

본 연구는 정밀정형 및 금형가공 연구센터(ERC)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

# 비축대칭 평금형 압출에서 유동제어에 관한 실험적 연구- I

배원병\*, 김영호\*, 김병민\*, 박재우\*\*

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

Won-Byong Bae\*, Young-Ho Kim\*, Byung-Min Kim\*, Jae-Woo Park\*\*

### ABSTRACT

In this paper, the design variables of the extruded parts involving flat die through model experiment are investigated to overcome some current problems such as bending and twisting and get more improved quality products. Above all, the deformation behavior is analyzed in experiment and investigated flow characteristics inside container. Finally, the straight extruded product is obtained by modified bearing land width on the basis of the exit velocities distribution from bended and twisted products.

**Key Words** : Flat Die Extrusion(평금형 압출), Plasticine(플라스티신), Uniform Bearing Land Width(균일한 베어링 랜드폭), Modified Bearing Land(수정된 베어링 랜드)

### 1. 서론

압출은 가장 중요한 금속 성형공정 중의 하나로서 이 분야에 관한 많은 연구가 행해져 왔다. 특히 이전의 연구는 금속유동, 응력이나 변형을 분포 그리고 다이 기하학의 최적설계, 압출 압력의 계산 등에 일반적으로 관심이 있었다. 그러나 실제 산업 현장에서 제품생산에 적용할 수 있는 보다 더 실질적인 연구가 요청되고 있다. 그리하여 최근의 연구 동향은 모델실험을 통해 제품에 미치는 영향을 보다 세밀하게 조사하거나 실험식을 유도해서 최적의 금형을 설계하고, 또한 컴퓨터를 이용하여 복잡한 3차원 압출 문제를 시뮬레이션하고 있는 실정이다.

3차원 평금형 압출에 대한 주요 연구 동향을 구체적으로 살펴 보면 다음과 같다. Kihara<sup>(1)</sup> 등은 전방 압출에 대한 하중 함수가 램의 압력에 의해 표현된다는 Johnson의 제안에 따라 정사각형, 직사각형 그리고 구멍이 두 개인 원형 다이에 대해 압출비 4에서 100범위까지 측정하였는데, 그 결과 제품의 형상은 주로 형상 프로파일(shape profile)의 원주 폭에 영향을 받는다는 것을 알았다. Takeuchi<sup>(2-3)</sup>는 압출 공정에서 발생된 열이 기계적 에너지에서 열 에너지로 변환된다는 가정하에 온도 분포와 압출 압력을 빌렛, 다이, 컨테이너 그리고 압판(dummy block) 등의 작은 요소로 분할하여 계산하였고, 또한 플라스티신을 이용하여 압출공정 동안 반경방향

\* 부산대학교, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

\*\* 부산대학교 대학원

으로 압력 분포도 해석하였다. Oki<sup>(4~5)</sup> 등은 어떠한 압출다이 구조에 대해서도 알루미늄 합금의 압출압력을 계산하는데 사용되는 수학적인 모델을 개발하였고, 또한 알루미늄 합금 6063의 중공으로 압출된 형상에 대한 반구형 코어 다이에 대해 FEM으로 정적 응력과 강도를 해석하였다. Altan<sup>(6)</sup> 등은 비축대칭 압출에 대한 동적가용 속도장을 구성하는 방법을 제안하였고, Murakami<sup>(7~8)</sup> 등은 알루미늄 채널형 바(channel bar)의 압출에 있어서 변형거동을 실험적으로 해석을 행하여 압출압력은 다이의 출구 위치에 따라 영향을 받고, 다이 구멍에 대한 타원형 소성 영역의 상대적인 위치는 다이면 위의 다이 구멍의 위치에 상관없이 고정된다는 사실을 발견하였다. Nakanishi<sup>(9)</sup> 등은 알루미늄의 열간 압출로부터 압출된 제품의 치수, 형상 그리고 입자구조는 그 공정에 있어서 금속 유동특성과 밀접한 관계가 있음을 발견하고 알루미늄 합금의 열간 압출에 있어서 금속유동제어에 관한 실험적인 연구를 행하였다. Kiuchi<sup>(10)</sup> 등은 FEM에 의해 여러 종횡비에 따른 평균 압출압력, 속도분포에 의한 금속 유동의 특성 그리고 격자 뒤틀림에 관한 결과를 나타내었고, 또한 일련의 시뮬레이션으로 부터 다이 입구(opening)에 대한 최적의 위치가 예측되었다.

따라서 본 연구에서는 굽힘이나 비틀림 등과 같은 현재까지의 결합 문제점을 극복하고 더 개선된 압출재를 얻기 위해 모델실험을 통해 압출다이를 포함한 압출부에 대한 설계변수를 찾고자 한다. 우선 편심이 없는 것과 Kiuchi<sup>(10)</sup>가 제안한 일정량의 다이편심을 준 균일한 베어링 랜드폭(uniform bearing land width)을 갖는 금형에서 압출실험을 수행하여 압출재의 비틀림과 굽힘의 정도를 관찰한다. 그것을 통해 우선 L형에 대해 Kiuchi의 연구결과를 검증하고, L, C형에 대한 변형거동을 실험적으로 해석하고 또한 컨테이너 내부의 유동특성도 관찰한다. 최종적으로 굽어진 제품의 출구속도 분포를 바탕으로 베어링 랜드폭의 형상을 변화시켜서 곧은 압출재를 얻도록 개선시켜 나가고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편제작

실험에 사용된 모델재료는 순수 플라스틱인으로 연구보고<sup>(11)</sup>에 따르면, 이 재료는 상온에서의 유동특성이 1000°C 고온에서 연강의 특성과 유사하다는 것이 밝혀졌다. 순수 플라스틱인의 물리적 특성은 Table 1에 나타내

었다. 순수 플라스틱인에 대한 응력과 변형을 관계는 다음과 같다.

Table 1 Properties of Plasticine

Components	CaCO <sub>3</sub> (50%-60%), MgCO <sub>3</sub> , Mineral, Fe-Si
Specific Gravity	1.8 - 1.92
Specific Heat	0.24 Kcal / Kg °C
Heat Conductivity	0.6 Kcal / mh °C
Hardness	HB15(24 °C)
Bulk Modulus	675,000 psi(475 Kg / mm <sup>2</sup> )

$$\bar{\sigma} = 0.17797\bar{\epsilon}^{0.0822} \quad (MPa)$$

컨테이너 내부와 소재의 유동형태를 관찰하기 위해 시편은 흑색과 백색의 두가지 종류의 플라스틱인을 각각 반죽하여 재료내의 기포를 충분히 제거시킨 후, 일정량의 두께로 적층을 하여 사용하였다. 실험에 사용된 초기 시편은 Ø48×55인 것으로 하였다.

### 2.2 실험 장치

본 연구에 이용된 실험장치는 컴퓨터로 제어할 수 있는 25톤 용량의 MTS로 실험을 수행하였으며, 변위에 따른 압출압력 결과 데이터는 제어 소프트웨어에 의해 얻어졌다. 압출 실험을 위해 Fig.1과 같이 압출장치를 만들어서 실험을 수행하였다.

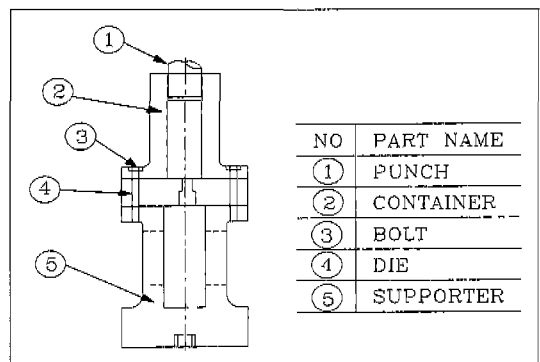


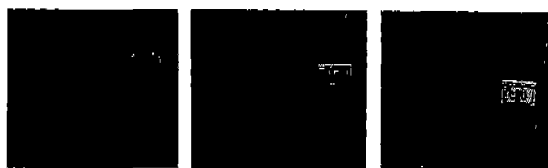
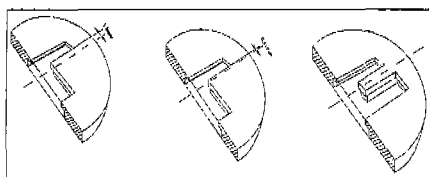
Fig.1 Experimental apparatus for extrusion test

실제 압출작업은 대부분 수평방향으로 행해지지만, 여기서는 램 방향이 수직으로 작동하는 프레스에서 수행하였다. 그렇지만 램 방향이 수직으로 인한 영향, 즉 제품의

자중에 의한 영향은 없었다. 실험중 컨테이너 및 다이와 소재의 온도를 일정하게 유지하기 위해 항온항습장치를 이용하여 실내 온도를 일정하게 유지 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

우선 베어링 랜드부가 균일한 경우에 대해서 실험을 수행하여 제품의 비틀림이나 굽힘 정도를 관찰하였다. Fig.2의 (a)는 L형의 도심과 중심을 일치시킨 경우이고, (b)는 L형의 Kiuchi가 제안한 편심을 고려한 경우 그리고 (c)는 ㄷ형의 채널형에 대한 금형과 압출된 제품 형상을 보여주고 있다.



(A)Centroid=Center (B)Eccentricity proposed by Kiuchi (C)Channel

Fig. 2 Deformation pattern of extruded products through die with uniform bearing land

베어링 랜드폭이 균일한 경우 금형의 출구에서 압출되는 속도가 다르기 때문에 제품에 굽힘결함이 발생한다. 또한 여기서 L형이나 ㄷ형은 대칭면에 대해 빠져나가는 체적 배분이 같아서 비틀림 결함이 발생할 경우가 적지만, 금형가공시 랜드부가 대칭이 되지 않든지, 출구 위치가 대칭면에 대해 대칭이 이루어지지 않는다면 비틀림 결함이 발생할 수 있다.

그리하여 본 연구에서는 제품의 비틀림이나 굽힘 결함을 없애기 위해 압출하중이 정상상태에 도달하는 시점까지 제품의 각부분에서 압출속도를 측정하여 적절한 베어링 랜드폭을 결정하고자 한다.

Fig.3는 균일한 베어링 랜드부를 통해 압출된 제품의 각부분별 압출된 속도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알수있듯이 체적 분포가 가장 많은 모서리 부분에서 가장 빠르고, 각 부분별 속도분포가 거의 선형적임을 알 수 있다.

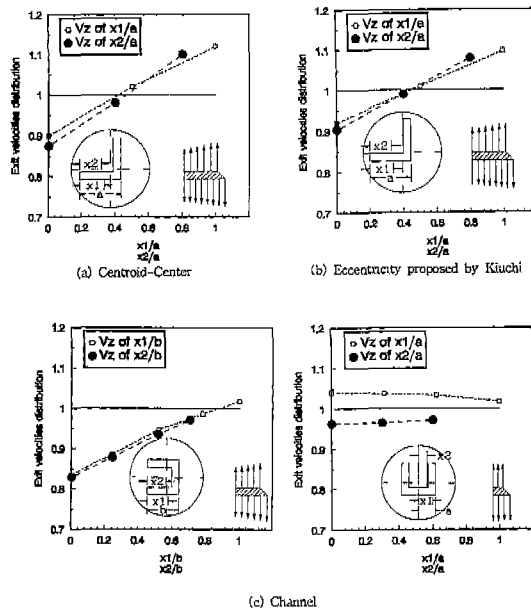


Fig. 3 Velocity distribution of extruded products through die with uniform bearing land

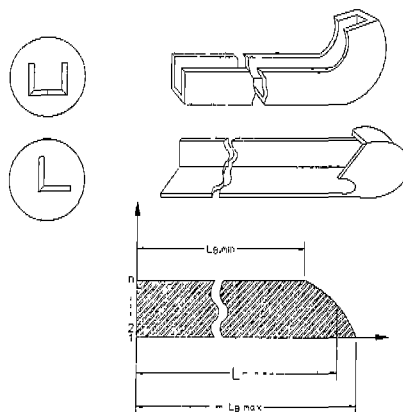


Fig. 4 Symmetric part at 45°direction for extruded product

따라서 곧은 압출제품을 생산하기 위해 균일한 압출 출구 속도를 갖기 위한 최적의 베어링 랜드폭은 Fig.4에서와 같이 압출된 제품의 45°방향으로 대칭인 부분만 고려하면 다음식에 의해 구해질 수 있다.

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

여기서  $\bar{L}_{Bi}$  는 베어링 랜드부의 폭을 나타 내고,  $L_{Bi}$  는 압출압력이 정상상태에 도달할때까지 임의의 위치에서 제품이 금형을 통과한 길이이고,  $\bar{L}$  는 다음과 같이 압출압력이 정상상태에 도달할 때 까지 금형을 통과한 제품의 각 부분에서 평균길이이다.

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

그리고  $a, b$  는 경계조건에 의해 결정되어야 하는 상수로 서, 경계  $L_{Bi} = L_{Bi, \min}$  일 때  $\bar{L}_{Bi} = T_{\min}$  이고, 경계  $L_{Bi} = L_{Bi, \max}$  일 때  $\bar{L}_{Bi} = T_{\max}$  를 식(1)에 대입하면,

$$a = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{L_{B, \max} - L_{B, \min}}$$

$$b = \frac{T_{\max}(\bar{L} - L_{B, \min}) + T_{\min}(L_{B, \max} - \bar{L})}{L_{B, \max} - L_{B, \min}} \quad (3)$$

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

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

이고,

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

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

경험적으로 단면이 얇은 부분은 두꺼운 제품보다 랜드 폭이 적고, 제품의 단면에 비해 1~2배 사이에 있도록 하 지만, 여기서는 베어링 랜드폭의 영향을 보다 세밀히 조 사하기 위해 1~3배 사이에 있도록 하였다.

Fig.5는 위의 수식과 Fig.3,4를 바탕으로 하여 결정된 베어링 랜드폭을 보여준다. 여기서 알 수 있듯이 압출 속 도가 빠른 부분에서는 베어링 랜드폭을 두껍게 하여 마찰 의 영향으로 속도가 줄어들게 하고, 반면에 압출 속도가 느린 부분에서는 베어링 랜드폭을 얇게 하여 마찰의 영향 을 줄임으로써 속도를 빠르게 하여 출구에서 균일한 속도 분포를 얻고자 한다.

Fig.6은 식(1)를 바탕으로 산출된 Fig.5의 베어링 랜 드폭을 통해 압출되었을 때의 제품의 형상을 보여 주고 있다. 비교적 잘 퍼져서 압출되었지만, 한쪽으로 치우치 는 것은 가공에 의한 오차로 발생한 것이다. 이런 경우 비

틀림 결함이 발생되며 금형 설계시 대칭면에 대해 랜드부 가 정확히 대칭이 되어야 방지될 수 있다. 베어링 랜드폭 이 균일한 것과 비교해서 식(1)을 이용하여 수정된 랜드 폭을 사용했을 때는 상당히 개선된 것을 알 수 있다.

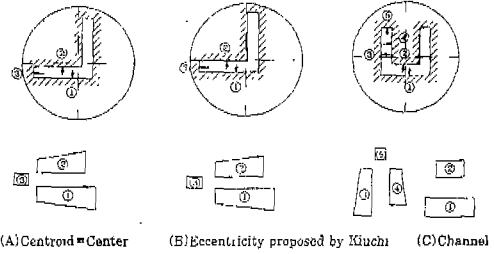


Fig. 5 Determination of bearing land in order to obtain uniform velocity distribution at extrusion opening

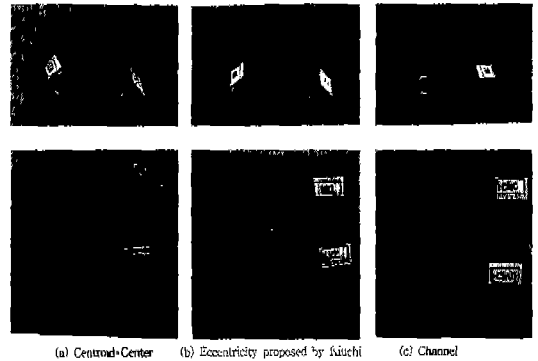


Fig. 6 Shapes of extruded products through die with modified bearing land

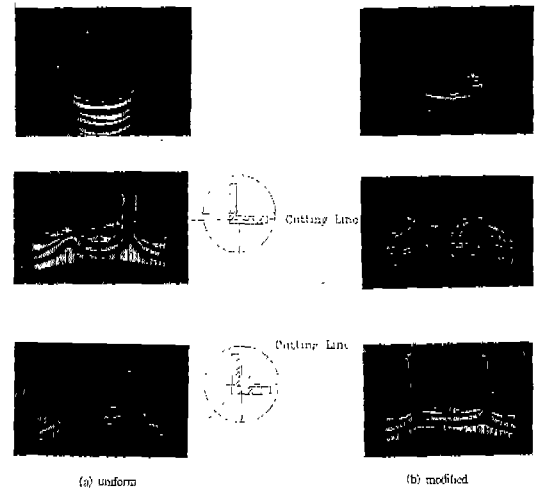


Fig. 7 Variation of dead metal zone for L-shape owing to control of bearing land width within container

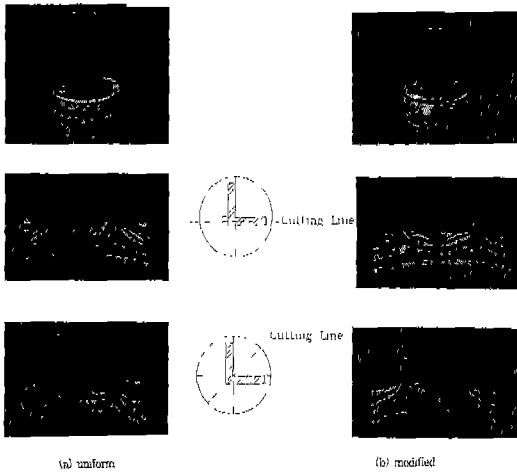


Fig. 8 Variation of dead metal zone L-shape owing to control of bearing land width within container

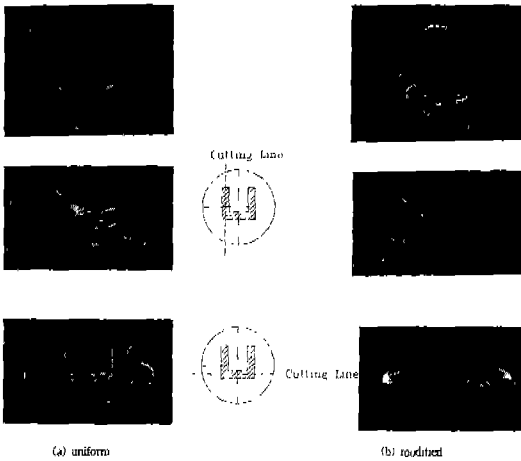


Fig. 9 Variation of dead metal zone C-shape owing to control of bearing land width within container

Fig. 7, 8, 9는 출구속도 분포가 상이한 부분으로 단면을 잘랐을 때, 컨테이너 내부의 유동양상을 나타낸다. 랜드폭이 균일할때는 모서리 부분에서 유선의 기울기가 상당히 급박하고, 가장자리 부분은 완만한 것을 알 수 있다. 따라서 모서리 부분에서의 출구속도가 상대적으로 가장자리 부분에 비해 빠르므로 제품이 비틀리거나 굽어지는 경향이 발생한다. 랜드폭을 가하는 압출압력이 정상상태에 도달할 때까지 고려한 수정된 베어링 랜드부를 사용했을때의 컨테이너 내부의 유선의 기울기는 출구속도가 균

일하게 되도록 다시 조정됨을 알 수 있다.

그리하여 실험을 통해 제품의 비틀림이나 굽힘 결함은 주로 베어링 랜드폭에 의해 가장 영향을 많이 받는다는 사실을 확인 하였다. 또한 모델재료인 폴라스티신의 단면을 잘라봄으로써 베어링 랜드폭이 달라졌을 때 컨테이너 내부의 유동양상이 어떻게 달라지는지를 확인할 수 있었다.

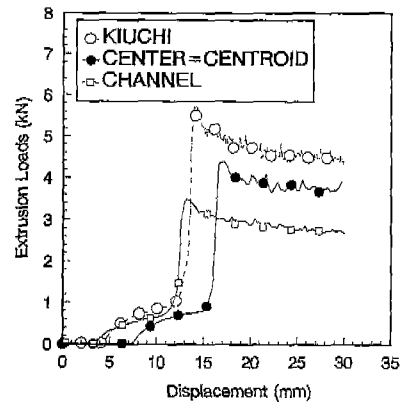


Fig. 10 Variation of extrusion loads according to displacements

중심과 도심을 일치시킨 경우와 일정량의 편심을 준 경우를 고려함으로써 Kiuchi의 연구결과를 검토하였는데, Kiuchi는 압출압력이 최소가 되도록 금형의 중심으로 부터 일정량의 편심을 준다고 하였지만, 사실 실험으로 확인한 바로는 Fig.10에서와 같이 편심을 주지 않았을 때 보다 압출압력은 더 크게 작용하였다. 따라서 3차원적인 평균형 압출은 FEM 시뮬레이션만 의존한다는 것은 커다란 오류에 빠질 수 있다. 반드시 실험으로 확인하는 것이 필요하다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 얻어진 사실은 우선 제품의 비틀림과 굽힘 결함은 주로 대칭면에 대해 베어링 랜드부의 대칭성과 랜드폭에 의해 가장 영향을 많이 받는다는 사실을 확인 하였고, 균일한 베어링 랜드부를 이용하여 실험을 통해 최적의 베어링 랜드부를 결정할 수 있는 실험식을 유도하였다. 본 논문에서 제시한 방법으로 균일한 출구속도를 가진 금형의 베어링 랜드폭을 결정하려면, 적어도 1회 이상의 실험이 수행되어야 하는 단점이 있다. 그리하여

차후의 연구는 시뮬레이션을 통해 시작부터 정상상태에 도달할때까지 출구속도를 바탕으로 최적의 베어링 랜드 부를 결정하고 실험으로 확인할 것이다. 또한 재료의 물성치와 마찰특성 등이 연관된 알맞은 실험식을 유도한다면 현장 적용면에서 뛰어나서 알루미늄 압출산업에 파급효과가 클 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

1. 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.
2. Takeuchi, K., "Temperature of Extrusions and Extrusion Pressure of Aluminum alloy in Consideration of changing Yield Strength in each Elements", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.37 pp345-352, 1986.
3. Takeuchi, K., "Analysis of Pressure Distribution in the Radial Direction during Extrusion by Plasticine", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.40 pp435-438, 1989.
4. Oki, Y., Tsuno, R., Nakamura, M. and Yoshida, Y., "A Hemispherical Core Die for Hollow extruded Shapes of 6063 Aluminum alloy", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.41 pp114-118, 1990.
5. Oki, Y., Yoshida, Y. and Yamashita, T., "Mathematical Model used in calculating Extrusion Pressure of an Aluminum alloy with regard to an Extrusion Die Structure", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.40 pp833-838, 1990.
6. Altan, S.B., Antae, N. and Gultekin, E., "A Comparison of some Deformation Models in Axisymmetric Extrusion", Journal of Materials Processing Technology, Vol.33 pp263-272, 1992.
7. Xie, J. X., Murakami, T., Ikeda, K. and Naganawa, K., "Metal Flow Behavior in Extrusion of Aluminum Square-Channel bar", Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol.44 pp531-536, 1994.
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. Nakanishi, K., Kinoshita, H., Kamitani, S. and Hirayama, K., "Experimental Investigation on Metal Flow Control in Hot Extrusion of Al-alloy", Journal of the JSTP Vol.36 pp997-1002, 1994.
10. 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.
11. Wanheim, T. and Danckert, J., "Combined Physical and Numerical Modeling of Metal Forming Process", Advanced Technology of Plasticity, Vol. I, pp29-36, 1987.