

## 탄성받침의 수직강성이 사교 지점 반력에 미치는 효과

### Effect of the Vertical Stiffness of Elastomeric Bearings on Support Reactions in Skew Bridges

문성권\*

Seong-Kwon Moon

#### ABSTRACT

Bearings at the obtuse corner are subjected to much larger vertical reactions than other bearings because of the geometric shape of skew bridges. The current relevant specifications require that additional bars should be disposed at the bottom of concrete deck slabs to deal with the large vertical reaction on bearings at the obtuse corner. In this study, new methods of reducing the magnitude of the vertical reaction on bearings at the obtuse corner by the stiffness adjustment of bearings were proposed. The basic concept of proposed methods was to redistribute support reactions by reducing the vertical stiffness of bearings at the obtuse corner showing a relatively large vertical reaction. For 45 simply supported skew bridges designed according to the current relevant specifications, the redistribution effect of vertical reactions by the stiffness adjustment of bearings was investigated. Parameters such as skew angle, girder spacing, and deck aspect ratio that affect the distribution of support reactions were considered. The results of the analyses show that the magnitude of the vertical reaction on bearings at the obtuse corner can be reduced to the levels of straight bridges by replacing the existing bearings at the obtuse corner with new ones having the value of 1/10 or 1/20 of the vertical stiffness of the existing bearings. The reduction effect of the vertical reaction on bearings at the obtuse corner increases as the girder spacing decreases and it is more pronounced when the deck aspect ratio is 2.0.

#### 1. 서론

교량의 평면 형상은 가능한 한 단순한 형상의 직선교(straight bridge)로 하는 것이 바람직하지만 여러 제약조건 때문에 사교(skew bridge) 또는 곡선교(curved bridge)로 하는 경우도 빈번하다. 물론 직선교를 채택하는 것이 상부구조물이나 하부구조물의 구조 특성상 바람직하지만, 공간상의 제약이나 지형적 문제, 선형상 피할 수 없는 상황, 도로에 대하여 비스듬히 교차하는 사면 등으로 굴착 토량을 현저히 감소시킬 수 있는 경우에는 사교를 적용하는 것이 보다 합리적일 수도 있다. 하지만 이러한 사교는 기하학적 형상 때문에 직선교보다 훨씬 복잡한 거동(behavior)을 유발하므로 사교를 설계함에 있어서는 무엇보다도 사교의 거동 특성을 미리 파악할 필요가 있다.

국내에서 진행된 사교에 관한 기존 연구들<sup>1) 2)</sup>은 주로 슬래브 교량에 대한 것이 주를 이루며 판형교에 대하여 진행된 몇몇 연구들은 특정 교량을 예제구조물로 선정한 관계로 이미 알려진 사교의 일반적

\* 정회원, 경산대학교 건축건설시스템공학부 토목공학전공, 조교수

인 사항만을 확인하는 정도에 머물러 있다. 관련 분야의 대표적인 국외논문으로서는 Kennedy<sup>3)4)</sup>에 의해 진행된 단순(simply supported) 합성교에 관한 반력 특성 및 주형의 휨모멘트 평가를 들 수 있다. 이들 논문에서는 주형간격을 고려했던 이전의 연구와는 달리 사교의 거동에 영향을 미치는 매개변수들(주형간격, 상판 중횡비, 차선수, 사각, 가로보 등)의 영향이 고려되었으며 OHBDC 트럭 하중과 사하중에 대한 지점반력 분포계수 및 휨모멘트 분포계수와 관련된 경험식들이 제안된 바 있다. Khaleel<sup>5)</sup>은 유한요소방법을 사용하여 112개의 사교(2경간 연속교)에 대한 결과 분석으로부터 내부 주형과 외부 주형의 휨모멘트를 계산하는 방법을 제시하였다. 이 논문에서는 사각, 주형간격, 상판 중횡비 등이 매개변수로 사용되었다. Lui<sup>6)</sup>은 개선된 막대 모델(stick model)을 이용하여 사교의 동적 해석에 적합한 해석모형을 제안하였다. 둔각부 받침에 발생하는 수직반력은 사교의 기하학적 형상 때문에 인근 받침들에 발생하는 수직반력보다 상대적으로 훨씬 큰 것으로 알려져 있으며 이러한 문제점을 극복하기 위한 방편으로서 현행 관련 시방서에서는 가외 철근을 슬래브 하면에 배근하도록 규정(도로교표준시방서 규정 8.4.5)하고 있다. 본 연구에서는 관련 시방서 규정의 수동적인 해결방법 대신에 보다 능동적인 방법을 제안하고자 하였다. 즉, 기존 둔각부 받침 대신에 수직방향 강성이 다소 감소된 받침을 둔각부 받침으로 사용함으로써 사교의 둔각부 받침에서의 수직반력 집중 현상을 완화시키는 것이다. 제안된 방법을 이용하여 받침들간의 강성 차이에 의한 둔각부 수직반력 감소 효과와 그 적용 가능성을 검토하였으며 대상 교량으로서는 국내 관련 시방서에 준하여 설계된 45개의 사교들을 고려하였다. 보다 정확한 사교의 거동을 확보하기 위해 3차원 유한요소모델을 해석모델로 사용하였으며 매개변수로서는 사교 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 주형간격(1.8m, 2.4m, 3.6m), 사각(90°, 75°, 60°, 45°, 30°), 상판 중횡비(1:1.5, 1:2.0, 1:2.5) 등을 고려하였다.

## 2. 사교의 일반사항과 탄성받침

### 2.1 사교의 일반사항

사교에서 사각(skew angle)은 임의 교대 또는 교각에 설치된 받침들의 중심을 연결한 받침 중심선과 교축방향에 의하여 형성되는 각으로 정의된다. 이러한 정의에 따르면 직선교(straight bridges)의 사각은 90°가 된다. 일반적으로 사교는 직선교보다 훨씬 복잡한 거동을 보이는 것으로 알려져 있다. 즉, 상판의 기하학적 형상과 그로 인한 사각 방향으로의 받침 배치에 의해 휨(bending) 이외에도 비틀림(torsion)이 교량 단면에 발생하고 직선교와는 다른 복잡한 반력 분포(둔각부 받침은 직선교의 해당 위치의 받침보다 더 큰 수직반력을 받고 예각부 받침은 직선교의 해당 위치의 받침보다 더 작은 수직반력을 받는다)를 보이며 하중 재하 조건에 따라 예각부에 uplift현상도 유발될 수 있다. 이러한 사교의 거동특성은 교량 형식(슬래브교, 판형교, 박스거드교)에 크게 좌우되는 것으로 알려져 있으며 통상 공간에 비해 폭원이 넓은 경우에는 판형 형식을, 폭원에 비해 경간이 큰 경우에는 비틀림에 강한 박스거드 형식이 많이 이용되고 있다. 본 연구에서는 단순(simply supported) 판형교를 대상 교량 형식으로 선정하였다.

### 2.2 탄성받침(elastomeric bearings)

일반적으로 탄성받침은 고무층과 강재 보강층을 함께 부착하여 여러 층으로 구성되는 비교적 간단한 형식의 받침이다. 이러한 탄성받침은 하중의 전달이 효과적이며 전단변형에 의한 이동과 탄성변형에 의한 회전이 가능하여 모든 방향으로의 신축 및 회전이 가능하다. 부식이 심하지 않은 환경에서는 내구성

이 좋고 유지관리 측면에서도 우수한 것으로 알려져 있어 사고, 곡선교, 폭이 넓은 교량 등 모든 형식의 교량에 적용가능하며 그 사용이 증가 추세에 있다. 탄성받침의 강성을 살펴보면 통상 교축방향과 교축직각방향에 대한 전단강성은 동일하며 회전강성들은 방향별로 서로 다른 강성값을 가진다. 이때 교량의 수직방향의 강성은 교축방향과 교축직각 방향의 전단강성보다 수백배 정도 큰 값을 보이며 교축직각방향의 회전강성은 나머지 두 방향의 회전강성보다 큰 값을 나타낸다. 현재 실무에서는 교량 해석의 간편성을 감안하여 탄성받침의 각 방향별 강성을 제대로 고려하지 않고 힌지 또는 롤러(일방향, 이방향) 등을 이용하여 받침을 모형화하고 있다. 그러나 본 연구에서는 사고의 기하학적 형상 때문에 유발되는 둔각부 받침에서의 수직반력 집중 현상을 완화시킬 수 있는 방법을 제시하고자 받침의 각 방향별 강성들을 각각의 스프링들로 모형화 하였다. 본 연구의 수치예제에서 사용된 탄성받침들은 국내에서 제작, 시공되고 있는 받침들<sup>7)</sup>로 선정하였으며 해석에 이용된 교량받침의 용량과 각 방향별 강성값들은 표 1과 같다.

표 1. 각 사고들에 사용된 받침의 용량과 각 방향별 강성값

종횡비	받침 용량(ton)	전단강성(ton/m)		압축강성(ton/m) (교량수직방향)	회전강성(ton · m/rad)		
		(교축방향)	(교축직각방향)		(교축방향)	(교축직각방향)	(교량수직방향)
1:1.5	100	383	383	113558	677	1732	7.10
1:2.0, 1:2.5	135	306	306	55570	470	836	6.40

### 3. 수치예제

사고의 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 사각(skew angle), 주형간격(주형수) 및 상판 종횡비 등을 매개변수<sup>3) 4) 5)</sup>로 선정하였다. 단순(simply supported) 판형교를 대상으로 2차선의 활하중을 재하할 수 있는 폭원을 가진 단면을 기준으로 경간길이를 변화시켜 세가지 상판 종

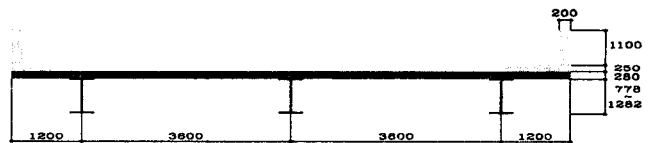


그림 1. 교량의 횡단면도

횡비(1:1.5, 1:2.0, 1:2.5)를 고려하였다. 사용된 교량단면의 전체 폭원은 9.6m(연석간 거리: 7.2m)이며 세가지 상판 종횡비에 대한 경간길이는 각각 14.4m, 19.2m, 24.0m이다. 직선교와 사고간의 거동을 분석하기 위해 총 5가지 사각, 즉 사각 90°(직선교)와 사각 75°, 60°, 45°, 30°을 고려하였으며 아울러 주형수(주형간격)에 따른 사고 거동을 파악하기 위하여 세가지 주형수(3,4,5)를 고려하였다. 주형수가 3, 4, 5일 때 주형간격은 각각 3.6m, 2.4m, 1.8m이다. 따라서 본 연구에서는 총 45개(3x5x3)의 교량을 고려하였다. 그림 1은 본 연구에서 이용된 교량의 횡단면을 나타낸다. 도로교 설계기준들<sup>8) 9) 10)</sup>에 준하여 교량의 구성 요소들(슬래브, 보도, 난간, 주형, 단부수직브레이싱, 중간수직브레이싱, 하중분배가로보)의 단면을 결정하였다. 각 부재 단면치수는 그림 1과 표2에 나타나 있다. 사각이 70°보다 큰 사각 90°와 75°의 사고에 대해서는 받침선과 나란한 방향으로 중간수직브레이싱과 하중분배가로보를 배치하고 사각이 70°보다 작은 사각 60°, 45°, 30°에 대해서는 주형에 직각으로 배치하였다. 특히 지점부에서 단부수직브레이싱과 중간수직브레이싱이 서로 만나지 않도록 최소 간격(300mm)을 확보하였다.<sup>11)</sup> 또한 사각이 심

한 사고의 경우에 합성형으로 할 때에는 주형의 비틀림에 의해 바닥판에 과도한 응력이 발생하여 바닥판 파손으로 연결될 우려가 있으므로 사각이 60°이하(사각 60°, 45°, 30°)의 사고는 비합성형으로 사각 90°와 75°의 사고는 합성형으로 설계하였다. 본 연구에서 고려된 교량 받침 배치는 그림 2와 같으며 이러한 받침 배치는 사변방향으로의 신축을 흡수해줌으로써 받침에 걸리는 반력값을 최소화시킬 수 있는 이점이 있다.

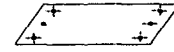


그림 2. 교량 받침의 배치

### 3.1 유한요소모델

표 2. 부재 단면치수(mm)

사고의 거동을 파악하기 위해 다양한 방법(격자법, 유한대판법, 유한요소법 등)을 이용할 수 있으나 본 연구에서는 모형화에 다소 시간이 소요되지만 사고의 복잡한 거동을 보다 정확하게 파악할 목적으로 유한요소법을 이용하였으며 범용 유한요소해석 프로그램인 STRAND-7<sup>12)</sup>을 사용하여 3차원 유한요소모델(3-D finite element model)들을 작성한 후 해석을 수행하였다. 교량의 구성 요소들 중 상판과 보도의 경우 막(membrane)작용과 휨(bending)작용이 중요하므로 이들 작용을 고려하기 위해 4절점 plate/shell 요소를 사용하여 상

부재	지간	단면치수 (폭x두께)	비고
주형	14.4m	플랜지 : 220x14~16 복부 : 750x12	플랜지 두께 변화 위치 : 0.17L, 0.83L
	19.2m	플랜지 : 260x14~16 복부 : 1000x12	플랜지 두께 변화 위치 : 0.16L, 0.84L
	24.0m	플랜지 : 300x14~16 복부 : 1250x12	플랜지 두께 변화 위치 : 0.17L, 0.83L
하중분배가로보	19.2m	플랜지 : 200x14 복부 : 600x12	설치위치 : 경간 중앙(L/2)
	24.0m	플랜지 : 200x14 복부 : 1000x12	설치위치 : 경간 중앙(L/2)
단부수직브레이싱	14.4m	상현재 : 300x90x12x16	형식 : 역V형 설치 위치 : 양쪽 지점
	19.2m	사재 : 2-L150x150x12	
	24.0m	하현재 : L130x130x9	
중간수직브레이싱	14.4m	상현재 : L130x130x9	형식 : V형 설치 위치 : 19.2m, 24.0m : L/4, 3L/4 14.4m : L/4, 2L, 3L/4
	19.2m	사재 : 2-L100x100x10	
	24.0m	하현재 : L130x130x9	

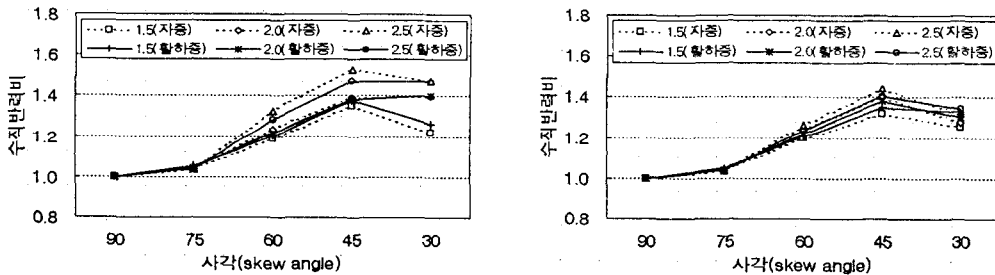
판과 보도를 모형화하였다. AASHTO LRFD 시방서<sup>13)</sup>에서는 plate/shell 요소의 종횡비(aspect ratio)를 최대 5.0으로 보고 있으나 이러한 모형화로서는 사고와 같은 복잡한 거동을 표현하기에 다소 무리가 있을 것으로 판단되어 가급적 1.0에 가까운 종횡비로 모형화하였다. 또한 주형에 대해서도 상부 플랜지와 하부 플랜지 및 복부를 4절점 plate/shell 요소를 사용하여 모형화하였다. 수직브레이싱의 상현재, 하현재, 사재들과 하중분배가로보는 각각 하나의 3차원 보로서 모형화하였다. 탄성 받침은 각 방향의 강성을 고려하여 각각 하나의 스프링으로 모형화하였다. 그림 3은 사각 60°, 경간 길이 19.2m, 3개의 주형을 가지는 단순 사고에 대한 3차원 유한요소모델을 나타낸다.



그림 3. 사고의 3차원 유한요소모델

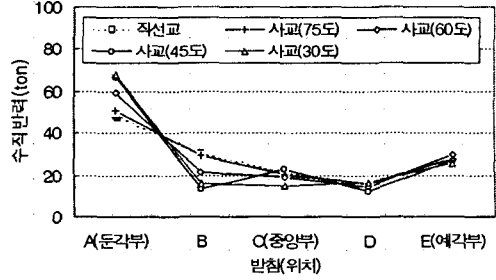
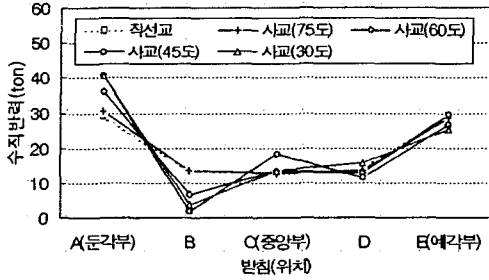
### 3.2 사고의 거동 특성(반력 중심)

본 연구에서 고려된 사고 상판의 기하학적 형상(그림 2 참조)을 감안하여 왼쪽 지점부를 중심으로 설계시 중요한 검토 사항의 하나인 교량 평면에 수직한 방향의 반력을 조사하였다. 이때 왼쪽 지점부의 둔각부에 위치한 받침에 가장 큰 수직반력이 발생하도록 활하중을 재하시켰다. 그림 4는 사고의 기하학적 형상 때문에 유발되는 둔각부 받침에서의 수직반력의 집중 현상을 사각과 주형간격 및 상판 종횡비에 대하여 나타내고 있다. 그림의 증거값들은 사고의 둔각부 받침에 걸리는 수직반력값을 동일한 종횡비와 지간을 가지는 직선교(사각 90°)의 해당 받침에 걸리는 수직반력값으로 나눈 값이다. 그림상의 표현 “1.5(자중)”은 종횡비가 1:1.5이며 이때의 하중조건이 자중이라는 것을 의미한다. 그림들로부터 75°의 사각을 가지는 사고의 경우에는 주형간격이나 종횡비에 무관하게 1.0보다 약간 큰 값을 나타내므로 75°의 사각을 가지는 사고는 직선교로 취급할 수 있을 것이다. 다른 사각에 대해서는 사각이 심할수록, 같은 사각 조건일 때에는 종횡비가 클수록 큰 수직반력비를 나타내는 경향이 있다. 예를 들어 주형간격이 1.8m, 종횡비가 1:2.5, 사각 45°의 사고에서는 자중과 활하중의 하중 조건하에서 각각 직선교보다 1.53배, 1.47배 큰 수직반력이 발생한다. 주의할 점은 사각 45°의 사고에서 발생하는 수직반력비가 사각 30°의 사고보다 더 크게 발생할 수 있다는 점이다.



(a) 주형간격 = 1.8m (주형수=5개) (b) 주형간격 = 2.4m(주형수=4개)  
그림 4. 사고의 둔각부 받침에서의 수직반력의 집중 현상

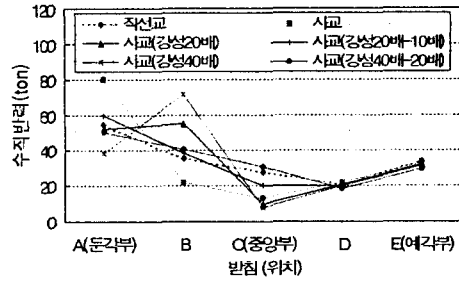
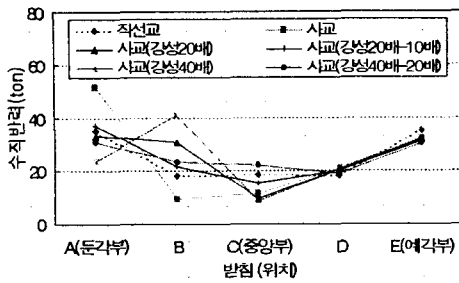
그림 5는 왼쪽 지점의 받침들에 작용하는 수직반력들의 분포를 나타낸 것으로서 대상 교량의 주형간격은 1.8m, 상판 종횡비는 1:2.0이다. 그림으로부터 두 가지 하중조건(자중, 편심 활하중)의 경우에 둔각부 받침은 사각이 심할수록 직선교보다 매우 큰 수직반력을 예상부 받침은 사각이 심할수록 직선교보다 작은 수직반력을 받으며 나머지 받침들은 직선교보다 작거나 또는 큰 수직반력을 받고 있음을 알 수 있다. 여기서 주의깊게 볼 것은 사각이 심할수록 각 받침들간의 수직반력 차이가 심하게 나타난다는 사실이다.



(a) 자중 (b) 편심 활하중  
 그림 5. 사각의 변화에 따른 수직반력 분포(왼쪽 지점 중심)

### 3.3 받침의 강성조정 방법

본 연구에서는 받침의 강성조정을 통하여 사교의 기하학적 형상 때문에 유발되는 수직반력의 둔각부 집중현상을 완화시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 현재 실무에서는 임의의 교대 또는 교각에 동일한 강성을 가지는 받침들을 일률적으로 사용하고 있어 받침들간에는 강성의 차이가 거의 존재하지 않는다. 이러한 점에 착안하여, 제안된 방법의 기본 개념은 수직반력이 직선교보다 크게 작용하는 둔각부의 받침에 대해서는 수직방향의 강성을 감소시키고 수직반력이 작게 작용하는 예각부 받침에 대해서는 수직방향 강성을 증가시키는 것이다. 그림 6은 둔각부 받침과 중앙부 받침 사이에 놓이는 받침에 대한 강성 감소의 고려 유무에 따른 수직반력분포를 나타낸 것으로서 5개의 주형을 가지고 지간 24.0m(1:2.5의 중횡비)의 30° 사각을 가지는 교량을 대상으로 하였다. 그림에서 “강성 20배-10배”라는 표현은 Case C에 해당하는 것으로서 인근 받침의 수직강성보다 20배 작은 강성을 가진 받침을 둔각부 받침에 설치하고 10배 작은 강성을 가진 받침을 둔각부 받침과 중앙부 받침 사이에 놓이는 받침에 설치한 경우를 나타낸다. 그림으로부터 동일한 강성을 가진 받침들이 사용된 사교의 경우(“사교”, 강성조정이 이루어지지 않은 경우)에는 둔각부 받침에 매우 큰 수직반력이 발생하지만 둔각부 받침의 수직방향 강성을 감소시킴으로써 둔각부 받침에 작용하는 수직반력값이 상당히 감소하는 것을 알 수 있다. 이때 예각부 받침의 수직반력값도 다소 감소하는 현상을 보이며 나머지 받침의 수직반력값은 직선교보다 크거나 작게 나타난다. 주의할 점은 둔각부 받침의 강성만을 감소시킬 경우(“강성 20배”, “강성 40배”)에는 받침들간의 수직반력 차이가 여전히 크게 나타나지만 둔각부 받침과 인근 받침의 강성을 동시에 감소시킬 경우(“강성 20배-10배”, “강성 40배-20배”)에는 받침들간의 수직반력 차이가 상당히 줄어든다. 이는 받침들간의 수직강성 차이를 완만하게 한 결과이다. 사교(“강성 20배-10배”)와 사교(“강성 40배-20배”)의 받침별 수직반력분포가 두 가지 하중조건(자중, 편심활하중)에 대하여 직선교의 수직반력분포와 전반적으로 유사한 분포를 이루고 있다는 사실도 주목할 필요가 있다. 결과적으로 5개의 주형을 가진 교량의 경우에는 임의의 교대 또는 교각의 두 군데 받침(둔각부 받침 및 둔각부와 중앙부 사이에 위치한 받침)의 강성을 동시에 감소시키는 것이 받침들간의 수직반력 차이를 줄일 수 있는 보다 효과적인 방법임을 알 수 있다.

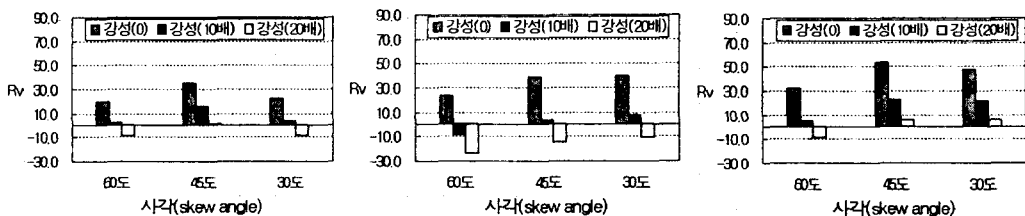


(a) 자중 (b) 편심 활하중

그림 6. 강성조정에 의한 수직반력값의 변화

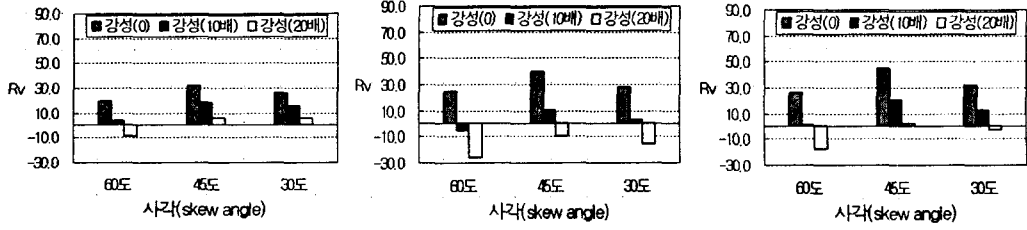
### 3.4 강성조정에 의한 둔각부 받침의 수직반력 감소 효과

현행 국내시방서에 준하여 설계되었으며 총 45개의 사교를 대상으로 세가지 매개변수(주형간격, 사각, 상판 중횡비)에 대하여 사교의 둔각부 받침의 수직반력 감소효과 알아보았다. 그림 7, 8, 9는 각각 주형간격이 1.8m, 2.4m, 3.6m일 때 강성조정에 의한 둔각부 받침의 수직반력 감소효과를 나타낸 것으로 종축( $R_v$ )은 수직반력(사교의 둔각부 받침의 수직반력과 직선교의 해당 받침의 수직반력)의 차이를 직선교의 수직반력에 대한 백분율(%)로 나타낸 것이다. 그림에서 음(-)의 값은 사교의 둔각부 받침의 수직반력값이 직선교의 수직반력값보다 작다는 것을 의미한다. 사각  $75^\circ$ 를 가지는 사교들의 둔각부 받침의 수직반력값들은 직선교의 수직반력값들과 거의 같은 크기(5% 미만)를 보이며 그림에는 생략되어 있다. 그림에서 “강성(0)”의 표현은 강성조정이 적용되지 않은 경우를 의미한다. 그림들로부터 사각  $60^\circ$ 를 가지는 사교들의 경우에 인근 받침의 수직강성보다 10배 작은 수직강성을 가지는 받침을 둔각부 받침으로 교체하면 중횡비와 주형간격과는 무관하게 전반적으로 둔각부 받침에 작용하는 수직반력의 크기는 직선교와 유사한 크기(5% 미만의 차이)를 보인다. 다만 1:2.5의 중횡비를 가지면서 주형간격이 다소 크게 생각되는 3.6m 사교의 경우에는 직선교보다 약 12.5% 정도 크게 나타나는 결과를 보인다(그림 9c 참조). 사각  $45^\circ$ 와  $30^\circ$ 를 가지는 사교들의 경우에 인근 받침의 수직강성보다 20배 작은 수직강성을 가지는 받침을 둔각부 받침으로 교체하면, 직선교와 유사한 크기의 수직반력값을 보인다. 이때에도 1:2.5의 중횡비를 가지면서 주형간격이 다소 크게 생각되는 3.6m 사교의 경우에 둔각부 받침의 수직반력값은 직선교보다 약 15% 정도 크게 나타난다. 편심 활하중이 작용하는 경우에도 전반적으로 자중과 유사한 경향을 보인다. 결과적으로 주형간격이 너무 크지 않은 사교들에 대해서는 강성조정을 통하여 둔각부 받침에서의 수직반력 집중현상을 현저히 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

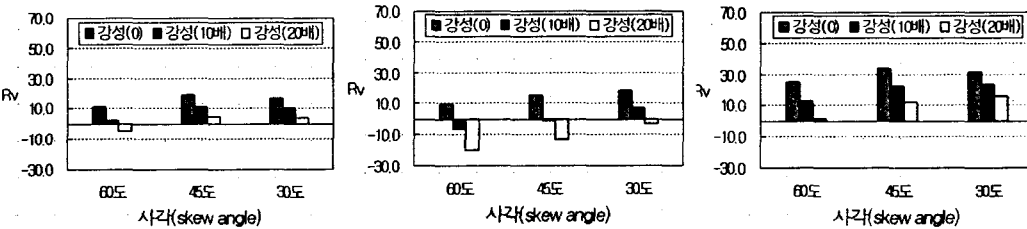


(a) 중횡비(1:1.5) (b) 중횡비(1:2.0) (c) 중횡비(1:2.5)

그림 7. 강성조정에 의한 둔각부 받침의 수직반력 감소 효과(자중, 주형간격=1.8m)



(a) 중횡비(1:1.5) (b) 중횡비(1:2.0) (c) 중횡비(1:2.5)  
 그림 8. 강성조정에 의한 둔각부 받침의 수직반력 감소 효과(자중, 주형간격=2.4m)



(a) 중횡비(1:1.5) (b) 중횡비(1:2.0) (c) 중횡비(1:2.5)  
 그림 9. 강성조정에 의한 둔각부 받침의 수직반력 감소 효과(자중, 주형간격=3.6m)

#### 4. 결론

일반적으로 사교는 직선교보다 훨씬 복잡한 거동을 보이며 이는 사교 상판의 기하학적 형상에 기인한다. 사교의 기하학적 형상으로 유발되는 둔각부 받침에서의 수직반력 집중현상의 문제점을 해결하기 위하여 현행 관련 시방서에서는 가의 철근을 슬래브 하면에 배근하도록 규정(도로교표준시방서 8.4.5)하고 있지만 본 연구에서는 받침의 강성조정을 통하여 사교의 둔각부 받침에서의 수직반력 집중현상을 완화시킬 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 기본 개념은 수직반력이 직선교보다 크게 작용하는 둔각부의 받침에 대해서는 수직방향의 강성을 감소시키는 것이다. 현행 국내시방서에 준하여 설계된 총 45개의 사교들을 대상으로 둔각부 받침의 수직반력 감소효과를 조사하였다. 사교 거동에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 주형간격(1.8m, 2.4m, 3.6m), 사각(90°, 75°, 60°, 45°, 30°), 상판 중횡비(1:1.5, 1:2.0, 1:2.5) 등을 매개변수로 사용하였다. 해석결과로부터 다음과 같은 결론을 이끌어낼 수 있었다.

- 사교의 둔각부 받침에 작용하는 수직반력을 줄이기 위한 강성조정 방법으로서 둔각부 받침의 강성을 소시키는 것과 예각부 받침의 강성을 증가시키는 방법이 있으나 둔각부 받침의 강성을 감소시키는 것보다 효과적이다. 임의 교대 또는 교각에 5개 이상의 받침이 존재하는 경우에는 두 군데 받침(둔각부 받침 및 둔각부와 중앙부 사이의 받침)에 대하여 강성을 동시에 감소시키는 방법이 효과적이다. 이 둔각부와 중앙부 사이의 높이는 받침의 수직강성은 둔각부 받침의 수직강성의 두 배정도 큰 값이 적당하다. 이러한 방법은 둔각부 받침과 인근 받침들간의 수직강성 차이를 완만하게 함으로써 받침들간 급격한 수직반력 차이를 줄일 수 있는 효과가 있다.
- 사교의 둔각부 받침에 작용하는 수직반력의 크기를 직선교의 해당 받침의 수직반력 크기로 줄이기 위해서는 60°의 사각을 가지는 사교들과 45°, 30°의 사각을 가지는 사교들의 경우에 인근 받침들의 수직강성보다 각각 10배, 20배 작은 수직강성을 가지는 받침을 둔각부에 설치해야 한다. 단 1:2.5의 중횡비를 지면서 다소 큰 주형간격(3.6m)을 가지는 사교의 경우에는 보다 작은 수직강성을 가지는 받침을 둔각



에 설치할 필요가 있다. 둔각부 수직반력 감소 효과에 가장 민감한 인자는 주형간격으로서 주형간격 좁을수록 감소효과가 크게 나타나며 상판 종횡비의 경우에는 1:2.0에서 가장 큰 감소효과가 나타나 1:1.5에서 감소효과가 가장 작게 나타난다. 결과적으로 본 연구에서 제안된 탄성받침의 수직강성조정 법은 주형간격이 너무 크지 않은 사교들에 대하여 둔각부 받침에서의 수직반력 집중현상을 현저히 감 시켜준다.

### 참고문헌

- 1.정성우, 정재호, 윤순중, “콘크리트 슬래브 사교의 휨거동 해석”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 국콘크리트학회, 1998, pp 409-414.
- 2.이주호, 박경래, 배한옥, 염종훈, “사교의 사각에 따른 하부구조 설계 변화”, 한국콘크리트학회 논문 제 11권, 3호, 1999, pp 4-12.
- 3.Ebeido, Tarek and Kennedy, John, B., “Shear Distribution in Simply Supported Skew Compos Bridges”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 22, 1995, pp. 1143-1154.
- 4.Ebeido, Tarek and Kennedy, John, B., “Girder Moments in Simply Supported Skew Compos Bridges”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 23, 1996, pp. 904-916.
- 5.Khaleel, Mohammad A. and Itani, Rafik, Y., “Live-Load Moments for Continuous Skew Bridge *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 116, No.9. 1990, pp 2361-2373.
- 6.Meng, J. Y. and Lui, E. M., “Refined Stick Model for Dynamic Analysis of Skew Highw Bridges”, *Journal of Bridge Engineering, ASCE*, Vol. 7. No. 3. 2002, pp 184-194.
- 7.유니슨(2001), “사각형 탄성받침의 설계 제원표”, (주) 유니슨.
- 8.대한토목학회(1996), “도로교표준시방서”, 대한토목학회.
- 9.한국도로공사(1996), “도로설계실무편람”, 한국도로공사.
- 10.한국도로교통협회(2000), “도로교설계기준 2000”, 한국도로교통협회.
- 11.건설교통부(1997), “강도로교 상세부 설계지침”, 건설교통부.