

플레이트 거더교의 수직 보강재 구조상세에 관한 연구

A Study on the Detail of Vertical Stiffener of Plate Girder

경 갑 수¹⁾

By KYUNG, Kab Soo

ABSTRACT : The stress patterns of vertical stiffener of plate girder bridge were examined by existing data of actual measurement stress for steel bridges and the structural details of vertical stiffener of plate girder bridge having sought rationalization and abbreviation were investigated by $1/2$ bridge model. As the results, the out-of-plane stress occur in the upper parts of vertical stiffener and fatigue cracks by the action of alternative stress is apt to occur in web plate of lower parts vertical stiffener. Also, the gap between lower parts of vertical stiffener and lower flange of plate girder bridge seeking rationalization and abbreviation is effective to adopt 100mm.

1. 서 론

강교량의 유지관리에 있어서 피로손상의 원인을 규명하는 것은 손상의 보수, 보강을 수립하는데 있어서 대단히 중요한 역할을 한다. 피로손상은 주로 부재의 연결부에서 발생하는데, 그 손상은 용접 이음부의 내부결함(블로우 홀, 용입불량, 융합불량, 슬래그 혼입 등) 및 외부결함(언더컷, 덧붙임, 비드형상, 노치 등)에 의한 응력집중과 교량의 구조적 특성에 의한 국부응력, 면외응력 및 2차응력 등의 중복작용에 의해 발생된다.

현재 전국 도로교의 구성분포는 표 1과 같다¹⁾(이 표는 지간 10m 이상의 교량을 대상으로 한 분

포이나 국도 및 고속도로의 경우는 지간 10m 이하의 교량도 포함되어 있다.). 피로손상에 의한 피로균열이 유지관리의 중요한 문제로 되는 강교의 비율은 전체의 약 10% 정도이나, 지간이 길어질수록 강교의 비율이 점점 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 강교량 가운데는 플레이트 거더교가 약 1/3 정도를 차지하고 있어 강교량의 유지관리에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 이 플레이트 거더교의 피로균열은 그림 1과 같이 주로 주형과 직각방향으로 놓여 있는 2차 부재의 연결부위에서 발생한다. 대표적인 예로서는 수평 브레이싱이 설치되는 수직 보강재, 가로보가 설치되는 리브 플레이트의 연결부, 수평 브레이싱이 설치되는 거세

1) 정회원 : Kawada Industries, Inc. 기술본부 연구실, 공학박사

표 1. 도로교의 구성분포(1995년 12월말 기준)

교량형식	전체비율 (%)	지간별 분포 비율(%)									
		20m	40m	60m	80m	100m	150m	200m	300m	400m	500m
RC슬래브+RC중공슬래브	57.99	55.75	2.08	0.09	0.01	0.04	0.01	-	-	-	-
RC T형	11.00	10.62	0.35	0.03	-	-	-	-	-	-	-
PC I형	11.56	1.97	9.45	0.10	0.04	-	-	-	-	-	-
PC슬래브+PC중공슬래브	0.66	0.29	0.37	-	-	-	-	-	-	-	-
라이덴	9.97	9.87	0.08	0.11	-	-	-	-	-	-	-
프리프레스	1.32	0.06	0.78	0.48	-	-	-	-	-	-	-
기타(RC박스+PC박스+케르비)	0.35	0.05	0.11	0.17	0.02	-	-	-	-	-	-
계	92.8	78.53	13.21	0.96	0.07	0.04	0.01	-	-	-	-
플레이트 거더	3.21	0.01	1.25	1.63	0.20	0.02	0.01	-	-	-	-
강 I형	2.76	2.53	0.19	0.04	-	-	-	-	-	-	-
박스	0.92	0.11	0.16	0.54	0.03	0.01	0.06	-	0.01	-	-
기타(트러스+아치+사장교+현수교)	0.28	0.08	0.05	0.06	0.03	0.01	0.02	-	0.01	0.01	0.01
계	7.2	2.82	1.64	2.27	0.26	0.04	0.09	-	0.02	0.01	0.01
총 계	100	81.35	14.86	3.25	0.33	0.08	0.10	-	0.02	0.01	0.01

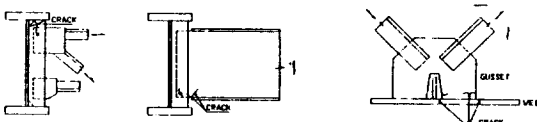


그림 1. 플레이트 거더교의 피로손상의 일례

트판 등의 부위를 들 수가 있다. 이러한 부위의 피로균열들은 주부재로 진전할 가능성이 있으므로

유지관리 측면상 특히 주의를 기울여야 하는 균열 형식들이다.

이러한 피로균열 형식중 플레이트 거더교의 경우는 그 구조형식상 수직 보강재 부위에서 발생하는 피로균열이 높은 비율을 차지하고 있다.²⁾ 따라서 플레이트 거더교의 수직 보강재 부위의 피로균열의 발생 원인 및 그 형식을 조사하고, 그 구조상세를 검토하는 것은 유지관리 측면상 대단히 유효하리라고 생각한다.

본 연구에서는 플레이트 거더교에 대한 기존의 내하력 측정 조사로부터 수직 보강재 부위의 응력 특성을 조사하며, 생략화, 합리화를 도모하여 주형수를 적게 한(이하 소수 주형이라고 부르는 것으로 한다) 플레이트 거더교의 수직 보강재의 구조상세를 검토하고자 한다. 여기서 생략화, 합리화라고 하는 것은 강증량의 최소화에 관점을 둔 기존의 교량설계와는 다른 관점에 의해 설계된 교량을 말한다. 즉 교량의 구조형식의 개선에 의해 생략 가능한 2차 부재의 생략화, 하부 기초에 영향을 주지 않는 한도 내의 약간의 강증량 증가를 허용하는 1블럭 1단면의 도입에 의한 주형 단면변화의 감소 등에 의해 제조, 가설 및 유지관리의 합리화를 도모한 교량형식을 말한다.

표 2. 내하력 측정 교량의 제원

교량명	교량형식	교량 제원					개통년도	보강이력	내하력 측정	측정년도	균열발생상황
		지간(m)	주형간격(m)	가로보(m)	교폭(m)	거더높이(m)					
A	3주형 판형교 고속도로 2차선 상행	30	2@4=8	6@5=30	12.8	1.8	1968	1972년 세로보 증설 수직 브레이싱의 사재 증설	교통류 측정에 의한 값을 20t 트럭하중으로 환산	1985	수직 브레이싱 연결부의 수직 보강재 상단부
B	4주형 판형교 고속도로 2차선 상행	30	3@3.4=10.2	6@=30	12.6	1.6	1968	1982년 세로보 증설 수직 브레이싱의 사재, 하지재 증설	교통류 측정에 의한 값을 20t 트럭하중으로 환산	1982	수직 브레이싱 연결부의 수직 보강재 상단부
C	3주형 판형교 간선도로 2차선 상행	20	2@3.15=6.3	4@4.85=19.4	8.5	1.2	1970	없음	정적(20t트럭하중) 교통류 측정	1987	거제사항 없음
D	5주형 판형교 4차선 상하행	26.9	4@3.85=15.4	6@4.483=26.9	17.6	1.5	1960	없음	정적, 동적(20t트럭하중) 교통류 측정	1984	가로보의 연결 리브 상단부 수직 브레이싱의 연결부의 수직 보강재 상단부

표 3. A, B 교량에 대한 수직 보강재 응접부 부근의 응력 측정결과

(단위 : kg/cm²)

측정위치	A교량			B교량						
	보강전(세로보 증설전)			측정위치	보강전(세로보 증설전)			보강후(세로보 증설후)		
	주행차선	추월차선	응력범위		주행차선	추월차선	응력범위	주행차선	추월차선	응력범위
G1-2	-660	0	660	G1-2	-490	30	520	-320	-20	320
G2-1	-260	260	520	G2-1	510	-20	530	220	20	220
G2-3	-420	390	810	G2-3	-870	-60	870	-110	-320	320
G3	490	0	490	G3-2	-1310	490	1800	-480	280	760
				G3-4	490	-1110	1600	290	-170	460
				G4-3	-40	-1100	1100	-160	-380	380

- (주) 1. 응력값은 랜덤하중에 대한 값을 20ton하중으로 환산하여 표시
 2. 들보명 뒤의 숫자는 수직 보강재가 설치되어 있는 들보의 방향을 표시
 3. 측정치는 수직 보강재 단부측의 최대 주응력값만을 표시

표 4. C, D 교량에 대한 수직 보강재 응접부 부근의 응력 측정결과

(단위 : kg/cm²)

측정위치		C교량				D교량				
		수직 브레이싱 설치부 수직 보강재		일반적인 중간 수직 보강재		수직 브레이싱 설치부 수직 보강재		정차	동적	랜덤
		재하위치 A	재하위치 B	재하위치 A	재하위치 B	정차	동적			
		스캘럽부	단부	스캘럽부	단부	단부	단부	(20ton)	(20ton)	교통류
G1-2	전	233	621	110	237	-37	-33	82	88	147
	면	-564	-81	-263	-21	-293	-321	-128	-172	-420
	후	-70	0	-15	-12	-23	-19	0	11	42
G2-1	전	-530	-117	-189	-45	-225	-239	-473	-445	-945
	면	130	335	25	66	21	6	359	235	315
	후	-220	-104	-70	-21	-9	-21	-573	-500	-882
G2-1	전	-37	-86	-17	-19	-15	-10	88	139	168
	면	-305	-264	-79	-65	-126	-80	-506	-441	-966
	후									

- (주) 1. C교량에서의 재하위치 A는 수직 브레이싱이 설치되어 있는 곳에 하중을 재하
 C교량에서의 재하위치 B는 가로보가 설치되어 있는 곳에 하중을 재하
 2. C교량에서의 랜덤 교통류하에서의 수직 보강재의 최대응력값은
 수직 브레이싱 설치된 경우는 1900kg/cm²
 일반적인 중간 수직 보강재에서는 1700kg/cm²
 3. C, D교량 모두 재하차량의 통과 위치는 거더 1과 2 사이에 위치
 4. 들보명 뒤의 숫자는 수직 보강재가 설치되어 있는 거더의 방향을 표시

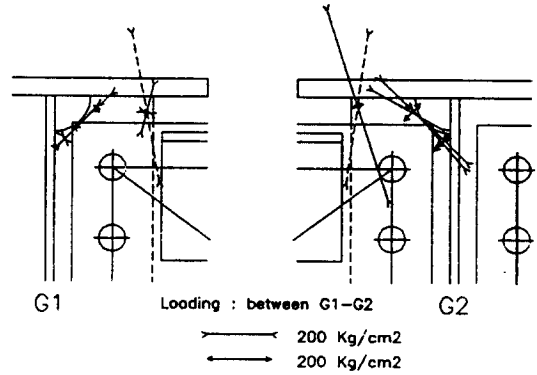


그림 2. 측정된 주응력의 일례

2. 수직 보강재의 실동응력

기존 연구에서 플레이트 거더교 수직 보강재 부위의 피로손상의 검토는 주로 수직 보강재 상단부를 대상으로 실시하였다. 이 수직 보강재의 피로 균열은 주로 수직 보강재 상단부와 위플랜지와의 용접 이음부에서 발생하는데, 피로손상의 발생은 주로 수직 브레이싱, 가로보에 의한 교축 직각방향의 면외외력과 상판 처짐에 의한 2차 변형에 기인한다. 이 상세부의 피로손상 원인을 보다 상세히 규명하기 위해 공용중인 교량을 대상으로 내하력 측정을 실시한 기존의 연구^{3,4,5)}를 정리하였다. 표 2에 내하력 측정을 실시한 교량의 제원을 나타냈다. 표 3 및 표 4는 측정 결과 중에서 본 연구의 대상이 되는 수직 보강재 부위만의 응력을 나타낸 것이다. 3축 게이지에 의해 측정된 변형률 값으로부터 계산된 주응력의 일례를 나타낸 것이 그림 2이다.

내하력 측정 대상 교량의 공용년수, 강성 차이 등의 요인으로 그 절대값 자체를 비교하기는 어려우나 다음과 같은 경향을 얻을 수 있었다. 교통류의 특성, 거더 수 등에 관계 없이 수직 보강재 상단 외단부(스캘럽과 반대측의 단부)의 주응력은 연직방향에 가까우며, 교축방향의 면외 휨응력이 작용한다. 또한 최외측 거더의 복부판 내측에 설치된 수직 보강재 부위는 복부판의 휨응력에 의해

하중 작용위치에 따라 면외방향의 교변응력이 작용하게 되므로 피로균열이 발생하기 쉬운 상세부인 것을 알 수 있었다.

3. 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형의 플레이트 거더교에 관한 검토

수평, 수직 브레이싱 및 가로보 등의 다수의 2차 부재를 갖는 기존 플레이트 거더교와는 달리 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형의 플레이트 거더교의 경우는 수직, 수평 브레이싱이 생략되므로 하중분배는 가로보만에 의해 행해지며, 복부판의 좌굴은 복부판에 설치된 수직 보강재에 의해 방지된다. 그런데 소수 주형의 플레이트 거더교의 수직 보강재의 설치에 관한 현 시방서⁶⁾의 구조세목은 다음과 같다.

(1) 지점부의 수직 보강재와 플랜지는 용접하여야 한다.

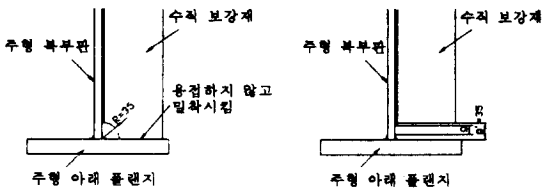
(2) 지점이외의 수직 보강재 설치방법은 다음 규정에 의한다.

① 수직 보강재와 압축 플랜지는 용접하여야 한다.

② 하중 집중점의 수직 보강재와 인장 플랜지는 원칙적으로 용접하지 않고 밀착시켜야 한다.

③ 하중 집중점 이외의 수직 보강재와 인장 플랜지는 적당한 간격(약 35cm)을 띄어야 한다.

④ 바닥판(상판)에 접하는 인장 플랜지와 수직 보강재는 앞의 규정에 관계없이 용접하여야 한다.



(a) 하중집중점

(b) 하중집중점 이외

그림 3. 수직 보강재 하단의 구조상세

(2)항의 ②는 피로를 고려한 것이며, ③은 방청이나 시공성을 배려한 것이다. 이 ②, ③의 구조세목을 도시한 것이 그림 3이다

그런데 高橋⁷⁾ 등은 2주형의 플레이트 거더교에 관한 연구에서 하중 집중점에서의 수직 보강재와 인장 플랜지의 연결부에 간격(이하 간격 g')을 두어도 주형 복부판에는 유해한 응력이 발생하지 않는다고 보고하였다. 또 강교 제작에 있어서의 부재 가공 등의 생략화, 용접의 시공성 및 피로에 대한 고려를 배려한다면 간격 g' 를 가능한 크게 두는 것이 바람직하다. 그러나 간격 g' 를 너무 크게 취하면 주형 복부판의 휨에 의해 수직 보강재 하단부의 돌림용접부 근방에 피로에 유해한 응력이 발생할 수도 있다. 그러므로 강교량의 제작 및 유지관리의 생략화 및 합리화를 고려하는 측면에서는 이러한 하중 집중점의 수직 보강재의 간격 g' 의 검토가 필요하리라고 사료된다.

3.1 시험체

시험체는 실제 교량의 1/2 모형으로 제작하였다. 시험체의 구조제원 및 일반도를 표 5 및 그림 4에 나타냈다.

표 5. 시험체의 구조제원

		단위	실제 교량	1/2 모형
주형	주형 지간	m	71.0	10.0
	상하 플랜지	mm	700×49	350×25
	복부판	mm	2900×16	1450×9
	수직 보강재	mm	320×25	160×16
상판	상판 지간	m	6.0	3.0
	상판 두께	cm	27.0	20.0
	현치	cm	10.0	4.0
가로보	사이즈	mm	900×300×16×28×18	플랜지 : 200×12 복부판 : 426×9
	강성	cm ⁴	404000	28825

주형과 주형 사이에는 단부 가로보를 2개, 중간 가로보를 1개 설치하였다. 주형과 가로보의 연결부는 기존의 연구⁸⁾로부터 그림 5와 같이 커넥션 플레이트와 인장볼트를 병용한 연결구조를 채택

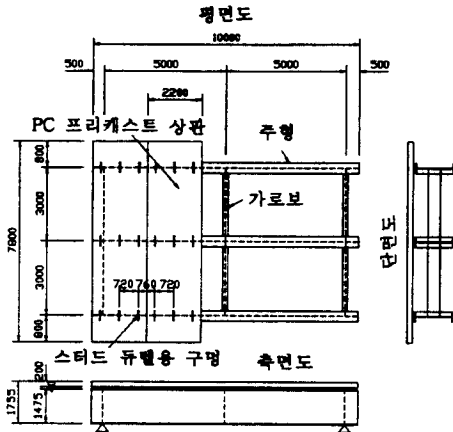


그림 4. 시험체의 일반도

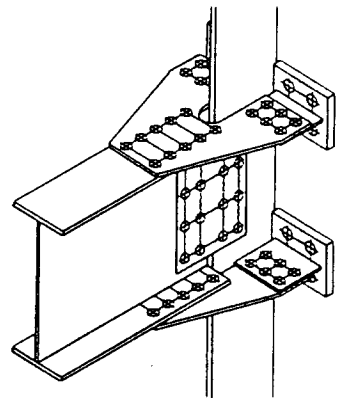


그림 5. 인장볼트에 의한 가로보와 주형의 연결구조

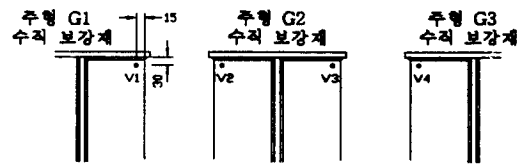
하였으며, 인장볼트로는 M20 고장력 볼트를 사용하는 것에 의해 실제 교량에 가까운 구조로 구성하였다.

가로보가 설치되는 수직 보강재 하단부의 구조 상세는 수직 보강재 하단부와 아래 플랜지와의 응력특성을 파악하기 위해 2가지 형식을 채택하였다. 주형 G1 및 G3의 수직 보강재는 아래 플랜지와 100mm의 간격을 띄어 설치하였으며, G2는 아래 플랜지와 수직 보강재를 용접에 의해 일체화시켰다. 중간 수직 보강재는 아래 플랜지와 35mm 간격을 띄어 1.25m 간격으로 가로보 사이에 설치하였다.

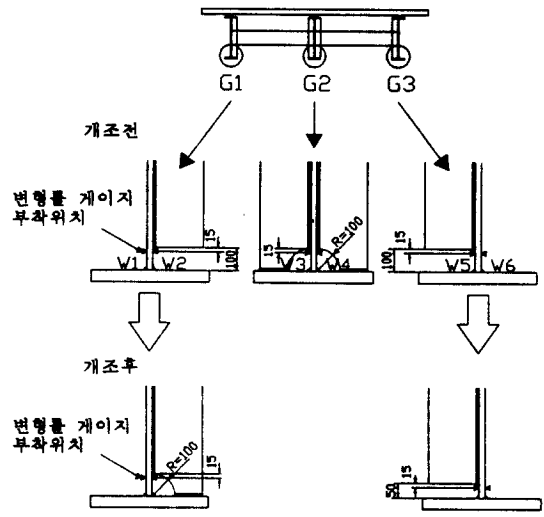
상판은 실제 교량과 마찬가지로 PC 프리캐스트 상판을 채용하였다. 각 판넬의 이음부 구조는 시공 간략화를 위해 루프이음을 설치하지 않고, PC 강재에 의한 교축방향의 체결을 행하였다. 또한 PC 프리캐스트 상판은 헌치부를 두지 않고, 무수축 모르타르로 하여 상판의 회전중심을 조절하였다. 또 상판의 부착력이 수직 보강재 상단부의 응력에 미치는 영향을 검토하기 위하여 G1 주형의 위플랜지와 상판 사이에 비닐시트를 깔아 부착력을 제거시켰다.

3.2 변형률 게이지 부착위치

변형률 게이지 부착위치는 그림 6과 같다. ●표는 각 부재의 강판을 평면으로 본 부착위치, ▲는 각 부재의 강판을 단면으로부터 본 부착위치를 나타낸다. 또한, 그림 4에는 수직 보강재 하단부의



(a) 수직 보강재 상단부



(b) 수직 보강재 하단부

그림 6. 변형률 게이지 부착위치

상세 검토를 위한 변형률 게이지 부착위치도 함께 표시하였다. 여기서는 본 논문의 대상 부위만을 나타낸다.

3.3 정적 재하시험

정적 재하시험은 시험체의 전체 거동 및 각 부위에 발생하는 응력을 파악하기 위하여 실시하였다. 정적 재하시험은 그림 7에 나타난 재하위치에 10ton 하중을 순서적으로 재하시키는 영향면 재하에 의해 실시하였다. 이 영향면 재하에 의해 시험체에 가장 큰 응력을 발생시키는 재하위치를 파악할 수 있다. 이 재하하중 10ton에 의해 발생된 시험체 상판 아래 방향의 회전각은 실험량에 25ton 하중이 재하될 때의 상판의 최대 회전각과 일치한다. 정적 재하시험시는 용접에 의한 잔류응력과 재하하중에 의한 응력과의 중첩에 의해 응력 재분포가 발생할 수 있으므로, 이를 방지하기 위해 하중 증가에 의한 변형률값이 직선적으로 변화하는 것을 확인하면서 하중을 단계적으로 10ton까지 증가시켰다.

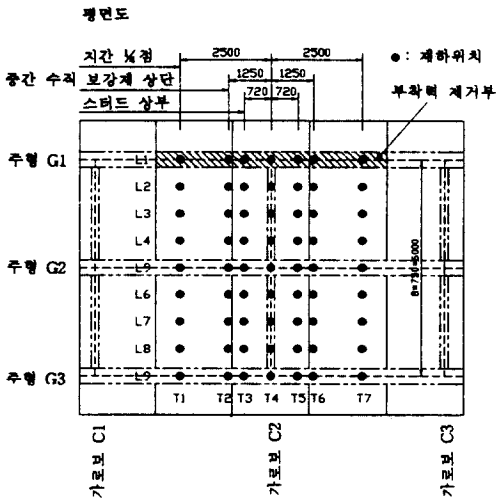


그림 7. 정적시험의 재하위치

표 6에 가로보가 설치된 수직 보강재 상단부의 연직방향 응력을 나타냈다. 이는 2장에서서의 기존 연구 결과로 부터 상단부의 주응력이 연직방향에 거의 일치한다는 것에 기초한 것이다. 응력은 최대 150kg/cm² 정도로 비교적 작은 것을 알 수 있다. 또, 재하위치에 따른 응력의 변동치도 표 3 및 표 4에 나타난 기존 플레이트 거더교의 응력보다 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이러한 응력감소는 수직 브레이싱 등의 2차 부재의 감소, 가로보의 단면증가에 의한 강성증가 등의 요인에 따른 면외방향의 외력감소에 기인된 것으로 사료된다. 이로부터 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형교의 수직 보강재는 피로에 대해서도 유리하다고 말할 수 있을 것이다. 또한 상판과의 부착력을 제거시킨 G1 주형의 최대 발생응력은 주형 G2, G3

표 6. 가로보가 설치된 수직 보강재 상단부의 연직방향 응력 (단위 : kg/cm²)

하중재하위치	V1	V2	V3	V4
	부착력 무	부착력 유		
L1-T4 주형 G1 상	14.7	4.2	-4.2	18.9
L2-T4	-56.7	-79.8	29.4	18.9
L3-T4 상판 지간 중앙	-54.6	-132.3	37.8	2.1
L4-T4	-44.1	-136.5	33.6	-2.1
L5-T4 주형 G2 상	-18.9	-33.5	-50.4	-29.4
L6-T4	2.1	54.6	-144.9	-90.3
L7-T4 상판 지간 중앙	2.1	56.7	-138.6	-147.0
L8-T4	8.4	35.7	-81.9	-102.9
L9-T4 주형 G3 상	10.5	-2.1	2.1	4.2

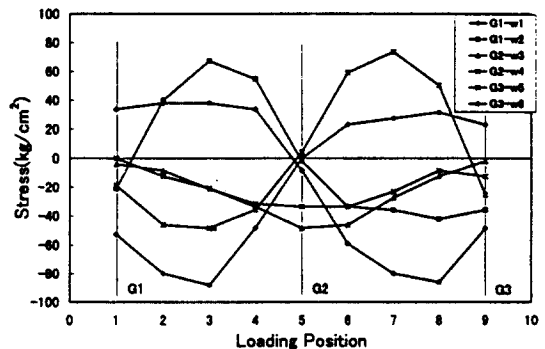


그림 8. 가로보 설치부 수직 보강재 하단부 부근의 주형 북부분의 연직방향 응력

의 최대응력의 약 30% 정도이다. 이로부터 상판과 주형의 부착력을 제거하는 것에 의해 수직 보강재 상단부에 발생하는 연직방향 응력이 크게 감소하는 것을 알 수 있었다.

그림 8에 정적 재하위치에 따른 가로보 설치부의 수직 보강재 하단부 부근의 주형 복부판의 연직방향 응력을 나타냈다. 그림에 나타난 응력값들은 하중의 재하위치가 그림 7의 T4축, 즉 하중이 가로보가 설치되어 있는 부분에 재하된 경우만을 나타낸 것이다. 응력은 최대 90kg/cm² 정도인 것을 알 수 있다. 그러나, 재하위치에 따른 교번응력을 고려한다면 응력은 최대 160kg/cm² 정도이다.

그림 8로부터 각 주형의 수직 보강재 하단부 부근의 복부판 응력은 수직 보강재와 아래 플랜지와 연결상세와 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있었다. 즉, 수직 보강재와 아래 플랜지를 용접한 G2 주형의 경우는 하중이 G2 주형 바로 위에 재하될 때 가장 크며, G2 주형으로부터 멀어짐에 따라 감소해 가는 경향을 나타냈다. 그러나 수직 보강재와 아래 플랜지가 100mm의 간격을 갖는 G1, G3 주형의 경우는 각 주형의 외부와 내부에서 응력의 부호가 반대로 되어 판에 휨응력이 발생하고 있는 것을 알 수 있었으며, 그 값은 주형과 주형간의 상판 중앙에 하중이 재하될 때 가장 큰 것을 알 수 있었다. 또한 G1, G3 주형에서의 재하위치의 변화에 따른 그 값들의 변화경향은 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 이로부터 복부판의 휨응력은 주로 상판의 처짐에 따른 복부판의 변형이 주원인인 것을 알 수 있었다.

표 7에 가로보를 설치하지 않은 부분의 중간 수직 보강재 상단부의 연직방향 응력을 나타냈다. 표에는 최대응력의 발생이 예상되는 재하위치에 대한 값들만을 나타냈다. 이 중간 수직 보강재에

표 7. 가로보를 설치하지 않은 부분의 중간 수직 보강재 상단부의 연직방향 응력

	G1		G2	
재 하 위치	L2-T2	L2-T3	L6-T2	L7-T2
응력치(kg/cm ²)	-151.2	-134.4	-140.7	-105.0

서의 응력은 최대 150kg/cm² 정도이며, 그 값들은 가로보를 설치한 수직 보강재 상단부의 발생응력과 거의 같은 경향을 나타내고 있다.

3.4 수직 보강재 하단부 구조상세에 관한 검토 (가로보 설치부)

표 8은 Fisher의 보고에 기초하여 계산한 수직 보강재 하단부의 치수를 나타낸 것이다. 수직 보강재 하단과 아래 플랜지와와의 간격은 1/2 모형에서는 50mm 정도, 실제 교량에서는 100mm 정도가 최적으로 되는 것을 알 수 있다(표중의 기호에 대해서는 그림 2를 참조). 이것을 고려하여 간격 100mm를 갖는 1/2 모형 시험체의 간격을 그림 4(b)와 같이 50mm로 개조하여 응력 측정을 실시하였다. 또 수직 보강재 하단에 스킵을 두어 아래 플랜지와 용접한 경우에 대해서도 응력 측정을 실시하였다.

표 8. 수직 보강재 하단부의 치수

(단위 : mm)

	판두께			필렛용접 사이즈			간격 g		간격 g'		
	복부판	아래 플랜지	수직 보강재	아래 플랜지	수직 보강재	합계	g=(4~6)·tw		g'=g+Σs		
							4·tw	6·tw	4·tw+Σs	6·tw+Σs	
1/2 모형	tw	tf	ts	sf	ss	Σs	4·tw	6·tw	4·tw+Σs	6·tw+Σs	
	9	25	16	8	6	14	36	54	50	68	
	12	22	25	7	8	15	48	72	63	87	
	14	22	25	7	8	15	56	84	71	99	
	14	38	25	9	8	17	56	84	73	101	
	15	27	25	8	8	16	60	90	76	106	
	실제교량	15	37	25	9	8	17	60	90	77	107
		16	26	25	8	8	16	64	96	80	112
		16	59	25	11	8	19	64	96	83	115
		17	53	25	11	8	19	68	102	87	121
17		75	25	13	8	21	68	102	89	123	
18		75	25	13	8	21	72	108	93	129	

재하위치 T4축에 10ton 하중 재하시의 측정 응력의 결과를 표 9에 나타냈다. 수직 보강재 하단부의 개조에 의해 수직 보강재와 아래 플랜지의 간격을 50mm로 한 경우의 응력범위는 간격을 100mm한 경우의 60% 정도이며, 수직 보강재와

아래 플랜지를 용접한 경우는 응력이 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있었다. 이로부터 수직 보강재 하단부 부근의 주형 복부판의 응력은 수직 보강재 하단부의 구조상세와 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있었다.

표 9. 수직 보강재 개조 전후의 수직 보강재 하단부 부근의 주형 복부판의 응력

(단위 : kg/cm²)

		개조전			개조후		
		최대응력	최소응력	응력범위	최대응력	최소응력	응력범위
주형 G1측	W1	28.4	-86.1	114.5	4.2	-18.9	23.1
	W2	66.2	-30.5	96.7	0.0	-6.3	6.3
주형 G2측	W3	-2.1	-48.3	46.2	-	-	-
	W4	0.0	-33.6	33.6	-	-	-
주형 G3측	W5	71.4	-46.2	117.6	33.6	-38.9	72.5
	W6	37.8	-86.1	123.9	23.1	-44.1	67.2

표 10. 수직 보강재 하단부에 대한 피로검토

	판두께			재용 간격 g'	응력범위 $\Delta\sigma$ (60ton 상당)			피로한계 $\Delta\sigma_e$	판형	
	부부판 플랜지	아래 보강재	수직 보강재		모형 응력 범위 $\Delta\sigma_s$	판두 께비① 실교량/2 /모형	간격 비② 실교량/2 /모형			응력 범위 $\Delta\sigma_s /$ ①·②
$1/2$ 모형	tw	lf	ts	mm	kg/cm ²	%	%	kg/cm ²	kg/cm ²	
	mm	mm	mm	mm	kg/cm ²	%	%	kg/cm ²	kg/cm ²	
실제교량	9	25	16	50	217.5	-	-	326.5	-	
	12	22	25	100	217.5	15	0.67	1.00	326.5 OK	
	14	22	25	100	217.5	15	0.78	1.00	326.5 OK	
	14	38	25	100	217.5	17	0.78	1.00	326.5 OK	
	15	27	25	100	217.5	16	0.83	1.00	326.5 OK	
	15	37	25	100	217.5	17	0.83	1.00	326.5 OK	
	16	26	25	100	217.5	16	0.89	1.00	326.5 OK	
	16	59	25	100	217.5	19	0.89	1.00	326.5 OK	
	17	53	25	100	217.5	19	0.94	1.00	326.5 OK	
	17	75	25	100	217.5	21	0.94	1.00	326.5 OK	
18	75	25	100	217.5	21	1.00	1.00	326.5 OK		

수직보강재 하단의 돌림용접부 근방의 피로검토는 주형의 교축방향에 관한 피로강도 등급이 E 등급이며, 60ton 하중에 대한 응력범위가 일정진폭 응력의 한계값인 633kg/cm²를 하회하므로 충분히 안전하다고 판단하여 연직방향의 응력만을 대상으로 실시하였다.

Fisher의 보고⁹⁾에 의하면 수직 보강재 하단부의

응력은 간격 g'에 비례하고, 주형 복부판의 판두께에 반비례한다. 이를 근거로 하여 실제 교량 단면에 대한 응력범위를 산출하였다. 60ton 트럭하중에 상당하는 하중에 대한 모든 단면의 응력진폭이 이 상세 부위의 JSSC¹⁰⁾의 피로강도 등급인 G등급(거세트 용접이음, 다듬질 안함)의 피로한계 응력을 넘지 않도록 하여 그 간격을 구하였다. 그 결과를 나타낸 것이 표 10이다. 이 표에 의해 제작 및 유지관리의 합리화를 고려한다면 수직 보강재와 아래 플랜지와의 최대간격은 100mm로 하는 것이 좋은 것임을 알 수 있었다. 그러나 교량에 따라 주형 높이와 가로보의 구조 등이 달라지므로 본 검토 결과를 모든 교량에 적용시키기에는 무리가 있으므로 다른 교량 형식에 대해서는 별도의 검토를 수행할 필요가 있으리라 생각된다.

4. 결 론

기존의 플레이트 거더교에 대한 내하력 측정 조사로부터 수직 보강재의 응력 특성을 조사하고, 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형의 플레이트 거더교의 수직 보강재의 구조 상세를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 플레이트 거더교의 수직 보강재 상단부에는 면외 방향의 휨응력이 발생하며, 최외측 거더의 수직 보강재 하단의 복부판은 휨응력 및 하중작용 위치에 따른 교변응력의 발생에 의해 피로균열이 발생하기 쉽다.
- (2) 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형의 플레이트 거더교의 수직 보강재 하단과 인장 플랜지와의 간격은 피로설계상 최대 100mm까지 허용할 수 있다.
- (3) 생략화, 합리화를 도모한 소수 주형의 플레이트 거더교의 수직 보강재 상, 하단 부위의 응력값은 기존의 플레이트 거더교에서 측정된 응력값보다 작은 경향을 나타내는 것으로부터 피로에 유리한 단면을 갖는다고 말할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 : 교량 현황 조서, 1995
2. 三木千壽, 坂野昌弘, 館石和雄, 福岡良典 : 鋼橋の疲労損傷事例のデータベースの構築とその分析, 土木學會論文集, 第392號 /I-9(報告), 1988. 4, pp. 403-410
3. Kato, S., Yoshikawa, O., Terada, H. and Hatsumoto, Y. : Studies on fatigue damage based on strain measurements of a highway bridges, Proc. of JSCE Structural Eng., Vol. 2, No.2, 1985. 10, pp. 199-208
4. 竹之内博行, 谷倉泉, 高倉敏, 三木千壽 : 實交通荷重による鋼板桁橋の應力變形舉動, 構造工學論文集, Vol.33A, 1987. 3, pp. 361-371
5. 中井博, 黒山泰弘, 宋羽憲作, 丹生光則, 明橋克良 : 疲労に着目したプレートガーダー橋二次部材取合部の應力測定結果について, 構造工學論文集, Vol.35A, 1989. 3, pp. 899-909
6. 建設部 : 도로교 표준시방서, 1992, pp. 303-305
7. 高橋昭一, 鈴木隆, 橋吉宏, 伊藤博章, 志村勉, 三木千壽 : $1/2$ スケール模型を用いた2主桁橋の立體舉動に関する實驗的研究, 土木學會第50回年次學術講演會概要集, 1995-9, pp. 584-585
8. 高橋昭一, 鈴木隆, 橋吉宏, 森下弘行, 志村勉, 三木千壽 : 2主桁橋の横木行取付構造に関する實驗的研究, 土木學會第50回年次學術講演會概要集, 1995-9, pp. 582-583
9. J. W. Fisher : Bridge fatigue guide-Design and details, American Institute of Steel Construction, 1977
10. 日本鋼構造協會 : 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993. 4