

강합성 플레이트거더교의 가로보 배치에 관한 연구

A Study on the Disposition of Cross Beams in Composite Plate Girder Bridge

박 용 명¹⁾ · 백 승 용²⁾ · 황 민 오³⁾
Park, Yong Myung · Baek, Seung Yong · Hwang, Min Oh

요 약 : 본 논문에서는 수직 및 수평 브레이싱을 생략하고 I-형 거더를 가로보만으로 연결한 다주형 강합성 플레이트거더교 형식에서 가로보의 적정 배치 간격 및 소요 휨강성의 산정을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 지간 40m의 단순교와 40+50+40m의 2차로 4주형 연속교를 예제교량으로 시산 설계하였다. 본 교량에 대해 중간가로보의 배치 간격과 휨강성을 매개변수로 하여 합성전·후 고정하중, 활하중 및 지진하중을 포함하는 설계하중에 대한 응력 해석을 수행한 후 강재 주형 및 가로보의 격자구조에 대해 합성전 고정하중을 고려한 재료-기하 비선형해석으로부터 횡비틀림 좌굴강도를 평가하였다. 이상의 두 가지 국면 해석 결과를 토대로 단부 및 중간가로보의 적정 배치 간격과 소요 휨강성을 제안하였다.

ABSTRACT : A study on the evaluation of the proper spacing and required bending rigidity of cross beams in composite multiple I-girder bridge without lateral and sway bracing system was performed. For the purpose, a two-lane 40m simple span and 40+50+40m continuous sample bridge with four girders was designed. For the sample bridges, structural analysis under the design loads including dead load before and after composite, live load, and seismic loads has been performed. The material and geometric nonlinear analysis under dead load before composite has also been performed to evaluate lateral buckling strength of the steel girder-cross beam grillage. Based on the two phase analyses, proper spacing and bending rigidity of cross beams were proposed.

핵심용어 : 플레이트거더교, 가로보 배치간격, 가로보 휨강성, 횡좌굴 강도

KEYWORDS : plate girder bridge, cross beam spacing, bending rigidity of cross beam, lateral buckling strength

1. 서론

강합성 I-형 플레이트거더교는 서로 다른 두 재료의 장점을 이용한 합리적인 교량 형식으로 경제성 측면에서도 강상자형교에 비해 유리한 것으로 알려져 있다.

플레이트거더교와 관련하여 국내 도로교설계기준⁽¹⁾에서는 풍하중, 지진하중 등의 수평력에 저항하기 위해 수평 및 수직 브레이싱을 반드시 설치하도록 규정하고 있고, 이 때 수직 브레이싱의 간격은 6m 이내로 제한하고 있다. 또한 바닥판이 3개 이상의 거더로 지지되는 경우 하중분배 가로보를 20m 이내로 설치하도록 규정하고 있으나 소요 휨강성에 대해서는 명확한 규정이 제시되어 있지 않다.

하지만, 근래의 연구에 의하면 하부 수평브레이싱을 생략하여도 교량의 전체 거동에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다⁽²⁾ 수직브레이싱도 I-단면의 가로보로 대체하는 등의 강교량 합리화가 이루어지고 있다.^(3,4) 이러한 브레이싱 시스템의 생략으로 인하여 하중의 흐름이 거더와 가로보만으로 분배되기 때문에 거더뿐 아니라 가로보의 휨강성과 배치간격이 중요한 역할을 하게 된다. 최근에 들어 플레이트거더교의 하중 분배 영향에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있지만,⁽⁵⁻⁹⁾ 가로보의 휨강성과 적정 배치 간격의 상호 관계에 대한 연구 실적은 드문 실정이다.

본 논문에서는 I-단면을 갖는 다주형 플레이트거더교에서 수평 및 수직 브레이싱을 생략하고, 각 거더 사이는 가로보만

1) 정희원, 부산대학교 토목공학과, 조교수
2) 학생회원, 부산대학교 토목공학과, 석사과정
3) 정희원, (재)포항산업과학연구원 강구조연구소, 선임연구원

본 논문에 대한 토의를 2003년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

으로 연결한 2차로 4주형 플레이트거더교를 해석 대상으로 선정하여 가로보의 적정 배치 간격과 소요 휨강성에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 지간이 40m인 단순교와 40+50+40m의 연속교를 시산 설계한 후, 대상교량에 대해 가로보의 배치 간격과 가로보의 휨강성을 매개변수로 하여 합성 전·후 고정하중, 활하중, 풍하중 및 지진하중을 포함하여 해석하고 하중분배효과 및 가로보 응력을 분석하였다.

또한, 시공중 횡비틀림 좌굴에 대한 안정성 검토를 위해 가로보의 휨강성과 배치 간격에 따른 강재 거더와 가로보의 격자 모델을 구축하고 합성전 고정하중을 고려한 재료 및 기하 비선형해석을 수행하여 거더의 횡비틀림 좌굴강도를 평가하였다.

이상의 설계하중에 대한 가로보의 응력 검토와 거더의 횡비틀림 좌굴강도 평가의 두가지 국면에 대한 해석으로부터 수평 및 수직 브레이싱을 생략하고 가로보만으로 연결된 플레이트거더교의 적정 가로보 배치간격과 소요 휨강성을 제안하였다.

2. 설계하중에 대한 해석 및 분석

2.1 해석 대상 교량 제원 및 매개변수

본 연구에서 사용한 예제 교량의 제원은 플레이트거더교 형식에서 일반적으로 적용될 수 있는 지간 및 교폭을 고려하여 다음과 같이 설정하였다.

- 단순교 : 지간 40m (그림 1)
- 연속교 : 지간 40+50+40m (그림 2)
- 교 폭 : 10.2 m (2차로)
- 교량등급 : 도로교 1등급
- 설계 활하중 : DB-24 및 DL-24
- 거더의 개수 : 4개(주형간격 2.7m)
- 사용 재료 : 거더(SM490), 가로보(SM400)

콘크리트 ($f_{ck} = 270 \text{ kg/cm}^2$)

- 콘크리트 바닥판 두께 : 26 cm

단순교와 3경간 연속교에 대해 내·외측 거더 모두 동일 거더를 적용하기로 하고 복부판의 높이는 2.4m, 복부판의 두께는 1.9cm, 상부 및 하부 플랜지의 폭은 60cm로 일정하게 설정하였다. 시산 설계시 바닥판의 크리프와 건조수축 등의 하중을 고려하지 않은 관계로 휨응력은 도로교설계기준에 준하는 허용응력의 80% 이내로 하였고 합성응력비를 1.0 수준(≤ 1.2)으로 설정하였다. 이에 따라 전단응력의 허용치는 60% 이내가 되도록 예제 교량을 설계하였으며, 이로부터 결정된 거더의 상·하부 플랜지의 두께는 표 1과 같다.

한편, 교량받침 지지 조건은 일반적인 고정-가동 지지조건을 고려하였다(그림 1 및 그림 2).

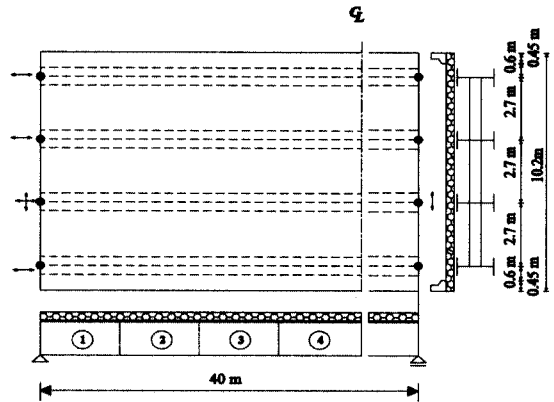


그림 1. 단순교 제원

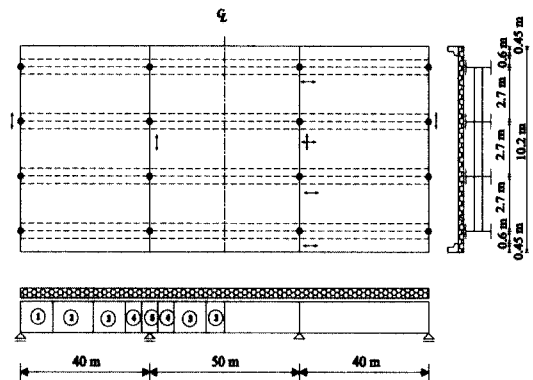


그림 2. 연속교 제원

표 1. 거더 상·하부플랜지의 두께 (mm)

Section	단순교		연속교	
	Upper	Lower	Upper	Lower
①	20	20	20	20
②	22	24	24	28
③	24	34	20	24
④	24	38	30	32
⑤	-	-	38	40

가로보는 I-단면으로 하고 매개변수는 중간가로보의 배치 간격과 휨강성으로 하였다. 먼저, 가로보의 배치 간격은 단순교와 연속교에 대해 각각 중간가로보가 없는 경우와 1, 3, 7(연속교 중앙경간은 9)개가 배치된 경우에 대해 고려하였으며, 이는 단순교 및 연속교의 측경간에서 가로보 간격이 40, 20, 10, 5m에 해당하고 연속교의 중앙경간에서는 50, 25, 12.5, 5m에 해당한다.

한편, 가로보의 휨강성 변수로는 거더 복부판 높이에 대한 가로보 복부판 높이의 비(比)(이하 복판고비)가 30, 45,

60%인 세가지 경우를 고려하였으며, 이는 거더의 평균 휨강성의 대략 1/80, 1/20, 1/6에 해당된다. 세가지 형태의 가로보의 제원은 다음 표 2와 같다.

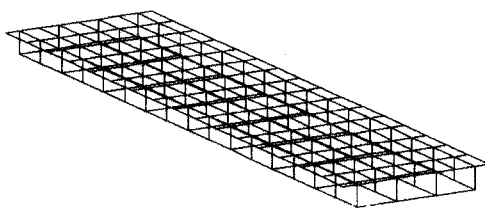
표 2. 가로보의 제원 (mm)

Type	H_w	t_w	b_{fl}	t_{fl}	복판고비 (%)
A-type	720	10	210	10	30
B-type	1080	10	300	15	45
C-type	1440	12	410	20	60

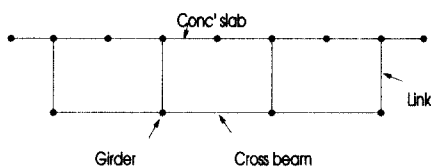
2.2 FEM 해석 모델

강합성 플레이트거더교의 단순화 해석모델로는 평면격자모델^(6,10,11)이 일반적으로 인정되고 있으나, 참고문헌 (12)에서는 3차원 뼈대모델이 3차원 쉘모델에 더욱 근사한 결과를 주는 것으로 제시하였다. 따라서, 본 연구에서는 가로보의 응력 검토를 감안하여 그림 3과 같이 대상교량 전체에 대하여 콘크리트 바닥판과 거더 및 가로보를 일정한 간격의 보요소로 단순화한 3차원 뼈대모델을 사용하고 거더와 바닥판은 강절링크로 연결하였다. 한편, 참고문헌 (4)에서 가로보는 거더의 중간 또는 하단에 배치되는 것이 적절한 것으로 제안하였으며, 본 연구에서는 가로보가 거더 복부판의 중간에 배치되는 것으로 고려하였다(그림 1 및 2).

요소의 분할은 거더는 교축 방향으로 2.5m 간격으로, 가로보는 1개 요소로 모델링하였다. 한편, 콘크리트 바닥판은 교축방향으로 2.5m 간격으로, 교축직각 방향으로는 그림 3(b)와 같이 8개 요소로 분할하였다.



(a) 투시도



(b) 단면도

그림 3. 3차원 뼈대모델(단순교 예)

2.3 설계하중에 대한 해석

2.3.1 주하중

가로보의 배치 간격과 휨강성의 변화에 따른 거동 분석을 위해 합성전 고정하중과 합성후 고정하중, 그리고 활하중에 대해 각각 해석을 수행하였다. 활하중은 도로교설계기준(1)에 따라 DB-24 및 DL-24 하중을 각각 1, 2, 3차선 재하 상태에 대해 고려하였으며 대상교량에 최대응력이 발생하도록 재하하였다.

활하중은 격자로 모델링한 바닥판에 재하하였으며 차륜중이 바닥판에 해당하는 격자 보요소에 작용하지 않고 임의의 위치에 작용하는 경우에는 인접한 보요소의 절점에 등가 절점하중으로 치환하여 재하하였다.(9)

2.3.2 부하중

수평 및 수직 브레이싱의 생략으로 인한 대상 교량의 횡하중에 의한 가로보의 응력을 분석하기 위해 풍하중과 지진하중에 대한 해석을 수행하였다. 이들 하중은 도로교설계기준에 따라 고려하였으며, 지진하중은 교축방향과 교축직각방향의 설계지진하중(지진구역 I)을 고려하여 응답스펙트럼해석으로 수행하였다.

2.3.3 하중조합 경우

설계하중에 대한 가로보의 응력 검토를 위해 고려한 하중조합 경우는 다음과 같다.

- ① 고정하중+활하중(DB 및 DL 1, 2, 3차선)
- ② 고정하중+활하중+풍하중
- ③ 고정하중+지진하중

2.4 활하중에 대한 거더의 하중분배 효과

대상 단순교 및 연속교에 대해 중간가로보를 0, 1, 3, 7 개로 하고 휨강성을 표 2의 A-, B-, C-type의 세가지 경우에 대해 활하중을 재하하여 매개변수해석을 수행하였다. 활하중에 의한 하중분배 효과는 DB 하중에 대해서는 다음 식의 하중분배계수(distribution factor)를 사용하여 일반적으로 평가한다.(5,6,8,9)

$$DF = \frac{M_{G, \max}}{M_{1, \max}} \quad (1)$$

여기서, $M_{G, \max}$: 실제 차륜하중 재하 상태에서 거더에 발생하는 최대 휨모멘트, $M_{1, \max}$: 한열의 차륜하중에 의한 단일거더(single beam)에서 발생하는 최대 휨모멘트이다.

본 연구에서는 DB 하중에 대해서는 식 (1)의 하중분배계수를, DL 하중에 대해서는 하중분배 효과의 상대 비교를

위해 하중분배율(distribution ratio)을 다음과 같이 정의하였다.

$$DR = \frac{\text{해당 거더의 휨모멘트}}{\text{거더의 총 휨모멘트}} (\%) \quad (2)$$

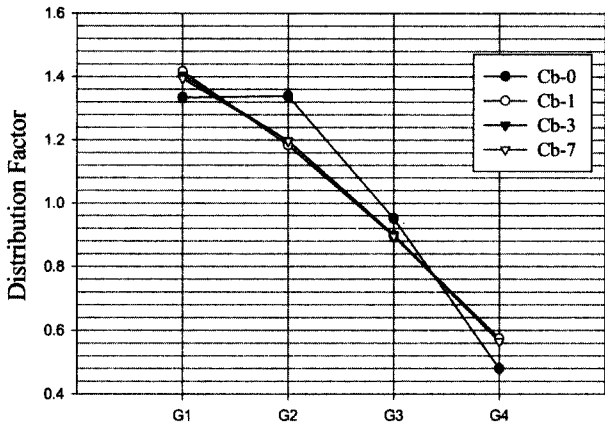


그림 4. 단순교 DB2차선재하, 위치-경간중앙 (가로보 B-Type)

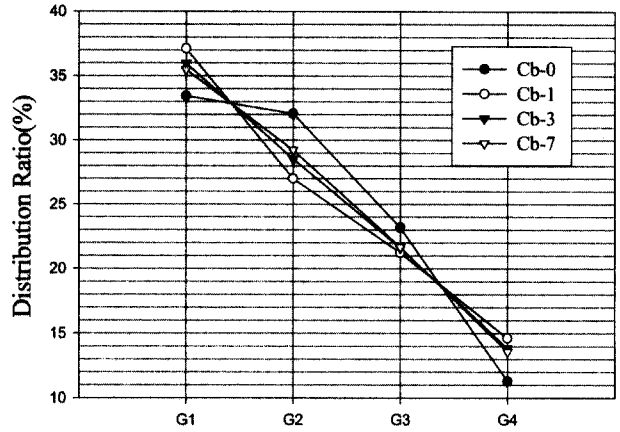


그림 5. 연속교 DL2차선 재하, 위치-중앙경간 (가로보 B-Type)

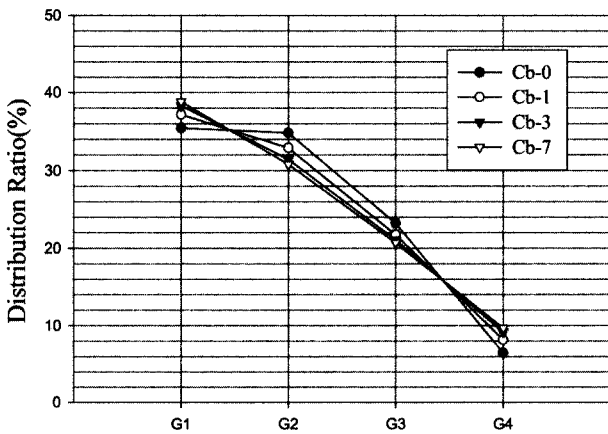


그림 6. 연속교 DL2차선 재하, 위치-내부지점부 (가로보 B-Type)

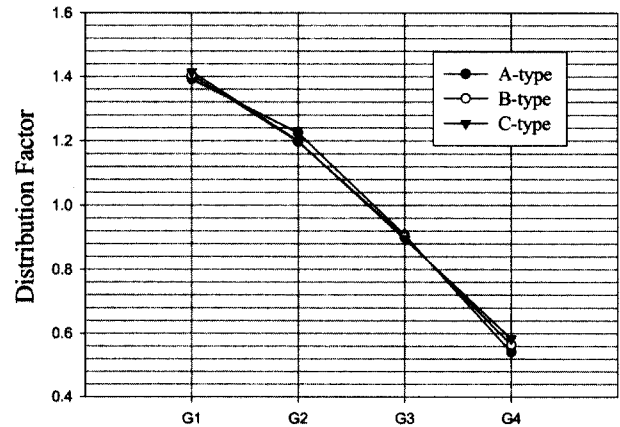


그림 7. 단순교 DB2차선 재하, 위치-경간중앙 (중간가로보 3개)

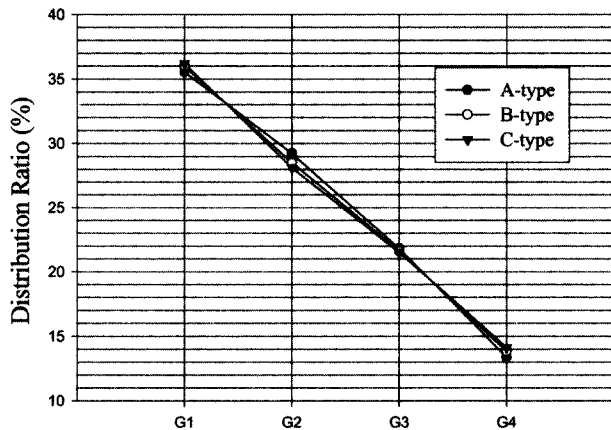


그림 8. 연속교 DL2차선 재하, 위치-중앙경간 (중간가로보 3개)

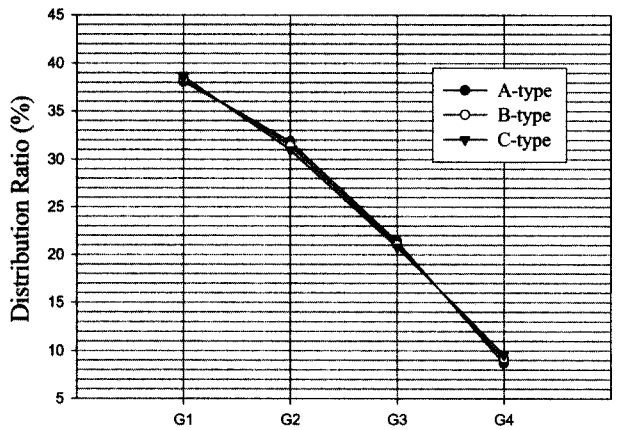


그림 9. 연속교 DL2차선 재하, 위치-내부지점부 (중간가로보 3개)

해석 결과가 방대한 관계로 여기서는 대표적인 결과만을 제시하기로 한다. 먼저, 가로보의 휨강성이 B-type이고 2차선 재하의 경우, DB 하중이 재하된 단순교에서 경간 중앙의 하중분배계수(DF)는 그림 4와 같고, DL 하중이 재하된 연속교의 중앙경간 및 내부 지점부에서의 하중분배율(DR)은 각각 그림 5 및 그림 6과 같다. 이들 그림으로부터 단순교와 연속교 모두 중간가로보가 1개 이상 설치된 경우에는 활하중 형태(DB 및 DL)에 관계없이 하중분배 효과는 거의 차이가 없음을 알 수 있고 가로보가 없는 경우와는 단순교는 10%, 연속교는 5% 정도의 차이를 보였다. 이러한 현상은 재하 차선수에 관계없이 유사한 경향을 보였다.

한편, 가로보의 휨강성에 따른 하중분배 효과도 거의 차이가 없었는데, 중간가로보를 3개 사용한 경우 중간가로보의 휨강성에 따른 하중분배 차이는 단순교에 대해 그림 7에, 연속교의 중앙경간 및 내부지점부에 대해서는 그림 8 및 그림 9에 보인 바와 같다. 즉, 이들 그림으로부터 동일한 개수의 가로보가 설치된 경우 중간가로보의 강성에 따른 하중 분배 효과는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

2.5 단부 및 중간가로보의 응력 검토

2.5.1 단순교

앞의 2.3.3의 설계하중조합에 대해 단부 및 중간가로보의 응력을 평가한 결과 고정하중+지진하중(D+E_Q)의 경우가 지배적이었다. 먼저, 단부가로보를 표 2의 A-type 및 B-type의 가로보로 사용한 경우에는 중간가로보의 휨강성 및 배치간격에 관계없이 단부가로보는 허용응력을 초과하였으며, C-type(복판고비 60%)을 사용한 경우에는 적절한 응력값을 보였다. 따라서, 단부 가로보를 C-type으로 사용하고 중간가로보의 휨강성 및 배치간격에 따른 단부 및 중간가로보의 응력(허용응력증가계수를 고려한 값)은 표 3에 보인 바와 같다.

표 3에서 알 수 있듯이 중간가로보의 휨강성과 가로보 개수에 무관하게 단부가로보의 응력은 큰 변동이 없는데, 이는 지점부의 상부구조가 교량받침에 의해 거동이 구속되는 것에 기인하는 것으로 분석된다. 한편, 중간가로보의 응력은 경간의 중앙 위치의 가로보 응력으로서 가장 휨강성이 작은 A-type을 1개만 배치한 경우에도 허용응력을 만족하였다. 또한, 중간가로보 개수가 늘어 날수록, 그리고 휨강성이 증가할수록 중간가로보의 응력은 감소하였다.

따라서, 단순교의 경우 단부가로보는 휨강성이 큰 단면(복판고비가 약 60% 수준)이 필요하고, 중간가로보는 휨강성이 작은 A-type의 단면으로 20 m 간격으로 배치하여도 허용응력 측면에서는 가능한 것으로 나타났다.

표 3. 단순교 가로보 응력(kg/cm²)

가로보 강성	가로보 개수	위 치	
		단부	경간 중앙
A-type	1	1161.2	619.9
	3	1164.3	391.6
	7	1162.5	338.3
B-type	1	1162.7	375.9
	3	1166.0	233.5
	7	1170.5	148.3
C-type	1	1167.2	251.4
	3	1172.2	151.9
	7	1186.8	91.7

2.5.2 연속교

단순교의 경우와 마찬가지로 연속교에서도 가로보의 응력은 고정하중+지진하중의 경우가 지배적이었다. 내부지점 가로보는 표 2의 C-type을 적용한 경우에도 허용응력을 초과하였으며, 시산 해석 결과 내부지점 가로보는 거더 복판판 높이의 약 70% 수준의 단면이 적절한 것으로 구해졌다. 따라서, 내부지점가로보를 H-1,680×480×15×24 단면으로, 단부가로보는 표2의 C-type 단면을 적용하였을 때 중간가로보의 휨강성 및 배치간격에 따른 교량 단부, 내부지점부 및 중간가로보의 최대 응력은 표 4와 같다.

표 4로부터 중간가로보의 휨강성과 가로보 개수와 무관하게 단부 및 지점부 가로보의 응력 변동은 크지 않음을 알 수 있고, 이는 단순교에서와 마찬가지로 지점부에서는 상부구조가 교량받침에 의해 거동이 구속되는 것에 의한 것으로 분석된다. 한편, 중간가로보의 응력은 중앙경간 중앙 위치의 가로보 응력으로서 단순교의 경우와 마찬가지로 가로보 개수가 늘어 날수록, 그리고 휨강성이 증가할수록 중간가로보의 응력

표 4. 연속교 가로보 응력(kg/cm²)

가로보 강성	가로보 개수	위 치		
		단 부	내부지점부	중앙경간
A-type	1	1018.4	1046.2	690.5
	3	1023.9	1043.1	437.1
	7(9)	1026.4	1039.4	234.3
B-type	1	1020.1	1047.2	503.8
	3	1029.6	1044.0	279.9
	7(9)	1033.4	1042.0	137.8
C-type	1	1021.9	1053.3	327.6
	3	1032.8	1049.1	178.4
	7(9)	1044.7	1046.8	97.9

주) (9) : 연속교 중앙경간 중간가로보 개수

은 감소하였으며, 가장 휨강성이 작은 A-type을 1개만 배치한 경우에도 허용응력을 만족하였다.

따라서, 연속교의 경우 내부지점 가로보는 휨강성이 큰 단면(복판고비 약 70% 수준)이 필요하고, 중간가로보는 표 2의 A-type 수준의 단면으로 20m 간격(중앙경간은 25m)으로 배치하여도 허용응력 측면에서는 가능함을 알 수 있다.

2.6 고유진동수의 비교

중간가로보의 배치간격 및 휨강성에 따른 상부구조의 동적 거동 특성 평가를 위해 고유치해석을 수행하였다. 연속교의 경우 연직처짐 및 수평처짐+비틀림 모드의 형태는 그림 10과 같고 각 경우별 고유주기는 표 5와 같다. 표 5로부터 중간가로보 배치간격 및 휨강성의 변화에 대해 고유주기의 차이는 크지 않고, 따라서 상부구조의 전체 강성 및 동적 특성의 변화에도 큰 차이는 예상되지 않는다.

3. 거더의 횡비틀림 좌굴강도 평가

서두에서 기술한 바와 같이 현재 국내 도로교설계기준에서는 중간가로보의 배치간격에 대한 규정은 있으나, 중간가로보의 휨강성에 대해서는 명백하게 규정되어 있지 않다. 따라서, 콘크리트 바닥판 시공시 재하되는 고정하중에 대해 중간가로보가 거더의 횡좌굴 지지점으로서의 역할을 하기 위해 필요

표 5. 고유 진동 주기(sec)

구분	가로보 휨강성	중간가로보 개 수	연직처짐 모드 주기	수평+비틀림 모드 주기
단 순 교	A-type	1	0.982	0.901
		3	0.984	0.902
		7	0.987	0.906
	B-type	1	0.984	0.903
		3	0.987	0.905
		7	0.994	0.911
	C-type	1	0.988	0.906
		3	0.993	0.910
		7	1.004	0.917
연 속 교	A-type	1	1.231	1.082
		3	1.233	1.084
		7(9)	1.238	1.089
	B-type	1	1.233	1.084
		3	1.236	1.087
		7(9)	1.245	1.094
	C-type	1	1.236	1.088
		3	1.242	1.091
		7(9)	1.257	1.098

한 휨강성의 평가가 필요하다. 따라서, 가로보의 배치 간격에 따른 거더의 횡비틀림 좌굴 내하력을 평가하기 위해 강재 거더와 가로보의 격자 구조에 대해 횡비틀림 좌굴 해석을 수행하였다.

해석 모델은 거더는 2.5m 간격으로 분할하고 가로보는 1개 요소로 모델링하였으며, 거더의 수평방향 초기 처짐을 $(L/1000) \sin$ 반파(半波) 형상으로 가정하였다. 단순교 및 연속교의 단부가로보는 2.5절의 해석 결과에 근거하여 복판고비 60% 단면(H-1,440×410×12×20)을 사용하였으며, 연속교의 내부지점 가로보는 복판고비 70% 단면(H-1,680×480×15×24)을 사용하였다.

하중은 강재 거더의 자중을 재하한 후 콘크리트 바닥판 고정하중을 중국 상태에 도달할 때까지 재하하여 재료 및 기하비선형 해석을 수행하였으며, 이로부터 얻은 단순교 및 연속교에 대한 중국내하력 결과는 그림 11 및 12와 같다. 그림에서 $\alpha = P_u / P_d$ 로서 P_d 는 콘크리트 바닥판의 고정하중 강도이고, P_u 는 비선형 해석으로부터 구한 중국 하중강도이다.

중간가로보의 개수에 따른 좌굴 경향은 표 6에 요약한 바와 같다. 먼저, 단순교에서 가로보가 1개 배치된 경우에는 중간가로보(표 2의 모든 단면)의 항복과 동시에 거더의 횡좌굴이 발생하였다. 이에 비해 3개 배치된 경우에는 A-type의 가로보를 적용한 경우에도 가로보 사이 거더의 횡비틀림 좌굴이 선행하였으며 곧이어 가로보의 항복이 발생하였다. 한편, 7개 배치된 경우에는 가로보 사이 거더의 횡좌굴이 발생하지 않고 거더가 항복에 도달하여 중국 상태에 이르렀다. 가

(a) 연직 처짐 모드

(b) 수평처짐+비틀림 모드

그림 10. 진동 모드 형태(연속교 예)

로보의 배치 간격에 따른 단순교의 좌굴 형태는 그림 13과 같다.

한편, 연속교에서는 중간가로보가 1, 3개 배치된 경우 가로보의 휨강성에 관계없이 가로보 사이 거더의 횡비틀림 좌굴이 선행되었으며, 7(중앙경간은 9)개 배치된 경우에는 지점부 거더의 응력이 항복에 도달한 후 중앙경간에서 전체적인 횡방향 변형이 있었으나 횡좌굴은 발생하지 않았다. 가로보의 배치 간격에 따른 연속교의 좌굴 형태는 그림 14와 같다.

이상의 해석 결과로부터 합성전 고정하중에 대한 안전율을 1.7로 설정하였을 때 단순교와 연속교 모두 가로보를 5m 간격으로 배치한 경우에는 A-, B-, C-type 모두 좌굴에 대해 충분히 안전하고, 10m 간격(연속교의 중앙경간은 12.5m)으로 배치한 경우는 단순교의 경우 B-type 이상이 필요하고 연속교에서는 A-type으로 가능함을 그림 11 및 12로부터 알 수 있다. 반면에 20m 배치 간격에서는 단순교 연속교 모두 C-type으로도 설정한 안전율을 만족하지 못하였다.

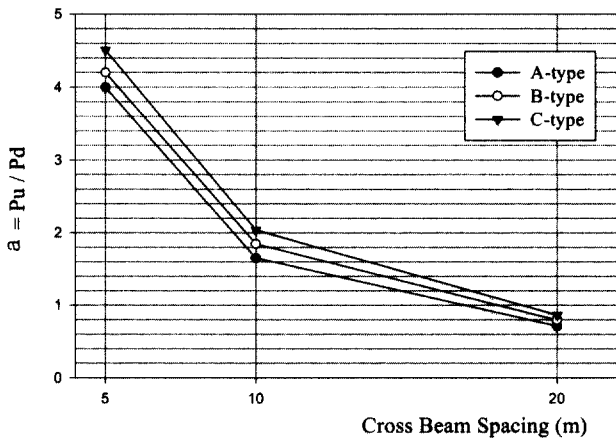


그림 11. 단순교의 횡비틀림 좌굴 강도

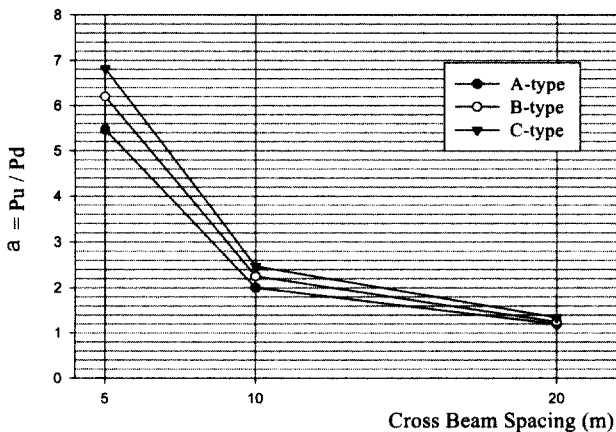
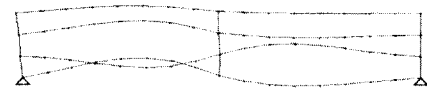


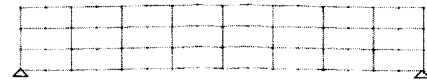
그림 12. 연속교의 횡비틀림 좌굴 강도



(a) 중간가로보 1개



(b) 중간가로보 3개



(c) 중간가로보 7개

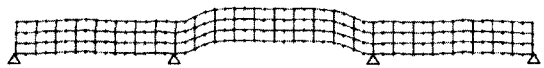
그림 13. 단순교 횡비틀림 좌굴 형상



(a) 중간가로보 1개



(b) 중간가로보 3개



(c) 중간가로보 7개(중앙경간 9개)

그림 14. 연속교 횡비틀림 좌굴 형상

표 6. 종국 상태 도달 형태

중간가로보	1개	3개	7개
단순교	가로보항복 → 거더횡좌굴	거더좌굴 → 가로보항복	거더 항복 (좌굴없음)
연속교	거더좌굴 선행	거더좌굴 선행	거더 항복 (좌굴없음)

4. 가로보 배치간격 및 휨강성 제한

거더를 I-단면 형태의 가로보만으로 연결한 다주형 합성형 플레이트거더교에서 가로보의 배치 간격과 휨강성을 매개변수로 하여 설계하중에 대한 해석과 거더의 횡비틀림 좌굴강도 평가 해석의 두 국면 해석으로부터 도출된 가로보의 소요 휨강성 및 배치간격을 요약하면 표 7과 같다.

표 7로부터 중간가로보의 배치간격은 허용응력 및 하중분배 측면에서 20m까지 가능하며, 이는 현행 도로교설계기준 (1)과 일치한다. 한편, 콘크리트 바닥판 완공전에 거더의 횡좌굴 지지점으로서의 가로보 소요 간격은 10m로 계산되었으며, 이는 현행 설계기준에서 규정한 수직브레이싱의 간격 6m보다는 다소 여유가 있는 것으로 나타났다.

이상으로부터 중간가로보의 소요 휨강성 및 배치간격은 완성계보다는 시공단계의 합성전 고정하중에 의한 거더의 횡비틀림 좌굴이 지배적이었으며, 중간가로보가 수직브레이싱을 대신하여 횡좌굴 지지점으로서의 역할을 하기 위해서는 단순교의 경우 복판고비 30%, 연속교에서는 45% 단면의 휨강성이 필요하였다.

한편, 지점부 가로보의 응력은 중간가로보의 배치 간격 및 휨강성에 거의 영향을 받지 않으며, 단부가로보는 복판고비 60%, 연속교의 내부지점 가로보는 복판고비 70% 단면의 휨강성이 필요한 것으로 분석되었다.

표 7. 가로보의 소요 휨강성 및 배치간격

매개변수		해석 경우	①허용응력	②횡좌굴	소요 휨강성 및 배치간격
			및 하중분배	강도	
중 간 가 로 보	단 순 교	복판고비	30 %	45 %	45 %
		배치간격	20m	10m	10m
	연 속 교	복판고비	30 %	30 %	30 %
		배치간격	20m	10m	10m
단부가로보 (단순교 및 연속교)		복판고비	60 %	-	60 %
내부 지점 가로보 (연속교)		복판고비	70 %	-	70 %

주) 복판고비 = 가로보 복부판고/거더 복부판고 비

5. 결 론

본 연구에서는 2차로 4주형 I-형 플레이트거더교에서 수평 및 수직 브레이싱을 생략하고 각 거더 사이를 가로보만으로 연결하는 경우에 있어 가로보의 적정 배치간격과 소요 휨강성의 결정을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위해 지간이 40m인 단순교와 40+50+40m인 3경간 연속 직선교를 시산 설계하고 중간가로보의 배치간격과 휨강성을 매개변수로 하여 응력해석 및 횡좌굴강도 평가 해석을 수행하였으며 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 활하중에 대한 횡분배 효과는 중간가로보가 1개 이상 설치된 경우들 간에는 거의 차이가 없었으며, 중간가

로보가 없는 경우와는 단순교는 약 10%, 연속교는 약 5%의 차이를 보였다. 또한, 가로보의 휨강성에 따른 횡분배효과의 차이는 거의 없었다.

- (2) 중간가로보의 배치간격 및 휨강성의 변화에 대해 단부 및 내부지점 가로보의 응력은 거의 변동이 없었으며, 동적 고유주기도 이들 매개변수에 거의 영향을 받지 않았다.
- (3) 설계하중조합에 대해 단순교, 연속교 모두 중간가로보 간격 20m에 대해 복판고비 30%의 단면으로 허용응력을 만족하였으며, 단부가로보는 주형교의 60%, 연속교의 내부지점 가로보는 70% 정도의 복부판 높이를 갖는 단면이 필요한 것으로 분석되었다.
- (4) 비선형해석에 의한 거더의 횡비틀림 좌굴강도 평가로부터 단순교는 중간가로보의 복판고가 주형교의 약 45% 단면이, 연속교에서는 30% 단면이 필요하고, 이 때 가로보 배치간격은 10m까지 가능하였다. 따라서, 중간가로보의 소요 휨강성 및 배치간격은 합성전 고정하중에 의한 거더의 횡비틀림 좌굴이 지배적이었다.

참고로 복판고비 30%, 45%, 60% 및 70%는 각각 거더의 평균 휨강성의 약 1/80, 1/20, 1/6 및 1/3에 해당한다.

본 연구는 직선교에 한정하였으나, 수평 및 수직브레이싱을 생략하고 중간가로보만으로 거더를 연결하는 강합성 플레이트거더교의 합리화를 위해 유용하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 부산대학교 2001년도 학술연구조성비의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국도로교통협회, 2000, 도로교설계기준
2. 大塚勝 의 3인, 1993, “下横構を省略したプレートガーダー橋の提案”, 橋梁と基礎, No. 11, pp.33~39
3. 坂井藤一 의 2인, 1995, “フランスの鋼・コンクリート合成2主桁橋梁の設計指針”, 橋梁と基礎, No. 3, pp.33~41
4. 坂井藤一 의 3인, 1997, “合成2主桁橋の横桁配置に関する研究”, 橋梁と基礎, No.3, pp.31~38
5. Tarhini, K. M. and Frederick, G. R., 1992, “Wheel load distribution in I-girder highway Bridges”, J. Struct. Div., ASCE, 118(5), pp. 1285~1294

6. 정광모, 윤희택, 김문영, 1999, "평면격자 해석기법에 의한 합성형 판형교의 하중분배 특성". 한국강구조학회 논문집, 제 11권 5호, pp. 507~517
7. 용환선, 김석태, 최수영, 2001, "합성 2주형교의 하중분배 거동에 미치는 가로보 효과에 관한 연구", 한국강구조학회 학술발표논문집, pp. 25~30
8. 배두병외 3인, 2001, "플레이트 거더교의 하중분배계수 산정방법 비교 연구", 대한토목학회 학술발표회 논문집
9. Eom, J.S. and Nowak, A.S., 2001, "Live load distribution for steel girder bridges", J. of Bridge Eng., ASCE, Vol. 6, No. 6, pp489~497
10. Hambly, E.C., 1991, Bridge Deck Behavior, 2nd ed., E & FN SPON
11. Cao, L. C. and Shing, P. B., 1999, "Simplified analysis method for slab-on-girder highways bridge decks", J. struct. Div., ASCE, 125(1), pp. 49~59
12. 나준호, 정광모, 김문영, 1999, "강상자형 교량의 하중분배 거동에 대한 비교 연구", 한국강구조학회 논문집, 제 11권 5호, pp. 435~444

(접수일자 : 2002년 7월 29일)