

용접형 대차 프레임의 피로강도 보강에 관한 연구

장득열*^{,#}, 전형용*

*강원대학교 기계공학과

Reinforcement for Fatigue Fracture of Welded Bogie Frames

Deuk-Yul Jang^{*,#}, Hyung-Yong Jeon^{*}

^{*}Department of Mechanical Engineering, Kangwon National University

(Received 28 April 2016; received in revised form 16 June 2016; accepted 30 August 2016)

ABSTRACT

We consider the position and thickness of reinforcement with respect to fatigue fracture of welded bogie frames and propose an appropriate reinforcement method for many cases. The bogie frame is usually designed in accordance with JIS and KS, and operates under harsh load conditions: dynamic loads generated while driving, various loads during operation, and large load differences between loading and unloading. Consequently, fatigue failure often occurs throughout the bogie frame. We modelled the reinforcing method using ANSYS software and reviewed stress in the vicinity of common fatigue failure sites through computer simulation, optimizing the position and thickness of reinforcement.

Key Words : Welded Bogie Frame(용접 대차 프레임), Design Factors(설계인자), Fatigue Fracture(파로파괴), Appropriate Method for Reinforcement(적절한 보강방법), Loading and Unloading(영차와 공차), Dynamic Load Factor(동하중 계수)

1. 서 론

본 논문은 화차용 용접 대차 프레임의 피로파괴 보강에 관한 연구이다. 이 대차 프레임은 1990년 이후에 국내 물류수송의 효율 극대화를 꾀하기 위하여 고속전철과 함께 고속화 사업을 검토하고 추진된 때부터 이다. 당시의 시대 분위기는 경부, 호남, 영동 고속전철의 도입을 검토하고 이것이 완

공된 이후에 여객운송은 고속전철로 화물운송은 기존의 선로로 운행한다는 시대적인 목적에 따라 기존의 철도는 여객운송보다는 화물운송에 더 많은 비중을 두어 각종 차량의 고속화 개발이 추진되었다. 그때의 국내 철도 시스템은 객차는 시속 120km, 화차는 90km가 최고속도이어서 빠른 물류수송에 한계가 있었고, 이때의 화차용 대차 프레임은 전부가 3-Piece형 주강 대차 프레임이었다. 이 대차는 주강 대차이므로 하중을 견디는 능력은 뛰어났지만 3-Piece형 프레임이어서 최고속도는 90km/h를 벗어날 수 없어 물류수송의 고속화를 꾀하기엔 역부족이었다. 이를 개선하기 위하여 기

Corresponding Author : jang@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-570-6320, Fax: +82-33-570-6333

존의 경부선과 호남선 철도를 곡률반경⁽¹⁾과 캔트⁽²⁾를 개량하여 객·화차의 최고속도를 각각 150km/h와 120km/h로 향상시켜 지금의 속도⁽³⁾ 수준으로 향상된 것이다. 그로 인하여 차량도 이에 준하는 성능을 만족시키기 위하여 개발이 함께 착수되어 객·화차가 각각 150km/h와 120km/h로 달릴 수 있는 차체 및 대차를 개발하게 되었다. 이때 대차의 개발 모델이 프랑스 Y25형 대차이다. 그 당시 이를 개발하기 위하여 국내 제작업체에서 여러 모델을 대상으로 개발을 검토했지만 막대한 개발비와 시험비용을 감당하기 어렵고 무엇보다도 개발된 대차가 언제 상용화될지 몰라 주저하고 있을 때, 당시 운행 당사자인 철도청이 먼저 개발하였고 그 대상은 Y25형 대차이었다. 이 대차는 유럽에서 장기간 운행하고 검증되어 아무런 문제가 발생하지 않았지만 국내에서는 어떤 기술제휴나 기술지원 없이 당시 철도청에서 개발하여 지금까지 운행함으로써 많은 시행착오를 겪으면서 여러 가지 문제점을 야기했고 이에 대한 보안을 거쳐 지금에 이른 것이다. 객차의 하중은 승객과 수화물의 중량이므로 영·공차의 하중 차가 불과 5톤 전후이다. 그러나 화차는 기본적으로 화물의 중량이 약 50톤 정도이므로 영·공차의 하중의 차가 심하다. 이러한 하중 특성이 있음에도 불구하고 화차용 대차 프레임의 구조는 객차나 전동차 수준에 미달하여 강도와 강성이 부족한 느낌이 있다. 또한, 화차가 주행 중에 발생하는 여러 가지⁽⁴⁾의 하중 즉, 수직, 전후, 좌우하중, 제동력이 작용되고 여기에 주행 중에 발생하는 동 하중이 추가되어 열악한 하중 상태에 놓이게 된다. 이런 하중은 일반화된 최대 하중이므로 이를 기준으로 설계하지만 실제로 예기치 못한 최악의 하중이 작용할 수 있다.

이런 문제로 KS⁽⁵⁾, JIS⁽⁶⁾ Code를 기준으로 설계한 대차 프레임에 예기치 않는 곳에서 피로파괴⁽⁷⁾가 발생되어 당혹스럽게 한다. 이러한 피로파괴가 발생하면 먼저 발생위치와 크랙의 성장 경로를 확인하고 이에 대한 적절한 보강이 필요하지만 어디를 어떻게 보강해야 할지 신속한 결정을 내리기 어렵게 한다. 본 연구는 이러한 피로파괴 문제가 발생했을 때 가장 저렴한 방법으로 최대 효과를 올릴 수 있는 보완 방법에 대하여 연구하고자 하였다

으며 그 방법으로 보강 위치와 두께를 설계인자로 하여 여러 경우의 수를 대상으로 최적의 보완 방법을 제시하고자 하였다.

2. 기존 대차 프레임의 설계현황

2.1 개요

기존의 용접 대차 프레임의 형상과 치수는 Fig. 1과 같고 하중조건과 재질의 특성은 각각 Table 1과 Table 2와 같다. 이 대차 프레임은 하기의 하중조건과 JIS Code을 기준으로 적합하게 설계하여 정 하중 시험을 거쳐 양산되어 운행하고 있다. 그런데 운행도중에 예기치 않는 하중으로 Fig. 2와 같이 크랙이 발생하여 상당부분 파괴되었다. 그 원인을 분석한 결과 운행 중에 발생한 제동력이 크게 작용한 것으로 판단되어 이 하중을 중심으로 그 보완 대책을 마련하고자 한다.

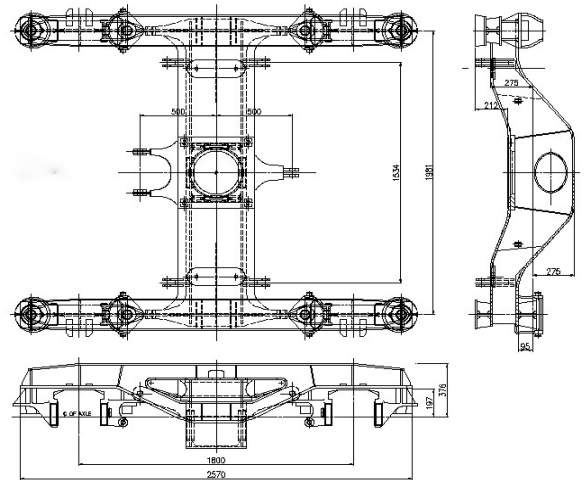


Fig. 1 Drawing of bogie frame

Table 1 Load condition by JIS code

Load condition	Thickness of part
- Unloaded weight : 21,000 kg	- Rib : 12 mm
- Loaded weight : 71,500 kg	- Lower plate : 14 mm
- Braking force : 25,656 kg	- Materials : SM 490A

Table 2 Chemical composition and mechanical property of SM 490A steel substrate(wt%)

Mechanical property	Chemical composition
Number of model	
- Yield strength : 33 kg/mm ²	- C : 0.20 under
- Tensile strength : 50~62 kg/mm ²	- Si : 0.55 under
- Elongation ratio : 17% over	- Mn : 1.50 under
- Poissons ratio : 0.3	- S : 0.040 under
	- P : 0.040 under



Fig. 2 Figure of fatigue fracture

2.2 해석모델 및 해석조건

트랜섬의 리브의 강도를 검토하기 위하여 크랙이 발생한 곳 즉, brake beam bracket가 부착된 곳을 중심으로 Fig. 3과 같이 상하로 50mm 간격으로 3개, 좌우로 35mm간격으로 11개로 나누어 격자구조로 분할하여 Fig. 4와 같이 전체를 셀 요소로 하여 요소의 수를 4,560개 절점의 수를 4,616로 모델링⁽⁸⁾ 하였고, 구속조건⁽⁹⁾은 실제 차량이 운행할 때 작용하는 상태를 묘사하여 축 스프링을 지탱하는 곳을 구속하였다. 그리고 하중조건은 볼스타 센터에 적재하중을 부과하고 제동력은 대차의 전후 바퀴가 회전함에 따라 반력이 작용하는 방향이 바뀌므로 그 방향대로 전후 제동 브라켓 부과하여 Fig. 4와 같이 나타내었다.

2.3 트랜섬 리브 상하 강도 검토

이 모델에 동일한 하중을 부가하여 초기 설계 모델에 대하여 구조해석⁽¹⁰⁾을 실시하여 응력을 구한 결과, 하판에서 21.60 Kg/mm²와 리브에서 11.81 Kg/mm²이 발생하였고 이어서 리브의 상하

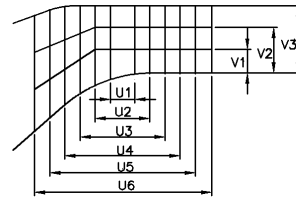


Fig. 3 Partition region of rib plate for analysis

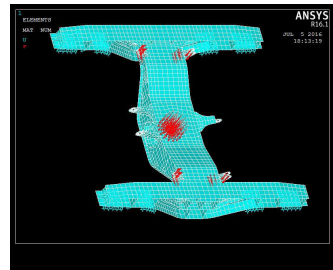


Fig. 4 Figure of finite element modal analysis and boundary condition

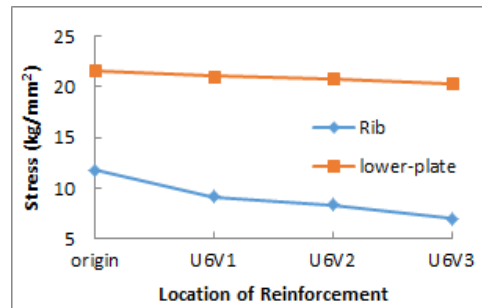


Fig. 5 Equivalent stress calculated in rib & lower plate before & after reinforcement in up and down of rib.

를 3등분한 영역에 보강효과를 주기 위하여 원래의 설계 안(하판 14mm, 리브 12mm)에 해당 보강 영역에 일정한 두께15mm로 보강하여 리브의 전체두께를 27mm로 하여 응력을 구한 결과, Fig. 5와 같이 산출되었다. 하판의 응력은 리브 전면을 보강한다 하더라도 거의 변화가 없어 보강효과가 5.6%에 불과하고, 리브의 응력은 보강면적이 증가함에 따라 감소하였다. 이것은 본 대차 프레임의 구조에서 리브와 하판이 상호간에 강도상으로 크게 영향을 미치지 않고 있다는 것을 의미한다. 리브의 응력은 U6V1영역에서 9.2%, U6V2영역에서

18.9%의 보강효과가 나타나 보강면적에 비례하지 않지만 리브의 전면을 보강한 U6V3는 전체적으로 21.5%의 효과가 나타나 보강면적에 비례하지 않고 보강효과가 감소하고 리브의 전면 작업을 고려하면 바람직하다고 생각되지 않아 U6V2영역을 대상으로 상하방향 위상설계를 진행해야 한다고 생각된다.

2.4 트랜섬 리브 좌우 강도 검토

리브를 좌우방향으로 11영역으로 구분하여 리브 상하와 같은 방법으로 15mm로 보강한 결과, 발생된 응력은 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 하판의 응력은 역시 거의 변화가 없고 리브의 응력은 보강 위치에 따라 차이가 났으나 U1V3 ~ U2V3은 보강 효과가 약 5.5~7.6%로 미약하고 U3V3 ~ U5V3영역은 각각 15%, 16.8%, 18%이며 U6V3은 전면을 보강함에도 보강효과가 21.5%로 U3V3 ~ U5V3의 효과와 비슷하고 전면보강작업을 고려할 때, 현실적으로 문제가 있어 이를 제외하였다. 따라서 U3V3 ~ U5V3영역은 U6V3영역과 보강효과가 비슷하고 이들 상호간에 15% ~ 18%의 범위에 있어 근접한 보강 효과를 나타내고 있다. 따라서 이를 대상으로 좌우방향 위상설계를 진행해야 한다고 생각된다.

2.5 트랜섬 하판 강도 검토

트랜섬의 하판의 강도를 검토하기 위하여 Fig. 7과 같은 방법으로 크랙이 발생한 곳과 최고응력이 발생한 곳을 중심으로 하판의 좌우로 양분하고 높이방향으로 4등분으로 분할하였고 이를 중심으로 동일한 하중을 부가하여 초기 설계 상태로 구조해석을 실시하여 원안의 응력분포를 산출하였고, 이어서 하판의 분할영역에 보강효과를 주기 위하여 원래의 설계 안(하판 14mm, 리브 12mm)로 하고 해당 보강영역에 일정한 두께15mm로 보강하여 하판의 전체두께를 29mm로 하여 응력을 구한 결과 Fig. 8과 같이 발생하였다. 여기서 나타난 바와 같이 하판을 영역별로 보강을 하였음에도 불구하고 리브의 응력감소는 약 3.8%로 거의

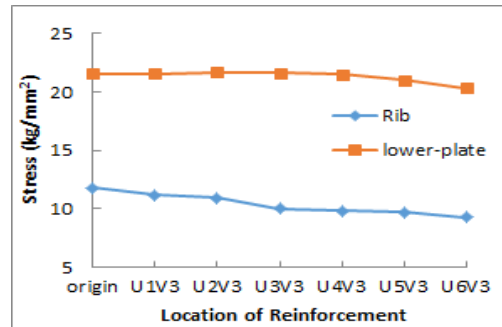


Fig. 6 Equivalent stress calculated in rib & lower plate before & after reinforcement in left and right of rib.

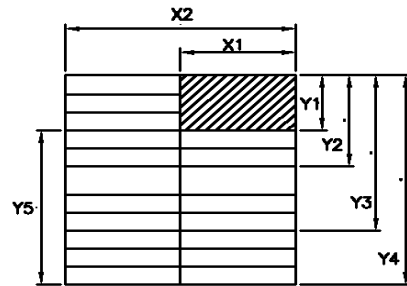


Fig. 7 Partition region of lower plate for analysis

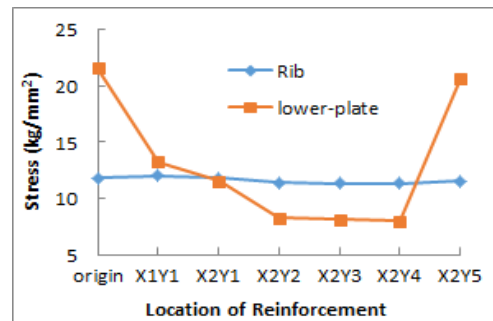


Fig. 8 Equivalent stress calculated in rib & lower plate before & after reinforcement of lower plate.

변화가 없고 하판의 응력만이 보강 영역에 따라 감소하고 있다. 이는 상기에서도 언급한 바와 같이 리브와 하판이 서로 독립적이어서 강도상 상호간에 큰 영향을 끼치지 않는다고 판단된다. 즉, 하판보강이 리브의 강도상에 영향을 크게 미치지 못 한다는 것이다. 그러나 하판보강이 리브

의 강도상에 하판은 보강면적이 증가됨에 따라 응력 변화가 크게 나타나며 이 중에서 X2Y2 ~ X2Y4영역에서 각각 약 61.7%, 62.4%, 62.9%로 큰 효과가 나타나며 X1Y1 ~ X2Y1 영역에서 38.7% ~ 46.5%로 효과가 약하며 X2Y5영역에서는 4.1%로 아주 미약하다. 이것은 X1Y1 ~ X2Y2는 최고 응력이 발생한 인접한 위치만 보강했고 X2Y5는 최고응력이 발생한 위치를 제외했기 때문이라고 생각된다. 그리고 X2Y4영역에서 62.9%의 보강효과가 가장 크게 발생되었으나 이는 하판 보강면적을 전체를 보강했기 때문이라고 판단된다. 따라서 하판의 전면을 보강한 X2Y4영역과 거의 비슷한 효과를 발생시킨 X2Y2 ~ X2Y3를 대상으로 위상설계를 진행하는 것이 타당하다고 판단된다.

2.6 트랜섬 리브 및 하판 강도 검토 결과

트랜섬 원안을 대상으로 효과적인 보강 영역을 찾기 위하여 상기와 같은 방법으로 해석한 결과, 리브와 하판의 보강효과는 상호간에 독립적이며, 리브의 상하의 보강효과는 보강면적에 따라 응력이 감소하나 V1 ~ V2까지는 상하 높이에 비례하여 응력이 감소하고 V2를 초과하여 V3영역으로 갈수록 보강 높이에 비례하지 않고 응력 감소율이 급격하게 저하된다. 리브의 좌우의 보강효과는 영역별로 보강효과의 차이가 발생하지만 좁은 좌우 영역에서는 보강효과가 미소하지만 일정한 영역 U3을 초과한 영역에서 보강 효과를 크게 나타내며 이들 상호간에 응력 감소율이 비슷하다.

하판의 경우는 X1Y1 ~ X2Y1영역만 보강할 경우에는 보강효과가 약하며 X2Y2 ~ X2Y4영역에서는 크게 나타난다. 그러나 X2Y4영역에서 최소 응력이 발생하나 X2Y2 ~ X2Y3과의 응력 감소율의 차가 불과 1.2%에 불과하여 이들 상호간에 보강효과는 대등하다. 따라서 본 대차 프레임의 위상설계는 리브의 상하방향으로 V1 ~ V2, 좌우방향으로 U3 ~ U5의 범위를 하판의 X2Y2 ~ X2Y3의 범위를 결정하여 이를 대상으로 위상설계를 진행하는 것이 타당하다고 생각된다.

3. 트랜섬 위상설계

Table 3 Equivalent stress calculated in rib after 15mm reinforcement on the stiffening region of a rib and a lower plate.
(Unit : Kg/mm²)

	U3V1	U3V2	U4V1	U4V2	U5V1	U5V2
X1Y1	9.77	9.93	9.12	8.49	9.17	7.62
X2Y1	9.56	8.76	8.89	8.37	9.08	7.75
X2Y2	9.04	8.76	8.63	8.32	8.98	7.76
X2Y3	8.81	8.81	8.64	8.35	9.01	7.78
X2Y4	8.82	8.81	8.66	8.36	9.04	7.80
X2Y5	9.27	9.66	9.24	9.63	9.98	9.24

Table 4 Equivalent stress calculated in lower plate after 15mm reinforcement on the stiffening region of a rib and a lower plate.
(Unit : Kg/mm²)

	U3V1	U3V2	U4V1	U4V2	U5V1	U5V2
X1Y1	13.19	13.14	13.24	13.19	13.16	13.11
X2Y1	9.08	9.11	9.15	9.26	9.19	9.31
X2Y2	9.04	9.11	9.11	9.19	9.14	9.24
X2Y3	8.22	8.17	8.09	8.02	7.94	7.85
X2Y4	8.11	8.06	7.98	7.91	7.83	7.74
X2Y5	20.66	20.63	20.75	20.69	20.64	20.54

3.1 트랜섬 리브의 위상설계

트랜섬의 보강위상설계를 진행하기 위하여 U3V1 ~ U5V2까지 6영역을 대상으로 하판에 X1Y1 ~ X2Y5영역까지 보강영역을 변화시켜 리브와 하판을 각각 같은 두께 15mm를 보강하여 해당영역의 리브에는 27mm, 하판에는 29mm를 적용하여 해석을 수행한 결과, 리브의 응력은 Table 3과 하판의 응력은 Table 4와 같이 산출되었다. 여기서 나타난 바와 같이 동일한 하판 보강영역에서 리브의 보강 영역이 넓어짐에 따라 리브의 응력 값은 감소하고 있지만 U3V1 ~ U5V1 영역에서는 큰 변화가 없고 U5V2 영역에서만 급격하게 감소하는 경향을 띠고 있다. 그리고 리브의 보강영역이 변화함에도 불구하고 하판의 응력변화는 거의 없고 서로가 비슷한 값을 나타내고 있다. 또한, Table 4에서 나타난 바와 같이 동일한 리브보강영역에서 하판 보강영역이 변화함에 따라 하판의 응력이 급격하게 감소하면서 X2Y3 ~ X2Y4영역에서 최소응력이 발생하고 있다. 그러나 리브의 응력은 하판의 보강영역이 변하더라도 큰 변화가 없고 서로 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이것은 리브와 하판이 상호간에 강도상으로 큰 영향을 끼치지 못한다는

증거이다. 즉 강도상으로는 리브는 리브에 하판은 하판에 그 자체가 큰 영향을 끼치지 상호간에는 미미한 영향만이 있다는 것이다. Table 3에서 나타난 바와 같이 리브의 보강효과는 하판의 보강영역이 변해도 U5V2 영역에서만 큰 효과를 나타내고 이 영역에서의 최대, 최소의 보강효과 값의 차가 크지 않다. 그리고 Table 3에서 나타난 바와 같이 하판의 보강효과는 하판의 보강영역에 따라 최대, 최소 값의 차가 크다는 것과 그 중에서 X2Y3 ~ X2Y4영역에서 가장 큰 효과를 나타내고 있는 것이 특징이다. 하지만 X2Y4영역은 앞에서 언급한 바와 같이 전면을 보강해야 되고 보강효과가 X2Y3와 대등하므로 하판의 위상설계위치를 X2Y3로 결정해도 된다고 생각된다. 이것은 트랜섬을 구성하고 있는 리브가 트랜섬의 단면계수를 증가시키는 요소로서 중립축에 가까이 있어 크게 단면계수를 증가시키지 못하므로 두께 변화를 하판과 동일하게 증가시키더라도 큰 응력변화가 나타나지 않는 것으로 판단된다. 반면에 하판은 중립축의 최 외곽에 있는 요소로서 단면계수를 증가시키는 중요한 인자이며 최 외곽에 있는 하판의 두께 증가는 가장 큰 단면계수를 증가시킬 수 있기 때문에 큰 효과가 발생한 것으로 판단된다. 따라서 리브의 최적의 위상설계위치는 U5V2이고 하판의 최적의 위상설계위치는 X2Y3이라고 판단된다. 따라서 리브의 최적의 위상설계위치는 U5V2이고 하판의 최적의 위상설계위치는 X2Y3이라고 판단된다.

4. 트랜섬 보강 두께에 관한 연구

4.1 트랜섬 리브와 하판의 두께설계

트랜섬 위상설계의 결과, 리브에서는 U5V2의 영역이 하판에서는 X2Y3의 영역에서 가장 효과가 크다고 예상되었으므로 본 절에서는 이를 대상으로 각각의 보강 영역에 보강 두께를 6 ~ 15mm까지 4단계로 나누어 두께를 조합하여 해석을 수행하였다. 그 결과 리브에서 산출된 응력 값을 Fig. 9에 하판의 응력을 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 나타난 바와 같이 리브의 응력 값은 리브와 하판의

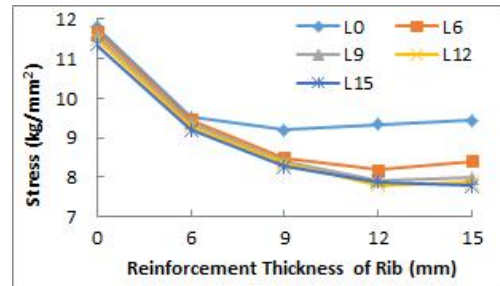


Fig. 9 Equivalent stress calculated in rib when applying 6~15mm of stiffener thickness on the reinforcing region of a rib and lower plate.

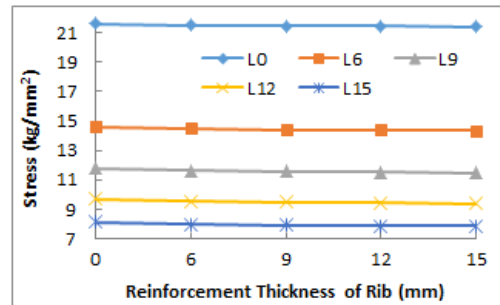


Fig. 10 Equivalent stress calculated in lower plate when applying 6~15mm of stiffener thickness on the reinforcing region of a rib and lower plate.

두께가 같이 증가함에 따라 응력이 감소하지만 리브의 두께가 단독으로 증가하면 그 효과는 크지 않으며 오히려 리브의 두께가 12mm초과될 때에는 응력이 높아지는 경향을 띠고 있고 리브의 두께와 함께 하판의 두께가 증가함에 따라 응력이 현저하게 감소하는 경향을 띠고 있다. 그러나 리브의 두께가 6mm까지는 하판의 전체 두께에 대하여 대등한 보강효과를 내지만 9 ~ 15 mm에서는 하판의 보강효과에 차이가 생기며 보강효과도 크게 나오고 12 ~ 15mm에서는 서로 대등한 극대의 보강 결과가 산출되었다. 하판의 응력 값도 마찬가지로 두께가 증가함에 따라 응력이 감소하지만 리브의 두께 증가에 의한 보강효과는 나타나지 않으며 하판의 두께 증가와 더불어 보강 효과가 현저하게 상승되는 경향을 띠고 있다. 두께에 의한 보강효과는 하판의 두께가 크게 영향을 끼치고 리브의 두께는 큰 보강효과를 나타내지 못한다는 것이다. 따라서 하판은 두껍게 할수록 보강효과가

Table 5 Equivalent stress calculated in rib and lower plate when applying each 12, 15mm of stiffener thickness on the partition region of a rib and lower plate.
(Unit : Kg/mm²)

		U3V1	U3V2	U5V1	U5V2
X2Y2	Rib	8.95	8.92	9.11	9.03
	LW-plate	8.34	8.29	8.10	8.02
X2Y3	Rib	8.96	8.85	9.13	7.89
	LW-plate	8.20	8.16	7.96	7.89

나타나며 리브는 하판보다 얇은 두께를 가지는 것이 보강효과가 최대가 되므로 본 연구에서는 하판의 두께를 최대치인 15mm로 리브의 두께는 12mm로 보강하는 것이 리브와 하판의 응력의 차가 발생하지 않아 최대의 보강효과를 가진다고 판단된다. Table 5는 앞 절에서 검토한 위상설계에서 U3V1, U3V2, U5V1, U5V2의 리브위치와 X2Y2, X2Y3의 하판위치 범위에 대하여 리브의 보강두께를 12mm, 하판의 보강두께 15mm로 하여 응력 값을 구한 것이다. 각각의 조합에서 산출된 리브와 하판의 응력은 U5V2 × X2Y3의 조합에서 산출된 응력보다 크고 리브와 하판의 응력 차이가 크게 발생하여 보강 효과를 상대적으로 떨어뜨린다. 그러나 U5V2 × X2Y3의 조합에서 산출된 응력은 리브와 하판의 응력 값이 서로 같아 보강효과가 크게 나타나고 있다.

5. 결 론

1. 리브와 하판의 강도는 상호 연관성이 무시할 정도로 미약하다.
2. 리브의 상하방향 보강효과는 아래에서부터 70% 높이까지는 높이에 비례하며 70%를 초과하면 그 효과는 비례하지 않고 감소한다.
3. 리브의 좌우방향 보강효과는 범위가 확대될수록 커진다.
4. 하판의 보강효과는 Y2위치를 초과하면서 크게 나타나며 Y2~Y4에서는 보강효과가 비슷하다.
5. 두께에 관한 보강효과는 하판과 리브는 두꺼울수록 커지나 리브는 하판의 두께와 동일하면 오히려 효과가 감소하며 리브의 두께가 하판보다 약간 얇게 보강하는 것이 더 효과적이다.

후 기

“이 논문은 2015년도 강원대학교 대학회계 학술연구 조성비로 연구하였음(관리번호-201510056).”

REFERENCES

1. Seo, S. B., Railway Engineering, Book Gallery, pp. 241-248, 2006.
2. Seong, D. R., Pack, S. H., Railway Engineering & Laws, YEAMOONSA Inc, pp. 131-144, 2015.
3. Seo, S. B., Railway Track Engineering, Book Gallery, pp. 398-405, 2012.
4. Professional Engineer Railroad Rolling Stock Association, Technology Engineering of Railroad Vehicle (I), GOOMIBOOK Inc, pp. 222-224, 392-401, 429~430, 2016.
5. Korean Standards Association, Truck frames for railway rolling stock - General rules for design, pp. KS R 9210, 1996.
6. Japanese Standards Association, Test Methods of Static Load for Truck Frames and Truck Bolsters of Railway Rolling Stock, pp. JIS E 4208, 1988.
7. T. R. CURNEY, Fatigue of Welded Structures, Cambridge University Press, pp. 150-154, 1979.
8. Go, J. H., Kang, D. M., "CAE Analysis on Strength and Fatigue of Rear Door of Passenger Car," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 3, pp. 63-69, 2014.
9. Cho, S. J., Han, J. W., Park, Y. J., Lee, G. H., "Structural Analysis of a Planetary Gear Carrier in the Slewing Reducer for Tower Crane," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 5, pp. 1-7, 2014.
10. Kim, S. K., Lee, J. W., "Analytical Study on the Structural Strength of an Air Compressor for Main Engine Starting of 22000TEU Class Container Ships," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 60-67, 2015.