

# 충격하중에 의한 단순보의 손상곡선

Damage Curves of the Simple Beam under the Impulsive loadings

이 상 호\*  
Lee, Sang-Ho

류 용 희\*\*  
Ryu, Yong-Hee

## Abstract

The safety criteria for the simple beam with a rigid-plastic model under the impulsive loadings are established with the peak-load ratio to the static collapse load and impulse ratio to the ideal impulse producing the plastic hinge at the mid-span. It is shown that the impulse and peak-load of the impulsive loadings are the important factors for the damage of the structures. It is also shown that the damage curves with the peak-load and impulse ratio may be useful method to estimate the damage of the structures due to the emphasis on the equivalent dynamic loads rather than the equivalent static loads in the process of deriving the curve.

## 요 지

강 소성 모델을 이용한 단순보의 손상곡선을 소성힌지를 발생시키는 정역학적 붕괴하중과 이상임펄스에 대한 하중최대치 비와 임펄스 비를 이용하여 작성하였다. 작성된 손상곡선으로부터 임펄스와 하중 최대치가 구조물의 안전에 중요 변수가 됨을 보였으며 또한, 하중최대치 비와 임펄스 비로 작성된 손상곡선은 하중작용시간과 하중의 형태 그리고 구조물의 동적 특성이 함께 고려된 기준으로, 등가 동하중에 초점을 맞추어 일괄적으로 구조물의 안전성을 판단할 수 있는 방법이다.

**Keywords :** Damage curves, Peak load, Impulse, Rigid-plastic model.

**핵심 용어 :** 손상곡선, 최대하중, 임펄스, 강-소성 모델.

\* 단국대학교 토목환경공학과, 교수  
\*\* 단국대학교 토목환경공학과, 석사과정

E-mail : yongheeryu@hanmail.net 019-648-3231

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

충격하중은 충돌이나 폭발 시에 충돌 물체나 인근 구조물에 작용하는 하중을 말한다. 충격하중이 작용하는 구조물은 발파작업이 수시로 수행되는 건설현장이나 광산의 인근 구조물, 파도에 의한 충격이 발생하는 해안 구조물이나 선박의 선체, 차량의 탑승자를 보호하기 위해 설치된 도로나 교량의 분리대 등이 있다. 이들 용도가 다른 구조물에 발생하는 충격하중의 형태는 하중의 발생 원인에 따라 다를 수 있으나, 순간적으로 종료하는 특성을 갖는다.

충격하중에 대한 구조물의 안전성을 검토하기 위해서는 우선 하중의 특성을 파악하고, 충격하중에 의한 구조물의 붕괴형상을 파악한 후, 붕괴형상에 근거한 수학적 모델의 계수와 저항함수를 결정함으로써 이루어진다 (Shen 등, 1993; Olson 등, 1993; Watson 등, 1989; Wees 등, 1995). 아래 그림에는 붕괴형상에 근거하여 작성된 실제 구조물의 일자유도계 모델과 함께, 붕괴 전후 구조물의 거동을 탄-소성 형태의 거동으로 표현한 탄-소성 저항함수가 나타나 있으며 그림에서  $P_0$  는 붕괴하중의 크기이다.

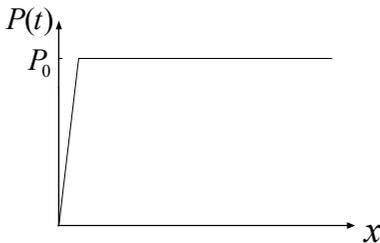
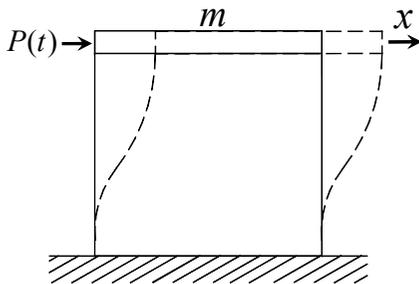


Fig. 1 탄-소성 모델

순간적으로 종료하는 충격하중이 구조물에 작용할 때, 하중-시간 곡선하의 면적으로 정의되는 충격하중의 임펄스는 초기속도의 형태로 방출된다. 따라서 충격 하중에 의한 구조물의 거동은 초기속도에 의한 거동으로 볼 수 있으며, 이때 초기속도의 크기는 충격하중의 임펄스의 크기에 의해 결정된다. 초기속도의 크기를 결정짓는 이러한 임펄스는 하중-시간 곡선하의 면적으로 정의되기 때문에 충격하중에 대한 구조물의 거동은 충격하중의 최대치와 형태 그리고 하중작용시간에 의해 영향을 받게 된다.

충격하중에 대한 구조물의 안전성을 파악할 수 있는 방법은 동적 하중계수방법, 발파공법이 수행되는 현장에서 사용되는 지반의 최대입자속도 방법 혹은 지진 시 사용되는 최대입자가속도 방법이 있다. 그러나 이들 방법은 탄성영역의 해석을 통한 등가 정 하중에 초점을 맞추고 있어, 충격하중과 같이 높은 압력을 갖고 순간적으로 종료하는 하중에 의한 안전성은 파악하기가 쉽지 않다.

본 연구에서는 충격하중의 하중최대치와 임펄스를 변수로 사용하여 단순보의 안전을 파악할 수 있는 손상곡선을 제시하고자 하며, 제시된 방법은 하중의 동적 특성과 구조물의 동적 특성이 함께 고려된 방법으로, 임계변위를 발생시키는 등가 동하중에 초점을 맞추고 있어 단순보의 안전을 일괄적으로 파악할 수 있는 방법이다. 충격하중의 형태로는 사각형, 삼각형, 그리고 지수형태의 충격하중을 사용하며, 저항함수로서는 Florence(1977)가 이용한 강-소성 모델을 사용한다.

## 2. 단순보의 강-소성 거동

탄성한계를 초과하여 하중이 증가하면 단순보의 내부에는 최대모멘트가 발생하는 장소에 소성힌지가 형성되며, 내부에 형성된 소성힌지로 인하여 구조물은 불안정한 상태가 되어 하중이 더 증가할 경우 붕괴하게 된다. 이때 붕괴 시의 변위가 탄성영역의 변위와 비교하여 대단히 큰 경우 충격하중에 대한 단순보의 안전성은 강-소성 모델을 저항함수로 사용하여 검토할 수 있다.

아래 Fig. 2에는 소성힌지가 중앙에 형성된 길이  $L$ 인 단순보의 붕괴형상이 나타나 있으며, 그림에서  $P_0$ 는 소성힌지를 형성시키는 정역학적 붕괴하중이며  $\theta$ 는 지점의 처짐각이다. 단순보의 안전성은 붕괴시의 변위가 탄성영역의 변위와 비교하여 대단히 큰 경우 강-소성 모델을 저항함수로 사용하여 검토할 수 있으며, Fig. 3에는 지점의 처짐각  $\theta$ 와 충격하중  $P(t)$ 을 변수로 사용하여 작성된 저항함수가 단순보의 안전성을 검토하기 위하여 나타나 있다. Fig. 3에 나타난 저항함수의 특성은 충격하중의 크기가 붕괴하중  $P_0$ 보다 작을 때에는 강체로, 큰 경우에는 소성힌지의 회전에 의한 지점 처짐각의 완전소성 거동을 나타낸다.

단순보의 내부에 소성힌지를 형성시키는 붕괴하중의 크기는 소성힌지가 형성된 평형상태에 가상변위를 추가하여 일의 원리 식을 세우면 구할 수 있으며, 이러한 방법으로 구한 단순보의 정역학적 붕괴하중과 소성모멘트의 관계는 다음과 같다.

$$M_p = \frac{P_0 L}{4} \quad (1)$$

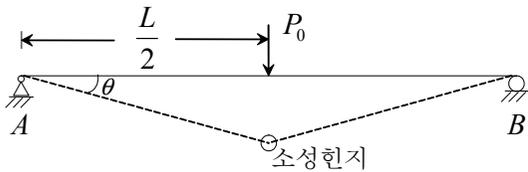


Fig. 2 붕괴형상

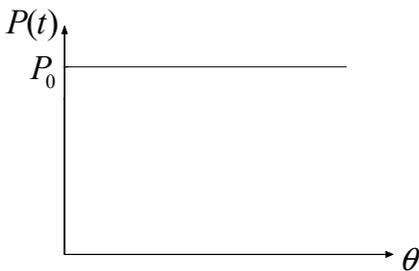


Fig. 3 강-소성 모델

## 2.1 이상임펄스 거동

이상임펄스는 하중의 크기는 무한대로 큰 반면 하중 작용시간은 무한대로 짧은 하중을 말한다. 이상임펄스와 같이 순간적으로 종료하는 하중에 의한 구조물의 거동은 초기속도에 의한 자유진동으로 볼 수 있으며 이때 초기속도의 크기는 모멘텀-임펄스 관계를 이용하면 구할 수 있다.

Fig. 4에는 보 중앙에 작용한 이상임펄스에 의한 단순보의 자유물체도가 대칭성을 이용하여 작성되어 있으며 Fig. 4의 자유물체도에는 직선방향과 회전방향의 관성력 그리고 중앙에 형성된 소성힌지에 의한 소성모멘트가 작용하고 있다. 또한 그림에서  $R_A$ 는 지점 반력 그리고  $\ddot{\theta}$ 는 지점의 처짐각가속도이다. 이상임펄스의 작용에 의한 단순보의 운동방정식은 모멘트 평형 조건 식을 지점에 대하여 세우면 아래의 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\overline{m}L^3}{32} \ddot{\theta} + \frac{\overline{m}L^3}{96} \ddot{\theta} + M_p = 0 \quad (2)$$

보 중앙에 작용한 이상임펄스에 의한 지점 처짐각의 시간이력은 식 (2)의 적분을 통하여 구할 수 있으나 적분과정에서 발생한 적분상수의 값을 찾기 위해서는 필요조건으로 지점의 초기 처짐각속도를 구하여야 한다. 이상임펄스에 의한 지점의 초기 처짐각속도는 모멘텀-임펄스 관계식을 사용하여 구할 수 있으며, Fig. 5에는 모멘텀-임펄스 관계식을 세우기 위하여 작성된, 임펄스 값이  $I$ 인 이상임펄스에 의한 단순보의 속도 분포가 대칭성을 이용하여 점선으로 나타나 있다.

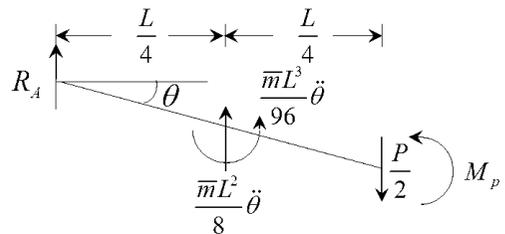


Fig. 4 자유물체도(이상임펄스)

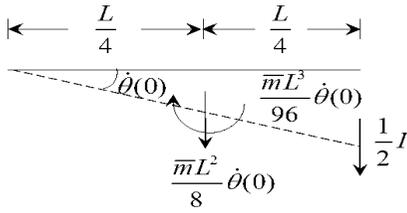


Fig. 5 속도 분포도

Fig. 5에는 중앙에 작용한 이상임펄스에 의해 발생한 직선방향과 회전방향의 모멘텀 그리고 이상임펄스의 임펄스 값이 나타나 있으며 그림에서  $\dot{\theta}(0)$ 는 지점의 초기 처짐각속도를 나타낸다. Fig. 5를 이용하여 각 모멘텀-임펄스 관계식을 지점에 대하여 세우면 아래 식(3)과 같으며, 지점의 초기 처짐각속도는 식 (3)으로부터 다음의 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\bar{m}L^3}{32} \ddot{\theta}(0) + \frac{\bar{m}L^3}{96} \ddot{\theta}(0) = \frac{1}{4} IL \quad (3)$$

$$\dot{\theta}(0) = 6 \frac{I}{mL^2} \quad (4)$$

임펄스 값이  $I$  인 보 중앙에 작용한 이상임펄스에 의한 지점 처짐각의 시간이력은 식 (2)의 적분결과에 식 (4)의 초기조건 그리고 소성모멘트와 붕괴하중의 관계식 (1)을 대입하여 구하면 다음과 같다.

$$\theta(t) = -3 \frac{P_0}{mL^2} t^2 + 6 \frac{I}{mL^2} t \quad (5)$$

Fig. 6에는 임펄스 값이  $I$  인 이상임펄스에 의한 지점 처짐각의 시간이력이 식 (5)를 이용하여 작성되어 있으며, 지점 처짐각의 최대 값은 지점 처짐각속도가 정지되는 시간을 구하여 식 (5)에 대입하면 아래와 같다.

$$\theta^I_{\max} = \theta(t = \frac{I}{P_0}) = 3 \frac{1}{mL^2} \frac{I^2}{P_0} \quad (6)$$

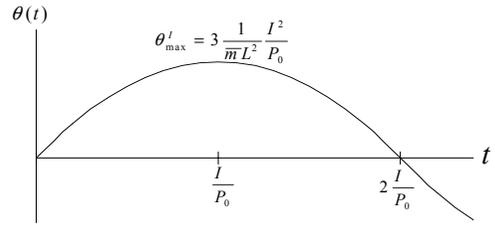


Fig. 6 이상임펄스 거동

## 2.2 계단하중 거동

계단하중은 이상임펄스와는 반대로 하중작용시간이 무한대인 하중으로 무한대의 임펄스 값을 갖는 하중이다. Fig. 7에는 이러한 계단하중이 작용하는 단순보의 자유물체도가 대칭성을 이용하여 나타나 있으며 Fig. 7의 자유물체도에는 계단하중, 직선방향과 회전방향의 관성력 그리고 중앙에 형성된 소성힌지에 의한 소성모멘트가 작용하고 있다. 또한 그림에서  $R_A$ 는 지점반력 그리고  $\ddot{\theta}$ 는 지점의 처짐각가속도이다. 계단하중의 작용에 의한 단순보의 운동방정식은 지점에 대한 모멘트 평형조건 식을 세우면 아래 식 (7)과 같이 구할 수 있으며 지점 처짐각의 시간이력은 식 (7)의 적분을 통하여 구하면 식 (8)과 같다.

$$\frac{\bar{m}L^3}{32} \ddot{\theta} + \frac{\bar{m}L^3}{96} \ddot{\theta} - \frac{PL}{4} + M_p = 0 \quad (7)$$

$$\theta(t) = 3 \frac{P - P_0}{mL^2} t^2 \quad (8)$$

여기서  $P$ 는 붕괴하중보다 큰 값을 갖는 계단하중이며, 강-소성 거동을 갖는 단순보에서는 계단하중의 크기가 붕괴하중보다 큰 경우에만 지점의 처짐각이 발생된다.

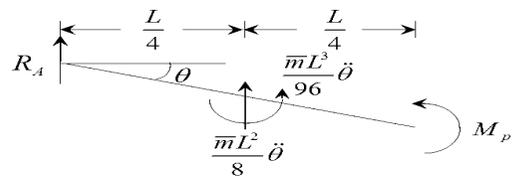


Fig. 7 자유물체도(계단하중)

### 2.3 사각형 하중 거동

하중작용시간이  $\tau$  인 사각형 형태 충격하중에 대한 단순보의 거동은 하중작용구간과 하중 종료후의 구간으로 나누어 구하여야 하며 하중작용구간에서는 계단 하중에 의한 거동과 동일하다. 하중 종료 후 구간에서의 운동방정식은 하중종료 후의 자유물체도를 이용하면 식 (9)와 같이 구할 수 있으며 하중 종료 후 지점 처짐각의 시간이력은 식 (9)의 적분결과에 하중종료 시의 처짐각속도와 처짐각을 초기조건으로 대입하여 구하면 식 (10)과 같다.

$$\frac{\overline{mL}^3}{32} \ddot{\theta}(t) + \frac{\overline{mL}^3}{96} \dot{\theta}(t) + M_p = 0 \quad (9)$$

$$\theta(t) = -3 \frac{P_0}{mL^2} t^2 + 6 \frac{P-P_0}{mL^2} \tau t + 3 \frac{P-P_0}{mL^2} \tau^2 \quad (10)$$

여기서  $t' = t - \tau$  이며,  $P$  는 붕괴하중  $P_0$ 보다 큰 값을 갖는 사각형하중의 크기이다. 아래 그림에는 사각형 형태 충격하중에 의한 지점 처짐각의 시간이력인 식 (10)을 이용하여 나타나 있다.

그림으로부터 사각형 형태 충격하중에 의한 최대 처짐각은 하중종료 후에 발생되며 지점 처짐각의 최대 값은 지점 처짐각속도가 정지되는 시간을 구하여 식 (10)에 대입하면 아래와 같이 구할 수 있다.

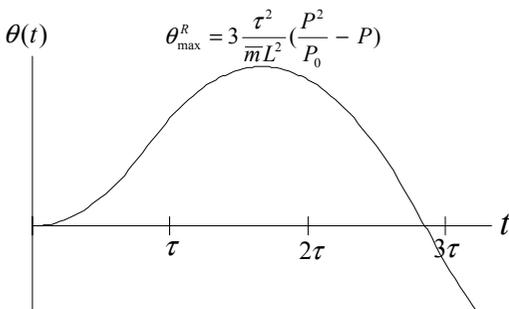


Fig. 8 사각형 하중 거동

$$\theta_{\max}^R = \theta(t' = \frac{P-P_0}{P_0} \tau) = 3 \frac{\tau^2}{mL^2} (\frac{P^2}{P_0} - P) \quad (11)$$

### 2.4 삼각형 하중 거동

아래 그림에는 하중 최대치가  $P$  이고 하중작용시간은  $\tau$ , 그리고 임펄스는  $P\tau/2$  인 삼각형 형태의 충격하중이 나타나 있다.

삼각형 형태의 충격하중에 대한 단순보의 거동도 사각형 하중과 같이 하중작용구간과 하중 종료후의 구간으로 나누어 구할 수 있다. 하중작용구간의 운동방정식과 지점 처짐각의 시간이력은 다음과 같다.

$$\frac{\overline{mL}^3}{32} \ddot{\theta} + \frac{\overline{mL}^3}{96} \dot{\theta} - \frac{P(t)}{4} + M_p = 0 \quad (12)$$

$$\theta(t) = 3 \frac{t^2}{mL^2} (-\frac{P}{3\tau} t + P - P_0) \quad (13)$$

여기서  $P(t)$  는 삼각형 하중이다. 하중종료 후에 운동방정식과 지점 처짐각의 시간이력은 다음과 같다.

$$\frac{\overline{mL}^3}{32} \ddot{\theta}(t) + \frac{\overline{mL}^3}{96} \dot{\theta}(t) + M_p = 0 \quad (14)$$

$$\theta(t) = -6 \frac{P_0}{mL^2} t^2 + c_1 t + c_2 \quad (15)$$

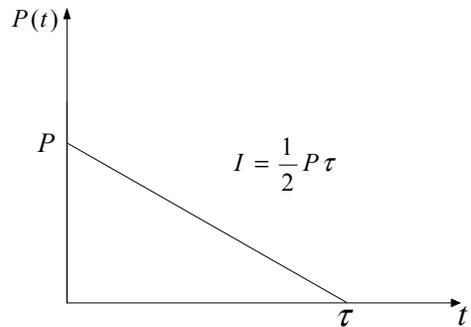


Fig. 9 삼각형 하중

여기서  $t' = t - \tau$ 이며  $c_1, c_2$  는 적분상수이다.

삼각형 형태 충격하중의 하중최대치가  $2P_0$ 보다 작은 경우에는 하중작용구간에서 최대 값이 발생되며 그 처짐각의 크기는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \theta_{\max}^{\tau} &= \theta\left\{t=2\left(1-\frac{P_0}{P}\right)\tau\right\} \\ &= 4\frac{\tau^2}{mL^2}\left\{\frac{(P-P_0)^3}{P^2}\right\} \end{aligned} \quad (16)$$

하중최대치가  $2P_0$ 보다 큰 경우에는 하중종료 후에 최대 값이 발생되며 그 처짐각의 크기는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \theta_{\max}^{\tau} &= \theta\left(t' = \frac{1}{2}\frac{P-2P_0}{P_0}\tau\right) \\ &= \frac{1}{4}\frac{\tau^2}{mL^2}\left\{3\frac{P^2}{P_0} - 4P\right\} \end{aligned} \quad (17)$$

## 2.5 지수하중 거동

아래 그림에는 하중 최대치가  $P$  그리고 유효 하중 작용시간이  $\tau$  인 지수형태 충격하중이 나타나 있으며 이러한 지수형태 충격하중의 임펄스는 적분을 이용하여 구하면  $P\tau$  이다.

지수형태 충격하중에 의한 강-소성 거동을 갖는 단 순보의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{mL^3}{32}\ddot{\theta} + \frac{mL^3}{96}\dot{\theta} - \frac{P(t)L}{4} + M_p = 0 \quad (18)$$

여기서  $P(t)$  는 지수형태 충격하중이다. 지점의 처짐각속도와 처짐각의 시간이력은 식 (18)에 지수하중을 대입한 후 적분과정을 이용하여 구하면 아래와 같다.

$$\dot{\theta}(t) = 6\frac{1}{mL^2}(-P\tau e^{-\frac{t}{\tau}} - P_0t + P\tau) \quad (19)$$

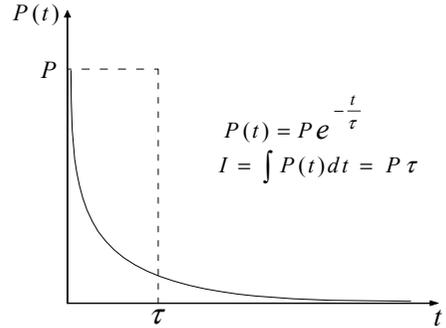


Fig. 10 지수하중

$$\theta(t) = 6\frac{1}{mL^2}\left(P\tau^2 e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{P_0}{2}t^2 + P\tau t - P\tau^2\right) \quad (20)$$

지수형태 충격하중에 의한 최대 처짐각은 다음과 같이 구할 수 있다. 최대 처짐각은 정지 중에 발생되며 따라서 식(19)을 0으로 놓으면 최대 처짐각이 발생하는 시각을 아래와 같은 음 함수의 형태로 구할 수 있다.

$$\frac{t^*}{\tau} = \frac{P}{P_0}\left(1 - e^{-\frac{t^*}{\tau}}\right) \quad (21)$$

여기서  $t^*$ 는 최대 처짐각이 발생하는 시각이며, 음 함수의 형태로 나타나기 때문에 명시적으로 구할 수는 없으나, 식(20)의 지수 항과 시간  $t$ 을 식 (21)을 이용하여 치환하고 정리하면 지수형태 충격하중에 의한 최대 처짐각을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_{\max}^E &= 6\frac{\tau^2}{mL^2}\left\{\left(-P + \frac{P^2}{P_0}\right)\left(1 - e^{-\frac{t^*}{\tau}}\right)\right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2}\frac{P^2}{P_0}\left(1 - e^{-\frac{t^*}{\tau}}\right)^2\right\} \end{aligned} \quad (22)$$

또한 위의 식 (22)에서 지수 항이 있는 괄호 안의 값들을 식(21)을 이용하여 정리하면 지수형태 충격하중에 의한 최대 처짐각은 다음과 같다.

$$\theta_{\max}^E = 6 \frac{\tau^2}{mL^2} \left\{ (P - P_0) \frac{t^*}{\tau} - \frac{1}{2} P_0 \left( \frac{t^*}{\tau} \right)^2 \right\} \quad (23)$$

### 3. 손상곡선

충격하중에 대한 구조물의 안전성을 검토 할 수 있는 손상곡선은 이상입펄스에 의한 임계변위와 충격하중에 의한 최대변위를 등치 시킨 후, 충격하중의 임펄스 비와 하중최대치 비를 변수로 사용하여 구할 수 있다.

이상입펄스에 의한 단순보의 거동은 Fig. 6과 같으며, 임펄스 값이  $I_0$  인 이상입펄스에 의해 임계변위가 발생되었다면 임계변위는 식(6)으로부터 다음과 같다.

$$\theta_{cr} = 3 \frac{1}{mL^2} \frac{I_0^2}{P_0} \quad (24)$$

#### 3.1 사각형하중 손상곡선

사각형 형태 충격하중이 단순보에 작용하는 경우, 최대 값은 식 (11)과 같으며, 식 (24)의 임계 처짐각과 등치 시키면 사각형 형태 충격하중에 대한 손상곡선 식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$I^2 = P / (P - 1) \quad (25)$$

여기서  $I$ ,  $P$  는 임계변위를 발생시키는 이상입펄스와 정역학적 붕괴하중에 대한 사각형 하중의 임펄스와 하중최대치의 비로 각각 아래와 같다.

$$I = \frac{I}{I_0}, P = \frac{P}{P_0} \quad (26)$$

#### 3.2 삼각형하중 손상곡선

삼각형 형태 충격하중의 하중최대치가  $2P_0$ 보다 작

을 때에는 하중작용 구간 내에서 최대치가 발생하며, 최대 처짐각은 식(16)과 같다. 하중최대치가  $2P_0$ 보다 큰 경우에는 하중종료 후에 최대치가 발생하며, 최대 처짐각은 식(17)과 같다. 이들 최대 값을 이상입펄스에 의한 임계 처짐각인 식(24)와 등치 시키면 삼각형 형태 충격하중에 대한 손상곡선 식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$I^2 = \frac{3}{16} [P^4 / (P - 1)^3], 1 \leq P \leq 2 \quad (27)$$

$$I^2 = 3P / (3P - 4), 2 \leq P \quad (28)$$

#### 3.3 지수하중 손상곡선

지수 형태 충격하중이 작용하는 경우, 최대 지점 처짐각은 식(23)과 같으며, 식(24)의 임계 처짐각과 등치 시킨 후 식 (21)을 사용하여 정리하면 지수 형태 충격하중에 대한 손상곡선 식을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$I^2 = \frac{P^2}{2(P - 1) \frac{t^*}{\tau} - \left( \frac{t^*}{\tau} \right)^2} \quad (29)$$

아래 그림에는 사각형, 삼각형, 그리고 지수형태 충격하중에 대한 강-소성 모델을 이용한 단순보의 손상곡선이 식(25), (27), (28), 그리고 (29)를 이용하여 도시되어 있다.

Fig. 11에 도시된 손상곡선들은 동일한 임계변위를 발생시키는 하중들의 집합이다. 손상곡선의 우측 상단은 손상영역을 나타내며 반대편은 안전영역을 나타낸다. 또한 손상곡선 상의 화살표는 손상곡선의 그래디언트로써, 가장 효과적으로 구조물에 손상을 발생시킬 수 있는 방향을 나타낸다.

각 손상곡선에 도시된 그래디언트로부터 단기하중인 경우에는 임펄스가 그리고 장기하중인 경우에는 하중 최대치가 안전에 주요변수가 되는 것을 알 수 있으며 중기하중인 경우 임펄스와 하중최대치 모두 구조물 안전에 중요 변수가 되는 것을 알 수 있다.

이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

1. Florence, A. L., "Critical Loads for Reinforced Concrete Bunkers," final report to DNA, Contract No. DNA 001-77-C-0181, SRI international, 1977 Nov.
2. Olson, M. D., Nurick G. N. and Frogman, J. R., "Deformation and rupture of blast loaded square plates prediction and experiments", Int J Impact Eng 132, 1993.
3. Shen, W. Q. and Jones, N., "Dynamic response and failure of fully clamped circular plates under impulsive loading", Int J impact Eng 132, 1993, pp 259~291.
4. Watson AJ, Hobbs B, Wright SJ, "Scaling explosive damage to reinforced concrete beams and slabs, Proceedings of the First international Conference on Structures under Shock and Impact ; Cambridge", MA, USA, 1989 July, pp 15~28,
5. Wees, Rolf MM van, Peters, Dirk-Jan, "Accuracy and range of applicability of the single-degree-of-freedom method, Proceedings of the Seventh international Symposium on interaction of the Effects of Munitions with Structures", 24-28 ; Mannheim, Germany, 1995 April, pp 371~380.

(접수일자 : 2003년 8월 27일)

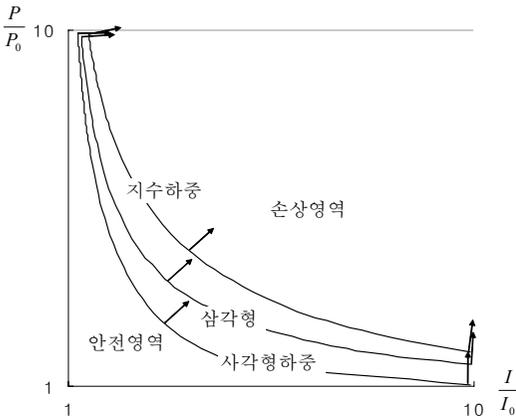


Fig. 11 손상곡선

Fig. 7에 도시된 손상영역의 크기는 사각형, 삼각형, 그리고 지수 형태 하중의 순서로 분포되어 있는 것을 볼 수 있으며 이러한 손상영역의 분포로부터 동일한 하중작용시간을 갖는 충격하중에 대한 손상영역의 크기는 충격하중의 임펄스 값에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

4. 결론

높은 압력을 갖고 순간적으로 종료하는 충격하중에 대한 구조물의 붕괴현상은 소성영역에서 이루어지며 붕괴 시의 변위가 탄성영역의 변위와 비교하여 대단히 큰 경우 강-소성 모델을 저항함수로 사용하여 안전성을 검토 할 수 있다. 본 연구에서는 강-소성 모델을 저항함수로 사용한 단순보의 손상곡선을 하중최대치 비와 임펄스 비를 변수로 사용하여 작성하였으며 손상곡선 작성 결과 장기하중인 경우에는 충격하중의 최대치가 그리고 단기하중인 경우에는 임펄스가 안전에 주요변수가 되며 중기하중인 경우 임펄스와 하중최대치 모두 단순보의 안전에 중요 변수가 되는 것을 파악하였다. 또한 여러 형태의 하중에 의한 손상영역의 크기는 임펄스의 크기가 증가되는 순서로 확대되는 것을 파악하였다.