

태양에너지를 이용한 열경화성 플라스틱 접합특성

김옥삼*, 김일수⁺, 손준식⁺⁺, 서주환⁺⁺, 문채주⁺⁺⁺

(논문접수일 2007. 1. 24, 심사완료일 2007. 2. 23)

The Characteristics of Bonding for Thermo-plastic using Solar Energy

Ok Sam Kim*, Il Soo Kim⁺, Joon Sik Son⁺⁺, Joo Hwan Seo⁺⁺, Chae Joo Moon⁺⁺⁺

Abstract

In this research work attempts were made to study the bonding of thermo-plastics with adhesives using solar radiation. In order to study the curing behaviour necessary experiments were conducted under varying conditions of temperature, exposure time and power of solar energy. The cured samples were then studied under the optical microscope before subjecting to tensile testing in order to study their mechanical properties of thermo-plastics. The fracture surfaces were further studied under the Scanning Electron Microscopy(SEM) in order to research the microstructural changes that are taken place during curing. In order to measure the performance of solar energy cured joints the parameters such as; bond strength, surface morphology, the microstructural changes, variation in properties of adhesives bonded joints are compared to that of specimen cured at ambient conditions and specimen cured using microwave techniques.

Key Words : Solar energy(태양에너지), Thermo-plastics(열경화성 플라스틱), Characteristics of bonding(접합특성), Mechanical properties(기계적 성질), Bonding strength(접합강도)

1. 서론

각종 공작기계 분야에서 사용되는 열경화성 플라스틱의 접합은 전통적인 기계적 접합방법에서 달성하지 못했던 조립품의 무게의 감소, 균일한 접합 그리고 접합부의 균일응력

분포와 같은 많은 유리한 점들을 제공⁽¹⁻²⁾하였다. 제품의 경량화 추세에 따라 수요가 많아진 열경화성 플라스틱 성질의 특별한 응용⁽³⁾을 위해서는 접착계의 적정성이 중요하다. 통상적으로 강력한 접착은 화학반응에 의해서 응고된 것이고, 물리적 변화에 의해 경화된 접착은 다소 성능이 떨어지는

* 전남대학교 기계자동차공학부 (kos@chonnam.ac.kr)
주소: 550-749 전남 여수시 둔덕동 산 96-1

+ 목포대학교 기계공학과

++ 목포대학교 대학원 기계공학과

+++ 목포대학교 전기공학과

것으로 알려졌다. 열경화성 플라스틱 재료의 접착기술은 기계재료 분야에도 높은 잠재성을 보였으며, 특히 수십 년 동안 안전을 최우선으로 하는 항공 구조 분야에서도 폴리머 (polymers) 복합체로 만든 금속과 비금속의 접합구조체를 신뢰할 수 있는 연구 결과가 도출⁽⁴⁾되었다.

태양에 대한 실질적인 관심은 태양에너지를 제조 산업에 잠재적인 에너지로 이용할 수 있는 기술개발이다. 직접 혹은 간접적으로 중합(polymerization) 하기 위하여 광범위하게 사용되는 두가지 태양에너지는⁽⁵⁾ 자외선(ultraviolet, UV)과 전자광선(electronic beam, EB)이 있다. 또한 UV 램프로부터 흑점 에너지를 집중 이용한 반사재(reflector)는 램프의 높은 작동온도와 많은 UV 혹은 오존량의 축적 때문에 시간 경과와 더불어 반사율이 감소한다. 따라서 우수한 UV 경화 방법은 UV광이 재료를 통한 자외선 전송이 필요하기 때문에 모든 분야에 적용하기는 적당하지 않다. 더구나 작은 경화 깊이의 표면경화 깊이는 제한적으로 사용될 수밖에 없다.

위에 언급된 문제를 극복하기 위한 방법은 파장이 긴 빛 에너지를 사용해야 한다. 여기에서는 집중된 태양광선 집열 상태 하에서 접착 경화제를 사용하여 열경화성 플라스틱 재료를 투명성과 불투명성 접착제의 접합에 관한 것이다. 시험편들을 각각 태양으로부터 광범위한 스펙트럼 발광 파장 하에서 노출시켰으며 표면 거칠기가 다양한 시험편을 대상으로 기계적 특성과 광학현미경을 이용한 마이크로(micro)한 영역을 비교·분석하였다.

2. 열경화성 플라스틱 접합이론

열경화성 플라스틱 재료는 합성 고분자 폴리머나 개조된 단량체(monomer)의 바탕이 되며, 접합구조는 선형(linear), 가지형(branched) 및 교차링크형(cross-linked) 폴리머로 분류⁽⁶⁾할 수 있다. 선형 폴리머는 수많은 개별 성분을 완전히 섞어도 서로 다른 것과 쉽게 이동할 수 있다. 이러한 모든 것은 온도 상승에 따른 작용으로 성능감소와 화학반응에 취약해진다. 다양하고 특수한 폴리머 구조로 구성된 가지형 폴리머는 함께 묶여있으며 이동은 다소 제한되어 있다. 교차링크 폴리머 구조는 3차원 와이어프레임 구조로서 양호한 화학 반응을 갖으며 높은 온도에서도 견딜 수 있다. 그러나 이러한 것들은 다소 취성이 존재하며 충격하중에서 손상되기 쉬운 것으로 알려져 있다.

2.1 접합 부위의 양상

접합부위는 다양한 위치에서 존재할 수 있으며 접착층, 접

착제와 접착물 사이 및 재료표면에 존재할 수 있다. 접착 실패의 위치를 정확하게 아는 것은 접착실패 이유를 이해하는데 매우 유용하다. 접합실패는 일반적으로 접착물과 접착제 사이에서 발생한다. 이것은 표면에서 접합에 적합한 조건의 형성이 곤란하면 접착이 되었어도 최고 접합강도가 나올 수가 없다는 점을 시사하고 있다.

2.2 접합부 강도에 영향을 주는 인자

열경화성 플라스틱을 접합할 때 시편의 표면 상태가 접합 강도에 영향을 줄 수 있다. 만약 접합부의 표면이 불규칙적인 것이 평활한 표면보다도 더 좋다. 고점성의 접착제가, 짧은 시간에 낮은 점성으로 변한다면 접착제가 표면에 완전흡수 될 수 없어, 접합부에 존재하는 기공들이 응력 상승요인으로 작용할 것이다. 접착제의 표면 내부에 기공들이 열팽창 차이에 의한 수축, 팽창하여 내부 잔류응력과 미세 변형을 수반하여 높은 파괴 에너지를 보유하게 되므로, 접합강도는 떨어질 것이다. 높은 압력은 점성을 갖은 접착제에 서는 매우 중요하나 저점성의 접착제는 접촉 압력만으로도 가능⁽⁷⁾하다.

3. 실험 장비 및 방법

3.1 태양에너지 집중장치

Fig. 1 과 같은 태양에너지 집중장치⁽⁸⁾를 이용하여 실험을 수행하였다. 이 장치에는 시험편 표면에 빛이 더 집중되고,

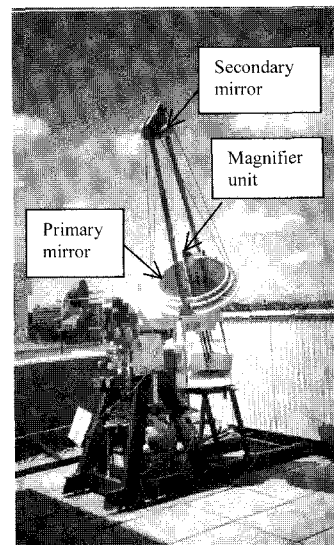


Fig. 1 Solar energy concentration systems

전달되도록 빛이 초점을 맞출 수 있도록 보조 거울 2개를 포함한 작은 형태의 가셋그레니언 광학 현미경형태로 구성되어 있다. 시스템의 주요 구성장치는 표준고도 방위각을 유지할 수 있도록 설계된 2개의 가셋그레니언 현미경이 설치되어 있다. 집중된 태양에너지가 열가소성 플라스틱의 접합부에 열에너지로 전달되기 위하여 확대장치, 여과장치, 광학장치 및 부차적인 보조광학기 등이 합리적으로 배치되도록 시스템이 구성되었다.

3.2 시험편 및 접착제

열가소성 플라스틱 재료는 내마모성과 난연성의 특성을 지니고 있어 기계 및 건축 재료로 많이 사용되는 폴리메틸메타크릴레이트(Polymethylmethacrylate, PMMA), 우수한 내충격성과 내 크리이프 성질을 보유하여 기계하우징이나 자동차 내외장 부품으로 많이 이용되는 아크릴로니트릴부타디엔스티렌(Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS), 및 기계부품이나 필름 등에 사용되는 엔지니어링 플라스틱인 폴리카보네이트(Polycarbonate, PC) 등 새가지 재료를 사용하였다. 이것들은 다른 물질보다 우수한 폴리머 구조를 가지고 있고 형상을 쉽게 바꿀 수 있기 때문에 선택하였다. 제시된 세 종류 접합재료의 구동온도 및 강도는 Table 1에 나타났다.

3.3 시험편 가공 방법

고강도에폭시(High Strength Epoxy, RS)와 신속아랄데이트(Rapid Araldite, RA)는 단단하고 취성이 있는 성질에 굴곡성과 유연성을 향상시킬 목적으로 에폭시 계열의 접착제로 사용하였다. 두 종류 접착제는 같은 양을 만들 수 있는 도구를 사용하여 잘 섞어 혼합액을 만들었다. 열가소성 플라스틱 접합재료는 직경 비이드 크기를 유지하여 1mm 접합두께를 갖은 100mm²에 접지기 접합을 하였다. 일정하게 접합라인 두께와 접합부위를 유지하기 위하여 4개의 글래스비이드(glass bead)를 각각의 시험편에 사용하여 일정한 무게와

접합 두께를 만들었다.

접합재료는 50×10mm의 크기이며 시편의 표면 상태는 성공적인 접합을 위한 중요한 요소이므로, 시험편의 남아있는 표면 오염 물질을 제거하기 위하여 아세톤을 사용하여 세척하고 건조시켜 완전히 밀착된 접착이 일어나도록 하였다. 시험편의 최고 접합강도를 측정하기 위하여 24시간 경화시켰다. 각 형태의 접합재료 4개의 시험편, 5 묶음을 2분 동안 처음부터 75℃를 유지한 후 접합된 시험편을 최고 접합강도 시험을 하였다. 고온실험은 같은 조건하에, 시험편을 60초 동안 250℃의 온도 하에 접합하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 실험조건에 따른 시험편의 접합강도

접합부의 평균 접합강도는 다양한 조건하에 경화하였으며, 태양에너지 집중에 의한 경화는 Table 2에 나타났다.

RA로 접착한 PC, ABS 및 PMMA는 평균 접합강도 352.7, 262.3 및 236.2N/mm²이며, RS 접착제로 교체한 결과 378.7, 183.7 및 222.3N/mm²으로 PC는 26N/mm² 정도 증가하였다. ABS는 78.6N/mm², PMMA는 14N/mm² 정도 평균 접합강도가 감소하였다. Table 2의 결과로부터 다양한 조건하에서 접착을 시키면 PC의 경우 RS로 접착했을때 6.9% 증가하나, ABS와 PMMA는 약 30%와 6% 정도 감소하므로 결국 PC는 RS접착제가 유리하고 ABS와 PMMA는 RA접착제를 사용하는 것이 접착강도 면에서는 바람직스럽다.

4.2 접착온도에 따른 접착강도의 변화

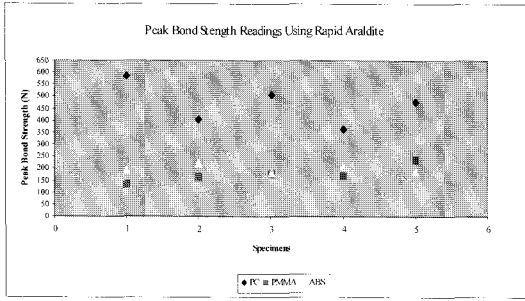
75℃의 주위환경에서 태양광선으로 시편을 경화 시켰을 때 최대 접착강도를 나타낸 Fig. 2는 (a)그림에서 RA, (b)그림에서 RS접착제를 사용한 결과를 나타내고 있다. (a)그림에서는 불투명한 접착제인 ABS와 PMMA는 150~230N/mm²

Table 2 Strength of cured specimen under varying conditions(unit : N/mm²)

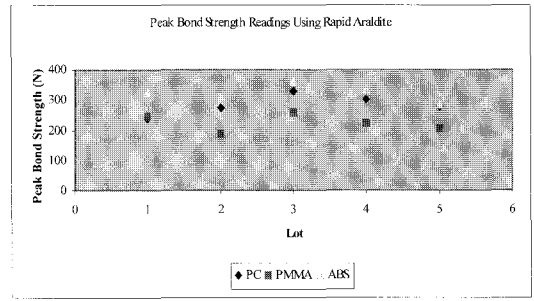
	RA			RS		
	PC	ABS	PMMA	PC	ABS	PMMA
Ambient	304	268	251	313	212	243
75℃	470	198	175	452	127	153
250℃	284	321	223	341	212	271
Average	352.7	262.3	236.3	378.7	183.7	222.3

Table 1 Operating temperature and strength

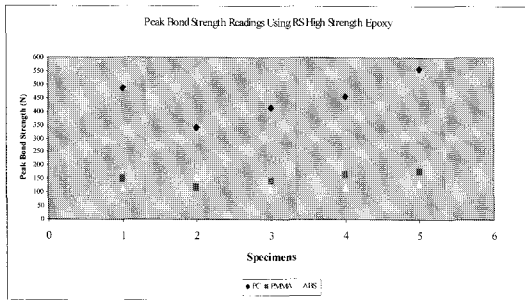
Parameters	PMMA	PC	ABS
Glass Transition Temp.	105℃	150℃	106℃
Melting Temperature	160℃	No definite	190℃
Strength(N/mm ²)	54.04	59.44	32.07



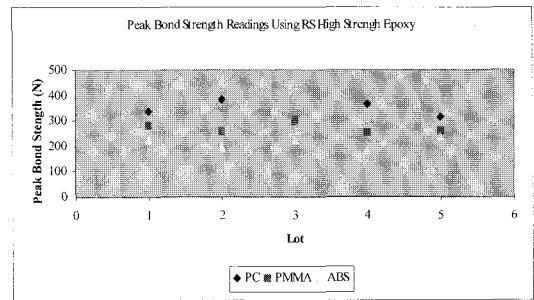
(a) With RA adhesive



(a) With RA adhesive



(b) With RS high strength epoxy



(b) With RS high strength epoxy

Fig. 2 Peak bond strength of samples cured under solar radiation at 75°C

Fig. 3 Peak bond strength of samples cured under solar radiation at 250°C

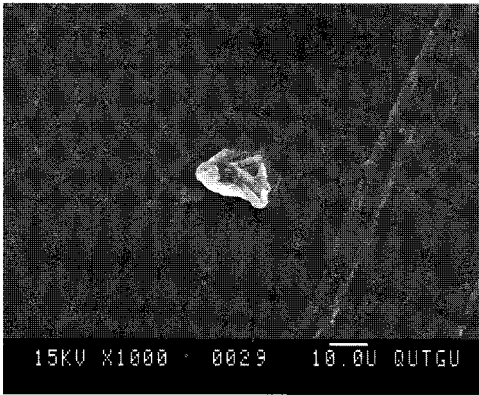
구간에서 거의 비슷한 접착강도를 보여주나, 투명성 접착제인 PC는 상대적으로 높은 350~590N/mm² 구간에서 높은 측정치 분포상태를 나타낸다. (b)의 그림의 PC는 350~550N/mm² 구간에서 첫 번째 시편의 측정치를 제외하면, 지속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. ABS와 PMMA는 100~150N/mm² 범위에서 접착강도의 변화가 유사한 경향으로 다소 적은 모습을 나타내고 있다. 250°C 주위환경에서 태양광선으로 경화시켰을 때의 결과를 나타낸 것이 Fig. 3이다. (a)그림은 RA접착제를 사용한 결과이며, 최대 접착강도가 ABS와 PC가 거의 비슷하지만, PMMA는 약 70N/mm² 정도 낮은 값을 보유했다. RS접착제를 사용한 결과를 의미하고 있는 (b)그림은 PC, PMMA 및 ABS가 공히 250~350N/mm² 범위에서 최대 접착강도가 측정되고 있었다. 태양광선을 이용한 RS 고강도 에폭시 접착제를 첨가한 PC는 최대 접착강도가 측정된 반면에 ABS는 가장 낮은 접합강도가 측정되었다.

그 결과를 바탕으로 ABS나 PMMA와 같은 불투명 재료의 접합강도는 PC와 같은 투명재료의 것보다 낮다는 것을 알 수 있다.

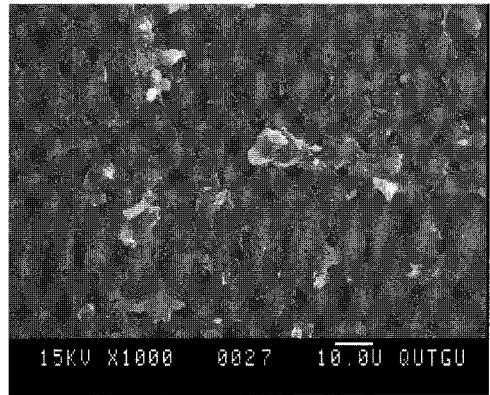
4.3 파단면의 형상분석

RS 접착제로 투명성 재료인 PC와 불투명성 재료의 대표인 PMMA의 전단 시험 후에 파단면 SEM 사진은 Fig. 4에서 보는 것과 같다. (a)그림에서는 접착부에서 파괴되었으며 파단면이 평탄하고 계면 파단이 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 경우의 크랙성장은 소규모 파괴와 같은 요인들을 지배적이지 않는다는 점을 의미하고 있다. (b)그림은 현미경사진으로 보는 것과 같이 파단면이 표면에서 매우 날카롭고 거칠은 상태이며, 크랙과 균열선단에 높은 응력집중이 발생하여 낮은 접합강도로 귀결되어 있음을 알 수 있다.

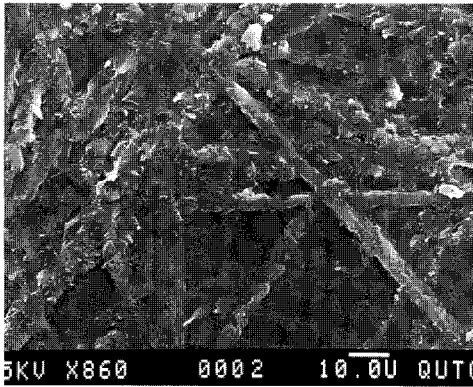
250°C에서 태양광선 아래에서 RS접착제로 PC와 PMMA 접착부의 SEM 조직 사진을 Fig. 5에 나타냈다. (a)그림에서 접착물 표면에 접착제의 찌꺼기와 취성물질이 잔류하고 있음을 관찰할 수 있었다. 이것은 상온상태에서 접착제의 갑작스런 수축작용으로 인한 것으로 사료된다. 250°C에서 건조하는 (b)그림의 PMMA의 경우, 잔류하는 기공의 평면에서 계면파괴가 나타났음을 관측할 수 있다. 표면조직에서 다양하게 변하는 이유는 투명한 PC재료가 강력한 UV를 흡수하여 미세립자의 조직 형상을 갖기 때문으로 사료된다. 불투



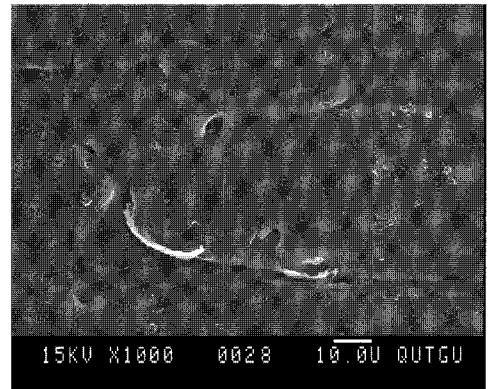
(a) PC



(a) PC



(b) PMMA



(b) PMMA

Fig. 4 SEM micrographs of samples cured under ambient conditions

Fig. 5 SEM micrographs of samples cured under Solar radiation at 250°C

명성 재료인 PMMA와 ABS 경우는 스펙트럼 290~315nm 범위에서 이론적으로 빛 흡수가 불가능하기 때문에 불규칙적인 형상의 비틀린 기공이 형성되는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

태양에너지 집열 하에서, 접착 경화제를 사용하여 열경화성 플라스틱 재료를 투명성과 불투명성 접착제의 접합능력을 연구하였다. 시험편들을 각각 태양으로부터 광범위한 스펙트럼 발광 파장 하에서 노출시켰으며 표면 거칠기가 다양한 시험편을 대상으로 기계적 특성과 광학현미경을 이용한 마이크로한 영역을 비교·분석한 결과, 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 태양 광선은 같은 시간대에도 수시로 변화함으로 제어와 통제가 매우 어렵고, 태양 스펙트럼에서 짧은 파장 자외선의 작용 때문에 열경화성 플라스틱은 내후성이 감소되는 성능열화가 진행된다.

둘째, 태양광선을 이용한 고강도에폭시를 첨가한 PC는 최대 접합강도가, ABS는 낮은 접합강도가 측정되었다.

마지막으로 PMMA와 ABS 같은 불투명 재료의 접합강도는 PC와 같은 투명 물질의 것보다 낮다는 것을 알 수 있었다. 이것은 불투명 물질이 주요 원인으로서 태양광선으로 조사된 열이 이전에 경화제의 강도, 표면 흡수율 및 접착제와 시험편 사이의 형상과 같은 다양한 인자에 가변적으로 의존한다는 점을 의미하는 것으로 판단된다.

후 기

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터육성사업에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) McDaniel, D. K., 1979, *The Sun, Our Future Energy Source*, John Wiley & Sons, Montreal, pp. 134~157.
- (2) Kim, W. S. and Kim, D. H., 2006, "A study on the Direct Casting of Photo-polymer," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 15(6): pp. 127~133.
- (3) Cheong, T. H. and Ha, Y. W., 2002, "A Study on Compressor Seal for Automotive Air-conditioner using Polymer Resin," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, 11(5): pp. 81~87.
- (4) Fath, H. E., 1998, *Renewable Energy*, Elsevier Science Published, London, pp. 281~289.
- (5) Baker, R. G. 1988, "Adhesive bonding of metals," *Joining and Materials Journal*, 1(3): pp. 120~127.
- (6) Ciba, G., 1988, "Plastic, Modern adhesive bonding," *Joining and Material Journal*, 1(1): pp. 38~41.
- (7) Kleinent, H., Grober, S., Schultrich, B. and Siemroth, P., 1996, "Activating adherend surfaces by applying arc-discharge treatment," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 17(3): pp. 203~206.
- (8) Maxwell, D. and David, B., 1998, "Principles and practices of adhesive bonded structural joints and repairs," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 19(2): pp. 91~103.