

차체 이음 유발 용접 불량에 대한 분석과 해결 방안

조정호^{*,†} · 이중재^{*} · 배승환^{*} · 이용기^{*} · 박경배^{*} · 김용준^{*} · 문세민^{**}

^{*}충북대학교 기계공학부

^{**}현대자동차 연구개발본부

Evaluation and solution of noise making weldment in automotive body

Jungho Cho^{*,†}, Jungjae Lee^{*}, Seunghwan Bae^{*}, Yongki Lee^{*}, Kyungbae Park^{*},
Yongjun Kim^{*} and Semin Moon^{**}

^{*}School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

^{**}Research & Development Division, Hyundai-Kia Motor Company, Hwaseong 445-869, Korea

[†]Corresponding author : Junghocho@cbnu.ac.kr

(Received April 13, 2015 ; Accepted April 24, 2015)

Abstract

The importance of emotional quality of car is getting higher in these days. Noise takes great portion in emotional quality because it is detectable problem with just a few rides. The sources of car noise during operation are various and the related technical issues are vast. Sometimes weldments of auto body are referred as the source of noise and the suspicious weldment shows unsatisfactory welding quality in most cases. In this research, cases of noise making weldments are investigated to figure out the solution for welding quality improvement. They are categorized into several groups in according to the inferred types of the error source then appropriate solutions are suggested. Auto body has weldments of resistance spot welding and gas metal arc welding in general. Therefore the solutions are suggested as adjustment of welding process variables and related machineries. Inevitable error source is also referred which is originated from thermal expansion rate difference between ultra high strength steel and mild steel. This new approach is validated through simple calculation then more concrete investigation with numerical analysis is remained as further works to be done.

Key Words : Auto body, Resistance spot welding, Car noise, BIW, Ultra high strength steel

1. 서 론

현재 대부분의 일반 차체는 여러 종류의 강판을 저항점 용접하는 방법으로 생산되고 있다. 그러나, 용접부는 항상 열변형을 동반하게 마련이고, 과용접이나 미용접 등의 공정 변수에 의한 용접 결함도 확률적으로 존재한다. 여기에 완벽하지 못한 설비에 의해 발생하는 용접부 결함까지 더해져 용접부를 불완전하게 만드는 요인은 실로 다양하다.

자동차 시장은 초대형 다국적 부품 업체들의 성장으로 완성차 업체들 간의 품질, 성능 격차가 과거에 비해

많이 줄어들었다. 이러한 상황에 맞물려 감성 품질을 점검하는 고급 소비자들이 증가하였고, 각 완성차 업체들도 자연스럽게 감성 품질 향상에 노력을 기울이고 있다. 그 중 가장 기본적인 감성 품질 분야는 자동차 운행 중 발생하는 BSR (Buzz, Squeak, Rattle) 문제로 완성차 업체들은 시작차 단계부터 애프터 마켓에 이르기까지 장기간에 걸쳐 BSR 문제 해결에 애를 쓰고 있다.

차체의 일부 용접부는 BSR 문제를 일으키는 원인으로 추측되기도 한다. 이 중 자명한 요인은 과용접에 의한 스패터이다. 스패터가 용접부에서 떨어져 나가 강판 틈새에 들어가거나, 비산되는 도중 용접부에 달라붙어

	(a) Matched edge	(b) Edge matching error	(c) Robot teaching error
welding	Flange center	Upper plate edge	Flange edge
Result	Sound	Non-uniform heat conduction Surface wave in upper plate	Non-uniform heat conduction Surface wave in upper and lower plate
Schematic			

Fig. 1 Possible error sources of unmatched edge weld in RSW process

있는 경우 진동에 의해 잡음을 일으키는 것이다. 또한, 용접 열변형에 의해 판넬 사이가 들뜨면서 기류의 통로로 작용하여 미세한 이음을 만들어 내기도 한다.

그 동안 저항 점 용접부 품질과 관련된 연구는 주로 용접 변수의 영향¹⁾과 품질 모니터링²⁾에 관한 것이 주를 이루었으며, 1차적인 설비 문제를 다룬 것은 극히 일부였다³⁾. 이 연구에서는 차량 이음의 주요 원인으로 간주되는 용접부를 분석하여, 주요 원인 별로 분류하고 각 원인에 대한 대책을 1차적인 설비 문제 위주로 제시하였다. 주요 용접 변수인 전류와 가압력에 의한 과용접과 잇따른 용접부 변형에 대해 분석하였고, 용접건 정렬 문제에 의해 발생할 수 있는 용접부 굴곡에 대해 정리하였다. 아울러 초고장력강 적용에 따라 발생할 수 있는 보다 근본적인 BSR 문제에 대해서도 그 가능성을 검증하였다.

2. 이음 유발 용접부 문제 분류와 해결 방안

자동차 운행 중 발생하는 갖가지 잡음을 이음이라 칭하기도 한다. 차체에서 발생하는 이음의 원인을 추적하다 보면, 용접 품질이 불량한 용접부를 발견하게 되고, 이 부분으로부터 이음이 시작되는 경우가 종종 있다. 따라서, 이음을 발생시키는 용접부 문제를 분류하고 각 분류별 대책을 수립할 필요가 있다. 이음을 발생시키는 용접부는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 저항 용접부고, 다른 하나는 아크 용접부다.

저항 용접부 문제는 다시 두 가지로 분류될 수 있는데, 첫 번째는 용접부 주변 강판이 벌어지면서 이음을 유발하는 경우이고, 다른 하나는 과용접에 의한 스페터가 진동 시 이음을 유발하는 경우이다. 용접부 강판이 벌어지는 원인 중 하나는 Fig. 1과 같은 플랜지 끝단

용접이다. 정상적인 경우라면, 플랜지의 끝단이 일치된 상태에서 용접이 이루어져야 하지만, 부품의 정렬이 잘 이루어지지 않은 경우, 또는 앞선 용접점으로부터 열변형이 누적된 경우 그림처럼 플랜지 끝단이 맞춰지지 못한 채 용접이 이루어진다. 이렇게 되면 끝단에서 용접된 강판 면에서 용접 열이 고루 전도되어 분산되지 못하고, 용접부 좌우로 열이 집중되어 용접부 주변의 열변형을 심화시킨다. 결과적으로 강판 간의 계면이 정상적인 경우보다 더 벌어지게 되어 이음을 유발하는 원인이 된다. 또한, 로봇 티칭이 잘못 되었거나, 로봇 정밀도가 저하된 경우 플랜지가 잘 정렬되었다 하더라도, 그림과 같이 끝단에 용접되어 앞서와 마찬가지로 용접부 주변 강판 표면의 굴곡을 심화시킬 수 있다.

플랜지 끝단 용접 문제는 두 가지 해결 방안을 생각할 수 있다. 우선 열변형 누적에 의한 끝단 정렬의 불량이 유발되는 경우 용접점에 대한 용접 순서를 변경하는 방법으로 열변형 누적을 감소시킬 수 있다. 차체 저항 용접은 생산성을 고려해, 보통 Fig. 2의 순차 용접처럼 연속적인 한쪽 방향으로 진행되는데, 이런 경우 앞에서부터 발생한 열변형에 의한 정렬 오차가 마지막 용접부에 누적될 수 밖에 없다. 이를 그림의 교차 용접처럼 순서를 교차시키는 방법으로 바꾸어 주면, 강판 정렬을 유지하면서 열변형에 의한 오차 누적을 최소화할 수 있을 것이다. 그러나, 공정을 이와 같이 수정하게 되면, 해당 용접 공정의 싸이클 타임이 증가할 것이므로 생산성이 다소 저하되는 단점이 있다. 다른 하나는 기존의 용접 지그 시스템에 플랜지 끝단 정렬을 위한 가이드 블록을 추가하는 것이다. Fig. 3에서 보듯이 종래의 강판 부품 정렬은 주로 툴링 홀을 기준으로 하고 있기 때문에 끝단이 약간 벗어난 부분이 존재하기도 한다. 여기에, 모든 모서리에 대한 가이드 블록을 추가

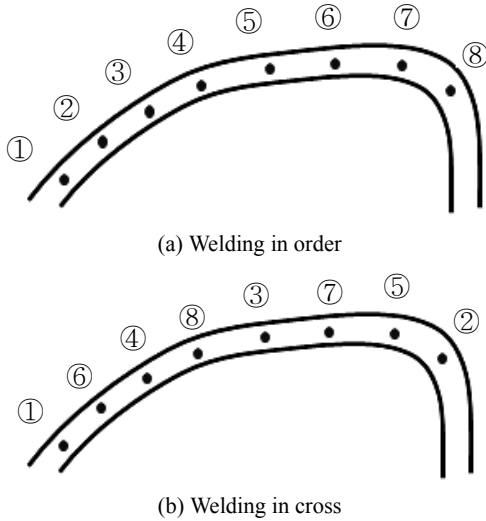


Fig. 2 Changing welding order to reduce mismatched edge in flange

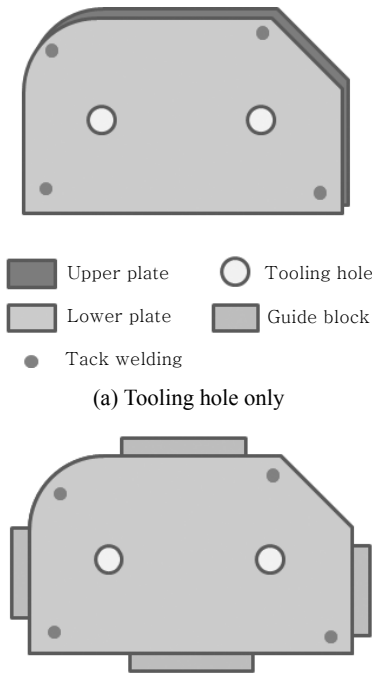


Fig. 3 Additional guide blocks on welding jig to prevent unmatched edge

하여 끝단이 정렬 되도록 함으로써 끝단 용접을 막을 수 있다. 물론, 이와 같은 정렬 장비 도입에는 추가적인 생산 비용 증가가 있을 수 있다.

정상적인 용접부 형상 조건이라 하더라도 과용접하는 경우, 과도한 입열이 용접점 주변의 열변형을 유발하고 이것이 강판 계면이 벌어지게 만들어 이음을 유발할 수 있다. 아울러 과용접에 의한 스파터 역시 이음을 유발하는 원인이 되기도 한다. 과용접에 의해 발생한 스파터는 비산하여 차체의 다른 부분에 달라 붙기도 하는데

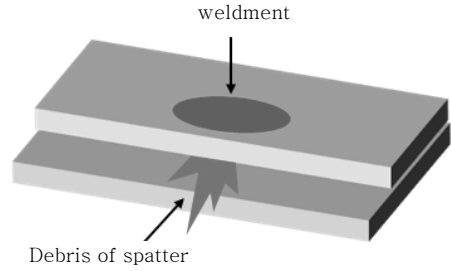


Fig. 4 Spatter debris in over heat welding

이러한 스파터들은 세척과정이나 도장 과정을 거쳐 큰 문제를 일으키지 않는다. 하지만, 비산 중 강판 틈새로 들어간 일부 스파터가 차량 운행 중 떨어져 나와 딸각 거리는 소음을 유발하는 원인이 되기도 한다. 또한, Fig. 4와 같이 비산 중 응고된 스파터 파편은 용접부에 달라 붙어 차량 운행 중 마찰음을 유발하기도 한다. 이러한 저항 점 용접부의 과용접 문제는 공정 변수 중 전류나 통전 시간을 조절함으로써 해결할 수 있다.

용접부 주변 강판의 굴곡이나 계면간 벌어짐은 용접 조건 설정에 따른 과용접에 의해서만 발생하는 것은 아니다. 차체 저항 용접은 거의 모든 공정이 로봇에 의해 자동화 되어 있다. 따라서, 로봇은 항상 동일 위치에서 용접을 수행하게 되지만, 약간의 정렬 오차를 가지고 있는 용접부에 대해 유연하게 대처할 수 없다. 다시 말해, 용접부가 약간의 위치 오차를 가지고 있는 경우, 로봇이 이 위치에 맞춰 용접을 하는 것이 아니고, 로봇은 강한 힘으로 이 용접부를 밀거나 당기면서 용접을 하게 된다. 이를 그림으로 설명하면 Fig. 5와 같다. 정상적인 경우라면, 그림에서처럼 강판에 별다른 외력 없이 용접이 이루어지지만, 로봇의 티칭 위치와 실제 강판의 용접부 위치가 일치하지 않으면, 그림과 같이 로

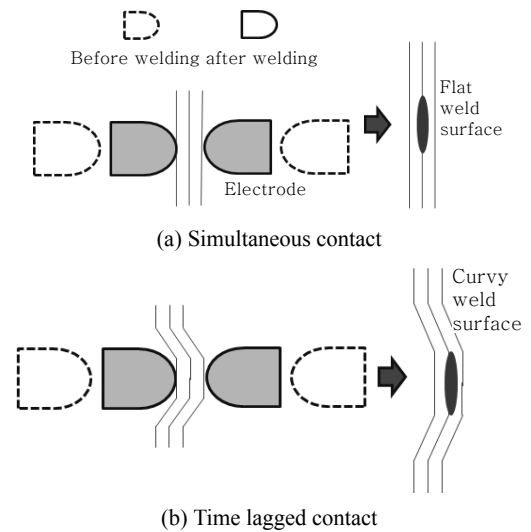


Fig. 5 Reason of curvy surface weldment which is protruded by robot and welding gun

봇이 강판을 밀면서 용접하게 되므로, 용접부가 주변 강판 면보다 돌출하게 되어 용접부 주변의 굴곡 형상을 만들어낸다. 이러한 문제를 방지하려면, 생산 초기부터 세밀하게 로봇 티칭을 해주어야 하며, 아울러 용접 공정을 주기적으로 관찰하여 강판이 밀리면서 용접이 이루어지는지를 점검하고, 로봇의 위치 오차 누적을 고려하여 로봇 티칭을 수시로 수정해주어야 한다.

위에 언급한 경우와 비슷한 메커니즘으로 용접부 굴곡이 발생하는 경우가 있는데, 이는 Fig. 6과 같다. 그림과 같이 용접부가 비틀어진 형상을 보이는 경우는 두 가지 원인을 추정할 수 있다. 하나는 로봇 티칭이 잘못 되어 전극이 용접면과 수직하게 만나지 못하는 경우이고, 또 다른 하나는 로봇 티칭이 제대로 되어 있다 하더라도, 오랜 사용으로 로봇 건이 변형을 일으켜 그림과 같이 전극이 일렬로 정렬되지 못한 경우이다. 따라서, 로봇의 용접 건을 주기적으로 점검하여, 전극이 일렬로 정렬되어 있는지 여부를 확인하여야 하고, 용접 공정 관찰로 접촉각이 수직인지 점검하여 로봇 티칭을 수정해야 한다.

용접 조건이나 로봇이 아닌 강판 자체에 의해 발생하는 용접부 이음 문제도 있다. 연비 향상과 온실 가스 발생 저감 요구가 맞물려 자동차의 중량 절감이 절실하게 되었고, 이 요구에 따른 초고장력강의 등장으로 차체의 초고장력강 적용 비율이 계속해서 증가하고 있다. 그러나, 이런 추세는 차체 생산에 있어 전혀 예상하지 못했던 새로운 문제를 발생시키고 있다. 그 중 하나는 초고장력강판과 일반강판의 용접부 주변에서 강판 계면의 벌어짐이 심화되는 문제이다. 이것이 과용접 조건과 맞물리게 되면, 용접점 간 강판 계면이 더 크게 벌어지고, 이 부분에서 고속 주행시 이음이 발생하게 된다. 실제로 한 여름에 초고장력강 적용 부위에서 이음이 심화되는 현상이 보고되고 있는데, 이런 문제가 발생하는

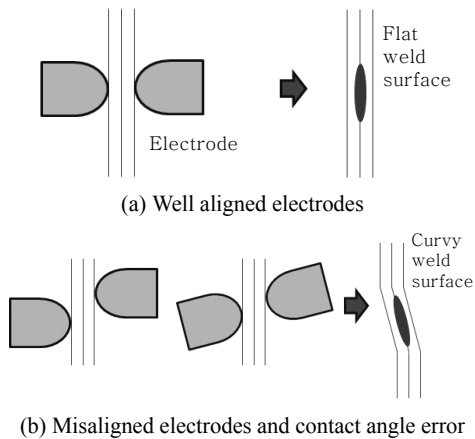


Fig. 6 Reason of curvy surface weldment which is twisted by misaligned electrodes or contact angle error

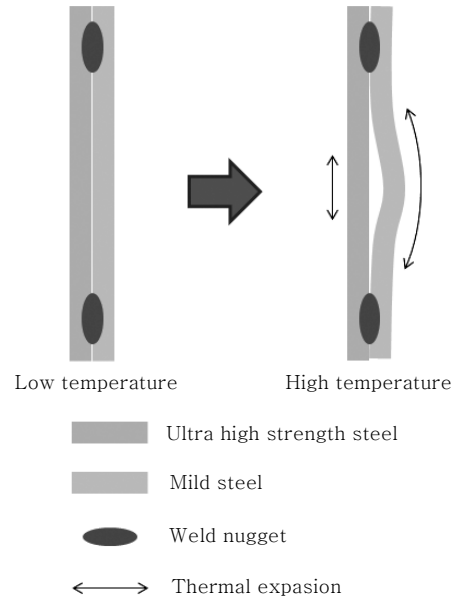


Fig. 7 Interfacial gap widening by thermal expansion rate difference

근본적인 원인은 초고장력강과 일반강의 열변형률 차이에 있다. 그 메커니즘은 Fig. 7을 통해 간단하게 설명할 수 있다. 그림에서 보듯이 용접 후 열변형 없이 완벽하게 밀착된 용접점 간 강판 조건이라 하더라도, 열변형 차이에 의해 계면이 벌어질 수 있다. 한 겨울에 차체 외판의 온도는 영하 15도 정도까지 내려가고, 한 여름에 차체 외판 온도는 50~60도를 훌쩍 넘어가는 상황을 고려하면, 이런 추론이 불가능한 것은 아니다.

간단한 계산으로 앞서의 추론을 뒷받침할 수 있다. 일반적인 강판의 열팽창률은 약 $1.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 이지만, 문헌⁴⁾에 따르면, 핫스탬핑 초고장력강의 열팽창률은 약 $2.0 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 로 일반강과 약 100배의 차이를 보인다. 이를 바탕으로 Fig. 8과 같은 간단한 계산으로 계면간의 벌어진 거리를 예측할 수 있다. 용접점 간 거리는 50mm이고, 이 용접부가 상온 10 $^{\circ}\text{C}$ 환경에서 생산되어 용접점 간 강판은 완전 밀착된 상태라고 가정하자. 한 여름 60 $^{\circ}\text{C}$ 온도의 환경이라면, 열팽창률 차이에 의

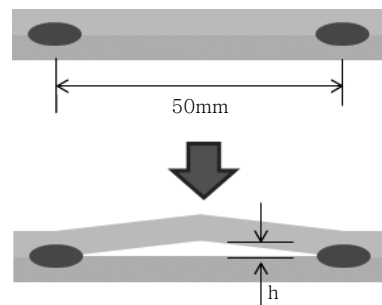


Fig. 8 Simple calculation example of gap widening between UHSS and mild steel

해 발생하는 두 접점 간의 변형량 차이는 $32\mu\text{m}$ 이다. 이 계산을 바탕으로 계면간 벌어진 형상이 이등변 삼각형이라고 단순화하고 그 중심부의 벌어진 간격 차 h 를 계산하면, 약 0.895mm 가 나온다. 간단한 계산이지만, 이 수치는 결코 작다 할 수 없다. 이 결과는 매우 단순화된 계산 결과이므로, 이와 관련된 추가 연구가 필요하다.

마지막으로, 아크 용접에 의한 용접부 문제는 차체에 서 차지하는 비율이 낮으므로 간단하게 언급하기로 한다. 이 문제 역시 과용접에 의한 스패터 비산과 용락, 두 가지로 귀결된다. 자동화된 용접 공정이든 수동 용접 공정이든, 과용접을 방지하기 위해서는 용접 조건에 대한 재정비가 필요하다. 덧붙여 스패터 비산 문제를 근본적으로 해결하려면, 일반적으로 잘 알려진 바와 같이 현재 적용중인 100% CO_2 GMAW 공정의 알곤 보호가스 비율을 80%이상으로⁵⁾ 끌어올리는 재정적 투자가 필요하다.

3. 결 론

차체에서 운행 중 발생하는 이음에는 여러 원인이 있다. 원인을 추적하다 보면, 그 이음이 용접부에서 발생하는 경우가 있는데, 대부분은 용접부에서 발생한 스패터 또는 과용접에 의한 용접부 주변 강판의 계면 벌어짐이 이음 발생의 주요 원인으로 지목된다. 본 연구에서는 이음을 발생시키는 용접부를 분석하여 그 현상을 원인 별로 분류하고, 각 원인에 대한 해결 방안을 제시

하였다. 또한, 초고장력강 적용에 따른 근본적인 이음 발생 가능성을 제시하였고, 이를 간단한 계산으로 간략하나마 이론적으로 규명하였다. 이를 바탕으로 추후 강판 조합별로 용접부에서 발생할 수 있는 열변형과 잔류응력을 예측하고, 이 해석 결과를 이음 해석 모델에 적용할 수 있는 방법을 강구하여 이음 해석 모델의 정확도를 향상시키는 연구를 진행할 예정이다.

References

1. J. D. Lee, S. J. Lee, J. H. Bang, G. Y. Yoon, M. S. Kim and J. K. Kim, Weld Quality Evaluation Method for the Resistance Spot Welds using X-ray Transmission Inspection, *Journal of Welding and Joining*, 32(6) (2014), 1-7 (in Korean)
2. J. Cho, Y. Cho, S. Yoo, I. Chang and S. Do, Consideration of Sensors for Real-Time Quality Evaluation of Resistance Spot Welds in Automotive Industry, *Spring Conference of KWJS*, (2010), 50 (in Korean)
3. E. H. Park, A Study on the Mechanical Properties of Spot Welding according to Electrode Design, Master Thesis, *Seoul National University of Science and Technology*, (2015), (in Korean)
4. D. Ravindran, Finite Element Simulation of Hot Stamping, Master Thesis, *Ohio State University, USA*, 2011
5. E. J. Soderstorm AND P. F. Mendez, Metal Transfer during GMAW with Thin Electrodes and Ar- CO_2 Shielding Gas Mixtures, *Welding Journal*, 87(2008), 124s-133s



- 조정호
- 1978년생, 공학박사
- 충북대학교 기계공학부 교수
- 용접/접합공정, 용접물리, 용융풀 해석
- e-mail : junghocho@cbnu.ac.kr