

# 유한요소해석에 의한 마그네슘 합금의 임펠러 제조공정연구

김승돈<sup>1</sup>, 강성훈<sup>2#</sup>, 권용남<sup>2</sup>, 이정환<sup>2</sup>

## A Study on Magnesium Alloy Impeller Manufacturing Process using Finite Element Simulation

S. D. Kim, S. H. Kang, Y. N. Kwon, J. H. Lee

### Abstract

This study focuses on the manufacturing process of a magnesium alloy impeller used for the fuel cell car using the hot forging technology. The impeller has the very complicated shape with sharply curved blade and thus generally produced by mechanical machining or casting process. However, since these technologies give the high manufacturing cost or poor mechanical properties, the forging technology is required to make the high-quality impeller with the lower manufacturing cost. In order for production of the impeller by forging technology, the parametric studies using finite element analyses were carried out to find the optimal perform shape of impeller made of magnesium alloy AZ 31 and finally die design was proposed based on the simulation results.

**Key Words** : Impeller(임펠러), Magnesium alloy(마그네슘 합금), FEA(유한요소해석), Hot forging(열간단조)

### 1. 서론

최근에는 많은 산업분야에서 환경친화적이고, 경량화에 적합한 소재를 적용한 부품개발이 활발히 이루어지고 있다. 특히, 마그네슘합금은 경량소재로서 밀도가 다른 금속에 비해 작고, 비강도, 진동/충격 흡수성, 전자파 차폐성 등 우수한 특성을 가지고 있어 산업용 부품소재로서 각광을 받고 있다.

그러나 마그네슘합금은 특유의 조밀육방구조로 인해 단조성형성이 좋지 않아 대부분 다이캐스팅이나 기계가공에 의해 부품제조가 이루어지고 있는 실정이다.

일반적으로 주조에 의해 제조된 부품들은 표면처리 등의 후공정이 요구되며, 기공이나 내부 결함에 의해 단조품에 비해 기계적 성질이 떨어지는 단점이 있다. 반면, 5축 가공에 의한 임펠러 제

조는 가공 시간이 길며, 생산비용이 타 공정에 비해 매우 고가이므로 생산성 측면에서 매우 비효율적이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 열간단조성형에 의해 마그네슘 합금 임펠러를 제조하기 위한 기반연구로서, 유한요소해석을 수행하였고, 예비성형체 및 금형 형상이 임펠러의 단조성형에 미치는 영향을 고찰하였다. 단조성형공정에는 온도, 펀치 속도, 윤활방법, 예비성형체의 형상 등 다양한 성형조건이 있지만, 복잡한 형상을 갖고 있는 임펠러의 경우 단조성형이 매우 어려워 최적화된 예비성형체 형상을 찾는 데 초점을 두었다. 유한요소해석은 250℃의 등온조건에서 수행되었고, 정형에 가까운 임펠러를 제조하기 위해 밀폐단조 조건하에서 해석을 수행하였다. 해석을 위한 펀치, 상/하부 금형, 시편의 모델링은 I-DEAS를 이용하였고 유한요소해석은 상용프로 그

1. 한국기계연구원 소재성형연구센터, 부산대 정밀기계공학과

2. 한국기계연구원 소재성형연구센터

#. 교신저자: kangsh@kmail.kimm.re.kr

램인 DEFORM-3D™ 를 이용하였다. 그리고 마그네슘합금 AZ31의 열간 물성치를 도출하기 위하여 다양한 변형률속도에서 고온 압축실험을 수행하였다.

## 2. 유한요소 해석

### 2.1 모델링

그림 1은 5축 기계가공으로 생산되는 연료 전지용 임펠러의 형상을 나타내고 있다. 그림과 같이 블레이드 높이가 일정하지 않고 두께가 얇고, 많은 곡률을 가지고 있기 때문에 모델링과 정밀성형에 어려움이 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 인블류트 곡선을 갖는 블레이드는 총 14개로 이루어져 있으며, 위치에 따라 블레이드 높이가 각각 차이가 있음을 보인다.

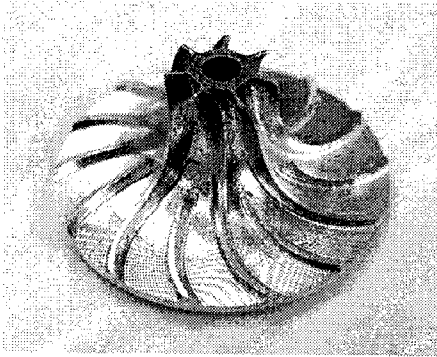


Fig. 1 Photograph of an impeller made of aluminum alloy.

### 2.2 압축실험

유한요소해석에 요구되는 마그네슘합금 AZ31의 물성치를 얻기 위해 250 °C에서 변형률속도 별로 고온 압축실험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 2에 정리하였다. 고속 성형조건에서의 임펠러의 성형양상 및 소재의 유동양상을 고찰하기 위해 변형률속도 10/s와 50/s에서의 압축실험도 수행하였다. 응력-변형률 선도에서 알 수 있듯이 변형률속도가 증가할수록 압축변형에 따른 소재의 응력이 증가함을 알 수 있다.

### 2.3 해석조건

그림 3에 본 연구에서 사용된 임펠러 예비성형체의 형상 및 금형 형상을 개략적으로 도시하였다. 예비성형체의 형상과 금형핀의 유무가 임펠러의

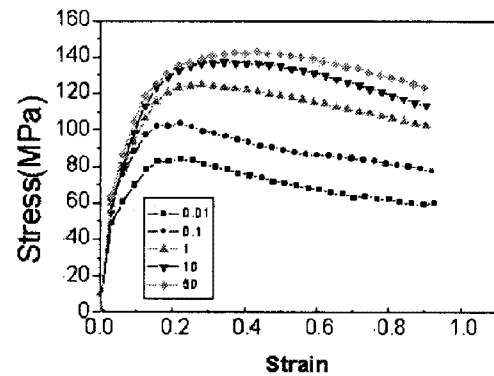


Fig. 2 Stress vs. Strain plots according to various strain rates at temperature of 250 °C.

성형에 미치는 영향을 유한요소해석을 통해 고찰하였다. 예비성형체는 세장비가 서로 다른 원통형 형상과 원추형 형상을 사용하였고, 금형소재는 SKD 61, 해석에 사용된 요소는 약 70,000개의 사면체를 사용하였다. 금형과 소재의 접촉면에서의 전단마찰상수는 0.3, 성형속도는 약 20.0 m/s의 조건 하에서 유한요소해석을 수행하였다.

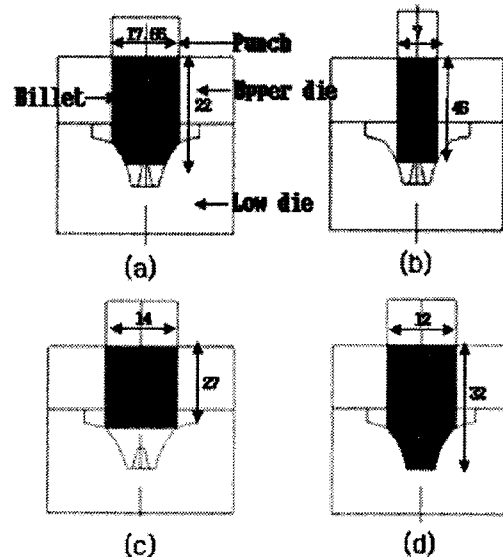


Fig. 3 Schematic preform and die shapes used in the FE simulation of impeller forging process.

## 3. 유한요소 해석결과

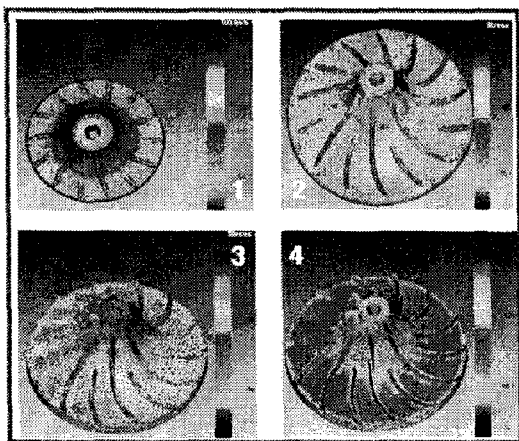
### 3.1 성형해석

앞서 언급하였듯이 연료전지용 마그네슘 임펠러의 성형을 위해 예비성형체의 형상 최적화를 위한 유한요소해석을 수행하였다. 단조공정 중 예비성

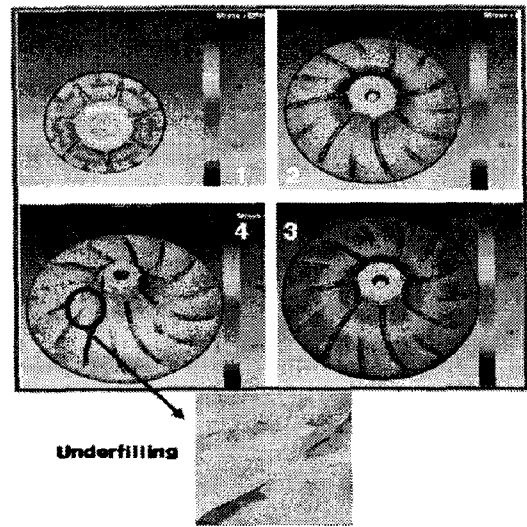
형체의 형상에 따라 성형성에 많은 영향을 줄 것으로 판단되어 원통형 및 원추형의 시편을 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 또한 두께가 얇은 블레이드가 성형이 충분이 이루어지도록 반경 방향의 소재유동을 유도하기 위한 금형편을 사용하였다.

도식적으로 정리된 그림 3의 해석 결과를 그림 4에 나타내었으며, 각기 서로 다른 소재의 유동양상을 보여주고 있음을 알 수 있다. 특히 임펠러 블레이드 상/하단부위에 미충만 현상이 그림 4의 CASE B, C, D 형상에서 발생하였다. 하지만 CASE A의 경우 다른 형상과는 달리 미충만 현상이 발생되지 않고 완전한 형상의 블레이드를 갖는 임펠러가 성형되었다. 이러한 해석결과를 표 1에 정리하여 나타내었다. CASE A와 B의 형상을 가진 예비성형체의 경우 성형초기에는 상단영역에서 블레이드가 성형과 동시에 반경 방향으로의 소재유동이 발생한다. 하단영역의 금형편이 블레이드 성형을 위한 반경방향 소재유동을 유도하는데 큰 효과가 없음을 보이고 있다. CASE A의 원추형 예비형상의 경우 반경방향으로 소재유동을 유도하기 위한 금형편을 사용한 경우 블레이드 성형이 초기 단계에서부터 진행되었고, 전방압출 및 반경방향 소재유동이 동시에 발생하였다. 소재의 응력은 초기에는 소성변형이 전체 영역에서 발생하므로 전체적으로 균일한 분포를 보여주고 있으며, 하단영역에서 가장 작은 값을 나타내고 있다. 최종적으로 블레이드 성형이 완료된 후 블레이드 끝단에서 가장 큰 응력 분포를 나타내고 있다.

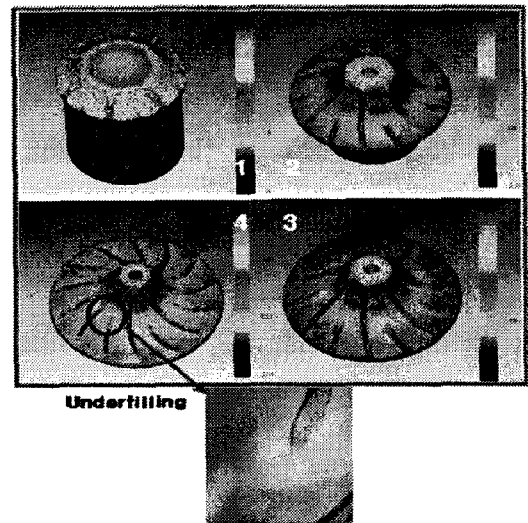
표 1에 정리된 바와 같이 성형하중은 CASE B의 경우가 129(kN), CASE D는 181(kN)로서 약 30%의 차이를 보이고 있으며, 소재의 미충만이 없



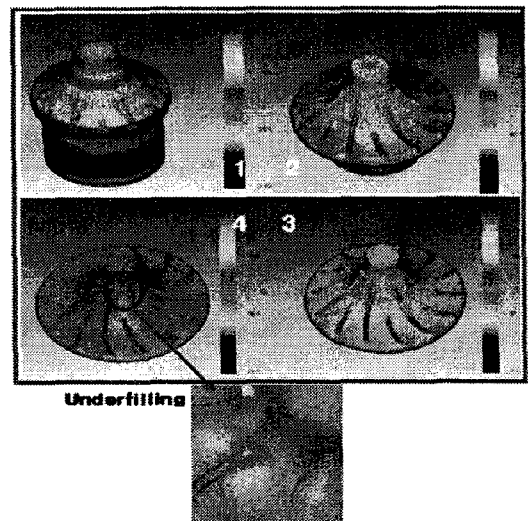
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.4 Deformation processes of the CASE (a) A, (b) B, (c) C, and (d) D

**Table 1. Summary of simulation results.**

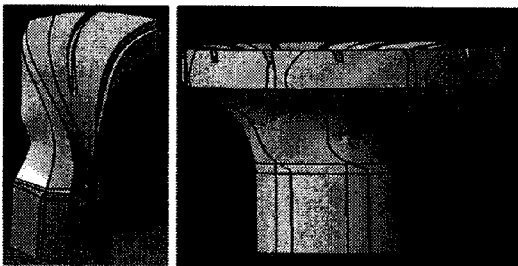
	CASE A	CASE B	CASE C	CASE D
Load(kN)	154	129	134	181
Results	Good shape	Under filling	Under filling	Under filling

이 완전하게 블레이드가 성형이 된 CASE A 의 경우는 154(kN)의 성형하중이 요구되었다.

#### 4. 금형 설계

임펠러의 블레이드의 형상은 매우 복잡하고 일정한 방향으로 경사각을 이루고 있지 않다. 특히 임펠러의 상하단에 해당하는 블레이드의 방향은 서로 다르므로, 최종 성형된 임펠러를 금형으로부터 분리하기가 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 소재의 취출을 쉽게 하기 위해 분리형 금형을 설계했다. 금형설계는 소재의 미충만없이 임펠러 성형이 가능한 CASE A 의 해석결과를 바탕으로 이루어졌다. 총 14 개의 분리형 금형으로 설계되었고, 이 중 7 개는 회전 대칭면과 상하부 2 단으로 구분 되어있어 임펠러 상하단의 블레이드로부터 금형을 개별적 취출할수 있도록 설계하였다.

그림 7 에 임펠러 성형을 위한 금형구조를 나타내었다. 단조성형 중 금형응력의 완화를 위한 보강링은 단조압력에 의해 분리형 금형과 보강링이 자연적으로 체결이 되면서 버의 발생을 최대한 억제하여 후가공이 최소화되도록 설계하였다.



**Fig.7 Die design for the impeller forging**

#### 5. 결론

본 연구에서는 차세대 자동차용 연료전지에 사용되는 임펠러 제조의 생산성 향상을 위해 기존의 5축 기계가공으로 제조되던 공정을 단조공정으로 제조하기 위한 연구를 수행하였다. 그 일환으로

본 연구에서는 임펠러의 예비성형체 형상 및 금형 형상이 임펠러의 성형양상에 미치는 영향을 고찰 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 소재의 미충만 없이 임펠러 성형이 가능한 CASE A 가 가장 좋은 결과를 보였다.
- 전체적으로 세장비가 큰 경우 임펠러 전 영역에서 블레이드의 성형이 불완전하며, 세장비가 작아질수록 블레이드 경사각이 가장 큰 하단영역에서만 소재의 미충만이 발생하여 불완전한 블레이드 성형이 이루어짐을 알 수가 있었다.
- 하단영역에서 반경방향으로의 소재 유동을 유도하기 위한 금형핀은 세장비에 상관없이 블레이드 성형에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 CASE A 의 원추형 시편을 사용한 경우에는 반경방향으로의 소재유동이 원활하게 발생하여 하단영역에서의 블레이드 성형이 충분하게 이루어졌다.
- CASE A 의 유한요소해석결과를 바탕으로 임펠러의 취출을 위한 분리형 금형을 설계하였고, 보강링은 분리형 금형과 자연체결이 되도록 설계하였다.

#### 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Skubisz, 2006, Forgeability of Mg-Al-Zn Magnesium alloys in hot and warm closed die, journal of material processing technology, Vol. 177, pp. 210~213
- [2] D.B Shan, 2004, Study on precision forging technology for a complex-shaped light alloy gorging, journal of material processing technology Vol.151, pp. 289~293
- [3] 권용남, 이영선, 이정환, 2004, Al-Mg-Si합금의 고온 소성 변형 거동, 한국소성가공학회지, 제 13 권, 1호, pp. 27~32
- [4] 이영선, 권용남, 이정환, 2004, 유한요소해석을 이용한 Mg 합금 판재 성형 공정 변수 분석, 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 1082~1086.