

재하 크기에 따른 개단면 리브 보강판의 국부 처짐과 국부 모멘트의 정형화

주 석 범^{1)*}

¹⁾ 부교수, 세명대학교, 토목공학과

Formulating the Local Displacement and Local Moments of a Plate Stiffened with Open Ribs According to the Loading Sizes

Chu, Seok Beom^{1)*}

¹⁾ Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon City, 390-711, Korea

ABSTRACT : In this study, stiffened plates with open ribs are analyzed to estimate and formulate the local displacement and local moments according to square loading sizes. For the local behaviors of plates stiffened with rectangular and reverse T ribs, the ratio functions according to the dimensions of stiffened plates are obtained at each square loading size. Analytical results show that values of the basic stiffened plates are different but the ratio functions of each square loading size are similar and the difference of the ratio functions between rectangular ribs and reverse T ribs are small, so the ratio functions can be unified by integrating the loading sizes regardless of the rib type. The application of the unified ratio functions to L type ribs and rectangular loading shows good accuracies. Therefore, the local behaviors of plates stiffened with open ribs can easily be obtained by using the unified ratio functions proposed in this study.

KEYWORDS : plate stiffened with open ribs, local displacement, local moment, local behavior, ratio function, loading size

1. 서 론

사하중 감소 효과를 위해 많이 사용되는 강바닥판은 효율적인 구조를 갖고 있으나, 설계를 위한 거동 분석이 어려워 간단하게 격자 구조 또는 직교이방성 판으로 해석하는 방법이 널리 사용되고 있다^{(1),(2)}.

그러나 이러한 해석 방법은 강판 자체에서 발생하는 국부 거동을 고려할 수 없다는 문제점을 갖고 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 연구가 진행되었으나^{(3),(4),(5),(6)}, 국부 거동에 대하여 재하크기와 제원을 동시에

고려한 종합적인 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 제원에 따라 다르게 발생하는 국부거동을 정형화한 기존 연구를⁽⁵⁾ 바탕으로, 재하크기가 다른 경우에도 보강판의 국부처짐과 국부 모멘트가 제원에 대한 비율 함수로 표현 가능한지, 재하크기까지 고려한 함수로 표현 가능한지 분석하여 이를 정형화 하고자 한다.

또한, 정형화된 함수의 적용성을 확인하기 위하여 L형 리브와 같이 다른 형태의 리브를 갖는 경우에 대한 적용 방법과 도로교 설계기준⁽⁷⁾의 DB 하중과 같이 직사각형 분포하중이 작용하는 경우에 대한 적용 방법을 살펴보고자 한다.

2. 해석 예제

개단면 리브로는 평강 리브와 역T형 리브를 고려하였으며, Table 1 및 Fig 1에 나타난 바와 같이 여러 가지 제원을 갖는 보강판에 대하여 분석하고자 한다⁽⁵⁾.

기존의 연구 결과^{(5),(6)} 토대로 Fig 2와 같이 2변 단순

Note.-Discussion open until December 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on March 12, 2012; revised March 26, 2013; approved on May 30, 2013.
© KSSC 2013

* Corresponding author

Tel. +82-043-649-1334 Fax. +82-043-649-1778
E-mail: chusb@semyung.ac.kr

Table 1. Dimensions of stiffened plates (mm)

판 두께 t	리브 간격 s	복부 높이 h_1	역T형			
			평강 복부 두께 t_1	역T형 복부 두께 t_1	플랜지 두께 t_2	플랜지 길이 h_2
10	300	200	10	9	14	90
12	400	250	15	10	15	100
14	500	300	20	11	16	110

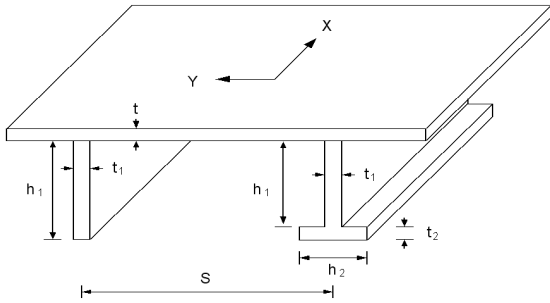


Fig. 1 Dimensions of the plate stiffened with open ribs

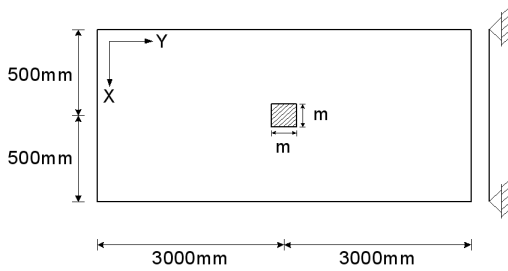


Fig. 2 Loading size and loading position

지지된 폭 6m, 길이 1m인 보강판의 중앙에 위치한 $m \times m$ 의 정사각형에 400kN의 하중을 작용시켰으며, m 은 50, 100, 150, 200, 250, 300(mm)의 6가지 경우를 고려하였다. 여러 제원을 갖는 보강판은 12.5mm \times 12.5mm 크기의 4절점 판요소로 모델링 한 뒤^{(8),(9)}, MIDAS 프로그램을 이용하여 재하크기(m)에 따른 거동 분석을 수행하고자 한다.

3. 국부 거동의 정형화

제원에 따른 국부 거동을 정형화하기 위하여 기존 연구⁽⁵⁾와 마찬가지로, Table 1에서 역T형 리브의 중간값인 판 두께 12mm, 리브 간격 400mm, 복부 높이 250mm, 복부 두께 10mm와 플랜지 두께 15mm, 플랜지 길이 100mm를 기준 제원으로, 다른 제원은 동일한 상태에서 식 (1)~(4)와 같이 각각의 제원 변화에 따른 결과를 각 기준 제원의 결과로 나눈 비율 함수를 재하크기별로 구하여 사용하고자 한다.

$$\text{리브 간격 비율} = R_s / R_{400} \quad (1)$$

$$\text{판 두께 비율} = R_t / R_{12} \quad (2)$$

$$\text{복부 두께 비율} = R_{t_1} / R_{10} \quad (3)$$

$$\text{복부 높이 비율} = R_{h_1} / R_{250} \quad (4)$$

3.1 국부처짐

본 연구에서는 먼저 각 재하크기별 보강판의 국부처짐에 대하여 식 (5)와 같이 기준 보강판의 결과에 각각의 제원 변화에 따른 비율 함수를 곱하여 구할 수 있는지 살펴보고, 재하크기 변화에 따른 경향을 분석하여 개단면 리브 보강판의 국부처짐을 재하크기까지 고려하여 정형화 하고자 한다.

$$D = D_0 (D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4) \quad (5)$$

3.1.1 재하크기별 개별 국부처짐 함수

Table 1의 역T형 리브의 중간값, 판 두께 12mm, 리브 간격 400mm, 복부 높이 250mm, 복부 두께 10mm와 플랜지 두께 15mm, 플랜지 길이 100mm를 갖는 경우를 기준 보강판으로 하여, 재하크기($m \times m$)별 기준 보강판의 값을 초기값 D_0 라 하고 리브 형태별로 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2. Basic values(D_0) of local displacements (mm)

m	50	100	150	200	250	300
평강	19.580	18.413	16.840	15.128	13.268	11.483
역T형	19.408	18.050	16.484	14.746	12.952	11.191

기존 연구⁽⁵⁾에 따르면 역T형 리브의 플랜지 두께와 플랜지 길이가 국부 거동에 미치는 영향은 매우 작으므로 플랜지 두께와 플랜지 길이를 제외하고, 각 제원별 비율의 대푯값을 산정한 뒤, 평강 리브와 역T형 리브 각각에 대하여 재하크기별로 리브 간격(D_1), 판 두께(D_2), 복부 두께(D_3) 및 복부 높이(D_4)에 대한 비율 함수만을 구하여 나타내면 Fig 3 및 4와 같다.

Fig 3과 4를 살펴보면 리브 간격과 판 두께는 제원 변화에 따른 비율 차이가 크며, 리브 간격은 재하크기에 따라 비율 차이가 발생하는 반면 판 두께는 재하크기에 따른 차이가 없음을 알 수 있으며, 복부 두께, 복부 높이는 제원 변화 및 재하크기에 따른 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

평강 리브와 역T형 리브 각각에 대하여 재하크기별로 Table

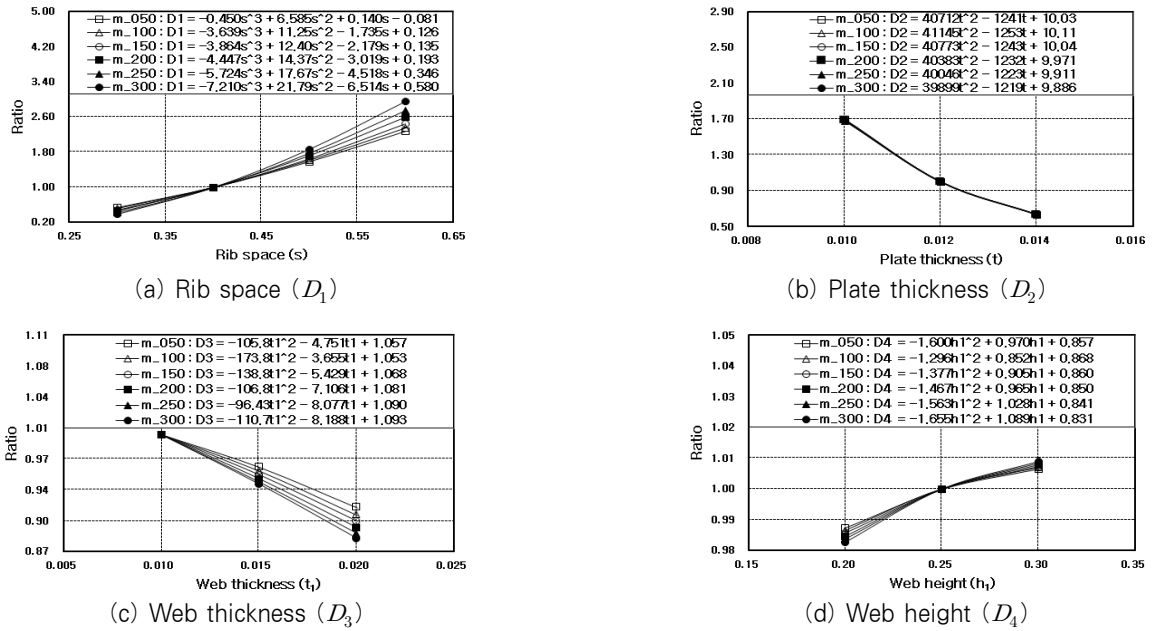


Fig. 3 Ratio functions of local displacements for each loading size (Rectangular)

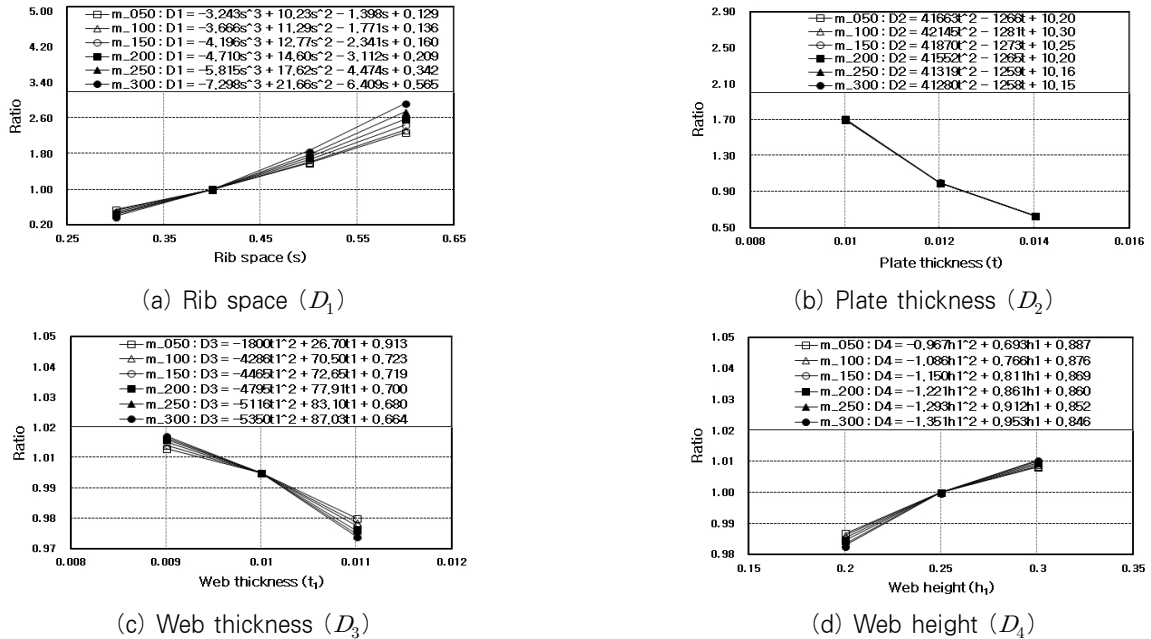


Fig. 4 Ratio functions of local displacements for each loading size (Reverse T)

2의 초기값과 Fig 3과 4에 나타난 비율함수를 식 (5)에 대입하고, 실제 계산된 국부처짐과의 오차율을 구한 결과, 평강 리브의 경우 전체 오차율이 $-3.68\% \sim +3.74\%$ 의 범위를 나타내고, 역T형 리브의 경우 전체 오차율이 $-1.66\% \sim +3.38\%$ 의 범위를 나타내어 각각의 재하크기별 국부처짐은 제원에 따른 비율함수로 표현 가능하며, 이를 이용하면 간편하게 타당한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3.1.2 재하크기 통합 국부처짐 함수

Table 2에 나타난 초기값의 경우 리브별로 재하크기에 따른 하나의 함수로 표현 가능하며, 리브 간격을 제외하고 Fig 3 및 4에 나타난 재하크기별 비율 함수가 거의 유사한 점을 고려하여 재하크기별 비율 함수를 통합하고자 하였다.

이를 위해 리브 간격의 비율함수는 재하크기별 함수 형태로, 다른 제원은 재하크기 150의 함수를 기본으로 판 두께와 복부 두께는 재하크기를 사용하여 보강하는 형태로 표현하여

각각의 리브별로 나타내면 Table 3 및 4와 같다.

평강 리브와 역T형 리브 각각에 대하여 Table 3 및 4에 나타난 재하크기 통합 초기값과 비율함수를 이용하여 구한 국부처짐과 실제 계산된 국부처짐을 비교하면, 평강 리브의 경우 오차율이 -3.75%~+3.82%, 역T형 리브의 경우 오차율이 -2.40%~+2.44%의 범위를 나타내어 재하크기별 개별 함수를 사용한 경우에 비하여 최대 오차율 증가가 크지 않아 재하크기 통합 비율함수를 사용하여도 타당함을 알 수 있다.

Table 3. Local displacement ratio functions integrating loading sizes (Rectangular)

	$D = D_0 (D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4)$
초기값 (D_0)	$149.4m^3 - 102.8m^2 - 12.33m + 20.44$
리브간격 (D_1)	$(-77.75s^3 + 179.8s^2 - 91.41s + 12.77)m^2 + (4.650s^3 - 7.570s^2 + 7.733s - 2.179)m + (-1.533s^3 + 7.960s^2 - 0.659s + 0.088)$
판 두께 (D_2)	$(40773t^2 - 1243t + 10.04) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.026m^2 - 0.045m + 0.006)]$
복부두께 (D_3)	$(138.3t_1^2 - 5.429t_1 + 1.068) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (-0.469m^2 - 0.041m + 0.020)]$
복부높이 (D_4)	$-1.377h_1^2 + 0.905h_1 + 0.860$

Table 4. Local displacement ratio functions integrating loading sizes (Reverse T)

	$D = D_0 (D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4)$
초기값 (D_0)	$188.7m^3 - 123.9m^2 - 9.151m + 20.08$
리브간격 (D_1)	$(-46.03s^3 + 137.7s^2 - 72.30s + 9.827)m^2 + (1.767s^3 - 5.490s^2 + 6.814s - 1.960)m + (-3.300s^3 + 10.31s^2 - 1.604s + 0.218)$
판 두께 (D_2)	$(41870t^2 - 1273t + 10.25) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.022m^2 - 0.039m + 0.005)]$
복부두께 (D_3)	$(-4465t_1^2 + 72.65t_1 + 0.719) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (0.039m^2 - 0.037m + 0.004)]$
복부높이 (D_4)	$-1.150h_1^2 + 0.811h_1 + 0.869$

3.1.3 개단면 리브 통합 국부처짐 함수

Fig 3 및 4를 살펴보면 평강 리브와 역T형 리브 모두 비슷한 양상을 나타내므로, 제원이 다른 복부 두께만 따로 통합하고, 나머지 제원은 평강 리브의 재하크기 통합 비율함수를 기준값으로 비율함수를 통합하여 나타내면 Table 5와 같다.

Table 5에 나타난 리브 통합 비율함수와 초기값을 식 (5)에 대입하고, 실제 국부처짐과 비교하여 오차율을 구한 뒤,

개별 함수, 재하크기 통합 함수를 사용한 경우와 비교하여 재하크기별 오차율 범위를 정리하여 나타내면 Table 6과 같다.

Table 6을 살펴보면, 재하크기별 개별 함수의 경우, 재하크기 통합함수의 경우와 비교하여 리브를 통합한 함수의 경우 최대 오차율 증가가 크지 않음을 알 수 있다.

따라서, 개단면 리브 보강판의 국부처짐은 Table 5에 나타난 리브통합 비율함수를 이용하여 간편하게 계산할 수 있으며, 결과 또한 타당함을 확인할 수 있다.

Table 5. Rib unioned ratio functions for the local displacement

		$D = D_0 (D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4)$
초기값 (D_0)	평강	$149.4m^3 - 102.8m^2 - 12.33m + 20.44$
	역T	$188.7m^3 - 123.9m^2 - 9.151m + 20.08$
리브간격 (D_1)		$(-77.75s^3 + 179.8s^2 - 91.41s + 12.77)m^2 + (4.650s^3 - 7.570s^2 + 7.733s - 2.179)m + (-1.533s^3 + 7.960s^2 - 0.659s + 0.088)$
판 두께 (D_2)		$(40773t^2 - 1243t + 10.04) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.026m^2 - 0.045m + 0.006)]$
복부두께 (D_3)		$(59t_1^2 - 11.07t_1 + 1.103) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (-0.469m^2 - 0.041m + 0.020)]$
복부높이 (D_4)		$-1.377h_1^2 + 0.905h_1 + 0.860$

Table 6. Error ratios(%) of ratio functions for the local displacement

m		50	100	150	200	250	300
평강 리브	개별 함수	-2.28 ~ -2.53	-2.84 ~ -3.08	-2.94 ~ -3.17	-3.44 ~ -3.25	-3.52 ~ -3.60	-3.68 ~ -3.74
	재하 통합	-2.90 ~ -2.98	-2.77 ~ -2.86	-2.82 ~ -2.90	-2.81 ~ -2.87	-3.13 ~ -3.22	-3.75 ~ -3.82
	리브 통합	-3.05 ~ -2.84	-2.92 ~ -3.02	-2.97 ~ -3.05	-2.95 ~ -2.80	-2.96 ~ -3.09	-3.58 ~ -3.68
역T형 리브	개별 함수	-1.66 ~ -0.37	-1.40 ~ -2.70	-1.37 ~ -2.90	-1.46 ~ -2.90	-1.52 ~ -3.14	-1.64 ~ -3.38
	재하 통합	-1.83 ~ -1.91	-1.77 ~ -1.89	-1.79 ~ -1.83	-1.77 ~ -1.85	-1.87 ~ -1.98	-2.40 ~ -2.44
	리브 통합	-1.44 ~ -1.01	-1.68 ~ -1.84	-1.89 ~ -2.01	-2.03 ~ -2.02	-2.38 ~ -2.11	-3.10 ~ -2.36

3.2 국부 모멘트 M_{xx}

국부처짐과 마찬가지로 보강판의 국부 모멘트 M_{xx} 가 식 (6)과 같이 기준 보강판의 국부 모멘트 X_0 에 제원 변화에 따른 비율 함수(X_1, X_2, X_3, X_4)를 곱하여 간편히 구할 수 있는지 살펴보고, 그 경향을 분석하여 정형화 하고자 하였다.

$$M_{xx} = X_0 (X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4) \quad (6)$$

3.2.1 재하크기별 개별 M_{xx} 함수

각 재하크기별로 판 두께 12mm, 복부 높이 250mm, 리브 간격 400mm, 복부 두께 10mm와 플랜지 두께 15mm, 플랜지 길이 100mm를 갖는 기준 보강판의 국부 모멘트 M_{xx} 값을 초기값 X_0 로 하여 리브형태별로 나타내면 Table 7과 같으며, 각각의 리브에 대하여 재하크기별로 리브 간격 (X_1), 판 두께(X_2), 복부 두께(X_3) 및 높이(X_4)에 대한 비율 함수를 나타내면 Fig 5 및 6과 같다.

Table 7. Basic values(X_0) of local M_{xx} (kN · mm/mm)

m	50	100	150	200	250	300
평강	90.519	66.729	51.593	40.815	32.723	26.479
역T형	90.081	66.250	51.128	40.371	32.306	26.098

Fig 5와 6을 살펴보면 Fig 3과 4의 국부처짐에 비하여 리브 간격 및 판 두께의 제원 변화에 따른 비율 차이가 크지 않으며, 판 두께와 복부 두께가 국부모멘트에 미치는 영향은 재하크기에 따라 약간의 차이가 나타나나 복부 높이의 비율 함수는 재하크기와 상관없이 거의 유사함을 알 수 있다.

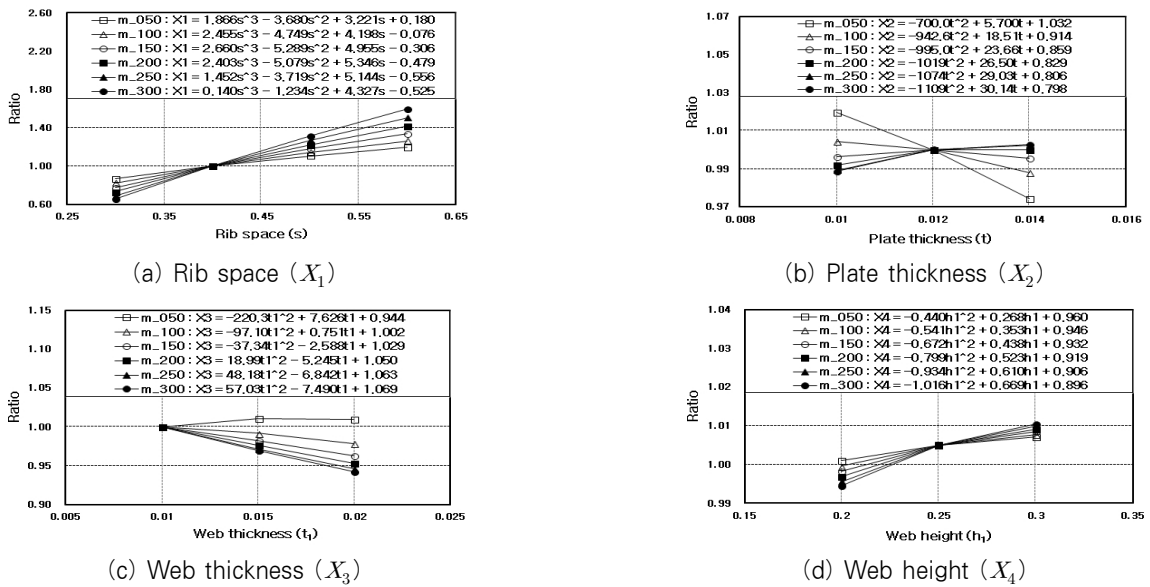


Fig. 5 Ratio functions of local moments M_{xx} for each loading size (Rectangular)

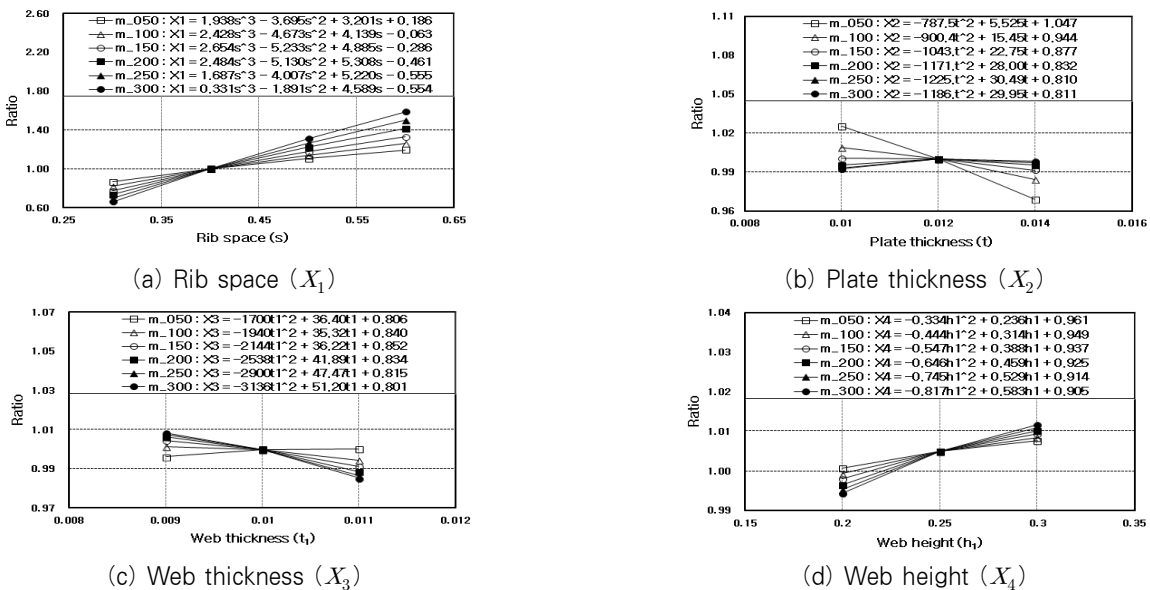


Fig. 6 Ratio functions of local moments M_{xx} for each loading size (Reverse T)

각 리브에 대하여 Table 7의 초기값과 Fig 5와 6에 나타난 비율함수를 식 (6)에 대입하여 계산한 뒤, 실제 국부 모멘트와의 오차율을 구하면 평강 리브는 -1.69%~+2.68%, 역T형 리브는 -1.81%~+1.00%의 오차율 범위를 나타내어 재하크기별 국부 모멘트 M_{xx} 는 제원에 따른 비율함수를 이용하여 간편하게 타당한 결과를 구할 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2 재하크기 통합 M_{xx} 함수

Table 7에 나타난 초기값은 재하크기에 따른 하나의 함수로, 리브 간격의 비율함수는 재하크기별 함수 형태로, 다른 제원은 재하크기 150의 함수를 기본으로 판 두께와 복부 두께는 재하크기를 사용하여 보정하는 형태로 표현하여 각각의 리브별로 나타내면 Table 8 및 9와 같다.

Table 8. Local moment M_{xx} ratio functions integrating loading sizes (Rectangular)

	$M_{xx} = X_0 (X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4)$
초기값 (X_0)	$-2745m^3 + 2271m^2 - 755.4m + 122.7$
리브간격 (X_1)	$(-88.20s^3 + 148.1s^2 - 75.69s + 12.22)m^2 + (19.42s^3 - 37.47s^2 + 28.97s - 6.835)m + (1.667s^3 - 2.960s^2 + 2.334s + 0.433)$
판 두께 (X_2)	$(-995.0t^2 + 23.66t + 0.859) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.671m^2 - 0.353m + 0.038)]$
복부두께 (X_3)	$(-37.34t_1^2 - 2.588t_1 + 1.029) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (1.349m^2 - 0.750m + 0.082)]$
복부높이 (X_4)	$-0.672h_1^2 + 0.438h_1 + 0.932$

Table 9. Local moment M_{xx} ratio functions integrating loading sizes (Reverse T)

	$M_{xx} = X_0 (X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4)$
초기값 (X_0)	$-2739m^3 + 2280m^2 - 759.9m + 122.8$
리브간격 (X_1)	$(-87.07s^3 + 145.2s^2 - 72.81s + 11.46)m^2 + (23.32s^3 - 42.69s^2 + 30.68s - 6.933)m + (1.250s^3 - 2.295s^2 + 2.022s + 0.478)$
판 두께 (X_2)	$(-1043t^2 + 22.75t + 0.877) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.744m^2 - 0.385m + 0.041)]$
복부두께 (X_3)	$(-2144t_1^2 + 36.22t_1 + 0.852) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (-0.210m^2 + 0.119m - 0.013)]$
복부높이 (X_4)	$-0.547h_1^2 + 0.388h_1 + 0.937$

각각의 리브에 대하여 Table 8 및 9에 나타난 재하크기 통합 초기값과 비율함수를 식 (6)에 적용하고, 실제 국부 모멘트 M_{xx} 와 비교하면, 평강 리브의 경우 오차율이 -2.27%~+2.42%의 범위를 나타내고, 역T형 리브의 경우 오차율이 -2.09%~+1.93%의 범위를 나타내어 재하크기별 개별 함수를 사용한 경우에 비하여 최대 오차율 증가가 크지 않으므로, 국부 모멘트 M_{xx} 는 재하크기 통합 비율함수를 사용하여도 타당한 결과를 제공함을 알 수 있다.

3.2.3 개단면 리브 통합 M_{xx} 함수

Fig 5 및 6에 나타난 비율 함수를 살펴보면 국부처짐과 마찬가지로 평강 리브와 역T형 리브 모두 비슷한 양상을 나타내므로, 복부 두께를 제외하고 평강 리브의 국부 모멘트 M_{xx} 통합 비율함수를 기준값으로 하여 개단면 리브의 비율 함수를 통합하여 나타내면 Table 10과 같다.

Table 10. Rib unioned ratio functions for the local moment M_{xx}

		$M_{xx} = X_0 (X_1 \times X_2 \times X_3 \times X_4)$
초기값 (X_0)	평강	$-2745m^3 + 2271m^2 - 755.4m + 122.7$
	역T	$-2739m^3 + 2280m^2 - 759.9m + 122.8$
리브간격 (X_1)		$(-88.20s^3 + 148.1s^2 - 75.69s + 12.22)m^2 + (19.42s^3 - 37.47s^2 + 28.97s - 6.835)m + (1.667s^3 - 2.960s^2 + 2.334s + 0.433)$
판 두께 (X_2)		$(-995.0t^2 + 23.66t + 0.859) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.671m^2 - 0.353m + 0.038)]$
복부두께 (X_3)		$(37.14t_1^2 - 4.681t_1 + 1.042) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (1.349m^2 - 0.750m + 0.082)]$
복부높이 (X_4)		$-0.672h_1^2 + 0.438h_1 + 0.932$

Table 10의 리브 통합 비율함수와 초기값을 식 (6)에 대입하고, 실제 국부 모멘트 M_{xx} 와 비교하여 오차율을 구한 뒤, 개별 함수, 재하크기 통합 함수를 사용한 경우와 비교하여 재하크기별로 정리하여 나타내면 Table 11과 같다.

Table 11을 살펴보면, 국부처짐에 비하여 그 오차율이 작음을 알 수 있으며, 재하크기별 개별 함수 및 재하크기 통합 함수를 사용한 경우와 비교하여 리브 통합 함수의 경우에 발생하는 오차율 증가가 크지 않아 개단면 리브 보강판의 국부 모멘트 M_{xx} 는 Table 10에 나타난 식을 이용하면 간편하게 타당한 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 11. Error ratios(%) of ratio functions for the local moment M_{xx}

m		50	100	150	200	250	300
평강 리브	개별 함수	-1.32 ~ -1.54	-1.60 ~ -1.30	-1.69 ~ -1.46	-1.60 ~ -1.90	-1.66 ~ -2.29	-1.47 ~ -2.68
	재하 통합	-2.15 ~ -1.58	-0.98 ~ -2.42	-2.27 ~ -0.49	-2.25 ~ -0.81	-0.85 ~ -2.42	-2.06 ~ -1.90
	리브 통합	-2.26 ~ -1.61	-1.04 ~ -2.45	-2.37 ~ -0.52	-2.33 ~ -0.70	-0.95 ~ -2.46	-2.17 ~ -1.94
역T형 리브	개별 함수	-0.73 ~ -0.90	-1.17 ~ -0.76	-1.36 ~ -0.65	-1.51 ~ -0.67	-1.68 ~ -0.79	-1.81 ~ -1.00
	재하 통합	-1.39 ~ -1.10	-0.74 ~ -1.93	-1.87 ~ -0.19	-1.85 ~ -0.01	-0.68 ~ -1.70	-2.09 ~ -1.06
	리브 통합	-1.54 ~ -1.00	-0.44 ~ -1.62	-1.96 ~ -0.16	-2.16 ~ -0.36	-0.85 ~ -1.78	-1.88 ~ -1.36

3.3 국부 모멘트 M_{yy}

앞서의 연구와 마찬가지로 재하크기별 보강판의 국부 모멘트 M_{yy} 가 식 (7)과 같이 기준 보강판의 국부 모멘트 M_{yy} 에 각 제원 변화에 따른 비율 함수를 곱하여 구할 수 있는지 살펴보고, 그 경향을 분석하여 정형화 하고자 하였다.

$$M_{yy} = Y_0 (Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4) \quad (7)$$

3.3.1 재하크기별 개별 M_{yy} 함수

각 재하크기별로 기준 보강판의 값을 초기값 Y_0 로 하여 나

타내면 Table 12와 같으며, 각각의 리브에 대하여 재하크기별 리브 간격(Y_1), 판 두께(Y_2), 복부 두께(Y_3) 및 복부 높이(Y_4)에 대한 비율 함수는 Fig 7 및 8과 같다.

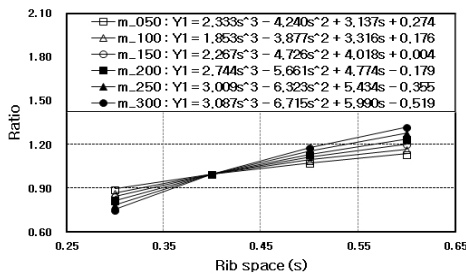
Table 12. Basic values(Y_0) of local M_{yy} (kN · mm/mm)

m	50	100	150	200	250	300
평강	125.721	102.314	86.441	74.469	64.836	56.760
역T형	125.652	102.023	86.150	74.178	64.551	56.486

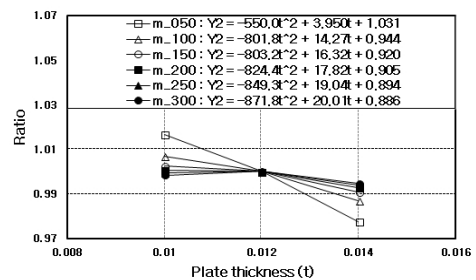
각각의 리브에 대하여 Table 12의 초기값과 Fig 7과 8에 나타난 비율함수를 식 (7)에 대입하여 국부 모멘트 M_{yy} 를 산정하고, 실제 계산된 국부 모멘트 M_{yy} 와의 오차율을 살펴 보면 평강 리브의 경우 -2.23%~+1.72%의 범위를, 역T형 리브의 경우 오차율이 -1.76%~+1.03%의 범위를 나타내어 앞서 살펴본 국부처짐과 국부 모멘트 M_{xx} 와 마찬가지로 재하크기별 국부 모멘트 M_{yy} 는 제원에 따른 비율함수를 사용하여 간편하게 계산할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

3.3.2 재하크기 통합 M_{yy} 함수

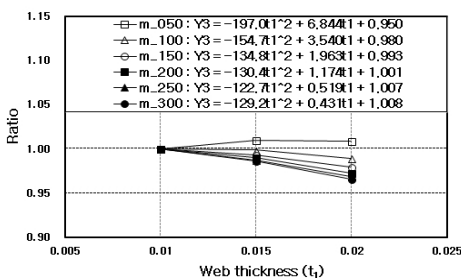
앞서와 마찬가지로 Table 12에 나타난 초기값은 리브마다 재하크기에 따른 하나의 함수로, 리브 간격의 비율함수는 재하크기별 함수 형태로, 다른 제원은 재하크기 150의 함수를 기본으로 판 두께와 복부 두께는 재하크기에 따라 보정하는 형태로 표현하여 나타내면 Table 13 및 14와 같다.



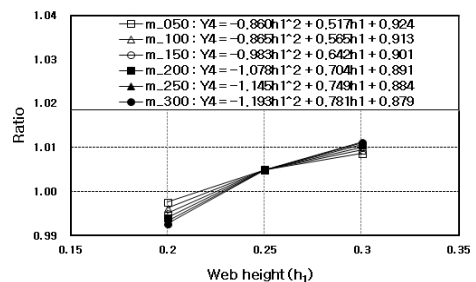
(a) Rib space (Y_1)



(b) Plate thickness (Y_2)



(c) Web thickness (Y_3)



(d) Web height (Y_4)

Fig. 7 Ratio functions of local moments M_{yy} for each loading size (Rectangular)

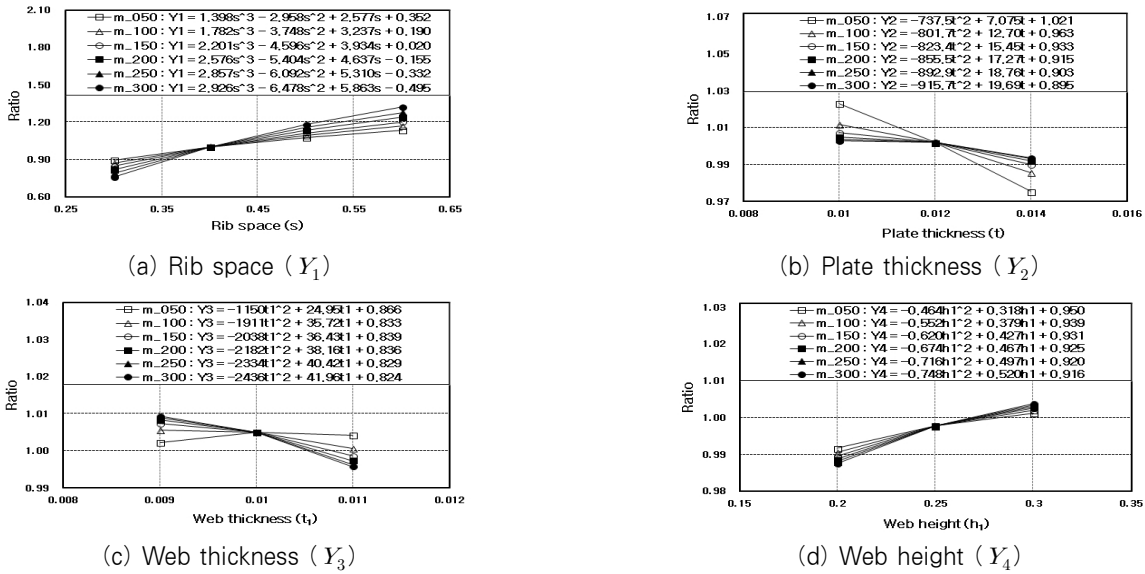


Fig. 8 Ratio functions of local moments M_{yy} for each loading size (Reverse T)

Table 13. Local moment M_{yy} ratio functions integrating loading sizes (Rectangular)

	$M_{yy} = Y_0 (Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4)$
초기값 (Y_0)	$-2692m^3 + 2148m^2 - 738.2m + 157.4$
리브간격 (Y_1)	$(7.750s^3 - 17.78s^2 + 14.57s - 3.477)m^2 + (0.700s^3 - 3.500s^2 + 5.907s - 1.848)m + (2.167s^3 - 3.975s^2 + 2.860s + 0.353)$
판 두께 (Y_2)	$(-803.2t^2 + 16.32t + 0.920) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.398m^2 - 0.205m + 0.022)]$
복부두께 (Y_3)	$(-134.8t_1^2 - 1.963t_1 + 0.993) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (0.835m^2 - 0.469m + 0.052)]$
복부높이 (Y_4)	$-0.983h_1^2 + 0.642h_1 + 0.901$

Table 14. Local moment M_{yy} ratio functions integrating loading sizes (Reverse T)

	$M_{yy} = Y_0 (Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4)$
초기값 (Y_0)	$-2514m^3 + 2048m^2 - 723.0m + 157.0$
리브간격 (Y_1)	$(-9.733s^3 + 10.80s^2 - 0.484s - 0.912)m^2 + (9.400s^3 - 17.67s^2 + 13.19s - 3.051)m + (1.067s^3 - 2.270s^2 + 2.033s + 0.494)$
판 두께 (Y_2)	$(-823.4t^2 + 15.45t + 0.933) \times [1 - (500t - 6.000) \times (-0.439m^2 + 0.220m - 0.024)]$
복부두께 (Y_3)	$(-2038t_1^2 + 36.43t_1 + 0.839) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (-0.138m^2 + 0.075m - 0.008)]$
복부높이 (Y_4)	$-0.620h_1^2 + 0.427h_1 + 0.931$

평강 리브 및 역T형 리브 각각에 대하여 Table 13과 14에 나타난 초기값과 비율함수를 식 (7)에 적용한 뒤, 실제 계산된 국부 모멘트 M_{yy} 와 비교하면 평강 리브의 경우 오차율이 $-2.21\% \sim +2.25\%$ 의 범위를, 역T형 리브의 경우 오차율이 $-1.60\% \sim +1.63\%$ 의 범위를 나타내어 재하크기별 개별 함수를 사용한 경우에 비하여 최대 오차를 증가가 크지 않으므로 국부처짐 및 국부 모멘트 M_{xx} 와 마찬가지로 국부 모멘트 M_{yy} 또한 재하크기 통합 비율함수를 사용하여도 타당한 결과를 제공해줄을 알 수 있다.

3.3.3 개단면 리브 통합 M_{yy} 함수

Fig 7과 8에서 국부 모멘트 M_{yy} 도 역시 평강 리브와 역T형 리브 모두 비슷한 양상을 나타내므로, 평강 리브의 국부 처짐 통합 비율함수를 기준값으로 하여 개단면 리브의 비율 함수를 통합하여 나타내면 Table 15와 같다.

Table 15의 리브 통합 비율함수와 초기값을 식 (7)에 대입하고, 실제 국부 모멘트 M_{yy} 와 비교하여 오차율을 구한 뒤, 개별 함수, 재하크기 통합 함수를 사용한 경우와 비교하여 재하크기별 오차율 범위를 나타내면 Table 16과 같다.

Table 16을 살펴보면, 국부처짐 및 국부 모멘트 M_{xx} 와 마찬가지로 리브를 통합한 함수를 사용한 경우 재하크기별 개별 함수를 사용한 경우 및 재하크기 통합함수를 사용한 경우와 비교하여 최대 오차율 증가가 크지 않음을 알 수 있다.

이상의 결과들로부터, 개단면 리브 보강판의 국부처짐, 국부 모멘트 M_{xx} , 국부 모멘트 M_{yy} 모두 리브까지 통합한 비율 함수를 사용하여 간편하게 값을 계산할 수 있으며, 결과 또한 타당함을 확인할 수 있었다.

Table 15. Rib unjoined ratio functions for the local moment M_{yy}

		$M_{yy} = Y_0 (Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4)$
초기값 (Y_0)	평강	$-2692m^3 + 2148m^2 - 738.2m + 157.4$
	역T	$-2514m^3 + 2048m^2 - 723.0m + 157.0$
리브간격 (Y_1)		$(7.750s^3 - 17.78s^2 + 14.57s - 3.477)m^2 + (0.700s^3 - 3.500s^2 + 5.907s - 1.848)m + (2.167s^3 - 3.975s^2 + 2.860s + 0.353)$
판 두께 (Y_2)		$(-803.2t^2 + 16.32t + 0.920) \times [1 - (500t - 6.000) \times (0.398m^2 - 0.205m + 0.022)]$
복부두께 (Y_3)		$(-51.12t_1^2 - 0.420t_1 + 1.008) \times [1 + (100t_1 - 1.000) \times (0.835m^2 - 0.469m + 0.052)]$
복부높이 (Y_4)		$-0.983h_1^2 + 0.642h_1 + 0.901$

Table 16. Error ratios(%) of ratio functions for the local moment M_{yy}

m		50	100	150	200	250	300
평강 리브	개별 함수	-1.30 ~ -1.55	-1.50 ~ -1.67	-1.88 ~ -1.43	-2.06 ~ -1.48	-2.15 ~ -1.61	-2.23 ~ -1.72
	재하 통합	-2.21 ~ -1.95	-1.34 ~ -2.25	-2.15 ~ -1.00	-2.06 ~ -1.17	-1.30 ~ -2.06	-1.79 ~ -1.48
	리브 통합	-2.35 ~ -1.94	-1.34 ~ -2.25	-2.15 ~ -1.00	-2.06 ~ -1.03	-1.31 ~ -1.92	-1.79 ~ -1.45
역T형 리브	개별 함수	-0.64 ~ -0.89	-1.32 ~ -0.92	-1.46 ~ -0.96	-1.59 ~ -0.98	-1.70 ~ -1.01	-1.76 ~ -1.03
	재하 통합	-1.21 ~ -0.96	-1.06 ~ -1.63	-1.60 ~ -0.90	-1.42 ~ -0.89	-0.82 ~ -1.55	-1.59 ~ -1.07
	리브 통합	-1.92 ~ -0.81	-0.61 ~ -1.76	-1.08 ~ -1.18	-0.94 ~ -1.28	-0.33 ~ -2.02	-1.11 ~ -1.65

4. 적용성 검토

4.1 L형 리브 보강판에 대한 적용

해석예제에서 고려하지 않았던 보강판 및 재하크기에 대한 적용성을 살펴보기 위하여, 판 두께 10mm, 리브 간격 300mm, 복부 높이 200mm, 복부 두께 10mm, 플랜지 길이 90mm, 플랜지 두께 14mm를 갖는 L형 리브 보강판에 $m = 50, 100, 125, 150, 200, 250, 275, 300$ (mm)인 하중이 작용하는 경우에 대하여 제안한 통합 함수를 적용하고 그 결과를 실제 해석 결과와 비교하고자 하였다.

플랜지를 갖는 L형 리브는 본 연구의 역T형 리브와 같은 거동을 나타낸다고 가정하여 역T형 리브의 초기값 함수를 적용하였으며, Table 5, 10, 15의 리브 통합 비율 함수를 적용한 뒤 실제 결과와 비교하여 나타내면 Table 17과 같다.

Table 17. Results of unjoined functions applied to the stiffened plates with angle ribs

m	국부처짐(mm)			$M_{x,x}$ (kN·mm/mm)			M_{yy} (kN·mm/mm)		
	실제값	함수식	오차율 (%)	실제값	함수식	오차율 (%)	실제값	함수식	오차율 (%)
50	17.96	17.69	-1.50	79.58	78.62	-1.21	113.57	112.41	-1.02
100	16.15	15.79	-2.26	54.65	54.66	0.02	88.61	89.06	0.51
125	15.08	14.73	-2.35	45.31	46.01	-0.63	79.67	79.99	0.40
150	13.98	13.64	-2.50	39.61	39.07	-1.34	72.22	72.31	0.13
200	11.70	11.42	-2.37	29.33	29.02	-1.03	59.85	60.13	0.47
250	9.53	9.29	-2.51	22.10	22.24	0.64	50.08	50.68	1.20
275	8.54	8.30	-2.88	19.33	19.48	0.78	45.97	46.46	1.06
300	7.52	7.37	-1.95	16.75	16.89	0.85	41.63	42.33	1.68

Table 17을 살펴보면, 국부처짐의 경우 -2.88%~-1.50%, 국부 모멘트 $M_{x,x}$ 의 경우 -1.34~+0.85%, 국부 모멘트 M_{yy} 의 경우 -1.02%~+1.68%의 오차율을 나타내어 본 연구의 예제 결과와 마찬가지로 국부처짐의 오차율이 국부 모멘트보다 약간 크게 나타났으며, 본 연구 예제 결과와 유사한 정확도를 나타내어 제안한 리브 통합 비율 함수가 L형 리브 및 다른 재하크기에 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

4.2 직사각형 재하크기를 갖는 경우

본 연구에서는 정사각형 형태의 재하크기를 갖는 경우에 대한 국부 거동에 대하여 정형화 하였으며, DB 하중과 같이 본 연구에서 고려하지 않았던 직사각형 형태에 분포하중이 작용하는 경우에 대하여 그 적용 방법을 살펴보고자 한다.

Fig 1 및 Table 1에 나타난 여러 가지 제원의 평강 리브 보강판 중 Table 18과 같이 10가지 경우를 고려하였다.

보강판 폭방향(m_1)×길이방향(m_2)으로 표시하였을 때 직사각형 재하크기는 500×200, 200×500, 300×100, 100×300(mm) 크기를 갖는 4가지 경우를 고려하였다.

Table 18. Dimensions of plates stiffened with rectangular ribs(mm)

Case	판 두께 t	리브 간격 s	복부 두께 t_1	복부 높이 h_1
1	10	300	10	200
2	12	300	10	200
3	14	300	10	200
4	10	400	10	200
5	10	500	10	200
6	10	600	10	200
7	10	300	10	250
8	10	300	10	300
9	10	300	15	200
10	12	400	10	250

재하크기가 달라지면 초기값에 차이가 있다는 점을 고려하여, 각 리브 형태별 기준 보강판에 대하여 직사각형 형태의 재하시 결과를 초기값으로 나타내면 별첨 Table 22-27와 같다.

Table 5, 10, 15에 나타낸 통합 비율함수를 적용하려면 정사각형 형태의 재하크기(m)가 필요하게 되는데, 이때 재하크기(m)은 재하 강도와 재하 폭이 동시에 고려된 것으로, 직사각형 재하크기($m_1 \times m_2$)를 갖는 경우에는 양쪽 방향의 값이 다르게 되어 곧바로 적용할 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 연구에서는 직사각형 재하크기 ($m_1 \times m_2$)를 갖는 경우에 먼저, 재하 강도가 고려되도록 식 (8)과 같이 ($m_1 \times m_2$)의 기하 평균값 m_c 를 구한 뒤, 보강판 폭 방향의 재하크기 (m_1)가 고려되도록 식 (9)와 같이 재하 강도를 고려한 m_c 와 보강판 폭 방향의 재하크기 m_1 의 산술 평균값을 구하여 Table 5, 10, 15에 나타낸 통합 비율함수에 적용할 재하크기(m)으로 사용하였다.

$$m_c = \sqrt{m_1 \times m_2} \quad (8)$$

$$m = \frac{m_c + m_1}{2} \quad (9)$$

직사각형 형태의 하중을 받는 경우에 대하여 별첨 Tables 22-24의 초기값과 Table 5, 10, 15의 통합 비율함수를 이용하여 계산한 결과와 실제 값을 비교하여 오차율로 나타내면 Table 19-21과 같다.

Table 19부터 21까지의 결과를 살펴보면, 본 연구의 예제보다는 오차율이 다소 커지는 경향이 있으나, 최대 오차율 $\pm 10\%$ 내외로 비교적 타당한 결과를 제공해줄 수 있다.

Table 19. Error ratios(%) of the local displacement

Case	500×200	200×500	300×100	100×300
1	5.98	1.35	2.12	-1.95
2	3.11	-2.29	-0.29	-4.56
3	0.37	-6.42	-3.00	-7.43
4	-3.12	3.76	3.51	2.01
5	-2.89	5.61	3.86	4.41
6	-1.33	6.62	3.65	5.48
7	5.54	1.71	1.86	-1.97
8	5.30	1.85	1.70	-2.02
9	9.38	0.33	0.28	-4.14
10	-5.76	1.65	1.45	0.19
Range	-5.76 ~9.38	-6.42 ~6.62	-3.00 ~3.86	-7.43 ~5.48

Table 20. Error ratios(%) of the local moment M_{xx}

Case	500×200	200×500	300×100	100×300
1	-9.07	4.70	-7.91	8.41
2	-8.87	7.32	-5.83	8.87
3	-8.70	10.47	-3.43	9.61
4	-1.32	0.12	-2.18	-0.73
5	4.77	-5.31	2.30	-6.81
6	8.93	-10.15	5.74	-11.15
7	-8.87	3.88	-7.68	8.16
8	-8.76	3.48	-7.56	8.05
9	-8.47	6.02	-7.95	11.42
10	-1.44	0.72	-0.12	-0.95
Range	-9.07 ~8.93	-10.15 ~10.47	-7.95 ~5.74	-11.15 ~11.42

Table 21. Error ratios(%) of the local moment M_{yy}

Case	500×200	200×500	300×100	100×300
1	-5.21	3.35	-4.65	4.77
2	-5.19	5.32	-3.10	5.70
3	-5.14	7.76	-1.33	6.92
4	-0.14	-1.70	-1.53	-0.24
5	2.41	-4.83	0.63	-3.17
6	4.05	-6.72	2.28	-4.94
7	-4.80	2.91	-4.33	4.65
8	-4.58	2.72	-4.15	4.61
9	-4.33	4.35	-4.60	6.40
10	-0.13	-1.17	-0.13	-0.13
Range	-5.21 ~4.05	-6.72 ~7.76	-4.65 ~2.28	-4.94 ~6.92

5. 결론

본 연구에서는 개단면 리브를 갖는 보강판에 대하여 재하 크기에 따른 국부거동 양상을 정형화하여 비율함수로 나타내었으며, 그 결과를 정리하여 나타내면 다음과 같다.

- (1) 각각의 리브 형태에 대한 재하크기별 국부거동은 제원에 따른 비율함수로 표현 가능하고, 재하크기별 각 제원에 대한 비율함수는 통합하여 나타낼 수 있었으며, 이 비율함수를 적용한 결과 치짐은 오차율 $\pm 3\%$ 내외, 모멘트는 오차율 $\pm 2\%$ 내외의 결과를 얻을 수 있었다.
- (2) 평강 리브와 역T형 리브의 경우 각 제원에 대한 비율함수가 유사한 경향을 나타내어 리브 형태와 상관없이 하나의 통합함수로 표현 가능함을 알 수 있었으며, 재하크

기별 개별함수, 재하크기 통합함수와 비교하여 오차율이 ±1% 정도 차이를 나타내나, 최종적으로 처짐은 ±3% 내외, 모멘트는 ±2% 내외의 오차율 결과를 나타내어 개단면 리브 통합함수의 타당성을 확인할 수 있었다.

- (3) 예제에서 고려하지 않았던 재하크기와 L형 리브 보강판에 역T형 리브의 값을 적용한 결과 최대 오차율이 국부 처짐은 2.88%, 국부 모멘트 M_{xx} 는 1.34%, 국부 모멘트 M_{yy} 는 1.68%로 해석예제와 유사한 결과를 나타내어 본 연구의 적용성을 확인할 수 있었다.
- (4) DB 하중과 같이 직사각형 재하에 대한 적용 방법을 마련하여 계산한 결과, 예제보다 오차율이 다소 증가하였으나, 최대 오차율 ±10% 내외로 비교적 타당한 결과를 나타내어 본 연구의 활용성을 확인할 수 있었다.

이상의 결과들로부터, 개단면 리브를 갖는 보강판에 대하여 본 연구에서 제안한 통합 비율함수를 이용하면 간편하게 실제 거동과 유사한 국부거동 결과를 얻을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌(References)

- [1] Hambly, E.C. (1991) *Bridge Deck Behaviour*, 2nd Ed., E & FN SPON An Imprint of Chapman & Hall, U.S.A.
- [2] Troitsky, M.S. (1992) *Orthotropic Bridges : Theory and Design*, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, U.S.A.
- [3] 주석범(2005) 집중하중을 받는 개단면 리브 보강판의 국부거동, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제17권, 제5호, pp.593-604.
Chu, S.B. (2005) The Local Behavior of Stiffened Plates with Open Ribs Subject to a Concentrated Load, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 17, No. 5, pp.593-604 (in Korean).
- [4] 주석범(2006) 재하크기가 개단면 리브 보강판의 처짐에 미치는 영향, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제18권, 제5호, pp.563-574.
Chu, S.B. (2006) The Effect of the Loading Size on Displacements of Stiffened Plates with Open Ribs, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 18, No. 5, pp.563-574 (in Korean).
- [5] 주석범(2012) 보강판 채월에 따른 개단면 리브 보강판의 국부 처짐과 국부 모멘트의 정형화, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제24권, 제6호, pp.659-670.
Chu, S.B. (2012) Formulating the Local Displacement and Local Moments of a Plate Stiffened with Open Ribs According to the Dimensions of Stiffened Plates,

Journal of Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol. 24, No. 6, pp.659-670 (in Korean).

- [6] 주석범, 박종해(2011) 개단면 리브 보강판의 국부거동 분석을 위한 모델, 2011년도 학술대회 발표집, 한국강구조학회, 제22권, 제1호, pp.229-230.
Chu, S.B. and Park, J.H. (2011) Model for Analyzing the Local Behavior of Plates Stiffened with Open Ribs, *Proceedings of Annual KSSC Conference*, KSSC, Vol. 22, No. 1, pp.229-230 (in Korean).
- [7] 한국도로교통협회(2010) 도로교설계기준, 건설정보사.
K. R. T. A. (Korea Road & Transportation Association) (2010) Design Code for Road Bridges, Construction Information (in Korean).
- [8] 마이다스 아이티(2006) 마이다스로 배우는 구조역학, 기문당.
MIDAS I.T. (2006) *Structural Analysis by Midas*, Kimoondang (in Korean).
- [9] 최창근(2002) 유한요소법, 테크노프레스.
Choi, C.K. (2002) *Finite Element Method*, Techno-Press (in Korean).

부 록

Table 22. Basic values(D_0) of local displacements (mm) <Rectangular Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	18.413	16.975	15.350	13.749	12.277
200	16.209	15.128	13.667	12.275	10.821
300	13.329	12.577	11.483	10.308	9.237
400	10.715	9.994	9.110	8.207	7.360
500	8.264	8.158	7.007	6.304	5.646

Table 23. Basic values(X_0) of local M_{xx} (kN·mm/mm) <Rectangular Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	66.729	45.211	32.920	23.935	18.507
200	57.061	40.815	29.767	22.408	17.600
300	47.930	35.495	26.479	20.228	15.919
400	39.975	30.209	22.928	17.760	14.129
500	33.454	25.215	18.659	15.340	12.307

Table 24. Basic values(Y_0) of local M_{yy} (kN·mm/mm)
<Rectangular Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	102.314	79.681	64.665	53.999	46.012
200	91.956	74.469	61.365	51.550	44.570
300	81.768	67.943	56.760	47.991	41.106
400	72.352	61.050	51.492	43.757	37.568
500	63.709	54.234	43.028	39.223	33.721

Table 26. Basic values(X_0) of local M_{xx} (kN·mm/mm)
<Reverse T Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	66.250	44.758	31.774	23.569	18.194
200	56.590	40.371	29.362	22.051	17.148
300	47.484	35.076	26.098	19.894	15.634
400	39.587	29.846	22.599	17.472	13.885
500	33.163	25.279	19.358	15.121	12.121

Table 25. Basic values(D_0) of local displacements (mm)
<Reverse T Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	18.050	16.657	15.056	13.486	12.047
200	15.886	14.746	13.384	12.021	10.760
300	13.200	12.294	11.191	10.074	9.033
400	10.464	9.756	8.890	8.011	7.190
500	8.084	7.528	6.850	6.163	5.523

Table 27. Basic values(Y_0) of local M_{yy} (kN·mm/mm)
<Reverse T Rib>

$m_1 \backslash m_2$	100	200	300	400	500
100	102.023	79.408	64.420	53.786	45.837
200	91.646	74.178	61.102	51.322	43.842
300	81.446	67.641	56.486	47.753	40.907
400	72.043	60.760	51.229	43.528	37.376
500	63.445	53.985	45.785	39.027	33.556

요 약: 본 연구에서는 개단면 리브를 갖는 보강판에서 발생하는 국부치짐과 모멘트가 정사각형 재하크기에 따라 어떻게 변화하는지 분석하여 이를 정형화 하고자 하였다. 평강 리브와 역T형 리브를 갖는 보강판에 대하여 각각의 재하크기별로 여러 가지 제원 변화에 따른 비율 함수를 구하여 분석한 결과, 재하크기에 따라 기준 보강판의 값에는 차이가 있으나 리브 간격을 제외하고, 각 제원별 비율 함수에는 큰 차이가 없어 재하크기를 통합하여 표현 가능함을 알 수 있었다. 또한, 평강 리브와 역T형 리브의 차이도 크지 않아 리브 형태와 상관없이 통합한 하나의 함수로 사용 가능함을 알 수 있었으며, 이러한 통합된 하나의 비율함수식을 적용한 결과 상당한 정확도를 나타내었다. 본 연구에서 제안한 통합 함수를 L형 리브와 직사각형 재하에 적용한 결과, 타당한 결과를 나타내어 통합 함수의 적용성을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제안한 통합 비율함수식을 이용하면, 개단면 리브를 갖는 보강판에서 발생하는 국부치짐과 국부 모멘트 결과를 간편하게 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

핵심 용어: 개단면 리브 보강판, 국부 치짐, 국부 모멘트, 국부 거동, 비율 함수, 재하크기