

# 비축대칭 평금형 압출에서 유동제어에 관한 실험적 연구-Ⅱ

김영호\*, 배원병\*, 강범수\*, 박재우\*\*

## Experimental Investigation on the Flow Control in Non-Axisymmetric Flat Die Extrusion-Ⅱ

Young-Ho Kim\*, Won-Byong Bae\*, Beom-Soo Kang\*, Jae-Woo Park\*\*

### ABSTRACT

The velocity distribution at the exit of extrusion die depends on the width of bearing land very much. When uniform bearing land without flow guide is used, the material which is extended through the same die does not deflect to the constant direction, but when the flow guide is equipped and then the volume compensation is done accurately, the material deflects to one constant direction. Therefore, the part of problem can be known exactly, and extrusion products of straight shape can be produced by the corrected bearing land width.

**Key Words** : Flat Die Extrusion(평금형 압출), Flow Guide(플로가이드),

Uniform Bearing Land Width(균일한 베어링 랜드폭), Modified Bearing Land(수정된 베어링 랜드)

### 1. 서론

알루미늄 압출가공은 알루미늄 산업에서 독특한 위치를 확보하고 있다. 압연, 단조, 디이프드로잉, 인발등의 가공 방법은 알루미늄 이외의 금속에 광범위하게 사용되는 반면 압출가공에서는 알루미늄 재료가 현저한 발전을 이루고 있다. 그 이유로서는 알루미늄 합금의 압출온도가 대개 500℃ 전후로 비교적 낮은 온도로 압출을 행하지만 무운활에서도 압출가공이 가능하기 때문이다. 또한 한번의 변형으로 복잡하고 다양한 단면형상을 가진 형재를 용이하게 얻을 수 있고, 정밀한 공차로 인해 후기제가공을

없앨 수 있으므로, 최근 자동차, 항공기, 레저용품, 선박, 가정용품, 전기통신기기 등 많은 분야에서 요구되는 경량화, 다양화 추세에 대응할 수 있다.

그리하여 이러한 요구의 실현을 위해서 다이를 포함한 압출부의 효과적인 설계가 상당히 중요하다. 그러나 어디에서도 그것에 관해서는 정량적인 연구가 적고 기술보급적인 것이 많다. 예를 들면, 현재 알루미늄 합금 압출에서는 경험에 따라 불균일한 금속유동을 조정해서 제품의 굽힘이나 비틀림 등의 결함 방지에 노력하고 있다. 또한 압출후의 결함에 대해서는 추가적인 결함보완 공정들을 필요로 하므로 그에 따른 생산원가의 상승을 감수할 수 밖

\* 부산대학교, 정밀정형 및 금형가공 연구센터  
 \*\* 부산대학교 생산기계공학과 대학원

에 없는 실정이다.

알루미늄 합금의 평균형 압출에 관한 구체적인 연구동향을 살펴보면 다음과 같다. Tokizawa<sup>(1)</sup> 등은 축대칭과 비축대칭에서 균형있는 금속유동을 위한 최적의 베어링 형상을 결정하려는 시도를 행하였고, Takatsuji<sup>(2)</sup> 등은 앞 연구에서의 압출하중이 커지는 문제를 해결하기 위해 다이베어링을 짧고 일정하게 고정시키고, 미끌림 마찰길이를 도입한 플로가이드(flow guide) 설계를 통하여 결합이 없는 압출재를 얻는 실험식을 유도해 내었다. Kihara<sup>(3)</sup> 등은 플라스틱인(Plasticine)시험을 통해 압출비와 단면형상이 압출하중에 미치는 영향을 연구했고, Kiuchi<sup>(4)</sup> 등은 압출에 있어서 다이구멍의 위치 그리고 다이와 컨테이너 상의 마찰계수의 변화에 대한 압출재의 형상비교를 통해 최적의 편심과 마찰계수를 찾아 균일압출에 적용시켰다. 한편 Wang<sup>(5)</sup> 등은 평균형과 장착된 플로가이드를 갖는 알루미늄 형상의 압출에서 유동패턴에 관한 연구를 실험적인 조사와 3-D 강소성 FEM으로 수행하였는데, 그 결과 알맞게 설계된 플로가이드를 일반적인 평균형에 장착할 때 균일한 금속유동이 얻어질 수 있다는 것을 증명하였다. Lin<sup>(6)</sup> 등은 플로가이드를 갖는 알루미늄 형상의 압출에서 금속의 유동속도의 분포에 관한 금형 구조의 영향을 실험적으로 조사하였고, Kiuchi<sup>(7)</sup> 등은 새롭게 개발된 3-D 강소성 FEM 코드에 의해 평균 압출압력과 금속유동 특성이 기하학적으로 복잡한 제품의 횡단면을 갖는 다이의 편심에 대해 연구하였다. Murakami<sup>(8)</sup> 등은 채널형상의 알루미늄재의 재료유동을 다이구멍의 위치에 따라 조사하였다. 한편 국내에서는 Lee<sup>(9)</sup> 등이 설계변수의 최적화를 통한 합리적인 금형설계 절차를 제공하는 금형설계 자동화시스템을 개발하였고, Yang<sup>(10)</sup> 등은 FEM해석을 통하여 플로가이드와 다이베어링의 길이가 압출재에 미치는 영향을 조사하였다.

그러나 지금까지의 국내외 연구를 살펴보면 접근방법에 있어 편중된 경향을 보이거나 몇 개에 국한된 시험형상을 토대로한 연구이므로 결과의 신뢰성이나 일반성이 부족한 것이 사실이다. 예를 들면, Tokizawa<sup>(1)</sup> 등은 압출재의 선단형상을 결정하는 주요변수인 플로가이드와 다이베어링의 형상을 독립적으로만 적용하여 개선의 여지를 남겼다. 또한 Kiuchi<sup>(4)</sup> 등은 다이구멍의 편심이 압출선단의 형상에 미치는 영향을 정성적으로는 밝혀냈으나 정량적인 관계는 밝혀내지 못했다. 따라서 본 연구에서는 현재까지의 연구의 문제점을 극복하고 더 개선된 압출재를 얻기위해 모델실험을 통해 플로가이드와 압출다이를 포

함한 압출부에 대한 설계변수를 찾고자 한다. 우선 플로가이드가 부착되었을 때 편심이 없는 것과 Kiuchi가 제안한 일정량의 다이편심을 준 금형에서 압출실험을 통해 압출재의 굽힘과 비틀림의 정도를 비교 한다. 최종적으로 Tokizawa<sup>(1)</sup> 등이 개별적으로 적용시킨 다이베어링의 랜드폭과 플로가이드의 형상을 적절히 조합하여 원하는 균일한 출구속도를 가진 압출재를 얻고자 한다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 굽힘이나 비틀림이 없는 곧은 압출재를 생산하기 위해 베어링 랜드부와 플로가이드의 영향을 조사하여 산업현장에서 간단하게 이용할 수 있는 실험식이나 경험식을 유도하고자 한다.

3차원 평균형 압출의 실험소재는 모델재료로 많이 사용되는 플라스틱인을 이용하였다. 초기 소재의 치수는  $\phi 48\text{mm} \times 55\text{mm}$ 의 원통형 빌렛을 제작하여 실험하였다.

플로가이드(flow guide)를 설치하는 주된 이유는 연속 작업이나 컨테이너 직경보다 더 큰 직경의 제품을 생산하기 위해서이다. 즉, 단면이 이용할 수 있는 컨테이너에 비해 아주 큰 것을 압출할 수 있어서 극단적인 경우에 확장 플로가이드로 컨테이너 직경보다 더 큰 압출품을 생산하기 위해서도 사용될 수 있다. 이것에 대한 구체적인 도시가 Fig. 1에 나타나있다.

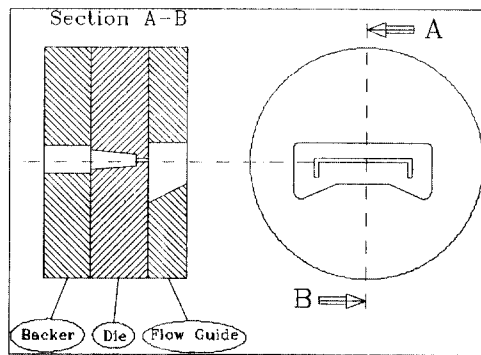


Fig.1 Schematic view of die and flow guide

알루미늄의 압출에서 경질합금(hard alloy)계열(20-계열, -70-계열)에서는 플로가이드를 설치하지 않고, 연질합금(soft alloy)계열(10-계열, 30-계열, -60-계열)에

서만, 일반적으로 플로가이드를 설치한다. 플로가이드의 형상은 다분히 경험적이고 정식화 되어 있지 않다. 플로가이드의 설치는 두께가 얇은 제품에 대해서는 효과적이지만, 두꺼운 제품은 효과가 별로 없다. Fig.2는 플로가이드를 설치했을때의 전체적인 압출장치도를 보여 준다.

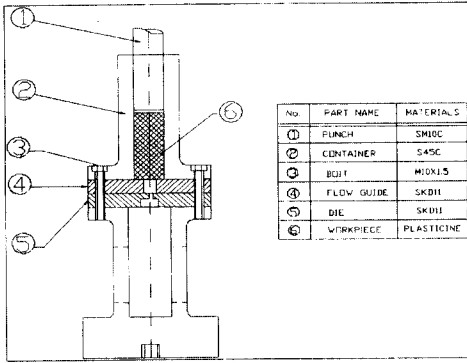


Fig. 2 Experimental apparatus for extrusion test with flow guide

### 3. 실험결과 및 고찰

이전의 경우(실험적 연구-I (11))처럼 균일한 베어링랜드폭을 가진 평금형에 플로가이드를 설치해서 압출한 경우 제품의 형상을 Fig.3에 나타내었다.

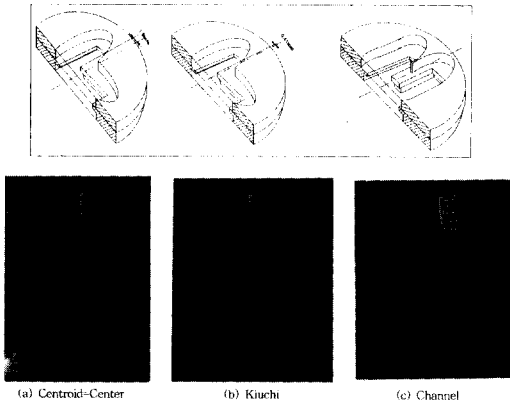


Fig. 3 Schematic view of die and products extruded through uniform bearing land with flow guide

여기서 알 수 있듯이 플로가이드의 영향은 별로 없는 것을 알 수 있다. 그 원인은 제품의 전체 폭에 비해 두께

가 비교적 두꺼웠기 때문에 플로가이드를 설치함으로써 나아진 것은 두드러지게 보이지 않는다. 실험을 통해 한 가지 발견된 사실은 플로가이드가 없을때는 제품의 휘어짐이나 굽힘방향의 정도가 정확하게 일정하지 않았으나, 플로가이드를 설치했을때는 제품의 휘어짐과 굽어지는 방향의 정도가 수행되는 실험 횟수가 몇번이 되어도 일정한 것을 알 수 있었다. 즉, 제품 자체의 일관성이 생겨서 문제되는 부분을 정확히 알 수 있었다. Fig.4는 플로가이드가 있을 때와 없을 때의 변위에 따른 압출압력을 나타낸 것이다.

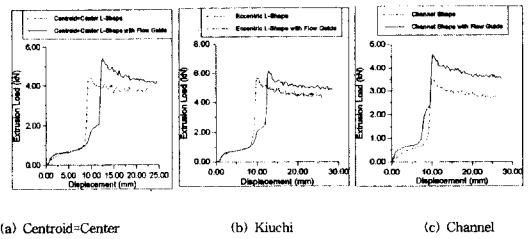


Fig. 4 Extrusion load displacement curves in the cases of flat die with and without flow guide

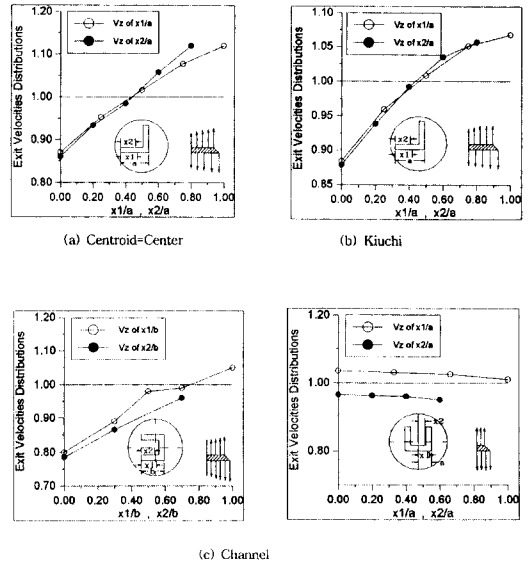


Fig. 5 Velocity distribution of products extruded through uniform bearing land with flow guide

플로가이드가 있는 경우 플로가이드를 통해 일차 압출이 일어나므로 그래프에서 먼저 한 번 하중을 받는 것을 알 수 있다. 또한 전체 압력의 크기도 플로가이드가 없을

때와 비교해서 높은 것을 알 수 있다. 이것은 플로가이드를 통해 일차 압출이 일어남으로 재료의 압출길이가 그만큼 길어졌기 때문이다. Fig.5는 Fig.3으로 부터 각 부분에서 압출되는 속도분포를 도시한 것이다.

플로가이드가 없을 때<sup>(11)</sup>와 비교해서 더 이상 선형적이지 않다는 것을 알 수 있는데, 이것은 플로가이드를 설치함으로써 압출되는 소재의 체적분배가 훨씬 잘되고 있음을 나타낸다.

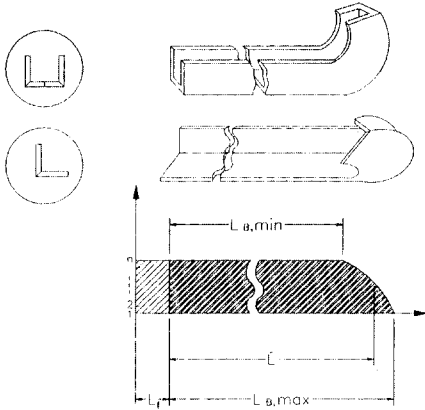


Fig. 6 Symmetric parts with different velocities distributions of extruded products

따라서 곧은 압출재를 생산하기 위해 균일한 압출 출구 속도를 갖기 위한 최적의 베어링 랜드폭은 Fig.6에서와 같이 압출된 제품의 속도분포가 상이한 대칭인 부분만 고려하면 다음식에 의해 구해질 수 있다.

$$\bar{L}_{Bi} = a((L_{Bi} + L_f) - (\bar{L} + L_f)) + b, \quad T_{\min} \leq \bar{L}_{Bi} \leq T_{\max} \quad (1)$$

여기서  $\bar{L}_{Bi}$ 는 베어링 랜드부의 폭을 나타 내고,  $L_{Bi}$ 는 압출압력이 정상상태에 도달할때까지 임의의 위치에서 제품이 금형을 통과한 길이 그리고  $L_f$ 는 플로가이드의 폭이고  $\bar{L}$ 는 다음과 같이 압출압력이 정상상태에 도달할 때까지 금형을 통과한 제품의 각 부분에서 평균길이이다.

$$\bar{L} = (L_{B1} + L_{B2} + \dots + L_{Bn}) / n + L_f \quad (2)$$

그리고  $a, b$ 는 경계조건에 의해 결정되어야 하는 상수로서, 경계  $L_{B1} = L_{B, \min} + L_f$ 일때  $\bar{L}_{Bi} = T_{\min}$ 이고, 경

계  $L_{Bn} = L_{B, \max} + L_f$ 일 때  $\bar{L}_{Bi} = T_{\max}$ 를 식(1)에 대입하면,

$$a = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{L_{B, \max} - L_{B, \min}} \quad (3)$$

$$b = \frac{T_{\max}(\bar{L} - (L_{B, \min} + L_f)) + T_{\min}((L_{B, \max} + L_f) - \bar{L})}{(L_{B, \max} - L_{B, \min})}$$

식 (1)을 압출방향으로의 속도로 표현하면,  $L_{Bi} = V_{zi} \times t$  이므로,

$$\bar{L}_{Bi} = a(V_{zi} \times t - \bar{L}) + b \quad (4)$$

이고,

$$\bar{L} = t(V_{z1} + V_{z2} + \dots + V_{zn}) / n + L_f \quad (5)$$

가 된다. 또한 여기서  $t$ 도 역시 압출압력이 정상상태에 도달할 때까지 걸린 시간이 된다. 그리고  $T_{\min}, T_{\max}$ 는 랜드폭의 하한치와 상한치를 나타낸다.

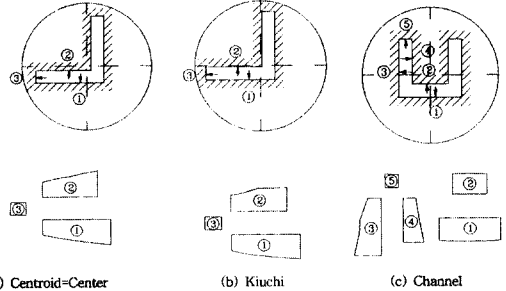


Fig. 7 Location and shapes of bearing land for uniform velocity distribution at extrusion opening

Fig.5의 속도분포와 위의 식(1)을 바탕으로 베어링 랜드 폭을 결정한 것이 Fig.7이다. 플로가이드가 없을 때와 비교해서 더 이상 선형적이지 않는 베어링 랜드 폭이 얻어졌다. 이 실험 결과를 바탕으로 베어링 랜드부를 수정하고 플로가이드를 부착하여 실험한 결과를 Fig.8에 나타내었다.

상당히 많이 곧게 펴졌지만, 한쪽으로 치우쳐서 굽혀지는 것은 다이의 가공상의 불균형으로 초래된 것이다. 이것이 제품의 비틀림 결함의 원인이 된다. 따라서 대칭면에 대해 정확한 대칭성이 이루어지지 않는다면 체적분배가 균일하게 되지 않아 비틀림 결함이 발생하게 된다.

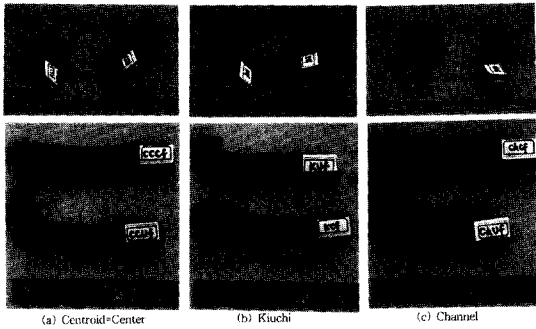


Fig. 8 Shapes of products extruded through conical bearing land with flow guide

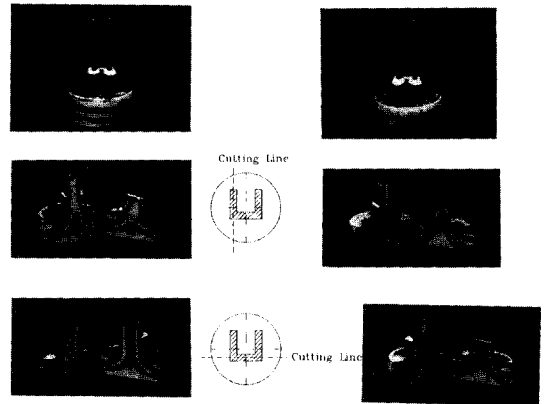


Fig. 11 Flow pattern of flow guide and container inside for □-shape

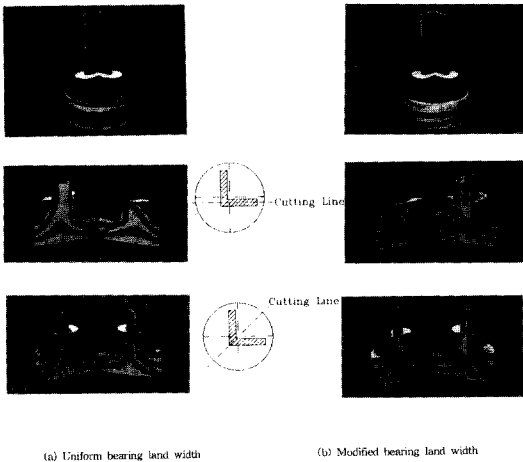


Fig. 9 Flow pattern of flow guide and container inside for L-shape

Fig.9는 도심과 중심을 일치시킨 L-형상 다이의 베어링 랜드폭이 균일한 경우와 그렇지 않은 경우에 있어서 컨테이너 내부의 소재유동을 관찰하기 위해 속도분포가 상이한 단면과 대칭인 단면을 자른 것이다. 일단 플로가이드에서 일차 압출되어 유동이 먼저 한 번 제어되고 나서 다이출구로 빠져나오는 것을 알 수 있다. 출구 속도가 빠른 플로가이드의 모서리 부분에서는 처음 빌렛으로 부터 일차 압출된 유선의 기울기 변화가 적어서 곧바로 출구로 향하는 것을 알 수 있다. 상대적으로 가장자리 부분은 어느 정도의 기울기를 가지면서 플로가이드에서 압출되어 다이출구로 향하므로 모서리 부분에 비해 출구속도가 느리게-된다. 따라서 제품에 굽힘이나 비틀림이 발생하게 된다. Fig.10은 Kiuchi<sup>(7)</sup>에 의해 제안된 편심량을 갖는 L-형상 다이의 베어링 랜드폭이 균일한 경우와 그렇지 않은 경우에 있어서 컨테이너 내부의 소재유동을 관찰한 것이다. Fig.9와 비교해서 기본적인 유동은 유사한 것을 관찰할 수 있다. 다만 도심과 중심을 일치시킨 것과 일정 편심을 준 경우에는 그 미소한 차이에도 유동의 방향이 조금씩 평균형과 플로가이드에서 조절됨을 알 수 있다. Fig.11은 도심과 중심을 일치시킨 □-형상 다이의 베어링 랜드폭이 균일한 경우와 그렇지 않은 경우에 있어서 컨테이너 내부의 소재유동을 관찰하기 위해 속도분포가 상이한 단면을 자른 것이다. 여기서는 앞서 L-형상의 출구 속도분포에 대해 설명한 것을 확인할 수 있으며, (b)에서 플라스틱신의 유선을 살펴보면, (a)가 모서리 부분의 출구속도가 빠르므로 인해 한쪽으로 치우치는데 반해 출구에서 상당히 균일하게 나가는 것을 관찰할 수 있다.

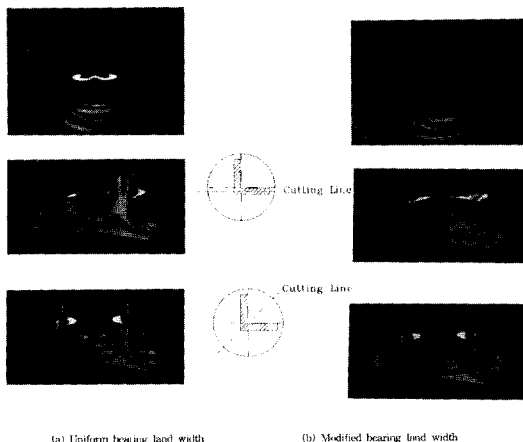


Fig. 10 Flow pattern of flow guide and container inside for L-shape

균일한 다이 베어링 랜드폭으로 부터 수정된 랜드폭을 가진 금형을 사용했을때의 유동상태는 플로가이드에서 일차 압출을 일어키면서 베어링 랜드부가 균일한 경우와 비교해서 비유동영역이 이동하게 되어 유선의 기울기에 일차적인 변화를 줌으로 모서리와 가장자리 부분에서 기울기가 상당히 완만하게 조정되어 출구속도를 균일하게 만든다. 따라서 제품의 선단 부분이 균일한 속도 분포를 가지므로 굽힘이나 비틀림 결함이 없는 제품을 얻을 수 있다.

제품이 두께가 얇고 넓다면 플로가이드에 대한 영향이 크겠지만, 본 연구에서는 폭에 상관없이 제품의 두께를 3mm로 고정시켜서 실험한 결과 플로가이드의 영향은 적었다. 단지 플로가이드가 있을 때는 압출된 제품이 균일했다. 왜냐하면, 플로가이드가 있을 때는 체적보정이 확실해서 일관성 있게 한 방향으로만 휘어진 제품을 얻을 수 있었고, 플로가이드가 없을때는 체적보정이 불확실해서 불균일한 제품이 얻어진 것이다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 얻어진 사실은 균일한 베어링 랜드부를 이용하여 실험을 통해 최적의 베어링 랜드부를 결정할 수 있는 실험식을 유도하였고, 그것을 통해 비교적 골은 압출품을 얻을 수 있었다. 결과적으로 압출 출구에서 속도 분포는 베어링 랜드의 폭에 대단히 의존함을 알 수 있었다. 처음 플로가이드가 없는 균일한 베어링 랜드폭에 대해서는 똑같은 금형을 통과한 재료라도 균일하게 일관된 방향으로 휘어지지 않았지만, 플로가이드를 장착함으로써 체적보정이 확실해져 일관성 있게 한 방향으로만 휘어지거나 굽어져서 문제되는 부분을 정확히 알 수 있었다.

굽힘 결함은 압출 출구에서 속도분포에 의해 발생되고, 비틀림 결함은 존재하는 대칭면에 정확한 대칭성이 이루어지지 않을 때 발생하는 것을 알 수 있었다.

연질합금에 적용되는 플로가이드를 설치하는 경우에 대해서는 우선 플로가이드에 민감하게 영향을 받는 제품의 두께(종횡비)와 베어링 랜드부에 대한 연구가 선행된다면 정식화되어 있지 않은 최적의 베어링랜드부의 결정도 간단한 기초 실험을 통해서 정량적으로 나타내어질 수 있을 것으로 사료된다.

그리하여 향후의 연구과제는 종횡비와 편심량에 따라 플로가이드에 미치는 영향을 조사할 것이다.

#### 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터 를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

1. Tokizawa, M., Takatsuji, N., Murotani, K. and Matsuki, K., "An Experimental Study on Bearing Shapes for Balancing Metal Flow in Hot Extrusion", Journal of the JSTP Vol.23 pp1074-1079, 1982.
2. Takatsuji, N., Tokizawa, M., Murotani, K. and Matsuki, K., "An Experimental Study on Die Shapes for Balancing Metal Flow in Hot Extrusion", Journal of the JSTP Vol.25 pp1000-1005, 1984.
3. Kihara, J. and Fujishiro, Y., "The Dependence of Load for Extrusion of Plasticine on the Extrusion Ratio and Shape", Journal of the JSTP Vol.25 pp646-651, 1984.
4. Kiuchi, M., Hoshino, M. and Hjima, S., "Simulation of Unsteady Flow in Non-Axisymmetric Extrusion. II", Production & Research, Vol.40, No. 4, pp.184-187, 1988.
5. Wang, Z. and Zhang, X., "Researches on the Flow Pattern in Extrusion of Aluminum Shapes with Experiments and 3-D FEM", Advanced Technology of Plasticity, Vol.1, pp.423-428, 1990.
6. Li, T., Hao, N., Yu, S., Wang, J. and Jia, X., "Experimental Researches on the Basic Design Parameters of Flow-Guide Dies used in the Extrusion of Aluminum Shape", Advanced Technology of Plasticity, Vol.1, pp.621-626, 1993.
7. Kiuchi, M., Yanagimoto, J. and Mendoza, V., "Flow of Solid-Metal during Extrusion: Three-Dimensional Simulations by Finite Element Method", Simulation of Materials

- Processing, pp847-852, 1995.
8. Xie, J. X., Murakami, T. and Ikeda, K., "Analysis of Metal Flow in Extrusion of Aluminum Square-Channel bar based on Experimental Results", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.44 pp537-542, 1994.
  9. 이진희, 김병민, 최재찬, "퍼스널 컴퓨터에 의한 알루미늄 합금재료의 열간압출 금형설계 자동화에 관한 연구", 석사학위논문, 부산대학교, 1991.
  10. Kang, Y.S. & Yang, D.Y. "Rigid-Viscoplastic-Finite Element-Analysis of Hot Square Die Extrusion of Complicated Profiles-with Flow-Guides and Lands by Arbitrary Lagrangian-Eulerian Formulation", Simulation of Materials Processing, pp841-846, 1995.
  11. 배원병, 김영호, 김병민, 박재우, "비축대칭 평금형 압출에서 유동제어에 관한 실험적 연구-1", 한국정밀공학회지 제13권 제12호, pp136-141, 1996.