

강상자형교의 강비덱판에서 설계온도하중을 위한 유효온도 산정

Evaluation of Effective Temperature for Estimate Design Thermal Loads in Steel Deck of Steel Box Girder Bridges

신 동 욱¹⁾ 김 경 남²⁾ 최 철 호³⁾ 이 성 행^{4)*}
Dong-Wook Shin Kyoung-Nam Kim Chul-Ho Choi Seong-Haeng Lee

Abstract

A present LSD (limited state design) code for temperature load in the domestic bridge design has applied a uniform standard for various bridge types. In this study, in order to calculate the effective temperature, a specimen of steel box girder bridge section with real size dimension was manufactured. For a year, the temperature data were measured at the 18 point in steel deck of steel box girder bridges specimen. Effective temperature within the cross section according to atmospheric temperature was calculated by this experiment data. The analyzed results were very similar correlation when compared with the effective temperature of the Euro Code. Therefore, the effective temperature which calculated based on the present data could be used as the basic data in order to present to the appropriate design criteria for the thermal loads on the domestic bridge design.

Keywords : Effective temperature, Thermal load, Steel deck of steel box girder bridges specimen, Temperature measurement

1. 서 론

국내 교량 구조물 설계의 기본 코드 (Code)가 되고 있는 도로교설계기준에 LSD 기반의 AASHTO LRFD 및 Euro Code (BSI) 코드를 반영하여 개정하고자 하는 연구가 진행되고 있다 (AASHTO, 2002; AASHTO, 2007; BSI, 2004; European Coal and Steel Community, 1999). 기존 도로교 설계기준에서 적용되어온 설계법은, 강교의 허용응력 설계법, 콘크리트교에서는 강도설계법이 기준이 되어 왔다. 그러나 국내 토목구조물에 대한 선진 설계 기법의 개정 필요성이 대두되면서, 신뢰도에 기반을 둔 하중저항계수설계법 (LRFD) 과 한계상태 설계법 (LSD)이 도입되고 있다. 외국의 선진 설계 기법을 국내에 적용하기 위해서는 설계법과 구조해석 방법 등은 이론적인 내용이기 때문에 쉽게 사용이 가능하나, 구조재료와 설계하중 등은 외국 설계기준의 것을 그대로 가져올 수는 없다. 즉 기술환경, 기상환경, 도로환경 등이 다르

기 때문에 외국의 설계기준을 그대로 국내에 반영하지 못하는 것이다. 이러한 이유 때문에 국내에 적합한 환경, 지형, 차량, 도로사정 및 기술수준 (재료적 측면)의 차이 등을 반영한 합리적인 규정이 필요하다. 최근 교량의 설계하중 중에서 풍하중과 지진하중 등은 지속적인 관심과 연구를 통하여 도로교 설계기준 내에 충분한 내용이 포함되어 있다. 일례로 지진하중에 대하여는 내진설계라는 내용으로 별도의 설계법이 정립될 정도이며, 풍하중에 대하여도 거스트계수, 항력계수, 교량형상, 배치 및 종류에 따른 하중 등 상세한 산정법이 마련되어 있다.

그러나 온도하중에 대하여는 콘크리트교와 강교, 한랭지역과 보통지역 정도로만 나누어져 있어, 도입하고자하는 선진 설계법과 같은 체계적이고 세분화된 온도하중에 대한 규정 마련이 시급한 상황이다 (Highway Bridge Design Criteria Commentary, 2008; Highway Bridge Design Criteria, 2012). 그리고 AASHTO LRFD이나 EURO Code의 규정을 시공환경이 전혀 다른 국

1) 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 박사과정
2) 정회원, 충북대학교 건설기술연구소 연구원, 공학박사
3) 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 석사과정
4) 정회원, 부산대학교 사회환경시스템공학부 교수, 공학박사, 교신저자

* Corresponding author : lsh77@pusan.ac.kr
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2014년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

내에 적용하는 것은 무리가 있으므로, 국내 실측자료를 기반으로 외국 설계 코드의 검증이 필요한 상황이다. 온도하중에 대한 효율적인 설계를 위하여 우리나라의 각 지역별로 적용 가능한 대기온도에 따른 교량단면에 유효온도 파악이 선행되어야 하며, 이를 위하여 기상관측데이터를 기반으로 한, 온도 Contour Map 작성이 시급하며, 각 지역별 적용 가능한 교량형식별 교량 단면내 유효온도 제시가 필수적이다. 국내에서 벤치마킹하고자 하는 외국 설계기준들은 60년에서 120년에 걸친 측정데이터를 이용하여 극한상태의 기준온도를 정하고 있지만, 국내에서는 이러한 자료가 아직 직접 활용할 수 있는 상태로 정립되어 있지 못하다.

본 연구에서는 온도하중 기준을 정립하기 위하여 우리나라 각 지역별로 약 40년간의 기상 관측데이터를 바탕으로 50년 빈도에 의한 국내 최고 및 최저기온으로 우리나라 지도에 동일한 기온 분포선을 잇는 Contour Map을 작성한다. 온도에 의해 가장 민감하게 반응할 것으로 판단되는 콘크리트 슬래브가 없는 강상판과 유사한 온도분포가 예상되는 강박스 거더에 콘크리트 상부슬래브가 없는 시험체를 제작하여 측정된 데이터를 바탕으로 대기온도에 의한 교량 단면내 유효온도를 산정하고, 국외 규정과 서로 비교 검토한다.

2. 지역별 온도 Contour Map 작성

2.1 지역별 대기온도 값 결정

국내 각 지역별 적용 가능한 최고 및 최저 대기온도를 산정하기 위해서 기상청 각 지역관측소의 약 40년간의 최고, 최저 온도데이터를 활용하였다. Fig. 1과 같이 우리나라 각 지역 온도측정 지상관측소 84개소의 온도측정데이터를 측정 지역의 최고 및 최저온도에 대한 평균값과 표준편차를 이용하여, 각 지역별 최고 및 최저 대기온도에 대한 정규 분포도를 Fig. 2와 같이 산정하고 50년 발생가능 빈도 확률계산을 하였다. 여기서 중앙의 m 은 평균값, σ 는 표준편차이다. 이 그래프 아래의 총 면적은 1, 즉 100%이고, 34.1%, 13.6%는 각각 표에서 차지하는 면적, 확률을 의미한다. 따라서 50년 빈도를 찾기 위해서 위 분포도에서 98%에 해당하는 값을 찾는다면 이것이 초과확률 2/100이며 50년 빈도 최고, 최저온도를 의미한다. 50년 동안 50년 빈도 최고, 최저온도가 발생할 확률은 식 (1) (John E)에 의하여 63.5%가 된다.

$$p(x) = n C_x p^x q^{(n-x)} \quad (1)$$

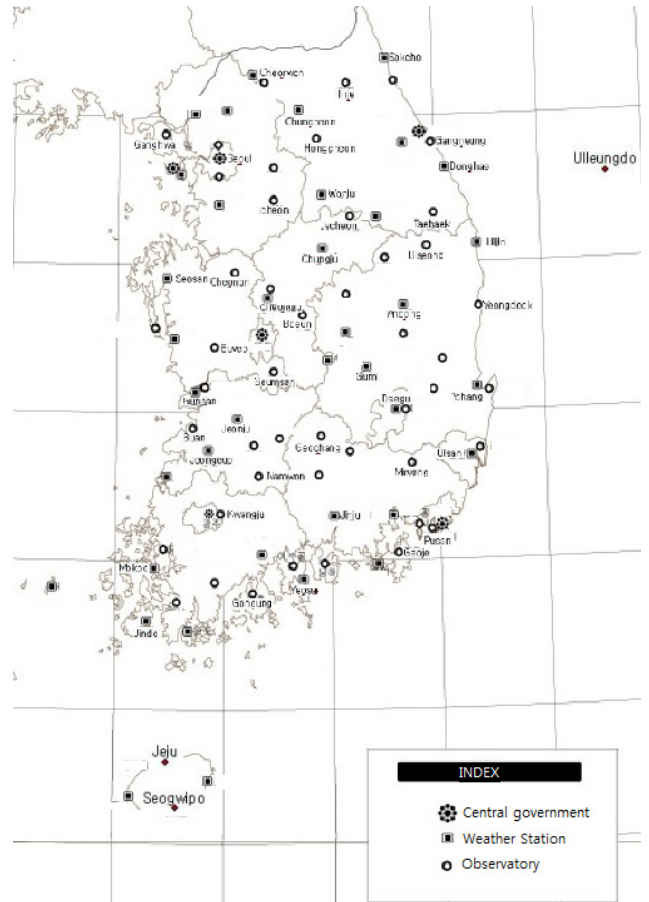


Fig. 1 Temperature measurement stations located in each region of Korea

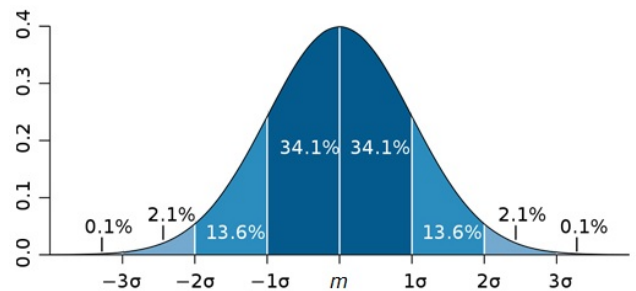


Fig. 2 Regular distribution

- $x = 0, 1, 2 \dots n,$
- $n =$ 표본의 크기,
- $p =$ 표본의 1회 성공확률,
- $q = 1 - p$ (표본의 1회 실패확률)
- $x = n$ 개의 표본 중 성공 수

따라서 50년 빈도로 발생할 확률을 Fig. 2와 같이 정규분포도를 만든 후 각 지역관측소의 약 40년간의 온도 측정데이

터를 활용해 50년 빈도에 의한 우리나라 각 지역별 최고 및 최저 대기 온도값을 추정하였다.

2.2 Contour Map 작성

각 지역별 대기온도 결정값으로 우리나라 각 지역별 최저 및 최고 대기온도에 대한 Contour Map을 Fig. 3, 4와 같이 작성하였다. Contour Map은 ArcGis for Desktop 10.1 프로그램을 사용하여 각 지역의 동일한 온도를 잇는 방법으로 제작하였다. 이 지도는 각 지역의 최저 및 최고 대기온도에 대한 유효온도를 산정하여 교량 설계시 온도하중을 각 지역별로 적용 가능하도록 할 것이다.

3. 시험체 제작 및 실험

3.1 시험체 제작

모형 제작 및 측정은 온도에 의해 가장 민감하게 반응할 것으로 판단되는 콘크리트 슬래브가 없는 강상판에 대하여 측정하여야 하나, 이와 유사한 온도분포가 예상되는 강상자형 거더에 콘크리트 상부슬래브가 없는 Fig. 5, 6과 같은 시

험체를 제작하였고 제원은 Fig. 7, 8과 같다. 2012년 5월부터 2013년 3월까지 측정된 데이터를 바탕으로 대기온도에 따른 교량 단면의 온도를 측정하였다. 동일한 대기온도에서도 외부요인에 의한 측정된 지점 온도가 상이함을 보이고 있기 때문에 대기온도에 따른 지점 온도를 일률화하여 온도하중 설계에 효과적으로 적용하기 위해 교량 단면내 유효온도를 산정하였다.

3.2 측정 장비

측정장비는 Table 1과 같이 Data Logger 1set, Switching Box 1set를 사용하였고, 18지점에 Thermo -couple을 부착, 연결하여 온도를 측정하였다.

3.3 측정 위치

측정위치는 Fig. 9와 같이 A-A 단면부분에 Fig. 10과 같이 중간 다이아프램 (A-A 단면) 웨브에 높이에 따라 8개씩 2개소에 16개의 Thermo-couple을 설치하고, 상·하부 플랜지에 2개의 Thermo-couple를 설치하여 온도변화를 측정하였다.

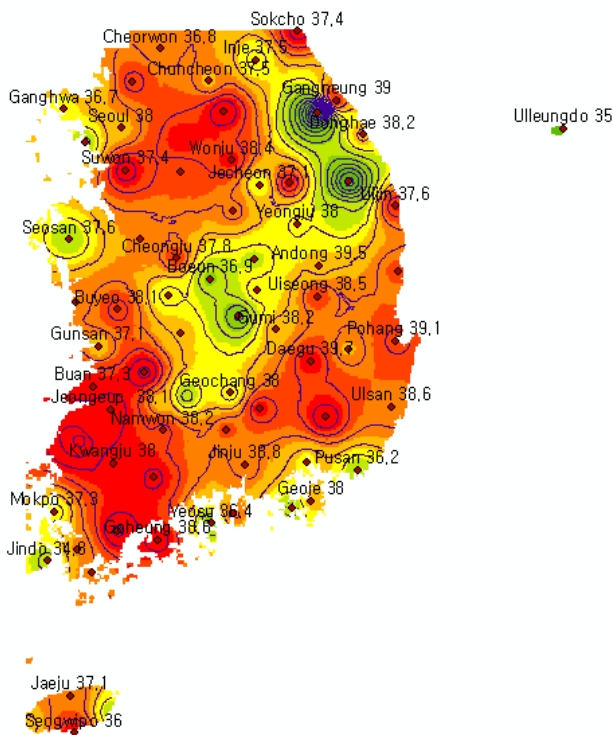


Fig. 3 Frequency of 50 years maximum temperature Contour Map

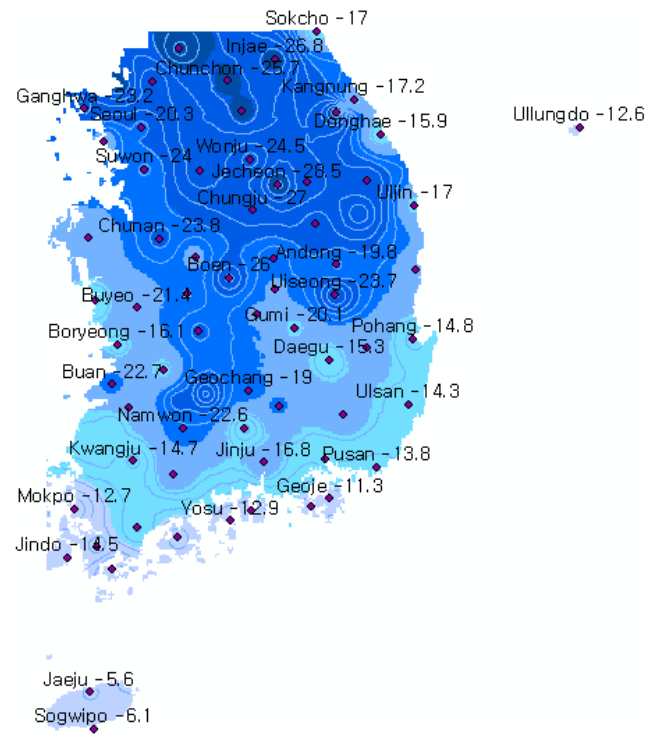


Fig. 4 Frequency of 50 years minimum temperature Contour Map



Fig. 5 Model Steel Box Girder Girder front photo



Fig. 6 Model Steel Box Girder Girder side photo

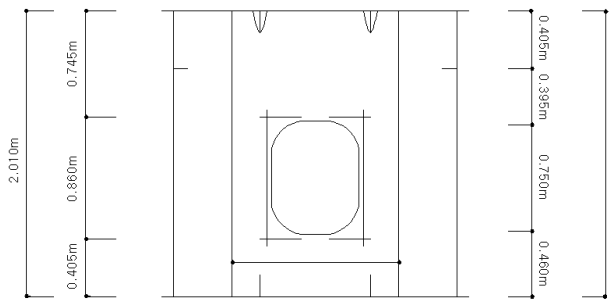


Fig. 7 Model Steel Box Girder Girder front view

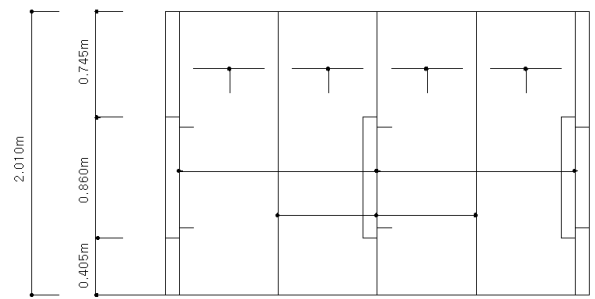


Fig. 8 Model Steel Box Girder Girder side view

Table 1 Measuring Equipment

Equipment	Set	Remarks
Data Logger (TDS-303)	1	Co. Tokyo Sokki
Switching Box (IHW-50H)	1	
Thermo-couple	18	

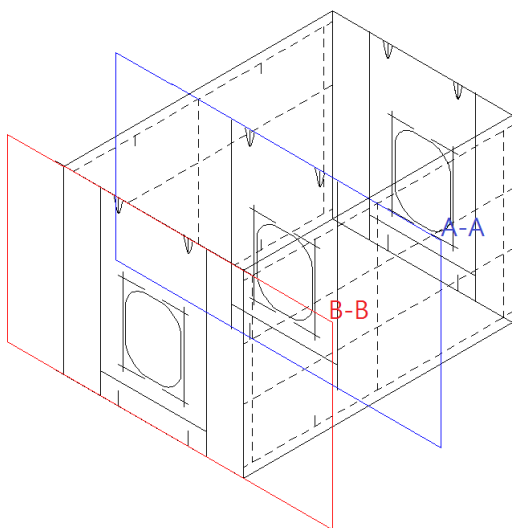


Fig. 9 Model Steel Box Girder Girder Three-dimensional view

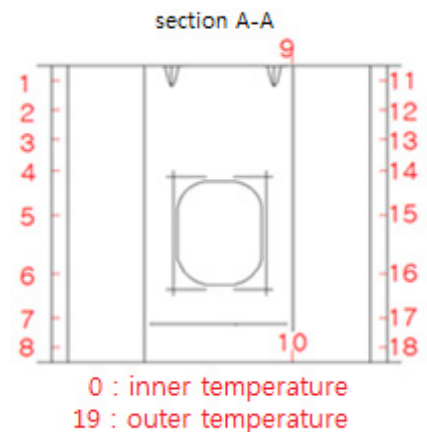


Fig. 10 Thermo-couple location (web, flange)

세부 위치는 Fig. 10과 같이 상, 하부플랜지는 각각 1개씩, 웨브부분은 하부플랜지를 기준으로 10cm, 30cm, 60cm, 100cm, 130cm, 150cm, 170cm, 190cm의 높이에 좌·우 웨브에 8개씩 설치하여, 상·하 플랜지, 좌·우 웨브를 포함하여 총 18개소에 설치하였다.

3.4 실험 방법

온도에 의해 가장 민감하게 반응할 것으로 판단되는 콘크리트 슬래브가 없는 강상판과 유사한 온도분포가 예상되는 강상자형 거더에 콘크리트 상부슬래브가 없는 시험체를 제작하여 다이어프램 3개소 중 내측 (중간)다이어프램에 Fig. 11~12와 같이 웨브, 상,하부 플랜지에 Thermo couple를 설치하고 Data Logger의 Time interval 기능을 사용하여 30분 단위로 온도를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 대기온도별 온도 측정 데이터 값

대기온도에 따른 시험체 각 위치의 온도 특성 및 변화를 확인하기 위해, 최고 및 최저 온도 분포를 나타낼 것으로 예

상되는 여름부터 그해 겨울까지 온도데이터를 획득하여 극치분석 (Extreme value analysis)을 이용하여 온도데이터를 분석하였다. 시험체 온도 측정 결과 Fig. 13과 같이 태양광에 의한 열전달의 효과에 의하여 온도차가 뚜렷이 나타나고 있으며, 특히 일교차에 의해 반복적인 곡선 형태의 온도 변화를 확인할 수 있다. 또한, 대기온도가 상승, 또는 감소함에 따라 대기온도와 비슷한 유형으로 상승, 하강하는 분포를 보인다. 측정결과 상부플랜지에서 2012년 8월 18일에 대기온도 36°C일 때 상부플랜지에서 62.3°C의 최고온도가 관측되었고 (Fig. 14) 최저온도는 2012년 12월 13일에 대기온도 -8°C일 때 상부플랜지에서 -11°C로 관측되었다 (Fig. 15). 대기온도에 따른 각 채널별 최고 측정온도데이터는 Table 2, 최저 측정온도데이터는 Table 3에 정리하였다.

모형실험체가 위치한 지역에서의 실측한 최고 대기온도는 2012년 36°C까지 측정되었고, 실측한 최저 대기온도는 -8°C까지 측정되었다. 그러나 지구온난화에 의한 극한온도에 대

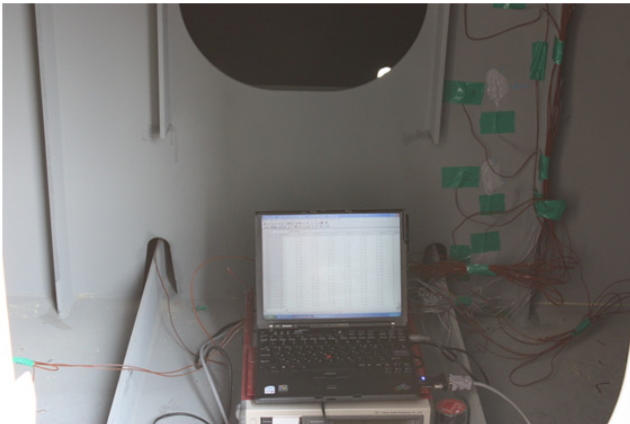


Fig. 11 Thermo-couple photo (1)



Fig. 12 Thermo-couple photo (2)

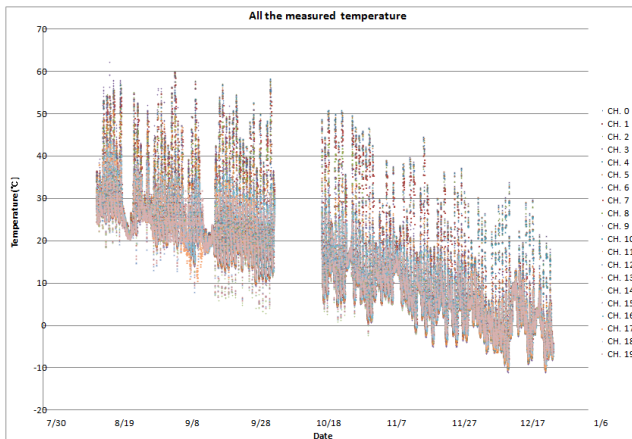


Fig. 13 All the measured temperature data

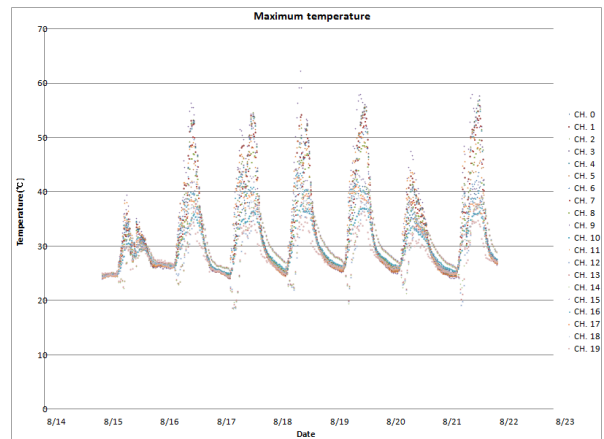


Fig. 14 The maximum temperature measured value (week)

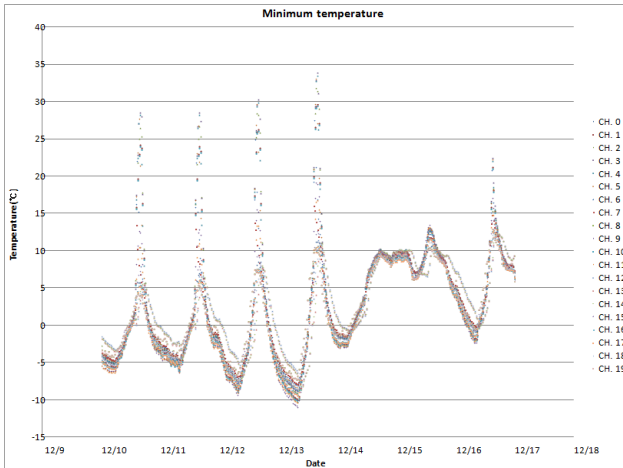


Fig. 15 The minimum temperature measured value (week)

Table 2 Air temperature for each channel according to the maximum temperature

T (°C)	Left Web (m)				Flange (m)		Right Web (m)			
	1.9	1.7	1.5	0.1	top	low	1.9	1.7	1.5	0.1
36	54	55	56	49	55	37	49	37	39	38
35	55	56	57	49	53	36	48	38	38	37
34	52	51	51	45	58	36	51	34	35	38
33	53	52	51	45	57	34	50	32	32	37
32	55	54	53	46	56	34	49	32	32	36
31	52	51	50	44	56	33	49	31	31	35
30	57	57	56	48	55	33	49	33	33	35
~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
24	52	52	51	44	55	31	47	27	29	33

※ By lower flange height, T = Air Temperature

Table 3 Air temperature for each channel according to the maximum temperature

T(°C)	Left Web(m)				Flange(m)		Right Web(m)			
	1.9	1.7	1.5	0.1	top	low	1.9	1.7	1.5	0.1
-8	-10	-9	-9	-8	-11	-10	-10	-7	-7	-9
-7	-10	-9	-9	-7	-11	-10	-10	-6	-7	-9
-6	-10	-9	-8	-6	-10	-10	-10	-7	-7	-8
-5	-7	-7	-6	-5	-8	-8	-8	-3	-4	-7
-4	-7	-7	-7	-4	-8	-8	-6	-8	-8	-6
-3	-5	-5	-5	-3	-7	-6	-6	-3	-4	-5
-2	-4	-4	-4	-2	-5	-5	-4	-6	-6	-4
-1	-4	-3	-3	-1	-5	-1	-4	0	-1	-3
0	-3	-2	-2	-1	-4	0	-3	2	1	-1

※ By lower flange height, T = Air Temperature

응하고, Euro code와 비교검토를 위해 측정되지 않은 온도 데이터를 산출하는 것이 요망된다. 이를 위하여 측정된 대기

Table 4 Regression analysis based on the location of the maximum and minimum temperatures

	Regression analysis, the maximum temperature	R ²	Regression analysis, the minimum temperature	R ²
Top	$-0.02x^2+1.26x+36.19$	0.87	$1.00x-3.45$	0.99
Low	$0.007x^2+0.013x+26.6$	0.90	$1.30x-1.06$	0.99
L.W	$0.073x^2-4.07x-104.5$	0.61	$0.94x-1.76$	0.99
R.W	$0.046x^2-2.41x+65.20$	0.87	$0.97x-1.87$	0.99

※ Top = Top flange, Low = Low flange, L.W, R.W=Right, Left web

Table 5 Regression analysis according to the highest temperature point

T (°C)	Left Web(m)				Flange(m)		Right Web(m)			
	1.9	1.7	1.5	0.1	Top	Low	1.9	1.7	1.5	0.1
40	57	61	61	52	57	37	49	41	43	38
39	56	60	60	52	56	36	49	40	42	37
38	55	60	60	52	55	36	48	40	42	37
37	55	59	59	51	55	36	48	39	41	37

※ By lower flange height, T = Air Temperature

Table 6 Regression analysis according to the lowest temperature point

T (°C)	Left Web(m)				Flange(m)		Right Web(m)			
	1.9	1.7	1.5	0.1	Top	Low	1.9	1.7	1.5	0.1
-24	-26	-25	-25	-23	-28	-32	-27	-22	-23	-25
-23	-25	-24	-24	-22	-27	-31	-26	-21	-22	-24
-22	-24	-23	-23	-21	-26	-30	-25	-20	-21	-23
-21	-23	-22	-22	-20	-25	-28	-24	-20	-20	-22
-20	-22	-21	-21	-19	-24	-27	-23	-19	-19	-21
-19	-21	-20	-20	-18	-23	-26	-22	-18	-18	-20
-18	-20	-19	-19	-17	-22	-25	-21	-17	-18	-19
-17	-19	-18	-18	-16	-21	-23	-20	-16	-17	-18
-16	-18	-17	-17	-15	-20	-22	-19	-15	-16	-17
-15	-17	-16	-16	-14	-19	-21	-18	-14	-15	-16
-14	-16	-15	-15	-13	-18	-19	-17	-13	-14	-15
-13	-16	-15	-14	-13	-17	-18	-16	-12	-13	-14
-12	-15	-14	-13	-12	-16	-17	-15	-12	-12	-14
-11	-14	-13	-12	-11	-15	-15	-14	-11	-11	-13
-10	-13	-12	-12	-10	-14	-14	-13	-10	-10	-12
-9	-12	-11	-11	-9	-13	-13	-12	-9	-9	-11

※ By lower flange height, T = Air Temperature

온도를 이용한 부재위치별 최고 및 최저온도에 대하여 회귀 분석을 수행하여 Table 4와 같이 추론식을 산정하고, Table 5, Table 6 (최고온도 37, 38°C, 최저온도 -9~-24°C)과 같이 추세 파악하여 필요한 온도를 산정하였다.

대기온도 37°C~38°C는 Fig. 16~18과 같이 회귀분석한 결

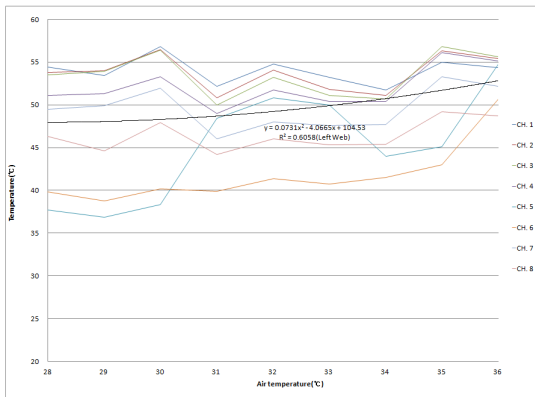


Fig. 16 Left web Regression analysis, the maximum temperature

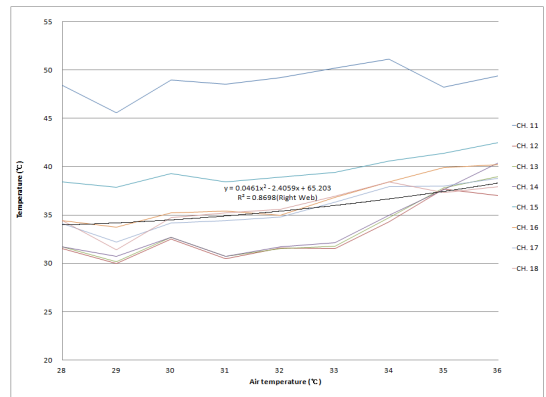


Fig. 17 Right web Regression analysis, the maximum temperature

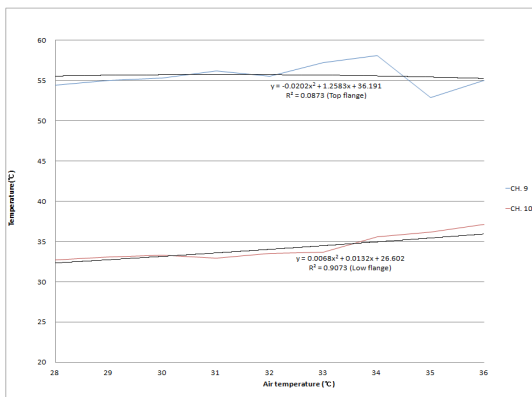


Fig. 18 top and low flange Regression analysis, the maximum temperature

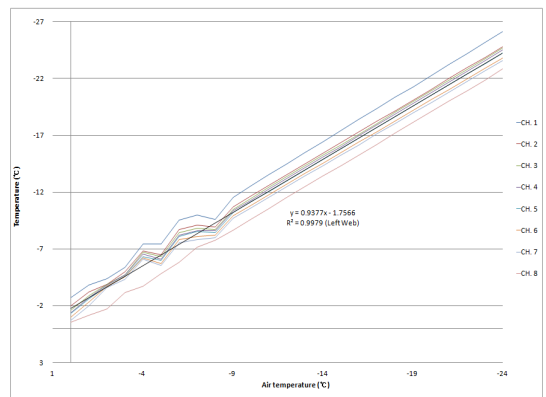


Fig. 19 Left web Regression analysis, the minimum temperature

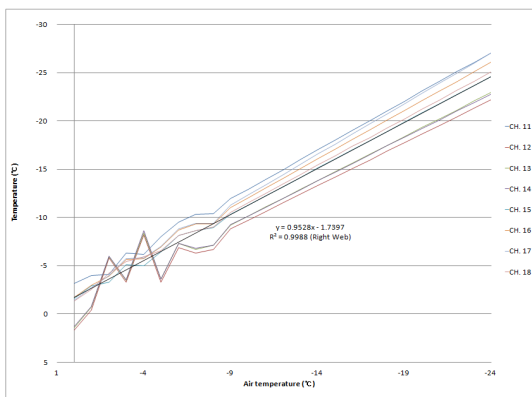


Fig. 20 Right web Regression analysis, the minimum temperature

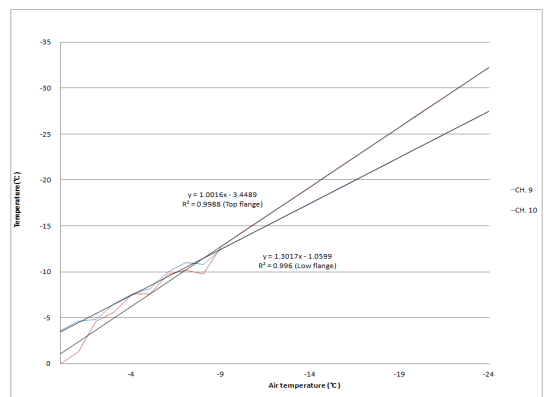


Fig. 21 top and low flange Regression analysis, the minimum temperature

과 대기온도가 상승할수록 측정온도 또한 2차원적으로 상승하는 것을 확인할 수 있었고, 대기온도 $-9^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 는 Fig. 19~21과 같이 회귀분석한 결과 대기온도가 하강할수록 측정온도 또한 선형적으로 하강하는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 대기온도에 따른 교량내 유효온도 산정

측정된 각 지점 온도데이터를 사용하여 교량 단면 내 유효온도를 산정하기 위해 티센가중법 (Thiessens weighting method)을 사용하였다. 이 방법은 전체 면적에 대한 각 관측

점의 지배면적을 가중인자로 하여 각 지점의 온도 값을 곱한 후 합산하여 유효온도를 산정하는 방법이다 (Yoo and Jung, 2001)

$$T_m = \frac{A_1 T_1 + A_2 T_2 + A_3 T_3 + \dots + A_n T_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i T_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (2)$$

T_m 는 교량 단면내 유효온도, A 는 면적, T 는 지점온도이다. Table 7은 각 지점에 대한 지점별 면적이다. Table 8~9

Table 7 Point by area

T (°C)	Left Web (m)				Flange (m)		Right Web (m)				$\sum_{i=1}^N A_i$
	1.9	1.7	1.5	0.1	Top	Low	1.9	1.7	1.5	0.1	
area	1.5	2	2	1.5	20	20	1.5	2	2	1.5	78

* By lower flange height, T = Air Temperature

Table 8 Applying the weighted cross-sectional area of the bridge in the highest effective temperature calculated

T (°C)	Left Web (m)				Flange (m)		Right Web (m)				$\sum_{i=1}^N A_i T_i$	T_m
	1.9	1.7	1.5	0.1	Top	Low	1.9	1.7	1.5	0.1		
38	83	119	119	78	1100	729	73	79	83	56	3,650	48
37	82	118	118	77	1097	716	72	77	81	55	3,602	47
36	82	111	111	73	1100	742	74	74	78	57	3,629	47
35	83	113	114	74	1058	724	72	75	76	56	3,501	46
34	78	102	101	68	1162	712	77	69	69	58	3,499	46
33	80	104	102	68	1144	674	75	63	64	55	3,430	45
32	82	108	106	69	1110	670	74	63	63	53	3,395	44
31	78	102	100	66	1124	658	73	61	61	53	3,344	44
30	85	113	113	72	1106	666	73	65	65	52	3,377	44
29	81	111	111	71	1098	640	71	62	64	51	3,322	43
28	82	108	107	70	1088	654	73	63	63	52	3,301	43
27	80	108	106	69	1107	635	72	61	63	52	3,274	43
26	79	107	105	68	1110	633	72	59	62	51	3,262	43
25	79	105	103	67	1101	610	71	57	58	50	3,176	42
24	78	104	102	66	1104	628	71	55	58	50	3,186	42

* By lower flange height, T = Air Temperature

Table 9 Applying the weighted cross-sectional area of the bridge in the lowest effective temperature calculated

T (°C)	Left Web (m)				Flange (m)		Right Web (m)				$\sum_{i=1}^N A_i T_i$	T_m
	1.9	1.7	1.5	0.1	Top	Low	1.9	1.7	1.5	0.1		
-24	-39	-50	-49	-34	-550	-646	-41	-44	-46	-38	-2,127	-28
-23	-38	-48	-48	-33	-530	-620	-39	-43	-44	-36	-2,048	-27
-22	-36	-46	-46	-31	-510	-594	-38	-41	-42	-35	-1,964	-26
-21	-35	-44	-44	-30	-490	-568	-36	-39	-40	-33	-1,881	-25
-20	-33	-42	-42	-29	-470	-542	-35	-37	-39	-32	-1,800	-24
-19	-32	-40	-40	-27	-450	-516	-33	-36	-37	-30	-1,718	-22
-18	-31	-38	-38	-26	-430	-490	-32	-34	-35	-29	-1,636	-21
-17	-29	-37	-36	-24	-410	-464	-30	-32	-33	-27	-1,553	-20
-16	-28	-35	-34	-23	-390	-438	-29	-30	-31	-26	-1,470	-19
-15	-26	-33	-32	-22	-370	-412	-27	-28	-29	-25	-1,338	-18
-14	-25	-31	-31	-20	-349	-386	-26	-27	-28	-23	-1,307	-17
-13	-23	-29	-29	-19	-329	-360	-24	-25	-26	-22	-1,225	-16
-12	-22	-27	-27	-17	-309	-334	-22	-23	-24	-20	-1,140	-15
-11	-20	-25	-25	-16	-289	-308	-21	-21	-22	-19	-1,059	-14
-10	-19	-23	-23	-14	-269	-282	-19	-19	-20	-17	-974	-13
-9	-17	-21	-21	-13	-249	-256	-18	-18	-18	-16	-894	-12
-8	-14	-18	-17	-12	-216	-196	-16	-13	-14	-14	-736	-10
-7	-15	-18	-18	-11	-220	-204	-16	-13	-13	-13	-745	-10
-6	-14	-17	-17	-9	-200	-194	-14	-14	-15	-12	-700	-9
-5	-11	-13	-13	-7	-164	-152	-12	-7	-7	-10	-539	-7
-4	-11	-14	-13	-6	-152	-152	-9	-16	-17	-9	-549	-7
-3	-8	-10	-9	-5	-130	-112	-10	-7	-7	-8	-422	-5
-2	-7	-8	-8	-3	-96	-92	-6	-12	-12	-6	-346	-4
-1	-6	-6	-6	-2	-92	-26	-6	-1	-1	-4	-209	-3
0	-4	-4	-3	-1	-72	0	-5	3	3	-2	-113	-1

* By lower flange height, T = Air Temperature

는 Contour Map의 대기온도를 바탕으로 한 교량내의 유효 온도를 산정한 절차로써 해석방법은 측정된 데이터 중 상, 하위 10%를 선정하고, 각 측정위치별 대표온도를 선정하였다. 대표온도는 상, 하부 플랜지가 큰 온도차를 보이는 대표 대기 온도별로 선정하여, 식 (2)와 같이 면적가중평균법을 이용하여 유효온도를 산정하였다. 각 위치별 획득한 온도데이터로 대표값을 선정하고, 면적가중평균 계산 후 유효온도를 산정하였다.

4.3 계산된 유효온도와 Euro Code의 유효온도 비교

Table 10, Table 11과 같이 실측한 데이터를 바탕으로 산정한 유효 온도값을 검증하기 위해 Euro code (British Standards Institution (2004)에서 제시하는 유효 온도와 비교 하였다.

Euro Code의 유효온도값과 실측데이터로 계산된 국내 대기온도에 의한 유효온도의 상관관계를 비교 검토하기 위해 Euro Code의 유효온도값을 선형 기준화 하였고, 실측데이터로 계산된 국내 대기온도에 의한 최고 및 최저에 의한 유효 온도값과 비교하였다.

최고유효온도의 경우 Fig. 22와 같이 40°C~43°C 및 47°C~48°C 구간에서 본 연구의 결과치가 Euro code보다 큰 결과를 확인할 수 있었다.

또한 최저유효온도의 경우 Fig. 23과 같이 -8°C~-12°C Euro code의 값보다 조금 크게 측정되었고, -25°C~-28°C 구간은 Euro code보다 약간 작은 결과를 확인할 수 있었다.

Table 10 The effective temperature of highest the bridge cross-section compared with Euro Code

Air temperature	Euro Code	Actual measurement
38	47	48
37	46	47
36	46	47
35	46	46
34	45	46
33	45	45
32	44	44
31	44	44
30	44	44
29	43	44
28	42	43
27	42	43
26	41	43
25	41	42
24	40	42

Table 11 The effective temperature of lowest the bridge cross-section compared with Euro Code

Air temperature	Euro Code	Actual measurement
-24	-28	-28
-23	-27	-27
-22	-26	-26
-21	-25	-25
-20	-23	-24
-19	-22	-22
-18	-21	-21
-17	-20	-20
-16	-19	-19
-15	-18	-18
-14	-17	-17
-13	-16	-16
-12	-15	-15
-11	-14	-14
-10	-12	-13
-9	-11	-12
-8	-10	-10
-7	-9	-10
-6	-8	-9
-5	-7	-7

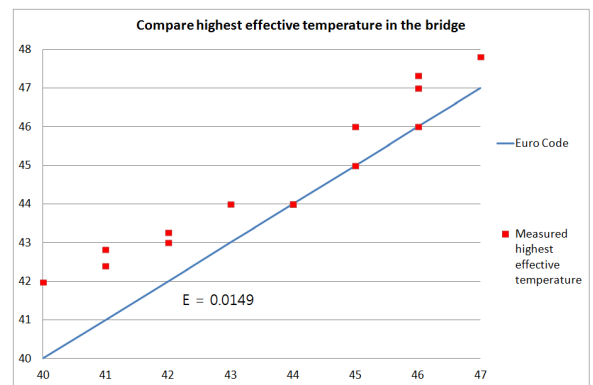


Fig. 22 The maximum effective temperature compared with Euro Code Correlation

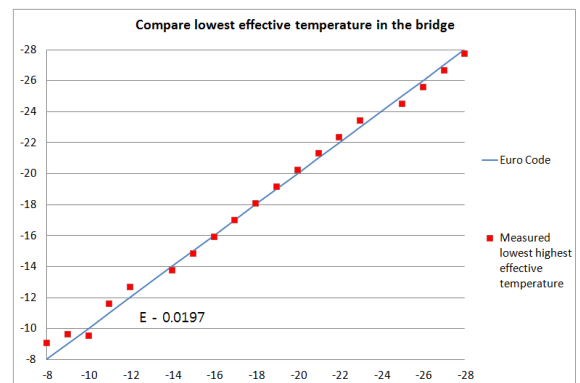


Fig. 23 The minimum effective temperature compared with Euro Code Correlation

따라서 Euro Code와 실측데이터에 의한 유효온도를 비교한 결과 최고유효온도는 Fig. 23과 같이 1.49% ($E=0.0149$)의 상관관계를 보였고, 최저유효온도는 Fig. 22와 같이 1.97% ($E=0.0197$)의 매우 유사한 상관관계를 확인할 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 우리나라 지역별 대기온도에 의한 교량 단면내 유효온도를 제시하기 위하여 우리나라 각 지역별로 국내 최고 및 최저기온으로 지도에 동일한 기온 분포선을 잇는 Contour Map을 제작하였다. 또한, 온도에 의해 가장 민감하게 반응할 것으로 판단되는 콘크리트 슬래브가 없는 강상판과 유사한 온도분포가 예상되는 강상자형 거더에 콘크리트 상부슬래브가 없는 시험체를 제작하여 측정된 데이터를 바탕으로 대기온도에 의한 교량 단면내 유효온도를 산정하고, Euro Code에서 제시한 유효온도와 비교하고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 기상청 온도측정 관측소에서 약 40년간 측정데이터를 바탕으로 회귀분석에 의해 50년 발생빈도를 확률적으로 계산하여, 각 지역별 최저 및 최고 기온을 제시하였다. 이를 바탕으로 각 지역별 최저 및 최고온도를 Contour Map으로 제작하여 교량 설계시 온도에 대한 하중을 각 지역별로 적용 가능하도록 제안하였다.
- (2) 모형 제작한 교량을 실측한 온도 데이터로 인한 교량 단면 내 유효온도값을 Euro Code에서 제시한 유효온도와 비교한 결과 최고유효온도는 약 2%, 최저 유효온도는 약 1.5%의 오차를 보였다. 이는 본 연구의 강상자형거더 실험체 모형에서 제안한 유효온도가 Euro Code의 유효온도와 거의 유사하나 교량내 최대유효온도의 경우 본 연구결과치가 Eurocode의 유효온도에 비해 약간의 큰 값으로 나타낸 바 좀 더 정확한 국내 교량의 유효온도를 산정하기 위해서는 좀 더 긴 기간의 온도측정데이터 획득하여 확률적 계산에 의해 오차를 줄여가는 것이 필요할 것이라 판단된다.
- (3) 본 연구에서 제시한 각 지역별 최저 및 최고 온도에 대한 Contour Map과 실교량 시험체의 실측온도데이

터에 의해 산정한 대기온도별 교량 단면내 유효온도를 산정하여 국내 교량 설계시 각 지역의 특성을 고려한 안전하고, 경제적인 설계기준을 확립을 위한 기준자료로 사용가능할 것이다. 향후 콘크리트 슬래브가 없는 강거더 형식에 대한 연구와 함께 가장 보편적으로 사용되는 강합성형과 콘크리트 슬래브를 갖는 콘크리트 교에 대한 모형 설치와 계측을 실시하여 설계기준을 확립을 위한 기준자료를 구축할 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 출연한 2011년도 일반연구자 지원사업 (2011-0023229)의 지원으로 이루어졌습니다.

References

1. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (SI Units, 4th Edition), 2007, pp.3-99, pp.3-104.
2. AASHTO, Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Ed., HB-17. American Association of State Highway and transportation Officials, Washington, DC, 2002.
3. British Standards Institution, Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 2. Specification for loads, BS5400: Part 2: 1978, 2004, pp.20-23.
4. European Coal & Steel Community, "Eurocode No 3 : Design of Steel Structure Part 2 : Steel Bridges", CEN, 1999.
5. John E., Freund Mathematical Statistics: Physical and application / Irwin Miller, Marylees Miller.
6. Korean Society of Civil Engineers, Bridge Design Core Technology Research Center, Highway Bridge Design Criteria Commentary, 2008 (in Korean).
7. The Ministry of Land, Highway Bridge Design Criteria, 2010 (in Korean).
8. The Ministry of Land, Highway Bridge Design Criteria, 2012 (in Korean) (Limit state design method).
9. Yoo, C. S., Jung, K. S., Estimation of Area Average Rainfall Amount and Its Error, Journal of Korea Water Resources Association, KCI 1738-9488, Vol. 34, No. 4, 2001. 8, pp.317-326 (in Korean).

Received : 07/15/2013

Revised : 08/26/2013

Accepted : 09/03/2013

요 지

국내 교량 설계에서 온도 하중에 대한 현재 LSD (한계 상태 설계법)는 다양한 교량 형식에 대한 동일한 기준을 적용하고 있다. 본 연구에서는 유효 온도를 산정하기 위해 실제 크기의 상판이 없는 강상자형거더교 시험체를 제작하였다. 1년동안 강상자형거더교모형의 18개 지점에서 온도데이터를 측정하였다. 측정된 데이터를 바탕으로 대기 온도에 따른 교량단면내 유효 온도를 산정 하였다. 유로 코드의 유효 온도와 비교할 때 실측 유효온도의 결과는 매우 유사한 상관 관계를 보였다. 따라서, 본 데이터를 기반으로 산정 된 유효 온도는 국내 교량 설계에 온도 하중에 적합한 설계 기준을 제시하기 위한 기초 자료로 사용할 수 있다.

핵심 용어 : 유효 온도, 온도 하중, 강상자형거더교, 온도 측정
