[논문] 한국소성가공학회지, 제 26 권 제 2 호, 2017
Transactions of Materials Processing, Vol.26, No.2, 2017
https://doi.org/10.5228/KSTP.2017.26.2.115

수치해석을 이용한 접합실 내 접합압력 향상을 위한 포트홀 압출금형 개발

이성윤[1,2] · 이인규[1,3] · 정명식[1] · 고대철[2] · 김병민[3] · 이상곤[#]

Development of Porthole Extrusion Die for Improving Welding Pressure in Welding Chamber by Using Numerical Analysis

S. Y. Lee, I. K. Lee, M. S. Jeong, D. C. Ko, B. M. Kim, S. K. Lee
(Received January 4, 2017 / Revised February 15, 2017 / Accepted February 15, 2017)

Abstract

Porthole extrusion process is a very effective metal forming process to produce aluminum profiles with hollow sections. The structure of porthole extrusion die is very complex. In this process, the billet is divided by porthole bridge, and then the divided billet is welded in the welding chamber. The welding pressure in the welding chamber is very important. The higher welding pressure improves the quality of the aluminum profiles. Therefore, the objective of this study is to develop a new porthole extrusion die for improving the welding pressure in the welding chamber by using numerical analysis. The effectiveness of the new porthole extrusion die was verified by using numerical analysis. Through numerical analysis, the welding pressures in the welding chamber between the new porthole die and the conventional porthole die were compared with each other.

Key Words : Porthole Extrusion, Aluminum Profile, New Porthole Extrusion Die, Numerical Analysis

1. 서 론

포트홀 압출(porthole extrusion)공정은 중공단면의 길이가 긴 튜브 혹은 프로파일(profile)을 제조하기 위한 대표적인 소성가공 공정이며[1~5], 주로 알루미늄, 마그네슘 등 경량합금 소재의 압출에 적용된다. Fig. 1 과 같이 다양한 형태의 중공단면 제품 제조가 가능하며, 이러한 제품들은 주로 자동차부품, 열교환기, 실린더 튜브, 태양광 발전기 모듈 등 전통산업에서부터 신재생 에너지산업 분야까지 다양한 산업에 적용되고 있다.

Fig. 1 Aluminum profiles

포트홀 압출금형은 일반적인 압출금형에 비해 그 구조가 매우 복잡하다. Fig. 2 에서 보듯이 포트홀 압출금형은 컨테이너(container), 포트홀(porthole), 그리고

1. 한국생산기술연구원 극한가공기술그룹
2. 부산대학교 융합학부
3. 부산대학교 기계공학부
Corresponding Author : Korea Institute of Industrial Technology, E-mail: sklee@kitech.re.kr

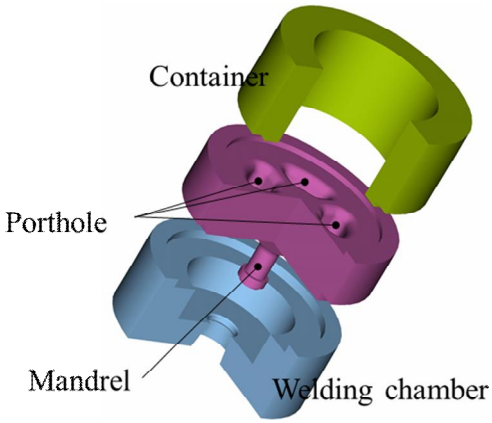


Fig. 2 Construction of porthole extrusion die[6]

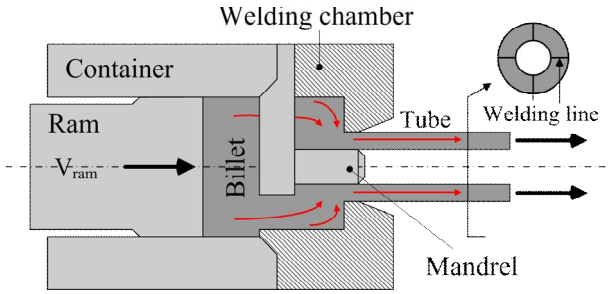


Fig. 3 Metal flow in porthole extrusion die

접합실(welding chamber)의 세 부분으로 이루어져 있다[6].

Fig. 3 은 포트홀 압출 금형 내 소재유동을 나타낸 것이다. 램(ram)이 전진하면 컨테이너 내 소재는 포트홀에서 나누어지며 나누어진 소재는 접합실에서 서로 만나 고온/고압 상태에서 접합이 이루어진다. 이후 접합실에서 완전히 접합된 소재는 접합실을 빠져나가며 최종 요구단면의 프로파일로 성형된다.

Fig. 4 는 일반적인 포트홀 압출금형의 접합실 내 소재 속도분포를 나타낸 것이다. 포트홀에서 나누어진 소재가 접합실에서 접합될 때 인접한 소재끼리 만나는 영역에서 접합면(welding plane)이 형성된다. 또한, Fig. 4 의 접합실 내에서 실제 접합은 금형 출구부 인근에서 발생하며 나머지 영역은 데드 메탈(dead metal)영역이다[7].

접합면에서 충분한 접합압력(welding pressure)이 발생하지 않을 경우 접합불량에 의한 결함이 발생하게 된다[8]. Fig. 5 에서 보듯이 충분한 접합압력이 발생하지 않을 경우 일반적으로 접합이 일어난 접합선(welding line)에서 접합불량이 발생한다[9]. 따라서, 최종 압출품의 접합품질 향상을 위해서는 접합실

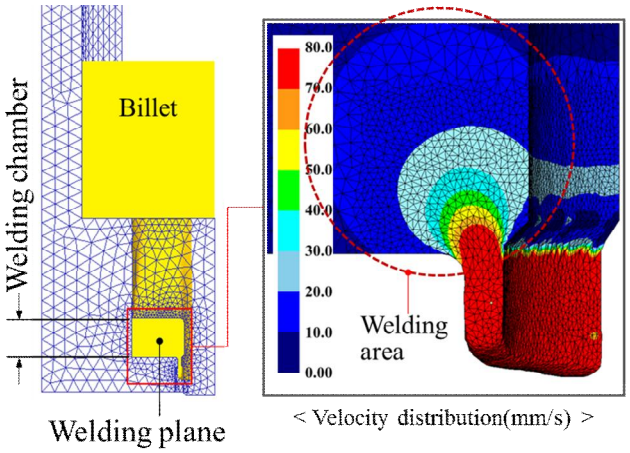


Fig. 4 Welding plane and area in the welding chamber

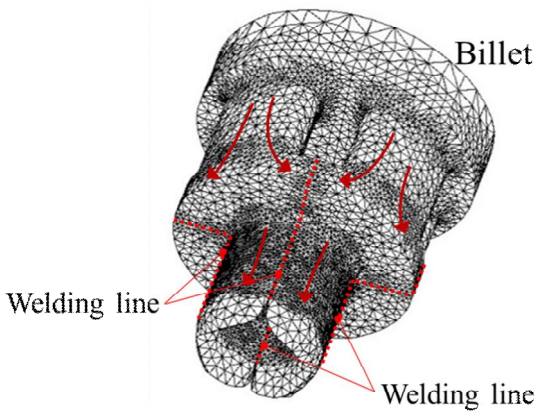


Fig. 5 Welding lines

내에서의 충분한 접합압력 확보가 매우 중요하다. 따라서, 접합압력이 높을수록 최종 중공압출품의 접합품질도 향상된다.

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 접합실 내 접합압력 향상을 위한 새로운 형태의 접합실 형상을 제안하였다. 제안된 새로운 형태의 접합실에 대한 타당성 검증을 위해 중공형 알루미늄 튜브제품 제조를 위한 포트홀 압출공정에 적용하였다. 기존 적용 공정과 새로운 형태의 접합실이 적용된 공정에 대한 유한요소해석을 통해 접합실 내 접합영역의 형상 및 접합압력을 비교하여 그 타당성을 평가하였다.

2. 접합압력 향상을 위한 접합실 형상

Fig. 2와 Fig. 3, 그리고 Fig. 4에서 보듯이 기존 포트홀 압출용 금형의 접합실은 평다이 형태이다. 따

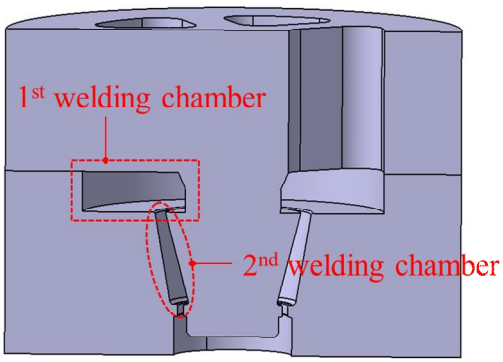


Fig. 6 Proposed new welding chamber porthole extrusion die

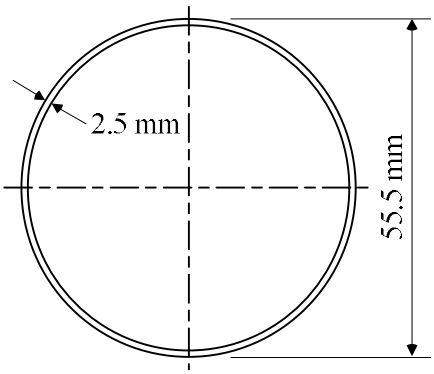


Fig. 7 Dimension of the applied cylinder tube

라서, 접합실 출구부 인근 영역에서만 접합압력이 발생하기 때문에 접합압력 발생 영역이 다소 협소할 뿐만 아니라 접합압력이 발생하는 시간 또한 짧은 단점이 있다. 이로 인하여 적절한 접합실 설계가 이루어지지 않을 경우 접합불량이 발생하게 된다.

본 연구에서는 접합실 내에서 발생하는 접합압력을 높임과 동시에 접합압력 발생영역 확대가 가능한 새로운 형태의 접합실 형태를 제안하였다. Fig. 6에 제안된 새로운 형태의 접합실을 나타내었다. Fig. 6에서 보듯이 기존 접합실 하부에 추가되는 접합실을 갖는 형태로 상부 접합실(1st welding chamber)에서 1차 접합이 이루어진 소재가 하부(2nd welding chamber) 접합실을 통과하면서 소재에 지속적인 접합압력이 가해지는 구조이다. 이를 통해 보다 향상된 접합압력 및 접합시간 지속이 가능하다.

3. 2단 접합 포트홀 압출 유한요소해석

본 연구에서는 2단 접합실 적용 포트홀 압출금형의 효용성을 검증하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다. 유한요소해석을 이용하여 Fig. 7에 나타낸 공압 실린더용 중공 튜브 압출공정에 대한 해석을 수행하였다. 유한요소해석을 통해 기존 포트홀 압출금형을 적용한 경우와 본 연구에서 제안한 포트홀 압출금형 적용 공정에 대하여 비교평가 하였다.

3.1 유한요소해석 조건

유한요소해석에 적용된 소재는 Al6063이며, 온도 및 변형률 변화에 따른 유효응력-유효변형률 곡선은 Fig. 8에 나타내었으며, 기타 유한요소해석 조건은 Table 1에 나타내었다[10].

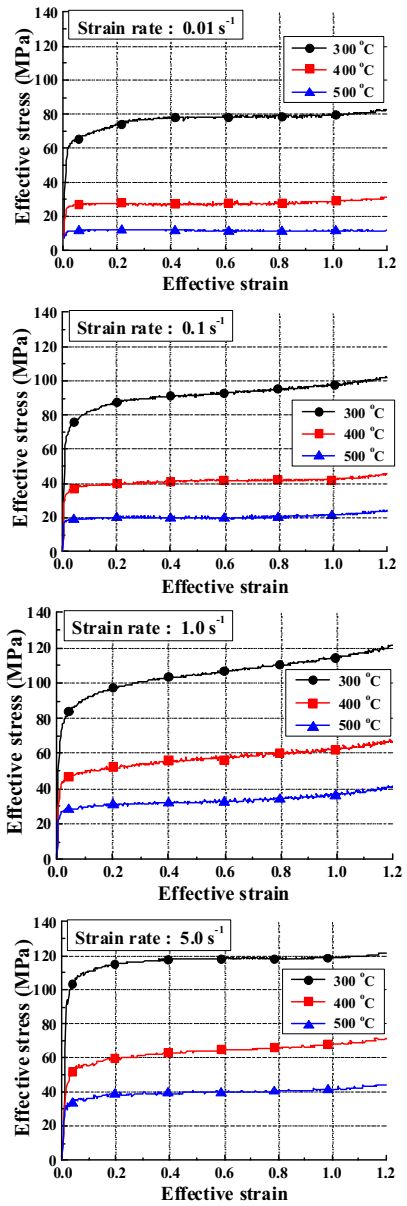
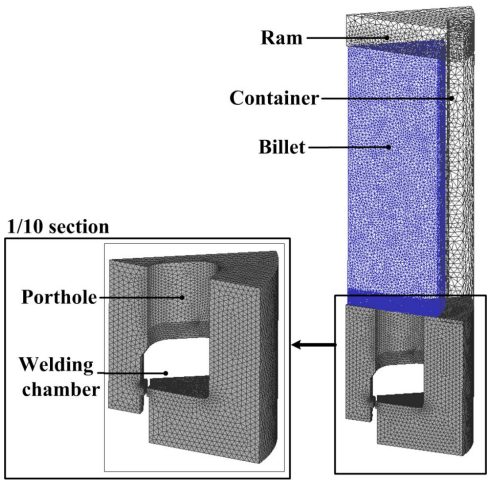


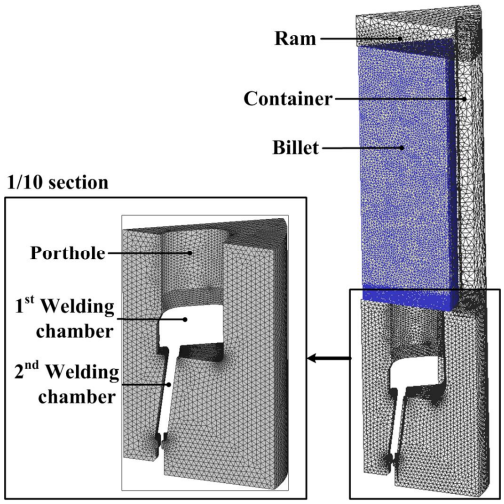
Fig. 8 Effective stress-effective strain curve of Al6063

Table 1 Conditions for FE analysis

Conditions	Value
Billet material	Al6063
Die material	AISI-H13
Initial billet temperature	480 °C
Initial die temperature	450 °C
Billet diameter	177.8 mm
Friction factor (m)	0.6
Ram speed	5 mm/s
Heat transfer coefficient between billet and die	11.0 N/s/mm/°C

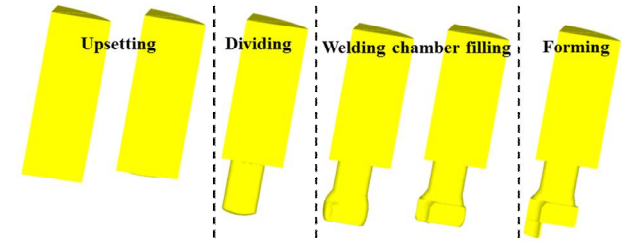


(a) Conventional porthole extrusion

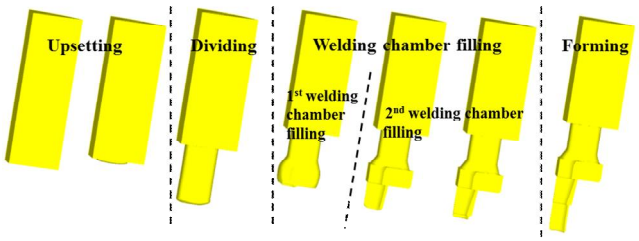


(b) New designed porthole extrusion

Fig. 9 Initial FE analysis model

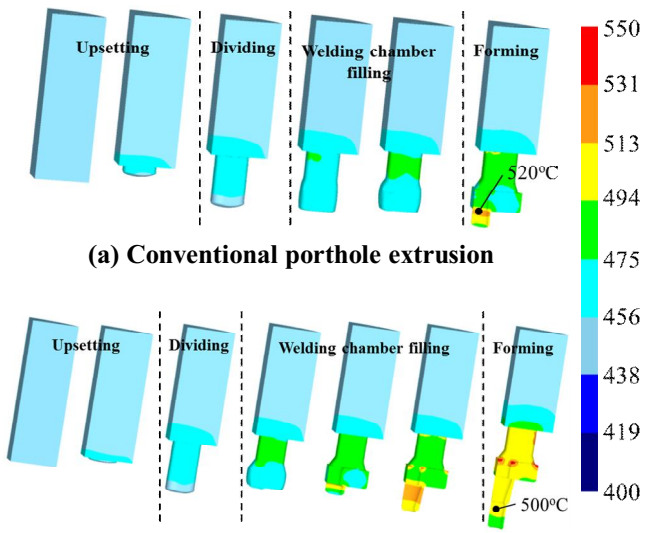


(a) Conventional porthole extrusion



(b) New designed porthole extrusion

Fig.10 Deformation pattern in porthole dies



(a) Conventional porthole extrusion

(b) New designed porthole extrusion

Fig.11 Distribution of temperature(°C)

3.2 유한요소해석 결과

유한요소해석은 상용 유한요소해석 소프트웨어인 DEFORM-3D로 수행되었으며, 포트홀 압출금형의 대칭성을 고려하여 1/10단면에 대한 해석을 수행하였다. Fig. 9에 두 공정에 대한 초기 유한요소해석 모델을 나타내었다.

유한요소해석결과 포트홀 금형 내부 소재변형양상을 Fig. 10 에 나타내었다. Fig. 10(b)에서 알 수 있듯이 제안된 금형의 경우 상부 접합실을 채운 후 소재가 하부 접합실을 채우게 되며, 하부 접합실에서도 지속적인 접합압력이 발생 된다.

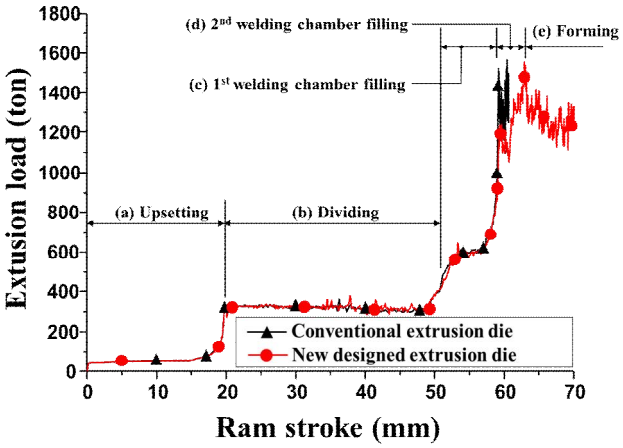


Fig.12 Comparison of extrusion load

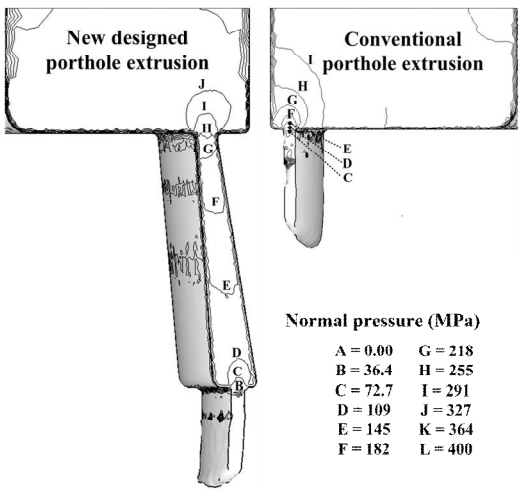


Fig.13 Distribution of welding pressures in welding chamber

Fig. 11은 소재 온도분포를 나타낸 것이다. 제안된 금형 적용 시 금형 출구부에서 소재의 최대온도가는 약 500°C로 적용된 Al6063의 용융온도인 약 650°C보다 현저히 낮음을 알 수 있다. 따라서, 압출 시 지나친 온도상승으로 인한 결함은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

Fig. 12는 압출하중을 나타낸 것이다. 포트홀 압출공정 하중은 업세팅(upsetting), 분할(dividing), 그리고 성형(forming)구간으로 나누어지며, 최대 압출하중은 접합실을 모두 채운 소재가 금형 출구부로 빠져나올 때 발생하게 된다. 해석결과 최대 압출하중은 각각 1420ton과 1450ton으로 제안된 금형 적용 시 약 2.1% 상승하게 되나, 그 차이는 크지 않음을 알 수 있다.

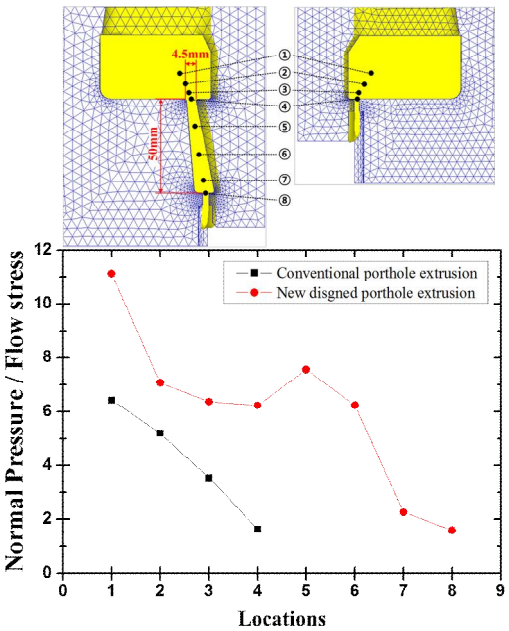


Fig.14 Comparison of welding pressures in welding chamber

Fig. 13과 Fig. 14는 접합면에서의 접합압력을 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 본 연구에서 제안된 금형의 경우 하부 접합실에서도 지속적인 접합압력이 발생하고 있다. 또한, 기존 금형의 경우 금형 출구부를 제외하면 접합압력이 소재 유동응력의 약 3.4~6.5배이나, 제안된 금형의 경우 소재 유동응력의 6.3~11.2배로 향상됨을 알 수 있다. 따라서, 이러한 결과로부터 본 연구에서 제안된 하부 접합실이 장착된 새로운 포트홀 압출금형 적용 시 접합실 내 소재 접합압력 향상 및 접합압력 발생 영역이 확대되어 접합품질 향상이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용해 접합실 내 접합압력 향상을 통해 알루미늄 중공 압출품의 접합 품질향상을 위한 새로운 포트홀 압출금형 형상을 제안하였다.

기존 포트홀 압출금형의 접합실 하단에 하부 접합실이 설치되어 있는 2 단 접합실 포트홀 압출금형을 제안하였으며, 제안된 포트홀 압출 금형의 타당성 검증을 위해 기존 포트홀 압출공정과 제안된 포트홀 압출금형을 적용한 압출공정에 대한 유한요소

해석 결과 다음의 결론을 도출하였다.

(1) 금형 출구부에서 소재 최대 표면온도는 기존 압출공정의 520°C 보다 20°C 낮은 500°C 를 나타내었다. 적용 소재인 Al6063 의 용융 온도보다 낮기 때문에 국부 용융에 의한 표면 결함은 발생하지 않을 것으로 판단되었다.

(2) 압출 하중의 경우 제안된 포트홀 압출금형을 적용한 경우가 소재변형량 증가 및 마찰면적 증가로 인해 약 2.1% 높았다.

(3) 접합실 내 접합영역의 경우 제안된 금형은 하부 접합실 추가로 인하여 접합영역뿐만 아니라 접합압력 또한 증가하였다.

(4) 접합면의 접합압력은 기존 포트홀 금형 적용 공정의 경우 소재 유동응력의 3.4~6.5배였으나 새로 제안된 금형을 적용한 경우 6.3~11.2배로 약 70% 이상 향상된 값을 나타내었다.

따라서, 제안된 포트홀 압출금형 적용 시 기존 압출금형을 적용한 공정보다 접합면에서의 접합품질이 보다 우수한 알루미늄 중공품 압출이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] H. H. Jo, S. K. Lee, S. B. Lee, B. M. Kim, 2002, Prediction of Welding Pressure in the Non-steady State Porthole Die Extrusion of Al7003 Tubes, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol. 42, No. 6, pp. 753~759.

[2] F. Gagliardi, G. Ambrogio, F. Filice, 2012, On the Die Design in AA6082 Porthole Extrusion, CIRP Ann.-Manuf. Technol., Vol. 61, No. 1, pp. 231~234.

[3] H. H. Jo, S. G. Lee, J. N. Park, B. M. Kim, 2001, Unsteady State Analysis of Al Tube Hot Extrusion by A Porthole Die, Trans. Mater. Process., Vol. 10, No. 4, pp. 312~318.

[4] Y. J. Joe, S. K. Lee, B. M. Kim, K. H. Oh, S. W. Park, 2007, Process Development of Constant Curvature Extrusion for Aluminum Alloy, Trans. Mater. Process., Vol. 16, No. 7, pp. 555~560.

[5] M. Kleiner, A. E. Tekkaya, D. Becker, D. Pietzka, M. Schikorra, 2009, Combination of Curved Profile Extrusion and Composite Extrusion for Increased Lightweight Properties, Prod. Eng. Res. Devel., Vol. 3, No. 1, pp. 63~68.

[6] H. H. Jo, C. S. Jeong, S. K. Lee, B. M. Kim, 2003, Determination of Welding Pressure in the Non-steady-state Porthole Die Extrusion of Improved Al7003 Hollow Section Tubes, J. Mater. Process. Technol. Vol. 139, No. 1, pp. 428~433.

[7] H. H. Jo, S. K. Lee, C. S. Jeong, B. M. Kim, 2006, A Non-steady State FE Analysis of Al Tube Hot Extrusion by a Porthole Die, J. Mater. Process. Technol., Vol. 173, No. 2, pp. 223~231.

[8] D. Tang, Q. Zhang, D. Li, Y. Peng, 2014, A Physical Simulation of Longitudinal Seam Welding in Micro Channel Tube Extrusion, J. Mater. Process. Technol., Vol. 214, No. 11, pp. 2777~2783.

[9] F. Gagliardi, T. Citea, G. Ambrogio, L. Filice, W. Z. Misiolek, 2015, Relationship Between Process Conditions and Seam Weld Width in Extruded Shapes through a Porthole Die with Customized Geometry, Mater. Today: Proc., Vol. 2. No. 10, pp. 4874~4881.

[10] M. S. Joeng, S. Y. Lee, I. K. Lee, S. K. Lee, D. H. Kim, Y. J. Cho, D. C. Ko, 2014, Green Alternative Aluminum Extrusion Process through Process Convergence, Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 15, No. 6, pp. 1173~1177.