



# 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 강박스거더교의 최저 설계 유효 온도 산정

이성행<sup>1\*</sup> · 김경남<sup>2</sup> · 최형석<sup>3</sup>

<sup>1</sup>교수, 부산대학교, 건설융합학부 토목공학전공, <sup>2</sup>선임연구원, 충북대학교, 건설기술연구소, <sup>3</sup>선임연구원, 부산대학교, 지진방재센터

## Estimation of Minimum Design Effective Temperature for Steel Box Girder Bridges Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck

Lee, Seong Haeng<sup>1\*</sup>, Kim, Kyoung Nam<sup>2</sup>, Choi, Hyung Suk<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

<sup>2</sup>Senior Researcher, Institute Of Construction Technology, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

<sup>3</sup>Senior Researcher, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Yangsan, 50612, Korea

**Abstract** - In this study, to study the minimum temperature design standards of a steel box girder bridge and the minimum design criteria according to the asphalt thickness of an upper concrete deck, four types of steel box girder model specimens were produced and the temperature was measured. The measurement model is four specimens of upper concrete asphalt thickness of 0mm, 50mm, 100mm, and 150mm, with 17 to 25 temperature gauges attached to each test specimen. The minimum effective temperature was calculated based on the measurement data after performing the two-year winter measurement. The analysis results showed that the minimum effective temperature according to asphalt thickness was  $-4.7^{\circ}\text{C}$ ,  $-1.8^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ , and  $1.8^{\circ}\text{C}$  for 0mm, 50mm, 100mm and 150mm respectively. The effective temperature of the measured specimen is measured higher than the Euro code, with a temperature difference between  $0.3$  and  $2.0^{\circ}\text{C}$  at the lowest temperature of  $-15^{\circ}\text{C}$  and  $0.9$  to  $1.6^{\circ}\text{C}$  at the full temperature range. Judging from the lowest effective temperature calculated at 50mm asphalt thickness, the minimum temperature range of the current design specification for highway bridges shall be adjusted to  $-15^{\circ}\text{C}$  or less.

**Keywords** - Minimum effective temperature, Effective temperature adjustment, Asphalt thickness of concrete deck, Bridge test specimen model, Steel box girder bridge, Temperature measurement.

### 1. 서론

최근 여름에는 점점 폭염이 더해지고, 겨울에는 이상 한파가 발생하여, 주요 사회간접 시설인 교량구조물의 온도 변형에 대한 여유도(Redundancy)를 감소시키고 있다. 설계 평균온도(TU)는 여름의 최고 온도와 겨울의 최저 온도에 따라서 결정되는데, 이를 반영하기 위하여 Euro code<sup>[1]</sup>에서는 유효온도 개념이 도입된다. 유효온도는 교량전체의 평균온도를 나타내는 개념으로 도로교 설계

기준(한계상태 설계법)<sup>[2]</sup>의 평균온도와 같은 개념으로 최고 유효 온도, 최저 유효온도로 구분된다. 온도하중에 대한 현재의 도로교 설계기준(한계상태 설계법)<sup>[2]</sup>은 교량형식을 강교, 합성교, 콘크리트교로 구분하고, 온도구분을 한랭지역과 보통지역으로 나누어 최고 온도와 최저온도 범위를 제시하고 있다. 반면 유럽의 Euro code나 미국의 AASHTO LRFD에서는 좀 더 체계적이고 세분화된 온도하중에 대한 규정을 제시하고 있다<sup>[1],[3]</sup>. Euro code에서는 설계지역의 최고 및 최저 온도에 따라 유효온도를 산정할 수 있도록 대기온도별 유효온도를 제시하고 있다. Shin et al.<sup>[4]</sup>은 기상청 기상관측 데이터를 기반으로 지역별 최고, 최저 기온에 대한 Contour map을 제시하여 교량 설계시 각 지역의 특성을 고려한 유효온도를 연구하였다. Lee et al.<sup>[5]</sup>은 강박스거더교의 시험체와 실 교량의 온도 측정결과를 바탕으로 대기온도에 의한 최고 및 최저 교량 유효온도를 연구하였으며, 그 외의 연구가 진행되었다<sup>[6],[7],[8]</sup>. Euro code의 온도 설계기준은 교량 상판의 아스팔트 두께에 따라

Note.-Discussion open until August 31, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 18, 2018; revised January 07, 2019; approved on January 07, 2019.

Copyright © 2019 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-51-510-7645 Fax. +82-51-513-9596

E-mail. lsh77@pusan.ac.kr



## 2.2. 측정 온도 데이터

### 2.2.1 측정 대기 온도 비교

데이터로거의 자동 시간 간격 기능(time interval)을 사용하여 각 모형의 측정점에서 30분마다 온도를 측정하여 1일당 48개의 데이터가 수집되었다. 2016년 겨울의 최저기온은 2017년 1월 23일의  $-7.3^{\circ}\text{C}$ 였고, 2017년 겨울의 최저기온은 2018년 2월 7일의  $-11.1^{\circ}\text{C}$ 였다. 2년의 겨울기간동안 각 월별 대기 최저 평균기온은 Table 7에서 볼 수 있다. 2018년 최저기온을 보이는 2월 7일 전후 5일간의 대기온도를 Fig. 5.에 그래프화 하였다. 측정했던 현장 온도 게이지의 온도와 양산 기상청 대기온도를 비교하였다. 측정 대기온도는 기상청 대기온도와 비교하여 상당히 근접하게 측정됨을 볼 수 있다.

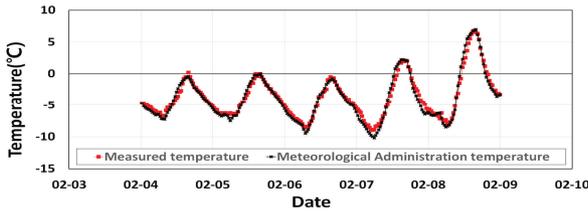


Fig. 5. Temperature data of the bridge specimen and the measured bridge

### 2.2.2 측정 데이터 분포 예시

Fig. 6.은 2017년 2월 12일에서 14일까지 강박스거더 좌우 복부 하단부 측정점의 온도 변화를 기온과 함께 나타낸다. Fig. 1. ~ Fig. 3.에서와 같이 0mm 모형은 최 우측, 동측 방향에 위치하고, 50mm 모형은 최 좌측, 서측 방향에 설치된다. 0mm 모형은 아침에 해가 비침에 따라 17번 게이지에서 온도가 먼저 올라감을 볼 수 있고, 50mm 모형은 옆 모형에 가림으로 이러한 현상은 볼 수 없고, 반대 측면의 서측 직사광선으로 온도가  $30^{\circ}\text{C}$ 이상으로 올라감을 볼 수 있다.

각 모형의 측정된 온도가 각 측정점에서 도시되고, 회귀분석을 통하여 추세선이 구해진다. Fig. 7. ~ Fig. 9.는 2016년 0mm, 50mm, 100mm 시험체 측정 중 콘크리트 부(SC1) 강재 부(SC16)의 2개 지점을 도시한 것으로 각 지점마다 2960개의 데이터 분포를 나타낸다. Fig. 10.은 2017년 150mm 시험체 모형의 2개 지점 측정 데이터를 보인다. 여기서 콘크리트 속 측정점의 분포는 추세선을 중심으로 넓은 띠 모양을 보이고 있고, 강박스에 부착된 측정점은 좁은 띠 모양을 보여 상관 관계가 매우 높게 나타난다. 각 도표에서 0mm에서 150mm로 아스팔트 두께가 증가됨에 따라 각 콘크리트부의 추세선은 점차 완만해 짐을 볼 수 있다.

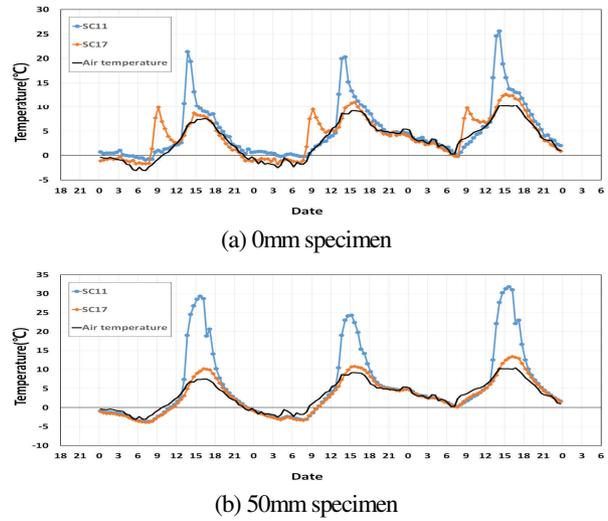


Fig. 6. Temperature variation of the left and right lower web in steel box girder (2017)

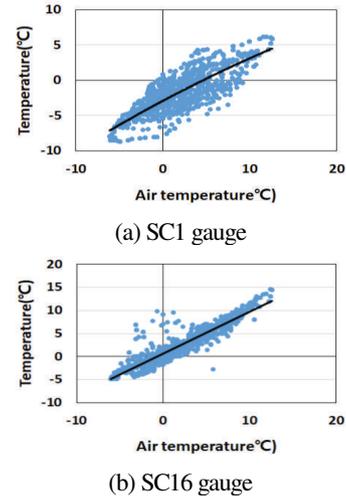


Fig. 7. Temperature distribution of 0mm specimen

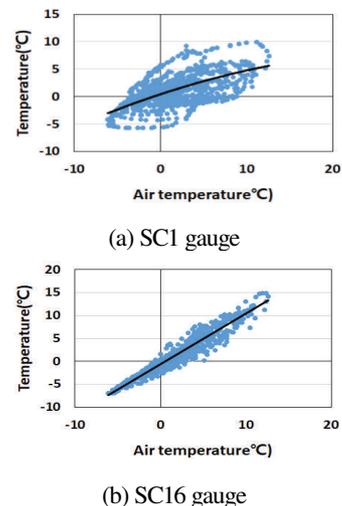


Fig. 8. Temperature distribution of 50mm specimen

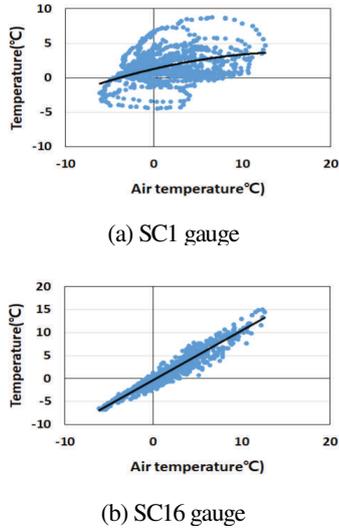


Fig. 9. Temperature distribution of 100mm specimen

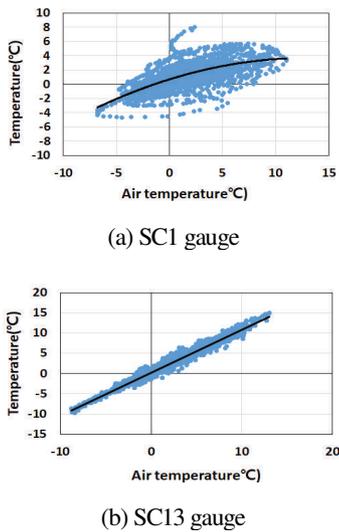


Fig. 10. Temperature distribution of 150mm specimen

### 3. 유효온도 분석

#### 3.1 관련 설계기준

Euro code에서는 교량의 최저 유효온도를 Table 1과 같이 제시한다. 바닥판의 상부 아스팔트 두께에 따른 최저 유효 온도의 조정 값은 Table 2와 같다. 연구대상인 강박스거터교는 Table 1, 2의 Group 3에 속한다. 반면 국내 도로교설계기준은 Table 3과 같이 구분된 지역별 최고 최저 유효온도 범위만 제시하고 있고, 콘크리트 바닥판의 상부 아스팔트 두께에 따른 유효온도 조정의 설계기준은 따로 마련되어 있지 않다.

Table 1. Minimum effective temperature of Euro code<sup>[1]</sup> (°C)

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

Table 2. Adjustment value of minimum effective temperature according to surface thickness (Euro code)<sup>[1]</sup>(°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

Table 3. Minimum effective temperature of Design Specification for Highway Bridges<sup>[2]</sup> (°C)

Climate	Steel bridge	Composite bridge	Concrete bridge
Normal	-10°C~50°C	-10°C~40°C	-5°C~35°C
Cold	-30°C~50°C	-20°C~50°C	-15°C~50°C

#### 3.2 유효온도 산정절차

계측된 각 지점에서 측정된 데이터를 회귀 분석하여 추세선을 도출한다. 콘크리트부는 2차 다항식으로, 강재부는 1차 선형으로 추세선을 산출하였다. 콘크리트부는 2차, 3차, 4차 다항식을 검토 하였지만, 상관관계를 고려하여 2차식으로 결정하였다. 유효온도 산정 절차의 일례는 Table 4와 같다. 이 표에서 2017년 0mm 시험 체중 콘크리트부와 강재의 6개 지점을 샘플로 보여주며, 이 지점의 추세선과 표준오차를 보인다. 각 지점의 추세선 식에 대기온도 -5°C~15°C를 대입하여, 각 대기온도별 온도를 산정하면 Table 5와 같다. 그리고 계산된 온도에 각 지점별 표준오차를 감한 값을 각 지점의 최저 유효온도로 산정하였다. 이와 같은 산정방법의 선택

이유는 Euro code가 오랜 시간 축적된 데이터를 기반으로 유효온도를 산정한 것과 달리 본 연구에서는 측정기간이 제한적이므로 데이터의 극값을 이용하여 유효온도를 구하기 위함이다. Table 6은 2017년 시험체의 각 부착게이지가 대표하는 단면의 면적이며, 각 측정에서 산정된 온도에 이 면적을 곱하고, 이 값들의 합을 총면적으로 나누어 유효온도를 산정한다.

**Table 4.** Regression line of 0mm specimen (2017)

Gauge	Regression line	R <sup>2</sup>	Standard error(°C)
SC1	y= -0.0169x <sup>2</sup> +0.7x-1.4393	0.57	2.6
SC4	y=-0.0098x <sup>2</sup> +0.8314x-1.9572	0.79	1.9
SC7	y = 0.9915x + 0.3591	0.91	1.4
SC9	y = 1.0489x - 0.7486	0.95	1.1
SC13	y = 1.0882x - 1.0003	0.96	1.0
SC16	y = 0.9525x - 0.0056	0.97	0.9

**Table 5.** Sample of effective temperature of 0mm specimen (2017)

Air temperature	SC1	SC2	SC7	SC9	SC13	SC16
-5	-5.4	-5.3	-4.6	-6.0	-6.4	-4.8
-8	-8.1	-8.1	-7.6	-9.1	-9.7	-7.6
-10	-10.1	-10.1	-9.6	-11.2	-11.9	-9.5
-13	-13.4	-13.4	-12.5	-14.4	-15.1	-12.4
-15	-15.7	-15.7	-14.5	-16.5	-17.3	-14.3

**Table 6.** Each part area of the specimen in 2017 (mm<sup>2</sup>)

Gauge	SC1~SC5				SC6	SC7	SC8
Area	160000				3000	4500	7000
Gauge	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC16
Area	5500	3000	4500	7000	5500	20000	20000

### 3.3 유효온도 산정

#### 3.3.1 0mm 유효온도 산정

2016년과 2017년의 겨울 3개월 동안 경상남도 양산 기상청 최저기온의 평균을 정리하면 Table 7과 같다. 2017년도 겨울은 최저기온 평균이 -3.27°C로 2016년도 겨울 -0.8°C보다 2.47°C가 더 추웠음을 알 수 있다. 2016년과 2017년의 0mm 시험체 최저 유효온도를 분석하면 Table 8과 3, 4열과 같다. 2년의 측정기간 동안 최저기온의 차가 2.47°C임을 감안하여 2017년도 유효온도에서 이 값을 감하여 2016년을 기준으로 유효온도를 수정하였다(Table

8의 5열). 온도가 더 낮은 값을 기준으로 해야 하나 본 연구의 목적이 상부아스팔트 두께에 따른 보정치 산정이므로 측정 모형이 3종인 2016년을 기준으로 분석하였다. 0mm 모형의 대표 값을 산정하기 위하여 2016년 측정값과 2017년 수정 온도를 평균하면 Table 8의 6열과 같으며, 이 값을 0mm 모형의 유효온도로 산정하였다.

**Table 7.** The average minimum atmospheric temperature of the weather station

Case	December	January	February	Average
2016	0.7	-2.2	-0.9	-0.8
2017	-3.1	-3.8	-2.9	-3.27

**Table 8.** Effective temperature of 0mm specimen

Air temperature	Euro code	This study 2016	This study 2017		This study Average
			Original	Correction	
-5	-7	-6.8	-7.8	-5.3	-6.1
-6	-8	-7.6	-8.8	-6.3	-7.0
-7	-9	-8.4	-9.7	-7.2	-7.8
-8	-10	-9.3	-10.7	-8.2	-8.8
-9	-11	-10.1	-11.7	-9.2	-9.7
-10	-12	-11.0	-12.7	-10.2	-10.6
-11	-13	-11.9	-13.7	-11.2	-11.6
-12	-13	-12.9	-14.8	-12.3	-12.6
-13	-14	-13.8	-15.8	-13.3	-13.6
-14	-15	-14.8	-17.0	-14.5	-14.7
-15	-16	-15.8	-18.1	-15.6	-15.7
-16	-17	-16.8	-19.2	-16.7	-16.8
-17	-18	-17.9	-20.4	-17.9	-17.9
-18	-18	-18.9	-21.6	-19.1	-19.0
-19	-19	-20.0	-22.8	-20.3	-20.2
-20	-20	-21.1	-24.0	-21.5	-21.3

#### 3.3.2 포장 두께별 유효온도 산정

아스팔트 두께 50mm, 100mm, 150mm 시험체의 유효온도를 각각 산정하여 Table 9에 정리하였으며, 양산지방의 역대 관측 최저기온은 -11.7°C(2011년), -11.1°C(2018년)를 고려하여 이를 상회하는 -15°C까지 온도에 대하여 유효온도를 분석하였다. Table 9에서 Euro code의 값은 Table 2의 아스팔트 두께에 따른 보정치를 고려한 값이다. 본 연구에서 측정한 50mm, 150mm 교량 시험체는 해당하는 Euro code의 보정치가 없으므로, Euro code 40mm, 100mm, 200mm의 값을 직선 보간법으로 계산하여 -1.7°C,

+1.5°C로 산정하였다. Table 7에서 2016년과 2017년 기상청 최저 평균온도의 편차가 있으므로 이를 고려하여, 2017년에 측정된 150mm 모형의 유효온도는 0mm 모형의 2016년, 2017년 온도차와 같다고 가정하였다. 따라서 150mm 모형 측정값은 0mm 모형의 2016년, 2017년 온도차(Table 8의 3열과 4열의 온도차)를 감하여 산정하였다(Table 9의 10열).

**Table 9.** Effective temperature of each bridge specimen

Air temperature	Box A (0mm)		Box B (50mm)		Box C (100mm)		Box D (150mm)		
	Euro code	This study	Euro code	This study	Euro code	This study	Euro code	This study	
								Original	Correction
-5	-7	-6.1	-5.7	-4.9	-4	-3.8	-2.5	-2.9	-1.9
-6	-8	-7.0	-6.7	-5.6	-5	-4.4	-3.5	-3.7	-2.5
-7	-9	-7.8	-7.7	-6.3	-6	-4.9	-4.5	-4.5	-3.2
-8	-10	-8.8	-8.7	-7.0	-7	-5.5	-5.5	-5.3	-3.9
-9	-11	-9.7	-9.7	-7.8	-8	-6.2	-6.5	-6.2	-4.6
-10	-12	-10.6	-10.7	-8.6	-9	-6.8	-7.5	-7.1	-5.4
-11	-13	-11.6	-11.7	-9.4	-10	-7.6	-8.5	-8.0	-6.2
-12	-13	-12.6	-11.7	-10.2	-10	-8.4	-8.5	-9.0	-7.1
-13	-14	-13.6	-12.7	-11.1	-11	-9.2	-9.5	-10.0	-8.0
-14	-15	-14.7	-13.7	-11.9	-12	-10.1	-10.5	-11.1	-8.9
-15	-16	-15.7	-14.7	-12.8	-13	-11.0	-11.5	-12.2	-9.9

## 4. 유효온도 분석

### 4.1 유효온도 산정 결과 및 비교

최저 대기온도 -15°C에서 산정된 유효온도는 0mm에서 -15.7°C, 50mm에서 -12.8°C, 100mm에서 -11.0°C, 150mm에서 -9.9°C가 제시되었다. 아스팔트가 포장된 교량에서 최저 유효온도는 아스팔트 50mm에서 -12.8°C이며, 이는 도로교설계기준의 보 통기후 최저 온도범위 -10°C보다 2.8°C가 더 낮은 온도로 평가된다.

Table 9에서 아스팔트가 없는 0mm 시험체는 대기온도 -15°C에서 Euro code보다 0.3°C 높게 산정되었다. 아스팔트 50mm, 100mm, 150mm 시험체는 각각 대기온도 -15°C에서 Euro code보다 1.9°C, 2.0°C, 1.6°C 높게 산정된다. 전체 모형의 모든 대기온도에서 측정 시험체의 유효온도가 Euro code보다 높게 산정된다. 최하위 온도(-15°C)와 전체 평균온도에 대한 Euro code와의 온도차를 정리하면 Table 10과 같다. 측정 시험체에서 유효온도가 Euro

code보다 더 높게 측정되며, 그 온도차는 최저 온도인 -15°C에서는 0.3 ~ 2.0°C, 전체평균에서는 0.9 ~ 1.6°C 온도차를 보인다.

**Table 10.** Temperature difference between measured value and Euro code

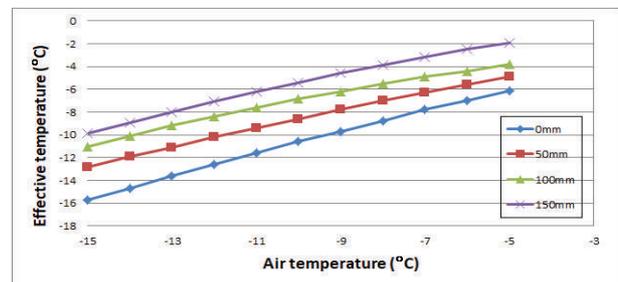
Air temperature	0mm	50mm	100mm	150mm
-15°C	0.3	1.9	2.0	1.6
Average (-5°C~-15°C)	0.9	1.6	1.6	1.5

### 4.2 포장 두께에 따른 유효온도 조정치

Table 9의 4개 시험체 모형의 유효온도를 그래프화하면 Fig. 11과 같다. 전체적으로 4개 모형은 0mm, 50mm, 100mm, 150mm 순으로 유효온도가 낮게 분석되었다. 상판의 아스팔트가 두께가 깊을수록 유효온도가 낮아짐을 보인다. 이는 아스팔트가 일종의 보온효과를 발휘하는 것으로 판단된다. 100mm를 기준으로 보면 최저온도 -15°C와 측정온도 전 구간 평균기온에서 아스팔트 두께에 따른 온도차를 정리하면 Table 11과 같다. 각 두께에서 측정된 유효 온도차는 Euro code 제시 온도차와 근접한 값을 보인다. Table 11의 최저온도 -15°C와 측정온도 전 구간 평균 중 가장 차이가 많은 온도를 Table 12와 같이 최종 적용 값으로 선정하고자 한다. 선정된 조정치의 값은 Euro code 값과 비교하여 0mm는 약간 차이가 있으나, 50mm와 150mm에서는 매우 근접함을 보인다.

**Table 11.** Adjustment value of effective temperature according to surface thickness in each specimen(°C)

Case	Air temperature	0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code	-15°C	-3.0	-1.7	0	1.5
	Average (-5°C~-15°C)	-3.7	-1.6	0	1.5



**Fig. 11.** Comparison of effective temperature of 4 specimens

**Table 12.** Adjustment value of effective temperature presented in this study

Case	0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code	-3.0	-1.7	0	1.5
This study	-4.7	-1.8	0	1.5

### 4.3 국내 설계기준 적용

국내에 적용되는 강상형교의 아스팔트 두께는 50mm에서 100mm가 많이 적용된다. Table 12의 조정치를 적용하면 아스팔트가 포장된 50mm 교량에서  $-1.8^{\circ}\text{C}$ 의 유효온도 감소가 최저 조정치가 된다. 아스팔트 두께 50mm일 때, Table 9에서 최저 유효온도가  $-12.8^{\circ}\text{C}$ 가 되므로 조정치( $-1.8^{\circ}\text{C}$ )를 고려하면  $-14.6^{\circ}\text{C}$ 가 최종 유효온도가 된다. 이는 도로교설계기준의 보통기후에서 온도범위  $-10^{\circ}\text{C}$ 를  $-4.6^{\circ}\text{C}$ 초과하게 된다. 본 측정 및 분석은 2016년을 기준으로 수행한 결과이고, 2017년을 기준으로 하면 Table 7과 같이 2.47의 온도가 더 내려감으로  $-14.6^{\circ}\text{C}$ 에서 이온도를 감안한 최저 온도 범위가 계산되어야 한다. 양산지방을 보통기후로 보고 본 연구에서 측정된 결과를 적용하면, 현 설계기준의 최저기온 범위는  $-15^{\circ}\text{C}$ 이하로 조정되어야 할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

강박스거더교에 대한 겨울철 아스팔트 두께에 따른 유효온도 조정값과 최저 유효온도를 제시하기 위하여 4종의 강박스거더교 시험체를 제작하고 2년 동안 온도 데이터를 측정하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 아스팔트 두께에 따른 최저 유효온도의 조정값은 100mm를 기준으로 했을 때, 0mm, 50mm, 100mm, 150mm 대하여 각각  $-4.7^{\circ}\text{C}$ ,  $-1.8^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $1.5^{\circ}\text{C}$ 로 도출되었다.

(2) 측정 시험체에서 유효온도는 Euro code보다 더 높게 측정되며, 그 온도차는 최저 온도인  $-15^{\circ}\text{C}$ 에서는  $0.3\sim 2.0^{\circ}\text{C}$ , 전체 측정 온도 구간에서는  $0.9\sim 1.6^{\circ}\text{C}$ 온도차를 보였다.

(3) 아스팔트 두께 50mm 일 때 최저 유효온도가  $-12.8^{\circ}\text{C}$ 로 산정 되고, 조정값은  $-1.8^{\circ}\text{C}$ 로 계산되었다. 양산지방을 보통기후로 본다면, 도로교설계기준의 최저 온도범위  $-10^{\circ}\text{C}$ 를  $-4.6^{\circ}\text{C}$ 초과하는 온도가 제시되며, 측정온도가 더 낮은 2017년을 기준으로 하면 현 설계기준의 최저 기온 범위는  $-15^{\circ}\text{C}$ 이하로 조정되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단(NRF-2015-R1D1A1A010606 16)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌(References)

- [1] British Standards Institution (1978) *Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 2: Specification for Loads* (BS 5400-2: 1978), UK, pp.20-23.
- [2] 국토해양부(2012) 도로교설계기준(한계상태설계법). Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012) *Highway Bridge Design Standard (Limit State Design)*, Korea (in Korean).
- [3] American Association of State Highway and Transportation Officials (2007) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (4th Ed.), USA, pp.3-99-3-104.
- [4] 신동욱, 김경남, 최철호, 이성행(2013) 강상지형교의 강바닥판에서 설계온도 하중을 위한 유효온도 산정, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 한국구조물진단유지관리공학회, 제17권, 제6호, pp.77-87.  
Shin, D.-W., Kim, K.-N., Choi, C.-H., and Lee, S.-H. (2013) Evaluation of Effective Temperature for Estimate Design Thermal Loads in Steel Deck of Steel Box Girder Bridges, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol.17, No.6, pp.77-87 (in Korean).
- [5] 이성행, 신효경, 김경남, 정경섭(2016) 강박스거더교의 설계 유효온도 산정을 위한 실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제28권, 제6호, pp.449-458.  
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).
- [6] 김찬희, 정유석, 민근형, 이재하, 김우석(2015) 국내 교량설계를 위한 온도하중 제안, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, 한국콘크리트학회, 제27권, 제2호, pp.159-160.  
Kim, C.H., Jeong, Y.S., Min, G.H., Lee, J.H., and Kim, W.S. (2015) Proposal of Temperature Load for Bridge Design in Korea, *Proceedings of Annual Autumn Conference of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol.27, No.2, pp.159-160 (in Korean).
- [7] 이성행(2018) 인공신경망을 이용한 강박스거더의 유효온도 산정, 한국산학기술학회논문집, 한국산학기술학회, 제19권, 제3호, pp.96-103.

- Lee, S.H. (2018) Calculation of Maximum Effective Temperature of Steel Box Girder Bridge Using Artificial Neural Network, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, KAIS, Vol.19, No.3, pp.96-103 (in Korean).
- [8] 이성행, 정진환, 김경남, 함형길, 정경섭(2011) 계측에 의한 강 거더교의 온도분포 특성, *한국강구조학회논문집, 한국강구조학회*, 제23권, 제3호, pp.283-294.
- Lee, S.H., Cheung, J.H., Kim, K.N., Hahm, H.G., and Jung, K.S. (2011) Characteristics on the Temperature Distribution in Steel Girder Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.23, No.3, pp.283-294 (in Korean).
- [9] 이성행, 신효경, 김경남(2018) 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 강박스거더교의 최고 설계 유효 온도 산정. *한국강구조학회논문집, 한국강구조학회*, 제30권, 제5호, pp.299-307.
- 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).
- [10] 윤성기, 이치형, 구본훈(2015) 재하된 H형강 휨재의 열응력 해석을 이용한 한계온도 산정. *한국강구조학회논문집, 한국강구조학회*, 제27권, 제4호, pp.387-397.
- Yoon, S.K., Lee, C.H., and Koo, B.H. (2015) Calculation of Limit Temperature on H-Beam Flexural Member Through the Thermal Stress Analysis Under the Lateral Load, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 27, No.4, pp.387-397 (in Korean).
- [11] 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.

---

**요약**: 본 연구에서는 강박스거더교의 최저 온도설계기준과 상부 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 최저 설계기준의 조정 값을 연구하기 위하여, 4종의 강박스거더교 모형시험체를 제작하고 온도를 측정하였다. 측정 모형은 상부 콘크리트 아스팔트 두께 0mm, 50mm, 100mm, 150mm의 4개 시험체이며, 각 시험체에는 17~25개의 온도 게이지를 부착하였다. 2년의 겨울기간 온도측정을 수행하고 측정데이터를 바탕으로 최저 유효온도를 산정하였다. 분석결과 아스팔트 두께에 따른 최저 유효온도의 조정값은 100mm를 기준으로 했을 때, 0mm, 50mm, 100mm, 150mm 대하여 각각 -4.7°C, -1.8°C, 0°C, 1.5°C로 도출되었다. 측정 시험체에서 유효온도가 Euro code보다 더 높게 측정되며, 그 온도차는 최저 온도인 -15°C에서는 0.3~2.0°C, 전체 온도구간에서는 0.9~1.6°C를 보였다. 아스팔트 두께 50mm 일 때 산정된 최저 유효온도로 판단할 때 현 도로교설계기준의 최저 온도 범위는 -15°C이하로 조정되어야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어**: 최저 유효온도, 유효온도 조정값, 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께, 교량시험체 모형, 강박스거더교, 온도측정

---