된 스테빌라이저 링크는 표준 평가 피로 하중에서 충분한 안전성이 확보되었다고 판단된다.

Fig. 12는 광섬유 센서를 사용하여 안전성을 평가할 때 얻어진 시험편의 파단외관을 나타낸다. 3종류의 피로 하중에서 실시한 널링 시험편은 모두 본체 부분에서 파괴가 발생하였다. 이것으로 부터 널링 시험편의 연결부 강도는 충분하며, 안전성이 확보되었다고 판단된다.

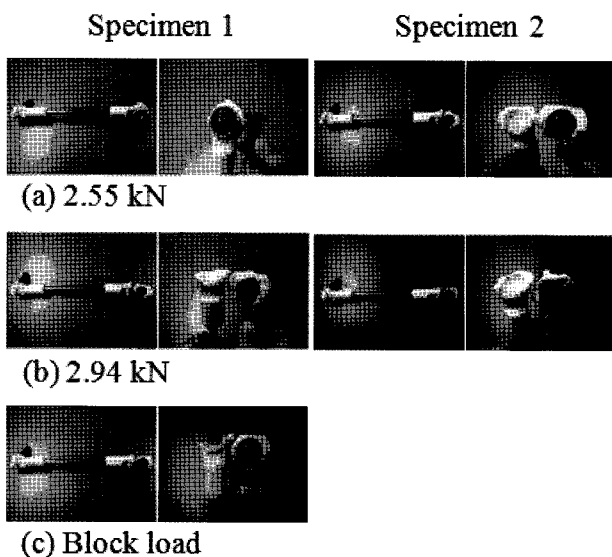


Fig. 12 Fracture appearance from fatigue test

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 부품의 경량화를 위하여 스테빌라이저 링크의 본체를 복합재료로 대체하여 금속부분인 로드와의 결합부에 대한 기계적 특성

및 광섬유 센서를 사용하여 결합부의 내구성을 평가하였다.

(1) 링크 본체와 연결하기 위한 금속 로드의 끝단은 널링한 것이 인장응력이 가장 높게 나타났으며, 링크 본체의 사출성형 냉각시간은 인장강도에 큰 영향을 주지 않았다.

(2) 볼 스테드에서 전달되는 요동 혹은 회전력을 받아 링크 본체에 마모 혹은 균열 등에 의하여 발생하는 유격은 축 방향은 평균 0.02 mm, 횡 방향은 0.13 mm로 나타났다.

(3) 3종류의 하중에 의한 피로 시험에서 본체와 널링로드의 연결부는 우수한 피로강도를 나타내었으며, 광섬유 센서에 의한 변위량은 POM+GF25% 변위량의 23 ~ 10 %이하를 나타내었다. 따라서 널링된 스테빌라이저 링크는 피로 하중에서 충분한 안전성이 확보되었다고 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다.

#### 참고문헌

1. H. Adams, 1992, "Chassis Engineering",
2. S. W. Lim, 2008, Advanced Technology for Lightweight Automobile", Journal of the Korean Society for Heat Treatment, Vol. 21, No. 3, pp. 164~170.
3. S. W. Choi, 2008, "Trend of Lightweight Automobile", Korea Automotive Research Institute.
4. C. Fremgen, L. Mkrtchyan, U. Huber and M> Maier, 2005, "Modeling and Testing of Energy Absorbing Lightweight Materials and Structures for Automotive Applications", Science and Technology of Advanced Materials, Vol. pp. 883~888.
5. S. C. Wang, X. Cui and L. Zhang., 2008, "Lightweight Automotive Doors Design Including Material and Manufacturing Process Selection", Inter. J. Manufacturing Technology and Management, Vol. 14, No. 1-2, pp. 118~129.
6. P. Zhu, Y. Zhang. and G. L. Chen., 2009,

- "Metamodel-based Lightweight Design of an Automotive Front-body Structure using Robust Optimization", *Journal of Automobile Engineering*, Vol. 223, pp. 1133~1147.
7. E S Palma, E. S. and Santos, dos E. S., 2002, "Fatigue Damage Analysis in an Automobile Stabilizer bar", *Journal of Automobile Engineering*, Vol. 216, pp. 865~871.
  8. H. J. Kim, 2007, "Trend and Prediction of Automobile Suspension in USA", KOTRA Report.
  9. S. M. Ageev and G. G. Proskunov, 1977, "Testing Automobile Weighing Machines", *Measurement Techniques*, Vol. 20, No. 2, pp. 298~299.
  10. S. K. Lee, B. S. Kim, 1996, "Composite applications to automobiles", *Auto Journal*, Vol. 18, No. 5, pp. 96~120.
  11. S. K. Lee, 1997, "Compisite of Vehicle Parts ", *Journal of the KSME*, Vol. 39, No. 2, pp. 91~100.
  12. J. W. Lee, 2007, "Polymer Compisite of Vehicle Parts ", *Korea Institute of Science and Technology Information*.
  13. D. G. Lee, 2006, "Design and Manufacturing of Composite Automotive Parts", *Auto Journal*, Vol. 29, No. 1, pp. 27~33.