



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

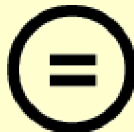
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학박사 학위논문

복합소재 스테빌라이저 링크의 개발에 관한 연구



학연협동 기계공학과

우 영 만

공학박사 학위논문

복합소재 스테빌라이저 링크의 개발에 관한 연구

지도교수 남 기 우

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함



2012년 2월

부경대학교 대학원

기계공학학연합동

우 영 만

우영만의 공학박사 학위논문을 인준함

2011년 12월



주심 공학박사 문창권 (인)

위원 공학박사 김진욱 (인)

위원 공학박사 성기용 (인)

위원 공학박사 안병현 (인)

위원 공학박사 남기우 (인)

목 차

Abstract

제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경	3
1.2 연구 개요	4
1.3 사출의 개요	4
1.3.1 사출성형기의 선정	
1.3.2 사출	4
1.3.3 노즐구조	5
1.3.4 예비건조	5
1.3.5 실린더 온도	6
1.3.6 체류에 의한 변색	6
1.3.7 금형온도	7
1.3.8 사출압력	7
1.3.9 사출속도	8
1.3.10 스크류 회전수와 배압	9
1.3.11 사출 보압시간	9
1.3.12 냉각시간	10
1.3.13 몰드 디포지트 대책	10
1.4 논문의 구성	15
참고문헌	

제 2 장 지그 제작과 기계적 특성 평가

2.1 서언	20
2.2 하중장치의 설계와 해석	22
2.3 시험편 및 시험방법	26
2.4 결과 및 고찰	27
2.4.1 인장시험	27
2.4.2 압축시험	34
2.4.3 피로시험	39
2.4.4 유한요소해석	46
2.4.4.1 인장하중 10.5 kN 작용	46
2.4.4.2 압축하중 10.5 kN 작용	47
2.4.4.3 피로하중 진폭 ± 2.5 kN 작용	48
2.5 결 언	57
참고문헌	

제 3 장 로드의 형태에 따르는 복합재료 본체와의 기계적 특성

3.1 서 언	61
3.2 해석 및 실험방법	62
3.2.1 재료 및 시험편	62
3.2.2 사출성형 조건	64
3.2.3 사출성형 해석	65

3.2.4 실험방법	66
3.3 결과 및 고찰	69
3.3.1 성형해석	69
3.3.2 불 스퍼드 빠짐 하중	76
3.3.3 인장강도	76
3.3.4 압축강도	79
3.3.5 유격측정	81
3.3.6 피로수명	83
3.5 결 언	86
참고문헌	

제 4 장 피로 하중을 받는 연결부의 광센서에 의한 성능 평가

4.1 서 론	91
4.2 재료 및 실험방법	92
4.2.1 재료 및 시험편	92
4.2.2 사출성형 조건	94
4.2.3 실험방법	95
4.3 결과 및 고찰	100
4.3.1 인장강도	100
4.3.2 유격	104
4.3.3 내구성 평가	105
4.4 결 언	113
참고문헌	

제 5 장 결론	116
----------------	-----

감사의 글



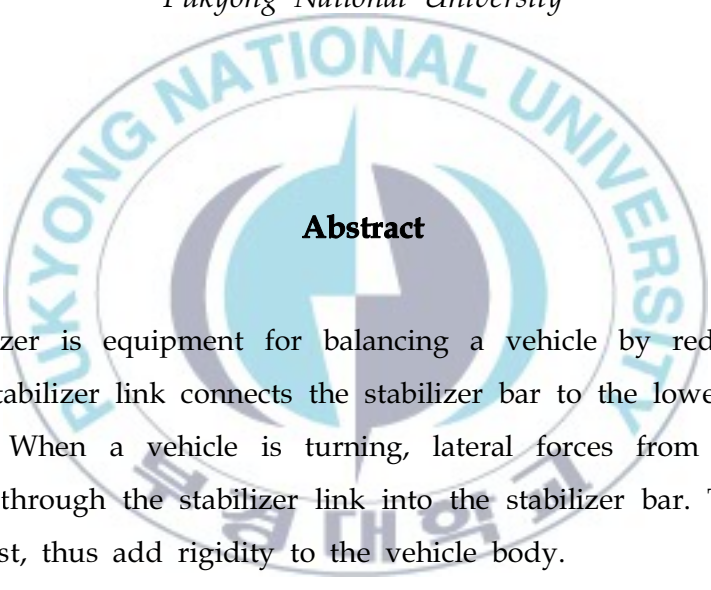
A Study on development of Stabilizer Link of Composite Material

Young Man Woo

Department of UR Interdisciplinary Program of Mechanical Engineering

Graduate School

Pukyong National University



Abstract

A stabilizer is equipment for balancing a vehicle by reducing severe rolling. 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 add rigidity to the vehicle body.

The stabilizer link was manufactured from metal and composite material of POM and 25% of glass fiber. Tensile strength, compressive strength, wear, fatigue and ball stud separation of the stabilizer link was evaluated and these properties satisfied the standard criteria. Among four types of rod, knurled rod showed the highest strength. We improved the shape of stabilizer link body by reanalysis of injection molding. In analyzing materials property using optical sensing technique of stabilizer link for automobile parts, its has been identified the safety.

第 1 章



1.1 연구 배경

스태빌라이저는 선박·자동차·비행기 등에서 과도한 동요를 피해 자세를 안정시키는 장치를 말하며 선박에서는 안정기라고도 한다. 특히 좌·우의 차륜이 독립적으로 상·하운동할 수 있는 독립현가식의 자동차에서는 노면이 울퉁불퉁한 도로를 주행할 때, 또는 고속으로 커브를 돌 때 차체에 가로 흔들림(rolling)이 발생한다. 이것을 방지하기 위해 좌우의 현가장치를 1개의 비틀림 막대로 연결하여 한쪽 차륜만이 크게 상하운동을 하면 비틀림 막대의 스프링작용으로 민첩하게 원래의 위치로 되돌려 차체의 가로 흔들림을 감소시키는 역할을 하는 것이 스태빌라이저이다[1].

자동차 부품의 기술 개발 및 발전은 자동차의 변화를 선도하는 원동력이다. 수많은 부품들로 이루어진 자동차의 중요한 기술 중 하나가 연비향상이다. 연비를 향상시키는 많은 방법들 중 자동차를 이루고 있는 부품들의 경량화는 연비향상과 안전성을 위하여 꾸준히 개발되고 있는 실정이다. 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[2,3]. 그러므로 연비향상 및 안정성강화의 문제를 극복하기 위한 대안으로서 많이 사용되는 것 중 하나가 복합재료이다[4-8]. 최근의 동향은 복합재료의 사용이 늘어나는 추세이며, 복합재료의 이음매의 강도를 강화시키는 것이

복합재료의 설계 및 적용에서 중요한 연구 분야의 하나이다. 복합재료의 사용이 늘어나면서 복합재료 이음매의 강도를 강화시키는 것이 복합재료의 설계 및 적용에서 중요하다[9-18].

본 연구에서와 같이 유리섬유가 함유된 수지를 금속재 인서트형식으로 사용하여 사출성형을 할 때 금속부분과 결합되는 복합재료의 성형부위의 강도 향상이 필요하다. 이에 따라 유리섬유가 함유된 사출성형품이 고유의 특성을 나타낼 수 있도록 하기 위해서는 먼저 복합재료와 금속재간의 이음매 부분의 강도강화가 선행되어야 한다[19,20]. 이음매 부분의 형상에 따라 강도시험을 실시할 때, 복합재료 부분 혹은 이음매 부분이 파괴될 수가 있다. 그러므로 제품의 성능을 높이기 위해서는 이음매 부분의 강도가 복합재료 부분보다 높아야 복합재의 설계가 가능해진다[9-18, 21].

1.2 연구 개요

자동차 현가장치에 사용되는 컨트롤링크는 타이어로부터 전해오는 진동을 감쇄하고 회전 시 바깥쪽 바퀴로의 힘의 이동으로 인한 차체의 기울어짐을 방지하는 역할을 한다. 현가장치를 Fig. 1.1에 나타낸다. 스테빌라이저 바와 컨트롤링크의 기능을 살펴보면, 스테빌라이저 바는 지면에서 바퀴로 충격이 있을 때, 컨트롤암의 상하움직임에 대한 반대 방향의 힘을 발생시켜 컨트롤 암 및 쇼크 업소버(shock absorber)의 상하진동을 제어하는 역할을 한다. 즉, 한쪽 바퀴의 진동을 받은 힘을 컨트롤 암을 통해 상대편 컨트롤 암으로 전달함으로써, 차체의 흔들림을 감소시키면서 안정시키는 기능을 하는 것이다. 스테빌라이저 바는 고무부시등으로 고정된 부분이 있기 때문에 양쪽바퀴의 평형이 달라질 때, 컨트롤 암의 상하진동이 달라지므로 그 에너지를 스테빌라이저 바는 비틀림 에너지로 저장하게 된다.

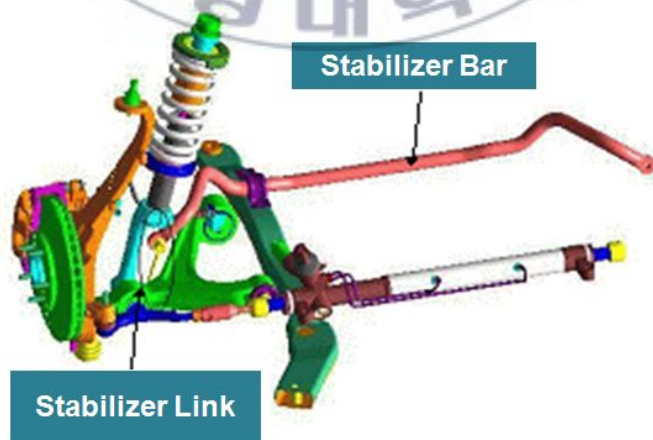


Fig. 1.1 Suspension system

컨트롤링크는 스테빌라이저 바와 컨트롤 암을 연결하는 장치로써, 스테빌라이저 바를 직접 컨트롤 암에 연결하는 것보다 훨씬 많은 장점을 지니게 된다. 컨트롤 링크는 컨트롤 암에 부착되어 차체를 지지하는 볼조인트에 비해서 컨트롤 암의 상하 움직임이 없을 때는 힘이 작용하지 않는 볼조인트로써, 작동 및 요동 각을 가지고 있기 때문에, 정렬(alignment)이 쉽고 조향 제어력을 높일 수 있으며, 안전성을 높인다. 또한 타이어의 수명을 높이고 조향력을 감소시키는 효과를 발생시키고, 승차감을 향상시키며, 윤활 작용을 좋게 한다. 현가장치의 역할을 도식적으로 Fig. 1.2에 나타낸다.



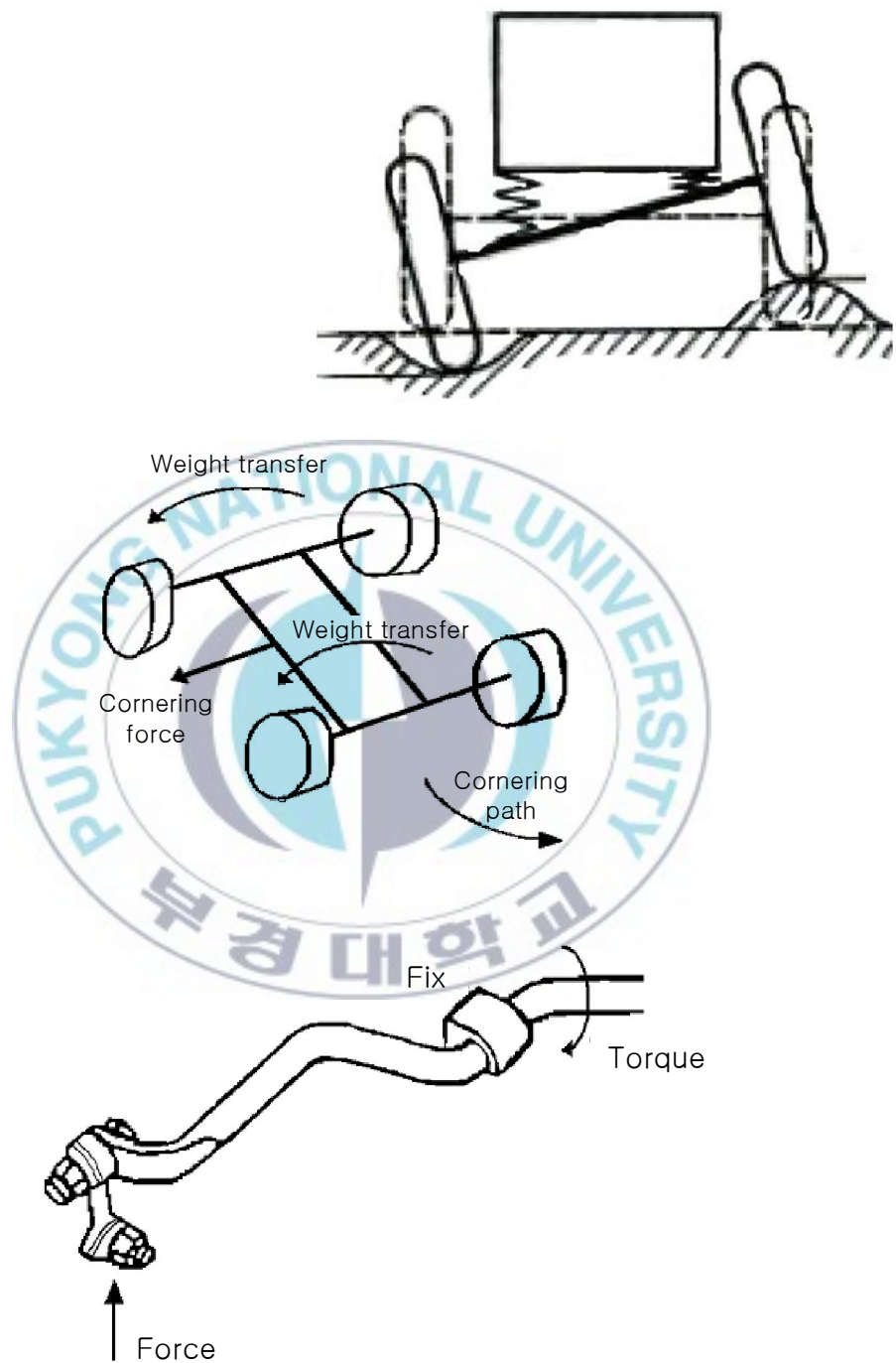


Fig. 1.2 Role of suspension system

이러한 컨트롤링크는 처음에는 대부분 금속으로 만들어지던 것이 현재는 복합재료를 이용한 제품들이 개발되고 있다. 이러한 변화는 금속 제품의 경우 조립공정이 많고 제품의 경량화가 이루어지기가 힘들기 때문에 생산성을 높이고 경량화를 실현할 수 있는 소재를 이용하여 컨트롤링크를 개발하려고 한다. 그러나 선진국에서도 복합재료를 이용한 컨트롤링크 제품을 개발하는데 많은 어려움을 가지고 있으며 특히 인서트 몰딩을 이용한 제품개발의 경우 토-크가 높아지는 단점을 지니고 있어 개발에 많은 애로점을 지니고 있다.



1.3 사출의 개요

1.3.1 사출성형기의 선정

POM의 성형에는 일반적으로 판매하는 사출성형기를 사용할 수 있다. 성형기를 선정할 경우에는 성형품의 1 쇼트의 사출량과 투영 면적으로부터 성형기의 크기를 결정하는 것이 필요하다. 즉 다음의 두 가지 점을 기준으로 선정한다.

- 1 쇼트의 사출량 = 사출 용량 $\times$ 20 ~ 80 %(가능하면 30 ~ 50 %)
- 형체력 = 성형품의 투영 면적 $\times$ 49 ~ 69 MPa(500 ~ 700 kgf/cm²)

1.3.2 가소화

스크류 구조로서는 수지 온도 분포가 가능한 좁아지는 혼연이 좋은 것이 바람직하지만, POM의 경우는 주로 범용 스크류가 사용되어 일반적으로는 스크류 구조까지 지정할 필요는 없다.

스크류 구조에서 가장 중요한 것 중의 하나로 「역류 방지변」이 있다. 이것은 보압공정 중에 용해 수지가 호퍼 측에 역류하는 것을 막아 캐비티에 충분히 압력을 가하기 위한 것이다. 수지의 역류는 기포, 치수 격차, 강도 저하 등의 원인이 되기 때문에 주의가 필요하다.

1.3.3 사출

사출기구에서 문제가 되는 것으로 사출율과 사출 속도의 패턴 컨트롤이 있다.

성형품의 두께가 얇을 때나 얇은 런너로 많은 수량을 취출하는 경우에는 사출율이 큰 성형기가 필요하게 되는 일이 있지만 모든 경우에 필요한 것은 아니다.

성형품의 형상에 의해 최적의 사출 속도가 정해진다. 예를 들면 플로우 마크 대책을 위해서는 게이트를 통과할 때의 속도는 늦게 하는 편이 좋은 결과를 얻을 수 있다.

1.3.4 노즐 구조

노즐에는 오픈 타입과 밸브 타입이 있다. POM은 일반적으로 오픈 타입 노즐로 문제 없이 성형할 수 있다. 오픈 타입 노즐에서는, 때로 수지의 흐름 현상이 문제화되는데, 역테이퍼 노즐이나 밸브 타입 노즐을 사용하는 것으로 방지할 수 있다. 밸브 타입 노즐에는 여러 가지의 형식이 있는데, 사출 시에 실린더 내에서 발생하는 수지 압력으로 밸브가 열리는 기구라면 문제 없다.

1.3.5 예비 건조

POM은 흡수율이 작고 방습을 고려한 포장을 하고 있다. 성형 전에

는 예비 건조를 해야 한다. 성형시의 펠렛의 흡습율은 0.1%이하가 기준이다.

- 표준 : $80 \sim 90^{\circ}\text{C} \times 3 \sim 4\text{시간}$
- 몰드 디포지트가 문제시 될 때 : $100 \sim 120^{\circ}\text{C} \times 3 \sim 4\text{시간}$
- 선반식 건조기를 사용할 때 : 펠렛 두께는 25 mm이하로 한다.
- 호퍼 드라이어를 사용할 때 : 펠렛의 온도가 추천 온도가 되도록 열풍 온도·풍량을 조절하고 호퍼 내 체류시간이 3~4시간보다 짧아서는 안된다.

1.3.6 실린더 온도

POM의 융점은 약 165°C 이지만, 실제로 성형을 할 경우의 수지 온도는 $190 \sim 210^{\circ}\text{C}$ (가능하면 $200 \sim 210^{\circ}\text{C}$)가 적당하다. 수지 온도는 일반적으로 실린더 설정 온도보다 $10 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 정도 높아진다.

- 후부(호퍼측) : $150 \sim 170^{\circ}\text{C}$
- 중부 : $170 \sim 190^{\circ}\text{C}$
- 앞부분 : $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$
- 노즐 : $190 \sim 210^{\circ}\text{C}$

또, 수지 온도가 부적정인 경우에는 다음과 같은 문제가 있다.

- 수지 온도가 너무 높을 때 : 재료의 분해, 변색 등

- 수지 온도가 너무 낮을 때 : 가소화가 안된 물질의 혼입 등

1.3.7 체류에 의한 변색

성형품의 변색은 수지 온도와 실린더 내 체류 시간 때문에 발생한다. 각종 그레이드에 따라 약간의 차이는 있지만, 허용 체류 시간은 물성 저하보다 변색의 여하로 결정된다.

1.3.8 금형 온도

POM을 성형할 때의 표준적인 금형 온도는 60 ~ 80 °C이다. 성형품의 물성, 표면 상태, 사용중에 있어서의 치수 변화, 성형 사이클등의 요구 품질에 따라 금형 온도를 설정해야 한다. 예를 들면, 성형품의 사용 온도가 높은 경우에는 치수 변화를 일으키지 않기 때문에 금형 온도를 사용 온도보다 높게 하는 어닐링 처리를 할 필요가 있다.

또, 경면성이 필요한 경우는 약 120 °C정도가 높은 금형 온도로 성형하는 경우가 있다. 성형 사이클을 단축하기 위해서 30 ~ 40 °C에서 하는 저온 금형 온도를 설정하는 경우도 있는데, 그 때는 다음을 주의할 필요가 있다.

- 잔류 응력이 남기 쉽다.
- 외관은 내기 힘들다.
- 사용 온도가 높은 경우는, 후 수축이 일어난다.

- MD가 부착하기 쉬워진다.
- short shot를 일으키기 쉽다.

더불어 휨 변형을 방지하는데 있어서는, 금형 온도 분포의 균일화도 고려할 필요가 있다.

1.3.9 사출 압력

POM의 일반적인 사출 압력은 다음과 같다, 사출 압력은 유동성, 수축율, 성형품의 물성등의 영향을 고려해 결정할 필요가 있어, 주로 성형품의 외관, 치수를 보면서 결정한다.

사출압력의 설정에 사출압력 98 MPa(1,000 kgf/cm²) 이상 보압력 49 ~ 98 MPa(500 ~ 1,000 kgf/cm²) 사출 공정으로부터 보압 공정에의 변환점 : 캐비티의 80~90 %가 충전된 시점에 사출 압력과 보압력의 구별을 상기의 사출 압력 설정의 예와 같게 하지 않고, 사출 압력이 부적정인 경우에는 다음과 같은 문제가 일어날 가능성이 있다.

- 사출 압력이 너무 높을 때 : 바리의 발생 등
- 사출 압력이 너무 낮을 때 : short shot, sink marks, wrinkles, 기포 등

1.3.10 사출 속도

일반적으로, 사출 속도는 5 ~ 50 mm/s(0.3 ~ 3 m/min)로 하지만,

사출 속도는 성형 인품과 용모장, 두께, 요구 품질, 런너의 굵기, 게이트 사이즈 등을 고려해 결정할 필요가 있다.

- 빠른 것이 좋은 경우 : 얇은 살색 성형품이나 다수 캐비티로 치수 정도가 어려운 것
- 늦은 것이 좋은 경우 : 두꺼운 성형품으로 보이드가 문제가 될 때 나 플로우 마크가 문제로 여겨지는 것

또, 사출 속도가 부적절한 경우에는 다음과 같은 문제가 일어날 가능성이 있습니다.

- 사출 속도가 너무 빠를 때 : 제팅, 플로우 마크, 발리, 탄화발생 등
- 사출 속도가 너무 늦을 때 : short shot, wrinkles 등

1.3.11 스크류 회전수와 배압

용해 수지의 온도 격차에 관해서는, 스크류 회전수는 늦고, 배압은 높게 하는 것이 이상적이지만, 생산성도 고려하면 다음과 같은 설정이 일반적이다.

스크류 회전수와 배압의 설정 예

- 스크류 회전수 : 100 ~ 150 rpm
- 배압(게이지압) : 0.5 ~ 1.0 MPa (5 ~ 10 kgf/cm²)

배압이 너무 낮은 경우는, 에어가 말려들어 계량 불안정이 되고, 너무 높은 경우는 노즐로부터의 수지 흐름의 발생, 가소화 시간이 연장되기 때문에, 주의가 필요하다.

1.3.12 사출 보압시간

사출 시간과 보압 시간은, 그 합계가 게이트 썰 시간 보다 약간 긴 값이 되도록 설정한다. 여기서 말하는 게이트 썰 시간은 성형품의 중량이 일정화 되는 최단 시간을 나타낸다. 사출 보압 시간이 게이트 썰 시간보다 짧은 경우에는 다음과 같은 문제가 일어날 가능성이 있다.

- 성형 수축율이 커진다.
- 치수 불규칙해진다.
- 보이드, sink marks가 발생한다.
- 변형이 커진다.

1.3.13 냉각 시간

일반적으로 안정된 성형품을 얻기 위해서는, 보압 시간을 게이트 썰 시간보다 길게 하는 것이 바람직하다. 냉각 시간은 가소화 시간과 더불어 성형품의 보압 시간과 냉각 시간을 고려해 결정하는 것을 추천한다. 또한 성형품 두께가 두꺼울 때, 홀쭉한 코어와 같이 축열 부분이 있을

때, 변형이 문제가 될 때 등의 경우에는, 보다 긴 냉각 시간을 필요로 하는 경우도 있다.

1.3.14 몰드 디포지트 대책

POM을 장시간에 걸쳐서 성형하면, 성형품 표면에 벌레 먹은 듯한 모양이 나오거나 치수 공차의 벌어짐이나 이형불량이 나타나는 경우가 있다. 이것을 몰드 디포지트라고 하는데, 몰드 디포지트 발생의 억제 혹은 부착을 막기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

- 재료의 예비 건조 온도를 올려 (통상 60 ~ 80 °C이지만, 100 ~ 120 °C으로 한다), pellet중에 잔존하고 있는 수분, 포르말린을 제거한다 (도전 그레이드 등 특수 그레이드는 제외).
- 수지 온도는 190 ~ 210 °C이 일반적이지만, 이 범위에서 낮은 설정을 실시, 가스의 발생을 억제한다.
- 실린더 내 체류 시간이 길어지지 않도록, 성형기의 용량과 1 쇼트 중량과의 밸런스를 고려한다.
- 저온 금형은 디포지트가 부착하기 쉽기 때문에, 금형 온도는 높여 (60 °C 이상)로 설정한다.
- 금형에 가스벤트를 붙이는 것은 매우 효과가 있지만, 런너에도 가스벤트를 마련한다.

1.4 논문의 구성

제1장에서는 필요성과 사출의 개요에 대하여 설명하였다.

제2장에서는 복합재료 볼 시트의 신뢰성을 확보하고자, 실기 상태와 같은 지그를 제작하기 위하여 해석과 실험을 실시하였다. 인장, 압축 및 피로 실험을 실시하여 제작된 지그의 신뢰성을 확보하고, 볼 시트의 개발에 기여하고자 하였다.

제3장에서는 차동차 부품의 경량화와 안전성 향상을 도모하기 위하여 금속제품인 스테빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하여 성형부위의 기계적 특성에 대하여 연구하였다.

제4장에서는 자동차 부품의 경량화를 도모하기 위하여 금속제품인 스테빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하기 위한 기술, 특히 본체에 유리섬유가 함유된 POM+GF 25% 수지를 금속재 인서트 형식으로 사용하여 사출 성형을 할 때, 금속부분인 로드(rod)와 결합되는 복합재료의 성형부위에 대한 기계적 특성에 관하여 연구하였으며, 결합부의 내구성 평가에 광섬유 센서를 사용하여 변위량을 측정하였다.

제5장에서는 결론을 요약하였다.

참고문헌

- (1) 양성모, 조상희, 이현주, "전륜 스테빌라이저 바의 구조해석 및 설계 검증", 한국자동차공학회 2003년도 추계학술대회논문집, pp. 1342~1348, 2003.
- (2) 이영재, 김강출, 표영덕, "운전조건이 하이브리드 자동차 연비에 미치는 영향 연구", 한국자동차공학회지, 제 13권, 제 3호, pp. 35~40, 2005.
- (3) 임석원, "자동차 경량화를 위한 신기술", 열처리공학회지, 제 21권, 제 3호, pp. 162~170, 1995.
- (4) 이대길, "복합재료 자동차 부품의 제조방법", 오토저널, 제 29권, 제 1호, pp. 27~33, 2006.
- (5) 이상관, "자동차용 복합재료", 기계저널, 제 39권, 제 2호, pp. 91~100, 1997.
- (6) 이상관, 김병선, "섬유강화 복합재료와 자동차", 자동차공학회지, 제 18권, 제 5호, pp.96~120, 1996.
- (7) 이준우, "자동차용 유기소재", 한국과학기술정보연구원, 2007.
- (8) 조봉규, "자동차용 고분자 복합재료", 한국고분자학회지, 제 6권, 제 4호, pp. 314~325, 1995.
- (9) 이영환, 박재현, 안정희, 최진호, 권진희, "복합재 하이브리드 조인트의 파손강도에 관한 연구", 한국복합재료학회지, 제 22권, 제 2호, pp. 7~13, 2009.
- (10) Groth, H.L., "A method to predict fracture in an adhesively

bonded joint", International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 5, pp. 19~22, 1985.

- (11) Hart-Smith, L.J., "Mechanically fastened joints for advanced composites, phenomenological considerations and Simple Analysis", Fibrous Composite in Structural Design, Plenum Press, pp. 543~574, 1980.
- (12) 김원석, 이정주, "복합재료/금속 접착 계면의 파괴인성치 측정", 한국복합재료학회지, 제 21권, 제 4호, pp. 7~14, 2008.
- (13) Kinloch, A.J., "Adhesion and adhesives: science and technology", Chapman and Hall, 1987.
- (14) 김광수, 이영무, 김천곤, "일방향 복합재료 Single Lap 접합 조인트의 파손 모드 및 파손 강도: II 파손 예측", 한국복합재료학회지, 제 18권, 제 1호, pp. 1~9, 2005
- (15) Anderson, G.P. and DeVries, K.L, "Predicting strength of adhesive joint from test results", International Journal of Fracture, Vol. 39, pp. 191~200, 1989.
- (16) 임석원, "자동차 경량화를 위한 신기술", 열처리공학회지, 제 21권, 제 3호, pp. 162~170, 1995.
- (17) 최진호, 전영준, 권진희, "기계적으로 체결된 복합재료 조인트의 강도에 관한 연구", 한국복합재료학회지, 제 15권, 제 4호, pp. 9~16, 2002.
- (18) 이복원, 이성현, 김천곤, 윤병일, 백종규, "전단농화유체를 함침한 케블라 직물의 저속충격거동 및 마찰특성연구", 한국복합재료학

회지, 제 21권, 제 2호, pp. 15~24, 2008

- (19) 박상희, 이수, 이인규, "충전재 종류 및 함량에 따른 유리섬유/페놀수지 복합재료의 탄화 특성 연구", 한국고분자학회 2008년도 춘계 총회 및 학술대회, Vol. 33, No. 1, 2008.
- (20) 이 수, 이인규, 박상희, 김성희, "충전제의 종류 및 함량에 따른 유리섬유 보강 페놀 복합재료의 열적 기계적 특성에 관한 연구", 한국고분자학회 2007년도 추계 총회 및 학술대회, Vol. 32, No. 2, 2007.
- (21) 남기우, 차용훈, 윤한기, 오세욱, "재료강도학", 2006.



第 2 章

지그 제작과 기계적 특성

평가



2.1 서 언

최근의 자동차 기술은 연비향상, 안전성 증대, 공해물질 배출 저감 등의 3가지 주요 연구 주제를 중심으로 발전하고 있다. 70년대의 1, 2차 유류 파동을 거치면서, 자동차의 연비향상에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작되었으며, 실제로 이 시점에서 자동차 엔진의 기술에 상당한 발전이 있었다. 이후 80년대에 접어들면서 ABS, air bag 등의 기술이 발표되면서 안전이 자동차 기술의 가장 중요한 관심 분야가 되었으며, 이후 90년대 들어서면서, 전 세계적으로 환경문제에 대한 인식이 증대되면서, 공해물질 배출의 저감을 위한 연구와 자동차 부품 소재의 재활용에 대한 연구가 진행되고 있다. 즉, 현재의 자동차 기술의 연구 방향은 환경 친화적인 자동차 개발로서, 자동차의 연비향상과 공해물질 배출 저감, 자동차 부품의 재활용 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 아울러 이러한 연구는 환경보존이라는 사회적 요구와 함께, 선진 각국을 필두로 제도화된 법령에 의거하고 있다. 대표적인 규제법안으로는 CAFE (Cooperative Average Fuel Economy) 법안, 이를 더욱 강화한 Bryan 법안, 신대기정화법, 기후변화협약 등의 연비향상, 공해물질 배출 저감의 규제법이 있으며, 한편 폐기물 매립에 관한 Environmental Protect Agency (EPA)규제는 자동차 부품의 재활용에 관한 심각한 문제를 제기하였고, 1997년도 영국에서는 2000년까지 자동차 부품의 85%이상 재활용을 규정한 바 있다.[1-8]

이에 따라 현재 국내외에서는 무공해 자동차, 전기 자동차 등의 신개념 자동차에 대한 연구[9-11]와 기존 자동차의 연비 향상과 안전성 향상, 배기가스의 정화, 소음 저감 등의 기존 자동차 기술 발전 및 최적화에 대한 연구, 그리고 부품의 재활용에 대한 연구가 활발히 진행되고

있다.

자동차의 연비향상은 엔진 출력 향상, 차체의 형상 설계 변경을 통한 공기저항 감소, 차체의 소형화 및 자동차 경량화 등으로 가능하나, 엔진 출력 향상이나 공기저항의 저감 등은 설계 측면에서 고려되는 것으로, 현재 기술개발이 한계에 도달한 것으로 판단되어 더 이상의 급격한 개선은 어려운 실정이다. 아울러, 차체의 소형화는 자동차 경량화를 통한 자동차 연비 향상의 가장 확실한 방법이나, 고기능성, 고출력, 높은 안전성 등을 선호하는 소비자의 욕구를 만족시키지 못함으로써, 자동차 소재의 경량화가 가장 유력한 방법으로 인식되고 있다.[5,6,12]

자동차 소재의 경량화는 우수한 물성을 갖는 경량 신소재의 개발과 기존 재료의 기계적 성질을 향상시키는 두 가지 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 현재 연구되고 있는 경량 소재로는 알루미늄 합금, 타이타늄 합금, 마그네슘 합금, 철강소재 등의 금속재료와 플라스틱, 세라믹 등과, 이들 재료를 기지재료로 하는 복합재료가 있다. 플라스틱 재료나 세라믹 재료는 높은 강도와 경량성으로 인하여 많은 연구가 진행되고 있다.

자동차의 자세를 안정화시키는 스테빌라이저는 최근 자동차의 경량화 및 연비 향상을 위하여 볼 시트 부분을 복합재료로 대체하고자 시도하고 있다. 금속 재료의 볼 시트는 다년간의 사용으로 신뢰성이 확보되어 있으나, 복합재료 볼 시트는 개발 단계에 있으므로 다양한 실험으로 신뢰성을 확보하고자 노력하고 있다.

따라서 본 장에서는 상기와 같은 복합재료 볼 시트의 신뢰성을 확보하고자, 실기 상태와 같은 지그를 제작하기 위하여 해석과 실험을 실시하였다. 인장, 압축 및 피로 실험을 실시하여 제작된 지그의 신뢰성을 확보하고, 볼 시트의 개발에 기여하고자 하였다.

2.2 하중장치의 설계와 해석

스태빌라이저 링크의 인장, 압축과 피로시험에 사용될 하중장치를 설계하였다. 하중장치는 Fig. 2.1과 같이 시험대상인 스태빌라이저 링크의 축을 MTS의 축과 일치시켜 링크가 굽힘 모멘트를 받지 않도록 한다. 그리고 인장시험 최대하중인 7.7 kN을 견디어야 하고, 제작도 쉽고 설치도 쉬어야 한다.

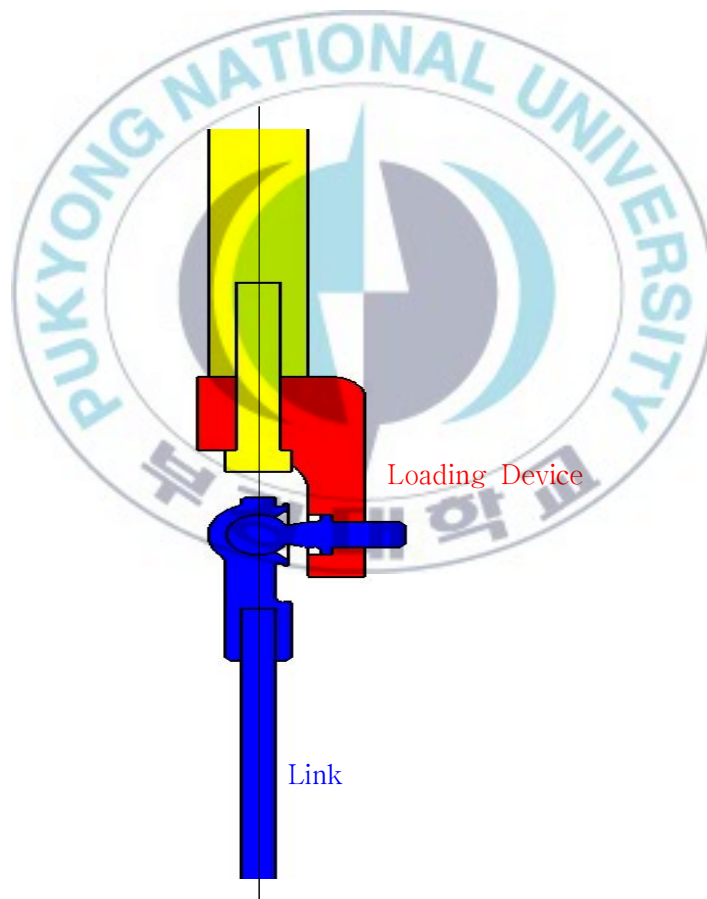


Fig. 2.1 Assembly of loading system

지그의 해석대상이 대칭이므로 Fig. 2.2와 같이 3D 모델의 1/2을 해석하였다. Table 2.1에 나타내는 ES-54830-01 규격에 따르면 최대인장하중 7.7 kN을 견뎌야 하므로, Fig. 2.3과 같은 경계조건으로 안전계수 1.2를 적용하여 9.4 kN을 작용시켰다.

Table 2.1 ES-54830-01 standard

Tension	No crack at 7.7 kN
Compression	No crack 4.4 kN
Fatigue	No crack at 1,000,000 cycle of ± 2.6 kN, 10 Hz

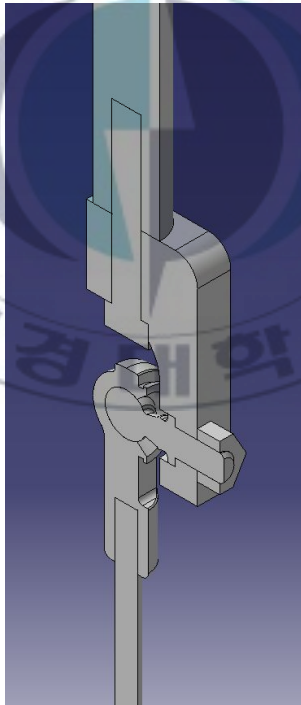


Fig. 2.2 Model of finite element analysis

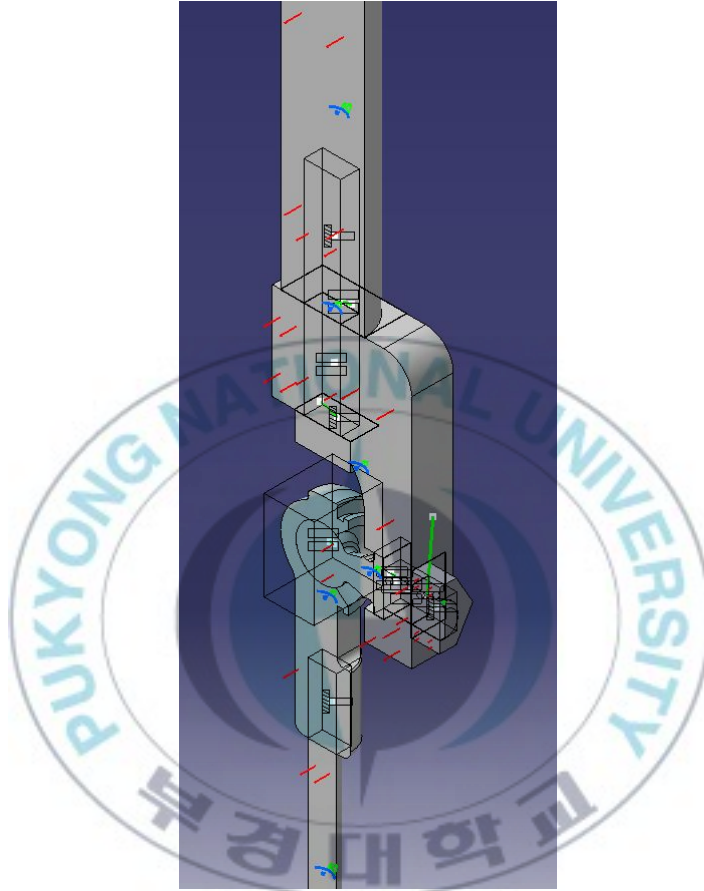


Fig. 2.3 Boundary Conditions

하중 장치의 구조를 해석한 Fig. 2.4에서 최대변위는 하중장치 하단에
서 0.07 mm로 무시할 만하고, 최대응력(von Mises stress)은 270 MPa
로 항복강도보다 약간 높았지만, 안전계수 1.2를 적용하였으므로 문제없
다고 판단하였다.

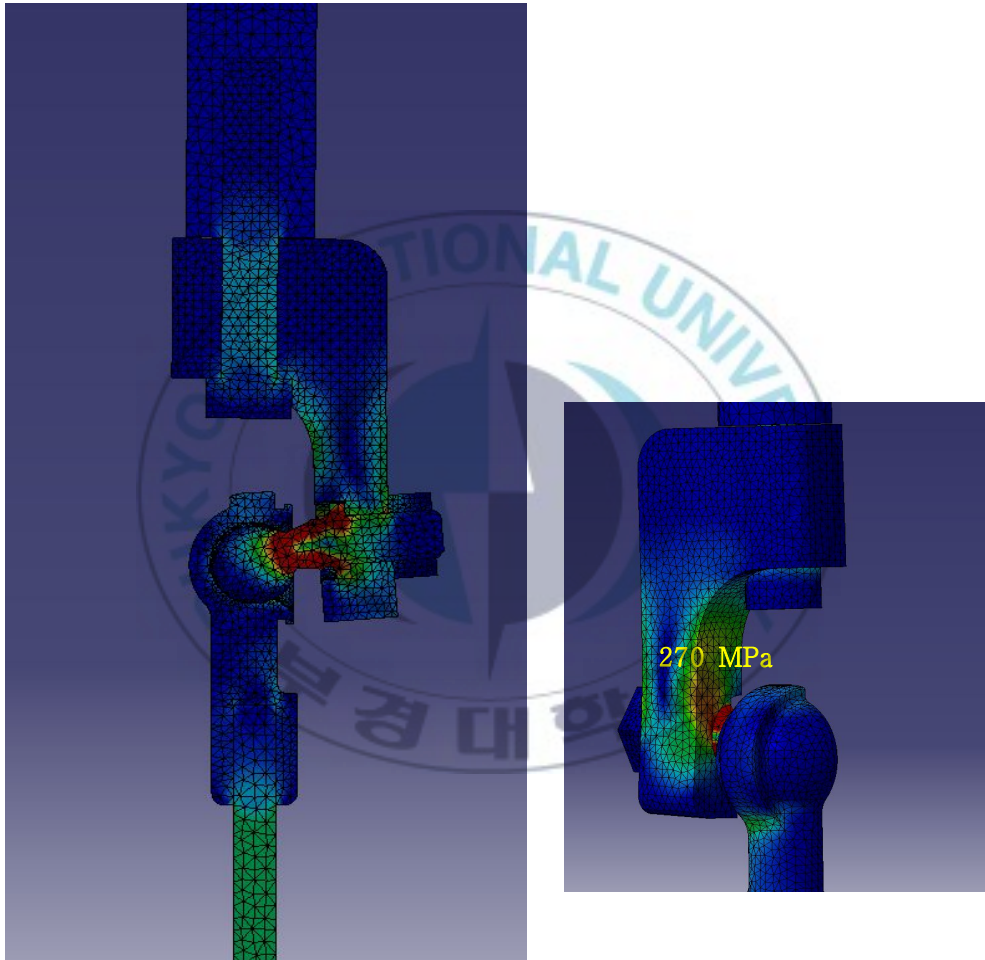


Fig. 2.4 Structural analysis of loading system

2.3 시험편 및 시험방법

시험편은 단조(Forging)된 로드와 복합소재(POM+GF 25%) 본체와의 결합 시험편과 널링(Kunrling)된 로드와 복합소재(POM+GF 25%) 본체와의 시험편을 사용하였다. 인장시험과 압축시험 속도는 0.67 mm/min 및 2.2 mm/min으로 실시하였으며, 피로시험은 ± 2.6 kN, 10 Hz를 작용시켰다. 또한 유한요소해석에 의하여 인장, 압축 및 피로하중에 의한 파괴특성을 평가하였다.



2.4 결과 및 고찰

2.4.1 인장시험

단조된 중앙 강봉과 복합소재로 된 본체와의 결합으로 만들어진 스테빌라이저를 Fig. 2.5와 같이 인장하였다.



Fig. 2.5 Tension test of forging specimen

단조 시험편 시험에서 링크의 중앙 강봉이 빠진 결과를 Fig. 2.6에 나타낸다. 이것은 단조 로드와 복합소재 본체와의 접착 강도가 작아서 빠진 것이라 판단된다.

이와 같은 인장 시험결과의 하중-변위 선도를 Fig. 2.7에 나타낸다. 이 그림에서 최대 인장하중은 4.4 kN으로 나타났으나, ES-54830-01 규격에 미달하였다.



Fig. 2.6 The result of tension test of forging specimen

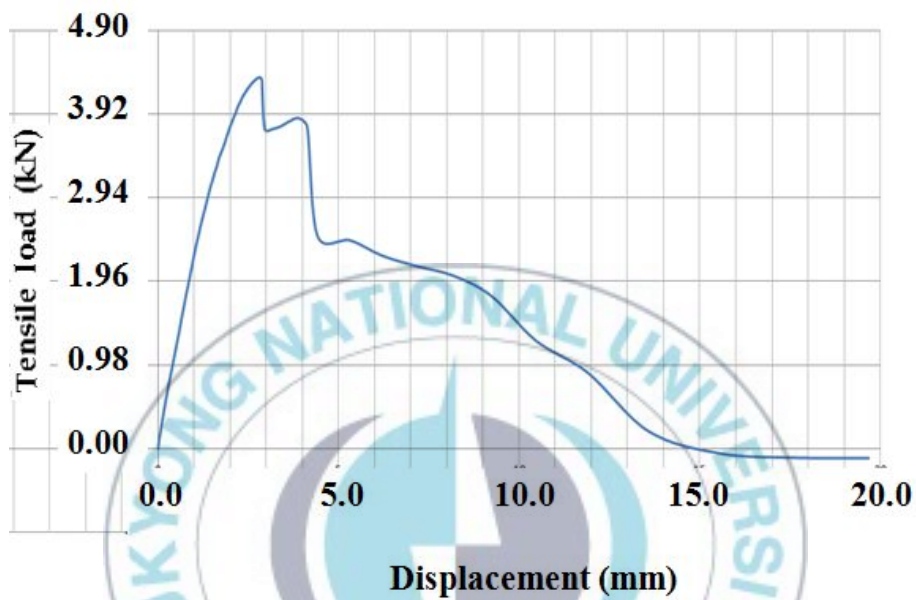


Fig. 2.7 Tensile load-displacement curve of forging specimen

넬링된 시험편은 #1 ~ #5는 인장속도 0.67 mm/min, 시험편 #6 ~ #10 시험편은 인장속도 2.2 mm/min로 시험하였다. Fig. 2.8은 넬링 시험편의 인장시험 결과의 외관을 나타낸다.

시험편 모두 같은 곳(그림에서 1과 2 사이)에서 파괴하였다. 넬링된 중앙 연결봉을 넣고 플라스틱 사출한 것으로서 중앙 연결봉 때문에 속이 빈 공간이 거의 끝나는 부위가 파괴하였다. 복합소재의 단면이 급격히 감소하는 부위이면서 중앙 연결봉 양단까지 넬링이 되어 응력집중이 발생한 것이라 판단된다. 파괴가 시작된 내면 부근은 울퉁불퉁하였다. 넬링이 된 범위를 약간 감소시키고 양단을 라운딩 처리하면 강도가 높아질 것이라 판단된다.

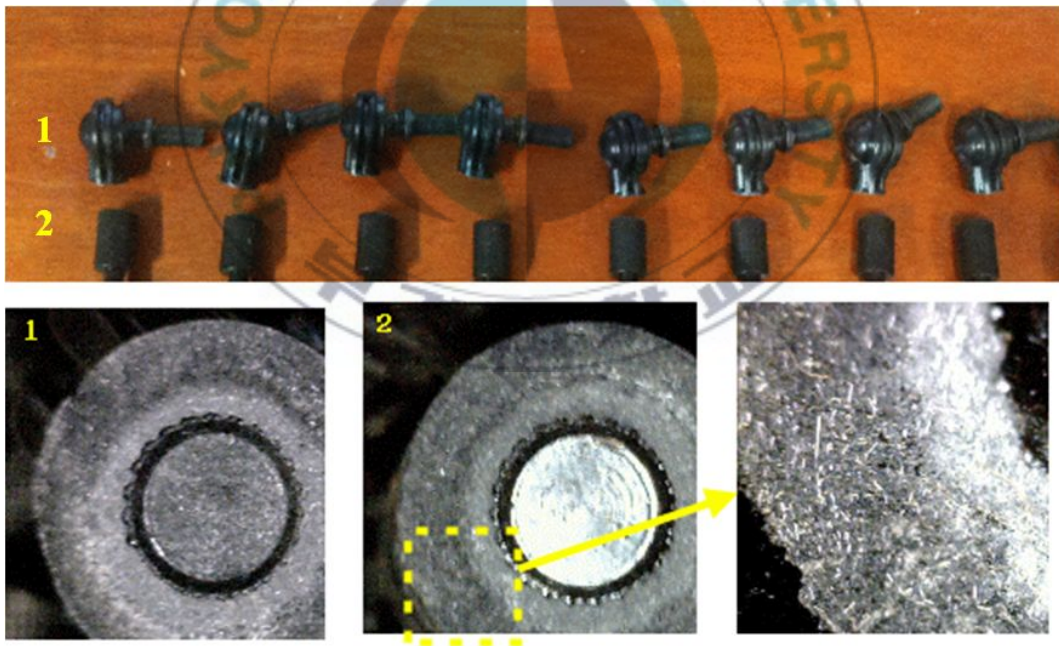
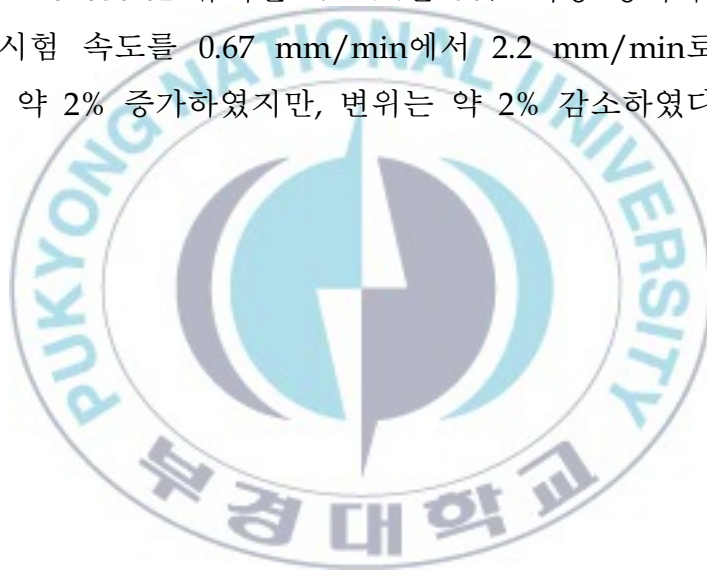


Fig. 2.8 Fracture appearance of knurling specimen

널링 시험편 #1 ~ #5에 대한 인장하중-변위선도는 Fig. 2.9에, 널링 시험편 #6 ~ #10에 대한 인장하중-변위선도는 Fig. 2.10에 나타낸다. Fig. 2.9 및 Fig. 2.10의 인장하중-변위선도에서 얻어진 파괴하중과 변위를 각각 Table 2.2와 Table 2.3에 나타내었다.

Table 2.2에서 시험편 #1 ~ #5의 파괴하중은 평균 10.5 kN, 변위는 평균 3.020 mm이었고, Table 2.3에서 시험편 #6 ~ #10의 파괴하중은 평균 10.7 kN, 변위는 평균 2.912 mm이었다. 상기의 결과에서 시험편 10개 모두 EX-54830-01 규격인 7.7 kN을 30% 이상 상회하는 결과를 보여주었다. 시험 속도를 0.67 mm/min에서 2.2 mm/min로 증가시키면 파괴하중이 약 2% 증가하였지만, 변위는 약 2% 감소하였다.



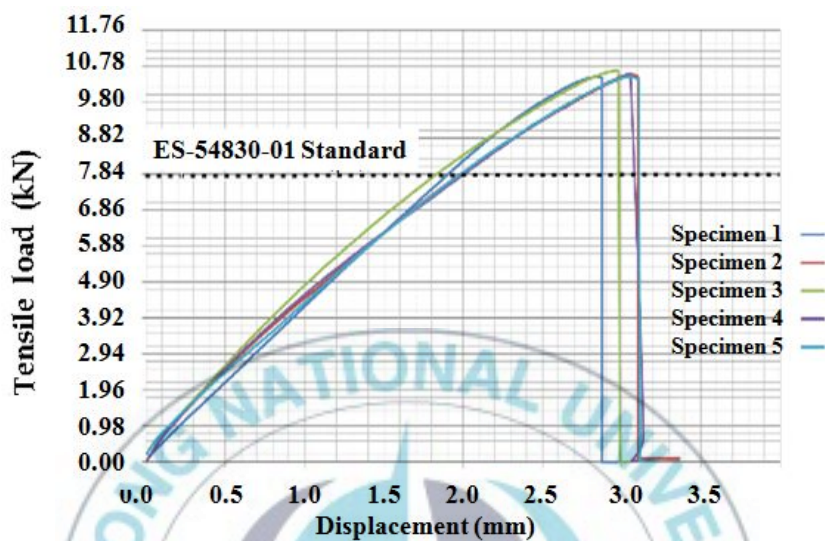


Fig. 2.9 Tensile load-displacement curve for knurling specimen of #1
~ #5

Table 2.2 Tensile load-displacement at fracture for knurling specimen of #1 ~ #5

Specimen	#1	#2	#3	#4	#5	Ave.
Load (kN)	10.46	10.45	10.64	10.59	10.36	10.50
Displacement (mm)	2.851	3.105	2.979	3.057	3.109	3.020

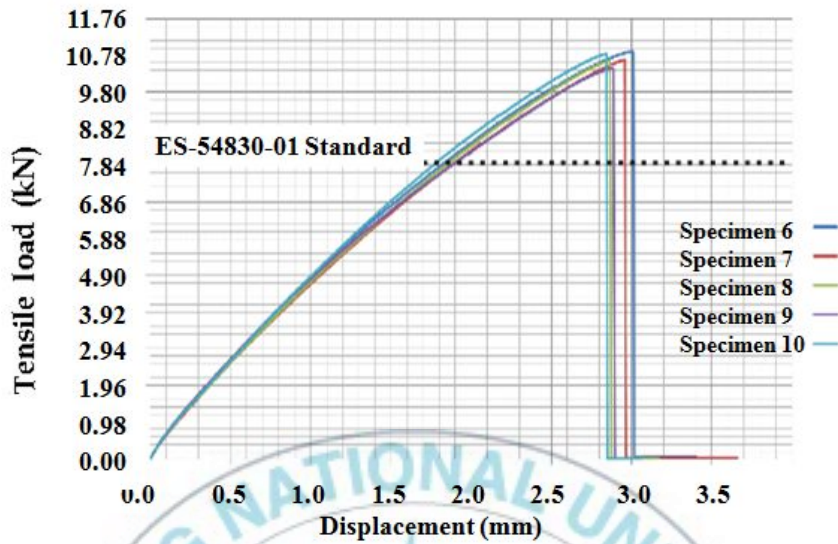


Fig. 2.10 Tensile load-displacement curve for knurling specimen of #6~#10

Table 2.3 Tensile load-displacement at fracture for knurling specimen of #6 ~ #10

Specimen	#6	#7	#8	#9	#10	Ave.
Load (kN)	10.88	10.67	10.76	10.45	10.84	10.70
Displacement (mm)	3.009	2.958	2.866	2.885	2.844	2.912

2.4.2 압축시험

널링 시험편의 압축시험 후, Assembly의 외관을 Fig. 2.11에 나타내었다.



Fig. 2.11 Appearance of assembly after compression test

압축 시험 후의 파괴 외관을 Fig. 2.12에 나타낸다. 이 그림에서 실시한 10개의 시험편은 거의 같은 볼 시트 부위(볼이 닿아 누르는 부위)가 파괴하였다. #4, #6, #7, #9 시험편은 1차 파괴 후 시험을 계속 진행하여 2차, 3차 파괴가 발생한 것이다. 그러나 10개의 시험편은 ES-54830-01 규격인 4.4 kN의 약 3배인 12.7 kN을 얻었다.



Fig. 2.12 Fracture appearance after compression test

넬링 시험편 #1 ~ #5에 대한 압축하중-변위선도는 Fig. 2.13에, 넬링 시험편 #6 ~ #10에 대한 압축하중-변위선도는 Fig. 2.14에 나타낸다. Fig. 2.12 및 Fig. 2.13의 압축하중-변위선도에서 얻어진 파괴하중과 변위를 각각 Table 2.4와 Table 2.5에 나타내었다.

Table 2.4에서 넬링 시험편 #1 ~ #5의 압축 파괴하중은 평균 -12.7 kN, 변위는 평균 3.068 mm이었다. Table 2.5에서 넬링 시험편 #6 ~ #10의 압축 파괴하중은 평균 -13.2 kN, 변위는 평균 3.110 mm이었다. 상기 결과에서 압축 시험편 10개 모두 EX-54830-01 규격인 4.4 kN를 약 300% 상회하는 결과를 보여주었다. 시험 속도를 0.67 mm/min에서 2.2 mm/min로 증가시키면 파괴하중이 약 4% 증가하였다.



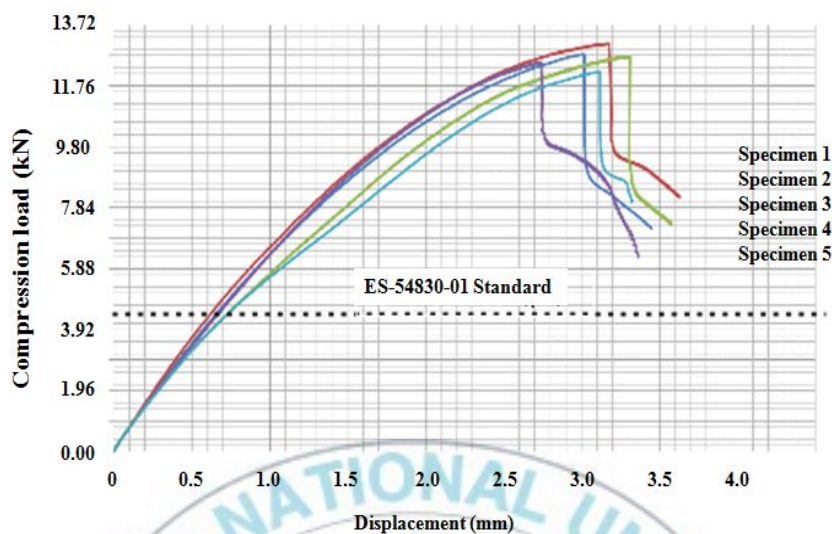


Fig. 2.13 Compression load-displacement curve for knurling specimen of #1 ~ #5

Table 2.4 Compression load-displacement at fracture for knurling specimen of #1 ~ #5

Specimen	#1	#2	#3	#4	#5	Ave.
Load (kN)	-12.8	-13.1	12.7	12.5	12.2	12.7
Displacement (mm)	3.106	3.179	3.186	2.756	3.117	3.068

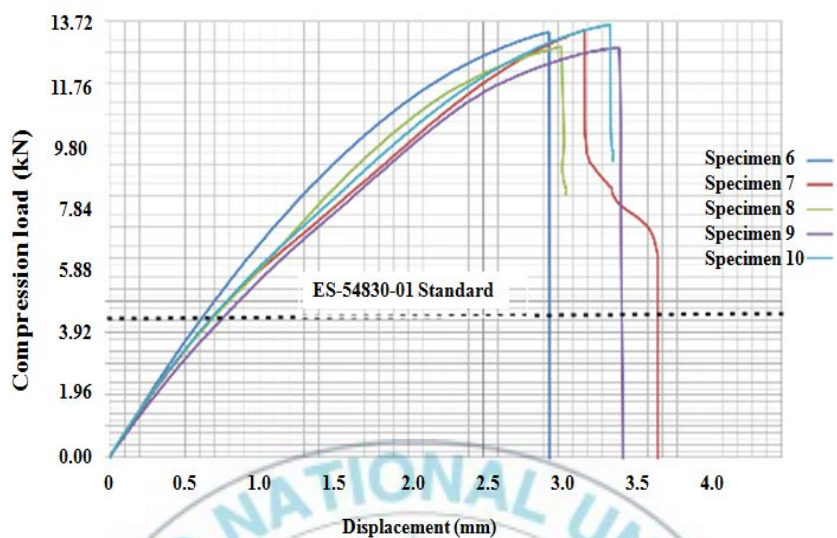


Fig. 2.14 Compression load-displacement curve for knurling specimen of #6 ~ #10

Table 2.5 Tensile load-displacement at fracture for knurling specimen of #6 ~ #10

Specimen	#6	#7	#8	#9	#10	Ave.
Load (kN)	-13.4	-13.5	-12.9	-12.9	-13.6	-13.2
Displacement (mm)	2.939	2.831	3.022	3.411	3.349	3.110

2.4.3 피로시험

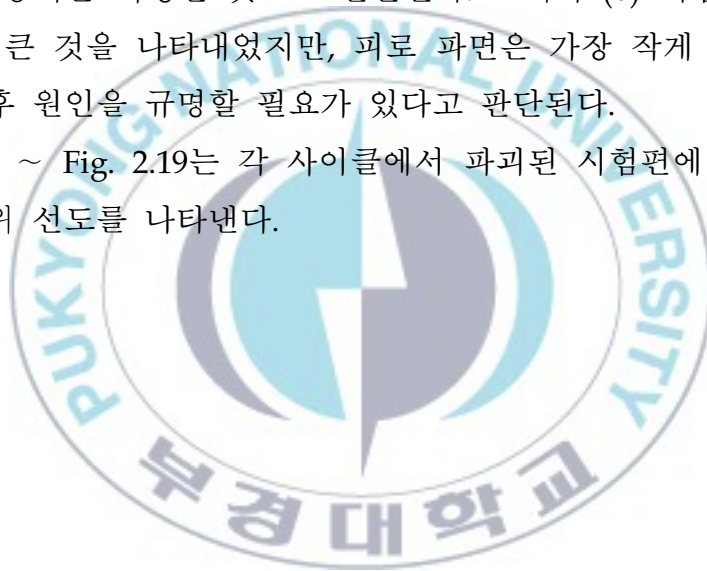
널링 시험편의 피로 시험 후의 파괴 외관을 Fig. 2.15에 나타낸다. 그림과 같이 볼에 연결된 볼트의 잠룩한 부위가 피로 파괴하였다.



Fig. 2.15 Fracture appearance after fatigue test

Fig. 2.16에 3개의 널링 시험편의 피로 파괴 결과를 나타낸다. 3개의 시험편은 각각 493,000, 871,000, 523,000 사이클을 나타내었다. (a)는 같은 방향의 것에서 피로 파괴하였다. (b)는 파괴된 시험편을 나타내며, (c)는 (b)를 확대한 것이다. 여기서 $\rightarrow$ 는 균열진전방향을 나타낸다. (a), (b)와 다르게 (c)는 반대 방향에서 파괴하였다. 이것을 시험편 장착에서 문제가 있는 것으로 판단된다. 그림 (a), (b), (c)의 파괴면에서 피로균열 진전 영역이 마지막 파괴 영역보다 훨씬 큰 것으로부터 소재의 강도 또는 작용한 응력은 적정한 것으로 판단된다. 그러나 (b) 시험편은 피로수명이 가장 큰 것을 나타내었지만, 피로 파면은 가장 작게 나타났다. 이 부분은 차후 원인을 규명할 필요가 있다고 판단된다.

Fig. 2.17 ~ Fig. 2.19는 각 사이클에서 파괴된 시험편에 작용한 피로 하중과 변위 선도를 나타낸다.



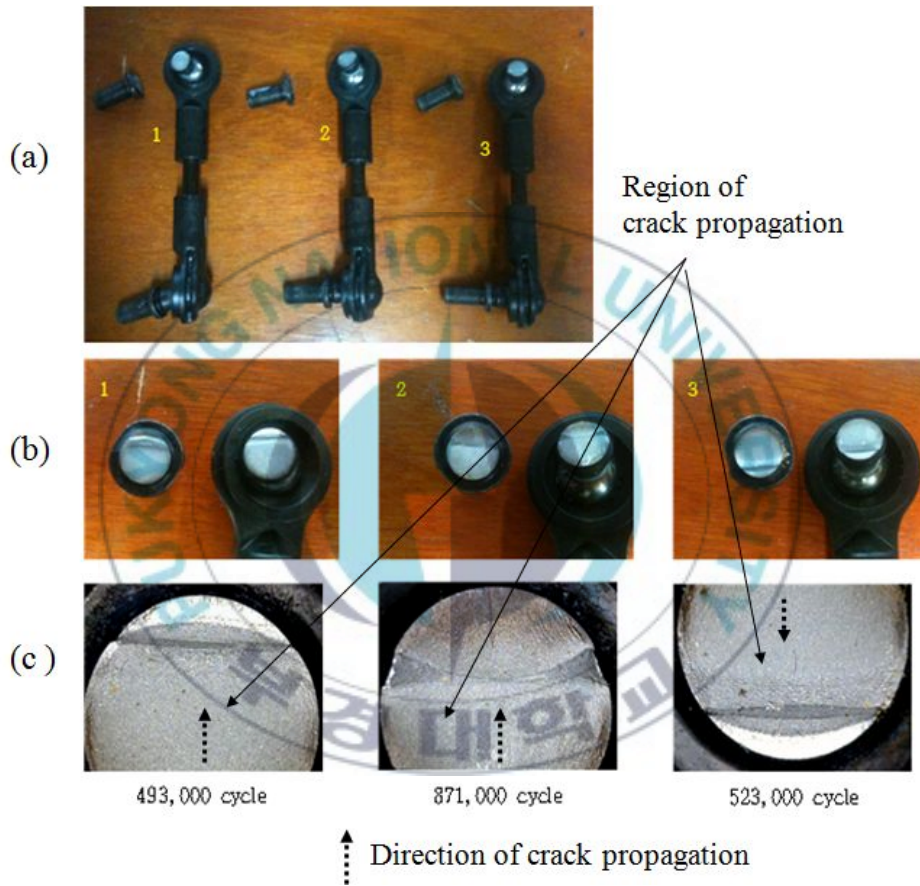


Fig. 2.16 Fatigue fracture surface

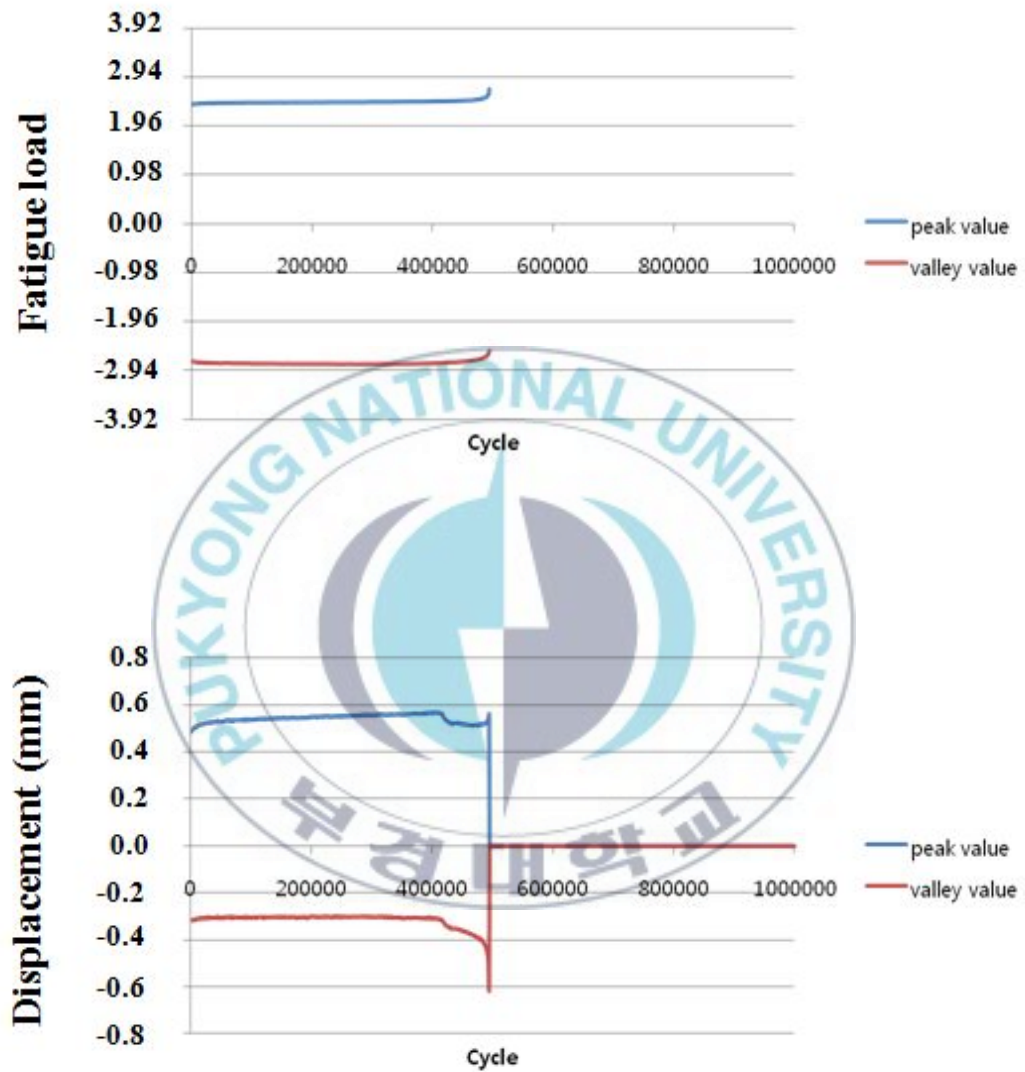


Fig. 2.17 Fatigue load and displacement of specimen fractured at 493,000 cycle

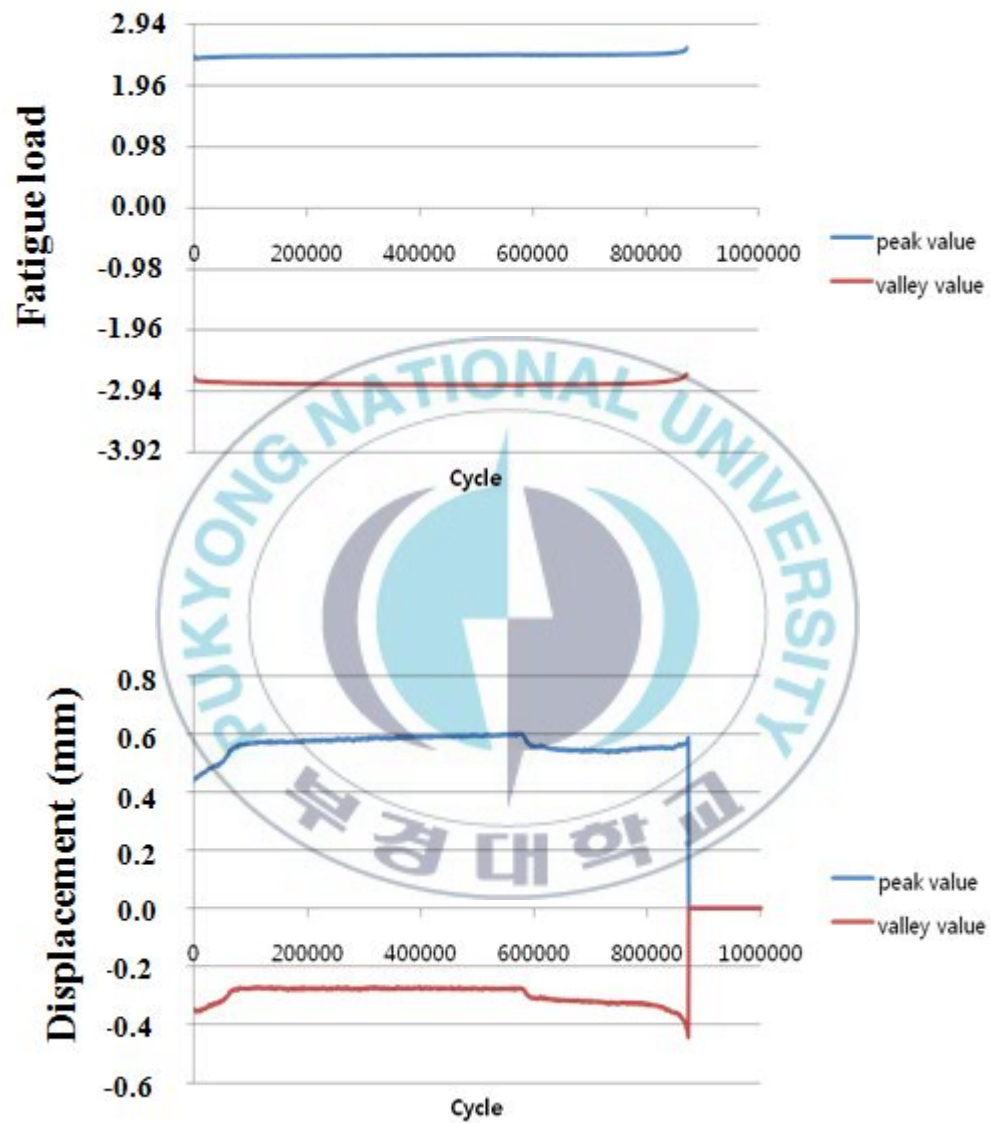


Fig. 2.18 Fatigue load and displacement of specimen fractured at 871,000 cycle

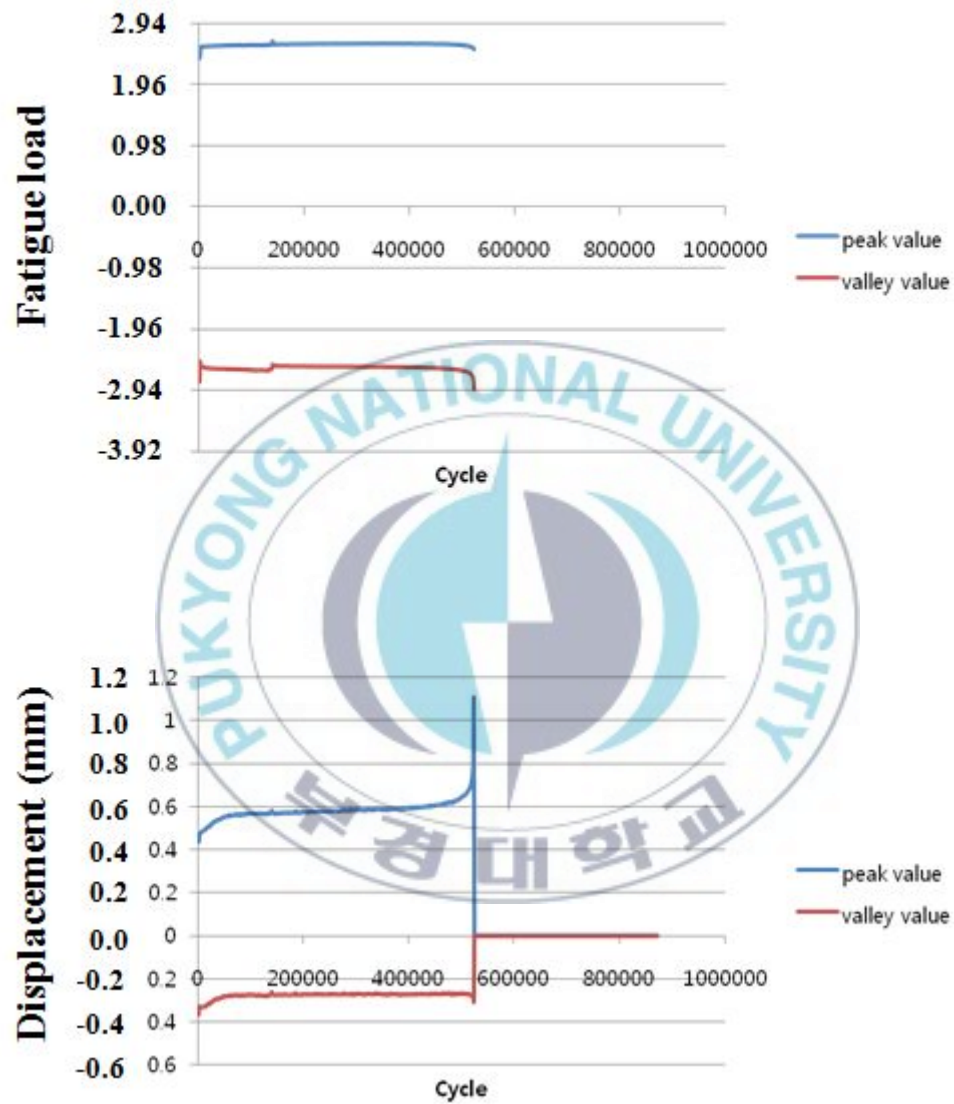


Fig. 2.19 Fatigue load and displacement of specimen fractured at 523,000 cycle

상기와 같이 3개의 시험편은 시험기준 100만 사이클에 미달하였다. 따라서 내구성을 향상시키기 위하여 Fig. 2.20과 같이 실제 사용조건과 비슷하게 시험용 지그를 수정하였다. 구멍의 직경을 4 mm 늘여 밀착되지 않게 수정하였기 때문에, 피로 파괴된 부위의 응력이 낮아질 것으로 예상된다.

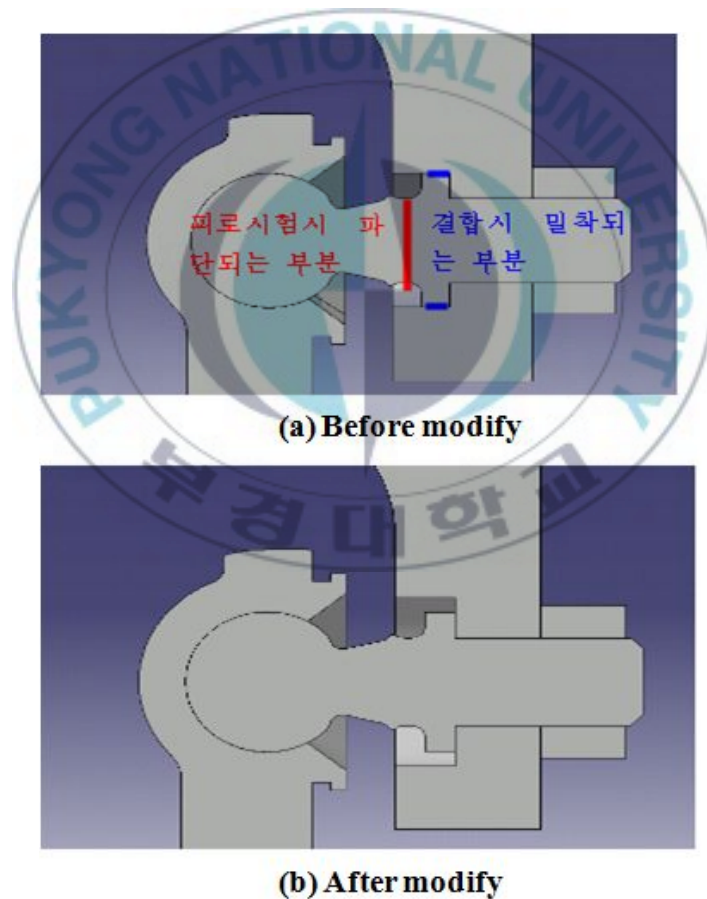


Fig. 2.20 Modify of fatigue loading system

2.4.4 유한요소해석

2.4.4.1 인장하중 10.5 kN 작용

Fig. 2.21은 인장하중 10.5 kN이 작용하는 von Mises 응력분포이다. 인장에서 파괴된 부분은 Fig. 2.21(c)이다. (c)는 복합소재로 된 부분으로 널링 강봉의 상부와 연결된 곳으로 360 MPa의 응력이 작용하였다. 여기서 널링되어 생성된 홈은 모델링하지 않았다. 또 (b)는 강봉과 연결되며 복합소재 부품의 단면적이 갑자기 감소한 부분으로 380 MPa의 응력이 작용하였다. 그러나 목 부분인 (b)는 가장 작은 180 MPa의 응력이 작용하였다.

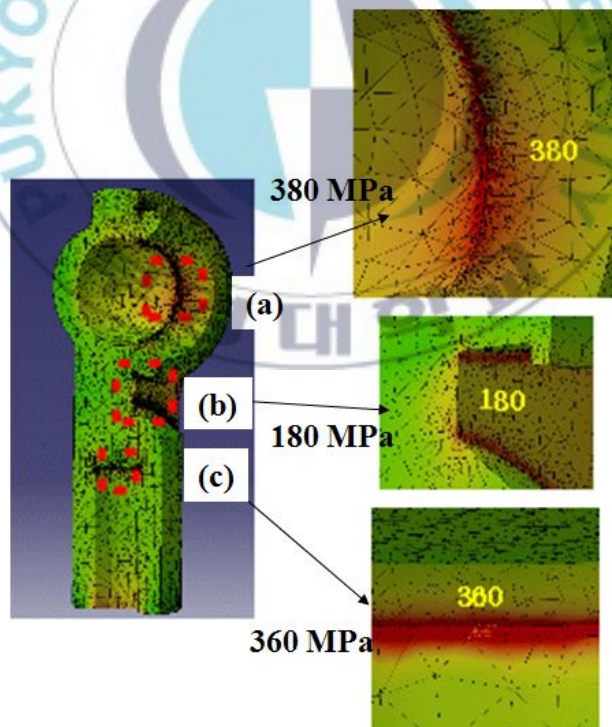


Fig. 2.21 Finite element analysis under tensile load of 10.5 kN

2.4.4.2 압축하중 10.5 kN 작용

Fig. 2.22는 압축하중 10.5 kN이 작용하는 von Mises 응력분포이다. 압축에서 파괴된 부분은 압축응력 310 MPa이 작용하는 Fig. 2.22(a)이다. 이곳은 압축응력이 150 MPa 작용하는 (b)부분과의 단면적이 가장 적은 곳이다. 한편 압축응력이 359 MPa로서 가장 크게 작용하는 (c)부분은 널링 강봉과의 접촉부분의 단면적이 많아서 이 정도의 응력은 충분하게 견디는 곳이다.

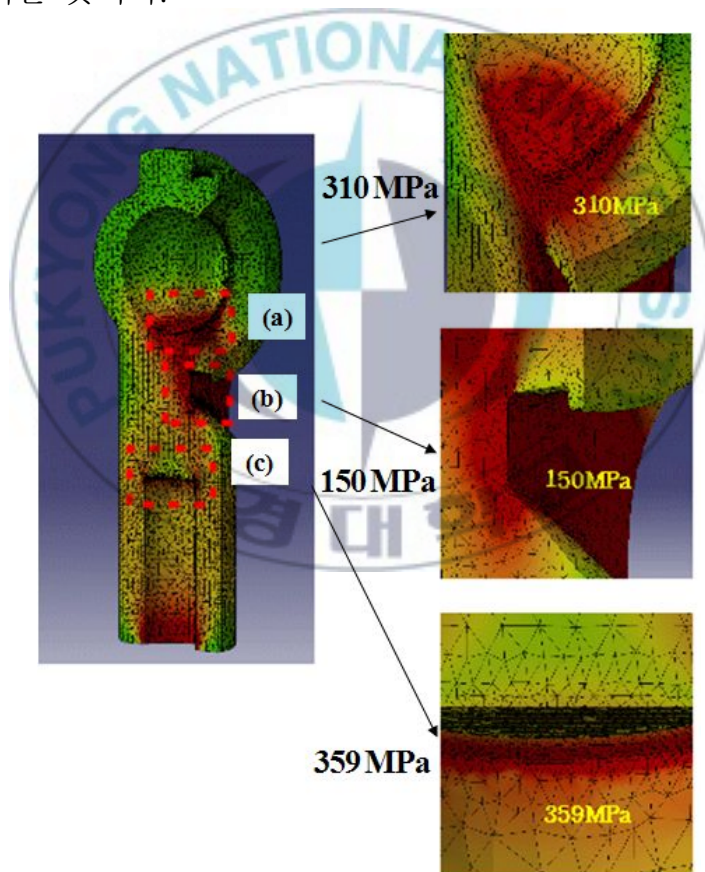


Fig. 2.22 Finite element analysis under compression load of 10.5 kN

2.4.4.3 피로하중 진폭 ± 2.5 kN 작용

Fig. 2.23은 Fig. 20의 (a) 지그를 사용하여 실시한 경우로서, 피로하중 진폭 ± 2.5 kN이 작용하는 von Mises 응력분포이다. ± 2.5 kN의 작용에서 파괴부분은 Fig. 2.23에서 응력 330 MPa이 작용하는 부분으로 볼에 연결된 볼트로서 잘록한 부분이 파괴하였다. 이 경우는 피로시험 시편 3개 모두 100만 Cycle을 견디지 못하고 파괴하였다.

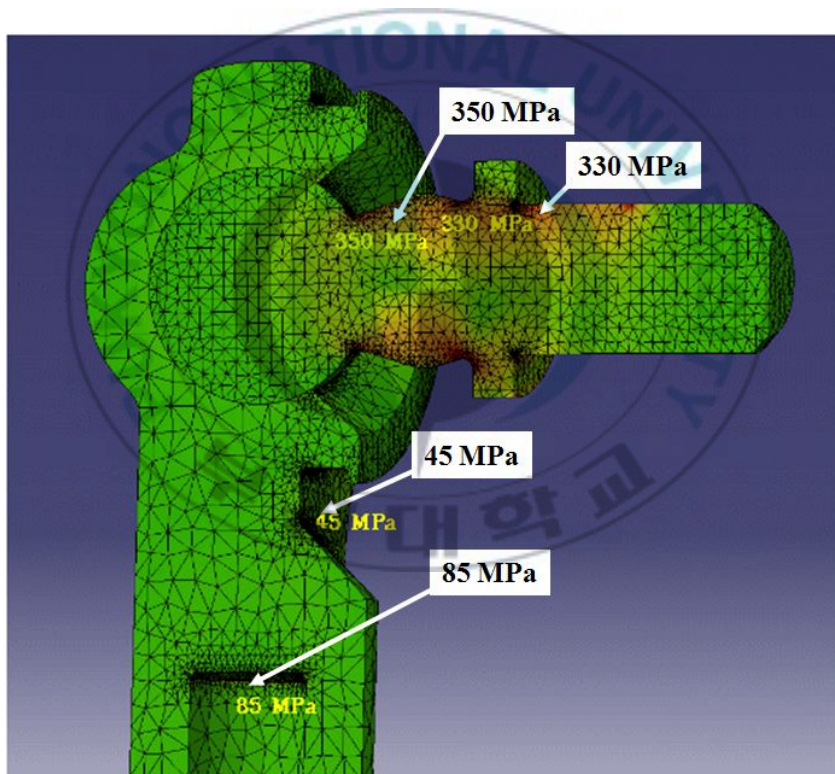


Fig. 2.23 Finite element analysis under fatigue load of ± 2.5 kN using fatigue loading system before modification.

Fig. 2.24는 Fig. 2.20의 (b) 지그를 사용하여 실시한 경우로서, 피로 하중 진폭 ± 2.5 kN이 작용하는 von Mises 응력분포이다. 지그를 수정한 후, 볼 부분의 응력은 350 MPa에서 320 MPa로 낮아졌으며, 스테드 부분의 응력은 330 MPa에서 310 MPa로 낮아졌다. 이 경우는 피로시험 시편 3개 모두 100만 사이클을 견디었다. 복합소재 부분의 응력은 시험용 지그 수정 전과 같았다.

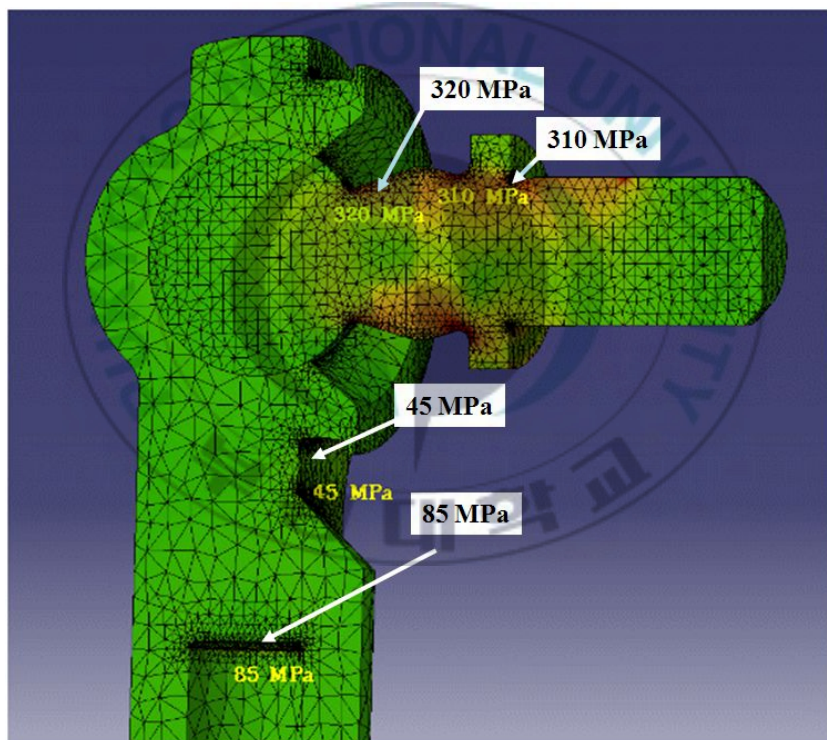


Fig. 2.24 Finite element analysis under fatigue load of ± 2.5 kN using fatigue loading system after modification.

스터드의 재질은 SM45C이고, Quenching 및 Tempering 처리 하였다. 열처리 하였을 때의 기계적 성질은 Table 2.6과 같고, 열처리를 하지 않았을 때는 Table 2.7과 같다.

Table 2.6 Mechanical properties by heat treatment

Heat Treatment condition	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Annealing	490	685	24
Quenching	843	983	18
Tempering	692	861	20

Table 2.7 Mechanical properties by as-received material

Material	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
SM45C	666	721	24

SM45C 소재의 S-N 곡선을 Fig. 2.25에 나타내었다. ■는 평활재이며, □는 노치재의 결과이다. 노치재는 평활재보다 응력집중으로 인하여 피로수명이 현저하게 낮은 것을 알 수 있다. 피로수명이 100만 사이클에서 평활재는 응력이 310 MPa이지만, 노치재는 평활재의 절반인 약 150 MPa을 나타내었다.

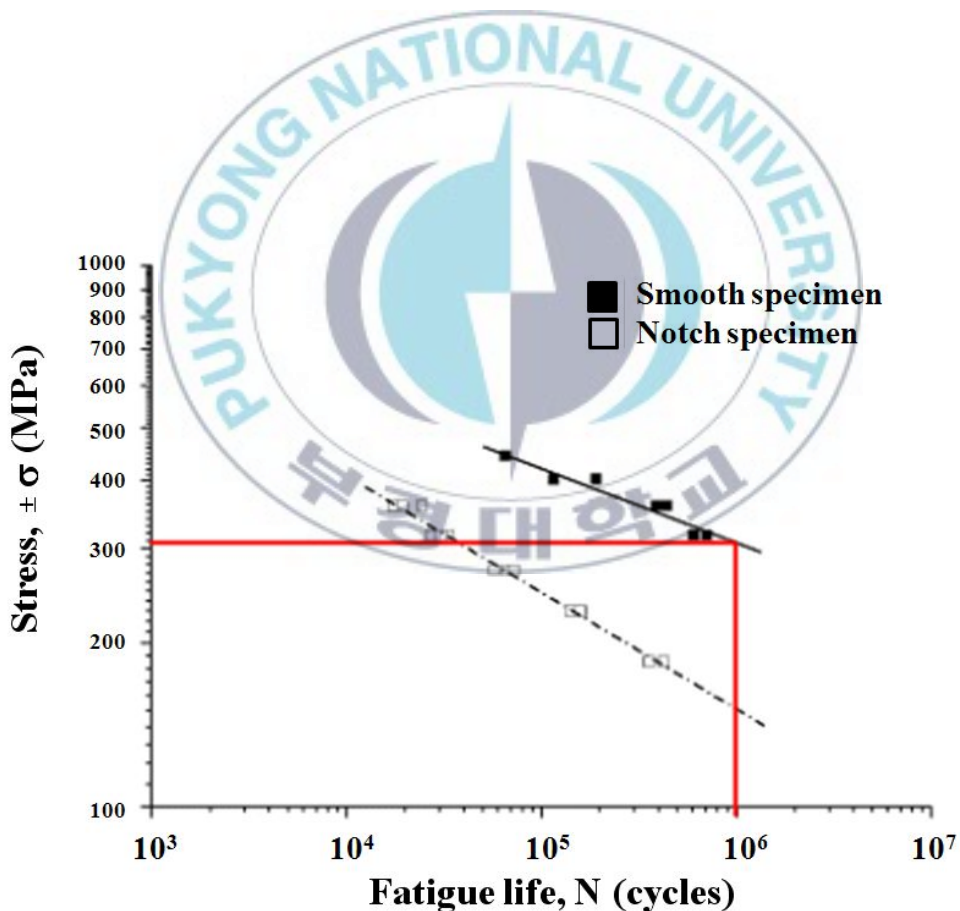


Fig. 2.25 S-N curve of SM45C

불 시트의 재질은 POM+GF 25%이다. POM+GF 25%는 유리섬유 (Glass Fiber)를 강화재를 사용한 복합소재로서, 일반사출용으로 사용한다. 이것은 $-[C-C]$ 결합의 copolymer 특징을 나타내는 소재로서 $-[CH_2-O]N--[CH_2-CH_2O]M-$ 같은 분자구조를 가진 수지이다. 제품의 특성은 매우 높은 강성, 경도 및 열변형 온도를 가지며, 열팽창 및 수축률이 적다. Table 2.8에 POM+GF 25%의 제 특성을 나타낸다.

Table 2.8 Properties of POM+GF 25%

Property		Test Method	Unit	Value
Physical				
Density		ISO 1183	g/cm ³	1.59
Melt flow rate		ISO 1133	g/10min	7
Thermal				
Deflection temperature	1.8MPa	ISO 75-1,2	℃	162
Flammability		UL94	—	HB
Mechanical				
Tensile strength	23℃	ISO 527-1,2	kgf/cm ² (MPa)	1,630 (160)
Strain at break	23℃	ISO 527-1,2	%	3.0
Flexural strength	23℃	ISO 178	kgf/cm ² (MPa)	2,240 (220)
Flexural modulus	23℃	ISO 178	$\times 10^4$ kgf/cm ² (MPa)	8.40 (8,250)
Charpy notched impact strength		ISO 179/1eA	kgf · cm/cm (kJ/m ²)	8.2 (8.0)
Electrical				
Surface resistivity		IEC 60093	Ω	1×10^{16}
Volume resistivity		IEC 60093	Ω · cm	1×10^{14}
Dielectric strength		IEC 60243-1	kV/mm	23
Molding shrinkage (Flow Direction) t3mm, Φ 100mm			%	0.5

기본적인 물성치는 Table 2.8의 데이터를 사용하였고, 필요한 복합소재의 물성치를 얻기 위하여, Fig. 2.26과 같은 피로 시험 장치를 만들어 실험하였다.

Fig. 2.26과 같은 피로 시험 장치에서 실험을 수행하기 전에, 시험편에 작용하는 응력을 해석하였다. 그 결과를 Fig. 2.27에 나타낸다. 이 그림에서 복합소재 부분에 가장 높은 응력은 85 MPa로 나타났으며, 이러한 응력이 발생하는 피로 하중은 500 N이었다.

Fig. 2.26의 장치에서 피로 시험한 시험편의 파괴된 외관을 Fig. 2.28에 나타낸다. 이 그림에서 파괴된 위치가 모두 목 부분에서 나타났으며, 볼 시트에서는 파괴가 발생하지 않았다. 따라서 경량화를 위하여 POM+GF 25% 복합소재를 대체할 수 있는 것으로 판단된다.

Fig. 2.29는 복합소재로 만들어진 시험편의 피로 시험 결과인 S-N 곡선을 나타낸다. Fig. 2.27의 해석에서 얻어진 복합소재 목 부분의 응력 85 MPa(하중 500 N)을 사용한 인장 압축 피로 시험의 결과를 이 그림에서 유추하면 100만 사이클에서도 파괴하지 않는 것을 알 수 있다.

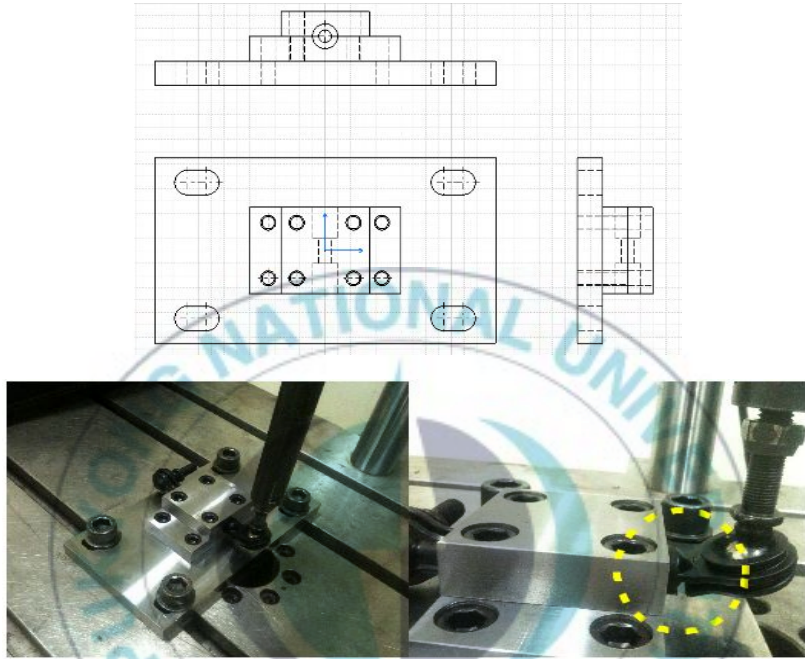


Fig. 2.26 Loading system for characteristics test of composite material.

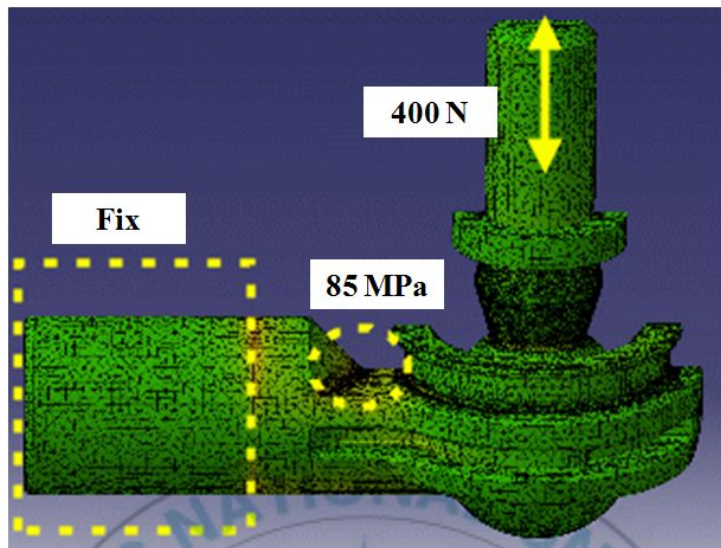


Fig. 2.27 Finite element analysis of stress



Fig. 2.28 Appearance of fatigue fractured surface

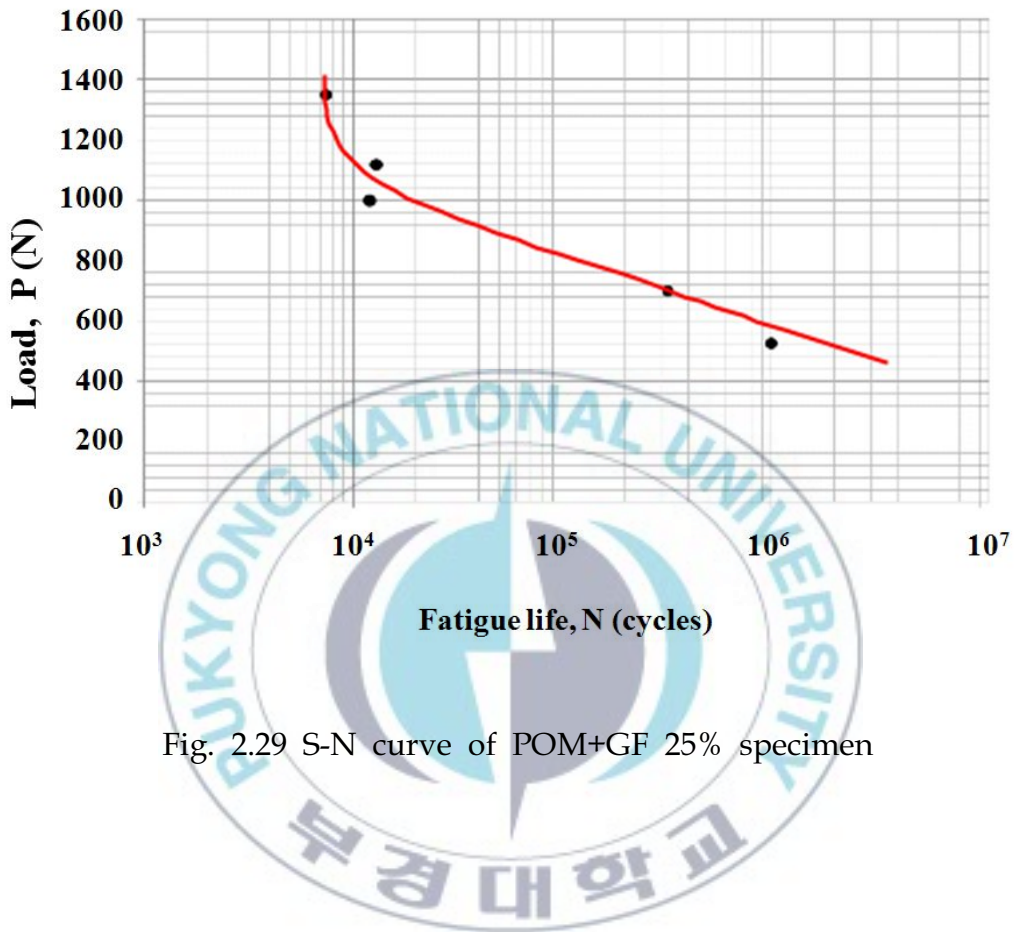


Fig. 2.29 S-N curve of POM+GF 25% specimen

2.5 결 언

본 장에서는 자동차 연비 향상 및 경량화를 위하여 복합재료 볼 시트의 신뢰성을 확보하고자, 실기 상태와 같은 지그를 제작하기 위하여 해석을 실시하고, 인장, 압축 및 피로 실험을 실시하였다.

- (1) 인장시험에서 단조 시험편은 로드와 복합소재 본체와의 접착 강도가 작아서 링크의 중앙 강봉이 빠졌다. 널링 시험편은 복합소재의 단면이 급격히 감소하는 부위에서 응력이 집중되어 중앙 연결봉 때문에 속이 빈 공간이 거의 끝나는 부위가 파괴하였다.
- (2) 널링 시험편은 인장 속도 0.67 mm/min에서 파괴하중은 평균 10.5 kN, 변위는 평균 3.020 mm이었고, 2.2 mm/min에서 파괴하중은 평균 10.7 kN, 변위는 평균 2.912 mm이었으며, EX-54830-01 규격인 7.8 kN을 30% 이상을 얻었다. 시험 속도가 0.67 mm/min에서 2.2 mm/min로 증가하면, 파괴하중은 2% 증가하였지만, 변위는 2% 감소하였다.
- (3) 압축시험에서 널링 시험편은 복합소재인 볼시트 부위가 파괴하였으나, ES-54830-01 규격인 4.4 kN의 약 3배인 12.7 kN을 얻었다.
- (4) 널링 시험편은 압축 속도 0.67 mm/min에서 파괴하중은 평균 -12.7 kN, 변위는 평균 3.068 mm이었고, 2.2 mm/min에서 파괴하중은 평균 -13.2 kN, 변위는 평균 3.110 mm이었으며, EX-54830-01 규격인 4.4 kN를 200% 이상을 얻었다. 시험 속도가 0.67 mm/min에서 2.2 mm/min로 증가하면, 파괴하중은 약 4% 증가하였다.
- (5) 피로시험에서 널링 시험편은 금속재료인 목 부분에서 파괴하였으며, 볼 시트에서는 파괴가 발생하지 않았다. 따라서 경량화를 위하여

POM+GF 25% 복합소재를 대체할 수 있는 것으로 판단된다.

- (6) 복합소재로 만들어진 널링 시험편의 S-N 곡선에서 복합소재 목 부분의 해석 응력 85 MPa은 100만 사이클에서도 파괴하지 않는 우수한 피로 특성을 나타내는 것으로 판단할 수 있었다.



참고문헌

1. G. Lucas, 1996, Advanced Materials & Processes, Vol. 149, No. 5, pp. 29.
2. Y. Nishimura, 1993, Sumitomo Light Metal Tech. Report, Vol. 34, No. 4, pp. 66.
3. Toshihiro Chikada, 1990, Light Alloy Parts for Automobiles", 輕金屬, Vol. 40, pp. 994.
4. Scott A. Arnold, 1993, JOM, Vol. 45, No. 6, pp. 12.
5. 신광선, 김선웅, 김낙준, 1992, 제1회 자동차 경량화 심포지엄, 산업과학기술원, pp. 15.
6. 박우진, 박익민, 김낙준, 1994, 자동차공학회지, Vol. 16, pp. 23.
7. "The Waste Line" Automotive Engineer, Vol. 23, No. 4 (1998), pp. 58.
8. 김영우, 임태원, 1995, 대한금속학회보, Vol. 8, pp. 223.
9. California Air Resources Board, 2009, "Glossary of Air Pollution Terms: ZEV". Retrieved 2009-04-21.
10. Christine and Scott Gable, 2008, "What is a ZEV - Zero Emissions Vehicle?". About.com: Hybrid Carts & Alt Fuels. Retrieved 2008-04-21.
11. Sperling, D. and Gordon, D., 2009, "Two billion cars: driving toward sustainability". Oxford University Press, New York. pp. 22~26.
12. 板倉 浩二, 2008, "自動車の輕量化とマグネシウム合金の適用", 自動車技術(日本), Vol. 62, No. 6, pp. 37~43.

第 3 章

로드의 형태에 따르는
복합재료 본체와의
기계적 특성

3.1 서 언

스태빌라이저는 선박, 자동차, 비행기 등에서 과도한 동요를 막고 구조물을 안정시키는 장치를 말한다. 특히 좌·우의 차륜이 독립적으로 상·하운동할 수 있는 독립현가식의 자동차에서는 노면이 울퉁불퉁한 도로를 주행할 때, 또는 고속으로 커브를 돌 때 차체에 가로 흔들림(rolling)이 발생한다. 이것을 방지하기 위해 좌우의 현가장치를 1개의 비틀림 막대로 연결하여 한쪽 차륜만이 크게 상하운동을 하면 비틀림 막대의 스프링작용으로 민첩하게 원래의 위치로 되돌려 차체의 가로 흔들림을 감소시키는 역할을 하는 것이 스태빌라이저이다.

자동차 부품의 기술 개발 및 발전은 자동차의 변화를 선도하는 원동력이다. 수많은 부품들로 이루어진 자동차의 중요한 기술 중 하나가 부품의 경량화이며, 연비향상 및 안전성을 위하여 꾸준히 개발되고 있다.[1,2] 연비향상 및 안전성강화의 문제를 극복하기 위한 대안으로서 많이 사용되는 재료 중 하나가 복합재료이다.[3-7] 최근의 동향은 복합재료의 사용이 늘어나는 추세이며, 복합재료의 이음매의 강도를 강화시키는 것이 복합재료의 설계 및 적용에서 중요한 연구 분야의 하나이다.[8-19]

따라서, 본 장에서는 자동차 부품의 경량화와 안전성 향상을 도모하기 위하여 금속제품인 스태빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하여 성형부위의 기계적 특성에 대하여 연구하였다.

3.2 해석 및 실험방법

3.2.1 재료 및 시험편

금속형 제품인 스테빌라이저 링크 바디(link body)부를 복합재로 대체하기 위하여 금속 로드(rod)의 끝부분 형상을 다양화하여 금속과 복합재의 결합력을 향상시키도록 하였다. 로드(rod)는 Table 3.1과 같은 기계적 성질을 가지는 SCM435를 사용하였고, 로드의 직경은 10 mm로 하였다. 본체는 Table 3.2에 나타내듯이 폴리아세탈(POM)에 과도한 유리섬유(GF) 함유량은 성형성이 오히려 나쁘므로 유리섬유가 25% 함유된 것(POM+GF 25%)을 사용하여 강도를 현격하게 높였다. 시험편의 형상을 Fig. 3.1에 나타낸다.

Table 3.1 Mechanical properties of SCM435 for rod part

σ_y (MPa)	σ_t (MPa)	ε (%)
≥ 784	≥ 931	≥ 15

Table 3.2 Tensile strength (MPa) of POM

POM	POM+GF 10%	POM+GF 25%
64	101	152

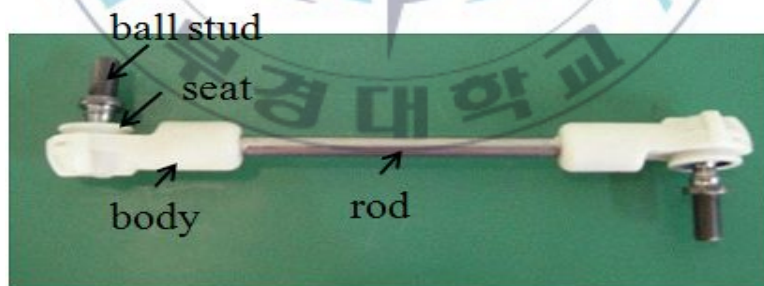


Fig. 3.1 Example of injection molded product

3.2.2 사출성형 조건

POM[20]의 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, 본 연구에서는 역테이퍼 노즐이나 밸브 타입 노즐을 사용하여 방지하였다. POM은 흡수율이 작고 방습을 고려한 포장을 하고 있다. 성형 전에는 예비 건조를 해야 한다. 이때 성형시의 펠렛의 흡수율은 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 썰 시간 보다 약간 긴 값이 되도록 설정하였다.

3.2.3 사출성형 해석

복합소재를 이용하여 제작한 스테빌라이저 링크의 제작공정은 총 5단계로 하였다. 로드를 가공한 후, 볼 시트를 성형하고 그리스 주입 후 볼 스터드와 볼 시트를 결합한 다음 최종적으로 결합된 부품을 인서트코어로 사용하여 양쪽 몸체를 성형하는 방식이다.

스테빌라이저 로드부와 결합될 복합소재 링크 본체의 최적의 사출성형을 위하여 사출성형 해석을 실시하였다. 모델을 Fig. 3.2에 나타낸다. 해석에는 CATIA에 의한 3차원 모델링 후, 사출성형해석의 상용프로그램인 C-MOLD를 이용하여 해석을 실시하였다. 충전 및 보압 해석에서 사출 용융 수지온도는 185 ~ 210 °C, 사출 충전/보압 시간은 15 sec, 사출 압력은 20 MPa씩 단계별 증감 입력, 금형은 hot runner type로 하였다.

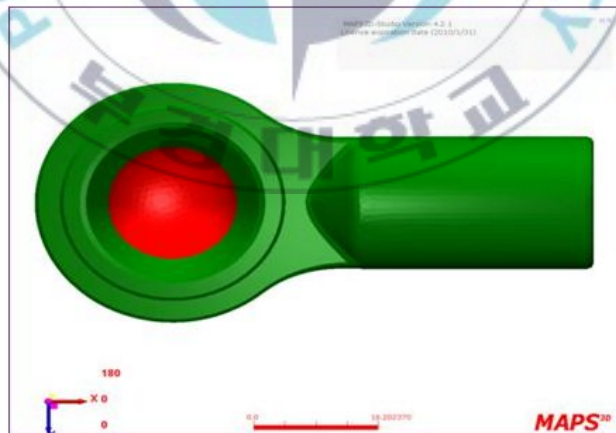


Fig. 3.2 Model to filling analysis

3.2.4 실험방법

볼 스테르드와 볼 시트의 결합 후 볼 스테르드 빠짐 하중을 조사하였다. 링크본체를 하부지그에 고정시켜 볼 조인트를 고정하고 볼 스테르드를 지그에 물려 축 방향으로 하중을 가하였다. 이때 1.47 kN의 인발하중을 견디면 양호한 것으로 판정하였다.

Fig. 3.3과 같은 4가지의 서로 다른 형상의 로드 시험편을 인서트(insert)로 하여 스테빌라이저 링크 본체를 형성하고 있는 복합재 사출 성형 부분(링크 본체)과의 결합력을 조사하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 또한 널링(knurling) 로드는 링크바디의 냉각시간을 각각 20, 40, 80 sec로 20 °C까지 냉각시켜 인장시험을 실시하였다.

인장 및 압축시험은 만능재료시험기를 이용하였다. Fig. 3.4와 같이 볼 스테르드를 고정한 다음 로드 시험편을 축 방향으로 크로스헤드 속도 2 mm/min으로 실온 대기 중에서 인장하중 7.84 kN, 압축하중 2.94 kN을 각각 부하하였다. 이 하중은 국내 자동차 생산자가 중형 승용차에 안전성을 고려하여 요구하는 하중이다. 평가기준은 육안과 현미경을 사용하여 금속과 복합소재로 제작된 링크 본체에 균열 및 파손이 발견되지 않는 것으로 하였다.

스테빌라이저의 역할을 하기 위한 요소로서 복합소재로 제작한 볼 시트의 경우, 내구성 평가가 필요하다. 기존의 금속으로 제작된 스테빌라이저와 비슷하거나 더 높은 내구성을 만족하여야만 한다. 따라서 본 연구에서는 1축 피로 시험기를 이용하여 피로수명을 평가하였다. 평가기준으로서는 자동차 내구한도 기준인 ES-54830-01을 적용하였다. 동 기준에서는 피로수명을 100만 cycles 이상 견디는 것을 요구하고 있다.

전조, 단조 및 널링한 로드를 인서트하여 링크본체의 피로내구성을

평가하였다. 피로시험은 ± 260 kgf의 인장-압축 반복하중을 부하하여, 반복주파수 10 Hz, 응력비 $R = -1$ 로 실험하여 100만 cycles까지 파괴되지 않는 경우를 피로수명으로 적용하였다(ES-54830-01 기준).





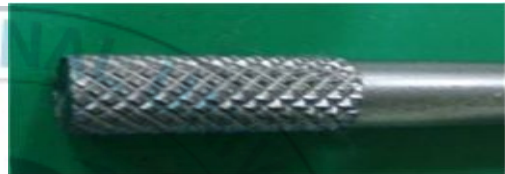
(a) Cutting



(b) Form rolling



(c) Forging



(d) Knurling

Fig. 3.3 Shapes of rod end



Fig. 3.4 Schematic loading direction of the stabilizer link

3.3 결과 및 고찰

3.3.1 성형 해석

아래의 테이블에는 기본적인 값을 검토하기 위하여 1차 성형해석을 실시한 결과를 정리하여 Fig. 3.5에 나타낸다.

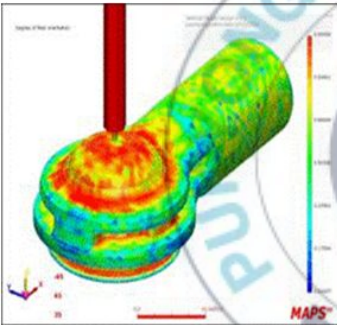
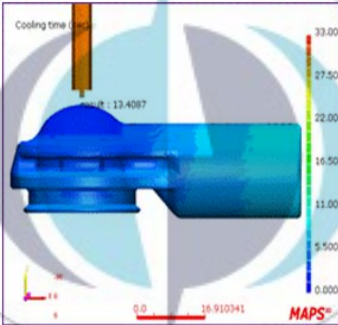
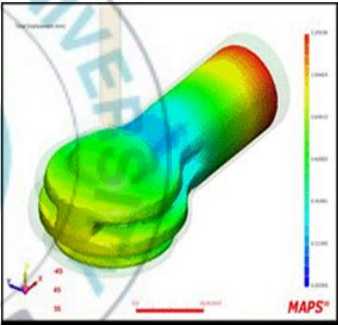
충진/보압해석	냉각해석	변형해석
		
- 사출 용융 수지온도: 185 ~ 210 °C - 사출 충전/보압 시간: 15 sec - 사출 압력: 단계별 증감 입력 - 금형: Hot runner tpe	- 냉각시간: 90% 고화상태 80 sec (Valve gate 및 hot runner 사용이 좋을 것으로 판단)	-Socket의 길이방향 변형량: 약 0.5 mm -기타 방향 변형량: 변형량 없거나 미세

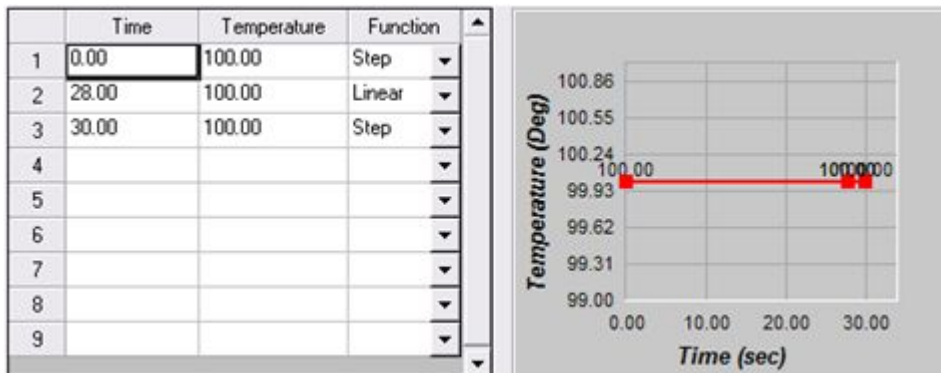
Fig. 3.5 First injection molding analysis

Table 3.3은 온도변화에 따라 링크바디가 어느 정도로 변형을 할 것인가를 판단하기 위한 해석을 하기 위하여 적용한 온도조건을 정리하여 나타내었으며 온도변화 영역을 각 시간 구간에 대하여 나타낸 것이다.

Table 3.3 Temperature conditions used in filling analysis

Insert 온도	비 고	Fig. 3.6	Fig. 3.7
온도 미 설정	일반적인 성형해석 방식	-	(a)
100 ℃ 유지	Insert온도 100 ℃삽입 설정	(a)	(b)
23 - 120 - 200 ℃	Insert온도 임의 설정	(b)	(c)
23 - 100 ℃	Insert온도 임의 설정	(c)	(d)

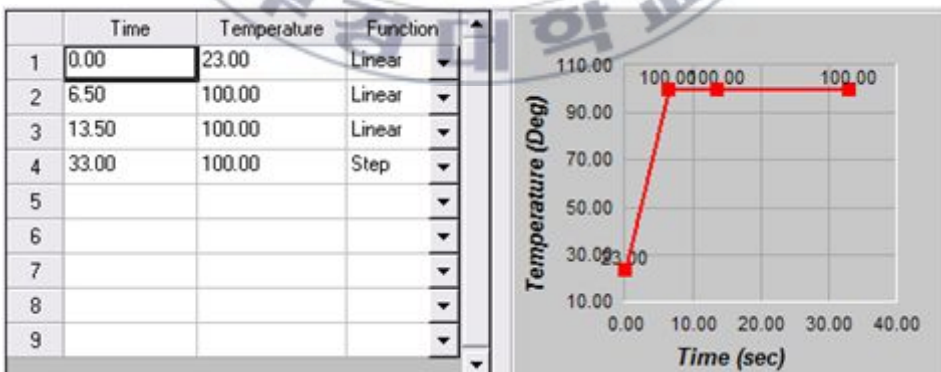
Table 3.3, Fig. 3.6의 충전 시간과 온도 및 Fig. 3.7의 삽입 온도에 따르는 변위 등을 적용하여 변형 해석을 실시한 결과를 Fig. 3.8에 나타내었다. 온도 미설정의 경우보다도 온도를 설정하여 시간 구간에 따라 변화를 시킨 경우에 최종적인 링크바디에 발생하는 변형이 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 사출성형을 위하여 충전 시간에 따라 온도변화를 고려하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3.6 Temperature versus filling time

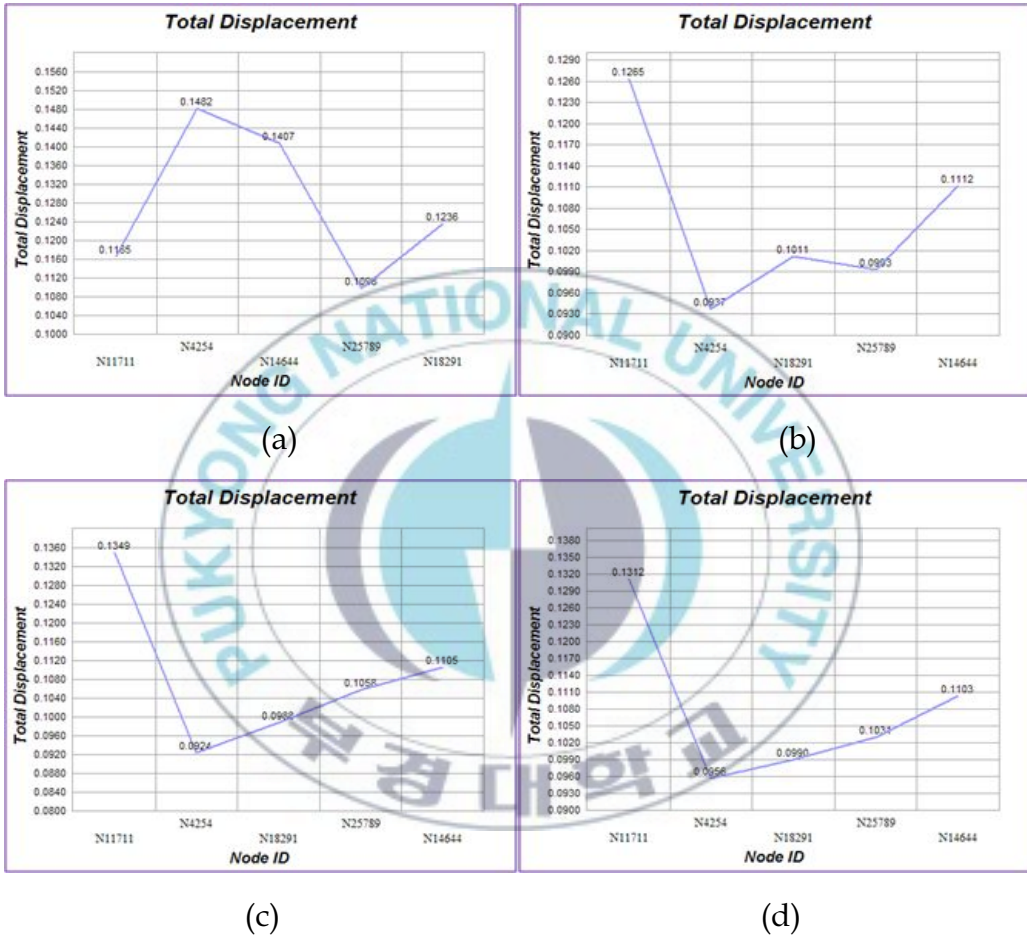
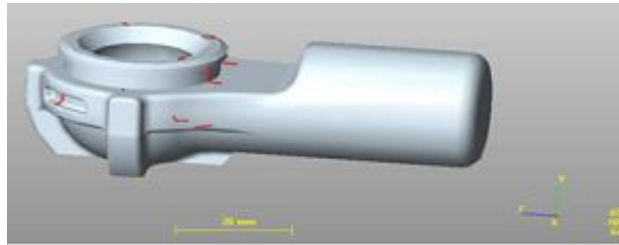
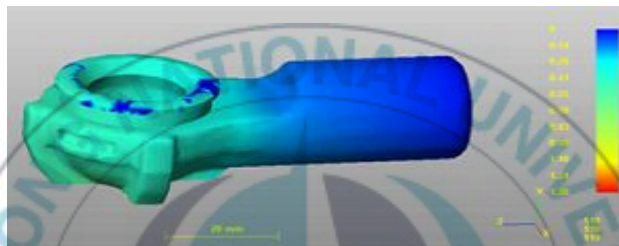


Fig. 3.7 Displacement according to insert temperature

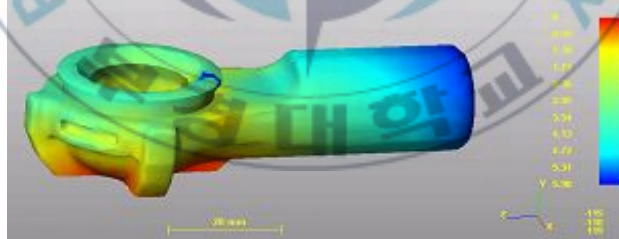
스태빌라이저 링크의 본체 사출성형 시에 게이트 위치에 따라 발생될 수 있는 결합선의 예측을 위한 성형해석이 필요하다. 결합선의 경우는 수지의 흐름에서 온도차가 발생하고, 흐름이 다른 2부분이 겹치는 곳으로서 강도의 저하를 가져올 수 있다. 따라서 최적의 결합선의 형상이 필요하며 가능하면 결합선이 형성되지 않는 것이 성형품의 강도향상에 양호하다. 성형 시에 볼 시트의 게이트 위치에 따라서 성형성이 다르게 나타났다. 1차적으로 게이트의 위치를 측면에 만들어 실시한 것은 압력 저하와 에어트랩의 경향을 볼 수 있다. 그래서 2차적으로 게이트의 위치를 뒷편에 만들어 성형 해석을 실시하였다. Fig. 3.8(a)는 스태빌라이저 링크의 본체 사출 성형에서 결합선이 나타나지 않았고, Fig. 3.8(b)는 본체 주입 압력을 해석 것이다. 압력은 주입구로부터 먼쪽은 압력이 적게 분포하고, 가까운 곳은 압력이 높게 분포된 것을 알 수 있다. 이와 같이 게이트의 위치를 뒷편에 설치함으로서 링크 본체의 형상에 결합선이 거의 나타나지 않아 강도에 미치는 영향은 적을 것으로 판단되었다. Fig. 3.8(c)는 스태빌라이저 링크의 바디를 사출성형 시 수지가 채워지는 시간을 분석한 것으로 로드와 결합되는 부위에서 충전시간이 많이 걸리는 것을 알 수 있으며, 위쪽 부분에 미소하게 충전시간이 늦은 부분이 나타났다. 미소한 부분의 경우 인장강도에 특이한 영향을 미치는 부분은 아니었다. 사출성형 해석의 결과로부터 볼 시트의 성형 시에는 좌측면에 게이트를 만드는 것보다 뒤편에 게이트를 만드는 것이 균일한 냉각을 발생시키고 결합선과 에어트랩을 현격히 축소시킨다는 것을 알 수 있었다. 또한, 결합선을 줄이고 균일한 냉각이 됨으로서 볼 스테드의 구면을 일정한 힘으로 감싸게 되는 효과가 발생되었다.



(a) Weld line design



(b) Body injection pressure



(c) Body fill time

Fig. 3.8 C-MOLD analysis

사출성형 해석 결과, 충전 후 냉각시간의 차이가 인장강도에 영향을 미칠 것으로 판단하여, Fig. 3.9는 충전 후 냉각시간에 따른 링크 본체의 냉각체적을 비교 검토한 것이다. 결과적으로 적어도 90%의 고화가 진행된 상태에서 뽑아야 한다고 하였을 때, 적어도 80 sec일 때 뽑아야 적절한 냉각체적을 유지할 것으로 판단된다.



Fig. 3.9 Frozen volume versus time

3.3.2 볼 스테드 빠짐 하중

링크 본체의 볼 시트부에서 볼 스테드 빠짐 하중은 국내 자동차 생산자가 중형 승용차의 안전성을 고려한 평가기준 1.47 kN을 견디는 것으로 하였다. 총 10개의 시험편을 시험한 결과 최대 2.93 kN, 최소 2.77 kN으로 평균 볼 스테드 빠짐 하중은 2.85 kN이었다. 이것은 예상 평가기준의 약 2배 정도로 아주 양호한 것으로 판단된다.

3.3.3 인장강도

링크 본체와 4가지 형태의 금속 로드와의 결합 상태를 파악하기 위하여, 각 시험편 당 30개씩 인장시험을 행하였다. 그 결과를 Fig. 3.10에 나타내었다. 이것은 4가지 로드형상에 따른 인장강도의 평균치를 나타낸다. Fig. 3.10으로부터 알 수 있듯이 로드를 널링하였을 때, 인장응력이 가장 높게 나타났다. 즉, 인장하중 7.84 kN을 만족하는 것은 널링한 것이다.

Fig. 3.10의 결과에 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. 3.11에 나타내었다. 평균 170.8 MPa을 나타내어 목표인 160 MPa을 초과하여 인장강도를 만족하는 것으로 판단된다. 이때 링크 본체의 냉각시간을 달리한 이유는 복합소재의 사출성형 시의 건조를 위한 냉각시간을 달리했을 때 링크 본체의 사출성형강도가 인장력에 어떤 영향을 받는지를 평가하기 위한 것이었다. 시험결과 링크 본체의 사출성형 냉각시간은 인장강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.



Fig. 3.10 Tensile strength versus four types of rod

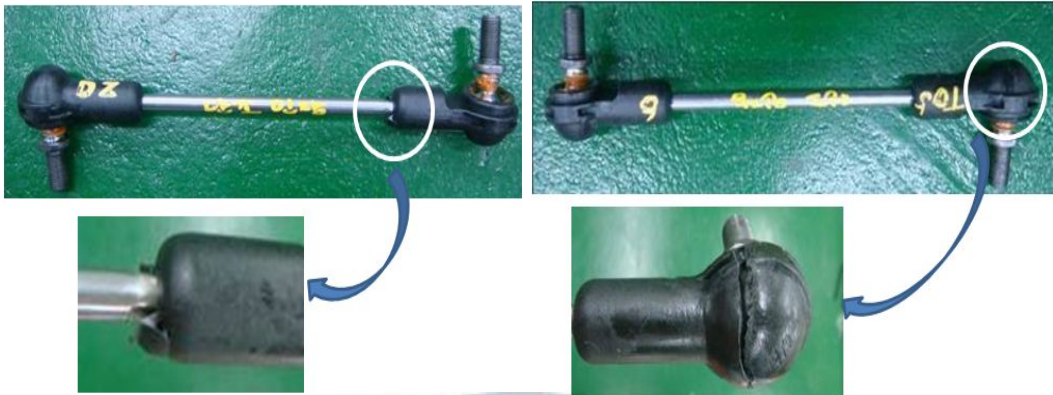


Fig. 3.11 Tensile strength versus cooling time for knurling

Fig. 3.12은 인장시험 후 최종 파괴된 링크 본체의 파손형상을 나타낸다. Fig. 3.12(a)는 단조 로드를 인서트한 경우의 파손형상, Fig. 3.12(b)는 널링 로드를 인서트한 경우의 파손형상을 각각 나타낸다. 단조 로드는 링크 본체 연결부에서 파손이 발생하여 로드 빠짐 현상이 나타났으며, 널링 로드는 연결부에는 아무런 손상이 없으며, 링크 본체에 균열이 발생하여 파손되었다.

3.3.4 압축강도

복합소재 스테빌라이저 링크 본체의 압축강도(널링 로드 시험편) 평가는 10개의 시험편으로 실시하였다. 대표적인 결과를 Fig. 3.13에 나타낸다. 압축하중은 국내 자동차 생산자가 중형 승용차의 안전성을 고려한 평가기준 2.94 kN을 견디는 것으로 하였다. 사출성형의 재해석에 의한 형상변경으로 인하여 최대치는 13.64 kN, 최소치는 10.66 kN으로 평균 12.52 kN을 나타내었고, 평가기준보다도 약 4배의 압축강도를 유지하였다. Fig. 3.13과 같이 평가기준 2.94 kN보다 훨씬 큰 압축하중에 의하여 스테빌라이저 로드가 휘었지만, 링크 본체 및 로드 균열 혹은 파손은 발생하지 않았다. 따라서 고분자 복합소재 스테빌라이저의 링크 본체는 금속제를 대체할 수 있는 것으로 판단된다.



(a) Forging rod

(b) Knurling rod

Fig. 3.12 Fracture shape of link body after tensile test



Fig. 3.13 Appearance of deformed rod after compressive test of knurling load

3.3.5 유격측정

복합소재로 제작된 링크 본체에 대하여 요동을 일정한 횟수만큼 진행시켜 볼 스테르드와의 유격을 측정하여 Table 3.4에 나타내었다. 유격은 부품에 마모가 발생하였을 경우 발생하는 것으로서 여기서는 축방향의 유격정도 및 횡 방향의 유격정도 2가지를 측정하였다. 유격측정은 마모 시험 후에 본체 부분을 고정시킨 뒤 볼 스테르드를 옆으로 밀어 측정을 하였다. 볼 조인트가 볼 스테르드에서 전달되는 요동 혹은 회전력을 받았을 때 링크 본체에 대해 마모 혹은 균열 등이 발생한다면 유격이 생기는 것이다. 축 유격은 0.1 mm이하, 횡 유격은 0.1 mm 이하를 평가기준으로 하였다. 그 결과를 테이블에 나타낸다. 결과로부터 알 수 있듯이 축 방향 유격은 평균 0.02 mm를 나타내어 평가기준을 만족하는 것으로 나타났다. 반면, 횡 유격은 0.13 mm로서 평가기준을 초과하여 금후 보완이 필요할 것으로 판단된다. 이와 같이 횡 유격량이 많이 나타나는 이유로서는 링크 본체의 스테빌라이저의 역할이 충격완화를 하는 것으로서 외부로부터 요동하중을 받으면, 즉 볼 스테르드가 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. 따라서 금후 링크 본체에 대한 사출성형해석을 좀 더 보완하여 최적상태의 링크 본체의 설계를 도출할 필요가 있다.

Table 3.4 Gap by wear test

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



3.3.6 피로수명

먼저 전조 및 단조 로드를 적용한 1차 피로시험을 행하고 그 결과를 Table 3.5에 나타낸다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 전반적으로 피로내구성이 낮은 것을 알 수 있다. 로드직경 $\phi 10$ 의 경우, 전조 가공한 로드를 인서트 한 시험편이 단조 가공한 로드를 인서트 한 시험편보다도 수명이 더 길었는데, 단조의 경우에는 볼 스터드 빠짐이 발생하여 상대적으로 수명이 짧았다. 전체적으로는 주로 볼 조인트(Bolt joint)의 파손과 로드(rod) 끝부분의 빠짐의 형태로 손상이 발생하였다.

Fig. 3.14는 단조 가공한 로드 및 전조 가공한 로드를 인서트 한 경우의 볼 조인트의 파손과 로드 끝부분의 빠짐의 일례를 보여주고 있다.

따라서 이와 같이 피로수명이 낮아 사출성형의 재해석을 통하여 링크 본체를 재차 설계하여 해석하였다.

이 결과를 바탕으로 제작한 링크 본체를 널링된 로드와 연결하여 총 10개의 시험편에 대해서 피로시험 결과의 S-N 곡선을 Fig. 3.15에 나타내었다. 최대 820,000 cycles에서 복합소재로 제작된 링크 본체가 아닌 볼 스터드에서 최종 파괴가 발생하였다.

Table 3.5 Fatigue life

classification		Cycles	Remarks
Ø10	DI forging (No.1)	198,464	damage of B/Joint
	TO rolling (No.2)	202,239	
	DI forging (No.3)	55,349	damage of B/Joint
	TO rolling (No.4)	474,331	
	DI forging (No.5)	22,110	pull-out of rod end
	TO rolling (No.6)	144,747	damage of B/Joint
	DI forging (No.7)	582	pull-out of rod end
	TO rolling (No.8)	24,368	damage of B/Joint
Ø 8	DI forging (No.9)	148,143	pull-out of rod end
	TO rolling (No.10)	176,466	damage of B/Joint
	DI forging (NO.11)	202,253	pull-out of rod end
	TO rolling (NO.12)	245,819	damage of B/Joint

DI : Rod forging + grease IN injection product

TO : grease injection product after injection



Fig. 3.14 Example of pullout



3.15 S-N curve of knurling rod specimen

3.5 결 언

고분자 복합소재를 이용하여 제작한 스테빌라이저 링크의 강도 특성을 평가하고자 기계적 특성시험을 실시한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 볼 시트의 성형은 좌측면에 게이트를 만드는 것보다 뒤편에 게이트를 만드는 것이 균일한 냉각을 발생시키고 결합선과 에어트랩을 현격히 축소시킨다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 결합선을 줄이고 균일한 냉각이 됨으로서 볼 스테드의 구면을 일정한 힘으로 감싸게 되는 효과가 발생되었다.
- (3) 복합소재로 제작된 스테빌라이저 링크는 인장, 압축, 볼 스테드 빠짐으로 강도를 평가하였으며, 이들은 평가기준을 만족하였다.
- (4) 4가지 형상의 로드에서 널링된 로드 형상의 강도가 가장 크게 나타났다.
- (5) 스테빌라이저 링크의 기계적 특성을 평가한 결과 금속재를 대체할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- (1) Lee, Y. J., Kim, G.C. and Pyo, Y. D., 2005, "The Influence of Operating Conditions on Fuel Economy of the Hybrid Electric Vehicle", International Journal of Automotive Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 35~40, 2005.
- (2) Lim, S. W., 1995, "Advanced Technology for Lightweight Automobile", Journal of The Korean Society for Heat Treatment, Vol. 21, No. 3, pp. 162~170.
- (3) Lee, D. G., 2006, "Design and Manufacturing of Composite Automotive Parts", Auto Journal, Vol. 29, No. 1, pp. 27~33.
- (4) Lee, S. K., 1997, "The Composite Material for Automobiles", Journal of the KSME, Vol. 39, No. 2, pp. 91~100.
- (5) Lee, S. K. and Kim, B. S., 1996, "Composite applications to automobiles", Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 18, No. 5, pp.96~120.
- (6) Lee, J. W., 2007, "Polymer Material for Automobile", Korea Institute of Science and Technology Information.
- (7) Cho, B. K., Lee, S. S. and Cho, M. H., 1995, "Polymeric Composite Materials for Automobile", Polymer, Vol. 6, No. 4, pp. 314~325.
- (8) Lee, Y. H., Park, J. H., Ahn, J. H., Choi, J. H. and Kwon, J. H., 2009, "A Study on Failure Strength of the Hybrid Composite Joint", Journal of the Korea Society of Composite Materials, Vol. 22, No. 2, pp. 7~13.

- (9) Groth, H. L., 1985, "A method to predict fracture in an adhesively bonded joint", *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Vol. 5, pp. 19~22.
- (10) Hart-Smith, L.J., 1980, "Mechanically fastened joints for advanced composites, phenomenological considerations and Simple Analysis", *Fibrous Composite in Structural Design*, Plenum Press, pp. 543~574.
- (11) Kim, W. S. and Lee, J. J., 2008, "Interfacial Fracture Toughness Measurement of Composite/metal Bonding", *Journal of the Korea Society of Composite Materials*, Vol. 21, No. 4, pp. 7~14.
- (12) Kinloch, A. J., 1987, "Adhesion and adhesives: science and technology", Chapman and Hall.
- (13) Kim, K. S., Lee, Y. M. and Kim, C. G., 2005, "Failure Mode and Strength of Unidirectional Composite Single Lap Bonded Joints II Failure Prediction", *Journal of the Korea Society of Composite Materials*, Vol. 18, No. 1, pp. 1~9
- (14) Anderson, G. P. and DeVries, K. L., 1989, "Predicting strength of adhesive joint from test results", *International Journal of Fracture*, Vol. 39, pp. 191~200.
- (15) Park, S. G., 2008, "wear Test Guide", Neoplus Co. Ltd.
- (16) Choi, J. H., Jeon, Y. J. and Kwon, J. H., 2002, "A Study on the Strength of Mechanically fastened composite joint", *Journal of the Korea Society of Composite Materials*, Vol. 15, No. 4, pp. 9~16.
- (17) Lee, B. W., Lee, S. H., Kim, C. G., Yoon, B. I. and Back, J. K., 2008, "A Study on the Low Speed Impact Response and

Frictional Characteristics of Shear Thickening Fluid Impregnated Kevlar Fabrics", Journal of the Korea Society of Composite Materials, Vo. 21, No. 2, pp. 15~24.

- (18) Park, S. J., Seo, M. K., Cho, M. S. and Lee, J. R., 2000, "Influence of Oxidation Inhibitor on Carbon-Carbon Composites: 5. Studies on Anti-oxidation Properties of the Composites", Polymer, Vol. 24, No. 2, pp. 237~244.
- (19) Yoon, B. S., 1998, "A Study on the Glass Fiber Reinforced Polypropylene Composites", Polymer, Vol. 22, No. 4, pp. 633~641.
- (20) Lee, J. B. and Cho, M. H., 2009, "The Effect of Surface Micro Texturing on Friction and Wear of Polyoxymethylene", Journal of Korean Society of Tribologist and Lubrication Engineers, Vol. 25, No. 3, pp. 141~149.

第 4 章

피로 하중을 받는 연결부의 광센서에 의한 성능 평가



4.1 서 론

스태빌라이저는 자동차의 차체가 좌우로 기울는 것을 줄이기 위하여 장착하는 자세 안정장치로서 앞뒤바퀴에 모두 쓰인다. 토션 바(torsion bar) 스프링의 양끝을 서스펜션(로어 암; lower arm)에 달아 좌우 바퀴가 다른 동작을 보일 때 작동하는데, 차량의 상하 진동을 막아주는 쇼크 업소버(shock absorber)와 달리 차체의 좌우 흔들림을 방지하는 역할을 한다.[1] 최근에는 자동차의 중요한 기술로서 연비를 향상시키는 기술이 이슈가 되고 있는데,[2-7] 이를 위하여 스태빌라이저 부품에 대한 경량화 또한 해결되어야 할 부분으로 지적되고 있는 실정이다.[8] 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.[9] 그러므로 연비향상 및 안정성강화의 문제를 극복하기 위한 대안으로서 많이 사용되는 것 중 하나가 복합재료이다.[10-13]

따라서 본 장에서는 자동차 부품의 경량화를 도모하기 위하여 금속제품인 스태빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하기 위한 기술, 특히 본체에 유리섬유가 함유된 POM+GF 25% 수지를 금속재 인서트 형식으로 사용하여 사출 성형을 할 때, 금속부분인 로드(rod)와 결합되는 복합재료의 성형부위에 대한 기계적 특성에 관하여 연구하였으며, 특히 결합부의 내구성을 평가에 광섬유 센서를 사용하여 변위량을 측정하였다.

4.2 재료 및 실험방법

4.2.1 재료 및 시험편

금속형 제품인 스테빌라이저 링크 본체(link body)를 복합재로 대체하기 위하여 금속 로드(rod)의 끝부분 형상을 다양화하여 금속과 복합재의 결합력을 향상시키도록 하였다. 로드(rod)는 SCM435를 사용하였고, 로드의 직경은 10 mm로 하였다. 본체는 Table 4.1에 나타내듯이 POM+GF 25%(한국엔지니어링(주))로써 과도한 함유량은 성형성이 나쁘므로 유리섬유가 25 % 함유된 것을 사용하였다. 시험편의 형상을 Fig. 4.1에 나타낸다.



Table 4.1 Tensile strength (MPa) and elongation (%) of POM

	POM	POM+GF15%	POM+GF20%	POM+GF25%
σ_t	64	120	140	160
ε	40	3.6	3	3

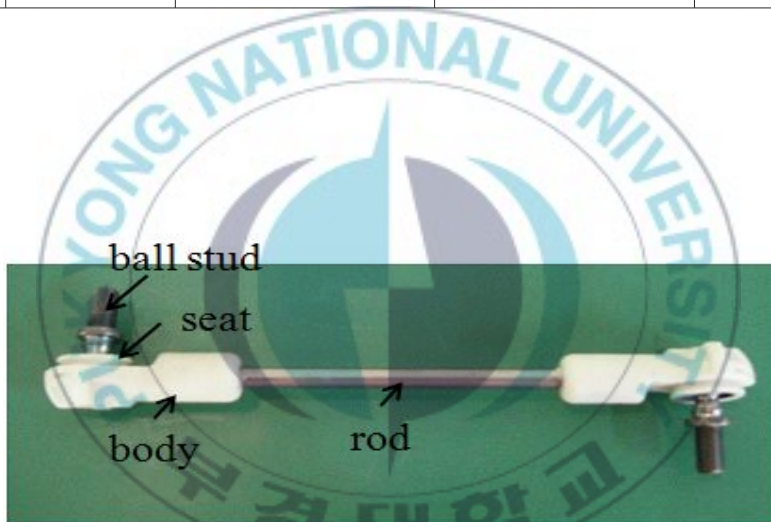


Fig. 4.1 Example of injection molded product

4.2.2 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 흡수율은 0.1 %이하를 적용하였다. 또한 POM의 융점은 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 썰 시간 보다 약간 긴 값이 되도록 설정하였다.

4.2.3 실험방법

Fig. 4.2와 같은 4가지의 서로 다른 형상의 로드 시험편을 인서트(insert)로 하여 스테빌라이저 링크 본체를 형성하고 있는 복합재 사출 성형 부분(링크 본체)과의 결합력을 조사하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 또한 인장시험 결과에 의해 널링을 실시한 경우에 한해서는 인장시험편에 링크 본체의 냉각시간을 각각 20, 40, 80 sec로 냉각시켜 널링시험편을 제작하여 상호 비교하였다. 인장시험은 Fig. 4.3과 같이 볼스터드를 고정한 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 $\pm 15^\circ$ 의 구배로 회전주파수 0.5 Hz, $\pm 15^\circ$ 의 구배로 요동주파수 2.5 Hz로 설정하고 ± 1.57 kN의 횡 하중을 12 Hz로 10^6 회 작용시켜 축 및 횡 유격량을 측정하였다.



(a) Cutting



(b) Form rolling



(c) Forging



(d) Knurling

Fig. 4.2 Shapes of rod end



Fig. 4.3 Schematic and loading direction of stabilizer link

스태빌라이저 본체와 로드의 내구성을 평가하기 위한 피로시험은 1축 피로 시험기를 이용하여 정현파, 반복주파수 10 Hz, 반복 하중 ± 2.55 kN의 응력비 $R = -1$ 로 실시하였다. 또한, 비교하기 위하여 ± 2.94 kN 및 블록 하중에 대하여 응력비 $R = -1$ 의 피로시험을 실시하였다. Fig. 4.4에 3종류의 피로시험 하중을 나타내며, Table 4.2에 1 cycle에 대한 블록 하중을 나타낸다. 이 때, 본체와 로드가 결합된 부분에 대한 변위량을 측정하기 위하여 광섬유 센서를 장착하여 외부 빛을 차단하여 실험을 진행하였다. 특히 본 연구에서 적용한 광센서 변위량 측정 기술은 헤테로 코어형 광섬유 센싱 시스템 기술을 사용하였다. 즉 Fig. 4.5와 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.

Table 4.2 The condition of one block load

Block order	$\pm$ 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

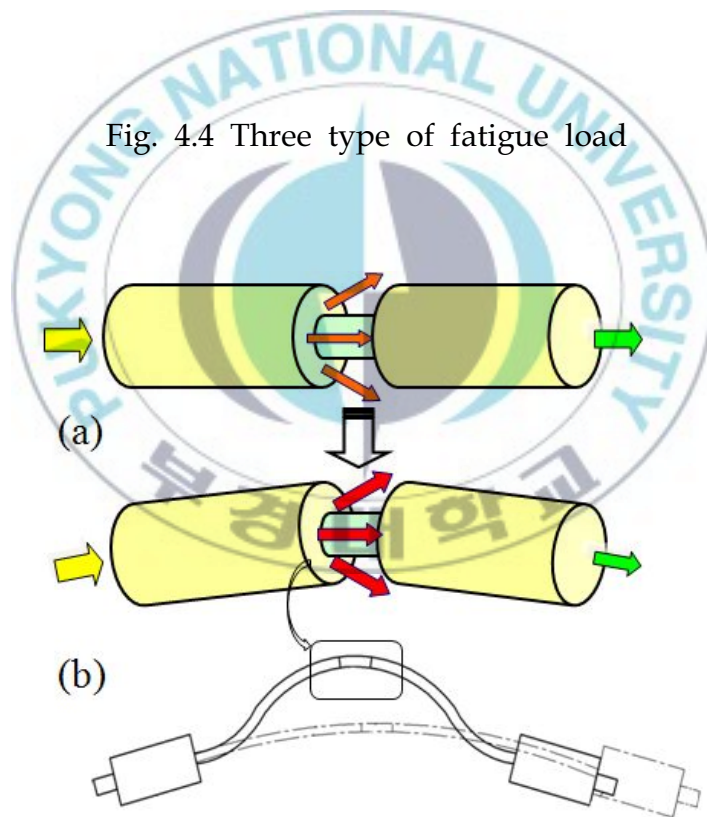


Fig. 4.5 (a) Structure of hetero-core sensor and
(b) a conversion structure for linear
displacement to macro bending

4.3 결과 및 고찰

4.3.1 인장강도

링크 본체와 4가지 형태의 금속 로드와의 결합 상태를 파악하기 위하여, 각 시험편 당 30개씩 인장시험을 행하였다. 그 결과를 Fig. 4.6에 나타내었다. 이것은 4가지 로드형상에 따른 인장강도의 평균치를 나타낸 것이다. Fig. 4.6으로부터 알 수 있듯이 널링한 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. 4.7은 충전 후 냉각시간에 따른 링크 본체의 냉각체적을 비교 검토한 것이다. 결과적으로 적어도 90%의 고화가 진행된 상태에서 뽑아야 한다고 하였을 때, 적어도 80 sec일 때 뽑아야 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. 4.8에 나타내었다. 평균 170.8 MPa을 나타내어 목표인 160 MPa을 초과하여 인장강도를 만족하는 것으로 판단된다. 이때 링크 본체의 냉각시간을 달리한 이유는 복합소재의 사출성형 시의 건조를 위한 냉각시간을 달리했을 때 링크 본체의 사출성형강도가 인장력에 어떤 영향을 받는지를 평가하기 위한 것이었다. 시험결과 링크 본체의 사출성형 냉각시간은 인장강도에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.



Fig. 4.6 Relationship of between tensile strength and four types of rod



Fig. 4.7 Frozen volume versus time



Fig. 4.8 Relationship of between tensile strength and cooling time at knurling

4.3.2 유격

복합소재로 제작된 링크 본체에 대하여 요동을 일정한 횟수만큼 진행시켜 볼 스테르드와의 유격을 측정하였다. 유격은 부품에 마모가 발생하였을 경우 발생하는 것으로서 여기서는 축 방향과 횡 방향의 유격을 측정하였다. 유격측정은 마모시험 후에 본체 부분을 고정시킨 뒤 볼 스테르드를 옆으로 밀어 측정을 하였다. 볼 조인트가 볼 스테르드에서 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 4.3에 나타낸다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 축 방향 유격은 평균 0.02 mm를 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 스테르드가 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.

Table 4.3 Gap of both direction by wear test

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

4.3.3 내구성 평가

전조 및 단조 로드를 적용한 본체와 로드부의 피로시험 결과를 Table 4.4에 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 스터드 빠짐이 발생하여 상대적으로 수명이 짧았다. 전체적으로는 주로 볼 조인트(Bolt joint)의 파손과 로드(rod) 끝부분의 빠짐의 형태로 손상이 발생하였다.



Table 4.4 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

Fig. 4.9는 단조 가공한 로드 및 전조 가공한 로드를 인서트 한 경우의 볼 조인트의 파손과 로드 끝부분의 빠짐의 대표적인 일례를 보여주고 있다.

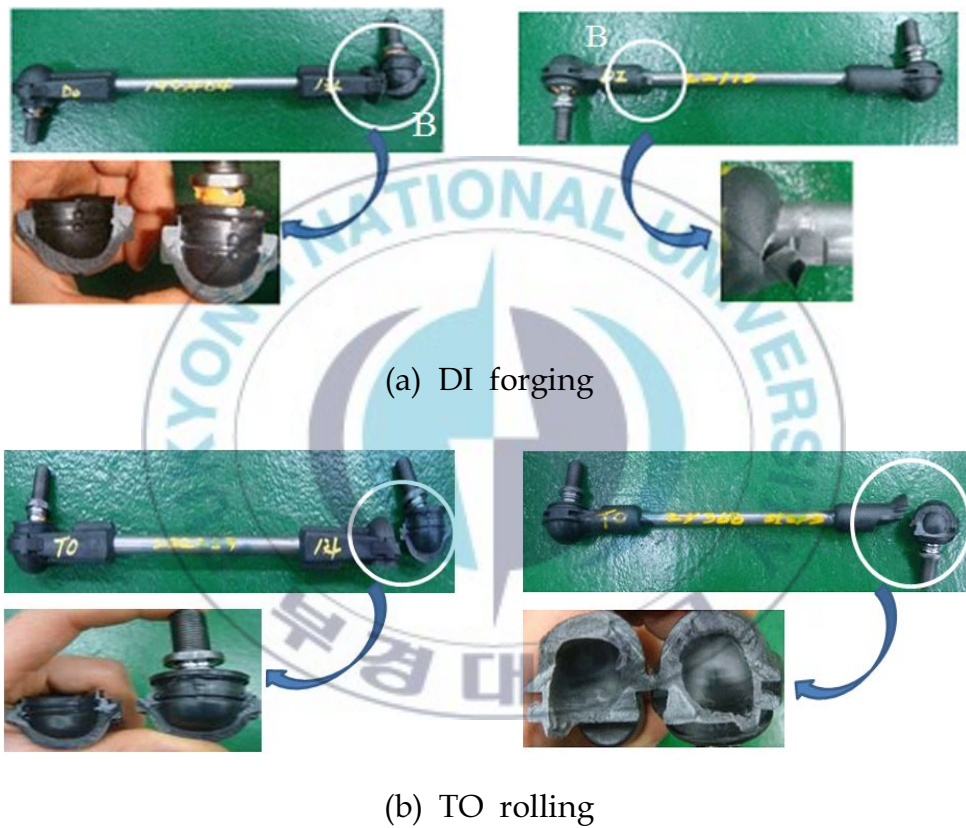


Fig. 4.9 Typical example of pull out of rod end and damage of ball joint

링크 본체와 널링된 로드와 연결한 총 11개의 시험편에 대하여 반복 하중 ± 2.55 kN의 피로시험 결과를 Fig. 4.10에 나타내었다. 피로 수명은 분산이 많으나 최대 874,000 cycle에서 복합소재로 제작된 링크 본체가 아닌 볼 스테드에서 최종 파괴가 발생하였다. 또한 비교하기 위한 ± 2.94 kN의 과 하중에서 피로 수명은 213,000 cycle 및 260,000 cycle로 ± 2.55 kN 피로 하중에 비하여 상당히 짧은 피로 수명을 나타내었음에도 불구하고, 볼 스테드에서 파괴가 발생하였다. 블록 하중에 대한 피로 수명은 815,000 cycle로 ± 2.55 kN 피로 하중에 의한 피로수명과 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 연결부가 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 사용하여 측정하였다. 그 결과를 Fig. 4.11 (a), (b) 및 (c)에 나타낸다. (a)는 ± 2.55 kN에서 얻어진 반복수에 대한 변위량의 변화이다. 2개의 시험편에서 얻어진 최대 변위량은 시험편1에서 약 0.034 mm, 시험편2에서 약 0.026 mm로 나타났다. (b)는 과하중 ± 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 4.1에서 POM + GF 25%의 연신율이 3 %이므로 인장에서 최대 변위량이 0.15 mm이다. 피로 시험에서 얻어진 널링부의 변위량은 POM + GF 25% 변위량의 23 ~ 10 %이하를 나타낸다. 따라서 널링된

스테빌라이저 링크는 표준 평가 피로 하중에서 충분한 안전성이 확보되었다고 판단된다.



Fig. 4.10 Fatigue life of knurling rod specimen



(a) Displacement vs cycle from load ± 2.55 kN

(b) Displacement vs cycle from load ± 2.94 kN

(c) Displacement vs cycle from block load

Fig. 4.11 Relationship between displacement and cycle from various load



Fig. 4.12는 광섬유 센서를 사용하여 안전성을 평가할 때 얻어진 시험편의 파괴외관을 나타낸다. 3종류의 피로 하중에서 실시한 널링 시험편은 모두 본체 부분에서 파괴가 발생하였다. 이것으로 부터 널링시험편의 연결부 강도는 충분하며, 안전성이 확보되었다고 판단된다.

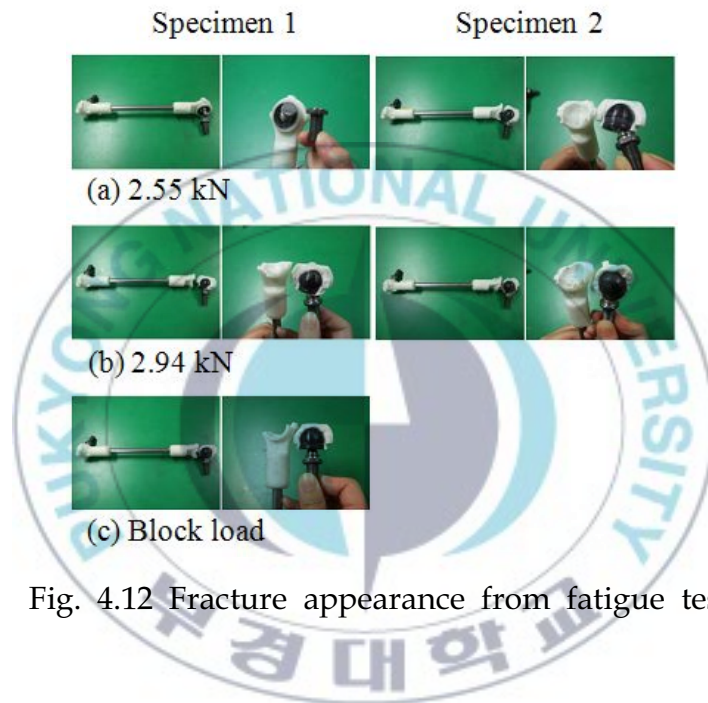


Fig. 4.12 Fracture appearance from fatigue test

4.4 결 언

본 장에서는 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 인장 응력이 가장 높게 나타났으며, 링크 본체의 사출성형 냉각시간은 인장강도에 큰 영향을 주지 않았다.
- (2) 볼 스터드에서 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+GF 25% 변위량의 23 ~ 10 %이하를 나타내었다. 따라서 널링된 스테빌라이저 링크는 피로 하중에서 충분한 안전성이 확보되었다고 판단된다.

참고 문헌

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. Palma¹, 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.



제 5 장

결 론



본 연구에서는 자동차 부품의 경량화를 도모하기 위하여 금속제품인 스테빌라이저 링크의 본체(body)를 복합재료로 대체하기 위한 연구를 실시하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 스테빌라이저링크의 기계적 특성의 평가결과 금속재를 대체할 수 있다고 판단되며, 경량화 면에서도 약 30%이상의 중량을 줄일 수 있는 것으로 파악되어 기존의 금속재 스테빌라이저링크의 대체품으로 복합재료를 이용한 스테빌라이저링크의 개발이 확산될 것으로 판단된다.
- (2) 특히, 복합재료의 사출성형 공법을 이용한 스테빌라이저의 경우 피로강도가 우수한 것으로 나타났다. 광섬유 센서에 의한 변위량은 POM+GF 25% 변위량의 23 ~ 10 %이하를 나타내었다.
- (3) 사출성형공법을 이용한 제품개발의 경우 사출성형재료가 여러 가지 특성들을 잘 살릴 수 있도록 많이 개발되어 있어 강도를 요하는 자동차부품의 경우에도 많이 적용될 것으로 예상된다.
- (4) 기존의 금속재 제품보다 복합재료를 함께 사용하였을 경우, 공정수를 줄일 수 있고, 생산성 향상을 이룰 수 있으며, 원가절감 효과가 나타난다. 이는 곧 시장에서의 품질과 가격경쟁력에서 우위를 점할 수 있는 중요한 요건이 충족되는 것이다.
- (5) 금속재에서 사용되던 볼시트의 경우 강제압입방법을 사용하여 볼스터드와 볼시트가 면접촉을 이루기 어려웠으나, 사출성형 공법을 사용함으로써, 볼시트와 볼스터드가 결합된 부품을 인서트로 사용하기

때문에 볼 스테드와 볼 시트가 면접촉을 이루는 범위가 넓어져 토크와 마모 등에서 안정된 성능을 보인다.

- (6) 향후, 개발되는 많은 차종의 부품이 복합재료로 개발될 것으로 예상되어 국내의 기업들도 이에 대한 설비 등을 준비하고 있다.



감사의 글

엣그제가 봄이었던 것 같은데 벌써 겨울이 되어 날씨가 쌀쌀한 것을 보니 세월이 참 빠르다는 것을 새삼 느낍니다. 많은 사람들과 어울려 살아오면서 올해 같이 고마움을 많이 느낀 해도 없었던 것 같습니다.

항상 끊임없는 지도편달로 이끌어주신 남기우 교수님께 고마운 마음을 전합니다. 그리고 연구실 선, 후배님들에게도 고맙다는 말을 전합니다. 특히, 옆에서 물심양면으로 도와준 동생 성기용 박사에게도 고마움을 전합니다. 따뜻한 봄날의 햇살처럼 만나면 기분 좋은 그런 분들이 연구실에 많다는 것만 해도 저에게는 큰 기쁨입니다.

그리고 학위를 마칠 수 있도록 힘써주신 (주)센트랄엘티에스 설상훈 대표이사님, 김영일 과장, 시험에 많은 도움을 준 정우식 대리, 임성찬 연구원, 이다정 연구원, 서종찬 연구원께 진심으로 감사드립니다.

지난 세월을 돌이켜보면 많은 일들이 머릿속을 스쳐지나갑니다. 힘들 때나 즐거울 때나 항상 내 옆을 지켜준 아내 이현주, 아무리 많이 보아도 예쁜 딸 우승혜, 든든하면서 대견한 아들 우현호, 항상 나에게 즐거움을 주고 힘이 되는 가족들에게 평소에 사랑한다는 표현을 잘 못하는 남편, 아버지로서 이 글을 빌어 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

살아가면서 받은 많은 도움들을 저 또한 힘이 되는 한 많은 사람들에게 도움이 되고 싶습니다. “비속에 오래 서 있으면 결국 무지개를 보게 된다”는 말이 오늘따라 생각이 납니다. 이 논문을 사랑하는 아내 현주에게 바칩니다. 그리고 제가 알고 있는 모든 분들께 감사하는 마음으로 이글을 마칩니다.

2011년 12월 우 영 만