

열가소성 수지 저항용접에서 발열체 간격의 최적화에 관한 연구

Study on Optimaization of Heating Element Gap in Resistance Welding using Thermoplastic resin

윤 호철*, 임 표**, 임 재규***

* 원광대학교 기계자동차공학부

** 썬테크(주) 부설연구소

*** 전북대학교 기계항공시스템공학부 자동차신기술연구소

ABSTRACT This research is concerned with a study of failure strength evaluation on heat element gap at resistance welding. The failure strength of resistance welded joint is changed by welding factor like as current(power level), welding time(total energy), pressure etc. and another heat element factor like as number of element line, element gap etc. Tensile-shear tests were carried out with the single-lap specimen using polypropylene(PP). The failure mechanism and optimization of gap was discussed in order to explain the tensile-shear strength evaluation on heat element gap at resistance welding. Orthogonal array was used by fractional factorial design for efficient experiments

1. 서 론

일반적으로 산업현장에서는 열경화성 수지를 사용하여 플라스틱 복합재료를 제조하는 경우가 많다. 열경화성 수지는 열가소성 수지에 비하여 강도가 크고 비교적 고열에서 견디며 특히 점성이 작으므로 보강재로 사용되는 유리섬유층이나 탄소섬유층 사이로 잘 스며들어 고강도의 복합재료를 제조하기 용이하기 때문이다. 그러나 열경화성 수지는 한번 경화가 일어나면 다시 녹여서 사용할 수가 없다. 이러한 단점은 환경문제 및 재활용측면에서 문제를 발생하게 된다. 따라서 최근 들어서는 점차 폐기되는 제품에서 재활용할 수 있는 재료의 양을 늘리기 위하여 열가소성 수지를 원료로 재료를 생산하고자 하는 연구가 많이 진행되고 있다[1]. 물론 강도가 낮은 열가소성 수지를 제품에 적용하기 위해서는 정교한 설계와 많은 연구가 필요하지만 열가소성 수지의 사용량은 현재보다 점차 많아질 것이다. 이러한 산업 분위기에서 용융접합법을 이용한 열가소성 수지의 접합이 새롭게 각광받고 있다[2]. 플라스틱에서 저항용접은 비록 그 특성상 열가소성 수지에서만 적용이 가능하지만 앞으로 열가소성 수지로 복합재료가 생산된다면 더 많은 곳에 저항용접을 적용할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 대표적인

열가소성 수지로 알려진 폴리프로필렌에 저항용접을 적용시켜 보았다. 그에 관하여 저항용접 조건을 평가하고 이에 대한 용접강도를 개선하기 위하여 발열체의 최적 배열을 탐색하고자 하였다. 이에 직교배열표를 이용한 부분요인배치법이 채택되었으며, 분산분석을 통하여 통계적 유의성을 검증하였다.

2. 실험방법

저항용접의 일반적인 시험장치는 발열체, 단열블럭, 조임기구 및 가압계, 전원장치, 타이머, 테스트기와 같은 몇 가지 구성으로 이루어져 있다.

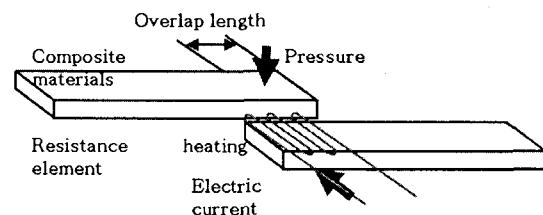


Fig. 1. Principle of resistance welding [3]

발열체인 열선은 지름은 1mm이고 저항은 0.07 Ω/10mm이다. 저항의 길이는 각각 200mm, 240mm 단위로 잘라 용융선을 형성하여 접합하였다. 저항용접부의 인장전단강도를 측정하기 위하여 하중속도는 1mm/min으로 유지하였다.

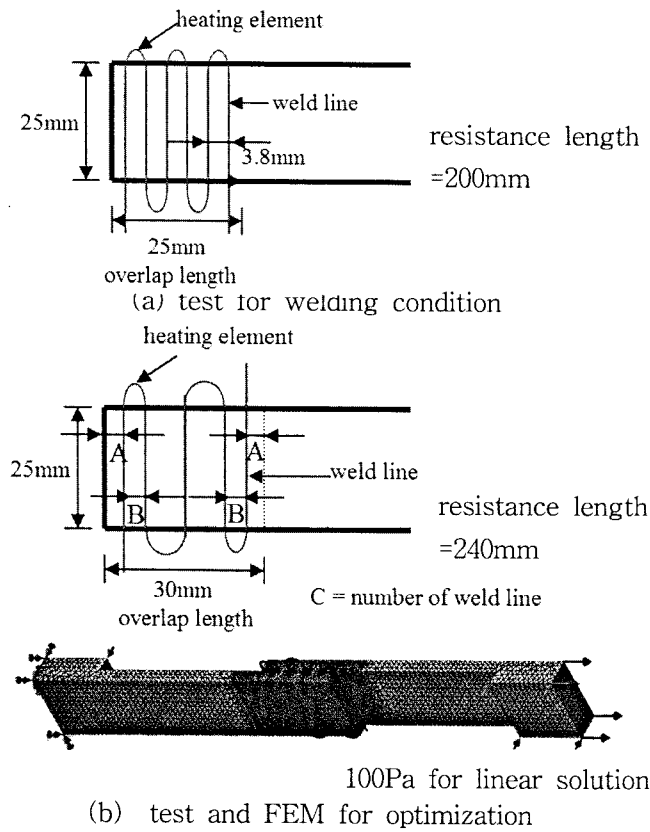


Fig. 2 Single lap resistance welding specimen

Table 1. Resistance welding conditions

Pressure	50000 Pa (5 N/cm ²)
current	6V, 8V, 10V, 12V, 20V
welding time	10, 20, 30, 40, 50, 60 seconds

발열체간격의 최적화를 위한 시험조건은 20초 동안 8V를 가하여 시험편을 제작하였다. 각 요인의 주효과관람을 파악하고 실험수의 과대한 증가를 막기 위하여 실험 설계시 직교배열표를 이용한 부분 요인배치법을 채택하여 실험을 수행하였다. 특성치는 접합강도에 영향을 주는 응력집중을 선택하였으며, 인자는 시편의 접착에 영향을 끼치는 발열체의 배열에 관한 요인들을 선택하였다. 3수준을 채택하여 총 9번의 실험이 실시되었다.

Table 2. Factors and levels

Fator & Sign	Level	1	2	3
outer gap (mm) (A)		1	3	5
inner gap (mm) (B)		1	2	3
number of weld line (C)		4	5	6

3. 실험결과 및 고찰

3.1 저항용접 조건의 변화

열가소성 수지인 폴리프로필렌에 10초동안 각각 6V, 8V, 10V, 12V, 20V 저항용접을 하였고 인장 전단강도를 평가하였다. 6V일때 열발산에 의해 용접이 불량해서 최대 파단강도가 매우 낮게 나타난 것을 알 수 있다. 반대로 20V일 때는 과도한 용융에 의해 모재의 두께가 얇아져서 강도가 낮게 나타난다.

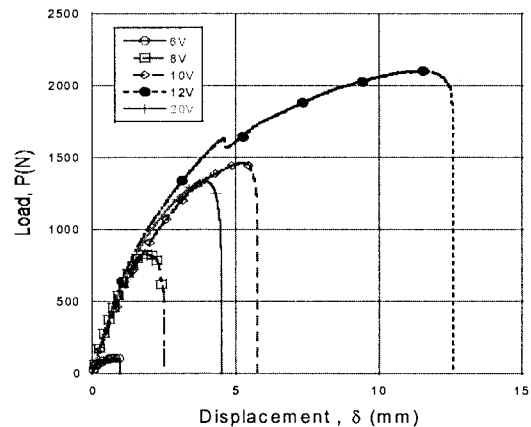


Fig. 3 The result of tensile-shear test using PP in 10 seconds welding time

각 용접조건들에서 전압/전류와 용접시간을 동시에 변화시켰을 때 저항용접한 각각의 인장전단강도를 평가하여 Fig. 4에 정리하였다. 결합부 가장 자리에 있는 용융선에서는 가장 큰 응력 집중을 받아서 모재에 균열을 일으키게 하는데 1600에서 2000N의 인장전단하중(Fig. 3의 12V조건에서 변곡점)이 필요하다. 따라서 1500N 보다 낮은 하중을 가지는 시험편은 용접조건이 불량하다고 판단할 수 있다.

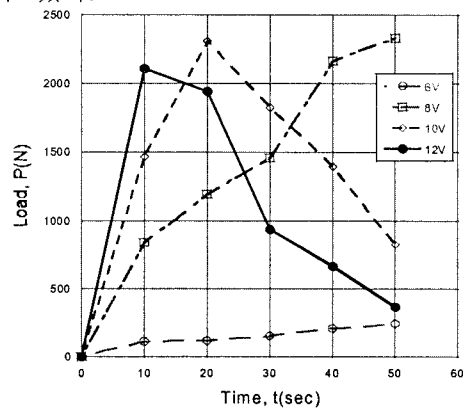


Fig. 4 The result of tensile-shear test for understanding welding quality

3.2 발열체 간격의 최적화

3수준계를 이용한 3인자 실험을 실시하기 위해서는 총 27번의 실험이 요구되지만 실험의 간편성을 위하여 L9의 직교배열표에 의한 부분요인 배치법에 의하여 총 9번의 실험이 이루어졌으며, Table 3은 유한요소해석을 통하여 얻어진 최대 응력집중 값을 보여주고 있다. 유한요소법(FEM)에서는 파단강도를 직접 구할 수 없지만 응력집중이 커질수록 실제 시험편에서는 파괴가 촉진된다는 반비례관계로 설명가능하다.

Table 3. Orthogonal array table by fractional factorial design

Experiments No	Factor			Stress intensity(Pa)
	A	B	C	
1	1	1	1	7894
2	1	2	2	8920
3	1	3	3	8429
4	2	1	2	6753
5	2	2	3	7626
6	2	3	1	7931
7	3	1	3	7179
8	3	2	1	7871
9	3	3	2	7761

응력 집중에 영향을 끼치는 요인을 분석하고자 Table 4와 같이 분산 분석(Analysis of Variance)를 실시하였다.

Table 4. Analysis of Variance

Factor	S	ϕ	V	F	P
A	640902	2	820451	9.42	0.096
B	1340880	2	670440	7.70	0.115
C	35788	2	17894	0.21	0.830
error	174168	2	87084		
Total	3191738	8			

총 용융선 개수(C)는 그리 유의하지 않았으므로 오차항으로 풀링(Pooling)을 하여 F-검정을 실시한 최종결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Analysis of Variance after pooling

Factor	S	ϕ	V	F	P
A	640902	2	820451	15.63	0.013
B	1340880	2	670440	12.77	0.018
error	209956	4	52489		
Total	3191738	8			

분산분석 결과를 살펴보면, 바깥쪽 용융선 간격(A)과 안쪽 용융선 간격(B)은 유의수준 95% 범

위내에서 유의하였으며, 이에 각 인자별 수준의 평균과 합을 구하여 각 수준별 주효과 그래프를 그려보면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

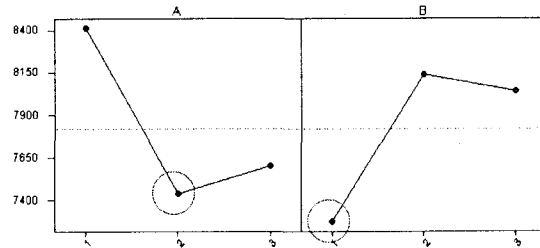


Fig. 5 Main effect of factors for stress intensity

응력집중 값이 낮을수록 좋기 때문에 A2B1인 조건, 즉 바깥쪽 용융선이 겹침부 가장자리에서 조금 떨어져 있고 용융선들 사이(inner gap)가 가장 가까운 조건이 최적 조건임을 알 수 있다. 반면에 겹침부 가운데 부근에 있는 용융선은 강도에 영향을 거의 미치지 않는다. 이러한 사실은 유한요소 해석 결과에서도 확인할 수 있었다.

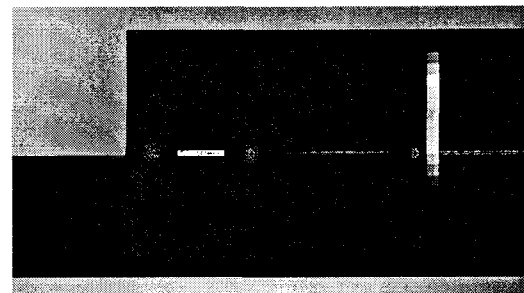


Fig. 6 Stress intensity in weld line (von Mises stress)

실제 인장전단 실험을 통하여 4번째 조건인 A2B1C2 조건에서 얻어진 파괴하중값은 1207.4N으로 높은 강도를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- Hou M, Ye L, Mai YW. : An experimental study of resistance welding of carbon fibre fabric reinforced polyetherimide (CF Fabric/PEI) composite material., Composite Materials Vol. 6 (1999), 3549.
- D. Stavrov, H. E. N. Bersee : Resistance welding of thermoplastic composites-an overview, Composites: Part A 36 (2005) 3954
- Hou M, Friedrich K. Resistance welding of continuous glass fibre reinforced polypropylene composites. Compos Manufact (1992) 3(2) 15363.