

섬유/플라스틱 사출성형 복합재료의 음향방출 진폭 분포에 대한 감쇠효과

최낙삼*, Kiyoshi Takahashi**

* 한양대학교 기계공학과

** 규슈대학교 응용역학연구소

요 약 짧은 섬유로 강화된 열가소성수지의 복합재료를 대상 재료로 하여 AE의 발생위치(AE source location)를 구하고 AE신호의 진폭분포에 미치는 감쇠 손실(attenuation loss)의 영향을 정량적으로 검토했다. 모의 AE파를 이용하여 측정된 감쇠율은 시험편내의 섬유체적함유율의 증가에 따라 단순 선형관계식으로 예상되는 값보다 더 작았다. 시험편에서 계측된 AE진폭분포에 감쇠손실을 보정한 결과, 시험편의 게이지 부에 설정된 각 구역에서 서로 유사한 수준의 진폭분포가 나타났다. 또한 보정된 AE진폭은 시험편의 변형이 진행됨에 따라 더욱 크게 되었다. 따라서, AE진폭을 이용한 고분자복합재료의 손상해석에서는 AE파의 감쇠효과를 보정해야 됨이 확인되었다.

1. 서 론

기계구조물의 변형 및 파괴시에는 탄성파가 발생되는 경우가 많은데 이를 음향방출(acoustic emission, AE)이라고 하며, AE를 측정·분석함으로써 재료의 변형과 손상의 정도를 비파괴적으로 추정할 수 있다.

기계구조물의 경량화 고성능화 추세에 따라 복합재료를 이용하는 경우가 증가하고 있으며, 최근 AE법을 이용하여 부하정도 및 사용이력에 따른 복합재료의 손상과정을 이해함으로써 파괴강도나 파괴인성을 개선하고자 하는 연구결과가 보고되고 있다^{1~11)}. 복합재료의 파괴과정은 모재의 균열, 섬유파단, 섬유-모재간의 계면균열, 섬유의 인발이라는 국부적 손상이 발생하고 복잡하게 연결하면서 진행되는데¹²⁾, 언제(어느 변형량에서) 어떤 형태의 파괴가 어디에서 발생하고 진행되는지 비파괴적으로 결정하는 것은

매우 유용하다고 하겠다¹³⁾.

그렇지만 섬유 강화 플라스틱(FRP)처럼 모재가 점탄성적인 플라스틱인 경우 AE파가 발생하면 전파중에 그 진폭의 감쇠(減衰)가 상당히 일어나 파괴의 형태(形態)와 위치(位置)를 판정할 때 상당한 오차 또는 오해를 줄 수 있으므로, AE파의 감쇠의 영향을 연구하는 것은 AE검사법을 FRP구조물에서 유효하게 이용하기 위해 매우 중요하다고 볼 수 있다.

Lorenzo와 Hahn⁹⁾은 에폭시 플라스틱에서의 AE파 감쇠를 펄스-센서 방식으로 측정하였다. Narisawa와 Oba¹⁰⁾는 한 개의 유리구슬을 에폭시수지에 넣어 AE파의 감쇠를 검토하였다. Wolters⁴⁵⁾는 한 개의 섬유가 들어 있는 수지의 혼합재를 이용하여 섬유파단에 발생하는 AE파의 감쇠효과를 연구했다.

본 논문에서는 모의 AE파를 이용하여 AE파의 감쇠율(attenuation coefficient)을 섬유체적함유율(Vf)의

합수로써 평가하고, 실제AE파의 최대진폭의 분포에 AE파의 감쇠효과가 미치는 영향을 정량적으로 해석한다. 2개의 AE센서를 인장시험편에 부착함으로써 시험편의 게이지부위를 일정간격으로 나눈 각 구역에서 AE신호를 검출하는 방법을 고안한다. 측정된 감쇠손실량으로 각 구역에서 얻어진 AE진폭분포를 보정하여 해석한다.

2. 실험

2.1. 실험재료

사출성형으로 제작된 짧은 유리섬유 강화 열가소성수지(SGF-PET)를 실험재료로 이용했다. 직경10 μ m의 유리섬유가 아미노실란 커플링제로 표면처리되고 에폭시 집속제로 집속되었으며, 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)수지와 혼합된 펠레트 상태로 사출성형기에 투입되었다. 펠레트중의 섬유의 중량함유율은 1%, 30%, 60%였다. 사출성형기에서는 280 $^{\circ}$ C의 실린더 속에서 혼합수지 펠레트를 용융시킨 후 30 $^{\circ}$ C의 덤벨형 주형에 사출시켰다. 성형된 인장시험편의 형상과 사출방향은 Fig. 1과 같으며 두께가 3mm이고 길이방향이 성형방향과 일치했다. 또한 시험편의 게이지부위에서 대부분의 섬유는 시험편의 길이방향으로 배향하고 있었다. 시험편내의 섬유길이는 SGF1%, 30%, 60%의 경우 각각 40-730 μ m, 20-640 μ m, 20-440 μ m의 범위로 분포했다.

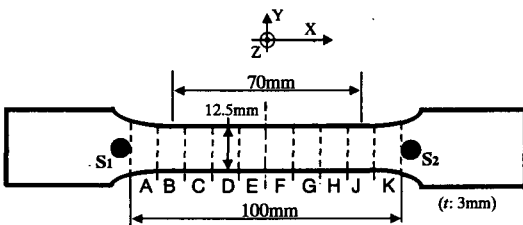


Fig. 1. Dumbbell-shaped specimen geometry and its zoning

2.2. 인장시험과 AE측정

유사한 광역 검출특성을 가진 2개의 PZT센서(F217-M: 50-700kHz광역, 최고감도 주파수 200kHz, 집속부 직경10mm)를 Fig. 1에 표시된 바와 같은 시험편 표면의 위치S₁과 S₂에 일정한 압력으로 부착했다.

센서 사이의 AE측정부위는 영역A에서 영역K까지 10개의 구역으로 나누었다.

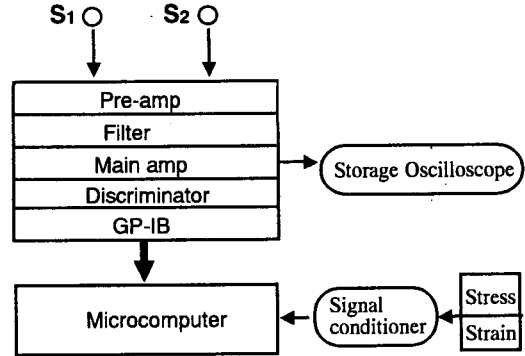


Fig. 2. Block diagram of AE measurement

Table 1. AE measurement conditions

Specimen elongation	: 0.5mm/min
Pre-amp gain	: 40dB
Main-amp gain	: 40dB
Threshold level	: 0.5V
Wave velocity for	
SGF1wt%	: 1630m/sec
SGF30wt%	: 2500m/sec
SGF60wt%	: 3650m/sec

AE측정은 일방향 인장시험중에 하였으며 계측조건은 Table 1과 같다. AE측정장치의 블록 개요도를 Fig. 2에 표시한다. 시험중에는 2개의 센서 S₁과 S₂에서 검출되는 AE파의 도착시간 차를 마이크로컴퓨터가 계산하여 개개의 AE의 발생위치(source location)를 자동으로 결정하였으며, AE를 측정하고자 하는 부위 밖에서 검출되는 신호는 잡음으로 처리하여 제거했다. 한 개의 AE사상(event)은 센서 S₁과 S₂에서 함께 검출되었지만, 보다 일찍 도착한 신호를 AE데이터로서 수록했다. 이렇게 하여 얻어진 AE데이터로서는 AE사상수(event counts), AE에너지, AE최대진폭분포가 얻어졌다. 이들 데이터를 시험편의 각 구역에서 측정하였으며 플로피 디스크에 수록하여 재계산이 가능하도록 했다. AE측정중에는 스토리지 오실로스코프를 주앰프(main amp)의 출력부에 연결하여 AE신호의 파형 및 문턱전압(threshold voltage V_{th}: 0.5V) 이상인 신호의 전압수위를 점검하였다.

AE파의 전파속도는 연필심(직경 0.3mm, HB) 부러뜨리기를 모의AE의 발생원(發生源, source)으로

이용하여 측정하였다. 본 AE 측정장치의 AE 발생원 위치표정법(AE source location determination)을 기초로 Fig. 3과 같이 연필심 부러뜨리기 입력위치가 AE사상의 출력위치가 거의 같도록 조정하여 AE전파 속도를 구한 것이다.

AE파의 감쇠는 Fig. 4와 같이 펄서(S2200-T : 주파수 200kHz)신호를 모의AE의 발생원으로 하여 측정하였다. 즉 센서와 동일한 공진주파수의 펄서를 모의 AE 발생원으로 이용하여 감쇠계수 측정에 대한 주파수 조건을 일정하게 했다.(연필심 부러뜨리기를 모의AE 발생원으로 선택한 경우 다양한 주파수의 AE파가 전파되어 실제AE파에 근사할 수 있지만, 부러뜨리기 실험에 의한 진폭분포와 감쇠측정결과에 편차가 컸으므로, 본 연구에서는 Fig. 4와 같은 펄서-센서 방식을 감쇠계수 측정에 사용했다.)

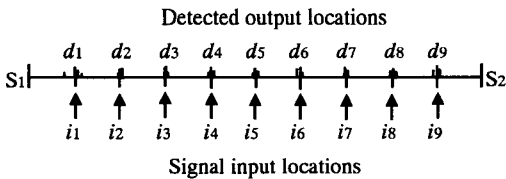


Fig. 3. Measurement of propagation velocity of simulated AE waves using a source-location determination technique (input source : pencil lead break)

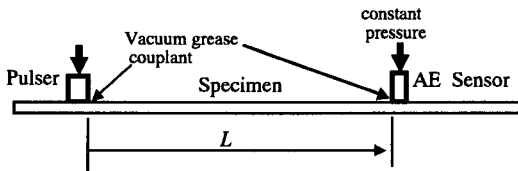


Fig. 4. Wave attenuation measurement using the pulser-sensor method

2.3. 파괴과정의 관찰

시험편 표면을 0.05 μm 크기의 알루미늄 분말로 폴리싱 연마처리한 뒤 시험편에 하중을 가하고, 시험편 표면의 파괴과정을 주사형 전자현미경(SEM)을 이용하여 실상향(in situ)으로 관찰했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. AE파의 감쇠율

Fig. 5는 모의AE파의 감쇠특성에 대한 섬유의 체적

함유율(V_f)의 효과를 나타낸다. 감쇠계수(감쇠율) α 는 다음의 식⁹⁾으로 정의된다.

$$V = V_0 \cdot 10^{(-\alpha \Delta L/20)} \dots\dots\dots (1)$$

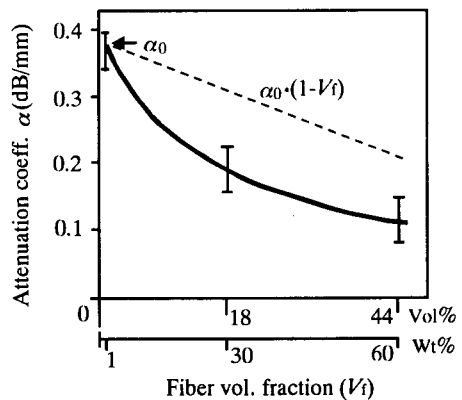


Fig. 5. Wave attenuation characteristic as a function of fiber volume fraction

여기서 ΔL 은 AE파의 전파거리, V_0 와 V 는 각각 전파전후의 AE파의 진폭전압이다. V_0 와 V 의 값은 펄서로부터 각각 20mm, 60mm의 원거리 영역(far field)에서 구해졌다(Fig. 4 참조). Fig. 5에서 점선은 α 가 V_f 에 따라 선형적으로 감소한다는 가정하에 그려진 것이다. 이 경우는 섬유가 수지내에서 무작위적(random)으로 분포하고 있으며 감쇠는 수지중에서만 발생한다고 가정한다. 또한 모의AE파의 주파수에 대응하는 파장(12.5mm)을 감안할 때 섬유부에서의 응력파산란이나 감쇠는 무시할 수 있다($V_f = 1$ 이면 섬유의 감쇠율 = 0)고 전제한다. 그림에서 실선은 SGF-PET재료로 부터 구한 실험결과를 나타내는데 V_f 의 증가에 따라 점선에서 예상되는 경우보다 α 값이 크게 감소했다. 이는 시험편속에 함입되어 있는 섬유의 배향 효과(fiber orientation effect) 때문으로 생각된다¹⁴⁾. Fig. 6에서 보는 바와 같이 섬유가 시험편내에서 사출성형방향(Fig. 1에서 x방향)으로 배향되어 있었으며 이 방향은 α 값의 측정방향과 같았던 것이다. 한편, 사출성형과 수직방향(Fig. 1의 y방향)의 감쇠계수는 시험편의 폭이 작아 본 시험장치로 측정할 수 없었으나 섬유의 배향효과가 낮아 α 값은 x방향보다 훨씬 높을 것으로 생각된다¹⁴⁾.

이 실험에서 구한 감쇠율 값은 실제AE신호의 감쇠율과 유사할 것으로 생각된다. 왜냐하면 첫째, 실제AE파이든 모의AE파이든 본 시험편내를 전파하는 중에

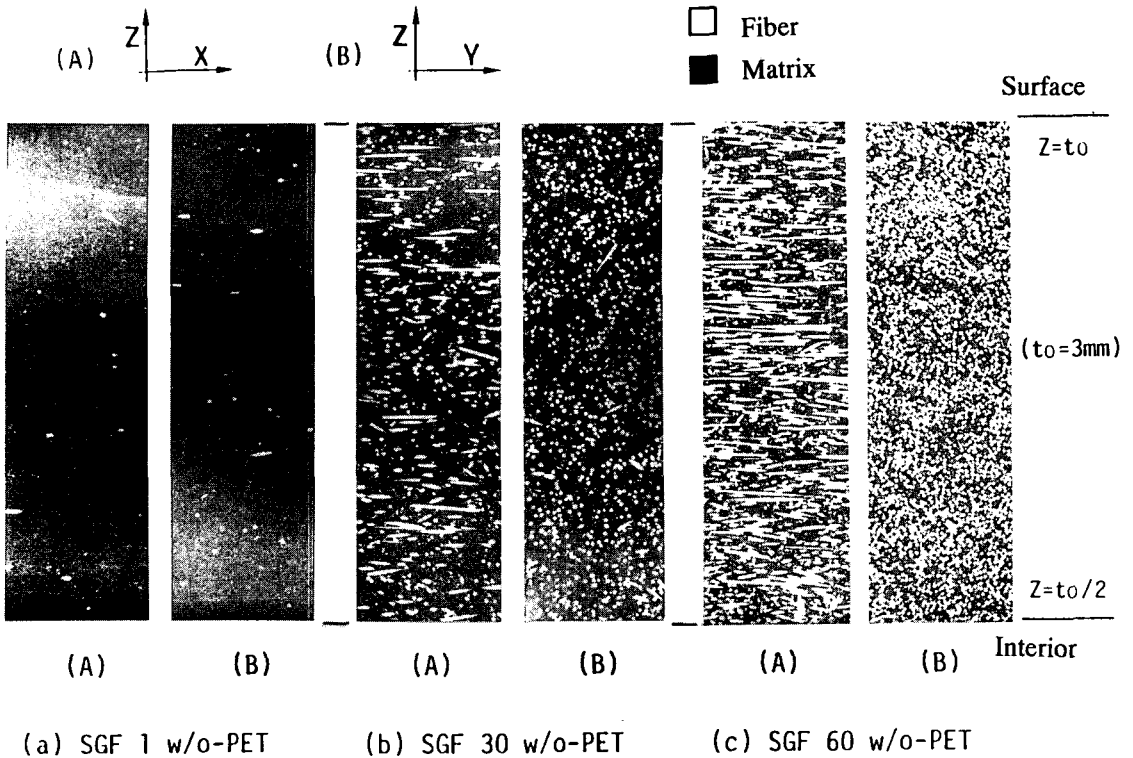


Fig. 6. Fiber orientation in matrix of injection-molded fiber/ PET thermoplastic composites (for coordinates, see Fig. 1.)

전단형 모드의 응력파(shear stress wave)나 비대칭형 판파(asymmetric Lamb wave)가 센서에서 주로 검출되며(Fig. 1과 Fig. 4에서 얇은 시험편 표면에 수직하게 부착된 센서의 방향차조) 둘째, 필서와 AE센서의 공진주파수(resonant frequency)가 200kHz로서 같고 셋째, 본 시험편의 AE파는 대체로 넓은 주파수영역을 가지나 센서는 200kHz의 응력파를 높은 감도로 검출하여 AE신호로서 출력하기 때문이다.

3.2. 인장변형거동 및 AE사상수 특성

Fig. 7은 SGF30wt%-PET시험편의 응력-변형률 곡선 및 이에 따른 AE누적사상수(ΣN)의 변화를 나타낸다. 변형이 증가함에 따라 ΣN 의 증가율은 처음단계에서는 작게, 다음단계에서는 크게, 마지막 단계에서는 다시 작게 나타났으며 ΣN 곡선은 각각 단계 I, II, III으로 구분될 수 있었다. 최대하중(σ_{max})의 약 50% 수준인 P_1 에서 AE파가 발생하여 검출되었고 그 후의 단계 I을 보면, ΣN 이 느린 속도로 증가했다. 이 단계

에서는 섬유 끝단에서 인장형 균열이 발생하기 시작하였으며 섬유끝단의 측면의 섬유/수지간의 계면부에서 전단형 항복이 일어났다. 또한 섬유의 일부가 파손되었다. 단계 I과 II의 경계 P_2 는 최대하중의 85%정도에 해당했으며, 단계 II에서 ΣN 은 급하게 증가했다. 여기에서는 섬유의 파단(fiber breakage)이 수적으로 많이 증가하였으며, 섬유의 단부 및 파단부에서 발생한 인장형 균열(tensile cracking)이 수지중에 전파하였다. 또한 섬유측면부에서는 전단형 균열(shear cracking)이 일어나 섬유단부에서의 공동화(voiding)를 유발시켰다. 단계 II와 III의 경계는 최대하중점을 지난 변형률 3.3%에서의 하중 P_3 에 대응했으며 단계 III에서는 ΣN 의 증가율이 완화되었다. Fig. 8의 SEM사진에서 관찰할 수 있듯이, 이 단계에서는 섬유의 파단과 수지 및 계면부의 균열이 시험편의 국부적 영역에서 서로 합체하여 거시적 파괴의 출발지점을 형성하였다. 시험편은 Fig. 9의 광학카메라 사진에서 볼 수 있듯이 구역 E에서 최종적으로 취성적인 파단을 했다

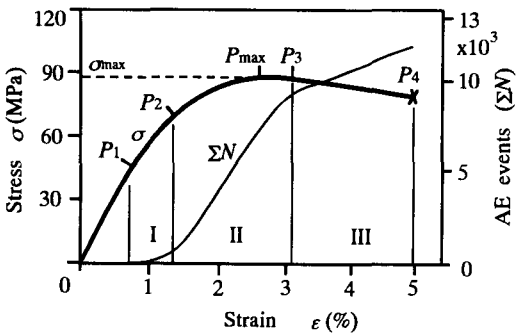


Fig. 7. Load and AE events against strain of a SGF30wt%-PET specimen

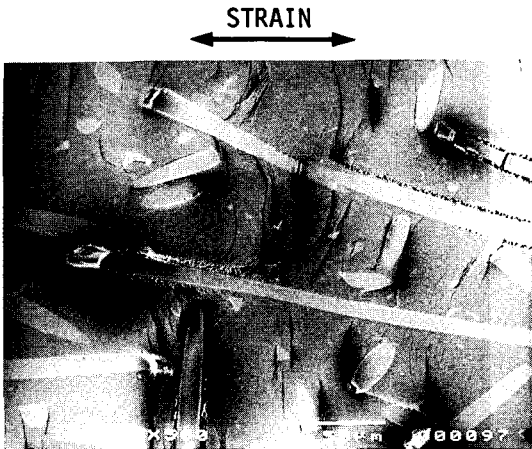


Fig. 8. Scanning electron microscopic observation of fracture process of the specimen in stage III of Fig. 7.

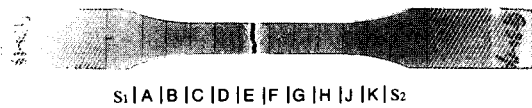
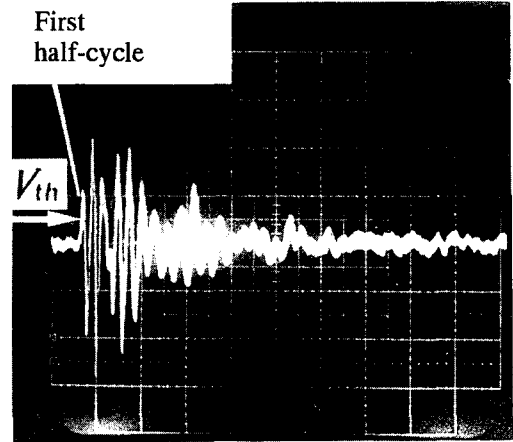


Fig. 9. Photograph of the fractured specimen in Fig. 7.

Fig. 10은 스토리지 오실로스코프로 잡은 실제 AE 신호의 한 예이며 이 신호는 전단형 모드(shear mode)를 주로 갖는 한 개의 응력과 꾸러미(stress wave packet)라고 생각된다¹⁵⁾. 시험편에서 검출된 모든 AE 파는 이 신호와 유사한 돌발형(burst type)으로 나타났으며 신호유지시간(signal duration)은 60 μsec-5msec였다. 이는 AE파가 불안정하고 불연속적인 국부적 파손과정에서 발생했음을 나타낸다. 또한 관찰된 대부분의 AE신호의 경우, 첫 번째 반사이클(half-cycle)의 정

점(peak)과 두 번째 반사이클의 정점의 전압차이가 그다지 크지 않았고 첫 번째 반사이클의 정점의 전압이 문턱전압($V_{th}=0.5V$)보다 컸으므로 본 실험에서의 AE 발생위치 표정(AE source location)은 비록 일차원적인 표정이지만 상당히 정확했을 것으로 생각된다.



$V_{th}=0.5V$
X=25 μs/div, Y=1V/div

Fig. 10. Typical example of a real AE signal

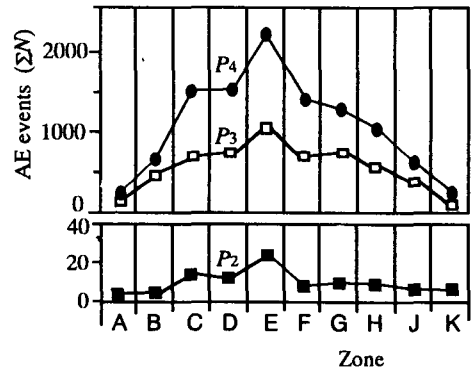


Fig. 11. Distribution of AE event counts measured during loading until P_2 , P_3 and P_4 of Fig. 7.

Fig. 11은 Fig. 7에서 각 하중수준 P_2 , P_3 , P_4 까지 부하를 거는 동안 얻어진 시험편의 각 구역에서의 ΣN 값의 분포를 나타낸다. P_2 , P_3 , P_4 에 대한 각 곡선에서 한 개의 정점(peak)이 형성되었으며 그 구역은 최종과 단위치인 구역E에 대응했다(Fig. 9 참조). 구역E는 다른 구역보다 더 변형했으며 더 많은 국부적 손상이 일어나 더 많은 AE파가 발생했던 것이다. 이 결과는 본 연구의 AE발생위치 표정(AE source location determination)이 적절히 이루어졌으며 파괴지점의

예측을 위해 상당히 정확성 있는 비파괴검사임을 보여주는 증거가 된다.

3.3. AE진폭에 대한 감쇠의 영향 및 보정

AE발생원의 위치를 Fig. 2에 나타난 바와 같이 마이크로컴퓨터가 계산하여 결정하므로 AE파의 감쇠효과를 정량적으로 분석할 수 있다. 이 AE측정장치에서 AE누적에너지 $\sum E$ 는 다음 식으로 정의되어 있다.

$$\sum E = \sum_{i=1}^N V_i^2 \dots\dots\dots (2)$$

여기서 N은 AE사상(event)의 총수이며, V_i 는 각 AE신호의 최대전압값이다. 따라서 Fig. 7의 각 단계 I, II, III에서 한 개의 사상당 평균전압진폭(mean equivalent voltage amplitude) V_{me} 이 다음식과 같이 정의될 수 있다.

$$V_{me} = \left(\frac{\Delta \sum E}{\Delta \sum N} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서 $\Delta \sum E$ 와 $\Delta \sum N$ 은 $\sum E$ 와 $\sum N$ 이 각 단계에서 증분된 양을 나타낸다. Fig. 12는 Fig. 7의 시험편으로부터 측정된 각 구역별 V_{me} 의 값을 단계 I, II, III별로 표시한 것이다. 시험편의 게이지부에 있는 각 구역 B, C, ..., J의 V_{me} 값은 단계가 I, II, III으로 증가할수록 증가했다.

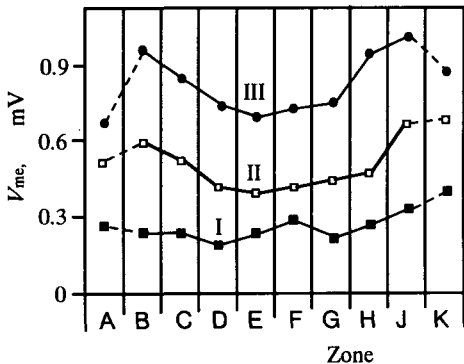
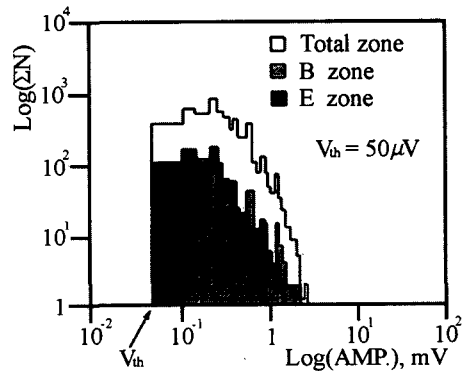


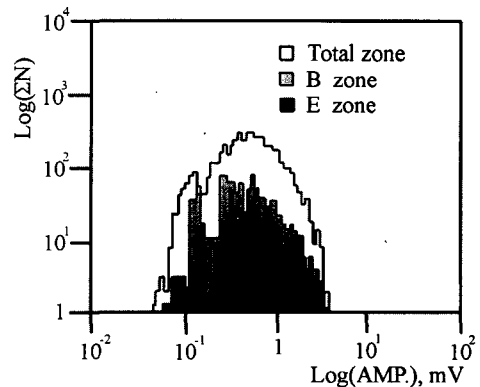
Fig. 12. Distribution of mean equivalent voltage amplitude (V_{me}) for stages I, II and III of Fig. 7. Values of V_{me} are referred to preamp input

또한, 각 단계에서는 센서로부터 멀리 떨어져 있는 구역E, F에서 V_{me} 값이 낮고 센서와 가까운 구역 B, J

에서 높은 값을 나타내 전체적으로 오목한 곡선을 보여주고 있다. 동일한 단계에서 각 구역의 파괴과정이 유사하다면 발생하는 AE에너지 값이 거의 같을 것이므로, 이와 같은 오목형의 곡선이 나타난 것은 AE파가 발생위치에서 센서까지 전파하는 중에 일어난 AE에너지의 감쇠때문인 것으로 생각된다. 따라서 V_{me} 는 AE파 감쇠의 좋은 지표가 된다고 볼 수 있다. 그렇지만 이 그림에서 점선으로 표시된 구역 A, K는 다른 구역과는 다른 V_{me} 거동을 보이고 있는데, 이는 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 구역 A, K는 게이지 부분내에 들어 있지 못하고 다른 구역보다 작은 수준의 응력을 받았기 때문이다.



(a) without α -compensation,



(b) with α -compensation

Fig. 13. Effect of wave attenuation on the AE peak amplitude distributions for stage (I+II) of Fig. 7.

Fig. 13 a와 b는 각각 Fig. 7의 하중단계(I+II)에 대

해 감쇠보정을 하기 전후의 AE진폭분포를 나타내는데 감쇠의 영향이 상당히 큼을 보여주고 있다. 하중 단계(I+II)에서는 게이지부 전체에서 균일한 응력을 받게 되므로 유사한 진폭수준의 AE파가 발생해야 하는데, Fig. 13 a에서 보면, 구역E의 진폭분포는 구역B의 진폭분포에 비해 전체적으로 보다 낮은 진폭 영역에 치우쳐 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 구역E가 센서로부터 평균 30mm 더 멀리 떨어져 있어 AE파의 감쇠가 더 컸기 때문이다. Fig. 13 b는 Fig. 5의 감쇠율과 각 AE사상의 발생위치(source location) 데이터를 이용하여 Fig. 13 a의 진폭분포를 보정한 결과이다. 감쇠율 α 값은 하중을 걸지 않은 상태에서 구했기 때문에 하중을 받아 내부손상이 발생했을 경우의 값보다 약간 작을 것으로 추정되지만¹⁶⁾, 보정 후에 얻어진 구역E의 AE진폭전압분포 영역이 구역B를 포함한 다른 구역 전체에서의 진폭 분포 영역과 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 본 연구에서 사용한 AE파 감쇠의 측정법 및 보정법이 적절한 방법이었음을 말해 주고 있다.

Fig. 14는 감쇠가 보정된 AE진폭이 Fig. 7의 하중 단계가 I에서 II, II에서 III으로 진행될수록 더욱 커지고 있음을 확실히 보여주고 있다. 이는 시험편의 변형이 증가함에 따라 미세적 손상이 커지면서, 보다 강한 AE파가 발생하여 AE진폭이 전반적으로 커졌음을 의미한다.

Fig. 15 a-c에 각각 SGF1wt%, SGF30wt%, SGF60%-PET 시험편에서 측정된 AE진폭분포에 대한 감쇠의 효과를 나타낸다. 여기서의 진폭분포는 부하초기부터 최종파단시까지 센서로부터 평균 45mm 거리인

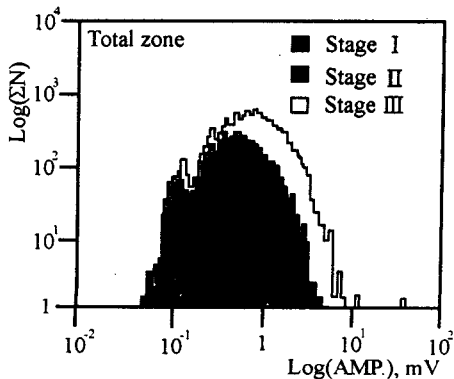
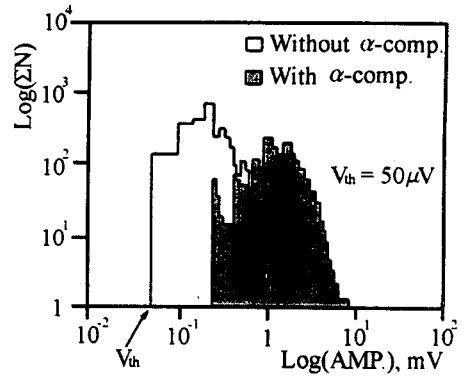
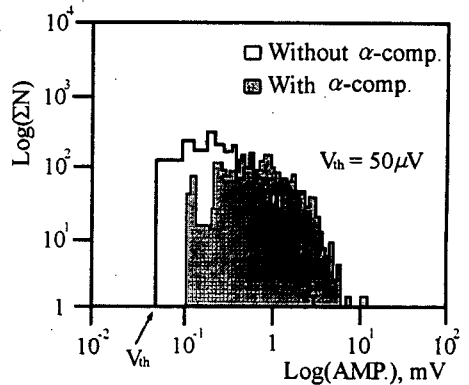


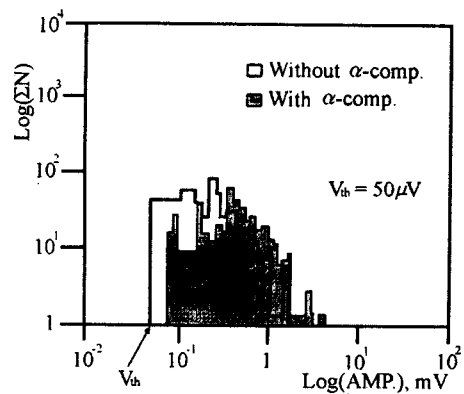
Fig. 14. The compensated AE peak amplitude distributions for stages I, II and III of Fig. 7.



(a) SGF1wt%-PET



(b) SGF30wt%-PET



(c) SGF60wt%-PET

Fig. 15. Effect of wave attenuation on the AE peak amplitude distributions obtained from the fracture zone E over total deformation stages

구역E에서 구해진 것이다. 감쇠보정 전후의 AE진폭값의 차이는 Fig. 5의 결과에서 예상되듯이 섬유함유율이 작을수록 더 커졌다. 또한 진폭분포의 형태도 감쇠의 보정후에 상당히 변했다. 이는 AE진폭분포를 이용한 복합재료의 파손해석시에 감쇠의 영향을 보정하지 않으면 해석이 크게 잘못될 수 있음을 가리킨다.

4. 결론

짧은 유리섬유로 강화된 고분자수지의 복합재료를 연구대상재료로 하여 AE파의 발생위치(AE source location)를 구했으며, 또한 전파하는 과정에서 일어난 AE파의 감쇠손실(attenuation loss)을 측정하여 그 진폭을 정량적으로 보정했다.

- 1) AE파의 감쇠율은 시험편내의 섬유체적함유율의 증가에 따라 단순 선형관계식으로 예상되는 것보다 더 작아졌다.
- 2) 감쇠손실을 보정한 후의 AE진폭은 시험편의 게이지부의 각 구역에서 서로 유사한 수준으로 분포했다.
- 3) 시험편의 변형이 진행됨에 따라 감쇠손실이 보정된 AE진폭은 더욱 크게 되었다.
- 4) 본 연구대상재료의 AE진폭분포가 감쇠효과에 의해 상당히 영향을 받고 있는 것으로 나타났으므로, AE진폭을 이용한 고분자복합재료의 손상해석에서는 AE파의 감쇠효과에 주의해야 하겠다.

참고 문헌

- 1) N. Sato, T. Kurauchi, S. Sato and O. Kamigaito, *Journal of Materials Science*, Vol. 19, (1984) pp. 1145-1152.
- 2) Idem, *Journal of Composite Materials*, Vol. 22,

(1988) pp. 850-873.

- 3) J. M. Berthelot and J. Billaud, 1st International Symp. on Acoustic Emission from Reinforced Composites, San Francisco, 1983, Sec. 2.
- 4) J. Wolters, *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 3 (1984) pp. 51-58.
- 5) Idem, 2nd International Symp. on Acoustic Emission from Reinforced Composites, Montreal, 1986, pp. 29-36.
- 6) J. Yuan, A. Hiltner and E. Baer, *Polymer Composites*, Vol. 7, (1986) pp. 26-35.
- 7) Idem. *Journal of Materials Science*, Vol. 20, (1985) pp. 4377-4386.
- 8) M. Faudree, E. Baer, A. Hiltner and J. Collister, *Journal of Composite Materials*, Vol. 22, (1988) pp. 1170-1195.
- 9) L. Lorenzo and H. T. Hahn, *Journal of Acoustic Emission*, Vol. 5, (1986) pp. 15-24.
- 10) I. Narisawa and H. Oba, *Journal of Materials Science*, Vol. 19, (1984) pp. 1777-1786.
- 11) N. S. Choi, K. Takahashi and K. Hoshino, 1992. *NDT & E International*, Vol. 25, pp. 271-278.
- 12) K. Takahashi and N. S. Choi, *Journal of Materials Science*, Vol. 26 (1991) pp. 4648-4656.
- 13) M. A. Hamstad, *Experimental Mechanics*, Vol. 25, (1985) pp. 7-13.
- 14) H. C. Kim and J. M. Park, *Journal of Materials Science*, Vol. 22, (1987) pp. 4536-4540.
- 15) K. Takahashi, N. Takeda and T. Higashi, Proc. 5th National Conf. on Acoustic Emission, Japan, (1985) pp. 7-12 (in Japanese)
- 16) G. C. Knollmann and R. C. Yee, *Experimental Mechanics*, Vol. 28, (1988) pp. 110-116.

Effects of Wave Attenuation on the Acoustic Emission Amplitude Distribution of Injection-Molded Fiber/Plastic Composites

N. S. Choi* and K. Takahashi**

* Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Ansan 425-791

** Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasuga 816, Japan

Abstract The attenuation of acoustic emission (AE) waves was evaluated for injection-molded short-fiber-reinforced thermoplastic composites employing simulated AE waves. Values of attenuation coefficient (α) decreased more with increasing fiber volume fraction (V_f) than that expected from a simple linear relation between α and V_f . The effect of wave attenuation was taken into account in a quantitative analysis of the AE peak amplitude distribution which was obtained from each zone partitioned in a specimen gage portion. The amplitude distribution compensated for the measured attenuation loss was exhibited almost similar in every zone of the specimen. Consequently, it was shown that the AE amplitudes obtained from fiber/plastic composites were considerably affected by the attenuation.

Key Words Acoustic Emission(음향방출), Peak Amplitude Distribution(진폭분포), Wave Attenuation(감쇠), Short Fiber Reinforced Plastics(짧은 섬유 강화 플라스틱), Zoning Method(구역 설정법), Fracture Mechanisms(파괴기구)