

초음파 용접을 이용한 폴리에틸렌 수지의 접합

이철구*

Joining of Polyethylene Polymer by the Ultrasonic Welding

Lee, Chul Ku*

Abstract

This study was to find the best adhesive condition comparing mechanical property in case of hot-melt adhesion using glue-gun, ultrasonic welding with adhesion and only ultrasonic welding in order to adhere thermoplastic resin of polyethylene(PE) in which reliable adhesion was resulted in case of ultrasonic welding with same materials of PE.

The best welding conditions were acquired at welding time 1 second, welding pressure 250kPa for PE-PE where welding time and welding pressure were increased in accordance with the increase of material strength.

At the best ultrasonic welding conditions, bonding strength of PE-PE welding was about 21MPa of which material have tensile strength of 24MPa.

Through the analysis of microscopic test for ultrasonic welding structure, it was distinguished between well welded structure with higher intermolecule flow and bad welded structure with lower flow, of which result is mostly correspond with the result of tensile strength test.

Keywords : Adhesive(접착) Hot Melt(핫멜트) Energy Director(에너지디렉터)
Horn(혼) Thermoplastics(열가소성수지)

1. 서 론

초음파 용접은 플라스틱 자체의 초음파 진동에 의한 발열·연화·용융 현상에 따라 2개의 플라스틱 접합면이 밀

착하여 그곳에 확산 작용이 일어나 용착이 이루어지는 것으로 열가소성 수지의 접합에 있어서는 가장 신뢰할 수 있는 접합 방법의 한 가지이다.

초음파 발열 현상은 직접 용접이나 연속 용접과 같이

* 서울산업대학교, 기계공학과, 교수

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.^[1]

초음파 에너지의 흡수는 플라스틱의 재질에 따라서 달라지게 되므로 전체적인 발열이 아니라 국부적인 가열 및 발열을 하므로서 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.^[2] 이러한 특징을 이용할 경우 이종 재료의 용착에 도움이 될 뿐만 아니라 접합이 불가능하였던 열경화성 수지에서도 접착제를 병행할 경우 접합이 가능해진다.

본 실험에서는 열가소성 수지인 폴리에틸렌(Polyethylene, PE)을 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 PE의 최적 접합 조건을 제시 하고자 한다.

2. 초음파 용접

2.1 초음파 용접의 특징

초음파 용접(Ultrasonic welding)은 소진폭(2.5~250 μ m), 고주파(20~40kHz) 진동에 의한 발열·연화·용융 현상에 따라 2개의 접합면이 밀착하게 되고, 그곳에 확산 작용이 일어나 분자간 용접이 이루어지는데, 플라스틱(Plastic) 계통의 열가소성 수지를 접합하는 접합 방법으로 최근에 많이 이용되고 있다.^[3]

• 내부 가열

플라스틱의 초음파 발열은 그 내부의 고분자 진동에 따른 자기 발열이므로 고주파 용접이 염화비닐과 같은 유전체 손실이 큰 일부 재료에만 국한되는 것에 비해, 초음파 용접은 모든 열가소성 플라스틱에 적용이 가능하다. 또한, 용접부위만을 국부적으로 가열하므로 가열 시간이 짧고 냉각 시간이 짧은 것이 특징이다.^[4]

• 이물질의 제거

플라스틱의 표면에는 대개 먼지, 분체, 유체, 도막, 증착막, 인쇄잉크 등이 존재한다. 용접면에 있는 이러한 오염 물질은 강력한 초음파 진동에 의해 제거되므로 접착부

위의 오염에 강한 특징이 있다. 다른 용접 및 접착법에서는 접합면을 청결히 유지해야 하는데 비해 많은 시간의 절약과 노동력의 절감을 가져온다.

• 이종 재질의 접착

Polyamide(PA)와 Polyethylene(PE), 염화 비닐과 아크릴(Acrylics), ABS와 아크릴 등의 서로 다른 종류의 플라스틱끼리도 용접이 가능하다. 그러나 이종재 용접의 경우에는 같은 재질끼리의 접착강도에는 영향을 미치지 않으나, 접착강도를 특별히 요구하지 않을 경우 널리 사용된다.

초음파 에너지의 흡수는 플라스틱의 재질에 따라서 달라지게 되므로 전체적인 발열이 아니라 국부적인 가열 및 발열을 하므로서 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 용접에 도움이 될 뿐만 아니라 접합이 불가능하였던 열경화성 수지에서도 접착제를 병행할 경우 접합이 가능해진다.^[2]

• 직접용접

직접용접은 여러 측면에서 이용이 가능한 방법으로 이는 공구흔의 선단이 직접 플라스틱을 발열·용융케 한 다음 진동을 멈추고 계속 가압하면 공구흔 선단의 형태에 따라 성형이 되므로 이용도가 매우 넓은 특징이 있다.

이 방법은 같은 재질끼리의 플라스틱 접합 뿐만 아니라 용접이 불가능한 이종 재질의 플라스틱 및 금속과 플라스틱의 접합에도 이용된다.

2.2 에너지 디렉터

초음파 용접은 분자간의 접합이 이루어지는 것이므로 표면 형상을 인공적으로 가공하는데 이를 에너지 디렉터

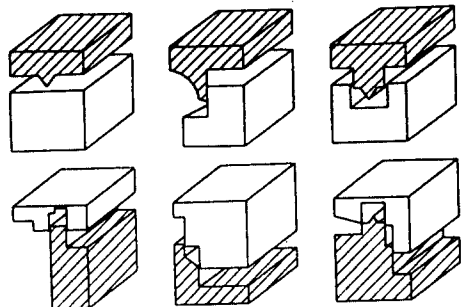


Fig. 2-1 The types of energy director

(Energy director) 또는 에너지 컨센트레이터(Energy concentrator)라 한다. 이 에너지 디렉터는 일반적으로 삼각형이나 사각형으로 만드는데 그림 2-1에서 보는 것처럼 용접물의 형상이나 구조에 따라 여러 가지로 할 수 있다. ⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾

2.3 초음파 용접의 영향인자

플라스틱의 용접에서 요구되는 일반적인 사항은 생산성, 용접강도, 마무리, 외관 등인데, 이러한 내용에 영향을 미치는 요인은 크게 초음파 용접기축 요인과 플라스틱 축의 두 가지로 나눌 수 있다. ⁽⁸⁾

초음파 용접의 용접기축 조건은 혼(Horn) 선단의 진동 진폭 A , 가압력 F , 접합시간 T_w 와 용접부가 굳을 때까지 가압한대로 유지시켜 주는 시간 Th 에 의해서 결정된다.

한편, 플라스틱이 녹는량을 E 라고 하면,

$$E = A \times F \times T_w$$

가 된다. 그러나 이러한 요인에는 각각 최적치가 있어 지나치게 커지면 혼이 닿는 부분에 상차가 생기고 조직이 갈라지는 등의 원인이 되고, 지나치게 작아지면 용출이 되고 불량하게 되어 강도가 약하게 된다. 특히 Th 는 접합부가 경화되어 떨어지지 않는 경우에는 최단시간일수록 좋는데 3초 이내에서 사용한다. 대부분의 경우 A 는 15~50 μ m(피크값), F 는 그림 2-2의 에지(edge)에서 단위 길이당 150~300kPa, T_w 는 1초 이하가 대부분이고 길어도 2초 이하이다. ⁽⁹⁾

플라스틱축의 요인으로는 용접부를 선택적으로 용융시키기 위하여 초음파에너지를 어떻게 집중시킬 것인가가 가장 중요한 문제이다. 성형품의 용접이라면 용접부에 $H=0.3\sim0.5mm$ 의 에지를 설치하여 그 곳에 초음파 에너지를 집중시키는 것이 가장 효과적인 방법이다.

플라스틱의 재료에 따라서 초음파 진동의 전달특성이 달라지므로 진동인가점 가까운 곳에서는 용접이 잘 이루어지지만 먼 곳에서는 용접이 불가능하거나, 가까운 곳에서의 용접이 나쁜 경우, 관계가 없는 경우 등의 여러 종류가 있다.

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.

진동인가점에서 용접부까지의 거리가 6mm이내를 근거

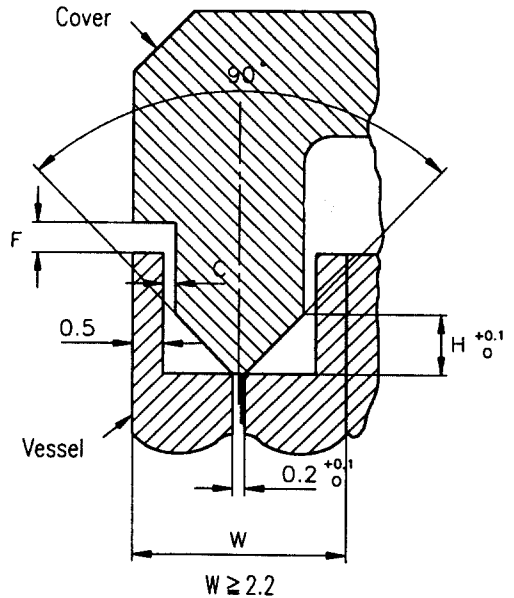


Fig. 2-2 The shape of ultrasonic weld zone (Edge type)

리(Near field)용접 또는 직접용접이라 하고, 그 이상의 거리를 원거리(Far field)용접 또는 전달용접이라고 부른다. ⁽¹⁰⁾⁻⁽¹¹⁾

대부분의 열가소성 수지에서 직접 용접이나 연속 용접이 전달 용접보다 용접성이 더 우수하다. 표 2-1에 대표적인 열가소성 수지의 초음파 용접성을 나타내었다. ⁽¹²⁾

Table 2-1 Ultrasonic welding characteristics of thermoplastics

Materials	Near Field	Far Field	Swaging and Staking	Inserting	Spot Welding
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	E	G	E	E	E
ABS/ polycarbonate alloy (cycoloy 800)	E-G	G	G	E-G	G
Acrylic	G	G-F	F	G	G

Materials	Near Field	Far Field	Swaging and Staking	Inserting	Spot Welding
Acrylic multipolymer (XT-polymer)	G	F	G	G	G
Cellulosics-CA, CAB	F·P	P	G	E	F·P
Phenylene-oxide based resins(Notyl)	G	G	G·E	E	G
Polyamide	G	F			
Polycarbonate	G	G	G·F	G	G
Polystyrene	E	E	F	G·E	F
Rubber modified	G	G·F	E	E	E
Polysulfone	G	F	G·F	G	F
PVC(rigid)	F·P	P	G	E	G~F
SAN-NAS-ASA	E	E	F	G	G~F
Acetal	G	F	G·F	G	F
Fluoropolymers	P				
Nylon	G	F	G·F	G	F
Polyester (thermoplastic)	G	F	F	G	F
Polyethylene	F·P	P	G·F	E	G
Polymethylpentene(TPX)	F	F·P	G·F	E	G
Polyphenylene sulfide	G	F	P	G	F
Polypropylene	F	P	E	G	E

* E : Excellent, G : Good, F : Fair, P : poor

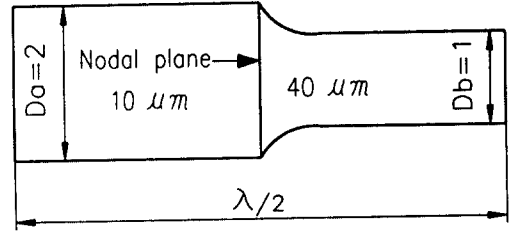
2.4 초음파용접기

초음파 시스템에서 가장 중요한 기계적 진동 부분은 컨버터(Converter) 또는 트랜듀서(Tranducer), 부스터 혼(Booster horn), 혼(Horn)의 3부분으로 구성되어 있다.

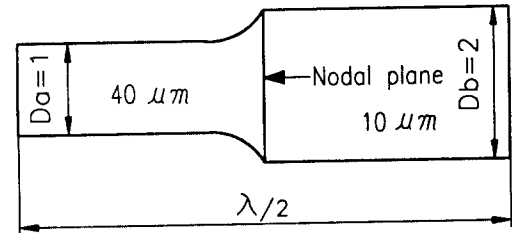
• 컨버터

컨버터는 낮은 주파수의 전기적 에너지를 높은 주파수의 기계적 진동에너지로 만든다. 가장 효율이 높은 형태의 진동자는 티탄산 질콘산염(Zirconate titanate)이라 불리는 피에조일렉트릭(Piezoelectric) 물질을 사용한 타입

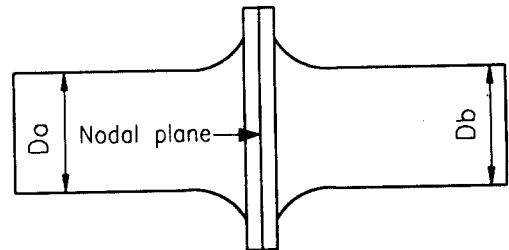
으로 발전기로부터 높은 주파수의 교류 전압을 받아서 압전물질에 축적 되고, 전압의 극성 변화에 따라 결국은 진동자가 팽창과 수축을 하게 된다. 표면적으로 진동 진폭은 약 $10\mu m$ 정도가 되게 하고, 에너지의 손실을 방지하기 위하여 진동자는 진동 중점에 조립한다.^[13]



(a) Horn Diameter 1 : 2



(b) Horn Diameter 2 : 1



(c) Horn diameter 1 : 1

Fig. 2-3 Booster horn shapes

• 부스터

혼의 진폭을 확대 또는 축소시키는데 필요한 반과장 공진부분으로 진동자와 혼 사이에 연결된다. 부스터의 진폭 확대비는 부스터의 단면적과 모양에 따라 결정되는데 그림 2-3(a)와 같이 계단식 원형 모양을 갖는 혼 A는 4배의 진폭 확대비를 갖는다. 따라서 출력에 나타난 진폭은 $10\mu m \times 4 = 40\mu m$ 가 된다. 그림 2-3(b)와 같이 부스터가 반대로 되면 진폭이 1/4로 축소하게 되고, 그림 2-3(c)의 경우처럼 직선형의 형태를 가진 부스터의 진폭

확대비는 1 : 1 이다.^[14]

혼의 종류에는 스텝혼(Step horn), 익스포넨셜혼(Exponential horn), 카테노이드혼(Catenoidal horn), 봉 또는 구형혼(Bar or Rectangular horn) 등이 있는데 그림 2-4에 각 혼의 응력과 증폭커브를 보여주고 있다.^[13]

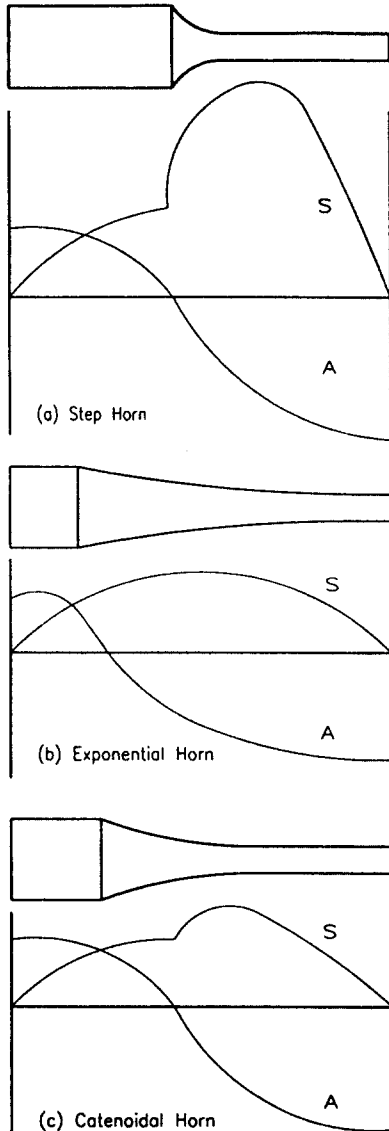


Fig. 2-4 Stress and amplitude curves

스텝혼은 2개의 직경이 다른 부분으로 이루어지는데 입출력의 면적 비율에 따라 진폭과 응력의 변화가 일어난다. 면적이 급격하게 변하는 경계(Nodal area) 부분에서 진폭에 비하여 응력이 더 높게 나타나고 있다.

익스포넨셜혼은 점진적인 테이퍼로 디자인 되어 있기 때문에 내부의 응력 배분이 잘되고 경계 부분에서도 응력이 낮게 나타난다. 익스포넨셜혼은 금속의 매입과 같이 진폭이 작으면서도 높은 힘을 필요로 하는 곳에 주로 이용된다.

카테노이드혼은 스텝혼과 익스포넨셜혼의 중간 형태로 높은 진폭과 적당한 크기의 응력을 갖는데, 일반적으로 혼을 디자인하기 위하여 필요한 가장 중요한 요소는 격이는 경계 부분이 없이 완만한 형태를 가지고 있어야 한다는 점이다. 혼을 잘못 설계하여 혼의 주파수가 잘 맞지 않을 경우에는 초음파 진동이 나오지 않아 진동자를 파괴시킬 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

본 실험은 초음파 용접과 접합, 그리고 초음파 용접에서의 각 조건별 접합상태 등을 검토 분석하기 위한 실험으로, 초음파 용접기[Ultrasonic welding machine, kOW-2400PW]와 글루건[Glue gun, GR60(60Hz, 40W)]을 이용하여 용접과 접착을 하였다.

Table 3-1 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

접합 강도의 측정을 위하여 영국의 인스트롱(INSTRON)사가 제작한 만능재료 시험기를 사용하였으며, 접합 상태 및 조직의 관찰에는 금속현미경(Image Analyzer, UNION VERSAMET 3)을 사용하였다.

표 3-1은 실험 장치와 사용 기기에 대한 사양이다.

3.2 실험 방법

본 실험에 사용된 소재는 폴리에틸렌(PE)이며, 접착제로는 핫멜트(Hot melt)를 사용하였고, 핫멜트를 녹이는데 글루건(Glue gun)을 사용 하였다.그 성분 및 기계적 성질은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 3-2 Mechanical properties of materials

Material	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
Hot Melt	4.7	286	235	32.2	4.5	207

용접용 시편은 초음파의 전달 거리를 고려하여 제작하였고, 접합이 가장 용이하게 되도록 하기 위하여 시편의 한쪽면에 에너지 디렉터를 삼각형으로 가공하였다. 에너지 디렉터의 가공에는 통일중공업(주)의 머시닝 센터(모델명 : TNV 50)를 사용 하였으며, 접착용 시편도 용접용 시편과 동일하게 가공 하였다.

초음파 용접의 가장 중요한 변수인 용접 시간은 1초, 2초, 3초로 하였으며, 용접 압력은 150kPa, 250kPa, 350kPa로하여 용접 하였으며, 또한 동일 조건에서 핫멜트로 접착한 후 초음파 용접을 실시 하였다.

모든 조건에서 정지시간(Hold time)은 3초, 진폭은 35 μ m, 혼의 하강 속도는 20cm/sec, 트리거힘(Trigger force)는 110N으로 하였으며, 이는 지금까지 연구된 연구자^{[5]-[6]}들의 최적 용접 조건을 그대로 적용한 것이다. Table 4에 나타난 용접 조건은 시편을 초음파 용접만 실시한 경우와 접착과 초음파 용접을 병행한 경우이다.

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

Table 3-3 Welding condition

Material	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	1/150	1/250	1/350	2/150	2/250	2/350	3/150	3/250	3/350	3	35	20	110

접합부의 조직을 관찰하기 위하여 각 요소별로 최적의 조건과 최악의 조건에서 용접된 시편을 추출하여 관찰 하였다.

인장시험은 용접용 소재인 PE의 시험편을 만능재료 시험기에서 인장시험을 실시 하였다. 인장시험 데이터는 INSTRON사의 자체 개발 소프트웨어인 FLAPS TLUS에서 IGF File로 저장하였고, EXCEL로 변환하여 데이터 처리를 하였다. 인장시험 데이터 전송 속도는 10Hz이며, 인장 속도는 0.05 mm/sec로 설정하였다.

또한, 초음파 용접한 PE-PE와 핫멜트 접착후 초음파 용접한 PE-PE의 시험편을 만능 재료 시험기를 이용하여 인장시험을 실시 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 용접 조건과 접합 강도와의 관계

그림 4-1의 (a)에서와 같이 용접 시간을 1초로 하였을 때, 초음파 용접과 핫멜트 접착 후 초음파 용접한 경우 모두 접합 압력이 150kPa에서는 접합 강도가 아주 낮게 나타났다. 그러나, 접합 압력이 250kPa에서는 양호한 접합이 이루어져 접합 강도가 증가하였으며, 접합압력이 350kPa이 되면서 접합 강도가 저하되는 현상을 보였다. 이러한 현상은 그림4-1의 (b)에서와 같이 접합 시간을 2초로 한 경우도 대체로 비슷한 경향을 보이고 있다. 그러나 그림(c)와 같이 접합시간이 3초인 경우에는, 접합압력 250kPa에서 오히려 접합 강도가 저하되는 현상을 보였다. 이러한 현상은 PE-PE 조직의 경우 접합 시간이 길어지면 조직의 유동 상태가 고르지 않아 강도가 저하되는 현상으로 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 유동이 비슷하게 이루어졌음을 보여준다.

이와 같이 실험을 통하여 PE-PE 재료에서의 최적 용접 조건은 접합 시간 1초, 접합압력 250kPa 부근임을 알 수 있다.

또한, 접합 시간이 일정하더라도 접합 압력이 변하면 접합 강도가 다양하게 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 접합 시간 보다는 접합 압력이 접합의 강도에 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

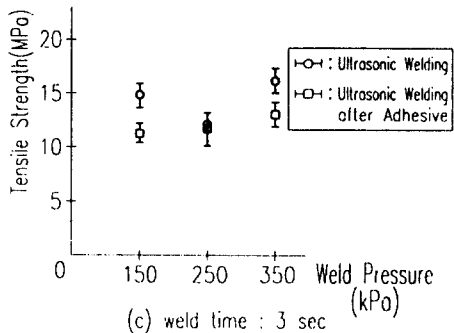
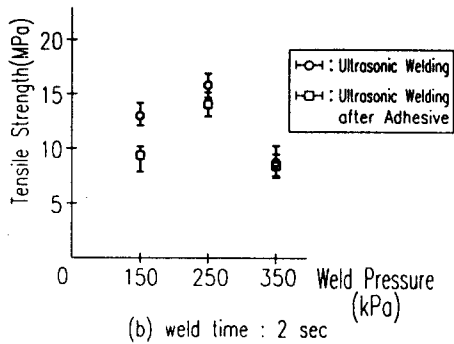
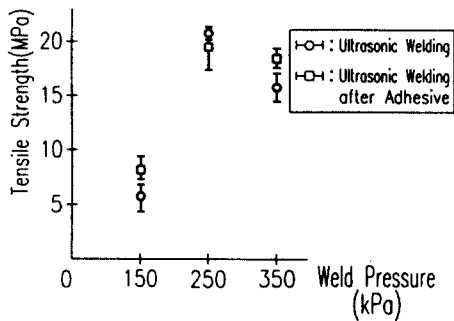


Fig. 4-1 Relation of welding condition and tensile strength(PE-PE)

한편, 접합 압력을 350kPa로 하였을 경우 접합 시간에 따른 접합 강도를 보면, 그림 4-2와 같이 접합 시간 2초에서 PE-PE의 초음파 용접이 접합 강도가 가장 낮게 됨을 보여주고 있다. 이러한 현상은 초음파 용접만 실시한 경우와, 핫멜트 접착후 초음파 용접을 한 경우 모두 동일한 경향을 나타내고 있다.

접합 압력을 250kPa로 한 경우에는 그림 4-3과 같이 용접 시간이 증가할수록 PE-PE 접합 강도가 저하되는데 이러한 현상은 핫멜트 접착후 초음파 용접한 경우에도 유사한 경향을 나타낸다.

접합 압력을 150kPa로 하고 초음파 용접만 한 경우는 그림 4-4와 같이 용접 시간이 길어질수록 접합 강도도 큰 폭으로 증가하였으나, 핫멜트 접착과 초음파 용접을 병행한 경우에는 용접 시간이 길어질수록 접합 강도가 약간씩만 증가하였다.

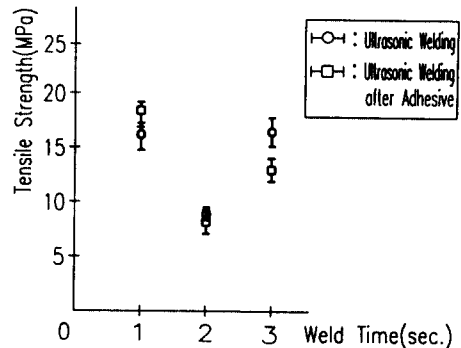


Fig. 4-2 Effect of weld time on strength (weld pressure : 350kPa)

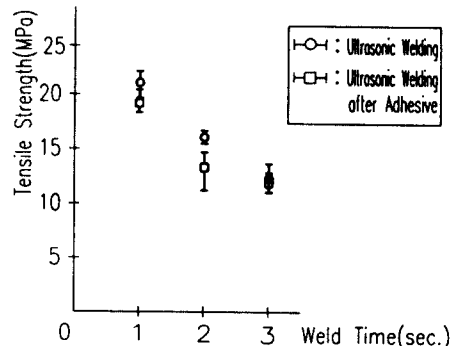


Fig. 4-3 Effect of weld time on strength (weld pressure : 250kPa)

초음파 용착 소재인 PE의 인장 강도는 24MPa이었다. 최적의 용접 조건에서 PE-PE 용접의 인장 강도는 약 21MPa로 87.5%로 나타났다.

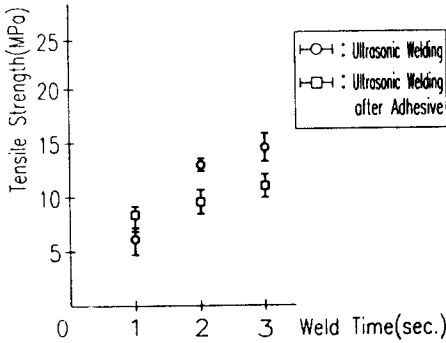


Fig. 4-4 Effect of weld time on strength (weld pressure : 150kPa)

4.2 조직 관찰

사진 1은 접합시간 1초, 진폭을 35 μ m로 고정된 상태에서, 접합압력을 150kPa(a), 250kPa(b), 350kPa(c)로 변화시켜 용접된 PE-PE의 조직 변화를 나타낸 것이다. 접합 압력이 150kPa(a)에서는 유동된 부분이 잘 접합되지 않아 약간의 공극이 생기고 경계층이 뚜렷이 구분되는 등 접합 상태가 불량하게 나타났다. 여기서 공극이 생긴 부분은 접합 압력이 너무 낮음을 보여주고 있는 부분이다.

접합 압력이 250kPa(b)에서는 경계층이 매우 얇고 조직의 유동도 아주 좋아 접합이 잘 이루어졌음을 볼 수 있는데, 이와 같이 양호한 접합 조직은 인장 강도와 용접성도 비교적 우수하리라 예측 된다.

그러나 접합 압력이 350kPa(c)로 높아지면서 다시 경계층이 뚜렷하게 나타나는데 이는 유동이 이루어진 상태에서의 무른 PE조직이 과도한 접합 압력으로 서로 밀리면서 경계층을 형성한 것으로 판단된다.

이와 같이 현미경에 의한 접합조직 관찰을 통하여 용접 상태를 알아볼 수 있는데, 이는 인장 시험한 결과와 대체로 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구는 열가소성 수지인 PE를 접합하는데 있어서

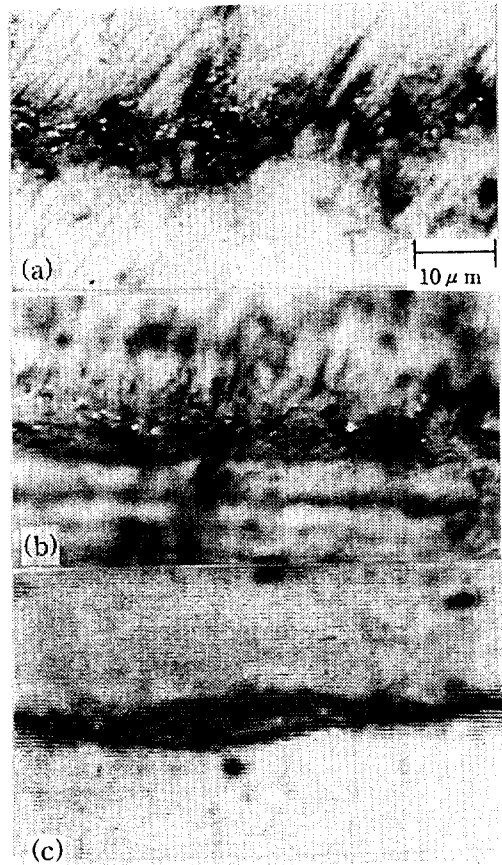


Photo. 4-1 Micrographs of weld interface (PE-PE)

글루건을 이용한 핫멜트 접착과, 접착후 초음파 용접을 병행한 경우, 초음파 용접만 실시한 경우 등으로 구분하여 기계적 성질을 비교함으로써, 최적의 접합 조건을 찾기 위한 실험이었으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열가소성 수지인 PE는 초음파 용접에서 양호한 접합성을 보였고, 용접 시간과 용접압력이 중요한 접합 조건임을 알았다.
2. 초음파 용접 조건에서 PE-PE는 용접시간 1초, 용접압력 250kPa에서 가장 양호한 접합이 이루어졌다.
3. 접착제인 핫멜트 접착과 병행하여 초음파 용접을 하면 접합이 불가능하였던 이중재질의 접합도 가능하리라 보며, 이에 대한 연구도 더 필요할 것으로 본다.

후 기

이 연구는 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. 谷村伸一, "高精度銲接用超音波プレ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, pp 55~58, 1994.
2. 손병준, "초음파 응용 예(II)", 電子科學誌, pp 55~59, 1989. 6.
3. 이철구, "이종 플라스틱의 초음파 용접성에 관한 연구" 대한용접학회지, 제9권, 제1호, pp 49, 1991. 3.
4. Gray Flood, "Bonding Technologies : Ultrasonic Bonding", Nonwovens Industry, pp 36~39, 1992. 10.
5. A. Benatar, "Weldability of Thermoplastics", Proceeding of E. W. I., Edison Welding Institute, Columbus, OH, pp 113, 1987.
6. 이철구 외 2인, "초음파 용접에 의한 열가소성 수지의 접합", 한국정밀공학학회지, 제9권, 제1호, pp 118, 1992. 3.
7. A. Benatar, "Ultrasonic Welding of Advanced Thermoplastics", Ph. D. Thesis, Dept. of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA., pp81~165, 1987.
8. 産業研究院, "超音波 溶着 : 最近의 플라스틱 接合技術", 플라스틱 成形技術, pp 11, 1985. 9.
9. 太田 徹 · 大平 悦三 · 井出 正男, "プラスチックの超音波銲接時における機械負荷イソピーダグス特性の測定", 論文, 電子情報學會誌, pp. 30~32, 1992. 12.
10. A. Benatar, Zhang Cheng, "Ultrasonic Welding of Thermoplastics in the Far-Field", Polymer Engineering and Science, Vol. 29, No. 23, pp.1699~1700, 1989.
11. A. Benatar, R. V. Eswaran, "Ultrasonic Welding of Thermoplastics in the Near-Field", Polymer Engineering and Science, Vol. 29, No. 23, pp.1689~1698, 1989.
12. Bob Irving, "Demand for Plastic Parts Builds in the Welding Industry", Welding Journal, pp 31~33, 1993. 2.
13. Ultrasonic Plastic Assembly, Branson Sonic Power Company, pp 10~15, 1979.
14. KDW-2400 PW Manual, Kukdong Ultrasonic Engineering, pp 17~19, 1994.