



## Transition Insert를 이용한 알루미늄과 강판의 저항점용접에서 동저항측정을 통한 모니터링

장 희 석\*

\*명지대학교 기계공학과

### In Process Monitoring of Dynamic Resistance during Resistance Spot Welding of Aluminum to Steel using Transition Insert

Hee Seok Chang\*

\* Dept. of Mechanical Engineering, Myongji University, Yong-In 449-728, Korea

#### Abstract

Automobile manufacturers have employed resistance spot welding(RSW) to join steel sheets for structural rigidity of automobile body. Driven by the need to reduce weight and fuel consumption, car companies have been evaluating aluminum intensive vehicles(AIVs) as a way to reduce vehicle weight without downsizing. During the transition from all steel-construction vehicle body to aluminum intensive body, joining aluminum to steel sheets emerges as a serious contender in automobile body. This paper deals with application of transition material to RSW aluminum to steel. Placing transition material insert between the aluminum/steel interface was found very effective to overcome incompatibility between aluminum and steel. Use of transition insert allows for two separate weld nuggets to be formed in their respective aluminum/aluminum and steel/steel interfaces. This RSW process was monitored with the aid of dynamic resistance sampling. Typical patterns in sampled dynamic resistance curves indicated formation of sound nugget.

(Received February 28, 2000)

Key Words : Resistance spot welding, Transition insert, Dynamic resistance, Nugget growth, Lobe curve

#### 1. 서 론

저항점용접은 높은 생산성과 용접강도가 요구되는 박판 용접공정에 폭넓게 사용되어 왔다. 자동차산업에서도 차체의 구조적 강도를 보장하기 위해서 차체제작 공정에 저항점용접이 이용되고있다. 최근 승용차 차체 경량화추세가 대두됨에 따라 여러 승용차 생산 업체에서는 차체의 크기를 줄이기보다는 차체의 무게를 줄이기 위한 방법으로 알루미늄 차체 승용차(Aluminum Intensive Vehicle :AIV)를 생산하려고 하고있다. 하지만 강판으로 된 승용차 차체에서 알

루미늄 차체로 변화하는 과도기에 알루미늄 판재와 강판을 혼용한 승용차 차체를 제작하는 과정에서 기존의 방식으로 저항점용접을 하는 경우 심각한 문제점을 피할 수 없다<sup>1)</sup>.

이러한 문제점은 두 재료가 가지는 상이한 전기적·열물리적·기계적 물성 차이로 인하여 발생한다. 두 재료의 물성치를 간단히 비교해 보면, 알루미늄의 열전도도와 열 팽창 계수는 각각 냉간압연강판의 약 2.77배와 2배 정도이고 전기저항과 탄성은 0.3배, 그리고 용융 온도는 0.46배 정도이다. 용융용접의 일종인 저항점용접에서 두 재료의 용융 온도가 큰 차이를 보이기 때문에 알루미늄 판재와 냉간압연강판은 서로

다른 사이클에서 용융이 되며 용융된 금속들도 섞여서 하나의 너깃을 형성할 수 없고 접합계면부에 intermetallic layer를 형성하며 이를 경계로 두 개의 너깃을 생성하게 된다. 이러한 접합부는 균열이나 부식에 취약한 취성을 가진 접합부가 된다.

그림 1은 알루미늄 판재와 냉간압연강판을 저항점용접 하였을 때 생성된 접합부의 단면형상이다. 알루미늄 판재의 상대적으로 낮은 용융 온도로 인하여, 용접 사이클의 초기에 알루미늄의 일부분이 용융 된다. 알루미늄 판재의 용융 면적이 증가함에 따라, 알루미늄 판재/냉간압연강판의 경계면 에서 용융된 알루미늄으로 인한 젖음 현상(wetting)이 발생한다. 그리고 용접이 진행됨에 따라 냉간압연강판의 용융 온도에 도달하면 냉간압연강판의 일부분이 용융 되기 시작하고 용접 사이클의 후반부에 이르러 냉간압연강판의 너깃이 생성된다. 그 후 용융되었던 알루미늄이 냉각되며 냉간압연강판의 모재부분과 알루미늄의 경계면 에는 알루미늄 너깃에 의해 기계적인 접합(mechanical locking)이 이루어진다. 그림 2에서는 이 알루미늄너깃/냉간압연강판 경계면을 따라 형성된 intermetallic layer를 관찰할 수 있으며 이러한 조직은 매우 취성이 큰 것으로 알려져 있다.

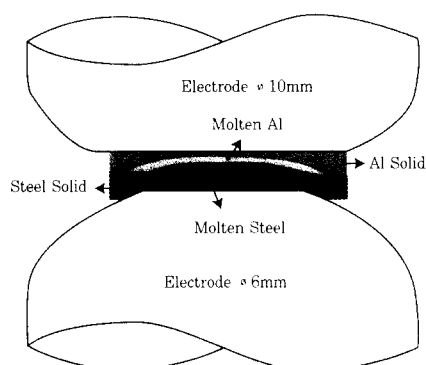


Fig. 1 Two Nuggets in Aluminum to Steel Spot Joint

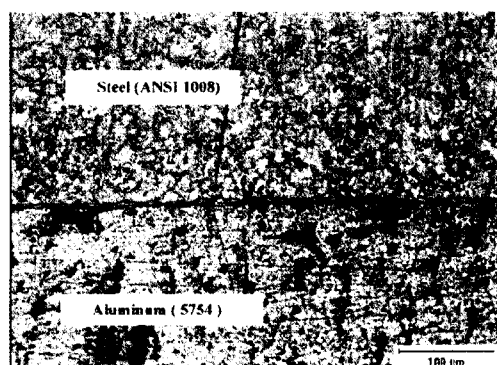


Fig. 2 Intermetallic layer at the aluminum/steel interface

이종재료의 경계면에 transition material을 insert로 삽입하면 점용접시 두 재료의 상이한 물성치로 인하여 야기되는 문제점을 해결할 수 있다. 최근 알루미늄과 강판의 점용접을 위한 새로운 transition material이 개발되었는데 이를 보통 transition insert라 칭한다. 이 transition insert를 사용하여 알루미늄과 강판을 점용접을 하면 알루미늄 판재/알루미늄 판재, 냉간압연강판/냉간압연강판 의 두 경계면에서 각각 너깃이 형성된다(그림 3 참조)

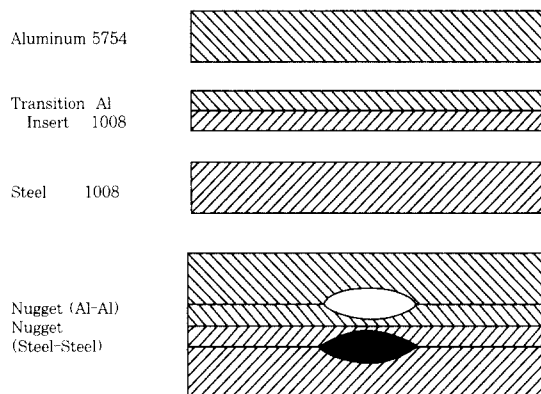


Fig. 3 Transition material for aluminum/steel joint

이 insert는 서로 용접하고자 하는 두 이종재료를 이용하여 특수압연공정으로 제작된다. 본 연구에서 사용된 insert는 독일의 Wickeder Westfalenstahl Co.에서 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 점용접을 위해 제조한 것으로 보통 aluminum clad steel transition insert라 칭한다. Aluminum clad steel transition insert는 냉간압연(cold rolling)과 접합공정(bonding process), 그리고 풀림공정(annealing process)을 거침으로 제작되며 마찰용접공정과 mechanical cladding공정의 중간과정이라고 특징지을 수 있다. 생산공정을 좀 더 자세히 설명하면, 와이어브러시로 표면처리된 냉간압연강판(1008)과 아세톤 처리된 알루미늄 판재(1050)가 다중압연(multi-stage rolling)/접합(bonding) 공작대로 이송된다. 이 과정을 거치며 두 금속판은 transition insert로 가공되며 두 재료의 분자간확산을 촉진시키기 위해 풀림공정을 거치며 금속조직학적 접합과 재결정과정을 마치게 된다. 이러한 공정을 통해 완성된 aluminum clad steel transition insert를 사이에 두고 이종재료의 저항점용접을 시행하면 동일 재료간에 형성된 분리된 두 개의 너깃으로 나타나며 알루미늄 판재와 냉간압연강판 사이에 각각 너깃을 형성하게 된다(그림 3 참조). 따라서 적당한 두께의

transition insert를 적당한 용접조건에서 사용하면, transition insert를 사용하지 않은 경우 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 경계면에서 형성되는 취성을 가진 intermetallic layer가 없는, 신뢰할 만한 용접부를 얻을 수 있어 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 구조물에서 현재 사용되고있는 여러 가지 기계적 접합법(die forging, crimping, reverting, bolting)을 대체할 수 있을 것이다.

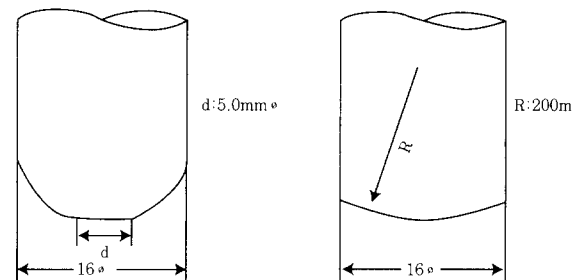
전술한 여러 문제점들을 해결하기 위하여 transition insert를 사용하는 방식이 오래 전부터 문헌에 소개되었으나<sup>2)</sup> 이러한 transition insert를 사용한 연구는 별로 많지 않다. 이종재료 사이의 양호한 용접품질을 얻기 위한 연구로 Baboian<sup>3,4)</sup>은 transition insert를 이용하여 차체구조물 제작에 적합한 저항점용접기법을 발전시키기 위한 방대한 실험적 접근을 시도하였으나 점용접과정을 측정 가능한 용접변수를 통하여 모니터링한 연구는 아직 보고된 바 없다. 본 연구에서는 알루미늄 판재(5754)와 냉간압연강판(ANSI 1008)의 저항점용접에 transition insert를 사용하였고 전극 팁의 형상을 두 재료의 물성차이를 고려하여 설계하였다. 또한 점용접공정을 실시간으로 모니터링하기 위하여 동저항(dynamic resistance) 신호를 샘플링하여 동저항 패턴(pattern)과 너깃 성장과정과의 연관성을 분석하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서 사용된 transition insert는 독일에서 제조된 것으로 전체 두께는 1.3 mm이며 두 금속의 두께 비는 3:2 (1050/1008)인 것을 사용하였다. 용접기는 정치식 점용접기(100kVA)를 사용하였고 용접시편으로는 알루미늄 합금판은 5754( $t=0.73\text{mm}$ )를 냉간압연강판(ANSI 1008)은 두께 1mm와 2mm 두 종류를 사용하였다. 동저항은 weld checker를 사용하여 측정하였고 용접품질검사는 shear-peel test로 수행하였다. 너깃형상은 burn mark 직경을 절단하여 mounting, polishing 작업을 거친 후 etching하여 EPIPHOT 현미경에 부착된 CCD카메라로 촬영하였다. 일반적으로 이종재료 너깃단면의 금속조직을 관찰하려면 differential etching기법이 필요하다. 본 실험에서는 알루미늄 너깃은 1g의 NaOH와 100ml의 증류수를 혼합하여 etching하였고 강판 너깃은 4%의 Nital용액을 사용하였다.

전극의 구조는 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 저항점용접에 결정적인 영향을 미친다. 앞서 언급했듯이

두 재료는 전기적, 열적, 기계적 물성치가 매우 다르기 때문에 이를 저항점용접하기 위해서는 적당한 전극을 사용해서 두 이종 재료에서 발생하게 되는 비대칭가열을 최소화하여야 한다. 이를 위해 알루미늄 판재와 냉간압연강판에 접촉하는 전극의 재료나 전극 형상을 다르게 사용할 필요가 있다. 또한 동일 재료의 전극을 사용하는 경우 전극 팁의 직경은 서로 다른 것을 사용해야 한다. 본 연구에서는 최근 수행한 연구<sup>1)</sup>를 기초로 하여 냉간압연강판 쪽에는 구리-크롬 합금이며 dome형상인 5mm직경 전극을 사용하였고 알루미늄 판재 쪽에는 곡률 반경이 200mm인 R형 전극을 사용하였다(그림4). 알루미늄 판재의 용융 온도가 냉간압연강판의 용융 온도에 비해 약 46% 밖에 되지 않기 때문에 R형 전극을 알루미늄 판재에 사용함으로써 두 재료의 비대칭가열을 최소화하려고 하였다.



Dome type electrode(steel) R type electrode(aluminum)

Fig. 4 Electrodes for aluminum/steel spot welds

## 3. 결과 및 토의

### 3.1 동저항 패턴과 너깃 성장

동저항(전극 양단에서 용접사이클별로 측정된 전기저항)은 저항점용접 공정 중에 모니터링할 수 있는 중요한 공정 변수로 사용되어왔다. 그래서 많은 범용 용접 모니터들이 용접 사이클 동안에 발생하는 열물리적 변화를 반영하는 동저항 신호의 다양한 패턴들을 샘플링하기 위해 사용되었다. 이 열·전기적 신호는 주열의 변화를 내포하고 있는데, 용접전류가 흐르게 되면 모재의 온도가 상승하고 그 후 경계면에서 연화현상이 발생하고 국부적인 용융이 발생하고 너깃이 성장하게 되는 것이다. 따라서 전극 사이의 동저항 모니터링은 간접적 측정법이지만 너깃의 성장과정을 판단할 수 있는 중요한 품질감시기법이다.

그림 5는 네 종류의 용접시편 조합에 대한 저항점용접에서 샘플링된 동저항 곡선을 표시한 것이다. 냉간압연강판의 용접을 보면, 동저항이 표면 불순물과 산화막

층의 파괴에 기인하여 2사이클 내에서 약  $120\mu\Omega$  가량 갑작스런 낙차를 보인다. 모재에서 발생하는 주울 열로 인하여 체적 저항은 상승하고, 이에 의해 초기의 강하 이후 동저항 값은 상승한다. 냉간압연강판의 경계면에서 국부적인 용융이 시작되면, 용접 전류는 대부분 이 용융된 영역을 통하여 흐른다. 이것은 접촉 저항의 감소를 야기하지만 반대로 체적 저항은 상승시킨다. 그러므로, 전체 동저항값은 최대치까지 상승하게 되고, 체적 저항의 상승률과 접촉 저항의 감소율이 같은 지점에서 동저항의 최대값이 나타난다. 동저항 곡선이 최대점을 지난 후에 동저항은 완만한 하강을 보이는데 이는 너깃의 크기가 커지며 통전단면적이 증가하여 접촉 저항이 줄기 때문이다. 동저항 낙차(resistance drop)는 동저항의 최대값과 마지막 용접 사이클에서 샘플링 되는 동저항 값의 차로 정의한다. 동저항 낙차는 냉간압연강판의 저항점용접에서 너깃 크기와 밀접한 관계가 있다.

알루미늄 판재의 용접에서, 그림 5의 가장 아래 곡선에서 보는 바와 같이, 동저항의 초기 감소는 타 재료들의 용접과 비슷한 현상을 보인다. 다만 알루미늄 판재가 주울 열에 의해 쉽게 연화되기 때문에 경계면에서의 접촉 저항이 급격히 감소하며 온도상승에 의한 체적저항 증가효과를 상쇄시켜 결국 전체 동저항은 감소하는 경향을 보여주고 있다.

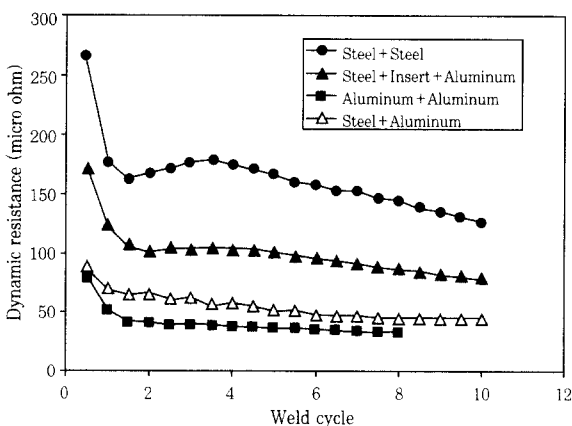


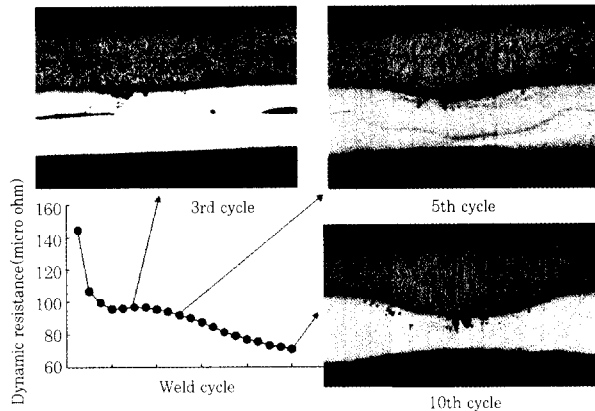
Fig. 5 Typical dynamic resistance patterns

그림 5의 가운데에 위치한 두 곡선은 알루미늄 판재와 냉간압연강판을 점 용접한 것인데 위의 곡선은 transition insert를 사용한 것이고 아래 곡선은 transition insert를 사용하지 않았을 경우의 동저항을 샘플링한 것이다. 이 두 그래프는 매우 흥미로운 패턴 형태를 보이고 있는데 패턴에 나타나 있는 바와 같이 transition insert를 사용하지 않은 이종재료의 점용접시 동저항 패턴은 알루미늄 판재의 동저항 패

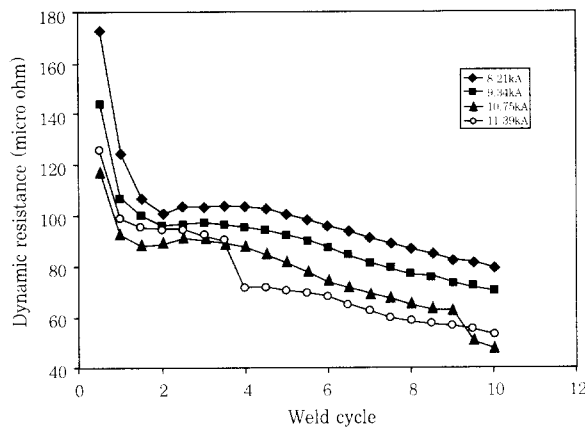
턴과 비슷한 형태를 보이고 있으며, 반면에 transition insert가 사용된 이종재료의 동저항 패턴은 냉간압연강판의 동저항 패턴과 거의 동일한 형태를 가진다.

그림 6(a)는 강판 두께가 1mm인 경우 동저항 패턴에 관련된 너깃 성장과정을 보여주고 있다. 표면 불순물과 산화막의 파괴를 암시하는 동저항의 초기 감소 후에, 알루미늄 판재(insert)와 알루미늄 판재(5754)의 경계면에서 국부적 용융이 나타난다. 주울 열에 의해 국부적인 온도 상승이 계속되기 때문에 그림에서 관찰할 수 있듯이 접합부의 체적 저항은 증가한다. 3사이클에서 알루미늄판재 경계면에서 너깃이 관찰될 뿐만 아니라 냉간압연강판(1008)과 냉간압연강판(insert)의 경계면에서도 너깃을 관찰할 수 있다. 알루미늄의 용융점과 냉간압연강판의 용융점이 매우 큰 차이를 가진다는 사실을 상기할 때 두 너깃의 크기가 비슷한 크기를 가진다는 것은 매우 주목할 만한 사실이다. 두 너깃 크기의 차이가 매우 작다는 것은 용접초기에 알루미늄 너깃의 성장이 냉간압연강판 경계면에서 진행되는 열적거동에 주로 영향을 받는다는 사실을 반증하고 있는 것이다. 즉, 냉간압연강판의 경계면에서 용융이 시작되기 전 3사이클 이전에 형성된 알루미늄 너깃이 계속 성장하지 못하는 현상은 강판경계면쪽의 온도가 상승하여 강판 너깃이 생성되며 자라서 알루미늄 너깃과 비슷한 크기가 될 때까지 계속되는 것으로 판단된다. 그 이유는 강판쪽의 온도가 계속 상승하며 강판경계면에서 용융이 시작됨에 따라 강판의 잠열, 강판의 표면에 접촉한 전극으로 전도되어나가는 열손실등으로 많은 열량이 소모되므로 알루미늄 너깃이 더 이상 자라지 못하는 것으로 판단된다. 5사이클에서 동저항은 최대값을 지나 감소하고 있으며 너깃의 성장은 눈에 띄게 나타난다. 조직사진에서 크게 성장한 너깃을 관찰할 수 있으며 알루미늄 너깃에서는 수축 기공이 발견된다. 10사이클에서의 조직사진을 보면 냉간압연강판 측의 너깃은 5사이클 때의 너깃과 비교해서 크기는 거의 증가하지 않았다. 반면에 알루미늄 판재의 너깃은 아래 전극과의 접촉면까지 확장된 것을 볼 수 있다. 이것은 냉간압연강판에서의 온도 분포가 주울 열에 의한 가열과 모재주변으로 전달되어 나가는 열손실이 균형을 이루어 정상상태에 도달한 반면 용접이 낮은 알루미늄 쪽에서는 용융부가 계속 성장하고 있다는 것을 의미한다.

그림 6(b)는 다양한 용접 전류에 대한 동저항 패턴을 보여주고 있다. 강판을 점용접하는 경우와 비슷한 경향을 보이며 용접전류가 증가할수록 동저항낙차가



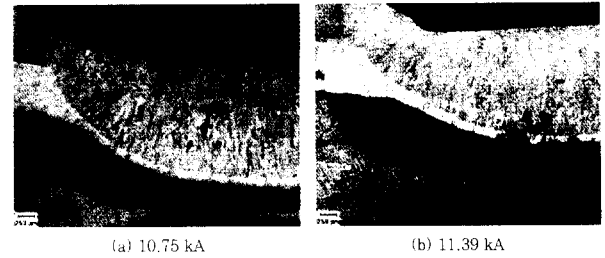
**Fig. 6** (a) Nugget growth and dynamic resistance curve for 1008/Insert/5754 joint (Electrode force = 159kg, Weld current = 9.34kA, Thickness of steel (1008) = 1.0mm)



**Fig. 6** (b) Dynamic resistance of 1008/Insert/5754 spot welds (Electrode force = 159kg, Thickness of steel (1008) = 1.0mm)

커짐을 알 수 있다. 하지만 지나치게 과다한 용접 전류는 splash나 용출 현상(expulsion)을 야기하여 양호한 너깃을 형성할 수 없다. 그래프에서 보는 바와 같이 10.75kA 이상의 용접 전류에서는 용출 현상이 발생한다. 그림 7(a)와 7(b)에는 각각 10.75kA, 9사이클에서 발생한 용출 현상과 11.39kA, 3.5사이클에서 발생한 용출 현상을 너깃모양에서 관찰할 수 있다. 그림 7(a)의 용융부의 단면에서 보면, 알루미늄 판재와 전극의 경계면에서 surface splash가 나타나며 이는 그림 6(b)의 9사이클에서의 급격한 동저항 낙차로 모니터링할 수 있다. 11.39kA로 용접 전류가 증가한 경우, 3.5사이클에서 급격한 동저항 낙차가 발생하며 그림 7(b)에서 보여지는 바와 같이 알루미늄의 너깃에서 용출 현상이 발생한다.

그림 8(a)는 강판두께가 2mm인 경우 다양한 용접 전류에서의 동저항 패턴이다. 동저항 패턴은 그림



**Fig. 7** Corss-sections of 1008/Insert/5754 spot welds showing blow holes by expulsion

6(b)와 비슷한 경향을 보이고 있고 용접전류가 증가할수록 동저항 낙차가 커짐을 관찰 할 수 있다. 또한 이 그래프에서는 냉간압연강판(1008)의 두께에 대한 동저항 패턴의 변화를 관찰 할 수 있다. 냉간압연강판의 두께가 1.0mm(그림 6(b))에서 2.0mm(그림 8(a))로 변화함에 따라 동저항은 초기 감소 후에 현저한 증가를 보인다(최소점에서 최대값까지의 상승폭). 두꺼운 냉간압연강판(2.0mm)의 경우, 1.0mm의 것보다 국부적 용융 현상이 늦게 발생하므로, 체적 저항의 증가도 늦게 된다. 이와 대조해서 얇은 냉간압연강판(그림 6(b))의 경우에는 최소값으로부터 최대값까지의 동저항 증가치도 작고 최대치에 도달하는 용접사이클도 앞당겨짐을 관찰 할 수 있다.

그림 8(b)는 강판의 두께가 2mm인 경우 용접사이클 경과에 따른 너깃 성장과정을 보여주고 있다(그림 8(a)의 11.53kA인 경우의 동저항파형 참조). 2사이클에서, 냉간압연강판(1008)과 insert 냉간압연강판 사이에서는 너깃을 형성하지 못하고 있으나 5754와 insert 알루미늄의 경계면에서는 국부적인 용융이 시작되었다. 경계면에서의 기공은 5754 경계면에 불순물과 산화막이 존재하고 있었음을 암시한다(본 실험에서 5754 알루미늄 시편은 화학적 표면처리를 하지 않았다). 6사이클까지는 알루미늄 너깃의 현저한 증가는 관찰되지 않은 반면 냉간압연강판의 너깃이 알루미늄 너깃과 같은 크기(직경)로 성장하였음을 알 수 있다. 이러한 사실은 그림 6(a)에서 언급한 바와 같이 transition insert를 사용한 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 너깃 형성 과정은 냉간압연강판과 insert냉간압연강판의 경계면의 열적거동에 의해 큰 영향을 받는다는 것을 암시한다. 즉 일단 알루미늄 너깃이 낮은 용점에 기인하여 먼저 성장한 후 강판경계면에서 강판너깃이 형성되어 비슷한 크기로 성장될 때까지 알루미늄 너깃은 커지지 않으며, 두 너깃의 크기가 비슷해 진 후부터는 두 너깃이 동시에 성장하는 것으로 판단된다. 11사이클의 경우 두 너깃크기가 모두 현저하게 증가하였으며 특히 알루미늄 너깃은 아래 전극의 표면까지 성장하였다. 용접이 진전되어 17사이클에 이르

게 되면 너깃의 크기는 더 성장하였으나 성장속도는 감소한 것으로 판단된다. 이는 저항점용접의 대표적 특성으로 설명될 수 있는 용접후반부에서의 열적균형에 기인한 결과라 판단된다.

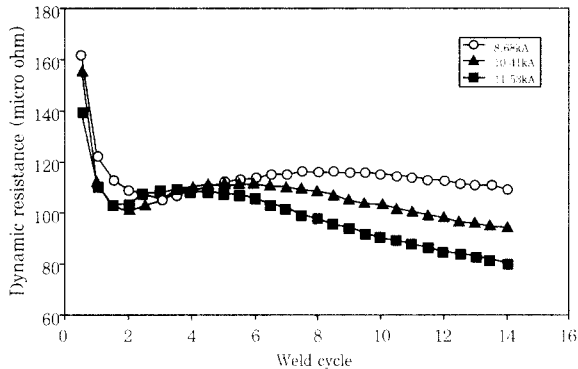


Fig. 8 (a) Dynamic resistance of 1008/Insert/5754 spot welds (Electrodes force = 272kg, Thickness of steel (1008) = 2.0mm)

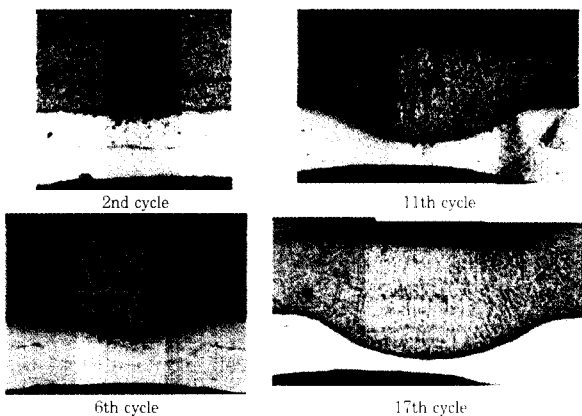


Fig. 8 (b) Cross-sections of 1008/Insert/5754 spot welds for various weld cycle (Electrode force = 272 kg, Weld current = 11.53kA, Thickness of steel (1008) = 2.0mm)

그림 6과 8에서 보는 바와 같이 동저항 곡선에서 동저항 낙차는 용접 전류가 증가함에 따라 더 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 냉간압연강판의 점용접에서도 발견할 수 있다. 이와 같이 알루미늄 판재/냉간압연강판의 점용접과 냉간압연강판끼리의 점용접 사이에 발견되는 동저항 패턴의 유사성으로부터 다음 사실을 확인할 수 있다. 즉, 물성의 차이가 너무 커서 실현이 불가능한 알루미늄판재와 강판의 점용접을 알루미늄/insert 알루미늄의 경계면과 냉간압연강판/insert냉간압연강판의 경계면에 각각 형성되는 두 개의 너깃을 통하여 구현할 수 있음을 확인하였다.

이상과 같이 알루미늄판재와 강판의 점용접에서 transition insert를 사용하면 두 재료의 상이한 물성

차로 인한 문제점을 해결할 수 있으나 동종재료의 점용접 경우보다 용접조건을 선정하기가 어려우므로 최적조건을 찾기위한 방대한 실험보다는 수치해석적 접근이 이루어져야 할 것이다. 특히 진술한 바와 같이 용접초기에 알루미늄 너깃의 성장과정이 강판측 너깃성장과정에 심한 영향을 받는 바 이에 대한 규명이 이루어져야 할 것이다. 또한 압연가공된 transition insert를 구성하는 두 재료 두께의 비(ratio)가 너깃형성과정에 미치는 영향도 연구되어야 할 것이다.

### 3.2 용접 품질

용접 품질은 보통 너깃의 형상과 너깃의 인장-전단 강도에 기초하여 평가하게 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 점 용접부에는 두 개의 너깃이 형성되므로 두 너깃 모두를 검증하여야 한다. 그림 9(a)를 살펴보면, 위의 너깃은 모재(1008, 두께 = 2.0mm)와 insert 냉간압연강판 사이의 경계면에 형성된 용융부를 보여주고 있다. 아래의 너깃은 알루미늄 판재(5754, 두께 = 0.73mm)와 insert 알루미늄 사이의 용융부를 나타낸다. 냉간압연강판 너깃에서 주상정(dendrite)구조가 관찰되는데,



Fig. 9 (a) Micro photograph of 1008/Insert/5754 spot weld (Electrode force = 272kg, Weld current = 10.51kA, Thickness of steel (1008) = 2.0mm)



Fig. 9 (b) Sectional enlarged microphotograph of Fig. 9(a)

이 구조는 너깃의 외곽 부분에서 시작되어서 너깃의 중앙 쪽으로 성장하는 형상을 보인다. 알루미늄 너깃에서는 수축 기공이 발견되는데, 이 수축 기공은 높은 열 전도도(냉간압연강판의 약 277%)에 의해 야기되는 알루미늄의 빠른 냉각에 의해 발생한다. 그림 9(b)의 오른쪽 부분을 보면, 4개의 층을 이루고 있는 모재(위로부터 : 1008 냉간압연강판, insert 냉간압연강판, insert 알루미늄, 5754 알루미늄)를 볼 수 있다. 그림의 왼편은 냉간압연강판 너깃과 알루미늄 너깃의 일부분이 나타나 있다. 그림에서 나타나는 바와 같이, 냉간압연강판과 알루미늄 판재 사이의 접합 경계면에서는 intermetallic layer가 발견되지 않았으며, 이는 transition insert를 사용해서 양호한 점 용접부를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

그림 10은 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 저항점 용접에 대한 lobe curve가 도시되어 있다. 그림에서 button size는 shear-peel 시험을 거쳐 측정되었다. 이 lobe curve는 냉간압연강판의 저항점 용접에서 얻어진 전형적인 lobe 곡선과 비슷한 형태를 가지며, transition insert를 사용할 경우 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 이종재료의 점 용접에 대한 최적의 용접 조건 범위를 표시하고 있다. lobe curve를 살펴보면, 용접 전류가 증가함에 따라 양호한 너깃을 얻기 위해서 용접 시간을 줄여야 함을 표시하고 있다.

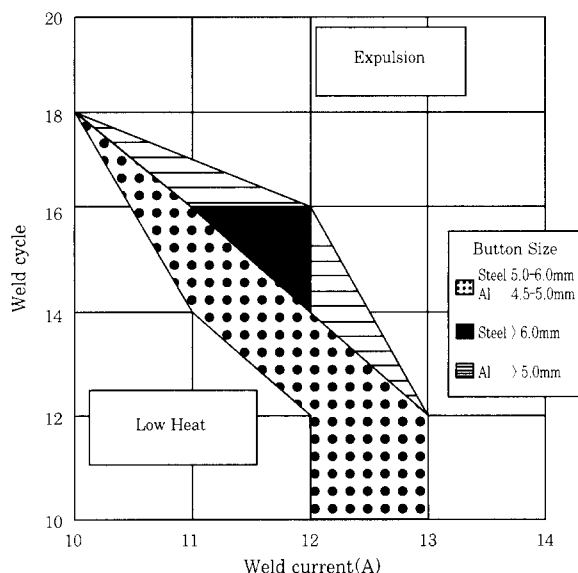


Fig. 10 Lobe curve for 1008/Insert/5754 spot weld  
Thickness of 5754 = 0.73mm, Thickness of 1008 = 2.0mm, Electrode force = 272kg

#### 4. 결 론

1) Transition insert를 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 경계면에 삽입함으로써 이종재료의 점용접시 두 재료의 상이한 물성치로 인하여 야기되는 문제점을 해결할 수 있었다. 즉, transition insert를 사용하여 알루미늄 판재/알루미늄 insert, 강판 insert/냉간압연강판의 두 경계면에서 각각 양호한 너깃을 얻을 수 있었다.

2) 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 점용접에서 너깃의 성장을 용접도중 동저항 패턴의 측정에 의해 모니터링할 수 있다. 알루미늄 판재와 냉간압연강판의 저항점 용접에서의 동저항곡선은 냉간압연강판을 저항점 용접할 경우와 비슷한 패턴특성을 가지며 용접품질을 보장하는 유용한 정보를 제공한다.

#### 후 기

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 손병천, 우승엽, 이재범, 최용범, 장희석: 이종재료(알루미늄-강판)의 저항점 용접에 관한 연구, 대한용접학회논문집, 제 15권, 제 4호(1997), pp.268-288
2. American Welding Society: Welding Handbook, 8th Edition(1991), pp.543-552
3. R. Baboian, G. Haynes: Joining Dissimilar Metals with Transition Materials, SAE Paper 760714(1976)
4. R. Baboian, G. Haynes: Transition Materials for Automotive Applications, SAE Paper 930707(1993)