

곡선강박스거더교의 온도하중에 관한 연구

Study on Temperature Load of Curved Steel Box Girder Bridges

김 상 호 조 광 일** 홍 주 형***
Kim, Sang Hyo Cho, Kwang Il Hong, Ju Hyung

ABSTRACT

Solar radiation causes non-uniform temperature distribution in the structure, depending on the shape of the structure and its shadows. Especially in cases of curved steel box girder bridges, non-uniform temperature distribution due to solar radiation can reduce bridge life and serviceability when combined with another load combination. In this study, the method for predicting the temperature distribution of curved bridges developed by Kim et al., was used to predict the non-uniform temperature distribution which served as a basis for structural analysis of 3-D bridge behavior. In order to seek the most unfavorable conditions of solar radiation, observation data from the Korea Meteorological Administration for solar radiation were analyzed. The region of the most high solar radiation condition was selected and its one year variation of the solar radiation data was considered. From this analysis, the most unfavorable solar radiation condition with lower solar altitude and intense solar radiation was selected. Based on the selected solar radiation condition, structural behavior of curved bridges with diverse bridge direction, span length, radius and support conditions are analyzed.

1. 서 론

교량구조물은 자연환경에 노출되어 여러 가지 기상현상과 함께 온도변화에 의한 영향을 지속적으로 받는다. 교량의 거동에 영향을 미치는 온도변화는 대기온도 변화와 일사의 변화에 의해 나타난다. 대기온도의 변화는 교량구조물 전체에 일정하게 가해지므로 설계에 있어서 예측 및 적용이 용이하다. 반면, 일사에 의한 온도변화는 교량의 각 부위에 미치는 영향의 차이와 단면 형상으로 인해 발생하는 그림자의 영향으로 교량단면에 불균등한 온도분포를 발생시킨다. 특히 곡선교의 경우에는 기하학적 특성과 방위각에 따라 달라지는 일사량의 차이에 의해 교축방향의 불균등한 온도분포가 함께 발생하므로 일사가 구조거동에 불리한 영향을 미칠 수 있다. 또한 일사의 영향은 기하학적인 형상에 따라 고정하중 및 활하중에 의한 지점반력이 불균등한 곡선교의 특성과 맞물려 과도한 부반력 또는 수평반력을 발생시킬 수 있는 것으로 최근의 연구에서 밝혀지고 있으나 현행 도로교설계기준에는 곡선교의 온도변화에 관한 규정이 별도로 제시되어 있지 않다. 본 연구에서는 기존의 연구에서 개발된 온도분포 예측기법을 적용하여 곡선교의 거동에 불리한 일사조건을 파악하고 이를 이용하여 방위각, 교장, 곡선반경, 받침배치형식 등에 따른 곡선교의 온도거동특성을 분석하고, 이를 설계실무에서 사용할 수 있는 온도하중 적용방법개발에 이용하고자 한다.

* 정회원, 연세대학교 사회환경시스템공학부 교수
** 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 연세대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 일사에너지의 기본이론

일사는 태양빛이 지구대기의 영향을 받아 생기는 복사에너지로 대기에 의한 흡수 혹은 반사의 영향을 받지 않는 직접일사(beam radiation), 대기에 의해 흡수되거나 반사되어 대기에 균일하게 분포되는 분산일사(diffuse radiation)와 직접일사와 분산일사에 의해 지표면에 반사되는 지면반사일사(reflected radiation)의 세 가지 형태로 구분할 수 있다. 교량외면은 이같은 일사의 영향을 받아 온도경사가 발생하여 교량전체에 불균등한 온도분포를 가지게 된다. 본 연구에서는 다양한 일사조건의 영향을 받는 경사면의 전체 일사량(I_t , W/m^2)을 구하기 위해 Duffie와 Beckman(1991)이 제안한 식(1)을 사용하였다. 이 식은 다음과 같이 직접일사, 분산일사, 반사일사를 각각 나타내는 세 개항의 합으로 표현된다.

$$I_t = I_b \frac{\cos \Theta}{\cos \Theta_z} + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_p \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

여기서, 식(1)의 I_t 는 경사면의 일사량(W/m^2), I_b 는 수평면의 직접일사량(W/m^2), I_d 는 수평면의 분산일사량(W/m^2), I_p 는 수평면의 전체일사량($I = I_b + I_d$), β 는 경사면과 수평면의 사이 각, ρ 는 지면의 반사율, Θ 는 경사면의 법선과 일사방향이 이루어진 각, Θ_z 는 천정각(zenith angle : 일사와 수평면법선 사이 각)이다. 이와 같은 일련의 방법을 통해 경사면의 일사량(I_t)을 계산 할 수 있으며, 식 (2)를 이용하여 일사에 의해 유입되는 열에너지(q_s)를 구할 수 있다.(임창균,1999)

$$q_s = a I_t \quad (2)$$

여기서, 식(2)의 a 는 물체의 일사흡수도, I_t 는 경사면에서의 직접일사, 분산일사와 지면반사일사를 포함한 전체일사량이다. 본 논문에서는 강재의 일사흡수도(a)를 Frank Kreith와 Jan F. Kreider(1978)이 제안한 0.8로 하였고, 지면의 반사율(ρ)은 Duffie와 Beckman(1991)이 제안한 값인 0.2를 사용하였다.

3. 일사에 의한 곡선교의 온도분포 예측기법

본 연구에서는 곡선교의 3차원 온도분포를 해석함에 있어 곡선교의 열전달특성을 대표할 수 있는 단면을 선정 한 후, 이를 대상으로 2차원 열전달해석을 수행하여 단면의 온도분포를 구하고 간단한 계산과정을 통하여 대표단면의 결과를 교축방향으로 확장하는 기법을 사용하였다. 그림 1에 표시된 그림자영역은 직접일사의 영향은 받지 않으며 분산일사와 지면반사일사만을 받는 부분이다. 여름철에는 태양의 고도가 높기 때문에 캔틸레버부의 길이가 짧아도 복부판의 그림자영역이 길어지므로 아스팔트 포장 표면에만 강한 일사를 받고 기타 바닥판 외면과 강거더에는 균일한 분산일사와 지면반사일사만을 받게된다.

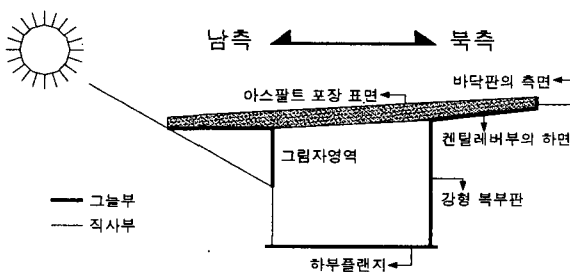


그림 1 일사에 대한 교량 단면 각 부위의 분류

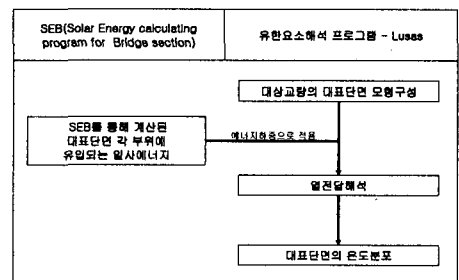


그림 2 대표단면의 온도분포 예측방법 흐름도

이와 같이 대표단면의 방위와 경사각과 일사조건을 정한 후 선행연구에서 개발된 일사에너지 산정 프로그램(SEB : Solar Energy calculating program for Bridge section)을 통해 대표단면 각 부위에 유입되는 일사에너지를 구한다. 개발된 프로그램은 일사에너지의 이론식을 바탕으로 구성되어 있어 직접일사, 분산일사 및 지면반사일사를 각각 분리 계산하여 열전달해석에서 하중으로 적용한다. SEB으로부터 대표단면의 교량 부위별 에너지를 구하고 그림 2와 같이 유한요소 해석모형에 에너지하중으로 적용하여 열전달해석을 수행하였다. 열전달해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 LUSAS(v13.4)를 사용하였으며 2차원 열전달요소인 plane field요소로 교량의 대표단면을 그림 3과 같이 모형화하였고 이러한 열전달해석으로부터 그림 4와 같은 대표단면의 온도분포를 구할 수 있다.

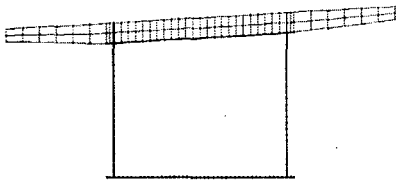


그림 3 대표단면의 plane field 요소모형

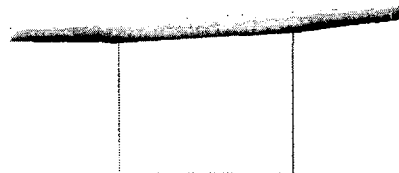


그림 4 열전달해석으로 예측된 온도분포

교량 전체의 3차원 온도분포는 2차원 온도분포예측기법으로 분석한 대표단면의 온도분포를 유입되는 일사에너지의 비율에 따라 확장하는 방법을 사용하여 구한다. 이같은 방법으로 3차원 온도분포를 구하여 곡선교의 외측 중앙이 일사를 정면으로 받는 경우 곡선교의 지간 중앙 단면의 온도분포는 그림 5와 같다. 이와 같은 일련의 방법을 이용하여 지간 중앙에 일사를 받는 곡선강박스거더교(교장 50m, 곡선반경 150m)에 대한 온도분포의 예를 그림 6에 나타냈다. 그림 6에서 알 수 있듯이교량의 곡선형과 캔틸레버부의 기하학적 관계에 의하여 곡선교 전체에 불균등한 온도분포가 나타나는 것을 알 수 있다.

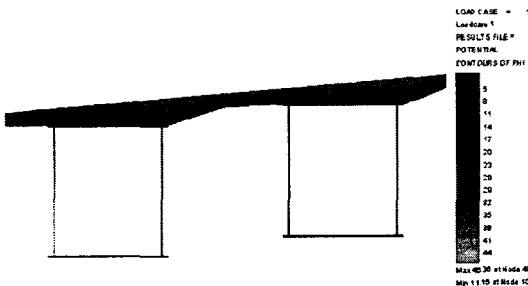


그림 5 곡선교 지간 중앙단면의 온도분포



시점 종점
그림 6 일사를 받는 곡선교 복부판의 온도분포

4. 일사에 의한 곡선교의 거동

교량은 자연환경에 노출되어 일교차, 연교차와 같은 균일한 온도변화의 영향을 받을 뿐만 아니라 불균등한 온도분포를 일으키는 태양 일사의 영향을 받으므로 불리한 구조거동이 야기될 수 있다. 본 절에서는 이러한 영향을 파악하기 위해 3차원 온도분포예측기법을 통하여 불리한 일사조건을 선정하여 그에 따른 곡선교의 온도거동을 분석하였다. 또한 곡선교의 방위각, 교장, 곡선반경, 받침배치형식 등의 변화에 따른 온도거동의 변화를 평가하였다.

4.1 일사조건 선정

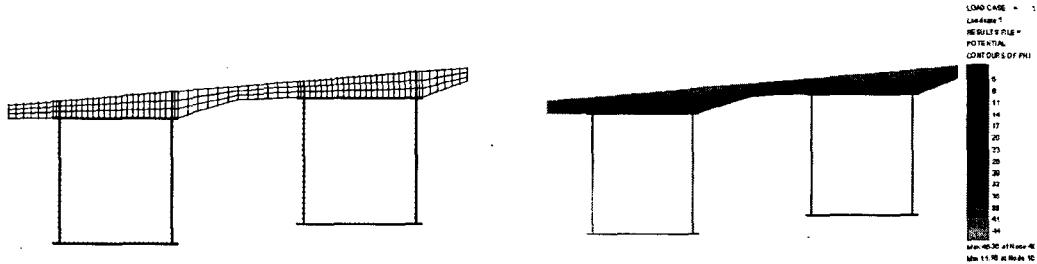
일사조건은 일, 월, 계절 등 시간에 따라 변하며 또한 비오는 날이나 구름낀 날 등에 따라 불규칙한 특성

을 가지고 있다. 본 절에서는 기상청 관측 자료의 분석을 통하여 일사조건이 좋은 대표적인 지역을 선정하고, 선정된 지역 일사량 및 태양고도의 연중변화를 분석하여 온도거동 분석에 적용할 일사조건을 결정하였다.

일사조건 선정을 위한 일사량 관측값은 한국에너지기술연구원과 기상청이 전국 16개소에서 측정한 자료를 이용하였다. 1990년 12월부터 1992년 7월까지 관측한 값 중 교량의 거동에 가장 불리한 것으로 알려진 오후 3시의 일사량(임창균, 1999)의 월평균 변화를 분석한 결과 목포지방이 가장 높은 값을 가지는 것으로 나타났다(조덕기, 1993). 따라서 본 연구에 적용시킬 일사조건 분석의 대상지역으로 목포를 선정하였다.

곡선교에 불리한 일사조건 선정을 위해서 목포지역의 1982년부터 2003년까지의 기상청의 일사량 관측값을 현행 도로교설계기준의 온도변화 규정을 바탕으로 분석하였다. 현행 기준에서는 "강교에서 온도변화의 승강은 가설 시 온도를 기준으로 하여 계산한다. 온도 변화의 범위는 -10℃에서 +50℃를 표준으로 하되 특히 추운 지방에서는 -30℃에서 +50℃까지로 한다."고 제시하고 있다. 곡선교 일사조건을 결정하기 위하여 이 규정에서 제시하고 있는 최고온도 50℃의 초과확률을 근거로 삼았다.

도로교설계기준에 제시된 온도변화 규정의 초과확률을 계산하기 위해 앞서 적용했던 목포지역을 분석 대상 지역으로 정하여 일년 중 교량의 평균온도가 50℃를 초과하는 일수를 산정하였다. 평균온도 산출에 사용된 대상교량은 곡선강박스거더교(교장 50m, 곡선반경 150m)이며, 관측된 일사자료를 바탕으로 일사에 의한 교량의 온도분포를 그림 7(b)와 같이 구하였다.



(a) 교량단면의 절점분포 (b) 일사에 의한 교량의 온도분포
그림 7 일사에 의한 교량 온도분포의 예

표 1 태양고도별 일사량에 의한 교량의 평균온도

일사량	태양고도					
	22.38°~ 28.61°	28.61°~ 35.04°	35.04°~ 40.85°	40.85°~ 46.53°	46.53°~ 51.59°	51.59°~ 55.62°
상위10%	13.2℃	17.2℃	18.1℃	18.6℃	19.0℃	19.4℃
상위20%	12.3℃	15.3℃	17.3℃	18.2℃	18.8℃	19.3℃
상위30%	11.4℃	14.7℃	16.9℃	17.9℃	18.6℃	19.2℃
상위40%	9.6℃	14.1℃	16.5℃	17.5℃	18.2℃	19.0℃

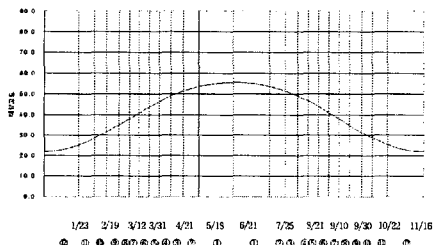


그림 8 일년 중 태양고도의 변화

일사에 의한 교량 평균온도의 연변화를 파악하기 위해 일년을 태양고도에 따라 6개로 나누고, 각각의 구간에 발생하는 일사량 중 상위 10~40%에 해당하는 일사량을 적용하여 교량의 평균온도를 파악하였다. 교량의 평균온도는 그림 7(a)와 같이 856개의 절점으로 이루어진 교량단면 모형의 각 절점 온도의 평균값이다. 표 1은 그 결과를 나타낸 것으로 교량의 평균온도는 최고 약 20℃인 것으로 나타났다. 교량의 평균온도가 50℃를 초과하기 위해서는 일사에 의한 교량의 평균온도와 일 최고기온의 합이 50℃를 초과해야 한다. 그러한 조건을 만족하기 위해서는 일사에 의한 교량의 평균온도가 약 20℃가 되는 날에 일 최고기온이 30℃를 초과해야 할 것이다. 목포지방 1971년부터 2003년까지의 30년간 관측자료를 바탕으로 분석한 결과, 태양고도가 높은 경우에 일사량에 의한 교량의 평균온도가 높고 일 최고기온도 높은 것을 알 수 있었으며, 이러

한 조건이 동시에 만족되어 교량의 평균온도가 50℃를 초과할 수 있는 일수는 연중 약 24일 정도임을 알 수 있었다. 이와 같이 구해진 도로교설계기준에 제시된 온도변화 규정의 초과확률과 동일한 수준의 확률을 갖는 일사조건을 산정하기 위하여 일년 동안의 태양고도 및 일사량의 변화에 따른 곡선교의 온도를 분석하였다. 우선, 태양고도는 그림 8과 같이 일년을 크게 12개의 기간으로 나누어 정하였다. 일년간의 태양고도는 동일한 기간으로 나누지 않고, 태양고도의 변화폭이 큰 봄·가을에는 작은 구간으로 나누었고 변화폭이 작은 여름·겨울에는 큰 구간으로 나누었다.

다음으로는 선행연구에 의해 곡선교의 거동에 가장 중요한 영향을 미치는 것으로 나타난 일사를 받는 곡선최외측 복부판 부분에 대하여 각기간에 발생하는 일사량에 따른 평균온도를 산정하였다. 이 결과를 온도순으로 정렬하여 상위 24번째까지에 해당하는 일사량과 태양고도를 파악하였다. 분석 결과, 도로교설계기준에 제시된 온도변화 규정의 초과확률과 유사한 수준의 초과확률을 갖는 일사량을 구분된 태양고도에 따라 나타내면 표 2와 같으며, 이러한 일사조건에 의해 발생하는 곡선최외측 복부판의 평균온도는 약 30℃인 것으로 나타났다. 이후의 분석에는 교량의 응답이 가장 크게 나타나게 하는 봄·가을의 일사조건인 태양고도 38.10° ~ 40.85°, 일사량 2.90MJ/m²의 일사조건을 적용하였다.

표 2 각 태양고도에 따른 복부판의 기준온도 초과 일사량

구분	태양고도	일사량 (MJ/m ²)
㉚	38.10° ~ 40.85°	2.90
㉛	35.04° ~ 38.10°	2.53
㉜	31.81° ~ 35.04°	2.13
㉝	28.61° ~ 31.81°	1.90
㉞	25.32° ~ 28.61°	1.68
㉟	22.38° ~ 25.32°	1.47

4.2 대상교량의 제원

본 연구에서 선정한 대상교량은 단순 곡선교 7개로 모두 도로교설계기준의 허용응력설계법에 따라 설계된 1등교이다. 그림 9는 대상교량 중 교장 50m, 곡률반경 150m의 단순곡선교의 제원을 나타낸 것으로 교폭 9m인 2실 박스거더로 구성된 강합성단면이며 거더의 높이는 2.5m, 폭 2.2m이고 편경사는 8%이다. 구조해석모형에는 교장 및 곡선반경에 따른 상·하플렌지, 횡방향부재(cross beam), 다이아프램의 세부적인 제원의 변화를 반영하였다. 곡선교형식에 따라 변화하는 온도거동을 비교하기 위해 우선 곡선반경이 150m, 교장이 50m인 교량을 기준으로 정한 후, 교장을 40m와 60m로 변화시켰고, 다음으로는 교장을 50m로 고정시키고 곡선반경을 100m와 150m로 변화시켜 매개변수 연구를 수행하였다. 또한 그림 10과 같이 두 가지의 받침배치방법을 온도거동분석에 모두 적용하여 받침배치에 따른 곡선교의 거동을 분석하였다.

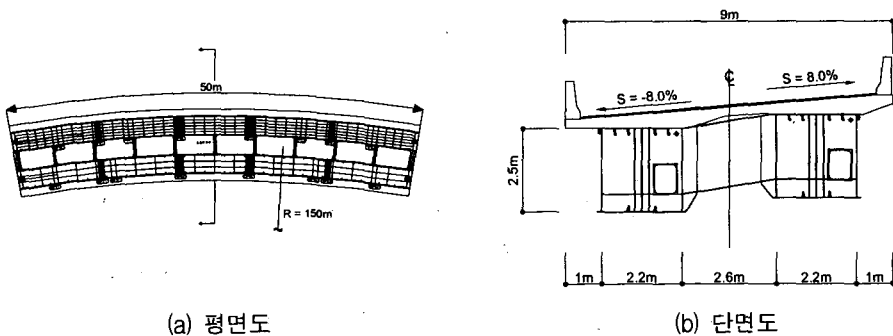


그림 9 기준 교량의 제원



(a) 현방향 받침배치 (b) 접선방향 받침배치
 그림 10 곡선교량의 받침배치형식

4.3 일사에 의한 곡선교의 거동 분석

곡선교는 기하학적인 형상으로 인해 방위각에 따라 직사부와 그늘부의 면적이 변화하게 된다. 따라서, 방위각의 변화에 따른 곡선교의 온도거동 변화를 분석하기 위해 그림 11과 같이 곡선교의 내측 중앙단면이 정남향 일 경우를 0°로 정하고 45°간격으로 8가지의 방위각으로 나누어 각 경우에 대해 고정하중을 포함하여 일사에 의한 곡선교의 거동 분석을 수행하였다. 태양의 시간각은 오후 3시경이며 그림 12에서 정남향 기준으로 47°기울어진 것으로 나타내었다. 표 4에 제시한 대상교량을 이용하여 교장의 변화, 곡선반경의 변화 및 받침배치방향의 변화에 따른 온도거동해석을 수행하였고, 그 해석결과를 곡선 내측 고정단의 지점반력에 대하여 정리하였다.

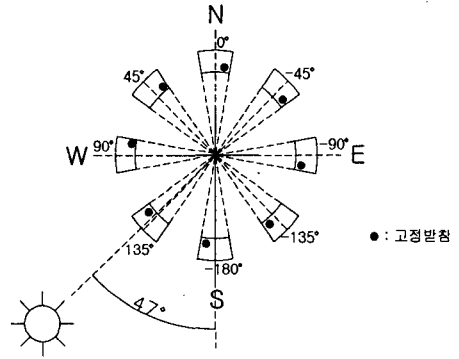


그림 11 태양위치, 교량의 방위각 및 고정받침의 위치

4.3.1 교장변화에 따른 일사에 의한 곡선교의 거동 분석

그림 12(a)는 곡선 내측 고정단 받침의 교축방향반력을 나타낸 것으로 대상교량 중 교장 60m, 곡선반경 150m인 교량에서 최대 반력을 나타내며 모든 방위각에서 가장 불리한 거동을 나타냈다. 이는 교장이 길어질수록 일사에너지를 받는 면적이 넓어지기 때문이다. 방위각변화에 따른 교축 방향 반력변화는 방위각이 -135°와 45°일 때 가장 작은 반력을 보이며 -45°와 135°일 때 가장 큰 반력을 보였다.

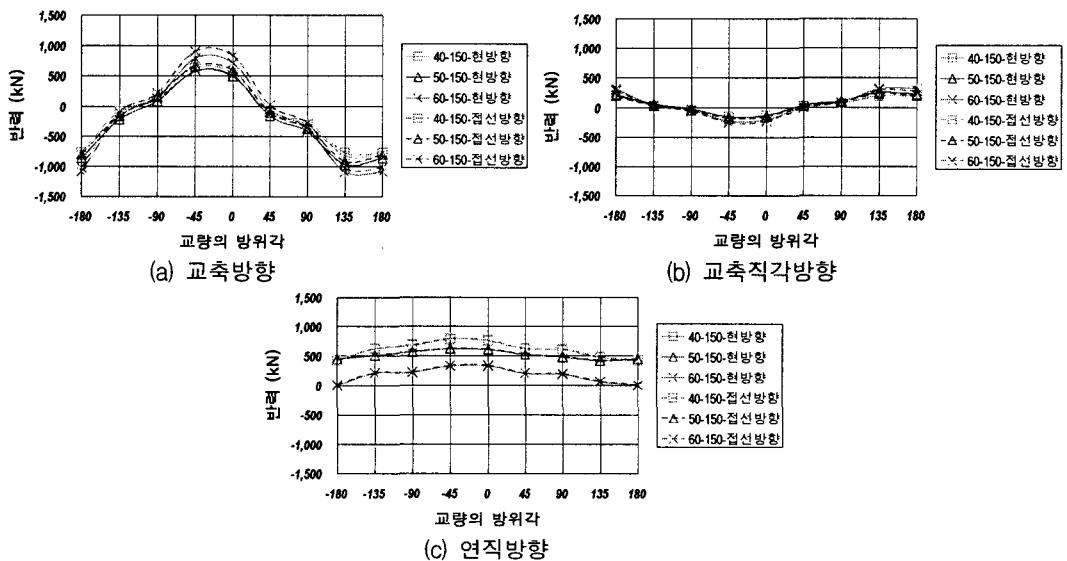


그림 12 교장에 따른 곡선 내측 고정단의 반력

그림 11에서 알 수 있듯이 방위각이 -135° 와 45° 는 교축방향과 일사의 입사각이 일치하여 대부분의 교량 북부판이 그늘부에 속하는 반면, 방위각이 -45° 와 135° 는 교량의 각각 내·외측 북부판에 일사가 정면으로 작용하는 방위이기 때문이다. 받침배치방향에 따른 반력변화는 곡선교의 내측면이 남서쪽을 향하는 -45° 방위 각일 경우에는 접선방향받침배치에서 901.6kN의 최대 반력이 발생하여 현방향받침배치보다 최대 13% 큰 반력을 나타냈으며, 곡선교의 외측면이 남서쪽을 향하는 135° 방위각일 경우에는 현방향받침배치에서 1087.8kN의 최대 반력이 발생하여 현방향받침배치보다 최대 6% 큰 반력을 나타냈다. 그러므로 곡선교의 내측면이 남쪽으로 향할 경우에는 현방향받침배치가 접선방향받침배치보다 반력에 대하여 유리하며, 반대로 곡선교 외측면이 남쪽으로 향할 경우에는 현방향받침배치보다 접선방향받침배치가 유리한 거동을 나타낸다고 할 수 있다.

그림 12(b)는 곡선 내측 고정단받침의 교축직각방향반력의 변화를 나타내는 것으로 교장 60m, 곡선반경 150m인 교량에서 최대 303.8kN의 반력이 발생하며 전체적으로 다른 방향의반력에 비해 낮은 반력을 나타냈다. 그림 12(c)는 곡선 내측 고정단받침의 연직방향반력을 나타낸 것이다. 곡선교의 고정하중으로 편심하중이 작용하여 연직방향 부반력이 발생할 위험이 있는 받침으로반력이 낮을수록 전도의 위험이 커지게 된다. 교장 60m, 곡선반경 150m인 교량에서 가장 작은 반력을 나타냈으며 교장이 짧을수록 큰 반력을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 같은 곡선반경이지만 교장이 길어질수록 곡선 중심각이 커져 편심하중의 영향도 커지기 때문인 것으로 판단된다.

4.3.2 곡선반경변화에 따른 일사에 의한 곡선교의 거동 분석

그림 13은 교량의 교장을 50m로 고정하고 곡선반경을 100m, 150m, 200m 변화시켜 해석한 결과이다. 그림 15에서 전체적인 반력을 살펴보면 방위각이 -45° 일 경우와 135° 일 경우에 최대 반력을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 곡선교의 각각 내·외측면이 태양 직사방향에 정면으로 놓여있어 다른 방위보다 직사부의 면적이 넓기 때문이다.

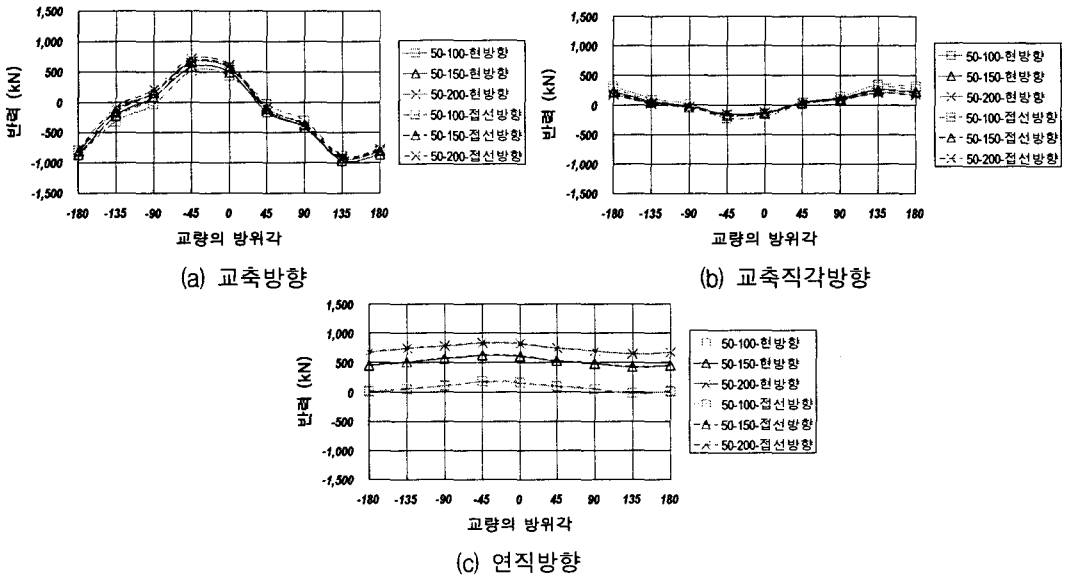


그림 13 곡선반경에 따른 곡선 내측 고정단의 반력

그림 13(a)는 곡선 내측 고정단 받침의 교축방향반력을 나타낸 것으로 방위각이 135° 일 경우 곡선반경 변화에 의한 반력변화는 3% 미만으로 곡선반경의 영향이 곡선교 외측면이 남측을 향할 경우에는 크게 작용하

지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 곡선교 내측면이 일사를 정면으로 향하는 -45° 방위각에서도 곡선반경 변화에 의해 78.4kN 미만의 반력변화가 나타나서 외측면의 경우보다는 좀 더 영향을 받는 것을 알 수 있다. 받침배치형식에 따른 반력변화는 최대반력을 보인 135° 방위각에선 8% 이하의 변화만을 보여 곡선교 외측면이 남측을 향할 경우에는 받침배치형식의 영향이 미소한 것을 알 수 있다. 그러나 방위각 45° 인 경우 받침배치형식에 따라 최대 127.4kN의 반력변화를 보여 현방향받침배치가 접선방향받침배치보다 20% 낮은 반력을 나타낸다. 그림 13(b)는 곡선 내측 고정단 받침의 교축직각방향반력을 나타내는 것으로 곡선반경이 짧을수록 반력이 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 곡선반경이 짧을수록 곡률이 커져 변형이 일어나는 방향과 고정단측 외측받침의 구속작용이 크게 발생하기 때문이다. 받침배치형식에 따른 반력변화는 접선방향받침배치가 현방향받침배치보다 현저히 유리한 거동을 나타내며 곡선반경변화와 상관없이 모든 교량에서 일정한 반력을 나타냈다. 이는 4.3.1절의 교장변화에 따른 해석결과와 같은 경향으로 곡선교의 교축직각방향반력에 대해선 모든 교량이 접선방향받침배치가 유리한 거동을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 그림 13(c)는 곡선 내측 고정단 받침의 연직방향반력을 나타낸 것으로 고정하중에 의해 편심하중이 작용하여 연직방향 부반력이 발생할 위험이 있는 받침이다. 곡선반경이 짧을수록 연직방향정반력이 낮아 위험한 거동을 보이며 곡선반경이 길수록 연직방향정반력이 높아 비교적 안정된 거동을 나타냈다. 이는 곡선반경이 짧을수록 곡률이 커져 편심하중의 영향을 많이 받으며 일사에 의한 영향까지 복합적으로 작용했기 때문이다. 선정된 일사조건에 의한 곡선교의 온도거동 분석결과, 방위각의 변화에 따른 반력변화가 교장, 곡선반경 및 받침배치에 따른 반력변화보다 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 실측자료를 바탕으로 일사조건을 선정하였으며 이를 이용하여 곡선교 온도거동을 분석하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 기상청에서 실측된 관측자료를 온도분포 예측기법에 적용하여 낮은 태양고도와 강한 일사량이 동시에 나타나는 불리한 일사조건을 선정하였다.
2. 선정된 일사에 의한 곡선교의 온도거동 분석결과, 곡선외측면이 남측을 향하는 경우에 고정단측 받침의 교축방향과 교축직각방향 반력이 가장 크게 나타나며, 연직방향의 부반력도 발생할 수 있는 것으로 나타났다.
3. 일반적으로 교장이 증가하고 곡선반경이 감소할수록 모든 방향의 반력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 방위각의 변화에 따른 반력 변화가 교장 및 곡선반경의 변화보다 크게 나타났다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 연구지원으로 이루어진 것입니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2001), 도로설계기준, pp.38-54.
2. 김상효 등 (2004), "일사에 의한 곡선 강박스 거더교의 온도분포예측기법 및 온도거동에 관한 연구", 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, 제15권 1호. pp 264~272
3. 임창근 (1999), "합성박스거더교의 온도영향 및 설계온도하중", 서울대학교 대학원, 박사학위 논문.
4. 조덕기, 이태규, 김은일, 전일수, 이순명, 조서현, 오정무 (1993), "국내 직달일사량 자원의 평가 연구", 태양에너지, Vol. 13, No. 1.
5. Duffie and Beckman, (1991), Solar Engineering of Thermal Process, 2nd. Ed. JOHN WILEY & SONS, INC.