

## 플라스틱의 사출성형조건이 응력완화에 미치는 영향

### The Effect of the Injection Molding Conditions of Plastics on the Stress Relaxation

정 석 주\* · 황 봉 갑\*\*

Chung-Suk Choo · Hwang-Bong Kap

(1997년 8월 5일 접수, 1998년 2월 27일 채택)

#### ABSTRACT

In this study, proper injection molding condition has been studied through stress relaxation tests in order to experimentally investigate the effect of the condition on softening of mold product, using specimens produced under the different conditions according to the recommendation of resin manufactures.

As a result, softening of the specimens was found to be strongly influenced by material melting temperature. The specimen with higher material melting temperature is found to have lower softening. However, softening of the specimen with lower mold temperature has an decrement, compared with other specimens. In particular, specimen with notch is influenced by mold temperature. The softening increase with higher injection speed and pressure.

Finally in order to improve softening, material melting temperature, injection speed and injection pressure were found to be increased with low mold temperature.

#### 1. 서론

공업용 재료로서 적합한 플라스틱에는 폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 염화비닐수지, 유리어수지, 페놀수지 등이 있으며, 이들 재

료는 금속재료와 달리 경량이며, 내식성과 완충성이 크고 우수한 성형성을 갖고 있을 뿐만 아니라 복합화에 의한 재질의 개량도 가능하기 때문에 많은 용도에 사용되어 지고 있다. 특히 폴리프로필렌은 용점 및 연화점이 높고 내열성이

\* 서울산업대학교 기계설계학과

\*\* 안성여자기능대학 기계설계기술학과

양호함과 동시에 사출 유동성이 좋아 로우터(rotor)의 재료 등으로 널리 쓰이고 있다.

따라서 플라스틱의 기계적 성질은 매우 중요한 사항으로 현재 인장강도, 충격강도 등의 기계적 성질과 성형조건간의 관계에 대해서는 상당한 연구<sup>1~7)</sup>가 진척되고 있다. 그러나 플라스틱재료가 로우터와 같이 장시간 고속 회전용으로 쓰일 때에는 큰 압력변화에 의해 반복하중을 받아 연화(softening)가 진행되고, 이에 의해 진동을 일으켜 소음이 발생하는 등 제품으로서의 역할을 다하지 못하는 경우가 많음에도 불구하고 재료의 연화정도를 알 수 있는 응력완화(stress relaxation) 시험에 대해서는 그 연구가 미흡한 실정이다.

응력완화란 변형이 일정한 조건 아래서 부하되고 있는 재료의 응력이 시간이 경과함에 따라 발생하는 소성변형 때문에 점차로 감소하여 가는 과정을 말한다. 응력완화 현상은 전체의 변형이 일정하다는 조건하에서 일어나는 크리프라고 할 수 있으며, 일반적으로 크리프강도가 높은 재료일수록 응력완화에 대한 저항력도 크다. 그러나 크리프의 데이터에서 응력완화를 정확히 예측할 수가 없으므로 이를 위하여 별도의 시험을 하게 된다<sup>8)</sup>.

플라스틱제품은 사출성형기에 의해 제조되며 그 공정은 다음과 같다.

재료의 칭량→용융→혼련→사출→냉각→빼내기

이 때 성형품의 물성은 성형조건에 의해서 큰 영향을 받게 되는데, 분자배향, 결정도, 결정의 크기 및 잔류응력 등의 1차 현상<sup>9)</sup>에 의해 차이가 생기고, 이것이 2차적으로 성형품의 물성차를 가져온다. 따라서 좋은 품질의 성형품을 제조하는데에는 성형조건에 의한 1차 현상을 작게 해야 한다. 따라서 플라스틱 성형품의 품질양부에 영향을 주는 용융수지온도(실린더 온도), 금형온도, 사출속도, 사출압력, 냉각시간 등의 조건 설정은 매우 중요하다.

본 실험에 사용한 플라스틱재료는 유리섬유(glass fiber)를 30% 강화한 폴리프로필렌으로서 수지 생산업체에서 추천하는 일반적인 성형 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 General conditions of injection molding

용융수지온도	금형온도	사출압력
200~240℃	40~70℃	30~60 bar

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 금형

사출성형용 금형은 사출성형의 능력 및 성형품의 품질을 결정할 만큼 중요한 기능을 가지고 있고, 성형품의 형상에 맞추어서 사용되는 재료의 특성을 살리도록 설계하여야 한다. 일반적으로 금형 베이스는 일반 금형공장에서 대량 생산되는 것을 용도에 알맞게 구입하여 사용하는 것이 보통이다. 금형에 대한 규격화는 한국공업규격에 플라스틱용 금형의 메인 플레이트(KS B 4151), 가이드핀(KS B 4152), 이젝터 핀(KS B 4153), 리턴 핀(KS B 4154), 가이드 핀 부시(KS B 4155), 로케이트 링(KS B 4156), 스프루우 부시(KS B 4156)등 일부가 되어 있지만, 보통 생산업체의 사내규격에 의해 제작된다.

캐비티의 형상, 테이퍼, 스프루우 부시, 스프루우 록 핀, 런너, 게이트, 냉각수통로, 이젝터 핀, 에어 벤딩 등의 형식 및 치수, 위치 등은 설계자가 생산하려는 성형품에 따라 알맞게 결정해야 하는 중요한 인자들이다. 양질의 성형품을

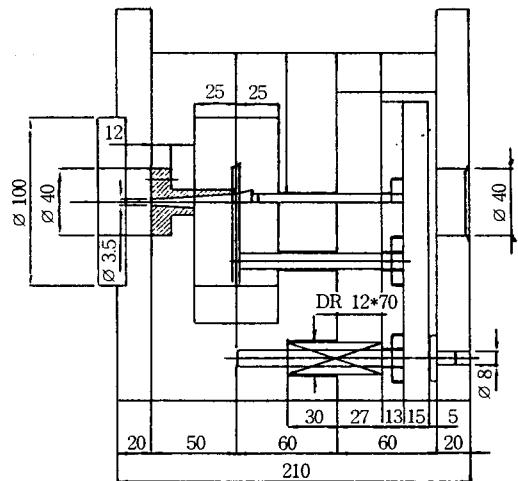


Fig. 1 Dimensions of mold base

생산하기 위해서는 먼저 이것들을 올바르게 결정해야 한다. 결정에 필요한 설계 자료들은 주로 지금까지 축적된 경험을 바탕으로 한 것이 대부분이다.

본 연구에서는 필요한 금형을 제작하기 위하여 수지 생산업체에서 추천하는 설계 자료를 근거로 하여 Fig. 1과 같이 설계하여 제작하였다.

2.1.2 사출성형기 및 시험기

본 실험에서는 금형온도를 제어할 수 있는 온도 제어장치가 부착된 사출성형기를 사용하였으며, Fig. 2는 본 실험에서 사용한 사출성형기로 시편을 사출하고 있는 모습이다.

시험기는 전기유압식 피로시험기로서 INST-ROTON Model 8502를 사용하였다.

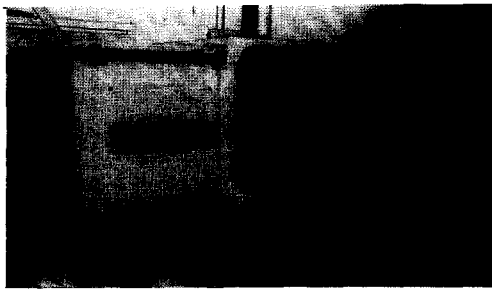


Fig. 2 The whole view of the experimental equipment

2.2 시편

2.2.1 시편재질

본 실험에서 사용한 플라스틱 재료는 유리섬유(glass fiber)를 30% 강화한 폴리프로필렌 재료로서 수지제조업체인 고한엔플라에서 제조한 것이다. 폴리프로필렌은 용점 및 연화점이 높고 내열성이 양호함과 동시에 내약품성, 힌지 특성 등이 우수하며, 사출 유동성이 좋아 많은 용도에 사용되고 있다. 또 유리 섬유의 첨가는 재료의 경도와 강도 및 열변형 온도를 향상시키는 효과를 가져온다. Table 2는 본 실험에 사용한 시편 재질의 물성을 나타낸다.

2.2.2 시편별 사출조건

플라스틱은 동일재질이라 할지라도 사출 조건에 따라 그 기계적 성질이 크게 달라진다. 본 실험에서는 수지 생산업체에서 추천하는 폴리프

Table 2 Material properties of polypropylene (Glass fiber 30% reinforced)

ITEM	UNIT	PROPERTY
Specific gravity	-	1.13
Tensile strength	kgf/cm <sup>2</sup>	660
Elongation	%	2.5
Tensile modulus	kgf/cm <sup>2</sup>	86,700
Flexural modulus	kgf/cm <sup>2</sup>	46,900
Flexural strength	kgf/cm <sup>2</sup>	820
IZOD Impact strength (notched)	kgf · cm/cm <sup>2</sup>	6.2
Flammability	-	HB
Mold shrinkage	%	0.4-0.7
Elastic limits	kgf/cm <sup>2</sup>	260

로필렌의 사출조건 범위 내에서 Table 3과 같이 사출조건을 설정하였으며, 각 조건의 최초 사출품은 조건이 안정될 때까지 무시하고 조건당 시편은 10개씩 사출하였다.

Table 3 Overall conditions of molding experiments

사출조건	시편번호				
	1	2	3	4	5
용융수지온도 (°C)	235	215	215	215	215
금형온도 (°C)	50	40	70	50	50
사출속도 (mm/sec)	112	112	112	40	65
사출압력 (bar)	52	55	55	32	38
사출시간 (sec)	0.48	0.48	0.48	1.02	0.71
보압 (bar)	30	30	30	25	30
보압시간 (sec)	20	20	20	20	20
냉각시간 (sec)	16	16	16	16	16

2.2.3 시편형상 및 치수

시편의 형상과 치수는 Fig. 3의 (a), (b)와 같다.

2.3 시험방법

응력완화시험은 진폭을 일정하게 고정시키고 그 진폭만큼의 부분 편진의 인장하중이 시편의 축 방향으로 작용되도록 하였으며, 사출 조건에 따른 시편별로 2개씩 시험하여 각각의 data를 Tower Console를 통해 PC로 받아 그 평균값을 취하였다. 이 때 시험 조건은 탄성영역 내에서의 시험을 하기 위해 Table 4와 같이 설정하였다.

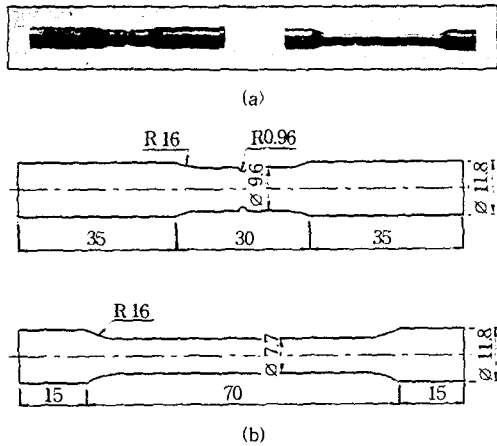


Fig. 3 Specification of test specimen

Table 4 Conditions for fatigue test

ITEM		UNIT	CAPACITY
Tensile load	Waveform type		Ramp
	Control channel		Load
	Final level	kg <sub>f</sub>	80
	Ramp time	sec	10
Position control	Waveform type		sine
	Control channel		Position
	Amplitude	mm	0.1
	Frequency	Hz	20
Number of cycles			10 <sup>5</sup>

### 3. 실험결과 및 고찰

플라스틱 재료를 사출 성형함에 있어서 재료의 기계적 성질에 영향을 미치는 요소로는 금형 온도, 용융수지온도, 사출속도, 사출압력 등의 사출조건과 관련된다. 본 실험에서는 수지 생산 업체에서 제시하는 폴리프로필렌의 사출조건 범위 내에서 Table 3에서와 같이 5개의 각 시편에 대해 사출 조건을 서로 다르게 하여 성형한 재료를 응력완화시험한 결과, 시편별 응력완화의 정도는 Table 5 및 Table 6과 같이 나타났다.

#### 3.1 금형온도

Fig. 4는 금형온도 차이에 따른 응력완화의 변화를 나타내고 있다. 2번 시편과 3번 시편은

Table 5 Comparison of stress relaxation for unnotched test specimens

(unit : kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>)

시편번호 반복 하중수	1	2	3	4	5
400	171.8	171.8	171.8	171.8	171.8
20,000	145.2	127.0	130.5	121.3	123.6
40,000	136.6	120.0	120.9	113.3	117.0
60,000	134.3	116.6	114.7	109.0	113.0
80,000	133.5	114.8	112.5	106.5	111.3
100,000	133.2	114.4	111.0	106.2	110.9

Table 6 Comparison of stress relaxation for notched test specimens

(unit : kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>)

시편번호 반복 하중수	1	2	3	4	5
400	171.8	171.8	171.8	171.8	171.8
20,000	124.2	122.3	104.8	97.0	114.0
40,000	118.0	112.3	83.5	88.8	105.6
60,000	115.9	107.0	70.5	85.4	103.1
80,000	114.2	104.6	62.5	83.3	102.1
100,000	113.8	104.0	58.0	82.1	101.8

금형온도가 각각 40℃, 70℃로 3번 시편의 금형온도가 30℃ 높고 다른 사출조건은 모두 동일하다. 시험결과 반복하중 10<sup>5</sup>회에서 노치가 없는 2번 시편이 114.4 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>의 응력을 나타냈고, 노치가 있는 2번 시편은 104 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>의 응력을 나타냈다. 3번 시편은 노치가 없는 시편이 반복하중 10<sup>5</sup>회에서 111 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>의 응력을 나타냈고, 노치가 있는 시편이 58 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>의 응력을 나타냈다. 따라서 금형온도가 높은 시편에서 응력완화 현상이 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이것은 폴리프로필렌이 결정성 고분자로서 용접부근에서는 용해열을 필요로 하고 비열이 급격히 증대하는 반면, 금형속에서 냉각 고화하는 과정에서는 용해열에 상당하는 양의 결정화열을 내므로 금형온도가 높을 때는 충분한 결정화열을 방출 못해 결정화 진행에 방해를 받아 성형품의 기계적 성질에 나쁜 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 금형온도가 높고 노치가 있는 성형품일수록 반복하중의 증가에 따른 응력완화의 정도가 크게 나타나므로, 로우터와

같이 반복하중을 받는 용도로 쓰이는 플라스틱 제품을 사출성형할 때의 금형온도는 가급적 주어진 조건 범위 내에서도 낮게 설정해야 함을 알 수 있고, 노치가 있는 성형품에 대해서는 특히 이점에 유의해야 함을 알 수 있다.

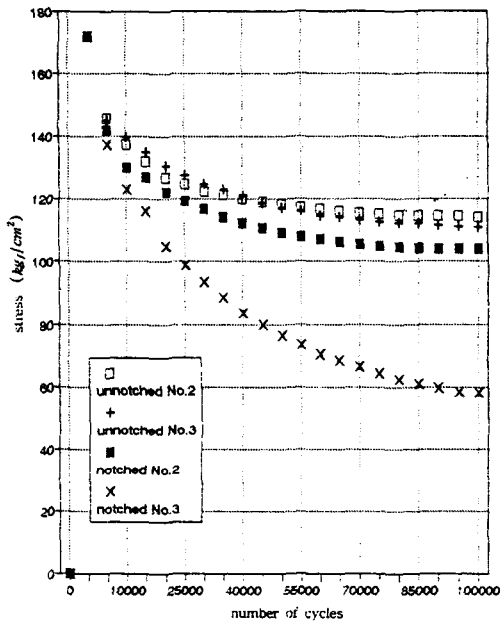


Fig. 4 Comparison of stress relaxation with change of mold temperature

### 3.2 사출압력 및 사출속도

Fig. 5는 사출속도 및 사출압력 차이에 따른 응력완화의 변화를 나타내고 있다. 4번 시편과 5번 시편의 사출속도는 각각 40 mm/sec, 65 mm/sec이고, 사출압력은 32 bar, 38 bar로 4번 시편의 사출속도와 사출압력이 5번 시편보다 작은 값들을 갖는다. 반복하중  $10^5$ 회에서의 응력값은 노치가 없는 4번 시편과 5번 시편이 각각  $106.2 \text{ kgf/cm}^2$ 과  $110.9 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 나타났고, 노치가 있는 시편에서는  $82.1 \text{ kgf/cm}^2$ 과  $101.8 \text{ kgf/cm}^2$ 의 응력값을 나타냈다. 따라서 사출속도와 사출압력에 따른 응력완화의 정도는 이들의 값을 크게 할 때 작게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이것은 사출속도와 사출압력이 클 때 분자배향이 작아지는 것과 관련이 있는 것으로 사출성형

시 특히 이점에 유의해야 함을 알 수 있다.

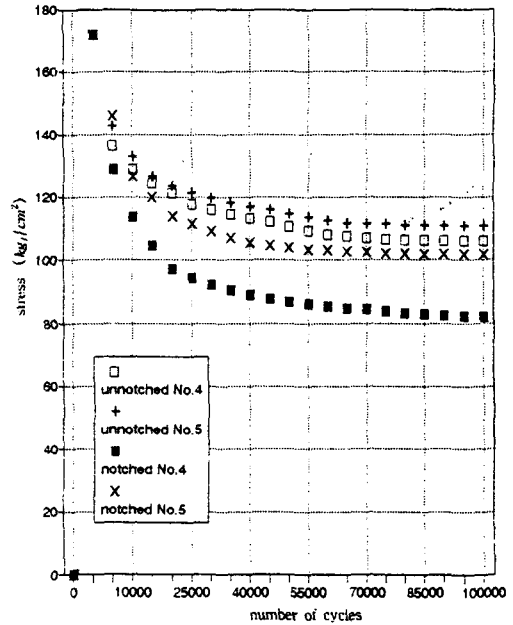


Fig. 5 Comparison of stress relaxation with change of injection speed and injection pressure

### 3.3 용융수지온도

Fig. 6은 용융수지온도 차이에 따른 응력의 변화를 나타내고 있다. 1번 시편은 용융수지온도가  $235^\circ\text{C}$ 로 사출속도가 같은 2번 시편의 금형온도  $215^\circ\text{C}$ 보다  $20^\circ\text{C}$ 가 높은 시편으로서, 반복하중  $10^5$ 회에서의 응력은 노치가 없는 시편이  $133.2 \text{ kgf/cm}^2$ , 노치가 있는 시편이  $113.8 \text{ kgf/cm}^2$ 으로 2번 시편의  $114.4 \text{ kgf/cm}^2$ 과  $104 \text{ kgf/cm}^2$ 보다 크게 나타났다. 또한 앞에서의 금형온도 및 사출압력에 대한 시험결과에 의해 1번 시편은 금형온도가  $50^\circ\text{C}$ 로 2번 시편의 금형온도  $40^\circ\text{C}$ 보다  $10^\circ\text{C}$ 가 높고, 사출압력은 52 bar로 2번 시편의 55 bar보다 3 bar가 작은 조건이므로 이들만의 조건에 의하면 1번 시편의 응력은 2번 시편보다 작게 나타나야 하나, 오히려 더 크게 나타나고 있다. 이것은 용융수지온도가 다른 성형 조건들에 비해 성형품의 응력완화에 미치는 영향이 가장 크다는 것을 의미하며, 따라서 성형품의 응력완화 현상을 작게 하기 위해서는 용

용융수지온도를 가능한 높게 설정해야 함을 알 수 있고, 이는 용융수지 온도를 높게 했을 때 수지의 유동성이 좋아지고 분자배향이 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

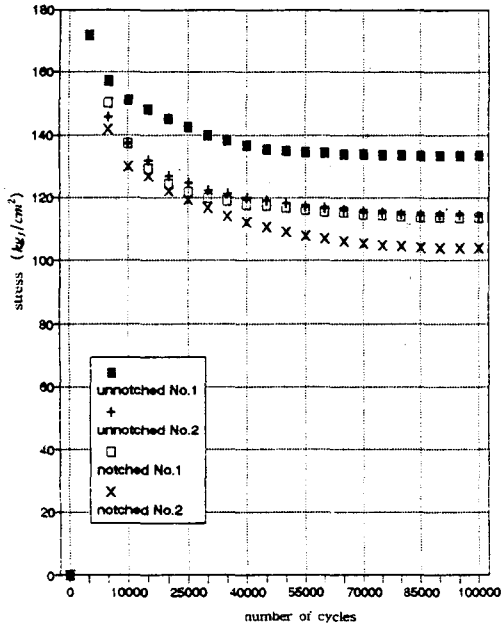


Fig. 6 Comparison of stress relaxation with change of material melting temperature

#### 4. 결론

로우터와 같이 반복하중을 받는 플라스틱은 시간이 경과함에 따라 연화(softening)되기 쉽고, 이로 인해 큰 진동을 유발하여 제품으로서의 역할을 못하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 이에 대한 대책으로 반복하중에 대한 사출품의 응력완화(stress relaxation) 거동을 사출조건 별로 실험적인 방법에 의해 고찰하였고, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 용융수지온도의 영향을 가장 많이 받았으며, 용융수지온도가 높을수록 응력완화 현상은 줄어들었다.
- 2) 사출속도와 사출압력이 클 수록 응력완화 현상은 줄어들었다.
- 3) 금형온도가 높을 때 초기에는 응력완화현상

이 작게 나타났으나 반복하중의 횟수가 증가함에 따라 크게 나타났다.

본 연구 결과 적정 사출조건 내에서도 조건의 변화에 따라 응력완화 현상이 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었으며, 응력완화 현상을 줄이기 위해서는 용융수지온도 및 사출속도와 사출압력을 높여야 하고, 금형온도는 낮게 설정해야 함을 알 수 있었다.

본 연구는 1998년도 서울산업대학교 교내 학술 연구비에 의하여 연구되었음.

#### 참고 문헌

- 1) F.H. Moy, and M.R. Kamal, "Crystalline and Amorphous Orientations in Injection Molded Polyethylene", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 20, No. 14, pp. 957~964, 1980.
- 2) A. Siegmann and A. Bushman, "Residual Stress in Polymers III: the Influence of Injection Molding Process Condition", *Polymer Eng. & Sci.*, June, pp. 560~568, 1982.
- 3) D.H. Cha, "The Quality Improvement of Injection Molded Products by the Control of Mold Temperature", KAIST, 1986.
- 4) J.W. Kim, "A Study on the Optimum Injection Molding of the Impeller of the Water Pump for Automobiles", Hanyang Univ., 1987.
- 5) Z. Bakerdjian and M.R. Kamal, "Distribution of Some Physical Properties in Injection-Molded Thermoplastic Parts", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 17, pp. 96~100, 1977.
- 6) J.L. White and H.B. Dee, "Flow Visualization for Injection Molding of Polyethylene and Polystyrene Melts", *Polymer Engineering and Science*, Vol. 14, No. 3, pp. 212~222, 1974.
- 7) 유중학, "폴리프로필렌의 사출성형 조건이 기계적 성질에 미치는 영향", 박사학위논문,

- 단국대학교, 서울.
- 8) 오길환 외, “재료시험법”, 기전연구사, pp. 243~246, 1996.
- 9) 成澤郁夫, “プラスチックの機械的性質”, シグマ出版社, pp. 177~192, 1994.
-