

# 개단면 리브를 갖는 보강판의 직교이방성 강성 수정 계수

## The Modified Coefficient of the Orthotropic Rigidity for Stiffened Plates with Open Ribs

주 석 범<sup>1)</sup> · 최 영<sup>2)</sup>

Chu, Seok Beom Choi, Young

**요약**: 본 연구에서는 개단면 리브를 갖는 보강판을 직교이방성 판으로 해석하는 경우 발생하는 정확도 문제를 개선하기 위하여 보강판의 직교이방성 휨 강성에 대한 강성 수정 계수를 제안하였다. 매개변수로는 강성비와 변장비를 선택하고, 변장비와 지지조건을 달리하며 여러 가지 평강 리브와 L형 리브를 갖는 보강판의 강성 수정 계수에 대한 매개변수 연구를 수행하였다. 보강판을 등방성 판요소와 직교이방성 판요소로 모델링하여 해석한 결과, 강성 수정 계수는 변장비 1 미만의 경우 변장비와 상관없이 리브 간격 별로 강성비에 대한 하나의 함수로 표현 가능하고, 변장비 1 이상인 경우 리브 간격 및 변장비에 따른 처짐 비율 차이가 크지 않아 하나의 통합된 함수로 대표할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, 강성 수정 계수에 대한 지지조건 영향은 크지 않으며, 리브 형태별로 다른 강성 수정 계수 함수가 필요함을 알 수 있었다. 강성 수정 계수 함수를 예제에 적용한 결과, 해의 정확도가 크게 향상되어, 개단면 리브를 갖는 보강판을 직교이방성 판으로 해석하는 경우 본 연구에서 제안한 강성 수정 계수 함수를 적용하면, 간편하게 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

**ABSTRACT**: In this paper, the modified coefficient of the orthotropic rigidity for stiffened plates with open ribs is proposed to improve the inaccurate results of the orthotropic plate analysis. For stiffened plates with rectangular and angle ribs having various aspect ratios and boundary conditions, the aspect ratio and the rigidity ratio are selected as parameters and the parametric study on the modified coefficient is performed. Analyzed results of stiffened plates modeling with the isotropic and orthotropic plate element show that the modified coefficient can be expressed as a function of the rigidity ratio for each rib space regardless of the aspect ratio in case of the aspect ratio under 1 and can be represented as a single union function without regard to rib spaces and aspect ratios in the other case. The results also shows that the effects of the boundary condition on the modified coefficient is small and coefficient functions have different values according to rib shapes. The application to examples shows that the modified coefficient of the orthotropic rigidity improves accuracy. Therefore, the orthotropic plate analysis of stiffened plates with open ribs can easily achieve more accurate results using the coefficient function proposed in this study

**핵심어**: 보강판, 직교이방성 판 해석, 직교이방성 강성 수정 계수, 계수 함수, 개단면 리브, 강성비

**KEYWORDS**: Stiffened Plates, Orthotropic Plate Analysis, Modified Coefficient of the Orthotropic Rigidity, Coefficient Function, Open Ribs, Rigidity Ratio

### 1. 개 요

최근 컴퓨터의 발달로 교량의 주형 및 바닥판 등으로 사용되는 보강판의 3차원 판 해석이 가능하게 되었으나, 모델링 및 데이터 처리에 많은 시간이 소요된다는 이유로 강바닥판의 설계시 아직도 실무 설계에서는 직교이방성 판으로 간주한 해

석이 많이 적용되고 있는 실정이다(도로교 표준시방서, 1996; 도로교 설계기준, 2000; AISC, 1963; Troitsky, 1992).

그러나, 기존의 연구에서 보강판을 직교이방성 판으로 해석하는 경우 보강재의 제원에 따라 정확도가 크게 달라질 수 있다는 문제점이 지적되었으며, 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 가지 연구가 수행되고 있다(김창수, 1996; 주석범 등,

1) 정회원, 세명대학교 토목공학과 조교수, 공학박사  
(Tel : 043-649-1334, Fax : 043-649-1778, E-mail : chusb@semyung.ac.kr)  
2) D. M. 엔지니어링 사원, 공학석사(czerola@dm-cng.com)

본 논문에 대한 토의를 2005년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

2002). 그 중 주석범 등(2004)은 평강 리브를 갖는 보강판에 대해 처짐 비율을 이용한 직접적인 강성 수정 방법을 제안하여 직교이방성 판 해석의 정확도를 향상시켰으나, 강성 수정 계수의 산정 시 실제 처짐 값을 알아야 하고, 연구가 평강 리브를 갖는 특정 변장비의 보강판에 국한되어 있어 실무에서 이를 직접 적용하기에는 한계가 있다는 단점을 갖고 있다.

따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 방법을 통하여 실무에서 적용할 수 있는 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 한다.

먼저, 보강판의 직교이방성 강성 및 거동 분석을 위한 매개 변수를 정의하고, 처짐 비율을 이용한 강성 수정 방법에 대하여 살펴보고자 한다. 둘째, 평강 및 L형 리브를 갖는 여러 보강판을 등방성 판요소와 직교이방성 판요소로 모델링한 해석 결과를 통하여 변장비 및 지지조건에 따른 강성 수정 계수의 경향을 살펴보고, 통합된 강성 수정 계수 함수를 산정하고자 한다(마이더스 아이티, 2002; 주석범 등, 2004; Cook, 1989). 셋째, 앞서 산정된 강성 수정 계수 함수를 예제에 적용하여 정확도 향상 부분에 대한 타당성을 살펴보고, 이를 근거로 실무에서 직접 적용할 수 있는 간편한 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 한다.

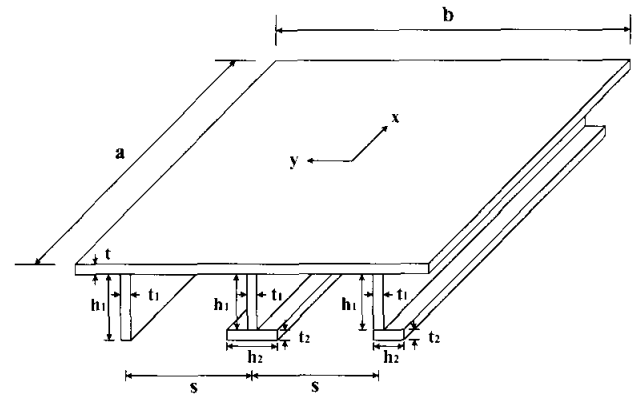


그림 1. 개단면 리브를 갖는 보강판

보강판의 직교이방성 거동분석을 위한 매개변수로는, 리브로 보강된  $x$ 방향 휨 강성  $D_x$ 를  $y$ 방향 판만의 휨 강성  $D_y$ 로 나눈 강성비(Rigidity Ratio), 리브 지간 방향 판의 길이  $a$ 를 보강 폭 방향 길이  $b$ 로 나눈 변장비(Aspect Ratio), 등방성 판 요소(ISO)로 모델링한 최대 처짐에 대한 직교이방성 판 요소(ORTHO)로 모델링한 최대 처짐의 오차율을 사용하였으며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$RR = \frac{D_x}{D_y} \quad (4)$$

$$AR = \frac{a}{b} \quad (5)$$

$$ER = \frac{W_m - W_o}{W_m} \times 100 (\%) \quad (6)$$

여기서,  $W_m$ 은 등방성 판요소로 모델링한 최대 처짐,  $W_o$ 는 직교이방성 판요소로 모델링한 최대 처짐이다.

## 2.2 강성 수정 방법

참고 문헌에 따르면 판만의 처짐  $W_o$ 를 등방성 판요소(ISO)의 처짐  $W_m$ 과 직교이방성 판요소(ORTHO)의 처짐  $W_o$ 로 나눈 각각의 처짐 비율은 식 (7)과 같이 강성비와 비례 관계가 성립한다(주석범 등, 2004; 최영, 2004).

$$\frac{W_p}{W_m} \propto \frac{D_x^*}{D_y}, \quad \frac{W_p}{W_o} \propto \frac{D_x}{D_y} \quad (7)$$

이러한 관계로부터 이상화한 직교이방성 판의 휨 강성  $D_x$ 와 실제 처짐을 발생시키는 휨 강성  $D_x^*$ 사이의 비율인 강성

## 2. 강성 수정 방법

본 장에서는 보강판의 직교이방성 거동 분석을 위한 매개 변수를 정의하고, 기존에 제안된 처짐 비율을 이용한 강성 수정 방법에 대하여 살펴보고자 한다.

### 2.1 매개변수

그림 1과 같은 개단면 리브를 갖는 보강판을 직교이방성 판으로 이상화 하는 경우, 직교이방성 판의 각 방향 휨 강성과 비틀림 강성은 다음 식과 같이 산정된다. (AISC, 1963; Troitsky, 1992)

$$D_x = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} + \frac{Ete_x^2}{(1-\nu^2)} + \frac{EI_n}{s} \quad (1)$$

$$D_y = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

$$H = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} + \frac{G}{6s} (\sum h_i t_i^3) \quad (3)$$

여기서,  $e_x$ 는 판 중심부터 보강판 도심까지의 거리,  $I_n$ 은 보강판 도심에 대한 보강재의 단면 2차 모멘트이다.

수정 계수  $B$  는 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$B = \frac{D_x^*}{D_x} = \frac{D_x^*/D_y}{D_x/D_y} = \frac{W_p/W_m}{W_p/W_o} \quad (8)$$

주석범 등(2004)에 따르면 식 (8)의 관계를 이용하여 강성 수정 계수를 구하고 재해석을 수행하면 강성 수정 전에 비하여 오차율이 큰 폭으로 감소하고, 오차율의 분포가 조밀해져 정확도가 향상됨을 나타내고 있다.

따라서, 본 연구에서도 이상의 강성 수정 방법을 이용하여 여러 가지 보강판에 대한 매개변수 연구를 수행하고자 한다.

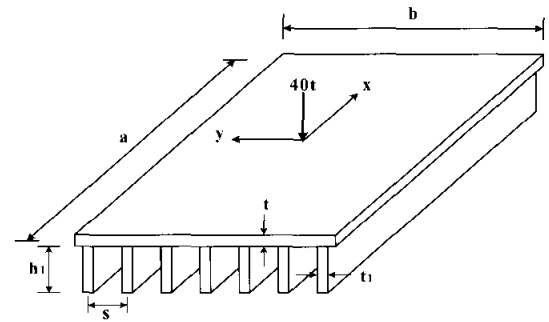


그림 2. 해석예제

### 3.1.2 2변 단순지지의 경우

예제에 대한 분석결과, 변장비 1/3 이외에는 판 두께에 의한 차이가 미미하여 새로운 변수로 정의하지 않았으며, 각각의 변장비에 대하여 리브 간격별로 처짐 비율을 구하고, 식 (8)의 강성 수정 계수  $B$  를 나타내면 그림 3과 같다.

그림 3의 강성 수정 계수를 살펴보면, 변장비 1 미만의 경우 리브 간격별로 차이가 크게 발생하는 반면, 1 이상의 경우 차이가 크지 않음을 알 수 있으며, 이러한 경향을 고려하여 변장비 1 이상의 경우 리브 간격을 통합한 전체의 처짐 비율을 적용하고, 그 결과를 다시 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4(a)의 변장비 1 이상인 경우에 대한 분석 결과, 변장비에 따른 수정 계수의 차이가 크지 않아 식 (9)에 나타난 변장비 2의 강성 수정 계수  $B$  를 대표값으로 사용하여도 이에 따른 오차율의 증감이 크지 않음을 알 수 있었다.

$$B = \frac{0.369RR + 48.105}{0.250RR + 80.540} \quad (9)$$

또한, 그림 4(b)의 변장비 1 미만의 경우, 리브 간격 통합에 비하여 변장비 통합에 따른 오차율 증감이 작게 나타나, 사용자의 편의를 위하여 리브 간격별로 변장비 1/2와 1/3을 평균한 강성 수정 계수  $B$  를 대표값으로 제안하고자 한다.

변장비 1 미만의 경우, 강성 수정 계수  $B$  를 식 (10)과 같이 강성비  $RR$  로 표현되는 처짐 비율의 함수로 정의하고, 리브 간격별 각 처짐 비율의 1차항과 상수항의 계수 값을 나타내면 그림 5와 같다.

$$B = \frac{W_p/W_m}{W_p/W_o} = \frac{f_{m1}RR + f_{m2}}{f_{o1}RR + f_{o2}} \quad (10)$$

그림 5의 추세식을 이용하면, 식 (10)의 각 계수는 다음과 같은 리브 간격  $s$  의 함수로 나타낼 수 있다.

## 3. 매개변수 연구

본 장에서는 평강 리브 및 L형 리브를 갖는 여러 보강판에 대하여 변장비 및 지지조건을 달리하며 매개변수 연구를 수행하고, 그 결과를 분석하여 실무에서 직접 적용할 수 있는 간편한 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 한다.

### 3.1 평강 리브를 갖는 보강판

#### 3.1.1 해석 예제

국내에는 실 교량의 바닥판에 평강 리브만을 사용한 사례가 없어 가양대교와 광안대교의 강상자형 하부플랜지의 제원 및 국내 도로교 시방규정을 참고하여 표 1과 같이 해석 예제의 제원을 선정하였다(부산직할시 광안대로 건설사업소, 1994; 서울특별시 건설안전관리본부, 1998).

표 1. 평강 리브를 갖는 보강판의 제원

(단위 :cm)

변장비 (AR)	판 크기 a/b	판 두께 t	리브 높이 h <sub>1</sub>	리브 두께 t <sub>1</sub>	리브 간격 s
1/3	300×900	1.2	20	1.8	30
1/2	300×600				
1	600×600	1.4	25	2.4	45
2	600×300		30	3.0	60
3	900×300				

보강판에 대한 지지조건은 보강 폭 방향 ( $b$ ) 변에 대한 2변 단순지지와 4변 단순지지의 경우를 고려하였으며, 보강판의 국부 변형을 방지하기 위하여, 하중은 그림 2와 같이 판의 중앙에 위치한 리브 위에 40t의 집중하중을 재하하였다.

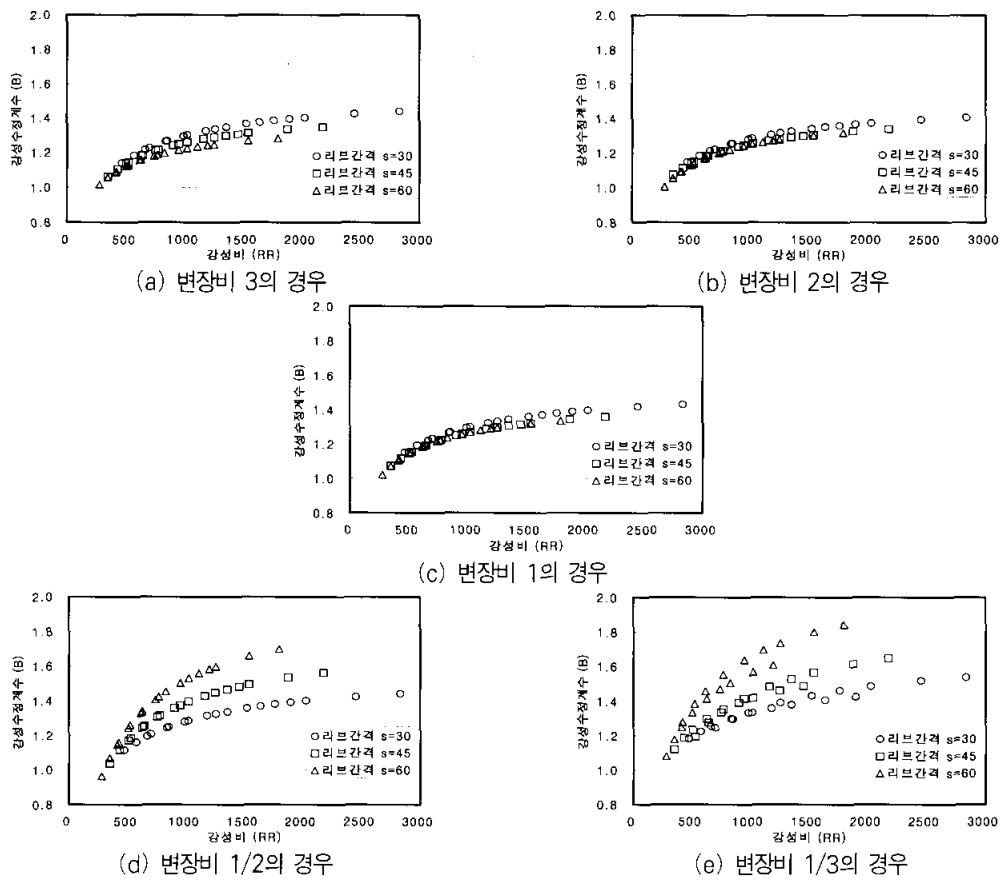


그림 3. 강성 수정 계수 B

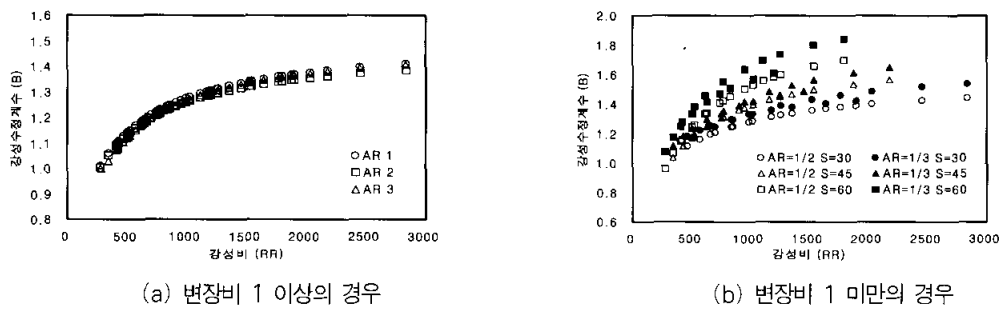


그림 4. 변장비에 따른 강성 수정 계수 B (평균 리브)

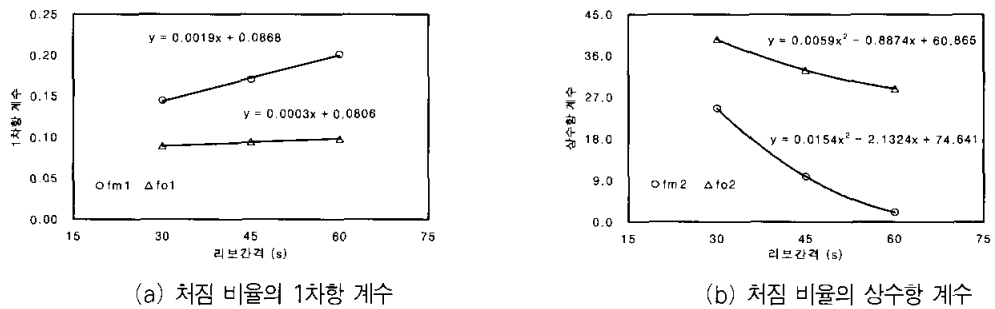


그림 5. 리브 간격에 따른 처짐 비율 계수

$$\begin{aligned}
 f_{m1} &= 0.0019s + 0.0868 \\
 f_{m2} &= 0.0154s^2 - 2.1324s + 74.641 \\
 f_{o1} &= 0.0003s + 0.0806 \\
 f_{o2} &= 0.0059s^2 - 0.8874s + 60.865
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

앞의 강성 수정 계수 함수를 적용하여 재해석한 결과의 오차율과 수정 전의 오차율을 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6의 수정 전 오차율을 살펴보면, 최소 강성비 278인 경우 변장비 1 이상에서는 (-)3~5%로 작은 오차율을 보이는 반면, 변장비 1 미만에서는 (-)14~17%로 더 크게 나타나 변장비 1 미만의 경우가 1 이상의 경우보다 직교이방성 강성이 더 낮게 산정됨을 알 수 있다. 또한, 변장비 1 이상의 경우에 오차율이 강성비에 따라 좁은 분포로 최대 (-)46%까지 거의 일정하게 증가하는 양상을 보인 반면, 변장비 1 미만의 경우에는 오차율이 강성비에 따라 넓게 퍼지며 최대 (-)88%까지 증가하는 양상을 보여, 같은 강성비라 할지라도 변장비에 따라 정확도에 큰 차이가 발생함을 알 수 있다.

강성 수정 계수 함수를 적용한 결과, 변장비 1 이상의 경우에는 최대 (-)46%까지 되던 오차율이 (-)16% 이내로, 변장비 1 미만의 경우에는 최대 (-)88%까지 넓게 분포되던 오차율이 (-)27% 이내로 대폭 감소하고 오차율의 분포 또한 조밀해져 정확도가 크게 향상되었음을 알 수 있다.

### 3.1.3 4변 단순지지의 경우

지지조건에 따른 보강판의 거동 차이를 살펴보기 위하여 해석 예제 중 판두께 1.2cm를 갖는 변장비 2와 1/2인 보강판에 대하여 등방성 판요소(ISO)의 최대 처짐과 직교이방성 판요소(ORTHO)의 최대 처짐 결과를 나타내면 그림 7과 같다.

그림 7을 살펴보면, 등방성 판요소와 직교이방성 판요소의 최대 처짐 모두 지지조건과 상관없이 거의 같은 값을 나타내는데, 이러한 현상은 판의 중앙에 위치한 리브 위에 집중하중을 재하하였고,  $D_x$ 에 비해 상대적으로 작은 값을 갖는  $D_y$ 가 보강판의 거동에 미치는 영향이 작기 때문으로 풀이된다. 이러한 경향으로 4변 단순지지의 처짐 비율 및 강성 수정 계

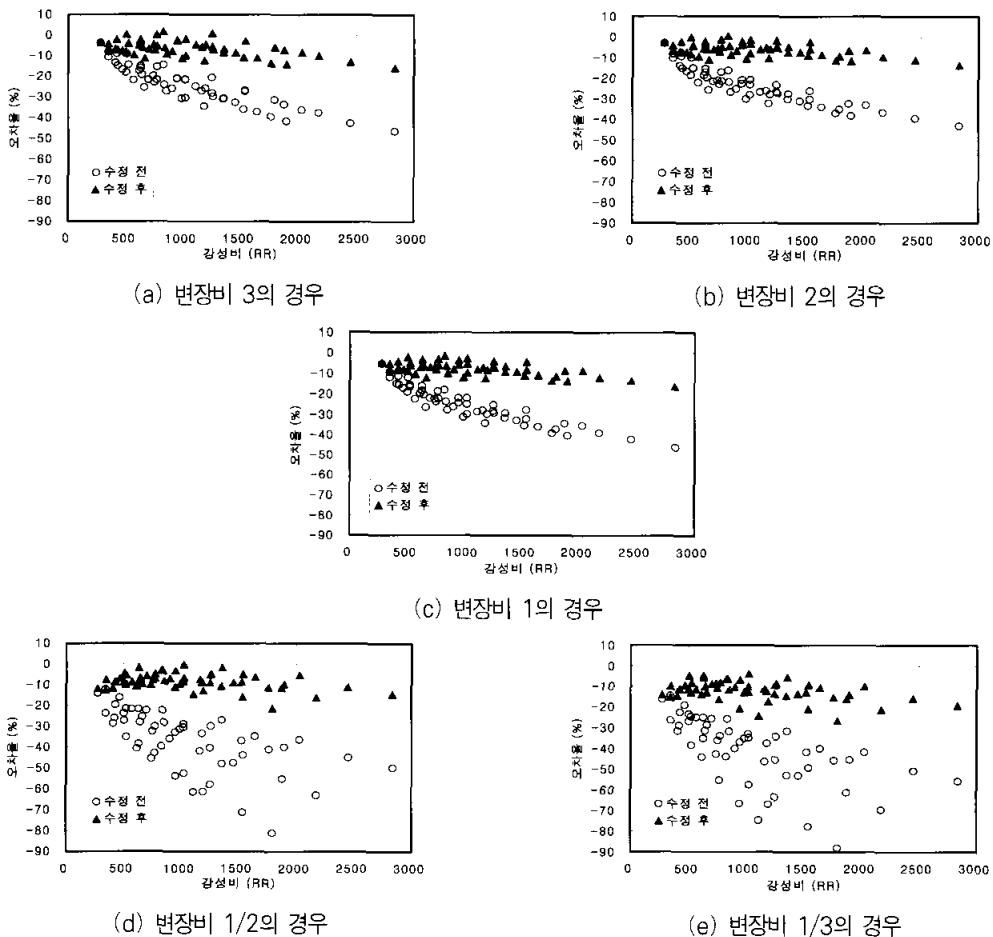


그림 6. 2변 단순지지 보강판의 수정 전·후 오차율 (평균 리브)

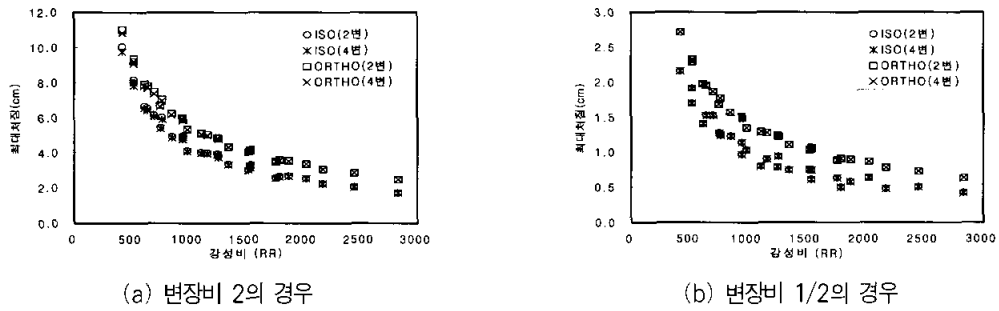


그림 7. 지지조건 별 최대 처짐

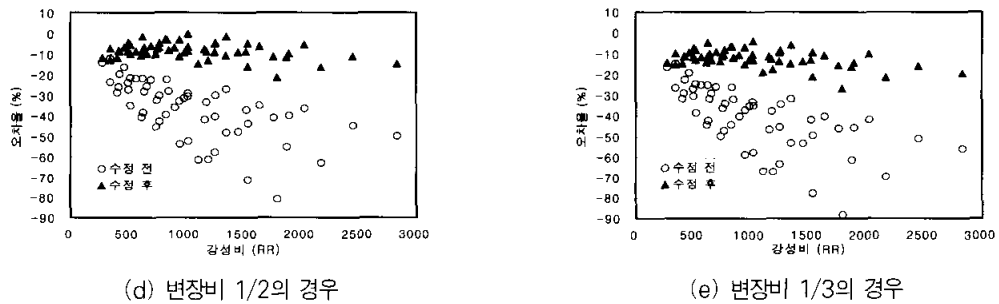
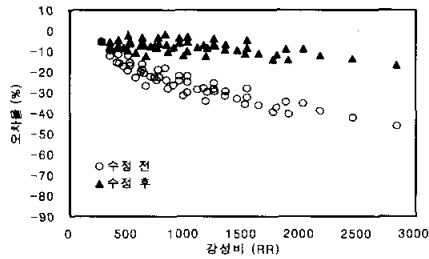
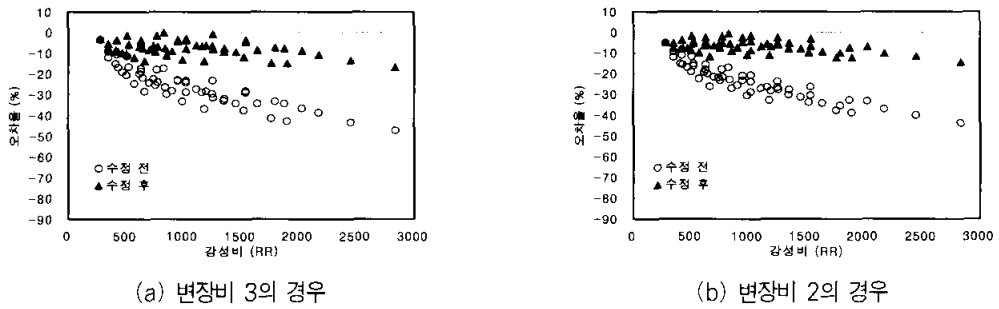


그림 8. 4변 단순지지 보강판의 수정 전·후 오차율 (평균 리브)

수 또한 2변 단순지지와 유사하게 발생하며, 사용자의 편의를 위하여 2변 단순지지의 강성 수정 계수  $B$  를 4변 단순지지의 경우에 적용하고, 그 결과를 나타내면 그림 8과 같다.

그림 8을 살펴보면, 2변 단순지지와 마찬가지로 변장비 1 이상의 경우 최대 (-)47%까지 되던 오차율이 (-)17% 이내로 대폭 감소하며, 변장비 1 미만의 경우 최대 (-)88%까지 넓게 분포되었던 오차율이 (-)27% 이내로 대폭 감소하고, 오차율의 분포 또한 조밀해져 정확도가 크게 향상되었음을 볼 수 있다.

이상의 결과로부터, 평강 리브를 갖는 보강판의 경우 본 연구에서 제안한 통합 강성 수정 계수 함수를 적용하면, 지지조건과 상관없이 오차율이 크게 감소하고, 오차율의 분포폭이 조밀해져 해의 정확도가 크게 향상됨을 알 수 있다.

### 3.2 L형 리브를 갖는 보강판

본 절에서는 매개변수 연구를 통하여 L형 리브를 갖는 보강판에 대한 간편한 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 한다.

### 3.2.1 해석 예제

본 예제에서는 독일의 Düsseldorf North Bridge를 참고하여 이와 유사한 크기를 갖는 L형강의 제원을 적용하였으며 (Troitsky, 1992; 강구조공학, 2002), 해석 예제의 제원은 표 2 및 그림 9와 같다.

표 2. L형 리브를 갖는 보강판의 제원

(단위 : cm)

변장비 (AR)	판 크기	판 두께	L형강의 제원	리브 간격
a/b	a×b	t	$h_1 \times h_2 \times t_1 \times t_2$	s
1/3	300×900	1.2 1.4	20×9×0.9×1.4 25×9×1.0×1.5 30×9×1.2×1.6	30
1/2	300×600			45
1	600×600			60
2	600×300			
3	900×300			

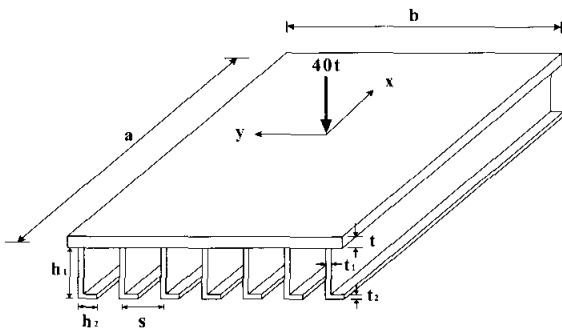


그림 9. 해석 예제

### 3.2.2 2변 단순지지의 경우

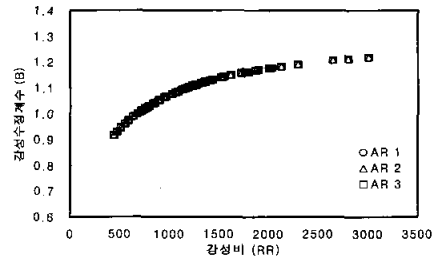
L형 리브를 갖는 보강판을 해석한 결과, 평강 리브와 마찬가지로, 이방성 판요소의 처짐 비율은 리브 간격에 따른 차이가 거의 없는 반면, 등방성 판요소의 처짐 비율은 변장비 1 이상의 경우에는 리브 간격에 따른 차이가 거의 없으나, 변장비 1 미만의 경우에는 리브 간격별로 큰 차이를 보임을 알 수 있었다.

이러한 경향을 고려하여 변장비 1이상에는 리브 간격을 통합하고, 변장비 1미만인 경우에는 리브 간격을 고려하여 산정한 강성 수정 계수  $B$  를 나타내면 그림 10과 같다.

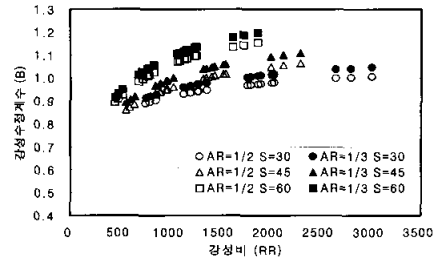
그림 10에서 평강 리브와 마찬가지로 변장비 1이상의 경우 변장비 2의 강성 수정 계수를 대표 함수로, 변장비 1미만의 경우 변장비별 처짐 비율의 평균값을 대표 함수로 산정하면, 각 경우에 대한 강성 수정 계수  $B$  는 다음과 같다.

· 변장비 1 이상

$$B = \frac{0.274RR + 72.459}{0.222RR + 105.23} \quad (12)$$



(a) 변장비 1 이상의 경우



(b) 변장비 1 미만의 경우

그림 10. 변장비에 따른 강성 수정 계수  $B$  (L형 리브)

· 변장비 1 미만

$$B = \frac{f_{m1}RR + f_{m2}}{f_{o1}RR + f_{o2}} \quad (13)$$

$$f_{m1} = 0.0011s + 0.0523$$

$$f_{m2} = 0.0145s^2 - 1.9059s + 77.568 \quad (14)$$

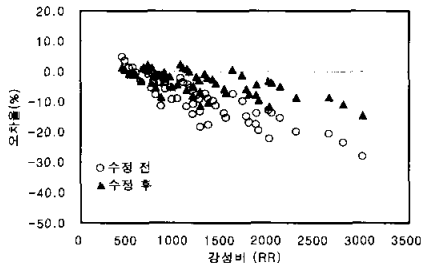
$$f_{o1} = 0.0004s + 0.0665$$

$$f_{o2} = 0.0060s^2 - 1.0298s + 75.725$$

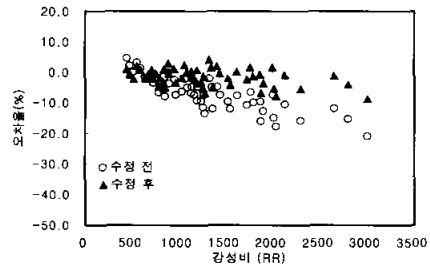
앞의 강성 수정 계수  $B$  를 적용하여 재해석한 결과의 오차를 수정 전 오차율과 함께 나타내면 그림 11과 같다.

그림 11중 변장비 1이상의 오차율을 살펴보면, 수정 전 오차율이 평강 리브와 마찬가지로 강성비가 증가함에 따라 (+)5%부터 최대 (-)28%까지 일정하게 증가하는 양상을 나타내며, 강성 수정 계수를 적용한 결과, 오차율이 최대 (+)1.6%에서 (-)15%로 최대 46%의 큰 감소율을 나타내었다.

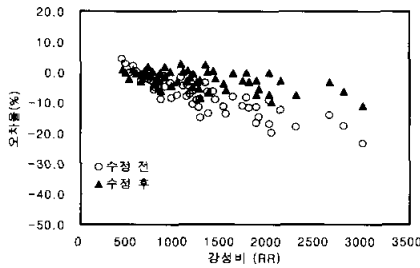
그림 11중 변장비 1미만의 오차율을 살펴보면, 수정 전 오차율이 평강 리브와 마찬가지로 변장비 1 이상에 비해 넓게 퍼지는 경향을 나타내나, 평강 리브와 달리 오차율의 범위 자체는 그리 크지 않음을 알 수 있다. 이에 따라, 강성 수정 계수를 적용한 결과 수정전 (+)13%부터 (-)29%이던 오차율을 (+)12%에서 (-)16%로 감소시켜 오차율의 감소폭이 평강 리브의 경우에 비해 크지 않음을 알 수 있다.



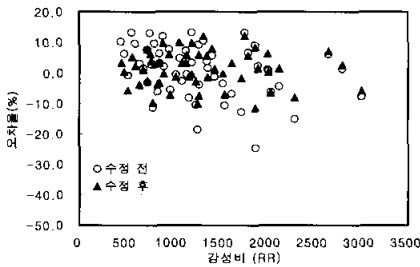
(a) 변장비 3의 경우



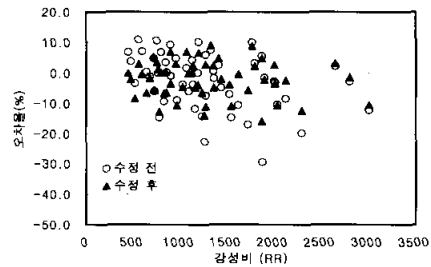
(b) 변장비 2의 경우



(c) 변장비 1의 경우

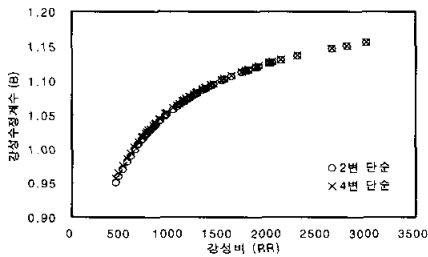


(d) 변장비 1/2의 경우

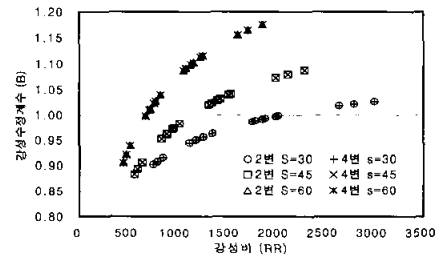


(e) 변장비 1/3의 경우

그림 11. 2변 단순지지 보강판의 수정 전·후 오차율 (L형 리브)



(a) 변장비 1 이상의 경우



(b) 변장비 1 미만의 경우

그림 12. 지지조건 별 강성 수정 계수 B

### 3.2.3 4변 단순지지지의 경우

L형 리브를 갖는 보강판의 지지조건에 따른 거동 차이를 살펴보기 위하여 2변 단순지지와 4변 단순지지에 대한 강성 수정 계수  $B$  를 비교하여 나타내면 그림 12와 같다.

그림 12를 살펴보면, 강성 수정 계수  $B$  가 지지조건과 상관없이 거의 같은 결과를 나타내어, 2변 단순지지에서 구한 강성 수정 계수  $B$  를 적용하여 4변 단순지지 보강판의 강성

을 보정하여도 평강 리브와 마찬가지로 타당한 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터, 지지조건이 강성 수정 계수  $B$  에 미치는 영향이 크지 않음을 알 수 있으며, 평강 리브와 마찬가지로 L형 리브를 갖는 보강판의 경우에도 지지조건과 상관없이 본 연구에서 제안한 강성 수정 계수 함수를 적용하여 보강판의 휨 강성  $D_x$  를 보정하면, 오차율이 크게 감소하고, 오

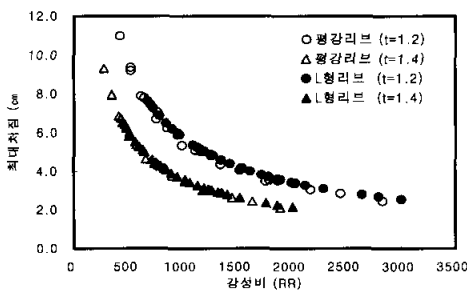


차울의 분포폭이 조밀해져 간편하게 해의 정밀도를 높일 수 있음을 알 수 있다.

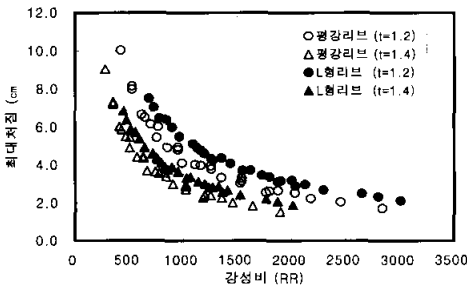
#### 4. 리브 종류에 따른 비교

본 장에서는 평강 리브를 갖는 보강판과 L형 리브를 갖는 보강판에 대한 거동 차이와 그 원인을 살펴보고자 한다.

먼저, 앞선 예제 결과 중 변장비 2인 경우에 대하여 각각의 판 두께별로 각 리브의 최대 처짐 결과를 나타내면 그림 13과 같다.



(a) ORTHO 최대 처짐



(b) ISO 최대 처짐

그림 13. 판 두께별 각 리브의 최대 처짐

그림 13(a)를 살펴보면, 직교이방성 판으로 해석하는 경우 판 두께별로 리브 종류와 상관없이 강성비가 같으면 거의 같은 처짐을 나타내는 반면, 그림 13(b)를 살펴보면, 같은 강성비를 갖더라도 리브의 종류에 따라 다른 처짐을 나타내어, 같은 강성비를 갖는 보강판이라도 리브의 종류에 따라 오차율이 달라짐을 알 수 있다.

실제 거동을 나타낸 그림 13(b)에서, 판 두께가 1.2cm 인 경우가 판 두께 1.4cm 인 경우보다 더 많은 차이를 나타냄을 알 수 있는데, 이는 판 두께가 두꺼워짐에 따라 판의 휨 강성  $D_y$  가 보강판의 거동에 미치는 영향이 커져 상대적으로 리브의 영향이 작아진데서 비롯된 것으로 풀이된다.

또한, 그림 13(b)에서, 같은 강성비를 갖는 보강판의 경우 평강 리브가 L형 리브보다 처짐이 작게 발생하여 더 유리한 것처럼 보이나, 표 3에 나타난 것과 같이 평강과 L형 예제

중 같은 리브 간격과 유사한 단면적을 갖는 경우를 살펴보면, 평강 리브보다 L형 리브가 더 작은 처짐을 발생시킴을 알 수 있다. 이는 L형 리브가 평강 리브보다 더 큰 관성 모멘트를 가짐에 따라 보강판의 휨 강성  $D_x$  가 증가하여 강성비가 커지는 효과를 나타내기 때문으로, 같은 양의 리브를 사용하는 경우 평강 리브보다 L형 리브를 사용하는 것이 더 유리함을 나타낸다고 할 수 있다.

표 3. 리브 종류에 따른 비교

	평강 리브	L형 리브
판 두께 (cm)	1.4	1.4
리브 간격 (cm)	60	60
리브 단면적 (cm <sup>2</sup> )	36	35.1
리브 관성모멘트 (cm <sup>4</sup> )	1200	4340
강성비	278	716
실제 처짐 (cm)	9.04	4.59

변장비 2의 경우에 대하여 각 리브별 오차율을 나타낸 그림 14를 살펴보면, 직교이방성 판이 실제 보강판의 거동과 유사하게 나타나는 기준 강성비는, 평강 리브의 경우 강성비 250정도에서, L형 리브의 경우 강성비 650정도에서 나타나며, 강성비에 따른 오차율의 양상도 리브별로 차이를 보이게 됨을 알 수 있다. 이러한 차이는 표 3에 나타난 것과 같이 비슷한 크기의 보강재를 갖더라도 리브 종류에 따른 관성모멘트의 차이로 강성비가 약 2.6배 차이 남에 따라 그림 14에서 실제 처짐의 그래프가 강성비 차이만큼 우측으로 이동함에 따라 나타난 현상으로 풀이된다.

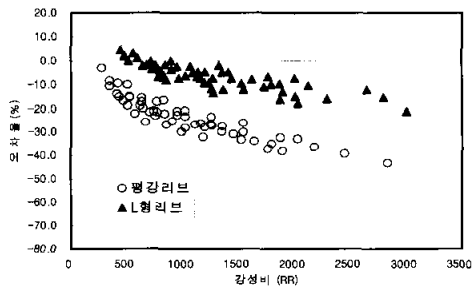


그림 14. 리브 종류에 따른 오차율

이상의 결과로부터 리브 종류에 따라 관성 모멘트가 다르게 산정되어 실제 거동에 차이를 나타내게 됨을 알 수 있으며, 이에 따라 각각의 리브 종류별로 다른 강성 수정 계수를 사용하여 함을 알 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 표 4와 같이 평강 리브와 L형 리브 각각에 대한 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 한다.

표 4. 리브 종류에 따른 강성 수정 계수

강성 수정 계수 $B = \frac{f_{m1}RR + f_{m2}}{f_{o1}RR + f_{o2}}$		
평강 리브	변장비 1 이상	$f_{m1} = 0.369$ $f_{m2} = 48.105$ $f_{o1} = 0.250$ $f_{o2} = 80.540$
	변장비 1 미만	$f_{m1} = 0.0019s + 0.0868$ $f_{m2} = 0.0154s^2 - 2.1324s + 74.641$ $f_{o1} = 0.0003s + 0.0806$ $f_{o2} = 0.0059s^2 - 0.8874s + 60.865$
L형 리브	변장비 1 이상	$f_{m1} = 0.274$ $f_{m2} = 72.459$ $f_{o1} = 0.222$ $f_{o2} = 105.23$
	변장비 1 미만	$f_{m1} = 0.0011s + 0.0523$ $f_{m2} = 0.0145s^2 - 1.9059s + 77.568$ $f_{o1} = 0.0004s + 0.0665$ $f_{o2} = 0.0060s^2 - 1.0298s + 75.725$

5. 결 론

본 연구에서는 개단면 리브를 갖는 보강판을 직교이방성 판으로 해석하는 경우 발생하는 정확도 문제를 개선하기 위하여, 평강 리브와 L형 리브를 갖는 여러 가지 보강판에 대한 매개변수 연구를 수행하여 실무에서 쉽게 적용할 수 있는 간편한 강성 수정 계수 함수를 제안하고자 하였다.

매개변수 연구를 수행한 결과를 나타내면 다음과 같다.

먼저, 판에 대한 처짐 비율을 살펴본 결과, 평강 리브와 L형 리브 모두 변장비와 상관없이 리브 간격 별로 선형함수 형태를 나타내었으며, 변장비 1 미만의 경우 리브 간격에 따른 강성 수정 계수의 차이가 큰 반면 변장비에 따른 차이는 크지 않아 리브 간격 별 하나의 대표함수로 사용가능 함을 알 수 있었다. 또한, 변장비 1 이상인 경우 리브 간격 및 변장비에 따른 강성 수정 계수의 차이가 크지 않아 하나의 통합된 함수를 사용하여도 됨을 알 수 있었다.

둘째, 평강 리브와 L형 리브를 갖는 보강판의 강성 수정 계수 모두 2변 단순지지와 4변 단순지지의 경우가 유사하게 나타나 지지조건과 상관없이 통합된 강성 수정 계수 함수를 사용하여도 됨을 알 수 있었다.

셋째, 평강 리브와 L형 리브를 비교한 결과, 같은 단면적의 보강재에서 관성 모멘트의 차이로 L형 리브가 구조적으로 유리함을 알 수 있었으며, 이에 따라 리브 형태별 강성 수정

계수 함수가 필요함을 알 수 있었다.

넷째, 본 연구에서 제안한 강성 수정 계수 함수를 적용하여 보정한 결과, 변장비 3인 경우에 평강 리브는 최대 (-)46% 이던 오차율이 (-)16% 이내로, L형 리브는 최대 (-)28% 이던 오차율이 (-)15% 이내로 크게 줄어들고, 오차율의 분포폭 또한 조밀해져, 해의 정확도가 크게 향상됨을 알 수 있었다.

따라서, 개단면 리브를 갖는 보강판을 직교이방성 판으로 해석하는 경우, 본 연구에서 제안한 평강 리브와 L형 리브의 강성 수정 계수 함수를 적용하여 보강판의 직교이방성 휨 강성을 보정하면, 간편하게 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

건설교통부(1996) 도로교 표준 시방서, 대한토목학회.  
 건설교통부(2000) 도로교 설계 기준, 한국교통협회.  
 김창수(1996) 강상판 해석을 위한 직교이방성 판 요소의 개발, 석사학위논문, 서울대학교.  
 마이다스아이티(2002) 마이다스로 배우는 구조역학, Dooans Communication.  
 부산직할시 광안대로 건설사업소(1994) 광안대로 건설 실시 설계도 제 5 공구 (1/4).  
 서울특별시 건설안전관리본부(1998) 가양대교 건설공사 변경 설계 구조계산서 본선-II.  
 조효남, 한봉구(2002) 강구조 공학, 구미서관  
 주석범, 김창수(2002) 개단면 리브를 갖는 보강판의 직교이방성 판 해석, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제 14 권, 제 6 호, pp.701-710.  
 주석범, 최영(2004) 개단면 리브를 갖는 보강판에 대한 직교이방성 강성의 보정방법, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제 16 권, 제 2 호, pp191-200.  
 최영(2004) 개단면 리브를 갖는 보강판의 직교이방성 강성에 관한 연구, 석사학위논문, 세명대학교.  
 AISC(1963) *Design Manual for Orthotropic Steel Plate Deck Bridges*, American Institute of Steel Construction, USA.  
 Cook, R. D., Malkus, D. S. and Plesha, M. E.(1989) *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, USA.  
 Troitsky, M. S.(1992) *Orthotropic Bridges : Theory and Design*, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, USA.  
 (접수일자 : 2004. 8. 13 / 심사일 2004. 8. 24 / 심사완료일 2005. 1. 26)