

## 강바닥판교의 벌크헤드 플레이트에 관한 매개변수 연구

### A Parametric Study on Bulkhead Plate of Orthotropic Steel Deck Bridge

공병승<sup>1)</sup>  
Kong, Byung Seung

김진만<sup>2)</sup>  
Kim, Jin Man

---

#### ABSTRACT

Recently, the bridges become greater according to development of a construction technology. This phenomenon requires long span bridge, so that increases the dead weight. The orthotropic steel deck bridges have much advantages such as the light dead weight and the reduction of construction period. And almost whole process of carried out is manufactured at factory, so it can cause the increase of quality authoritativeness. But orthotropic steel deck bridge is consist of structure by welding, it can not avoid a lot of welding jobs, defects and transformation by welding are becoming problem accordingly. Specially, topical stress concentration phenomenon in cross connection area of longitudinal and transverse rib causes fatigue failure. The Bulkhead Plate for prevention of this stress concentration phenomenon was applied by changing the orthotropic steel deck of Williamsburg bridge in USA. But, it is principle that a Bulkhead Plate is not established in the domestic design standard. Therefore, it is estimated that the study for installation of Bulkhead Plate is needed. This treatise with considering these circumstances proves efficiency of Bulkhead Plate and will be presented optimal design details through finite element analysis according to change the geometrical of Bulkhead Plate and the cross-connection area of longitudinal and transverse rib.

---

#### 1. 서론

근대의 교량들은 건설기술의 눈부신 발전에 힘입어 점점 거대화 되어가고 있다. 이러한 교량의 대형화 경향으로 장지간의 교량이 요구되고 사하중에 대한 부담이 커지고 있어, 사하중의 부담이 작고 장지간의 교량을 건설할 수 있는 강교의 사용이 증대되고 있다. 특히 강바닥판 교량은 다른 여러 바닥판 시스템에 비하여 그 사하중이 30~50% 정도로 매우 작으며, 거의 전 과정이 공장 생산되므로 제품에 대한 신뢰성이 높고, 가

---

1 정회원 · 동서대학교 토목공학과 조교수

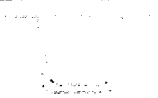



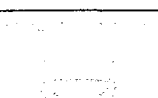

2 동서대학교 토목공학과 석사과정

설 후 콘크리트 공사가 없기 때문에 공기를 단축시킬 수 있는 장점이 있다.<sup>6)</sup> 그러나 강바닥판 교량은 얇은 강판들을 용접을 이용하여 바닥 결합한 구조로 많은 양의 용접을 피할 수 없고, 그에 따른 용접 결합과 변형이 문제시 되고 있다. 특히 강바닥판 교량의 종리브-횡리브의 교차 연결부는 피로에 가장 취약한 것으로 알려져 있으며, 실제 건설되어 있는 많은 교량에서 이 부분에 피로균열이 관찰되고 있다.<sup>3,4)</sup> 이러한 피로균열은 종리브-횡리브 교차 연결부에서 U-Rib의 Distortion에 의해 유발되며, 면외변형에 의한 2차 응력으로부터 발생한다.<sup>11,2)</sup> 이러한 응력 집중현상은 그 범위가 매우 국부적이며 응력구배가 상당히 크므로 정량화하기 매우 어려우므로 정확한 계산에 의한 설계가 불가능한 실정이다. 따라서 AASHTO LRFD는 2차적으로 발생하는 힘에 대하여 rigid한 하중 경로를 갖게 하고, 최소 판두께와 같은 요구조건을 제시함으로써 Distortion 유발 피로균열이 일어나지 않도록 하고 있다.<sup>10)</sup> 그러나 국내의 강도로교 상세부 설계지침(1997) 상에는 “종리브 현상이음 전후를 제외하고는 벌크헤드 플레이트를 설치하지 않는다” 라고 규정되어 있다.<sup>7,8)</sup> 그러나 벌크헤드 플레이트의 설치시 복부판에서 부담하는 전단응력을 분담해 주고 횡리브의 면외방향의 변형에 대한 강성을 증가시켜 주는 역할을 한다. 또한 벌크헤드 플레이트의 설치시 종리브의 상대 처짐으로 인한 비틀림응력을 적절히 분배하여 Distortion에 의한 피로균열을 제어하고, 스킴립 하부 곡률부의 응력을 감소시키는 역할을 하므로 벌크헤드 플레이트의 설치가 고려되어야 한다.<sup>2),9)</sup> 본 논문에서는 유한요소 해석을 통하여 벌크헤드 플레이트의 효율성을 입증하고, 최적의 벌크헤드 플레이트 형상을 제시하고자 한다.

## 2. 벌크헤드 플레이트의 효율성 검증

벌크헤드 플레이트의 변수 연구에 앞서 벌크헤드 플레이트가 설치되지 않는 국내 표준 상세와 벌크헤드 플레이트가 설치된 국내 표준상세 및 유럽에서 광범위하게 사용되고 있는 “Rabbit Type” 상세를 비교하여 벌크헤드 플레이트의 효율성을 입증하고자 한다. 해석에 사용된 단면상세는 표 1과 같다.

표 1 벌크헤드 플레이트의 효율성 검증을 위한 모델

구분	단 면 형 상	비 고	구분	단 면 형 상	비 고
1		국내 표준상세 벌크헤드 플레이트 미부착	4		국내표준 상세 곡선 벌크헤드 플레이트 부착
2		유럽표준 상세 벌크헤드 플레이트 미부착	5		유럽표준 상세 직선 벌크헤드 플레이트 부착
3		국내표준 상세 직선 벌크헤드 플레이트 부착	6		유럽표준 상세 곡선 벌크헤드 플레이트 부착

유한요소 해석시 지점조건은 양단 힌지지점을 사용하였으며, 하중은 중앙에 20cm×50cm크기 의 등분포하중으로 15tonf의 하중을 제하하였다. 모델별 최대 주응력의 결과는 다음과 같다.

표 2 모델별 최대주응력 및 비율

구분	최대주응력(kgf/cm <sup>2</sup> )	비교
1	1066.65	
2	943.57	88.5 %
3	729.99	68.4 %
4	670.99	62.9 %
5	803.06	75.3 %
6	742.30	69.6 %

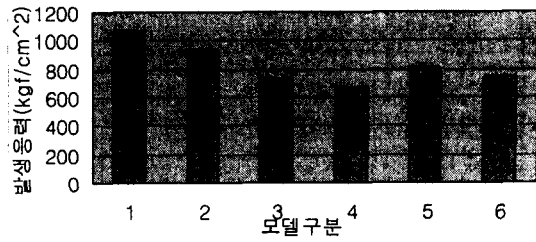


그림 1 모델별 최대주응력 변화

비교는 모델 1번과의 비율이다. 벌크헤드 플레이트의 유무에 따라 응력값은 약 15%~30%까지 감소하는 것을 알 수 있었으며, 곡선형 벌크헤드 플레이트를 부착한 국내형 표준단면의 형상이 가장 작은 응력값을 가지는 것을 알 수 있었다.

### 3. 매개변수 연구

앞 절에서의 결과로 국내 표준상세의 곡선형 벌크헤드 플레이트의 적용시 가장 작은 응력값을 가짐을 알 수 있다. 본 절에서는 곡선 벌크헤드 플레이트를 설치한 국내 표준 상세를 대상으로 세부 변수를 조절하여 발생 응력을 최소화 하기위한 연구를 수행하였다.

#### 3-1 변수의 정의

본 연구에서 고려한 변수의 정의는 표 3과 같다.

표 3 변수 정의

1	벌크헤드 플레이트 면적(A)	A=0~522cm <sup>2</sup>
2	벌크헤드 플레이트 상·하부 곡률(R)	R=36~60cm
3	벌크헤드 플레이트 위치(Du)	Du=0~5.17cm
4	하부 스킴의 상부 곡률(r1)	r1=1.5cm~4.0cm
5	하부 스킴의 상부 곡률(r2)	r2=4.0cm~8.0cm

#### 3-2 해석결과

##### 1) 벌크헤드 플레이트의 면적변화

벌크헤드 플레이트의 면적이 전체 응력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 벌크헤드 플레이트의 상하부 곡률 R=50을 기준으로 벌크헤드 플레이트의 면적 A=0~522cm<sup>2</sup> 까지 변화시키며 그 응력값을 관찰하였다.

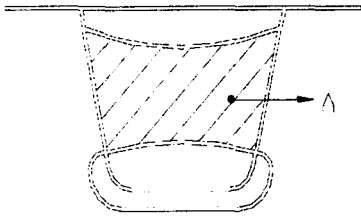


그림 2 벨크헤드 크기 변수 A

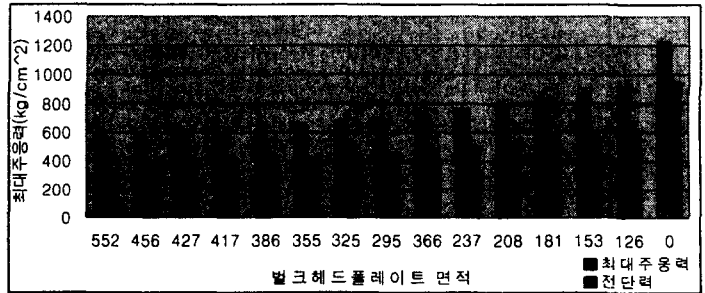


그림 3 면적 A에 따른 최대주응력 및 전단응력 변화

결과에서 보듯이 벨크헤드 플레이트의 크기가 커질수록 그 응력값이 감소함을 알 수 있었다. 벨크헤드 플레이트의 크기가 커지면서 횡리브의 면외변형에 대한 강성이 커지고 또한 종리브와 용접부의 길이가 길어지므로 그에 따른 전단응력의 감소효과가 전체적인 응력값을 경감시키는데 큰 역할을 하는 것으로 판단된다.

2) 벨크헤드 플레이트의 상·하부 곡률변화

벨크헤드 플레이트의 면적 417cm<sup>2</sup>을 기준으로 상·하부의 곡률을 변화 시키며 그 응력 값을 관찰하였다. 변수의 조절범위는 R=60~36cm까지 이며, R=36cm 이하가 될 경우 종리브 자체 형상에 변화를 가져오므로 R=36cm 까지 만을 고려하여 해석을 수행하였다.

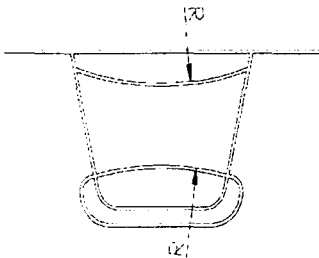


그림 4 상·하부 곡률변수 R

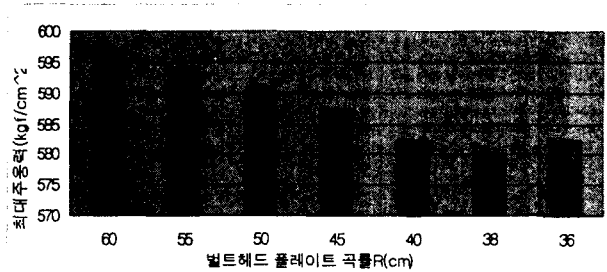


그림 5 변수 R 에 따른 최대주응력 변화

해석결과 상·하부곡률 R=38cm에서 가장 작은 응력값을 보였다. 이는 동일한 면적을 가지는 직선 벨크헤드 플레이트 적용시에 비하여 약 8.3%의 응력 감소 효과가 있으며, 상·하부 곡률 R=60cm 와 비교하여 약 3%의 응력 경감 효과가 있는 것으로 판단되었다.

3) 벨크헤드 플레이트의 위치변화

벨크헤드 플레이트의 상·하부 곡률 R=38cm 와 벨크헤드 플레이트의 면적 A=417cm<sup>2</sup>의 상세를 대상으로 종리브 내의 벨크헤드 플레이트의 최상의 위치를 찾기 위하여 벨크헤드 플레이트의 부착 위치를 변수로 한 해석을 실시하였다.

표 4 변수 Du에 따른 최대주응력

				(kg/cm <sup>2</sup> )	
416.6	3.5	509.2	416.6	4.4	499.3
	3.6	514.1		4.5	498.0
	3.7	594.7		4.6	510.3
	3.8	572.2		4.7	509.8
	3.9	541.6		4.8	506.7
	4.0	514.0		4.9	498.0
	4.1	503.6		5.0	533.0
	4.2	502.1		5.17	530.0
	4.3	500.4			

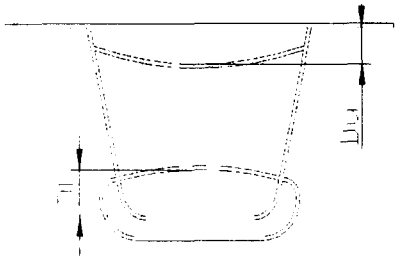


그림 6 위치 변화 변수 Du

벌크헤드 플레이트의 위치를 최초 바닥강판과 벌크헤드 플레이트의 곡률 시작점 그리고 종리브가 모두 강철로 연결되는 위치로부터(Du=3.5cm) 벌크헤드 플레이트의 면적과 종리브의 형상을 그대로 유지하면서 최대한 내릴 수 있는 위치(Du=5.17cm)까지 변화시키며 그 결과 값을 관찰하였다. 그 결과 바닥강판과의 이격거리 Du=4.5cm 일때 가장 작은 응력값을 얻을 수 있었다. 그러나 결과값에서 알 수 있듯이 Du=4.1cm에서 Du=4.9cm 까지의 응력 변동 폭이 매우 미비하므로 시공성을 고려하여 벌크헤드 플레이트의 위치에 변화가 허용될 것으로 판단된다.

4) 하부 스키텔의 상·하부 곡률변화

하부 스키텔의 최적의 상세를 찾기 위하여 하부 스키텔의 상, 하부 곡률을 변화시키며 해석을 수행하였다. 상부곡률 r1=1.5cm~4.0cm 까지 그리고 하부곡률 r2=4.0cm~8.0cm 까지의 범위를 고려하였다.

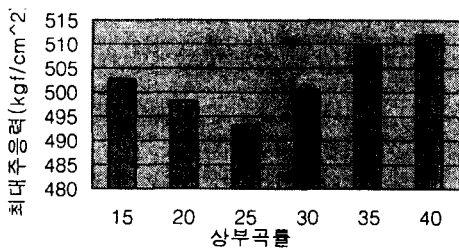


그림 7 변수 r1에 따른 응력 변화

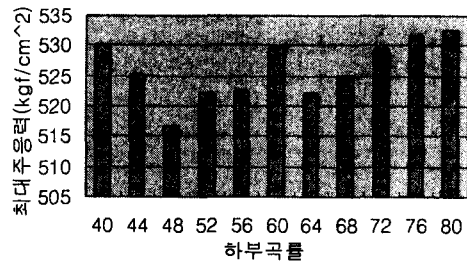


그림 8 변수 r2에 따른 응력 변화



하부 스키텔의 형상 변화에 따른 응력값의 변동은 매우 미비한 것으로 나타났다. 특히 상부곡률 r1의 경우 현행 기준인 r=2.0cm 와 가장 작은 응력값을 보이는 r=2.5cm와 응력 값의 차이는 약2%정도로 매우 미비하며, 하부곡률 r2의 경우 역시 현행기준과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았다.

3-3 개선상세 적용에 따른 횡리브 간격 및 강재량 비교

지금까지의 결과를 종합한 개선상세는 다음 표와 같으며 이러한 개선 상세의 적용시 발생응력 감소로 인

하여 횡리브의 간격을 현행 기준인 200cm~250cm 보다 더욱 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 5 현행 기준상세와 개선상세의 비교

	현행표준	추천안
종리브 상세		
벌크헤드 플레이트 곡률(R)	없음	R=3.8cm
벌크헤드 플레이트 면적(A)	없음	A=410~450cm <sup>2</sup>
벌크헤드 플레이트 위치(Du)	없음	바닥판으로부터 4.0~4.5
스캘럽 상부곡률(r1)	2.0cm	2.0~2.5cm
스캘럽 하부곡률(r2)	6.8cm	4.8cm

횡리브 간격에 따른 응력 변화 추이를 관찰하기 위하여 바닥판 10m를 기준으로 횡리브의 간격을 변화시켜 해석을 실시하였다.

표 6 횡리브 간격에 따른 응력 변화

구 분	횡리브 간격 (cm)	최대주응력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	횡리브 개수	비고
1	250	2202	4	
2	300	1044	3.3	47.4%
3	350	1096	2.9	49.8%
4	400	1157	2.5	52.5%
5	450	1195	2.22	54.3%
6	500	1226	2	55.7%

표 7 횡리브 간격 변화에 따른 강제량 및 용접길이

구 분	강제량 (m <sup>3</sup> )	용접길이 (m)	강제량 비율	용접 길이 비율
1	73.64	59.36		
2	74.81	51.67	101.6%	87.0%
3	72.53	45.35	98.5%	76.4%
4	70.43	39.03	95.6%	65.8%
5	68.89	35.13	93.6%	59.2%
6	67.68	32.12	91.9%	54.1%

해석결과 횡리브의 간격을 500cm 이상으로 증가 시키더라도 그 발생응력이 현행기준 이하인 것을 알 수 있다. 이러한 횡리브 간격의 증가로 인하여 강제량이 약 10% 절감되었고, 용접길이는 약 48% 감소되었다. 강제량의 절감과 용접길이의 감소는 강바닥판 교량의 제작 원가에 획기적인 감소 요인으로 작용할 것으로 판

단된다. 그러나 횡리브의 간격을 증가시킬 경우 하중의 재하 위치에 따라 상당히 다른 응력 값을 보일 수 있으므로 이에 대한 심층적인 연구가 뒤따라야 한 것이다.

#### 4. 결론 및 추후연구 과제

벌크헤드 플레이트의 효율성 검증에서 알 수 있듯이 벌크헤드 플레이트의 부착시 15%~30%의 응력 경감효과가 있으며, 특히 유럽형 상세보다 국내형 상세가 유리한 것으로 판단되었고, 벌크헤드 플레이트의 형상은 직선형보다 곡선형이 약 10%정도의 응력 감소효과가 있는 것을 알 수 있었다. 벌크헤드 플레이트의 적용시 횡리브 복부판의 진단력을 분담해주며, 횡리브를 일체화된 구조로 만들어 횡리브의 면외변형에 대한 강성과 종리브의 비틀림 강성을 크게 하여 전체적인 응력 감소효과가 뛰어난 것으로 판단되었다. 위의 결과를 바탕으로 최적의 벌크헤드 플레이트의 단면 상세를 찾기 위하여 곡선형 벌크헤드 플레이트를 부착한 국내표준 단면 형태를 대상으로 변수 해석을 실시하였다. 세부 변수로서 벌크헤드 플레이트의 곡률은 상·하부 R=38cm 의 상세가 가장 유리한 것으로 나타났으며, 벌크헤드 플레이트의 면적은 곡률을 유지하며 가장 넓은 것이 유리하겠으나 시공성과 강재의 증가분 등을 고려했을 때 A=410~450cm<sup>2</sup> 이 적당할 것으로 판단되었다. 벌크헤드 플레이트의 위치는 바닥판으로부터 1cm 이격 후 설치하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 하부 스캐립의 곡률은 상부곡률의 경우 현행기준(R=2.0cm)을 그대로 사용하여도 무방할 것이며, 하부곡률의 경우 R=4.8cm에서 가장 작은 응력 값이 산출되었다. 이러한 개선 상세의 적용시 기존의 상세와 비교하여 발생응력이 약 50%까지 감소되며, 이러한 결과는 횡리브의 사이 간격을 G=500cm 이상 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 횡리브 간격의 증가는 강재의 절감과 용접 길이의 감소로 획기적인 원가 절감 효과가 있을 것으로 판단된다. 그러나 아직 종리브-횡리브의 교차연결부에서 발생하는 응력의 경향을 완벽히 파악하지 못하여 여전히 개선의 여지가 남아있으며, 향후 실제 교량 또는 더 많은 실물 시험체의 적용 및 실험을 통해 제시된 최적 상세에 대한 검증이 이루어지는 것이 바람직하며, 실무자들이 쉽게 설계 및 시공시 적용할 수 있도록 단순 해석을 통한 상세부의 실제 발생 응력을 산정할 수 있는 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 전진수, 배두병(2001), "U-Rib를 이용한 강바닥판의 최적상세에 관한 수치 해석적 연구", 대한토목학회 2001학술발표회 논문집(I) P.635~638.
2. 삼성중공업 건설기술 연구소(2002), "강바닥판교의 설계 및 시공서 향상 방안 연구."
3. 최준혁(2000), "실물 모형 강상판 접합부상세부의 정적 및 피로거동" 한양대학교 박사학위 논문.
4. 엄원옥(1998), "강바닥판의 운하중에 의한 거동연구,"국민대학교 석사학위 논문.
5. 전상호(2000), "실물 모형 강상판 접합부상세의 피로강도에 관한 실험적 연구," 명지대학교 석사학위 논문.
6. 경갑수, 김학수, 채원규공역(1998), "강교의 피로" 건설도서
7. 한국도로교통협회(2000), "도로교 설계 시준"
8. 한국 강구조학회(1998), "강구조 편람 제4권 강도로교의 설계"
9. European Coal & Steel Community(1995), "Measurements and Interpretation of Dynamic Loads on bridges - Phase 4-Fatigue Strength of Steel Bridges."
10. AASHTO(1998), "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications."