

# 전기저항가열 압출점접합공정에 있어서 접합강도에 관한 연구

이성준<sup>1</sup> · 진인태<sup>#</sup>

## A Study of the Weld Strength of Extrusion-Rivet Spot Welding Using Electrodes Heated by Electric Resistance

S. J. Lee, I. T. Jin

(Received February 28, 2013 / Revised June 28, 2013 / Accepted June 28, 2013)

### Abstract

In this study, the weld strength of extrusion-rivet spot welding was investigated by simulation and experiment. In order to obtain hot plasticity flow bonding of the two plates by a single rivet, electrodes are used for heating of the two plates and the rivet by electric resistance. Because weld strength is influenced by the temperature in the weld zone, the diameter of the electrodes and the amount of current supplied to the electrodes are important variables. For the simulation, heat distribution and weld strength were calculated using DEFORM-3D. The weld strength in the weld zone was calculated for various values of the experimental parameters. The simulation results showed that the weld strength was the highest when the weld current was 37kA, the electrode diameter was 12mm, and the welding frequency was 90cycle. Aluminum 5052 was used for the experimental study. A total of three aluminum plates, two welding plates with 1mm thickness and one plate with 2mm thickness for the inserting rivet, were used for the experimental extrusion-rivet spot welding.

**Key Words** : Spot Welding, Extrusion-Rivet, Electrode, Electric Resistance, Plasticity Flow Bonding, Aluminum Plate

### 1. 서론

알루미늄은 차량 경량화 대체재료로서 차체 부품에 그 사용이 빠르게 증가되고 있지만 기존의 강철판에 비해 점용접(spot welding)성이 떨어지는 문제점이 있어 이와 관련 된 부분을 해결하기 위하여 기존의 접합 방법들의 장점을 활용하고 단점을 적절히 보완하는 새로운 접합방법에 대한 연구가 필요한 시점에 와 있다.

일반적으로 얇은 두께를 가지는 두 장의 판재를 점접합하는 방법에는 기계적인 결합방법으로 리벳(riveting) 공정이 있고, 접합부를 용융하여 접합하기 위하여 접촉면의 전기저항에 의한 열과 압력을 이용하는 점용접(spot welding)이 있으며 이

외에도 고상접합으로서 공구 회전에 의한 마찰열과 공구의 회전력을 이용하여 접합하는 마찰교반 점용접(friction stir spot welding)등이 있다[1~3].

이 중 리벳에 의한 접합은 리벳의 선행제조와 접합부의 편칭 및 헤딩공정으로 구성되어 있기 때문에 다소 복잡한 공정을 가지고 있다. 따라서 이러한 복잡한 공정을 단순화 하기 위하여 리벳부의 편칭공정과 헤딩공정을 하나로 결합한 셀프 피어싱 리벳팅(self-piercing riveting)이 사용되어지고 있으나 특수한 형태의 리벳을 제조하는 공정이 선행되어야하는 단점을 가지고 있다[4].

용융점용접의 경우에는 접합시간이 매우 짧고, 자동화가 쉬운 접합방법이나 고전류에 의한 아크(arc)발생으로 인한 환경적 문제와 비철금속의 용

1. 부경대학교 대학원

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

접에 한계가 있으며 마찰교반 접접합은 공구수명이 매우 길고, 접합 공정이 단순하며 접합을 위한 부자재가 필요 없다는 장점을 가지고 있으나 용접장비가 비싸고 용접후의 용접면상에 구멍이 남는다는 단점이 있다.

본 논문은 위에서 설명한 접합 방법 중 비철금속의 점용접과 관련된 문제점을 극복하기 위하여 제안된 고상접합의 한 방법을 소개하고 있으며 참고문헌[6]과 같이 압출점접합법을 사용하되 접합부가열을 외부열원로부터 얻는 대신에 전기저항 발열체인 전극에 의하여 용접부금속을 가열한 다음 용접부를 압출시켜 강간소성유동압력과 전기저항 열에 의해 모재를 접합하고 있다.

본 가열 방법은 전기저항이 우수한 전극 사이에 모재인 알루미늄판재를 위치시키고 전류를 통전시켜 전기저항에 의하여 발열된 전극을 용접부에 접촉하여 열전도시킴으로서 가열하기 때문에 고상용접에 필요한 열원을 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

이러한 압출점용접은 리벳팅과 셀프피어싱 리벳의 제조와 같은 선행공정을 줄일 수 있는 장점이 있으며 리벳의 헤드부분과 같은 불필요한 접합 흔적과 마찰교반접접합 후 구멍이 남지 않는 특징을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 압출점 용접공정의 용접강도 향상을 위해 용접 강도에 영향을 미칠수 있는 여러 변수를 선택하였고 해석과 실험을 통해 각각의 변수들이 용접강도에 미치는 영향을 살펴 보았다.

## 2. 전기저항가열의 압출점접합공정

### 2.1 금형 구조

압출점접합 금형은 Fig. 1과 같은 구조를 가지며 위에서부터 상부전극, 접합할 두장의 알루미늄판재, 블랭킹다이, 압입소재가 될 한장의 알루미늄판재, 하부전극 및 압출편치로 구성되어 있다

Fig. 2는 Fig. 1의 접합부 단면도로서 압력에 의해 전극과 알루미늄판재를 접촉시킨 후에 상부전극에서 하부전극으로 전류를 통전시켜 세 장의 알루미늄 판재를 가열한후 압출편치를 이용해 압출점접합공정이 이루어지는 구조의 단면도이다.

### 2.2 전기저항가열 압출점접합 원리 [6]

Fig. 3은 참고문헌[6]의 압출점접합을 간단히 소

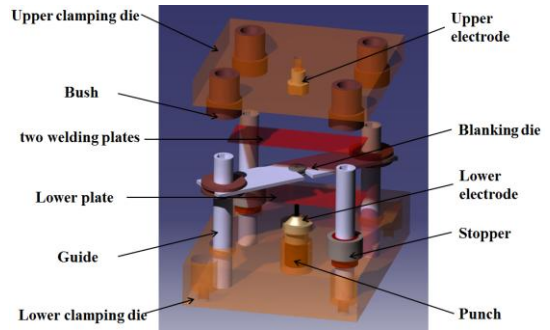


Fig. 1 Extru-riivet spot welding die assembly

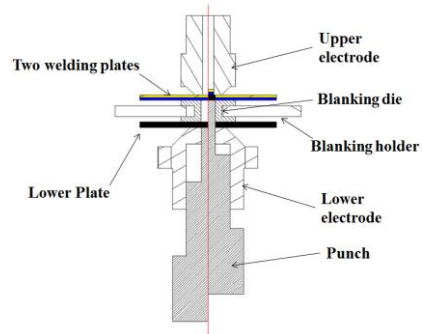


Fig. 2 Section view of extru-riivet spot welding die assembly

개하고 있다. Fig. 3의 (a)와 같은 구조로 두 전극사이에 전류를 통전시켜 전기저항의 열을 이용해 재결정온도 이상의 온도에서 하부금속판재에 압력을 가하면 하부금속판재는 블랭킹금형에 의해 블랭킹되어 Fig. 3의 (b)와 같은 형상의 압입소재(extru-riivet)를 만들게 된다. 이때 압입소재의 옆면은 알루미늄 산화막이 제거된 순수금속표면 상태이다.

압입소재는 Fig. 3의 (c)와 같이 편치의 이동에 의해 상부에 있는 중첩된 알루미늄 접합판재에 압력을 가하기 시작하고 상부의 압출다이전극의 출구직경이 압입소재의 직경보다 작기 때문에 두 장의 알루미늄 판재 사이에 강한 압출응력이 발생한다. 강한 압력과 열에 의해서 용접부에 소성유동이 발생하면서 압입소재가 용접하고자 하는 두 장의 접합판재와 접합되어 압출점접합이 완성된다.

압출점접합이 끝나고 나면 압출된 불필요한 과잉금속(extruded plates)이 발생하여 접합면에서 단락되어지게 되는데 Fig. 3의 (d)와 같이 상부전극을 교차시켜 완전하게 제거 할 수 있다[6].

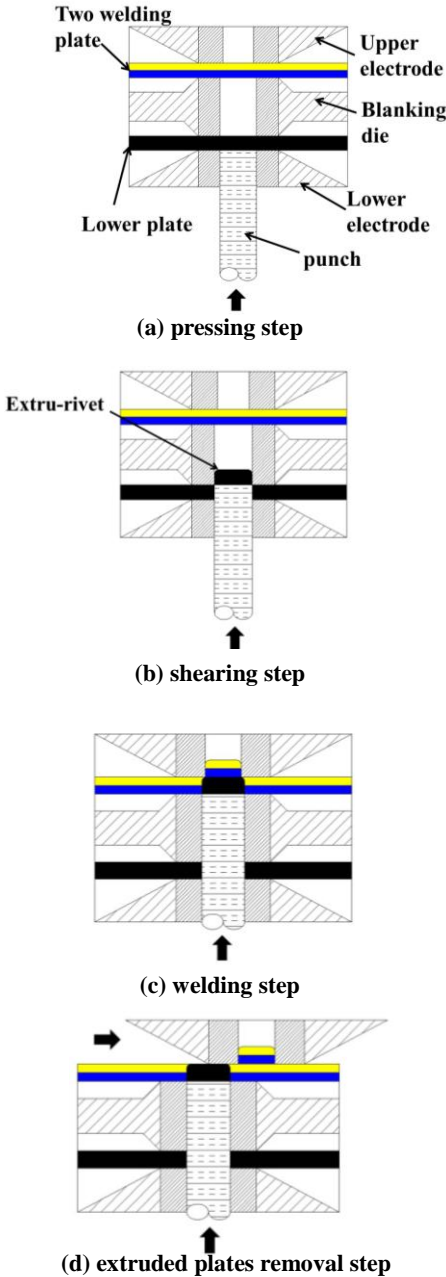


Fig. 3 Extru-rivet spot welding process steps

### 3. 전기저항가열 압출점접합공정해석

Fig. 4는 압출점접합 공정에서 압입소재가 두장의 접합소재에 압입됨으로써 생기는 응력을 DEFORM-3D를 사용하여 해석한 것으로 응력해석은 K. K. Lee[7] 등의 연구에서 알루미늄 소재의 적정 압출

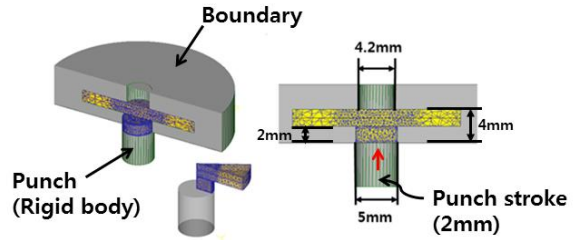
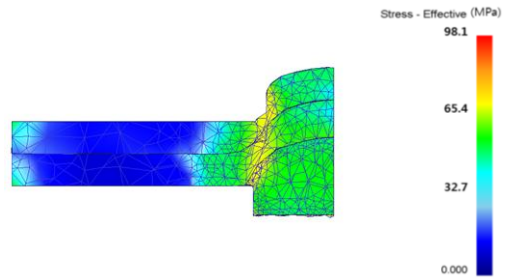
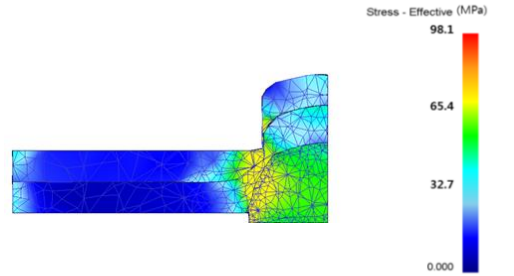


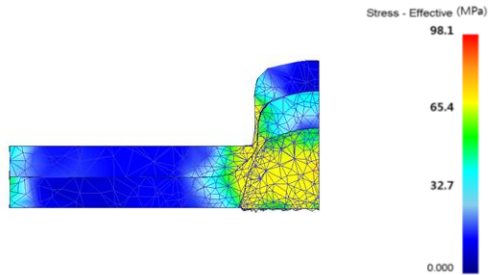
Fig. 4 The structure of the simulation



(a) indentation step of one rivet to welding plates



(b) extrusion step of two plates to upper electrode



(c) welding step of two welding plates and one extru-rivet

Fig. 5 Computer simulation of hot extru-rivet spot welding process

접합 온도가 520℃임을 참고하여 이 온도를 해석에 적용하였으며 나머지 해석조건은 Table 1과 같이 사용하였다.

**Table 1 The analysis condition for DEFORM-3D**

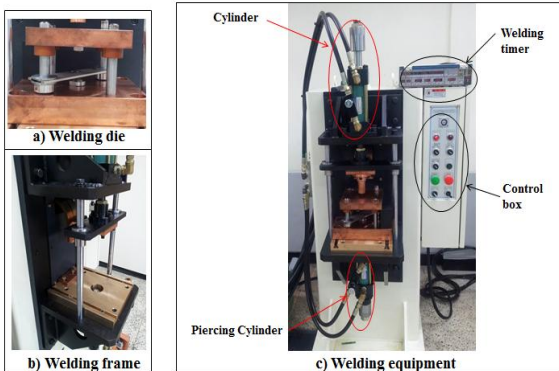
Material temperature	520 °C
Material	Aluminum 5052
Mesh	Number of Elements 20000 Max Element Size 0.8mm Min Element Size 0.4mm Mesh Window Elements Size 0.1mm
Solver	Sparse
Iteration method	Newton-Raphson
Punch stroke	2mm

Fig. 5의 해석결과는 상부의 압출다이전극의 내경직경이  $\phi 4.2\text{mm}$ 이고 압입소재의 직경이  $\phi 5\text{mm}$ 일 때 접합형상과 응력 분포도를 나타내고 있다. 압입소재(Extru-rivet)가 압입됨에 따라 상부에 위치한 두장의 접합판재는 압출이 일어나며 접합형상의 등고선 응력 분포를 통하여 평균적인 응력은 압입소재와 두장의 접합소재의 맞닿는 면인 접합부에서 높게 나타나고 있다.

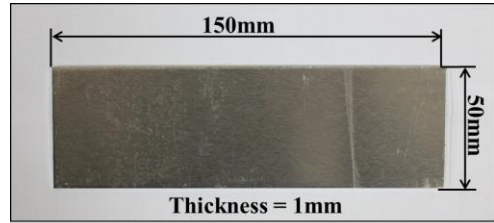
압입소재와 두장의 중첩된 판재의 접합선에서의 응력은 약 52.6MPa 정도로 예상되어 지고 알루미늄 5052의 항복강도가 89.6MPa인 점을 고려하면 접합강도가 항복강도의 60%수준으로 고상접합에 필요한 응력은 항복응력과 동일하기에 다소 미흡하게 나타났다.

#### 4. 전기저항가열 압출점접합 실험

##### 4.1 압출점접합 실험장치 및 조건



**Fig. 6 Extru-rivet spot welding machine**



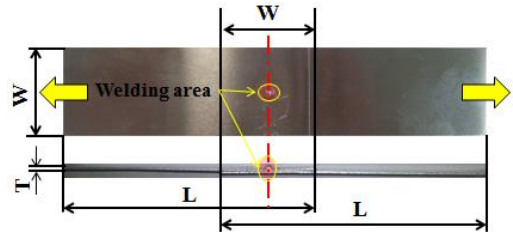
**Fig. 7 Dimension of specimen**

**Table 2 Chemical composition of aluminum5052**

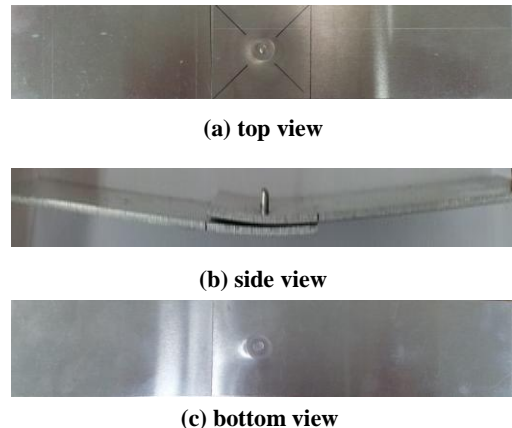
Component (%)	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	other
	95.65	0.3	0.1	0.4	2.6	0.8	0.15

**Table 3 Mechanical properties of aluminum5052**

Tensile strength (Ultimate)	193 Mpa
Tensile strength (Yield)	89.6 Mpa
Modulus of elasticity	70.3 Gpa
Melting point	607.2 ~ 649°C
Annealing temperature	343°C



**Fig. 8 Tensile shear test of spot welding joints(KS B 0851)**



**Fig. 9 Extru-rivet spot welded aluminum plate**

압출점접합 실험을 위해 Fig. 6 a)의 압출점접합 금형을 Fig. 6 b)의 프레임부분에 안착시키면 Fig. 5의 c)의 그림처럼 프로젝션 용접기의 고정부 프레임에 압출점접합금형이 고정된 형상으로 실험 장치가 구성된다.

#### 4.2 압출점접합 실험 시편

Fig. 7은 실험에 사용된 알루미늄5052의 접합판재 치수를 나타내고 있으며 재질의 성분요소는 Table 2와 같고 기계적인 물성치는 Table 3과 같다.

#### 4.3 용접강도 측정 방법

압출점접합의 용접강도를 측정하기 위하여 Fig. 8과 같이 같이 접합 시편을 만들고 정적 인장전단시험 방법(KS B 0851)사용하여 인장응력을 측정하였다.

Fig. 9는 Fig. 8와 같이 KS B 0815의 규격을 따라 제작한 시편을 전기저항 압출점접합한 후의 사진으로 Fig. 9 c)와 같이 압입소재가 두장의 알루미늄 판에 압입 된 것을 확인할 수 있으며 Fig. 9 b)의 그림처럼 압출에 의해 과잉금속이 형성된 것을 확인할 수 있다.

#### 4.4 용접강도 측정 결과

용접강도에 크게 영향을 미치는 변수인 전류세기와 전류통전시간 그리고 가열면적의 변화에 따른 용접강도의 크기를 살펴보면 다음과 같다.

Fig.10은 전류세기에 따른 용접강도를 나타내는 그림으로서 Table 4와 같은 용접강도 인장시험결과 값을 그림으로써 나타낸 것이다.

Fig.10과 같이 37kA일때가 가장 용접강도가 높았으며 37kA이하에서는 전류의 세기가 커질수록

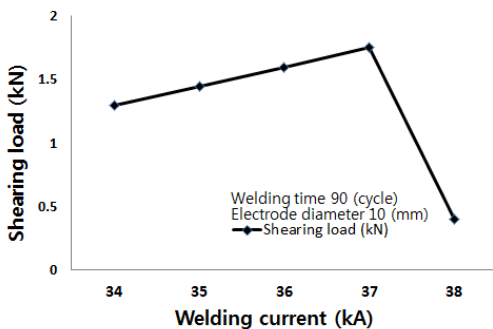


Fig. 10 Result of shearing load related to currency

Table 4 Data of shearing load after shearing test

Weld time (cycle)	Electrode Diameter (mm)	Welding current (kA)	Shearing load (kN)
90	10	34	1.30
		35	1.45
		36	1.60
		37	1.75
		38	0.40

Table 5 Data of shearing load after shearing test

Welding current (kA)	Welding time (cycle)	Diameter (mm)	Shearing load (kN)
37	90	ø10	1.75
		ø11	1.88
		ø12	1.90

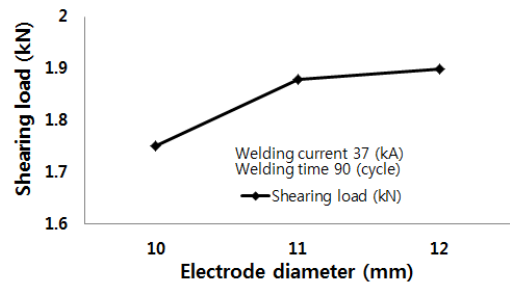


Fig.11 Results of shearing load related to the diameter

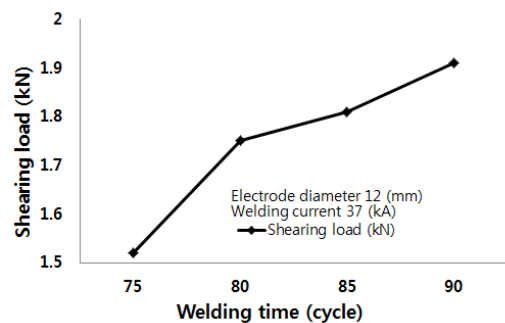


Fig.12 Results of shearing test related to the welding time

용접강도도 높아지는 경향을 보였다. 하지만 용접 전류가 37kA이상일때는 소재에 과전류로 인해서 소재가 용융되면서 비산이 일어나 인장강도가 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

**Table 6 Data of shearing load related to the welding time**

Electrode diameter (mm)	Welding current (kA)	Weld time (cycle)	Shearing load (kN)
12	37	75	<b>1.52</b>
		80	<b>1.75</b>
		85	<b>1.81</b>
		90	<b>1.91</b>

Fig.11은 가열면적에 따른 용접강도를 나타내며 Table 5의 인장시험 결과값을 도시한 그림이다. Fig. 11과 같이 가열면적이 크면 클수록 인장강도가 커지는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig.12는 전류의 세기가 37kA이고 전극의 직경이  $\phi 12$ 일 때 전류 통전시간에 따른 용접강도를 나타내는 그림으로서 Table 6의 인장시험 결과값을 도시하였다. 통전시간이 가장 긴 시간인 90cycle 일 때 인장강도가 가장 높은 값이 나왔다.

$$P_s = 2.6 \times t \times d \times R_m \quad (1)$$

식(1)은 KS B ISO 18595규격에서 권장하고 있는 점 용접된 알루미늄 판재의 주어진 용접부 크기에서 최소 전단력  $P_s$ 을 구하는 데 필요한 식이며 여기에서

- $t$  : 시험편의 두께(mm)
- $d$  : 용접 지름(mm)
- $R_m$  : 표준조건의 알루미늄합금 극한 인장강도(MPa)

이다.

이 식에 따라 계산되어진 최소 접합강도는 2.51kN으로 시험 결과값 1.91kN는 최소접합강도 2.51kN의 76%수준임을 확인 할 수 있었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 전기저항가열을 이용한 압출점 접합의 가능성에 대하여 검토하였으며 접합변수에 따른 점접합강도의 크기에 대하여 접합해석과 실험을 통하여 다음의 결과를 도출하였다.

- (1) 압출점접합에 대한 컴퓨터 시뮬레이션으로

편치직경이  $\phi 5.0$ mm, 상부전극직경이  $\phi 4.2$ mm 일 때 접합부에 응력이 52.6MPa 정도로 계산 되었다.

(2) 점용접장비에 전극 끝 단의 직경이  $\phi 10$ mm 인 탄소강 전극을 사용 하였을 때 통전시간 90cycle 이고 두께 1mm 인 두 장의 알루미늄 판재를 접합하는 경우 전류의 세기가 37kA 일때 압출점접합 용접 강도가 최대가 되는 것을 확인 하였다.

(3) 전류세기를 37kA, 통전시간 90cycle 일때 전극과 접합할 소재와 맞닿는 면적을 변경시켜 실험한 결과 전극의 직경이  $\phi 12$ mm일때 접합강도가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

(4) 전류세기 37kA, 전극직경이  $\phi 12$ mm 일 때 통전시간을 변경하여 실험한 결과 통전시간 90cycle일 때 접합강도가 가장 큰 것을 알 수 있었다.

(5) 두께 1mm 의 두 장의 알루미늄 판재를 외경의 직경이  $\phi 12$ mm 인 전기저항발열체를 사용하여 점용접할 때 전류의 세기가 37kA, 통전시간이 90cycle 일 때 접합강도가 통상의 접합강도의 76% 정도 근접함을 알 수 있었다.

따라서 전기저항가열을 이용한 알루미늄 판재의 압출점접합 실험을 전극의 직경과 전류의 세기, 전류의 통전시간을 변수로 두어 실험한 결과 통상적으로 점용접에서 요구하는 접합강도의 76% 정도를 확인할 수 있었다. 따라서 전극형상을 개선하여 접합강도를 더욱 향상 시킬 필요가 있음을 알 수 있었다.

### 후 기

이 논문은 2012학년도 부경대학교 기성회 학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구입니다(PK-2012-0476).

### REFERENCES

- [1] D. B. Kim, M. Y. Lee, B. J. Park, J. K. Park, H. Y. Cho, 2012, Forging Process Design of Self-Piercing Rivet for Joining dissimilar Sheet Metals, J. Kor. Soc. Mach. Marine. Eng. Vol. 36, No. 6, pp. 802~807.
- [2] D. B. Yum, J. B. Ko, B. K. Choi, S. G. Lee, A. K Kim, 2002, Evaluation of Resistance Spot Welding Weldability of Aluminum Alloy 5000 Series, Trans.

- Kor. Soc. Mach. Tool Eng., Vol. 11, No. 3, pp. 8~13.
- [3] Mitsuo Fujimoto, Shinji Koga, Natsumi Abe, S. Yutaka Sato, Hiroyuki Kokawa, 2009, Analysis of Plastic Flow of the Al Alloy Joint Produced by Friction Stir Spot Welding, Weld. Int., Vol. 23, No. 8, pp. 589~596.
- [4] Wayne Cai, P. C. Wang, Wu Yang, 2005, Assembly Dimensional Prediction for Self-Piercing Riveted Aluminum Panels, Int. J. Mach. Tools Manuf., Vol.45, No. 6, pp. 695~704.
- [5] J. H. Lee, I. T. Jin, 2010, A Study on Welding Strength of Extrusion-Riveting Process of Aluminum Plates, Trans. Mater. Process, Vol.19, No.8, pp. 460~467.
- [6] I. T. Jin, 2007, Extrusion Bonding Apparatus and Method of Metal Plate by Plasticity Flow, Kor. Patent, 10-0743857.
- [7] K. K. Lee, 2009, A Study on the Extrusion-welding Process of Aluminum Rods and Plates, Department of Mechanical Engineering, Ph.D Thesis, The graduate School, Pukyong National University, Kor.