

펄스 레이저 홀로그래픽 간섭계를 이용한 평판의 탄성과 전파 특성에 관한 연구

이기백* · 나종문** · 김정훈***

(A Study on the Characteristics of Elastic Wave Propagation in Plates Using Pulse Laser Holographic Interferometry)

(Ki-Baik Lee, Jong-Moon Na and Jeong-Hun Kim)

ABSTRACT

In this paper, the propagation of elastic wave generated by loading impact to plates made of isotropic or anisotropic material was studied. And the influence of boundary conditions (free or clamped edge) upon the reflection of elastic wave was analyzed. Before the elastic wave was reflected from the edges, the elastic wave of isotropic plate such as aluminum plate showed circular interferometric fringe pattern, whereas that of anisotropic plate such as epoxy composite laminates showed elliptical one. And the transverse displacement curves obtained from experiment and theory for both plates agreed well. Also, the waves reflected from the boundary edges showed much differences according to the boundary condition of edges.

기 호 설 명

ρ : 평판의 밀도
 h : 평판의 두께
 $p(r, t)$: 평판의 단위 면적당 하중
 E : 평판의 탄성계수
 ν : 평판의 포아송비(Poisson's ratio)
 A : 상수
 T : 평판에 가해지는 충격하중의 시간폭
 $J_0(x)$: 0차 베셀(Bessel) 함수
 I_0 : 평판에 전달된 충격량
 n : 검은 간섭무늬의 번호
 $a_n(x, y)$: n 번째 검은 간섭무늬에 해당하는 진폭

λ : 레이저 광의 파장 (= 6943 Å)
 θ_1 : 진동면의 법선 방향에 대한 물체광의 입사각
 ($\approx 90^\circ$)
 θ_2 : 진동면의 법선 방향에 대한 물체광의 반사각
 ($\approx 90^\circ$)

1. 서 론

홀로그래픽 간섭계⁽¹⁾는 오래 전에 개발된 레이저 응용 계측 기법으로서 정현적인 진동을 하는 진동체의 고유 진동 모드 연구^(2,3)에 많이 사용되어 왔는데, 최근에는 루비 레이저와 같은 펄스 레이저의 개발로 액체나 기체의 파동 전파 연구나 고체의 표면 변형 연구에 펄스 레이저를 이용한 홀로그래픽 간섭계가 많이 이용되고 있다. 펄스 레이저 홀로그래픽 간섭계⁽⁴⁾를 Gottenberg⁽⁵⁾는 응력파에 의해서 발생된 변형을 측정하기 위해 사용하였고, Aprahamian 등^(6,7)은 보와 평판의 굽힘파의 전파 특성 연구에 이용하였다. 또한 Molin 등은 사각 평판의 가장자리 중

*정회원, 부산대학교 공과대학 기계공학과 및 기계기술연구소

**정회원, 부산대학교 대학원 기계공학과

***부산대학교 대학원 기계공학과

극히 일부분만을 고정하여 전체적으로는 가장자리가 모두 자유단의 경계 조건을 갖는 사각 평판의 굽힘과 전파 특성^(8,9)과 바이올린 몸체의 음향 전파 특성⁽¹⁰⁾을 연구하였고, Olofsson 등⁽¹¹⁾은 튜브와 링의 굽힘과 전파 특성을 연구하였다.

본 연구에서는 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래픽 간섭계의 광학계를 구성하여, 가장자리가 모두 고정단의 경계 조건을 갖는 사각 평판에 충격 하중이 가해졌을 때 발생하는 탄성파의 전파 현상을 충격이 발생된 시점부터 시간적 변화에 따라 관찰함으로써 그 전파 특성을 연구하였다. 즉, 평판에 충격 하중이 가해졌을 때 발생하는 평판내의 탄성파의 전파 현상을 평판이 등방성(isotropic) 재질인 경우와 이방성(anisotropic) 재질인 경우에 대해 연구함으로써 재질에 따른 그 전파 특성을 실험적으로 해석하고, 실험적으로 구한 횡변위 분포 곡선을 이론적인 해석 결과와 비교함으로써 본 실험의 정확성을 검증하였다. 그리고 알루미늄 사각 평판의 하단 가장자리를 고정단으로 하고 나머지 가장자리를 모두 자유단으로 구성하여 가장자리의 경계 조건에 따른 반사파의 거동 특성을 비교·분석하였으며, 평판내에 지지점과 구멍을 구성하여 탄성파의 전파에 있어서 그 영향을 분석하였다.

2. 평판의 횡변위 분포에 대한 이론적 해석

평판이 선형 탄성적이고 등방성적인 재질로 이루어지며 그 두께가 일정하다고 가정할 때 평판의 변위와 평판에 가해지는 하중은 일반적으로 원통좌표계 (r, θ) 를 이용하여 표현하는데, 평판에 가해지는 하중이 원형적으로 대칭이라고 가정하면 θ 는 생략될 수 있다. 그리하여 평판의 횡변위 $w(r, t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$D\nabla^4 w + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = p(r, t) \quad (1)$$

위에서, $\nabla^4 = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) \right\} \right]$,

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \text{을 나타낸다.}$$

식 (1)의 양변을 D 로 나누고 $a = \sqrt{D/\rho h}$, $P = p/D$ 를 도입하면 식 (1)은 아래와 같이 된다.

$$\nabla^4 w + \frac{1}{a^2} w_{tt} = P \quad (2)$$

충격하중을 가해주는 추와 평판이 유한한 시간폭의 접촉 시간을 갖고서 점접촉을 한다고 가정하여, 충격하중을 아래와 같이 놓고

$$F(t) = \begin{cases} A \sin \pi t / T & 0 \leq t \leq T \\ 0 & T \leq t \end{cases} \quad (3)$$

초기 조건을 $w(r, 0) = w_t(r, 0) = 0$ 로 나타내면 식 (2)의 해⁽⁹⁾는 다음과 같이 된다.

i) $0 \leq t \leq T$

$$w(r, t) = \frac{Aa}{2\pi D} \int_0^\infty \frac{J_0(x)}{x} \frac{\frac{\pi}{T} \sin \frac{ax^2}{r^2} t - \frac{ax^2}{r^2} \sin \frac{\pi t}{T}}{\left(\frac{\pi}{T}\right)^2 - \left(\frac{ax^2}{r^2}\right)^2} dx \quad (4)$$

ii) $T \leq t$

$$w(r, t) = \frac{Aa}{DT} \int_0^\infty \frac{J_0(x)}{x} \frac{\sin \left\{ \frac{ax^2}{r^2} \left(t - \frac{T}{2} \right) \right\} \cdot \cos \left(\frac{ax^2}{r^2} \frac{T}{2} \right)}{\left(\frac{\pi}{T}\right)^2 - \left(\frac{ax^2}{r^2}\right)^2} dx \quad (5)$$

위 식에서 상수 A 는 $\int_0^T F(t) dt = I_0$ 로부터 결정되며, T 와 I_0 는 실험으로부터 구해진다.

3. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서의 실험장치는 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래픽 간섭계의 광학계와 충격하중에 의해 발생한 탄성파의 시간적 변화에 따라 펄스 레이저를 발진시키기 위한 펄스 레이저 제동장치, 그리고 평판에 충격하중을 발생시키기 위한 충격하중장치로 구성된다. 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래피법은 레이저 광을 물체광과 참조광으로 이용하여 물체가 정지하고 있을 때와 진동하고 있을 때에 홀로그램 건판을 2번 노출시키면 홀로그램에는 물체의 2가지 상태에서의 물체광이 서로 간섭하여 진동 진폭에 대응한 간섭 패턴이 기록된다. 이 홀로그램을 재생하면 진동 진폭에 대한 간섭무늬가 얻어지는데 이러한 간섭무늬로부터 진동체의 임의의 위치에서의 진폭을 아래의 식에 의해 계산할 수 있다.

$$a_n(x, y) = \frac{\lambda}{2} \frac{n}{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}, n = 1, 3, \dots \quad (6)$$

Fig.1은 실험장치도를 나타낸다. 루비 펄스 레이저로부터 발진된 레이저 광은 광분할기에 의해서 2개의 광으로 나누어지는데, 그 중의 하나는 평판에 입사되는 물체광으로 이용되고 다른 하나는 홀로그램 평면상에서 평판으로부터 반사된 물체광과 간섭을 일으키기 위한 참조광으로 이용된다. 또한 충격

하중에 의해 평판에 발생된 탄성파의 시간에 따른 전파 형태를 관찰하기 위해 시간지연회로와 펄스 발생기로 이루어지는 펄스 레이저 제동장치를 구성하였다. 본 실험에서 사용한 펄스 레이저는 전원공급 장치의 발진 버턴을 눌러 주면 10볼트(V)의 펄스 신호가 발생되는데 이 순간을 기준으로 1msec 후에 레이저 광이 발진된다. 그러므로 추가 자유낙하하여 평판과 충돌하기 전의 위치에 광검출기를 설치하여 광검출기가 추를 검출하는 순간을 기준으로 시간지연회로를 거쳐 펄스 발생기에서 10볼트의 펄스 신호가 발생되도록 하였는데, 펄스 신호의 발생 순간과 추와 평판이 충돌하는 순간과의 시간차가 1msec가 되어야 한다. 이를 위해서 평판과 추가 충돌하는 부분에 얇은 구리판을 부착하여 추와 전지(battery) 그리고 구리판으로 이루어지는 폐회로를 구성하였는데, 추와 평판이 부딪히는 순간에 발생하는 폐회로의 신호와 펄스 발생기에서 발생하는 펄스 신호와의 시간 차이를 오실로스코프를 이용해 측정하였다. 그리하여 펄스 발생기의 펄스 신호가 폐회로의 신호보다 1msec 앞서도록 시간지연회로의 초기값을 변화시켜 줌으로써 충돌 순간과 펄스 발생기의 펄스 신호 발생 순간의 시간차가 1msec가 되도록 하였다. 이러한 시간지연회로의 초기값을 기준으로 관찰하고자 하는 순간의 시간값을 시간지연회로에 설정함으로써 충격 발생 후의 시간에 따른 탄성파의 전파 형태를 관찰할 수가 있다. 그리고 폐회로에서 발생하는 신호의 시간폭을 오실로스코프를 이용해 측정함으로써 평판에 가해지는 충격하중의 시간폭 (T)을 구하였다. 또한, 평판의 충격은 추를 일정한 높이에서 자유낙하시켜 사각 평판의 중앙에 법선 방향으로 하중이 가해지도록 구성하였는데, 평판의 크기는 가로 250mm, 세로 250mm이고 두께는 각각 3mm (알루미늄 평판)과 2mm(에폭시 복합 적층판)이다. 그리고 추는 직경 6.3mm, 질량 1.02g의 강구(steel sphere)를 이용하였다.

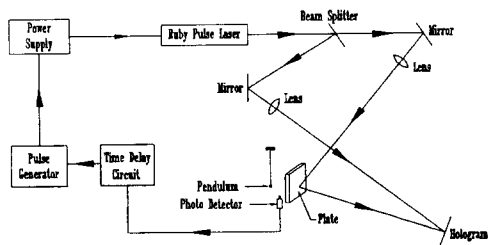


Fig. 1 Experimental setup

충격 실험은 가장자리가 모두 고정된 등방성 재질

(알루미늄 평판)과 이방성 재질(에폭시 복합 적층판)의 2가지 종류의 사각 평판에 대해서 수행함으로써 재질에 따른 탄성파의 전파 특성을 해석하였다. 그리고 알루미늄 평판의 하단 가장자리만 고정단으로 하고 나머지 가장자리는 모두 자유단으로 구성하여 경계 조건에 따른 반사파의 거동 특성을 비교·분석하였다. 또한 평판내의 한 지점을 평판에 대해 법선 방향으로 지지하고 또 다른 한 지점에는 직경 7mm, 깊이 1.5mm의 구멍을 형성하여 탄성파의 전파에 있어서 지지점과 구멍의 영향을 분석하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 등방성 재질 평판의 탄성파 전파 특성

Fig.2는 등방성 재질인 알루미늄 평판의 충격 실험 결과를 나타내는데 가장자리가 모두 고정된 사각 평판의 시간에 따른 탄성파의 전파 형태를 보여준다. Fig.2의 (a)-(h)는 충격 후 각각 30 μ sec, 90 μ sec, 130 μ sec, 200 μ sec, 250 μ sec, 300 μ sec, 500 μ sec, 2,500 μ sec 순간의 탄성파의 전파 상태이다. Fig.2의 (a)-(b)에서는 충격 후 시간이 경과함에 따라 진폭에 대응한 검은 간섭무늬의 수가 증가하고 있는데 이는 충격 지점을 중심으로 동심원의 형태로 탄성파가 퍼져 나가 탄성파의 전파 범위가 점점 넓어지고 있음을 나타낸다. Fig.2(c)에서는 평판의 중앙을 중심으로 형성된 탄성파가 평판의 가장자리까지 도달되어 있음을 볼 수 있다. 알루미늄 평판에 있어서 이론적인 전파 속도 (v)는 $v = \sqrt{E/\rho(1-\nu^2)}$ ($E=70\text{GPa}$, $\rho=2,700\text{kg/m}^3$, $\nu=0.33$)로부터 $v=5.394\text{mm}/\mu\text{sec}$ 가 되므로, 이론적으로는 충격 후 약 23 μ sec가 지나면 평판의 가장자리까지 탄성파가 전파할 것이나 실험적으로는 약 100 μ sec 후에 가장자리에 도달한 탄성파의 간섭무늬를 관찰할 수가 있었다. 그리하여 실험적으로는 전파 속도가 약 1.25mm/ μ sec가 된다. 이와 같이 전파 속도에 있어서 실험과 이론이 상당한 차이를 나타내는 이유는, 평판의 중심으로부터 반경 방향을 따라 외곽으로 갈수록 평판의 횡변위가 매우 미소해지기 때문에 그 미소 진폭을 홀로그래픽 간섭계에서는 간섭무늬로 관찰할 수 없기 때문이다. 즉, 평판의 횡변위가 레이저 파장 (λ)의 $\lambda/4$ 보다도 작으면 홀로그래픽 간섭계에서는 그 진폭에 대응한 간섭무늬가 형성되지 않기 때문에 100 μ sec 전에도 매우 작은 진폭의 탄성파가 가장자리에 이미 도달되어 있었겠지만 그 미소 진폭에 해당하는 간섭무늬를 눈으로 관찰할 수 없기

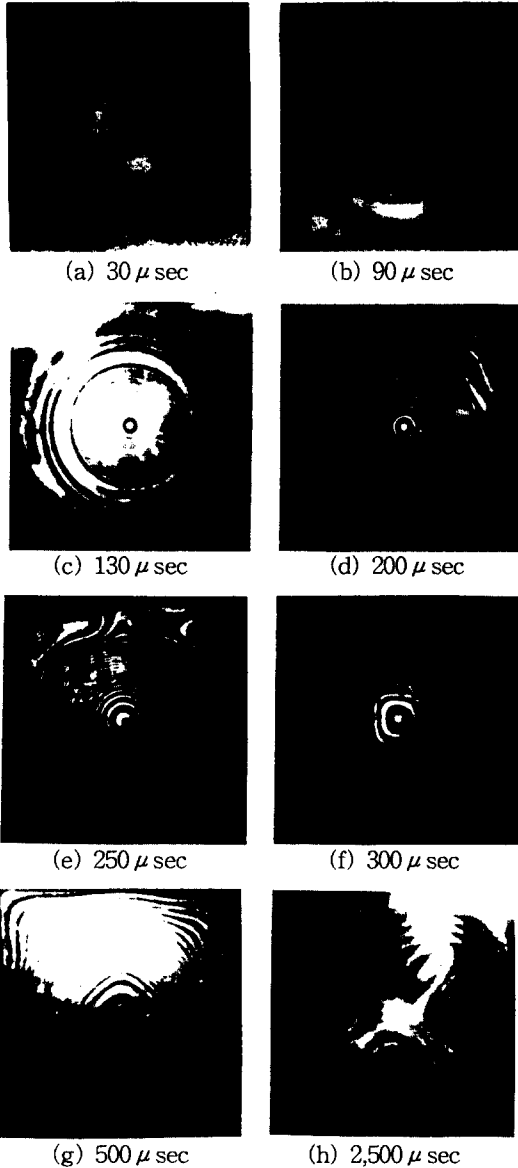


Fig. 2 Elastic wave propagation of aluminum plate by impact load (boundary conditions : C-C-C-C)

때문이다. Fig.2의 (d)-(f)에서는 평판의 중심으로부터 형성되어 전파하여 간 탄성파가 평판의 가장자리와 모서리로부터 반사된 반사파와 서로 혼합되어 있는 형태를 보인다. 그리고 평판의 모서리 부분에서 진동 형태의 다양한 변화를 관찰할 수 있다. Fig.2의 (g)-(h)에서는 충격하중으로 인한 탄성파가 점점 소멸되어 가는 과정을 관찰할 수 있는데 평판 모서리

로부터의 반사파의 영향은 거의 없어지고 가장자리로부터의 반사파의 영향을 다소 많이 받고 있는 상태를 보인다. 그리고 평판 중앙의 동심원 형태의 간섭무늬가 원의 형태를 잃으면서 진동은 점점 소멸되어 감을 알 수 있다.

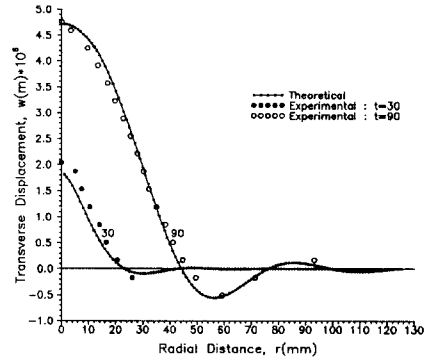


Fig. 3 Transverse displacement curves of aluminum plate obtained from experiment and theory for times $t=30 \mu\text{sec}$, $90 \mu\text{sec}$ after impact (boundary conditions : C-C-C-C)

Fig.3은 Fig.2의 (a)-(b)에 있어서 평판의 중앙을 중심으로 반경 방향에 대한 횡변위의 변화를 나타내는데 이론적 해석 결과와 비교하고 있다. 실험으로부터 구한 횡변위 분포와 이론적으로 구한 횡변위 분포 곡선은 매우 좋은 일치성을 보이는데 이로부터 본 실험의 정확성을 검증할 수 있다. 이론적인 횡변위 분포 곡선은 식 (4)와 식 (5)로부터 구하였는데, 본 실험에서 충격하중이 가해지는 시간폭 (T)은 $70 \mu\text{sec}$ 였고 평판에 전달된 충격량 (I_0)은 $0.00143\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}$ 였다. 실험으로부터 구한 횡변위 분포는 식 (6)으로부터 구하였는데, 홀로그래픽 간섭계에서 간섭무늬는 레이저 파장의 $\lambda/4$ 에 해당하는 변위차를 간격으로 검은 간섭무늬와 하얀 간섭무늬가 차례로 생성되므로 이웃하는 검은 간섭무늬에 대한 변위값은 레이저 파장의 $\lambda/2$ 만큼의 차이를 나타내게 된다. Fig.2의 (a)-(b)는 탄성파가 평판의 가장자리로 도달하기 전까지의 상태를 나타내는데 가장자리로부터의 반사파의 영향은 거의 없는 상태이다. 그리하여 전체적인 간섭무늬가 평판의 중앙을 중심으로 동심원 형태를 보이는데, 검은 간섭무늬는 평판의 중앙으로부터 반경 방향을 따라 일정 간격의 촘촘한 부분을 나타내다가 그 간격이 다소 넓어지는 변화를 나타낸다. 이와 같이 간섭무늬의 간격이 넓

어지는 부분에서 횡변위의 양(+)과 음(-)이 바뀌게 되고 더 나아가서 다시 그 간격이 넓어지는 부분에서 횡변위의 양(+)과 음(-)이 또 바뀌게 된다. 본 실험에서 사용한 평판의 기하학적 조건으로부터 평판의 중앙을 횡변위 분포 곡선의 양(+)의 최대점으로 생각하고, 중앙을 기점으로 각 간섭무늬에 해당하는 변위값을 식 (6)으로부터 산출하면 결국 평판의 반경 방향에 따른 횡변위 분포가 구해진다. Fig.3을 보면, 평판의 중심에서 반경 방향으로 거리가 멀어짐에 따라 횡변위 분포 곡선의 파장이 점점 작아짐을 알 수 있다.

4.2 이방성 재질 평판의 탄성과 전파 특성

Fig.4는 이방성 재질인 에폭시 복합 적층판 ($E_1=138\text{Gpa}$, $E_2=10\text{Gpa}$, $\rho=1,550\text{kg/m}^3$, $\nu=0.21$)의 충격 실험 결과를 나타내는데 가장자리가 모두 고정된 사각 평판의 시간에 따른 탄성파의 전파 형태를 보여준다. Fig.4의 (a)-(h)는 충격 후 각각 $10\ \mu\text{sec}$, $60\ \mu\text{sec}$, $90\ \mu\text{sec}$, $120\ \mu\text{sec}$, $180\ \mu\text{sec}$, $210\ \mu\text{sec}$, $270\ \mu\text{sec}$, $450\ \mu\text{sec}$ 순간의 탄성파의 전파 상태이다. Fig.4(a)에서는 충격하중이 가해진 평판의 중앙을 중심으로 타원 형태의 간섭무늬가 형성되어 있는데 충격 후 시간이 점점 더 경과함에 따라 그 타원 형태는 더욱 확실해진다. 4.1절의 알루미늄 평판과 같은 등방성 재질에서는 가로 방향과 세로 방향의 탄성계수가 동일하여 각 방향에 따른 탄성파의 전파 속도가 일정하기 때문에 탄성파의 전파가 동심원의 형태를 보인데 반해, 에폭시 복합 적층판과 같은 이방성 재질에서는 탄성파의 전파가 타원의 형태를 보이는데 이러한 것은 이방성 재질의 평판에서는 가로 방향과 세로 방향의 탄성계수가 서로 달라서 가로 방향과 세로 방향의 탄성파의 전파 속도가 서로 다르기 때문이다. 따라서 이러한 탄성파의 전파 특성으로부터 그 재질의 탄성계수의 정성적인 평가가 가능할 것이다. Fig.4의 (a)-(c)는 충격하중으로 인해 형성된 탄성파가 아직 가장자리까지는 도달하지 않은 상태이고 Fig.4(d)는 가로 방향으로 탄성파가 아직 가장자리에 도달하지 않았으나 세로 방향으로 가장자리까지 거의 도달하고 있는 상태이다. 그리고 Fig.4의 (e)-(f)는 가로 방향으로 탄성파가 가장자리에 도달하고 있으나 세로 방향으로 가장자리로부터의 반사파가 형성되어 진행파와 서로 혼합되고 있는 상태이다. Fig.4의 (g)-(h)는 가로 방향의 가장자리로부터의 반사파도 형성되어 평판의 4개의 가장자리로부터 형성된 반사파와 평판의 중앙

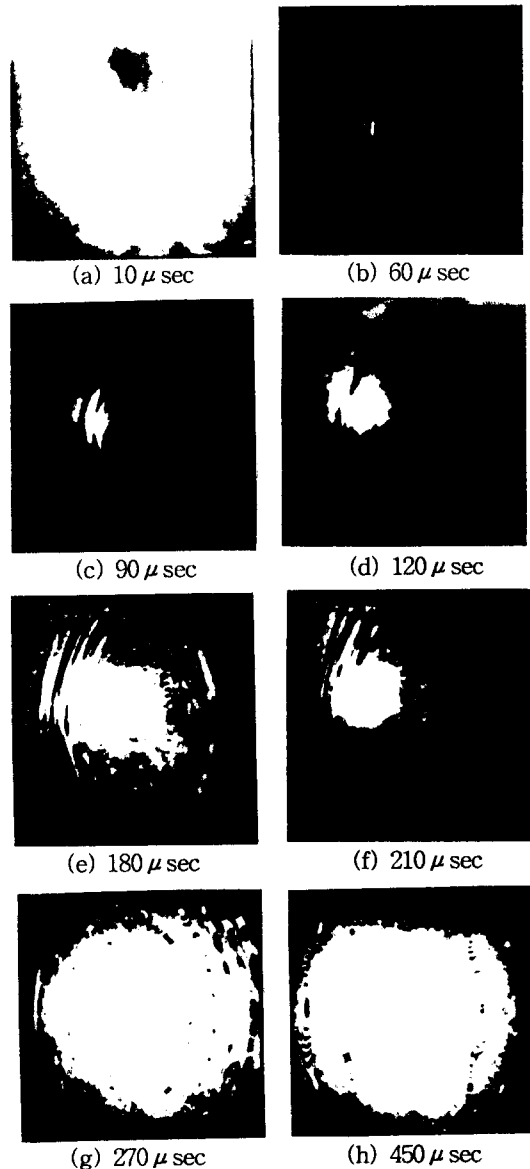


Fig. 4 Elastic wave propagation of epoxy composite laminates by impact load (boundary conditions : C-C-C-C)

으로부터 진행하는 진행파가 서로 혼합되어 매우 복잡한 탄성파의 형성 상태를 보인다.

Fig.5는 Fig.4(c)에 대해 평판의 중앙으로부터 반경 방향에 따른 횡변위의 변화를 실험과 이론으로부터 구하여 나타내고 있다. Fig.4(c)에서는 타원의 형태로 탄성파가 전파하고 있으므로, Fig.5(a)는 타원의 단축(minor axis)에 대한 횡변위 분포 곡선이고

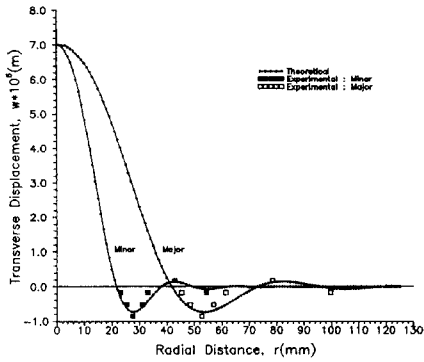


Fig. 5 Transverse displacement curves of epoxy composite laminates obtained from experiment and theory for time $t=90 \mu\text{sec}$ after impact (boundary conditions : C-C-C-C)

Fig.5(b)는 장축(major axis)에 대한 횡변위 분포 곡선이다. 본 실험에서 충격하중이 가해지는 시간폭 (T)은 $60 \mu\text{sec}$ 였다. 횡변위의 실험치는 4.1절에서와 동일한 방법으로 구하였는데 평판의 가운데 부분은 간섭무늬가 너무 촘촘하게 형성되어 실험치를 구하기가 어려우므로 눈으로 간섭무늬를 식별할 수 있는 부분에 대해서 그 변위값들을 나타내었다. 그리고 이론적인 횡변위 분포 곡선은 타원의 단축 방향과 장축 방향을 따라서는 재질이 직방성(orthotropic)이라고 가정하여 식 (5)로부터 구하였다. 실험치와 이론치가 서로 유사한 크기를 갖도록 변위값의 크기를 조정하여 방향에 따라서 횡변위 분포 곡선이 변화하는 특성만을 살펴 보았다. 탄성계수가 작은 타원의 단축 방향에 있어서 평판 중앙부의 횡변위 분포 곡선의 기울기가 훨씬 크게 됨을 알 수 있다.

4.3 경계 조건에 따른 반사파의 거동 특성 및 지지점과 구멍의 영향

Fig.6은 알루미늄 재질의 사각 평판의 하단 가장자리만 고정단으로 하고 나머지 가장자리는 모두 자유단으로 구성하였는데 경계 조건에 따른 반사파의 거동 특성을 비교·분석하였다. 그리고 평판의 중심으로부터 왼쪽으로 35mm, 아래로 5mm 위치에 평판에 대해 법선 방향으로 지지점을 형성하고, 평판의 중심으로부터 오른쪽으로 50mm 위치에 직경 7mm, 깊이 1.5mm의 구멍을 형성하여 탄성파의 전파에 있어서 평판내의 지지점과 구멍의 영향을 분석하였다. Fig.6의 (a)-(f)는 충격 후 각각 $75 \mu\text{sec}$, 100

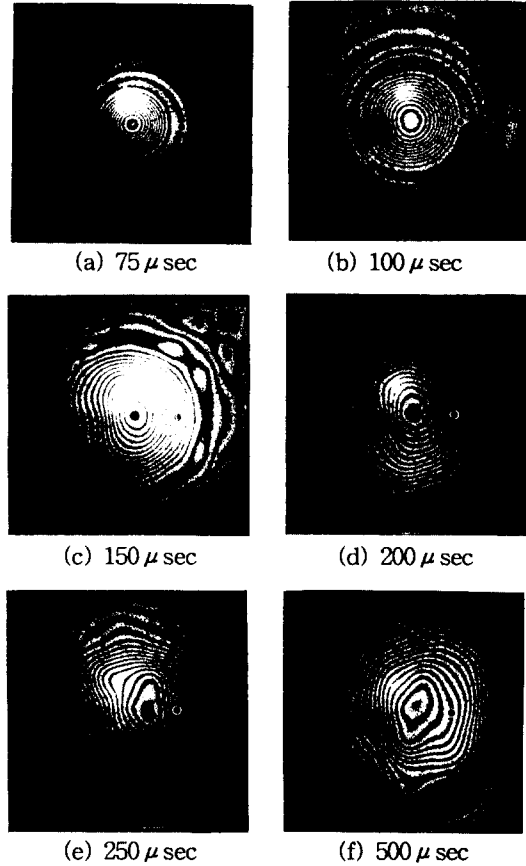


Fig. 6 Elastic wave propagation of aluminum plate by impact load (boundary conditions : C-F-F-F, \bigcirc : a hole of 7mm in diameter and of 1.5mm depth, \square : supporting position)

$150 \mu\text{sec}$, $200 \mu\text{sec}$, $250 \mu\text{sec}$, $500 \mu\text{sec}$ 순간의 탄성파의 전파 상태이다. Fig.6의 (a)-(b)는 평판의 중앙으로부터 형성된 탄성파가 평판의 가장자리까지 도달하지 않은 상태로 탄성파의 전파 형태는 Fig.2의 (a)-(b)와 거의 동일하다. 즉, 탄성파가 평판의 가장자리에 도달하기 전에는 평판 가장자리의 경계 조건에 관계없이 탄성파의 전파 형태는 동일함을 알 수 있다. Fig.6(a)에서는 평판의 왼쪽 지지점에서 동심원 형태가 약간 일그러지는 징후가 관찰되나 평판 오른쪽의 구멍 부분에서는 구멍의 영향이 거의 관찰되지 않는다. Fig.6(b)에서는 평판 왼쪽의 지지점에서 동심원 형태가 훨씬 더 분명하게 일그러지는데 그 지지점을 중심으로 탄성파가 반사되어 평판의

중심으로부터 전파하는 진행파와 혼합되고 있다. 그리고 평판 오른쪽의 구멍 부분에서는 구멍에 걸쳐 있는 탄성파가 약간 안쪽으로 굽어 있음을 보인다. 이러한 특성들은 구조물의 결합부를 검사하기 위한 비파괴 검사에 응용될 수 있을 것이다. Fig.6의 (c)-(e)에서는 평판 가장자리의 경계 조건에 따른 반사파의 거동 특성을 비교할 수 있는데, 하단 고정단에서의 반사파의 거동은 Fig.2의 (d)-(e)와 거의 동일하나 나머지 자유단에서는 상당히 다른 거동 특성을 보인다. 즉, 가장자리가 자유단인 경우에는 가장자리로부터 형성되는 반사파가 가장자리가 고정단인 경우에 비해 훨씬 활발하게 발달한다. 그리고 Fig.6의 (c)-(e)에서는 평판 왼쪽의 지지점을 중심으로 형성된 반사파가 점점 더 평판의 중심쪽으로 영향을 미치고 있음을 보인다. Fig.6(f)는 탄성파가 소멸되어 가는 상태를 보인다.

5. 결 론

(1) 등방성 재료의 평판에 있어서 충격하중에 의한 탄성파는 평판의 충격 지점을 중심으로 동심원의 형태를 그리면서 외곽으로 전파되는데 가장자리가 모두 고정된 평판의 경우 모서리 부분에서 반사되는 반사파의 영향이 없어지고 동심원 형태를 잃으면서 평판에 발생된 탄성파는 점점 소멸되어 간다.

(2) 평판의 횡변위 분포는 실험과 이론이 매우 좋은 일치성을 보였는데, 반경 방향을 따라 외곽으로 갈수록 횡변위 분포 곡선의 파장은 점점 작아진다.

(3) 평판의 가장자리가 자유단인 경우에는 고정단인 경우에 비해 가장자리로부터 형성되는 반사파가 매우 활발하게 발달한다.

(4) 이방성 재료의 평판에 있어서는 타원의 형태를 그리면서 충격하중으로 인한 탄성파가 외곽으로 전파하는데 이러한 특성으로부터 그 재료의 탄성계수를 정성적으로 평가할 수 있다.

후 기

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 : ME95-D-02)에 의하여 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Vest, C. M., 1979, "Holographic Interferometry," John Wiley and Sons, Newyork.
- (2) Powell, R. L. and Stetson, K. A., 1965,

"Interferometric Vibration Analysis by Wavefront Reconstruction," Journal of the Optical Society of America, Vol. 55, No. 12, pp. 1593~1598.

- (3) Monahan, M. A. and Bromley, K., 1968, "Vibration Analysis by Holographic Interferometry," Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 44, No. 5, pp. 1225~1231.
- (4) Felske, A. and Happe, A., 1978, "Vibration Analysis by Double Pulsed Laser Holography," Society of Automotive Engineers, No. 770030, pp. 88~104.
- (5) Gottenberg, W. G., 1968, "Some Applications of Holographic Interferometry," Experimental Mechanics, Vol. 8, No. 9, pp. 405~410.
- (6) Aprahamian, R., Evenson, D. A., Mixson, J. S. and Wright, J. L., 1971, "Application of Pulsed Holographic Interferometry to the Measurement of Propagating Transverse Waves in Beams," Experimental Mechanics, Vol. 11, No. 7, pp. 309~314.
- (7) Aprahamian, R., Evenson, D. A., Mixson, J. S. and Jacoby, J. L., 1971, "Holographic Study of Propagating Transverse Waves in Plates," Experimental Mechanics, Vol. 11, pp. 357~362.
- (8) Lindgren, L. E. and Molin, N. E., 1989, "Transient Bending Waves in Anisotropic Plates Studied by Hologram Interferometry," Experimental Mechanics, Vol. 29, pp. 409~413.
- (9) Gustavsson, H. and Molin, N. E., 1989, "Transient Bending Waves in Plates Studied by Hologram Interferometry," Experimental Mechanics, Vol. 29, pp. 378~387.
- (10) Molin, N. E. and Jansson, E. V., 1990, "Transient Wave Response of the Violin Body," Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 88, No. 5, pp. 2479~2481.
- (11) Olofsson, K. and Lindgren, L. E., 1993, "Holographic Interferometry Measurements of Transient Bending Waves in Tubes and Rings," Experimental Mechanics, pp. 308~313.