

폐단면리브로 보강된 곡판의 국부좌굴에 관한 변수해석적 연구

아레안 니콜 피 안디코¹, 객재영¹, 최병호^{2*}
¹한밭대학교 일반대학원 토목공학과, ²한밭대학교 건설환경공학과

Parametric Study on Buckling Behavior of Longitudinally Stiffened Curved Panels by Closed-section Ribs

Ariane Nicole P. Andico¹, Jae-Young Kwak¹, Byung-Ho Choi^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Graduate School, Hanbat National University

²Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

요약 본 논문은 강교량 거더, 교각, 선박이나 대형 저장 시설 등 주요 구조 부재에 활용되는 곡판 및 강관을 효과적으로 보강하는 방안에 관한 것이다. 최근 연구에서 압축을 받는 평판이 종방향 보강재의 단면회전강성에 의해 국부좌굴강도가 향상되는 특징을 정량적으로 분석하였고, 폐단면리브 단면회전강성과의 상관관계를 규명한 바 있다. 본 논문에서는 곡판에 대해 이와 같은 효과를 정량적으로 검토하고자 한다. 일축압축이 제하된 경우에 폐단면리브로 보강된 두께방향으로 곡률을 가지는 곡판의 좌굴거동을 살펴보기 위해 범용 구조해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 3차원 유한요소해석 모델을 생성하였다. 이를 통해 좌굴거동에 대한 수치해석을 수행하였으며, 영향인자에 대한 변수해석적 연구를 수행하여 좌굴응력과 좌굴모드의 변동특성을 정량적으로 평가하였다. 폐단면리브 단면회전강성의 구속효과로 인한 좌굴강도 증가효과와 판의 곡률에 따른 좌굴강도 계수를 고려하여 좌굴강도를 추정하는 방법론을 이론적으로 제안하였다. 제안된 공식은 유한요소해석 결과와 비교하여 서로 유의미성이 검토되었다. 또한 평판에서와 마찬가지로 일축압축 상태에서 폐단면리브의 단면강성에 의해 부여되는 양측단 회전강성의 증가로 인해 곡판의 국부좌굴강도가 이에 비례하여 증가하였고, 양측단에서 회전이 고정된 곡판의 좌굴강도에 수렴하는 경향을 확인하였다.

Abstract In this study, we investigate a design technology intended to radically increase the buckling strength of vertically curved panels. Recent studies proposed a buckling strength formula which properly reflects the effect on the local plate buckling strength of flat plates when they are stiffened by closed section ribs. Herein, we attempted to quantitatively evaluate this effect on curved panels and to reveal the correlations with the design parameters. The commercial finite element software, ABAQUS, was used to build a three dimensional numerical model and numerical parametric studies were conducted to evaluate the variation of the buckling strength. In the case of flat panels, the local buckling strength of stiffened curved panels increases proportionally with increasing rotational stiffness of the closed-section ribs. After attaining a limiting value, an obvious tendency was found that the local buckling strength of the stiffened curved panel would converge towards a fixed value when the panels are supported along both sides. The parametric studies performed using the influential design parameters confirmed that the estimated partially-restrained curved panel strength is well correlated with the proposed formula.

Keywords : Buckling Strength, Closed-section Ribs, Restraint Stiffness, Rotational Strength Increment Factor, Stiffened Curved Panel

본 논문은 한국연구재단의 일반연구지원사업에 의한 연구과제(2015R1D1A1A01058201)로 수행되었음.

*Corresponding Author : Byung-Ho Choi (Hanbat National Univ.)

Tel: +82-42-821-1105 email: bhchoi@hanbat.ac.kr

Received November 14, 2017

Revised (1st December 18, 2017, 2nd January 4, 2018)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

1. 서론

압축력에 대한 저항성을 높이고자 종방향으로 보강한 평판은 강교량 거더, 교각, 선박이나 대형 저장시설 등 주요 구조 부재에 활용되는 압축부재 중 하나이다. 폐단면 리브를 종방향 보강재로 적용한 압축부재는 강제 주탑이나 케이블지지 교량의 보강형, 선박의 주요 구조 부재 등에서 찾아볼 수 있다. 미관이나 구조적 특징 때문에 평판이 아닌 곡판이 적용되기도 한다. 크기가 작더라도 단면에 곡률이 있는 경우는 곡판으로 볼 수 있으므로, 외관상 평판으로 보이지만 엄밀히 따져보면 실제로는 곡판에 해당되는 경우도 있다.

평판과 달리, 광관이나 곡판과 같이 단면에 곡률이 있으면 압축에 의한 국부좌굴 모드에 임의의 고정점이 형성되는 특성이 나타난다. 이로 인해 보강재를 적용해도 그 효과에 한계가 있을 것으로 보인다. 최근 연구로부터 종방향 보강재의 휨강성이 아닌 단면회전강성에 의해 국부좌굴강도가 향상되는 특성이 정량적으로 분석되었다 [1-4].

본 논문은 균일한 일축압축이 재하된 경우에 폐단면 리브로 보강된 두께방향의 곡률을 갖는 곡판의 좌굴거동을 살펴보기 위해 3차원 유한요소모델을 이용하여 좌굴 거동에 대한 수치해석을 수행하였으며, 곡판의 주요 설계영향인자에 대한 변수해석적 연구를 수행하여 좌굴응력과 좌굴모드의 변동특성을 정량적으로 평가했다. 그와 동시에 폐단면리브의 단면회전강성에 의한 구속효과로 인한 좌굴강도 증가 효과와 판 곡률에 따른 좌굴강도 계수를 고려해서 좌굴강도를 추정하는 방법론을 제안하고 이로부터 형상함수의 적용에 따라 두 가지 근사해를 제시하였다. 이에 제안된 공식은 유한요소해석 결과와 비교하여 유의미성이 검토되었다. 향후 이러한 분석 내용을 토대로 주요 영향인자와의 연관성을 적절하게 반영한다면, 폐단면리브를 보강재로써 적용한 곡판의 좌굴강도 식이 실용적으로 제시될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

폐단면리브가 설치된 위치에 곡판의 양측단에서 상대적으로 유리한 탄성회전구속강성이 발휘 되어 보강효과가 구현될 수 있다. Fig. 1과 같은 양측단에 탄성스프링

을 가지는 네 변 단순지지 곡면판 모형은 하중이 재하되지 않는 옆면 단부($y=0$ 또는 W_S)에 k_R 로 표현되는 탄성회전강성을 가지는 스프링 요소가 붙은 곡판으로써 합리적 모사가 가능하다.

폐단면리브로 보강된 곡판의 좌굴강도식을 유도하는 것은 난해하다. 이는 리브 단면의 회전강성에 따라 달라지는 형상함수가 복잡하기 때문이다. 이에 본 논문에서는 폐단면리브로 보강된 양측단 단면회전강성에 따른 곡판의 탄성 좌굴강도에 대한 명시해(Closed-form equation)를 얻기 위해, 이전 연구[5]에서 유도된 평판의 좌굴강도 공식에 폐단면리브 단면회전강성의 구속효과로 인한 좌굴강도 증가 효과와 판 곡률에 따른 좌굴강도 계수를 고려하여 좌굴강도를 추정하는 방법론을 이론적으로 제안하였다.

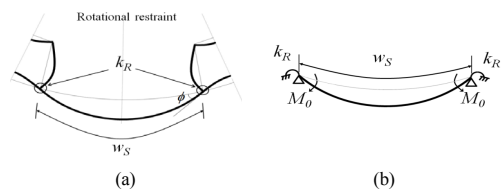


Fig. 1. Rotationally restrained curved panel model
 (a) Buckling behavior of curved panel stiffened by closed-section ribs
 (b) Curved panel model with elastic spring

양측단에서 회전이 구속된 경계조건을 가진 곡판의 좌굴강도(F_{cr})는 식 (1)과 같이 표현된다[6,7].

$$F_{cr} = \Phi(k_R)k_c^z \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_p}{W_s} \right)^2 \quad (1)$$

$\Phi(k_R)$ 은 폐단면리브 보강에 의한 강도증가계수이며, 회전변위(Φ)에 대한 유효스프링강성(k_R)에 따른 좌굴강도의 증가효과이다.

여기서 형상함수를 단순화하여 두 가지의 접근법으로 공식을 유도하였다. 4차 다항식을 형상함수로 적용하여 유도된 강도증가계수 공식은 다음 식 (2)와 같다[2,6,8].

$$\Phi(k_R) = \frac{6(1.871 \sqrt{\tau_2/\tau_1} + \tau_3/\tau_1)}{\pi^2} \quad (2)$$

여기서 τ_1, τ_2, τ_3 은 유효스프링강성 k_R 과 종방향 보강재 사이의 순간격인 W_s , 굽힘 강성인 D 에 대한 함수 식으로 아래와 같이 표현된다[6,9].

$$\tau_1 = 124 + 22 \frac{k_R W_s}{D} + \frac{k_R^2 W_s^2}{D^2}$$

$$\tau_2 = 24 + 14 \frac{k_R W_s}{D} + \frac{k_R^2 W_s^2}{D^2}$$

$$\tau_3 = 102 + 18 \frac{k_R W_s}{D} + \frac{k_R^2 W_s^2}{D^2}$$

$$k_R = \frac{2EI_U}{h'} \left(2 - \frac{W_T}{2W_T + 3h'} \right) + \frac{6EI_P}{W_R}$$

$$D = \frac{Et_p^3}{12(1-\nu^2)}, I_P = \frac{t_p^3}{12}, I_U = \frac{t_u^3}{12}$$

삼각함수의 형상함수 공식은 아래의 식과 같다.

$$w = W \left(\sin \frac{m\pi x}{L} \right) \left[(1-\psi) \sin \frac{\pi y}{W_s} + \frac{\psi}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi y}{W_s} \right) \right]$$

이에 유도된 강도증가계수 공식은 다음 식 (3)과 같다[5].

$$\Phi(k_R) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2} + \frac{\tau_3}{4\tau_2}} \quad (3)$$

여기서,

$$\tau_1 = 86D^2\pi^2 + 573k_R W_s D + 86k_R^2 W_s^2$$

$$\tau_2 = 86D^2\pi^2 + 229k_R W_s D + 16k_R^2 W_s^2$$

$$\tau_3 = 172D^2\pi^2 + 458k_R W_s D + 43k_R^2 W_s^2$$

이 때, 유효스프링강성 k_R 은 4차다항식 공식에서 쓰인 공식과 같은 공식을 사용한다.

단순 지지된 폐단면리브로 보강된 곡판의 국부좌굴 강도(F_{cr})는 식 (4)와 같다.

$$F_{cr} = k_c^z \frac{D\pi^2}{W_s^2 t_p} \quad (4)$$

k_c^z 는 곡판의 곡률 반경을 고려한 좌굴 계수이다. 위와 같이 양측단에서 회전이 부분적으로 구속된 곡판의 두가

지 이론적 접근에 따른 공식을 선정하고 수치해석 결과와 비교하였다.

3. 수치해석 모델링

3.1 해석모델

본 연구의 모델은 폐단면 U리브 단면의 대칭거동을 가정하여 단면의 절반만 고려하되 적정 경계조건으로써 전체 회전강성을 반영한 개념으로 휨강성을 가지도록 설계하였다. Fig. 2에 보이는 바와 같이 보강판 전체의 좌굴거동과 유사하도록 하기 위해 연속성과 대칭성을 유지하도록 분할 표준모형을 수립하였다. 이때 폐단면 U리브 보강재의 제원은 기존의 논문[4]을 참고하여 선정하였다. 이 때, R 은 곡률 반경, W_s 는 반단면 U리브의 종방향 보강재 사이의 순간격, W_R 는 폐단면 리브의 하부 폭, t_p 는 보강된 곡판의 두께, t_u 는 U리브의 두께, h 는 U리브의 높이이다.

회전강성 및 곡률반경으로 인한 국부좌굴강도의 증가 영향을 평가하기 위해 보강된 판의 제원(R, W_s, t_p) 및 폐단면리브 단면(t_u, W_T, W_R, h)에 관한 주요 영향인자에 대해 변수해석을 수행하였다. 이때 변수해석 범위는 다음과 같이 정하였다. 곡률반경 R 은 2.5~4.5m 범위 안에서 0.5m씩 증가시키고, 곡판의 유효폭(W_s)은 250, 285, 324, 364, 405mm, 폐단면리브의 폭(W_R)은 130, 162, 200, 243mm, 곡판두께(t_p)는 7~14mm, 폐단면리브 판두께(t_u)는 10, 15, 20, 25, 30, 35mm, 폐단면리브 높이(h)는 85, 105, 125, 145, 158mm이고, 길이는 a (형상비) 3을 만족하도록 설정하였다.

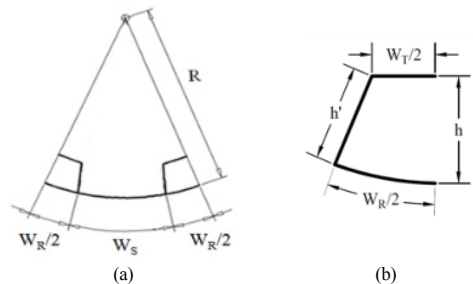


Fig. 2. Stiffened curved panel model

(a) Section of a curved panel reinforced with a closed-section rib

(b) Closed-section rib stiffener

3.2 유한요소모델링

유한요소해석 모델링은 범용 구조해석프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수행하였으며, ABAQUS에서 사용되는 Shell 요소인 4절점 S4R5요소를 활용하여 전체 유한요소망을 구성하였다[10]. Fig. 3(a)는 유한요소망과 모델의 경계조건을 보여준다. 보강된 모델은 대칭 경계 조건을 갖는 종방향 보강재로서 2개의 반단면 U리브를 갖는 기하학적 치수를 고려하여 각 부격간에 일정한 회전저항 효과를 나타내기 위해 하중이 재하되지 않은 면을 따라 설치하였다. 또한 원통형좌표계를 사용하여 Fig. 3(a)와 같이 적용하였다. 또한 Fig 3.(b)와 같이 곡판과 폐단면리브의 단면에 길이방향(z-축)으로 균일한 일축압축 분포하중을 재하 하였고, 등방성 강재의 탄성계수는 205,000MPa이고 푸아송비는 0.3이다.

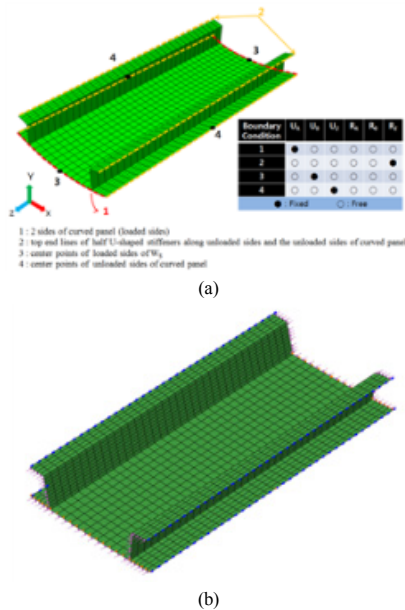


Fig. 3. Finite element curved panel model
 (a) Boundary Condition (b) Axial loading

4. 결과분석

4.1 탄성좌굴강도

본 유한요소 변수해석 모델들에 대해 고유치해석을 수행하여 Fig. 4와 Table 1와 같은 최저임계 응력 및 이에 대한 좌굴모드를 확인하였다. 여기서 보이듯이, U-리브 사이에서의 국부좌굴거동(PB: Local Plate Buckling)

을 특징으로 하며 길이방향으로 다수 개의 반사인 곡선이 형성되었다. 이는 형상비(=L/W_s)에 비해 다소 많으며, 면의 좌굴거동이 중앙부에서 보다 두드러진 것을 볼 수 있다. 따라서, 폐단면리브 사이 간격을 유효 폭으로 하는 국부좌굴모드가 지배적이다. 폐단면리브로 보강된 곡판의 좌굴강도는 단순 지지된 좌굴강도에 비해 크게 향상됨을 알 수 있다.

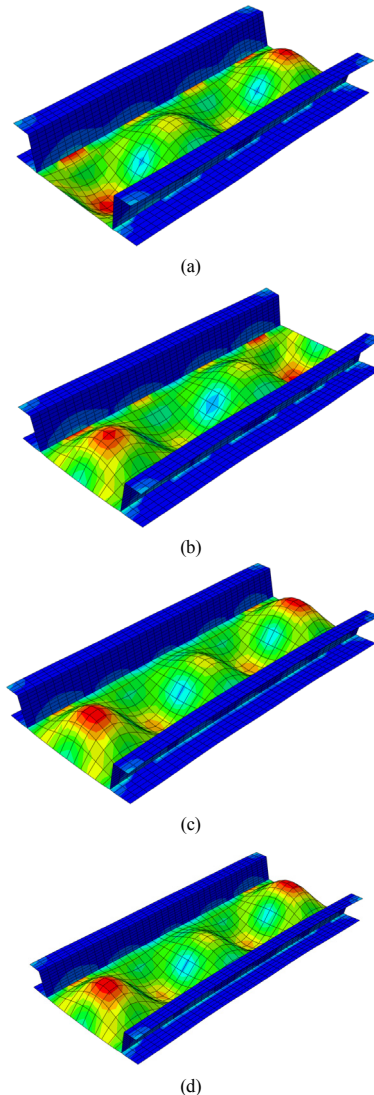


Fig. 4. Local plate buckling (PB) mode of the stiffened curved panel

- (a) W_s=285 mm, W_r=162 mm, R=4500 mm
- (b) W_s=324 mm, W_r=162 mm, R=4500 mm
- (c) W_s=364 mm, W_r=162 mm, R=4500 mm
- (d) W_s=405 mm, W_r=162 mm, R=4500 mm

Table 1. Numerical analysis results ($W_s=405\text{mm}$ cases)

R (mm)	t_p (mm)	t_u (mm)	W_s (mm)	W_R (mm)	W_T (mm)	h (mm)	α	k_c^z	Mode	F_{cr} (MPa)						
										FEA	Eq.(2)	%	Eq.(3)	%	Eq.(4)	%
2500	10	10	405	162	112	105	3	4.68	PB	775.12	821.62	5.7%	861.63	10.0%	528.75	46.6%
2500	10	15	405	162	112	105	3	4.62	PB	827.75	856.29	3.3%	899.71	8.0%	522.28	58.5%
2500	10	20	405	162	112	105	3	4.58	PB	855.70	873.91	2.1%	918.06	6.8%	517.50	65.4%
2500	10	25	405	162	112	105	3	4.56	PB	870.56	881.98	1.3%	926.13	6.0%	514.79	69.1%
2500	10	30	405	162	112	105	3	4.54	PB	878.93	885.72	0.8%	929.76	5.5%	513.20	71.3%
2500	10	35	405	162	112	105	3	4.53	PB	884.06	887.60	0.4%	931.56	5.1%	512.24	72.6%
3000	10	10	405	162	112	105	3	4.53	PB	749.67	794.58	5.7%	833.27	10.0%	511.39	46.6%
3000	10	15	405	162	112	105	3	4.51	PB	806.85	834.61	3.3%	876.93	8.0%	509.10	58.5%
3000	10	20	405	162	112	105	3	4.47	PB	834.77	852.49	2.1%	895.56	6.8%	504.84	65.4%
3000	10	25	405	162	112	105	3	4.44	PB	848.85	859.96	1.3%	903.00	6.0%	501.95	69.1%
3000	10	30	405	162	112	105	3	4.43	PB	856.72	863.32	0.8%	906.25	5.5%	500.23	71.3%
3000	10	35	405	162	112	105	3	4.42	PB	861.50	864.94	0.4%	907.78	5.1%	499.17	72.6%
3500	10	10	405	162	112	105	3	4.42	PB	731.26	775.03	5.6%	812.76	10.0%	498.83	46.6%
3500	10	15	405	162	112	105	3	4.40	PB	788.54	815.62	3.3%	856.98	8.0%	497.54	58.5%
3500	10	20	405	162	112	105	3	4.39	PB	819.42	836.79	2.1%	879.06	6.8%	495.56	65.4%
3500	10	25	405	162	112	105	3	4.36	PB	832.95	843.83	1.3%	886.07	6.0%	492.55	69.1%
3500	10	30	405	162	112	105	3	4.34	PB	840.46	846.92	0.8%	889.04	5.5%	490.73	71.3%
3500	10	35	405	162	112	105	3	4.33	PB	845.00	848.36	0.4%	890.38	5.1%	489.61	72.6%
4000	10	10	405	162	112	105	3	4.33	PB	717.46	760.37	5.6%	797.38	10.0%	489.42	46.6%
4000	10	15	405	162	112	105	3	4.33	PB	774.41	800.97	3.3%	841.59	8.0%	488.63	58.5%
4000	10	20	405	162	112	105	3	4.32	PB	807.33	824.42	2.1%	866.07	6.8%	488.25	65.4%
4000	10	25	405	162	112	105	3	4.30	PB	820.83	831.54	1.3%	873.16	6.0%	485.38	69.1%
4000	10	30	405	162	112	105	3	4.28	PB	828.08	834.44	0.8%	875.94	5.5%	483.51	71.3%
4000	10	35	405	162	112	105	3	4.27	PB	832.44	835.75	0.4%	877.14	5.1%	482.33	72.6%
4500	10	10	405	162	112	105	3	4.27	PB	707.68	749.98	5.6%	786.49	10.0%	482.74	46.6%
4500	10	15	405	162	112	105	3	4.27	PB	764.35	790.54	3.3%	830.63	8.0%	482.28	58.5%
4500	10	20	405	162	112	105	3	4.27	PB	797.06	813.92	2.1%	855.03	6.8%	482.04	65.4%
4500	10	25	405	162	112	105	3	4.25	PB	812.30	822.89	1.3%	864.08	6.0%	480.34	69.1%
4500	10	30	405	162	112	105	3	4.24	PB	819.37	825.65	0.8%	866.72	5.5%	478.42	71.3%
4500	10	35	405	162	112	105	3	4.22	PB	823.61	826.88	0.4%	867.83	5.1%	477.21	72.6%

4.2 폐단면리브 회전강성에 관한 변수해석

곡판의 좌굴강도는 폐단면리브 회전강성(k_R)에 따라 공통적으로 증가하는 경향을 보인다. Fig. 5에서 보이는 바와 같이, 각 파라미터 별 변수해석 결과를 분석하였으며, 이를 통해 공통된 경향을 확인할 수 있었다. 회전강성이 어느 수준에 도달하면 더 이상 좌굴강도가 증가되지 않고 수렴하는 경향을 보였다. 양측단의 회전이 고정된 곡판의 좌굴강도에 수렴하고 있으며, 이를 초과하지는 않는다. 결과적으로 폐단면리브의 회전강성 효과에 의해 곡판의 국부좌굴강도는 단순 지지된 국부좌굴 강도식에 비해 40% 이상 크게 증가된 수준을 나타낸다. Fig. 5는 W_s , t_p , W_R 등의 설계인자들에 따른 좌굴강도의 변

동특성 및 상관관계를 보이고 있다.

한편, 양측단 회전이 부분구속된 곡판의 좌굴강도 이론식과 비교하여 오차범위를 분석한 결과, 비수렴 영역은 Fig. 6의 도식과 같다. 일반적으로 삼각함수를 형상함수로 적용하여 도출된 Eq. (3)보다 다항식을 통해 유도된 Eq. (2)이 보다 유의미한 상관관계를 보여준다. 또한 Table 2는 수치해석 결과와 이론적 근사해 공식들과 차이를 나타내는데, 13% 미만의 차이를 보이며 Eq. (2)값이 수치해석 결과와 근접한다. 따라서, 이 연구에서 제시한 이론적 근사해는 보장된 곡판의 강도를 비교적 유의미하게 추정하고 있다고 볼 수 있다.

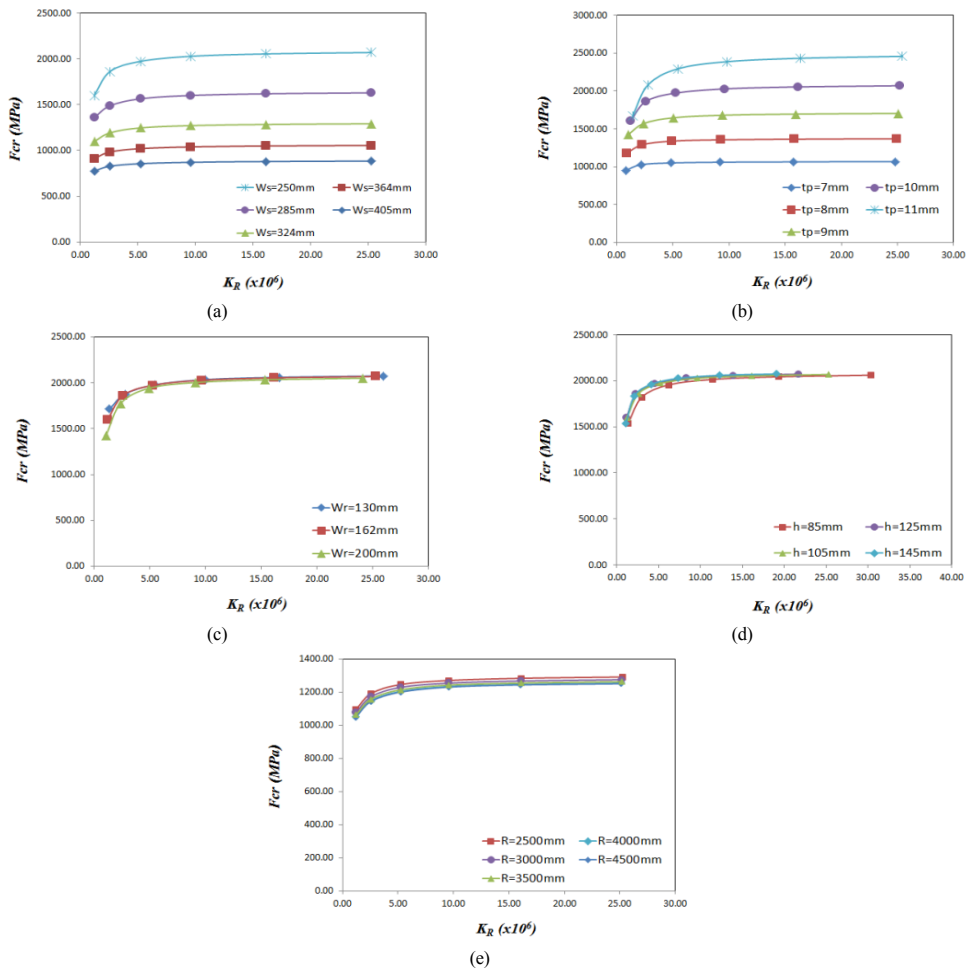


Fig. 5. Buckling strength-rotational stiffness curves of longitudinally stiffened curved panels
 (a) Longitudinal stiffener length of half-sectioned U-rib (W_s) (b) Thickness of the stiffened curved plate (t_p) (c) Bottom width of closed section U-ribs (W_R) (d) Height of U-rib (h) (e) Radius of curvature (R)

5. 결론

이 논문은 일축 압축이 재하된 경우에 폐단면리브로 보강된 두께방향으로 곡률을 가지는 곡판의 좌굴거동을 살펴보기 위해 3차원 유한요소모델을 이용하여 좌굴거동에 대한 수치해석을 수행하였으며, 영향인자에 대한 변수해석적 연구를 수행하여 좌굴응력과 좌굴모드의 변동특성을 정량적으로 평가하였다. 또한 폐단면리브의 단면회전강성에 의한 구속효과로 인한 좌굴강도 증가효과와 판의 곡률에 따른 좌굴강도 계수를 고려하여 좌굴강도를 추정하는 방법론을 이론적으로 제안하였다.

폐단면리브의 단면 강성에 의해 부여되는 양측단 회전강성의 증가로 인해 곡판의 좌굴강도는 단순 지지된 국부좌굴 강도식에 비해 40% 이상 향상되었으며, 양측단의 회전이 고정된 곡판의 좌굴강도에 수렴하는 경향을 확인하였다. 양측단 부분 회전 구속된 평판의 좌굴이론식에 탄성좌굴해석에서 평가된 곡률계수 k_c^2 를 적용한 근사해 공식과의 비교를 통해 해당 방식은 13%이내의 유의미한 오차범위 내에 있어 충분히 검토될 만한 것임을 확인하였다. 이 때, 사용된 곡률좌굴계수는 평판과 곡판의 유한요소해석 결과에 의거해 평가된 것으로써 향후 이론식과의 검토가 필요하다.

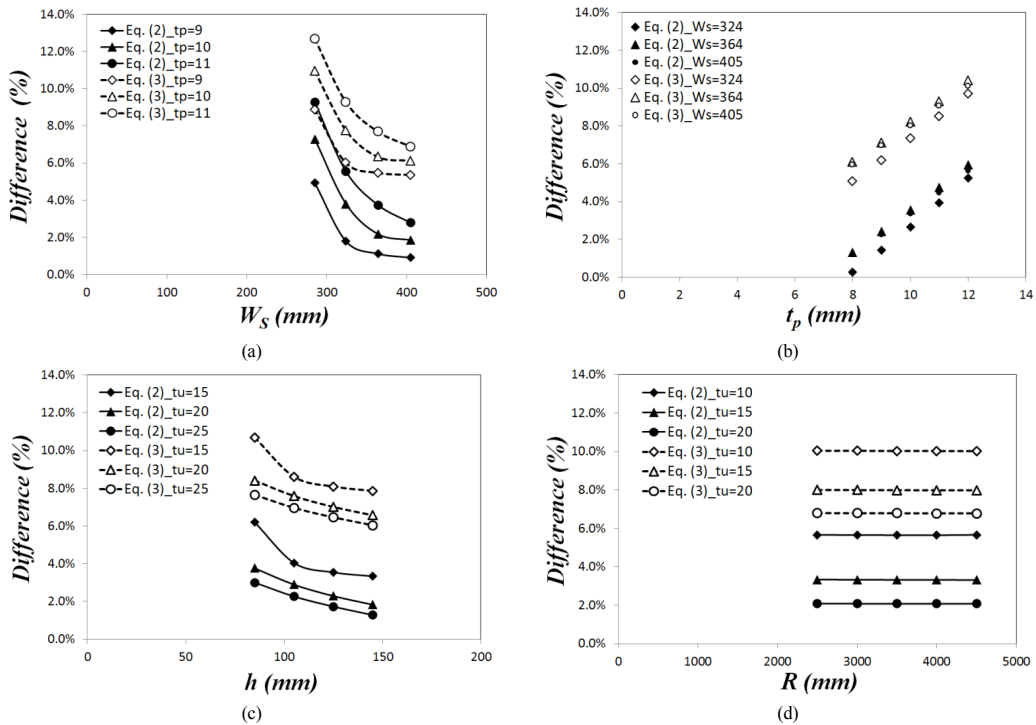


Fig. 6. Percentage difference and trend analysis
 (a) Longitudinal stiffener length of half-sectioned U-ribs (W_s)
 (b) Thickness of the stiffened curved plate (t_p)
 (c) Height of U-rib (h) (d) Radius of curvature (R)

본 연구결과는 폐단면리브를 사용하여 종방향으로 보강된 곡판 구조의 최적 설계를 제시하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 보다 정확하면서도 실용적인 좌굴강도 공식을 수립하기 위해 W_s , t_p , R 등의 설계변수 범위에 대해 검토하고 비탄성 좌굴 영역에 대해서도 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] B. H. Choi, S. Y. Choi, "Buckling behavior of longitudinally stiffened steel plates by U-shaped ribs", *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, vol. 12, no. 1, pp. 39-44, 2012. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2012.12.1.039>
- [2] B. H. Choi, J. J. Kim, T. H. Lee, "Bending Stiffness Requirement for Closed-Section Longitudinal Stiffeners of Isotropic Material Plates under Uniaxial Compression", *ASCE Journal of Bridge Engineering*, vol. 20, no. 7, pp. 04014092 1-8, 2015.
- [3] B. H. Choi, "Evaluation of Local Buckling Strength of Stiffened Plates under Uni-axial Compression due to Closed-section Rib Stiffness", *Journal of the Korean Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 14, no. 2, pp. 949-954, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.949>
- [4] S. H. Hwang, Y. S. Kim, B. H. Choi, "Increasing Effect in Local Buckling Strength of Laminated Composite Plates Stiffened with Closed-section Ribs under Uniaxial Compression", *Journal of Korean Society Advanced Composite Structures*, vol. 4, no. 2, pp. 39-44, 2013. DOI: <https://doi.org/10.11004/kosacs.2013.4.2.039>
- [5] B. H. Choi, A. N. Andico, T. H. Lee, "Buckling Strength Increment of Longitudinally Stiffened Plates due to Rotational Stiffness of Closed-Section Stiffeners under Uniaxial Compression", *to be submitted on International Journal of Steel Structures*, 2018.
- [6] B. H. Choi, J. W. Kim, "Local Buckling Characteristics According to the Curvature of Curved Panels Stiffened with U-Ribs under In-plane Compression", *Journal of Korean Society Hazard Mitigation*, vol. 16, no. 4, pp. 1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.4.1>
- [7] Korea Road and Transportation Association, Design Specifications for Roadway Bridges, 2010.
- [8] P. Qiao, L. Shan, "Explicit local buckling analysis and design of fiber - reinforced plastic composite structural

shapes”, *Composite Structures*, vol. 70, no. 4, pp. 468-483, 2005.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2004.09.005>

- [9] S. P. Timoshenko, J. M. Gere, *Theory of Elastic Stability*, Dover Publications, 2009.
- [10] ABAQUS, *Analysis User's Manual version 6.14*, 2014.
- [11] B. H. Choi, "Annual Research Report: Developing High Performance Steel Pipe and Shell Structure using Closed-Section Ribs", National Research Foundation of Korea, 2017

아레안 니콜 피 안디코(Arriane Nicole P. Andico)

[준회원]



- 2016년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 일반대학원 토목공학과 (토목공학 석사과정)

<관심분야>

구조공학, 강구조공학

최 병 호(Byung-Ho Choi)

[정회원]



- 1997년 2월 : 고려대학교 대학원 토목공학과 (토목공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (구조공학박사)
- 2003 11월 ~ 2008년 3월 : 포항산업과학연구원 선임 연구원
- 2008년 4월 ~ 2009년 8월 : 포항산업과학연구원 책임연구원
- 2008년 4월 ~ 현재 : 한밭대학교 건설환경공학과 교수

<관심분야>

강구조공학, 합성구조, 복합신소재구조공학

곽 재 영(Jae-Young Kwak)

[준회원]



- 2017년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 일반대학원 토목공학과 (토목공학 석사과정)

<관심분야>

구조공학, 강구조공학, 내진설계