

콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 강박스거더교의 최고 설계 유효 온도 산정

이성행^{1*} · 신호경² · 김경남³

¹교수, 부산대학교, 건설융합학부 토목공학전공, ²사원, 한국토지주택공사, 세종특별본부, ³선임연구원, 충북대학교, 건설기술연구소

Estimation of the Maximum Design Effective Temperature for Steel Box Girder Bridges Considering Asphalt Thickness of Concrete Deck

Lee, Seong-Haeng^{1*}, Shin, Hyo-Kyoung², Kim, Kyoung-Nam³

¹Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University, Busan, 46241, Korea

²Assistant. manager, Sejong special project division, Korea Land & Housing Corporation, Sejong, 30121, Korea

³Senior researcher, Dept. of Institute Of Construction Technology, Chungbuk National University, Cheongju, 28644, Korea

Abstract - The purpose of this study was to measure the temperature change according to the asphalt thickness of the steel box girder bridge deck and to prepare the design criteria accordingly. For this purpose, four steel box girder model specimens with asphalt thickness of 0mm, 50mm, 100mm, and 150mm were produced. In each model, 17 to 23 temperature sensors were attached to upper concrete and steel box girders. The temperature was measured for two years and the effective temperature was calculated based on the measured data. The analysis showed that the effective temperature was between 4.3 and 7.1 percent higher than the Euro code at the highest temperature of 38°C. Temperature adjustment of the highest effective temperature according to asphalt thickness is given +2.6°C at 50mm and +0.8°C at 100mm. This value shows a slightly higher value from 0.8°C to 1°C compared to Euro code. The adjustment values for the effective temperature given in this study are considered to be a very useful basis for determining the design temperature load.

Keywords - maximum effective temperature, asphalt thickness of concrete deck, bridge specimen, steel box girder bridge, temperature measurement.

1. 서론

최근 발생되는 이상 기후로 인하여, 교량 단면내의 설계시 고려되지 못한 응력 발생은 중요 사회간접자본인 교량 및 구조물의 여유분(Redundancy)을 감소시켜 잠재적으로 간접적인 사회적 비용을 증가시킬 수 있는 요인이 된다. 최근 폭염으로 인한 온도 상승의 영향을 의심하게 하는 사고가 부산울산고속도로, 서울의 광 순환고속도로에서 발생된 적이 있다.

온도에 대한 설계하중은 AASHTO^[1]와 EURO(BS) Code^[2]에서는 지역별 설계온도, 교량 형식별 상하 온도차 및 분포, 상부 콘크리트의 표면두께 등의 상세한 규정이 마련되어 있으나, 국내에는 일률적인 값으로 규정하고 있다. 최근 교량의 설계에 있어서 풍하중과 지진하중 등에 대하여는 지속적인 관심과 연구로 인하여 많은 실적이 있으며, 이를 바탕으로 기존의 국내 설계기준에도 상세적인 설계방법과 하중산정에 대한 내용이 추가 되었다. 2016년 한계상태설계법^[3]으로 전면 개정되었음에도 불구하고 온도하중에 관한 설계기준은 이전의 설계기준을 그대로 따르고 있다. 국내 도로교 설계기준(한계상태 설계법)의 합성교 최고 온도하중의 범위는 보통과 한량지역 모두 40°C로 규정되어 있다. 이러한 온도하중의 영향을 검토하기 위하여 국내에서 여러 실험 및 이론적 연구가 진행중이다^{[4],[5],[6],[7],[8],[9]}. 온도 하중의 범위를 EURO Code^[2]에서는 유효온도 개념을 사용한다. 유효온도는 교량전체의 평균온도를 나타내는 개념으로, 최고 유효온도, 최저 유효온도로 구분된다. Euro code의 온도하중에 대한 설계기준

Note.-Discussion open until April 30, 2019. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 27, 2018; revised September 27, 2018; approved on September 27, 2018.

Copyright © 2018 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

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

E-mail. lsh77@pusan.ac.kr

은 교량의 형식에 따라 구분하고 있으며, 아스팔트 두께에 따라서도 세부 설계기준이 마련되어있다. 교량 바닥판 콘크리트의 아스팔트 표면두께에 따라 설계온도의 차이가 발생 한다. 이에 따라 바닥판 아스팔트 두께에 따른 온도하중의 영향을 파악하는 것이 요망되어진다.

본 연구를 위해 우리나라 교량 형식 중 가장 많이 사용되는 강박스거터교 모형을 제작하여 2년간 온도를 측정하였다. 측정 1차년도(2016년)에는 3개의 시험체를 제작하고 바닥판위의 아스팔트 포장두께를 각각 0mm, 50mm, 100mm로 설정하였다. 측정 2차년도(2017년)에는 2개소의 시험체를 제작하고 아스팔트 포장두께를 각각 0mm, 150mm로 설정하였다. 유효온도는 여름철 최고 유효온도와 겨울의 최저 유효온도로 구분되나 본 연구에서는 여름철 최고 유효온도를 연구 분석하고, 설계기준을 위한 기초자료를 마련하고자 한다.

2. 시험체 모형제작 및 측정

2.1 시험체 모형 제작

시험체는 아스팔트 포장두께 0mm(Box A), 50mm(Box B), 100mm(Box C), 150mm(Box D)로 제작하고 경상남도 양산시 물금읍 부산대학교 양산캠퍼스 내에 설치하여 측정하였다. 기준이 되는 피복 0mm 시험체는 2016년~2017년 2년간 온도를 측정하였고, 피복 50mm, 100mm 시험체는 2016년 1년간 측정하였다. 교량 모형의 제작의 비용적인 제약과 시험을 위한 공간적인 이유로 한 해에 3개까지의 모형이 제작, 시험되었으며, 피복 150mm 시험체는 피복 0mm 시험체와 같이 2017년 1년간 추가로 측정하였다. Fig. 1.~Fig. 4.은 피복 두께별 시험체 모형을 보이며, Fig. 5.는 방위각을 표시한 교량 모형의 평면도이다. 시험체는 지열의 영향을 최소화하고, 공기 유통을 위하여 지면에서 1m 이격하여 설치하였다. 강박스거터의 치수(폭×높이×길이)는 2m × 2m × 3m이고, 상부 콘크리트 슬래브의 치수(폭×길이×두께)는 4m × 3.6m × 0.2m이다.



Fig. 1. 0mm bridge specimen (Box A, 2016, 2017)



Fig. 2. 50mm bridge specimen (Box B, 2016)



Fig. 3. 100mm bridge specimen (Box C, 2016)



Fig. 4. 150mm bridge specimen (Box D, 2017)

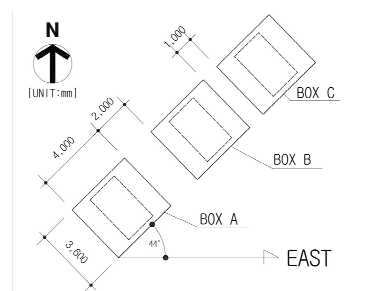


Fig. 5. Plan of the bridge models with azimuth angle

2.2 측정 장비 및 측정 위치

온도 게이지는 2016년 시험체에는 0mm에 23개, 50mm와 100mm 시험체에 각각 24개씩 부착하였다. 2017년 시험체에는 0mm, 150mm 시험체에 각각 17개의 온도게이지를 부착하고

측정하였다. 측정기간은 매년 6월 30부터 9월 2일 까지이다. Fig. 6과 Fig. 7.은 2016년과 2017년에 설치된 온도게이지 설치 위치를 나타낸다.

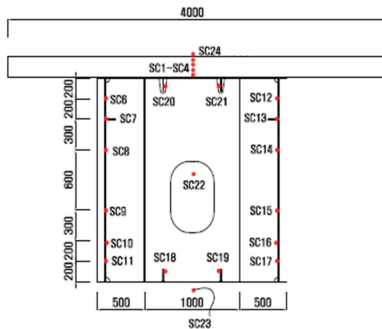


Fig. 6. Gauge location and numbers (2016)

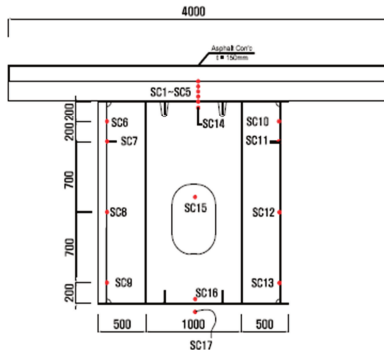


Fig. 7. Gauge location and numbers (2017)

콘크리트 슬래브에 높이별로 4~5개의 온도 게이지를 부착하였고, 강박스의 상하부 플랜지와 좌우 웹에 온도계를 부착하였다. 각 교량의 설치된 측정 지점에서 데이터로거의 Time interval 기능을 사용하여 30분 간격으로 온도를 연속으로 측정하여 하루에 48개의 데이터가 수집되었다. 측정 기간동안 5개 시험체는 각 3061개의 데이터가 측정되었다.

3. 측정 온도 데이터

3.1 기상청 대기온도를 이용한 온도데이터 검증

2년간 측정된 온도데이터를 바탕으로 측정 데이터를 검증하였다. 2016년 대기온도를 측정했던 SC23번 온도 게이지의 데이터와 2017년 대기온도를 측정했던 SC17번 온도 게이지의 데이터 자료를 양산 기상청 대기온도 자료와 비교하였다. Table 1은 측정기간 동안의 기상청 평균 대기온도와 측정된 평균 대기온도를 나타낸 것이다. 기상청 대기온도와 측정 대기온도의 오차율은

2016년에 약 0.70%, 2017년에 약 0.43%로 상당히 유사하다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of measured temperature and weather station temperature

Case	Weather station (°C)	Measured (°C)	Error rate (%)
2016	26.9	27.1	0.70
2017	27.4	27.6	0.43

3.2 온도 측정 데이터

각 지점에는 여름기간 동안 매 30분 마다 온도를 측정하여 3061개의 데이터가 측정된다. Fig. 8.은 2016년 50mm 모형에서 강박스거더 좌우 복부 하단부 측정의 온도 변화를 기온과 함께 나타낸다. 8월 최고기온을 보이는 2일간 측정되었으며, 태양의 이동으로 박스 좌우부의 온도변화가 뚜렷이 보인다. Fig. 9.는 2016년 0mm 시험체 24개 측정 중 대표적인 4개 지점을 도시한 것으로 각 지점마다 3061개의 데이터가 찍혀있다. Fig. 10.~Fig. 12.는 50mm, 100mm, 150mm에서 콘크리트부(SC2) 강재부(SC8, 9)에서 측정 데이터의 분포를 나타낸다. 각 표에서 그래프의 가로축은 측정 기간 동안의 대기온도를 나타낸 것이고 세로축은 각 지점의 온도측정값을 나타낸다. 여기서 SC2, SC3은 시험체 최상부에서 50mm, 100mm 내려온 위치이고 콘크리트 슬래브 속 온도측정계이다. SC9, SC10은 시험체 최상부에서 각각 1300mm, 1600mm 위치에 있고 강박스 좌측 플랜지에 부착된 온도계이다. Fig. 9.~Fig. 12서 콘크리트 속 온도계는 추세선을 중심으로 넓은 띠 모양을 보이고 있고 강박스 속 온도계는 추세선을 중심으로 좁은 띠 모양을 보이는 것을 알 수 있다. 100mm, 150mm에서는 상부 아스팔트의 영향으로 온도 경사가 점차 완만해 짐을 볼 수 있다.

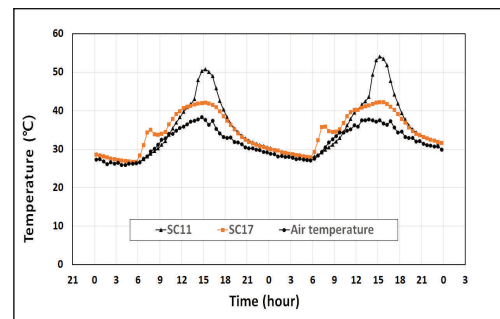


Fig. 8. Temperature variation of the left and right lower web in steel box girder (2016)

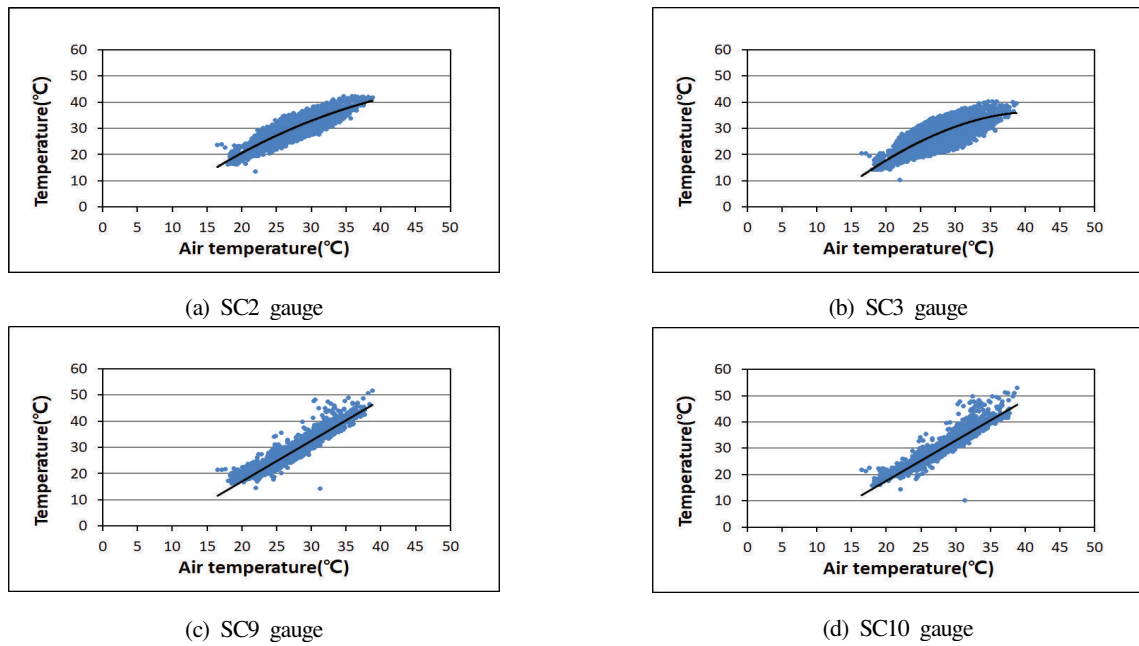


Fig. 9. Temperature distribution of 0mm specimen

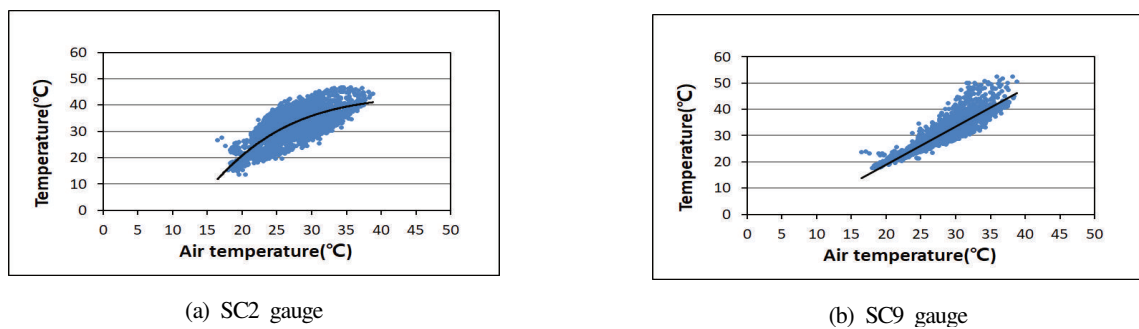


Fig. 10. Temperature distribution of 50mm specimen

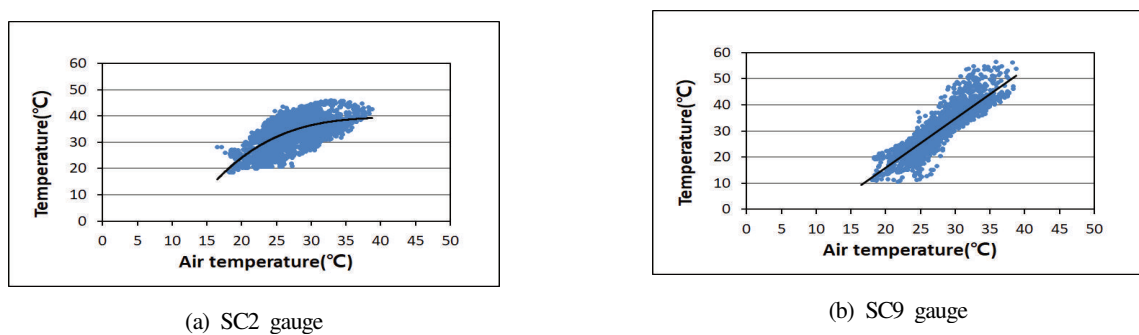
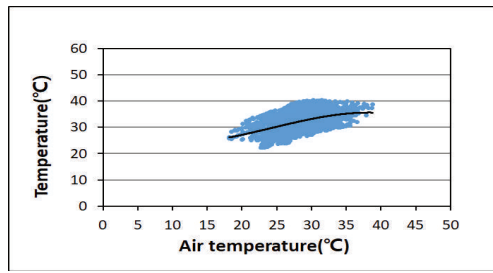
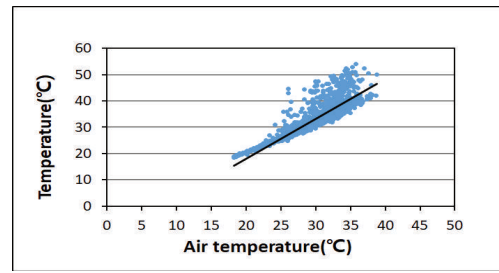


Fig. 11. Temperature distribution of 100mm specimen



(a) SC2 gauge



(b) SC8 gauge

Fig. 12. Temperature distribution of 150mm specimen

4. 유효온도 분석

4.1 관련 설계기준

Euro code에서는 교량의 최고 유효온도를 Table 2와 같이 제시하고 있으며, 바닥판의 상부 표면두께에 따른 유효 온도의 조정값을 Table 3과 같다. 연구대상인 강박스거더교는 이 표들의 Group 3에 속한다. 반면 국내 도로교설계기준은 구분된 지역별 유효온도 범위만 제시하고 있고, 피복두께에 따른 유효온도 조정의 설계기준은 따로 마련되어 있지 않다.

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

Air temperature	Upper structure type		
	Group 1,2	Group 3	Group 4
38	47	40	37
37	46	40	36
36	46	39	36
35	46	39	35
34	45	38	34
33	45	37	33
32	44	37	33
31	44	36	32
30	44	36	32
29	43	35	31
28	42	34	30
27	42	34	29
26	41	33	29

Table 3. Adjustment value of effective temperature according to surface thickness (Euro code)^[2] (°C)

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

4.2 유효온도 산정방법

계측된 각 지점에서 3061개의 데이터를 회귀분석하여 추세선을 도출하였다. 분석의 신뢰도를 올리기 위하여 상관계수(R^2) 값이 높도록, 콘크리트부는 3차 다항식으로, 강재부는 1차 선형 추세선을 도출하였다. 2016년 0mm 시험체중 콘크리트부와 강재의 7개지점을 선정하여 각 지점의 추세선을 정리하면 Table 4와 같다. 또한 각 지점의 표준오차를 Table 4의 4번째 열에 표시하였다. 각 지점의 추세선 식의 x값에 대기온도 38°C~34°C에 넣어 각 대기온도별 평균온도를 산정하면 Table 5와 같다. 그리고 계산된 평균온도에 각 지점별 표준오차를 더해준 값으로 각 지점의 최고 유효온도를 산정한다. 이와 같은 최고유효온도 산정방법의 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.

Table 4. Regression line of 0mm specimen in 2016

Gauge	Regression line	R ²	Standard error(°C)
SC1	$y=-0.0009x^3+0.0727x^2-0.6586x-13.097$	0.85	2.0
SC2	$y=-0.0001x^3-0.0282x^2+2.4376x-17.696$	0.76	2.4
SC3	$y=-0.0003x^3-0.0111x^2+2.3911x-23.246$	0.65	3.2
SC4	$y=0.0012x^3-0.141x^2+5.836x-49.661$	0.58	3.1
SC6	$y=1.2548x-5.0361$	0.93	1.3
SC9	$y=1.5512x-13.938$	0.90	2.0
SC10	$y=1.5398x-13.206$	0.90	1.9

Table 5. Sample of effective temperature of 0mm specimen in 2016

Air temperature	SC1	SC2	SC3	SC4	...	SC9	SC10
38	43.7	39.7	35.1	34.3		45.0	45.3
37	42.7	39.0	34.8	34.0		43.4	43.8
36	41.6	38.2	34.5	33.7		41.9	42.2
35	40.5	37.4	34.0	33.3		40.3	40.7
34	39.4	36.5	33.4	32.9		38.8	39.1

최종 유효온도 산정은 티센가중법(Thiessen method)를 사용하여 도출된다. 이는 면적에 가중치를 두어 값을 산정하는 방법으로 산술평균법 보다 정확하고 적용방법에 객관성이 있다. Table 6은 2016년 시험체의 각 지점별 면적이며, 티센가중법으로 각 지점의 온도에 이 면적을 곱하고, 전체 지점값의 합을 총면적으로 나누어 유효온도를 산정하였다.

Table 6. Each part area of the specimen in 2016 (mm²)

Gauge	SC1	SC2	SC3	SC4	SC6	SC7	SC8
Area	200000	200000	200000	200000	3000	2500	4500
Gauge	SC9	SC10	SC11	SC12	SC13	SC14	SC15
Area	4500	2500	3000	3000	2500	4500	4500
Gauge	SC16	SC17	SC18	SC19	SC20	SC21	
Area	2500	3000	10000	10000	10000	10000	

4.3 유효온도 산정

4.3.1 0mm 유효온도 산정과 비교(2016, 2017년)

4.2절의 유효온도 분석 방법에 따라서 2016년과 2017년의 0mm 시험체 유효온도를 분석하면 Table 7과 같다. 2016년과 2017년의 유효온도 결과는 0.9%의 편차로 유사하게 산정되었으

며, 36℃ 이상에서 2017년도의 유효온도가 약간 높게 분석되었다. Table 8은 2016년과 2017년의 7월, 8월 양산 기상청 평균 최고대기온도를 보인다. 2년간 여름기온의 온도 편차는 크지 않고 유사하다는 것을 알 수 있다. 기상청 온도도 2017년이 근소하게 높은 기온을 보인다. 이에 0mm 유효온도는 2016년, 2017년에 측정된 값을 평균하여 유효온도를 산정하고, 아스팔트 두께에 따른 비교를 수행하였다.

Table 7. Effective temperature of 0mm specimen in 2016, 2017

Air temperature	Euro code	2016	2017	Average
38	40	41.6	41.8	41.7
37	40	40.6	40.9	40.8
36	39	39.9	40.0	40.0
35	39	39.1	39.1	39.1
34	38	38.3	38.1	38.2
33	37	37.5	37.1	37.3
32	37	36.6	36.1	36.4
31	36	35.7	35.1	35.4
30	36	34.7	34.0	34.4
29	35	33.7	33.0	33.4
28	34	32.7	31.9	32.3
27	34	31.6	30.9	31.3
26	33	30.4	29.9	30.2

Table 8. The average maximum atmospheric temperature of the weather station

Case	July	August	Average
2016	30.9	33.5	32.2
2017	32.4	32.9	32.7

4.3.2 아스팔트 두께별 유효온도 산정

4.2절의 유효온도 분석 방법에 따라 피복 50mm, 100mm, 150mm 시험체의 유효온도를 각각 산정하고 비교적 고온으로 실제 사용성이 있는 31℃ 이상의 온도를 Table 9에 정리하였다. Table 9에서 Euro code의 값은 Table 3의 피복조건에 따른 보정치를 고려한 값이다. 본 논문에서 측정된 50mm, 150mm 교량시험체에 해당하는 Euro code의 보정치는 40mm, 100mm, 200mm의 값을 직선 보간법으로 계산하여 1.7℃, -2℃로 산정하였다. Table 8에서 2016년, 2017년 기상청 최고 평균온도와 0mm 피복의 2016년, 2017년 유효온도가 거의 유사한 것으로 판단되었다. 이를 바탕으로 2016년도에 측정된 50mm, 100mm와 2017년도에 측정된 150mm 피복 시험체에 대하여 같은 조건으로 유효온도를 비교하였다. 피복 0mm의 유효온도는 Table 7의 평균값을 사용하였다.

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
38	40	41.7	41.7	44.1	40	42.2	38	40.7
37	40	40.8	41.7	43.6	40	41.9	38	40.3
36	39	40.0	40.7	43.0	39	41.5	37	39.8
35	39	39.1	40.7	42.3	39	41.1	37	39.3
34	38	38.2	39.7	41.7	38	40.7	36	38.7
33	37	37.3	38.7	40.9	37	40.3	35	38.2
32	37	36.4	38.7	40.1	37	39.7	35	37.6
31	36	35.4	37.7	39.3	36	39.2	34	36.9

4.4 유효온도 분석

4.4.1 유효온도 산정 결과 및 비교

최고 대기온도 38℃에서 측정된 유효온도는 0mm에서 41.7℃, 50mm에서 44.1℃, 100mm에서 42.2℃, 150mm에서 40.7℃가 제시되었다. 최고 유효온도는 50mm에서 44.1℃로 분석되며, 이는 도로교설계기준의 최고 온도범위 40℃보다 4.1℃가 높은 온도이다. Table 9에서 피복 0mm 시험체는 대기온도 38℃에서 Euro code보다 1.7℃ 높게 산정되었다. 피복 50mm, 100mm, 150mm 시험체는 각각 대기온도 38℃에서 Euro code보다 2.4℃, 2.2℃, 2.7℃ 높게 산정된다. 피복 0mm 시험체의 유효온도는 대기온도 33℃ 이상의 온도에서 Euro code보다 높게 산정되었으며, 산정된 유효온도와 Euro code 사이에 약 1.7%의 오차율을 보인다. 피복 50mm 시험체 이상에서는 측정 시험체의 유효온도가 Euro code보다 높게 산정된다. 오차율은 피복 50mm, 100mm, 150mm 시험체에서 각각 약 4.8%, 6.8%, 7.4%의 오차율을 보인다. 최상위 온도와 전체 온도에 대한 Euro code와의 온도차 및 오차율을 정리하면 Table 10과 같다. 측정 시험체에서 유효온도가 Euro code보다 더 크게 측정되며, 그 오차는 최상위 온도인 38에서는 4.3~7.1%, 전체 온도에서는 1.7~7.4%의 범위를 보인다. 이는 교량 모형이 실제교량에 비하여 규모가 작고 일부만 제작되어 온도가 Euro code보다 높게 올라간 것으로 판단된다.

Table 10. Error rate and temperature difference of actual measurements and Euro codes

Air temperature	Error rate	0mm	50mm	100mm	150mm
38℃	Temperature difference (℃)	+1.7	+2.4	+2.2	+2.7
	%	4.3	5.8	5.5	7.1
31~38℃	%	1.7	4.8	6.8	7.4

4.4.2 아스팔트 두께에 따른 유효온도 비교 및 조정치

Table 9의 31℃이상의 유효온도를 그래프화하면 Fig. 13.과 같다. 전체적으로 4개 시험체중 50mm가 가장 높고, 100mm, 150mm 순으로 높게 분석되며, 0mm는 38℃에서 유효온도가 비교적 높은 값을 보이거나 점차 다른 시험체 보다 선형적으로 낮게 측정됨을 보인다. 0mm는 최고기온인 38℃에서 온도가 떨어짐에 따라 아스팔트가 없어 타 시험체에 비하여 온도 분산이 쉬워져 온도가 낮아진 것으로 판단된다. 100mm, 150mm 곡선의 유효온도 선도는 0mm와 50mm보다 비교적 완만한 경사를 보인다. Table 11에 대기온도 38℃, 37℃, 31℃에서 피복 두께에 따른 최고 유효온도의 조정치 값을 0mm 시험체를 기준으로 정리하였다. Euro code에서는 대기온도와 관계없이 일정하게 온도 보정치를 제시하였으나, 본 측정 결과에서는 0mm모형 측정 기울기가 다른 모형의 기울기보다 크게 저하되어 38℃ 최고기온에서 대기온도가 떨어짐에 따라 아스팔트 두께에 따른 조정값이 점차 크게 측정됨을 확인 할 수 있었다. 하지만 38℃, 37℃에서 유효온도에 보정치를 고려했을 때 온도가 36℃이하의 값보다 높으므로 38℃, 37℃에서 조정치를 Table 12와 같이 조정범위로 나타내고, 그 평균값을 최종 적용 값으로 제시한다. 제시된 값은 Euro code 값보다 0.8℃~1℃의 약간 높은 온도 조정값이 제시되나 편차는 신뢰성을 확보하는 수준이라고 판단된다.

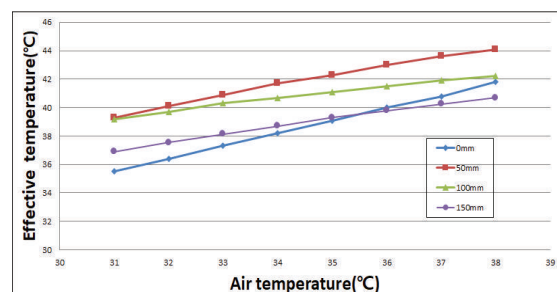
**Fig. 13.** Comparison of effective temperature of 4 specimens according to thickness

Table 11. Adjustment value of effective temperature according to surface thickness in each specimen

Case	Air temperature	0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code		0	+1.7	0	-2.0
		(40)	4.3%	0%	-5.0%
This study	38	0	+2.4	+0.5	-1.0
		(41.7)	5.8%	1.2%	-2.4%
	37	0	+2.8	+1.1	-0.5
		(40.8)	6.9%	2.7%	-1.2%
	31	0	+3.9	+3.8	+1.5
		(35.4)	11.0%	10.7%	4.2%

Table 12. Adjustment value of effective temperature presented in this analysis

Case		0mm	50mm	100mm	150mm
Euro code		0	+1.7	0	-2
This study	Adjustment range	0	+2.4 ~ 2.8	+0.5 ~ 1.1	-1.0
	Average	0	+2.6	+0.8	-1.0

4.4.3 국내 강박스거터교에 적용

국내에 적용되는 강박스거터교의 아스팔트 두께는 50mm에서 100mm가 많이 적용된다. 또한 추후 반복적인 노면 보수에 따른 오버레이로 인해 150mm 이상의 두께도 가능하다고 판단된다. Table 12의 조정치를 적용하면 50mm에서는 +2.6℃의 유효온도 증가를, 100mm에서는 +0.8℃의 유효온도 증가가 요망된다. 150mm에 가까울 때는 유효온도가 감소하므로 고려할 필요가 없는 것으로 판단된다. 아스팔트 두께 50mm일 경우, 본 검토에서의 최고 유효온도가 Table 9에서 44.1℃가 되므로 도로교 설계기준에 따른 온도범위 40℃를 초과하는 온도가 제시된다. 본 연구에서는 Euro code와 같은 대기온도 38℃에서 유효온도를 산정했지만 최근 이상기온에서 기록한 최고 대기온도인 40℃ 이상을 고려하면, 유효온도는 그 범위는 더 크게 벗어날 수 있을 것으로 예측된다.

5. 결 론

강박스거터교에 대한 유효온도와 아스팔트 두께에 따른 유효온도 조정치를 제시하기 위하여 4종의 강박스 거터교 교량 시험체를 제작 하고 2년동안 온도 데이터를 측정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 피복 두께에 따른 최고 유효온도의 온도 조정치는 0℃를 기준으로 하여 50mm, 100mm, 150mm에서 각각 +2.6℃, +0.8℃, -1.0℃로 도출되었다. 전체적으로 Euro code와 비교하여 0.8℃~1℃의 약간 높은 온도 조정값이 제시되나 편차는 신뢰성이 있는 것으로 판단된다.

2) 최고 대기온도 38℃에서 측정된 유효온도는 150mm에서 최저 40.7℃, 50mm에서 최고 44.1℃가 제시되었다. 최고 유효온도는 국내 도로교 설계기준의 최대 온도범위 40℃와 비교하여 4.1℃가 높게 제시되었다. 각 교량시험체에서 유효온도는 Euro code와 비교하여 최고온도 38℃에서 4.3~7.1%, 31℃이상 전체 온도에서 1.7~7.4% 높은 유효온도가 산정되었다.

3) 국내에 적용되는 강박스거터교의 아스팔트 두께는 50mm에서 100mm가 많이 적용된다. 따라서 50mm에서는 +2.6℃의 유효온도 증가를, 100mm에서는 +0.8의 유효온도 증가가 요망된다. 150mm에 가까울 때는 유효온도가 감소하므로 고려할 필요가 없다고 판단된다.

4) Euro code에서는 대기온도와 관계없이 온도 보정치를 제시 했는데, 본 측정 결과는 38℃ 최고기온에서 기온이 감소함에 따라 아스팔트 두께에 따른 조정치의 값은 점차 크게 측정되었다.

매년 최고기온이 점점 높아지고 있는 상황에서 좀 더 신뢰성 있는 결과가 도출하기 위하여 아스팔트 두께에 따른 다년간의 온도측정이 요망된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단(NRF-2015-R1D1A1A01060616)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌(References)

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials (2007) *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications* (4th Ed.), USA, pp.3-99-3-104.
- [2] British Standards Institution (1978) *Steel, Concrete and*

- Composite Bridges, Part 2: Specification for Loads* (BS 5400-2: 1978), UK, pp.20-23.
- [3] 국토교통부(2016) 도로교설계기준(한계상태설계법). Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2016) *Highway Bridge Design Standard (Limit State Design)*, Korea (in Korean).
- [4] 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).
- [5] 신동욱, 김경남, 최철호, 이성행(2013) 강상자형교의 강바닥 판에서 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.3, pp.77-87 (in Korean).
- [6] 김찬희, 정유석, 민근형, 이재하, 김우석(2015) 국내 교량설계를 위한 온도하중 제안, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, 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 Autumn Annual Conference of the Korea Concrete Institute*, KCI, pp.159-160 (in Korean).
- [7] 이성행(2018) 인공신경망을 이용한 강박스거더의 유효온도 산정, 한국산학기술학회논문집, 한국산학기술학회, 제19권, 제3호, pp.96-103.
Lee, S.-H. (2016) 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 강거더교의 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] 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).
- [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 : 본 연구에서는 강박스거더교 바닥판의 아스팔트 두께에 따른 온도변화를 측정하고, 이에 따른 설계기준을 마련하고자 하였다. 이를 위해 0mm, 50mm, 100mm, 150mm의 아스팔트 두께를 갖는 4개의 강박스거더 모형시험체를 제작하였다. 각 모형에 17~23개의 온도 센서를 상부 콘크리트와 강박스거더에 부착하였다. 2년간 온도측정을 수행하고 측정데이터를 바탕으로 유효온도를 산정하였다. 분석결과 유효온도는 최고 온도 38℃에서 Euro code와 비교하여 4.3~ 7.1% 높게 산정되었다. 아스팔트 두께에 따른 최고 유효온도의 온도 조정값은 아스팔트 두께 50mm에서 +2.6℃, 100mm에서는 +0.8℃가 제시된다. 이 값은 Euro code와 비교하여 0.8℃ ~ 1℃의 약간 높은 값을 보인다. 이를 적용하면, 본 연구에서 제시된 유효온도의 조정값은 설계온도 하중 산정 시 매우 유용한 기초자료가 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 최고 유효온도, 콘크리트 바닥판의 아스팔트 두께, 교량시험체, 강박스거더교, 온도측정