자동차용 박판 점용접부의 너깃 크기 예측과 강도 평가

Evaluation of strength and prediction of nugget size at spot weld of the thin plate for the automotive parts

나의균*, 고승기*, 오석형*, 오원철**
* 군산대학교 기계공학부
** 군산대학교 기계공학부 대학원

1. 서론

자동차 산업에서 승용차 조립의 경우에는 spot용접이 전체 용접공정의 약 95% 이상을 차지하고 있으며, 상용차의 조립에서도 spot 용접이 전체 용접공정의 약 70%를 차지하고 있다. 이런 점용접부에 대해 사용 중 신뢰성을 확보하기 위한 연구가 피로 및 강도에 주안점을 두어 국·내외적으로 진행되어져 오고 있다. 이 논문에서는 너깃의 실제 크기와, 강도, 파괴에너지, 변형량과의 상관관계를 고찰하고 이러한 강도에 절대적인 영향을 미치는 너깃 크기를 예측하기 위해 FEM에 의한 너깃의 크기의 예측을 주된 내용으로 한다.

2. 실험 재료 및 실험 방법.

2-1. 실험재료 및 용접 조건.

본 연구에서 사용되는 재료는 자동차 차체에서 가장 많이 이용되고 있는 SPCC(두께: 1.0mm, 1.2mm)이며, AWS에서 정한 시험편을 Fig.1)과 같이 가공하여 1점 용접을 실시하였다.

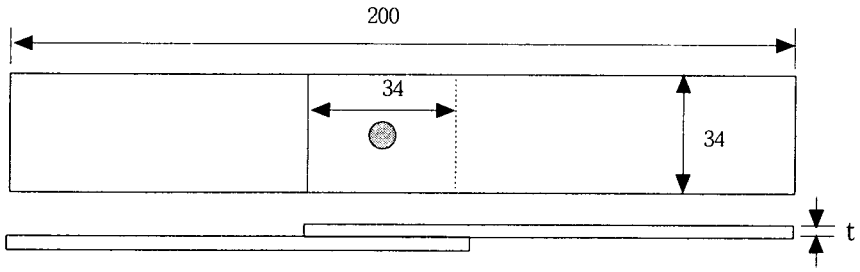


Fig.1) Dimensions of the AWS standard test specimen (mm)

점용접에 영향을 미치는 요소로는 여러 가지가 있으나, 가장 큰 영향을 미치는 것으로는 용접전류, 통전시간, 가압이 있다. 그중 이 논문에서는 일정두께에 대해 용접전류를 변화시켜 가며 실험을 실행하였고 용접조건은 점용접기 제작사에서 추천하는 용접 조건을 사용하였다. 실제 현장에서도 이와 유사한 조건을 사용하고 있으며, 용접조건은 Table.1)과 같다.

Table.1) Welding condition of specimen

두 께 (cm)	1.0					1.2				
조건 (cycle)	초기가압 : 40 통 전 : 12 슬로프 : 3 유 지 : 4 가압력 : 2.7(kg/cm^2)					초기가압 : 40 통 전 : 12 슬로프 : 5 유 지 : 4 가압력 : 2.9(kg/cm^2)				
전류 (KA) (실전류)	8.0 (7.2)	8.5 (7.5)	9.5 (8.4)	10.0 (8.8)	10.5 (9.3)	8.0 (6.4)	8.5 (6.8)	9.0 (7.1)	9.5 (7.5)	10.0 (7.9)

2-2. 실험 방법.

용접 되어진 시편에 대해 전단인장 실험을 수행하였으며 너깃에 실질적인 직경은 3%질산 수용액을 이용해 부식을 식힌 후 나타난 직경을 측정함으로서 너깃에 크기를 측정하였다. 경도는 미소비커스 경도계를 이용해 너깃의 중심방향을 지나가게 0.5mm 간격으로 측정을 하였다.

2-3. 유한요소해석.

1) 점 용접부의 열전도 이론식

용접물의 온도 분포와 관계되는 식은 다음과 같다.[1)]

$$\rho_w C_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r}\left(K_w \frac{\partial T_w}{\partial r}\right) + \frac{K_w}{r}\frac{\partial T_w}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_w \frac{\partial T_w}{\partial z}\right) + \frac{1}{\sigma} \nabla\varphi \cdot \nabla\varphi \quad (1)$$

여기서, T_w : 용접물의 온도(℃) ρ_w : 용접물의 밀도 (kg/m^2)

C_w : 용접물의 비열 $(J/kg \cdot ℃)$ K_w : 용접물의 열전도도 $(J/m \cdot s \cdot ℃)$

2) 유한요소해석 절차.

모재에 온도분포를 해석하기 위해 사용되는 유한요소해석 프로그램은 전·후처리를 담당하고 있는 MSC/PATRAN8.5와 해석기인 NASTRAN 70.5을 이용하였다. 두께별로 Fig.2)와 같은 방법으로 요소를 나눴으며 너깃이 생성되는 중앙부위는 더 세밀하게 요소를 나누었다.

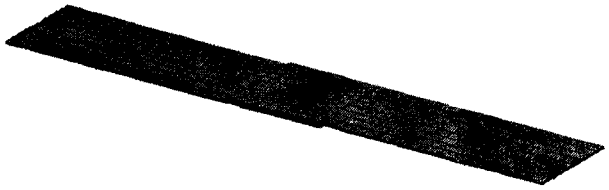


Fig.2) Finite element mesh of the specimen

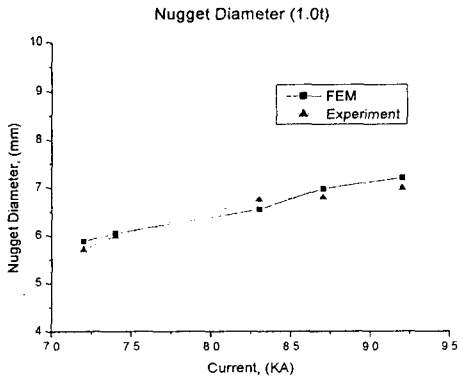
온도에 따른 비열과 열전도에 값은 일반 Mild Steel의 값과 크게 다르지 않으므로 그 값을 사용하였고[2)], 발열과 관계되는 용접시의 저항은 접촉면이라는 극히 제한된 면적과 온도에 따른 저항의 변화 등으로 그 값을 산출하기가 매우 어려우므로 모든 저항을 합한 총저항에 개념을 이용하여 단순화하여 해석을 수행하고자 한다. 여기서는 가압력 300N을 고려하여 $110\times10^{-6}\Omega$으로 하였으며[3)], 열량을 구하는 식은 보통 용접부 및 점 용접부에서 많이 쓰이는 (2)식을 이용하였다.

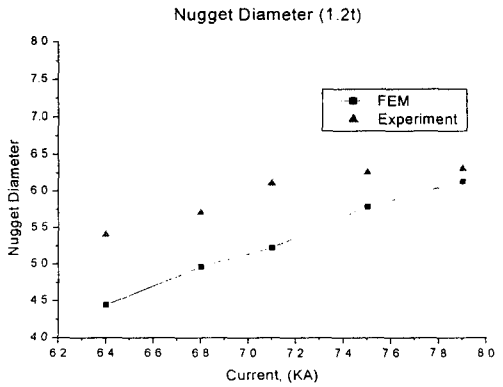
$$Q = 0.24I^2RT \quad (2)$$

해석은 Transient Heat Transfer 해석모듈인 SOL 159를 사용하였고, 전류별로 각각에 대한 온도분포를 구하여 너깃을 크기를 예측하였다.

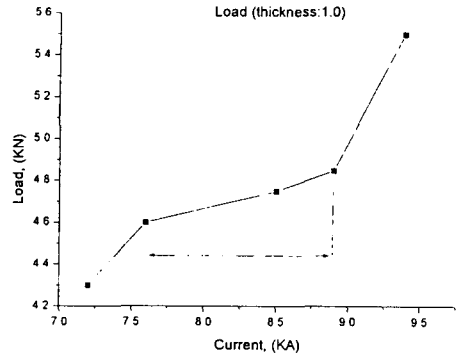
3. 실험 결과 및 고찰 : 본 연구에서 전류는 실제로 측정하여진 실전류값이다.

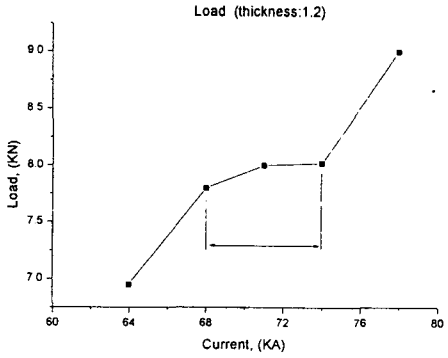
3-1. 전류와 너깃의 크기



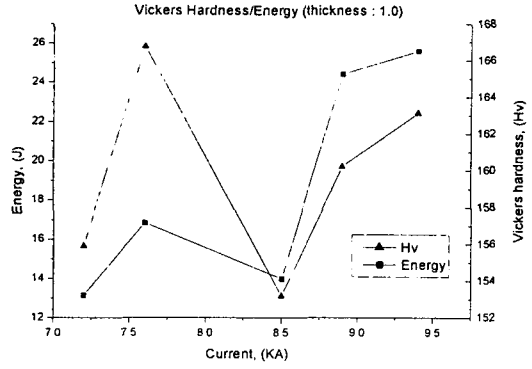


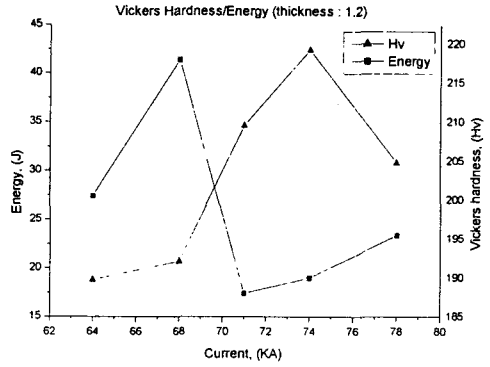
3-2. 전류와 강도





3-3 경도 및 변형에너지





강도와 전류 그래프에서 보는 바와 같이 최대하중과 전류와는 대체로 비례적인 관계에 있고 두 개의 두께에서 모두 변곡점이 존재한다는 것이 특이한 점이라 할 수 있으며, 그림에서 표시한 부분이 적절한 용접 전류로 볼 수 있다.

경도와 전류와의 관계도 전체적으로 비례적인 모습을 나타냈으며, Nugget의 크기와 최대하중과의 관계 역시 비례관계에 있음을 알 수 있었다. 너깃의 크기와 전류가 증가한다고 해서 변형에너지가 꼭 비례적으로 증가하는 것은 아니며, 이것은 경도가 증가하여 변형 에너지가 감소하는 것으로 생각된다.

FEM에 의한 너깃의 예측은 1.0t에서는 대체로 비슷한 값을 나타내었으나 1.2t에서는 약간에 오차가 발생하였다. 이것은 접촉면에서의 불확실한 저항 값, 상변화에 대한 해석의 난해함 등에 의해 발생한 것이라고 생각된다.

최적의 용접 조건은 강도가 가장 큰 것을 사용하는 것이 아닌 경도와 변형에너지와의 관계를 고려하여 변형에너지의 흡수율도 좋고, 경도도 그렇게 높지 않은 선에서 정해져야 한다고 생각된다. 이 값은 전류와 강도 그래프에서 표시된 부분과 일치한 것으로 이 실험에서는 1.0t에서는 실전류가 8.4KA인 점과, 1.2t에서 7.1KA인 점이라고 할 수 있고, 이 값은 처음에 기준으로 잡은 용접전류와 유사하며, 이 때 너깃의 직경은 한국 산업 규격 KS B0850에서 정한 너깃 크기 중 A급 이상의 크기를 나타낸다.

참고문헌

1) 이재갑, 강춘식, 자동차용 판재의 점 용접시 용접거동 simulation, 대한용접학회, 12권 제2호, p.290
2) Incorporation of Residual Stresses Caused by Welding into Fracture Assessment Procedures, 1999, pp.51-52
3) 국립 대전산업대학교 용접공학센터 교육교재, pp.7