

# 충격 흡수기 피스톤의 대체 개발에 관한 기초적 연구

## A Basic Study on the Alternative Development of Piston for Shock Absorber

김 영 호, 배 원 병(부산대 정밀정형 및 금형가공연구소), 서 윤 수(창신전문대), 임 동 주\*(부산대 대학원)

Young-Ho Kim, Won-Byung Bae(ERC, Pusan Nat'l Univ), Yun-Soo Suh(Changshin Jr. College),  
Dong-Ju Lim(Graduate School, Pusan Nat'l Univ)

### ABSTRACT

This study is aimed at cutting down the cost, weight and improving process by replacing the traditional sintered piston of the shock absorber with engineering plastic piston by means of injection molding. To obtain the high mechanical properties, glass fiber material was selected adequately and forming analysis considering fiber orientation was made to remove the forming deficit factors and to construct the optimal runner system. In addition, structural analysis using commercial software MOLDFLOW was performed under near conditions in actual driving of automotive. The results from the internal pressure process test, oilproof test based on forming, structural and strength analysis shows that hydraulic close performance and damping force considering the out of roundness of shock absorber are relatively good.

Key Words : Shock Absorber(충격 흡수기), Engineering Plastic(엔지니어링 플라스틱), Piston(피스톤), Injection Molding(사출 성형)

### 1. 서론

현재, 자동차 부품에 이용되고 있는 주된 재료는 강, 주철, 소결재료, 동, 알루미늄 등의 금속재료로부터 플라스틱, 고무, 유리, 접착제, 섬유 등의 비금속 재료까지 많은 종류로 이루어져 있다. 이러한 자동차 재료의 구성동향을 살펴보면 알루미늄이 포함된 비철금속과 플라스틱의 비중이 현저히 증가하고 있고 강재의 비중은 감소함을 알 수 있다. 이들의 자동차 재료는 특히 내열성, 내마모성, 내식성에 대한 요구가 엄격하고 생산기술의 향상에 따라 신소재가 많이 이용되어지고 있다. 이에 따른 소재 전환의 큰 흐름으로서 경량화 및 원가 절감을 목적으로 한 알

루미늄으로서의 교체와 세라믹, 섬유강화금속, 엔지니어링 플라스틱 등의 고기능, 고성능 구조 재료로의 전개가 진행, 실용화단계에 있고 일부는 채용되어지고 있어 자동차 재료가 급속히 신소재로 전환되고 있으며, 그 중에서 성형 자유도가 높고 경제적인 뿐만 아니라, 금속 재료를 대신할 수 있는 강도를 가진 엔지니어링 플라스틱의 개발에 힘입어, 항공 분야로까지 적용이 점차 확대되고 있는 실정이다.<sup>(1),(2)</sup> 따라서 본 연구는 많은 자동차 부품 중에서 노면의 굴곡으로부터 타이어를 통해 전달되는 충격을 흡수하여 안락한 승차감과 조정성을 결정하는 자동차용 충격 흡수기(shock absorber)의 중요 내장 부품인 피스톤(piston)에 대한 수지 재료(resin)로의 대체가

능성을 확인하고, 공정 개선을 통한 원가 절감 및 경량화의 효과를 얻고자 한다. 이에 소결 재료 피스톤의 대체 개발에 관한 기초적 연구로서 사출 성형 해석, 실제 주행에서 부가되는 여러 조건을 고찰하고, 이에 대한 구조 해석 및 성형 실험, 실제 S/A의 장착 실험을 통하여 검증하고자 한다.

## 2. 공정 비교

### 2.1 소결 피스톤 제조 공정

S/A 소결 재료 피스톤은 Fe-C 합금 분말 및 윤활제등을 혼합하여 금형에 넣고 40ton 프레스로 가압 성형한 다음, 용점 이하(약1140℃)의 고온로에 넣고 120mm/min의 이송속도로 소결시키며, 이 때 탈탄을 막기위하여 이산화탄소 0.3% 분위기를 유지시킨다. 소결 후에 이를 다시 40ton 프레스를 이용하여 형상 치수를 교정하기 위해 사이징(sizing)공정을 거치고, 경도를 향상시키기위하여 스팀로에 넣고 620℃의 스팀(steam)처리를 한다. 그리고 피스톤이 압축·반동 행정을 거치는 동안, 작동 유체의 원활한 흐름을 제어할수 있는 오리피스를 뚫는 기계적 가공이 필요하며, 피스톤과 내부실린더 벽사이의 마찰 및 oil의 밀폐성을 유지하기위하여 테프론 및 O링을 첨가하는 공정을 행한다.

### 2.2 플라스틱 피스톤 제조 공정

사출 성형에 의한 엔지니어링 플라스틱 피스톤의 공정은 충전, 보압의 성형과정 및 냉각 과정 등의 단위공정으로 이루어진다. 적절한 강도, 내열성, 내구성 및 열안정성등의 조건을 가진 수지재료를 선택한 후, 최적의 사출 성형 조건에 의한 성형 및 수축에 따른 변형등의 영향을 고려하여 냉각, 건조등의 공정을 거친다. 소결 피스톤의 제조 공정에 비해 플라스틱 피스톤의 제조 공정은 공정 수를 대폭 줄임으로서 제조 원가를 낮출 수가 있으며, 수입에 의존하는 소결 분말의 원료대체의 효과를 얻을 수 있다.

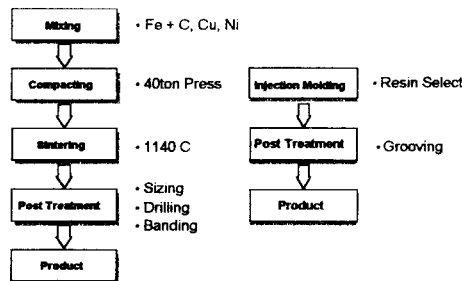
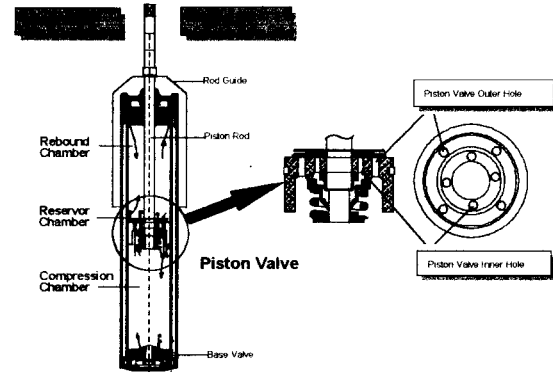


Fig.1 processes of sintering and injection molding S/A piston

## 3. S/A 피스톤의 구조와 특성

Fig.2에 S/A 및 피스톤의 구조를 나타내었다. 노면의 굴곡에 의해 차체가 진동할 때 충격 흡수기내의 피스톤은 0.0~0.13%, 0.13~0.39%, 0.39~1.04%정도의 속력을 가지고 상·하 왕복운동을 하며, 보통 상온에서 50℃정도의 열영향을 받는다.

Fig.2 Schematic of Shock Absorber Piston



압축실에서 압축되는 작동유체가 상대적으로 압력이 낮은리바운드실과 저장실로 밀려나게 되고, 리바운드 밸브는 저항력이 작기 때문에 압축실과 리바운드실 사이의 압력차, 즉 피스톤 양단의 압력차는 그렇게 커지지 않는 압축 행정과 반동실의 체적 변화율에 해당하는 유량이 압축실로 밀려나가게 되며 리바운드실을 빠져나가는 피스톤 로드에 의한 압축실과 반동실 체적 변화율 차이 만큼의 유량이 저장실로부터 압축실로 들어가는 반동행정으로 나누어 진다. Table.2에서 실제 압축과 반동 행정을 거치는 동안에 스트로크에 따른 반동실(Pr)과 압축실(Pc)의 압력을 나타내었다.

Stroke	Pressure			Velocity (m/s)
	Pr(MPa)	Pc(MPa)	$\Delta P$ (MPa)	
50mm	0.149	0.150	0.001	0.219E-2
25mm	1.235	1.296	0.061	0.907E+0
0mm	1.380	1.454	0.074	0.104E+1
-25mm	1.263	1.324	0.061	0.907E+0
-50mm	0.355	0.356	0.001	0.219E-2

Stroke	Pressure			Velocity (m/s)
	Pr(MPa)	Pc(MPa)	$\Delta P$ (MPa)	
-50mm	0.164	0.163	0.001	0.219E-2
-25mm	3.145	0.126	3.019	0.907E+0
0mm	3.429	0.112	3.317	0.104E+2
25mm	3.131	0.105	3.026	0.907E+0
50mm	2.155	0.108	2.047	0.219E-2

Table.2 distribution of pressure and velocity during compression process & rebounding process

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 성형 실험 장치 및 금형

본 성형 실험에서 사용된 사출기는 LG 100ton이며, 수지는 피로 내구성, 낮은 마찰계수, 높은 압축 강도, 낮은 수축율 및 열안정성이 좋은 엔지니어링 재료로서 금속의 대체로서 널리 사용되고 있는 PPA 수지를 사용하였다. 그리고 수지 재료의 특성상 금형의 온도를 130℃ 정도로 유지하기 위하여 실리콘 오일을 냉매로 사용하였으며, 원래 피스톤과 동일한 형상과 개선된 피스톤 형상의 두가지의 모델을 가지고 비교실험하였으며, 특히 개선된 피스톤의 경우에 2중 리브(rib) 구조를 가진 형상을 가진 금형을 구성하였다. 또한 게이트는 디스크게이트(disk gate)를 사용하였고, 사출시간 0.8sec, 보압시간 5sec, 냉각시간 20sec, 취출 후 3시간정도 건조기를 이용하여 건조시켰다.

#### 3.2 수지 재료의 물성

수지 재료는 성형 후의 변형, 실제 S/A내부의 압축 실패 반동실의 기계적 성질 및 열적, 화학적 성질을 고려하여 다음과 같은 물성을 가진 PPA를 선택하였다.

Table.4 physical and thermal property

specific gravity	contraction factor	absorption factor	melting point	heat deflection temp.
1.56	0.2%	0.2%	300℃	277℃

Table.5 mechanical property

tensile strength	flexural strength	flexural modulus	impact strength	compressive strength
210MPa	262MPa	9,997MPa	960.8J/M	195MPa

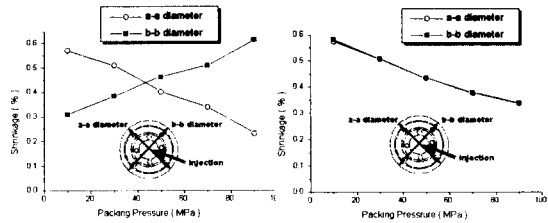
### 4. 해석

사출 성형품의 치수 정밀도를 확보하기 위하여 성형 조건에 따른 사출 압력, 금형 온도 그리고 수지 온도를 제어할 필요가 있으므로 본 연구의 해석에서는 원래 피스톤 모델과 개선된 피스톤 모델 두가지 변형의 모델을 상용 프로그램인 Mold Flow Dynamic Series 9.3으로 이용하여 Optm Flow Analysis를 행한 후에, 최적 조건으로 Fiber-Fill, Fiber-Packin g, Warpage Analysis, Stress Analysis를 수행하고 다음과 같은 사실을 얻을 수 있었다.

#### 4.1 보압에 대한 진원도

각 모델의 정사방향으로 네 개의 node를 설정

한후 수축량을 측정하였다.



(a) original model

(b) two ribs model

Fig.2 relation of packing pressure & out of round

원 모델의 경우, 실제 성형 두께가 두껍기 때문에, 성형 수축(열 수축+상변화 수축)에 기인하는 보압에 따른 불균일 수축 분포양상이 큰 편차를 나타내는데 비하여, 2중 리브 모델은 일정한 수축량을 보였다.

#### 4.2 보압에 대한 deflection량

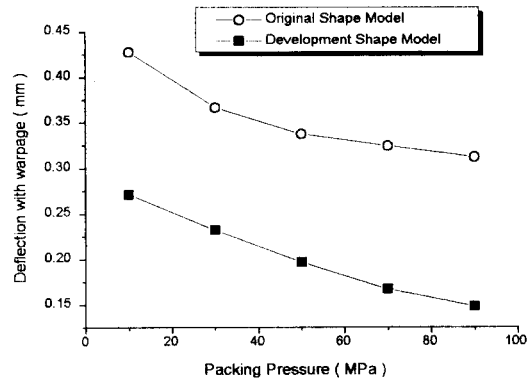


Fig.3 relation of packing pressure & deflection

각 모델을 10MPa부터 90MPa까지 각 20MPa씩 증가시킨 경우를 살펴보면, 보압이 증가할수록 x, y, z-deflection을  $\sqrt{D_x^2 + D_y^2 + D_z^2}$ 에 의해 계산되어지는 deflection량이 감소함을 보인다. 또한, 소결 피스톤과 동일형상의 모델보다, 2중 리브구조의 개선된 모델의 피스톤이 좋은 해석 결과를 나타내고 있다.

#### 4.3 온도 및 압축·반동실의 압력에 대한 변형량

Table.2에서 살펴본 바와 마찬가지로 압축행정과 인장행정중의 압축실(Pc)과 반동실(Pr)에서의 압력차인 0.074MPa과 3.317MPa로 해석을 수행하였으며, 개선된 모델의 경우, 실제 작동 온도 50℃에서 5/1000정도의 미소한 변형이 생기고, 최고 100℃에서 25/1000정도의 좋은 치수 공차를 보여주고 있다.

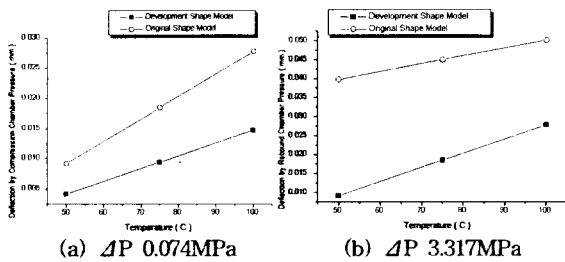


Fig.4 relation of deflection and temperature

### 5. 실험 결과 및 고찰

Fig.5는 최종적인 엔지니어링 플라스틱 S/A 피스톤의 두 모델을 각각 보여주고 있다. 각 사진의 좌측이 원래의 모델, 우측이 2중 리브구조를 가진 모델로 사출성형한 사례이며, 성형 실험 및 850 Shock Absorber Test System에 장착한 내압실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

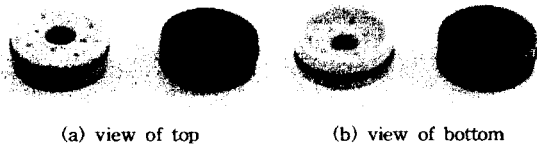


Fig.5 engineering plastic S/A pistons

#### 5.1 원래의 형상대로 성형한 피스톤

두꺼운 성형부(6.3mm)에 기공이 발생하고, 내경부에 미세한 균열(crack)이 발생하였으며, 각 오리피스부에서는 웰드라인(weld line)이 심하게 나타났다. Fig.6은 사출 성형에 의한 플라스틱 피스톤의 단면을 각각 보여주고 있으며, 성형품의 심한 두께차이를 볼 수 있다. 이는 심한 잔류응력의 원인이 되며, 체적 수축이 불균일에 기인한 진원도에 좋지 않은 영향을 미친다.

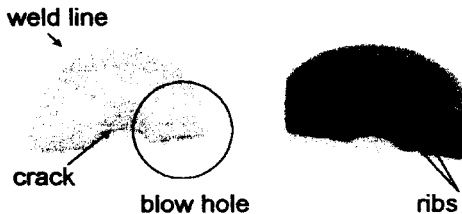


Fig.6 cross section of engineering plastic S/A pistons

#### 5.2 2중 리브구조로 성형한 피스톤

평균 성형 두께가 1.5~3mm로 성형 후 잔류응력 및

수축에 의한 변형은 없었으며, 웰드라인의 영향도 적었다. 구조적으로 균일한 수축 변형 및 강도에 의하여 내압실험을 만족할 수 있었으며 성능실험에서도 원래의 형상대로 성형한 피스톤에 비해 노이즈(noise)가 비교적 적었고, 속력에 대한 감쇠력도 양호한 결과를 얻었으나, 내구 실험을 통한 완전한 검증이 이루어지지 못했다.

### 6. 결론

본 연구에서 S/A를 구성하는 피스톤을 기존의 소결 재료에서 엔지니어링 플라스틱 재료로 대체 개발하는 것을 목적으로 성형 및 기본적인 성능 실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 성형 후의 변형에 기인하는 수축은 보압이 커지면 커질수록 줄어드나 플래시(flash)와 같은 성형 불량에 생기기 쉽다.
- (2) 기존의 형상대로 한 피스톤의 사출성형 후 수축에 기인하는 균열(crack)이 내경부에 발생하였으며, 유리섬유배향에 있어 치명적인 웰드라인이 오리피스부에 현저히 발생하였다.
- (2) S/A 피스톤의 사출 성형시 진원도, 내부 응력에 의한 변형, 수축을 고려하여 불균일한 응력분포, 수축의 원인이 되는 살두께를 고려하여 균일한 수축과 응력 분포를 가진 2중 리브구조 형상 모델을 개발하였다.
- (3) 기존의 S/A 피스톤 형상의 경우 역시, 압축 및 반동실의 내압은 충족되었지만, 노이즈가 심하며 변위, 속력에 대한 감쇠력이 불규칙적인 데 반하여, 2중 리브구조 형상 모델은 좋은 내압성능을 얻을 수가 있었다.

차후의 연구과제로 실차 장착을 통한 내구성 실험으로 대체 개발의 타당성여부를 검증하고자한다.

### 참고 문헌

1. 신동명, "자동차재료", 형설출판사, pp.13~14, 280~312, 1996
2. 燒結機械部品-その設計と製造, 日本粉末冶金工學會, pp.21~92, 1987
3. 홍명웅, "엔지니어링 플라스틱 편람", 기전 연구사, 1989
4. 박재우, 신상윤, 주동우, 이시복, "자동차용 충격 흡수기의 동적 거동 해석", 한국정밀공학회지, 제1권, 제6호, pp.28~36, 1997.6