

곡선교에서의 IPC 거더교 적용성 검토

The Examination of Application in Curved Bridge used IPC Girder

한 만 업*
Han, Man Yup

곽 창 현**
Kwak, Chang Hyun

ABSTRACT

This study is to applicate IPC girder at curved bridge. This study introduces the variable(radius, d_{ci} , d_{co} , L, etc..) used in design IPC curved bridge. And this presents the possible radius in simple bridge and continuous bridge. For example, simple bridge that have span length is 30m, minimum possible radius is 300m. In continuous bridge, girders are arranged by sloped in θ . So in this case, the bridge is under consideration that horizontality pressure in bridge pier.

1. 서론

PSC(Prestressed Concrete) beam 교량은 1960년대에 처음 국내에 도입된 이후 간편한 시공과 공기 단축, 그리고 경제성 등의 이유로 급격히 그 시공 사례가 늘고 있는 현실이다. 이렇게 시공사례가 늘어남에 따라 하지만 이러한 PSC beam 교량은 처음 도입된 이후 조금 개량되어 사용되고 있을 뿐 과거에 선진국에서 사용하던 I형 거더를 그대로 사용하고 있다. 하지만 산업이 발달하면서 육지 교통수송의 역할이 커짐에 따라 도심지와 같은 공간의 제약을 받는 곳에서는 skew가 있는 사교이거나 일정한 곡선반경을 가지고 있는 곡선교 등의 형태의 교량이 필요하게 되었다.

현재 국내에서 시공되고 있는 사례를 보면 곡선교의 경우 대부분의 교량은 횡단면 형상에 대해서 곡선 1박스 거더교, 곡선 격자 박스 거더교, 곡선 격자 I형교, 곡선 다실 박스 거더교로 나뉘어 질 수 있으며 이중 곡선 1박스와 곡선 격자 박스 거더교는 비틀 강성이 매우 크므로 그 필요성이 날로 증가하고 있다. 사교와 경사교의 경우는 대부분의 교량 형식에서 사용되고 있으며 확폭교의 경우는 아주 특별한 경우 사용되고 있다.

근래에 들어 대부분의 교량이 장경간화가 되어 감에 따라 기존의 PSC I형 거더 보다 장경간화에 유리한 교량의 필요성이 대두됨에 따라 2000년 11월 다단계 긴장을 개념으로 한 IPC(Incrementally Prestressed Concrete) 거더가 개발되어 기존의 PSC I형 거더에 비해 낮은 형고로 보다 장경간에 적용이 가능한 거더가 개발되었다. 따라서 본 논문에서는 이 IPC 거더교를 적용하여 곡선교에의 적용성을 검토하고 적용 가능한 곡선반경을 제시하고 이에 따르는 설계 변수들에 따른 최적단면을 제시한다.

* 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 교수
** 정회원, 아주대학교 토목설계공학과 석사과정

2. 곡선교의 구조해석

2.1 횡단면의 형상과 구조해석 이론

판형교 및 다주형교는 평면골조 구조로 가정하고 적임선 격자거더로서 해석하는 것이 일반적이다. 격자거더의 모델화에 있어서는 매끄러운 평면곡선을 충실하게 실현할 수 있도록 절점을 만들어야 하고 적어도 1지간을 8개 이상으로 나누는 것이 좋다. 또한 가로보의 배치 방향은 해석결과에 대단히 큰 영향을 주기 때문에 주의해서 배치해야 하고 불확실한 경우에는 적절한 모델을 결정하기 위해서 2종류 이상의 모델을 만들어 서로 비교하는 것이 중요하다.

2.2 받침구조의 모델화

곡선교에서 가동받침의 이동방향은 고정받침을 기준으로 방사상의 현방향으로 설치하거나 상부구조의 접선방향으로 설치한다. 일반적으로 이동받침의 이동량에 가장 큰 비중을 차지하는 온도에 의한 영향을 고려하여, 접선방향 배치는 곡률이 일정한 교량에 가장 적합하며, 현방향 배치는 곡률이 일정하거나 변화하는 교량 모두에 적용할 수 있다. 곡선교나 사교에서는 교량받침을 교축 직각방향의 이동량이 큰 경우에는 이동방향 및 이동량을 고려하여, 설치 방향을 결정함과 동시에 신축장치에 미치는 영향 등도 고려하여 전방향으로 이동 가능한 교량받침을 선정한다.

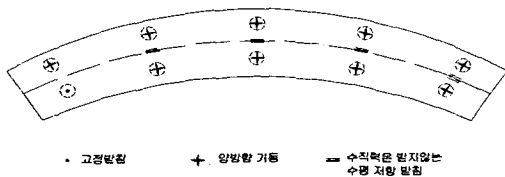


그림 1 접선방향 배치

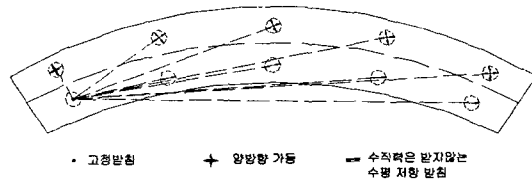


그림 2 현방향 배치

그림 1은 접선방향 배치의 한 방법을 나타내고 있다. 이때 고정받침은 강성이 가장 큰 교각이나 교대에 설치할 수 있고, 만약 강성이 같은 교각들이 설치되어 있다면 램프의 경우는 낮은 위치의 교각에 고정받침을 설치하고, 인접교량과 멀리 떨어진 곳에 설치한다.

그림 2는 현방향 배치의 기본원리로서 교량 시스템이 고정받침을 향하여 거동하게 유도하는 방법이다. 이 경우 고정받침은 휨강성이 큰 교각이나 교대에 설치가 되고, 모든 가동 받침들은 고정받침을 향하여 이동이 가능하도록 설치가 된다. 본 논문에서는 접선방향 배치로 받침배치를 하였다.

3. IPC girder의 적용

3.1 곡선교 가설 방법

3.1.1 단순교

단순교의 경우는 각 경간별로 적용이 가능한 곡선반경을 제시하였고, 그 때의 곡선반경 외측의 최외측거더의 캔틸레버부 길이를 고려하여 슬래브의 최소두께를 결정하였다. 다음의 표 1은 교량의 일반적인 제원이며 표 2는 각 경간별 곡선반경에서 곡선반경 최내측의 거더와 슬래브의 간격을 나타낸다. 또한 교량의 단부에서의 양쪽 바닥판의

경간은 같은 것으로 가정하고 계산하였다.

표 1 설계 교량 자원

교폭(m)	거더개수(개)	거더간격(m)	의측 바닥판 길이(m)	차선평(m)
20	10	2	1	3.6

표 2 단경간 적용 가능 곡선반경

곡선반경(m)	30m	40m	50m	60m
300	0.02	-	-	-
500	0.17	-	-	-
700	0.24	0.11	-	-
900	0.27	0.18	0.05	-
1100	0.30	0.22	0.12	-
1300	0.31	0.25	0.16	0.05

3.1.2 연속교

연속거더교로 설계시 여러 가지 고려해야 할 설계변수가 있다. 아래 그림 4와 같이 거더를 경사지게 배치할 때 이 거더의 경사진 각도 θ 와 연속부에서 곡선반경 내측의 거더와 거더 간의 간격 d_{ci} , d_{co} 등의 변수를 가지게 된다. 다음의 표 3은 거더의 경사진 각 θ 에 따른 d_{ci} 의 값과 적용 가능한 곡선반경을 나타낸 것이다. 여기서 θ 는 1° 경사진 경우이다.

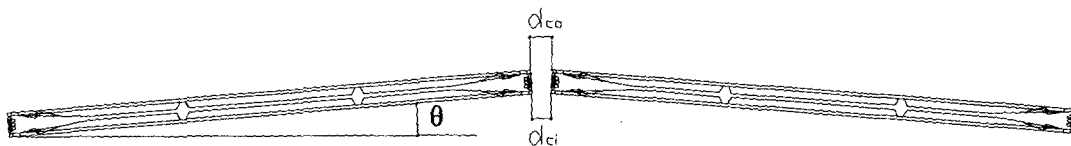


그림 3 경사지게 배치된 거더

표 3 연속교의 적용가능 곡선반경

곡선반경(m)	30+30	40+40	50+50
500	-	-	-
700	0.26	-	-
900	0.41	0.19	-
1100	0.50	0.35	-
1300	0.57	0.47	0.29
1500	0.61	0.55	0.42

여기서 거더의 경사 각도를 1° ~ 5° 까지 변화시키며 곡선부의 외측 거더의 d_{∞} 의 거리를 살펴보면 다음의 표 4와 같다. 교폭은 20m로 일정한 경우이다.

표 4 경사 각도에 따른 d_{∞} 값

변 수	1°	2°	3°	4°	5°
$d_{\infty}=0.5m$	1.20m	1.90m	2.59m	3.29m	3.99m
$d_{\infty}=1m$	1.70m	2.40m	3.09m	3.79m	4.49m

여기서 거더단부~교좌중앙까지의 거리를 0.45m로 보고 고려하여 살펴보면 교각의 횡방향 폭이 제한이 있으므로 거더를 3°이상 경사지게 배치할 수가 없게 된다. 따라서 거더를 경사지게 배치하는 이와 같은 방법은 약 2° 정도의 경사만을 가지고 적용이 가능하다.

3경간 이상의 연속교 설계시에는 다음 표 5와 같이 곡선반경의 적용이 가능하다. ($\theta = 1^\circ$)

표 5 3경간 연속교의 적용가능 곡선반경

지 간(m)-3경간 연속	30	40	50
적용가능 곡선반경	1500m 이상	1700m 이상	2400m 이상

3.2 강선 배치

IPC거더교의 연속교에서의 강선배치는 아래 그림 4와 같이 비합성 거더에 배치되는 1차 강선과 연속강선의 배치되는 2차 강선이 있다. 여기서 연속강선은 연속부에서 꺾여서 배치되므로 아래 그림 5와 같이 된다.

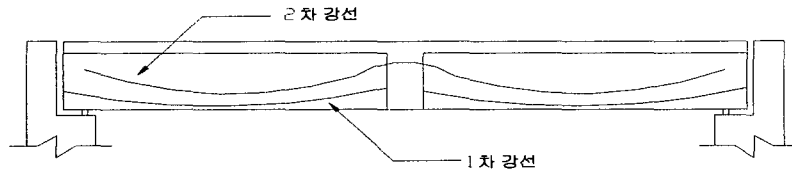


그림 4 연속교의 강선 배치



그림 5 연속강선에 의한 등가하중과 모멘트

그림 6에서 볼 수 있듯이 꺾인 형태로 배치되는 이러한 연속강선에 의한 거더 부재에 일어나는 모멘트는 없다. 다만 연속부에서 연속강선에 의한 등가하중을 따로 고려하여야만 한다. 연속강선의 강선배치는 부재 내에서는 직선 배치, 연속부에서는 곡선배치가 되므로 연속부에서는 다음 그림 7과 같은 수평 복부 압력이 발생한다. 따라서 해석 시 수평복부압력을 연속부에 작용시켜 해석하여야 한다. 이러한 수평복부압력은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$q_{hp} = \frac{P \cos \theta}{R}$$

여기서 P : 긴장력, θ : 경사각도, R : 연속부에서의 강선의 곡선반경

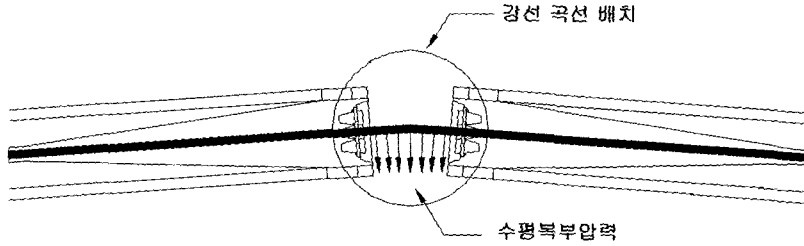


그림 6 연속부에서의 수평복부압력

3.3 구조해석

거터를 경사지게 배치하여 연속교를 만들었을 때 일반적인 직교교량과 비교하여 얼마만큼의 용력차이가 있는지 알아보기 위해 구조해석을 실시하였다. 본 논문에서는 한가지 예로 40m 2경간 연속교이며 $\theta = 1^\circ$ 이며 곡선반경은 800m인 경우를 보겠다.

거터는 경사지게 직선배치하고 슬래브는 곡선으로 배치되므로 각각의 구간에서 하중분배를 서로 달리하여 해석을 실시하였다. 여기서는 2m 간격으로 잘라서 하중분배를 따로 계산하여 각각의 거터에 재하하여 해석하였다.

표 6 40m 2경간 연속교의 해석결과

	내측보			외측보		
	L1거터 최대 정모멘트	최대 부모멘트	L2거터 최대 정모멘트	L1거터 최대 정모멘트	최대 부모멘트	L2거터 최대 정모멘트
직선교량	189.60t·m	-227.20t·m	189.60t·m	226.90t·m	-278.20t·m	226.90t·m
곡선교량	241.30t·m	-285.30t·m	241.30t·m	263.70t·m	-302.60t·m	263.70t·m

표 6에서 볼 수 있듯이 직선교량과 달리 곡선교량은 내측보와 외측보의 모멘트 값의 차가 그리 크지 않은데 그 이유는 슬래브에 따른 하중분배가 달라지므로 일반적인 직교 교량과는 달리 최외측 거터 바로 안쪽에 있는 거터가 내측보 중에서는 가장 큰 모멘트가 발생하고 이에 따라 내측보와 외측보의 모멘트 차가 일반적인 직교교량보다 더 작게 나오는 결과를 가져왔다.

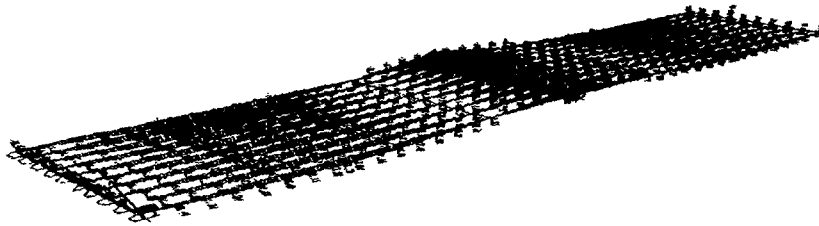


그림 7 해석 모델 (SAP 2000)

4. 결론

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

- 1) 곡선교를 시공시 PSC-I형 거더를 사용하여 상기에서 제시한 여러 가지 곡선반경을 가지는 교량을 건설할 수 있으며, 단경간과 연속교의 모든 경우 적용이 가능한 반경을 제시하였다.
- 2) 단순교의 경우 30m 일때는 $R = 300m$ 이상일 때는 모든 경우에 적용이 가능하고, 40m에서는 500m, 50m에서는 900m 이상인 경우에 대하여 적용이 가능하다.
- 3) 연속교의 경우 거더를 직선 배치하는 것보다는 거더를 θ 만큼 경사지게 배치하면 보다 작은 곡선반경에 적용이 가능하다. 또한 거더가 경사지게 배치됨에 따른 강선의 경사 배치에 의한 부재내의 모멘트가 없으므로 연속부에서 수평복부압력만을 고려하여 설계하면 된다.
- 4) 거더는 직선배치되고 슬래브는 곡선배치되는 것에 따른 하중분배계수가 전체구조계에서 모두 다른 것을 고려한 설계방법의 제시가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 한국도로교통협회, "도로교 설계기준," 2000.
2. 일본도로협회, "콘크리트 도로교 설계편람," 1997.
3. 박준범, "IPC 거더교의 연속화를 위한 설계 프로그램 개발 연구," 아주대학교 석사학위 논문, 2001.
4. 최대현, "곡선교의 받침배치를 고려한 교각의 지진 응답에 관한 연구," 서울대학교 석사학위 논문, 2000.
5. E. C. Hambly, "Bridge Deck Behavior," 1998.