

# 팁 선단에 중공이 있는 전극을 이용한 스패터 저감 스폿 용접에 관한 연구

전 정 상 · 이 세 현

大韓熔接·接合學會誌 第27卷 第4號 別冊

2009. 8

## 팁 선단에 중공이 있는 전극을 이용한 스패터 저감 스폿 용접에 관한 연구

전 정 상<sup>\*†</sup> · 이 세 현<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>한양대학교 기계공학부

<sup>\*\*</sup>한양대학교 기계공학부

### A Study of Spot Welding Process to Reduce Spatter with the Hollow Tip

Jungsang Jun<sup>\*†</sup> and Sehun Rhee<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Mechatronics System Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>\*\*</sup>School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : weldjun@hanmail.net

(Received January 2, 2009 ; Revised March 31, 2009 ; Accepted June 23, 2009)

#### Abstract

In automotive company, a lot of researchers have investigated for the spatterless welding process during last two decades. A spatter influences on the product quality such as strength and surface states. In this paper, a hollow tip is proposed for spatterless process. An optimal size of electrode hole is obtained from a weldability evaluation of each hole diameter. Through the cross section analysis, a phenomenon that molten metal moves in the hole which located between two workpiece is observed, and this makes spatterless welding process even though current is higher. Finally, widely acceptable weld area in lobe curve is obtained by using hollow tip as compare with conventional no hollow tip. In this paper, spatterless resistance spot welding with improvement weldability and productivity is proposed by using hollow tip.

Key Words : Hollow cap tip, Spatterless, Resistance spot welding

#### 1. 서 론

저항 점용접은 두 전극 사이의 재료에 대전류를 흘려서 재료의 접촉저항으로 발생한 저항열을 이용하여 용접하는 공정이다. 자동차 차체의 조립공정에서 저항 점용접은 단순한 용접 장치와 낮은 설비비 때문에 가장 널리 쓰이는 용접법이다. 대개 차체 1대당 3,500~5,000점의 저항 점용접이 수행되고 있으나 현재의 차체 공장은 용접 강도를 안정적으로 확보하기 위하여 조금 과도한 전류를 사용함으로써 스패터로 인한 문제점을 안고 있다. 따라서 자동차업체의 용접 연구자들은 용접 품질을 만족하면서도 스패터 없는 용접 공정을 이룩하기 위한 연구가 수행하고 있다. 저항 점용접 공정

에서는 용접시 용접 전류가 낮으면 발열량이 부족하여 충분한 너깃 형성이 이루어지지 않아 강도가 떨어지며, 반대로 용접전류가 높으면 판넬 표면에 오목자국이 크게 형성되고 스패터가 발생하게 된다<sup>1)</sup>.

스패터란 용접 중 용착금속 주위로 비산하는 일부 용융물질의 미립자를 말하는 것으로 중간날림(expulsion)과 표면날림(surface flash)을 포괄하는 슬래그(slag) 및 금속입자를 말한다<sup>2)</sup>. 이러한 스패터는 차체 외관에 달라붙어 도장 공정에서 심각한 품질문제를 야기시키며, 추가적인 제거 공정으로 인한 생산성 저하와 분진 발생으로 인한 작업환경 악화를 초래한다. 또한 스패터의 다량 발생은 점용접부의 용입 두께(penetration thickness)를 감소시키기 때문에 점 용접부에 응력집중이 발생하여 용접강도를 저하시키는 원인이 되고 있

다<sup>3)</sup>. 최근 자동차 차체 용접공정에서는 스패터가 차체 외관에 달라붙는 것을 방지하기 위하여 외관에 냉각 및 윤활효과를 가지는 스패터 고착 방지 오일을 도포하여 용접 중 발생된 스패터가 외관에 용융 고착되지 않게 하는 공법이 사용되고 있으나 이 또한 작업 환경을 악화시키는 원인이 되고 있다.

Rhyu와 Gedeon등은 아연 도금 강판에서 용접 시간과 용접전류에 따른 너트의 크기와 도금된 아연의 영향에 대해 연구하였으며<sup>4,5)</sup>, Gedeon과 Min등은 일반적으로 자동차 판넬로 많이 사용되는 전기 도금 강판이나 유기피복 강판의 저항 점 용접에 관한 연구를 하였다<sup>6,7)</sup>. 또한 Park 등은 자동차 충돌 규제 강화로 사용이 증가되고 있는 고장력 강판에 대한 연구를 수행하였으며<sup>8)</sup>, Eager 등은 새로운 강종을 자동차 차체 조립 공정에서 사용되고 있는 기존의 시스템에 적용하기 위해 로브 곡선을 이용한 적정 용접 조건 범위 설정을 수행하였다<sup>9,10)</sup>. 기존의 연구들은 새로운 강종에 대한 점 용접 조건과 용접성 평가에 대한 연구로서 강종에 따른 로브 곡선을 산출하고, 스패터가 발생하지 않는 용접조건을 용접공정에 적용하고자 하는 것이다.

하지만 본 연구에서는 적정 용접 범위를 찾아내는 것에서 한단계 더 나아가 동일 강판에서 스패터를 발생시키지 않는 방법을 찾아내고자 하였다. 스패터 저감 효과를 얻기 위하여 기존 설비 교체 없이 적용할 수 있는 중공 전극(hollow tip)에 대한 연구를 수행 하였다. 홀이 없는 기존의 일반 전극을 이용한 용접에서는 열팽창된 용융 금속의 이동 경로가 확보되지 않아 스패터가 발생된다. 이러한 스패터 발생의 원인을 해결하기 위해 전극 선단에 중공이 있는 전극을 제안하였으며, 중공이 있는 전극을 통하여 용접 중에 스패터를 억제하는 방안을 고찰하고자 한다. 일반 전극과 전극선단에 홀이 있는 중공 전극에 대한 인장전단강도와 스패터의 유무에 대한 실험을 수행하였으며, 최적의 홀 지름을 제안하였다. 또한 일반 전극과 중공 전극에 대한 가압력-전류 로브곡선을 이용하여 스패터 발생영역과 양호한 용접강도를 나타내는 영역 및 강도부족영역으로 비교하였다. 본 연구를 통하여 기존에 사용하고 있는 타이머와 공압 용접건을 그대로 사용하면서도 용접 강도를 만족하면서 스패터를 근본적으로 억제시킬 수 있는 친환경 저항 점용접 공법을 제시하고자 한다.

## 2. 전극 및 실험방법

### 2.1 전극

전극은 일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 Cr-Cu

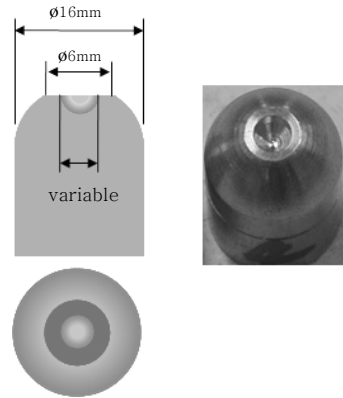


Fig. 1 Design of the hollow tip

재질의 D형 전극을 사용하였으며, 이때 전극 지름은 16mm, 전극 선단의 지름은 6mm를 사용하였고, 중공 전극은 기존 전극 선단중앙에 원형의 홀을 만들었으며 일정한 단면적을 가진다. 또한 용접건에서 전극은 상부와 하부로 구분되어 있으므로 중공 전극 또한 상부와 하부로 구분하였다. Fig. 1은 중공 전극의 형상과 제작된 전극의 사진이다.

### 2.2 실험방법

전극의 선단에 홀이 있을 경우의 홀의 지름에 따라 용접 결과가 차이가 발생할 것으로 판단하여 이에 따른 실험을 수행하였다. 본 연구에 사용된 시편의 형상은 KS B 0851 점용접 인장전단시험 방법에 준하였다. Fig. 2는 시편의 형상을 보여주며 주요 치수는 Table 1과 같다. 본 연구에 사용된 시편은 자동차 재료로 널리 사용되는 GA(galvannealed) 양면 도금강판을 사용하였으며, 도금량은 60g/m<sup>2</sup>, 시편 두께 0.7mm 2매

Table 1 Size of specimen

T(mm)	W(mm)	L(mm)
Less than 0.8	20	75
0.8 ~ 1.3	30	100
1.3 ~ 2.5	40	125

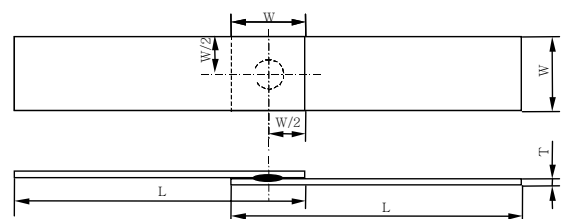


Fig. 2 Shape of specimen

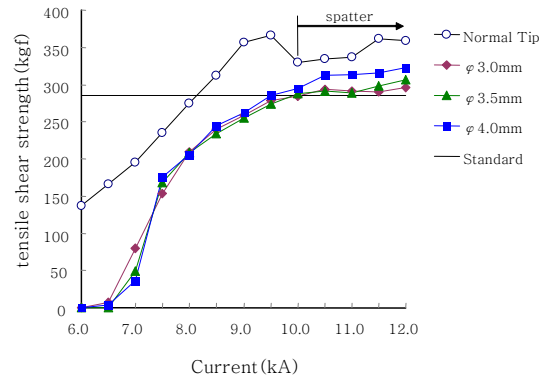
**Table 2** Welding conditions

Factors	Levels
Current [kA]	6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0
Welding time [cycle]	10
Welding force [kgf]	300
Diameter of the hole [mm]	3, 3.5, 4

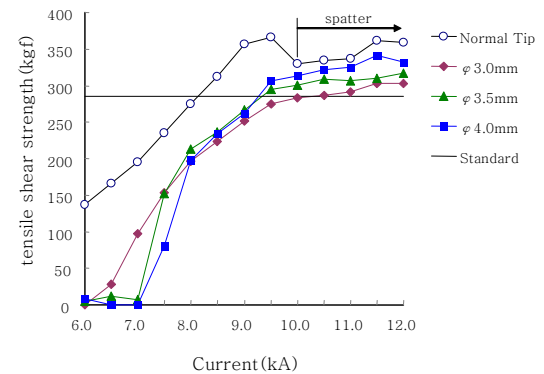
로 실험을 수행하였다<sup>11)</sup>. 실험장비로는 교류 SCR 타이머와 공압건을 사용하였고, 측정 장비로는 순간 전류계, 가압력 측정기, 인장전단강도 측정을 위한 만능시험기를 사용하였다. 용접조건은 Table 2와 같이 가압력을 300kgf, 용접 시간을 10cycle로 고정시키고 전류를 6kA부터 12kA까지 0.5kA씩 변경하면서 홀 지름의 변화에 따른 용접성을 평가하였다. 이때 용접성은 인장전단강도와 스패터 유. 무로 판단하였고, 인장전단강도의 허용 기준은 현재 자동차에서 사용되는 기준 강도인 285kgf로 하였다<sup>12)</sup>. 공압건에서 전극은 상부와 하부로 구분되어 있으므로 본 연구에서도 전극의 구성은 상부-하부로 구분하여 일반-일반, 중공-일반, 중공-중공의 3가지 조건으로 실험을 수행하였으며, 중공 전극의 홀의 지름을 3mm, 3.5mm, 4mm로 변경하면서 중공 전극의 홀 크기에 대한 용접성을 평가하여 최적의 중공 전극 형상을 찾아내고자 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3은 중공 전극의 홀 크기에 따른 인장전단강도를 나타낸 것이다. 일반 전극을 사용한 경우 전류 증가에 따라 강도가 상승하며 8.5kA부터 허용 인장강도를 만족하는 것을 알 수 있다. 한편 용접 전류10kA 이상에서 스패터가 발생하여 용융 금속이 너깃의 외부로 빠져나가면서 인장강도가 감소하는 것을 알 수 있으며, 일반 전극에서 강도를 만족하면서 스패터가 발생하지 않는 전류 영역은 8.5kA~9.5kA로 형성되었다. Fig. 3(a)는 상부에만 중공 전극을 사용하고 하부는 일반 전극을 사용한 결과를 나타낸 것으로 약 10kA 이상의 전류를 사용할 경우 허용 인장강도를 만족하는 것을 알 수 있다. 여기서 특징적인 것은 일반 전극과 달리 용접 전류가 추가적으로 상승하더라도 스패터가 발생하지 않는다는 것이다. Fig. 3(b)에서와 같이 상, 하부 모두 중공전극을 사용한 경우에도 역시 10kA 이상의 전류에서 스패터가 발생하지 않고 허용 인장강도를 만족하는 것을 알 수 있다.

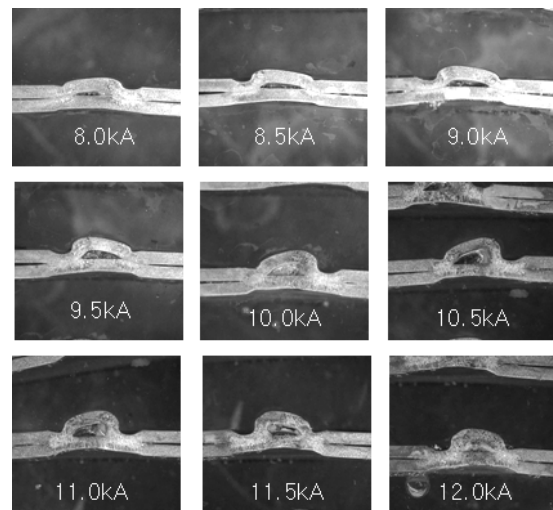


(a) Hollow tip - normal tip



(b) Hollow tip - hollow tip

**Fig. 3** Tensile shear strength as a function of the electrode hole sizes



**Fig. 4** Section images of welding nugget depending on the welding currents

Fig. 4는 홀의 지름이 4mm인 중공 전극을 상부에, 일반 전극을 하부에 사용한 경우, 전류 증가에 따른 너깃의 단면을 보여주고 있다. 중공 전극을 사용하게 되면 사진에서 보는 바와 같이 용접이 진행됨에 따라 전극 접촉부에 용융이 발생하게 되어 고리 형상의 너깃이

형성되게 된다. 이때 용접 전류가 높으면 전극의 접촉 부에서 용융된 용융 금속이 팽창되면서 중공 전극 내부로 확산된다. 이때 중공 내부는 거의 진공과 같은 상태이므로 압력이 낮아 용융금속이 내부로 흘러 들어올 수 있는 환경을 제공하게 되어 전류가 증가할수록 용융 금속이 용접부의 중공 내로 채워지는 것을 볼 수 있다. 따라서 중공 전극의 경우, 전류 증가에 따라 스패터로 발생하는 용융 금속이 중공 내부로 흡수되어 스패터의 발생을 근본적으로 억제하는 것으로 판단된다.

한편, Fig. 3에서 홀의 지름이 3mm에서 4mm로 커지면서 인장전단강도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 일반 전극에서와 마찬가지로 홀의 지름이 커짐에 따라 전극의 접촉 면적이 상대적으로 작아지기 때문에 동일 전류에서 발열량이 커져서 용접 강도가 커지는 것으로 판단된다. 선단경 6mm의 전극을 사용할 경우에는 홀의 지름이 4mm를 넘게 되면, 전극 가공이나 연속 타점성과 같은 내구성 측면에서 불리하게 되어 현재로서는 4mm가 최적이라 생각된다.

Fig. 5는 용접 너깃의 단면을 나타낸 것으로서, a는 너깃 외부 직경(nugget outer diameter) 즉 용접부 전체 지름을 나타낸 것이고, b는 내부 홀 직경(inner hole diameter)으로 용접부 내부 홀의 지름을 의미한다. 또한 용접 영역 직경(weld zone diameter)은 접합 영역 직경에서 내부 홀 직경을 뺀 값이다. Fig. 6은 중공 - 일반 전극을 사용한 경우, 용접 전류에 따른 너깃의 크기를 나타낸 것이다. 이때 중공 전극의 홀 지름은 4mm를 사용하였다. Fig.6에서 보는 바와 같이 전류 증가와 함께 너깃 외부 직경은 커지게 된다. 이와는 반대로 내부 홀 직경은 전류 증가와 반비례하여 작아지게 되고, 이에 따라 용접 영역 직경은 증가하게 됨을 알 수 있다. 전류에 따른 인장전단강도와와의 상관관계를 살펴보면, 너깃 외부 직경이 0.67, 내부 홀 직경이 -0.71, 그리고 용접 영역 직경이 0.72를 나타내어 용접 영역 직경이 가장 높은 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 따라서 중공 전극을 사용할 경우에도 접합된 용접 영역 직경을 확보할 수 있으면 스패터 발생 없이 충분한 용접 강도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

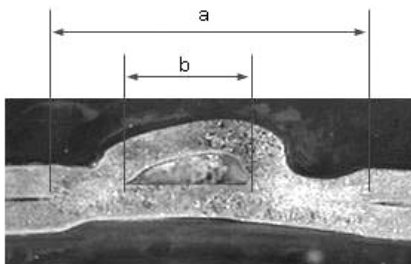


Fig. 5 Section of the welding nugget

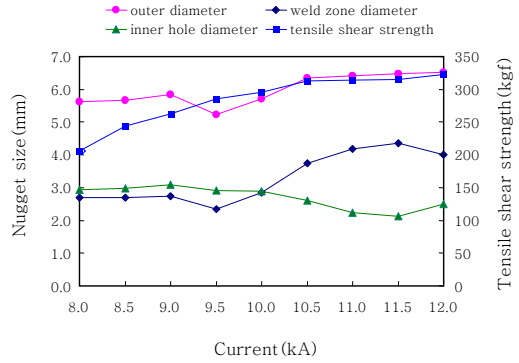
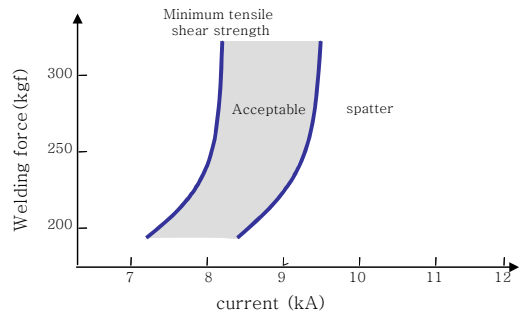
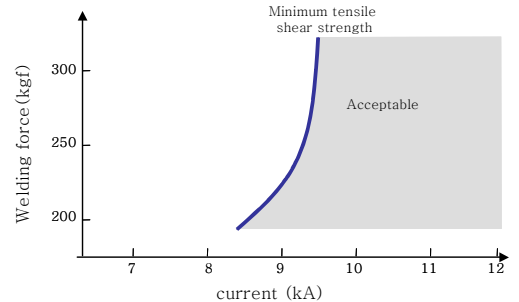


Fig. 6 Analysis of nugget sizes depending on the welding current



(a) Normal tip - normal tip



(b) Hollow tip - normal tip

Fig. 7 Comparison of welding lobes for normal tip and hollow tip

적정 용접 범위를 알아보기 위하여 Fig. 7과 같이 용접시간을 고정하고 전류-가압력 로브 곡선을 도출하였다. 이 때 시간과 전류는 Table 2에 나타낸 용접조건을 사용하여 시간은 10cycle로 고정하였고, 전류는 6kA에서 12kA까지 0.5kA씩 증가시켰으며, 가압력은 200, 250, 300kgf으로 변경하면서 실험을 진행하였다.

Fig. 7(a)는 일반 전극을 사용하여 실험한 결과로 가압력 200kgf에서는 전류 7.5kA~8.5kA 사이에서 양호한 강도를 얻었으며, 7.5kA 이하에서는 강도가 부족하였고, 8.5kA 이상에서는 스패터가 발생하였다. 가압력 250kgf에서는 전류 8kA~9kA 사이에서 양호한

강도를 나타내었고, 이 영역 이하의 전류에서는 강도가 부족하였으며, 이상의 전류에서는 스패터가 발생하였다. 반면에 Fig. 7(b)에서 상부 중공 - 하부 일반 전극을 사용하여 실험한 결과를 보면 일반 전극에 비해 높은 전류를 사용하여야 허용 인장강도 기준을 만족시킬 수 있지만 전 영역에서 스패터는 발생하지 않았다. 앞서 고찰한 300kgf에서 뿐만 아니라 더 낮은 가압력에서도 스패터가 발생하지 않으므로 전극의 홀이 스패터 발생 억제에 상당히 효과적임을 알 수 있다.

중공 전극을 사용할 경우에 Fig. 4의 단면 사진에서와 같이 중공 전극 쪽으로 용접부가 올라오는 현상이 발생하므로 외관 품질이 중요시 되는 부위에는 적용하기 어렵다. 그러나 현재 자동차 차체 공장의 중요 이슈 중의 하나인 용접 시 스패터 발생의 경우, 최근에 단층 GA를 사용하면서부터 스패터가 차체 외관에 고착되어 후 공정에서 사상을 해야 하는 문제를 안고 있다. 이를 해결하기 위해 외관에 안티 스패터 오일을 도포하고 있으나 이 또한 환경 문제를 발생시키고 있는 실정이다. 중공 전극을 사용할 경우의 외관 품질 문제는 상부 중공 - 하부 일반 전극을 적용하여 차체 내부로 보이지 않는 면에 중공 전극이, 외부로 나타나는 면에 일반 전극이 접촉되게 되면 해결할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 중공 전극을 사용하여 스패터를 발생시키지 않으면서 기준 강도를 만족할 수 있으면 차체 공장에 상당히 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동차 차체 공장에 크게 문제가 되고 있는 스패터의 발생을 제거하여 Spatterless Factory 라는 이상적인 공장을 실현하기 위하여 전극 선단에 홀이 있는 중공 전극을 제안하였으며 이에 대한 실험 결과를 정리 하면 다음과 같다.

1) 저항 점 용접의 기존 전극에서는 전류가 높을 경우 스패터가 발생하지만, 중공 전극을 사용하게 되면 홀 내부로 용융 금속이 채워져 스패터의 발생을 억제할 수 있다.

2) 현재의 6mm 선단경의 전극에 적용할 수 있는 중공 전극 홀 지름에 대한 최적의 조건을 도출하였다.

3) 제안된 중공 전극을 사용하여 적정 용접 조건을 위한 로브 곡선을 도출하였으며, 기존 전극에 비해 2배 이상 넓은 용접 영역을 얻을 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 2008년도 BK21의 연구비 및 서울시 산학연 클러스터 사업의 지원을 받아 수행되었음.

#### 참 고 문 헌

1. I. W. Johnson : Spot Welding of Carbon Steel, Welding Research Supplement, Mar. (1960), 89-96
2. D. W. Seo, H. C. Yoon, Y. B. Jeon, J. K. Lim : Effect of Spot Welding Conditions on Spatter and Mechanical Strength Properties, Journal of KWS, **21-2** (2003), 200-205 (in Korean)
3. S. M. Cho : Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, Journal of KWS, **15-2** (1997), 1-10 (in Korean)
4. K. Rhyu and C. S. Kang : A Study on the Weldability of Galvannealed Steel in Spot Welding Process, Journal of KWS, **5-1** (1987), 64-72 (in Korean)
5. S. A. Gedeon, D. Schrock, J. Lapointe, and T. W. Eagar : Metallurgical and process Variables Affecting the Resistance Spot Weldability of Galvanized Sheet Steels, SAE Technical Paper 840113 (1984)
6. S. A. Gedeon and T. W. Eagar : Resistance Spot Welding of Galvanized Steel: Part I. Material Variations and Process Modifications, Metallurgical Transactions B, **17B** (1986), 879-885
7. J. K. Min, Y. K. Oh and G. S. Kim : A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheets, Journal of KWS, **14-3** (1996), 41-47 (in Korean)
8. H. Park, T. Kim and S. Rhee : Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding of TRIP Steel using Response Surface Methodology, Journal of KWS, **21-2** (2003), 76-81 (in Korean)
9. E. W. Kim and T. W. Eagar : Parametric Analysis of Resistance Spot Welding Love Curve, SAE Technical Paper 880278 (1988)
10. M. Calva and W. Eagar : Enhancement of the Weldability in Resistance Spot Welding, Sheet Metal Welding Conference IV, Southfield, Mich, 1990)
11. KS B 0851, Spot weld specimen for tensile shear test, Korean Standard Association, (1980)
12. Hyundai Motor Company Standard Specification SPECS NO: MS 111-01A.
13. J. S. Jun, H. S. Park and S. Rhee : A Study on the Spatterless Resistance Spot Welding with Hollow Cap Tip, KWJS (2008)-spring, 24