

## 스프링형상 와이어소재를 이용한 접합동시 파이프 압출성형공정 개발에 관한 연구

구경만<sup>1</sup> · 김태현<sup>2</sup> · 진인태<sup>#</sup>

### Development of a Process to Simultaneously Weld and Extrude Pipe Using a Spring Type Wire Material

K. M. Ku, T. H. Kim, I. T. Jin

(Received December 11, 2014 / Revised September 8, 2015 / Accepted September 15, 2015)

#### Abstract

A process for the concurrent welding and extruding of pipe was designed for continuous production of fin tubes. Unlike a conventional pipe extrusion, the new process is able to extrude a pipe continuously without limit of length by using spring type wire material. The current paper provides the basic research for welding during the extrusion using a spring type wire material. The object of the current study is to investigate the possibility that the spring type wire material could be extruded into a welded pipe. The appropriate extrusion ratio was selected through investigation of loads using computer simulations. As a result, experiments showed that pipe could be welded and simultaneously extruded with spring type wire material of aluminum. The tensile strength of the welded and extruded aluminum pipe can reach 80% of tensile strength of original aluminum feedstock.

**Key Words** : Pipe, Welding, Extrusion, Dies, Concurrent, Forming, Aluminum, Simultaneously, Spring, Wire, Strength

#### 1. 서 론

오늘날 파이프는 전열관, 수송관, 자동차 배관, 항공기 배관, 장식용품 등 여러 분야에서 중요 배관소재로서 활용되고 있다. 이러한 파이프는 사용 특성상 다양한 형태로 가공되어 사용되며 특히 냉동공조분야에 수요가 급격히 늘어나고 있는 추세이다. 특히 냉동공조용 파이프는 열교환특성상 파이프의 내외면에 방열핀등을 부착하여 그 효율을 높이는 데 관심이 많아 지고 있다.

그 중에서도 방열핀의 형태가 압출방향과 직각인 환상형핀을 외부에 부착한 열교환 파이프가 많이 사용되는데 이러한 환상형핀을 부착한 파이프의 제

작을 위해서 여러 가지 방법이 사용되고 있다.

환상형핀을 부착한 파이프의 대표적인 제작방법으로는 파이프를 가공한 다음 외면에 브레이징 용접방법을 사용하여 환상형 방열핀을 부착하는 방법이 있으며 파이프의 외주면에 방열핀을 스피닝공정으로 만드는 방법도 있다. 생산성과 경제성을 고려하여 적절한 방법이 사용되어 지고 있다.

스피닝가공을 통하여 방열핀을 제작할 때 파이프의 외주면상에 필요한 소재의 형태가 스프링형상으로 돌출부가 있게 되면 스피닝가공이 쉬워져 스프링타입의 와이어소재의 사용필요성이 제기된다. 또한 파이프 제작에 있어서 생산성향상을 위하여 와이어소재를 사용하여 롤러에 의해 소재의 연속적인

1. 부경대학교 산업대학원 기계공학과

2. 부경대학교 대학원 기계공학과

# Corresponding Author : Pukyong National University Mechanical Engineering, E-mail: jint@pknu.ac.kr

공급과 동시에 멘드렐주위로 중공압출하여 파이프를 연속압출하는 방법도 사용되고 있다. 이런 점을 고려해 볼 때 와이어소재를 이용한 파이프생산의 연속성과 스피닝공정을 이용한 방열핀제작의 생산성 향상을 목적으로 연속적인 압출과 동시에 방열핀의 스피닝가공을 복합성형할 필요성이 제기되는 시점이다.

따라서 본 연구는 상기의 목적으로 고안된 압출성형법의 선행 연구로서 실제 산업 현장에 이 가공법이 적용되기 위해서는 스프링 형상의 와이어소재가 파이프형상으로 접합동시 압출가공이 가능한지 여부와 압출된 파이프가 충분한 접합 강도를 가지는지에 대한 검토가 필요한 시점이다.

이에 본 연구에서는 실험이 가능한 적정 압출비를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 조사하여 금형을 제작하고, 스프링 형상의 와이어소재의 압출로 파이프 형상의 제품을 제작 가능한지 여부와 제작된 제품이 실제 산업에 적용 가능한 접합강도를 가지는지에 대하여 알아봄으로써 차후 접합동시 압출성형공정의 산업화 가능성을 알아보고자 하였다.

## 2. 접합동시 압출성형공정의 개요

파이프의 가공에서는 일반적인 기계가공의 절삭가공법보다 생산성, 경제성 등이 좋은 소성가공법이 일반적으로 적용되며, 대표적인 소성가공법은 압출가공법이 있다. 파이프를 압출하여 가공하는 방법은 포트홀 다이(porthole die), 스파이더 다이(spider die), 브리지 다이(bridge die) 등을 이용하여 재료를 분리하였다가 접합하는 방법 등을 사용한다.

이러한 압출성형법은 길이방향의 방열핀을 성형할 수 있는 장점이 있으나 외주면의 환상형 방열핀은 성형이 불가능하고 압출가공길이에 제한을 받을 뿐 아니라 소재의 공급이 항상 뒤에서 밀어주는 압출편치의 압입에 의해 공급되기 때문에 연속적인 압출공정이 불가능하다. 따라서 파이프의 길이는 소재의 길이 및 프레스 기계의 제원에 영향을 받으므로 단일 형태의 긴 파이프의 제작에 힘든 점이 있다[1~3].

상기의 문제점을 해결하고자 Jin[4]은 와이어 금속의 연속적인 공급과 스크류(screw)형태의 멘드렐(mandrel)을 이용하여 회전토크에 의한 압출압력을 가해 줌으로서 Fig. 1 과 같은 연속적인 파이프 생산이

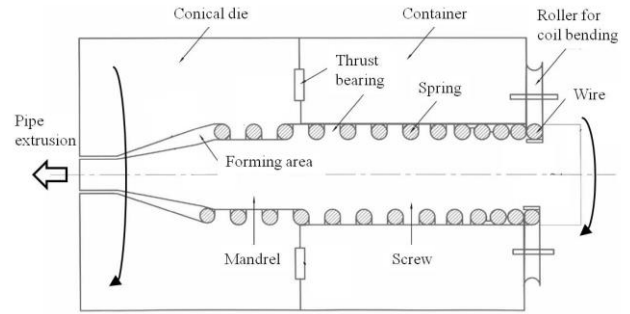


Fig. 1 Welding concurrent extrusion forming process of pipe using wire spring material

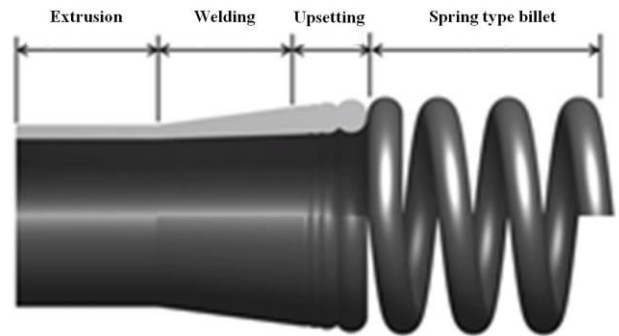


Fig. 2 Shape of plasticity flow of wire material in welding concurrent extrusion forming die assembly

가능한 접합동시 연속압출 스피닝 성형가공법을 제시하고 기초연구를 수행한 바 있다[5].

제시된 가공법의 기본 원리는 와이어형태의 소재를 스프링형상의 재료로 만든 다음 스크류형상을 가지는 멘드렐의 회전으로 스프링형상의 재료를 이동 및 압출하게 되면 스프링형상의 재료가 원추형다이(conical die)를 통과하면서 발생하는 압출압력과 외부 열원으로부터 전달된 열에 의해 고상접합되면서 파이프로 압출되도록 하는 것이다.

이 압출가공법을 이용할 경우 길이가 긴 형태의 파이프를 생산 하기 위하여 빌렛(billet)을 키우거나 빌렛을 교체하는 기존의 압출법과는 달리 연속적인 와이어금속의 지속적인 공급만으로도 길이가 긴 파이프를 생산 할 수 있다는 이점이 있다.

본 가공법을 단계별로 나누어보면 와이어소재를 스프링 형태로 가공하는 단계, 스프링 형태의 재료를 가열하는 단계, 스크류형태를 가지는 멘드렐의 회전토크를 이용하여 소재를 가압이동하는 단계 및

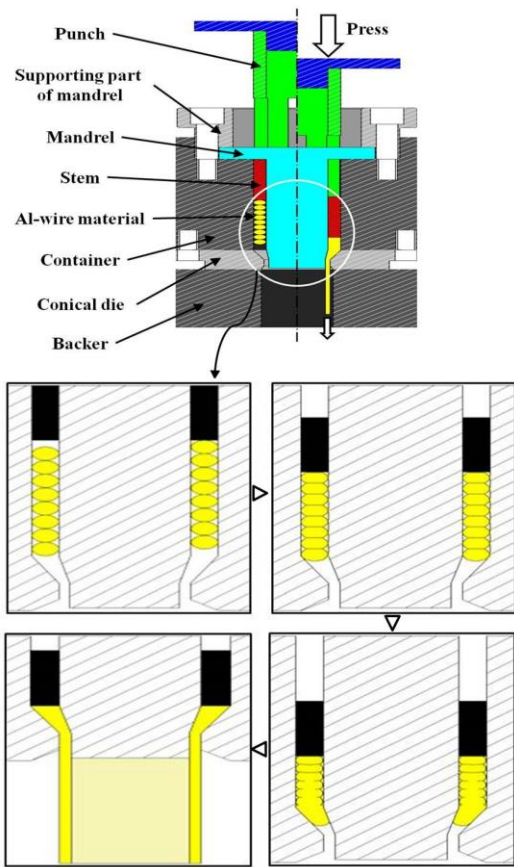


Fig. 3 Extrusion die assembly and process step of welding concurrent extrusion forming process

연속압출하는 단계로 크게 구분 할 수 있고, 스프링형상의 와이어소재가 연속압출되는 단계를 Fig. 2와 같이 좀더 세밀하게 나누어 보면 스프링이 압력에 의해 업셋팅(upsetting)되는 단계, 업셋팅압력에 의해 약하게 접합(welding) 되는 단계, 압출과 동시에 다시 강하게 접합되면서 파이프로 접합동시 압출(extrusion)되는 단계로 나눌 수 있다.

여기서 적용되는 접합의 원리는 금속의 재결정 온도와 용융점 이하의 온도 범위 내에서 압력을 가해주게 되면 열간금속 소성유동에 의한 고상접합원리를 기초로 하며 두장의 중첩된 금속판재가 열과 압력에 의해서 접합할 수 있는 전단접합시 전단압력에 의해 열간금속이 고상접합될 수 있는 것이 실험으로 소개된바 있다[6~7].

본 연구에서는 스프링 형상의 와이어소재가 파이프 형상으로 압출가능여부 파악하기 위하여 Fig. 3과 같은 압출접합금형을 이용하였다. 접합동시 압출

성형공정을 수행하기 위한 공정순서는 다음과 같다.

스프링형상의 와이어소재를 사용하기 때문에 기본적으로 멘드렐을 사용하게 되고 이 멘드렐주위에 스프링소재를 배치한 다음 컨테이너 내부에 삽입된 상태에서 컨테이너를 통한 열전도에 의해서 스프링소재에 열을 가하게 된다. 멘드렐과 동심원으로 되어 있는 원통형 압출스템으로써 가열된 스프링형상의 와이어소재를 업셋팅하면서 압출이 시작된다.

이어서 업셋팅이 진행될 때 스프링소재가 원통형소재로 압착된 상태로 소성변형되면서 열과 압력에 의해서 약하게 접합된다.

그리고 압출용 스템(stem)으로 이 원통형소재에 압력을 계속 가하게 되면 원통형소재가 원추형 압출다이와 멘드렐 사이를 통과하면서 단면적이 줄어들어 강한 압출압력이 가해지고 이 압력과 열에 의해서 강하게 접합된 파이프를 압출하도록 되어 있는 것이 특징이다.

### 3. 접합동시 압출성형공정 시뮬레이션

#### 3.1 시뮬레이션 조건

장비에 적용 가능한 압출비를 선정 하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 진행 하였다. 스프링형상을 가지는 와이어소재의 직경은 5mm로 고정된 상태에서 압출되는 파이프의 두께를 변경하여 Table 1과 같이 총 3가지 형태의 시뮬레이션을 진행 하였다

시뮬레이션에 사용된 프로그램은 DEFORM-3D 소프트웨어를 사용하였으며 전체적인 금형형상 및 주요 치수조건은 Fig. 4와 같다.

Table 1 Condition of simulation

Total number of mesh	200,000
Material	Aluminum 1100 alloy
Extrusion speed	0.3 mm/sec
Relative velocity	0.3~0.4 mm/sec
Friction constant	0.4
Iteration method	Newton-Raphson
Solver	Sparse
Temperature	520℃
Spring inner diameter	24mm
Wire diameter	5mm
Pipe inner diameter	22mm
Pipe thickness	1mm, 2mm, 3mm

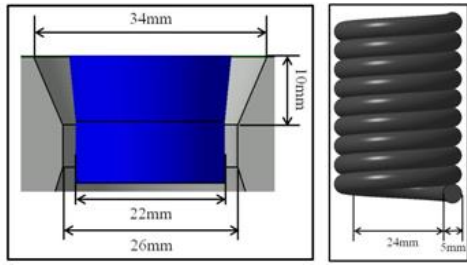


Fig. 4 Dimension of conical die and mandrel and spring type wire material for simulation

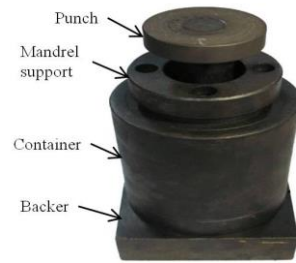


Fig. 6 Shape of welding concurrent extrusion forming die and container for experiments

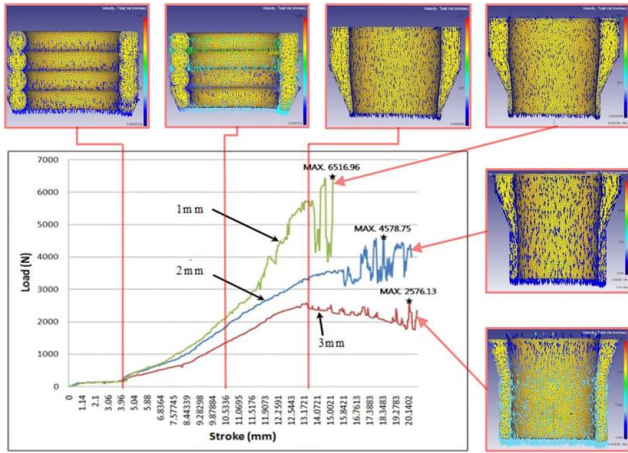


Fig. 5 Simulation results of deformed shape and extrusion loads(pipe thickness : 1mm,2mm,3mm)

시뮬레이션에 소요되는 시간을 단축하기 위하여 스프링의 총 길이를 20mm로 하였고, 금형의 부품을 최대한 줄이기 위하여 컨테이너(container)와 원추형 금형을 일체화 하여 시뮬레이션을 진행 하였다.

### 3.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

Fig. 5 의 시뮬레이션 결과를 보면 스프링형상의 와이어소재가 원통형 소재로 업셋팅 되면서 압착되는 소성유동형상을 볼 수 있으며 압출이 진행될수록 스프링형상의 와이어소재의 경계면이 소실되는 것을 볼 수 있다.

그리고 압출되는 파이프두께를 1mm, 2mm, 3mm 의 세 종류에 해당하는 해석에 따라 살펴보면 두께가 얇아수록 압출하중이 커짐을 알 수 있다. 따라서 하중이 크다는 것은 그만큼 스프링 사이에 높은 압력이 발생 한다고 볼 수 있으므로 높은 하중은 접합 강도에 있어서 좋은 영향을 준다고 생각 할 수 있다. 그러나 본 연구에 사용된 프레스는 10,000N 이상이 위험하중이므로 파이프의 두께를 2mm 로 정하였다.

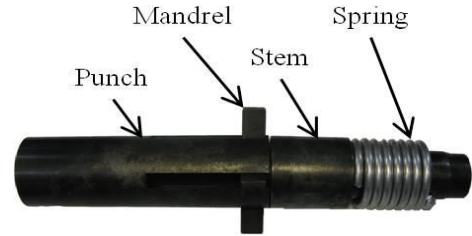


Fig. 7 Shape of punch and mandrel and extrusion stem for experiments

## 4. 접합동시 압출성형공정 실험

### 4.1 실험 조건 및 방법

스프링 형상의 알루미늄 와이어소재를 파이프 형태로 압출가공 하는 것이 가능한지를 판단하기 위하여 실험을 진행하였다.

실험에 사용된 압출금형은 Fig. 6 과 같은 금형의 구조로 되어 있으며 압출압력을 가하는 압출펀치가 상부에 배치되어 프레스에 의해 압력을 받게 되면 이 압출펀치는 컨테이너에 삽입되어 있는 원통형 압출스템에 압출압력을 전달한다. 하부에는 컨테이너와 압출압력을 받쳐주기 위하여 백커가 놓이게 되어 압출된 파이프를 백커의 구멍으로 압출하도록 되어 있다.

Fig. 7 의 그림을 참고하면 멘드렐의 하단부는 원통형 스템과 스프링타입의 와이어소재에 삽입되어 있고 컨테이너 내부에서 고정되도록 멘드렐의 상부에 십자형의 스포트가 부착되어 있다.

그리고 이 십자형의 스포트의 공간사이로 압출펀치가 지나갈 수 있도록 네 갈래로 나누어진 압출펀치를 사용하여 원통형 스템에 압출압력을 전달할 수 있는 구조로 되어 있다. 멘드렐의 끝단은 원추형 압출다이에 삽입되며 압출파이프의 내경에 해당하는 외경을 가지고 있다.

원추형 압출금형 출구의 틈새직경에 해당하는 파이프의 두께는 시뮬레이션에서 결정된 2mm를 이용하여 실험을 진행하였다.

실험에 사용된 소재는 알루미늄 합금 계열 중에서도 항복강도와 최대인장강도가 작은 1100계열 알루미늄 합금을 사용하였다. 소재의 표면상태에 의한 변수를 최소화 하기 위하여 메탄올로 선재의 표면을 세척하여 표면에 존재하는 오염물질을 제거한 후에 실험에 임하였다. 실험온도는 시뮬레이션과 같은 520℃를 사용하였다

4.2 실험 결과 및 고찰

접합동시 압출성형실험 결과를 통해 알루미늄 와이어소재로 만들어진 스프링이 Fig. 8과 같은 순서와 같이 스프링타입의 와이어소재가 압출시스템에 의해 업셋팅되어 원통형으로 압축된 다음 원추형다이와 멘드렐 사이를 통과하면서 최종 파이프형태로 접합동시 압출성형된 것을 알 수 있다.

최종 파이프 형상의 결과물을 살펴 보면 비접합부로 의심되는 원주형의 접합선은 보이지 않고 매끈한 표면을 가지는 것을 외관상 확인 할 수 있었다.

실험으로부터 얻어진 파이프들을 Fig. 9 와 같이 인장시험편 및 단면분석용 시험편 형상으로 가공하여 인장시험과 단면분석을 진행하였다. 인장시험을 통하여 원소재와 압출된 파이프의 최대인장강도를 비교하였고, 단면분석을 통하여 압출결합 등을 관찰하였다.

그 결과 Fig. 10 과 같은 경향의 인장 그래프를 얻을 수 있었고, Table 2 에서 보는 바와 같이 인장시험 평균하중 및 소재의 최대인장강도의 평균값을 얻을 수 있었다. 압출파이프의 최대인장강도와 사용된 알루미늄 모재의 최대인장강도와 비교해 보면 알루미늄 와이어 모재의 최대인장강도의 약 82%에 해당하는 접합강도를 얻을 수 있었다.

Fig. 11 은 파이프의 중간지점의 단면을 현미경으로 촬영한 사진이다. 단면용 시험편은 폴리싱 이후 수산화나트륨과 증류수의 혼합 에칭액으로 에칭을 하여 준비하였다. 그 결과 스프링과 스프링 사이의 계면 비 접합부인 웰드라인(weld line)을 발견 할 수 있었고, 파이프의 형상을 유지하기 위한 접합은 파이프의 내벽과 외벽면에서 이루어 졌음을 짐작 할 수 있다.

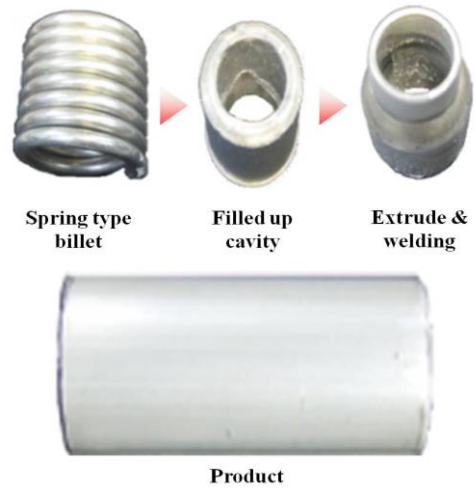


Fig. 8 Shapes of welding concurrent extrusion formed pipe by using spring type wire material

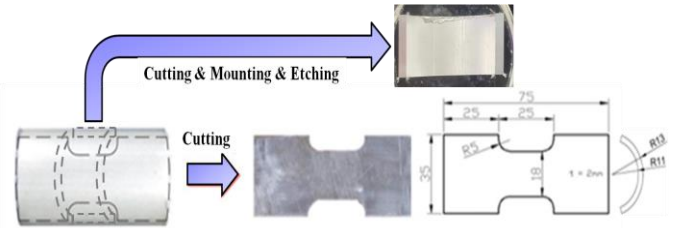


Fig. 9 Specimen for test(tensile test & microstructure)

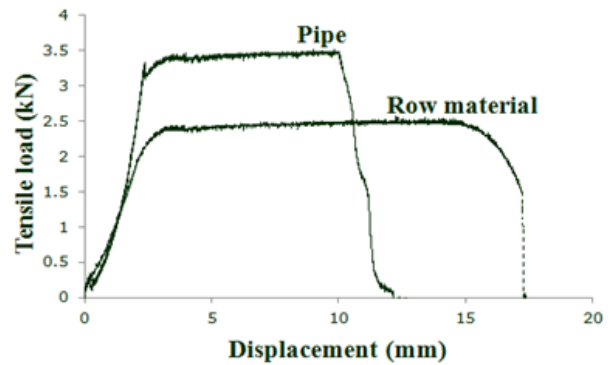


Fig.10 The grape of tensile test

Table 2 Results of tensile test

	Row material	Pipe
Area (mm <sup>2</sup> )	19.6	36
Average of load (kN)	2.56	3.9
Average of ultimate tensile strength (MPa)	130.83	107.29

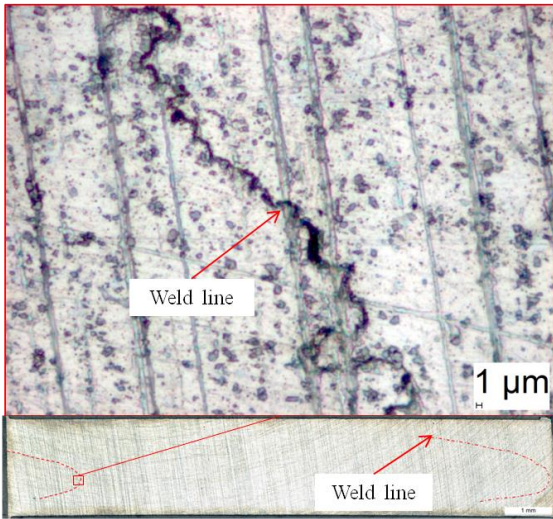


Fig.11 The microstructure of product

## 5. 결론

스프링 형상의 와이어소재를 이용하여 파이프 압출접합이 가능한지에 대하여 알아보고, 성형된 파이프의 접합강도가 실제 산업에 사용될 수준인지를 판단하기 위하여 연구를 진행하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 스프링형상의 와이어소재를 사용하여 파이프 형태의 제품으로 압출성형하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

(2) 인장시험을 통하여 접합동시 압출성형된 파이프의 접합강도가 성형전 모재의 인장강도와 비교하여 약 82%가 되는 것으로 보아 접합동시 압출성형된 파이프의 강도가 산업현장에 이용가능성이 있음을 알 수 있었다.

(3) 온도 520℃에서 와이어 직경이 5mm 이고 내경이 24mm 인 스프링타입의 알루미늄 와이어소재가

내경이 22mm 이고 두께가 2mm 인 파이프를 접합과 동시에 압출성형가공 할 수 있음을 알 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 2015년 자율창의 학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

- [1] M. C. Lee, J. H. Cho, J. H. Park, M. S. Joun, 2008, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Spring Conf., Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 458~461.
- [2] Y. T. Kim, K. Ikeda, T. Murakami, 2002, Metal Flow in Porthole Die Extrusion of Aluminum, J. Mater. Process. Technol., Vol. 121, No. 1, pp. 107~115.
- [3] A. G. Mamalis, G. Kouzilos, A. K. Vortselas, 2011, Design Feature Sensitivity Analysis in a Numerical Model of an Extrusion Spider Die, J. Appl. Polym. Sci., Vol. 122, No. 6, pp. 3537~3543.
- [4] I. T. Jin, 2005, Hot Metal Continuous Extrusion-Spinning Device and Method, Korea Patent, 10-0508281.
- [5] S. M. Park, I. T. Jin, 2005, A Study of Extrusion Process of Cylindrical Product with Helical Fins using Rotating Extrusion Die, Trans. Mater. Process., Vol. 14, No. 5, pp. 444~451.
- [6] K. K. Lee, M. Y. Lee, I. T. Jin, 2010, A Study on Extrusion Shear Welding(ESW) Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process., Vol. 19, No. 8, pp. 452~459.
- [7] L. Shang, T.H. Kim, I.T. Jin, 2012, A Shaving Shear-Welding Process for Overlapped Aluminum Plates, Trans. Mater. Process., Vol. 21, No. 8, pp. 467~472.