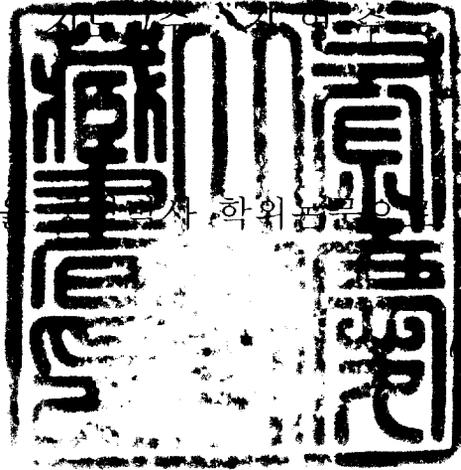


공 학 박 사 학 위 논 문

사출성형을 이용한 복합재료  
스테빌라이즈링크 개발에 관한 연구

이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함



2005년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

학연협동 기계공학과

이 장 희

이장희의 공학박사 학위논문을  
인준함

2005년 08 월

주심 공학박사 남 기 우



부심 공학박사 정 영 득



위원 공학박사 김 철



위원 공학박사 김 인 관



위원 공학박사 김 영 수



## 목 차

Abstract.....	iv
List of Figures.....	v
List of Photographs.....	vii
List of Tables.....	viii
Nomenclature.....	ix
제 1 장 서 론.....	1
1.1 연구배경.....	1
1.2 연구동향.....	2
1.3 연구 목적 및 내용.....	4
제 2 장 스테빌라이즈 링크	
2.1 스테빌라이즈 링크의 메카니즘.....	6
2.2 스테빌라이즈 바와 스테빌라이즈 링크의 기능... ..	7
2.3 인서트 사출성형 공정 .....	20
2.4 스테빌라이즈 링크의 제조 공정.....	23
제 3 장 성형해석.....	25
3.1 성형해석의 기본 이론.....	25
3.1.1 선형 점탄성 이론.....	25
3.1.2 성형해석의 일반적 이론 고찰.....	29
3.2 사출성형재료의 특성 .....	32
3.2.1 성형재료의 기계적 특성.....	32
3.2.2 용융수지의 거동.....	36
3.2.3 스테빌라이즈 링크의 성형해석.....	42
제 4 장. 실험장치 및 방법.....	62
4.1 성형 실험.....	62

4.1.1. 제품 설계 형상.....	62
4.1.2 사출성형기 사양.....	63
4.1.3 사출성형 실험.....	65
4.2 스테빌라이즈링크의 물성 측정.....	70
4.2.1 볼스터드 이탈강도 시험 (Pull out test)....	70
4.2.2 인장강도 및 압축강도 시험.....	71
4.2.3 피로시험.....	72
4.2.4 토크시험.....	73
4.2.5 마모 내구시험.....	74
4.2.6 중량시험.....	75
제 5 장 결과 및 고찰.....	76
5.1 물성측정 결과.....	76
5.1.1 인장 및 압축강도.....	76
5.1.2 피로시험.....	77
5.1.3 토크 시험.....	77
5.1.4 마모내구시험.....	80
5.1.5 중량시험.....	83
제 6 장 결론.....	84
참고문헌.....	87
감사의 글	

# Development of Composite Stabilizer Link using Injection Molding Process

Lee, Jang-hee

Department of UR Interdisciplinary Program of Mechanical Engineering,  
Graduate School, Pukyong National University

## Abstract

In general automobile stabilizer is installed to increase the stability of the automobile by creating a resistant force for counteracting a rolling motion of an automobile body such as during sharp turning of the automobile. The stabilizer has a U-shape torsion bar spring installed between a suspension arm and the automobile body to compensate for vertical vibration. Generally, the center part of the U-shape bar is used as the torsion bar spring, the center part being connected to the automobile body via a rubber cushion or rubber bush. Each end of the U-shaped bar is connected to a suspension arm through the ball joint

Objective of the present research is to increase the holding strength of the synthetic resin housing of the metal ball joint to prevent the ball stud from pulling out of its socket and enhance the durability of the ball joint by the application of composite materials.

Therefore, a composite stabilizer link was designed and fabricated

by the injection molding process to overcome several weak points of conventional metal made stabilizer link, I.e., heavy weight, lower pull-out strength and higher torque. based on the real test in the field, the developed stabilizer link was wel adopted and full filed the prescribed design conditions.

## List of Figures

- 2-1. The schematic of suspension structure
- 2-2. A function of stabilizer bar and link(rolling)
- 2-3. Twisting of stabilizer bar
- 2-4. Weight transfer at the cornering path
- 2-5. Movement of cornering force
- 2 6. Control for body roll
- 2-7 Roll center height
- 2-8 Height change of roll center by upper control arm
- 2 9 Stabilizer bar swing arm length
- 2-10. Configuration of front suspension
- 2-11. Bending moment by torque
- 2-12 Buckling of stabilizer link
- 2 13 Twisting of stabilizer link
- 2-14 Insert molding process
- 2-15 Molding process for stabilizer link
- 2-16. Manufacture process for steel type stabilizer link
- 2-17 Developed stabilizer link mold process
- 3-1 Maxwell model
- 3-2 Maxwell model & maxwell's retardation data
- 3-3 Retardation test of thermo plastic (temperature function)
- 3-4 Schematic diagram of 2-D flow
- 3-5 Schematic diagram of 1-D flow
- 3-6 Mechanical properties for copolymer
- 3-7 Tensile strength for copolymer
- 3-8 Three-dimensional geometric model
- 3-9 Part design of model 1
- 3-10 Analysis results for model 1
- 3-11 Part design of model 2
- 3-12 Analysis results for model 2
- 3-13 Part design of model 3
- 3-14 Analysis results for model 3
- 3-15 Part design of model 4
- 3-16 Melt front advancement (1 gate)
- 3 17 Melt front advancement (2 gate)
- 3-18 Weld and meld line (1 gate)

- 3-19 Weld and meld line (2 gate)
- 3-20 Clamp force (1 gate)
- 3-21 clamp force (2 gate)
- 3-22 Skin orientation (1 gate)
- 3-23 Core orientation (1 gate)
- 3-25 Skin orientation (2 gate)
- 3-26 Bulk temperature at end of filling (1 gate)
- 3-27 Bulk temperature at end of filling (2 gate)
- 3-28 Frozen layer fraction (1 gate)
- 3-29 Frozen layer fraction (2 gate)
- 3-30 Air trap (1 gate)
- 3-31 Air trap (2 gate)
- 4-1 Fatigue test condition
- 5-1 The result of tensile load test
- 5-2 Torque test before durability test(apply MOS<sub>2</sub>)
- 5-3 Torque test after durability test(apply MOS<sub>2</sub>)
- 5-4 Torque test before durability test(Apply WS<sub>2</sub>)
- 5-5 Torque test after durability test(Apply WS<sub>2</sub>)
- 5-6 Travel test (before durability test)
- 5-7 Travel test (before durability test)
- 5-8 Travel test (after durability test)
- 5-9 The result of weight test

## List of Photographs

- 3-1 Section of fracture (scale  $\times 100$ ), fiber 14%
- 3-2 Section of fracture (scale  $\times 100$ ), fiber 33%
- 3-3 Section of fracture (scale  $\times 100$ ), fiber 44%
- 4-1 Configuration of assembly parts
- 4-2 Ejection moldings
- 4-3. Flash at the head area
- 4-4 Sinkmark
- 4-5 The change of design for headpart
- 4-6. Configuration of stabilizer link by design revision
- 4-7 Pull out test
- 4-8 Tensile & compressure test
- 4-9 Fatigue test
- 4-10 Torque test
- 4-11 Durability test

## List of Tables

- 3-1 Material properties for polyacetal
- 4-1 Injection molding conditions
- 4-2 Injection molding conditions
- 4-3 The durability test conditions
- 5-1 Torque change depend on solid lubricant
- 5-2 Durability test specification

## Nomenclature

### Symbols

$A$	: 노즐 단면적	[mm <sup>2</sup> ]
$C_p$	: 비열	[J/kgK]
$D$	: 노즐 직경	[mm]
$g$	: 중력가속도	[m/s <sup>2</sup> ]
$n$	: Ostwald-de Waele 지수	
$m$	: Ostwald-de Waele 계수	
$k$	: 열전도도	[W/mK]
$L$	: 응고 잠열	[kcal/kg]
$t$	: 성형품의 두께	[mm]
$S$	: 수축율	
$M$	: 캐비티 치수	[mm]
$m$	: 금형 치수	[mm]
$V$	: 캐비티 체적	[mm <sup>3</sup> ]
$\bar{v}$	: 사출 속도	[m/s]
$t$	: 사출 시간	[sec]
$Re$	: 레이놀즈 수	
$p$	: 사출 압력	[MPa]
$T$	: 온도	[°C]

### 그리스 문자

$\rho$	: 밀도	[g/cm <sup>3</sup> ]
$\tau$	: 전단응력	[MPa]
$v$	: 속도	[m/s]
$\eta$	: 겔보기 점도	[Pas]
$\dot{\gamma}$	: 전단 변형율	[1/s]
$\lambda$	: 시간 상수	

# 제 1장 서론

## 1.1 연구배경

자동차 산업과 관련된 기술의 연구개발은 끊임없이 계속되고 있다. 그 중에서도 자동차의 경량화에 대한 연구개발은 자동차의 연비향상으로 이어지고 자동차의 성능과도 관계가 있기 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 자동차 부품관련 산업도 경량화, 내구성향상 등에 대한 연구를 진행하지 않으면 세계시장에서 기술우위, 시장선점 등을 이루기 힘들다. 이에 본 연구에서는 자동차의 중요부품 중의 하나인 스테빌라이즈링크(stabilizer link)를 기존의 금속재료에서 복합재료를 이용하여 개발함으로써, 경량화 및 내구성향상을 이루어 세계시장에서의 기술력 우위를 선점함으로써, 자동차부품에 대한 기술경쟁력을 확보하는데 연구의 목적을 두고 있다.

스테빌라이즈링크의 경우 과거에는 고급승용차에만 적용되어 왔는데, 현재에는 중급이상의 대부분의 승용차에 채택되어 그 사용이 날로 증가하고 있다. 국내에서도 많은 종류의 승용차에 적용되고 있으며, 부품으로서의 수출도 많이 되고 있다. 하지만, 현재 사용되고 있는 스테빌라이즈링크의 경우 대부분이 금속제품으로 제작공정 수가 많으며 금속제품의 한계성으로 인해 그 구성 부품이 많으며 그로인해 조립공정도 복잡한 과정을 거치고 있다. 이런 문제들로 부품수를 줄이고 경량화를 이루기 위한 연구가 각계에서 진행 중에 있다.

## 1.2 연구 동향

한정된 자원의 고 효율적 사용을 위해서 기계장치들의 경량화 연구는 계속되고 있다. 또한 환경 문제가 세계적인 관심사로 대두되면서 자동차에 대한 환경 규제도 강화되고 있다. 이로 인해 자동차 업계는 연비개선 및 경량화에 비중을 두고 연구를 하고 있다. 또한 제작 공정상의 부담을 줄이기 위해 공정의 수를 줄일 수 있는 제조공정을 많이 적용하고 있다. 자동차 분야에 있어서도 경량화를 위해 기존의 금속제 부품들은 복합재료와 경량의 금속으로 교체하고 있다.

금속제 제품의 경우, 미국 GM사와 FORD사에서 금속제 환봉을 길이별로 절단하여 튜브(tube)와 용접을 하고, 다시 스프링을 삽입하여 볼스터드를 작동시키는 방식을 채용하였으나 그 후, 스프링으로 인해 볼스터드의 원활한 움직임이 되지 않자 스프링대신 플라스틱으로된 볼시트(ball seat)를 개발하여 스프링을 대체하게 되었다. 현재 일반적으로 사용하고 있는 볼시트는 플라스틱을 사용하는 것으로 되었으며, 대부분의 자동차회사에서 이와 같은 플라스틱 제품을 사용하고 있다. 1990년 말 계속적인 자동차부품의 경량화요구에 미국의 FORD 자동차회사에서 금속환봉 대신 플라스틱을 이용하여 스테빌라이징링크를 개발하였다. 그러나 기존의 금속제 제품은 부품을 모두 사용하여 일체형이 아닌, 하나하나의 부품을 조립하는 형태로 되어 있어, 그 크기가 매우 큰 것이 단점이다. 국내에서도 경량화 및 용접불량의 위험성을 없애기 위한 연구를 자동차부품 회사에서 많이 진행하였으며, 그 결과 사출성형을 이용하여 스테빌라이징 링크를 일광에서 제조하였으나, 일광 제품의 경우 몸체를 사출성형 한 후 볼스터드를 강제 압입하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 경량화는 이루었으나, 강도가 약하고 내화학성이 약한 문제점을 지적할 수 있다

본 연구의 목적은 자동차의 현가장치(automotive suspension system)중 기존의 금속재 부품과 사출성형품인 볼 시트로 구성된 스테빌라이저를 일체형 플라스틱 사출성형품으로 개발하기 위해 필요한 최적 형상설계, 금형 설계를 위한 사출해석, 사출성형용 금형의 설계 제작 및 성형품에 대한 성능시험의 과정을 통해 연구를 수행하였다.

### 1.3 연구 목적 및 내용

기존의 금속재 제품은 볼스터드의 작동 각이 작고, 스테빌라이즈링크를 형성하고 있는 부품들의 수가 많다. 또한 볼시트와 볼스터드의 접촉률이 낮아 내마모성이 약하고, 다른 소재에 비하여 무거운 단점이 있다. 본 연구에서는 이런 단점들을 극복하기 위한 연구로써, 부품 수를 줄이고 내마모성을 향상시키며 볼스터드의 작동 각을 크게 하고 동시에 볼스터드의 빠짐 강도를 높이며 또한 경량화를 이루는데 목적을 두고 있다.

본 연구의 최종 목표는 현가 시스템(suspension system) 중 필드 주행 시 차량진동 및 충격에 대한 승차감 향상 및 코너링 시 자동차의 쏠림현상 등을 방지하는 스테빌라이즈 링크를 유리섬유 강화 및 탄소섬유 강화 플라스틱을 이용하여 자동차의 경량화와 내충격성 및 내구성을 향상시키는 스테빌라이즈링크 개발을 연구하는 것으로, 사출성형용 금형의 최적설계가 제품의 성능에 어떤 영향을 미치는 지에 대해 고찰하고자 한다.

본 연구의 내용으로는 복합재 스테빌라이즈링크 제품에 대한 구조해석을 통해 제품의 설계를 수행하였으며, 사출금형 설계를 위한 선행연구로써 C mold 성형해석프로그램을 이용하여 게이트의 수에 따른 웰드라인의 분포 및 충전 후 온도분포 및 형체결력 등을 알아보기 위한 유동해석을 수행하였으며, 해석결과를 토대로 실제 금형을 설계 제작하여 성형조건별로 제품을 사출성형실험을 수행하였으며, 성형실험에서 얻어진 성형품을 대상으로 스테빌라이즈링크 제품으로 필요한 성능평가를 수행하였다. 본 연구에서의 시험은 SAE규격 및 완성자동차사의 규격을 따라서 실시하였으며, 수행된 시험은 인장 및 압축시험, 피로시험, 토크시험, 마모내구시험, 중량시험 등이며 그에 따른 시험결과는 고찰을 통해 결론부분에서 연구결과를 나

타내었다.

본 연구에서는 스테빌라이즈링크의 개발에서 가장 앞선 기술인 미국 FORD 자동차회사의 제조방법과는 달리 볼스터드를 이황화 몰리브덴 (mos<sub>2</sub>) 코팅을 하여 사출금형에 코어형태로 삽입하여 볼스터드의 볼 부분에 직접 사출성형을 실시함으로써, 스테빌라이즈링크의 하우징과 볼스터드의 볼이 완전 면 접촉을 하게 하여 그 성과를 측정한 결과 그것의 유효성을 확인할 수 있었다.

## 제 2장 스테빌라이즈 링크

### 2.1 스테빌라이즈 링크의 메카니즘

스테빌라이즈 링크는 Fig. 2-1에서와 같이 일반적으로 하측 컨트롤 암(lower control arm)과 스테빌라이즈 바를 연결하는 구조로 되어 있다. 또한 스테빌라이즈 링크는 요크(yoke)에 연결되는 경우 등 여러 가지 타입이 있다. 아래의 그림들은 스테빌라이즈 바와 스테빌라이즈 링크들의 연결모습이다. Fig. 2-1은 스테빌라이즈 바가 프레임에 고무부시로 두 곳이 고정되어 있고, 끝 부분에 스테빌라이즈 링크가 연결되어 하측 컨트롤 암으로 힘을 전달하게 되어 있는 것을 나타내고 있다. 스테빌라이즈 링크는 자동차 앞바퀴 쪽과 뒷바퀴 쪽에 각각 부착되며, 하나의 스테빌라이즈 바에 두 개의 스테빌라이즈 링크가 양쪽에 각각 연결된다.

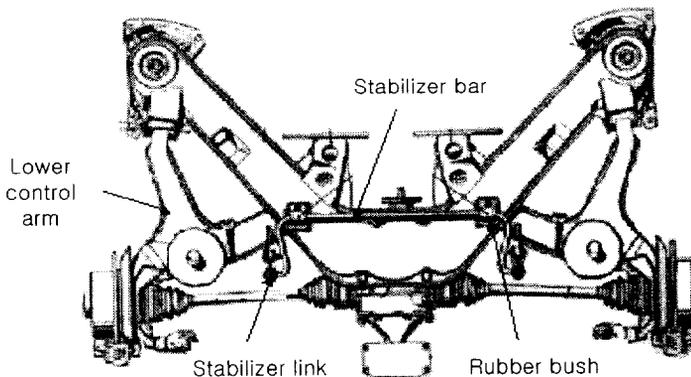


Fig. 2-1 The schematic of suspension structure

## 2-2 스테빌라이즈 바와 스테빌라이즈 링크의 기능

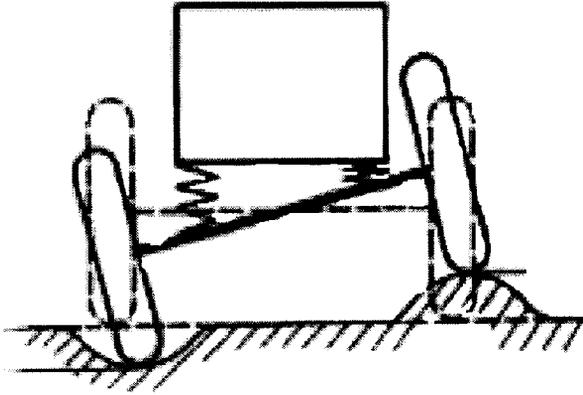


Fig. 2-2 A function of stabilizer bar and link(rolling)

스테빌라이즈 바와 스테빌라이즈 링크의 기능을 살펴보면, 스테빌라이즈 바는 지면에서 바퀴로 충격이 있을 때, 컨트롤암의 상하움직임에 대한 반대 방향의 힘을 발생시켜 컨트롤 암 및 쇼크업소버(shock absorber)의 상하진동을 제어하는 역할을 한다. 즉, 한쪽 바퀴의 진동을 받은 힘을 컨트롤암을 통해 상대편 컨트롤 암으로 전달함으로써, 차체의 흔들림을 감소시키면서 안정시키는 기능을 하는 것이다. 스테빌라이즈 바는 고무부시 등으로 고정된 부분이 있기 때문에 양쪽바퀴의 평형이 달라질 때, 컨트롤 암의 상하진동이 달라지므로 그 에너지를 스테빌라이즈 바는 비틀림 에너지로 저장하게 된다.

스테빌라이즈 링크는 스테빌라이즈 바와 컨트롤 암을 연결하는 장치로써, 스테빌라이즈 바를 직접 컨트롤 암에 연결하는 것보다 훨씬 많은 장점

을 지니게 된다. 스테빌라이즈 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 조향제어력을 높일 수 있으며, 안전성을 높인다. 또한 타이어의 수명을 높이고 조향력을 감소시키는 효과를 발생시키고, 승차감을 향상시키며, 원활 작용을 좋게 한다.

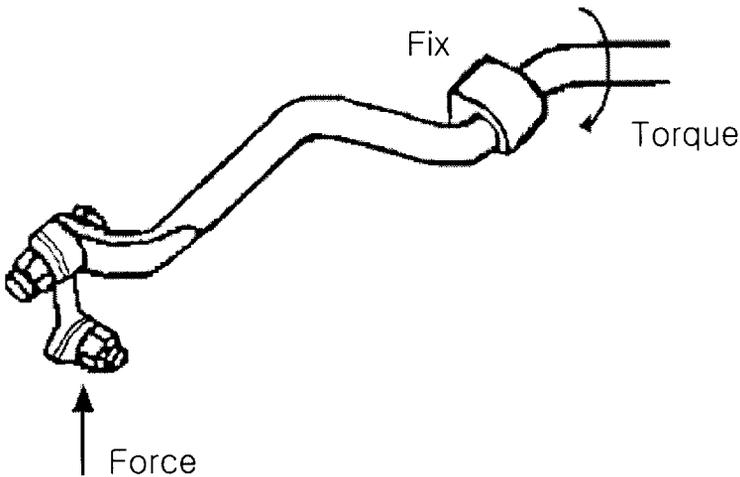


Fig. 2-3 Twisting of stabilizer bar

Fig. 2-3은 스테빌라이즈 링크에 상하방향의 힘이 입력되고, 입력된 힘이 스테빌라이즈 바에서 비틀림 모멘트로 작용하게 되는 메카니즘을 보여준다. 즉 상하방향으로 작용하는 힘을 비틀림 에너지로 변환함으로써, 진동을 억제하는 것이다.

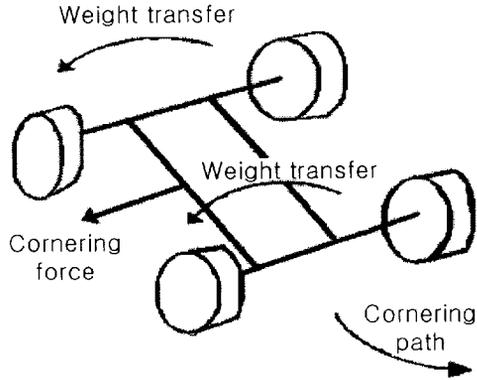


Fig. 2-4 Weight transfer at the cornering path

차량이 코너링을 할 때, 네 바퀴에 걸리던 무게의 이동이 일어나는데, Fig. 2-4에서는 회전반경의 안쪽 바퀴에서 바깥쪽 바퀴로 무게의 전달현상이 발생한다. 그러므로 바깥쪽 바퀴에 걸리는 중량은 증가하며, 안쪽바퀴에 걸리는 중량은 감소하게 된다.

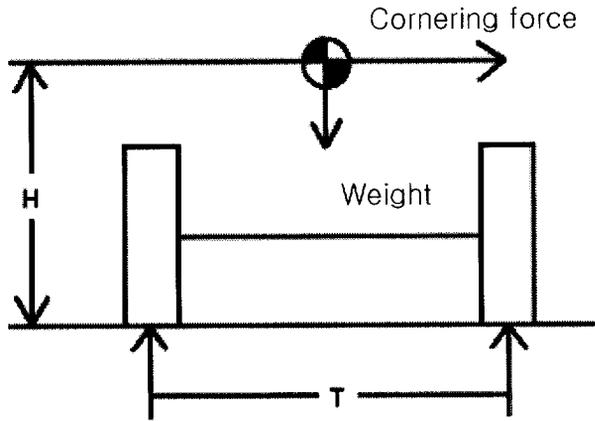


Fig. 2-5 Movement of cornering force

코너링 시 횡 방향으로 바퀴에 전해지는 무게의 전달이 일어나는 양을 수식화 하면, 아래의 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\text{Weight transfer} = \frac{WH}{T} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, H : 중점(center of gravity)

T : 차체너비 (width of track)

W : 차체중량

(1)식에서 중점이 높거나 차체중량이 높으면 무게이동이 많아지고 차체 너비가 넓으면 무게이동이 적어짐을 알 수 있다.

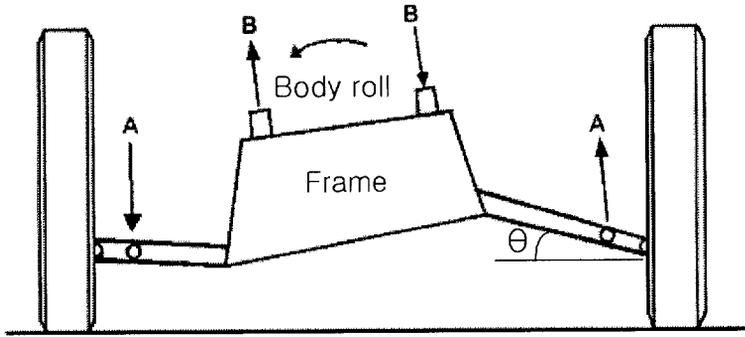


Fig. 2-6 Control for body roll

Fig. 2-6은 차가 회전을 할 때, 원심력으로 인해 중량의 중심이 바깥쪽으로 치우치는 현상을 나타낸 그림으로써, 회전하는 반경의 바깥쪽으로 힘의 이동(weight transfer)이 일어나고 있다. 이 현상으로 인해 차체가 기울어지는 현상을 바디롤(body roll)이라 하며, 이는 운전자가 쏠림현상을 느끼는 결과로 나타난다. 운전자가 느끼는 쏠림 현상을 줄이는 방법은 차체가 기울어지는 각(body roll angle)을 줄이는 것인데, 이 각을 줄이기 위해 사용되는 것이 스테빌라이즈 바와 스테빌라이즈 링크이다.

Fig. 2-6은 바디롤이 발생할 때의 힘들을 표현한 것이다. A는 바디롤이 발생했을 때, 하측 컨트롤 암에 전해지는 힘의 방향이고, B는 고정 부시에 전해지는 힘의 방향이다. 전체적인 원심력에 의한 힘의 이동은 같지만, 힘 A로 인해 상대방으로 전달되는 힘(weight transfer)이 더 커지게 되는 효과로 인해 바디롤각  $\theta$ 은 줄어들게 된다. 즉, 스테빌라이즈 링크에 가해지는 힘이 스테빌라이즈바를 통해 반대쪽 스테빌라이즈링크에 힘이 전달되

기 때문이다.

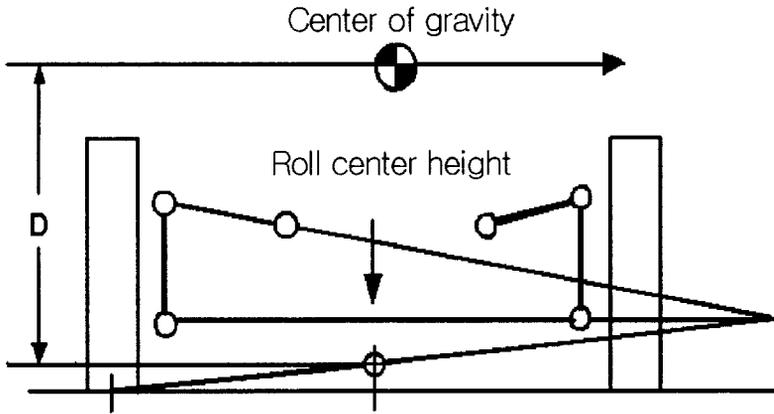


Fig. 2-7 Roll center height

Fig. 2-7에서 지면에서 자동차의 중심점(center of gravity)까지의 높이를  $D$ 로 표시하였고 중심점(center of gravity)이 낮으면 롤각(roll angle)도 감소를 하게 된다. 대부분의 차량은 중심점을 낮출 수 있는 만큼 낮추고 있다. 그러므로 차량의 롤각을 조절하는 유용한 수단 중심점을 낮추는 설계를 하고 있다. 코너링 시 작용하는 힘이 크면 클수록 롤각도 커지게 된다. 그러므로 코너링 시 롤 각을 작게 하려면 천천히 코너링을 해야 한다. Fig. 2-8 은 콘트롤 암의 길이에 따른 롤센타의 높이 변화를 나타낸 그림이다. (a)의 그림은 위측 콘트롤암이 짧은 경우의 그림이며 (b)의 경우는 위측 콘트롤암이 긴 경우의 그림이다. (a)의 경우 롤센타가 지면 위로 올라오게 되는 반면 (b)의 경우는 롤센타가 지면 아래로 내려가기 때문에 승차감이 좋아지게 된다.

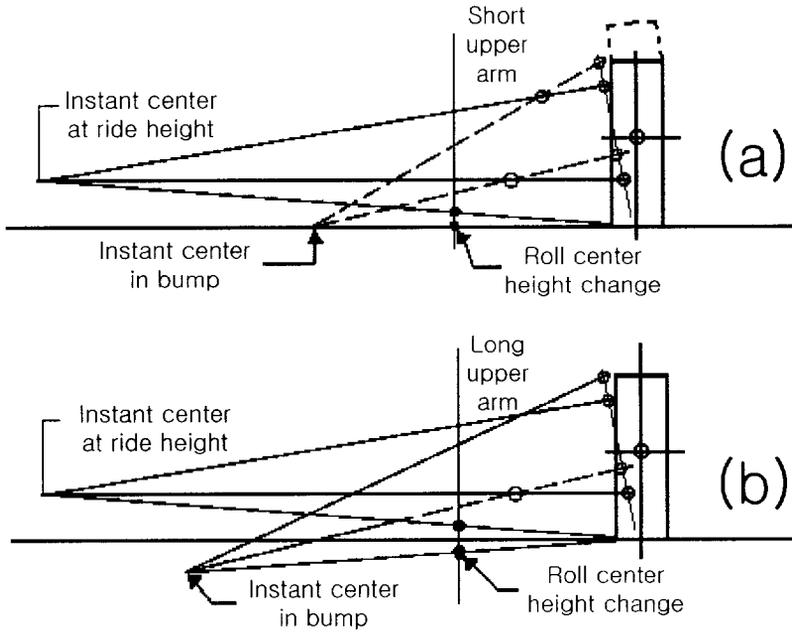


Fig. 2-8 Height change of roll center  
by upper control arm

스태빌라이즈 바의 효과는 Fig. 2-9에 표시된 A 또는 2A에 해당되는 길이와 직경에 의존도가 크다. A에 해당하는 길이가 길면, 반대쪽 스태빌라이즈바의 끝에 전달되는 힘이 낮아진다. 즉, 길이 A의 스태빌라이즈 바는 길이 2A의 스태빌라이즈 바보다 롤 강성이 2배로 강해진다. 이 현상으로 스태빌라이즈 링크에 전해지는 효과는 A의 길이가 짧으면, 스태빌라이즈 링크의 강도가 그만큼 증가되어야 한다는 것이다.

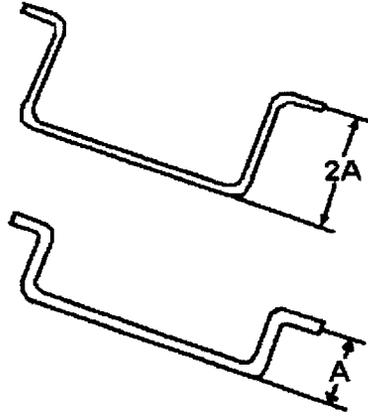


Fig. 2-9 Stabilizer bar swing-arm length

롤 강성을 증가시키는 가장 좋은 방법은 스테빌라이즈 바의 크기 혹은 스테빌라이즈 바의 효과를 증가시키는 것이다. 즉, 차체가 회전을 한다면 한쪽 바퀴는 올라가는 효과를 나타낼 것이고, 다른 쪽 바퀴는 아래로 내려가는 효과가 발생한다. 이때, 스테빌라이즈 바의 비틀림 강성을 이용하여, 올라가려는 바퀴와 내려가려는 바퀴에 저항력을 생성시켜 롤 각(roll angle)에 제한을 가하는 것이다.

Fig. 2-10은 앞축 현가장치(front suspension)에서 스테빌라이즈링크의 위치를 나타내는 그림이다.

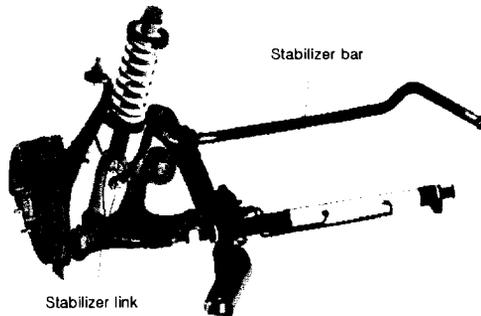


Fig. 2-10 Configuration of front suspension

스테빌라이즈 링크의 토오크 발생은 굽힘 모멘트를 발생시킬 수 있다. 특히, 온도가 낮은 겨울철에는 토오크가 높아져 굽힘 모멘트를 발생시킬 수 있다.

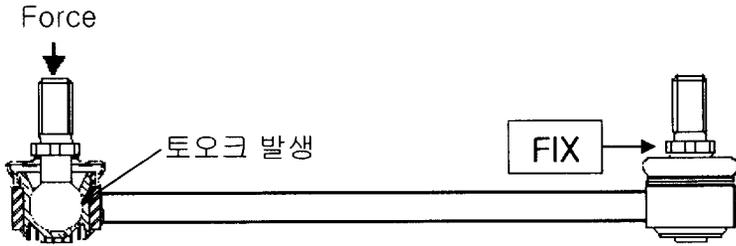


Fig. 2-11 Bending moment by torque

이 상태를 식으로 나타내보면,

$$\sigma_x = \frac{My}{I_z} \dots\dots\dots(2)$$

여기서

$$I_z = \frac{\pi D^4}{64}$$

M = 모멘트

$$y = \frac{D}{2} \text{ ( D : 로드의 직경 )}$$

식(2)와 같이 토오크에 의한 모멘트가 크면 최대응력도 커지게 된다. 따라서, 토오크가 낮은 스테빌라이즈 링크를 설계하기 위해 로드의 직경을 크게 해야 한다.

좌굴(buckling)에 의한 파괴는 이론적으로 중심에서 편심 거리가 있을 때, 압축상태에서 발생하며, 압축력과 모멘트를 함께 받아서 좌굴강도는

보통 강도보다도 약해진다.

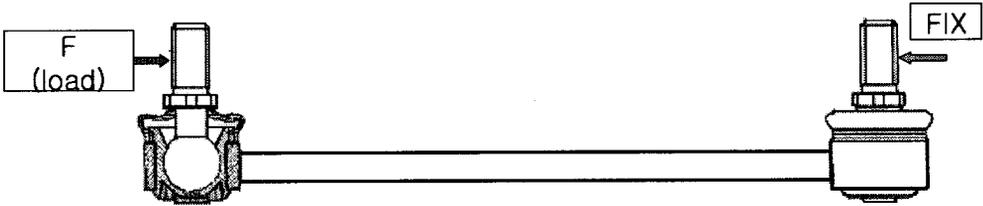


Fig. 2-12 Buckling of stabilizer link

그러나, 실험적으로 세장비에 따라서 편심거리가 없을 때에도 좌굴이 발생하는 경우가 있다. 압축이 일어날 때, 파괴 양식은 세장비에 따라서 다음의 3가지 타입을 가진다.

세장비( $\frac{L}{r}$ )가 100보다 클 경우에는 오일러의 공식이 적용되는 좌굴에 의한 파괴가 일어나며, 세장비가 60과 100사이 일 때에는 항복과 좌굴의 조합에 의한 파괴가 일어나며, 세장비가 60보다 작을 때에는 항복으로 인한 파괴가 일어난다. 세장비와 편심거리를 고려하여 아래의 식들을 적용하여 좌굴에 의해 발생하는 최대응력을 구한다.

편심거리가 있을 때, 좌굴로 인한 최대응력은 식(3)으로 나타난다.

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A} \left[ 1 + \frac{ec}{r^2} \sec \frac{L}{r} \sqrt{\frac{P}{EA}} \right] \dots\dots\dots(3)$$

여기서,

e : 편심거리

c : 축심으로부터의 거리

A : 단면적

L : rod의 길이

$\frac{L}{r}$  : 세장비 ( slenderness ratio ) 여기서,  $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

E : 탄성계수 (elastic modulus of material)

1) 편심거리 e=0일 때

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{L^2 A} \dots\dots\dots(4)$$

2)  $60 < \frac{L}{r} < 100$  일 경우,

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\sigma}{1 + \frac{C}{\mu} \left(\frac{L}{r}\right)^2} \dots\dots\dots(5)$$

[  $\mu=1, C = \frac{1}{7500}$  ]

그러므로

$$P_{cr} = A \left[ \frac{36}{1 + \frac{1}{7500} \left(\frac{L}{r}\right)^2} \right] \dots\dots\dots(6)$$

3)  $0 < \frac{L}{r} < 60$  일 경우( 단주 ) 축에 대한 압축력과 편심으로 인한 우력(Pe)발생

$$\sigma = -\frac{P}{A} - \frac{P_e}{I_z} = -\frac{P}{A} - \frac{P_e R_0}{\frac{\pi}{4}(R_0^4 - R_i^4)} \dots\dots\dots(7)$$

$$[y=R_0, I_z = \frac{\pi}{4}(R_0^4 - R_i^4)]$$

위의 식들을 고려해 볼 때, 볼스터드의 볼 중심은 소켓과 로드를 합친 도심에 가까이 위치할수록 즉, 강도 면에서 유리해짐을 알 수 있다. 토오크에 의한 비틀림 발생을 고려한 설계에서는 Fig. 2-13과 같이 볼스터드가 요동을 서로 반대방향으로 할 때,

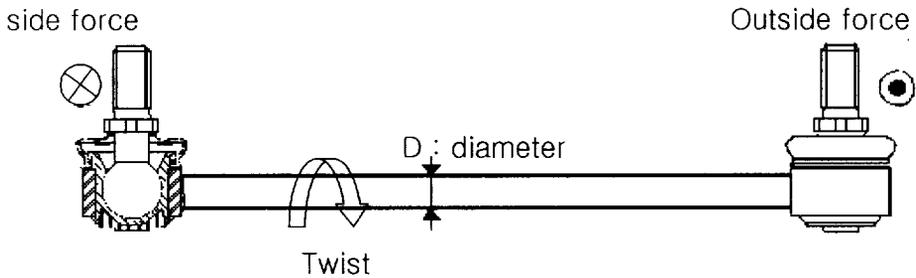


Fig. 2-13 Twisting of stabilizer link

토오크가 높으면 로드 부에 비틀림이 발생하게 된다. 또는, 설계 상 작동 각 이상으로 요동을 하여 볼시트 부분에 볼스터드가 닿게 되면 토오크와는 상관없이 비틀림이 발생하게 된다. 이때, 로드 부에 미치는 영향을 생각해보면, 로드 부의 굵기에 따라 그 영향이 달라지게 되는데, 로드가 굵을수록 그 영향이 작아질 것이다. 이러한 현상들을 식으로 나타내면,

$$I_p = \frac{\pi}{32} D^4 \quad ( I_p : \text{극관성 모멘트} ) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad ( G : \text{재료의 전단탄성계수, } \nu : \text{프와송비} )$$

$$\tau = G\gamma \quad ( \gamma : \text{전단변형율} )$$

$$\tau_{\max} = \frac{T \left( \frac{D}{2} \right)}{I_p} \quad ( T : \text{torsion, } D : \text{diameter of rod} ) \dots\dots\dots(9)$$

$$\phi = \frac{TL}{G_p} \quad ( \phi : \text{비틀림각, } L : \text{로드의 길이} )$$

위의 식(9)에서  $\tau_{\max}$ 를 낮출려면 식 (8)에서  $I_p$ 가 커져야 한다. 극관성 모멘트는 로드와 직경과 관계가 있으며, 로드와 직경이 커지면 극관성 모멘트는 높아진다.

앞서 살펴본 바와 같이 굽힘 모멘트와 좌굴에 대한 최적화 설계를 하는 것이 스테빌라이징링크의 설계에 중요하며, 이런 경계조건들을 고려하여 본 연구에서 제품의 형상 설계를 수행하였다.

### 2.3 인서트 사출성형 공정

사출성형이란 플라스틱 소재를 이용하여 열을 가하여 녹인 용융된 재료가 정해진 틀로 주입되어 일정한 시간을 거치면서 원하는 형상의 제품을 얻는 생산방식이다. 여러 가지 생활 용품에서부터 전자부품, 자동차부품, 최첨단 항공부품에 이르기까지 플라스틱을 빼놓고는 말할 수 없을 정도로 플라스틱은 이미 우리생활 속의 큰 축으로 자리 잡고 있다. 이러한 사출성형은 고 부가가치의 상품개발에 있어 원하는 형상을 쉽게 형상화하는 과정에서는 타 재료에 비해 플라스틱을 이용한 사출성형방식이 절대적으로 유리하고, 대량생산이 유리하며, 개발비용도 적게 들어 최근 각 대학과 기업에서 많은 관심을 가지고 연구를 수행하고 있다.

사출성형의 성형 사이클은 형체, 노즐전진, 사출, 개량 및 냉각, 노즐후퇴, 형개, 취출 의 순서로 이루어진다. 그러나, 인서트 사출성형은 Fig. 2-14에서 볼 수 있듯이 형체 직전에 인서트물을 금형 속으로 끼워 넣는 공정이 추가되며, 그 후의 공정은 일반 사출성형과 같은 성형사이클을 갖게 된다.

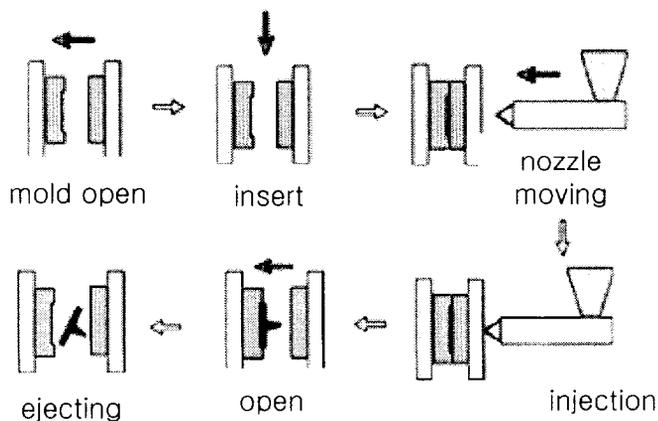


Fig. 2-14 Insert molding process

인서트 사출성형은 복합적인 제품구성에 효율적인 공정을 제공한다. 즉, 조립공정을 성형과정에서 해결함으로써 공정감소에 따른 비용의 감소와 조립공정에서 발생하는 불량률을 예방할 수 있는 효과적인 성형기법이다. 또한 이중재료로 구성되는 제품의 경우 사출공정 내에서 품질관리가 가능하다.

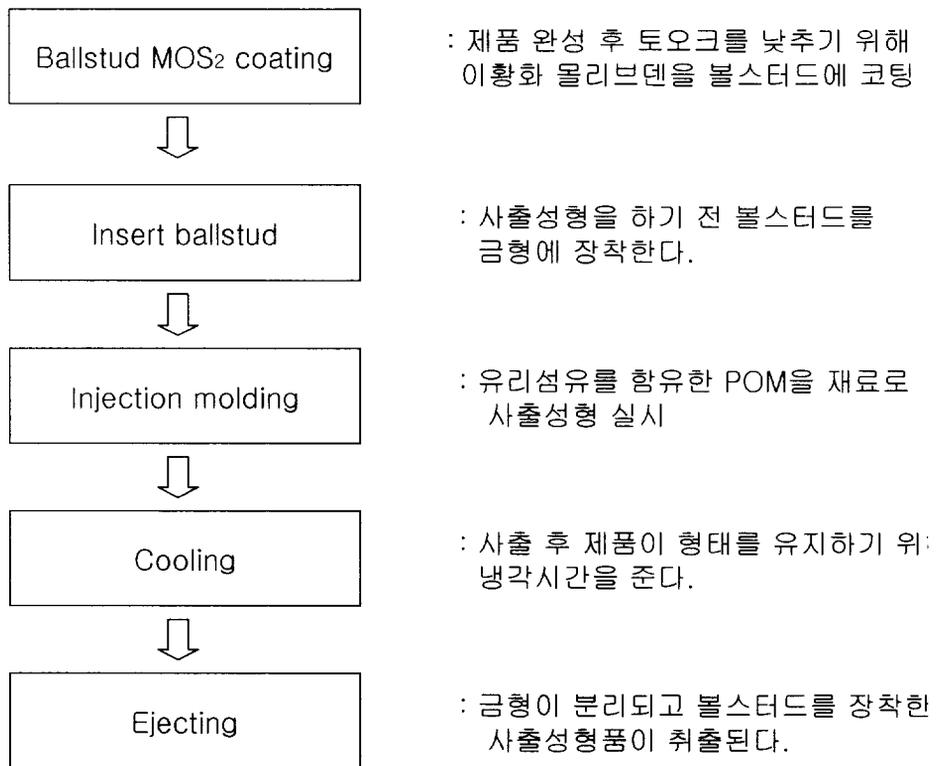


Fig. 2-15 Molding process for stabilizer link

Fig. 2-15는 복합재료를 적용한 스테빌라이즈 링크의 사출성형과정을 나타낸 것이다. 먼저 볼스터드에 고체윤활제 코팅을 하게 되는데, 현재 적용한 고체윤활제는 이황화몰리브덴이다. 다음은 사출성형기에 잘 건조된 플라스틱 재료를 투입하는데, 이때 재료는 섬유강화플라스틱이다. 섬유는

단섬유로써, 중량 비로 모재에 포함되어 있다. 그리고 금형을 사출성형기에 장착하게 되는데, 현재 사용된 금형은 1 캐비티 형식으로써 몸체의 살을 만들기 위한 슬라이드 코어가 내장된 형식이다. 코어를 사용해서 요동각을 낼 수 있도록 하여 코어가 장착된 볼스터드를 금형에 삽입하고 사출성형을 실시한다. 이때, 사출성형조건에 따라 강도에 많은 변화가 생기므로 가장 최적의 사출성형조건을 찾아내는 것이 본 연구개발에서 중요하다. 금형이 냉각된 후 금형 분리를 하고 제품을 배출하는 이젝팅(ejecting)이 이루어짐으로써 사출성형은 종료된다. 부트(boots)를 사출성형된 스테빌라이즈 링크에 조립하면 스테빌라이즈링크의 제품이 완성된다.

## 2.4 스테빌라이즈 링크의 제조 공정

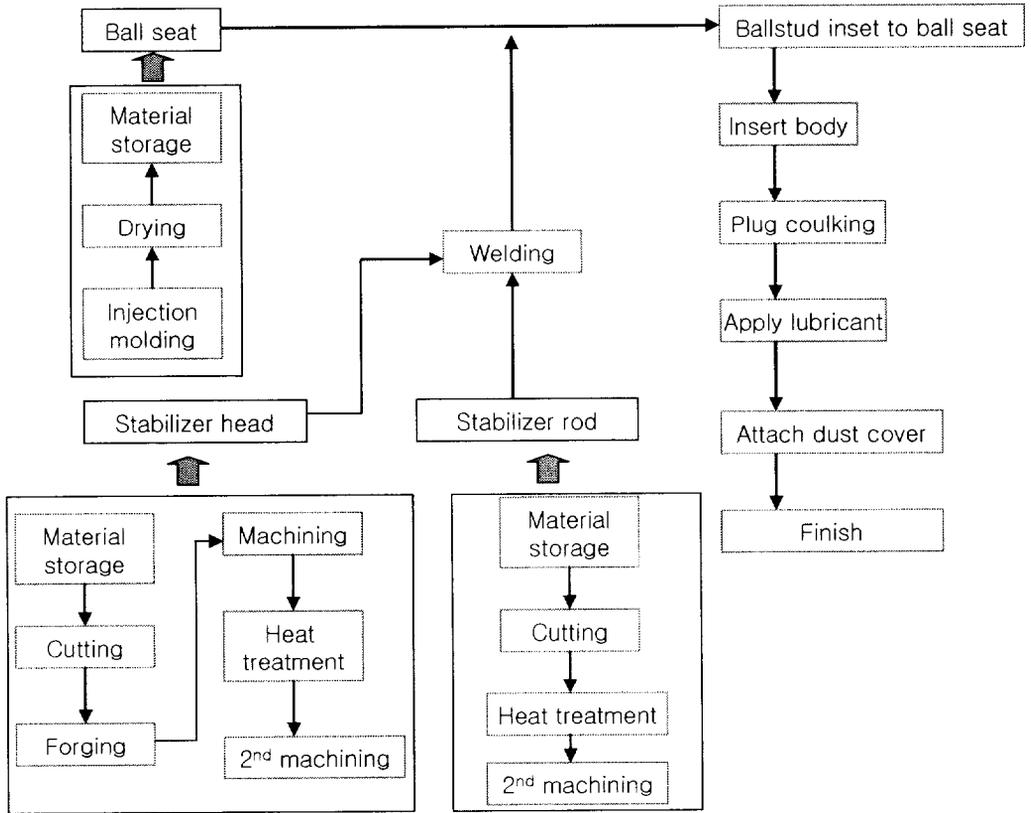


Fig. 2-16 Manufacture process for steel type stabilizer link

Fig. 2-16은 기존 금속재료로 구성된 제품의 제조공정을 나타낸 것이다. 스테빌라이즈 링크는 볼 시트 부위, 스테빌라이저 헤드 부위, 스테빌라이저 로드 부위가 있으며 부가적으로 코킹 부위 또한 한 공정으로 되어 있다. 그러나 본 공정에서는 코킹부를 제외하고 총 20개 공정으로 이루어져 있다.

공정수의 증가는 공정별 이송에 관한 문제와 공정에 따른 제품단가의 증가로 인해 가격 경쟁력에 문제가 있다. 또한 조립공정 중 스테빌라이저 헤드부와 스테빌라이저 로드부의 용접 공정은 비틀림과 휨에 의한 제품불

량이 다소 존재한다.

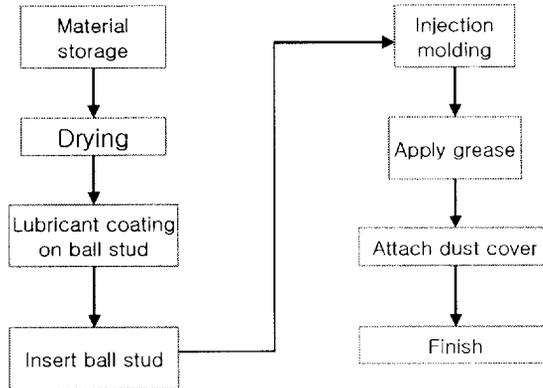


Fig. 2-17 Developed stabilizer link mold process

본 연구에서는 일체형 인서트 사출성형에 의해 스테빌라이즈 링크를 개발하는 것으로, 제조공정은 Fig. 2-17과 같다. 초기 볼 스테드의 이황화물 리브덴 코팅공정을 포함하더라도 7공정 수준이다. 이는 기존 공정에 비해 약 14 공정 이상 줄어들었으며, 이는 제품 생산 에너지 절감 및 원가절감으로 제품 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

## 제 3 장 성형해석

### 3.1 성형해석의 기본 이론

#### 3.1.1 선형 점탄성 이론

플라스틱 재료와 같은 고분자 물질에서의 해석 시에는 여러 지배 방정식이 따른다. 대표적으로 사용되는 것 중의 하나가 바로 점탄성 이론이다. 대부분의 고분자는 응력이나 변형에 점성 뿐 아니라 탄성으로 반응한다. 그래서 고분자는 보통 점탄성 물질이라 한다. 고분자용 유체의 물질 거동을 설명하기 위하여 탄성요소와 점성요소를 다양하게 조합하여 사용한다. 고분자 거동을 설명하기 위해서는 다음과 같은 선형 점탄성 이론을 적용하여야 한다. 다음 Fig. 3-1은 맥스웰 모델 (maxwell model)의 응력-변형 거동을 보여 준다

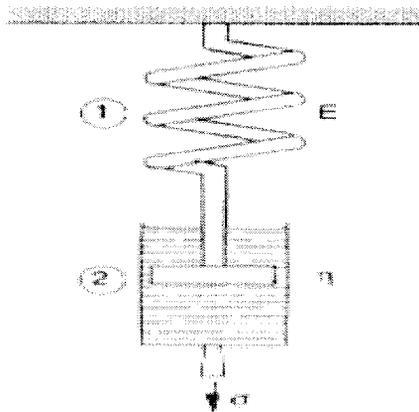


Fig. 3-1 Maxwell model

응력 변형 거동을 유도해 보면, 전체 변형( $\epsilon$ )은 탄성부분의 변형( $\epsilon_e$ )과 점성부분의 변형( $\epsilon_v$ )을 가지고 있어서 다음과 같이 표현된다.

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_v \dots\dots\dots(10)$$

유사한 방법으로, 변형률을 사용하면

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_e + \dot{\epsilon}_v \dots\dots\dots(11)$$

용수철이 훅의 법칙(Hook's law)을 따른다고 가정하면

$$\dot{\epsilon}_e = \frac{\dot{\sigma}}{E} \dots\dots\dots(12)$$

위의 식을 조합해 보면 결과적으로

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \dots\dots\dots(13)$$

이를 다시 써 보면

$$\sigma + \frac{\eta}{E} \frac{d\sigma}{dt} = \eta \frac{d\epsilon}{dt} \dots\dots\dots(14)$$

식(14)를 일반적으로 Maxwell 모델의 미분형 지배방정식이라 부른다.

만일 응력완화 시험에서와 같이 물질의 변형을 일정하게 유지하면 위의 식은 다음의 식 (15)와 같이 된다.

$$\sigma + \frac{\eta}{E} \dot{\sigma} = 0 \dots\dots\dots(15)$$

이를 적분하면

$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda} \dots\dots\dots(16)$$

이 된다. 여기서  $\lambda$ 는 완화시간이다. 일정한 변형을 가정한 맥스웰 모델의 완화거동은 Fig. 3-1과 같다. 식  $\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda}$ 을 이용하면  $t=\lambda$ 가 지난 후의 응력이 초기 값의 37%로 떨어지는 것을 알 수 있다. 즉,  $e^{-1}=0.37$ . 이기 때

문에 응력의 완화를 추정하고자 할 때 보통 완화시간의 4배를 사용한다. 따라서, 식  $\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda}$  에서  $t = 4\lambda$ 를 사용하면 응력은 원래 값의 1.8%로 완화된다. 식  $\sigma = \sigma_0 e^{-t/\lambda}$ 와 볼츠만(Boltzmann)의 중첩 원리를 사용하면 맥스웰 모델의 지배방정식(14)을 적분형으로 표시할 수 있다.

$$\sigma(t) = \int_{-\infty}^t E e^{-(t-t')/\lambda} \dot{\epsilon} dt' \dots\dots\dots(17)$$

Fig. 3-2 에서 보인 것은 분자량이 260,000인 폴리스티렌(PS)의 완화 및 지연실험자료(retardation data)를 4개 계수를 가진 모델로 맞춘 것이다. 이 물질의 용융체를 고온의 캐비티(cavity)속으로 사출 할 때의 완화거동은 기준온도를 113°C로 볼 때 다음 식처럼 나타낼 수 있다.

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_a} = 0.25 \left( e^{-8.75 \frac{t}{\lambda}} + e^{-1.0 \frac{t}{\lambda}} + e^{-0.28 \frac{t}{\lambda}} + e^{-0.0583 \frac{t}{\lambda}} \right) \dots\dots\dots(18)$$

여기서  $\epsilon_a$  는 완화후의 변형으로 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon_a = \frac{l_a - l_0}{l_0} = \frac{S_0}{1 - S_0} \dots\dots\dots(19)$$

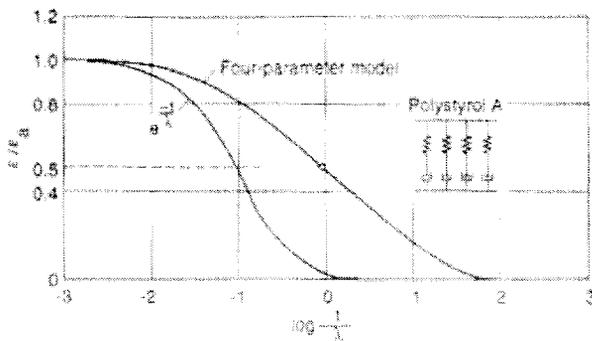


Fig. 3-2 Maxwell model and Maxwell's retardation data

여기서  $l_a$ 와  $l_o$ 는 늘어난 시료와 완화된 시료의 길이를 나타내고  $S_o$ 는 전체 수축을 나타낸다.  $\lambda/8.75$ ,  $\lambda$ ,  $\lambda/0.28$ ,  $\lambda/0.0583$ 는 위 폴리스티렌을 4개 변수의 모델로 설명할 때의 4개의 개별적인 완화시간에 해당된다. 완화시간  $\lambda$ 는 초기 변형의 완화에 의하여 절반으로 줄어드는데 소요되는 시간이다. Fig. 3-3의 여러 고분자 재료의 경우에서 알 수 있듯이 이 완화 시간도 온도의 함수이다. Fig. 3-3을 보면 이 곡선 모양들이 단지 온도 축으로 이동하면 아주 비슷하다는 것을 알 수 있다. 모든 무정형 열가소성 고분자의 완화 및 지연 거동이 유사하다는 점을 알 수 있다.

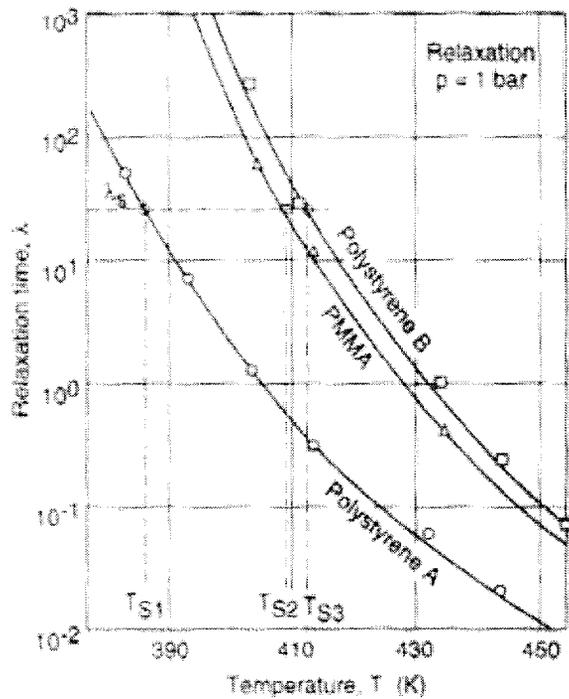


Fig. 3-3 Retardation test of thermo-plastic (temperature function)

### 3.1.2 성형해석의 일반적 이론 고찰

일반적으로 사출성형에 의해 성형되는 제품은 얇은 두께를 갖는 경우가 대부분이기 때문에 평면방향의 유동에 비해 두께 방향으로의 유동은 상대적으로 무시할 수 있다. 따라서 두께방향의 압력변화를 무시한 이차원 해석이 가능하다.

Fig. 3-4의 경우와 같은 평면방향 유동의 경우에는 연속방정식, 운동방정식, 에너지방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

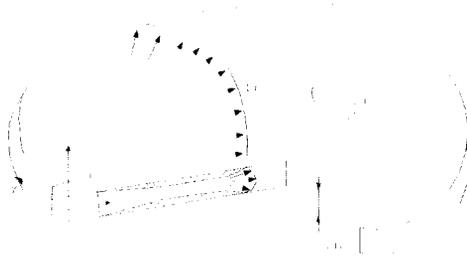


Fig. 3-4 Schematic diagram of 2-D flow

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \dots\dots\dots(20)$$

x-방향 운동 방정식

$$\frac{\partial}{\partial z}(\eta \frac{\partial u}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(21)$$

y 방향 운동 방정식

$$\frac{\partial}{\partial z}(\eta \frac{\partial v}{\partial z}) - \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots(22)$$

에너지 방정식

$$\rho C_p (\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y}) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma}^2 \quad \dots\dots\dots(23)$$

여기에서는 x, y는 평면방향, z는 두께방향의 좌표이며, u, v, w는 각각 x, y, z 방향으로의 속도이다. h는 캐비티 두께의 반, t, p, T는 각각 시간, 압력, 온도를 나타낸다. ρ는 밀도로 여기에서는 압력과 온도의 함수이다. C<sub>p</sub>, k, η는 각각 비열(specific heat)과 열전도율(thermal conductivity), 전단 점성계수(shear viscosity)를 나타낸다. 또한 유효전단율속도(effective shear rate)  $\dot{\gamma}$ 는 다음과 같이 간단히 나타내어진다.

$$\dot{\gamma} = \sqrt{(\frac{\partial u}{\partial z})^2 + (\frac{\partial v}{\partial z})^2} \quad \dots\dots\dots(24)$$

이때 두께방향의 경계조건은 다음과 같다.

$$u = v = w = 0 \quad ; \quad T = T_w \quad \text{at} \quad z = \pm h$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} + w = 0 \quad ; \quad \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \quad \text{at} \quad z = 0$$

여기서  $T_w$ 는 금형 벽면의 온도이다.

러너나 스프루 내의 유동은 Fig. 3-5에 나타낸 것과 같이 일차원 축대칭으로 가정하여 해석할 수 있고, 이 경우 연속방정식, 운동방정식, 에너지 방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

연속방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial}{\partial y}(\gamma \rho v) = 0 \dots\dots\dots(25)$$

운동방정식

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial}{\partial \gamma}(\gamma \eta \frac{\partial u}{\partial \gamma}) - \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(26)$$

에너지 방정식

$$\rho C_p (\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x}) = \frac{1}{\gamma} \frac{\partial}{\partial \gamma} (k \gamma \frac{\partial T}{\partial \gamma}) + \eta \dot{\gamma}^2 \dots\dots\dots(27)$$

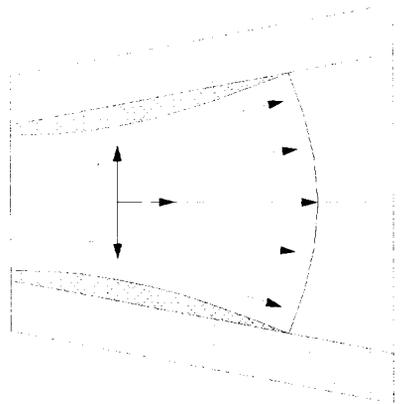


Fig. 3-5 Schematic diagram of 1-D flow

## 3.2 사출성형재료의 특성

### 3.2.1 성형재료의 기계적 특성

POM (polyacetal polyoxymethylene)은 일명 아세탈로 불리며 강인성, 내피로성, 내크립성, 내마모성 등이 특히 우수하고 또한 금속보다 가볍고 내수성, 자기윤활성 등이 우수하며 금속과는 다르게 복잡한 형상의 제품을 한 번에 성형하는 것이 가능하다. 더구나 부식의 염려가 없으므로 도장 등 후처리를 필요로 하지 않는다.

이와 같은 이점을 응용하여 POM은 알미늄 다이캐스트, 황동포금 등의 금속재료와 경합하면서 이틀테민, 기어, 베어링, 부시, 캠, 프리, 캡, 스위치, 코베어, 팬, 나사, 패스너(fastner), 그 밖의 기계 부품이나 몸체로 사용되고 있다. 그 용도 내역은 전기·전자 기계부품에 40%, 자동차 그 밖의 수동 기계 부품에 30%, 일용품·잡화·건축자재·시트(sheet) 등에 20% 그 밖에 일반기계·정밀기계부품 등에 사용되고 있다.

아세탈 코폴리머(비충전 그레이드)의 인장에 의한 응력, 뒤틀림 곡선은 항복점을 나타내는데 비해 유리섬유 강화 그레이드는 일반적으로 항복점을 나타내지 않지만 과단 점의 신장도 작다. 유리전이온도가 약 60°C이기 때문에 사용온도 범위 내에서의 기계적 성질의 온도 의존성은 크다. 예를 들면 Fig. 3 6과 같이 80°C에서의 인장강도는 20°C의 값의 1/2이 된다. 또한 측정시의 부하속도에 의해서도 값은 커지게 된다.

예를 들면 인장속도와 강도의 관계는 Fig. 3 7와 같으며 속도가 빨라지면 강도의 값도 커진다. 응력, 뒤틀림 곡선을 정확하게 측정하면 후크의 법칙에 따름 영역이 거의 없다. 이것으로는 금속재료에서의 탄성설계의 수법을 사용할 수 없기 때문에 사정이 좋지 않다. 그래서 E. Bear은 초기모듈러스  $E_0$ 와 세컨드 모듈러스  $E_s$ 를 비교해서, 이 85% 점을 탄성계수정도한

계(彈性係數精度限界)로 하고, 이 범위 내에서는 단성계수를 사용해도 커다란 오차는 없게 했다. 아세탈코폴리머에서는 85 %점의 뒤틀림 량은 약 1.2 %이다

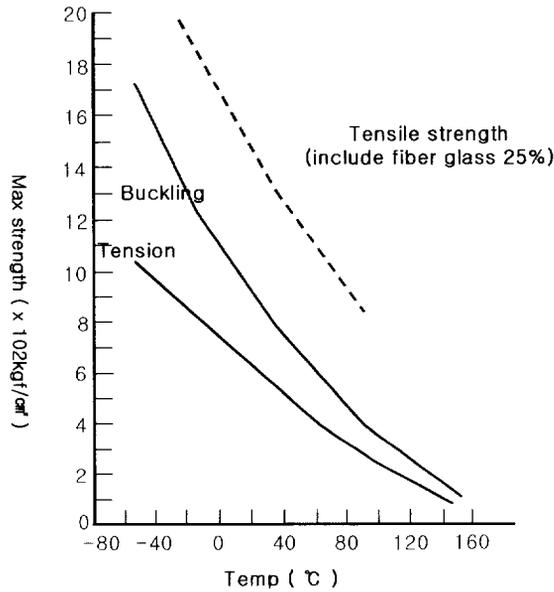


Fig. 3-6 Mechanical properties for copolymer

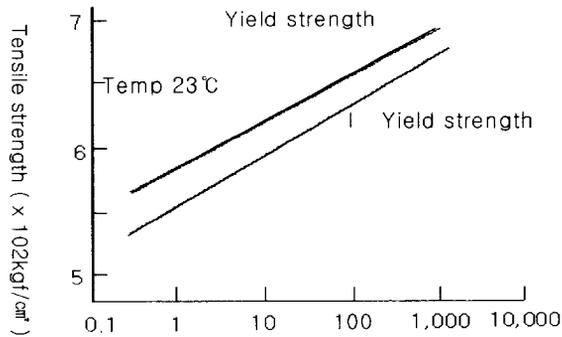


Fig. 3-7 Tensile strength for copolymer

열적성질로서는 열변형온도와 열열화(熱劣化)를 고려하지 않으면 안 된다. 동적 점탄성 기동에서 이해할 수 있듯이 열변형온도의 하중의존성은 크다. 또한 비결정성플라스틱에서는 열변형온도는 이 온도이상에서 대변형을 일으키기 때문에 최고사용온도라 생각해도 좋지만, 결정성 플라스틱인 폴리아세탈은 열변형온도를 넘어서도 대변형이 일어나지 않기 때문에 사용가능온도의 상한은 설계요건에 따라서 크리프 변형량을 계산해서 판단하지 않으면 안 된다. 즉, 양쪽에서는 열변형 온도의 값은 물리적인 의미가 다르다는 것이다. 열열화(熱劣化)에 의한 수명추정은 Arrhenius plot법으로 행할 수 있고, 아세탈 코폴리머에서 열 열화는 각종 안정제를 첨가함에 따라 상당한 방지를 할 수 있기 때문에 그레이트에 따라 차이가 나타난다.

화학적 성질은 내약품성으로서의 화학품에 용해 흡착에 의한 중량증가 솔벤트클랙 · 크리프파괴에 대한 약품의 영향 등에 대해서 검토하지 않으면 안 된다.

폴리아세탈은 결정성이 있기 때문에 유리용제에는 침투하지 않지만, 방향족계 · 염소계 · 케톤류 · 에스테르류 등의 용제에서는 약간 중량이 증가해, 기계적 성질이나 치수 등이 변화한다. 헥사플루오르아세톤은 예외적으로 폴리아세탈을 용해한다. 가솔린이나 윤활유에도 내성이 있지만, 윤활성능 향상을 위해서 첨가하는 첨가제가 산성이 되면 이것에 침투한다. 코폴리머는 알칼리성 글리스에 강하지만 호모폴리머는 알칼리성 약품에 내성이 없기 때문에 알칼리성 글리스에는 침투한다. 무기약품에는 일반적으로 강하지만, 산류나  $ZnCl_2$ 와 같은 약품에는 조건에 따라서 침투한다.

내약품성의 경우에도 열화일 때처럼, 시간과 온도와의 관계로서, 사용가능한 수명을 생각하지 않으면 안 된다. 예를 들면 내열수성의 경우 코폴

리너는 1년 연속 사용일 때는 최고사용온도는 약 90 ℃, 10년의 경우에는 약 65 ℃가 된다. 호모폴리머에서는 그 화학구조에 의해 이들보다 상당히 수명이 짧아진다. 또한 어떤 종류의 윤활유 등은 크리프파괴 수명을 짧게 한다.

내후성(耐朽性)은 자외선에 대한 저항성은 좋지 않지만 안정제나 자외선 흡수제를 음미하면, 실용적으로 사용할 수 있을 때까지 개선할 수 있다. 또한, 카본블랙에 의한 흑색착색이나 선정한 안료를 사용한 착색도 자외선 열화에 대한 저항성을 높일 수 있다. 다만, 옥외에서 사용하는 경우는 자외선에 의한 열화뿐만 아니라 대기중의 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 오존 등의 환경의 영향도 받기 때문에 내후성의 검토, 판단은 신중하게 행할 필요가 있다. 예를 들면, 촉진 내후성 시험으로서 선샤인워셔미터나 키세논램프 사용의 페드미터 등에 의한 조사(照射)가 행해지는데 이 결과가 좋다고 판단되어진 것으로도 실제 옥외에서 사용하면 환경상태의 영향을 크게 받고, 크랙발생, 변색 등이 예상외로 빠르게 발생한다.

또한 이들의 성질은 온도, 흡수량, 주파수 등의 영향을 받기 때문에 이들의 관계를 파악해서 정확한 재료선정을 행하지 않으면 안 된다. 또한 절연파괴강도는 시험재료 두께에 따라서 다르고, 아세탈 코폴리머에서는 다음과 관계가 있다. (절연파괴강도) =  $3.5 \times 10^4$  (시험재료두께)<sup>0.57</sup> 폴리아세탈은 우수한 특성을 갖고 균형에 맞는 특성을 갖고 있기 때문에 강화재 등의 첨가로 복합화하는 경우는 다른 플라스틱에 비해 비교적 적다. 95% 이상은 비강화로 사용하고 있다.

Table 3-1 Material properties for Polyacetal

Properties	Unit	Homo-polymer	Co-polymer
Viscosity		1.42	1.41
Tensile strength	kgf/cm <sup>2</sup>	705	620
Tensile strain	%	40	60
Tensile elasticity	kgf/mm <sup>2</sup>	31600	28800
Bending strength	kgf/cm <sup>2</sup>	990	980
Bending elasticity	kgf/mm <sup>2</sup>	288	264
Compressure strength	kgf/cm <sup>2</sup>	1270	1100
Shear strength	kgf/cm <sup>2</sup>	670	540
Impact notch	kgf · cm/cm	7.6	6.5
Hardness	rockwell	M94	M80
The coefficient of friction		0.15~0.35	0.15

### 3.2.2 용융수지의 거동

자동차 산업 분야에서는 전자화, 고급화, 안전화 등에 대한 수요자들의 요구 다양화에 따라 부대장비가 늘어나 자동차 중량이 계속 증가하는 추세이며, 세계적으로 환경오염 문제가 대두되면서 기업별 평균연비 및 자동차 배기 가스규제 강화에 대비한 연비개선이 절실히 요구되고 있다. 자동차의 연비개선 대책은 엔진, 구동계의 효율향상, 주행저항 저감, 경량화 등이 있으나, 엔진 효율 향상 및 구동계의 전달효율 향상은 기술적으로 거의

한계에 도달하여 대폭적인 효율향상은 기대하기 어려운 실정이며 구조변경, 경량재료화, 부품합리화 등에 의한 경량화가 연비개선에 가장 기여도가 높으며 경량재료 변경에 의한 효과가 특히 기대된다. 이러한 경량화에 대한 기술적 면에서 플라스틱 제품은 자동차 부품의 기계적 성질을 만족하는 제품을 만드는데 많은 어려움이 있다. 플라스틱의 적용 예를 들면 미국의 FORD사에서는 100 % 탄소섬유 강화 복합재료(carbon fiber reinforced plastics, CFRP) 시종차를 제조하여 전시하였고, 이 차는 기존 철제 차량의 무게와 비교했을 때 약 51.5 % 정도 경량화 되어 연비가 기존차량의 약 35 %정도 개선되었다.

열가소성 플라스틱은 가열하면 용융되고 냉각하면 고화하는 성질을 이용하여 성형된다. 이 성형공정에서는 잘 건조된 수지가 호퍼에서 금형이 열렸을 때에 일정량만 실린더 속으로 들어간다. 사출성형기의 폐쇄 행정이 시작되면 금형이 닫히고 노즐이 스프루(sprue)에 밀착한다. 스크루가 전진할 때 수지는 실린더 내에서 가열밴드와 스크루 압력에 의해 용융되고 다음에 캐비티로 충전된다. 금형 속에서 고화된 성형품은 일정시간 경과 후 사출기의 형체축이 후퇴하면서 금형이 열리고 제품이 취출 된다. 이러한 공정으로 하나의 사출성형품이 나오게 된다. 플라스틱 성형수지는 압축성 재료이며 충전단계에서보다 수지를 더 캐비티로 밀어 넣을 수 있다. 가압 단계 이후에도 스크루는 완전히 정지하지 않고 한동안 전진을 계속한다. 일반적으로 수지는 용융상태에서 고체상태로 상 변화를 일으킬 때 체적감소가 생기며, 이 체적차이를 보상하기 위해 보압 단계는 항상 필요하다. 성형공정 중 충전과정에 있어서 금형 내 수지의 유동상태에 대한 연구가 가장 활발하게 이루어졌다.

1970년대 초반부터 1차원 흐름에 관한 논문들이 발표되었고 이후 2차원

이상의 흐름에 대한 해석법도 점차 개발되어 왔다. 그 중 하나는 Austin에 의해 개발된 moldflow로써 유동, 냉각, 변형 및 응력해석을 수행하는 다양한 모듈로 구성되어 있어 제품의 품질과 생산성 향상에 기여하고 있다. 또한 대표적인 연구중의 하나는 Connel대학의 사출성형 프로그램이 있으며, 1974년부터 Wang등은 유한요소법(finite element method)에 의한 2차원의 흐름해석과 유한차분법(finite difference method)에 의한 두께방향의 해석을 개발하여 왔다. Tadmor등은 수지의 흐름이 등온이라고 가정하여 등가 뉴톤 점도(equivalent newtonian viscosity)를 사용한 FAN(flow analysis network) 해석방법을 개발하였으며, Kamal과 Kenig는 보압과정을 압축성 유체의 비등온유동으로 가정하고 power law 모델과 Spencer Gilmore 상태 방정식을 사용하여 캐비티 내의 압력 분포로부터 유량을 구하고 수지의 평균밀도를 구하였다. 또한 Friedl은 해석을 통하여 사출성형동안의 결정화를 예측하고 결정화가 성형품의 기계적 성질에 영향이 있음을 고찰하였고, Sherbelise 등은 충전과 보압 단계에서 점성의 선단율과 온도 의존성에 관하여 연구하였다. Chiang은 준3차원에 대한 보압과정의 해석을 가능하게 하였고, 보압과정 중에는 점성모델과 수지의 압축성이 냉각과정에서는 온도와 냉각률에 따른 물성치 변화의 중요성을 언급하였다. 그러나 위의 연구들은 수치 해석적인 방법이며 moy 등은 금형온도와 용융 수지온도가 성형품의 조직에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하였으며, Wang 등은 사출속도, 용융수지온도 및 보압의 크기에 따른 성형품의 중량과 수축에 대하여 연구하였으며, Cox 등은 단지 충전시간에 따른 성형품의 외관, 인장성질, 수축 및 중량의 거동을 실험적으로 고찰하였다. 그리고 Sun과 Glen은 한 방향으로 강화된 섬유를 가지는 복합재료의 경우 섬유 방향으로의 응력 변형률 관계는 근본적으로 선형 탄성이라는 사실과 함께 이론

을 발전시켰다.

열가소성 수지는 일반적으로 긴 선 모양 또는 사슬 모양의 고분자로 성립되고 있는데, 이러한 고분자는 상온에서는 실 뭉치처럼 얽혀진 상태로 되어 있다. 이것이 성형 조작에 있어서 가열되고, 용융 상태에서 높은 압력을 받으면서 좁은 통로를 통과하면 분자는 흐름 방향에 따라서 배열하려고 하며, 이와 같은 현상을 수지의 분자 배향(molecular orientation)이라 한다. 유로의 벽면에서는 분자의 유속이 0(zero)인데 중앙부에서는 속도가 빠르기 때문에 긴 고분자는 당겨지면서 유로를 진행한다. 유로의 벽에 직면한 부분은 냉각이 빨리 진행되고 분자는 흐름에 따라서 층상(layer)으로 고화(frozen)해간다. 이 때문에 분자 배향은 유로의 벽면 부분에서는 뚜렷하지만, 안쪽에서는 분자 배향이 그다지 분명하게 나타나지 않는다. 이와 같이 분자 배향에 의해 일단 연신된 분자는 원래의 상태로 되돌아가려고 하기 때문에 내부 응력이 발생하고, 이것이 성형 수축의 발생의 원인이 되며, 분자의 배향이 일정하지 않아서 국부적인 재료의 강도가 떨어지는 원인이 되기도 한다.

분자 배향의 발생 상태는 성형품의 설계나 금형의 설계 등에 의해 그 상황이 일정하지 않다. 그러나 분자 배향의 발생에 의해 흐름 방향과 직각 방향에서 성형 수축량이 차이가 나기 때문에 성형품은 변형을 일으키게 되고 강도가 떨어진다. 분자 배향이 나타나는 현상은 수지의 종류에 따라 차이가 있다.

본 연구에서는 성형실험 및 인장시험을 거친 후 유리섬유가 함유된 수지의 경우 특히 분자 배향에 따른 기계적 강도의 차이를 파악하기 위해 인장시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 유리섬유의 모양을 보았다. 인장시험편의 사진은 사출압과 보압은 65 %, 보압시간은 1초로 하였고, 순서

대로 14, 33, 44 %의 유리섬유 함유량에 따른 파단면을 100배로 확대하였다. 여기서 사출압, 보압의 100 %는  $13720 \text{ N/cm}^2$ 를 나타낸다. 유리섬유의 직경은 약  $10 \mu\text{m}$ 정도가 되고 유리섬유량이 증가할수록 파단면에서의 층이 더 많이 발생한 것을 알 수 있고, 특히 유리섬유 함유량 44 %의 경우는 섬유 방향들이 일정하지 않는 것이 보였다. Photo. 3-1, Photo. 3-2, Photo. 3-3은 SEM으로 촬영한 유리섬유 함유량에 따른 파단면을 나타내었다.

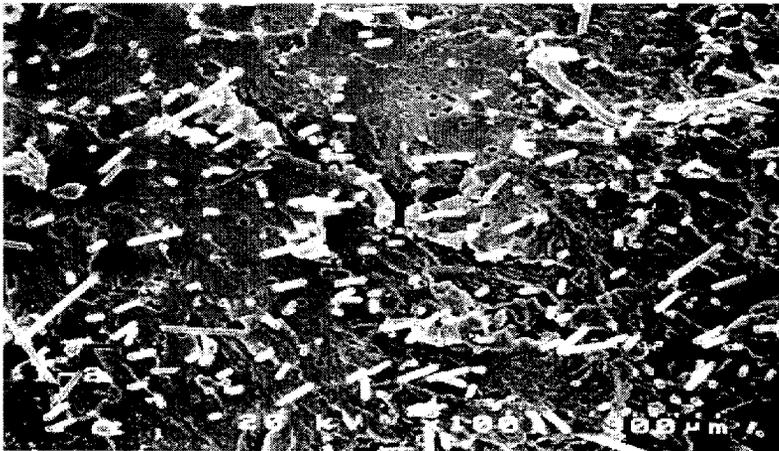


Photo. 3-1 Section of fracture (scale  $\times 100$ ), glass fiber 14%

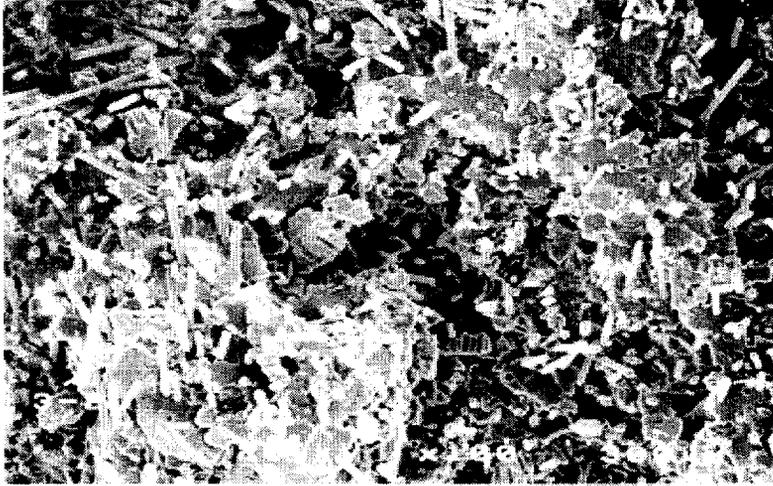


Photo. 3-2 Section of fracture (scale  $\times 100$ ),  
glass fiber 33%

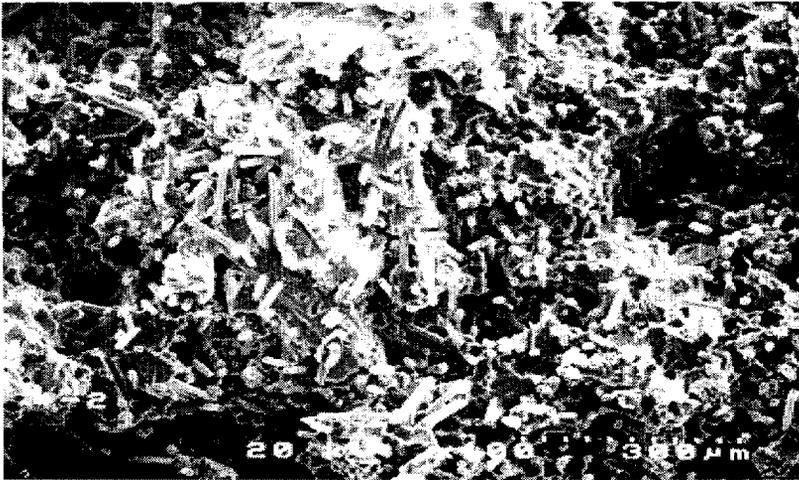


Photo. 3-3 Section of fracture (scale  $\times 100$ ),  
glass fiber 44%

### 3.2.3 스테빌라이즈링크의 성형해석

사출성형해석은 상용 성형해석 프로그램인 C mold로 수행하였다. 본 프로그램의 지배 방정식은 선형 점탄성 이론과 기본 연속방정식, 운동방정식, 에너지방정식에 근거하여 이루어져 있다.

본 연구는 고분자 재료가 시간에 따른 밀도의 변화가 없다고 가정하여 해석한 사출해석의 경우이므로 뉴턴유체로써 다음과 같은 방정식에 따라 해석되었다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (28)$$

본 연구에서는 구조 설계과정을 거친 제품의 형상을 대상으로 게이트 형식의 변화를 주어 해석하였다. 아래 Fig. 3-8은 성형품의 3차원 모델을 나타내었다.

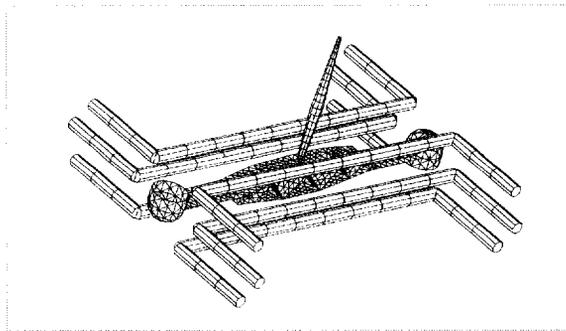


Fig. 3-8 Three-dimensional geometric model

해석에 사용한 소프트웨어는 C-mold로서 미국의 CIMP(connell injection molding program)에서 개발한 것이다. C-mold는 사출성형의 설계에서 생산까지 최적의 3차원 시뮬레이션을 위한 종합적 해석프로그램이다. 또한 이는 다양한 데이터베이스를 확보하고 있으며 열가소성수지의 충

전 및 후 충전과 냉각과정해석을 C Flow, C Pack, C Cool을 통해서 지원하고 있다.

본 연구에 있어서 사출성형 해석은 제시된 여러 형상들의 유동선단(melt front advancement)과 웰드라인(weld line), 에어트랩(air traps)등을 비교하여 성형 상에 있어 최적 형상을 결정하였다. 결정된 최적 형상은 구조 해석을 통하여 다시 그 안전성을 검증한 뒤 재차 게이트 위치설계를 통해 웰드라인, 에어 트랩, 싱크마크 등의 제품 결함 최소화와 수축으로 인한 제품의 치수 안정성, 냉각의 균일화, 분자 배향의 안정화를 통한 최적 제품 설계 및 금형 설계를 하는데 그 목적이 있다.

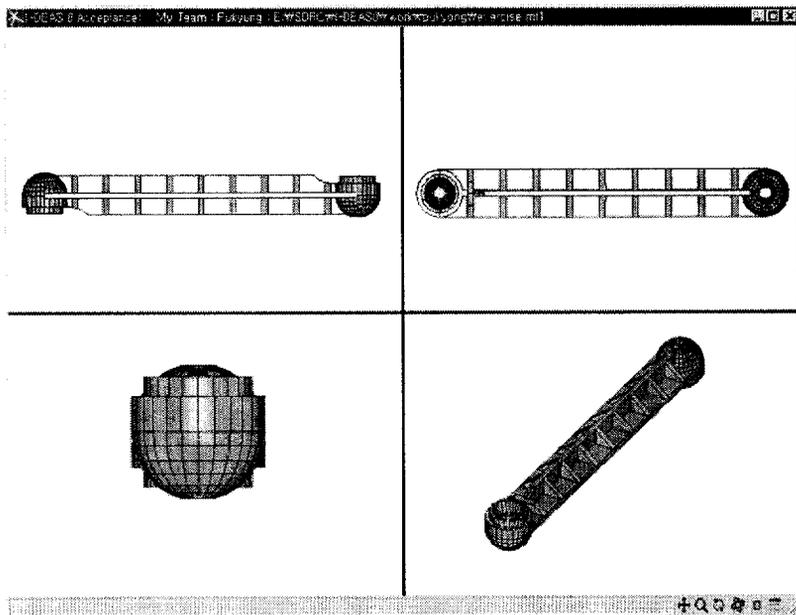


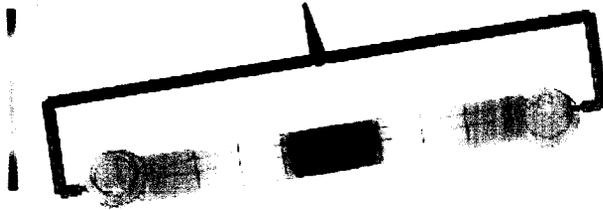
Fig. 3-9 Part design of model 1

제품의 크로스타입 형상(모델1)은 Fig. 3-9에서와 같이 십자형(cross

type)의 살을 로드 에 보강한 리브(rib)를 둔 형태로 부트(boot)가 위치하는 부분에서는 간섭을 줄이기 위해 라운딩 처리를 하여 설계하였다.

성형해석 결과는 Fig. 3 10과 같이 에어트랩은 모든 보강 립 부분에 걸쳐 나타났으며, 웰드라인 또한 로드의 중심과 볼 헤드의 목 부분에 생겼다.

- Melt front advancement



- Air traps



- Weld lines

Figure 3-10

- pressure



Fig. 3-10 Analysis results for model 1

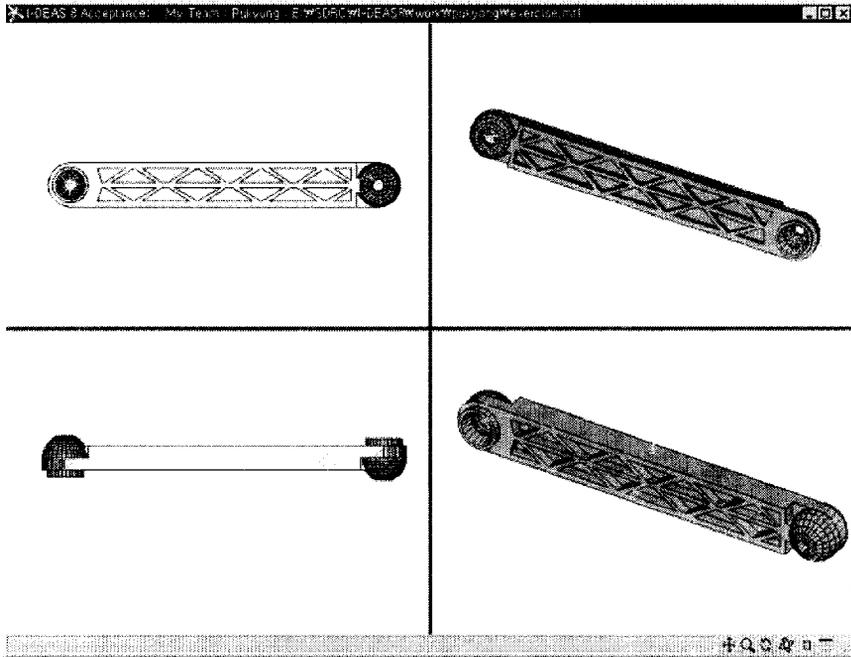
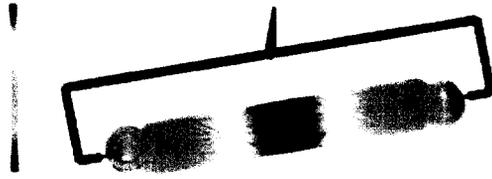


Fig. 3-11 Part design of model 2

제품상의 리브에 대한 삼각형 형상은 Fig. 3-11과 같이 디자인된 것(모델2)으로 Fig. 3-9의 크로스타입과 달리 수지의 흐름이 립 부에서 갑자기 직각방향으로 흐르는 것을 막기 위해 설계되었다.

모델2에 대한 성형해석 결과 에어 트랩과 유동선단에 있어서는 어느 정도 모델 1보다는 좋게 나타났지만 기계적 강도를 약하게 하는 웰드라인이 제품 전체에서 나타났다.

- Melt front advancement



- Air traps



- Weld lines



- pressure

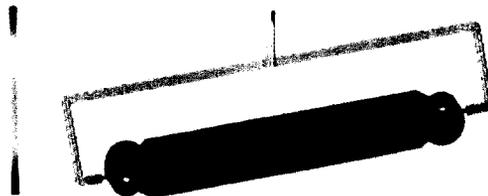


Fig. 3-12 Analysis results for model 2

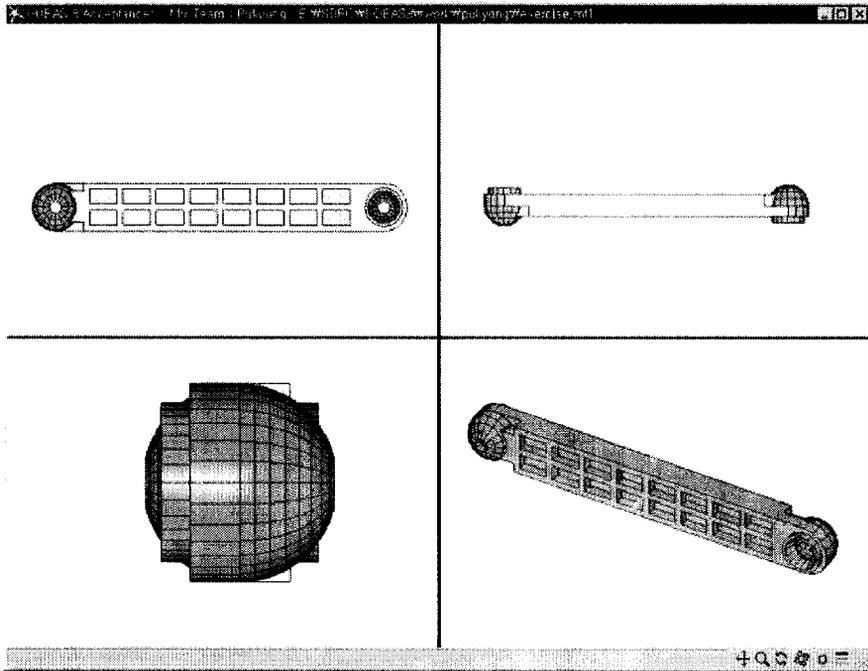
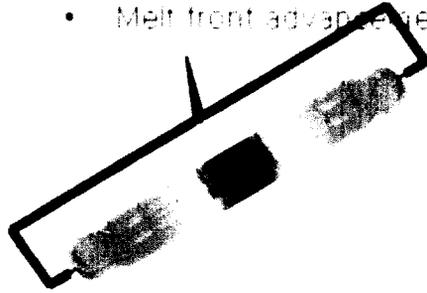


Fig. 3-13 Part design of model 3

리브형상을 사다리꼴 형상(모델3)으로 한 것은 Fig. 3 13과 같으며 기계적 강도를 높이기 위해 사다리 형상을 하고 있다. 모델3에 대한 성형해석 결과 수지의 흐름이 직각으로 변하는 부위가 많아 큰 압력을 필요로 하여 제품의 내부 응력이 크게 발생할 것으로 생각되었다. 또한 국부적으로 제품의 볼 헤드의 목 부위와 로드 중앙부에 웰드라인과 에어트랩이 생겨 기계적 강도저하는 물론 성형 불량도 예상된다.

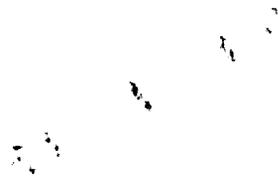
- Melt front advancement



- Air traps



- Weld lines



- pressure

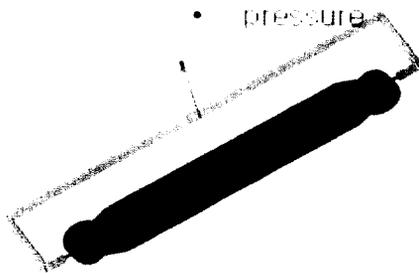


Fig. 3-14 Analysis results for model 3

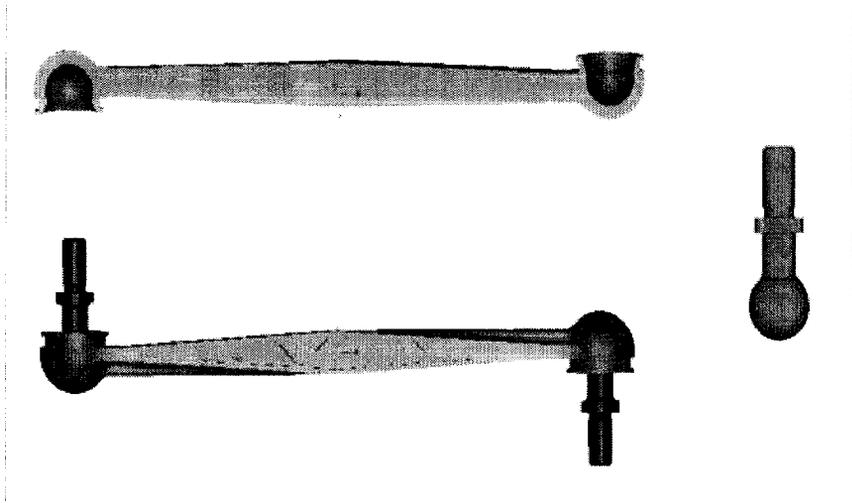


Fig. 3-15 Part design of model 4

이상에서 검토한 리브의 형상에 따른 제품설계는 수지의 유동성등을 고려하여 최종적으로 Fig. 3-15의 것을 채택하였다. 이형상에 대해 기존 형상의 해석 결과에서처럼 볼 헤드 목 부위에 웰드라인 생기는 것을 줄이고자 고체 윤활제를 코팅한 볼을 사용하여 볼 헤드부를 밀폐하였다.

최종제품 형상에 대한 성형해석 결과 웰드라인은 로드의 중앙에 약하게 나타나는 것을 제외하고는 미세하게 나타났으며, 에어트랩 또한 금형의 파팅라인(parting line)의 근처에 발생하여 성형 상에 있어서 가장 유리한 선택으로 판단되었다.

연구의 다음 절차로써, 금형설계제작을 위한 구체적인 게이트 위치와 개수를 결정하기 위한 사출성형 유동해석을 수행하였다.

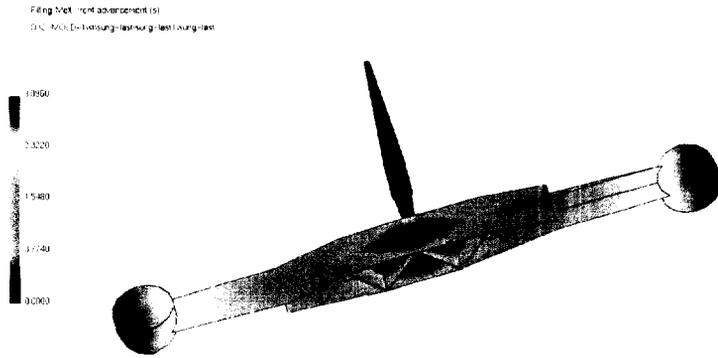


Fig. 3-16 Melt front advancement (1 gate)

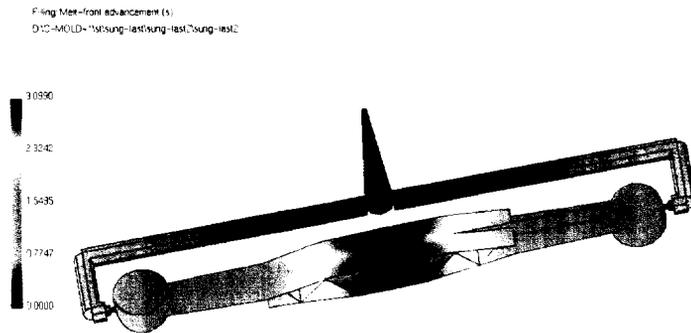


Fig. 3-17 Melt front advancement (2 gate)

Fig. 3-16은 1 게이트의 경우 시간에 따른 충진을 나타내는 유동선단의 흐름상태를 나타낸 것이다.. 그리고 Fig. 3-17은 2 게이트의 경우 유동선단의 흐름상태를 나타낸 것이다.. 1 게이트와 2 게이트를 비교해보면, 충전시간은 약 3초로 비슷하게 나타나지만, 1 게이트의 경우 전체 충전시간에서 러너가 차지하는 충전시간이 적게 소요된다. 하지만 2 게이트의 경우는 러

너의 충전시간이 1.2초 정도로 실제 캐비티의 충전시간은 1.8초 정도로 나타난다. 이는 1 게이트로 사출성형을 할 때에는 충전시간이 많아 안정적인 충전이 되며 또한, 미성형 구간이 발생할 가능성이 작아진다. 2 게이트의 경우 러너에서 차지하는 충전시간이 많아 실제 캐비티에서는 충전시간이 작음으로 인해, 립부 중간부에서 미성형이 발생할 가능성이 높다.

Filling Weld and meld lines  
D:\C:\MOLD-1\1stung-1st1sung-1st1

⋮  
•

Fig. 3-18 Weld and meld line (1 gate)

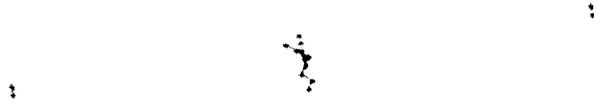


Fig. 3-19 Weld and meld line (2 gate)

웰드라인 발생 부를 알아보기 위해 weld and meld line 해석결과를 살펴 보면, 1 게이트의 경우 웰드라인이 거의 발생하지 않는 구조이나, 2 게이트의 경우 립 부 중심에서 큰 웰드라인이 발생함을 알 수 있다. 이는 2 게이트의 금형구조일 경우, 립 부 중심에서 수자의 흐름이 만나므로 당연한 해석결과라 할 수 있다. 만일, 2 게이트의 금형구조를 사용하여 제품을 제작할 경우, 인장시험과 압축시험 등에서 립 부 중간에서 파손될 가능성이 아주 높아질 것으로 예상된다.

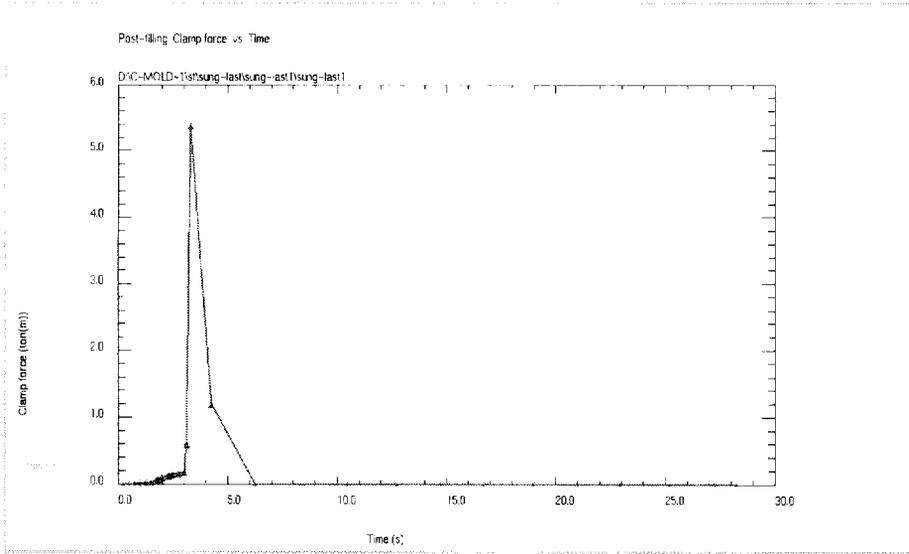


Fig. 3-20 Clamp force (1 gate)

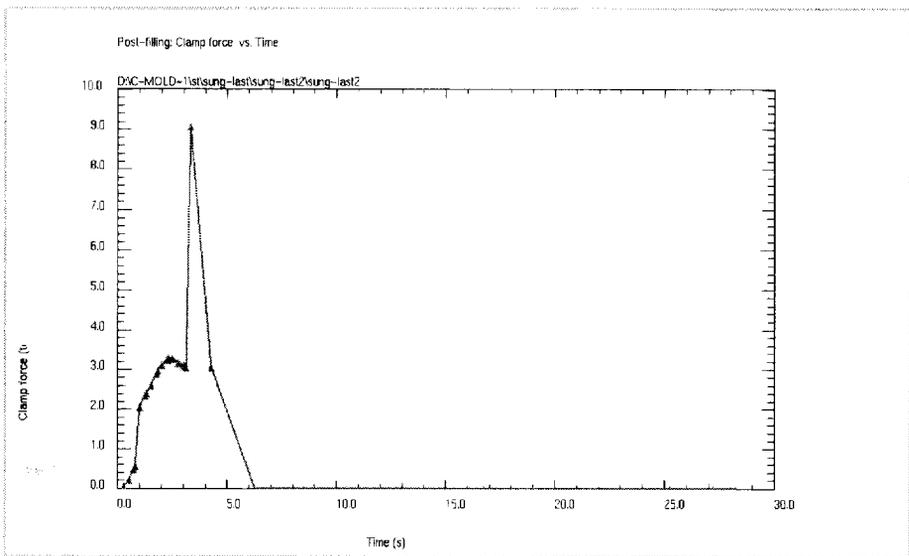


Fig. 3-21 clamp force (2 gate)

Fig. 3-20의 그래프와 Fig. 3-21의 그래프는 게이트의 개수를 각각 1개와

2개로 했을 때의 사출기의 형체력을 나타낸 것이다., 2 게이트 방식일 경우, 형체결력이 증가하는 것을 알 수 있고, 또한 2 게이트방식에서는 러너의 길이가 길어 초기에 압력이 많이 필요하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 성형시 성형압력에 대해 고려할 때 게이트를 1개로 할 경우가 유리함을 알 수 있다. Fig. 3-22과 Fig. 3-24는 게이트의 종류에 따른 성형품의 표층에 나타나는 skin orientation 해석결과를 나타낸 것이다, 1 게이트와 2 게이트의 경우 배향에서는 큰 차이는 없음을 알 수 있다. 또한 Fig. 3-22와 Fig. 3-25는 게이트 종류에 따른 성형품의 내측에 나타나는 배향상태를 나타낸 것이며, 이것 역시 게이트 종류에 따라 큰 차이는 없음을 알 수 있다.

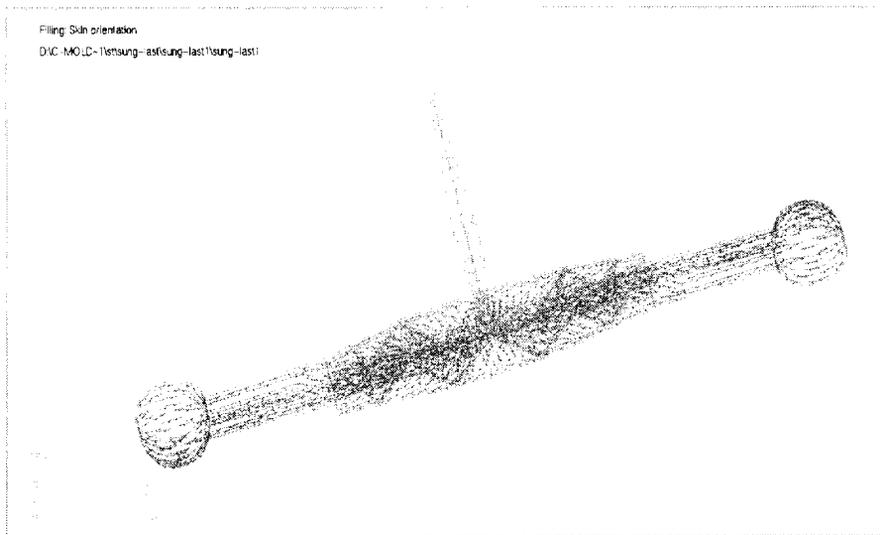


Fig. 3-22 Skin orientation (1 gate)

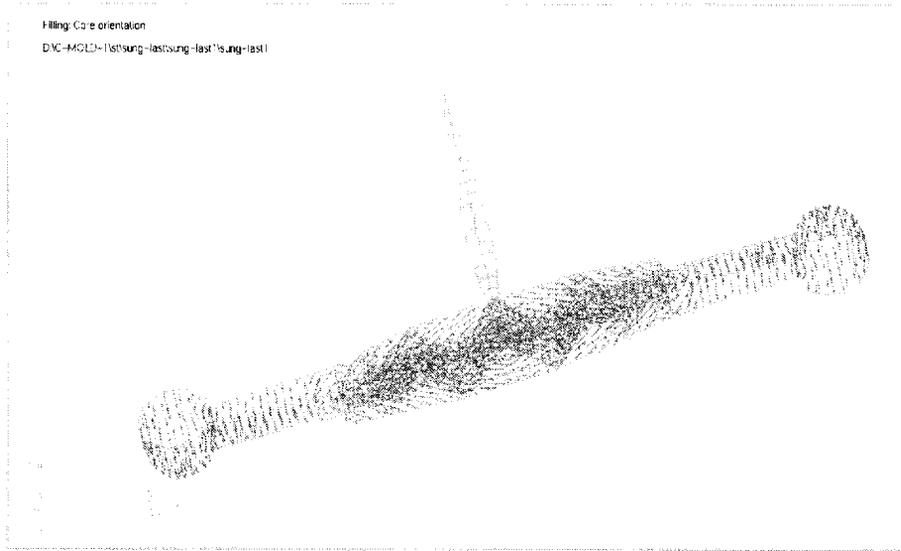


Fig. 3-23 Core orientation (1 gate)

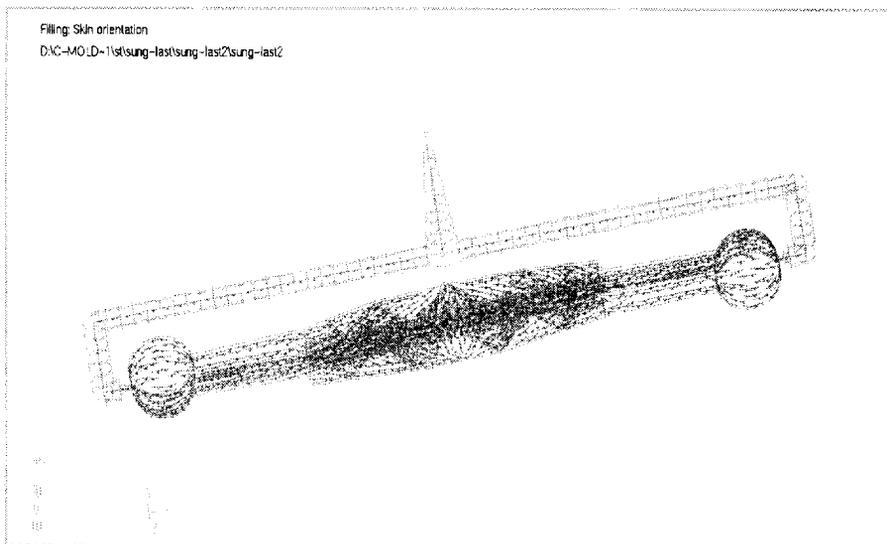


Fig. 3-24 Skin orientation (2 gate)

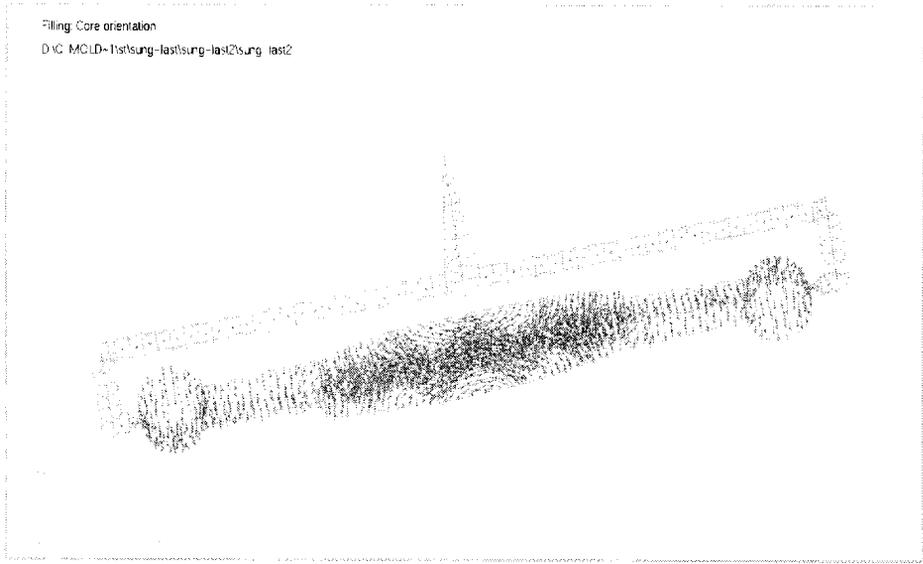


Fig. 3-25 Core orientation (2 gate)

Fig. 3-26는 1게이트의 경우 bulk temperature(end of filling)를 나타낸 그림이며, 1 게이트방식에서 충전 후 수축이 길이의 직각방향으로 일어난다는 사실을 알 수 있다. 하지만 Fig. 3-27은 2 게이트방식으로 성형을 하였을 경우, 충전 후 수축이 길이방향으로 일어남을 알 수 있다. 이것은 스테빌라이즈링크의 중요치수인 길이방향의 치수는 2 게이트일 경우 길이방향으로의 수축으로 인해 길이의 오차가 커질 수 있다는 것을 알 수 있다.

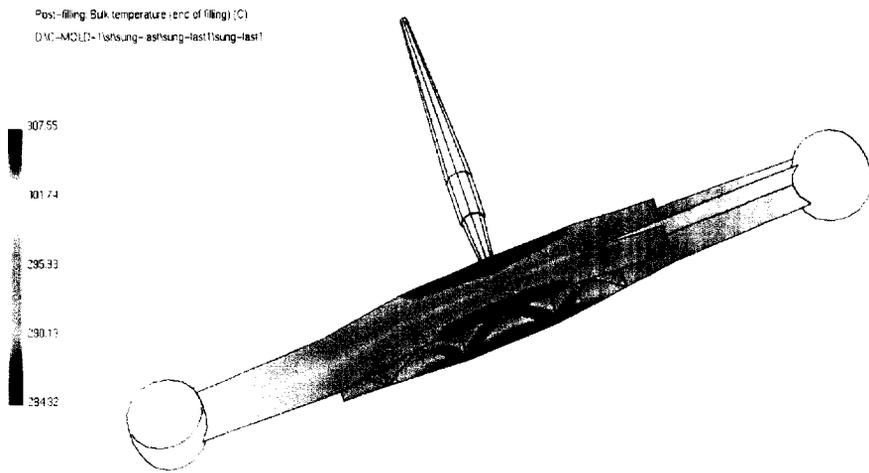


Fig. 3-26 Bulk temperature at end of filling (1 gate)

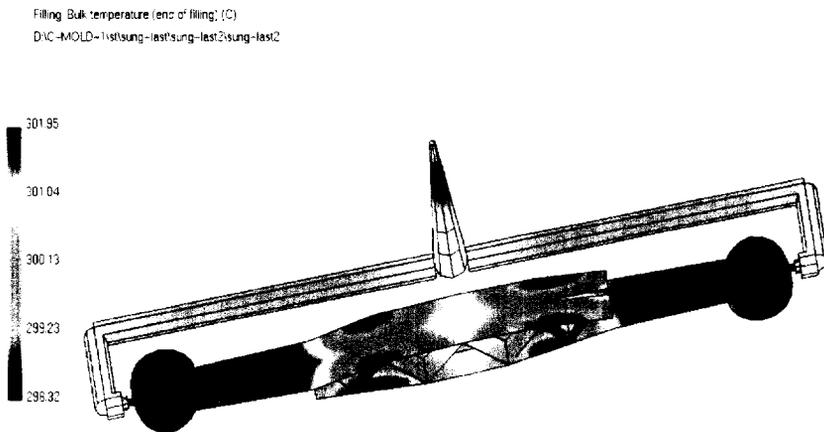


Fig. 3-27 Bulk temperature at end of filling (2 gate)

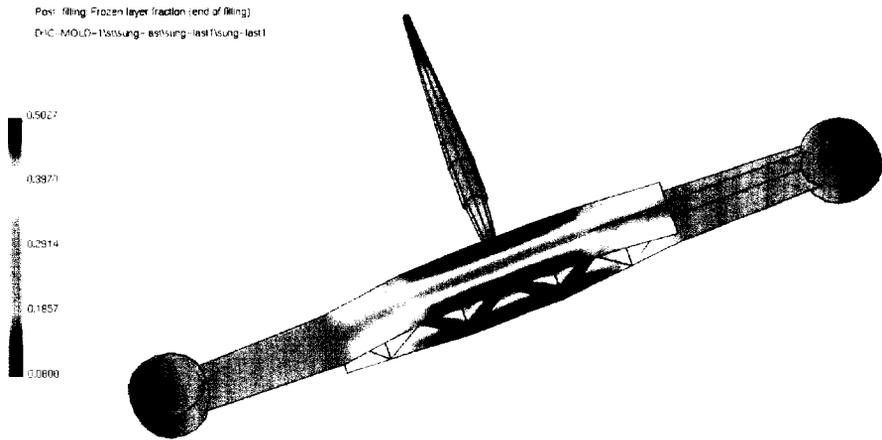


Fig. 3-28 Frozen layer fraction (1 gate)

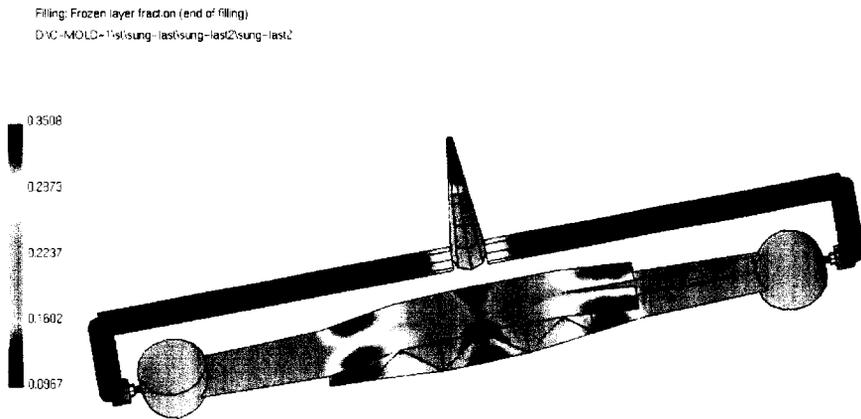


Fig. 3-29 Frozen layer fraction (2 gate)

Fig.3 30과 Fig. 3 31은 각 게이트의 종류에 따른 성형해석결과 에어 트랩 발생 상태를 나타낸 것이다. Fig. 3-30 의 1 게이트 에서는 제품의 립 끝부와 제품 끝 부에 약간의 에어트랩이 발생하였으나, Fig. 3 31의 2 게이트 방식에서는 제품 중심부에 많은 에어트랩이 발생하였다. 에어트랩이 많이 발생하게 되면 수지가 변색(burning)의 가능성이 있으며, 유동에 많은 저항을 주게 된다.

해석결과를 종합해 볼 때 중앙의 게이트가 있는 형상이 제품 양쪽 말단의 2게이트 형식보다 급형 설계상 유리하다고 평가된다.



Fig. 3-30 Air trap (1 gate)

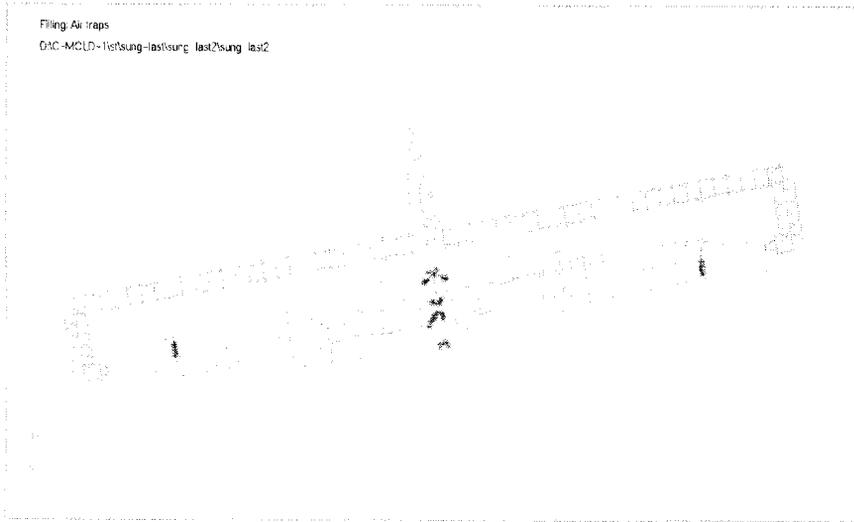


Fig. 3-31 Air trap (2 gate)

## 제4장. 실험장치 및 방법

### 4.1 성형 실험

#### 4.1.1. 제품 설계 형상

제품형상은 제2장의 형상설계 및 제3장의 성형해석의 결과로부터 결정되었으며, 그 형상은 다음 Photo. 4-1과 같다. 형상은 사출 성형해석과 구조해석을 통해 제품 목 부위의 살 두께를 줄이고, 보강 부의 살 두께를 균일화하였다. 또한 금형상의 취출을 고려하여 보강 부의 살빼기는 제품 측면에서 이루어지게 하였다.

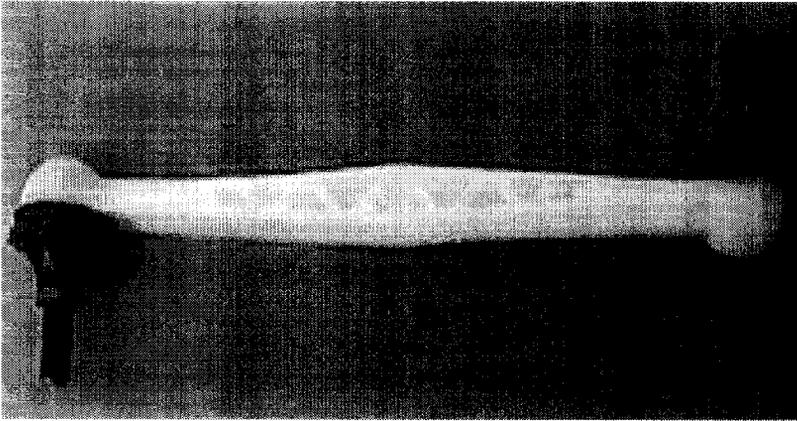


Photo. 4-1 Configuration of stabilizer link

실험용 금형은 인서트 코어 방식의 앵귤러 핀(angular pin)을 이용한 슬라이드 3단 금형이다. 금형의 인서트 코어는 제품의 볼 부분이 제품과 일체형으로 취출되게 하기 위하여 작동 부를 두어 금형 제작을 하였다.

#### 4.1.2 사출성형기 사양

사출성형 실험은 사출해석 실험에서와 동일한 조건에서 실험을 하였다. 사출기는 LG사의 LGH140N 사출기를 사용하였다. 이 사출기는 최대 형체력이 140 ton 이며, 최대 사출압은 15,190 N/cm<sup>2</sup>이며, 최대 사출량은 10.4 Oz이다.

성형실험은 다음 Table 4-1과 같은 성형조건으로 수행되었다.

Table 4-1 Injection molding conditions

Conditions		Unit	Value
Cylinder temperature	rear	℃	170
	center	℃	185
	front	℃	190
Nozzle temperature		℃	195
Melt temperature		℃	195
Mold temperature		℃	-
Injection Pressure	first	% (max.15,190 N/cm <sup>2</sup> )	50
	second	% (max.15,190 N/cm <sup>2</sup> )	50
Packing time		sec	3
Injection time		sec	3

성형은 불을 인서트한 상태에서 취출 되었으며, 냉각은 금형상의 공간문제로 냉각회로를 가공하지 않고 성형하여 공냉에 의존하였다. 취출은 자동이젝팅 후 수동으로 코어를 제거하여 제품을 완성하였다. 다음 Photo. 4 2 는 1차 금형에서의 성형제품을 보여준다.

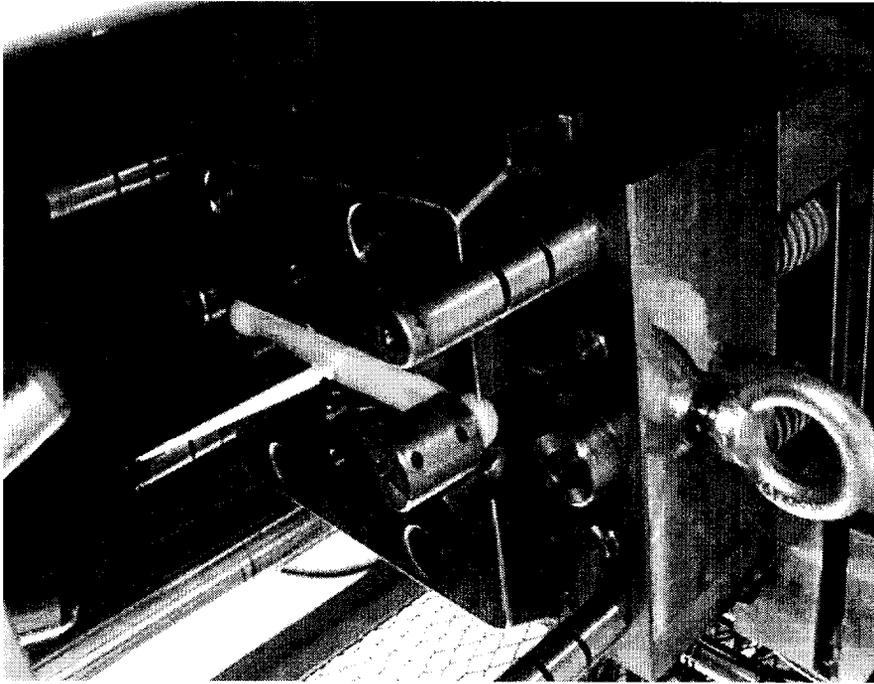


Photo. 4-2 Ejection moldings

### 4.1.3 사출성형 실험

#### 1) 1차 사출성형 실험

1차 성형 실험 결과 제품은 플래쉬(flash)라는 성형 불량률이 많이 발생하였으며, 제품의 목 부위에 싱크마크(sink mark)라는 성형 불량률이 발생하였다. 플래쉬의 경우 Photo. 4-3과 같이 제품의 불과 제품 사이에 주로 많이 발생하였으며, 또한 금형의 분할선인 파팅라인에 발생하였다. 금형의 파팅라인에 발생하는 플래쉬의 경우 사출 압이 너무 높거나 수지의 온도가 높아 그 분할 면에 생겼으나 그 크기가 미비하여 온도와 압력의 수정으로 제어가 가능하였다. 그러나 제품의 양 끝단 부의 불과 접하는 부근에 생긴 플래쉬의 경우 인서트 코어의 조립과 그에 따른 가공오차에의해로 발생이 되며, 이는 2차 가공의 가공상 공정을 늘어나게 함은 물론 헤드 부에서의 제품 밀도가 낮아져 기계적 강도가 줄어든다는 것을 예상할 수 있다.

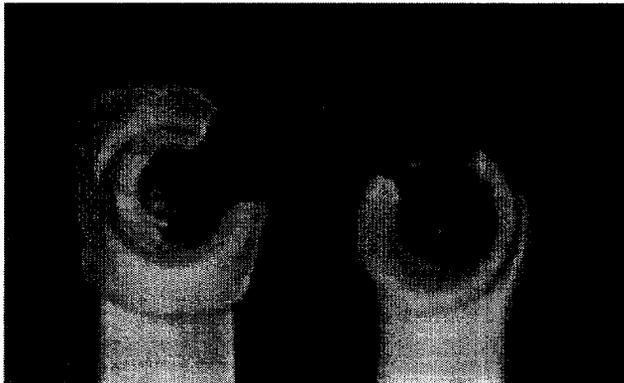


Photo. 4-3 Flash at the head area

싱크마크는 아래 Photo. 4-4와 같이 성형품의 표면이 오목하게 고화되는 성형 불량이다. 금형 내에 유입된 용융 수지가 냉각·고화될 때 체적 수축이 발생하며, 이때 금형에 접하는 표면이 다른 부분보다 빨리 냉각되어 수

축이 일어나고 중심부는 늦게 냉각 수축되어 빨리 수축하는 표면 쪽으로 수지가 움직여 늦게 수축하는 중심부분은 수지 량이 부족하게 되어 함몰되어 생기는 성형 불량이다. 이 싱크마크는 제품의 수축 량의 차이를 유발하여 내부응력이 발생된다. 이는 인장력이나 압축력이 스테빌라이저에 걸리기 때문에 그 부분이 취약해 질 우려가 있다.

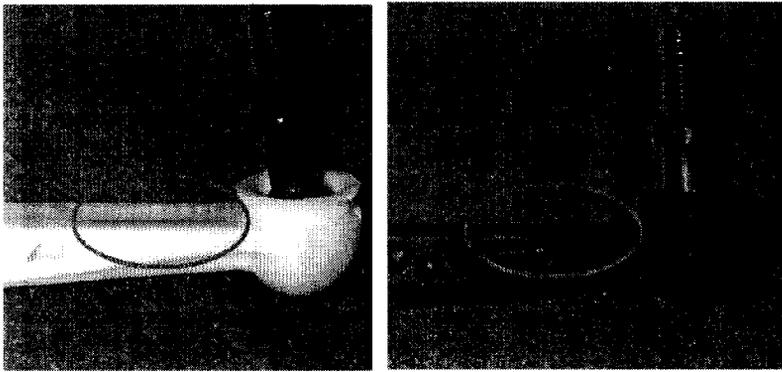


Photo. 4-4 Sinkmark

이런 성형불량은 기계적 강도저하는 물론 1공정 1제품의 사출성형의 특징으로 볼 때 후 추가공정을 요구하여 제조비의 상승을 야기한다.

이에 2차 형상 모델링은 1차의 웰드라인 회피에 중점을 둔 것에 비하여 2차에서는 살빼기를 통한 싱크마크의 최소화와 금형 코어 수정을 통한 플래쉬의 제거를 고려한 제품설계를 수행하였다. Photo. 4 5는 제품형상을 일부 개조한 2차 모델링형상을 나타낸 것으로써, 1차 모델링과의 차이를 취출된 제품 형상을 통해 나타내었다. 스테빌라이저 링크는 볼 헤드 목 부위에 살빼기를 하여 다음과 같이 직선 부의 코어를 금형에 첨가하여 만들어 졌다. 이는 제품의 두께를 균일하게 하여 냉각을 제품 전체에 동일하게 하는 역할을 하여 싱크마크를 줄이는데 그 목적이 있다.

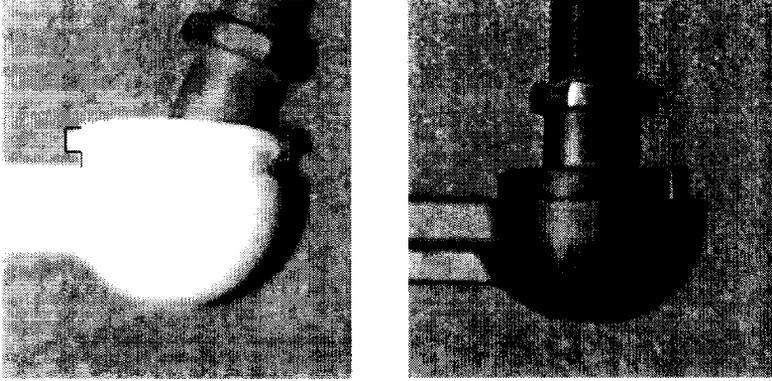


Photo. 4-5 The change of design for headpart

Photo 4-6은 1차 성형실험결과에 따라 일부형상을 개선설계한 스테빌라이즈 링크의 형상을 나타낸 것이다.



Photo. 4-6 Configuration of stabilizer link  
by design revision

2) 2차 사출성형 실험

최종 개조된 형상을 대상으로 성형조건을 5가지로 나누어서 성형실험을 실시하였으며, 성형조건은 Table 4 2와 같다. 사출성형기의 용량은 140 ton이며, 사출압력은 성형기의 최대사출압의 %로 표시하였으며, 사출속도는 mm/min이고 사출시간은 sec단위이다. 그리고 금형온도는 50 ℃이다.

Table 4 2 Injection molding conditions

< condition 1 >

Injection pressure (%)	55	60	70	60	50
Injection velocity (mm/min)	28	70	70	60	60
Packing pressure (%)	0	50	80	75	70
Packing time (sec)	0	1	3	3	4

< condition 2 >

Injection pressure	50	55	65	55	50
Injection velocity	28	60	60	68	70
Packing pressure	30	50	70	75	80
Packing time	1	1	3	3	4

< condition 3 >

Injection pressure	60	65	75	65	55
Injection velocity	60	60	63	68	70
Packing pressure	46	50	70	75	80
Packing time	1	1	3	3	4

< condition 4 >

Injection pressure	65	70	80	70	60
Injection velocity	55	68	70	72	70
Packing pressure	35	48	60	75	75
Packing time	1	1	3	3	4

< condition 5 >

Injection pressure	65	70	80	70	60
Injection velocity	55	68	70	72	70
Packing pressure	55	58	70	75	75
Packing time	1	1	3	3	4

## 4.2 스테빌라이저링크의 물성 측정

기계적 실험은 미국 자동차 공업 협회(SAE)규격에 맞추어 총 5가지 실험을 통하여 그 안정도를 검사하였다. 또한 중량 시험을 통해 경량화와 제품 균일성에 대해 고찰하였다. 모든 테스트는 10회 이상 각각 수행되어 그 평균값을 나타내었다.

### 4.2.1 볼스터드 이탈강도 시험 (pull out test)

풀 아웃 테스트는 스테빌라이저링크의 몸체를 고정시킨 후 스테빌라이저링크에서 수직한 방향으로 볼을 당겨 볼스터드의 이탈강도를 측정하는 실험이다. 이 실험은 차량의 운행 중, 과도한 충격을 받았을 때, 건널 수 있는 지를 측정하는 실험이다.

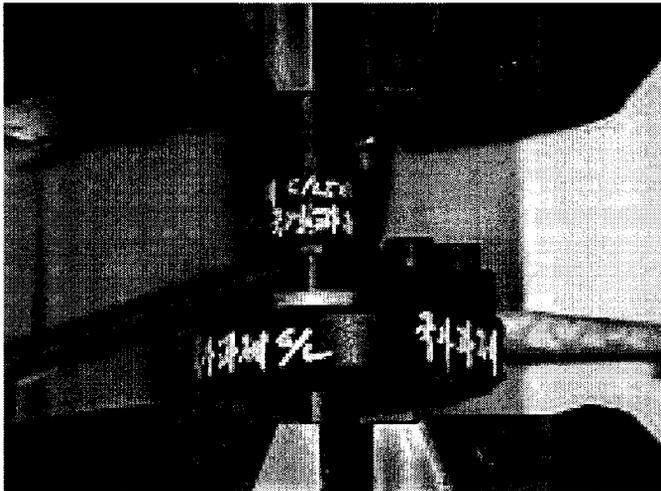


Photo. 4-7 Pull out test

#### 4.2.2 인장강도 및 압축강도 시험

인장시험과 압축시험은 만능시험기(UTM)에 각각의 실험 치구를 사용하여 수행되었다. 인장시험은 한쪽의 볼스터드를 고정시키고 다른 쪽의 볼스터드를 당겨 스테빌라이즈링크의 인장 시 강도를 측정하는 실험이다.

압축시험은 인장시험과 반대로 한쪽의 볼스터드를 고정시키고 다른쪽의 볼스터드를 압축방향으로 밀어서 스테빌라이즈링크의 압축 시 강도를 측정하는 실험이다.

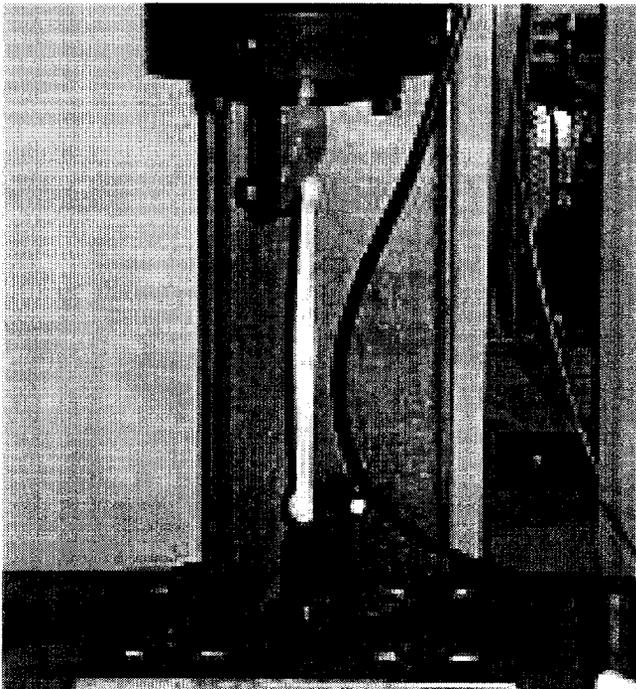


Photo. 4-8 Tensile & compressure test

### 4.2.3 피로시험

피로시험(fatigue test)은 Photo. 4-9와 같이 한쪽 볼을 고정시킨 뒤 다른 한쪽에 다음과 같은 사이클을 반복시켜 그 파손 여부를 확인하는 시험이다. 사이클 횟수는 총 200,000사이클이며 그 행정은 Fig. 4-1에 나타낸 것과 같다. 시험장비는 BEP사의 피로시험기이다.

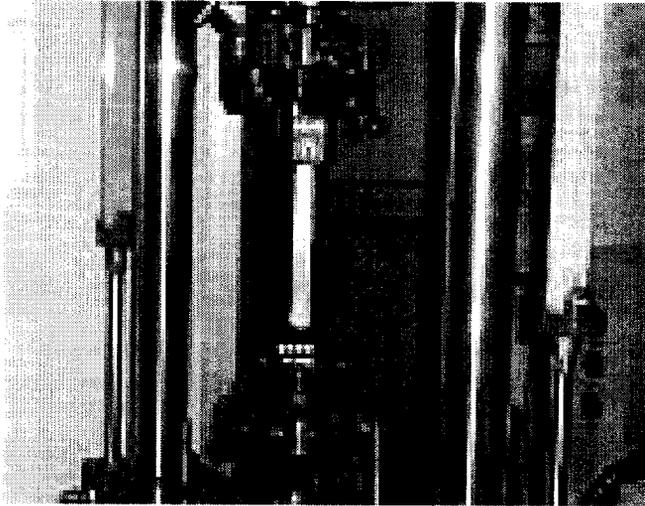


Photo. 4-9 Fatigue test

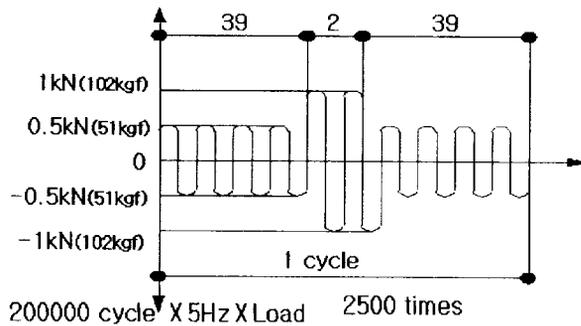


Fig. 4-1 Fatigue test condition

#### 4.2.4 토크시험

토크 시험은 볼과 플라스틱 바디의 결합정도를 알아보는 시험이다. 인서트 코어 제품인 경우 제품은 구속수축이 일어난다. 스테빌라이저에서의 구속 수축은 자동차의 운행 중 볼과 스테빌라이저의 접합부와의 표면전단응력(skin shear stress)를 발생시켜 제품의 안전성에 문제를 일으킬 수 있다. 볼과 스테빌라이저와의 이 표면 전단응력을 줄이고 토크를 개선하기 위해 고체 그리스인 이황화 폴리브덴을 사용하였다. 시험장비는 로보테크사의 볼조인트 토크시험기이다. Photo. 4 10은 시험장면을 나타낸다.

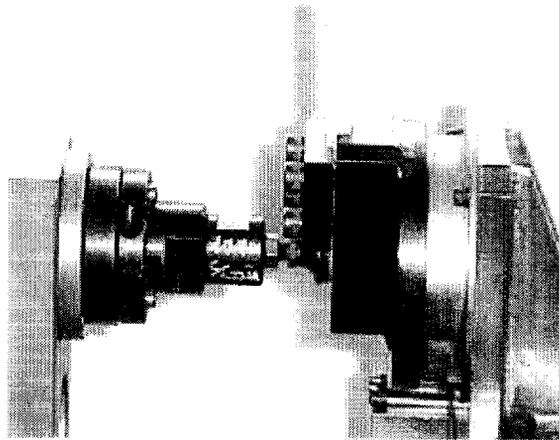


Photo. 4-10 Torque test

#### 4.2.5 마모 내구시험

일반적으로 스테빌라이저의 취약부는 볼과 스테빌라이저 몸체와의 결합부이다. 계속되는 볼의 운동으로 인하여 볼과의 결합부가 마모되어 볼과의 면압이 약해져 볼이 빠지는 경우가 있다. 이에 대한 안정도 실험이 마모내구시험(wear test)이다. 내구마모성 시험의 실험 조건과 일반적 요구조건은 Table 4-3과 같다. Photo 4-11은 마모내구시험의 시험 장면을 나타낸 사진이다.

Table 4-3 The durability test conditions

Test order	Ball joint		Repetition load	Rrepetition Hz	Cycle	Atmosphere
	oscillating angle	rotation angle				
1	$\pm 12^\circ$	$\pm 32.5^\circ$	3430 N (350 kgf)	1~3 Hz	200,000	dry
2	$\pm 7.5^\circ$	-	2450 N (250 kgf)	1~3 Hz	600,000	

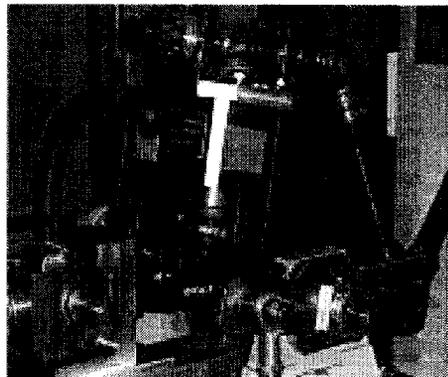


Photo. 4-11 Durability test

#### 4.2.6 중량시험

중량시험은 사출성형 제품에 있어서 그 제품의 균질성을 알아보기 위해 많이 사용한다. 같은 형상이라도 그 중량 차가 있으면 그만큼 밀도 차를 가지게 되며 이는 기계적 강도에 나쁜 영향을 미치게 된다. 또한 스테빌라이저와 같은 차량의 부속품인 경우 그 안전한 측면뿐만 아니라 기존 제품과의 경량화 차이를 알 수 있는 시험이다.

중량 측정은 불과 더스트커버(dust cover)를 포함한 형상을 대상으로 측정하였다. 중량측정은 총 20개의 성형품을 가지고 측정하였으며 그 평균을 데이터 값으로 하였다.

## 제 5 장 실험결과 및 고찰

### 5.1 물성측정 결과

#### 5.1.1 인장 및 압축강도

성형조건은 4.1.3에 있는 5가지 조건으로 나누어서 사출성형을 실시하였으며, 이에 따른 인장 시험 결과는 아래의 그래프와 같다. 그래프의 오른쪽 숫자는 사출성형조건 순번을 나타낸다.

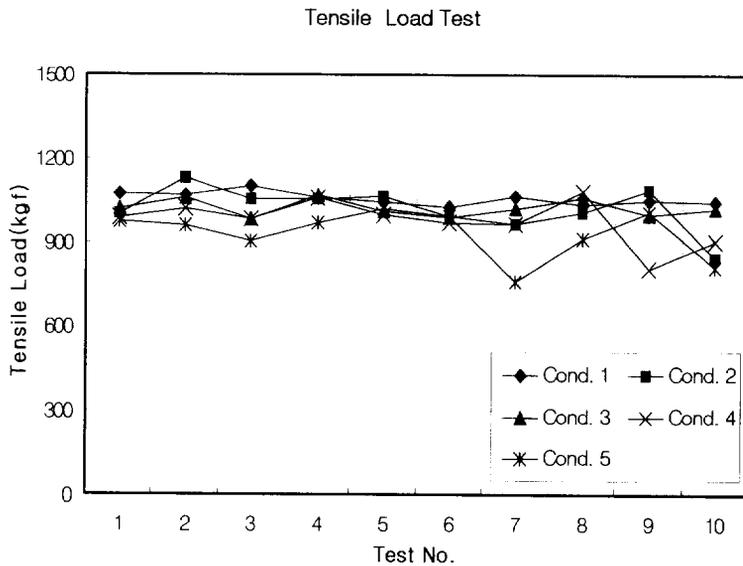


Fig. 5-1 The result of tensile load test

위의 시험결과를 살펴보면, 성형조건 1번의 최대 인장강도가 균일하게 나오는 것을 알 수 있다. 기존의 금속제품 스테빌라이즈링크의 최대인장하중이 6370 N이었지만, 개발된 사출성형품은 9310 N 이상이었다. 이는 기존제품의 용접부에서 파괴가 빨리 일어나는 반면에 개발품의 경우 웰드라

인부에서 일어나지만 버리부 웰드라인 발생예측지점을 립 부로 보강하였기 때문이다.

### 5.1.2 피로시험

피로시험의 경우 섬유 보강재의 함유율이 높으면 피로에는 약해진다. 이에는 여러 가지 원인이 있지만 피로를 완화해줄 수 있는 모재(matrix)의 양이 작아지는 것이 큰 원인이 되며 또한 섬유 보강재의 양이 많아짐에 따라 섬유가 견딜 수 있는 연신율이 작기 때문에 섬유와 보강재의 계면전단강도가 발생하고 계면전단강도가 발생하는 부분이 많아져 결과적으로 피로에는 약해진다. 물론 모재와 보강재의 계면전단강도가 높으면 정적강도는 강해지지만 피로와 내구성에서는 약해진다. 많은 시험을 거쳐 가장 최적의 상태를 찾아내는 것이 연구진행에서 중요한 작업중의 하나이다. 또한, void를 줄이는 것도 큰 연구과제중의 하나이다. void발생은 피로에 견디는 힘을 급감 시킨다. 이번 피로시험에 사용된 피로시험규격은 아래의 표와 같이 진행되었다. 단순한 피로시험의 양상을 나타내는 그래프이다. 이번 피로시험에서는 복합재료 스테빌라이즈링크의 균열이 발생하지 않았다.

### 5.1.3 토오크 시험

일반적으로 볼시트를 사용하는 스테빌라이즈링크의 경우, 압입된 볼시트는 볼스터드의 구 부분을 선 접촉하는 형태로 되어있어, 토오크 측정에서 불안정한 경우가 다소 발생한다. 그리고 토오크는 마찰부분에 사용되는 그리스의 종류에 따라서 많은 변화가 발생한다. 토오크를 안정화시킬려면 볼스터드의 구 부처립 조립 후 볼시트의 안쪽모양이 구 부분이 되면 좋은데

볼시트를 압입하는 상태에서는 모양을 맞추기가 상당히 힘들다.

현재 개발되고 있는 스테빌라이즈링크는 볼스터드의 구 부분에 직접 사출을 하는 형태이므로 볼스터드와 몸체가 선 접촉이 아닌 면 접촉을 하므로 토오크에서 상당히 안정된 모습을 보였다. 본 연구에서는 이황화몰리브덴을 이용한 고체 윤활제를 사용하여 마모성 및 고하중이 작용에 사용하였다. 다음 Fig. 5 2, Fig. 5 3, Fig. 5 4, Fig. 5 5는 이황화몰리브덴과 이황화텅스텐 고체 윤활제 사용 시의 토크 차이를 나타낸 시험 결과이다.

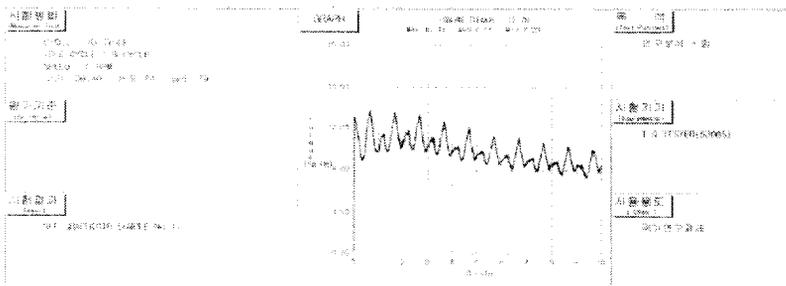


Fig. 5-2 Torque test before durability test(apply MOS2)

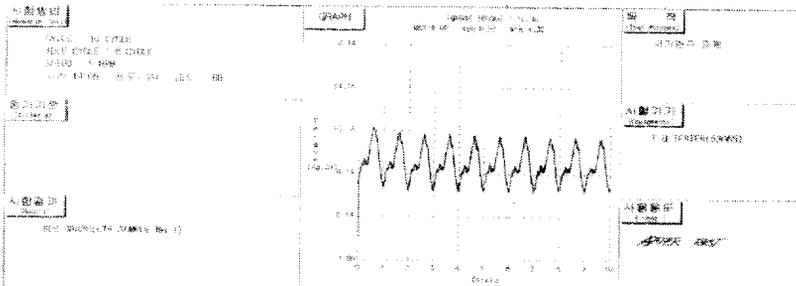


Fig. 5-3 Torque test after durability test(apply MOS2)

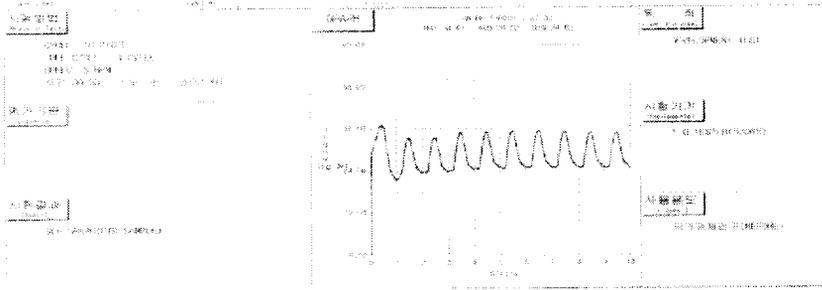


Fig. 5-4 Torque test before durability test(apply WS2)

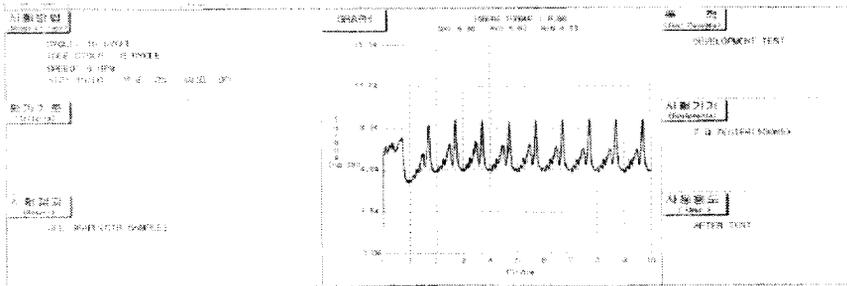


Fig. 5-5 Torque test after durability test(apply WS2)

위에 나타난 결과들을 정리해보면 아래 표와 같다.

Table 5-1 Torque change depend on solid lubricant

Item \ Lubri.	MOS2	WS2
Coating method	dip	spray
Torque(before test)	70.85~101.3 N·cm (7.23~10.34 kgf·cm)	241.4~992.7 N·cm (24.63~34.93 kgf·cm)
Torque(after test)	42.3~97.2 N·cm (4.32~9.92 kgf·cm)	44.4~86.8 N·cm (4.53~8.86 kgf·cm)

토크의 변화량에서 이황화몰리브덴이 이황화텅스텐보다 변화량이 작았다. 토크의 측정치는 사출 조건과도 밀접한 관련이 있기 때문에 이에 대한 연구도 지속적으로 진행되어야 한다. 위에서 이황화몰리브덴은 디핑 방법을 사용했기 때문에 도막두께가 두꺼우며, 이황화텅스텐의 스프레이

방식으로써 도막두께가 얇다는 단점이 있다. 또한, 이황화텅스텐 코팅은 접착력이 너무 약한 단점이 있기도 하다.

#### 5.1.4 마모내구시험

Table 5-2 Durability test specification

No	Ball joint		Load	Frequency	Cycle	Condition
	oscillating angle	rotating angle				
1	±12°	±32.5°	3430 N	1~3 Hz	200,000	dry
2	±7.5°		2450 N	1~3 Hz	600,000	

Table 5 2는 마모내구 시험의 규격을 나타낸 것이다.

볼스터드가 선 접촉을 할 경우에는 내마모성이 떨어지게 된다. 선접촉의 경우에는 내마모 시험 시 접촉부에 응력 집중을 받기 때문에 그만큼 빨리 내마모가 발생하게 되며, 시험 후 유격이 높아지게 된다. 제품의 내마모성을 좌우하는 큰 요인으로는 윤활제의 효과, 접촉부의 크기, 재료의 내마모성등이 있다. 현재 개발되고 있는 스테빌라이즈링크는 윤활제로는 고체그리스를 사용하고 있기 때문에 하중이 작용하는 내마모 시험에서 큰 효과를 발휘하며 접촉부의 크기에서도 먼 접촉을 하여 균일한 힘으로 볼스터드를 감싸고 있어 내마모성의 향상에 큰 효과가 있다. 볼조인트 형태의 제품에서는 내마모성이 곧 제품의 품질을 좌우하는 경우가 많다. 유격이 과다해지면 그만큼 차량의 승차감과 안전성에 지장을 초래하는 것이기 때문이다. 실제 시험에서는 어떤 결과가 발생하는지 측정을 해보았다. 아

래의 그림들은 마모내구시험에 관련된 그래프들이다.

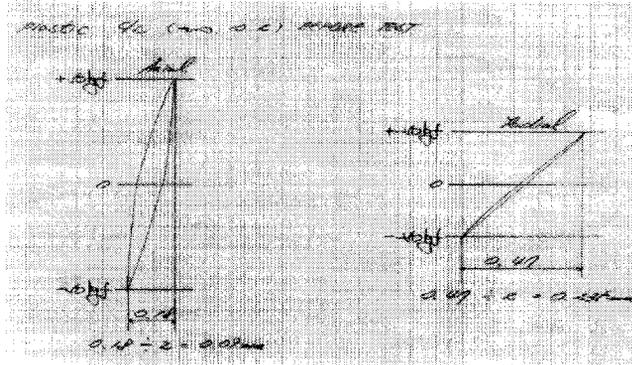


Fig .5-6 Travel test (before durably test)

Fig 5 6는 내마모시험 전의 유격을 측정한 것으로 축방향유격 0.09 mm, 횡방향 유격 0.235 mm를 나타내고 있다. 축 방향에 가해지는 힘은 각각 490 N 이고, 횡 방향에 가해지는 힘은 각각 2450 N이다.

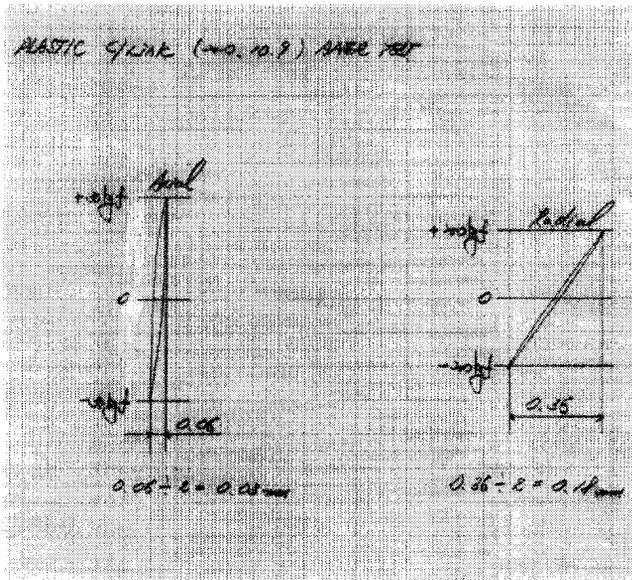


Fig. 5-7 Travel test (before durably test)

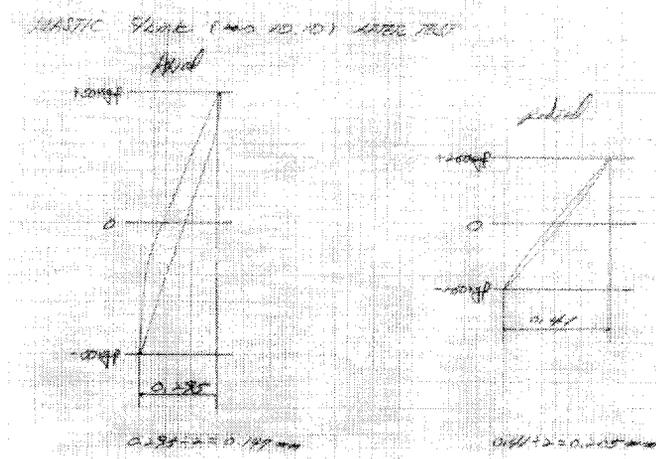


Fig. 5-8 Travel test (after durability test)

Table 5-2에 나타나 있는 시험규격에 따라 마모내구 시험후의 유격측정치를 Fig. 5-7에서 보여준다. 결과를 보면 축 방향 0.03 mm, 횡방향 01.8 mm로 측정되었다. 축 방향에 가해지는 힘은 좌우 각각 490 N이고, 횡 방향에 가해지는 힘은 좌우 각각 1960 N이다. 마모내구 시험전후에 유격측정을 위해 가해지는 힘이 다르다. 그러면, 시험 전 유격측정에 사용되었던 하중과 같은 하중을 시험후의 제품에 가했을 때, Fig. 5-7은 축 방향으로 각각 490 N의 하중을 가하고, 횡 방향으로 각각 2450 N의 힘을 가한 유격 측정치로써 마모내구 시험 전보다 유격이 줄어든 것을 보여준다. 이 현상은 모재(matrix)가 계속 수축을 하기 때문이다. 모재의 영구수축으로 인하여 유격이 줄었다면 토크에 미치는 영향은 시험 전보다 시험 후가 떨어졌다. 이것은 윤활막의 형성이 내마모 시험 중 형성이 잘된다는 것을 보여준다

### 5.1.5 중량시험

측정 결과 기존의 스테빌라이저 링크의 경우 약 240 g 을 나타내었고, 플라스틱 성형품은 약 200 g 을 나타내었다. 그 결과는 Fig. 5-8의 그래프와 같다.

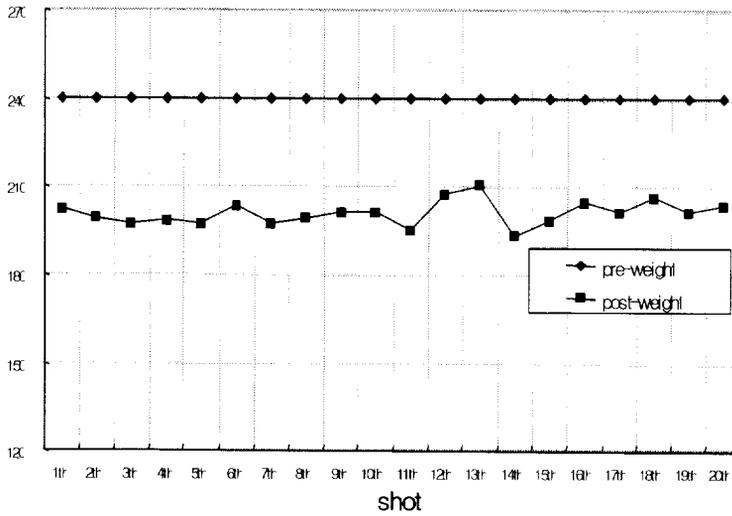


Fig. 5-9 The result of weight test

## 제 6 장 결론

본 연구에서는 기존의 금속재 스테빌라이즈 링크를 유리섬유가 함유된 수지를 사출성형공법을 이용하여 개발하는 것으로, 사출금형 설계를 위하여 C-mold 사출성형해석프로그램을 이용하였으며 게이트의 수에 따른 웰드라인의 분포 및 충전 후 온도분포 및 형체결력 등을 알아보기 위한 유동해석을 수행하였다. 사출성형해석의 결과를 이용하여 시작금형을 개발하였으며, 복합재 스테빌라이즈 링크를 사출성형한 후, 필요한 시험들을 수행하였다. 시험은 인장시험, 압축시험, 피로시험, 토크시험, 마모내구시험, 중량시험을 실시하였다.

본 연구에서 게이트의 최적설계를 위한 성형해석에서는 먼저 수지 유동선단(melt front advancement)의 경우 대칭형상의 제품에서 양 끝단의 게이트는 런너(runner)가 상대적으로 길어 최종 위치인 제품의 중앙부에 도달은 게이트가 하나 있는 제품보다 수지의 유동길이가 길다. 이는 그만큼 냉각이 많이 된 수지가 제품의 중앙에 위치하여 성형 결합과 웰드라인의 발생으로 인한 기계적 강도가 낮아짐이 예상된다. 웰드라인과 멜드라인(weld and meld line) 또한 유동선단(melt front advance)에서 예상된 결과와 같이 게이트가 하나 있는 형상에서는 거의 일어나지가 않았다. 그 반면에 게이트가 양 끝단에 2개 있는 형상은 제품의 중앙부뿐만 아니라 제품의 목 부위에서도 나타났다. 이는 볼의 빠짐 실험(pull-out test)에서 제품의 목부위가 취약하리라는 것을 알 수 있다.

형체력(clamp force)은 모두 전체적으로 작은 면적에 비해 두꺼운 제품이므로 저압의 형체력이 걸려 제품에 있어서 큰 영향을 주지 않는다고 사료된다. 제품의 분자배향은 게이트의 수와는 크게 차이가 있지 않다. Fig. 3-27과 Fig. 3-28은 충전과정 중에서 수지에 포함된 유리 강화 섬유가 어

떻게 내부에서 분포되고 있다는 것을 의미하는데, 경우에 따라서는 서로 수직한 2개의 직선이 생기기도 한다. 그리고 2개의 축의 길이 차이가 클수록 길이가 긴 축 방향으로 유리 강화 섬유가 배향될 확률이 높다는 것을 의미한다. 즉, 기계적 성질의 이방성이 위치별로 생긴다는 것을 알 수 있다. 이러한 물성의 차가 제품에서 발생하는 휨의 양과 형태, 그리고 기계적 성질에 영향을 미침을 예측할 수 있다. 하지만 전체 크기에 비해 상대적으로 두꺼운 제품이므로 수지가 만나는 부분과 게이트 주변부분에서의 배향성을 제어하는 것은 곤란하였다. 체적 온도(bulk temperature)에서 수지충전후의 제품온도차를 보여 주는데 게이트가 양 끝단에 있는 제품의 온도변위는 게이트가 하나 있는 형상의 온도 변위 보다 크다는 것을 알 수 있다. 나머지 결과는 게이트의 위치의 차이에 관계없이 비슷하게 나타났으며, 에어트랩(air trap)의 경우 제품의 형상에 문제를 일으킬 정도의 심각한 부위는 없다고 여겨진다.

본 연구에서 복합재료 사용은 기존의 금속제품들이 가지는 단점들, 즉, 중량문제 등을 해결해 줄 수 있기 때문에 미래의 부품소재로 많이 사용될 것으로 예상되며 이번 연구개발의 성과로 신소재에 대한 거부감등을 줄일 수 있을 것이다. 특히, 자동차 분야에서는 신소재 적용에 관한 연구가 더 활발해 질 것이다. 본 연구에서 복합재료 사출성형을 이용한 스테빌라이즈링크의 개발은 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 스테빌라이즈링크의 사출금형 제작을 위한 성형해석에서 2 gate보다 1 gate로 제작하였을 때, 웰드라인이 적게 발생하였다
2. 2 gate방식일 경우, 런너의 길이가 길어짐으로 인해 캐비티 내 충전 후

의 온도분포영향을 해석해 볼 때 길이방향으로 수축이 많이 일어나지만 1 gate일 경우 길이방향으로의 수축이 작아진다.

3. 기존의 스틸타입 스테빌라이즈링크의 인장강도는 5880 N 이었으나 본 연구의 개발품인 복합재료 사출성형 스테빌라이즈링크의 경우 9604 N의 인장강도를 얻었으며, 압축강도 또한 기존의 스틸타입이 3920 N 인것을 7350 N 이상으로 압축강도를 향상시킬 수 있었다.

4. 토오크의 발생에서는 기존의 제품은 196 N·cm 였으나, 이황화 몰리브덴 코팅을 사용함으로써, 39.2 ~ 147 N·cm 로 낮아지는 결과를 얻었다. 이 결과는 수지와 스틸이 면 접촉을 받으면서 작동할 경우 이황화 몰리브덴이 스틸부에서 수지부로 이동하여 코팅이 잘 된다는 것을 알게 되었다. 이로 인해 개발제품이 실차에서 더 부드럽게 움직여 승차감을 높일 수 있다.

5. 볼스터드의 구의 완전접촉으로 인해, 볼부와 수지부와의 유격이 마모내구 시험 후 플라스틱의 수축으로 인해 줄어들어 가는 경향을 보였다. 이는 일정 시간 사용 시까지 제품이 안정적이 된다는 것을 의미하며 복합재료로 대체했을 경우 큰 이점이 됨을 알 수 있다.

## 참고문헌

- (1) Georg Menges, Paul Mohren, "How to Make Injection Molds", Hanser Publishers, 1993.
- (2) Gayaba.co, 광업주식회사 김호용 역 "Auto-motive Suspension", 에드텍, pp30~pp41,
- (3) Sherbelis. G. and Friedl. C. "The Importance of Low Temperature Viscosity to CAE Injection Molding Simulation", SPE ANTEC Technical papers, 49, pp. 954~957, 1992.
- (4) R.G.W. Pye, "injection mould design" fourth edition, Longman scientific & technical, pp. 135~146
- (5) C-MOLD Filling and Post Filling Manual ,AC Technology, ITHACA, U.S.A
- (6) Moldflow Training Manual, Release 9.1, Moldflow Pty. Ltd., 1996
- (7) T. J. Lardner and B. R. Archer, "Mechanics of Solids", McGRAW-HILL International Edition, 1994.
- (8) Michael L. Berins, "Plastics Engineering Handbook", VNR, pp362~370, pp. 66~67
- (10) Kamal. M. R., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part I : Theoretical Models". polym. Eng. and Sci, Vol. 12 , pp. 294~301, 1972.
- (11) Friedle, C. F. and McCaffrey, N. J., "Crystallization Prediction in Injection Molding", SPE ANTEC Technical Papers, 50, pp.330-332, 1991.
- (12) A.I.Isayev and T.Hariharan, "Volume Effects in the Injection Molding of Ploymers", Polymer Eng. & Sci., Mid-april, Vol.25, No.5, pp.171-178, 1985.
- (13) Y.T.Koita, "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng. & Sci., December, Vol.14, No.12, pp.840-847, 1974.
- (14) Cox. H. W. and Mentzer, C. C., "Injection Molding : The effect of fill time on Properties", Polymer Eng. & Sci., Vol.26, pp.488-498, 1986.
- (15) A.Mamat, F.Trochu and B.Sanschagrin, "Shrinkage Analysis of Injection Molded Polypropylene Parts", SPE Technical Paper,

Vol.4, pp.513 517, 1994.

- (16) 서영주, "플라스틱의 사출과 압출", 코플랜드, 1993.
- (17) 유중학, 김희송, "사출성형에서 캐비티 압력과 인장강도에 관한 연구", 한국 자동차 공학회 논문집 제2권 제6호, 1994, pp.110~116
- (18) H.-G. Haldenwanger and L. Vollrath, "Plastics in Automotive engineering", Hanser/Gardener Publications, Inc., Cincinnati, 1994.
- (19) Donald V. Rosato, David P. Di Mattia and Dominick V. Rosato, "Designing with Plastics and Composites", Van Nostrand Reinhold, 1991.
- (20) 은정표, 신창선, "자동차 구조학", 동신출판사, 1992.
- (21) 사단법인 한국 자동차 공학회, "자동차 기술 핸드북", 한국 자동차 공학회, 1996.
- (22) J. A. Brydson, "Plastics Materials " fifth edition, Butterworths, 1989.
- (23) M. J. Gordon, "Total Quality Process Control for Injection Molding", Hanser, 1993.
- (24) Eric A. Grulke "Polymer Process Engineering", Prentice Hall, 1994.
- (25) Marilyn Bakker, "The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology", John wiley & sons, 1986.
- (26) Ferdinand Rodriguez, "principles of Polymer Systems", Taylor & Francis, 1996.
- (27) K. Stoeckhert, "Gastrow Injection Molds", Hanser Publishers, 1989.
- (28) D.R.Pual, "Polymer Blends", Academic Press, 1978.
- (29) Mahendra D. Baijal, "Plastics Polymer Science and Technology", John Wiley & sons, 1982.

## 감사의 글

본 논문이 완성되기까지 논제를 비롯하여 기본틀을 잡아 나가는데 있어 격려와 지도를 아끼지 않으신 김영수 교수님과 논문심사과정에서 세심한 검토와 조언을 해주신 남기우 교수님, 정영득 교수님, 김인관 교수님, 김철 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 아울러 실험실 여러 후배들에게도 감사를 드립니다.

시작 당시는 “과욕을 부리는 건 아닌가” 라는 두려움으로 출발한 것이 어드렛 7년의 시간이 흘렀습니다. 그동안 여러 교수님들과 학우들의 도움에 깊은 감사를 드립니다. 그리고 센트랄 직원여러분들과 동도공업주식회사 임직원분들께도 깊은 감사를 드립니다.

그동안 여러 동문들과 선후배님들의 도움 속에서 오늘이 이 조그마한 결실이 이루어졌음에 기쁨을 함께 나누고 싶고 특히 성기용 선생님께 지면을 통해 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 한국동도공업주식회사의 대표를 맡고 있는 저에게 계속 공부할 수 있도록 배려해주신 강태룡 회장님께도 정말 감사를 드립니다.

어려움 속에서도 항상 즐거운 마음으로 지원해주고 동참해 준 아내 양영애에게 남편이자 친구로서 깊은 감사를 드립니다. 그리고 사랑하는 주화, 지미, 현주에게도 잘 자라주고 아버지를 열심히 응원해준 것에 대해 고맙고 사랑한다는 말을 하고 싶습니다. 오늘 이 작은 기쁨을 나에게 도움을 준 모든 분들과 함께 나누고자 합니다.

2005년 7월 이 장 희