Journal of Korean Society of Steel Construction
Vol.33, No.3, pp.163-169, June, 2021

ISSN(print) 1226-363X ISSN(online) 2287-4054
DOI https://doi.org/10.7781/kjoss.2021.33.3.163

강상자형교 신축이음장치의 변형량 측정에 따른 설계온도 하중 평가

이성행[1*] · 김경남[2] · 최형석[3]

[1]교수, 부산대학교, 건설융합학부 토목공학전공, [2]연구원, (사)경기도시개발정책연구원, [3]수석연구원, 부산대학교, 지진방재센터

Evaluation of Design Temperature Load According to the Measurement of Deformation of Expansion Joints in Steel Box Girder Bridge

Lee, Seong Haeng[1*], Kim, Kyoung Nam[2], Choi, Hyoung Suk[3]

[1]Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea
[2]Researcher, Gyeonggi Urban Development Policy Institute, Hwaseong, 18528, Korea
[3]Research Professor, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Yangsan, 50612, Korea

Abstract - Design specification for highway bridges (limit state design method) does not provide loads for calculating the amount of movement of expansion joints and movable supports. In this study, in order to evaluate the relationship between air temperature and expansion joint deformation, the temperature difference and strain of the clearance of expansion joints were calculated at the maximum temperature in summer and minimum temperature in winter. The expansion temperature ratio (R) values of the probabilities that do not exceed the design values are around 0.993, 1.019, and 1.067 times, respectively, calculated with a 90 %, 95 %, and 99 % normal distribution probability. These methods make it possible to design the amount of clearance change in reliable expansion joints based on probabilistic theory. Expansion temperature ratio was mostly distributed between 0.8 and 1.0. And It was noted that design of movement of expansion joints and movable supports with reliability based on theory of probability could be accomplished.

Keywords - Expansion joint, Movements of bearing, Air temperature, Expansion temperature ratio (R), Theory of probability

1. 서 론

교량의 신축이음 및 교좌장치의 이동량 산정을 위한 온도하중은 도로교설계기준(한계상태법)[1] 내에 언급되지 않고 있어, 현재 사용할 수 없는 기존 설계기준[2]에 준하여 설계할 수밖에 없는 상황이다. 설계기준 변경으로 미처 대비하지 못한 신축이음 및 가동받침 이동량 산정을 위한 온도하중 산정을 위한 기본자료의 연구가 필요하고, 실증적 검토를 위하여 실교량에서 실측을 통한 연구가 필요하다.

실제로 최근 발생된 이상 기후로 인하여, 구조물 설계시 고려되지 못한 단면력 및 변형이 발생하여 중요 사회간접자본인 교량 및 구조물의 여유분(redundancy)를 감소시켜 간접적인 사회적 비용을 증가시킬 수 있으며, 실제로 2018년 부산울산고속도로 교량이음장치 돌출로 인한 차량 연쇄 펑크 사건 및 서울외곽도로 바닥 솟음과 같은 사고들이 발생하기도 하였다.

KDS 24 12 21 교량 설계하중(한계상태설계법)[3]에 제시된 온도변화에 대한 하중은 크게 평균온도에 대하여 강교, 합성교, 콘크리트교로 구분하여 보통지역과 한랭지역으로 나누어 온도범위를 부여하고 있다. 이는 기존 도로교설계기준에서 온도승강으로 부여된 교량의 유효온도에 대한 값을 제시하고 있는 것이다. 또한, 온도경사에 대하여는 바닥판이 콘크리트인 강재나 콘크리트상부구조에 한정하여 온도변화곡선과 온도경삿값을 제시하고 있다. 그러나 KDS 규정 내에는 별도의 신축이음 및 가동받침 이동량 산정을 위한 온도하중에 대한 언급이 없다. 반면 기존 도로교설계기준[2]에서는 가동받침의 이동량 산정을 위한 온도변화 및 선팽창계수를 교량형식별, 보통 및 한랭한 지방으로 나누어 제시하고 있어, KDS 규정 내에 해당 부분에 대한 보완이 필요한 상

Note.-Discussion open until December 31, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on February 22, 2021; revised on April 16, 2021; approved on April 21, 2021.
Copyright © 2021 by Korean Society of Steel Construction
*Corresponding author.
Tel. +82-51-510-7645 Fax. +82-51-513-9596
E-mail. lsh77@pusan.ac.kr

황이다. 이미 기존 연구[4]-[6]를 통하여 강박스거더 교량의 유효온도가 도로교설계기준에서 제시하고 있는 범위보다 크게 수정될 필요성이 있음이 보고되고, 이를 반영한 국내 신축이음 및 가동받침의 이동량 산정을 위한 온도하중 재산정이 필요할 것이다. 도로교설계기준(한계상태설계법)[1]에 신축이음 및 가동받침의 이동량 산정을 위한 온도하중을 제시하여, 설계의 신뢰성 및 일관성을 확보할 필요가 있다고 판단된다. 이를 위하여 기존 연구된 자료를 통한 지역별 교량 유효온도범위 특성을 파악하고, 교량의 신축이음 변위를 실측함으로써 대기온도 - 교량의 유효온도 - 신축이음 변위량에 대한 관계를 실증적으로 확인할 필요가 있다. 이러한 제반 연구결과들을 바탕으로 추후 도로교설계기준(한계상태설계법)에 부재한 신축이음 및 가동받침의 이동량 산정을 위한 온도하중 결정 프로세스를 위한 기본자료를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 현재 공용되고 있는 강박스거더 교량에서 여름 최고기온과 겨울 최저기온이 유지되는 시기를 선정하여, 각 기간에 대상교량의 신축이음부에서 발생되는 유간변화를 실측하고, 측정시의 대기온도를 이용하여 교량의 신축이음 변위량과 대기온도의 상관관계를 연구하였다.

2. 실측교량 및 측정결과 분석

2.1 대상교량

실측 교량은 경상남도 양산시에 위치한 강박스거더 교량으로 신축경간장 기준으로 상행선측 300 m + 285 m(하행선측 310 m + 290 m)를 갖는 교량으로 Fig. 1에 교량의 전경을 보인다. 이 교량은 8경간 상하 분리교이며, 교량 받침은 탄성패드이다. 2010년 5월에 준공되었으며, 상하행간 각 3개씩 6개의 신축이음 장치로 구성되어 있다. Fig. 2는 대상교량의 신축이음과 신축경간 길이 그리고 각 신축이음 유간의 측정위치를 보인다.

Fig. 1. Complete view of the study bridge

Table 1. Specification of the study bridge

Type	Total length	Width (lanes)	Number of spans	Design load
Steel box girder	600 mm	32 m (6)	10	DB-24 DL-24

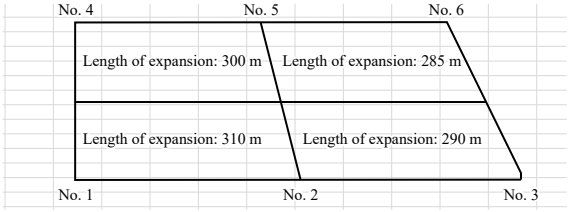

Fig. 2. Construction of the span of the study bridge

2.2 측정방법

신축이음의 설계를 위한 온도범위를 결정하는 프로세스로서, 확률론적 분석결과를 적용한 대표적인 설계기준으로는 AAHSTO LRFD[7]와 Eurocode 및 EOTA[8]를 들 수 있다. 이중 AASHTO LRFD[7]는 Charles W. Roeder[9],[10]의 보고서에 기초, $T_{max,Design}$과 $T_{min,Design}$을 이용하여 설계온도 이동량을 산정하고 있다. 여기서, $T_{max,Design}$과 $T_{min,Design}$은 미국 전역에 걸쳐 최소 60년의 데이터를 갖고 평균 70년의 이력을 갖는 극치 교량 설계온도를 적용하고 있다. 그리고 Eurocode 및 EOTA[8]에서는 도로교에 대한 신축이음 설계에 사용되는 온도를 최소작동온도 4가지와 최대작동온도 2가지로 규격화하여 최소 –10 ℃부터 최대 +45 ℃까지를 적용하고 있고, 직사광선에 따른 보정 등이 가능하도록 규정하고 있다.

본 연구에서 대상교량에 대한 실측은 Roeder[9],[10]의 보고서에서 사용하는 방법론에 준하여 적용하였다. Roeder의 연구결과[10]는 AASHTO LRFD의 신축이음 및 가동받침의 이동량 산정을 위한 온도하중를 선정하는 기본 개념이 정리된 보고서이다. 이에 따르면, 1년 중 3일 이상 연속된 더운 날과 추운 날의 기온을 이용하여 각각 신축이음 산정을 위한 온도하중으로서 적용한다. 따라서 본 연구에서도 가능한 한 3일 연속 덥거나 추운 날을 선정하여 해당기간 동안 대기온도와 신축이음부의 유간변화를 측정하였다. 이에 따라 대상교량에 대하여 2019년 8월, 2020년 8월의 오후 2시경 최고 기온시와 2020년 2월, 2021년 1월의 새벽 6시경 최저 기온시에 대하여 교량의 신축이음부의 유간을 측정하여 대기온도 변화에 따른 교량의 신축량을 실측 분석하였다. 신축이음 측정시의 대기온도 측정은 현장에서 별도의 온도계를 이용하

여 측정하였다. 신축이음부의 인도측에 측정지점을 선정하여 매직으로 마크하였으며, 스틸자로 전체구간의 길이를 측정하고, 세부 구간의 측정은 mm까지 측정하는 전자 디지털 측정기(electronic digital caliper)를 사용하였다. Fig. 3는 대상교량의 겨울철 새벽의 신축이음장치를 보이고, Fig. 4는 신축이음부 유간측정 사진을 보인다.

Fig. 3. View of expansion joint for the study bridge

Fig. 4. View of the clearance measurement of the study bridge

2.3 신축이음량 측정결과

Tables 2-3에서는 신축이음장치의 유간거리를 Fig. 2의 신축이음 위치별로 2019년 8월 최고온도 시와 2021년 1월 최저온도 시에 대한 측정결과의 일례를 보인다.

3. 신축영향 온도비

3.1 온도하중 산정 및 신축영향 온도비

실제 대기온도의 변화에 따른 교량내 유효온도는 무시하고, 대기온도의 변화에 따른 신축이음부의 유간 변화량만을 이용하여 분석하였다.

Table 4는 2019년 8월(여름)과 2021년 1월(겨울)에 측정된 결과를 이용하여 두 측정기간 사이에 발생한 온도차와 신축이음부 유간의 차이(변형량)를 정리한 것이다. 여기서, 겨울의 온도는 3일간 최저온도에 대해서는 평균값을 고려하였다. 또한, 교량의 상행선과 하행선에 따라 신축이음길이가 다르므로, Fig. 2의 1-2-3번측과 4-5-6번측으로 구분한다. 각 변형량을 신축이음길이로 나눈 값은 변형률을 계산하였다. 계산된 변형률을 열팽창계수(여기서는, $\alpha = 10\times10^{-6}$/℃로 적용)로 나눈 값은 온도하중환산값으로 정리하였다.

1일차의 측정값인 Table 4의 3행 3열의 값은 다음과 같이 계산과정을 거친다. 최고온도 1일차에는 대기온도가 38.5 ℃

Table 2. Measurement results at maximum temperature

Day	Atmospheric temperature (℃)	Clearance distance (mm)					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Day 1	38.5	253.0	349.0	247.0	267.0	348.0	254.0
Day 2	32.0	260.0	365.0	254.0	275.0	367.0	262.0
Day 3	35.2	257.0	361.5	255.0	275.0	356.0	258.0
Average	35.2	256.7	358.5	252.0	272.3	357.0	258.0

Table 3. Measurement results at minimum temperature

Day	Atmospheric temperature (℃)	Clearance distance (mm)					
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Day 1	–11.5	317.8	475.3	349.7	331.8	472.6	322.0
Day 2	–11.0	316.2	473.3	348.5	330.9	471.2	321.4
Day 3	–9.0	315.0	465.0	347.0	328.5	469.2	320.0
Average	–10.5	316.3	471.2	348.4	330.4	471.0	321.1

Table 4. Analysis of measurement results

Day	Temperature difference (℃)	Deformation value (mm)		Strain ($\times 10^{-6}$)		Converted temperature load (Δ℃)	
		No. 1 - No. 3	No. 4 - No. 6	No. 1 - No. 3	No. 4 - No. 6	No. 1 - No. 3	No. 4 - No. 6
Day 1	49.0	286.90	253.50	478.17	433.33	47.82	43.33
Day 2	42.5	256.90	218.50	428.17	373.50	42.82	37.35
Day 3	45.7	262.40	233.50	437.33	399.15	43.73	39.92
Average	45.7	268.70	235.20	447.83	402.05	44.78	40.21

였으며, 최저온도 평균은 –10.5 ℃이므로, 온도차는 49.0 ℃로 계산된다. 그리고 1-2-3번 위치의 신축이음의 변홧값은 겨울 평균 1,135.9 mm(316.3 mm + 471.2 mm + 348.4 mm)에서 여름 1일차에 849 mm(253 mm + 349 mm + 247 mm)가 되므로, 286.9 mm의 변형량이 계산된다. Table 4의 3행 5열의 값은 1-2-3번 위치의 신축경간길이는 600 m이므로, 변형률은 478.17 μStrain으로 산정된다. 이를 열팽창계수로 나누어주면, 3행 7열에 47.82 ℃의 온도하중이 산정되는 것이다. 즉, 실제 대기온도는 49 ℃의 차이가 발생하였을 경우, 교량내 신축이음부에서 발생되는 유간의 변화는 47.82 ℃에 해당하는 온도하중에 대한 변화가 발생함을 뜻하게 된다. 또한, 이를 대기온도에 대한 실구조물 신축영향 온도비로 나타내면 0.976(47.82/49로 계산됨)으로 계산할 수 있다. 같은 방법으로 2일차, 3일차 값을 계산하고, 평균값을 산정하였다.

여기서 계산된 대기온도차에 대한 실구조물 신축영향 온도와의 비를, 이하 "신축영향 온도비"로 언급하도록 한다. 이러한 신축영향 온도비는 실제 구조물에서 대기온도의 변화량 대비 구조물의 신축이음부에서의 측정된 구조물의 신축변화를 온도변화량으로 산정한 비율로서, 이 값은 대기온도와 달리 구조물의 팽창은 교량단면내 유효온도, 상하연 온도차에 따른 구조물의 휨변형 등과 같은 복잡한 거동으로 인하여 상호 다른 값을 갖게 된다. 이러한 신축영향 온도비는 최고온도와 최저온도시 측정된 신축이음 유간의 차잇값 ΔS를 신축팽창길이(신축경간길이) L로 나누어 변형률 ε를 구한 후, 계산된 변형률 ε을 구조물의 선팽창계수 α로 나눈 온도하중환산값과 최고온도와 최저온도 사이의 온도차잇값 ΔT의 비율로 계산이 가능하게 된다. 이러한 신축영향 온도비는 식 (1)로 표현된다.

$$R = \frac{\Delta S}{L \times \alpha \times \Delta T} \tag{1}$$

여기서, R: 대기온도 변화량에 따른 이론적인 신축값과 신축이음부에서의 실측 신축값의 비

ΔT: 최고온도와 최저온도 사이의 온도차잇값

ΔS: 최고온도와 최저온도시 측정된 신축이음 유간의 차잇값

L: 구조물의 신축팽창길이(신축경간길이)

3.2 신축영향 온도비 분석

대상교량에 대한 신축 이음부 유간변화 측정결과는 2019년 여름, 2020년 겨울, 2020년 여름, 2021년 겨울에 누적된 자료가 있으므로, 각 최고-최저온도시에 대한 여러 조합을 고려하여, 온도변화에 따른 유간의 변화를 검토하고, 신축영향 온도비에 대한 분석을 실시하였다. 분석은 측정시기에 따른 4가지 조합과 각 측정일자별 조합 등을 고려하였다. 이하 각 검토의 범례는 다음과 같은 규칙에 의거하였다.

- 범례 예시: H19-1-L20-2

여기서, 첫 번째 분류코드 'H19'는 최고온도 데이터를 2019년도로 적용한다는 뜻이며, 두 번째 분류코드인 '-1'은 최고온도의 1일차 데이터를 기준으로 함을 뜻한다. 세 번째 분류코드인 'L20'은 최저온도 데이터를 2020년도로 적용한다는 뜻이며, 마지막 네 번째 분류코드인 '-2'는 최저온도의 2일차 데이터를 기준으로 함을 각각 나타낸다. 또한, 일차 구분은 -1, -2, -3, -A이며, 각 1일, 2일, 3일차 데이터와 이를 평균한 값을 나타낸다.

Table 5는 신축영향 온도비(R)를 산정한 결과의 일례로서, 겨울의 최저온도를 측정된 3일의 평균값을 이용하여 정리한 결과만을 제시하였다. 측정결과 중 1-2-3번측과 4-5-6번측에서 R값의 차이가 약 11 %($\frac{0.903 - 0.799}{0.903}$%) 정도 발생하였으며, 이러한 차이가 발생되는 이유는 교량의 내측 힌

지 위치에 따라 교량의 신축팽창이 비대칭적으로 발생될 수 있는 점과 온도가 높은 여름, 한낮의 경우에는 직사광선의 영향으로 좌우 온도승강이 다를 수 있는 점 등에 따라 좌우 편차가 발생되고 있는 것으로 판단된다. 이에 대해서는 추후 지속적인 측정을 통해 발생되는 차이의 패턴을 파악하여 합리적인 추론을 돌출할 필요가 있으나, 본 연구에서는 양측 중 최댓값이 발생되는 부분을 기준으로 하여 검토하는 것으로 하였다.

Table 5. Calculation of the expansion temperature ratio (R)

Specimen	1-2-3 side	4-5-6 side
H19-1-L20-A	0.940	0.805
H19-2-L20-A	0.972	0.783
H19-3-L20-A	0.913	0.785
H19-A-L20-A	0.941	0.792
H19-1-L21-A	0.978	0.884
H19-2-L21-A	1.010	0.879
H19-3-L21-A	0.960	0.873
H19-A-L21-A	0.982	0.880
H20-1-L20-A	0.861	0.831
H20-2-L20-A	0.782	0.630
H20-3-L20-A	0.802	0.689
H20-A-L20-A	0.814	0.715
H20-1-L21-A	0.912	0.904
H20-2-L21-A	0.845	0.735
H20-3-L21-A	0.861	0.784
H20-A-L21-A	0.873	0.807
Average	0.902875	0.798500
Standard deviation	0.070651	0.077608
99 % probability of non-excession	1.067492	0.979328
95 % probability of non-excession	1.019096	0.926166
90 % probability of non-excession	0.993308	0.897839

Table 5에 따르면, 겨울 최저온도를 평균온도로 하여 분석한 신축영향 온도비(R)는 평균 0.903 정도로 파악되어, 구조물의 신축이음부에서 발생되는 유간의 변화량은 대기온도 변화대비 약 0.903배 정도에 해당한다는 의미가 된다.

이러한 신축영향 온도비의 분포가 정규분포를 따른다고 가정한다면, 각각 90 %, 95 %, 99 % 확률로 실제 신축이음부의 유간변화가 설곗값을 초과하지 않도록 하는 신축영향 온도비(R)의 확률적인 값을 구할 수 있으며, 그 값은 Table 5와 같이 0.993, 1.019와 1.067로 계산된다. 즉, 실제 대기온도 범위의 0.993배, 1.019배와 1.067배에 해당하는 온도차를 신축이음부 유간설계를 위한 온도변화 범위로 이용하여 설계를 할 수 있다. 예로서, 실제 구조물의 위치가 –10 ℃에서 +40 ℃까지 온도가 변화하는 곳에 놓인다면, 신축이음부의 기본신축량을 계산할 때, 실제 온도변화량 50도에 R = 1.067492(여기서는, 안전을 위하여 1-2-3번측과 4-5-6번측 중에서 큰 값을 사용하여 보수적인 설계가 되도록 함)을 곱한 53.375도를 이용하여 설계를 하게 될 경우에 99 % 확률로 실제 구조물에서 발생되는 신축이음부의 유간변화가 설계로 계산된 기본 유간을 초과하지 않게 된다는 것을 의미하게 된다.

이를 정리하여 설곗값을 결정하면 아래와 같다.

(1) 검토조건
- 열팽창계수: 12 μStrain/℃
- 지역: 보통지역, 60도 온도변화
- 단일 신축장: 150 m

(2) 온도신축량
- 기본 신축량: 96.074 mm ($12\times10^{-6} \times 53.375 \times 150 \times 1{,}000$ mm)
- 규모에 따른 여유량: 총 30 mm(설치여유량 10 mm + 부가여유량 20 mm)

대상교량은 평균 300 m 신축이음경간 2개로 이루어진 600 m 교량이므로, 각 신축이음 경간의 가운데에서 고정이라고 가정하면, 필요로 되는 신축이음량은 Table 6와 같다. 총 504.296 mm는 기본 신축량, 설치 여유량, 부가 여유량의 합계가 된다.

Table 6. Calculation of the clearance of expansion joint

Specimen	Total value	Basic expansion value	Installation allowance value	Additional allowance value
No. 1	126.074	96.074	10	20
No. 2	252.148	192.148	20	40
No. 3	126.074	96.074	10	20
Total	504.296	384.296	-	-

Table 6의 신축이음 설치 위치당 기본신축량 96.074 mm의 신축량을 확보하게 된다면, 99 % 확률로 이를 초과하는

신축변형량이 발생하지 않도록 하는 것이 확률적으로 기대된다. Table 5의 결과보다 좀 더 많은 데이터를 이용하여 검토할 경우, 좀 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있을 것이므로 우선 동일한 대상교량에 대해서 최저온도에 대해서도 1일차, 2일차, 3일차, 평균을 고려하여 검토하게 되면, Table 5의 신축영향 온도비 분석 결과보다 더 많은 샘플링을 얻을 수 있다. 이를 통하여 신뢰성의 추가 확보와 확률론에 근거한 신뢰성 있는 설계를 하는 것이 가능할 것이다.

대상교량에 대하여 확장된 각 조합의 수를 정리하면,

- 2019년 여름 4가지(1·2·3일차, 평균) - 2020년 겨울 3가지(1·2일차, 평균): 12 cases
- 2019년 여름 4가지(1·2·3일차, 평균) - 2021년 겨울 4가지(1·2·3일차, 평균): 16 cases
- 2020년 여름 4가지(1·2·3일차, 평균) - 2020년 겨울 3가지(1·2일차, 평균): 12 cases
- 2020년 여름 4가지(1·2·3일차, 평균) - 2021년 겨울 4가지(1·2·3일차, 평균): 16 cases

이상과 같이 신축영향 온도비 분석을 위한 총 경우의 수는 1-2-3번측 56개, 4-5-6번측 56개로 총 112개의 경우에 대한 R값을 산정하게 된다. 또한 R값의 산정은 각 조합에 따라 앞서 3장의 신축영향 온도비 산정 절차에 따른다.

Fig. 5는 신축영향 온도비 R값(대기온도 변화량에 따른 이론적인 신축값과 신축이음부에서의 실측 신축값의 비)에 대한 분포를 발생빈도 곡선으로 나타낸 것이다. 여기서, 1-2-3번측에 위치한 신축이음의 R값이 파란색이며, 4-5-6번측에 위치한 신축이음에서의 값이 회색으로 정리되었다.

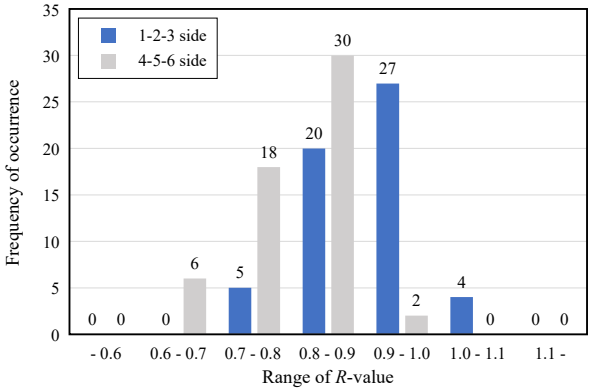

Fig. 5. Frequency curve for R value of the study bridge

Fig. 5에 따르면, 1-2-3번측과 4-5-6번측에서 양상은 유사하지만, 1-2-3번측의 값이 전체적으로 좀 더 큰 값을 갖는 특이사항이 나타난다. 태양의 직사에 의한 영향을 고려해본다면, 서쪽에 위치한 신축이음(1-2-3번측)에서의 R값이 동쪽에 위치한 신축이음에서의 R값보다 약간 높은 쪽으로 분포되고 있는 것으로 생각해볼 수도 있으나, 이렇게 차이가 발생되는 현상은 교량의 정렬방향에 따른 직사영향뿐 아니라 교량의 형상(직교, 곡선교, 폐합 및 개방형)에 따라서도 영향을 미칠 수 있을 것이므로, 여기서는 더 이상 논의하지 않고, 추후 여러교량들에 대한 상호 비교를 통해 검토하는 것이 합당할 것이다. 다만, 교량에서 발생되는 신축영향 온도비 R값이 1을 초과하는 큰 값은 거의 발생되지 않으며, 일반적으로 0.8 - 1.0 정도에 대부분 분포되고 있다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

대상교량에서 AASHTO LRFD에서 신축이음에 대한 온도하중을 고려한 것과 유사한 방식으로 신축이음에 대한 실제 유간변화를 실측함으로써, 대기온도에 따른 신축이음의 유간변화를 측정하였다. 이를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 최고온도와 최저온도 시에 각각 교량의 신축이음에서 측정한 유간변화로부터 연구 교량에서의 변형률을 산정하고, 역으로 온도하중을 산정하였다.

(2) 대상교량에서 대기온도에 대한 실구조물 신축영향 온도비의 일례를 계산하였으며, 이를 "신축영향 온도비(R)"라 명명하고, 겨울 최저온도를 평균온도로 분석한 R값은 평균 0.903 정도로 파악되었다. 이는 구조물의 신축이음부에서 발생되는 유간의 변화량은 대기온도 변화대비 약 0.903배 정도에 해당한다는 의미이다.

(3) 대상교량에서의 신축영향 온도비의 분포가 정규분포를 따른다고 가정했을 경우, 실제 신축이음부의 유간변화가 설계 대기온도 범위를 초과되지 않도록 하는 확률의 신축영향 온도비(R) 값을 90 %, 95 %, 99 % 확률로 계산하면 각각 0.993배, 1.019배, 1.067배가 된다. 이러한 방법을 통해 확률론에 기반을 둔 신뢰성 있는 신축이음부의 유간변화량을 설계하는 것이 가능하게 된다.

(4) 2년간의 양산 지방에 위치한 강박스거더교의 신축이음부 측정자료를 분석한 결과, 교량에서 발생되는 신축영향 온도비 R값이 1을 초과하는 큰 값은 거의 발생되지 않으며, 일반적으로 0.8 - 1.0 정도에 대부분 분포되고 있다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단(NRF-2019R1F1A1040806)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌(References)

[1] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) *Highway Bridge Design Standard (Limit State Design)*, MLTM, Korea (in Korean).

[2] Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2010) *Highway Bridge Design Standard*, MLTM, Korea (in Korean).

[3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Bridge Design Load (Limit Stage Design)* (KDS 24 12 21: 2016), Korea, pp.17-18 (in Korean).

[4] Lee, S.-H., Shin, H.-K., and Kim, K.-N. (2018) Estimation of the Maximum Design Effective Temperature for Steel Box Girder Bridges Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.30, No.5, pp. 299-307 (in Korean).

[5] Lee, S.H., Kim, K.N., and Choi, H.S. (2019) Estimation of the Minimum Design Effective Temperature for Steel Box Girder Bridges Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck, *Journal of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.31, No.1, pp.23-30 (in Korean).

[6] Lee, S.H., Shin, H.K., Kim, K.N., and Jung, K.S. (2016) An Experimental Study for Estimation of Effective Temperature for Design in Steel Box Girder Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.28, No.6, pp.449-458 (in Korean).

[7] American Association of State Highway and Transportation Officials (2007) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (SI Units, 4th Ed.), USA, pp.3-99-3-104.

[8] European Organisation for Technical Approvals (2013) *Guideline for European Technical Approval of Expansion Joints for Road Bridges, Part 1: General* (ETAG No. 032), Belgium.

[9] Roeder, C.W. (2002) *Thermal Movement Design Procedure for Steel and Concrete Bridges – Final Report (A Report to the National Cooperative Highway Research Program NCHRP 20-07/106)*, USA.

[10] Roeder, C.W. (2003) Proposed Design Method for Thermal Bridge Movements, *Journal of Bridge Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol.8, No.1, pp.12-19.

요 약 : 도로교설계기준(한계상태설계법)은 교량의 신축이음과 교좌장치의 이동량 산정을 위한 온도하중을 제공하지 않는다. 본 연구에서는, 대기온도와 신축이음의 변형 사이의 상관관계를 평가하기 위하여 강상자형교의 신축이음에서 여름철 최고 온도시와 겨울철 최저 온도시에 대기온도와 신축이음의 변형량을 측정하였다, 측정결과를 이용하여 유간의 차잇값과 변형률을 계산하고, 온도하중으로 환산하여 대기온도에 대한 실구조물의 신축영향 온도비 R을 산정하였다. 90 %, 95 %, 99 % 정규분포 확률로, 실제 신축이음부의 유간변화가 설곗값을 초과되지 않도록 하는 확률의 신축영향 온도비(R) 값을 계산하면 각각 0.993배, 1.019배, 1.067배 정도가 된다. 이러한 방법을 통해 확률론에 기반을 둔 신뢰성 있는 신축이음부의 유간변화량을 설계하는 것이 가능하게 된다. 신축영향 온도비는 0.8 - 1.0 정도에 대부분 분포되고 있었다. 또한 확률론에 기반을 둔 신뢰성 있는 신축이음부의 유간변화량 설계가 가능함을 확인하였다.

핵심용어 : 신축이음, 교좌장치의 이동량, 대기온도, 신축영향 온도비, 확률론