

콘크리트 박스거더교의 상판 아스팔트 두께에 따른 최저 설계 유효온도 산정

이성행
부산대학교 토목공학과

Estimation of Minimum Design Effective Temperature for Concrete Box Girder Bridge Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck

Seong-Haeng Lee
Department of Civil Engineering, Pusan National University

요약 본 연구에서는 콘크리트 박스거더교의 상부 아스팔트 포장 두께에 따른 겨울철 최저 유효온도 조정값과 유효온도를 연구한다. 이를 위하여 0mm, 50mm, 150mm의 아스팔트 두께를 갖는 3개의 콘크리트 박스거더 시험체를 제작하고, 겨울철 기간동안 온도 데이터를 측정하고 유효온도를 분석한다. 각 모형에 17개와 23개의 온도센서를 부착하여, 하루에 48세트씩 3개월간 3604 온도 데이터를 세트를 측정하고, 이를 바탕으로 겨울철 최저 유효온도를 산정한다. 대기온도 -15℃의 유효온도는 0mm, 50mm, 150mm에서 각각 -9.9℃, -9.2℃, -6.8℃로 분석된다. 최하위 온도(-15~-13℃)에서 각 모형은 Euro code보다 0.3℃~+1.7℃ 높게 산정되고, 전체적으로 Euro code와 매우 유사한 값을 보인다. 분석결과 아스팔트 두께에 따른 최저 유효온도의 조정값은 0mm를 기준으로 했을 때, 50mm 150mm 대하여 각각 +0.5℃, +2.7℃로 도출된다. 가장 많이 설계되는 50mm 모형에서 콘크리트교 유효온도는 강교에 비하여 증가가 별로 없음을 볼 수 있다. 본 연구에서 산정된 최저 유효온도로 판단할 때, 콘크리트교 보통기후 지역에서 현 도로교 설계기준의 최저 설계온도는 -5℃에서 -9.2℃이하로 재 검토되어야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

Abstract This study examined the minimum effective temperature adjustment value and effective temperature in winter according to the thickness of the upper asphalt pavement of a concrete box girder bridge. Three concrete box girder specimens with asphalt thicknesses of 0 mm, 50 mm, and 150 mm were manufactured. The temperature data were measured during the winter, and the effective temperature was analyzed. Seventeen and 23 temperature sensors were attached to each model, and a set of 3604 temperature data was measured for three months, 48 sets a day. The lowest effective temperature in winter was calculated based on this. The effective temperature of -15℃ was analyzed to be -9.9℃, -9.2℃, and -6.8℃ at 0mm, 50mm, and 150mm, respectively. At the lowest temperature (-15~13℃), each model was calculated to be 0.3℃ to +1.7℃ higher than the Eurocode, and the overall value was similar to the Eurocode. As a result of the analysis, the adjustment value of the minimum effective temperature according to the thickness of the asphalt was derived as +0.5℃ and +2.7℃ for 50mm and 150mm, respectively, based on 0mm. In the 50mm model designed the most, the effective temperature of the concrete bridge does not increase much compared to the steel bridge. Judging from the minimum effective temperature calculated in this study, it was judged that the minimum design temperature of the highway bridge design criteria in the normal climate area of the concrete bridge needs to be re-examined from -5℃ to -9.2℃.

Keywords : Minimum Effective Temperature, Effective Temperature Adjustment Value, Asphalt Thickness of Concrete Deck, Concrete Box Girder Bridge, Temperature Load, Temperature Measurement

본 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Seong-Haeng Lee(Pusan Nat'l Univ.)

email: lsh77@pusan.ac.kr

Received November 2, 2022

Accepted December 7, 2022

Revised December 5, 2022

Published December 31, 2022

1. 서론

최근 이상 한파와 폭염이 더해지고 있어, 교량구조물의 온도 설계하중에 대한 중요성이 대두되고 있다. 현재의 도로교 설계기준(한계상태 설계법)[1]에서는 온도하중을 평균온도(TU)와 온도경사(TG)로 구분한다. TU는 여름의 최고 온도와 겨울의 최저 온도에 따라서 결정되는데, 온도에 의한 변형을 고려하기 위하여 설계 시 기준으로 택했던 온도와 최저 혹은 최고 온도와의 차이값이 사용된다. 도로교 설계기준[1]은 온도구분을 한랭지역과 보통지역으로만 나누어 최고 온도와 최저온도 범위를 제시하고 있다(Table 1). 미국의 AASHTO LRFD[2]와 유럽의 Euro code[3]의 교량 온도에 대한 설계하중은 국내 설계기준보다 좀 더 체계적이고 세분화되어 있다. 지역별 설계온도, 교량 형식별 온도 하중범위와 상하 온도차, 상부 콘크리트면의 포장 두께와 방수 등에 따른 상세한 규정이 마련되어 있다. TU를 Euro code에서는 유효온도 개념을 사용한다.

교량 콘크리트 바닥판의 포장 두께에 따라 유효온도의 차이가 발생 한다. 이에 따라 바닥판 아스팔트 두께에 따른 온도하중의 영향을 파악하는 것이 요망된다. 콘크리트교에서는 온도 승강과 온도구배에 의해 유발되는 횡방향 응력 및 이에 의한 종방향 균열발생으로 온도하중이 구조물의 내구성에 큰 영향을 미칠 수 있다.

국내 도로교 설계기준[1]의 세부적인 보완 등을 위하여, 온도하중에 대한 연구가 이루어 지고 있다. 현재까지의 연구동향을 살펴보면, [4]에서 교량에 대한 온도 하중 기준에 대한 기본사항이 제시되었다. 강교량의 온도설계 기준이 되는 TU에 대한 실험적 연구가 이루어졌고[5-7], 강교량의 콘크리트 바닥판 아스팔트 표면두께에 따른 TU의 실험적 연구가 최고기온[8]과 최저기온[9] 별로 연구되었다. 또한 강교량과 강교량 상부 아스팔트 두께에 따른 TG(온도경사) 하중에 대한 연구[10,11] 수행되었다.

콘크리트 교량에 대한 TU연구는 표면 아스팔트가 없는 콘크리트 박스거더 교량의 유효온도에 대한 연구가 수행되었고[12], 콘크리트 바닥판 아스팔트 표면두께에 따른 여름철 최고기온에서 TU의 실험적 연구[13]가 수행되었다. 본 연구에서 [13]연구에 이어서 겨울철 최저기온에서 콘크리트 바닥판 상부 포장 두께에 따른 TU온도의 연구를 수행하고자 한다.

이 연구를 위하여 상부 슬래브의 아스팔트 두께를 변화시킨 콘크리트 박스거더교 모형 시험체 3개를 제작하고, 온도를 측정 분석하여 아스팔트 두께에 따른 겨울철

최저 유효온도의 영향을 분석한다. 분석 결과를 Euro code 기준과 비교하고, 기 연구된 강교량의 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 결과와 비교해 본다. 이를 통하여 콘크리트 교량의아스팔트 두께에 따른 유효온도의 조정값을 산정하고, 겨울철 최저 온도설계 기준을 위한 기초자료를 마련하고자 한다.

2. 콘크리트교의 유효온도 설계기준

도로교 설계기준[1]은 교량의 평균온도 범위를 Table 1과 같이 콘크리트교와 강교에 대하여 최저 온도와 최고 온도 범위를 제시하고 있다.

Table 1. Temperature ranges (°C)[1]

	Concrete bridge	Steel bridge
Moderate	-5~35	-10~50
Cold	-15~35	-30~50

Table 2. Maximum effective temperature of Euro code[3] (°C)

Air temperature	Upper structure type		
	Group 1,2	Group 3	Group 4
-5	-7	-4	-2
-6	-8	-5	-3
-7	-9	-6	-3
-8	-10	-7	-4
-9	-11	-8	-5
-10	-12	-9	-6
-11	-14	-10	-6
-12	-15	-10	-7
-13	-16	-11	-8
-14	-17	-12	-9
-15	-18	-13	-9
-16	-19	-14	-10
-17	-20	-15	-10
-18	-21	-15	-11
-19	-22	-16	-11
-20	-23	-17	-12

Table 3. Adjustment value of effective temperature according to surface thickness (Euro code)[3](°C)

Case	Adjustment value		
	Group 1,2	Group 3	Group 4
surfacing thickness			
unsurfaced	0	-3	-1
waterproofed	0	-3	-1
40mm	0	-2	-1
100mm	-	0	0
200mm	-	+3	+1

Euro code[3]에서는 유효온도를 Table 2와 같이 $-5^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ 의 대기온도에서 최저 유효온도를 설정하고 있다. 여기서 그룹 1,2는 강상형교, 그룹 3은 강합성교, 그룹 4는 콘크리트교에 해당된다. Table 2에서 제시된 온도를 기준으로 상부 콘크리트 슬래브의 표면 포장 상태에 따라 유효온도를 Table 3과 같이 조정한다[3]. 반면 국내 도로교설계기준은 구분된 지역별 유효온도 범위만 제시하고 있고, 포장상태에 따른 유효온도 조정의 기준은 마련되어 있지 않다.

3. 시험체 모형제작 및 측정

3.1 시험체 모형제작

모형 제작비와 측정 장소(공간)의 한계로 3차에 걸쳐서 모형을 제작하고 온도를 측정하였다. 측정 1차년도(2017년)에는 바닥판의 아스팔트 포장두께가 각각 0mm, 150mm인 2개의 시험체를 제작하였고(Fig. 1) 측정 2차년도(2018년)에는 아스팔트 포장두께를 50mm로 제작하여 실험하였다. 측정 3차년도에는 아스팔트 포장두께 100mm로 시험체를 제작하여 실험하였으나, 측정결과에 신뢰성이 떨어지고 오차가 커서 100mm 시험체는 제외하고, 0mm, 50mm, 150mm 시험체에 대해서만 분석하였다.

교량 시험체는 경상남도 양산시 물금읍의 부산대학교 양산캠퍼스에 설치하고 측정하였다. Fig. 2는 1차년도에 설치된 모형의 방위각을 평면도로 보인다.



Fig. 1. Bridge specimens of first year

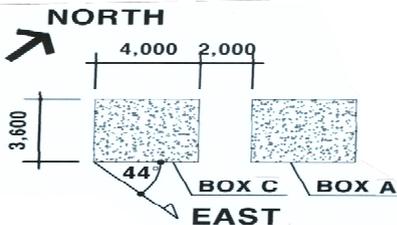


Fig. 2. Plan of the models with azimuth angle

Fig. 3에 상부 아스팔트 두께를 변경한 3개의 콘크리트 교량 시험체를 보인다. 각 모형에서 상부 아스팔트 두께는 BOX A 0mm, BOX B 50mm, BOX C 150 mm이며, 두께별 온도 영향을 평가하였다. 박스단면의 크기는 폭 2.0m, 높이 2.0m, 두께 0.2m, 길이 3.6 m이며, 돌출된 외부 슬래브는 좌우 각각 1 m이며, 두께는 0.2m이다. 시험체는 바닥면에는 공기 유통과 지열 등의 영향을 고려하여 Fig. 3과 같이 높이 1.0m의 사각형 기둥 4개로 지지하였다.

BOX A, C 시험체에는 Fig. 4(a)와 같이 23개의 온도 센서가, BOX B 시험체에는 Fig. 4(b)와 같이 17개의 온도 센서를 부착하였다.

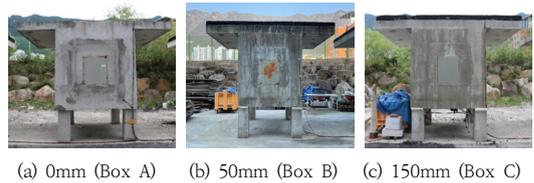


Fig. 3. Bridge specimens (Box A, B, C)

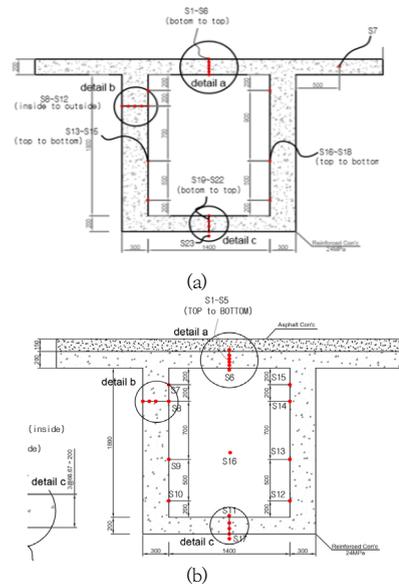


Fig. 4. Section plan and thermo-gauge location in the bridge specimen (a) Box A, C (b) Box B

3.2 온도측정

시험체에서는 장기간의 온도를 안정적으로 측정하기 위하여 시험체로부터 20m 거리에 있는 실험실안에 데이터 로거를 설치하였다. 각 교량시험체에 설치된 측정점

서 데이터로거의 자동 Time interval 기능을 사용하여 30분 간격으로 온도를 연속으로 측정하여 1일 48데이터셋의 자료를 측정하였다. Fig. 5는 실험실 측면에 설치된 데이터 로거와 컴퓨터, 무정전 전원장치(UPS)를 보인다. UPS는 겨울철 3개월 동안 정전시 측정을 위하여 설치하였다. BOX A, C 시험체는 2017년의 겨울 측정값을, BOX B는 2018년 겨울 측정값을 사용하였다.



Fig. 5. Measurement system

4. 측정 결과 및 분석

4.1 측정대기 온도 비교

2017년 겨울의 최저기온은 2018년 2월 7일의 -10.8℃, 2018년 겨울의 최저기온은 2018년 12월 28일의 -6.9℃였다. 2018년 최저기온을 보이는 2월 7일 전후 5일간의 대기온도를 Fig. 6에 그래프화 하였다. 측정했던 현장 게이지(SC 23번)의 온도와 양산 기상청 대기온도를 비교하였다.

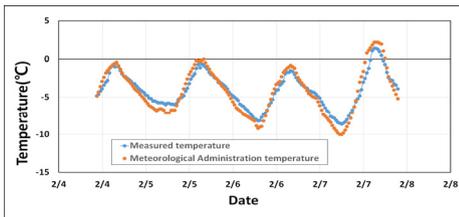


Fig. 6. Temperature data of the measured specimen and the Meteorological Administration

측정 대기온도는 기상청 대기온도와 비교하여 상당히 근접하게 측정됨을 볼 수 있으나, 측정값의 대기 온도 센서는 Fig. 3(a)와 같이 측정 박스 하단에 설치되었는데, 기상청 기온보다 최고기온에서는 약간 낮고, 최저기온에서는 약간 높게 편차를 보이고 있다. 2년의 겨울기간 동안 양산 기상청 자료에 의한 각 월별 대기 최저 평균기온은 Table 4에서 볼 수 있다.

Table 4. Average maximum atmospheric temperature of the weather station

Case	December	January	February	Average
2017	-3.1	-3.8	-2.9	-3.2
2018	-0.3	-2.0	0.5	-0.6

4.2 유효온도 산정

BOX A, B, C에서는 최저 유효온도를 산정하기 위하여 12월 2일서 2월 14일까지 측정된 자료를 사용하여 각 시험체에서 3604 온도데이터 set를 분석하였다. 각 측정점에서 측정된 온도데이터를 통계 처리하여 추세선과 표준 오차를 산정하였다. Euro code에서 제시한 대기온도 (-5℃ ~ -20℃)에서 각 지점의 온도 추세선식에 대기온도를 적용하여 온도를 산정하고, 산정된 값에 그 지점의 표준오차를 더하여 각 지점의 온도를 결정하였다. 이와 같은 선택 이유는 Euro code가 오랜 시간 축적된 데이터를 기반으로 유효온도를 산정한 것과 달리 본 연구에서는 측정기간이 상대적으로 짧기 때문에 데이터의 극값을 이용하여 유효온도를 구하고자 함이다.

최종 유효온도는 티센가중법(Thiessen method)을 사용하여 도출된다. 이는 면적에 가중치를 두어 값을 산정하는 방법으로 산술평균법 보다 정확하고 적용방법에 객관성이 있다. 교량시험체에서 온도 센서를 제외한 2017년의 22개, 2018년의 16개 측정점의 대표면적을 상부 슬래브, 양측 벽체, 그리고 하부 콘크리트부로 면적을 구분하여 각 면적의 합을 정리하면 Table 5와 같다. 상부 슬래브는 중앙부와 양쪽 도출 슬래브면적을 합한 값이다. 티센가중법으로 각 지점의 온도에 이 면적을 곱하고, 전체 지점값의 합을 총면적으로 나누어 유효온도를 산정하였다.

Table 5. Area of bridge specimen(mm²)

Top slab	Side walls	Bottom slab	Σ
800,000	1,080,000	400,000	2,280,000

Fig. 7~Fig. 9는 0mm, 50mm, 150mm 아스팔트 두께에서 상판 콘크리트 중앙부(S3)와 하판 콘크리트부에서 측정 데이터 3604개의 분포를 나타낸다. 콘크리트 중앙부의 하판부의 게이지는 0mm, 150mm모형에서 S20, 50mm모형에서는 S12측점의 데이터를 그래프화 하였다. 각 표에서 그래프의 가로축은 대기온도를, 세로축은 각 지점의 온도측정값을 나타낸다.

0mm, 50mm 시험체에서는 상판이 하판보다 온도 추세선이 약간 큰 기울기를 가지며, 0mm 시험체가 50mm 시험체 약간 더 큰 기울기를 보인다. 150mm 시험체에서는 상부 아스팔트의 영향으로 상 하판의 온도 경사선에 큰 차이가 없이 상당히 완만한 경사를 보이고 있음을 알 수 있다.

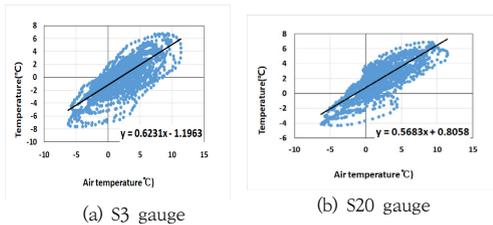


Fig. 7. Temperature distribution of 0mm specimen

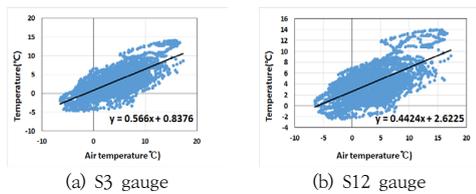


Fig. 8. Temperature distribution of 50mm specimen

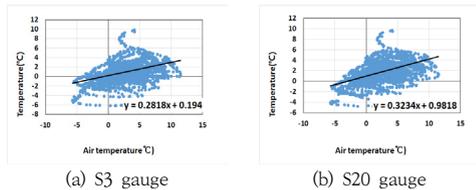


Fig. 9. Temperature distribution of 150mm specimen

4.3 아스팔트 두께별 유효온도 산정

4.3.1 0 mm, 150 mm 유효온도 산정

아스팔트 두께 0 mm와 150 mm의 교량 모형은 2017년도 같은 기간에 측정되었으며, 측정 게이지는 Fig. 5 (a)와 같이 23지점에 온도 게이지가 부착되었다. 23번 게이지는 대기온도를 측정한다. 4.2항의 방법으로 12월, 1월, 2월의 측정 자료를 분석하여 유효온도를 산정하였으며, 산정결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Effective temperature of 0mm, 150mm specimen

Air temperature	Box A (0mm)	Box C (150mm)
-5	-4.3	-3.0
-6	-5.0	-3.5
-7	-5.6	-3.9
-8	-6.1	-4.3
-9	-6.6	-4.6
-10	-7.2	-5.0
-11	-7.7	-5.4
-12	-8.3	-5.7
-13	-8.8	-6.1
-14	-9.4	-6.5
-15	-9.9	-6.8
-16	-10.4	-7.2
-17	-11.0	-7.6
-18	-11.5	-7.9
-19	-12.1	-8.3
-20	-12.6	-8.7

4.3.2 50mm 유효온도 산정

50mm 교량모형은 2018년에 측정되었다. 측정 게이지는 Fig. 4(b)와 같이 17지점에서 온도 데이터를 분석하고 Table 7과 같이 각 온도별 유효온도를 산정하였다. 측정한 2년간 경남 양산 기상청의 12월, 1월, 2월의 최저기온의 평균은 Table 4와 같다. 이 표에서 3개월간 2017년의 평균기온은 2018년 비하여 2.6℃ 높게 산정된다. 또한 같은 기간 기상청 자료에서 매일의 평균기온을 고려한 월 평균기온도 최저 평균기온과 같이 2.6℃의 온도차가 계산된다. 이를 고려하여 계측 분석된 값도 2.6℃의 편차가 있는 것으로 간주하여, 2018년도에 측정된 유효온도에서 2.6℃를 감하여 Table 7에 보정하였다.

Table 7. Effective temperature of 50mm

Air temperature	Box B(50mm)	
	Calculation	Correction
-5	-2.0	-4.6
-6	-2.5	-5.1
-7	-3.0	-5.6
-8	-3.4	-6.0
-9	-3.9	-6.5
-10	-4.3	-6.9
-11	-4.8	-7.4
-12	-5.2	-7.8
-13	-5.7	-8.3
-14	-6.1	-8.7
-15	-6.6	-9.2
-16	-7.0	-9.6
-17	-7.5	-10.1
-18	-7.9	-10.5
-19	-8.4	-11.0
-20	-8.8	-11.4

4.3.3 아스팔트 두께별 유효온도 산정

앞에서 계산된 3개 교량 시험체에서 측정된 유효온도를 Table 8에 정리하였다. 양산지방의 역대 관측 최저기온을 살펴보면 -11.7°C (2011년), -11.1°C (2018년)이다.

Table 8. Effective temperature of each bridge specimen

Air temperature	Box A (0mm)		Box B (50mm)		Box C (150mm)	
	Euro code	This study	Euro code	This study	Euro code	This study
-5	-3	-4.3	-2.8	-4.6	-1.5	-3.0
-6	-4	-5.0	-3.8	-5.1	-2.5	-3.5
-7	-4	-5.6	-3.8	-5.6	-2.5	-3.9
-8	-5	-6.1	-4.8	-6.0	-3.5	-4.3
-9	-6	-6.6	-5.8	-6.5	-4.5	-4.6
-10	-7	-7.2	-6.8	-6.9	-5.5	-5.0
-11	-7	-7.7	-6.8	-7.4	-5.5	-5.4
-12	-8	-8.3	-7.8	-7.8	-6.5	-5.7
-13	-9	-8.8	-8.8	-8.3	-7.5	-6.1
-14	-10	-9.4	-9.8	-8.7	-8.5	-6.5
-15	-10	-9.9	-9.8	-9.2	-8.5	-6.8

이를 고려하여 최저기온을 상회하는 -15°C 까지 온도에 대하여 유효온도를 분석하였다. 또한 Euro code에서 두께별 보정을 고려한 값을 같은 표에 정리하였다. 이 값은 Table 3의 표면 두께에 따른 보정치를 고려한 값이며, 0mm에서는 -1.0°C 를 보정하고, 50mm와 150mm에서는 주어진 값에서 직선 보간법으로 계산하여 -0.8°C 와 $+0.5^{\circ}\text{C}$ 를 보정하였다. 2018년의 50mm 시험체의 보완된 값과 0mm, 150mm 시험체 모형에서 측정된 값을 Table 8과 같이 정리하여 직접 비교하였다.

4.4 유효온도 분석

4.4.1 산정 결과 및 Euro code와 비교

Table 8에서 대기온도 -15°C 의 유효온도는 0mm에서 -9.9°C , 50mm에서 -9.2°C , 150mm에서 -6.8°C 가 분석되며, 최저 유효온도는 0mm에서 -9.9°C 이다. 이때의 Euro code와의 유효온도 차를 Table 9에 비교 하였다. 또한 최하위 온도($-15\sim-13^{\circ}\text{C}$)와 그 위 온도($-12\sim-5^{\circ}\text{C}$)의 평균에 대한 Euro code와의 온도차도 같이 정리하였다. 이 표에서 피복 0mm 시험체는 최하위 온도($-15\sim-13^{\circ}\text{C}$)에서 Euro code보다 0.3°C 높게 산정되고, 피복 50mm, 150mm 시험체는 Euro code보다 0.73°C , 1.7°C 높게 산정된다. $-12\sim-5^{\circ}\text{C}$ 의 기온에서 유효온도는 평균적으로 $-0.42\sim-0.94^{\circ}\text{C}$ Euro code보다 낮게 분석된다. 분석된 값은 Euro code와 매우 근접하

지만 약간의 오차를 보인다. 이는 지역적인 차이와 모형 제작의 차이로 판단된다. 교량 모형이 실제 교량에 비하여 규모가 작고 일부만 제작되어 유효온도가 Euro code와 차이가 있는 것으로 판단된다.

Table 9. Temperature difference of actual measurements and Euro codes

Air temperature	0mm	50mm	150mm
-15°C	+0.1	+0.6	+1.7
$-15\sim-13^{\circ}\text{C}$	+0.3	+0.73	+1.7
$-12\sim-5^{\circ}\text{C}$	-0.85	-0.94	-0.42

4.4.2 두께에 따른 유효온도 비교 및 조정치

Table 8의 각 두께별 유효온도를 그래프화하면 Fig. 10과 같다. 150mm 모형의 유효온도는 상대적으로 높게 측정되고, 0mm와 50mm는 -6°C 까지는 거의 유사하지만 온도가 더 낮아지면, 0mm 모형의 온도가 점진적으로 낮아진다. 상판의 아스팔트가 두께가 깊을수록 유효온도의 기울기가 완만해 저 온도가 낮아짐을 보인다. 이는 아스팔트가 일종의 보온효과를 발휘하는 것으로 판단된다.

50mm를 기준으로 보면 최저온도 -15°C , -14°C , -13°C 와 측정온도 $-5^{\circ}\text{C}\sim-12^{\circ}\text{C}$ 구간 평균기온의 아스팔트 두께에 따른 온도차를 정리하면 Table 10과 같다. 전체 온도 보다는 최저온도 부근 온도인 $-15^{\circ}\text{C}\sim-13^{\circ}\text{C}$ 에 가중치를 두어 Table 10의 4개 온도차(-15°C , -14°C , -13°C , $-5^{\circ}\text{C}\sim-12^{\circ}\text{C}$)의 평균값을 두께에 따른 온도 조정 최종 적용 값을 선정하였다. 이는 50mm 0.5°C , 150mm 2.7°C 가 되며, 이를 다시 정리하면 Table 11과 같다. 선정된 조정값은 Euro code 값과 비교하면 매우 근접함을 보인다.

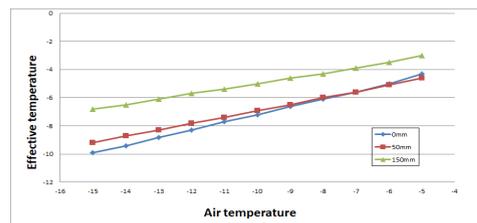


Fig. 10. Comparison of effective temperature of 3 specimens

Table 10. Adjustment value of actual measurements (°C)

Case	Air temperature	0mm	50mm	150mm
Euro code		0	0.2	1.5
This study	-15°C	0	0.7	3.1
	-14°C	0	0.7	2.9
	-13°C	0	0.5	2.7
	Average (-5°C~-12°C)	0	0.2	2.0
	Adjustment range	0	0.2~0.7	2.0~3.1
	Adjustment value	0	0.5	2.7

[9]의 논문에서 강박스커더교의 포장 두께에 따른 온도 조정값을 0mm 모형을 기준으로 다시 정리하면 Table 12와 같다. 전체적으로 포장 두께가 두꺼워짐에 따라 유효온도가 증가하는 경향은 같으나, 50mm에서 콘크리트교 유효온도는 강교에 비하여 증가가 별로 없음을 볼 수있다. 전체적으로 콘크리트교가 강교에 비하여 상부 포장에 따른 온도 영향이 작은 것으로 평가된다.

Table 11. Adjustment value of effective temperature presented in this study(°C)

Case	0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code	0	+0.2	+1.0	+1.5
This study	0	+0.5	-	+2.7

Table 12. Adjustment value of effective temperature present in steel box bridge (°C)[9]

Case	0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code	0.0	+1.3	+3.0	+4.5
This study	0.0	+2.9	+4.7	+6.2

4.5 국내 설계기준 적용

국내에 적용되는 강상형교의 아스팔트 두께는 50mm에서 100mm가 많이 적용된다. 또한 추후 반복적인 노면보수에 따른 오버레이로 인해 150mm 이상의 두께도 가능하다고 판단된다. Table 10의 조정값을 적용하면 50mm에서는 +0.5°C의 유효온도 증가를, 150mm에서는 +2.7°C의 유효온도 증가가 요망된다. 150mm에 가까운 때는 유효온도가 내려감으로 설계 시 고려할 필요는 적어지는 것으로 판단된다.

교량의 포장을 고려할 때, 아스팔트 두께 50mm가 최저 유효온도가 되며, 본 검토에서의 최저 유효온도가 Table 8에서 -9.2°C가 된다. 양산지역을 보통기후 조건으로 볼 때, 도로교설계기준의 보통기후에서 온도범위 -5°C(Table 1)를 4.2°C 초과하게 된다. 양산지방의 최저기온을 -15°C로 고려한 본 연구에서 측정된 결과를 적용하면, 현 설계기준의 콘크리트 보통기후 지역의 최저기온 범위는 현재 -5°C에서 -9.2°C이하로 재 검토되어야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

콘크리트 박스커더교에 대한 겨울철 아스팔트 두께에 따른 유효온도 조정값과 최저 유효온도를 제시하기 위하여 3종의 강박스커더교 시험체를 제작 하고 2년 동안 온도 데이터를 측정하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 아스팔트 두께에 따른 최저 유효온도의 조정값은 0mm를 기준으로 했을 때, 50mm, 150mm 대하여 각각 +0.5°C, +2.7°C로 도출되었다.
- (2) 대기온도 -15°C의 유효온도는 0mm, 50mm, 150mm에서 각각 -9.9°C, -9.2°C, -6.8°C로 분석된다. 최하위 온도(-15~-13°C)에서 각 모형은 Euro code보다 0.3°C~+1.7°C 높게 산정되나, 전체적으로 Euro code와 매우 유사한 값을 보였다.
- (3) 아스팔트 두께 50mm 일 때 최저 유효온도가 -9.2°C로 산정 되었다. 양산지방을 보통기후로 본다면, 도로교설계기준의 최저온도 범위 -5°C를 4.2°C 초과하는 온도가 제시된다. 따라서 현 설계기준의 최저기온 범위는 -5°C는 -9.2°C이하로 재 검토되어야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다.
- (4) 콘크리트교와 강교의 유효온도는 포장 두께가 두꺼워짐에 따라 증가하는 경향은 같으나, 50mm에서 콘크리트교 유효온도는 강교에 비하여 증가가 별로 없음을 볼 수있다. 전체적으로 콘크리트교가 강교에 비하여 상부 포장에 따른 온도 영향이 작은 것으로 평가된다.

References

- [1] KSD 24 12 21 Bridge Design Load(Limit state design method), pp.22~23, 2021.
- [2] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (SI Units, 4th Edition), pp.3~104, 2007.
- [3] British Standards Institution, Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 2. Specification for loads, appendix E. BS5400: Part2:1978, pp.20~23, 2004.
- [4] C. H. Kim, Y. S. Jeong, G. H. Min, J. H. Kim, Proposal of Temperature Load for Bridge Design in Korea, Autumn Annual Conference of the Korea Concrete Institute, Vol.27, No.2, pp.159-160, 2015.
- [5] S. H. Lee, H. K. Shin, K. N. Kim, K. S. Jung, An Experimental Study for Estimation of effective temperature for design in Steel Box Girder Bridge, Journal of the Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol.28, No.6, pp.449-458, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.7781/kjoss.2016.28.6.449>
- [6] S. H. Lee, Evaluation of Maximum Effective Temperature for Estimate Design Thermal Loads in Steel Box Girder Bridges, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 17, No. 8, pp.133-138, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.8.133>
- [7] S. H. Lee, Calculation of Maximum Effective Temperature of Steel Box Girder Bridge Using Artificial Neural Network, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 19, No. 3, pp.96-103, 2019.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.3.96>
- [8] S. H. Lee, H. K. Shin, K. N. Kim, Estimation of the maximum design effective temperature for steel box girder bridges considering asphalt thickness of concrete deck, Journal of the Korean Society of Steel Construction, KSSC, Vol.30, No.5, pp.299-307, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.7781/kjoss.2018.30.5.299>
- [9] S. H. Lee, K. N. Kim, H. S. Choi, 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, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7781/kjoss.2019.31.1.023>
- [10] S. H. Lee, Y. C. Park, A Study on the Vertical Temperature Difference of Steel Box Girder Bridge by Field Measurement, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 19, No. 8, pp.545-551, 2018.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.8.545>
- [11] S. H. Lee, Vertical Temperature Difference of Steel Box Girder Bridge Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 20, No. 3, pp.602-608, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.3.602>
- [12] S. H. Lee, Experimental Study on the Effective Temperature Calculation of Concrete Box Girder Bridge, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 21, No. 11, pp.740-745, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.740>
- [13] S. H. Lee, Estimation of the maximum design effective temperature for concrete box girder bridges considering asphalt thickness of concrete deck, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol, 22, No. 12, pp.747-754, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.12.747>

이 성 행(Seong-Haeng Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 토목공학
학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 충북대학교 토목공학
학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 부산대학교
토목공학과 교수

<관심분야>

강교량, 교량 온도하중, 대형수문 진동실험 및 거동