

# 자동차 타이로드 엔드 부품의 경량화에 관한 연구

## A Study of Light Weight of Tie Rod End in Auto Supplies

김영수 · 김인관 · 탁정호 · 김대식

Y. S. Kim, I. K. Kim, J. H. Tark and D. S. Kim

**Key Words** : Injection Molding(사출성형), Tie Rod End(타이로드엔드), PA6(Poly Amide6), PET(Poly Ethyl Terephthalate), Weld Line(웰드라인), Steering System(조향 장치), G/F(유리섬유)

**Abstract** : This study is for the development of tie rod end, a parts of steering system, that would be changed with plastic material. The position of weld line is founded by the analysis of Mold Flow, computer software with FEM(Finite Element Method). Then new mold is designed by consideration with the locations of weld line. PA66(G/F 35%), PA6(G/F 45%), PET(G/F 45%) and PET(G/F 55%) are tested two types loading conditions for selecting suitable material, the requirement tensile load(more 19600N). PA6(G/F 45%) showed high mechanical properties in this study. And then, tensile strength was compared between conventional metal products and the injection molded products which were reinforced with 33%, 34%, 45%, 60% of glass fiber in matrix material. In the case of, the measured two types of tensile load values are 24500N (Method-1), 21560N (Method-2) and weight is decreased by 50% of conventional one.

### 1. 서 론

환경 문제가 세계적인 관심사로 대두되고, 자동차에 대한 환경규제도 강화되고 있는 시점에서 한정된 자원의 고 효율적 사용을 위한 기계장치들의 경량화 연구는 계속되고 있는 실정이다. 자동차업계에서도 환경문제로 인한 연비개선을 위하여 자동차 부품 경량화에 대한 관심과 연구가 집중되고 있다. 자동차 부품에 있어서 경량화를 위해 기존의 금속제 부품들은 복합재료와 경량의 금속으로 대체되고 있는 실정이다.

복합 재료의 성형 방법에는 RTM성형(resin transfer molding), SMC성형(sheet molding compound), 사출성형(injection molding)방식 등이 있다. 이 중 사출성형 방식은 수지가 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트(gate)를 지나 캐비티(cavity)까지 차 들어가는 충전과정(filling), 캐비티까지의 충전 후 고분자 재료의 수축을 보상하기 위해 높은 압력으로 고분자 재료를 부가적으로 채워주는

보압과정(packing), 마지막으로 제품이 무리 없이 탈형(ejecting)이 될 수 있도록 고화시키는 냉각과정(cooling)으로 이루어진다. 그 뒤 제품은 탈형이 되고 다시 위의 공정을 반복한다<sup>1)</sup>.

### 2. 연구 개요

본 연구에서는 자동차의 조향장치(steering system)부품 중 기존의 금속제(SM45C) 부품인 타이로드엔드(tie rod end)<sup>2)</sup>를 플라스틱 재료로 대체하기 위하여 성형공법, 성형재료, 성형해석 등을 통하여 최적 형상 설계에 그 목적을 두었다.

타이로드엔드는 주행 중에 노면으로부터 끊임없이 압축력이나 인장력을 받으므로 충분한 강도가 필요하기 때문에, 상용되고있는 플라스틱 중 강도와 강성이 우수한 수지들로 실험하였다. Fig. 1은 연구 과정을 보여준다.

### 3. 성형해석

성형해석은 사출 성형품의 취약부인 웰드 라인(weld line)이 어느 위치에서 생기는지 예상하여 실험용 금형 제작에 참고하기 위해서이다. 웰드라

접수일 : 1999년 6월 14일  
김영수 : 부경대학교 냉동공학과  
김인관, 탁정호, 김대식 : 부경대학교 대학원

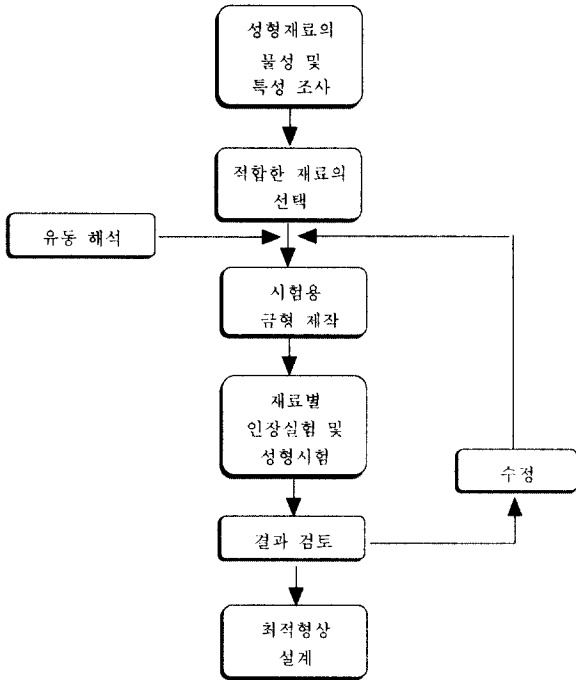


Fig. 1 A research of process for optimal part design

인은 수지가 캐비티 내에서 만나는 부분인데 이 부분은 기계적 강도가 매우 낮아져 성형품 강도<sup>3)</sup>의 저하를 가져온다. 따라서 게이트의 위치<sup>4)</sup>와 콜드슬러그웰(cold slug well)을 주어 웰드라인의 위치를 파악하고 보완점을 강구하였다. 성형 해석의 조건은 Table 1과 같고, 해석 soft ware는 현재 상용화된 몰드플로우(Mold Flow)<sup>5)</sup>로 성형 해석을 수행하였다.

유동해석 결과 Fig. 2~Fig. 5 모두 웰드라인이 나타났다. Fig. 3의 경우 인장 하중이 걸리는 머리 부분에 웰드라인이 생기므로 부적당하다. Fig. 4와 같이 게이트가 2개인 경우 Fig. 3과 같은 방향뿐만 아니라 피로하중과 인장하중이 걸리는 머리부와 자루부의 결합부분에 웰드라인이 생긴다. Fig. 5도 Fig. 3과 동일하다. 그러나 Fig. 2에서의 웰드라인의 경우 인장 하중이나 피로 하중을 자루부에서 어느 정도 보완할 수 있으리라 여겨진다.

웰드라인의 발생을 최소화하고, 수지의 유동배향성을 줄이기 위한 최적 성형 조건을 설계하는 것이 매우 중요하기 때문에, 게이트의 형식 중 링 게이트(ring gate)나 디스크 게이트(disk gate) 등은 웰드라인의 억제도 가능하나, 본 연구에서는 사이드게이트(side gate)방식으로 적용하였다.<sup>6)</sup> 따라서 Fig. 2와 같이 게이트를 위치시키고 성형 실험을 하였다.

Table 1 Flow analysis condition

Mold condition	Mold material	KP4
	Runner diameter	8mm
	Gate type	Side gate
	Gate size	1mm×5mm
Machine condition	Resin	PA6
	Resin temp.	290℃
	Mold temp.	80℃
	Fill time	7sec
Injection condition	Machine model	ID75EN
	Injection capacity	30Z
	Injection rate	$7.2 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$
	Max pressure	140MPa
	Clamping force	75ton

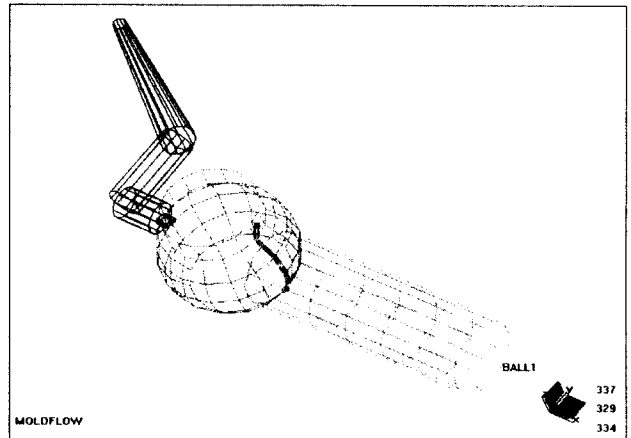


Fig. 2 The analysis result due to gate location and gate type (a)

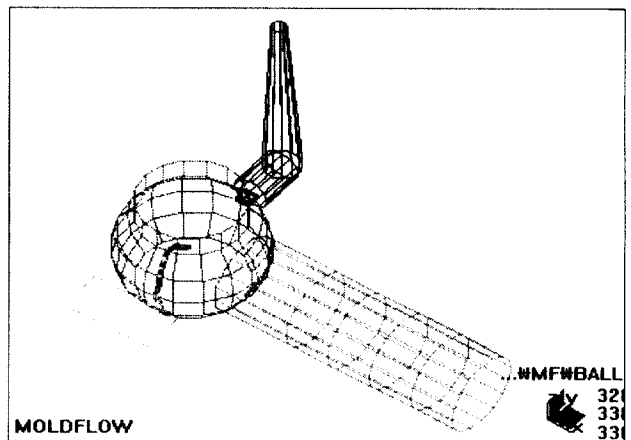


Fig. 3 The analysis result due to gate location and gate type (b)

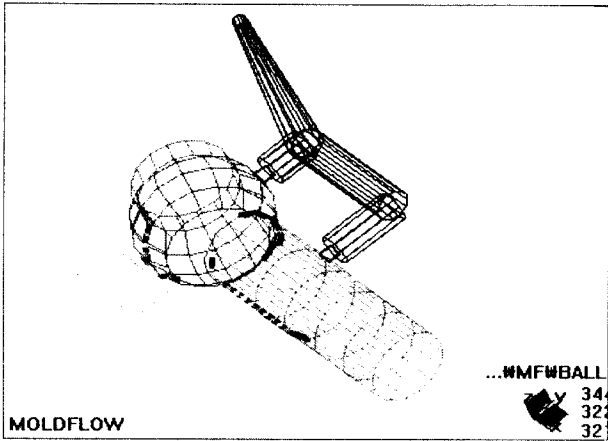


Fig. 4 The analysis result due to gate location and gate type ㉔

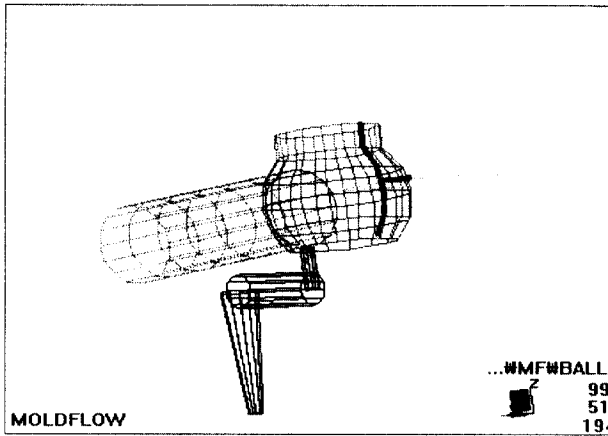


Fig. 5 The analysis result due to gate location and gate type ㉕

#### 4. 실험

##### 4.1 성형 재료의 물성

성형 실험 대상 수지는 PA6, PA66, PET<sup>8)</sup>를 선정하여 실험을 하였다.

PA는 인장강도와 충격강도, 내마모성과 윤활성은 플라스틱 중에서도 우수하며, 유리섬유를 함유한 수지는 넓은 온도범위에 걸쳐서 인장강도, 압축강도, 탄성률과 함께 충격강도가 현저히 향상한다. 또한 열변형 온도가 200℃ 이상일 뿐만 아니라 흡수량도 감소하고 거기에 따라서 물성치의 변동이나 치수변화가 현저히 감소한다. 특히 PA6와 PA66는 강인성, 내마모, 윤활성, 내유성, 내연성 등의 점에서 금속 대체부품으로서의 용도가 많으며, 비강화 PA에 유리섬유, 탄소섬유나 무기물을 충전한 강화 PA는 고도의 기계적 성질이 요구되

는 기계부품으로서 많이 이용되고 있다<sup>8)</sup>.

Table 2 The properties of resins

Resin(G/F)	PA66 (35%)	PA6 (45%)	PET (45%)	PET (55%)
Tensile strength (MPa) D-638	220	214	186	189
Elongation at break (%) D-638		3	2.1	1.6
Tensile modulus (MPa) ISO 527-1/2	12500	15300	15500	17900
Flexural modulus (MPa) D-790	320	12070	17900	17900
Melt temp. range (℃)	320~330	260~280	280~300	280~300
Mold temp. range (℃)	130~160	65~120	>95	>95
Drying time (h)	6~8	4~6	4	4
Drying temp.(℃)	120	80~120	120	120
Proc. moisture content (%)	<0.1	<0.20	<0.02	<0.02

비강화 PET는 내충격성에 문제가 있고 엔지니어링 플라스틱으로의 이용은 어렵지만 유리섬유 강화 PET는 기계적 강도, 치수 안정성이 향상되어 우수한 엔지니어링 플라스틱으로 사용되고 있다.

본 실험에 사용된 재료는 DUPONT사의 PA66 (G/F 35%), PA6(G/F 45%), PET(G/F 45%), PET (G/F 55%) 수지로서, PA의 경우는 인장강도가 12500MPa이상이고, PET인 경우는 인장강도가 15500MPa이상인 수지들로서 타이로드엔드에 요구되는 하중에 근접한 재료로 예상되며, 본 재료의 물성은 Table 2와 같다.

##### 4.2 실험 장치 및 성형 조건

###### 4.2.1 성형 실험 장치 및 성형 조건

실험에 사용된 성형기는 (주)LG기계의 IDE75EN 사출성형기를 사용하였다. 이 사출기는 사출용량 3.0Oz, 형체력 75ton, 스크류 직경 36mm, 사출압력 140MPa, 스트로크(stroke)는 270mm이다.

각 수지에 대한 성형조건은 다음 Table 3과 같이 동일하게 하였으며 온도만 그 수지의 성형온도로 제어하였다<sup>10)</sup>.

Table 3 Processing condition of experiment

Injection Pressure	Holing Pressure	Holding time	Injection time
112 MPa	98 MPa	4 sec	7 sec

4.2.2 인장 시험 장치

인장시험 장치는 Fig. 6, Fig. 7과 같이 두 가지 방식으로 하여 시험했다. Method-1은 자동차가 주행시 노면으로부터 끊임없이 받는 인장력에 타이로드엔드 제품의 볼 스타드(ball stud)의 풀-아웃 시험(pull out test)<sup>11)</sup>이다.

Method-2는 자동차의 조향력에 제품의 목 부분이 견디는 정도를 시험한 것이다.

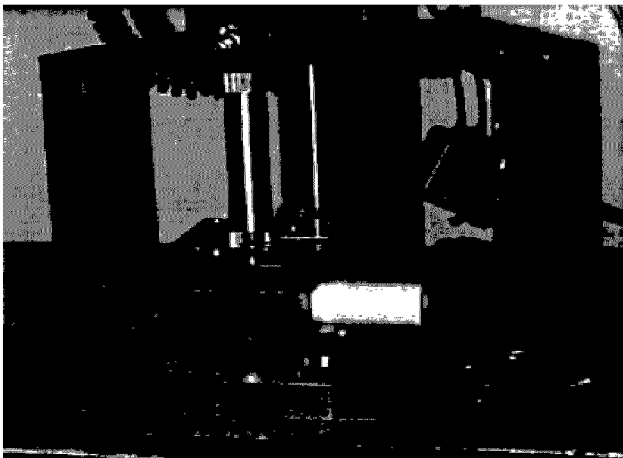


Fig. 6 Tensile test(Method-1)

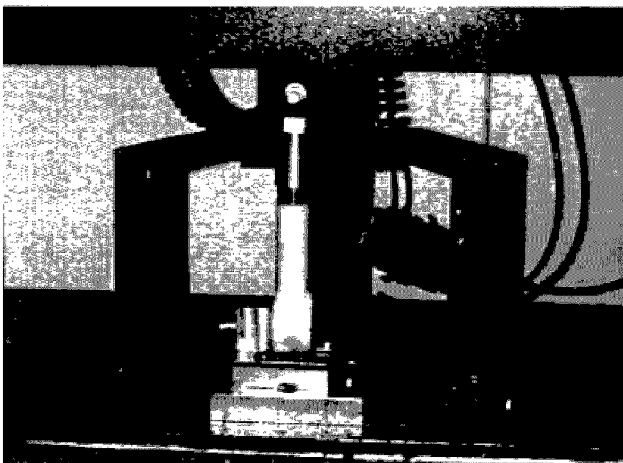


Fig. 7 Tensile test(Method-2)

5. 성형실험 및 인장시험

성형실험 및 인장시험은 각각의 수지를 가지고 위의 두 방법으로 인장시험을 하여 3차에 걸쳐 금형의 형상을 수정하여 적합한 수지를 선택하였다. 각 인장시험 방법의 요구 인장하중은 19600N이다.

5.1 1차 성형실험 및 인장시험

성형 실험 후 성형품을 만능시험기(Instron UTM-Type 4204)로 인장 시험을 하였으며, Table 4는 각기 10회의 시험에서 최고·최저치를 제외한 나머지의 평균으로 인장강도를 나타낸 것이다.

모든 제품들은 기준에 미치지 못하는 결과가 나왔으나, PA6와 PA66의 경우 제품형상수정 및 최적 성형이 이루어지면 기준에 통과할 것으로 사료된다.

Table 4 The result of tensile load test

	PA6 (G/F45%)	PA66 (G/F35%)	PET (G/F45%)	PET (G/F55%)
Method -1 (N)	14073	11162	8985	11221
Method -2 (N)	23363	17053	17013	12426

각각의 제품에서 크랙은 Method-1에서는 볼(ball) 주변으로, Method-2는 목부분에서 생겼다. 크랙은 다음 Fig. 8에 나타내었다.

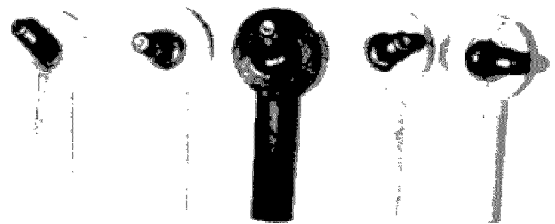


Fig. 8 Crack of tensile test

5.2 2차 성형실험 및 인장시험

1차 성형실험에서는 목부분에 크랙이 집중적으로 일어났다. 이는 목부분의 웰드라인 형성과 나사부가 끝나는 부분에서 반대편까지인 목부분의 살 두께가 너무 두꺼워서 유리섬유가 집중되는 현상이 발생하여 가장 취약한 부분으로 나타났기 때문이라 예상할 수 있다. 그러므로 목 부분의 살 두께를 최소로 하기 위해서 M14 나사부가 끝나는 부분에  $\varnothing 9 \times 25\text{mm}$ 의 봉이 있는 인서트로 가공하여 목 부분의 살 두께를 일하게 성형하였다. PET는 인장강도가 기준에 미치지 못하여 2차 성형에서는 제외시켰다.

Table 5 The result of tensile load test

	PA6 (G/F 45%)	PA66 (G/F 35%)
Method-1 (N)	14553	13318
Method-2 (N)	23990	17513

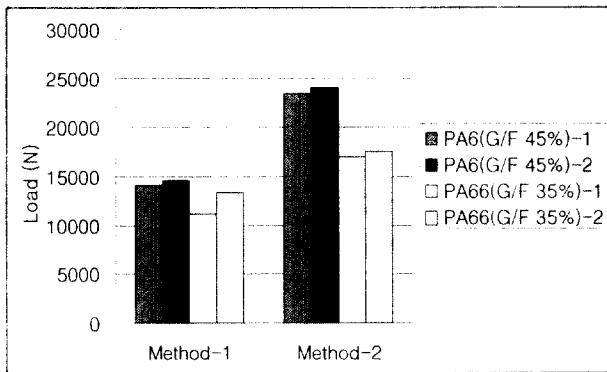


Fig. 9 Tensile strength vs. resins

2차 인장 실험도 1차와 같이 10회의 시험결과 중 최고 최저를 제외한 평균으로 나타내었다. 그 결과 Table 5와 같다. Table 5는 Table 4와 비교하여 인장하중이 약 950N정도 증가한 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 9에 잘 나타나 있다.

5.3 3차 성형실험 및 인장시험

위의 1·2차의 성형 및 인장실험을 보완하여 Fig. 10과 같이 제품형상을 볼을 지지하는 부분과 목 부분을 곡면으로 처리하여 금형을 제작하였다. 또한 위의 실험에서 요구되는 인장하중에 가장 근접한 PA6를 대상으로 유리섬유를 각각 33%, 34%, 45%, 60%로 강화하여 다시 성형실험 및 인

장시험을 하였다. 유리섬유를 강화한 수지는 넓은 온도범위에서 인장강도, 압축강도, 탄성을 및 충격강도가 향상되는 것으로 알려져 있다. 인장시험의 결과는 Table 6에 나타내었다. Fig. 11에서는 유리섬유 함유량별 인장하중의 변화를 나타내었다.

인장시험 결과 PA6(G/F33%), PA6(G/F34%), PA6(G/F45%)는 불성치에서 인장강도가 15300 MPa이상을 나타내고 있으나 본 연구에서는 요구되는 인장하중에 미치지 못하였고 PA6(G/F60%)는 Method-1, Method-2에서는 19600N 이상의 인장하중을 나타내었다. 본 연구에서는 각 수지별 성형실험 및 인장시험을 통하여 최적의 성형재료 및

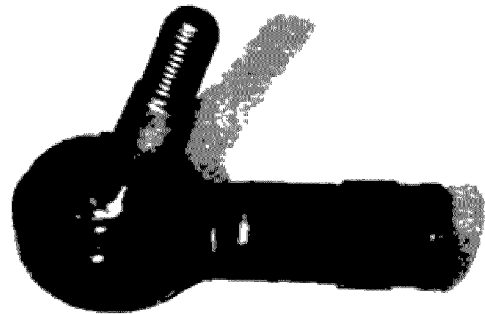


Fig. 10 Tie rod end (3th)

Table 6 The result of tensile test

	PA6 (G/F33%)	PA6 (G/F34%)	PA6 (G/F45%)	PA6 (G/F60%)
Method-1 (N)	23520	20580	17640	24500
Method-2 (N)	13720	12740	9800	21560

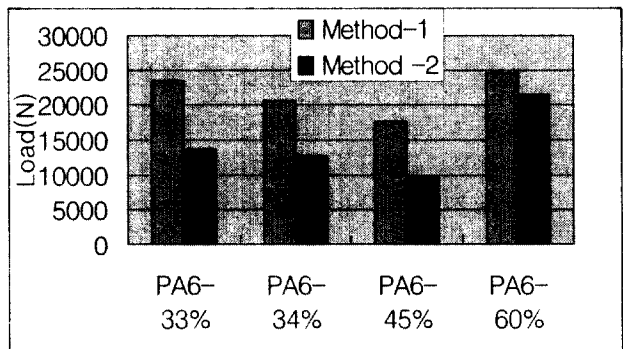


Fig. 11 Tensile strength vs. resins

Table 7 Optimal condition and material

Processing	Condition and material
Material	PA6 G/F 60% reinforced
Gate type	Side gate of one point
Mold temp.	90 °C
Nozzle temp.	300 °C
Injection press.	80 %
Injection rate	70 %
Packing press.	70 %
Packing time	4 sec
Injection time	7 sec
Cooling time	35 sec
Drying time	120 °C

성형조건을 얻을 수 있었으며 본 연구에서 얻은 최적 성형재료 및 성형조건을 Table 5에 나타내었다.

이러한 결과로 미루어 타이로드엔드의 경량화를 위한 대체방안 중 복합재료의 가장 큰 문제인 강도면에서, 요구되는 인장하중을 만족하는 결과를 얻음으로서 사출성형을 통한 자동차 부품 경량화 연구는 한층 더 가속화 될 것으로 판단된다.

### 6. 결 론

- 1) 성형실험 및 인장시험을 통하여 최적의 성형재료로 PA6(G/F 60%)가 적합하다.
- 2) 유동해석을 통하여 수지의 유동특성 및 웰드라인의 발생부위를 예측할 수 있어서 제품의 구조적 강도설계를 할 수 있었다.
- 3) 웰드라인이 발생하는 제품의 목 부분에 부분적인 살빼기 및 리브(rib)를 보강하여 인장강도가 증가하였다.
- 4) 성형실험과 인장시험을 하여 도출한 최적성형조건은 금형온도 90°C, 수지온도 300°C로 나타났다.
- 5) 시제품과 기존의 타이로드엔드 제품의 중량비교에서 약 50%(기존 제품 0.324kg, 시제품 0.171kg)의 질량이 감소되었다.

### 참고문헌

1. Tadmor, E., Boryor, E. and Gutfinger, C., 1974, "Flow Analysis Network(FAN) : A Method for Solving Flow Problem in Polymer Processing" Polym. Eng. and Sci.,

- Vol. 14, No. 9, pp. 660~665
2. Kamal, M. R. and Kening, S., "The Injection Molding of Thermoplastic, Part I : Theoretical Models". Polym. Eng. and Sci., Vol. 12, pp. 294~301, 1972
3. Moy, F. H. and Kamal, M. R., "Crystalline and Amorphous Orientations in Injection Molding", Polym. Eng. and Sci., Vol. 20, No. 14, pp. 957~964, 1980
4. Reddy, J. N. "Finite Element Method, Second edition", Mcgraw Hill International Editions, 1997
5. "Moldflow Training Manual", Release 9.1, Moldflow Pty. Ltd, 1996
6. "C-MOLD Filling and Post-Filling Manual", AC Technology, Ithaca, U.S.A
7. Cox, H. W. and Mentzer, C. C., "Injection Molding : The Effect of Fill Time on Properties", Polym. Eng. and Sci., Vol. 26, pp. 488~498, 1986
8. Lardner, T. J. and Archer, B. R., "Mechanics of Solids", Mcgraw Hill International Editions, 1994
9. 이억섭, 한민구, "복합재료 파괴역학", 원창출판사, pp. 162~180, 1993
10. 구본홍, 신호철, 이호상, "The Effects of Packing and Cooling Stage on the Molded Parts in Injection Molding Process", 대한 기계 공학회지, Vol. 17, No. 5, pp. 1150~1160, 1993
11. 조규중, "복합재료의 물성 평가법", 대한기계학회지, Vol. 37, No. 10, pp. 58~63, 1997