

# Hybrid Nano-Powder 의 초소형 기어 압출에 관한 연구 Study on The Extrusion of Miniature Gear by Hybrid Nano-Powder

\*이상진<sup>1</sup>, #김병민<sup>2</sup>, 이경훈<sup>3</sup>

\*S. J. Lee<sup>1</sup>, #B. M. Kim(bmkim@pusan.ac.kr)<sup>2</sup>, K. H. Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과, <sup>2</sup> 부산대학교 기계공학부, <sup>3</sup> 부산대학교 대학원 정밀가공시스템공학과

Key words : Hybrid Nano-Powder, Extrusion, Miniature gear

## 1. 서론

나노 복합재는 단일 소재나 이종 소재를 혼합한 재료가 갖는 물성상의 한계를 극복하고 다기능, 고성능의 물성을 얻기 위한 소재이다. 나노 복합재 분야는 80년대 중반 최초로 제안된 이래 선진 각국에서 관련 기술 선점을 위하여 경쟁이 날로 치열해지고 있는 분야이다. 나노 분말은 마이크로 단위의 분말이 갖지 못하는 특성을 지니고 있다. 이러한 효과는 분말의 크기가 작아짐에 따라 표면적이 증가하기 때문이며, 구조체의 크기 효과에 의해 기계적 특성을 향상 시키는 효과가 나타난다. 이에 따라 나노 분말을 가지고 소결하여 치밀화 시키는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 미세한 나노 분말은 복잡한 형상에서도 양호한 정밀도를 나타내기 때문에 초정밀 및 초소형 제품을 만드는데 유용하다. 현재 소결 및 사출 공정에 주로 쓰여지고 있다.<sup>1</sup>

분말야금성형에는 소성가공법을 이용한 P/M가공으로 고밀도 부품을 만드는데, P/M 가공은 요구되는 제품의 특성에 따라 단조, 압출, 압연, 압입 공정 등으로 분류된다. 표면처리와 후가공이 최소화되는 냉간 P/M압출공정에 의한 정형가공의 중요성이 높아지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 기계적 강도의 향상을 목적으로 냉간 압출공정을 연구하였다.<sup>2,3,4,5</sup>

## 2. 압출 이론 및 해석

### 2-1 압출 이론

일반 금속과 P/M의 근본적인 차이점 중 하나는 압축성이다. 일반 금속의 항복함수의 기본 가정이 소성 가공 중에는 체적의 변화가 없다는 것이기 때문에 재료내부에 기공을 포함하는 P/M의 소성 가공해석에 전통적인 일반 소성이론을 적용시킬 수 없다. 이러한 소결금속에 대한 소성역학의 기본 방정식을 유도하기 위하여는 다음과 같은 가정을 하며, 수식은 (1), (2), (3)과 같다.

- 1) 등질, 등방성 소재
- 2) 기공의 성장 및 수축이 등방적이고
- 3) 항복은 전변형에너지가 어떤 임계값에 도달할 때 발생하고, 항복점에 도달하기 전까지는 재료가 강체 거동을 하여 밀도의 변화는 없다.
- 4) P/M에 대한 flow rule이 적용 가능하고,
- 5) 치밀화 현상은 항복점 이후에 발생한다.
- 6) 변형중의 온도 영향은 없는 것으로 가정한다.<sup>2,3,4,5</sup>

$$\dot{\epsilon}_R = \left\{ \frac{2}{A} \dot{\epsilon}'_{ij} \dot{\epsilon}'_{ij} + \frac{(3-A)}{3} \dot{\epsilon}_v^2 \right\}^{1/2} \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = \frac{Y_R}{\dot{\epsilon}_R} \left[ \frac{2}{A} \dot{\epsilon}'_{ij} + \frac{1}{3(3-A)} \delta_{ij} \dot{\epsilon}_v \right] \quad (2)$$

$$R = R_0 e^{(-\Delta\epsilon_v)} \quad (3)$$

### 2-2 압출 해석

압출에 대한 유한요소해석을 수행하여 압출 하중 및 다

이 강도의 적합성을 판정하였다. 또한 실험에서는 알 수 없는 응력 분포, 변형율, 변형률 속도 및 밀도 분포 등을 해석을 통해 알아보았다. 해석 조건은 Table 1과 같으며 강소성 유한요소해석 상용코드인 Deform-3D를 사용하였다.

Table 1 Initial conditions of FEM

Material	Al-78Zn
Ram speed	10 mm/min
Die	SKD 61
Initial Density	0.6
Friction Factor	0.12

해석모델 및 치수는 Fig. 1(a)에 나타내었으며, 다이의 강도해석결과는 (b)에 나타내었다. 펀치 하중이 최대 1.5 ton이 걸릴 때 Die의 강도해석을 수행한 결과 변위가 1 μm, 유효 응력은 최대 220 MPa으로 강도적으로 안정함을 보였다. Fig. 2는 압출 가공 시 소재에 걸리는 유효 응력, Damage, 유효 변형률, 밀도, 변형률 속도 분포를 나타내었다.

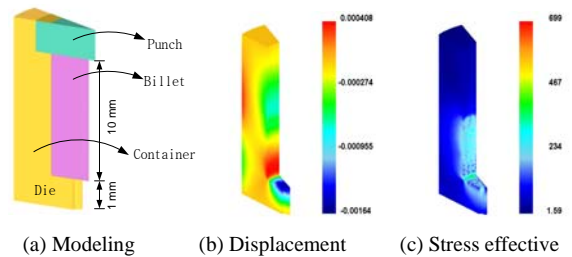


Fig. 1 FEM modeling and strength analysis

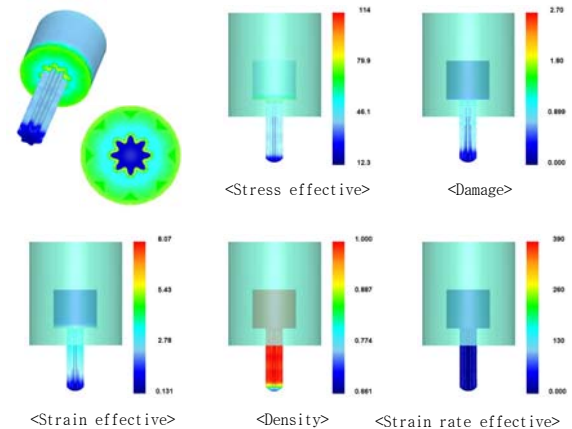


Fig. 2 FEM of extrusion process

## 3. 실험

### 3-1 실험 장치 및 시편

본 연구의 실험은 Fig. 3의 개략도와 같은 공정을 거친다. 분말 혼합은 Ball-Mill 장치를 사용하며, 압분을 위한 몰드를 제작하였으며, 고온 진공 소결로를 사용하여 시편을 소결 하였다. 압출 장치는 SKD61 소재이며, 피치원 지름 Ø

1.2의 기어 형상을 가진 다이는 와이어 방전 가공으로 제작하였다. 압출은 25 ton 용량의 MTS (Material test system) 장비를 사용하였고, 로드셀을 부착하여 압출 시 스트로크에 따른 하중을 체크하였다. 절삭은 다이아몬드 커팅기를 이용하였다.

본 연구에 사용된 분말은 폭발 성형법으로 만들어진 Al(100 nm), Zn(240 nm)이며 산화막으로 2 nm 정도 코팅하여 공기 중에서 반응하지 않도록 안정화 처리하였다.

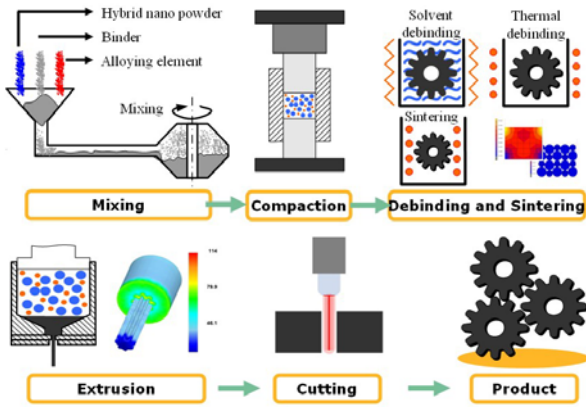


Fig. 3 Schematic of the experiment

3-2 실험 방법 및 조건

Table 2는 Ball Milling 조건을 나타내었으며, 혼합된 분말은 핸드 프레스로 2.5 ton 으로 압분하여 Ø 4.9, 높이 10 mm의 원형 시편을 제작하였다. 이 원형 시편은 아르곤 가스 분위기에서 2 시간 정도 소결하였다. 압출비는 12:1 이며, 압출 속도는 10 mm/min 으로 하여 실험을 진행하였다.

Table 2 Conditions of Ball Milling

	Material	Time (hour)	RPM	Ball
Ball Milling	Al-78Zn	10	500	Zirconia Ball Ø6, Ø3 (1:17)

4. 결과

혼합된 Al-78Zn 을 DSC 및 XRD 분석 하였으며, 분석 결과 Al 과 Zn 소재의 특성이 모두 나타나 화학적 혼합이 되지 않고 기계적으로 혼합된 것으로 나타났다. 그러나 소결 후에는 화학적으로 혼합되어 새로운 물성의 재료를 얻을 수 있었다.

Fig. 4는 압분 시에 상대밀도 및 하중의 변화를 나타내었다. 압분체의 균일 정도와 상대밀도에 따라 압출 시 형상의 변화가 적기 때문에 균일하고 높은 상대밀도를 가지는 것이 좋다.

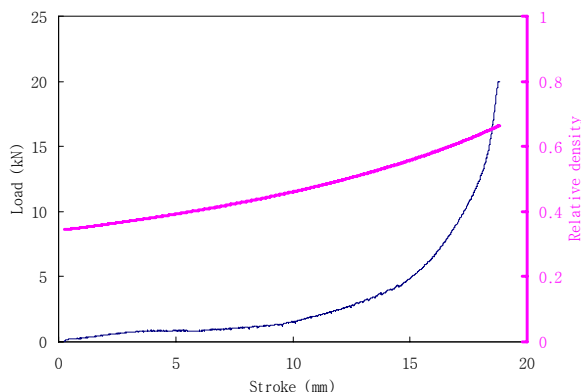


Fig. 4 Compaction test

Fig. 5는 실험에 의한 압출 하중과 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 압출 하중 그래프를 나타내었고, 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 그래프에서 보는 바와 같이 초기에는 분말 압축되어 하중이 서서히 증가하다가 펀치의 스트로크가 2.4 mm 정도에서부터 압출이 시작 되었다. 그리고 시편의 길이가 짧아지면서 압출 하중이 점차 감소됨을 볼 수 있다.

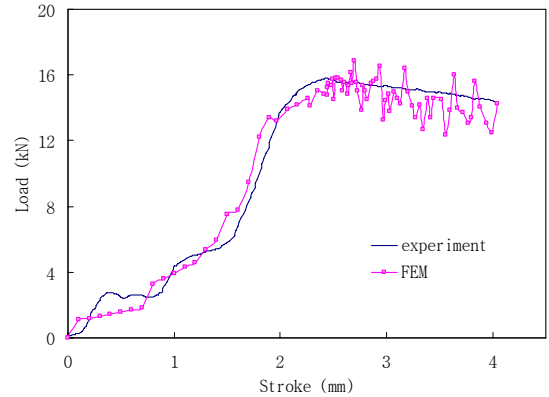


Fig. 5 Load of Extrusion for stroke

Fig. 6은 압출된 기어 형상으로 다이아몬드 커팅기로 절삭하여 폴리싱한 단면이며 높은 정밀도를 가진다.



Material	Al-78Zn
Module	0.15
Pressure angle	20°
Tooth number	8
Pitch circle	Ø 1.2

Fig. 6 Extruded gear shape

5. 결론

소결된 시편을 압출 했을 때 유한요소해석과 실험 결과의 양상이 비슷하여 FEM 방법으로 예측할 수 있음을 보였으며, 분말 압출하여 피치원 지름 Ø 1.2 인 기어 형상을 얻을 수 있었다. 나노 분말을 이용한 결과 높은 형상 정밀도를 얻을 수 있었다. 균일한 밀도 분포를 가진 압분체의 압출시 형상 변화가 적고, 내부 균열이 적기 때문에 압분 및 소결 공정에 대해서도 세밀한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터 사업(R15-2006-022-03003-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 소대섭, 김경호, 반응병, 이일형, “나노복합재료,” 한국과학기술정보연구원, 2002
2. 문재호, “소결금속의 3 차원 전방 압출 해석,” 한국과학기술원 박사학위논문, 1991.
3. Yasunori Saotome and Hiroyuki Iwazaki, “Superplastic backward microextrusion of microparts for micro-electro-mechanical systems,” Journal of materials processing technology, Vol.119 No.1-3, 2001,12
4. W.J. Kim and Y.K. Sa, “Micro-extrusion of ECAP processed magnesium alloy for production of high strength magnesium micro-gears,” Scripta materialia, Vol.54 No.7, 2006.4
5. Saotome, Y. Iwazaki, H., “Superplastic extrusion of microgear shaft with photochemically machinable glass dies,” MICRO MATERIALS, Vol.3, 2000.