

가변단면 압출기 개발 및 응용 연구

최호준¹·임성주¹·신희택²·최석우[#]

Development of CNC Extruder for Variable Cross-Section Extrusion Process and its Applied Research

H. J. Choi, S. J. Lim, H. T. Shin, S. Choi

(Received October 11, 2007)

Abstract

Resource and energy saving is a very important practice for the future as well as for today. Weight saving of structural parts, which are formed by extrusion, plays a key role in manufacturing field. The cross-sections of extruded parts with industrial aluminum are constant in the axial direction by conventional extrusion method. Especially, these aluminum parts used and manufactured in the car industry need other processes to vary the cross-section in the axial direction. However, applications of these parts are often limited by high cost. If the cross-section of the parts is variable by only extrusion with newly developed method, the application of extruded aluminum parts will actually increase. Therefore, a new CNC extruder that can control the section area of a car part was invented for the first time in the nation. Using the extrusion machine, the experiment was performed to validate its workability during the variable section extrusion process. Also, numerical analysis was carried out to investigate the flow mode with different speeds of main ram and various pocket shapes of a die-set in the variable section extrusion process.

Key Words : Aluminum Extrusion, Variable Section, CNC Extruder, Extrusion Die, FE Analysis

1. 서 론

국가 산업 기술수준의 척도로서 국가 경쟁력의 상징적 지표가 된 자동차 산업은 기술집약적 산업특성과 대·중소기업 상생 협력적 산업특성으로 산업적 비중이 더욱 증대되어, 국가의 주요 기간산업으로서의 인식이 더욱 심화되고 있다. 따라서 브랜드(Brand)가치 고도화를 통한 시장지배를 위하여 기술적으로 극심한 무한 경쟁 시대를 맞이하고 있다.

세계 메이저 자동차들(GM, Toyota)의 비교평가에서 판단할 수 있듯이, 기술의 고도화와 원가의 합리화가 글로벌 경쟁에서 매우 중요한 요소가

되고 있다. 국내 자동차 산업의 질 좋은 성장을 위하여 노력을 경주함에 있어서 이 부분이 시사하는 점이 있으며, 글로벌 환경에서 브랜드 가치가 제일 중요하며, 이 브랜드 가치는 고도의 경영 기술 및 생산 기술에서 창출됨을 알 수 있다.

기술고도화의 중심에는 신 엔진개발, 신 파워트레인, IT 결합, 신소재 응용 등이 있으나, 단기적으로 가장 효과적이고 확실한 투자는 IT 결합과 신소재 응용기술의 개발이라는 것이 정설이라고 할 수 있으며, 자동차의 무게를 감소키는 경량화 기술은 배기가스의 규제, 연비 향상 등을 경제적이고 효과적으로 달성할 수 있으며, 상대적으로 파워가 부족한 신엔진 및 대체 연료 자동차와 같은

1. 한국생산기술연구원 디지털성형공정팀

2. 보원경금속㈜

교신저자: 한국생산기술연구원, E-mail: schoi@kitech.re.kr

차세대자동차의 실용화를 앞당기는 핵심기반 기술이다. 알루미늄(Aluminum)[1~2]을 중심으로 한 경량소재는 상대적으로 비용이 비싸고(Al소재원가 철계 대비 4-5배), 제조 기술에 대한 노하우(Know-how)가 부족하여 소재부터 제조, 조립에 이르는 제조 공정 전반에 대한 획기적인 기술도약(Quantum Jump)이 필요하다.

이와 같은 기술 극복을 위한 한가지 대안으로서 압출재의 단면을 압출과 동시에 변화시키는 가변단면 압출기술이 개발되고 있다. 기존의 공정에서는 자동차 프레임재를 생산함에 있어서, 프레임 압출 후에 단면의 형상을 변화시키는 공정을 이용하였으나, 신 가변단면 압출기술[3~5]은 압출기 내에서 압출과 동시에 단면을 변화시키는 공정 기술을 개발함으로써, 경량소재의 약점 중에 하나인 높은 생산단가를 낮추려는 의도이다. 따라서 국내에서도 가변단면 압출기술을 개발하고자 연구가 수행되고 있으며, 가변단면 압출을 실현하기 위한 CNC 압출기가 국내에서 개발[6~7]되어 가변단면용 압출성형실험 및 이에 따른 관련 연구가 활기를 띠고 있는 실정이다.

가변단면 압출은 봉이나 튜브를 압출하는 일반적인 압출공정 중에 압출방향과 수직된 방향으로 움직이는 금형을 이용하여 압출재의 단면을 변화시키는 신 공정으로 Fig. 1 에 가변단면 압출의 원리를 위한 개념도를 나타내었다. 압출공정 중에 단면을 변화시키기 때문에 적절히 사용할 경우 후속 공정(하이드로 포밍, 절곡, 조립, 용접 등)을 생략하여 알루미늄 등과 같이 소재비가 철계에

비하여 상대적으로 높은 신소재의 상용화 및 원가 절감에 효과적인 공정이라고 할 수 있다.

Fig. 2 에서는 가변단면 압출공정이 기존 자동차용 서브프레임(Sub-frame) 제작 공정에 비하여 상당히 단순화되어 있어 원가절감에 유리함을 공정도를 비교함으로써 제시하고 있다. 그림에서처럼 3 가지 공정(a)을 하나의 가변단면 압출공정(b)으로 대체시켜 상품화한 예이다. 가변단면용 압출공정 적용이 가능한 부품들로서는 범퍼 스테이(bumper stay), 사이드 범퍼(side bumper) 등의 자동차 구조재와 레저용 및 기타 산업용으로써 자전거 암 및 인라인 스케이트 프레임 등이 있다. 낮은 생산원가와 신뢰성 높은 알루미늄 부품을 생산하기 위한 공정 수 절약과 신공정 복합화를 토대로 가변단면 압출공정은 적용될 예정이며, 앞으로 더 많은 응용제품들의 개발 또한 시급히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 논문에서는 가변단면 압출이 가능하도록 압출시스템(가변단면 압출기) 구조를 서술하고자 하였으며, 가변단면 형상을 변화시켜 압출실험을 수행하여 압출성형체를 분석하였고 유한요소 해석을 통해 실험의 타당성 및 확장가능성을 제시하고자 하였다.

2. CNC 가변단면 압출기 제조와 성형실험

경량소재 특히 알루미늄 소재의 압출공정에 고부가가치화 및 원가 절감 측면에서 개발된 신기술, 복합공정인 가변단면 압출공정을 실현하기 위해서는 CNC(Servo) 제어를 채용하여 가변 단면용 압출기를 많은 이론 및 현장적 어려움을 극복하고 최우선적으로 개발하게 되었다. 따라서 본 연구팀에서는 국내 최초로 개발 및 제조한 CNC 제어 가변단면 압출기 설비를 기반으로 가변단면용 압출성형실험을 수행하였으며, 가변단면 압출공정의 확장성을 시도를 위해 압출공정의 유한요소해석 및 공정분석을 수행하였다.

2.1 CNC 가변단면 압출기 주요부

CNC제어 가변단면 압출기의 주요부로서는 기존 압출기의 골격을 그대로 사용하였고 가변단면용 압출금형의 장착이 가능하도록 구조를 개선하였다. 가변형상을 위한 금형의 움직임을 책임지는 이송실린더를 플레이트(Platen) 및 컨테이너 사이의

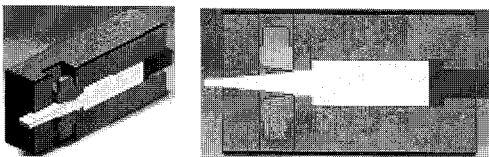


Fig. 1 Concept of variable section extrusion

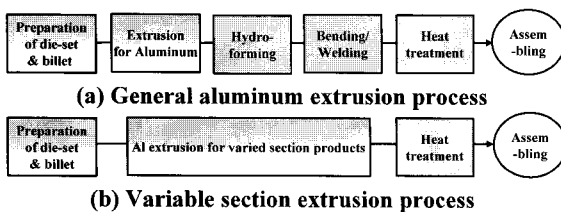


Fig. 2 Comparison of manufacturing process for car sub-frame

양 측면에 Fig. 3에서 나타낸 것처럼 제작·설치하였다. 두 개의 이송실린더는 메인 램과 직각방향에서 움직이는 금형부품의 이송을 담당하며, 속도 제어를 통해 원하는 크기를 갖는 가변단면 형상의 압출성형체를 제조할 수 있게 된다. Fig. 3에서는 플래튼의 한쪽 측면에 이송실린더가 제작되어 압출기에 장착되어 있는 모습을 나타내고 있으며, 가변단면 압출공정에 있어서 금형의 이동을 책임지는 장치로써 유압제어를 통해 가변단면 압출을 실현시키는 핵심적인 장치라고 할 수 있다.

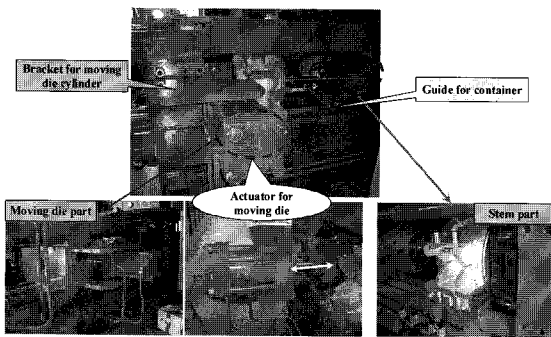


Fig. 3 Improved CNC extruder with the first moving cylinder in section extrusion process

또 하나의 중요한 장치로는 가변단면 압출 성형을 가능케 하는 금형 구조 및 부품의 설계·제작이다. 현재 시도하고 있는 가변단면용 압출성형체 단면은 'H'자, 'C'자 및 직사각형이며, 각각 이들 단면의 일부분 두께를 변화시켜 가변단면용 압출실험을 수행하고 있다.

2.2 가변단면 형상변화에 따른 금형설계와 제조

압출단면을 가변 시키는 원리는 압출단면의 형상을 책임지고 있는 금형의 일부분 또는 일부 부품에 이동을 가하여 압출되는 소재의 채워짐을 순간적으로 변화시켜 단면형상을 바꾸는 것이다. 따라서 가변단면 압출금형은 압출단면의 형상을 책임지는 일부분(일부 부품)의 움직임이 용이하도록 금형 구조 및 부품설계가 이루어져야 한다. 즉, 이동금형부의 미끄럼, 또 이에 따른 마찰 최소화 방법, 금형부품들의 열처리 및 열팽창, 컨테이너의 압축하중에 대한 볼스터의 상설 설계 등을 종합적으로 고려하여 설계하고 제작되어야 한다.

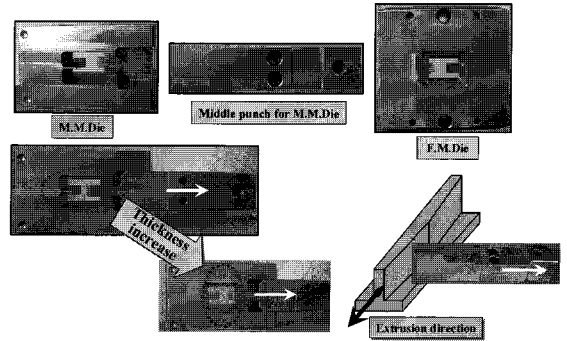
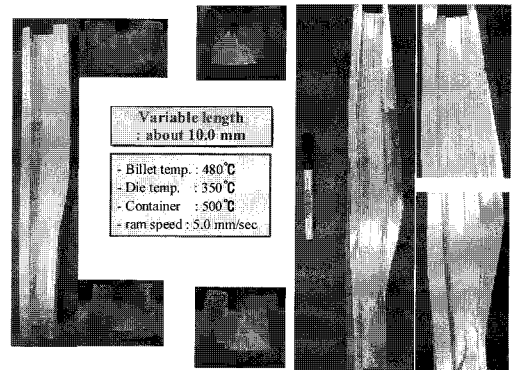
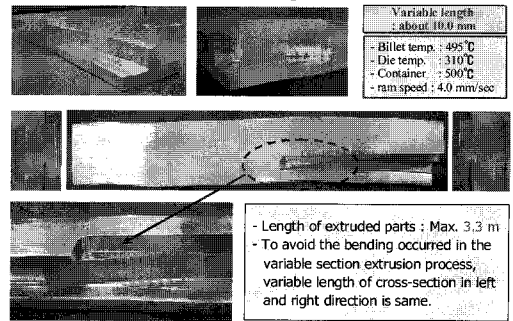


Fig. 4 Die set-up for the 'H' type with variable middle thickness in the extrusion process



(a) 'C' Type



(b) 'H' type

Fig. 5 Variable section with variable thickness during the extrusion process

Fig. 4에서는 가변단면 형상이 H자 형태를 갖는 부품을 압출하기 위한 금형형상으로써 H자 형태에서 중심의 한쪽 두께만 변화를 가하여 가변형상을 얻는 압출공정용 금형부품들을 보여주고 있다. 이송용 금형은 H자 형태의 중심 두께부분의 형상만을 변화시켜 가변량을 부여하고 있으며, 이러한 가변량의 변화에 따라 H자 형태의 중심두

계는 필요부위에 강도를 부여 받아 후가공을 생략하거나 나사 등의 부품을 조립할 수 있도록 제품에 변화를 주게 된다.

2.3 가변단면 압출 성형실험

가변단면용 압출실험을 진행하기 위한 준비로는 약 350-450℃ 정도로 예비 가열된 금형과 480-550℃ 정도의 고주파로에서 가열시켜 꺼낸 알루미늄 소재(AA 6063)를 500℃의 컨네이너에 장입시키고 압출성형체의 형상 및 생산성을 고려한 일정한 메인 램의 속도를 부여하면 압출실험이 이루어지게 된다.

Fig. 5에서는 두께를 가변시켜 단면형상을 변화시키는 압출성형 실험의 예들이다. (a)에서는 'C'자형에서 오른쪽의 두께부분을 10 mm 에서 20 mm 정도까지 변화시킨 것이며, (b)에서는 'H'자의 압출단면에서 중심두께를 순차적으로 변화시킨 예이다. Table 1에서는 압출성형체의 단면형상에서 가변량을 일정하게 목표로 하여 실험한 후 그 가변량을 측정하여 나타낸 값들이다. 대체적으로 원하는 제품 정밀도 값인 ±0.5 mm 공차 안에 포함되나 소재 및 금형 온도에 따라 압출성형체의 가변량이 예상한 값의 정밀도 값을 벗어나는 것으로 판단되며, 'C' 자형의 단면형상(cross-section type)에서 목표로 하는 가변량을 얻기가 쉽지 않음을 알 수 있다. 따라서 원하는 가변량을 얻기 위해서는 단면형상의 특성과 소재 및 금형온도에 대한 관리범위를 설정하고 그 범위 안에서 가변단면용 압출 성형실험이 이루어지도록 공정관리를 해야 할 것으로 판단된다.

Table 1 Analysis of extruded product with variable cross-section extrusion process

Cross-section type		Variable length (mm)	
Shape	Name	Target	Experiment
C	Channel type	5.0	5.3, 5.6, 4.8, 4.4
□	Square type	18.5	18.0, 18.6, 18.5, 17.9
H	Upper-case H	10.0	10.2, 9.7, 9.5, 10.5

3. 유한요소 해석

가변단면 압출의 성형실험을 통해 가변단면의 압출가능성 및 단면모양의 다양한 가변성을 확인하였으며, 해석을 통해서도 다양한 가변단면용 압

출형상에서 발생할 수 있는 압출성형체의 문제점들을 분석하고 이의 극복을 위한 해결점을 모색해 보고자 하였다.

3.1 메인 램 속도 변화에 따른 분석

가변단면 압출공정에 있어서 압출단면은 메인 램 및 이송 실린더의 속도비에 따라 여러 형상을 만들어 낼 수 있다. Fig. 6 에서는 'C'자 압출단면에 있어서 램의 속도 변화에 따라 압출성형체의 온도분포 변화를 분석하여 나타내고 있다. 메인 램의 속도가 증가함에 따라 압출성형체의 온도도 함께 증가하고 있는 것으로 분석된다. Table 2 에서는 수치해석한 결과들을 종합해서 나타내었다. 메인 램의 속도 증가에 따라서 온도뿐만 아니라 최대 유효응력도 증가하는 경향을 가짐을 알 수 있다.

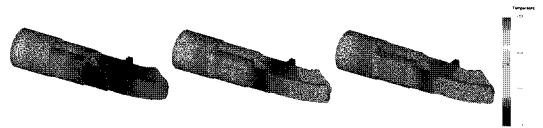


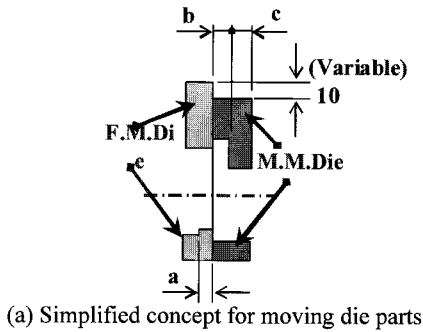
Fig. 6 Temperature distribution with variable ram speeds

Table 2 Analysis of FE simulation with variable ram speeds

Ram speed (mm/sec)	Temperature (°C)	Max. Effective stress (MPa)	Maximum velocity (mm/sec)
4	355 - 443	65.4	19.4
6	358 - 448	67.7	26.4
8	361 - 451	68.9	30.9

3.2 압출단면의 랜드부 및 가변단면 형상 변화에 따른 압출성형체 분석

압출형상을 최종적으로 결정짓는 금형의 주요 부위가 바로 랜드(land)부 또는 베어링(Bearing)부라고 일컫는 평행부를 갖는 형상이다. 일반 압출에 있어서도 압출소재의 종류에 따라 랜드부의 길이가 변화하고 있다. Fig. 7 (a)에서는 압출형상을 최종적으로 결정하는 금형의 랜드부를 갖는 앞쪽 움직임 중간 금형(F.M.Die) 및 중간 움직임 중간 금형(M.M.Die)를 간략화하여 표현하고 있다. Fig. 7(b)와 (c)에서는 플랜지부가 있는 'C'자형 가변단면 압출공정의 유한요소 해석을 통한 분석결과를 보여주고 있다.



4. 결론

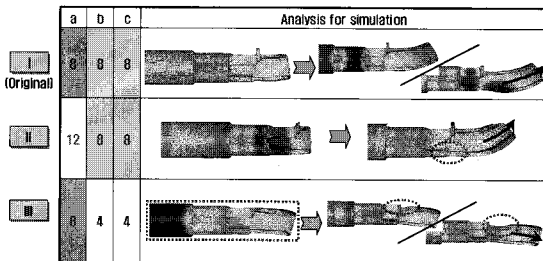
알루미늄 소재의 가변단면 압출을 위해 압출기를 개발 완료하였으며, 이를 이용하여 가변단면 압출성형 실험을 수행하였고 압출성형 실험을 토대로 하여 압출금형의 재설계 방향 및 압출기 용량의 타당성을 증명하였다. 또한 가변단면 압출공정에 대하여 유한요소해석에 따른 모의실험을 공정변수를 달리하면서 수행함으로써 실험의 타당성 및 가변단면 압출공정의 적용성 확대를 도모하고자 하였다.

후기

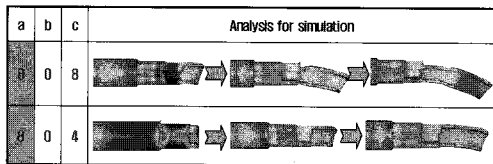
본 연구는 산업자원부 차세대 신기술 개발사업 "CNC 제어 AI 소재 가변 단면 압출기술 개발" 사업의 지원에 의해 가능하였으며 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] J. H. Lee, D-G. Lee, H. S. Yeom, J. H. Kim, N. K. Park, Y. T. Lee, 2007, Evaluation of Mechanical Property and Microstructure of Forged and T6-treated 6061 Aluminum Alloy Wheel, Trans. Mater. Proc., Vol. 16, pp. 354~359.
- [2] M. K. Lee, S. M. Hong, G. H. Kim, W. W. Kim, 2004, Structural Properties in Flame Quenched Cu-9Al-4.5Ni-4.5Fe Alloy, Metals Mater. Inter., Vol. 10, pp. 313~319.
- [3] T. Makiyama, M. Murata, 2005, A technical note on the development of prototype CNC variable vertical section extrusion machine, JMTP, Vol. 159, pp. 139~144.
- [4] M. Hoshino, 2000, JSTP, Vol. 41, No. 472, pp. 453~455.
- [5] S. Murakami, 2000, JSTP, Vol. 41, No. 472, pp. 460~465.
- [6] H. J. Choi, S. J. Lim, H. T. Shin, S. Choi, 2007, CNC Extruder for Varied Section Products, KSTP, Spring conference, pp. 246~249.
- [7] H. J. Choi, S. J. Lim, H. T. Shin, S. Choi, 2007, Forming Experiment using Improved CNC Extruder and FE Analysis in Varied Section Extrusion Process, KSTP, Autumn conference, pp. 128~131.



(b) 'ㄷ' Type with a flange



(c) 'ㄷ' Type without a flange

Fig. 7 FE analysis with/without a flange shape in the process

Fig. 7(b)와 (c)에 표현되어 있는 a는 F.M.Die의 랜드부, b는 M.M.Die의 포켓(pocket)형상을 플랜지(flange)라 명명하고 이것의 두께를 가리키며 c는 M.M.Die의 랜드부를 각각 호칭한다. M.M.Die의 플랜지는 소재유동을 개선시키기 위해 현장전문가의 추천을 받아 압출금형 설계에 반영하였으나 유한요소 해석결과로 미루어 짐작해보면 오히려 소재유동을 느리게 하여 압출성형체의 휨발생을 유도하는 효과가 있는 것으로 분석되었다. 따라서 금형에 플랜지 형태의 포켓을 삽입하는 것은 소재유동측면에서 다시 고려하여 모양을 달리하여 수치해석을 시도하여 금형설계에 반영해야 할 것으로 판단된다.