

研究論文

초음파 용접을 이용한 합성수지의 접합

이 철 구* · 정 규 창**

Joining of Polymer Materials with Ultrasonic Welding

C. K. Lee* and G. C. Jung**

Key Words : Thermoplastic(열가소성 수지), Glue Gun(글루건), Hot Melt(핫 멜트), Adhesive(접착), Weld Time(초음파 인가 시간), Hold Time(정지 시간), Trigger Force(트리거력), Energy Director(에너지 디렉터), Weld Pressure(용접 압력), Tensile strength(인장 강도)

Abstract

This study was performed to find the best bonding conditions by comparing mechanical properties in thermoplastic resin of polyethylene (PE) and polyamide(PA) adhesion. Following results were obtained from the tests with varying welding time and welding pressure. Satisfactory adhesion was executed in ultrasonic welding for the same materials of PE and PA. The best welding conditions were found to be weldiing time of 1 second, welding pressure of 250kPa for PE-PE welding, 2 second and 350kPa for PA-PA welding. Welding time and welding pressure tend to increase with the increase of materials strength. Dissimilar materials were adhered when adhesion and ultrasonic welding were performed simultaneously. The observation of the structure of ultrasonic welding area with microscope showed differentiated structures between well adhered region and badly adhered region.

※ 1997년 9월 4일 접수

* 정회원, 서울산업대학교, 기계공학과

** 정회원, 경기기계공업고등학교(서울산업대학교 산업대학원)

† 이 연구는 서울산업대학교 교내 학술 연구비에 의하여 연구 되었음

1. 서 론

장난감, 필름, 생활 용품 등에 이용되던 플라스틱(plastic)이 이제는 내식성, 고강도 등을 요구하는 항공, 자동차, 중화학 공업, 조선 등 첨단 부품 산업에도 그 활용도가 증가 되어가는 추세이다. 특히 열가소성 수지(thermoplastic)는 저렴한 가격에 대량 생산이 용이하고 작업성, 성형성이 우수할 뿐 만 아니라 초음파 진동을 이용한 플라스틱 용접기의 개발로 접합에 의한 응용 산업으로도 그 부가 가치를 인정 받게 되었다.

초음파 용접(ultrasonic welding)은 1958년 미국의 J. B. Jones에 의해 개발 되었으며, 플라스틱 자체의 초음파 진동에 의한 발열·연화·용융 현상에 따라 2개의 플라스틱 접합면이 밀착하여 그곳에 확산 작용이 일어나 용착이 이루어지는 것으로 열가소성 수지의 접합에 있어서는 가장 신뢰할 수 있는 접합 방법의 한 가지이다.¹⁾

초음파 발열 현상은 직접 용접이나 연속 용접과 같이 압축 진동에 의한 것과 전달 용접과 같이 접합면 표면에서의 충돌에 의한 마찰 발열 효과에 의한 것이 있다. 대부분의 열가소성 수지에서 직접 용접이나 연속 용접이 전달 용접보다 용접성이 더 우수하다.²⁾

초음파 에너지의 흡수는 플라스틱의 재질에 따라서 달라지게 되므로 전체적인 발열이 아니라 국부적인 가열 및 발열을 하므로써 가능하게 되는데, 경질의 플라스틱 사이에 흡수 발열이 쉬운 연질의 플라스틱이나 접착제 등을 끼워 초음파 진동을 가하면 경질의 플라스틱을 높은 온도를 가하지 않고도 접착할 수 있다. 이러한 특징을 이용할 경우 이종 재료의 용착에 도움이 될 뿐만 아니라 접합이 불가능하였던 열경화성 수지에서도 접착제를 병행할 경우 접합이 가능해진다.³⁾

본 실험에서는 열가소성 수지인 폴리에틸렌(polyethylene, PE)과 폴리아미드(polyamide, PA)를 글루건(glue gun)을 이용하여 핫멜트(hot-melt) 접착한 경우와, 핫멜트 접착 후 초음파 용접을 병행한 경우, 초음파 용접만 한 경우 등으로 구분하여 접합 강도를 측정 하였으며, 접합 조직을 비교 하였다. 실험을 통하여 초음파 용접시 PE와 PA의 최적 접합 조건을 알아보고, 초음파 접합이 잘 되

지 않는 이종재(PE-PA) 간의 접합 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험은 초음파 용접과 접합, 그리고 초음파 용접에서의 각 조건별 접합 상태 등을 검토 분석하기 위한 실험으로, 초음파 용접기와 글루건을 이용하여 용접과 접착을 하였다.

접합 강도의 측정을 위하여 영국의 인스트루사가 제작한 만능 재료 시험기를 사용하였으며, 접합 상태 및 조직의 관찰에는 금속 현미경을 사용하였다.

Table 1은 실험 장치와 사용 기기에 대한 사양이다.

Table 1. Instrument and Specification

Instrument	Specification
ultrasonic welding machine	KDW-2400PW, KOREA 560×410×510 (mm)
electronic hot melt glue gun	GR60, AC80~240V, 60Hz 40W
universal testing machine	8502 (INSTRON, ENGLAND) maximum capacity · +/- 30 ton (static) · +/- 25 ton (dynamic)
metallographical microscope	Union Versamet 3 (JAPAN) image analyzer
equipment of data analyzer	EXCEL

2.2 실험 방법

2.2.1 용접 소재 및 접착제의 선정

본 실험에 사용된 소재는 폴리에틸렌(PE)과 폴리아미드(PA)이며 접착제로는 핫멜트를 사용하였고, 핫멜트를 녹이는데 글루건을 사용 하였다. 용접 소재와 접착제의 기계적 성질은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 2. Mechanical Properties of Studied Materials

Materials	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Density (kg/m^3)	Modulus	Compressive Strength (MPa)	Forming Temperature (K)
P. E.	23.7	67	949	71.5	20.8	369
P. A.	64.2	256	1130	188	66.3	496
Hot melt	4.7	286	235	32.2	4.5	207

2.2.2 시편 제작

용접용 시편과 접착용 시편, 그리고 접착과 초음파 용접을 병행한 경우 모두 초음파의 전달 거리를 고려하여 Fig. 1과 같이 제작하였고, 접합이 가장 용이하게 되도록 하기 위하여 시편의 한쪽면에 에너지 디렉터 (energy director)를 삼각형으로 가공하였다.

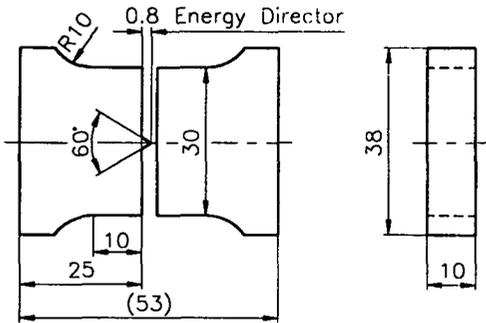


Fig. 1 The Shape of Test Piece

2.2.3 용접 조건 설정 및 초음파 용접

초음파 용접의 가장 중요한 변수인 초음파 인가 시간은 1sec, 2sec, 3sec로 하였으며, 용접 압력은 150kPa, 250kPa, 350kPa로 하여, PE-PE, PA-PA, PE-PA의 순으로 용접 하였으며, 또한 동일 조건에서 핫멜트로 접착한 후 PE-PE, PA-PA, PE-PA의 순으로 용접을 실시 하였다.

모든 조건에서 정지 시간 (hold time)은 3sec, 진폭은 35 μ m, 혼의 하강 속도는 20cm/sec, 트리거 힘 (trigger force)은 110N으로 하였으며, 이는 지금까지 연구된 연구자⁴⁻⁶들의 최적 용접 조건을 그대로 적용한 것이다. Table 3에 용접 조건을 나타내었다.

Table 3. Welding Condition

Materials	Welding Condition								Hold Time (sec)	Amplitude of Vibration (μ m)	Down Velocity (cm/sec.)	Trigger Force (N)
	Weld Time(sec.)/Weld Pressure (kPa)											
PE-PE	1/	1/	2/	2/	2/	3/	3/	3/	3	35	20	110
PA-PA	150	250	350	150	250	350	150	250				
PE-PA	150	250	350	150	250	350	150	250				

2.2.4 접착

글루건을 이용하여 핫멜트로 접착한 후 150kPa의 압력으로 30초간 고정시킨 후 상온에서 15일간 경화 하였다.

2.2.5 접합부 조직

접합부의 조직을 관찰하기 위하여 각 요소별로 최적 조건과 부적합 조건에서 용접된 시편을 추출하여 관찰 하였다. Table 4에 조직 관찰한 시편의 용접 조건을 나타내었다.

Table 4. Weld Condition of Micrographic Test Piece (weld time (sec.)/weld pressure (kPa))

Materials	Adhesive Methode	Maximum Condition	Minimum Condition
PE-PE	U. W.	1.0 / 250	1.0 / 150
1.0 / 350	PA-PA	"	2.0 / 350
3.0 / 150	PE-PE	Adhesives + U. W.	1.0 / 250
1.0 / 150	PA-PA	"	2.0 / 350
2.0 / 150	2.0 / 250	PE-PA	"

2.2.6 인장시험

(1) 용접용 소재의 인장시험

용접용 소재인 PE와 PA의 시험편을 만능재료 시험기에서 인장 시험을 실시 하였다. 인장시험 데이터는 INSTRON사의 자체 개발 소프트웨어인 FLAPS TLUS에서 IGF File로 저장하였고, EXCEL로 변환하여 데이터 처리를 하였다. 인장 시험 데이터 전송 속도는 10Hz이며, 인장 속도는 0.05 mm/sec.로 설정하였다.

(2) 용접 시편의 인장 시험

초음파 용접한 PE-PE, PA-PA와 핫멜트 접착후 초음파 용접한 PE-PE, PA-PA, PE-PA의 시험편을 만능 재료 시험기를 이용하여 인장 시험을 실시하였다.

(3) 접착된 시편의 인장 시험

핫멜트로 접착된 PE-PE, PA-PA, PE-PA의 시험편을 만능 재료 시험기에서 인장 시험을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접 조건과 접합 강도와와의 관계

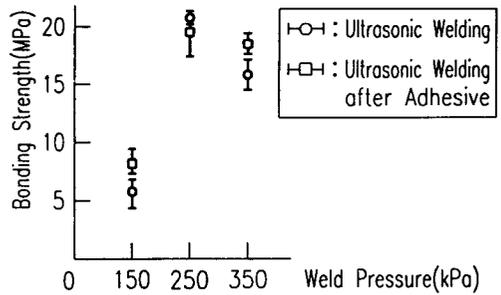
3.1.1 PE-PE 접합

Fig. 2(a)에서와 같이 초음파 인가 시간을 1sec로 하였을 때, 초음파 용접과 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 경우 모두 접합 압력이 150kPa에서는 접합 강도가 아주 낮게 나타났으나, 접합 압력이 250kPa에서는 양호한 접합이 이루어져 접합 강도가 증가하였으며, 접합 압력이 350kPa이 되면서 접합 강도가 저하되는 현상을 보였다. 이러한 현상은 Fig. 2(b)에서와 같이 초음파 인가 시간을 2sec로 한 경우도 대체로 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 Fig. 2(c)와 같이 초음파 인가 시간을 3sec로 하였을 경우, 초음파 용접과 접착을 병행한 경우에는 접합 강도가 약간 증가하나, 초음파 용접만 실시한 경우는 접합 압력 250kPa에서 접합 강도가 저하되는 현상을 보였다. 무른 PE-PE 재질의 경우 초음파 인가 시간 1sec 부근에서 충분한 유동이 이루어지며 초음파 인가 시간이 길어지면 접합 압력에 따라 접합 강도가 불규칙한 형태로 변화하는 것을 볼 수 있다.

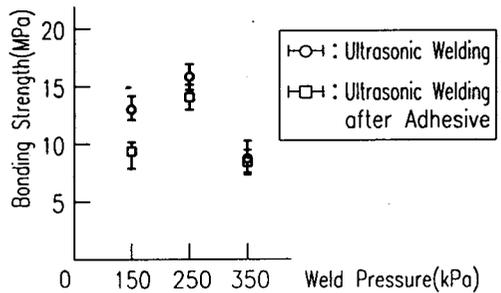
PE-PE 접합의 경우 초음파 용접과 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 경우의 접합 강도는 대체로 비슷하게 나타나고 있는데, 이는 핫멜트로 접착한 후 초음파 용접한 조직과 초음파 용접만 실시한 조직의 유동과 분자간의 결합이 비슷하게 이루어졌음을 보여준다.

이와 같이 실험을 통하여 PE-PE 재료에서의 양호한 용접 조건은 초음파 인가 시간 1sec, 접합 압력 250kPa 부근임을 알 수 있다.

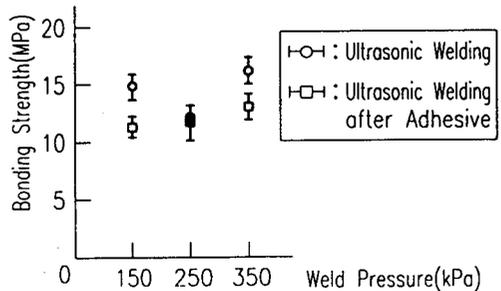
또한, 같은 초음파 인가 시간에서도 접합 압력이



(a) weld time : 1 sec.



(b) weld time : 2 sec.



(c) weld time : 3 sec.

Fig. 2 Relation between Welding Condition and Bonding Strength (PE-PE)

변하면 접합 강도가 다양하게 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 초음파 인가 시간과 접합 압력이 접합의 강도에 큰 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다.

3.1.2 PA-PA 접합

Fig. 3(a)에서와 같이 초음파 인가 시간을 1sec로 하였을 때, 초음파 용접과 핫멜트 접착 후 초음

과 용접한 경우는 모두 접합 압력에 큰 영향을 받지 않았으며, 접합 강도도 비교적 낮게 나타났다.

Fig. 3(b)의 경우와 같이 초음파 인가 시간을 2sec로 하면 접합 압력이 증가함에 따라서 접합 강도도 현저하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 PA-PA 조직의 경우 PE 조직 보다도 용융

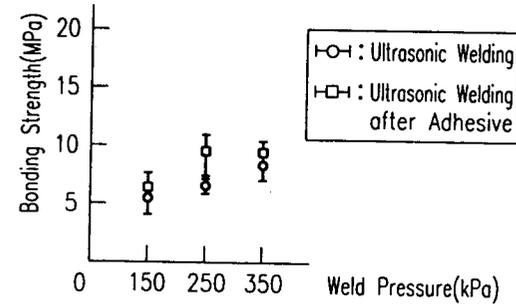
온도가 높기 때문에 초음파 인가 시간이 더 길어야 조직의 유동이 충분하게 이루어지고, 접합 압력이 증가하여야 접합 강도도 증가하는 것으로 보인다.

그러나 Fig. 3(c)와 같이 초음파 인가 시간을 3sec로 하면 PE-PE의 경우와 같이 대체로 접합 강도가 낮게 나타나고 있다.

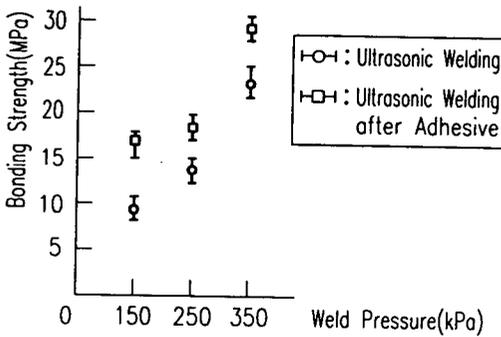
PA-PA 접합에서 초음파 용접만 실시한 경우보다 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 경우의 접합 강도가 약간 더 높게 나타나고 있는데, 이는 핫멜트 접착 후 초음파 용접을 한 경우가 조직의 유동과 분자간의 결합이 더 양호하게 이루어졌음을 보여준다.

PA-PA 접합에서는 초음파 인가 시간 2sec, 접합 압력 350kPa에서 접합 강도가 최대로 나타났다.

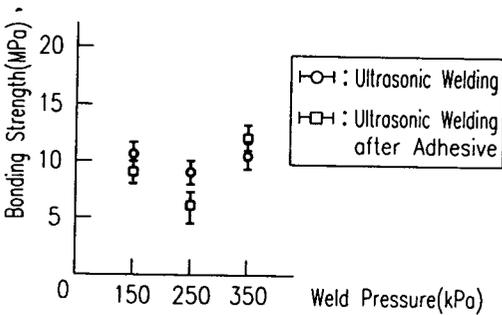
한편, 같은 초음파 인가 시간이라도 접합 압력이 낮은 경우(150kPa 이하)에서는 접합 강도가 낮



(a) weld time : 1 sec.

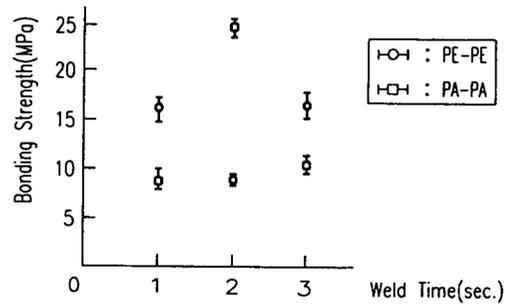


(b) weld time : 2 sec.

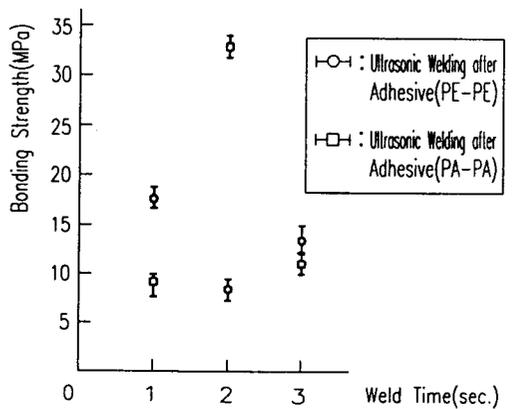


(c) weld time : 3 sec.

Fig. 3 Relation of Welding Condition and Bonding Strength (PA-PA)



(a) Ultrasonic Welding



(b) Ultrasonic Welding after Hot Melt Adhesive

Fig. 4 Effect of Welding Time on Strength (Weld Pressure : 350kPa)

으며 또한, 초음파 인가 시간과 접합 압력 모두 접합의 강도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 PE-PE에서의 경우 및 접착과 초음파 용접을 병행한 경우에도 비슷한 경향을 나타내고 있다.

한편, 접합 압력을 350kPa로 하였을 경우 초음파 인가 시간에 따른 접합 강도를 보면, Fig. 4(a)와 같이 초음파 인가 시간 2sec에서 PE-PE의 초음파 용접이 접합 강도가 가장 낮게 나타났으며, PA-PA간의 초음파 용접에서는 최대가 됨을 보여주고 있다. 그러나 초음파 인가 시간이 1sec와 3sec인 경우에는 PE-PE간의 접합 강도가 PA-PA의 접합 강도보다 더 양호하게 나타나고 있다. 이러한 현상은 초음파 용접만 한 경우의 Fig. 4(a)와, 핫멜트 접착후 초음파 용접을 한 경우인 Fig. 4(b) 모두 동일한 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 접합 압력이 일정하더라도 용접 재료에 따라서 최적 접합 시간이 다르게 나타남을 알 수 있다.

접합 압력을 250kPa로 한 경우에는 Fig. 5(a)와 같이 초음파 인가 시간이 증가할수록 PE-PE 접합 강도가 저하되며, PA-PA의 접합 강도는 2초를 기점으로 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 현상은 Fig. 5(b)와 같이 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 경우에도 유사한 경향을 나타낸다.

접합 압력을 150kPa로 하고 초음파 용접만 한 경우는 Fig. 6(a)와 같이 PE-PE와 PA-PA 모두 초음파 인가 시간이 길어질수록 접합 강도도 증가하였으나, 핫멜트 접착과 초음파 용접을 병행한 경우에는 Fig. 6(b)와 같이 초음파 인가 시간이 길어질수록 PE-PE의 접합 강도는 약간씩 증가하고, PA-PA의 접합 강도는 2초를 기점으로 증가하다가 감소하는 현상을 보이고 있다.

이와 같이 초음파 인가 시간 2sec 부근에서 비중이 크고 단단한 PA-PA의 접합에서는 높은 접합 압력이 되어야 양호한 접합이 이루어지고 있으나, 비중이 작고 무른 재질인 PE-PE의 경우는 반대 현상을 보이는데 이것은 강도가 크면 녹는데도 시간

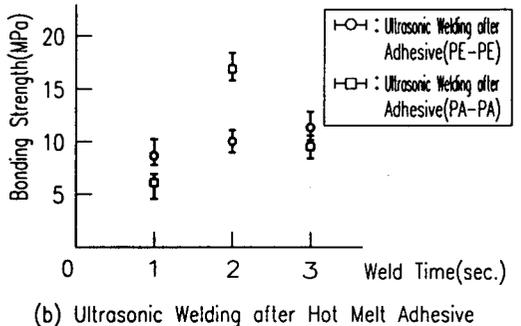
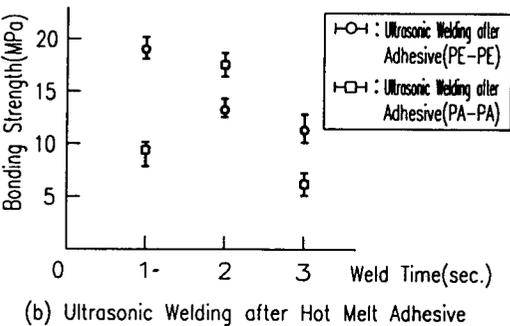
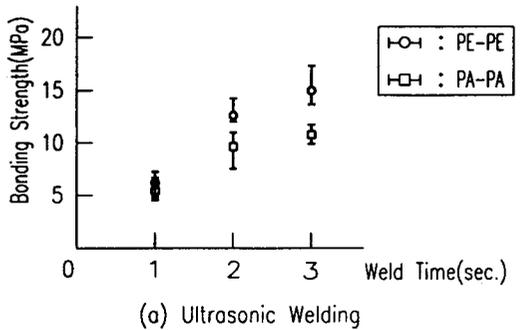
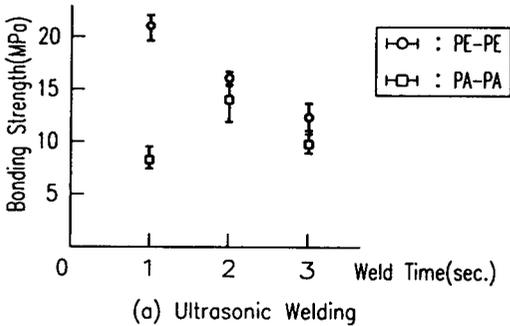


Fig. 5 Effect of Welding Time on Stren-gth (Weld Pressure : 250kPa)

Fig. 6 Effect of Welding Time on Stren-gth (Weld Pressure : 150kPa)

이 많이 소요되고 압력도 더 커짐을 나타낸다.

PA와 PE의 용접후 인장 시험한 접합 강도는 32.5MPa과 21MPa로 소재의 64MPa과 24MPa에 비하여 51%와 87.5%로 나타났다.

3.1.3 PE-PA 접합

이종 재질인 PE-PA간의 접합은 초음파 용접에서는 모든 조건에서 접합이 이루어지지 않았는데, 이는 두 재료간의 분자간 유동 속도가 틀리고 유동되는 조건도 서로 틀리기 때문이다.

한편, 핫멜트 접착을 병행하여 초음파 용접을 실시한 결과 핫멜트의 유동이 양호하여 접합이 잘 이루어졌다. 그러나, Fig. 7과 같이 접합 강도는 아주 낮게 나타났다.

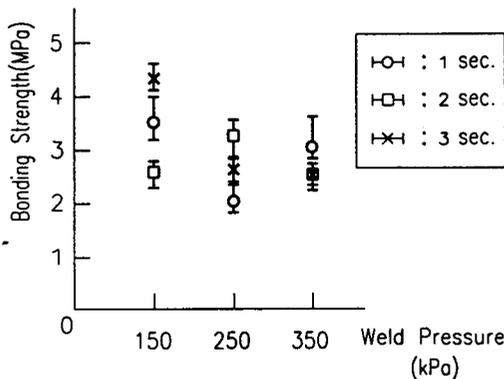


Fig. 7 Adhesive Strength of Dissimilar Materials which is Ultrasonic Welded after Adhesion (PE-PA)

3.1.4 핫멜트 접착

접착과 초음파 용접에서의 인장 시험한 결과를 Fig. 8에 나타내었는데, 접착만 한 경우는 PE-PE, PA-PA, PE-PA 모두 접합 강도가 아주 낮게 나타남을 보여주고 있다.

이종 재료의 경우에는 Fig. 8과 같이 핫멜트 접착만 실시한 경우(1.6MPa)보다는, Fig. 7과 같이 접착후 초음파 인가 시간 3sec, 용접 압력 150kPa로 초음파 용접을 병행한 경우(4.3MPa)의 접합 강도가 약 2.7배로 나타났다. 이는 초음파 용접이 잘 안되는 재질의 경우에도 접착만 하는 것 보다는 접착후 초음파 용접을 병행하는 것이 더 양호한 접합이 됨을 나타낸다. 그러나 이 방법은 특별히 강

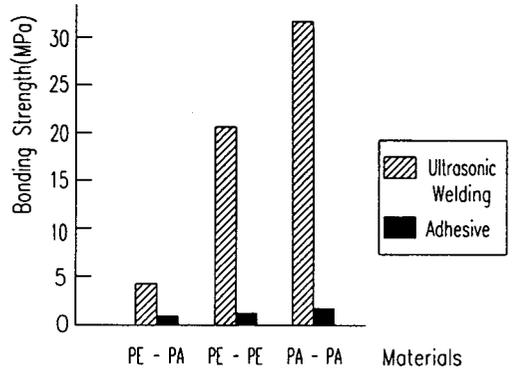


Fig. 8 Bonding Strength of Adhesive and Ultrasonic Welding

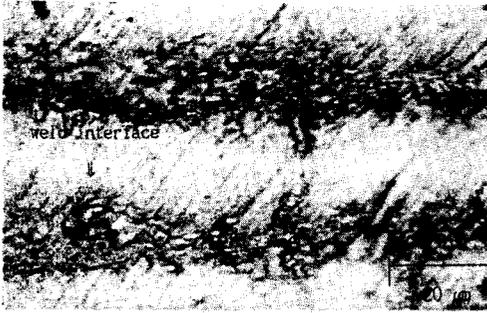
도를 요하지 않으면서도 꼭 접합이 필요한 이종재간의 접합에 이용될 수 있다.

3.2 조직 관찰

Photo. 1은 초음파 인가 시간 1sec, 진폭을 35 μ m로 고정된 상태에서, 용접 압력을 150kPa, 250kPa로 하여 용접된 PE-PE의 조직을 나타낸 것이다. Photo. 1(a)와 같이 접합 압력이 150kPa에서는 유동된 부분이 잘 접합되지 않아 약간의 공극이 생기고 경계층이 뚜렷이 구분되는 등 접합 상태가 불량하게 나타났다. 여기서 공극이 생긴 부분은 접합 압력이 너무 낮다는 것을 보여주고 있는 부분이다. Photo. 1(b)와 같이 접합 압력이 250kPa에서는 경계층이 매우 얇고 유동도 아주 좋아 접합이 잘 이루어졌음을 볼 수 있다. 이와 같이 양호한 접합 조직은 인장 강도와 용접성도 비교적 우수하리라 예측 된다.

Photo. 2는 핫멜트 접착 후 초음파 인가 시간을 2sec, 진폭을 35 μ m로 고정된 상태에서, 용접 압력을 350kPa, 250kPa로 하여 용접된 PA-PA의 접합 조직을 나타내었다. Photo. 2(a)와 같이 접합 압력 350kPa에서는 핫멜트와 PA간의 유동 상태가 좋아 접합이 잘 이루어졌음을 볼 수 있다. 그러나 Photo. 2(b)와 같이 용접 압력이 250kPa에서는 용접 조건이 불량하기 때문에 경계층이 뚜렷이 구분되고 유동이 불량한 부분이 나타나는 등, 접합 상태가 불량 하였다.

Photo. 3은 서로 다른 조직(PE-PA)을 가진 재질을 접합한 상태인데 두 조직간에 경계가 뚜렷이 생



(a) Weld Time : 1 sec, Weld Pressure : 150 kPa



(b) Weld Time : 1 sec, Weld Pressure : 250 kPa

Photo. 1 Micrographs of Weld Interface (PE-PE)



(a) Weld Time : 2 sec, Weld Pressure : 350 kPa



(b) Weld Time : 2 sec, Weld Pressure : 250 kPa

Photo. 2 Micrographs of Weld Interface (PA-PA)

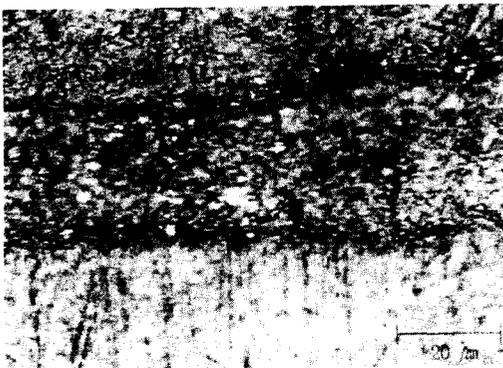


Photo. 3 Micrographs of Weld Interface (PE-PA) : Weld Time 3 sec, Weld Pressure 150 kPa

기며, 유동 상태가 좋지 않음을 볼 수 있다. 이와 같이 현미경에 의한 조직 관찰을 통하여 접

합부의 접합 상태를 볼 수 있는데, 그 결과는 앞에서 설명한 인장 시험의 결과와도 대부분 일치하고 있으며, 조직 관찰을 통하여서도 접합의 양, 부를 올바르게 판단할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 열가소성 수지인 PE와 PA를 접합하는데 있어서 글루건을 이용한 핫멜트 접착과, 접착 후 초음파 용접을 병행한 경우, 초음파 용접만 실시한 경우 등으로 구분하여 접합 강도와 접합 조직을 비교함으로써 최적의 접합 조건을 찾기 위한 실험으로, 초음파 인가 시간(1~3 sec.)과 용접 압력(150~350kPa)을 변화시켜 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열가소성 수지인 PE와 PA는 같은 재질끼리의 초음파 용접에서 양호한 접합성을 보였고, 초음파

인가 시간과 용접 압력이 중요한 접합 변수였다.

2. 초음파 용접과 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 조건에서 PE-PE는 초음파 인가 시간 1sec 부근, 용접 압력 250kPa에서, PA-PA는 초음파 인가 시간 2sec, 용접 압력 350kPa 부근에서 양호한 접합이 이루어졌다.

3. 열가소성 수지 접합에서 재질의 강도가 큰 PA는 PE보다 긴 초음파 인가 시간과 높은 용접 압력에서 양호한 접합이 이루어졌다.

4. 이종 재질인 PA-PE의 접합에서 초음파 용접은 불가능 하였으나, 접착제인 핫멜트 접착과 병행하여 초음파 용접을 하면 접합이 가능하였고 초음파 인가 시간 3sec, 용접 압력 150kPa 부근에서 비교적 양호한 접합이 이루어졌다.

이러한 결과로부터 열가소성 수지의 접합에서 초음파 용접은 접착과 병행할 경우 접합이 불가능 하였던 이종재간의 접합까지도 가능하며, 앞으로 이 부분에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이철구 : 이종 플라스틱의 초음파 용접성에 관한 연구, 대한용접학회지, 제9권, 제1호, (1991), pp 49
 2. 谷村伸一 : 高精度銲接用超音波プラスチックウェルグー , 特輯 生産効率ワップあるか IPF 94で注目された最新技術, 第11卷, 第3號, (1994), pp 55~58
 3. 손병준 : 초음파 응용 예(II), 電子科學 誌, (1989), pp 55~59
 4. A. Benatar : Weldability of Thermoplastics, Proceeding of E. W. I., Edison Welding Institute, Columbus, OH, (1987), pp 113
 5. 産業研究院 : 超音波 溶着 : 最近의 플라스틱 接合技術, 플라스틱 成形技術, (1985), pp 11
 6. A. Benatar : Ultrasonic Welding of Advanced Thermoplastics, Ph. D. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA., (1987), pp 81~165
1. 이철구 : 이종 플라스틱의 초음파 용접성에