사각에 따른 RC슬래브교의 반력특성 분석

Analysis of Support Reactions of RC Slab Bridges with Various Skews

마호성* · 원정훈** · 박인준***

Mha, Ho-Seong · Won, Jeong-Hun · Park, Inn Joon

Abstract

The support reactions of two-span RC slab bridges with various skews are studied through the time history analysis for moving vehicles. Dynamic behaviors of bridges are evaluated by using the commercial FEM code and the bridge is modelled using shell elements. The analysis method is verified by comparing measured values and analysis results. Parametric analysis is performed for various skew angles. The bearing below the end slab with an obtuse angle shows the largest reaction forces. As the skew angle is reduced(a skew angle of 90° means a straight bridge without skew in this study), the distribution of reaction force is growing uneven and the largest reaction force is increased. In case of the model having skew angles under 70° , the bearing located near the bearing with the largest reaction force shows the uplift force. Thus, it is concluded that the bearing in RC slab bridges with skew should be selected carefully by considering the variation of reaction force and uplift force.

Key words : RC slab bridges, Moving vehicles, Skew, Reaction force

요 지

본 연구에서는 2경간 연속 RC 슬래브교를 대상으로 차량 이동하중 시간이력해석을 수행하여 사각에 따른 받침의 반력분포 특성을 분석하였다. 계측값과 해석값의 비교를 통해 적용 시간이력해석방법을 검증하였으며, 사각을 매개변수로 판 해석을 수행한 결과, 둔각부 최외측 받침에 반력이 집중되며, 사각이 감소함에 따라(사각의 정도가 커질수록) 반력의 편차가 커져 둔각부에 반력의 크기가 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 반력이 집중된 최외측 받침의 인접 받침에서는 사각 70° 이하에서 부반력이 발생하는 것으로 분석되었다. 따라서 사각을 갖는 RC 슬래브교에서는 받침의 용량 산정 시 반력의 편차와 부반력 발생에 유의하여야 한다고 판단된다.

핵심용어 : RC 슬래브교, 이동하중, 사각, 반력

1. 서 론

일반적으로 사각은 직교보다 훨씬 복잡한 거동을 나타내므로 교량 계획 시 직교로 하는 것이 구조적 측면에서는 유리하나, 불가피한 지형적 여건과 경제성, 주행자의 승차감 향상 등의 이유로 사각이 필연적으로 설계 및 시공되고 있다. 특히 국토상이나 지방도상의 교량은 지형의 영향으로 직선교보다 사각로 설계되는 경우가 많다(박순웅 등, 2005).

사각을 갖는 슬래브교량의 경우, 활하중에 의한 복잡한 거동을 단순화하기 위해 윤하중 분포폭을 이용하여 활하중에 의한 영향을 설계에 적용하고 있으나(국토해양부, 2010), 사각이 증가함에 따라 사각의 효과를 정확히 반영하지 못하는 것으로 알려져 있다(정철현 등, 1997; 강성후 등, 2002; Kennedy 등, 1995). 또한, 받침에 발생하는 반력분포가 직선

교와는 다른 복잡한 분포를 보이며, 둔각부에 하중이 집중되므로 설계기준에서는 둔각부 슬래브의 상면과 하면에 가외철근을 배치하도록 하고 있다(국토해양부, 2010).

교량받침은 상부구조에 발생하는 하중을 하부구조에 전달하는 중요한 구조부재로 부반력이 발생될 경우, 상부구조의 전도 등의 교량 전체 파괴로 이어질 수 있다. 특히, RC 슬래브교의 경우 사각에 따라 일부 받침에 부반력이 발생될 수 있으므로 설계 및 시공 시에 부반력이 발생되지 않도록 주의 깊게 검토되어야 한다. 현행 기준은 설계기준에서 정한 윤하중 분포폭을 이용하여 프레임해석 또는 판 요소 모델링을 통한 영향선 해석을 이용하여 받침의 위치별 반력을 산정하도록 하고 있으나(국토해양부, 2008), 보다 정확한 부반력 발생 형태를 파악하기 위해서는 차량 이동하중의 시간이력해석을 통해 사각의 크기에 따른 부반력을 분석할 필요가 있다. 따

*정회원 · 호서대학교 토목공학과 교수, 공학박사(E-mail : mhah@hoseo.edu)

**정회원 · GS건설 토목사업본부 과장, 공학박사(교신저자)

***정회원 · 한서대학교 토목공학과 교수

라서 본 연구에서는 계측자료를 갖는 2경간 연속 RC 슬래브 교를 판 요소로 모델링하고 차량 이동하중의 시간이력해석을 수행하여 해석값과 계측값의 비교를 통해 해석방법의 타당성을 검증한 후 사각을 변화시켜 사각의 반침에 작용하는 반력 분포를 분석하고자 한다.

2. 대상 구조물 및 재하 시험

사각과 차량 이동하중의 영향에 의한 슬래브교의 반침반력을 분석하기 위해 본 연구에서 적용한 대상교량은 그림 1과 같다. 시간장 15 m인 2경간 연속 RC 슬래브교이며, 사각의 각도는 60°이다. 본 연구에서 정한 사각의 기준은 교량 중심 축과 슬래브 단부선사이의 각도이다(즉, 90°일 경우는 직교에 해당). 콘크리트의 압축강도는 21 MPa, 교폭은 9.6 m, 슬래브 높이는 0.95 m이다.

그림 1. 대상교량

표 1. 재하차량 축하중

시험 차량	축 중			
	전 륜	후 륜		총중량
		1축	2축	
13덤프	62.49 kN	124.98 kN	124.98 kN	312.45 kN

그림 2. 재하차량 제원

대상교량에 대해 정적 및 동적재하시험이 실시되었으며, 변위계를 설치하여 처짐을 측정하였다. 변위계는 첫 번째 경간의 중앙의 우측에 설치되었다(그림 1에서 DT1). 시험에 사용된 재하차량은 총중량 312.45 kN의 덤프트럭으로 재하차량의 축하중과 제원은 각각 표 1과 그림 2에 나타내었다.

정적재하시험은 대상교량의 구조적 특성을 고려하여 구조적으로 가장 불리하고 주요부재의 손상 상태, Gauge 부착 및 측정 장비의 설치, 시험차량의 가속거리등의 현장여건을 종합적으로 고려하여 첫 번째 경간의 정해사 방향으로 우측 보도부에서 차량 바퀴 외측이 0.8 m 이격하여 제 1경간 시작부에서 4.5 m(LC1), 6.5 m(LC2), 8.5 m(LC3)에 위치시켜 실시되었다(그림 3). 동적재하시험의 경우는 정적재하시험이 수행된 위치로 차량을 속도 10 km/h, 30 km/h, 60 km/h로 정해사 방향으로 주행시켜 실시하였다. 차량의 속도는 대상교량의 최고제한속도인 60 km/h를 기준으로 설정하였다.

3. 해석방법의 검증

차량 이동하중의 해석을 수행하기 위하여 대상 구조물을 MIDAS CIVIL2009를 이용하여 모델링하고 Time History

(a) LC1

(b) LC2

(c) LC3

그림 3. 정적재하시험 위치

그림 4. 대상 구조물의 모형화

표 2. 정적재하시험 측정값과 해석결과 비교

Case	Gauge NO.	DT1		
		측정값	해석값	오차율
LC 1		-1.50 mm	-1.50 mm	0%
LC 2		-1.68 mm	-1.76 mm	4.8%
LC 3		-1.50 mm	-1.58 mm	5.3%

(a) 주행 속도 10km/h

(b) 주행 속도 30km/h

(c) 주행 속도 60km/h

그림 5. 동적 실험값과 시간이력 해석결과 비교

Analysis 옵션을 이용하여 시간이력해석을 수행하였다. Shell 요소를 적용하여 슬래브를 모델링하였으며(그림 4), 정적재하 시험에 대해서는 동일한 위치에 재하차량의 축하중을 재하하였으며, 동적 재하시험의 경우는 재하차량의 주행위치에 재하

사각에 따른 RC슬래브교의 반력특성 분석

표 3. 동적재하시험 측정최대값과 해석결과 비교

주행속도	Gauge NO.	DT1		
		측정값	해석값	오차율
10		-1.69 mm	-1.78 mm	5.3%
30		-1.60 mm	-1.78 mm	11.3%
60		-1.79 mm	-1.80 mm	0.6%

차량의 축하중을 시간이력으로 갖는 이동하중으로 재하하였다.

정적재하시험에서 측정된 변위와 해석결과를 분석하여 표 2에 나타내었다. LC1에서는 차이가 없었으나, LC2와 LC3에서는 0.08 mm 차이가 발생하였고, 이는 실험값과 해석값의 차이가 5% 이내로 차이가 작은 것으로 판단된다.

정적해석에서 사용한 모형과 동일한 모형으로 시간이력해석을 수행하여 최대 처짐에 대해 실험값과 비교하여 표 3에 나타내었으며, 시간이력을 그림 5에 비교하였다. 시간이력해석으로부터 산정된 최대 처짐값은 측정값과 주행속도 10 km/h일 때 0.08 mm(5.3%), 주행속도 30 km/h일 때 0.18 mm(11.3%), 주행속도 60 km/h일 때 0.0 mm(0.6%) 차이가 발생하였다. 시간이력을 비교한 그림 5로부터, 이력은 주행속도 10 km/h에서는 측정값과 해석값이 거의 유사함을 알 수 있다. 주행속도 30 km/h와 주행속도 60 km/h에서는 측정값과 해석값의 이력에 약간의 차이가 있으나 대체적으로 유사한 경향을 보이며, 최대값의 차이가 크지 않다. 따라서 본 연구에서 적용한 모델링 방법과 차량 이동하중의 시간이력 해석방법은 차량하중을 받는 RC 슬래브교의 거동특성을 적절히 반영할 수 있는 것으로 판단되며, 이를 이용하여 다양한 사각을 갖는 RC 슬래브교의 받침 반력특성을 분석하고자 한다.

차량 주행 시 도로표면에 가해지는 동적하중은 도로의 평탄성과 속도, 차량의 종류 등에 영향을 받기 때문에 동적등폭계수를 산정하였고, 동적등폭계수는 1.02로 나타났다.

4. 사각의 변화에 따른 거동분석

본 절에서는 사각의 각도변화에 따른 사각의 받침에 발생하는 부반력을 분석하기 위하여 3절에서 적용한 대상교량의 사각을 변화시켜 주행차량에 의한 시간이력해석을 실시하여 받침 반력을 조사하였다. 사각의 크기를 제외한 교량의 제원은 동일하며, 주행차량의 크기와 재하 위치 또한 3절과 동일하게 적용되었다.

그림 6. 받침위치

사교는 사각 60°를 기준으로 10°씩 변화시켜 60°, 70°, 80°, 90°(직교)에 대한 해석을 실시하였다. 각 지점부에는 9개의 받침이 있으며, 정해사 주행방향 우측으로부터 받침 번호 1번으로 하였다. 즉, 시점부 교대에서는 1번과 2번 받침이 둔각부에 해당되고, 종점부 교대에서는 8번과 9번 받침이 둔각부에 설치된 받침이다(그림 6). 받침간 간격은 동일하지 않으며, 받침 간격은 1번 받침을 기준으로 0.3 m, 0.9 m, 0.9 m, 1.4 m, 1.4 m, 0.9 m, 0.9 m, 0.3 m이다.

받침의 반력에 평가된 하중은 주행차량 이외에도 지중 등의 고정하중과 조합하중(고정하중+주행차량하중)이며, 정반력은 (+)로, 부반력은 (-)로 표시하였다.

4.1 고정하중에 의한 반력 변화 분석

사각을 매개변수로 하여 지중과 포장, 연석 등의 고정하중만 고려했을 때 교량의 지점부에 나타나는 반력은 그림 7과

(a) 교대부(시점) 반력

(b) 교각부 반력

(c) 교대부(종점) 반력

그림 7. 고정하중에 의한 반력 변화 분석

같다. 그림에서 x축은 그림 6에서 정한 받침번호이며, y축은 고정하중에 의한 반력값을 의미한다. 직교(사각 90°)일 경우가, 교대부에서 반력 분포가 가장 일정한 것으로 나타났으며, 사각이 작아질수록(사교의 정도가 커질수록) 교대부에서 지점 반력의 편차가 커짐을 알 수 있다.

둔각부인 시점부 교대의 1번 받침과 종점부 교대의 9번 받침에서는 반력이 집중되어 사각의 크기와 상관없이 가장 큰 지점반력이 발생하였다. 시점부 교대의 1번 받침에서 직교인 경우(사각 90°), 받침 반력은 180.5 kN이었으나, 사각이 감소함에 따라(사교의 정도가 커질수록) 받침반력이 230.2 kN, 282.5 kN, 333.6 kN으로 증가하였다(그림 7(a)). 둔각부에 설치된 종점부 교대 9번 받침의 경우에도 사교의 정도가 커질수록 받침반력이 커지는 것으로 나타났다(그림 7(c)).

시점부 교대 2번 받침과 종점부 교대 8번 받침에서는 사각이 60°일 때 -32.5 kN, 70°일 때 -6.4 kN의 부반력이 발생하였음을 그림으로부터 확인할 수 있다. 따라서 시점부 받침 반력이 가장 크게 발생하는 받침의 인접부 받침에서는 사각에 따라 부반력이 발생하는 경우도 존재하는 것으로 나타났다.

교량의 중간 지점부인 교각부 받침에서는 교량의 시·종점부인 교대부 받침과 달리, 직교의 경우가 반력 분포의 편차가 큰 것으로 나타났으며, 사각이 작아질수록 받침의 반력분포가 일정해지는 것으로 나타났다. 또한, 부반력은 발생하지 않는 것으로 분석되었다.

4.2 주행차량에 의한 반력 변화 분포

주행차량에 의한 받침의 반력 변화를 분석하기 위해 해석 모형에 주행속도 60 km/h의 시간이력해석을 실시하였다. 차량의 주행위치는 3절의 동적재하시험의 검증에 사용한 위치와 동일하게 적용하였다.

부반력의 발생여부를 확인하기 위해 시간이력 결과 중에서 최소반력만을 산출하여 받침 위치별 최소반력을 그림 8에 나타내었다. 그림에서 x축의 숫자는 받침 번호를 의미한다. 둔각부로 차량이 진행한 시점부 교대의 경우(그림 8(a)), 둔각부에 위치한 1번과 2번 받침에서 사각의 크기가 작아질수록(사교의 정도가 커질수록) 부반력이 크게 발생하였음을 알 수 있다. 시점부 교대부의 1번 받침에서 사각이 작아질수록 부반력이 -8.7 kN, -21.2 kN, -36.3 kN, -45.8 kN으로 부반력이 증가하였으며, 2번 받침에서는 사각이 작아질수록 부반력이 -1.0 kN, -9.3 kN, -33.0 kN, -64.5 kN으로 부반력이 증가하였다.

종점부 교대의 경우(그림 8(c)), 차량의 재하위치가 예각부위로 진행함에 따라 시점부와 달리 둔각부인 9번 받침을 제외하고 부반력의 작게 발생하였다. 9번 받침에서는 사각이 작아질수록 부반력이 -30.8 kN, -34.9 kN, -40.9 kN, -57.9 kN으로 증가하였다. 내부지점인 교각부에서는 외측에 배치된 1번과 9번 받침에서 부반력이 발생하였다(그림 8(b)). 차량 진행위치에 배치된 1번 받침의 경우는 사각이 감소될수록 부반력이 증가되는 현상이 뚜렷하게 나타났으나, 차량 재하위치에 반대편에 위치한 9번 받침의 경우, 사각의 크기에 상관없이

(a) 교대부(시점) 반력

(b) 교각부 반력

(c) 교대부(종점) 반력

그림 8. 주행차량 고려 시 반력분포

발생 부반력이 유사하게 나타났다.

4.3 조합하중에 의한 반력 변화 분석

실제의 경우, 교량의 자중 등의 고정하중과 주행 차량하중이 동시에 재하되므로 조합하중(고정하중+주행차량 하중)을 고려할 경우의 최소 반력값을 조사하여 그 결과를 그림 9와 표 4에 나타내었다.

시점부 교대의 경우(그림 9(a)), 차량 진행방향에 위치한 둔각부 받침 1에서 최대 정반력이 발생하고, 인접 받침 2에서 사각 60°일 때 -97.0 kN, 70°일 때 -39.4 kN의 부반력이 발생하였다. 종점부 교대의 경우에는(그림 9(c)) 차량 진행방향의 반대편에 위치한 둔각부의 최외측 9번 받침에서 최대 반력이 발생하며, 인접 8번 받침에서 사각이 60°일 때 -35.9 kN, 사각이 70°일 때 -7.2 kN이 발생하였다. 교각부에서는 최외측

(a) 교대부(시점) 반력

(b) 교각부 반력

(c) 교대부(종점) 반력

그림 9. 조합하중에 의한 반력분포

의 9번 받침에서 사각이 80°일 때 -8 kN, 90°일 때 -30.6이 발생하였다. 고정하중에 의하여 교각부에서는 부반력이 발생하지 않았으나, 주행차량의 영향에 의하여 조합하중의 경우 부반력이 발생된 것으로 나타났다.

대상교량의 경우, 사각이 감소함에 따라(사각의 정도가 커질수록) 둔각부 받침에 반력이 집중되고 또한 인접 받침에서는 사각이 70°이하에서 부반력이 발생하므로 받침의 용량 산정과 부반력 제어 등에 유의하여야 할 것으로 판단된다.

표 4. 조합하중에 의한 받침 최소 반력(단위 : kN)

위치	받침 번호	사각			
		60°	70°	80°	90°
시점부 교대	1	287.9	246.2	209.0	171.8
	2	-97.0	-39.4	4.7	27.4
	3	18.6	32.9	51.0	61.8
	4	144.2	136.6	118.3	94.9
	5	138.5	128.7	118.1	113.4
	6	60.3	62.0	70.2	87.7
	7	67.3	72.0	69.6	62.5
	8	31.6	36.3	36.1	27.1
	9	65.0	83.8	112.0	151.4
교각부	1	169.3	67.2	12.1	10.8
	2	328.5	347.7	353.4	354.4
	3	286.3	341.1	380.6	394.9
	4	350.6	384.2	410.0	419.5
	5	410.5	447.0	474.9	485.2
	6	340.1	380.3	409.6	419.3
	7	282.8	340.8	380.1	394.7
	8	326.6	347.5	352.9	354.2
	9	183.0	67.0	-8.0	-30.6
중점부 교대	1	68.0	98.0	134.5	171.4
	2	37.5	39.5	36.0	27.6
	3	70.9	72.2	68.4	61.7
	4	65.3	62.4	74.0	95.4
	5	140.0	126.7	116.7	113.3
	6	141.5	129.8	110.0	87.9
	7	43.3	47.2	55.3	62.5
	8	-35.9	-7.2	13.8	26.9
	9	275.8	241.6	195.3	149.7

5. 결 론

본 연구에서는 2경간 연속 RC 슬래브교를 대상으로 차량 이동하중의 시간이력해석을 수행하여 RC슬래브교의 받침 발생 특성을 분석하였다. 계측값과 해석값의 비교·분석을 통해 적용 해석방법을 검증한 후 이를 다양한 사각을 갖는 경우에 대해 적용하였다. 사각에 따른 반력의 변화를 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고정하중과 주행차량의 이동하중에 의하여 둔각부 최외측 받침에 반력이 집중되는 것으로 나타났으며, 사각이 작아질수록(사각의 정도가 커질수록) 집중되는 반력의 크기가 증가하였다. 직교(사각 90°)일 경우가, 교대부에서 반력 분포가 가장 일정한 것으로 나타났으며, 사각이 작

아질수록 교대부에서 지점 반력의 편차가 커짐을 알 수 있다. 따라서 사각을 갖는 RC 슬래브교의 경우 받침 용량 산정 시 반력의 편차를 반영할 수 있는 해석기법을 적용하여야 한다.

- 2) 고정하중에 의하여 둔각부 최외측의 인접한 받침에 생기는 부반력을 주행차량의 이동하중이 상쇄시켜줄 것으로 예상했으나, 고정하중에 의하여 발생한 사각 60°에서 -32.5 kN, 70°에서 -6.4 kN의 부반력 보다 고정하중과 주행차량의 이동하중에 의하여 발생한 부반력이 사각 60°에서 -97.0 kN, 70°에서 -39.4 kN으로 더 크게 나타났고, 이는 고정하중에 의한 부반력과 주행차량의 이동하중에 의한 부반력이 서로 상쇄되지 못하고 부반력을 증가시키거나 정반력을 감소시키는 결과가 나타난 것으로 분석되었다.
- 3) 사각이 감소함에 따라(사각의 정도가 커질수록) 반력이 집중된 둔각부 최외측 받침에 인접한 받침에서는 사각이 60°일 때 -97.0 kN, 70°일 때 -39.4 kN으로 사각 70°이하에서 부반력이 발생하는 하는 것으로 분석되었다. 받침의 배치형태와 지간장, 사각의 크기 등에 따라 발생하는 부반력의 크기는 변화될 것으로 예측되므로 사각을 갖는 RC 슬래브교에서는 부반력 제어에 유의하여야 할 것으로 판단된다.

향후 부반력을 제어하기 위한 연구가 필요하다고 판단되며, 다양한 지간장과 폭을 갖는 RC 슬래브교를 대상으로 다양한 차량 주행속도를 고려하여 매개변수 사이의 연관성에 대해 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- 강성후, 박선준, 김규형 (2002) 해석적 방법에 의한 사각을 갖는 R.C. 라멘교의 윤하중분포폭 설계식 제안, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제22권, 제3-A호, pp. 679-686.
- 국토해양부 (2008) **도로설계편람 제5편 교량**, 한국도로교통협회.
- 국토해양부 (2010) **도로교설계기준**, 한국도로교통협회.
- 박순웅, 박문호, 권민호, 김창수 (2005) 면진장치를 사용한 강박스 사각의 지진하중 영향평가, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 903-907.
- 정철현, 김영진 (1997) 사각을 갖는 슬래브교량의 하중분배효과에 대한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제17권, 제1-4호, pp. 597-605.
- Kennedy, John. B. and Ebeido, Tarek. (1995) Shear Distribution in Simply Supported Skew Compos Bridge, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 22, pp. 1143-1154.

© 논문접수일 : 2012년 04월 09일
 © 심사회의일 : 2012년 04월 12일
 © 심사완료일 : 2012년 04월 23일