

## Mg-9Al-1Zn 합금 자동차 에어백 케이스의 다이캐스팅에 관한 연구

김순호\*

### A Study on the Die Casting of Mg-9Al-1Zn Alloy for Air Bag Case

Soon Ho Kim\*

#### ABSTRACT

Magnesium alloys casting are gaining increased acceptance in the automotive and electronic industries and die casting is the most efficient method of manufacturing such mass produced parts. This study has been investigated the microstructures and mechanical properties of Mg-9Al-1Zn alloy fabricated by die casting process for development of air bag case. The microstructure of die casted specimen were composed of pro-eutectic magnesium solid solution and  $\beta$ (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) precipitates. The tensile strength of as-fabricated Mg-9Al-1Zn alloy revealed 231.4MPa. It was found that Mg-9Al-1Zn alloy have good corrosion resistance in electrochemical polarization test.

**Key Words** : die casting(다이캐스팅), Mg-9Al-1Zn alloy air bag case(AZ91 합금 에어백 케이스),  $\beta$ (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) precipitates( $\beta$  석출물), electrochemical polarization test(전기화학 분극 시험)

#### 1. 서론

세계 각국은 환경오염을 억제하기 위해 구미 선진국을 중심으로 환경규제를 철저히 강화하고 있는 추세이다. 특히 지구상에는 5억대 이상의 각종 자동차들이 배기가스를 배출하여 지구 온난화의 주요 원인으로 지적되고 있으므로 자동차 산업의 중심 국가인 미국과 유럽에서는 자동차 배기가스를 현재보다 크게 줄이는 대기 정화법을 개정하여 자동차 배기가스 규제와 연비 향상을 더욱 강화하고 있다. 즉, 미국의 경우 2001년에는 1995년 대비 40%이상 자동차 연비를

향상시켜 17km/l 를 달릴 수 있도록 규정하고 있고, 유럽에서도 최근 배기가스 배출기준을 크게 강화시킨 법을 제정하였다. 따라서 우리나라 자동차 산업도 이러한 기준을 만족시키기 위하여 자동차 엔진출력 향상, 공기저항을 감소시키기 위한 설계 및 자동차를 경량화시켜야 한다. 그 중에서도 자동차 엔진 출력 향상이나 공기저항 감소를 위한 설계기술은 현재 한계에 도달하였다고 볼 수 있으므로 지구 환경문제 저감을 위해서는 차체 경량화에 의한 연비향상이 가장 효율적이라 할 수 있다. 이러한 차체 경량화 방법으로는 기존 알루미늄(Al) 합금으로 제조하는 부품

2002년 1월 14일 접수

\* 신라대학교 공과대학 자동차기계공학과

을 밀도가  $1.8\text{g/cm}^3$  정도인 경량의 마그네슘(Mg) 합금으로 대체하고, 또한 기존 철강제품을 Al이나 Mg합금으로의 대체 등이 주목을 받고 있다.<sup>1-4)</sup> 뿐만 아니라 자동차 부품소재 중에서 재활용성의 문제로 환경오염을 야기시키고 있는 플라스틱소재의 경우도, 재활용성이 뛰어나고 밀도가 플라스틱소재와 유사한 Mg합금으로 대체하는 연구가 많이 수행되는 실정이다. 이러한 이유로는 Mg합금의 주원소인 순수 Mg은 밀도가  $1.74\text{g/cm}^3$ 로 가장 가벼운 구조용 금속으로서, Al, Zn, Zr, Mn, Mischmetal 등과 합금화시킬 경우 알루미늄 합금의 2/3, 티타늄 합금의 1/4, 철강재료의 1/5수준의 밀도를 가지게 된다. 또한 Mg합금은 비강도가 우수하고 치수안정성, 기계가공성, 진동흡수능, 전자파의 차폐성 및 금형수명 등이 우수하여 자동차를 비롯한 수송기계, 우주항공, 컴퓨터를 비롯한 전자부품 등의 구조용 재료로서 각광을 받고 있기 때문으로 판단된다.<sup>5-7)</sup> 그러나 이러한 Mg 합금은 두차례의 세계대전을 치르면서 그 사용량이 증가하였으나, 그 후로는 고강도 알루미늄 합금개발 등 여타 경량재료에 밀려 사용량이 제자리에 머물고 있었다. 이유로서는 HCP구조에 따른 가공성 불량, 용해시 높은 산화성, 해수와 대기 중에서 내식성이 불량하여 그 사용이 제한적이었기 때문에 Al합금에 비해 연구가 많이 진행되지 못하였다. 그러나 최근 들어 경량화 부품소재 개발 목적으로 이러한 문제점들의 극복에 많은 성과가 이루어지고 있다. 즉, Mg합금의 내식성에 치명적인 영향을 미치는 Fe, Ni, Cu 등의 불순물 함량을 극도로 낮춘 고순도 합금개발로 내식성 향상에 획기적인 진전이 있었으며, 용해상의 문제점들은 Flux를 사용하지 않고,  $\text{SF}_6 + \text{CO}_2$  혼합가스를 사용하여 고온 산화성을 막는 한편, 제조공법의 다양화 등으로 인하여 이들 문제점들을 극복함으로써, 자동차 및 전자부품 등으로 그 사용량이 급증하고 있는 실정이다.<sup>8-11)</sup>

그리고 Mg합금은 대부분이 다이캐스팅 공정으로 제조되는데, 이 공정은 Mg이 Al에 비하여 주조성이 우수하여 박육제품(thin-wall parts)의 제조가 가능하며, 단위 부피당 Mg원소 자체의 열용량이 작기 때문에, 응고과정에서의 열방출이 작아 시간당 250회의 성형이 가능하여 생산성이 높다. 아울

러 Mg합금 재료는 공구강과 반응하지 않기 때문에 금형과 성형체의 분리가 쉽고 금형마모를 줄일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Mg-9Al-1Zn 합금의 기계적 특성 및 미세구조, 내식특성 등의 고찰과 아울러 다이 캐스팅 방법으로 에어백 케이스를 제조함으로써, 자동차 부품의 소재 경량화를 통한 연비향상 및 환경오염 저감에 기여하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 소재선정 및 시편제조

본 연구의 소재는 다이 캐스팅용 Mg합금 중 Mg-Al-Zn 합금계를 선정하였는데, 이 합금계는 Mg합금계 중 가장 많이 사용되며 주조상태(F), T4 및 T6 열처리하여 사용되고 있다. Mg-Al-Zn 합금계에서, Al은 10% 미만으로 첨가되는데, 이는 Mg과 화합물  $\beta$  ( $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ )상을 형성하여 강화가 이루어지나, 10% 이상 첨가될 경우 재료가 취약해지기 때문이다.<sup>12-15)</sup> 또한 Al은 용탕의 유동성 향상에 기여하기 때문에 금형 주조에 유리하다. 그리고 Zn는 Mg의 원자반경에 의한 고용강화를 유발시키고 Al과 더불어 용탕의 유동성을 증진시킨다.<sup>12-15)</sup> 따라서 본 연구에서는 내식성에 치명적인 영향을 미치는 Cu, Fe, Ni 등을 최대한 억제시킨 Mg-9Al-1Zn (AZ 91D) 합금을 선정하였다. 본 연구에 사용된 용해로는 모합금의

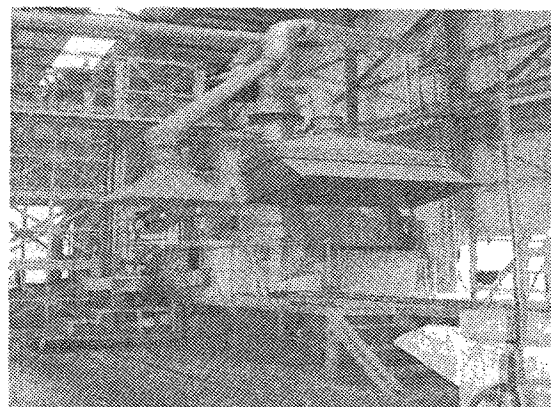


Fig. 1 Electric resistance melter for hot chamber die casting

용해 중 발생하는 산화를 최대한 억제하기 위하여 급속 용해로를 사용하였으며, 용해로 및 보온로를 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 용해시 사용된 도가니는 연강제 도가니를 이용하여 미리 예열된 고순도의 AZ 91D Ingot를 용해하였으며, 용탕의 산화를 방지하기 위하여 SF<sub>6</sub>+CO<sub>2</sub>를 노내에 투입하여 610℃까지 가열후 3시간 유지하였다.

또한 다이캐스팅(Maker : 스위스 buhler사, 모델명 : SC66N)으로 제조된 시편의 화학적 조성은 Table 1에 나타낸 것과 같으며, 부식에 치명적인 역할을 하는 Cu, Ni, Fe의 함량은 기준치를 충분히 만족하였다.

Table 1 Chemical composition of Mg-9Al-1Zn alloy

elements	Al(%)	Zn(%)	Mn(%) (min)	Si(%) (max)	Cu(%) (max)	Ni(%) (max)	Fe(%) (max)	Other (%)	Mg(%)
AZ91D ASTM specimen	8.3- 9.7	0.35- 1.0	0.15	0.01	0.03	0.002	0.005	0.02	bal
Research specimen	9.31	0.97	0.19	0.01	0.001	ND	0.001	bal	bal

### 2.2 기계적 특성조사

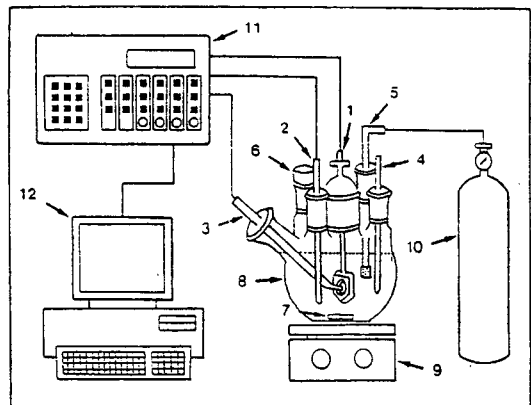
인장시험(시험편 규격 : ASTM B557 97)은, 시편의 주조상태에서 단면적 28 ±0.5mm<sup>2</sup>, 표점거리 6±0.1mm의 봉상형태의 인장시편을 사용하였으며, 크로스헤드 스피드를 0.5mm/min으로 하여 인장시험을 행하였다. 인장시험에 사용된 인장시편의 갯수는 3개 또는 4개를 사용하여 이를 산술평균하였다. 또한 경도측정은 마이크로 비커스(Microvickers) 경도기로 하중 500g, 부하시간 10초로 하여 10-15회 측정하여 산술평균하였다.

### 2.3 미세조직관찰

주조조직의 조직변화를 조사하기 위하여, 시편의 중간 평면 부위를 채취하여 2g oxalic acid + 100ml H<sub>2</sub>O로 부식시켜 광학 및 주사전자현미경으로 관찰하였다.

### 2.4 내식성 조사

Fig. 2는 potentiostat 장치 및 그 주변기기로, EG & G Potentiostatic / Galvanostat Model 273을 사용하여 컴퓨터로 제어하며 분극시험을 행하였다. working electrode는 전극 반응면적이 0.95cm<sup>2</sup>가 되도록 하였고, 시편홀더는 plate형으로 가공하였다. counter electrode는 탄소봉을, reference electrode는 saturated calomel electrode를 사용하였다. 시편은 직경 15mm, 두께 3mm의 원판형으로 제작하여 0.3µm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>연마제로 폴리싱한 후 아세톤으로 충분히 초음파 세척하였으며, 내식성 시험은 실온에서 완충용액인 0.03% NaCl 전해액을 사용하여 행하였으며, 실험시작 30분전에 Ar 가스를 주입하여 전해액의 용존산소를 최소화하였다.



- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 1. working electrode   | 2. counter electrode  |
| 3. reference electrode | 4. thermometer        |
| 5. gas bubbler         | 6. rubber cork        |
| 7. magnetic stirrer    | 8. 6-neck flask       |
| 9. hot plate           | 10. Ar gas            |
| 11. potentiostat       | 12. personal computer |

Fig. 2 Schematic diagram of electrochemical polarization experimental apparatus

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 관찰

Fig. 3은 Mg-9Al-1Zn 합금의 주조상태의 조직으로서, 가압 방향에 따른 주조조직을 조사하기 위하여, 다이캐스팅기의 플런지 가압방향 및 단면방향에서의 주조조직을 관찰하였다. 즉, (a)는 가압 방향에서의 주조조직이며, (b)는 가압 단면에서의 주조조직으로서, 양 방향 조직 모두에서 수지상 조직을 하고 있음을 알 수 있다. 특히, 가압 방향에서의 주조조직인 (a)가 가압 단면방향인 (b)보다 더욱 미세하게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 가압 방향이 가압 단면방향보다 용탕이 받는 압력이 커짐으로써

주조결함의 원인이 되는 미소기공(microporosity)의 발생이 억제<sup>16)</sup>되었기 때문이라고 생각할 수 있다. 그리고 가압 방향과 가압 단면방향의 경도값은 55.9Hv, 53.2Hv를 각각 나타내었는데, 이는 결정립 미세화에 따른 입도강화 효과로 볼 수 있다. 그리고 Fig. 4는 고배율로 확대된 광학현미경의 조직과 도식도를 나타낸 것으로서, Mg 고용체인 초정  $\alpha$ 상,  $\alpha$ 와 화합물  $\beta$ (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>)상은 divorced eutectic을 형성하고 있는데 공정내의 까만 부분이  $\beta$ 상임을 알 수 있다. 이러한 공정상은 비평형 응고의 결과로 볼 수 있는데, 즉, 응고시 계면전방에 축적된 용질에 의하여 응고전면의 액상은 평형응고 온도 아래서도 액상으로 존재하는 조성적 과냉상태가 되며, 이에

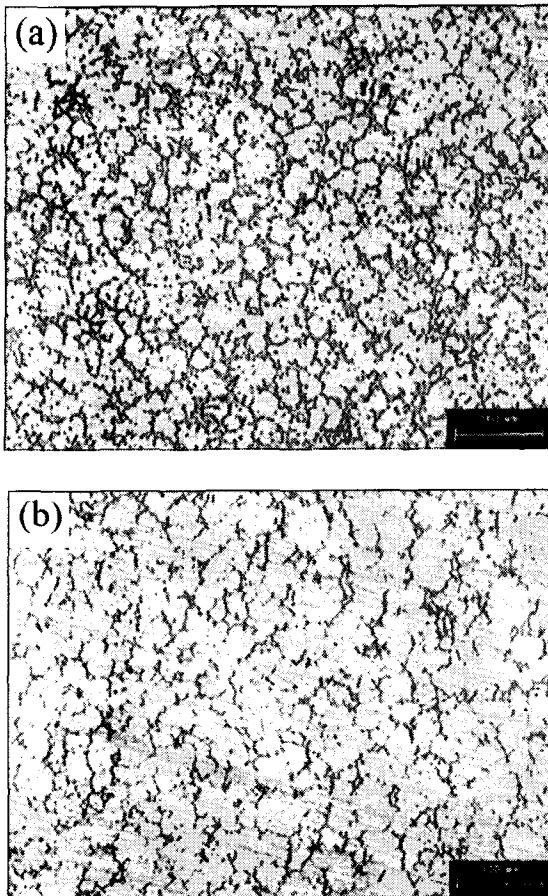


Fig. 3 Optical micrographs of Mg-9Al-1Zn alloy as fabricated

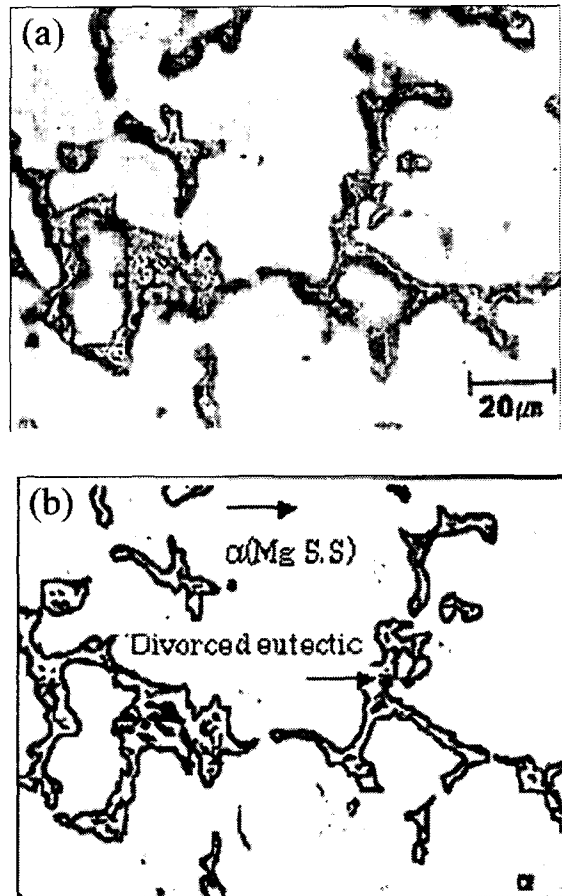
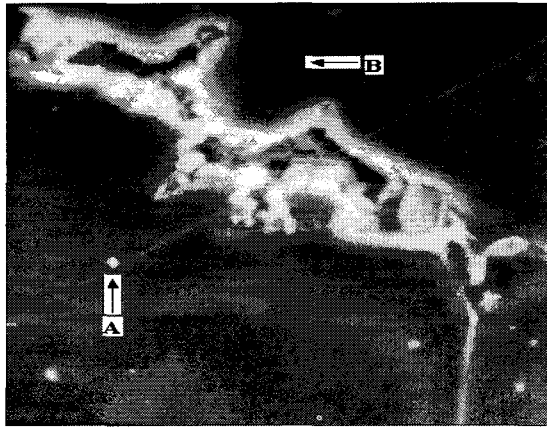


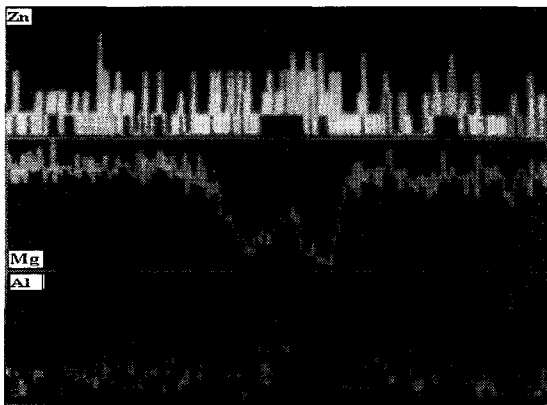
Fig. 4 Optical micrograph and schematic of microstructure

의해 고/액 계면이 불안정하게 되어 수지상이 생기게 되는데, 이러한 수지상들이 성장함에 따라 용질을 액상쪽으로 내놓음으로써, 서로 만나 고립된 액상을 형성하게 되는 최종 응고부에서의 과포화된 공정조직으로 볼 수 있다.

Fig. 5는 Mg-9Al-1Zn 합금의 주조상태에서의 주사식 전자현미경 조직과 EDS 분석 결과를 나타낸 것이다. 화합물로 관찰되는 상들은 대부분 수지상 경계에 존재하였으나 일부는 수지상내에서도 관찰되었다. A영역은 Al과 Mg의 피크가 같이 나타난 것으로 보아 β상(응고과정 정출된 Mg과 Al화합물 : Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>)이며, B영역은 α상(Mg고용체)이다.



(a) Morphology



(b) Line scanning

Fig. 5 SEM microstructure (a) and EDS analyses(b) of Mg-9Al-1Zn alloy

### 3.2 기계적 특성

본 연구에 사용된 AZ91D 합금의 기계적 특성을 ASTM 기준 AZ91D 합금과 비교하여 Table 2에 나타내었다. 본 시험결과 최대 인장강도와 항복강도는 각각 231.4MPa, 163.2MPa를 나타내어 ASTM 기준치인 230MPa, 160MPa에 적합한 값을 나타내었다. 그리고 연신율이 3.4% 정도로 낮은 이유는 Mg의 결정구조가 조밀육방형으로서 슬립시스템이 작고 Al 원소가 9%정도 첨가되어 석출물인 β상의 분율이 높기 때문으로 해석할 수 있다.

Table 2 Mechanical Properties of Mg-9Al-1Zn alloy

Alloy	casting	UTS (MPa)	YS (MPa)	elongation(%)	Hardness (Hv)
AZ91D	Die Casting	231.4	163.2	3.4	54.5

Fig. 6은 파단면을 나타낸 사진으로서, 주된 파괴형태는 결정입계에서 파괴가 일어나는 취성파괴 형태를 나타내고 있다. 즉 결정입계 주변에 입자들이 모여 있는 것으로 보아 수지상 경계를 따라 파괴가 일어났음을 알 수 있으며 결정입내는 dimple이 일부 관찰되고 있다.

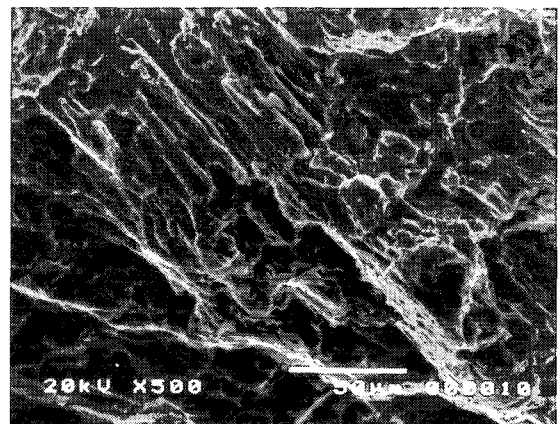


Fig. 6 SEM fractograph of Mg-9Al-1Zn alloy

### 3.3 내식성 조사

Fig. 7은  $\text{KH}_2\text{PO}_5\text{-NaOH}$  완충용액으로 pH 7로 조정된 0.03% NaCl 전해액에서 AM60(M1), 380Al(M2) 및 AZ91D(M3) 시편에 대하여 전류밀도 ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ) 변화에 따른 전위의 변화를 측정된 것으로서, 본 연구시편인 M3시편은 M1 및 M2시편에 비하여 높은 부식 전위값을 나타내었으며, 활성화 영역도 상당히 감소하였다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 분극시험 측정결과를 Table 3에 나타내었는데, 표에서와 같이 세가지 시편 중, M3시편이 다른 두 시편의 경우보다 부식전위값이 높게 나타났으며, 또한 분극곡선에서 측정된 부식전류밀도와 시편의 부식반응면적, 밀도 및 등가량으로부터 각각의 부식속도를 계산한 결과에서도 M3 시편의 경우, 부식속도가 가장 감소하였음을 알 수 있다. 이로 보아 Mg-9Al-1Zn 합금이 다른 Mg계 합금보다도 내식성이 양호하다고 할 수 있다.

이러한 실험결과 및 고찰 등을 거친 후, hot chamber 방식의 다이캐스팅 주조방법으로 고순도 AZ91D 합금을 사용하여 Fig. 8에서와 같은 두께 2.1mm, 중량 123.1g의 에어백 케이스 시작품을 제작하였다.

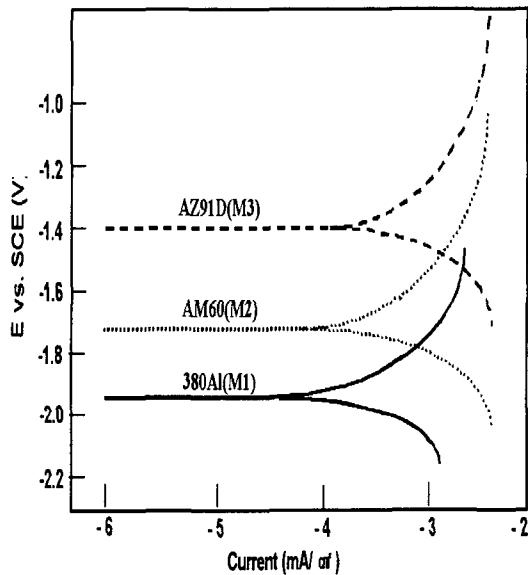


Fig. 7 Potentiodynamic polarization of AM60 (M1), 380Al(M2) and AZ91D(M3) alloys in a deaerated 0.03% NaCl buffered with  $\text{KH}_2\text{PO}_5 \cdot \text{NaOH}$  (pH7.0)

Table 3 Corrosion properties of AM60(M1), 380Al (M2) and AZ91D(M3) alloys in a deaerated 0.03%NaCl solution (pH7.0)

	A	d	E.W.	Ecorr.	Icorr.	C.R.
	$\text{cm}^2$	$\text{g}/\text{cm}^3$	g	V	$\mu\text{A}/\text{cm}^2$	mpy
M1	0.95	1.68	10.82	-1.92	0.7321	0.65
M2	0.95	1.79	10.92	-1.71	0.6825	0.58
M3	0.95	1.85	10.95	-1.40	0.5895	0.43

A : area      D : density  
 E.W. : equivalent weight  
 Ecorr. : corrosion potential  
 Icorr. : corrosion current density  
 C.R. : corrosion

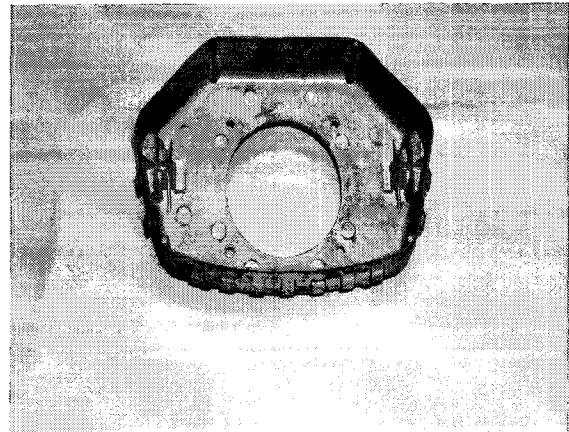


Fig. 8 Photo of air back case trial manufacture

### 4. 결론

자동차 소재 경량화의 일환으로 박형 주조품의 제조가 가능한 Mg-9Al-1Zn 합금에 대하여 미세조직 관찰, 기계적 특성 및 내식성 조사 등을 수행한 후, 그 합금을 소재로 하여 다이 캐스팅 방법으로

자동차 에어백 케이스 시작품을 제조한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 미세조직은 Mg 고용체인 초정  $\alpha$ 상,  $\alpha$ 와 화합물  $\beta$ (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>)상은 divorced eutectic으로 구성되어 있었다.
- 2) 인장시험 결과 최대 인장강도와 항복강도는 각각 231.4MPa, 163.2MPa을 나타내어 ASTM 기준치인 230MPa, 160MPa에 적합한 값을 나타내었다.
- 3) 전지화학분극시험으로 내식특성을 조사한 결과 연간 부식속도가 0.43mpy를 나타내어 내식성이 양호한 것으로 나타났다.
- 4) hot chamber 방식의 다이캐스팅 주조방법으로 고순도 AZ 91D합금을 사용하여 두께 2.1mm, 중량 123.1g의 자동차 에어백 케이스 시작품 제작이 가능하였다.

### 후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2000년도 산·학·연 컨소시엄 사업 과제로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. T.J.Ruden and D.L. Albright, "Advanced Materials & Process," No. 6, p. 28, 1994.
2. G.A.Chadwick and Bloyce, "Magnesium Alloys and Their Applications," DGM Conf., p.93, 1992.
3. Edward B. and Warda II, "Light Metal Age," February, p. 34, 1989.
4. T.J. Ruden, "SAE Technical paper," No. 900793.
5. J.A. Bolstad, "Proceedings of 51st International Magnesium Association," Berlin, p. 70, 1994.
6. W.A Barnes and L.T. Barnes, "proceedings of 51st International Magnesium Association," Berlin, p. 15, 1994.
7. G.S. Cole, R.A. Finstad and J.C. Grebetz, "Proceedings of 52nd International Magnesium Association," San Francisco, p. 1, 1995.
8. C. Suman, "SAE Technical paper," No. 900794.
9. D.J. Sakkinen, "SAE Technical paper," No. 940779.
10. J.C. Grebetz, "SAE technical paper," No. 930417.
11. C.F. Baker, "Magnesium Alloys and Their Applications," DGM Conf., p. 77, 1992.
12. T.K. Aune, D.L. Albright and H. Westengen, "SAE Technical Paper," No. 900792.
13. C. Suman, "SAE Technical paper," No.890207.
14. T.K. Aune and H. Westengen, "Magnesium Alloys & Their Application," DGM, Conf., p. 221, 1992.
15. T.K. Aune, H. Westengen and T. Ruden, "SAE Technical Paper," No. 940777.
16. M.C. Flemings, "Solidification Processing," McGraw-Hill Book Company, p. 207, 1974.