

## 마그네슘 사출성형 공정에 관한 연구

강태호\*(부경대 대학원 기계공학부), 김인관(부경대 대학원 기계공학부)  
김영수 (부경대 기계공학부)

### Research for Magnesium Injection Molding Process

T. H. Kang(Mech. Eng. Dept., PKNU), I. K. Kim(Mech. Eng. Dept., PKNU)  
Y. S. Kim(Mech. Eng. Dept., PKNU)

#### ABSTRACT

Magnesium alloys are very attractive materials for applying to the development of automobile parts or electric goods where light weight and higher stiffness. Due to higher ratio of strength vs. weight and stiffness vs. weight, various magnesium alloys are well applied in much weight saving design applications though extrusion or die-casting process. However for the requisites of higher strength and weight savings, some new fabrication processes has been and it can be realized though the aid of injection modeling technology.

To obtain the parametric data base for the injection molding process, various experiments were executed for AZ91D magnesium alloy. This paper propose the optimum condition of injection temperature, first and second pressure. the process was lined-up successfully often changing the injection unit. fluid pressure system from the conventional plastic injection molding process.

**Key Words** : Injection molding (사출성형), Injection speed (사출속도), Fluid pressure system (유압설비),

#### 1. 서론

마그네슘은 지구상에 매우 풍부하게 존재하는 자원으로 밀도가 약  $1.8g/cm^3$ 이고 철강의 1/4, 알루미늄합금의 2/3정도로 실용 금속 중 경량이며, 비강도, 치수 안정성, 전자파 차폐 효과 등이 매우 우수한 특징을 갖고 있다. 따라서 마그네슘의 수용이 산업의 전 분야에서 가속화되고 있다. 특히 노트북, MD Player, 휴대전화, 디지털 카메라 등 각종 전자기기의 휴대화에 따른 부품의 경량화, 박육화의 요구가 마그네슘합금의 수용을 가속화되고 있다.

그러나 마그네슘은 조밀육방체이기 때문에 냉간에서의 소성가공성이 나쁘고, 프레스가공이나 압출가공이 철강 또는 알루미늄합금 재료에 비해서 나쁘다. 이 때문에 상업적 대량 생산의 수단으로서 다이캐스팅이 지금까지는 일반적이었다. 대량의 용탕을 보유, 관리해야 하고 마그네슘의 특성상 화학적으로 활성이기 때문에 연소 방지를 위해 특별한 설비를 구비해야 한다. 또한 고온의 용탕을 급속히 급형으

로 주입하는 공정에 기인하는 성형품의 파손과 가스의 유입, 치수 정밀의 한계 등과 같이 품질적인 측면에 대해서도 많은 문제점을 가지고 있다. 이에 비해 거의 완성된 기술인 사출성형법을 마그네슘합금에 응용한 마그네슘 사출성형법은 이러한 단점을 보완할 수 있는 대체 공정이라 할 수 있다. 또한 이러한 사출성형의 공정상의 특성으로 온도의 영향하에서 지속적인 전단력을 받게 되는데, 고액 공존 상태의 금속이 전단응력의 영향 아래에서는 완전 용융상태에 가까운 낮은 점성으로 되고 게다가 응력의 유무에 따라서 점성이 가역적으로 변하는 반용융 상태(Thixotropy)를 나타낸다.

본 논문에서는 국내에서 아직 기반을 가지지 못하고 있는 마그네슘 사출성형법의 기본 공정에 대하여 실험적으로 고찰하고, 상용 프로그램을 이용하여 성형과정에 대한 해석적 접근을 병행하였다.

#### 2. 실험

## 2.1 금형

금형은 일반적인 플라스틱 사출성형 금형의 형태를 기초로 하였다. 그러나 사출성형의 형태를 수정 없이 사용하기에는 유동상의 문제가 발생할 수 있으므로 스프루(sprue)와 게이트(gate)부분을 수정하였다. 빠른 충전이 되어도 유동 선단부에는 고화(solidification)가 발생한다. 그러므로 제품부의 충전 끝단에 분리된 채적부를 가지게 하였다. Fig. 1 은 금형내의 캐비티(cavity)의 형상을 나타낸 것이다. Fig. 2는 제품부를 치수를 나타낸 것이다.

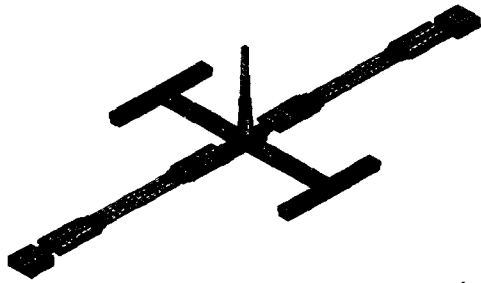


Fig. 1 Geometry of cavity

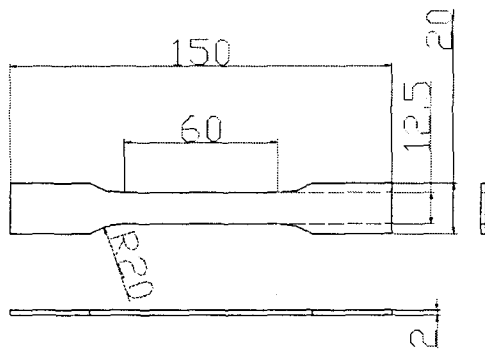


Fig. 2 Dimension of Specimen

## 2.2 성형재료

Table 1 Material properties of AZ91D

AZ91D	
Specific gravity ( $g/cm^3$ )	1.81
Tensile strength UTS (MPa)	230
Yield strength at Y.S (MPa)	150
Elongation (%)	3
Hardness (BHN)	63
Fatigue strength (MPa)	97
Elastic strength (GPa)	45
Inelastic strength ( $E/\rho$ )	24.9

성형은 마그네슘 합금인 AZ91D를 사용하였다. 재료의 물성은 Table 1 에 나타내었다. 재료의 형태는 칩(chip)형태로 약 4mm의 길이와 1.5mm의 두께를 가진 형상이다. 이러한 칩(chip)형상을 가지는 것은 실린더 내에서 스크류와의 적당한 마찰을 가지고 용융하기 위한 것이며, 또한 고온에서 안정화시켜 활성의 성질을 억제하기 위한 것이기도 하다.

## 2.3 성형해석

본 논문에서는 Semi-Solid 상태의 반응용 마그네슘 사출성형법의 성형공정에 대하여 주조 전용 상용 코드인 Magma의 Thixo module을 이용하여 충전 과정과 응고 특성을 알아 보았다. 이는 실제 현장에서는 파악하기 곤란한 현상들을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 보다 명확하게 규명, 검증함으로써 실제 제품과의 해석의 정도(Accuracy)와 신뢰성(Reliability)을 평가하고 향후 사출성형법에 의한 경금속 제품의 제조 시 금형설계의 최적화에 의한 품질 및 생산성 향상에 기여하기 위함이다. Table 2해석상에 관계된 온도변수를 나타낸 것이다.

Table 2 Physical properties for simulation

	Initial Temp[ $^{\circ}C$ ]	$T_{liq}$ [ $^{\circ}C$ ]	$T_{sol}$ [ $^{\circ}C$ ]
Melting	580	601	425
Mold	200		

다른 변수로는 사출속도를 주어 해석하였다. 공정에서 고상화가 빠르게 진행됨에 따라 속도를 변수로 선택하여 그에 비례되는 압력이나 시간에 대한 신뢰도 또한 동반추정이 가능하게 하였다. 사출속도는 0.4m/s, 0.8m/s로 하였다.

## 2.4 성형실험

성형에 적합한 환경을 만들기 위하여 기존의 고속사출기를 개조하여 새로운 성능의 성형기를 만들었으며, 히터(heater)는 최고 700 $^{\circ}C$ 까지 승온 가능하도록 하였다. 전술한 바와 같이 금형의 형상도 수정하였다.

성형기는 스미토모(smitomo)사의 고속사출기(150 ton)를 개조하여 사용하였다. 실린더(cylinder)와 스크류(screw)는 재질을 공구강으로 변경하고 특수 열처리하였다. 또한 사출의 최종 노즐부의 직경을 10mm로 하여 최대의 사출속도를 가질 수 있도록 하였다. 유압 가속장치는 질소가스를 이용한 기존의 어큐뮬레이터(accumulator)를 이용하고 별도의 탱크를 설치하여 순간 가속력을 증가시킬 수 있도록 하였다. 또

한 마그네슘의 용융을 위하여 실린더의 가열장치는 최고 700℃까지 승온 가능하게 교체하였다. 실린더 내부에 불활성 가스인 아르곤(Ar)가스를 연속하여 공급하기 위하여 재료투입구와 노즐 선단에 가스 공급장치를 설치하였다. Fig. 3은 유압장치를 나타낸 것이며 Fig. 4는 실린더의 가열장치를 나타낸 것이다.

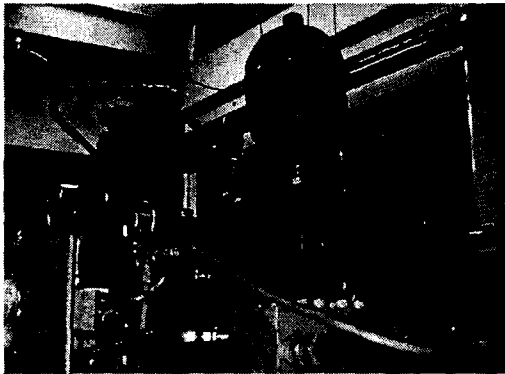


Fig. 3 Modified Hydraulic system



Fig. 4 Screw heating system

성형은 3가지의 조건 조합으로 이루어 졌으며, 그 중 3번째 실험에서 완제품으로 성형을 성공하였다. 3번째 성형조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Process Condition

Process Condition	Unit	Value			
Dry temp.	℃	80			
Dry time	hour	3			
Injection temp.	℃	Nozzle	Front	Mid	End
		598	598	590	585
Servo valve voltage	v	1step	2step	3step	
		9	7	5	
Mold temp.	℃	200			

## 2.5 제품시험

제품시험은 대표의 기계적 성질을 대표할 수 있는 인장시험과 제품의 형성에 외형적인 중요성을 가지는 표면 조도의 측정이 이루어 졌다. 인장시험은

Instron사의 최고 하중 5ton의 기계에서 이루어 졌다. 조도의 측정은 무작위로 3부분을 측정하였다.

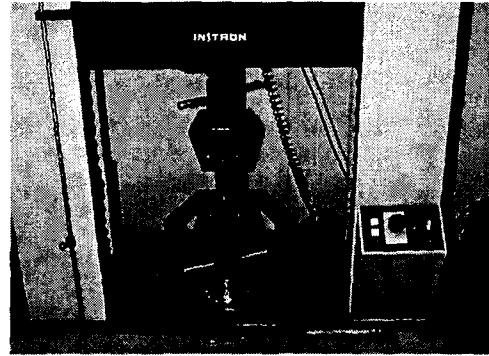


Fig. 5 Tensile test

## 3. 결과

### 3.1 성형해석결과

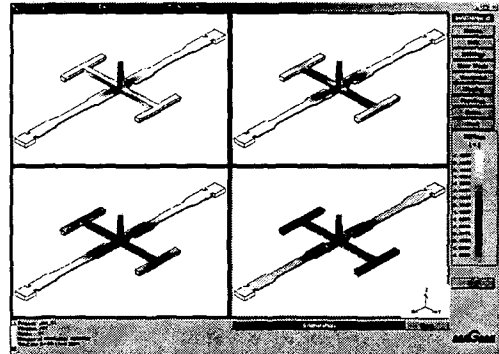


Fig. 6 Fill time (Injection speed 0.4m/s)

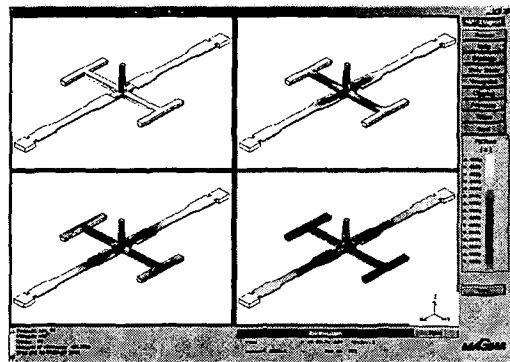


Fig. 7 Fill time (Injection speed 0.8m/s)

충진시간에 대하여 나타낸 Fig. 6과 Fig. 7에서 보듯이 충진시간은 0.4m/s에서는 26.7ms이며 0.8m/s에서는 13.4ms으로 나타났다. 즉, 사출속도가 2배 증가함에 따라서 충진시간 또한 2배 줄어드는 것으로 나타났다. 각 충진 단계에서도 전형적인 층류 유동을 나타내고 있어 보다 안정된 품질을 예상 할 수 있다.

### 3.2 성형실험결과

마그네슘을 사출성형 공정을 이용하여 제품화하는 데에 성공적인 결과를 가져왔다. Fig. 8은 성형된 마그네슘 제품을 나타낸 것이다. Fig. 9과 Fig. 10은 성형과정에서의 속도성분과 압력성분 속도성분을 나타낸 것이다. Fig. 10에서 검은색 성분은 사출속도의 성분이고 붉은색 성분은 압력을 나타낸 것이다.

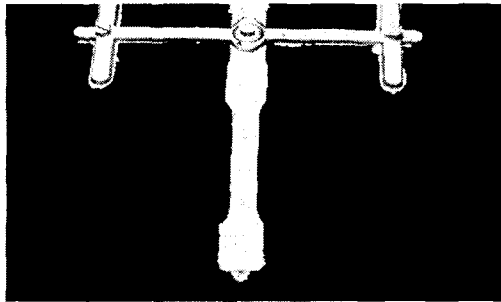


Fig. 8 Injection Molded Mg. Part

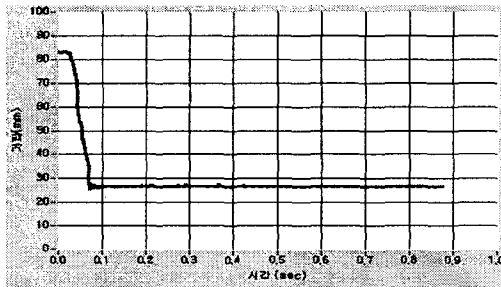


Fig. 9 Screw distance profile

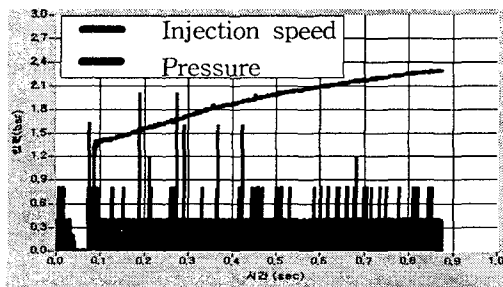


Fig. 10 Injection velocity & pressure profile

### 3.3 제품시험결과

인장시험에서 강도는 1693.2kgf/cm<sup>2</sup>가 기록되었다. 표면 조도는 무작위도 3부분을 측정하였으며 결과는 Table 4와 같다.

Table 4 Result of tensile test and surfest

		단위	측정값
인장강도		kgf/cm <sup>2</sup>	1693.2
표면 조도	1차	μm	0.93
	2차	μm	0.66
	3차	μm	0.85
	평균	μm	0.813

### 4. 결론

1. 성형 해석결과 사출속도에 따른 충진율의 차이가 크울 알 수 있다. 고화의 속도가 빠름으로 사출속도를 빠르게 유지하는 것이 중요하다.
2. 사출속도는 2m/s까지 기록되었으며, 충진은 0.05초 동안에 진행되었다. 그럼으로 충분히 충진을 할 수 있었다.
3. 인장강도와 표면 조도는 초기 시험으로서는 만족스러운 결과를 기록하였다. 특히 안정적인 표면을 유지하여 제품으로의 가능성을 확인하였다.

### 참고문헌

1. Saito, Ken '마그네슘합금의射出成形法' Materia Japan 第38卷 第4号 1999, pp 321~324
2. K. U. Kainer 'Magnesium Alloys and Their Applications' WILEY-VCH, pp. 578~583, 2000
3. A. Bag, W. Zhou 'Tensile and fatigue behavior of AZ91D Magnesium alloy' Journal of Metals Science Letters 20, 2001, pp 457~459
4. F. Czerwinski 'Correlating the microstructure and tensile properties of a thixomolded AZ91D mg alloy' Acta mater. 49 2001 pp 1225 ~ 1235
5. EUROPEAN NEWS - LONDON -, 'Metallic Moulding: Thixomolding allows metal alloys to be processed using injection moulding machine' Creasy, T 2. 6. 1999, pp 27~33
6. S. Spigarelli, M. Regev 'Review of creep behaviour AZ91 Mg alloy produced by different technologies' Materials Science and Technology June 2000 Vol. 17 pp 627 ~ 638
7. I. J. Polmear 'Light Alloys-Metallurgy of the light metals' Third edition, pp 196~246, 2001