

홀로그래피를 이용한 정전집진기 집진판의 진동 특성 연구

나종문* · 이기백** · 양장식***

A Study on the Vibration Characteristics of Collecting Plate in the Electrostatic Precipitator Using Holography

J. M. Na · K. B. Lee · J. S. Yang

Key words : Collecting plate(집진판), Impact load(충격하중), Double exposure holography(2중 노출 홀로그래피)

Abstract

In this study, the characteristics of generation and propagation of transient waves induced in the assembly of four collecting plates by impact load are investigated. And the influences of convexo - concave shape of collecting plate upon the propagation of waves are analyzed. Also double exposure holographic interferometry using ruby pulse laser is built in order to investigate the propagation of transient waves generated by impact load. When impact load was applied at edge of connecting band, the vibration of collecting plates was generated from the contact points between collecting plate and band which connects four collecting plates. Waves generated from the lower part and those reflected from the upper part were mixed as time went on and then formed very complex shapes. Also, when impact load was applied at center of collecting plate, the waves propagating across the convexo - concave plane were reflected partly at curved section. Therefore the vibration amplitude was decreased as the transient waves were propagated through the convexo - concave plane.

기호설명

$O_{01}(x, y)$: 물체가 정지한 때의 물체광 진폭

$O_{02}(x, y)$: 물체가 진동할 때의 물체광 진폭

$\varphi_{01}(x, y)$: 물체가 정지한 때의 물체광 위상

$\varphi_{02}(x, y)$: 물체가 진동할 때의 물체광 위상

v : 레이저 광의 각진동수

$R_0(x, y)$: 참조광의 진폭

* 정회원, 부산대학교 대학원 기계공학과

** 정회원, 부산대학교 기계공학과 및 기계기술연구소

*** 정회원, 부산대학교 기계기술연구소

- $\varphi_R(x, y)$: 참조광의 위상
- t_0 : 정수
- β : 홀로그램 건판의 진폭 투과율 곡선의 기울기
- T_P : 레이저 광의 펄스 폭
- n : 검은 간섭 무늬의 번호
- $a_n(x_0, y_0)$: n 번째 검은 간섭 무늬에 해당하는 진동체의 진폭
- λ : 레이저 광의 파장
- θ_1 : 물체광과 진동면의 법선이 이루는 각
- θ_2 : 참조광과 진동면의 법선이 이루는 각

1. 서 론

현대 산업의 급속한 발전과 더불어 산업 전반에 걸쳐 환경오염 문제가 심화되고 있으며 환경 보전에 대한 사회적 요구가 날로 증가하고 있는 실정이다. 특히 화력발전소, 공장, 자동차 배기가스 등에 의한 대기오염 문제가 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 화력발전소에서는 환경 오염원을 제거하기 위해 여러 가지의 집진장치를 개발하고 있는데 그 중에서 정전집진기(Electrostatic Precipitator)가 가장 많이 이용되고 있다. 정전집진기 내부에 설치되는 집진판의 동적 거동 특성과 관련하여 많은 연구가 이루어지고 있는데 주요 내용¹⁾은 (1)충격하중에 의한 집진판의 거동 특성 연구^{2,3)}, (2)집진판에 부착된 분진층의 거동 특성 연구⁴⁾, (3)분진층의 강도와 응집력에 관한 연구⁵⁾, (4)분진의 낙하 상태에 관한 연구⁶⁾, (5)충격하중의 방법에 관한 연구⁷⁾ 등이다. 본 연구는 집진판의 거동 특성에 관련된 연구로서 집진판에 충격하중이 가해졌을 때 생성되는 진동의 발생 메카니즘(Mechanism)과 그 거동 특성을 분석하였다. 즉, 4개의 집진판을 연결하여 하나의 집진판 조립체를 구성하고, 집진판 조립체에 대해서 횡방향으로 충격하중이 가해졌을 때 각각의 집진판에서 생성되는 진동의 거동 특성과 4개의 집진판 전체에서 전파되어 가는 진동의 거동 특성을 시간 변화에 따라 분석하였다. 그리고 종래의 집진판의 거동 특성에 관한 연구에서는 집진판을 단순한 평판 구조물로 구성^{8,9)}하였는데 본 연구에서는 집진판의 형태를 최근 많이 적용되고

있는 요철(Convexo-Concave) 형상의 평판 구조물로 구성하여 요철 형상이 진동의 전파에 미치는 영향을 해석하였다. 또한 본 연구에서는 집진판의 충격하중에 따른 진동 특성을 분석하기 위해 펄스 레이저(Pulse Laser)를 이용한 2중 노출 홀로그래피(Double Exposure Holography) 시스템을 구성^{10,11)}하였는데 이러한 펄스 레이저 홀로그래피 간섭계를 Gottenberg¹²⁾은 응력파(Stress Wave)에 의해서 발생된 변형을 측정하기 위해 사용하였고, Aprahamian 등^{13,14)}은 보(Beam)와 평판의 굽힘파(Bending Wave)의 전파 특성 연구에 이용하였다. 펄스 레이저 홀로그래피 간섭계 기법의 주요 장점은 어떠한 특정한 순간에 관찰하고자 하는 시험편의 전체 영역의 파동 전파 형상을 관찰할 수 있다는 것이다.

2. 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래피법의 원리

펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래피법은 레이저 광(Laser Beam)을 물체광(Object Beam)과 참조광(Reference Beam)으로 이용하여 물체가 정지하고 있을 때와 진동하고 있을 때에 홀로그램 건판을 2번 노출시키면, 홀로그램에는 물체의 2가지 상태에서의 물체광이 서로 간섭하여 진동 진폭에 대응한 간섭 패턴(Pattern)이 기록된다. 이 홀로그램을 재생하면 진동 진폭에 대한 간섭 무늬가 얻어진다.

Fig. 1은 2중 노출 홀로그래피법의 구성도를 나타내는데 물체가 정지하고 있을 때와 진동하고 있을 때의 2가지 상태를 각각 ①과 ②로 나타낸다.

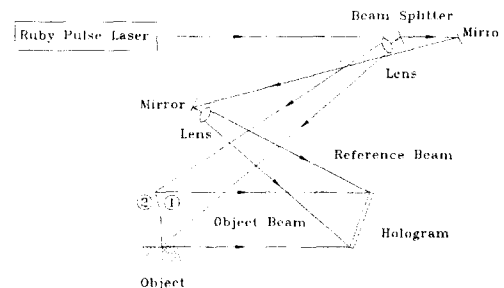


Fig. 1 Double exposure holography system

① 및 ②의 상태에 있어서의 물체광과 참조광의 복소 진폭(Complex Amplitude)은 각각 다음과 같다.

$$\Sigma_{01}(x, y : t) = O_{01}(x, y) e^{-i(\omega - \phi_{01})(x, y) t} \quad (1)$$

$$\Sigma_{02}(x, y : t) = O_{02}(x, y) e^{-i(\omega - \phi_{02})(x, y) t} \quad (2)$$

$$\Sigma_R(x, y : t) = R_0(x, y) e^{-i(\omega - \phi_R)(x, y) t} \quad (3)$$

① 및 ②의 상태에 있어서의 홀로그램 건판면의 물체광과 참조광에 의한 레이저 광의 강도(Intensity) $I_1(x, y), I_2(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$I_1(x, y) = | \Sigma_R(x, y : t) + \Sigma_{01}(x, y : t) |^2 \quad (4)$$

$$I_2(x, y) = | \Sigma_R(x, y : t) + \Sigma_{02}(x, y : t) |^2 \quad (5)$$

홀로그램 건판을 노출하여 처리하면 홀로그램의 진폭 투과율 $t(x, y)$ 는 다음과 같다.

$$t(x, y) = t_0 + \beta T_P [I_1(x, y) + I_2(x, y)] \quad (6)$$

홀로그램의 크기에 비해서 홀로그램과 물체의 거리가 매우 크다고 가정하면 물체광과 참조광의 진폭은 홀로그램 건판상에서 일정하다고 보아도 되므로 $O_{01}(x, y) = O_{02}(x, y) = O_0, R_0(x, y) = R_0$ 로 놓을 수 있다. 파면의 재생에서는 홀로그램을 제작한 때와 같은 위치에 놓고 동일한 참조광을 조명하는데 재생된 파면 $\Sigma(x, y : t)$ 는 다음과 같다.

$$\Sigma(x, y : t) = \Sigma_R(x, y : t) \cdot t(x, y) \quad (7)$$

식 (7)을 전개하였을 때 허상(Virtual Image)을 만드는 파면 성분은 아래와 같이 된다.

$$\Sigma_{vi}(x, y : t) = \beta T_P R_0^2 O_0^2 [e^{i(\omega - \phi_{01})(x, y) t} + e^{i(\omega - \phi_{02})(x, y) t}] e^{-i\omega t} \quad (8)$$

따라서 눈으로 보는 허상 I_{vi} 는

$$\begin{aligned} I_{vi}(x, y) &= | \Sigma_{vi}(x, y : t) |^2 \\ &= 2\beta^2 T_P^2 R_0^4 O_0^4 [1 + \cos\{\phi_{01}(x, y) - \phi_{02}(x, y)\}] \end{aligned} \quad (9)$$

가 되는데 $\phi = \phi_{01}(x, y) - \phi_{02}(x, y)$ 로 놓으면 위 식은 $\phi = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ 에서 $I_{vi}(x, y) = 0$ 로 되고 이 조건을 만족하는 영역에서는 검은 간섭 무늬가 생긴다. 즉, $\phi = (2\pi/\lambda) a(x_0, y_0)(\cos\theta_1 + \cos\theta_2)$ 로 되는 관계가 성립하므로

$$a_n(x_0, y_0) = \frac{\lambda}{2} \frac{n}{\cos\theta_1 + \cos\theta_2}, n = 1, 3, 5, \dots \quad (10)$$

인 영역에서 검은 간섭 무늬가 생긴다. 따라서 식 (10)을 이용하면 진동체의 임의의 위치에서의 진폭을 산출할 수 있다.

3. 실험장치의 구성 및 실험방법

본 연구에서의 실험장치는 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래픽 간섭계의 광학계와 충격 하중에 의해 발생한 진동의 시간적 변화에 따라 펄스 레이저를 발진시키기 위한 펄스 레이저 제동장치(Trigger System), 그리고 4개의 집진판을 연결하여 구성한 집진판 조립체와 집진판 조립체에 충격 하중을 발생시키기 위한 충격장치(Impact Loading System)로 구성된다.

Fig. 2는 실험장치도를 나타낸다. 루비 펄스 레이저(Ruby Pulse Laser, $\lambda = 6943 \text{ \AA}$)로부터 발진된 레이저 광은 광분할기(Beam Splitter)에 의해서 2개의 광으로 나누어지는데 그 중의 하나는 집진판에 입사되는 물체광으로 이용되고 다른 하나는 홀로그램 평면상에서 집진판으로부터 반사된 물체광과 간섭을 일으키기 위한 참조광으로 이용된다. 물체광과 참조광은 각각 볼록렌즈(Convex Lens)를 통과함으로써 확산된다. 또한 충격하중에 의해 집진판에 발생된 진동의 시간에 따른 전파 형태를 관찰하기 위해 시간지연회로(Time Delay Circuit)와 펄스 발생기(Pulse Generator)로 이루어지는 펄스 레이저의 제동장치를 구성하였다. 본

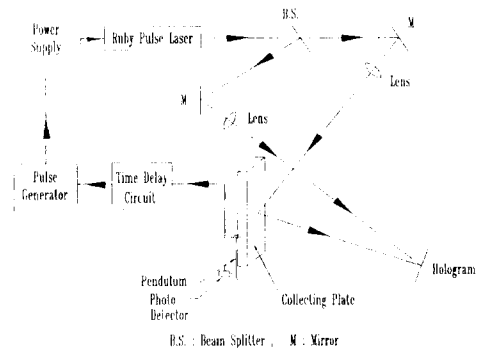


Fig. 2 Experimental setup

실험에서 사용한 펄스 레이저는 전원공급장치 (Power Supply)의 발진 버튼(Fire Button)을 눌러 주면 10볼트(V)의 펄스 신호가 발생되는데 이 순간을 기준으로 1msec 후에 레이저 광이 발진된다. 그러므로 추(Pendulum)가 자유 낙하하여 집진판 조립체와 충돌하기 전의 위치에 광검출기(Photo Detector)를 설치하여 광검출기가 추를 검출하는 순간을 기준으로 시간지연회로를 거쳐 펄스 발생기에서 10볼트의 펄스 신호가 발생되도록 하였는데 펄스 신호의 발생 순간과 추와 집진판 조립체가 충돌하는 순간과의 시간차가 1msec가 되어야 한

다. 이를 위해서 집진판 조립체와 추가 충돌하는 집진판 조립체의 부분에 얇은 구리판(Copper Sheet)을 부착하여 추와 전지(Battery) 그리고 구리판으로 이루어지는 폐회로를 구성하였는데 추와 집진판 조립체가 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 줌으로서 충돌 순간과 펄스 발생기의 펄스 신호 발생 순간의 시간차가 1msec가

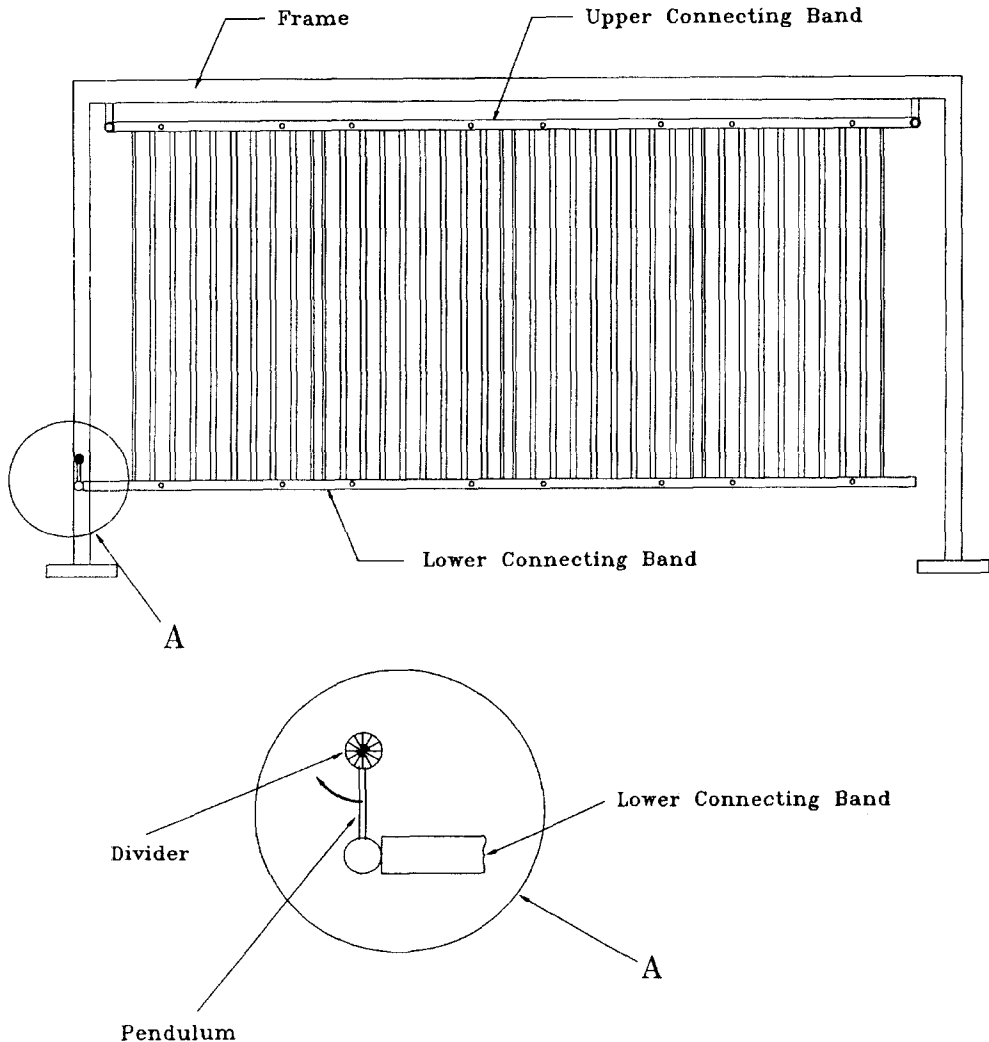


Fig. 3 Assembly of collecting plates

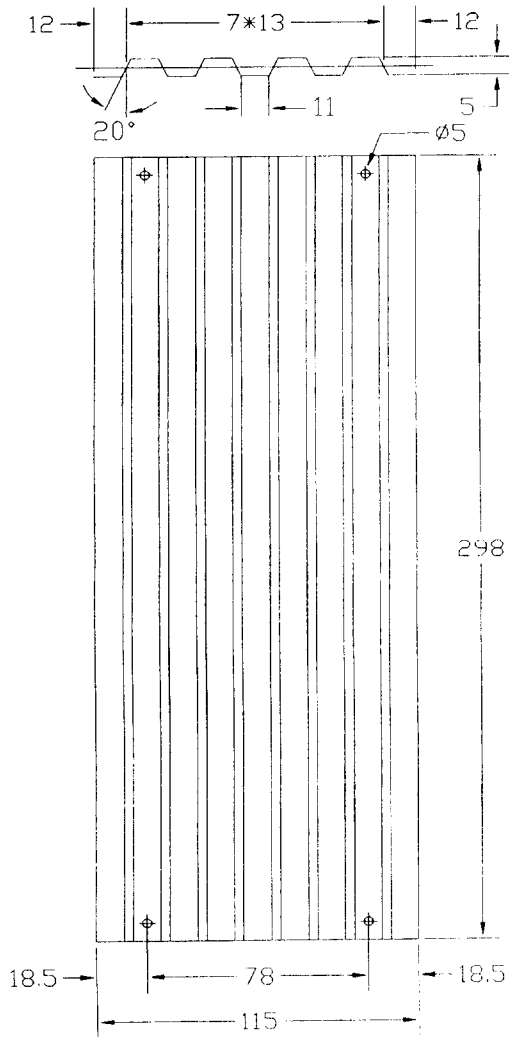


Fig. 4 Dimension of collecting plate

되도록 하였다. 이러한 시간지연회로의 초기값을 기준으로 관찰하고자 하는 진동 순간의 시간값을 시간지연회로에 설정함으로써 충격 발생 후의 시간에 따른 진동의 변화 형태를 관찰할 수가 있다.

Fig. 3은 본 실험에서 구성한 집진판의 조립 상태와 충격장치를 나타낸다. 요철 평판의 형상을 갖는 4개의 집진판을 동일 평면상에서 나란하게 배열하고 집진판의 상단과 하단에서 철재(Steel)의 연결띠(Connecting Band)를 이용하여 체결하는데 각 집진판의 상단과 하단 각각 2군데에서 집진판과 연결띠가 볼트(Bolt)로 체결된다. 그리고 상

단 연결띠의 양쪽 가장자리에서 지지 구조물에 고정되는데 하단은 자유단으로 하였다. 집진판의 충격은 추를 일정한 높이에서 자유 낙하시켜 집진판 조립체에 대해서 횡방향으로 하단의 연결띠에 충격하중이 가해지도록 구성하였다. 집진판의 진동 발생 및 전파 특성을 미시적으로 관찰하기 위해서 추와 연결띠의 충돌점 사이에 두께 1mm의 실리콘 고무(Silicon Rubber)를 부착하였는데 실리콘 고무를 부착하여 충격하중의 크기를 조절함으로써 진동의 전파에 따른 진동 형태의 다양한 변화 과정을 관찰할 수 있었다. 또한 하나의 집진판 뒤에서 집진판에 대해 법선방향으로 중앙에 충격하중을 가함으로써 집진판의 요철 형상이 진동의 전파에 미치는 영향을 분석하였다. 본 실험에서 이용된 추는 직경 6.3mm, 질량 1.05g의 강구(Steel Sphere)이다.

Fig. 4는 1개의 집진판의 형상과 크기를 나타낸다. 집진판의 가로 길이는 115mm이고(집진판의 요철 깊이 5mm와 요철 각도 20°를 고려하면 가로 길이는 약 141mm임) 세로 길이는 298mm이다. 요철은 전체가 9개로 구성되는데 요철폭은 각각 11mm이다. 그림에서 상단과 하단의 4군데 원(Circle)은 집진판과 연결띠를 체결하는 볼트의 위치를 나타내는데 집진판의 두께는 0.25mm이고 재질은 강판(Steel Plate)이다.

4. 실험결과 및 고찰

4. 1 요철 평판내의 진동의 전파 특성

Fig. 5는 하나의 집진판에 대해 집진판의 중앙에 법선방향으로 충격하중을 가하였을 때 진동이 생성되어 전파되어 가는 현상을 시간 변화에 따라 관찰한 것인데 요철 평판내의 진동의 전파 특성을 해석하였다.

Fig. 5 (a) - (h)는 충격 후 각각 30μsec, 50μsec, 80μsec, 100μsec, 130μsec, 180μsec, 220μsec, 300μsec 순간의 진동 형태이다. (a)에서는 집진판 중앙의 충격 지점을 중심으로 진동 진폭에 대응한 간섭 무늬가 형성되어 있음을 볼 수 있다. 요철 깊이를 고려한 집진판의 크기를 기준으로 전파 거리

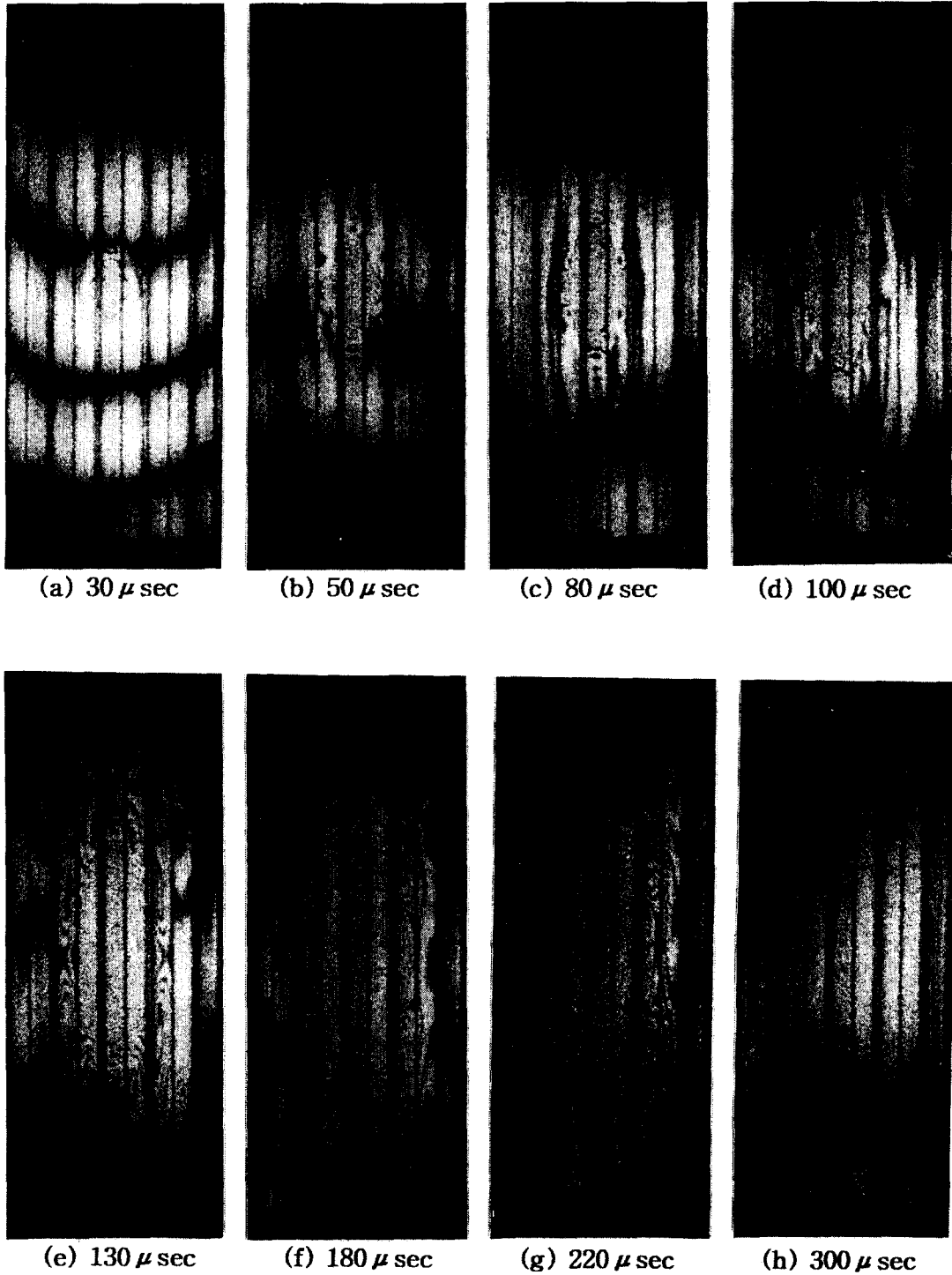


Fig. 5 Wave propagation of convexo - concave collecting plate

를 측정해 보면, 충격 지점을 중심으로 반경 약 26mm 정도까지 전파되어 있다. 한편 집진판 전체에 걸쳐서 충격하중으로 인한 집진판 자체의 매우 미소한 굽힘 진동을 나타내는 가로 방향의 간섭 무늬를 몇개 볼 수 있는데 이것은 실험에 사용된 집진판의 두께가 매우 얇은 것의 영향으로 사료된다. 이러한 집진판 자체의 미소한 진동은 (b)-(d)에서도 계속 나타나는데 (e)-(h)에서는 거의 나타나지 않는다. 즉 충격하중에 의해 발생한 주된 탄성과 (Elastic Wave)가 집진판 전체로 전파하여 감에 따라 집진판 자체의 미소한 굽힘 진동 성분은 거의 소멸됨을 알 수 있다. (b)에서는 반경 약 43mm 지점까지 진동의 전파가 이루어져 있다. (c)-(e)는 충격 후 시간이 지남에 따라 진동의 전파 범위가 점점 확산되어 가는 변화 과정을 보여주고 있는데, (d)에서는 가로 방향으로 가장자리 근처까지 진동이 전파되어 있으나 세로 방향으로 아직 상하 가장자리까지 진동이 전파되지 않은 것으로 관찰된다. 그리고 (e)에서는 가로, 세로 방향으로 집진판의 가장자리까지 진동이 전파되어 있음을 보인다. (f)와 (g)는 집진판의 가장자리로부터의 반사파 (Reflection Wave)가 형성되어 있는 상태이다. 그리고 (h)에서는 충격하중에 의해 형성된 탄성과와 가장자리로부터 반사된 반사파가 서로 혼합되면서 집진판 전체에 걸쳐서 매우 큰 진동 분포를 보인다(진동이 매우 크기 때문에 진동 진폭에 대응해서 형성되는 간섭 무늬가 너무 촘촘하여 간섭 무늬가 거의 식별되지 않는데 집진판의 좌우 양쪽 가장자리에서는 아직 진동이 다소 작아 몇개의 간섭 무늬가 관찰됨). 요철 형상이 진동의 전파에 미치는 영향에 대해서 실험 결과를 고찰하여 보면 다음과 같다. 집진판에 요철 형상이 있으면 충격하중에 의해 집진판내에 형성된 파(Wave)가 요철면을 가로질러 전파하는 중에 요철의 곡선부에서 파의 일부가 반사하게 된다¹⁵⁾. 그리하여 요철의 직선부의 진동 형태는 진행과 곡선부로부터의 반사파가 혼합되어 매우 복잡한 진동 거동을 보인다. 또한 파가 요철면을 계속하여 지남에 따라 진동의 진폭이 점점 감소하게 되는데¹⁶⁾, 이러한 진동 진폭의 감소 영향으로 가로 방향으로 진동이 전파된 영역을 확실하게 관찰하기가 어렵게 된다((a)-(d)). 왜냐

하면 진동의 진폭이 $\lambda/4$ 보다 작으면 진폭에 대응한 간섭 무늬가 선명하게 형성되지 않기 때문이다.

4.2 충격하중에 의한 집진판의 진동 특성 해석

집진판 조립체에 충격하중을 가함으로서 발생하는 진동의 전파 현상을 전체적으로 고찰해 보면, 충격하중이 가해진 초기에는 진동 형태가 짧은 시간 간격으로 변화하는데 점점 시간이 지날수록 어느 정도의 시간폭을 갖고서 유사한 진동 형태를 나타내다가 다음의 진동 형태로 발전되어 나갔다. 그리하여 본 연구에서는 진동 형태가 변화되어 가는 과정에 따라 그 현상들을 분석함으로써 진동의 발생 및 전파 메커니즘을 해석한다.

Fig. 6은 집진판 조립체의 충격하중 실험결과를 나타내는데 시간에 따른 진동의 변화 양상을 보인다. 충격하중은 사진의 왼쪽 하단에 횡방향으로 가해진다. 편의상 충격 지점에 가까운 사진의 왼쪽으로부터 각각의 집진판을 집진판 -1, 집진판 -2, 집진판 -3, 집진판 -4로 호칭한다.

Fig.6 (a)는 충격하중을 가한 후 100 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 집진판 -1을 살펴보면, 중앙 부분의 간섭 무늬가 아래로 볼록한 형상을 하고 있는데 이는 하단으로부터 발생되어 상단으로 전파되어 올라간 탄성과가 상단으로부터 반사되어 하단으로 내려오고 있음을 보인다. 집진판 -2를 살펴보면, 하단의 2군데 볼트 체결부를 중심으로 충격하중으로 인한 진동이 발생하고 있음을 확실히 알 수 있는데 하단에서 발생된 파가 상단으로 전파되어 올라가고 있고 상단 오른쪽에서는 볼트 체결부를 중심으로 반사파가 형성되고 있다. 또한 상단 왼쪽 부분에서 발생된 반사파가 오른쪽 부분보다는 약간 더 하단으로 전파되어 있다. 집진판 -3을 살펴보면, 집진판 -2와 마찬가지로 하단의 2군데 볼트 체결부에서 진동이 발생되어 상단으로 전파하고 있는데 충격하중으로 인한 진동의 전달 경로상 충격 지점에 더 가까운 왼쪽 부분의 파면이 상단으로 더 전파되었다. 집진판 -4를 살펴보면, 파면의 형상이 왼쪽에서 오른쪽으로 기울어지는 사선 형태의 형상을 하고 있는데 이는 하단의 오른쪽 볼트 체결부에서는 아

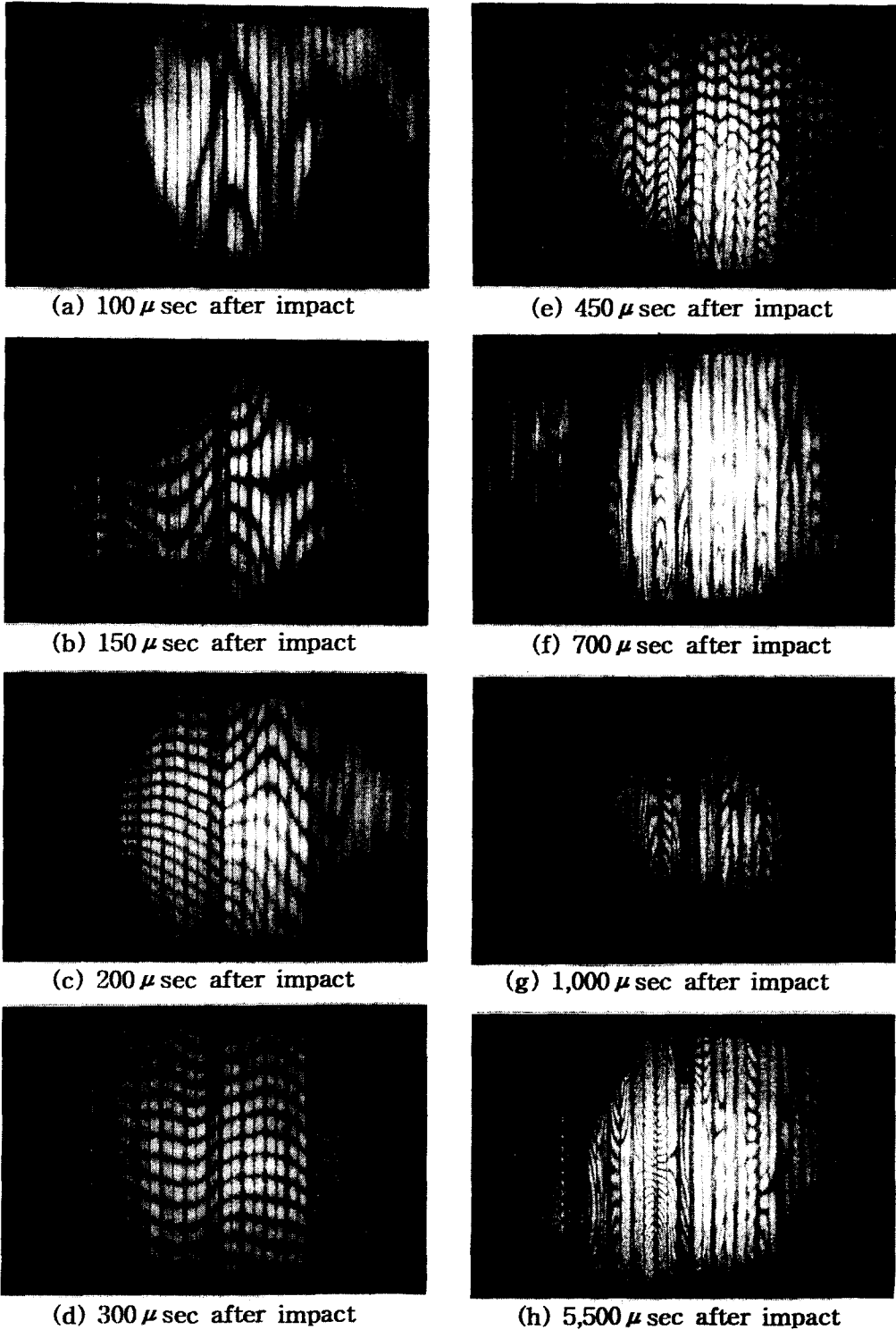


Fig. 6 Transient wave propagation of collecting plates by impact load

직 진동이 발생하지 않고 하단의 왼쪽 볼트 체결부에서만 약간의 진동이 발생하여 상단으로 전파되고 있음을 나타낸다. 4개의 집진판에 대해서 종합하여 생각해 보면, 충격하중으로 인해 하단에서 발생하는 탄성파와 상단에서 발생하는 반사파의 발생 근원지는 집진판과 연결띠를 고정하는 볼트 체결부임을 알 수 있다. (b)는 충격 후 150 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 집진판 - 1과 집진판 - 2는 하단에서 발생된 파와 상단에서 발생된 반사파가 합성되어 있는데 집진판 - 2에서는 상단으로부터 반사된 반사파가 하단으로 전파하는 형태의 파면이 주를 이루고 있다. 집진판 - 3의 하단에서는 2군데 볼트 체결부에서 진동이 발생하여 상단으로 전파되어 올라가고 있고 상단에서는 2군데 볼트 체결부에서 반사되는 반사파가 생성되어 하단으로 전파하고 있는데 중간 부분에서는 상단으로 전파하는 파와 상단으로부터 반사되어 하단으로 전파하는 파가 합성되어 있는 형태를 보인다. 집진판 - 4에서는 하단의 왼쪽에서 발생한 탄성파가 상단으로 많이 전파되어 있고 하단 오른쪽에서도 탄성파의 발생이 시작되고 있다. 그리고 상단 왼쪽에서는 반사파의 초기 형성도 볼 수 있다. (c)는 충격 후 200 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 집진판 - 1과 집진판 - 2, 집진판 - 3에서는 상단으로 전파하는 파와 상단으로부터 반사된 반사파가 합성되어 있는 형태의 파면을 이루고 있는데 하단으로부터 상단으로 전파되어 올라가는 파면이 주를 이루고 있다. 그리고 각각의 집진판의 왼쪽이 훨씬 더 촘촘한 간섭 무늬의 형성을 보이고 있는데 이는 각각의 집진판의 왼쪽이 오른쪽보다는 진폭이 더 크다는 것을 의미한다. 또한 집진판 - 4에서는 오른쪽 하단에서 발생한 탄성파가 상단으로 전파하고 있고 왼쪽에서는 상단으로부터 반사된 반사파가 하단으로 많이 전파되어 있다. (d)는 충격 후 300 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 4개의 집진판 전체에 상단으로 진행되는 탄성파와 하단으로 진행되는 반사파가 골고루 합성되어 있다. (e)는 충격 후 450 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 하부에서는 충격하중으로 인한 진동이 계속 발생하여 하단의 2군데 볼트 체결

부에서 생성된 탄성파가 합성되면서 상단으로 전파하여 가고 있는데 상부로 갈수록 반사파와 합성되어 다소 복잡한 형태의 파면을 이루고 있다. 그리고 진동의 발생 근원지인 하부에서 훨씬 더 촘촘한 간섭 무늬를 보이는데 이는 하부의 진폭이 상부보다 더 크다는 것을 의미한다. 또한 각 집진판의 세로 중심선과 상하 2군데 볼트 체결부를 연결하는 2개의 세로 수직선을 경계로 진동의 위상이 바뀌어짐을 알 수 있고 이 시점부터 각각의 집진판은 거의 동일한 형태로 진동을 하고 있다. (f)는 충격 후 700 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 진동의 형태를 보인다. 상단으로 진행되는 파와 하단으로 진행되는 반사파의 합성이 더 진전된 상태로서 거의 정상파의 파면 형태를 보이고 있다. 그리고 각각의 집진판의 가로 중심선을 경계로 대칭적인 형상을 하고 있는데 이는 가로 중심선을 경계로 진동의 위상이 바뀌어짐을 의미한다. (g)는 충격 후 1,000 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 4개의 집진판은 전부 동일한 형태로 진동하고 있음을 알 수 있는데 진동 형태는 가로 절선(Nodal Line) 1개와 세로 절선 3개의 고유 진동 모드와 유사하다. 즉, 가로 방향의 중심선이 가로 절선으로 되고 상하의 볼트 체결부를 세로 방향으로 잇는 세로선 2개와 세로 방향의 중심선이 세로 절선으로 되는 고유 진동 모드와 유사한 형태를 하고 있다. (h)는 충격 후 5,500 μ sec 순간에 집진판이 진동하고 있는 형태를 보인다. 충격 후 1,000 μ sec 순간과 동일한 진동 형태를 유지하고 있다. 이상의 결과들로부터 알 수 있는 또 하나의 특징은 충격력이 세게 작용하는 집진판 - 1에서는 탄성파의 변화 속도가 빠르고 충격력이 약한 집진판 - 4에서는 탄성파의 변화 속도가 느리다. 그리고 충격하중이 가해진 초기에는 4개의 집진판이 서로 다른 진동 형태를 보이지만 시간이 지남에 따라 4개의 집진판은 동일한 진동 형태로서 고유 진동 모드로 진동하게 되는데 가로 절선 1개와 세로 절선 3개를 갖는 고유 진동 모드의 진동 형태가 오랫동안 지속된다.

5. 결 론

펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래픽 시

시스템을 구성하여 집진판의 충격하중에 따른 진동의 발생 및 전파 특성을 시간적 변화에 따라 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 펄스 레이저를 이용한 2중 노출 홀로그래픽 시스템은 충격하중에 의한 진동과 같이 아주 순간적이고 불규칙적인 진동을 관찰하고 해석하는데 있어서 매우 유용하다.

2) 집진판 조립체에 충격하중을 가한 경우, 집진판과 연결띠가 접촉하는 볼트 체결부를 중심으로 집진판에 진동이 발생한다.

3) 충격 지점에 가장 가까이 위치한 집진판에서는 충격력이 세게 작용하여 집진판의 파면의 변화 속도가 빠르고 충격력이 다소 약하게 작용하는 제일 끝의 집진판에서는 파면의 변화 속도가 느리다.

4) 충격 초기에는 4개의 집진판이 서로 다른 진동 형태를 보이는데 시간이 지남에 따라 4개의 집진판은 동일한 형태로 진동한다.

5) 집진판의 진동은 가로 절선 1개와 세로 절선 3개를 갖는 고유 진동 모드의 진동 형태로 발달하여 가장 오랫동안 지속된다.

6) 집진판의 중앙에 충격하중을 가한 경우, 요철을 가로질러 전파하는 파는 요철의 굽어진 부분에서 파의 일부가 반사되는데 이로 인하여 요철면을 계속 지나감에 따라 진동의 진폭이 감소하게 된다.

참고문헌

- 1) The Melvaine Company, 1982, "The Electrostatic Precipitator Manual : Plate Rapping", Chapter II, pp. 44.11~44.36.
- 2) Juricic, D. and Herrmann, G., 1978, "Response of Collecting Plates in Electrostatic Precipitators due to Shear Rapping", Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, Vol. 100, pp. 105~112.
- 3) Enochson, L. and McKeever, B., 1976, "Preliminary Experimental Determination of Precipitator Plate Vibration Modes by Real Time Digital Fourier Analysis", Time/Data Report under Contract No. RP533 - 3.
- 4) Juricic, D. and Herrmann, G., 1977, "High Speed Photography of Dust Layer Dislodgment", EPRI Select Workshop for Electrical Precipitator and Fabric Filter Manufacturers.
- 5) Juricic, D. and Herrmann, G., 1979, "On the Dynamics of Electrostatically Precipitated Fly Ash", Journal of Engineering for Power, Transactions of the ASME, Vol. 101, pp. 584~591.
- 6) Hein, A. G., 1990, "Mechanical Aspects of Electrostatic Precipitation", The 4th International Conference on Electrostatic Precipitation, Chapter 7, pp. 567~575.
- 7) Goland, Y., 1976, "Mechanical and Structural Design Consideration for Internals in Electrostatic Precipitators", Transactions of the ASME, Paper No. 76 - WA/PWR - 7.
- 8) Nagyoung Chang, Peter, C. Y. Lee, David, P. Billington and Mark, R., 1976, "Simplified Analytical Study of Rapped Electrostatic Precipitator Plates", Research Report #76 - SM - 11, Princeton University.
- 9) Cheung, K. and Mark, R., 1976, "Photoelastic Study of Rapped Electrostatic Precipitator Plates", Research Report #76 - SM - 15, Princeton University.
- 10) Felske, A. and Happe, A., 1978, "Vibration Analysis by Double Pulsed Laser Holography", Society of Automotive Engineers, No. 770030, pp. 88~104.
- 11) Vest, C. M., 1979, "Holographic Interferometry", John Wiley and Sons, New York.
- 12) Gottenberg, W. G., 1968, "Some Application of Holographic Interferometry", Experimental Mechanics, Vol. 8, No. 9, pp. 405~410.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) Crowley, F. B. III, Phillips, J. W. and Taylor, C. E., 1976, "Pulse Propagation in Straight and Curved Beams - Theory and Experiment", Jour-

- nal of Applied Mechanics, Transactions of the ASME, Vol. 41, pp. 71~76.
- 16) Simha, K. R. Y. and Fourney, W. L., 1984, "Investigation of Stress Wave Propagation through Intersecting Bars", Journal of Applied Mechanics, Transactions of the ASME, Vol. 51, pp. 345~353.