

차량 하중 방향 변경에 의한 기존교량의 피로안정성 연구

이규세*, 이승열¹
¹선문대학교 토목공학과

A Fatigue Stability Study of an Existing Bridge Due to Vehicle Load Direction Change.

Yi, Gyu Sei^{1*} and Lee, Sung Yol¹

¹Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요 약 도로 건설 중 기존 교량에 가교를 접속하여 사용하는 경우가 종종 발생 한다. 이 경우 차량 하중 방향의 변경으로 인하여 기존 교량의 주형의 설계 시 고려하지 못한 피로 안정성 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 교량의 내민 슬라브와 주형의 안정성을 도로교 설계기준의 허용 피로 응력을 이용하여 검토 하였다. 응력 변동이 가장 큰 지점은 가교 접속 구간의 교량 시점에서 55m 떨어진 지점부, 그리고 교량 시점과 지점부 사이의 중앙점(교량 시점에서 32.5m 떨어진 지점)의 응력 변동이 크다는 것을 알 수 있었다. 이에 대한 기존 교량의 내민 슬라브와 주형에 보강이 필요함을 확인하여 보강대책을 수립하였고 보강 후 가교와 기존 교량의 피로 안정성 검토를 다시 수행 하여, 도로교 설계 기준의 허용 피로 응력에 만족함을 확인하였다.

Abstract During a construction of a road, a temporary bridge is often connected to a existing bridge. In this case, a fatigue stability problem, which was not considered in the design of the bridge, can be occurred in the main girder of the existing bridge due to the vehicle load direction change. In this study, the fatigue stability of the main girder and cantilever slab of the bridge was tested with the allowable fatigue stress of the design specifications of the road bridge. The big stress change was occurred at 55m away from the support, and the middle of the span. Furthermore, the excess of the allowable fatigue stress of the design specifications of the road bridge was confirmed at the cross section. The bridge after the reinforcement was tested for the fatigue stability, and it was confirmed that the bridge is safe.

Key Word : Vehicle load, Allowable fatigue stresses, Fatigue stability examination

1. 서론

지속적으로 그 크기가 변화하는 반복하중은 과도하게 작용하면 부재의 접합부에는 피로 손상이 발생하고 이로 인해 구조물에 심각한 손상이 야기될 수 있다. 즉 피로에 의한 손상은 구조물의 갑작스런 붕괴, 취성파괴까지도 유발할 수 있다. 이에 국내에서는 1996 개정된 시방서에서는 반드시 피로검토를 수행토록 규정하였고 구조물의 종류와 구조 상세에 따른 응력범주, 응력반복 횟수에 따른 허용 피로 응력과 응력범주(도.설 3.3.13)를 제시 하였다. 도로교설계기준 3.3.4절에서 각 구조상세 및 하중 재하구

조(다재하경로구조, 단재하경로구조) 그리고 발생빈도에 따른 허용 피로 응력 범위가 제시 되어 있다[1]. 본 연구에서는 평택호에 배수갑문이 신설되어 기존도로의 통행이 불가능해짐에 따라 공사기간동안 교통 통행에 지장이 없도록 평택호 대교의 측면에 접하는 우회도로를 건설하게 되었다. 이때 기존 교량과 접속부의 가교 설치 시 기존 교량의 하중 시스템의 변경으로 인한 가교 접속 구간의 주형들에 발생응력들의 변화가 예측되어 가교 접속 전과 후의 피로 검토 및 안전성 검토를 하였다[2].

*교신저자 : 이규세(gyusy@sunmoon.ac.kr)

접수일 09년 6월 25일

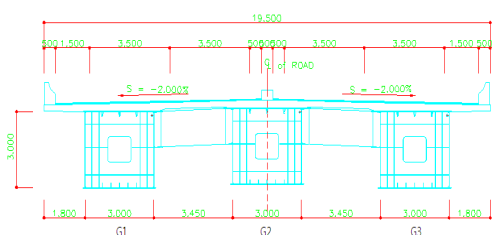
수정일 09년 08월 07일

게재확정일 09년 08월 19일

2. 검토 방향

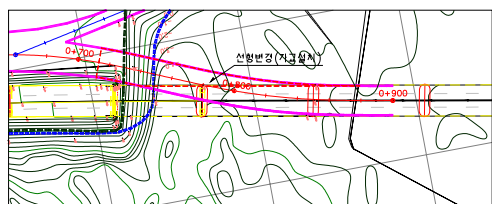
2.1 기존 교량 개요

평택호 대교는 합성형 STEEL BOX GIRDER 교이며 단면은 그림 1과 같다. 길이는 총 390m, 폭원, 19m, 3개의 STEEL BOX로 이루어져 있는데 넓이와 높이는 각각 3m이다. 국내 1등급 교량으로 주간선도로에 속하는 다재하 경로구조로써 도로교설계기준의 트럭하중 2백만회(DB-24)와 차로하중 50만회(DL-24)에 대해 설계 피로 응력을 검토 하였다.



[그림 1] 기존 교량 횡단면도

또한 그림 2와 같이 평택호 대교는 기존의 교량에 교축방향으로 직선 이동하던 차선을 가교를 접속함으로 차선이 슬라브 측면에서 시작되어 교축과 경사방향으로 변형되는 활하중이 발생하여 이에 대한 설계 피로 검토를 수행하였다.



[그림 2] 가교 접합 시 평면도

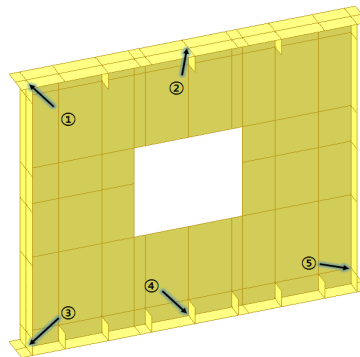
2.2 해석 모델링 하중 산정

가교 설치로 차선이 변경됨에 따라 활하중 이동 경로가 변경하므로 이에 따른 교량 상부 슬라브 및 주형의 정확한 거동과 부재력 파악이 필요하여 이들을 Plate 요소를 사용하여 3차원 모델링 해석을 하였다. 해석에 사용한 하중은 고정하중으로 슬라브 및 주형, 포장하중, 방호벽, 중분대 하중을 재하 하였고 활하중으로는 표준트럭하중(DB-24)과 차로하중(DL-24)를 재하 하였다. 슬라브의 자중 25.0kN/m²과 주형의 자중 78.5kN/m²는(도.설 2.1.2) 프로그램(Midas/Civil)내에서 self weight로 재하 하였고 포장하중은 23.0 kN/m²를(도.설 2.1.2) 재하 하였다. 또한

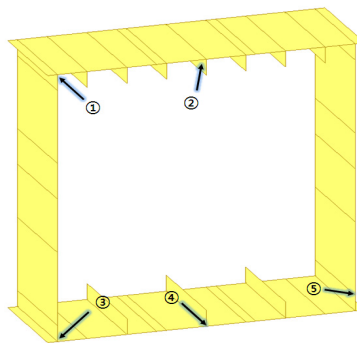
방호벽과 중분대는 가교 접속구간에 의한 철거를 고려해 방호벽은 교량 시점에서부터 120m를 제외, 중분대는 45m~120m 구간을 제외하였고 하중은 프로그램에서 등분포로 재하 하기 위해 0.5m의 단위 폭만큼 나누어 주었다. 그리고 활하중은 국내 1등급에 적용하는 표준트럭하중(DB-24)과 차로 하중(DL-24)를 (도.설 2.1.3) 재하 하였다[3].

2.3 설계 피로 응력 검토 단면과 위치에 따른 구조 상세

차선방향 변경에 따른 상부 주형에 최대한 분리하게 작용하는 거더(G3) 기준의 4차선 하중 경우로 해석을 하였는데 그 중 가교 접속부 방향의 주형(G1)의 최대, 최소 응력 범위가 크므로 응력 변동이 가장 컸다. 또한 가교 접속구간인 G1에서의 응력 변동 구간이 가장 큰 곳은 교량 시점에서 32.5m 떨어진 중앙부, 55m 떨어진 지점부였는데 그림 3과 4와 같이 두 곳의 단면 중 하중의 재하 방향 변경으로 인한 응력 변동이 크다고 예상되는 검토 구분을 도로교 설계 기준 응력의 종류 및 범주(3.3.13)에 따라 5가지로 구분하여 설계 피로 응력을 검토하였다[4].



[그림 3] 지점부(55m)단면



[그림 4] 중앙부(32.5m) 단면

2.4 주형의 설계 피로 응력 산정

모델링은 Midas/Civil을 사용하여 고정하중과 활하중(DB-24, DL-24)를 재하 하였다. 또한 각각의 지간장에 따라 충격 계수를 검토해본 결과 그 값이 가장 큰 0.159를 적용하였고 슬라브와 주형의 모델에 Rigid Link기능을 사용하여 일체 거동하도록 하였다. 실제 교량에는 각 주형의 지점부에 2개의 교량 받침(shoe)이 위치하고 있어 동일한 조건으로 각각의 주형(G1, G2, G3)에 2개를 지점으로 경계조건을 정의 하였다[5].

2.4.1 검토위치에 따른 구조 상세

주형의 설계 피로 응력 검토를 위해 표 1과 같이 도로교 설계 기준 응력의 종류 및 범주(도.설. 3.3.13)에 따라 주형 단면 5 구分的 응력 범주와 허용 피로응력을 선정하였다.

[표 1] 응력 검토 위치에 따른 상세와 응력 범주 (도.설 3.3.13)

구분	상세	응력 범주	허용피로 응력범위 (MPa)	
			DB 24	DL 24
1	플랜지와 복부판의 연속 필렛 용접부	B	112	203
2	플랜지와 수직 보강재의 용접부	C	91	147
3	플랜지와 복부판의 연속 필렛 용접부	B	112	203
4	플랜지와 수직 보강재의 용접부	C	91	147
5	수평 보강재 용접 끝부분	E	56	91

2.4.2 지점부 설계 피로 응력 검토

힘모멘트에 대한 설계 피로 응력 범위는 다음과 같은 식을 따른다.

$$\text{설계 피로 응력 범위} = \frac{\Delta M}{I_v} \times y$$

여기서,

$$\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$$

I_v = 합성 후 단면 2차 모멘트

y = 합성 후 도심으로부터의 거리

3. 해석 결과

3.1 설계 피로 응력 검토

3.1.1 지점부와 중앙부 설계 피로 응력 검토

표 3 지점부 설계 피로 응력 검토의 경우에 4번 구분에서 허용 피로 응력 범위를 초과하는 경우가 발생 하였다. 하지만 중앙부는 허용 피로 응력을 초과하는 구분은 없었다.

[표 2] 지점부 힘모멘트

구분	ΔM (KN m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)
	DB-24	DL-24		
1	90396.9	73827.6	5.5E+11	608.3
2	13253.6	10316.4		608.3
3	4237.1	4768.8		2391.7
4	58978.2	33956.5		2391.7
5	11132.9	8621.3		1215.5

[표 3] 지점부 설계 피로 응력 검토

구분	설계피로응력 범위 (MPa)		응력 범주	허용피로응력 범위(MPa)		판정
	DB-24	DL-24		DB-24	DL-24	
1	100.33	81.94	B	112	203	OK
2	14.71	11.45	C	91	147	OK
3	18.49	20.81	B	112	203	OK
4	257.37	148.18	C	91	147	NG
5	24.69	19.12	E	56	91	OK

[표 4] 중앙부 힘모멘트

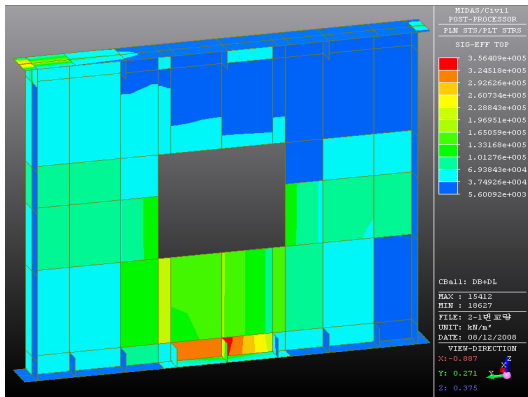
구분	ΔM (KN m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)
	DB-24	DL-24		
1	4812.7	4080.2	5.4E+10	608.3
2	1159.2	536.0		608.3
3	570.2	476.1		2391.7
4	553.9	448.3		2391.7
5	753.2	596.1		1215.5

[표 5] 중앙부 설계 피로 응력 검토

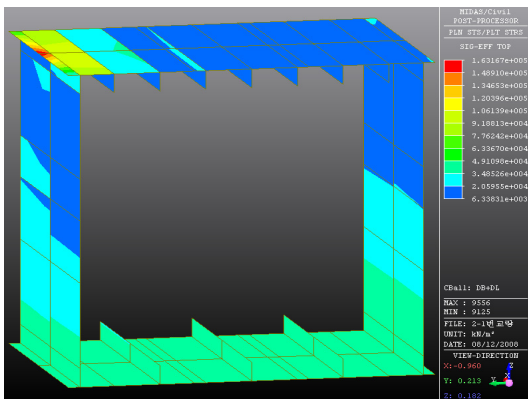
구분	설계피로응력 범위 (MPa)		응력 범주	허용피로응력 범위(MPa)		판정
	DB-24	DL-24		DB-24	DL-24	
1	54.14	45.9	B	112	203	OK
2	13.04	6.03	C	91	147	OK
3	25.22	21.06	B	112	203	OK
4	24.5	19.83	C	91	147	OK
5	16.93	13.4	E	56	91	OK

3.1.2 지점부와 중앙부 설계 피로 응력 결과 분석

검토 결과 그림 3 지점부 설계 피로 응력의 경우 1번 구분의 응력 값이 높게 나왔지만 허용 피로 응력 범위 내에 있고 또한 2, 3, 5 구분의 경우는 도로교 설계기준의 허용 피로 응력을 초과 하지 않았다. 하지만 4번 구분의 경우 허용 피로 응력을 초과하였는데 이는 접속 구간 방향의 주형에 활하중 재하 방향(주형 측면)이 변경되었고 4번 구분이 지점부의 경계조건 위치(2개의 교량받침)사이이기 때문에 압축과 비틀림이 복합적으로 작용하여 설계 피로 응력이 초과되었다고 판단된다. 그리고 그림 4의 중앙부의 설계 피로 응력은 지점부에 비해 모두 허용 피로 응력 범위 안에 속하게 되었다.



[그림 5] 지점부 설계피로응력



[그림 6] 중앙부 설계피로응력

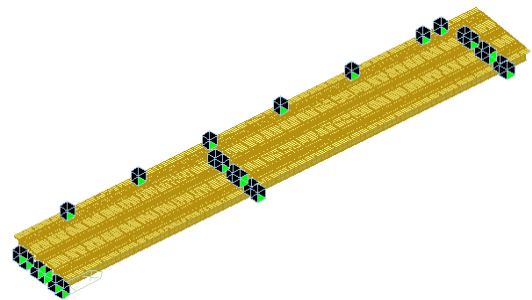
3.1.3 가교 접속부 방향 주형(G1)의 중앙부 피로 응력 분석 결과 및 보강

가교 접속부 방향 주형(G1)의 중앙부 피로 응력은 대부분의 위치가 도로교 설계기준의 허용 피로 응력 안에 속하게 되어 안전하다고 판단되나 지점부 주형에서 4번

구분이 설계 피로 응력이 가장 컸으며 허용 피로 응력 범위(도.설 3.3.12)를 초과하였다. 또한 대부분의 설계 피로 응력들이 크게 나와 이의 분산이 필요하다고 생각된다. 따라서 이에 따른 보강대책이 필요하다고 판단되어 가교 접속 구간의 슬라브 캔틸레버 단부에 20m 간격으로 기둥을 설치하여 보강을 하였고 이에 따른 경계조건변화에 따라 피로 해석을 수행하였다.

3.2 보강 후 해석 결과

설계 피로 응력을 분산시키기 위해 그림 7과 같이 가교가 접속되는 130m 구간의 슬라브 캔틸레버 단부에 20m 간격으로 기둥을 설치하여 피로 해석을 수행 하였다.



[그림 7] 20m 구간 보강재 설치

3.3 보강 후 설계 피로 응력 검토

3.3.1 지점부와 중앙부 설계 피로 응력 검토

보강을 한 후 표 6의 결과 값을 비교해 보면 허용 피로 응력 범위를 초과하였던 4구분의 설계 피로 응력이 현저히 감소 된 것을 볼 수 있었다. 그리고 표 5와 같이 중앙부의 설계 피로 응력은 보강 전과 같이 허용 피로 응력의 범위를 초과 하지 않았다.

[표 6] 지점부 휨모멘트

구분	$\Delta M(KN \cdot m)$		Iv (mm ⁴)	y (mm)
	DB-24	DL-24		
1	25921.6	21948.2	5.5E+11	608.3
2	8036.9	6361.0		608.3
3	20534.8	16192.3		2391.7
4	3008.8	2275.5		2391.7
5	12039.2	10127.3		1215.5

[표 7] 지점부 설계 피로 응력 검토

구분	설계피로응력 범위(MPa)		응력 범주	허용피로응력 범위(MPa)		판정
	DB-24	DL-24		DB-24	DL-24	
	24	24		4	4	
1	28.77	24.36	B	112	203	OK
2	8.92	7.06	C	91	147	OK
3	89.16	70.66	B	112	203	OK
4	13.13	9.93	C	91	147	OK
5	26.70	22.46	E	56	91	OK

[표 8] 중앙부 휨모멘트

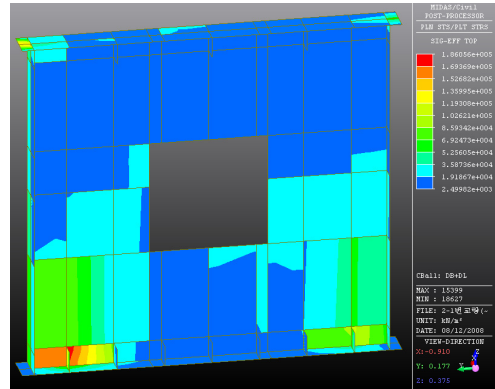
구분	△M (KN m)		Iv (mm ⁴)	y (mm)
	DB-24	DL-24		
1	2896.1	3084.6	5.4E+10	608.3
2	726.3	594.7		608.3
3	323.1	259.8		2391.7
4	291.4	228.8		2391.7
5	417.3	324.3		1215.5

[표 9] 중앙부 설계 피로 응력 검토

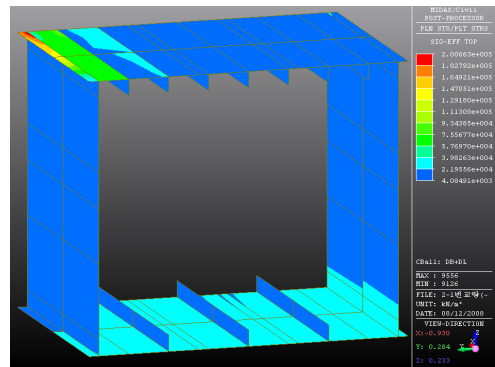
구분	설계피로응력 범위(MPa)		응력 범주	허용피로응력 범위(MPa)		판정
	DB-24	DL-24		DB-24	DL-24	
	24	24		24	24	
1	32.58	34.7	B	112	203	OK
2	8.17	6.69	C	91	147	OK
3	14.29	11.49	B	112	203	OK
4	12.89	10.12	C	91	147	OK
5	9.38	7.29	E	56	91	OK

3.3.2 지점부와 중앙부 설계 피로 응력 결과 분석

그림 7을 살펴보면 보강으로 인해 허용 피로 응력을 초과했던 4번 구간의 설계 피로 응력이 현저히 감소하였다. 하지만 3번 구간의 설계 피로 응력이 높아졌는데 이는 캔틸레버 부분에 지점보강을 하면서 기존 교량의 지지부와 보강재 지점의 중복되는 지지력으로 인한 압축력 증가가 원인으로 판단되지만 허용 피로 응력 범위를 초과하지 않았다. 그리고 그림 8의 중앙부 설계 피로 응력은 보강을 하지 않았을 때와 비교하여 약간의 감소하는 경향을 보였으며 모두 허용 피로 응력 범위 내에 속하게 되었다.



[그림 7] 지점부 설계피로응력



[그림 8] 중앙부 설계피로응력

3.3.3 보강에 따른 해석 결과 분석

대부분 구간의 설계 피로 응력들이 기둥의 설치에 따라 설치 전의 경우에 비해 많이 감소하여 허용 피로 응력 범위 내에 속하게 되었다.

4. 결론

아산만 방조제 배수 감문확장 공사로 인해 기존 평택호 대교에 가교를 접합하면서 기존의 차량 이동 구간이 아닌 캔틸레버 부분에 활하중을 재하 하게 되었다. 이에 따라 가교 접속 구간 방향의 주형(G1)에 설계 피로 응력 변동이 가장 컸으며, 그 중 교량 시점에서부터 55m 지점인 지점부와 교량 시점과 55m 지점부사이의 중앙부(교량 시점에서부터 32.5m 지점)의 설계 피로 응력이 가장 큰 것으로 판단되는 해석결과를 얻었다. 이에 따라 도로교설계기준의 허용 피로 응력 범위(도.설 3.3.12)와 비교 해보았는데 지점부 4구간의 설계 피로 응력이 허용 피로 응력 범위를 초과하는 결과가 발생하였다. 이에 따라 가교 접

속 시 접속 구간 방향 주형(G1)의 안전에 대한 보강이 필요하여 이 구간의 슬라브 캔틸레버 단부에 기둥을 20m 간격으로 설치하였다. 보강 후 기존 주형의 모든 응력은 허용 피로 응력 범위 내에 존재하게 되었고, 대부분 위치의 설계 피로 응력들이 감소했던 것으로 볼 때 캔틸레버 슬라브의 안정성에 큰 기여를 한다는 결론을 얻을 수 있었다. 하지만 시공 중 지속적인 계측 관리를 통해 응력 변화 시 이에 대한 보강을 실시하여야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 도로교 설계 기준 사단법인 한국도로교통협회, 2005.
- [2] 강영중, 김승준, 한백희, 최현수 “국내외 강구조물의 피로설계기준에 관한 연구” 한국강구조학회 학술발표논문집, 2007.
- [3] 제 19회 MIDAS 기술세미나 ‘강상판형교의 반복하중에 의한 피로해석, 2008.
- [4] 신동구, 권태형 박영석 “통행차량 특성을 반영한 강교량 피로설계트럭의 피로파괴 신뢰도 해석” 한국강구조학회 논문집, 2007.
- [5] 경갑수, 신동호 박영진 “강바닥판의 피로 손상 대책 및 보강 방법” 한국강구조학회지, 2006.

이 승 열(Sung-Yol Lee)

[준회원]



- 2008년 2월 : 선문대학교 토목공학과 (공학사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 대학원 재학중.

<관심분야>

구조 공학, 강구조, 구조 해석

이 규 세(Gyu-Sei Yi)

[정회원]



- 1979년 9월 : 고려대학교 토목공학과(공학사)
- 1983년 8월 : 고려대학교 토목공학과(공학석사)
- 1996년 12월 : Utah State Univ. 토목공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

구조공학, 콘크리트 구조, 구조해석