

반복하중을 받는 강판의 강도 및 변형특성

Strength and Deformation Behavior of Steel Plates under Cyclic Loadings

황 원 섭¹⁾ · 윤 형 석²⁾ · 전 승 권³⁾

Hwang, Won-Sup Yoon, Hyung-Suk Jeun, Seung-Kwon

요 약 : 본 연구에서는 정적 및 반복하중을 받는 강판의 거동특성에 관하여 검토하였다. 강판의 강도에 관한 설계변수로서는 초기처짐과 형상비, 판의 폭-두께비등을 들 수 있으며, FEM해석을 통하여 이상의 설계변수에 관한 영향에 관하여 검토하였다. 정적 압축 하중이 작용하는 판의 강도는 형상비가 1.0이하인 경우에는 형상비 변화에 따른 영향이 거의 나타나지 않았으며, 반복하중을 받는 판의 경우 폭-두께비와 변위 진폭의 크기가 강도에 크게 영향을 미치고 있음을 확인하였다. 이러한 해석결과를 기초로 본 연구에서는 반복재하에 의한 강도감소 특성을 고려한 강도곡선식을 제안하였으며, 또한 폭-두께비와 변위진폭에 따른 판의 변형성능에 관해서 검토하였다.

ABSTRACT : This paper presents the monotonic and cyclic behavior of steel plates. The effects of design parameters, initial deflection and aspect ratio, width-thickness ratio are studied by using FEM analysis. The results obtained from the monotonic loadings show that the aspect ratio(a/b) on the strength is to be neglected in the range of $(a/b) \leq 1.0$. The major cause of the reduction in strength subjected to cyclic loadings are width-thickness ratio and displacement amplitude. Based on the results, this paper presents some new strength curve with considering the cyclic deteriorations. The results are also discussed about the deformation capacity accordance with the width-thickness ratio and displacement amplitude.

핵심용어 : 반복하중, 폭-두께비, 강도곡선, 변형성능

KEYWORDS : Cyclic Loading, Width-thickness ratio, Strength Curve, Deformation Capacity

1) 정회원, 인하대학교 토목공학과 부교수
2) 인하공업전문대학 토목과 교수
3) 학생회원, 인하대학교 대학원 토목공학과 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2001년 10월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

일반적으로 토목구조물에 사용되는 강구조물의 단면은 얇은판으로 구성되어있다. 이러한 구조물의 지진시 안전성 확보를 위해서는 우선 단면을 구성하고 있는 각 구성판의 반복소성이력거동을 정확히 검토하는 것이 중요하다고 하겠다.

이제까지 강구조물의 소성이력거동을 검토하기 위하여 반복하중을 받는 강재의 응력과 변형을 관계에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Dafalias 등⁽¹⁾은 부하(負荷) 곡면과 경계곡면을 사용한 이곡면 모델(two-surface model)을 제안하였으며, Nishimura(西村)등⁽²⁾은 정적재하곡선을 기초로한 강재구성식에 관하여 검토하여 실험결과로부터 얻은 소성이력곡선과 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 한편 Moriwaki(森脇)등⁽³⁾은 압축력을 받는 판의 강도와 변형능성에 관한 강재 특성의 영향에 대하여 검토하였으며, Usami(宇佐美)등⁽⁴⁾은 기존의 FEM해석 프로그램 ABAQUS에 이곡면 모델의 강재구성식을 적용한 보강판의 강도 해석을 하였다. 그러나 이와 같은 연구에서는 강재의 소성이력과 판의 강도와 변형특성에 미치는 설계변수들의 영향을 충분히 반영치 못하고 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이상에서 언급한 사항을 고려하여 우선 탄소성 FEM해석 프로그램 NAPLAT⁽⁵⁾에 Nishimura등이 제안한 강재구성식을 적용하였다. 다음으로 판의 주요 설계변수가 되는 초기 처짐, 형상비, 폭-두께비 등의 변화에 따른 판의 강도와 변형특성에 관한 영향에 대하여 검토한 후, 반복재하에 의한 판의 강도감소곡선과 변형능성에 관하여 검토하였다.

2. 해석방법

2.1 해석모델의 단면제원

그림 1은 면내 압축력을 받는 4변 단순지지 평

판의 해석모델을 나타낸 것이다. 해석모델의 대칭성을 고려하여 압축판의 1/4만을 대상으로 하였으며, 탄소성 FEM 해석에 있어서는 압축판의 강도와 변형 특성에 관한 상세한 검토를 위하여 강재의 변형률경화 및 제하(unloading)시의 탄성역의 감소 등을 고려 할 수 있도록 하였다. 각 해석모델의 단면제원은 표 1에 나타낸 바와 같다. 여기서 R은 식 (1)에 의한 판의 폭-두께비 파라메타, α 는 형상비(= a/b) 그리고 δ_0 는 판의 최대 초기처짐량을 말한다.

$$R = \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)}{k\pi^2}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \quad (1)$$

여기서, ν : 강재의 포아송비(= 0.3)

k : 좌굴계수 (= 4.0)

해석에 사용한 강재는 SS400 강재로서, 참고문헌(2)의 재료실험에 관한 실험데이터로부터 항복응력 $\sigma_y = 2750 \text{ kgf/cm}^2$, 탄성계수 $E = 2.11 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 로 하였다. 우선 표 1에서 R 모델은 판의 형상비 α 와 최대 초기처짐량 δ_0 를 일정하게 하고 식 (1)에 의한 폭-두께비 파라메타 R을 0.3~1.1 까지 변화시킨 것이다. 또한 A 모델은 R과 δ_0 를 일정하게 하고 형상비 α 만을 각각 0.5~1.5 까

표 1. 해석 모델의 제원

모델명	a (mm)	b (mm)	t (mm)	R	α	δ_0
R-03	85	190	12	0.302	0.5	b/150
R-05	160	320	12	0.508	0.5	b/150
R-07	225	450	12	0.715	0.5	b/150
R-09	285	570	12	0.906	0.5	b/150
R-11	350	700	12	1.112	0.5	b/150
A-05	350	450	12	0.715	0.5	b/150
A-10	450	450	12	0.715	1.00	b/150
A-15	675	450	12	0.715	1.50	b/150
D-150	225	450	12	0.715	0.50	b/150
D-300	225	450	12	0.715	0.50	b/300
D-600	225	450	12	0.715	0.50	b/600

지 변화시킨 것이며, D 모델에서는 최대 초기치 집량 δ_0 만을 변화시킨 모델이다.

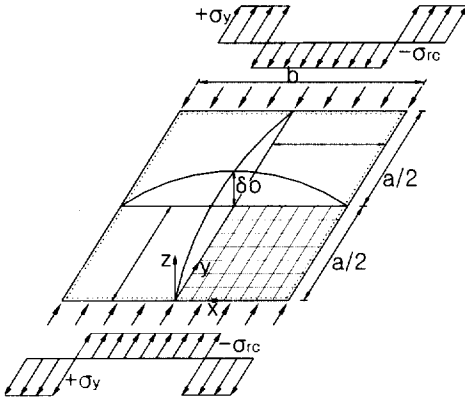


그림 1. 해석모델

2.2 초기부정(initial imperfection)

해석모델의 초기치집 형상은 그림 1에 나타낸 바와 같이 가정하였으며 초기치집량 δ_0 는 다음과 같이 구하는 것으로 하였다.

$$\delta = \delta_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right) \quad (2)$$

여기서 δ_0 는 초기치집량의 최대값을 나타내며 실측 데이터를 기초로한 Nara(奈良)⁽⁶⁾ 등의 연구를 참고로 하여 그 범위를 $b/150 \sim b/600$ 로 정하였다. 또한 잔류응력의 분포는 그림 1과 같이 용접부에 인접하는 요소에서 인장 잔류응력 $\sigma_{rt} = \sigma_y$ 를, 그밖의 요소에서는 압축잔류응력 $\sigma_{rc} = -0.4\sigma_y$ 로 가정하였다.

2.3 해석방법

본 해석 프로그램에서는 Nishimura 등이 제안한 강제 구성식을 적용하였다. 단조재하곡선을 기

초로한 강제구성식에 관한 대표적인 연구로 Kato(加藤), Osayuki(修行) 등의 연구를 들 수 있다. Kato 모델은 공학변형률-공칭응력으로 표현된 강재의 소성이력곡선을 구성식의 골격을 이루는 단조재하곡선의 일부에 해당하는 부분, basinger effect에 의한 연화부분, 탄성제하부분의 3영역으로 나누어 표현하고 있다. Osayuki 모델은 최초의 제하점과 다음 제하점의 진응력의 절대치가 같은 인장-압축-인장의 소성이력 곡선을 기준 루프로 설정하고 기준 사이클이나 그 이외의 경우에 관해서 다수 실험을 행하여 기준 사이클과 그 이외의 경우의 차이를 실험식으로 표현하고 있다.

Nishimura 등이 제안한 강제구성식은 단조재하 곡선을 기초로 반복하중에 의한 탄성구간의 감소와 변형률경화구간의 표현이 가능하게한 것이다. 또한 Kato 등이 고려치 못한 탄성역의 감소, 천이영역에서의 루프의 곡률을 변화시키는 parameter 등을 실험을 통하여 검토 보완하였고, 반복소성이력곡선을 하나의 단조재하곡선으로 표현하여 Osayuki등이 제안한 구성식의 복잡함을 해결한 것이다. 즉 그림 2와 같은 반복하중하의 응력-변형률 관계를 진변형률-진응력식으로 정리한 강재의 소성이력 곡선을 단조인장곡선에 해당하는 부분, 탄성계수로 직선 변화하는 부분, 역부하에 대하여 과도적인 거동을 나타내는 부분(천이영역)의 세영역으로 나누었다. 소성변형률-진응력으로 정리한 반복소성이력 곡선의 인장축과 압축축은 모두 그림 3과 같은 단조재하곡선의 일부와 대응하는 것으로 하였고, 또한 단조재하곡선의 일부를 이루는 영역 이외의 비선형적인 거동을 나타내는 천이영역의 소성변형률의 폭도 그림 3와 같은 단조재하곡선상의 소성변형률 관계로 표현하고 있다.

$$\sigma = a \ln\left(\frac{\varepsilon^{\beta^*}_{mon}}{b} + 1\right) + \left(E^{\beta^*}_{st} - \frac{a}{b}\right) \varepsilon^{\beta^*}_{mon} + \sigma_y \quad (3)$$

여기서 $\varepsilon^{\beta^*}_{mon}$ 은 변형률 경화 개시점을 원점으로 한 경우 단조재하곡선 상의 소성변형률이고,

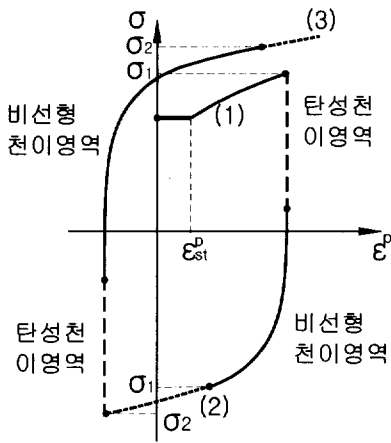


그림 2. 반복하중의 응력-변형률 관계

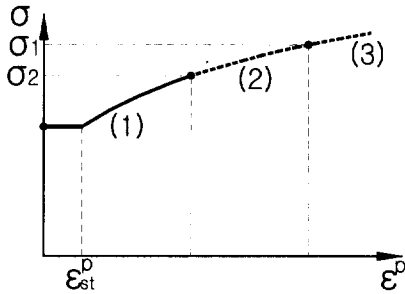
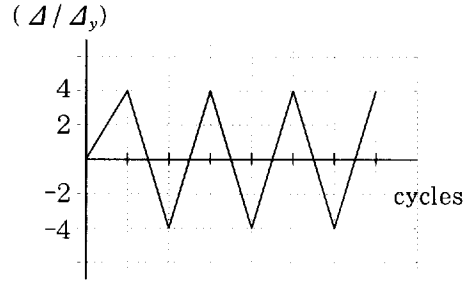


그림 3. 단조하중의 응력-변형률 관계

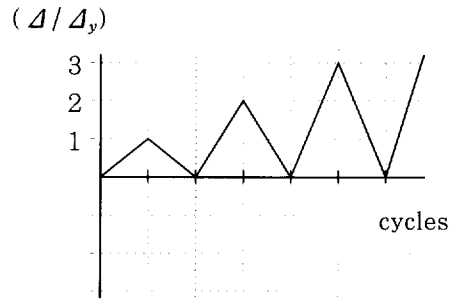
E_{st}^p 는 변형률 경화구배, σ_y 는 하항복점 응력, a, b 는 강재에 따른 정수를 나타낸다.

2.4 재하방법

본 해석은 그림 1의 $y = 0$ 에서의 y 축 방향의 변위를 구속하고 면내변위 Δ 를 변화시키는 변위 제어의 방법을 택하였다. 정적재하(monotonic loading)는 재하변에 압축만을 가하는 재하방법을 말하며 반복재하 방법으로서는 그림 4에 나타난 바와 같이 일정변위방식과 변위증폭방식의 재하방법으로 하였으며 압축변위를 정(+)으로 하였다. 일정변위방식에서는 재하변에 $+4\Delta_y$ 를 가하여 재하한 후 동일한 쪽의 인장변위를 재하시키는



(a) 일정변위방식



(b) 변위증폭방식

그림 4. 재하방법

방법을 말하며, 변위증폭방식은 각 사이클마다 Δ_y 씩 변위를 증가시키는 재하방법을 말한다.

3. 해석결과 및 고찰

이상에서 서술한 해석방법을 통하여 얻은 결과를 응력 (σ/σ_y)-변형률 (ϵ/ϵ_y)의 관계로 나타내어 비교하였다. 여기서 ϵ 와 σ 는 각각 평균 변형률과 평균응력으로서 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\epsilon = \Delta / a \quad (4)$$

$$\sigma = P / A \quad (5)$$

윗식에서 Δ 와 P 는 각각 재하변에서의 면내변위와 절점에서의 반력을 합한 값이 되며, A 는 판의 단면적을 나타낸다.

3.1 정적압축재하

그림 5는 정적 압축재하를 받는 D모델의 해석 결과를 나타낸 것이다. 표1에서 서술한 바와 같이 D모델은 판의 폭-두께비 파라메타 R 을 약0.7, 형상비 α 를 0.5로 일정하게 하고 최대 초기처짐량 δ_0 의 크기를 변화시킨 것이다. 이 그림으로부터 판의 극한강도는 δ_0 의 크기가 증가함에 따라 일정한 폭으로 감소하는 경향을 볼 수 있다. 또한 극한강도에 도달한 이후에서는 δ_0 의 크기가 작을수록 강도저하 현상이 현저하게 나타나게 되며, 변형률이 증가함에 따라 δ_0 에 의한 강도의 차이는 점차로 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 6은 판의 폭-두께비와 초기처짐량 δ_0 의 크기를 일정하게 하고 판의 형상비 α 만을 변화시킨 A모델의 해석결과를 나타낸 것이다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 판의 극한강도는 형상비 α 가 작아질수록 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 $\alpha = 1.0$ 이하인 경우에는 강도에 관한 α 의 영향은 작은편이며, 또한 변형률이 증가할수록 α 의 차이에 따른 강도의 차이는 거의 없다는 것을 나타내고 있다.

그림 7은 판의 두께비에 관한 영향을 검토하기 위한 R모델의 해석결과를 나타낸 것이다. 판의 폭-두께비가 증가할수록, 즉 식 (1)로부터 구한 R 의 값이 커질수록 국부좌굴의 영향으로 인하여 판의 극한강도는 크게 저하하는 것을 알 수 있다.

또한 $R=0.5$ 이상인 경우에는 변형률이 증가함에 따라 강도가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, R 값의 차이에 따라 강도의 차이가 현저하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

이상을 정리하면 정적 압축재하를 받는 판의 극한강도는 형상비 $\alpha=1.0$ 이하인 경우에는 거의 영향이 없다고 할 수 있으며, 주로 판의 폭-두께비가 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한 변형률이 증가할수록 초기 처짐량 δ_0 와 α 의 영향

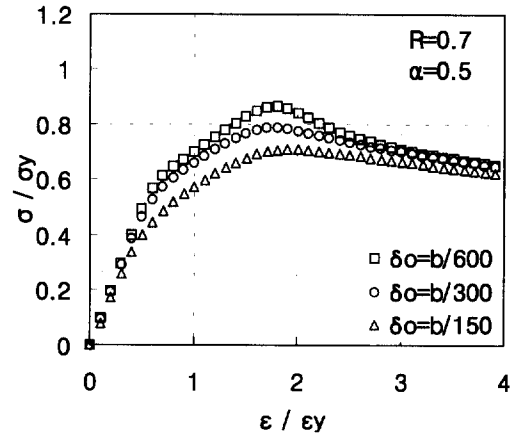


그림 5. 초기처짐의 영향(D 모델)

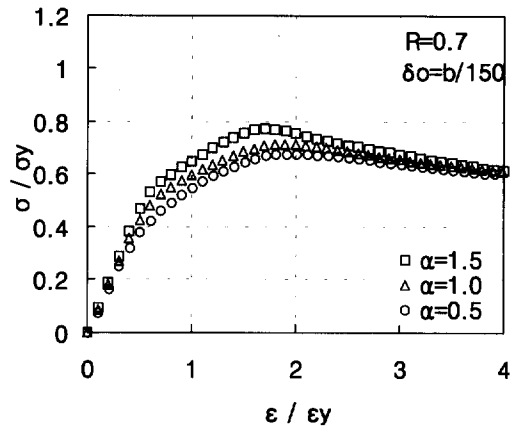


그림 6. 형상비의 영향(D 모델)

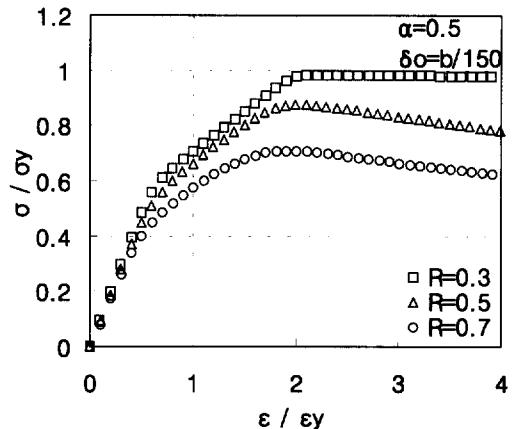


그림 7. 폭-두께비의 영향(R 모델)

은 거의 무시할 수 있을 정도가 되지만 R값에 따른 강도의 차이는 크게 나타나게 된다.

3.2 반복재하

그림 8은 D 모델에 관한 반복재하시의 강도와 변형특성을 비교한 것이다. 여기서 正(+)과 負(-)는 각각 압축과 인장을 나타낸다. 축방향 반복재하에 있어서 초기 압축시의 극한강도는 판의 초기처짐량 δ_0 가 클수록 감소하게 된다. 그러나 반복적인 재압축시의 극한강도의 크기는 거의 차이가 없으며 반복재하시의 강도에 미치는 δ_0 의 영향은 작은 것을 알 수 있다.

그림 9는 판의 초기처짐량과 폭-두께비를 일정하게 하고 반복하중 재하시의 형상비 α 변화에 따른 강도의 차이를 비교한 것이다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 초기 압축재하시 $\alpha=1.5$ 인 판의 극한강도는 $\alpha=0.5$ 인 경우에 비해 크게 나타나지만, 이후의 반복재하에 따른 재압축시의 강도특성은 거의 일치하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 $\alpha=0.5$, $\delta_0=b/150$ 로서 일정하게 하고 폭-두께비 파라메타 R이 각각 0.3과 0.7인 경우를 비교한 것이다. 초기 재하시의 판의 극한강도는 R=0.7인 경우 국부좌굴의 발생으로 인하여 R=0.3에 비하여 현저하게 감소하게 되며 반복재하시에 있어서도 강도감소현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 반복재하시의 판의 극한강도에 관한 형상비와 초기처짐량의 영향은 거의 없다고 할 수 있으며, 폭-두께비의 영향이 가장 중요한 변수가 됨을 알 수 있다.

4. 판의 동적거동특성

4.1 강도특성

이상의 결과로부터 강도이력 특성에 관한 판의

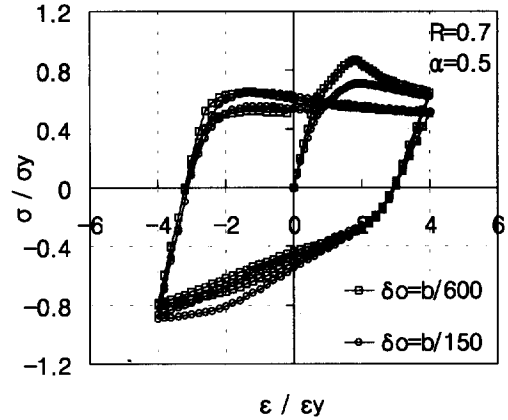


그림 8. 초기처짐의 영향

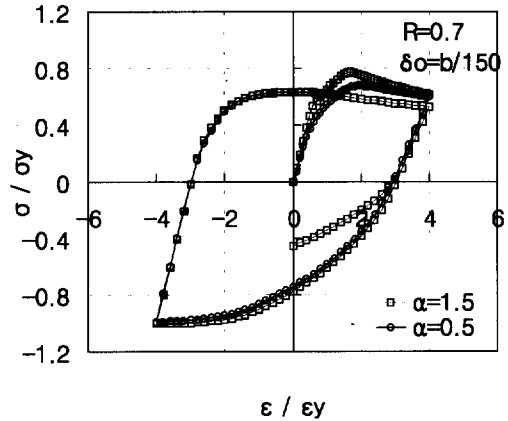


그림 9. 형상비의 영향

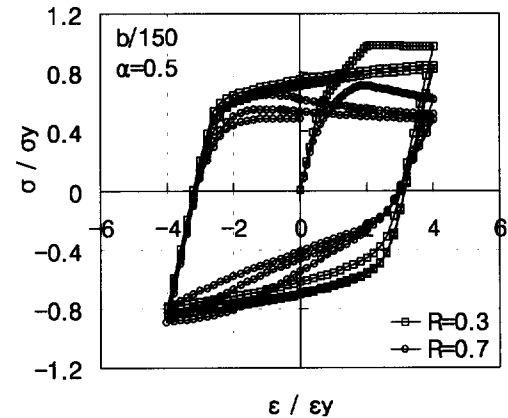


그림 10. 폭-두께비의 영향

형상비 α , 초기처짐량 δ_0 의 영향은 거의 무시할 수 있을 정도가 되며, 반복재하에 따른 강도감소의 주된 원인은 판의 폭-두께비가 된다는 것을 알 수 있다. 이와같은 점을 고려하여 이하에서는 표1에 나타낸 R모델을 사용하여 반복재하시의 강도감소 특성을 검토하기로 한다.

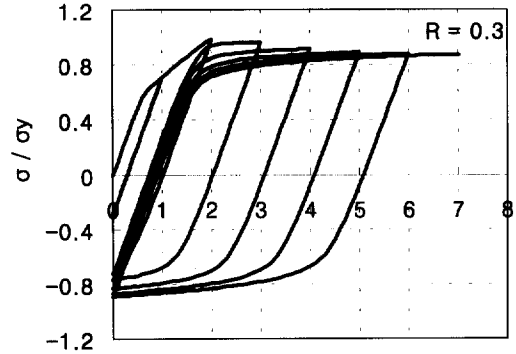
그림 11은 폭-두께비 파라메타 R의 변화에 따른 강도이력곡선을 나타낸 것이다. 여기서는 변위진폭 Δ 의 크기에 따른 강도감소 특성을 검토하기 위하여 반복 사이클마다 변위진폭을 $\Delta_y (= \alpha \cdot \epsilon_y)$ 씩 증가시키는 변위증폭방식을 택하였다. 우선 그림 11(a)로부터 R=0.3인 판의 경우 비교적 안정적인 강도이력 특성을 나타내고 있는데 비하여, R=0.5인 경우(그림 11(b))에 있어서는 극한강도에 도달한 이후 국부좌굴의 발생으로 인하여 급격히 강도가 저하하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 R=0.7인 경우(그림 11(c))에 있어서는 국부좌굴로 인한 강도저하 현상을 볼 수 있으며 이후 변형률경화 및 응력재분배 등의 효과로 인하여 강도감소의 정도는 감소하게 되는 것을 나타내고 있다.

현행도로교 표준시방서⁽⁷⁾에서는 축방향압축력을 받는 판의 기본강도를 다음의 식 (6)과 같이 규정하고 있다.

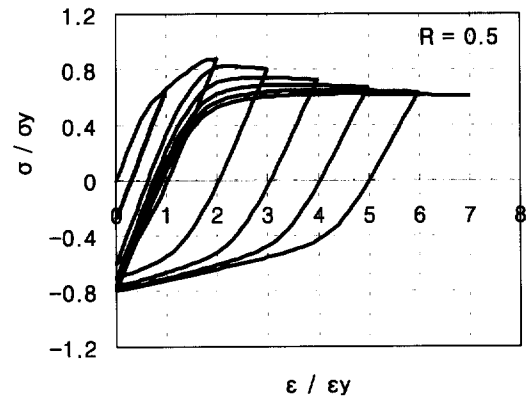
$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) = 1.0 : R < 0.7$$

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) = \frac{0.5}{R^2} : R > 0.7 \quad (6)$$

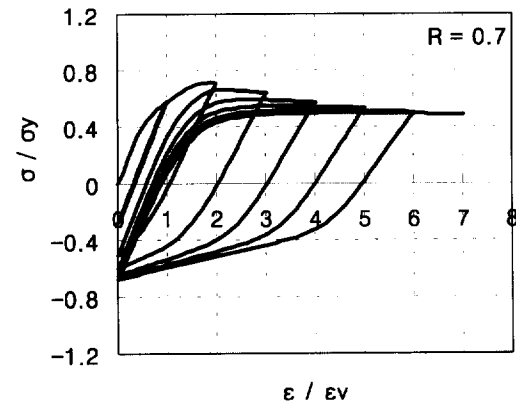
그림 12는 식 (6)에 의한 설계곡선과 변위증폭 방식에 의한 해석결과를 비교한 것이다. 이 그림으로부터 반복하중을 받는 판의 강도는 폭-두께비 파라메타 R과 변위증폭의 크기가 증가할수록 감소하는 경향을 알 수 있다. 따라서 지진력과 같은 반복하중이 작용할 때 구조물의 안전성을 확보하기 위해서는 이와같은 강도감소특성을 고려하는 것이 필요하다고 하겠다. 본 연구에서는 반복하중을 받는 판의 강도감소 특성을 평가하기 위하여



(a) R = 0.3



(b) R = 0.5



(c) R = 0.7

그림 11. 강도이력곡선(변위증폭방식)

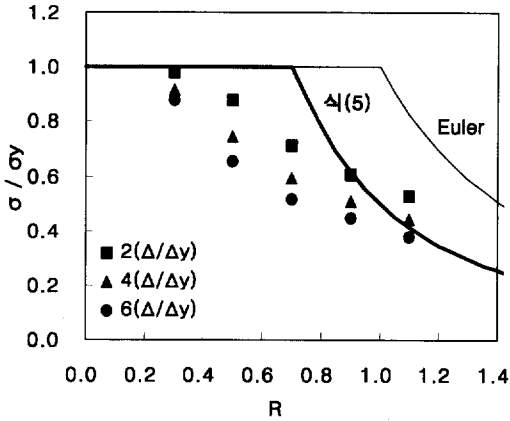


그림 12. 반복하중에 따른 강도감소

다음과 같은 식 (7)을 제안하기로 한다.

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_y}\right) = 0.654 - 0.347 \ln(R) - 0.042 \left(\frac{\Delta}{\Delta_y}\right) \quad (7)$$

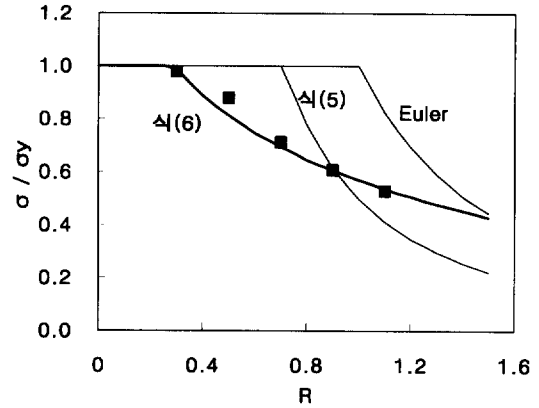
이상의 식 (7)은 판의 강도에 관한 변위진폭의 크기와 폭-두께비 파라메타를 고려한 것으로서 해석결과를 기초로 작성한 것이다. 그림 13은 식 (7)에 의한 강도감소곡선과 해석결과를 비교한 것이다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 각 변위량의 증가에 따른 강도감소특성은 제안식과 비교적 일치하고 있음을 확인 할 수 있다.

4.2 변형특성

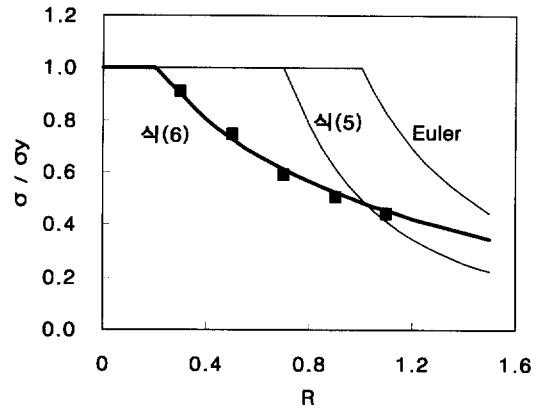
반복하중을 받는 판의 변형특성을 알아보기 위하여 본 연구에서는 변위진폭의 크기를 각각 3 (Δ/Δ_y), 5 (Δ/Δ_y), 7 (Δ/Δ_y)로 변화시키면서 각각의 연성비 μ 를 비교하였다.

여기서 μ 는 극한강도 발생시의 변형량 (Δ_u)을 항복변형량 (Δ_y)로 나눈 값으로서 다음의 식 (8)과 같이 정의하였다.

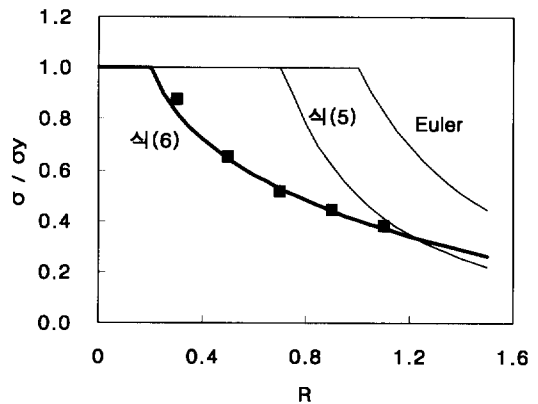
$$\mu = \Delta_u / \Delta_y \quad (8)$$



(a) 2(Δ/Δ_y)



(b) 4(Δ/Δ_y)



(c) 6(Δ/Δ_y)

그림 13. 강도감소곡선

그림 14는 일정변위진폭의 반복하중을 받는 판의 연성비 μ 와 폭-두께비 파라메타R의 관계를 나타낸 것이다. 예를 들어 변위진폭의 크기가 7 (Δ/Δ_y)인 경우 R=0.3인 판의 연성비는 약 6 정도가 되고 R=0.5인 경우는 약 4정도로 감소하게 되는 것을 나타낸다. 변위진폭의 크기가 클수록 R=0.5 이하인 판의 변형성능은 현저하게 되며 R의 범위가 0.5이상에서는 변위진폭의 크기에 의한 영향이 비교적 작은 것으로 판단된다. 또한 변위진폭의 크기가 3 (Δ/Δ_y)인 경우에는 연성비의 감소현상이 적게 나타나는데 이는 국부좌굴이 발생한 후 변형을 경화현상에 기인한 것으로 판단된다.

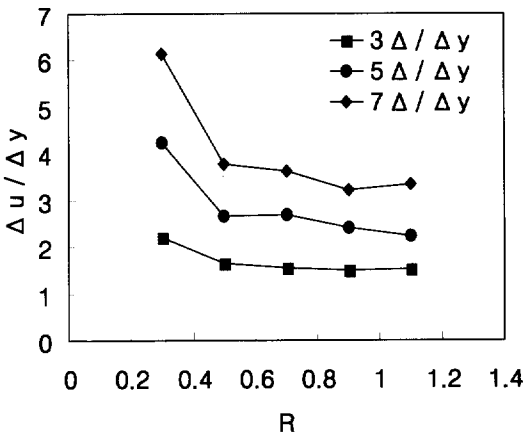


그림 14. 반복하중에 따른 연성비의 변화

5. 결론

이상에서는 FEM해석을 통하여 정적 및 반복하중을 받는 강판의 강도 및 변형특성에 영향을 미치는 설계변수에 관하여 비교 검토하였다. 본 연구로 얻은 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 정적압축재하를 받는 판의 극한강도는 형상비 $\alpha=1.0$ 이하인 경우에는 영향이 적은 것으로 판단되며, 폭-두께비가 증가함에 따라

국부좌굴 발생으로 인하여 크게 감소하는 경향을 나타내었다.

- (2) 반복재하시의 판의 극한강도에 관한 형상비 α 와 초기처짐량 δ_0 의 영향은 거의 없다고 할 수 있으며, 폭-두께비가 가장 큰 영향을 미치게 된다.
- (3) 본 연구에서는 변위진폭 (δ/δ_y)의 크기와 폭-두께비 파라메타R을 고려한 강도감소 평가식을 제안하였으며 이 강도곡선은 해석결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 확인하였다.
- (4) 변위진폭의 크기가 클수록 R=0.5이하인 판의 연성비는 현저하게 감소하며, R의 범위가 0.5 이상에서는 변위진폭의 크기에 영향이 비교적 작은 것으로 판단된다.

참고 논문

1. Y.F.Dafalias, E.P.Popov, (1975), "A model of Nonlinear Hardening Materials of Complex Loading," Acta Mechanica, pp. 173-192
2. 西村宣男, 池内智行, (1995) "單調載荷曲線を基にした繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式," 日本構造工學論文集, No.513, pp.27-37
3. 森脇良一, 服部松利, 梅村哲男, 奈良 敬, (1993) "鋼材特性を考慮した壓縮補剛板の極限強度と變形性能," 日本構造工學論文集, Vol.39A, pp.125-131.
4. T.Watanabae, Hanbin Ge and T.Usami, (1993). "繰返し載荷を受ける補剛板の強度と變形能に関する解析的研究," 構造工學論文集, Vol.45A, pp.187-197
5. 西村宣男, 吉田信博 (1990), "局部座屈を考慮した鋼箱形斷面はり一柱部材の強度評價式," 日本土木學會論文集, No.416, pp.385-393.
6. S.Nara (1992). "Ultimate Strength and Ductility of Compressive Plates of High Tensile Strength Steel", Proc. of 3rd PSSC, Tokyo.5
7. 建設교통부 (1996), 도로교표준시방서
8. S.Komatsu, T.Kitada (1980), "A study

- on the ultimate strength of compression plate with initial imperfection", Proc. of JSCE, pp.1-14
9. S.Nara, S.Komatsu (1983), "Statical study on steel plate members", Journal of Structural Engineering, pp.977-992
10. Fukumoto (1987) "座屈設計 guide line", 技報堂
- (접수일자 : 2001년 1월 16일)