

초음파 조사에 의한 복합재료의 계면특성의 보강 개선에  
관한 연구 (1)

이상국<sup>○</sup>      전춘생\*      김위년\*\*  
인하대      인하대\*      인하대\*\*

A Study to Improve the Interface Strength of Composite Materials by  
the Radiation of Ultrasonic Energy (1)

Sang-Kook Lee<sup>○</sup>      Choon-Saing Jhgun\*      Ik-Nyon Kim\*\*  
Inha Univ.<sup>○</sup>      Inha Univ.\*      Inha Univ.\*\*

Abstract

This study is to investigate the adhesive strength of composite material's interface on the experimental methode of tree growth in the material.

The results are as follows

1) The irradiations of ultrasonic energy cause the mechanical vibration in the polymer composite materials of fluid state, so then bring about physical dispersion and heat for inorganic materials, being supposed to produce chemical interlinking reaction, decreasing of voids between filler and matrix.

2) As the intensity of ultrasonic energy and its irradiated time are larger, the tree inception and breakdown voltages increase and the tree growing is slower.

so we obtain that the interface adhesive force can be strengthened by the irradiation of ultrasonic energy.

1. 서론

복합재료의 개발 역사는 오래되었고, 재료를 복합한다는 것은 기원전으로 거슬러 온தாக 할 수 있다.

그러나 재료의 조합에 있어서 과학적인 의미를 가져다 주게 된 것은 1940년경에 제작한 GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) 뿐 효시로 하고 있다.

복합재료란 복합하는 무기물, 유기물, 금속등의 소재의 종류가 많고, 단체, 단량체, 중합등 여러가지 형태로 쓰이는 경우가 많아지게 되었다. 그것들을 조합시키는 때에는 물리적 및 화학적인 고려가

있어야 하고, 구성하는 고체재료 사이에는 반드시 기계적, 미시적 계면이 존재한다. 이 계면을 통한 소재간의 상호작용이 매우 중요하다.

최근 고분자 재료와 무기재료의 복합으로 형성된 복합재료, 예로 들면 Mica/Epoxy 복합재료, GFRP 및 Mica paper/Epoxy 등의 무기물/결합체의 복합재료가 있다.

전력 증대에 따라서 전기기기의 고압화 및 소형화 때문에 고분자 복합재료는 전기절연재료로 뿐만 아니라 기계적 구조물로서도 널리 사용되고 있다.

따라서 고분자 절연재료로 사용하는데 있어 전기적 특성이나 기계적 강도에 대하여 충분한 배려가 있어야 한다.

현재 고분자 재료의 기계적 특성에 관한 연구보고에 의하면 정적 응력이 인가되는 경우뿐만 아니라 동적 진동응력에 관한 실험적 조사가 더욱 중요시되고 있다.

일반적으로 화학반응을 촉진시키기 위하여 가열 혹은 냉각등의 열적조작 이외에 균일하고 신속한 반응을 실행하기 위하여 기계적 고반조작이 병행된다. 복합재료의 제조시 화학반응이 일어나는 사이에 물리적인 방법으로 초음파를 조사하면 재료의 제작공정중의 계면에 생기는 취약점 — 예로 들면 유기고분자의 불안정화, 분량한 침침 (poor wetting) 로 인한 매트릭스와 필라의 분량한 접착, 불안정한 함침 (incomplete impregnating), 보이드 (void or bubble) 의 함유, 층간분리 및 크랙 (craze or crack) 등 — 이 초음파의 캐비테이션 (cavitation) 작용과 분자적 고반작용에 따라 보강되고 화학반응이 촉진되어 재료의 전기적 특성이 개선되리라 사료된다.

따라서 본 연구에서는 진동 에너지 전달 매체로서 액체를 사용하고 초음파진동자의 자외효과로 인하여 수중에서 발생하는 진동 압력은 복합재료의 가사중에 조사한 후 고화 완료된 시편에 대하여 tree 발생과

성장을 조사함으로써 초음파가 완결된 복합재료의 전기적특성에 미치는 영향을 실험 검토하였다.

2. 이론

(1) 초음파의 세기와 Energy

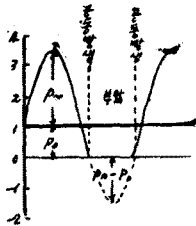
한 방향으로 진행하는 평형평면유무를 생각하면, 음파의 세기(intensity)  $I$  ( $\text{erg/s/Cm}^2$  또는  $\text{W/Cm}^2$ ) 는 음의 진행방향에 수직인 단면적을 단위시간에 통과하는 에너지로 나타내고, 다음 식으로 표시한다.

$$I = 2\pi^2 \rho c (fa)^2 = \frac{1}{2} \rho c v^2 = \frac{p^2}{2\rho c} = PV$$

$$= \frac{p^2}{\rho c} = \rho c V^2$$

여기에서,  $\rho$  는 매질의 밀도 ( $\text{g/Cm}^3$ ),  $c$  는 매질중에 있어서 음파의 속도 ( $\text{Cm/s}$ ),  $f$  는 음파의 주파수 ( $1/s$ ),  $a$  는 매질입자의 변위진폭 ( $\text{Cm}$ ),  $v$  는 매질입자의 속도진폭 ( $\text{Cm/s}$ ),  $p$  는 음파의 압력진폭 ( $\text{dyne/Cm}^2$ ),  $P$  는 음압(sound pressure)의 실효치( $\text{dyne/Cm}^2$ ),  $v$  는 매질입자의 속도 실효치( $\text{Cm/s}$ ) 이며,  $\rho c$  ( $\text{g/Cm}^2 \cdot \text{s}$ ) 는 특히 고유음향 임피던스(specific acoustic impedance), 또는 단순히 음향 임피던스라고 부른다.

2) 초음파 캐비테이션



캐비테이션이 발생할때

액체중에서 강력한 초음파를 조사하면 초음파는 소밀파이므로 위의 그림에 나타낸 바와 같이, 액체중에서 과압과 부압이 발생한다. 이 부압에 의해 액체가 분리되어 공동이 발생하게 되는데 이 현상을 cavitation 이라 한다.

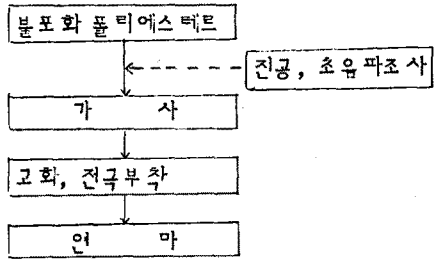
이때 발생한 기포는 음압의 압축위상에서 수축되어 액체중에서 일부는 용해되어 버리고 어떤 반지름 이상의 기포는 소멸되지 않고 유장내에서 진동하게 된다

이와같이 진동하는 가운데 기포가 깨어질때 파괴되는 순간에 충격파가 발생되어서 국부적으로 큰 힘을 받으면서 고온으로 된다.

액체중에 어떤 물질이 있을때는 캐비테이션은 그 물질에 물리적, 화학적 영향을 준다.

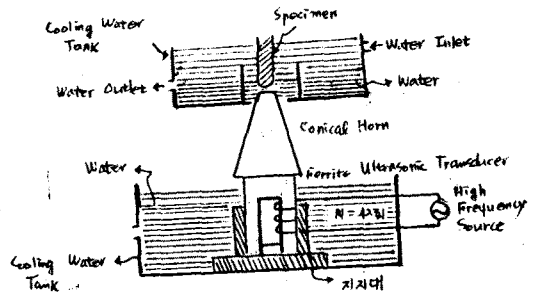
3. 실험장치 및 방법

1) 시편제작



2) 실험 장치

가. 초음파 발생 및 조사장치



나. 내압 시험기 조작반 (0 - 100 V, 일 musasi 전기기계제작소)

다. 시험용 변압기 (0 - 50Kv, 일 musasi 전기기계제작소)

3) 실험 방법

시편은 공기중의 연변방전의 영향을 감소시키기 위하여 상온의 변압기유에 넣어 유중실험을 하였으며 인가 교류전압원은 시험용 변압기를 사용하였다.

tree 발생과 성장은 배율 100배의 microscope (일 union) 로 관측하였다.

실험방법은 다음과 같다.

가) 초음파압력의 세기는 813진공관의 plate 인가전압을 100 (출력 165) 로 일정하게 하고 초음파조사 시간을 각각 20, 40, 60분으로 변화시켜 시료에 가해준 후 그 시료로 만든 시편에 대하여 두 전극사이의 인가전압을 8Kv 로 부터 2 (Kv/sec) 의 속도로 2Kv 씩 증압시키고 각 전압에서 5분간 유지시킨 다음, tree 의 성장을 관측하였다.

나) 초음파조사 시간을 일정(30분) 하게 하고 초음파조사세기를 각각 70, 100, 125V (출력전력 100, 165, 180 w) 로 변화시킨 시편에 대하여 일정 전압(20V) 인가하고 2분간격으로 전압 인가시간 경과에 따른 tree 의 성장을 조사하였다.

4. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 분포화 폴리에스테르에 무기물 충전제(Al(OH)<sub>3</sub>)를 첨가한 시료가 10<sup>-3</sup> torr 의 진공 장치내에서 가사중에 주기적으로 반복 진동음류(초음파cavitation 현상으로 인한 음류)은 밤음으로써, 복합재료내의 무기물은 물리적으로 분산시켜 그 입자가 반복음류를 받지않은 시편보다 작게 분산되어 있는 것은 현미경 관찰로부터 확인할 수 있었다.

또한 이것은 초음파의 물리적 cavitation 및 본자적 고반작용에 따라 부압의 발생으로 생긴 공동이 진동하는 가운데 기포가 깨어져 파괴되는 순간 충격파의 발생으로 국부적으로 큰 힘을 받으면서 열의 발생이 일어나고 그로 인하여 복합재료내의 취약부인 무기질 표면의 마이크로 크랙 및 수분을 제거하여 매트릭스와 필라를 물리적으로 흡착시켜 접착력이 강해지고 또 무기질 표면에 가교층을 형성하였으리라 고 사료된다.

그것은 매트릭스의 함침을 용이하게 하고, 접개면에서의 기계적 응력전달을 용이하게 하여 전기적 특성을 향상시켜 준 것으로 고찰할 수 있다. 즉, 초음파를 조사해준 시편이 초음파를 가해지지 않은 시편보다 tree 의 발생전압이 높았던 것과 같은 크기의 전압을 같은 시간 인가하였을 때 tree 의 성장이 억제된것을 확인할 수 있었다. ( 사진 참조 )

이것은 초음파가 복합재료의 개면부분에 물리적 영향을 주고 있음을 시사하고 있는 것이며 반복진동음류를 받은 시편에서 tree 의 성장이 복합재료의 취약부인 무기물의 주변을 따라가지 않는다는 것을 확인할 수 있다. ( 사진 참조 )

결과적으로 고분자재료와 무기질간의 접착이 양호해진 이유는 초음파의cavitation 에 의한 열적 마찰로 인한 무기질재료의 수분 제거 및 이부분의 고분자물질의 가교층의 형성, 본자적 고반작용에 의한 고분자사지의 함침용 이성 및 물리적흡착을 쉽게한것 때문으로 사료된다.

진동주파수가 f=20kHz로 일정음력 100V ( 165W ) 을 받은 경우 고반송이던 시료가 음파를 일부분 흡수하여 음파에 의한 시료의 진동으로 시료내의 마찰열이 생기는 것이고 또 진동을 받은 시간이 길수록 tree 의 발생 및 성장이 억제되었다고 본다.

한편 그림 2는 초음파 조사시간을 일정하게 하고 그 세기를 변화시켜준 시편에 대하여 두 전극 사이에 20kv 의 일정전압을 인가했을 때 인가압시간 당 tree 의 성장을 측정함으로써 tree 성장에 미치는 초음파조사세기의 영향을 관측한 것이다. 그림 2에 따르면 단위시간 (min)당 tree 의 성장속도는 전압안가시간이 경과함에 따라서 거의 직선적으로 증가한다. tree 의 선단부가 평판전극에 가까이 접근하면서 신속히 절연파괴되었다. 또 초음파조사세기가 큰 시편

일수록 초음파영향을 받지않은 시편보다 약 20-30 분 가량 절연파괴되는 시간이 연장되었다. 그리고 같은 시동 안 음력을 받을 때 그음력의 세기가 클수록 그 재료내부의 마찰온도 상승 및 무기물외 분산작용이 더 크게 일어나게되어 tree 의 발생모양이 진동음력을 받지않은 시편에서는 bush 모양의 복잡한 형태를 나타내고 있는데 반해, 진동음력을 많이받은 시편일수록 본지가 적은 단순한 tree 형태를 나타내고 있다. ( 사진 참조 )

이와같이 진공장치중에서 복합재료의 가사중에 초음파를 가함으로써 tree 의 발생 및 성장이 억제된 것은 앞절에서 고찰한 바와 같이 초음파의cavitation 및 본자적 고반작용에 의해 매트릭스와 필라의 상호결합이 양호해지고, 개면사이의 수분 및 기계적 제거뿐만아니라 개면보이드등의 존재확률이 낮아져서 복합재료의 전기적 특성이 향상된 것으로 생각된다.

5. 결론

- (1) 진공장치안에서 복합재료의 가사중에 초음파를 조사하면 필라의 분산 및 재료내부의 열적, 기계적 진동으로 복합재료의 전기적 특성이 향상된다.
- (2) 초음파압력의 세기가 클수록, 조사시간이 길수록 시편내의 tree 발생전압 및 절연파괴전압이 상승하며 tree 성장은 늦어진다.

Reference

- 1) B.S.Hockenhuil, C.N.Owston and R.G.Hocking : Techniques and equipment for fatigue testing in some aluminum alloys, with constant force or constant amplitude controle, at 20KHz, Ultrasonic, 9, 1 (1971) 26.-34
- 2) E.A.Neppiras : Ultrasonic Soldering, Metal Industry (1957) 3
- 3) Ultrasonic Tinning of Aluminum Wire, Machinery, 90 (1975) 72
- 4) E.P.Plueddemann, Composite Matierrials, Academic Press, Vol. 6. 1974
- 5) J.T.Davis and E.K.Rideal, Interfacial Phenomena , Academic Press, 2nd.Ed., 1963
- 6) C.H.Park, A Study of the Dielectric and Mechanical Property Interactions of Glass cloth/Epoxi Composites, IEEE Trans. Vol. EI-22, No.4, 389-395,1987
- 7) J.C.Radon, Fatigue crack growth in polymer. Interaction Journal of Fracture., Vol.16. No.6.(1980)
- 8) K.Jagannadham, A mechanism of void growth in the resin of the plastic zone ahead of a crack-tip. International Journal of Fracture, Vol.22, pp 41-63 (1983)

- 9) 접착재료treeing 전문위원회: "유기접착재료의 treeing 에 관하여", 전기학회기술보고서 제 100호 (1971)
- 10) 高田達雄: "진동음력을 인가한 아크릴 고분자 재료의 잔류변형과 열화현상", 전기학회논문지 A, Vol.101, No.11(1981)
- 11) 家田正之 외: 유전체현상론, 일본전기학회, pp.89 -- 92 (1983)
- 12) 井出正男: "초음파응용", 전파실험사, pp.119 -- 122, 126, (1980)
- 13) 板岸勝雄: "초음파기술" 동경대학출판회, pp.45 -- 54. (1984)
- 14) 島川正憲: "초음파공학", 공업조사회, pp.19 -- 21, 15, 22 -- 23. (1975)
- 15) 久保光輝-一郎 外: "복합재료와 계면", 종합기술출판사, p.3, 11, 217. (1986)

초음파  
진동  
깊이  
[mm]

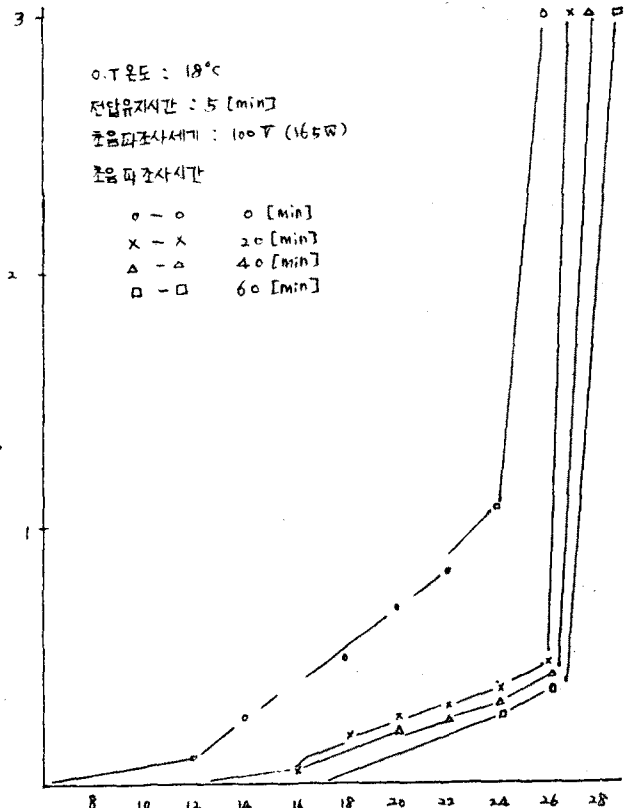


그림 1. 인가전압 [kv] : 초음파조사시간변화에 대한 tree 의 발생과 성장.

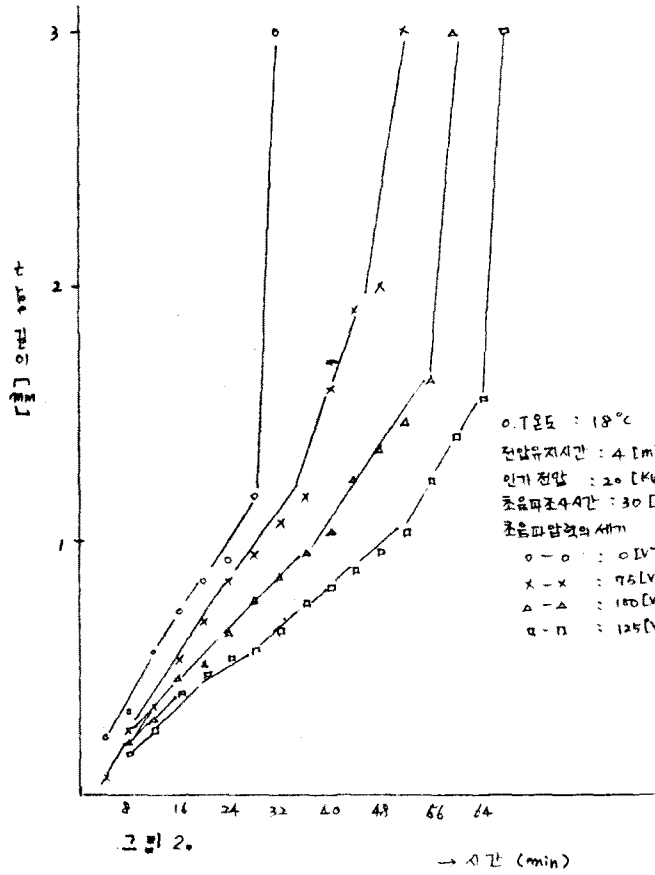


그림 2. 시간 (min) 초음파조사세기 변화에 대한 tree 의 발생과 성장.



초음파조사를 받지 않은 시편에 24Kv 의 적아음 인가후의 tree 모양.



초음파세기를 100V (165W)로 60분간 조사한 시편에 24 Kv의 전압을 인가후의 tree 모양.