



# 압연변두께 강판의 압축강도 해석



황 원 섭\*



김 현 민\*\*

## 1. 서 론

최근 강구조 분야의 활성화 및 경쟁력 측면에서 강구조물의 설계 및 제작 그리고 가설후의 유지관리 등을 포함한 합리화 교량에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 합리화 교량의 대표적인 예로서는 소수(少數)주형교를 들 수 있으며 이는 종래의 강재중량을 기초로 한 적산체계의 이행을 시도하는 것이라고 할 수 있다.

그러나 소수주형교에서는 극후판을 사용하여 주형수와 수평보강재의 소수화 및 수직보강재 간격의 확대 등으로 인하여 구조를 단순화시킬 수 있는 반면, 단면력이 작은 단면에 있어서도 극후판을 사용해야 한다는 것과 현장이음에 따른 보강단면을 부재전체에 적용해야 하는 문제점을 내재하고 있다. 압연변두께 강판(Longitudinally Profiled Plate, 이하 LP강판)은 길이방향으로 두께를 변화시킨 단면으로서 강재중량의 절감은 물론, 구조의 간략화를 위하여 개발된 것으로서 최근 들어 유럽과 일본 등지에서 교량에 대한 적용실적이 증가 추세에 있다. 그러나 이러한 LP 강판을 교량에

적용하기 위해서는 새로운 설계기준의 확립이 필요하며, 특히 현행 도로교시방서는 동일두께강판의 강도를 기초로 한 것이므로 이를 LP 강판에 적용하는 경우 그 강도특성을 충분히 반영한 설계가 이루어지기 어려운 실정이라고 할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 단순지지 LP강판을 대상으로 탄소성 FEM해석을 통하여 양단에서의 두께차이 및 판의 폭-두께비의 영향에 대하여 검토하였다.

## 2. 해석방법

### 2.1 해석모델

해석모델은 그림 1에 나타난 바와 같이 길이방향으로 두께가 일정하게 변화하는 일방향 LP강판으로 지지조건은 단순지지로 하였다. 여기서 양단 재하변에서의 두께를 각각  $t_0$ 와  $t_1$ 이라 하면 두께비  $t_r$ 은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$t_r = \frac{t_1}{t_0} \quad (1)$$

\* 본 학회 편집위원 · 인하대 토목공학과, 부교수

\*\* 인하대 대학원 토목공학과, 석사과정

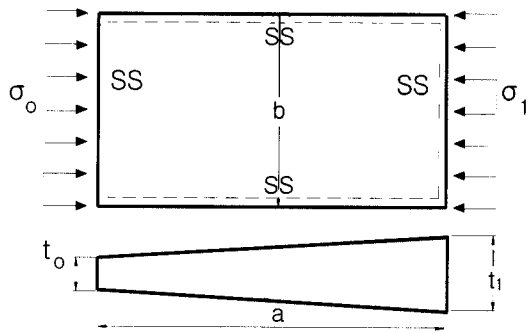


그림 1 해석모델

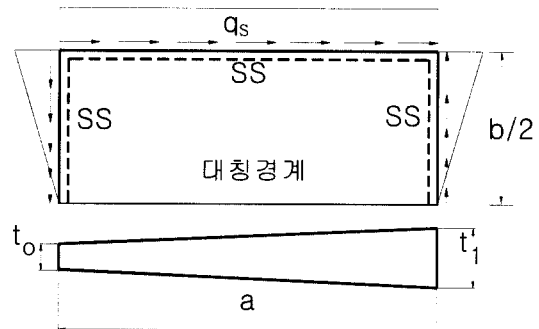


그림 2 부가전단흐름

또한  $R_o$ 는 단면의 최소두께  $t_o$ 에 대한 폭-두께 비 파라메타로서 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$R_o = \frac{b}{t_o} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k\pi^2} \frac{\sigma_y}{E}} \quad (2)$$

여기서,  $\nu$  : 강재의 포아송비(=0.3)  
 $k$  : 좌굴계수(단순지지 : 4.0)

해석에 사용한 강재는 SS400으로서 항복응력  $\sigma_y=2400\text{kgf/cm}^2$ 으로하고, 탄성계수  $E=2.1 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 으로 하였다. 해석모델은 판의 형상비  $a(=a/b)$ 를 1.0으로 일정하게 하여, 두께비에 따라 4개의 모델군( $t_r=1.1, 1.2, 1.3, 1.4$ )로 분류하여 각 모델군별로  $R_o$ 의 값은 약 0.7~1.3까지 변화시켰다.

## 2.2 해석기법

그림 2는 LP강판에서 발생하는 부가전단흐름(shear flow)  $q_s$ 를 나타낸 것이다. LP강판의 양단에 작용하는 응력이 동일하다고 가정하면 이 때의 축방향력은 서로 달라지게 되므로, 힘의 평형조건으로부터 그림 2에 나타낸 바와 같은 부가적인 전단흐름이 발생하게 된다. Nishimura(西村) 등<sup>1),2)</sup>은 LP강판 양단의 응력비와 두께비를 이용하여 비재하(非載荷)면에서의 부가전단흐름을 다음과 같이 구하고 있다.

$$q_s = \frac{b}{a} t_o \cdot \sigma_o \left( \frac{1-\rho}{\rho} \right) \quad (3)$$

여기서,  $\rho = S_r \cdot t_r$

또한 부가전단응력  $\tau_s$ 와 부가전단변형률  $\gamma_s$ 는 각각 다음의 식 (4)와 (5)로부터 구할 수 있다.

$$\tau_s = \frac{q_s}{t_x} \quad (4)$$

여기서  $t_x$  : 전단응력을 구하는 재하변의 두께

$$\gamma_s = \frac{(1+\nu) \cdot \tau_s}{E} \quad (5)$$

LP강판의 FEM해석에 있어서는 축방향력의 변화에 따른 축방향 강제변위와 이상에서 언급한 부가적인 전단변위를 고려함으로써 판요소내의 힘의 평형조건을 만족시키도록 하는 것이 필요하다.

그림 3은 단순지지 LP강판에서의 잔류응력분포 형상을 나타낸 것이다. Hotta(堀田) 등<sup>3)</sup>은 잔류응력의 축방향 인장응력성분  $\sigma_n$ 와 압축응력  $\sigma_{rc}$ 를 각각 다음과 같이 일정하게 분포하는 것으로 가정하였다(그림 3(a)).

$$\begin{aligned} \sigma_n &= \sigma_y & : 0.83b \leq y \leq b \\ \sigma_{rc} &= -0.2\sigma_y & : y \leq 0.83b \end{aligned} \quad (6)$$

또한 식 (6)과 같은 일정한 축방향잔류응력과 평형을 이루기 위한 전단잔류응력성분을 그림 3(b)와 같이 고려하고 있다.

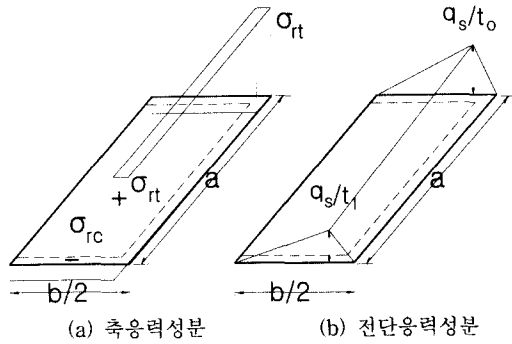


그림 3 잔류응력분포모델

3. 해석결과

이 절에서는 LP강판의 압축강도에 대한 두께비  $t_r$  과 판의 폭-두께비 파라메타  $R_o$  의 영향에 대해 기술하기로 한다.

그림 4는 압축강도와 두께비의 관계를 나타낸 것이다. 우선 그림 4에 나타난 해설결과로부터 압축 강도는 두께비가 증가함에 따라 압축강도도 거의 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있으며  $R_o$  값이 증가할수록 강도상승현상이 발생하여  $R_o=1.3$  인 경우 그 상승률은 약 8%정도가 된다.

그림 5는  $R_o=1.3$  으로 일정하게 하여 두께비별로 처짐분포형상을 비교한 것이다. 이 그림을 통해 처짐형상에 관한 두께비의 영향을 검토해보면 두께 비가 증가할수록 최대처짐의 발생위치  $x/a$  는 판의 중앙부로부터 얇은 쪽으로 약간씩 이동하게 되는 현상이 관찰된다. 이것을 통해 두께비가 증가할수록 소성화 현상이 집중되는 것을 알 수 있다.

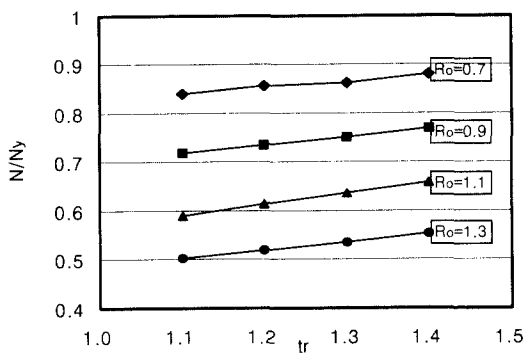


그림 4 압축강도와 두께비의 관계

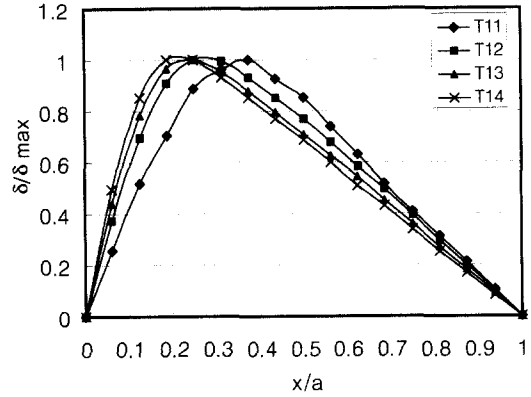


그림 5 처짐분포형상에 관한 두께비의 영향

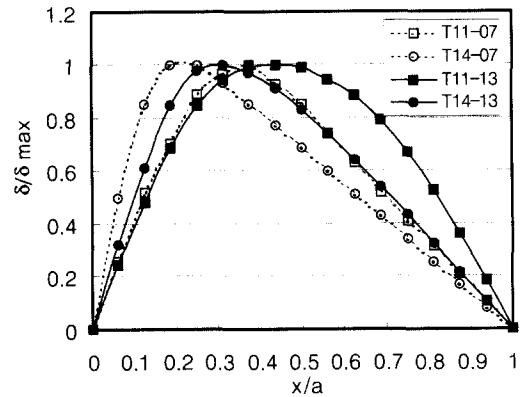


그림 6 처짐분포형상에 관한 R\_o의 영향

그림 6은 두께비  $t_r$  이 각각 1.1, 1.4일 때  $R_o$  값의 변화에 따른 처짐형상을 비교한 것이다. 이 그림으로부터 처짐분포형상은  $R_o$  값의 변화에 따라 서로 다른 형상을 나타내게 되며,  $R_o$  값이 작을수록 판의 얇은 쪽으로 처짐발생이 집중되는 현상을 알 수 있다.

4. LP강판의 압축강도

4.1 압축강도특성의 비교

그림 7은 두께비  $t_r$  이 각각 1.1, 1.4인 LP강판의 얇은 쪽과 두꺼운 쪽을 각각 기준으로 하였을 경우의 압축강도와 현행도로교시방서<sup>4)</sup>에 의한 판의 기본강도곡선을 비교한 것이다. 두께가 얇은 쪽을 기준으로 한 LP강판의 압축강도는 그림 7에 나타

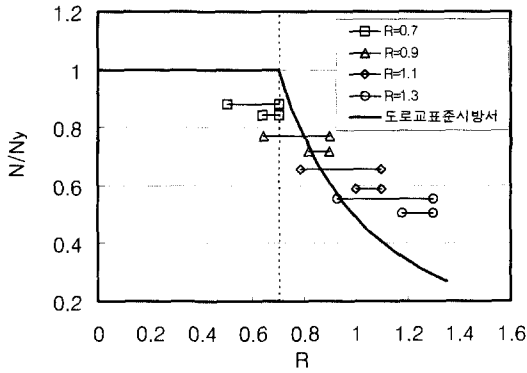


그림 7 LP판의 압축강도

넢 바와 같이  $R_0$  값이 증가할수록 지나치게 안전 측으로 평가하는 것이 되며, 반대로 두꺼운 쪽을 기준으로 하는 경우에는  $R_0$  값이 감소함에 따라 약간씩 위험측으로 평가되는 것을 알 수 있다. 따라서 LP강판의 강도평가는 박부쪽 또는 후부쪽을 기준으로 하면 두께비에 관한 영향이 반영되지 않을 뿐만 아니라 정확한 평가도 이루어질 수 없음을 알 수 있다.

#### 4.2 등가두께를 이용한 압축강도 평가방법

단순지지 LP강판의 압축강도를 평가하기 위한 방법으로서 길이방향으로 두께가 변화하는 LP강판의 두께를 같은 강도를 갖는 일반판의 등가두께로 치환하여 두께가 일정한 판의 기준강도곡선을 이용하는 것이 유용한 방법이라고 할 수 있다. 현재로서는 LP강판의 기준강도곡선을 구하기 위한 초기치짐과 잔류응력분포 등에 관한 실측데이터가 거의 없는 실정이므로 여기서는 일정두께판의 기준강도곡선을 기준으로 LP강판의 강도평가방법에 대하여 검토하기로 한다.

압축력을 받는 일정두께 판의 기준강도곡선에 대하여 참고문헌<sup>5)</sup>에서는 다음과 같이 정하고 있다.

$$\frac{N}{N_y} = 1.0 \quad : R < 0.5$$

$$= \left(\frac{0.5}{R}\right)^{0.88} \quad : R \geq 0.5 \quad (7)$$

한편 Nishimura 등은 등가두께의 산정방법으로

서 LP강판의 초기치짐과 잔류응력을 가정한 일정 두께강판에 대한 해석결과를 기초로 식 (7)을 수정한 다음의 식을 제안하고 있다.

$$\frac{N}{N_y} = 1.0 \quad : R < 0.56$$

$$= \left(\frac{0.56}{R}\right)^{0.88} \quad : R \geq 0.56 \quad (8)$$

Nishimura 등은 식 (8)을 기준강도곡선식으로 정하고 이 강도곡선과 해석결과를 이용하여 등가폭-두께비 파라메타  $R_{eq}$ 를 산출한 후 이로부터 등가 두께  $t_{eq}$ 를 구하는 방법을 제안하였다.

$$R_{eq} = aR_0^2 + bR_0 + c \quad (9)$$

여기서, a, b, c : 두께비를 인자로 하는 상수

$$t_{eq} = t_0 \frac{R_0}{R_{eq}} \quad (10)$$

그림 8은 Nishimura의 제안방법에 의한 등가폭 두께비 파라메터를 이용한 강도평가로 2차회귀함수를 통해 구한 값이기 때문에 거의 정확하게 기준강도 곡선과 일치하는 것을 알 수 있다.

그러나  $R_{eq}$ 는  $R_0$  관한 2차식이고 계수 a, b, c 또한  $t_r$ 에 대한 2차식으로 이루어져 있어서 그 계산과정이 복잡하므로 실용적이지 못한 단점을 내포하고 있어 개선책이 요구된다.

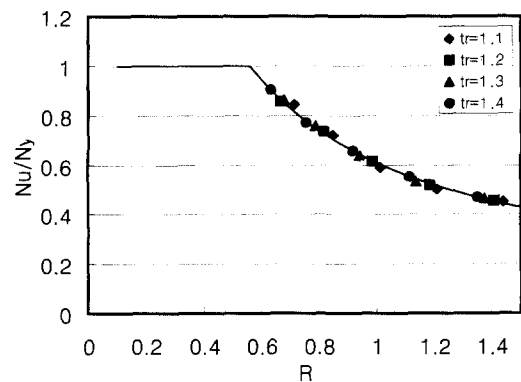


그림 8 Nishimura의 회귀식을 통한 압축강도 평가

## 5. 결 론

이 연구에서는 단순지지 LP강판의 압축강도 특성에 관한 설계변수의 영향에 대하여 검토하였고 강도평가방법에 대하여 논의하였다. 이 연구로부터 얻은 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) LP강판의 처짐형상은 판의 얇은 쪽으로 처짐이 집중되는 현상을 보이며 두께비가 클수록,  $R_o$ 가 작을수록 이러한 현상이 더 뚜렷하다.
- 2)  $R_o$ 값이 증가할수록 두께비 변화에 따른 극한 강도의 상승률은 증가하게 된다.
- 3) 등가두께를 사용하여 단순지지 LP강판의 특성에 맞게 압축강도를 평가하는 방법을 살펴보았으며 실용적인 개선책이 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 西村 宣男, 壓延變厚鋼板を用いた構造部材の強度評價と設計法に關する研究, 大阪大學研究成果報告集, 1998. 3
2. 村之 茂之, 壓延變厚鋼および有孔鋼管の極限壓縮強度特性に關する研究, 大阪大學學位論文, 1996. 7
3. 堀田 毅, 西村 宣男, LP周邊支持板および補剛板の壓縮強度特性と設計法, 日本剛構造年次論文報告集, 제6권, 1998. 11
4. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1995
5. 福本 秀土, 剛骨組構造物の極限強度の統一評價に關する總合的研究, 日本文部省研究成果報告書, 1990. 3
6. British Standard Institution, BS5400 Part 3. Code of practice for design of steel bridge "Steel, Concrete and Composite Bridge", BS5400
7. 김재윤, "주변단순지지 LP강판의 강도특성", 공학석사 학위논문, 인하대학교, 2001. 2 [R]