

# 마그네슘 합금의 압출 가공기술 개발

村井 勉<sup>1</sup> · 松岡 信一<sup>2</sup> · 向山 準<sup>1</sup> · 中川 文昭<sup>1</sup> · 宮本 進<sup>1</sup>

## Advanced Extrusion Technology of Magnesium Alloys

T. Murai, S. Matsuoka, H. Mukaiyama, F. Nakagawa, S. Miyamoto

### 1. 서 론

마그네슘 합금은 실용적인 금속재료 중에서 가장 비중이 작고, 또 비강도가 큰 것으로 경량화를 목적으로 하는 구조설계에 매력적인 재료이다. 특히 수년 동안 강도와 인성이 모두 뛰어난 마그네슘 합금 전신재의 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 노트북 컴퓨터를 비롯한 정보가전기기의 외체는 전신재의 디프드로잉 또는 단조 가공품을 이용되는 등 실용화의 연구에 대한 움직임도 활발하다.

또 도쿄의정서가 시행되어 환경문제에의 관심이 높아지는 가운데 마그네슘 합금은 자동차의 경량화에 의한 연비 향상 및 배출 이산화탄소의 저감에 유효한 재료로 기대하고 있다.

압출 가공기술의 구성하는 3 요소는 빌렛의 제조 기술, 다이스 설계기술 및 압출조건의 제어기술 등이다. 질 좋은 압출 형재를 낮은 가격으로 공급하기 위하여는 이들 3 요소를 기초로 하여 대량생산을 가능하게 하는 제조기술의 확립이 필요하다.

본 원고에서는 마그네슘 합금의 압출가공에 대하여 이들 3 요소를 바탕으로 기본적인 기술을 확립하고 개선하는 외에 이를 종합하여 광폭 박판재의 제조 사례를 소개하였다.

### 2. 마그네슘 합금 빌렛의 제조기술

그림 1 에서 마그네슘 빌렛의 제조공정을 알루미늄의 합금 제조공정과 차이점 및 문제점

을 비교하여 보았다.

마그네슘 합금의 용탕은 세라믹계 내화물과 반응을 일으키므로 사용할 수 없기 때문에 철 도가니를 사용하여 용해를 하여야 한다. 용해시 발화를 방지하기 위하여 SF<sub>6</sub> 가스를 사용하지만 이는 지구온난화에 커다란 악영향을 끼치는 가스이다. 현재 대체 가스의 개발 및 SF<sub>6</sub> 가스를 쓰지 않는 용해방법이 검토 되고 있다. 개재물이나 산화물이 없는 청정한 용탕을 얻는 것이 마그네슘 합금 제조에도 대단히 중요하다. 마그네슘합금의 탈 가스 처리를 후락스로 처리하는 때가 많으나 알곤 가스의 버블링도 시도하고 있다. 그러나 로 앞에서 이루어지는 간편한 용탕 청정도 평가방법 및 산화개재물의 평가방법이 현재 확립되어 있지 않다.

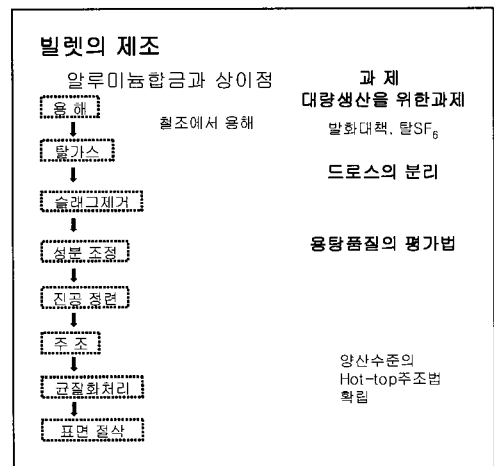


그림 1 마그네슘 합금의 빌렛의 제조공정

1. 三協알루미늄공업(주) 마그네슘 事業推進室 934-8577 射水市奈吳の江 13-3  
 2. 富山県立大學工學部機械システム工學科 939-0398 射水市黒河5180  
 기술해설: 塑性과 加工 (日本塑性加工學會誌) 제46권 제539호, pp. 1156-1161 (2005-12)

이것은 좋은 용탕 품질을 확보하는데 필요한 큰 과제 중의 하나이다. 빌렛 주조는 반연속 주조법으로 행해진다.

빌렛의 균질화처리는 AZ 계의 마그네슘 합금에 있어서 결정립계에 정출하는 Mg-Al 및 Mg-Al-Zn 계의 금속간화합물을 모재중에 고용하여 압출성을 개선하는 효과 이외에 압출한 형재를 안정화하는 효과가 있다. 그림 2 는 AZ31 빌렛의 균질화처리가 압출형재의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사한 결과 이다[1]. 빌렛의 균질화처리에 의해 연신율이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또 그림 2 에서 압출비가 높은 쪽이 압출형재의 연신율이 커지고 있다. 또 압출비가 크고 가공도가 증가함에 따라 압출형재의 결정립은 작아지고 연신율이 증가하고 있는데 이것은 동적재결정에 의하여 결정립이 미세화 했기 때문으로 생각된다.

합금종류		기계적성질		
JIS	ASTM	인장강도 /MPa	항복강도 /MPa	연신율 /%
MS1	AZ31B	230~280	170~210	10~24
MS2	AZ61A	270~320	190~240	9~15
MS3	AZ80A	330~350	230~250	8~10
-	M1A	240~260	150~190	4~8

표 1 AZ 계 압출용 마그네슘 합금의 종류와 기계적 성질의 예

### 3. AZ 계 마그네슘 합금

압출가공에 쓰이고 있는 대표적인 마그네슘 합금과 그 표준 기계적 성질의 예를 표 1 에 나타냈다. AZ31 합금은 압출가공성에 뛰어나 중실재 및 중공재를 막론하고 복잡한 단면형상의 압출가공이 가능하기 때문에 범용적으로 쓰이고 있다. AZ 계의 합금은 알루미늄 아연의 고용경화와 양자간 금속간 화합물의 석출강화를 이용한 합금이며 알루미늄과 아연은 내식성의 개선에 기여하고있는 원소이다.

AZ 계 합금은 일반적으로 Mn 을 첨가한다. Mn 은 내식성을 약화시키는 철의 작용을 억제함과 동시에 압출형재의 결정립을 미세화하는 효과가 있다.

그림3은 알루미늄3%, 아연1%을 함유한 AZ31 합금을 기본 조성으로 Mn을 0% 에서 0.8%까지 변화해 가며 압출형재의 내부조직의 변화를 나타낸

결과이다[2]. Mn을 첨가한 형재는 결정립경이 미세하게 되어 있어 Mn의 결정립 미세화 효과를 확인할 수 있다. 그러나 Mn량이 0.2% 이상에서는 결정립경의 변화는 없으며 Mn 0.2% 이상에서는 첨가효과가 없음을 알 수 있다.

그림 4 는 표면 균열에 미치는 Mn 의 첨가효과를 조사한 결과이다. 0% Mn 에서는 현저한 균열이 보이지만 0.2~0.4% Mn 에서는 표면 균열의 발생이 억제되었다. 그러나 Mn 량이 0.6%이상의 영역에서는 다시 표면 균열 발생하기 쉽게 되어 표면 균열이 발생하기 어려운 Mn 의 적정값이 존재한다는 것을 알 수 있다. Mn 의 함량이 0.2~0.4% 범위에서 표면 균열이 억제되는 것은 Mn 의 고용강화에 의한 고온강도가 향상했기 때문이라 생각된다. 또 Mn 의 함량이 0.6%이상에서 표면 균열이 발생한 것은 조대한 Al-Mn 계 금속간화합물을 기점으로 파괴가 발생했기 때문이라고 생각된다.

AZ61 합금은 중고강도 합금이며, 구조재 등으로 쓰여진다. AZ 계의 합금은 알루미늄과 아연의 고용경화와 양자간의 금속간화합물의 석출강화에 의해 경화를 꾀한 합금이다. Al 과 아연은 내식성의 개선에도 기여하고 있다.

또 AZ61 합금은 열처리가 가능한 합금이며, T5, T6 처리를 함으로서 강도가 약간 상승함을 알 수 있었다.

### 4. 압출한계 속도와 고속 압출용 마그네슘합금의 개발

Mg 합금 뿐만 아니라 일반적인 재료의 압출성을 평가할 경우에 압출 한계속도선도를 이용한다. 그림 5 에 압출 한계속도의 모식도를 나타냈다. 빌렛 온도가 어느 온도에 도달하기 까지 빌렛 온도가 높아짐에 따라서 재료의 변형저항이 작아지기 때문에 압출 프레스 가압 능력에 의존하여 결정되는 한계압출속도는 상승하는 것을 알 수 있다.

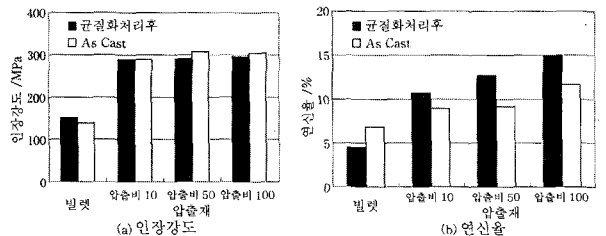


그림 2 AZ31 합금 압출형재의 기계적성질에 미치는 빌렛 균질화처리의 영향

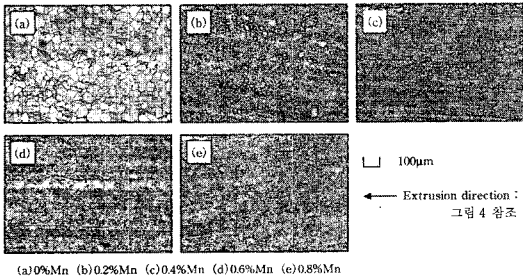


그림 3 AZ31 합금 압출형재의 내부조직에 미치는 Mn의 영향

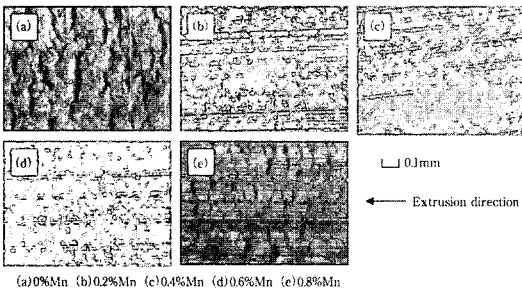


그림 4 Mn량을 변화시킨 AZ31 합금 압출형재의 표면 균열

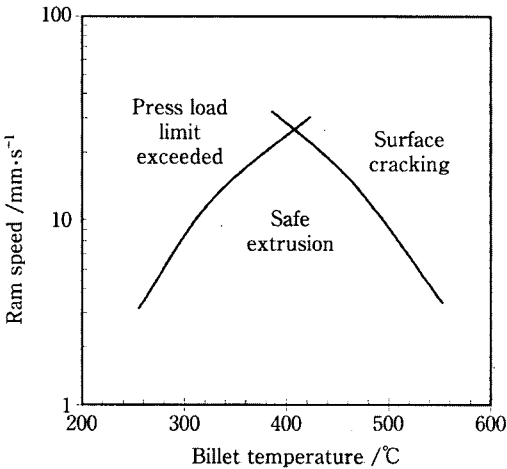


그림 5 한계압출속도의 모식도

빌렛 온도가 어느 임계값 이상에 도달하면 한계압출속도는 압출형재의 표면에 발생하는 결함에 의해 결정된다. Mg 합금의 표면에 발생하는 주된 결함은 표면 균열과 표면 산화를 들 수 있다. 한계압출속도선도에서 압출 가능한 영역이 넓은

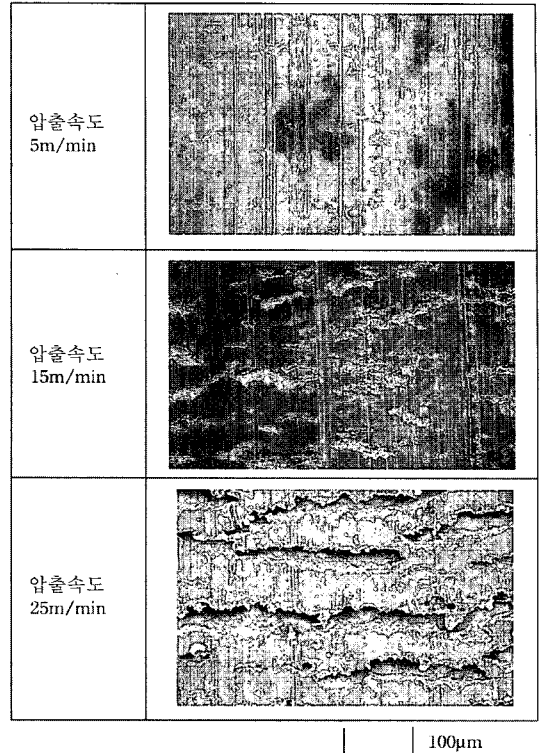


그림 6 AZ31 합금의 압출속도와 표면균열(빌렛 온도 400℃)

쪽이 압출성이 좋은 재료라 말할 수 있다. 그림 6은 AZ31 합금을 빌렛 온도 400℃로 압출했을 때 압출속도와 표면 균열의 관계를 나타낸 것이다. 표면 균열의 발생은 공정용해가 하나의 원인이며, Al의 함유량이 높아지고 저용점 금속간화합물의 양이 증가하는데 따라 표면균열의 발생에 의한 한계압출속도는 저하한다.

그림 7은 Barnett 등에 의해 측정된 AZ10 합금과 AZ31 합금의 한계압출속도선도이다[3]. AZ31 합금과 비교하면 AZ10 합금은 양호한 압출성을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 특히 고온측에서 표면균열발생에 관한 압출가능영역이 넓게 나타나고 있음을 알 수 있다.

필자 등은 Al함유량이 낮은 계의 합금에서 고속 압출 가능성을 검토하였다. Al함유량을 0.5, 1.0, 2.0 Mass%로 낮은 값을 설정하여 아연과 Mn의 함유량을 각각 0~0.5Mass%, 0~0.3Mass%의 범위로 변화시킨 빌렛을 만들고 압출압력과 압출속도를 구하였다. 빌렛의 직경은 90mm, 빌렛 온도는 400℃, 압출비는 89이며 channel형에서 판재 형상으로 밀어냈다.

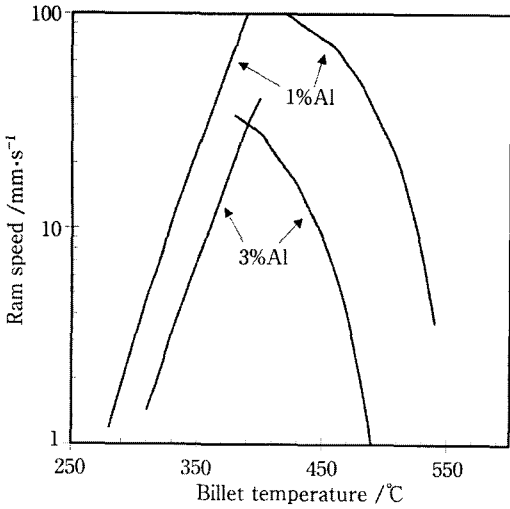


그림 7 AZ10, AZ31의 한계압출속도[3]

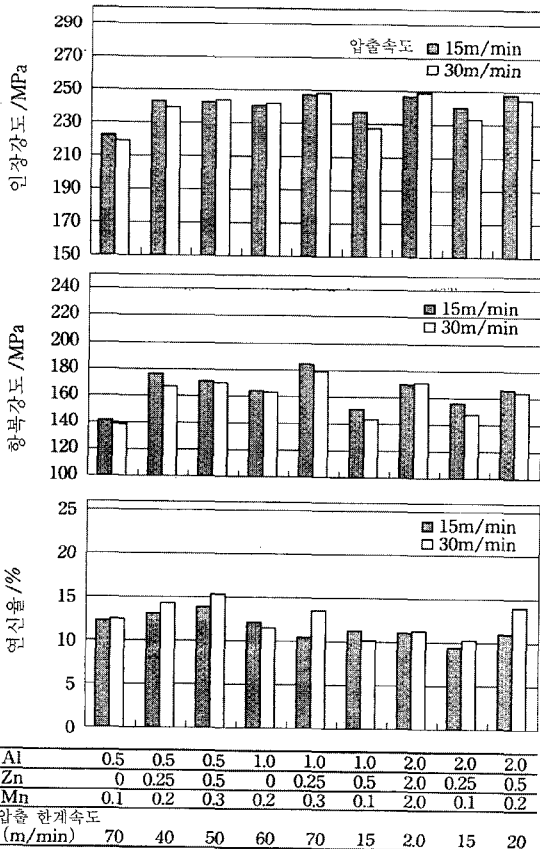


그림 8 저 Al 합금의 한계압출속도와 기계적 성질

그림8은 이 합금의 한계압출속도와 기계적 성질을 나타낸 것으로 Al함량이 1%의 AZ10합금에서 한계압출속도가 70m/min로 양호한 압출가공성을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 또 알루미늄, 아연, Mn의 조성비율을 적절하게 설정함으로써 AZ31합금에 필적하는 기계적 성질이 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다[4].

고속으로 압출하는 것은 비용 절감은 물론 압출 후에 스트레칭에 의한 교정이 가능한 장점이 있다. 마그네슘 합금은 냉간에서의 소성가공성이 떨어져 절단 및 인장가공 할 때 파단이 일어나기 때문에 일반적으로 인장 교정은 어려운 재료이다. 그러나 고속 압출 후 곧 인장가공을 하면 온도가 높은 상태가 유지 되기 때문에 인장교정이 가능하게 된다.

### 5. 다이스구조와 압출형재의 표면상태

여기서는 다이스의 구조와 표면형상의 관계에 대하여 기술하였다. 그림 9는 다이스 반각을 변화시켜 AZ31 합금을 환봉로 압출하였을 때 압출형재의 표면 거칠기를 나타내고 있다. 표면조도는 압출방향에 평행하게 측정하였다[5~6].

Mg 합금 압출형재의 표면 파괴는 압출 방향에 대하여 수직방향으로 발생하기 때문에 표면조도는 파괴발생의 정도를 표에 나타내고 있다. 다이스 각도 90°에서 그림 10에 보이는 것과 같은 미소한 요철이 다수 관찰되고 Ra의 값은 커지고 있다. 이에 반해 다이스 반각 30°, 45° 및 60°에서는 그림 10에 다이스 반각 60°의 예를 보는 바와 같이 다이션을 명확하게 볼 수 있으며 매우 좋은 압출형재 표면을 얻을 수 있었다. 그러나 여러가지 이형단면을 갖는 압출형재를 생산할 때는 30~60°의 다이스반각 다이스는 형상적인 제약이 크고 다이스 가공도 곤란하게 된다. 그래서 압출다이스의 구조로서 입구에 베어링 반경 R을 주어 제작하는 방법, 반각다이스를 쓰는 대신 날개형 유동가이드를 사용하는 방법, 베어링 각도를 변화시키는 방법 등 3 종류의 구조를 갖는 다이스를 제작하여 압출형재의 표면형상의 개선에 효과를 검토하였다[7].

다이스구조의 개략도를 그림 11에 보였다. R 붙은 다이스 및 날개형 유동가이드를 써서 압출 표면조도를 그림 12에 보였다. R 다이스와 날개형 유동가이드를 붙인 다이스 이든 다이스 반각 90°와

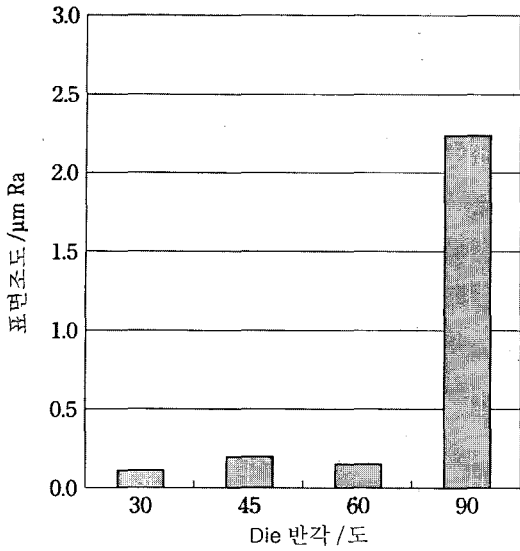


그림 9 다이스 반각과 압출형재의 표면조도와의 관계(압출방향에 대하여 평행하게 측정)

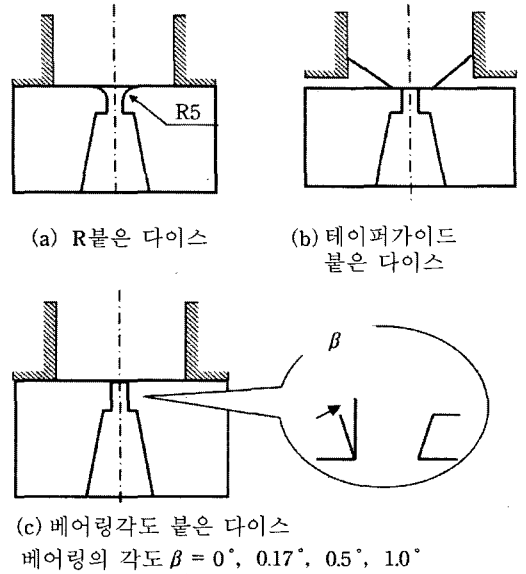


그림 11 압출실험 다이스 구조

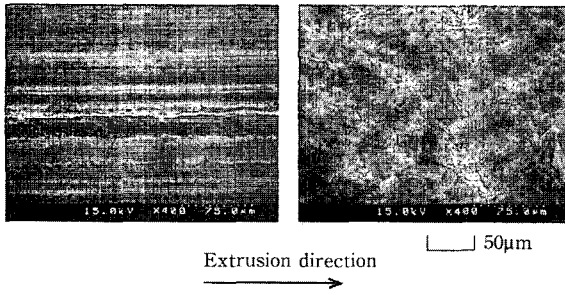


그림 10 압출형재 표면 외관(다이스 반각의 영향)

베어링 각도 0°인 평범한 다이스와 비교하면 표면조도가 낮은 평활한 표면을 얻을 수 있었다. 그러나 날개형 유동가이드를 부착한 경우 압출형재의 표면은 평활한 부분과 미소한 요철이 다수 존재하는 부분이 혼재하여 표면형상은 불안정하였다. 이 원인으로서 날개형 유동가이드를 부착한 경우에 금속유동이 불안정하게 되기 때문이라고 생각된다.

그림 13 은 다이스 베어링의 각도를 브레이크 쪽에 설치하여 압출한 후에 압출형재의 표면형상에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 표면조도는 압출방향에 대하여 평행방향으로 측정하였다. 스트레이트 베어링의 0°와 비교하여 베어링 각도

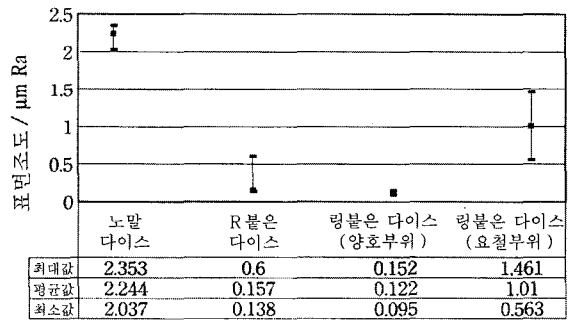


그림 12 여러가지 다이스형상이 압출형재의 표면 성상에 미치는 영향

0.17°, 0.5°, 1.0°를 브레이크 쪽에 설정한 경우에는 압출형재의 표면조도(Ra)값이 작고 평활한 표면이 얻어짐을 알 수 있다. 베어링 각도를 브레이크 쪽에 설정하는 의하여 베어링의 출구 근방에서 소멸효과가 작용하여 표면이 평활하게 되었다고 생각된다.

## 6. Mg 합금 압출형재를 이용한 제품의 예

확립된 Mg 합금 제조기술을 이용하여 AZ10 합금이나 AZ31 합금이 연질계의 Mg 합금에서는 형태와 유동성에 관계 없이 복잡한 단면 형상의 제

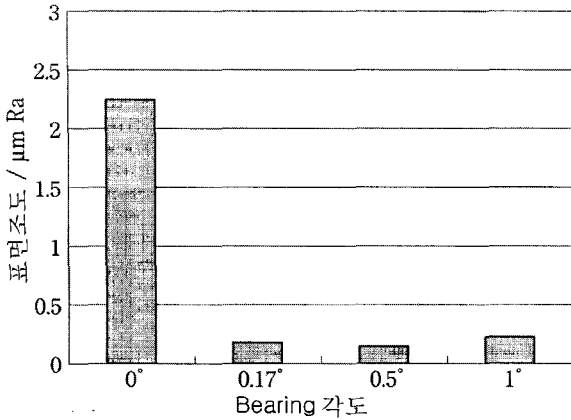
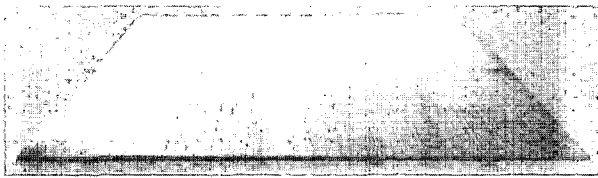


그림 13 베어링 각도와 표면조도의 관계



압출 가능한 최소 판두께/mm  
 판폭 : w = 130, 판두께 : t = 0.4  
 판폭 : w = 300, 판두께 : t = 1.0

그림 14 압출 판재의 예

품생산이 가능하다.

그림 14는 마그네슘 압출판재의 예이다. 마그네슘합금은 슬래브 주조로 판재를 제조할 경우 많은 회수의 패스가 필요하다. 이것을 한 공정의 압출가공으로 박육판재의 제조가 가능하게 된다. 현재 판폭 130mm 인 경우 최소한 두께 0.4mm 의 압출판재를 생산할 수 있었다.

그림 15는 압출판재를 소재로 하여 프레스 단조법으로 생산한 미니 디스크 플레이어와 디지털 카메라의 예이다.

또 압출가공법에 의해 어느 정도의 두께로 만든 판재를 소재로 하여 최종적으로 압연가공으로 마무리하는 공정이 도입되고 있다. 마무리 압연에 의해 두께의 균일화, 표면상태의 변경 및 기계적 성질의 변경 등을 할 수 있다. 그림 16은 압출가공 후에 압연가공을 실시하여 얻어진 판재를 소재로 한 노트북 컴퓨터의 예이다. 견고한 몸체와 수려한 표면을 자랑하고 있다.

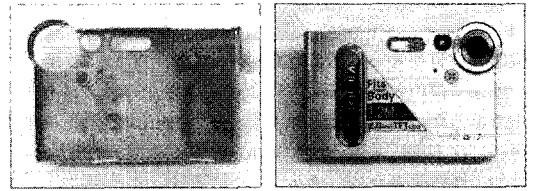
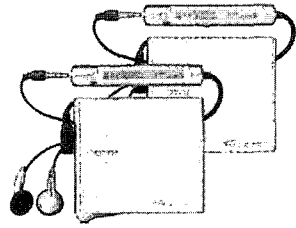


그림 15 압출판재를 소재로 하여 제조한 정보가전 기기의 예

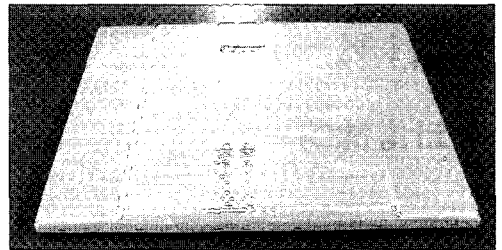


그림 16 노트북 컴퓨터 외체 (압출판재를 원소재 로하여 압연한 재료를 소재로 사용)

## 7. 결 론

처음에 서술한 바와 같이 마그네슘 합금 전신재의 용도가 활발히 확대되고 있다. 특히 유럽에서는 마그네슘 합금의 전신재를 자동차에 적용하여 시작품을 만든 예가 몇 가지가 보고 되고 있으며, 산학협동 프로젝트도 활발하게 진행되고 있다. 마그네슘 합금 압출형체를 처음으로 자동차 구조재에 적용하기 전에 높은 고강도재료의 개발, 소성가공성, 표면처리의 개선, 설계 데이터의 축적 등 해결해야 할 과제가 남아 있다. 그리고 무엇보다도 양산기술 체제의 확립에 의한 저가화의 실현이 어려운 실정이다. 앞으로 발전에 기대하고 있다.

마지막으로 이번에 “마그네슘 합금의 압출가공 기술의 개발” 이라는 제목으로 기술개발상을 받아 대단히 큰 영광으로 생각합니다. 이것을 격려

로 삼아 마그네슘 합금 압출형제의 실용화 개발에 더욱 노력할 생각입니다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 村井勉, 松岡信一, 宮本進, 沖善成: 輕金屬 51-10(2001), 539~543.
- [2] T. Murai, H. Oguri, S. Matsuoka : Magnesium Science, Technology and Application, Materials Science Forum, 488-489(2004), 515~518.
- [3] C. Davis, M. Barnett : JOM(2004), 22.
- [4] 村井勉, 松岡信一, 宮本進, 沖善成, 佐野秀男, 永尾誠一 : 輕金屬學會 100 回春季大会講演概要(2001), 273~274.
- [5] 松岡信一, 村井勉, 宮本進, 沖善成 : 51 回塑加連講論(2000), 235~236.
- [6] 松岡信一, 鈴木幸徳 村井勉 宮本進 沖善成 : 8 回機械材料 材料加工技術講演会(2000), 331~332
- [7] 松岡信一, 村井勉, 鈴木幸徳, 宮本進, 沖善成 : 平 13 塑加春講論, (2001), 227~228.