

〈論 文〉

초음파법에 의한 Al₂O₃/AC8A 복합재료의 특성평가

박영철* · 이규창** · 이준현***

(1993년 4월 10일 접수)

Non-Destructive Evaluation of Al₂O₃/AC8A Composite by Ultrasonic Measurement

Young-Chul Park, Gyu-Chang Lee and Joon-Hyun Lee

Key Words : Ultrasonics(초음파), Velocity Measurement(속도측정), Attenuation(감쇄), Metal Matrix Composite(금속복합재료), Elastic Constant(탄성정수), Non-Destructive Evaluation(비파괴평가), Backscattering(후방산란)

Abstract

The purpose of this study is to develop the non-destructive material evaluation method of aluminum alloy base metal matrix composite(MMC) by ultrasonics. Five aluminum base MMC specimens were fabricated in which the fractional ratios of fiber were changed from 0% to 31%. Relations among acoustic properties, microstructural features and elastic constant were compared. The ultrasonic velocity method was useful for nondestructive elastic constant measurement of composite materials, since the method had as same accuracy as conventional strain measurement method. Furthermore, velocity, attenuation and backscattering behaviors for each specimen also related to the fractional ratio of fiber and these relations could utilize ultrasonic non-destructive evaluation of fiber structure in MMC.

1. 서 론

MA

최근 산업이 다양하게 발전함에 따라 보다 우수한 성능의 신재료의 개발이 필요하게 되었다. 금속 복합재료(metal matrix composite, MMC)는 기존의 금속재료에 비하여 비강성, 비강도 뿐만 아니라, 내열성, 내마모성 등이 뛰어나 우주항공분야는 물론 자동차분야 등 여러 산업분야에 있어서 실용화가 검토되고 있다. 그러나 금속복합재료는 제조시의 제 현상들이 대단히 복잡하여^(1,2) 엄격한 제조공정 관리 및 품질관리의 시행없이 는 안정된 제품을

양산하기가 대단히 어렵다. 따라서 신뢰성 높은 금속복합재료를 안정하게 양산하기 위하여서는, 우선 제조시의 제 현상들에 대하여 충분한 연구 검토를 통하여 확립된 제품제조 기술에 의한 엄격한 제조 공정관리는 물론, 제조불량의 유무 및 재료의 물성치 등을 간편하고 신속하게 모니터링 할 수 있는 신뢰성 높은 비파괴평가 기술에 의한 엄격한 품질관리 수법의 도입이 절실히 요구된다.

최근 활발한 연구^(3,4) 결과를 통하여 복합재료의 제품제조 기술은 어느정도 확립되어가고 있는 단계이다. 이에 반하여, 복합재료의 비파괴평가법에 대한 연구는 아직 미흡한 단계이며, 특히 비파괴 수법을 이용한 기계적성질, 조직인자 등의 재료특성의 평가에 대한 연구는 거의 없는 상태이다.

따라서 본 논문에서는 금속복합재료의 비파괴 평

*정회원, 동아대학교 기계공학과

**정회원, 산업과학기술연구소

***정회원, 부산대학교 기계설계공학과

가법에 대하여 검토하고자 한다. 초음파법⁽⁵⁾은 대표적인 비파괴평가법으로, 제조된 제품의 전수의 검사가 가능하므로 제품의 신뢰성이 불가결한 복합재료의 비파괴평가에 대단히 적당한 평가방법의 하나라 할 수 있다. 그러나 초음파법은 종래의 균질 등방재료의 측정을 전제로 하는 탄성원리를 기초로 하고 있어, 금속복합재료와 같이 미시적(micro)으로 불균일한 재료에 적용할 경우, 측정정도 및 유효성에 대한 검토가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 초음파법을 이용한 금속복합재료의 비파괴평가방법을 확립할 목적으로 Al₂O₃/AC8A 합금계 금속복합재료를 시료로 하여, 기계적성질중에서 가장 기본이 되는 탄성계수에 대하여 초음파 음속법을 이용하여 그 유효성 및 측정정도에 대하여 검토하였다. 아울러, 초음파 음속, 감쇄특성 및 후방산란 특성을 이용한 금속복합재료의 미세조직 평가방법에 대하여도 검토하였다. 그 결과, 초음파 음속법에 의한 탄성계수 측정은 기계적 시험에 의한 변형을 측정법⁽⁶⁾과 같은 측정정도를 나타낼 수 있을 정도로 유효하였다. 뿐만 아니라, 초음파음속, 감쇄특성 또는 후방산란과 강도특성을 이용하면 금속복합재료의 조직인자중 특히 강화섬유의 함유율을 비파괴적으로 정도 높게 평가할 수 있다는 것을 알았다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 Al₂O₃/AC8A 합금계 복합재료의 제조

강화섬유로서는 ICI 사의 "Saffill" RF 등급의 δ-Al₂O₃섬유를 이용하였으며, 그 평균형상은 직경 2.5~3.5 μm, 길이 65 μm, 종횡비(aspect ratio) 19~26이며, 그 기계적성질은 Table 1과 같다. 기지금속으로는 자동차 엔진에 주로 이용되고 있는 AC8A 내열 합금을 사용하였다. 주조 후의 기지금속의 화학성분 분석결과는 Table 2와 같다.

복합재료의 시료 제작은 예비성형체 제조와 가압 주조공정으로 나눌 수 있다. 예비성형체 제조는 섬유에 2~3% SiO₂ 콜로이드(colloid)를 첨가하여

물에서 고르게 분산시킨 후, 이 용액을 일정한 형태의 틀에 주입하였고, 그 후 진공펌프를 이용하여 빠른 시간내에 용매를 제거하여 예비성형체를 제조하였다. 이와 같이 제조된 예비성형체를 주조에 앞서 섬유간에 용탕의 침투를 촉진시키기 위하여, 600°C에서 1시간 동안 예열하였다. 예열된 예비성형체를 약 300°C로 가열된 금형내에 장착(set)시킨 후, 금형내에 700°C의 AC8A 합금 용탕을 주입한 후, 펀치(punch)를 이용하여 금형내의 용탕에 75 MPa의 압력을 가압하여 시료를 제작하였다. 이때 펀치의 이동속도는 16 mm/sec, 가압시간은 2분으로 하였다. 금형은 복합재료 제조후 시편의 추출을 쉽게 하기 위하여, 좌우분리형을 사용하였으며, 금형온도는 열전대를 이용하여 조절하였다. 제조된 시료는 520°C에서 15시간 균질화 및 용체화 처리를 하여, 급냉한 후, 170°C에서 4시간 시효처리(T6)하였다.

본 연구에서는 금속복합재료의 강화섬유 함유율(V_f)이 실험 목적에 따라, V_f가 0, 12.5, 24.2, 28.0 및 30.8% 5종류인 시료를 준비하였다.

Fig. 1은 각 시료에 대하여 초음파 전파방향으로 절단한 단면에 대하여 광학현미경으로 관찰한 결과를 나타낸다. V_f가 비교적 작은 12.5%의 시료는 알루미늄나 섬유가 지지내에 거의 균일하게 분포되어 있다. 그러나, V_f가 증가한 24.2~30.8% 범위에서는 알루미늄나 섬유의 분산이 다소 불균일하게 분포되어, 곳곳에 강화섬유가 응집되어 있는 부분을 관찰할 수 있다.

제조된 공시체는 Fig. 2와 같이 기계가공을 한 후, 초음파 계측을 실시하였으며, 초음파 계측후의 시험편에 대하여 3점 굽힘시험을 실시하여 기계적 시험에 의한 탄성계수를 구하였다. 한편, 초음파 음속은 하중방향과 수직인 두께방향으로 초음파 탐촉자를 설치하여 측정하였다.

2.2 초음파장치와 측정방법

제작한 Al₂O₃/AC8A 합금계 복합재료에 대하여, 초음파음속, 감쇄, 후방산란 특성에 의한 강화섬유

Table 1 Properties of Al₂O₃ short fiber

Chemical composition (wt%)		Dimension of fiber (μm)		Mechanical properties (GPa)	
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Diameter	Length	Tensile strength	Elastic modulus
96	4	2.5~3.5	65	2	300

Table 2 Chemical composition of aluminum alloy matrix AC8A (wt%)

Si	Mg	Cu	Ni	Al
12.0	1.1	1.2	1.4	84.3

분포 및 탄성계수의 평가에 대하여 검토하였다.

본 연구에 사용된 초음파 계측장치의 모식도는 Fig. 3과 같다. 초음파 계측장치는 초음파탐상기,

오실로스코프(digital oscilloscope), 퍼스널컴퓨터(personal computer)로써 구성되어 있다.

Fig. 4는 본 연구의 초음파장치에 의하여 계측된 수신신호의 예이다. (a)에서 보는 바와 같이 초음파 탐촉자에서 발신된 초음파는 수중을 전파하여 시료표면에 도달하면 그 일부는 ①과 같이, 시료표면에서 반사되나 나머지는 시료중을 전파함에 따라서, CRT(cathode ray tube)상에는 (b)와 같이 여진 펄스(pulse)에 이어서, 시료의 표면반사파 ①과

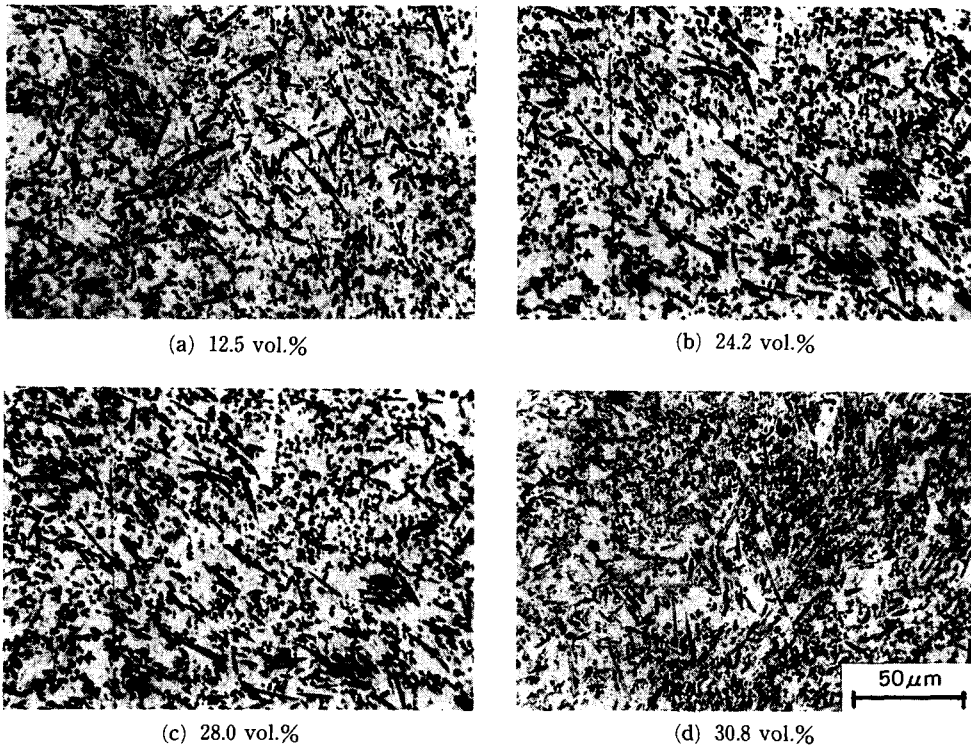


Fig. 1 Microstructures of each specimen

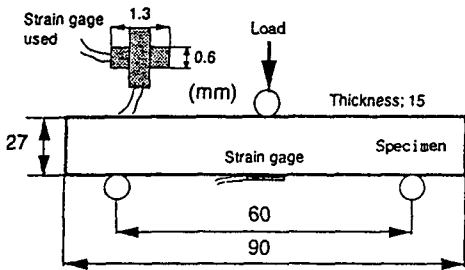


Fig. 2 Shape and dimensions of three point bending specimen

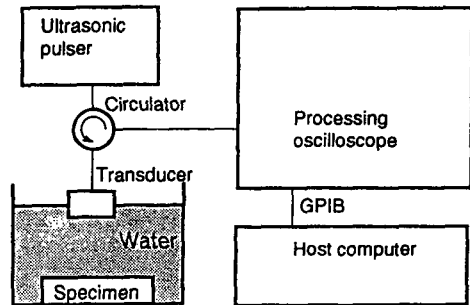


Fig. 3 Schematic diagram of ultrasonic velocity and attenuation measurement system

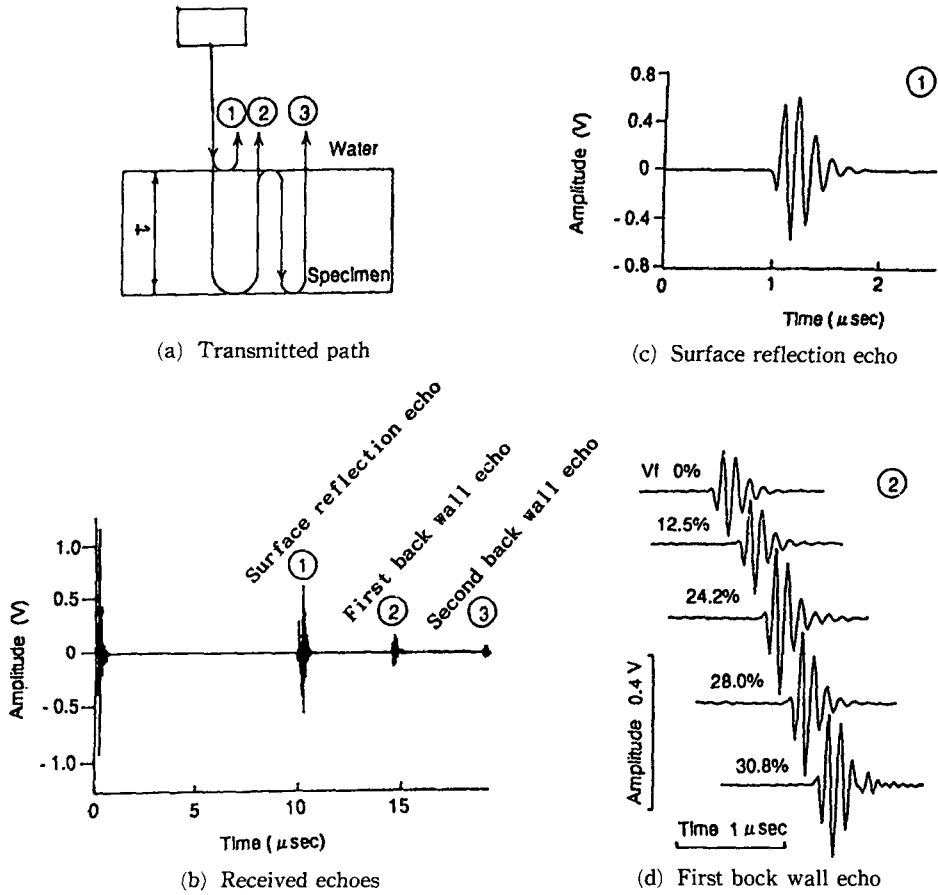


Fig. 4 Received echoes

1회 저면반사파 ② 그리고 2회 저면반사파 ③을 각각 관찰할 수 있다. 이와 같이 ①에 비하여 ②, ③의 신호강도가 점점 저하되어지는 것은 초음파가 시료중을 전파함에 따라 감쇄되기 때문이다.

한편, 이와 같은 각 수신파형들이 강화섬유 함유율에 따라서 어떻게 변하는가에 대해서 검토하여 본 결과 (c), (d)와 같다. 표면반사파 ①은 (c)에서 보는 바와 같이 V_f 에 관계없이 어떤 시료에서도 동일한 신호강도와 형상을 가질뿐만 아니라, 출현위치도 동일위치이다. 즉, 표면반사파 ①은 직접 시료중을 전파한 후 반사하여 얻은 신호가 아니고, 단지 수중을 전파한 후 시료표면에서 반사되어 돌아온 신호이므로 시료에 관계없이 항상 동일한 반사파를 얻게된다. 이에 반하여 (d)의 저면반사파 ②는 출현위치 및 신호강도가 V_f 에 의존하여 달라지나, 파형의 형상만은 V_f 에 관계없이 항상 동일

한 형상이다. 따라서 본 연구에서와 같이 강화섬유 함유율이 다른 시료에 대하여 초음파음속 및 감쇄 특성을 이용하여 복합재료의 조직 및 물성을 평가할 경우 이와 같이 파형의 형상이 표면반사파와는 물론 저면반사파에서도 V_f 에 관계없이 어떤 시료에서도 항상 동일한 형상의 파형을 가지고 있으므로, 각 시료의 음속 및 감쇄특성이 보다 정확하게 측정될 수 있다는 것을 알 수 있다.

한편, 본 연구의 음속측정방법에는 음속을 미리 알고 있는 표준시료와 측정시료의 표면반사파 ①과 저면반사파 ②와의 전파시간 Δt 를 비교하여, 양시료의 Δt 의 변화로부터 음속을 구하는 음속측정방법(R·B1법)을 이용하였다.

음속측정은 중심주파수가 6 MHz의 종파탐촉자와 중심주파수가 5 MHz의 횡파탐촉자를 이용하여 종파 및 횡파의 음속을 각각 측정하였다. 횡파의

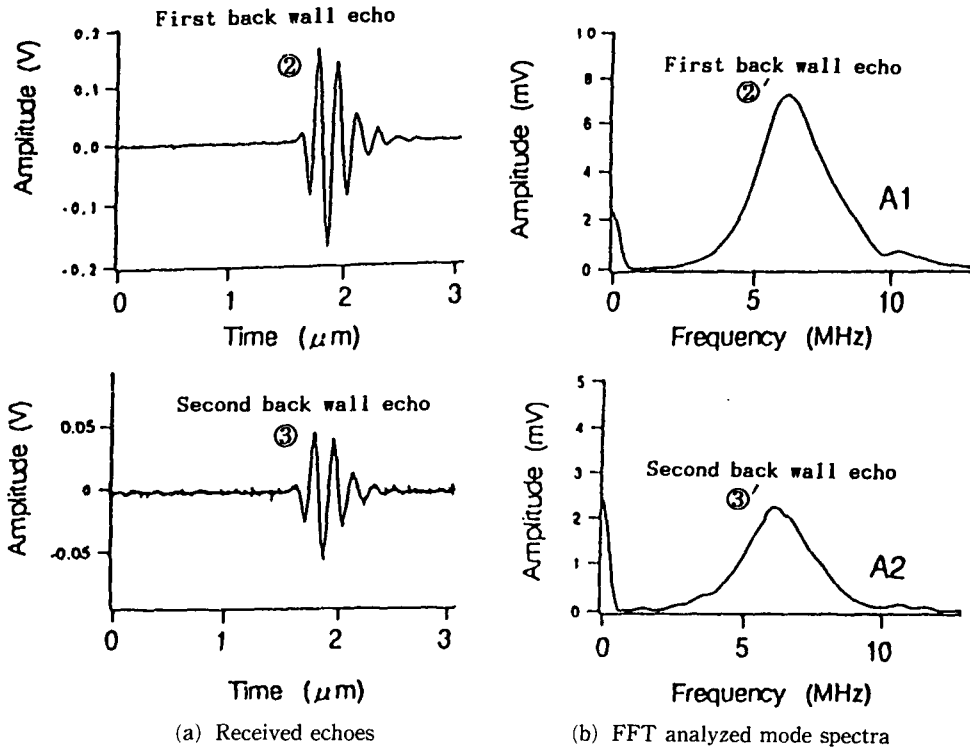


Fig. 5 FFT analyzed mode spectra for received echoes

음속측정은 직접접촉법에 의하여 측정하였으며, 시험편의 길이방향과 그 수직방향의 두 방향의 음속을 각각 측정하였다. 이에 반하여, 감쇄특성 및 후방산란 특성, 그리고 종파의 음속측정은 접촉조건에서 오는 오차를 최소한으로 줄이기 위하여 수침법을 이용하였다. 한편, R-B1법의 표준시료로서는 탄성적으로 등방성 균질재료인 석영유리를 이용하였다. 초음파측정은 재료의 국부적인 불균일 정도에 대한 파악 및 전체의 평균값을 구할 목적으로, 시험편의 길이 방향으로 15 mm 간격으로 5개 위치에서, 각각 3회씩 합계 15회를 측정하였다.

영률(Young's modulus) 및 푸아송비(Poisson's ratio)는 측정된 초음파의 종파음속(C_1)과 횡파음속(C_2) 그리고 밀도(ρ)를 식(1), (2)에 대입하여 구하였다.

$$\nu = \frac{C_1^2 - 2C_2^2}{2(C_1^2 - C_2^2)} \quad (1)$$

$$E = \frac{C_1^2(3C_2^2 - 4C_1^2)}{C_1^2 - C_2^2} \rho \quad (2)$$

한편, 초음파특성과 조직특성과의 관계를 검토하

기 위하여, 음속뿐만 아니라 감쇄특성의 측정도 수행하였다. 감쇄특성은 Fig. 5에서 보는 바와 같이, 시료저면에서 반사되는 1회 저면반사와 ②와 2회 저면반사와 ③을 각각 FFT(fast fourier transform)처리를 하여 구한 스펙트럼(spectrum) ②', ③'의 강도비 A_1/A_2 를 전파거리차인 시료의 두께 $2t$ 로 규격화한 식(3)에 의하여 구한 감쇄 파라미터 α 로 정량화 하였다.

$$\alpha = 20 \log(A_1/A_2)/2t \quad (3)$$

또한 후방 산란파에 대하여서는 Fig. 4(b)의 ①파와 ②파의 사이에서 수신되어지는 산란신호에 대하여 강도 및 주파수 해석을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 탄성계수의 평가

Fig. 6 및 Fig. 7은 각 시료에 대하여 초음파 음속법으로 측정된 영률 및 푸아송비를 3점 굽힘시험에 의한 변형률 측정에 의하여 구한 값과 비교하여

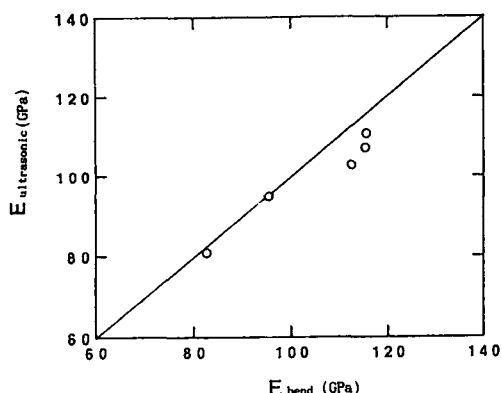


Fig. 6 Comparison of Young's modulus estimated by Ultrasonic velocity measurement and by strain measurement

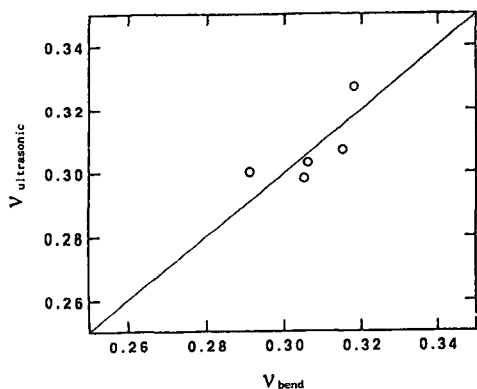


Fig. 7 Comparison of Poisson's ratio estimated by Ultrasonic velocity measurement and by strain measurement

정리한 결과이다. 초음파에 의하여 측정된 값은 변형률 측정법에 의한 측정값보다 영률은 약 4~6%, 푸아송비는 약 3~5%의 대단히 작은 오차범위에서 잘 대응되고 있다. 따라서, 3점 굽힘시험에 의한 측정값 자체도 오차를 포함하고 있다는 점을 감안하여 보면, 초음파법을 이용한 탄성계수 평가법은 기계적 시험에 의한 변형률 측정법과 거의 같은 측정정도를 가지는 대단히 유망한 탄성계수 평가방법이라는 것을 알았다.

한편, 복합재료의 탄성계수는 강화섬유의 함유율에 의존되며, 이와 같은 복합재료의 탄성계수를 정확히 평가하는것은 복합재료 설계에 있어서 대단히 중요하다. 따라서, 본 연구의 Al합금계 복합재료에 대하여 이론적 탄성계수에 대하여 검토하여 보

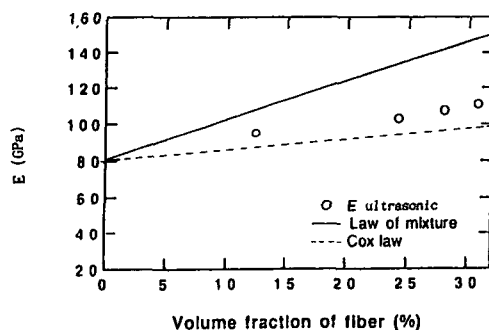


Fig. 8 Estimated Young's modulus dependence on fiber volume fraction

았다.

Fig. 8은 각 시료에 대하여 구한 이론적 영률과 실험적 영률을 비교 검토한 결과이다. 복합재료의 탄성계수에 대한 이론계산식은 대단히 많이 제안되어 있으나, 그중 가장 일반적으로 이용되고 있는 선형복합층과 Cox식^(2,7)은 각각 식(4)와 (5)로 나타낼 수 있다.

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (4)$$

$$\bar{E}_c = \eta \alpha E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad (5)$$

$$\alpha = 1 - [\tanh(\beta l / 2) / (\beta l / 2)] \quad (6)$$

$$\beta = [(2G_m / E_f r^2 \ln(R / r_o))]^{0.5} \quad (7)$$

여기서,

E_c : 복합재료의 영률

E_f : 섬유영률; $E_f = 300$ GPa

E_m : 기지금속의 영률; $E_m = 80$ GPa

η : 강화섬유 배향계수; $\eta = 3/8$

G_m : 기지금속의 횡탄성계수; $G_m = 29.6$ GPa

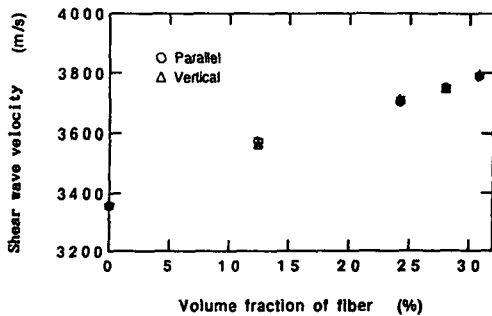
R : 섬유의 분포간격; $R = 0.952 / V_f$

r_o : 섬유의 반경; $r_o = 1.5 \mu m$

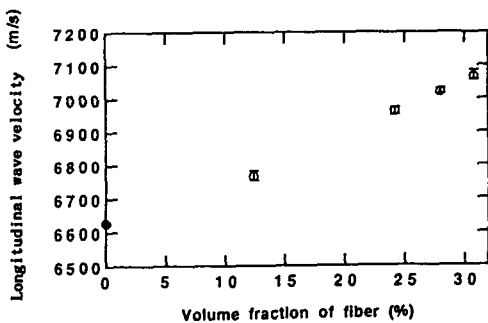
l : 섬유의 길이; $l = 65 \mu m$

그림중에는 초음파음속을 이용하여 측정된 값을 ○로 표시하였으며, 단순복합층 식(4)로부터 계산한 이론값은 실선으로 표시하였으며, Cox식(5)에 의하여 계산한 이론값은 점선으로 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 본 시료는 단섬유가 불연속적으로 랜덤(random)하게 분포되어 있으므로, 단순복합층에 의한 이론값은 당연히 실측값보다 대단히 크게 평가되어 진다는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 Cox식에 의하여 구한 이론값은 실측값에 대단히 근접하고는 있으나, 실측값보다 다소 작게

나타나고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 Cox식의 이론값이 실측값보다 다소 작게 나타나는 것은 Cox식의 이론적 배향계수 η 값에 원인이 있다고 할 수 있으며, 따라서 배향계수값을 0.55로 수정하여 이론 탄성계수를 계산하여 보면, Cox 이론값은 실측값과 거의 일치하게 된다. 이와 같이 2차원 랜덤 분포에서의 이론적 배향계수 $\eta=3/8$ 가 본 연구에서의 배향계수 $\eta=0.55$ 와 다소 차이가 나는 원인으로서는 이론적 배향계수의 경우 강화섬유의 축방향의 보강효과를 전혀 무시하고 계산하였기 때문에 실제보다 다소 낮게 계산되어졌다고 생각된다. 이와같은 배향계수의 차이는 다른 금속복합재료의 결과에서도 관찰되었으며, (6) 배향계수의 정확한 평가에 대한 연구가 앞으로의 과제이다. 이상과 같이, 탄성계수는 이론적 계산식에 의하여 정확히 평가될 수 있으며, 이는 복합재료 설계에 있어서 대단히 중요하다. 따라서 보다 정확히 탄성계수를 추정할 수 있는 이론 계산식에 대한 상세한 검토가 필요하다고 생각되며 이에 대하여서는 현재 연구검토 중에 있다.



(a) Shear wave velocity



(b) Longitudinal wave velocity

Fig. 9 Relations between velocity and fractional ratio of fiber

3.2 강화섬유 함유율의 평가

본 연구의 $Al_2O_3/AC8A$ 복합재료의 섬유 Al_2O_3 와 기지 AC8A는 각각의 초음파음속과 감쇄특성이 크게 다르다. 즉, Al_2O_3 섬유는 AC8A기지에 비하여 대단히 빠른 음속을 가지는 반면에 저감쇄재료이다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 강화섬유와 기지금속의 각각 다른 초음파특성을 이용하여 복합재료의 강화섬유 함유율의 비파괴평가에 대하여 검토하여 보았다.

Fig. 9는 초음파음속을 이용하여 강화섬유 함유율을 평가한 결과를 나타낸다. (a)에서 보는 바와 같이 횡파의 음속은 V_T 가 증가함에 따라서 선형적으로 증가하여, 횡파의 음속과 V_T 사이에는 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 동일시료의 5점의 측정위치에서 측정된 음속의 편차는 최대 0.7%로 대단히 작았다. 뿐만 아니라, 횡파의 길이

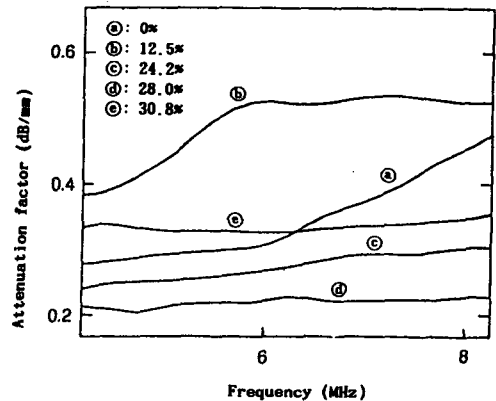


Fig. 10 Attenuation factor spectra

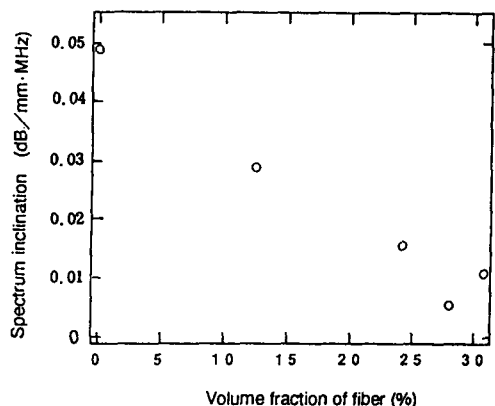


Fig. 11 Relations between spectrum inclination and fractional ratio of fiber

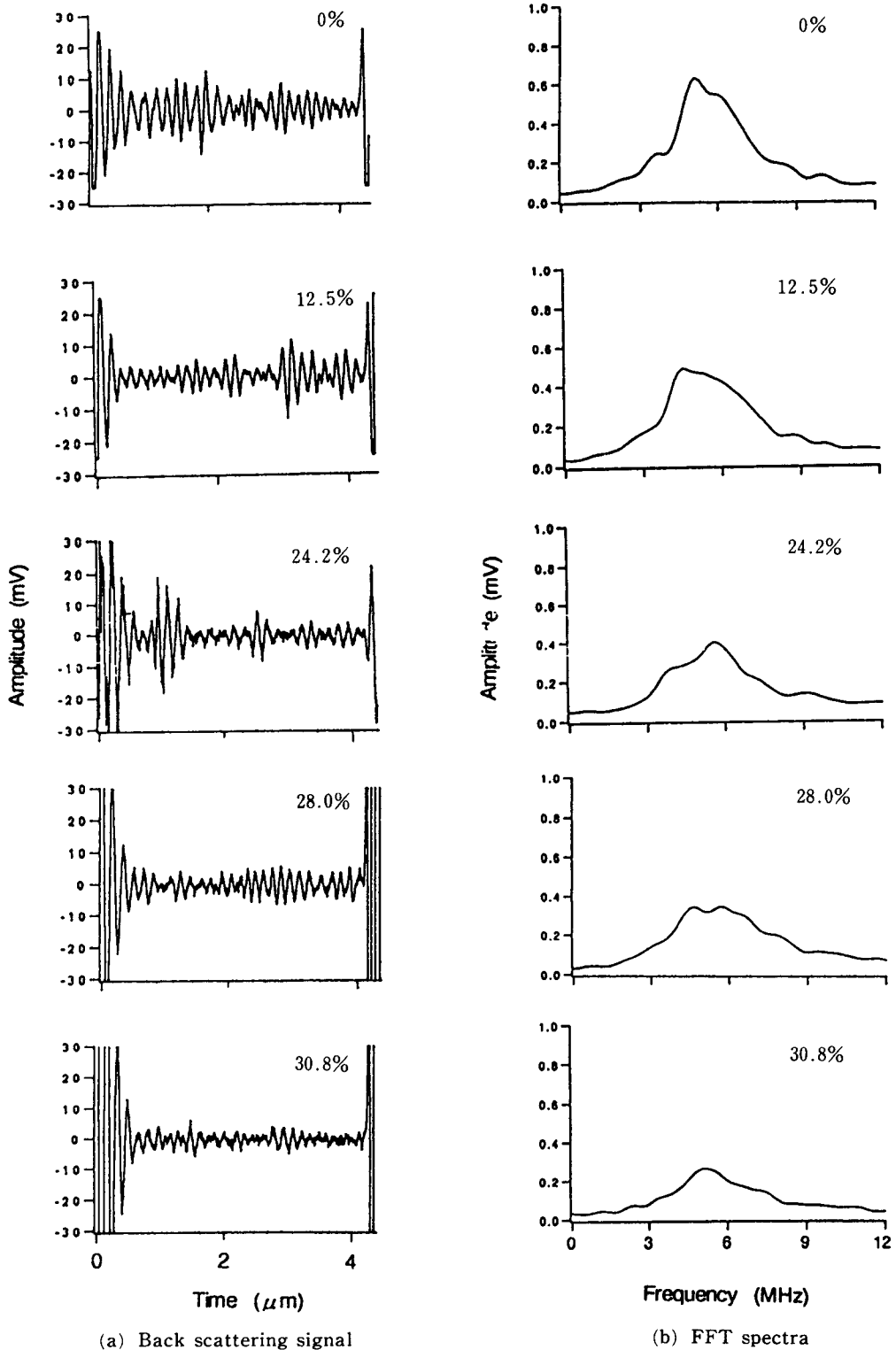


Fig. 12 Backscattered signal and FFT analysis of each specimen

방향과 그 직각방향의 두방향의 음속의 편차도 최대 0.8%로 대단히 작은 값이었다. 한편, (b)의 종파의 음속도 앞의 횡파의 결과와 마찬가지로 V_f 가 증가함에 따라 선형적으로 증가하여 종파의 음속과 강화섬유 함유율 사이에는 상관관계가 있음을 알았다. 또한, 측정위치에 따른 종파의 음속편차도 최대 0.4%로 대단히 작았다. 이상의 실험결과로부터 초음파 횡파 및 종파의 음속을 이용하면 강화섬유 함유율을 정도 높게 평가할 수 있다는 것을 알았다.

Fig. 10은 각 시료에 대하여 감쇄계수의 주파수 특성을 검토한 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와같이 감쇄계수의 크기와 V_f 와는 아무런 상관관계를 찾을 수가 없었다. 그러나, 스펙트럼의 형태는 V_f 와 상관관계가 있어, 중심 주파수에 있어서 스펙트럼의 기울기는 V_f 가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 11은 각 시료의 중심 주파수 4~6 MHz에서의 스펙트럼의 기울기와 강화섬유 함유율의 관계를 정리한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 스펙트럼 기울기와 V_f 사이에는 직선적인 반비례의 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이와 같이 강화섬유의 함유율이 증가할 수록 감쇄계수가 저하하는 원인에 대해서 고찰해 보면 다음과 같이 설명할 수 있다. 즉, 본 연구의 복합재료에서 강화섬유 함유율에 따라서 감쇄계수가 변화하는 요인은 크게 두가지가 있으며, 첫째로, 강화섬유 함유율이 증가함에 따라 섬유와 기지의 계면이 증가하여 계면에서의 산란량이 커지므로 감쇄계수는 증가하게 된다. 그리고 둘째로, 강화섬유와 지지금속의 감쇄특성이 각각 서로 달라 강화섬유 Al_2O_3 가 지지 AC8A보다 훨씬 저감쇄재료이므로 강화섬유 Al_2O_3 함유율이 증가함에 따라서 복합재료의 평균 감쇄계수는 점점 저하되게 된다. 따라서 이와 같은 두가지 상반되는 요인중 본 연구에서는 강화섬유의 직경이 $3.5 \mu m$ 인데 반하여 사용한 탐촉자의 주파수가 약 10 MHz이므로 초음파의 파장은 약 $600 \mu m$ 로 대단히 크기 때문에 계면에서의 산란은 크게 일어나지 않았을 것이므로 계면에서의 산란에 의한 감쇄계수의 증가요인 보다 저감쇄재료인 Al_2O_3 섬유의 함유량의 증가에 따른 복합재료의 평균적인 감쇄계수의 저하의 효과가 훨씬 더 큰 결과 이와같이 강화섬유의 함유량의 증가에 따라 감쇄계수가 저하하는 것으로 사료된다.

이상과 같이 강화섬유 함유율은 단순히 Fig. 10

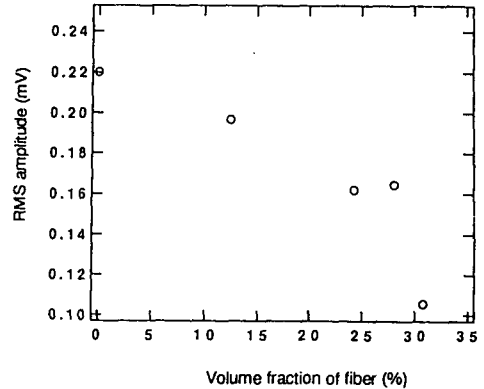


Fig. 13 Relation between RMS amplitude of backscattering and fractional fiber Spectrum inclination

의 감쇄계수 크기만으로는 평가가 어려웠지만, 중심 주파수 부근 영역에서의 스펙트럼 기울기를 사용하면 강화섬유 함유율을 어느 정도 정량적으로 평가할 수 있다는 것을 알았다.

Fig. 12는 각 시료에 대하여 측정된 후방산란파형을 FFT 처리하여 구한 스펙트럼특성을 나타낸다. 그림에서 이 후방산란파의 FFT스펙트럼의 형상은 V_f 에 관계없이 거의 같은 형태의 파형을 나타내고 있으나, 스펙트럼 강도는 V_f 가 증가함에 따라 저하되고 있음을 알 수 있다. 따라서, Fig. 13는 이와 같은 후방산란파의 FFT스펙트럼 실험치 강도와 V_f 의 관계를 정리한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 후방산란파의 스펙트럼 강도는 V_f 가 증가함에 따라 선형적으로 저하함을 알 수 있다.

이상과 같이 초음파특성을 이용한 복합재료의 조직평가에 대하여 검토하여 본 결과, 강화섬유 함유율은 초음파특성 특히 초음파음속과의 사이에 강한 상관관계가 있음을 알았다. 뿐만 아니라, 초음파음속을 이용한 재료종의 기공률 평가뿐만 아니라 2상 조직재료에서의 제2상 함유율의 평가에 대한 연구 보고^(5,9-11)도 있으므로, 본 연구의 금속복합재료에 있어서도 알루미늄합금 지지층의 강화섬유 함유율을 초음파음속 측정으로부터 정확히 평가할 수 있는 가능성이 있다. 더욱이, 감쇄파라미터와 강화섬유 함유율 그리고 후방산란파 강도와 강화섬유 함유율 사이의 강한 상관관계를 고려하면, 음속, 감쇄파라미터, 후방산란파 강도와 같은 초음파의 여러방법을 병용하여 강화섬유 함유율에 대하여 평가

하면 그 신뢰도를 더욱 더 높일 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

초음파 음속법, 감쇄법 및 후방산란법에 의하여 Al₂O₃/AC8A 합금 복합재료의 물성의 비파괴평가에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 초음파 음속법으로 측정된 탄성계수는 종래의 기계적 시험에 의한 변형률 측정방법과 거의 같은 측정정도를 지니고 있으므로, 초음파 음속법은 금속복합재료의 탄성계수의 비파괴평가법으로서 유효하게 사용될 수 있다는 것을 확인하였다.

(2) 강화섬유의 함유율은 초음파음속, 감쇄파라미터 그리고 후방산란과 강도와 각각 일정한 상관관계에 있으므로, 이러한 상관관계를 이용하면 강화섬유의 함유율은 초음파법에 의하여 비파괴적으로 평가할 수 있다.

후 기

본 연구는 日本 東北大學 材料評價研究室과의 공동연구에 의하여 수행되었으며, 본 연구수행에 많은 도움을 주신 東北大學의 伊達和博 教授, 三原毅 博士에게 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) J. A. Veston, and Kelly, A., 1973, "Theory of Multiple Fracture of Fibrous Composites," *J. of Materials Science*, Vol. 8, pp. 352~362.
- (2) Cox, H. L. 1952, "The Elasticity and Strength of Paper and Other Fibrous Materials," *British Journal of Applied Physics*, Vol. 3, pp. 72~79.
- (3) 白京昊, 李揆暢, 韓京燮., 1990, "Al₂O₃-AC8A 복합재료의 가압력에 따른 미세조직과 인장강도," 한국복합재료학회지, Vol. 3, pp. 49~56.
- (4) 白京昊, 李揆暢, 安相鎬, 1992, "Al₂O₃/AC8A 복합재료의 계면반응과 기계적 성질," 대한금속학회지, Vol. 30, pp. 29~36.
- (5) Krautkramer J. and Krautkramer, H. 1983, *Ultrasonic Testing of Material*, Third, Revised Edition, Springer-Verlag, pp. 580~628.
- (6) Lee, S. Munro, M. and Scott, R. F. 1990, "Evaluation of Three In-Plane Shear Test Methods for Advanced Composite Materials," *Composites*, Vol. 21, pp. 495~512.
- (7) 藤井太一, 座古勝, 1982, "複合材料の破壊と力學" 實教出版社, pp. 96~97.
- (8) 森本啓之, 大内權一郎, 1988, "SiC ウィスカ強化アルミニウム合金復合材料の機械的性質に及ぼすウィスカ體積率の影響," 輕金屬, Vol. 38, pp. 658~664.
- (9) Raynolds, W. S. and S. J. Wilkinson, 1978, "The Analysis of Fiber-Reinforced Porous Composite Materials by the Measurement of Ultrasonic Wave Velocity," *Ultrasonics*, Vol. 16, No. 4, pp. 159~176.
- (10) Rose, J. L. Pilarski, A. and Huang, Y. 1990, "Surface Wave Utility in Composite Material Characterization," *Res. Nondestruct. Eval.*, Vol. 1, pp. 247.
- (11) 三原毅, 小幡充男, 島田平八., 1987, "超音波法による粉體成形體の氣孔率と平均氣孔徑の評價," 非破壊検査, Vol. 36, pp. 201~205.