

## AZ31마그네슘합금의 프레스포징시 FE해석

황 종 관<sup>1)</sup> · 강 대 민<sup>\*2)</sup>

부경대학교 대학원<sup>1)</sup> · 부경대학교 기계공학부<sup>2)</sup>

### FE Analysis on the Press Forging of AZ31 Magnesium Alloy

Jongkwan Hwang<sup>1)</sup> · Daemin Kang<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

(Received 25 May 2005 / Accepted 19 October 2005)

**Abstract :** Magnesium alloys have been widely used for many structural components of automobiles and aircraft because of high specific strength and good castability in spite of hexagonal closed-packed crystal structure of pure magnesium. In this paper, FE analysis was executed about the formability of AZ31 magnesium alloy on press forging process. For this, the variation of sheet temperature, distribution of punch force and the effect of heat transfer and friction between punch and sheet on the forming characteristics during press forging of AZ31 has been analyzed by finite element analysis. In order to obtain temperature dependence of material characteristics, uniaxial tension tests at elevated temperature were done under temperature of 100°C ~ 500°C.

**Key words :** Finite element method(유한요소법), Press forging(프레스포징), Magnesium alloy(마그네슘합금), Formability(성형성), Heat transfer(열전달)

#### Nomenclature

K : temperature  
Uts : ultimate tensile stress  
Ys : yield stress  
El : elongation

#### 1. 서 론

마그네슘은 밀도가 1.74g/cm<sup>3</sup>로 실용금속중 가장 가벼운 금속으로서 Al, Zn, Mn, Zr등과 합금화시킬 경우 알루미늄 합금의 2/3, 티타늄합금의 1/4, 철강 재료의 1/5 수준의 밀도를 가지게된다. 이러한 마그네슘합금은 비강도가 우수하고 치수안정성, 기계가

공성, 진동흡수능, 전자과 차폐성등이 뛰어나 수송 기계 및 전자부품등 구조용 재료로서 주목을 받고 있다.<sup>1-3)</sup> 그러나 조밀육방정 구조에따른 가공성의 불량, 용해시 높은 산화성과 폭발성, 해수 및 대기에서의 내식성이 불량하여 그 사용이 제한되어왔다. 한편 생산단가와 제품의 품질의 양면에서 동시에 강점을 지니고 있는 단조품은 고강도 및 내구성이 요구되는 부품의 제조 방법으로 널리 사용되고 있으며 가격 경쟁력과 품질 경쟁력을 동시에 갖출 수 있다. 그러나 부품생산에서 단조공정의 개발에 필요한 시간과 경비는 일반적으로 매우 크다. 단조공정 설계기술은 지금까지는 주로 경험에 의존하여 실시되어 왔으나 현재는 CAE 기술의 개발과 활용으로 많은 발전을 해왔고 많은 단조회사에서 이 기술을 개발기간의 단축, 공정비용절감등의 이유로

\*To whom correspondence should be addressed.  
dmkang@pknu.ac.kr

매우 유용하게 활용하고 있다. 이러한 CAE의 적용은 프레스포징공정에 발생하는 금형 속의 재료유동등을 가지적으로 관찰하여 최적의 금형을 설계하기 위한 자료로 활용 할 수 있으나 이에 관련된 연구<sup>4)</sup>로는 매우 불충분한 실정이다.

본 연구의 목적은 고온에서 높은 연성을 가진 AZ31마그네슘합금의 프레스포징공정에서 CAE를 적용하여 프레스포징시 재료의 고온성형특성을 해석하고자 한다. 이를 위해 100°C ~ 500°C의 온도범위에서 고온인장시험을 통하여 AZ31마그네슘 합금의 재료물성치의 온도의존성을 구한 후 유한요소 해석을 수행하여 AZ31 마그네슘합금의 프레스포징시 재료의 성형성을 예측하고자 한다.

## 2. 고온인장시험

### 2.1 시편 제작 및 실험

고온인장시험은 Norsk Hydro Corporate에서 생산된 AZ31잉곳을 이용, 1250톤 압출기에서 생산된 압출봉재를 사용하여 ASTM규정의 시험편을 제작하였다. 시험기는 ZWICK Z100 인장시험기 모델을 사용하였고, 크로스헤드속도는 10mm/min으로 시험하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 고온인장시험기를 나타낸다.

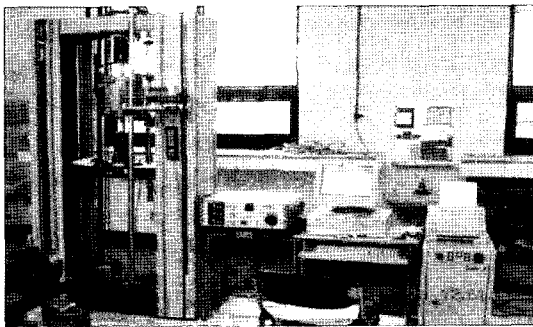


Fig. 1 Uniaxial tension tester

### 2.2 유한요소해석

주조, 압출, 열간 박판성형 그리고 단조 등의 금속 성형 공정에서는 열-기계적 해석이 요구되어 진다. 이경우 물체에 전달되는 열이 열변형률과 재료 물성치에 영향을 주게 되므로 물체의 변형에 기여하

여 열전달에 의한 경계조건의 변화와 더불어 대변형이 발생하게 된다. 고온 단축인장시험에서 구해진 재료물성치의 온도의존성을 이용하여 마그네슘합금 AZ31의 프레스포징시 금형다이와의 열전달을 고려하지 않은 소재의 성형성과 열전달이 발생하는 경우, 해석된 결과를 얻기 위하여 운동법칙과 에너지보존 법칙의 지배를 받는 연계해석을 수행하였다. 그리고 프레스 포징공정의 성형인자 중 펀치와 금형다이의 표면 거칠기의 영향을 관찰하기 위하여 마찰계수를 변화시켜 해석을 수행하였다. 펀치와 금형다이의 윤활조건에 따라 소재가 성형될 때 소재의 변형흐름을 관찰하고 성형에 소요되는 펀치력을 서로 비교하였다. 모델링 및 경계조건의 입력과 결과검토를 위한 전/후 처리기와 해석기는 MSC/MENTAT를 사용하였다. 또 연계해석의 수행을 목적으로 서브루틴을 직접 코딩하기 위한 Fortran Compiler는 Compaq Visual Fortran 6을 사용하였다.

Fig. 2는 각각 위로부터 유한요소해석을 위해 펀치, 소재, 그리고 다이를 모델링한 모양이며 Fig. 3은 물성치 입력을 위한 진응력-진변형률 그래프이다.

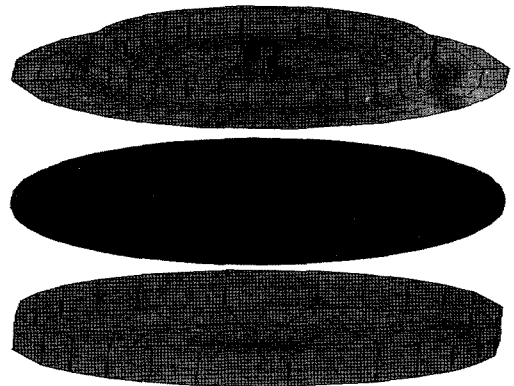


Fig. 2 Modeling of tools for FE analysis

## 3. 결과

### 3.1 고온인장실험결과

Figs. 4-6 등은 293K에서 50K씩 상승하여 673K 온도까지의 인장시험을 한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 온도가 증가함

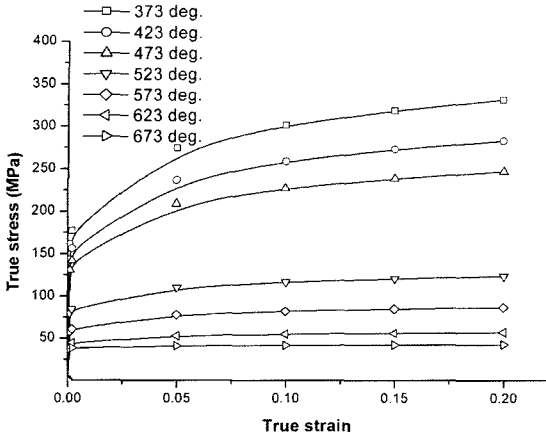


Fig. 3 Relationship between true stress and strain at various elevated temperature

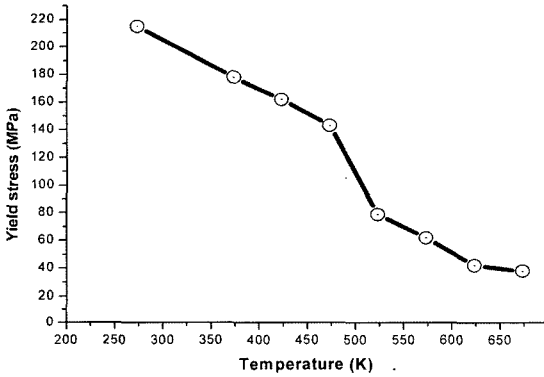


Fig. 4 Relationship between yield stresses and temperatures

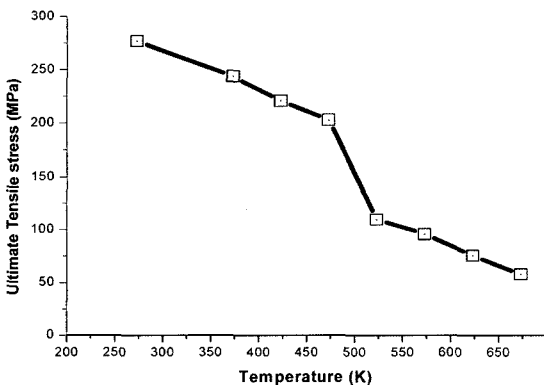


Fig. 5 Relationship between ultimate tensile stresses and temperatures

에 따라 항복응력과 최대인장응력은 급격히 감소하고 연신률은 상당히 증가함을 알 수가 있다.

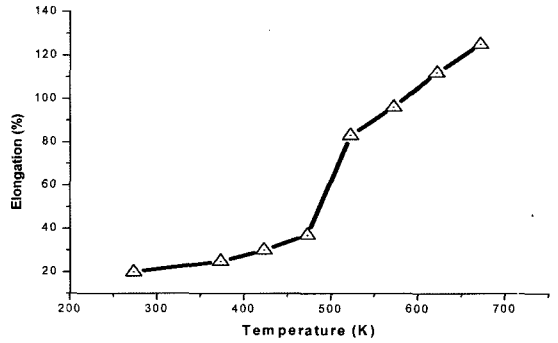


Fig. 6 Relationship between elongations and temperatures

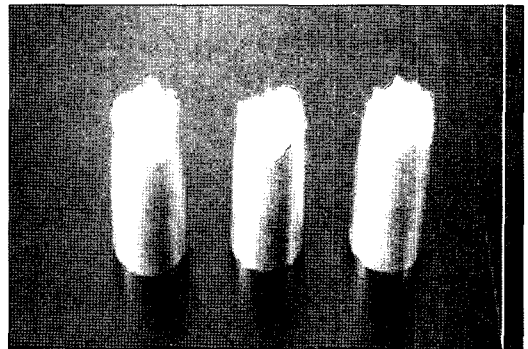


Fig. 7 Results of uniaxial tension test at 373 K

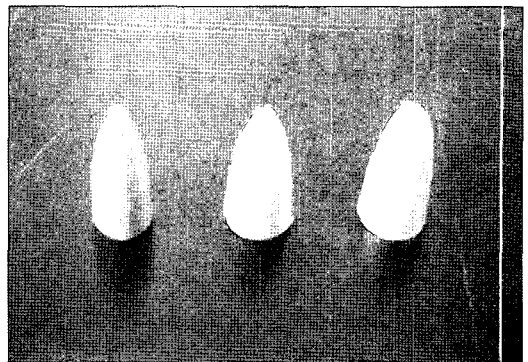


Fig. 8 Results of uniaxial tension test at 673 K

특히 온도 변화에 따른 일축인장시험결과에서 전체적으로 온도가 증가함에 따라서 항복응력과 최대인장응력이 감소한 반면 연신율은 증가하였다. 특히 473K와 523K사이의 온도에서는 항복응력, 최대인장응력 그리고 연신율의 변화의 폭이 매우 크음을 알 수 있다. Figs. 7-8등은 각각 온도조건이 293K, 673K에서의 고온인장시험 후 파단면을 나타낸 결과이다. 673K 시험결과에서는 파단면이 초기 단면보다

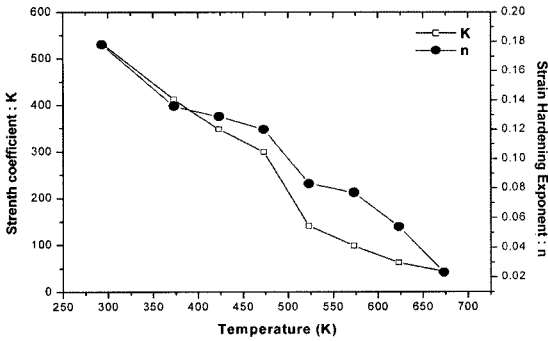


Fig. 9 Relationship between n, K value and temperature

극도로 작아지는 형태가 발생한다. 이것은 온도가 상승함에 따라 마그네슘합금 AZ31의 과단 기구가 낮은 온도에서의 취성과과기구에서 연성과과기구에 의한 과단이 일어남을 알 수가 있다. Fig. 9는 식 (1)에서 표현되는 관계식에서 온도에 따른 가공경화지수n과 강도계수K의 변화에 관한 결과로서 온도가 증가할수록 n과 K값은 감소함을 알 수 있다.

$$\sigma = K\epsilon^n \quad (1)$$

### 3.2 유한요소해석결과

시간에 따른 펀치력의 변화를 해석하기 위하여 펀치속도를 0.1mm/s로 하고 소재의 온도를 373K, 금형다이의 온도를 373K에서 673K까지 변화하여 소재와 금형다이의 온도차이가 프레스포징시 성형에 미치는 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 이 결과에서 알 수 있듯이 금형다이의 온도가 증가할수록 소요되는 펀치력이 현저히 적어지는 것으로 나타났다. 이것은 성형 중 소재와 금형다이의 열전달에 의해 재료의 온도가 상승함으로써 보다 적은 에너지로 성형이 가능함을 알 수가 있다.

Fig. 11은 펀치와 금형다이의 온도를 소재의 온도인 373K으로 해석한 결과이다. 해석 후 펀치와 금형다이의 온도가 재료의 온도와 동일하여 열전달이 발생하지 않아 성형 후 재료의 온도는 초기의 온도와 동일함을 알 수 있다. Fig. 12는 금형다이와 펀치의 온도를 소재의 온도 373K보다 큰 673K로 했을 경우의 해석결과이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 해석 후 재료와 펀치 및 금형다이의 접촉영역의 차이에 따라 온도분포가 다르다.

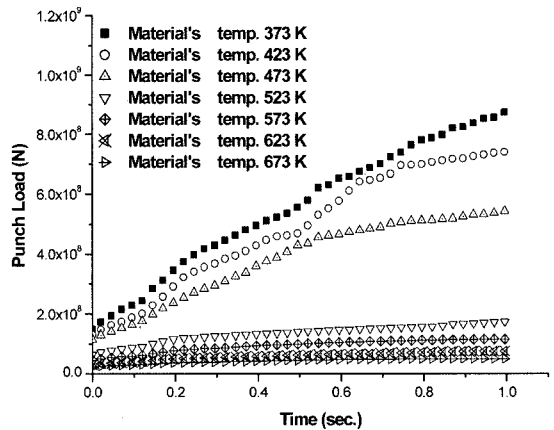


Fig. 10 Relationship between punch force and temperature of tools

특히 보스와 리브부와 같은 펀치의 공공(cavity) 부분으로 재료의 유입이 발생하여 금형과의 접촉이 발생하지 않아 해석 초기의 재료 온도와 비슷하고 펀치부와 넓은 영역에서 접촉하여 열전달이 발생하는 부분의 온도는 펀치의 온도와 비슷한 673K 범위까지 온도분포가 상승한 것을 관찰 할 수 있다. Figs. 13, 14는 해석 종료 후 리브부의 등가응력을 서로 비교한 것이다. 실제 제품에서 일반적으로 보스와 리브 영역은 조립이 이루어지는 곳으로 나사작업을 통하여 다른 파트와 조립되어 진다. 그러므로 보스와 리브영역에 높은 응력이 잔류할 경우 CNC 머신을 이용한 암나사 작업 시 취약한 영역이 될 것이다. 해석의 결과에서 나타나듯이 금형다이와 펀치의 온도가 373K일 경우보다 673K인 경우가 낮은 응력분포가 나타났다. 그러므로 마그네슘합금 AZ31의 프레스 포징에서 금형다이와 펀치로부터의 열전달 효과를 고려해 볼 때 비교적 성형할 재료가 얇은 경우에는 재료를 가열하지 않은 상태에서 펀치와 금형의 열전달로 인해 향상된 성형성을 보임을 알 수 있다. Figs. 15-16의 결과는 금형다이부와 소재사이의 마찰계수를 0.02로 하고 펀치부와 소재사이의 마찰계수를 각각 0.02와 0.1로 하였을 때 소재의 변형을 관찰하기 위한 흐름선들이다. 각각의 결과에서 구동측인 펀치부의 흐름선들이 리브영역으로 유입될 때 금형다이부보다 수평방향으로 기울어지게 나타났다. 이것은 리브영역으로 소재가 유입될 때 금형

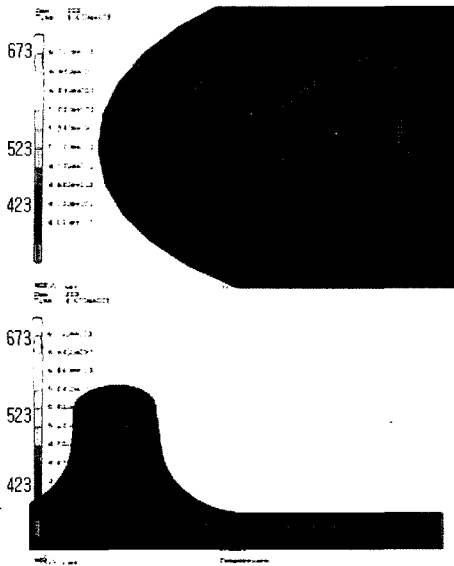


Fig. 11 Temperature distribution under tools temperature of 373K

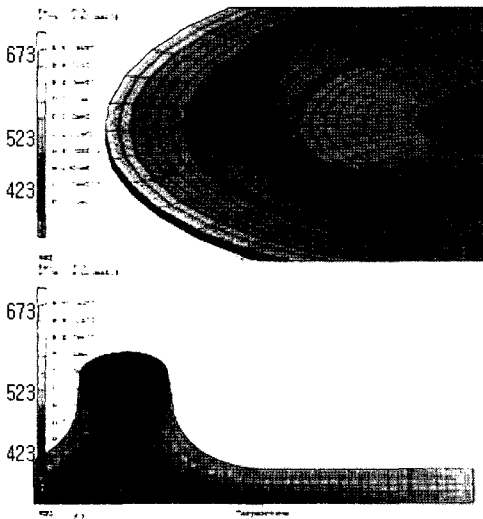


Fig. 12 Temperature distribution under tools temperature of 673K

다이부에 접촉된 부분보다 펀치부에 접촉된 영역의 소재가 속도가 느려졌기 때문이고 이러한 현상은 마찰계수가 클수록 더욱 크게 나타났다. 따라서 소재의 성형흐름은 펀치부와 소재사이의 마찰계수가 작을수록 속도 편차가 적어 리브부의 성형에 펀치부의 마찰계수의 영향이 더욱 크다는 것을 알 수가 있다.

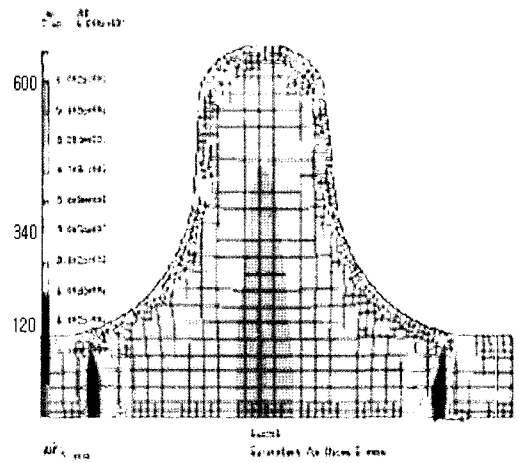


Fig. 13 Equivalent stress under tools temperature of 373 K

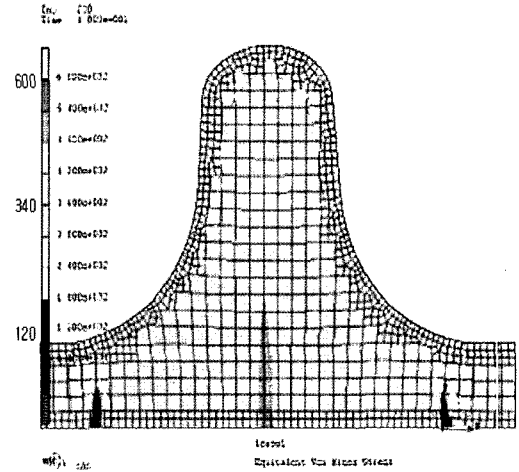


Fig. 14 Equivalent stress under tools temperature of 673 K

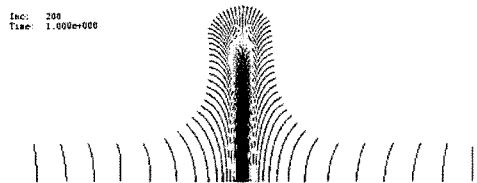


Fig. 15 Flow lines under friction coefficient of 0.02

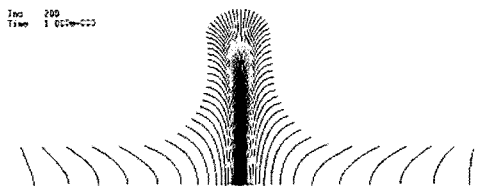


Fig. 16 Flow lines under friction coefficient of 0.1

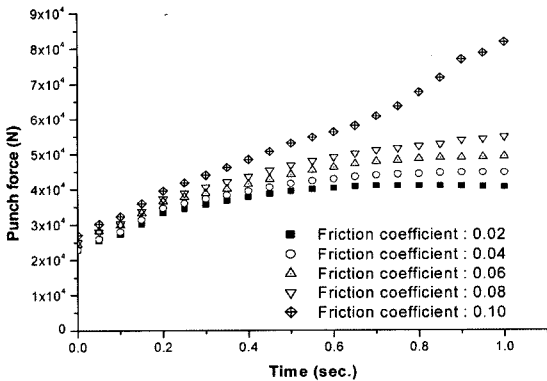


Fig. 17 Comparison of punch force at various friction coefficients

Fig. 17은 소재와 펀치사이의 마찰계수에 따른 펀치력을 비교한 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 마찰계수가 클수록 더욱더 펀치력이 높게 나타나고 있어 이것은 펀치와 금형다이의 마찰 조건이 프레스 단조공정에서 성형력에 매우 큰 영향이 미치기 때문인 것으로 추측된다.

#### 4. 결론

마그네슘합금 AZ31의 프레스 단조 공정을 이용하여 유한요소해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 온도를 293K에서 673K사이의 고온인장시험결과, 온도가 상승함에 따라 항복응력과 최대인장응력은 급격히 감소하였고 연신율은 증가하였다. 특히 온도가 473K에서 523K사이의 온도범위에서는 변화폭은 다른 온도구간의 변화폭보다 현저하게 나타났다.
- 2) 펀치속도를 0.1mm/s로 하고 소재의 온도를 373K, 금형다이의 온도를 각각 373K, 673K으로 했을

경우 소요되는 펀치력을 해석한결과 금형다이의 온도가 증가할수록 소요되는 펀치력은 성형된 리브부의 응력분포는 현저히 저하되었다.

- 3) 펀치부와 소재사이의 마찰계수가 작을수록 소재의 성형흐름에 관계되는 속도편차가 적게 나타나 이러한 결과가 리브부의 성형에 펀치부와 소재사이의 마찰계수 영향이 미치어 소재와 펀치사이의 마찰계수가 클수록 성형에 소요되는 마찰계수는 높게 나타났다.

#### 후 기

이 논문은 2005년도 두뇌한국21사업에 의하여 일부 지원되었음.

#### References

- 1) D. M. Kim, H. S. Kim and S. I. Park, "Magnesium for Automotive Application," Journal of KSAE, Vol.18, No.5, pp.53-67, 1996.
- 2) K. Y. Sohn, "The Effect of Heat Treatment and Orientation on the Mechanical Behavior of Extruded Mg-Al-Zn Alloy," Material Science Forum Vols. 419-422, pp.135-140, 2003.
- 3) Y. Ishida, "Performance Assessment Study of Magnesium Parts Made by Thixomolding," Magnesium Manual, p.107, The Japan Magnesium Association, 1998.
- 4) J. K. Hwang and D. M. Kang, "A Study on Effect of Temperature of Press Forging on AZ31 Magnesium Alloy," J. of KSMPE, Vol.3, No.1, pp.66-71, 2004.