

무기체계의 환경시험을 위한 한반도의 온도기준 설정에 관한 연구[†]

문자영¹ · 김동길² · 성인철³ · 홍연웅⁴

¹²³국방기술품질원 · ⁴동양대학교 경영학과

접수 2016년 11월 7일, 수정 2016년 11월 24일, 게재확정 2016년 11월 26일

요약

환경시험의 목적은 시험대상 제품이 수명주기 중 겪을 수 있는 환경에 노출되었을 때 정상적인 기능을 수행할 수 있는지 실제·제조되었는지를 시험·평가하는 것이다. 본 논문은 한반도 내륙에서 운용할 군수장비의 운용환경조건에 대한 온도시험의 설계 기준을 제안한다. 온도기준은 과도하거나 과소하지 않게 합리적으로 설계되어야하는데 본 연구에서는 한국에서 가장 더웠던 지역과 가장 추웠던 지역을 기준으로 고온 및 저온에 대한 다양한 백분위별 발생빈도를 제시한다. 1904년부터 2014년까지 132개 관측지점의 기온 자료를 분석한 결과 1개월 기준으로 가장 더운 지역은 대구, 가장 추운 지역은 양평으로 확인되었다. 한반도 내륙의 운용 환경에서 고온과 저온의 1% 발생빈도값은 각각 38.7°C와 -29.0°C로 추정되었다. 아울러 상대습도, 풍속, 태양복사를 포함하는 고온과 저온의 일주기표도 제시한다.

주요용어: 내륙지역, 발생빈도값, 온도시험기준, 환경시험.

1. 서론

제조상 결함이 없는 장비가 운용현장에서 고장나는 주요 원인 중 하나는 설계 시 고려하지 못한 환경에 노출되는 경우이다. 이와 같이 장비가 저장, 운송, 사용 중에 노출될 수 있는 환경 스트레스에 대하여 충분한 내성을 가지고 있는지 평가하기 위하여 실시하는 것을 환경시험이라 한다. 장비에 영향을 미칠 수 있는 다양한 환경에 노출될 가능성이 높아지면서 장비를 설계할 때 사용 환경에 대한 선행 조사에 기초하여 장비의 설계기준과 시험항목, 시험조건 등이 결정됨이 바람직하다.

환경시험의 목적은 시험대상 제품이 수명주기 중 겪을 수 있는 환경에 노출되었을 때 정상적인 기능을 수행할 수 있는지 실제·제조되었는지를 시험·평가하는 것이다. 이때 환경시험 조건 즉 엄격도는 가능한 표준화된 규격 (국제규격, 국가규격, 단체규격)에 제시된 조건을 선택한다.

우리나라의 환경시험은 대부분 국제규격을 준용하고 있으며, 한국산업규격 (Korean Industrial Standards)도 국제규격을 참조하여 제정되었기 때문에 환경시험 관련 규격의 엄격도 수준은 국제규격과 동일하다고 할 수 있다. 이는 우리나라의 환경여건을 반영한 규격이라기보다 전지구적 환경 여건을 반영

[†] 이 논문은 2015년 민·군기술협력사업 (Civil-Military Technology Cooperation Program)의 지원으로 수행된 연구임 (No. 15-DU-UNI-04).

¹ (42037) 대구광역시 수성구 동원로 28길 52-8, 국방기술품질원, 연구원.

² (42037) 대구광역시 수성구 동원로 28길 52-8, 국방기술품질원, 선임연구원.

³ (42037) 대구광역시 수성구 동원로 28길 52-8, 국방기술품질원, 팀장.

⁴ 교신저자: (36040) 경북 영주시 풍기읍 동양대로 145 동양대학교 경영학과, 교수. E-mail: hong@dyu.ac.kr

한 것으로 국제규격이나 다름없다. 수출용 제품의 경우 사용환경이 전지구이므로 국제규격을 적용함이 당연하다. 그러나 내수용 제품의 경우 우리나라 자연 환경에 적합한 엄격도를 적용함이 타당할 것이다. 한반도 기후 환경보다 가혹한 전지구적 환경을 기초로 설정된 국제규격을 내수용 장비의 환경시험규격으로 적용하면 과도한 설계로 인한 불필요한 비용이 발생할 수 있다. 일례로 -40°C 에서 70°C 까지 측정 가능한 데이터로거는 -30°C 에서 40°C 까지 측정할 수 있는 제품에 비하여 매우 비싸게 판매되고 있다. 이러한 배경에서 한반도의 자연환경조건을 반영한 내수용 제품에 적용 가능한 한국형 환경시험규격을 제정할 필요가 있다. 한국형 환경시험규격의 제정을 통하여 개발비와 운용유지비용의 절감 등을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 온도에 대한 한국형 환경시험 기준을 설정하기 위한 고온과 저온의 기준값을 산출한다. 대기온도는 지표면에서 반사되는 일사량, 가열된 지면으로부터의 장파장 복사, 공중으로 흡수되는 장파장 복사, 하늘과 구름 등으로부터 산란되는 일사량, 장비 주변 공기의 온도분포, 그리고 바람과 난기류로부터 발생하는 통풍 등에 영향을 받는다 (MIL-HDBK-310). 특히 고온에 노출되는 장비는 열전도나 열용량 등의 영향을 받는데 장비의 물리적 특성과 노출유형 (최악은 지표면에서 직사광을 바로 받는 경우) 등에 따라 장비의 반응 특성은 매우 다양하다.

온도를 환경설계요소로 반영하고자 할 때 장비가 노출되는 환경에서의 최고온도와 최저온도는 매우 중요하다. 본 연구에서는 1904년부터 2014년까지 111년 동안 관측된 132개 관측지점의 시간별 기온 데이터를 이용하여 한국의 고온과 저온에 대한 0.5%, 1%, 5%, 10% 및 20% 발생빈도값을 제시하여 사용자가 선택할 수 있도록 한다.

2. 온도 시험기준 설정방법

기온이 장비에 미치는 영향은 평균기온보다 고온이나 저온이 크므로 이들에 관심을 가져야한다. 장치가 고온이나 저온 부근에서 정상 기능을 수행한다면 저온과 고온 사이의 모든 온도에서 정상 작동한다고 할 수 있다. 합리적 수준의 고온이나 저온의 환경시험 기준값을 설정하려면 고온 및 저온 자료에 기초하여 모수적 또는 비모수적방법으로 산출할 수 있다. 본 연구에서는 비모수적 방법인 발생빈도법 (frequency of occurrence; FOO)을 이용한다. 111년간의 관측기간 동안 가장 더웠거나 가장 추웠던 일정기간 동안 관측된 기온의 분포로부터 발생빈도를 구하여 결정한다. 여기서 일정기간은 15일, 1개월 또는 2개월 등이 될 수 있으나 기후적으로 최혹한기 및 최혹서기를 대표할 수 있어야하고 통계적으로 충분한 수량의 데이터를 확보할 수 있도록 설정하는 것이 바람직하다. MIL-HDBK-310에서는 1개월을 권고하고 있으며, 본 연구에서도 1개월을 대상 기간으로 한다.

기온의 발생빈도는 한 시간 간격으로 측정된 데이터를 이용하는 것이 바람직하다. 기상청에서도 한 시간 간격으로 기후 요소를 제공하고 있고, 1시간 간격 기온 데이터는 하루 동안의 기온 변화 패턴을 파악하는데 부족하지 않다고 사료된다. 예를 들어 고온인 경우 1개월 744시간 동안 관측된 744건의 기온 데이터에서 특정 온도 $x^{\circ}\text{C}$ 와 같거나 큰 (저온인 경우 작은) 기온의 관측 빈도가 n 건이었다면, 그 온도는 해당 월에 $100n/744\%$ 비율로 발생한 것이면 x 를 $100n/744\%$ 발생빈도값이라고 한다.

본 연구에서는 관련 전문가 집단의 공감대 형성을 전제로 고온과 저온의 기준값을 1% 발생빈도값으로 제시한다. 참고로 MIL-HDBK-310에서는 고온 1%, 저온 20%를 기준으로 제시하고 있다.

3. 한국의 고온 환경시험 기준

정수 시각에 관측된 기온 자료를 이용하여 월 평균 기온을 계산하였을 때, 한국에서 가장 더웠던 한 달은 대구의 1994년 7월이다 (Table 3.1). 1994년 7월 1개월 동안 대구 관측소에서는 695건이 관측되

었고 49건이 결측되었으며, 결측치는 모두 0시부터 04시 사이의 기온 자료다. 695건의 기온 기록으로부터 산출된 1994년 7월 대구의 월평균기온은 30.4℃이고, 월 최고기온은 39.3℃, 월 최저기온은 23.7℃이다.

본 연구에서는 혹서기 한 달을 대상으로 정확한 백분위 기온을 추정하기 위해 0시부터 04시 사이에 관측된 기온값이 정규분포를 따른다고 가정하고 이들의 평균과 표준편차를 추정한 다음 추정된 분포를 따르는 49개의 난수를 발생하여 결측치로 대체하였다. 추정된 기온은 일중 저온을 기록하는 시간대이므로 발생빈도값의 정확성을 제고하는데 기여한다. 744건의 기온 데이터를 이용하여 추정된 1994년 7월 대구의 1개월 평균기온은 30.2℃, 표준편차 3.785℃, 최저 23.7℃, 최고 39.3℃를 기록한 것으로 추정된다. 0~4시 사이의 결측치를 추정하여 대체한 경우가 결측치를 배제한 경우에 비하여 평균온도는 0.19℃, 표준편차는 0.055℃ 작아졌다. Figure 3.1은 1994년 7월 대구의 관측치 695건의 분포이다.

Table 3.1 Top 20 average high temperatures by month (1904~2014)

Rank	Region	Average (°C)	Maximum (°C)	Minimum (°C)	n	Date
1	Daegu	30.4	39.3	23.7	695	1994.7
2	Daegu	29.8	39.1	17.9	735	1942.7
3	Daegu	29.3	37.5	17.9	696	1994.8
4	Jeju	29.1	35.7	22.3	744	2013.8
5	Daegu	29.1	37.8	21.9	744	2013.8
6	Ulsan	29.0	38.4	20.5	744	2013.8
7	Pohang	28.8	37.2	21.6	744	2013.8
8	Jeju	28.8	35.6	24.8	744	2010.8
9	Daegu	28.8	35.7	22.4	744	2013.7
10	Daegu	28.8	35.7	23.0	744	2010.8
11	Daegu	28.7	38.3	21.5	686	1995.8
12	Jeju	28.6	35.5	20.0	744	2013.7
13	Gangneung	28.6	38.3	17.5	735	1942.7
14	Gangneung	28.5	35.7	19.6	744	2013.8
15	Jeonju	28.5	37.2	19.8	744	2013.8
16	Daegu	28.5	36.9	20.5	248	1973.7
17	Gwangju	28.4	35.7	20.0	744	2013.8
18	Daegu	28.4	37.1	19.4	186	1914.7
19	Daegu	28.4	35.7	19.9	744	2008.7
20	Pohang	28.3	36.4	22.1	744	2013.7

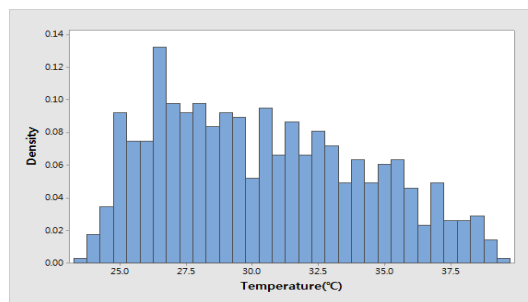


Figure 3.1 Temperature distribution during the Korea's hottest month (Daegu, July 1994)

발생빈도법에 의하여 백분위별 빈도값을 구하면 Table 3.2와 같다. 한국에서 가장 더웠던 1개월의 고온 0.5% 빈도값은 38.9℃이고 1% 빈도값은 38.7℃로 관측되었다. 이는 Table 3.2에서 볼 수 있듯이 Kim과 Kang (2002)과 KS C 0214 (2007)에서 제시한 고온 1% 빈도값인 35.3℃와 적지 않은 차이가 발생하는데 그 이유는 추정에 사용한 데이터의 차이에 있다. Kim과 Kang (2002)과 KS C 0214에서는 1969년부터 2004년까지 매년 8월의 모든 자료를 이용하였고, 본 연구에서는 1994년 7월의 1개월 기록

만 가혹한 기간으로 인식한데서 기인한다. 환경시험의 기준을 설정할 때는 이론적·현실적인 최악의 상황을 설정하고 그 상황에 노출되는 시스템이 정상적으로 작동할 수 있는지 여부를 평가하는데, 이를 위해서는 가장 더웠던 특정 1개월의 데이터만 사용하는 것이 바람직하다. MIL-HDBK-310 (§ 5.1.1.2)에서도 ‘가장 가혹한 1개월 동안 (during the worst month)’이라고 정의하고 있다.

Table 3.2 Percentile high temperatures (°C) for Korea's hottest month (Daegu, July 1994)

%	Nonparametric estimates	Estimates under normal assumption	KS C 0214 & DQAA-05-1132-R
0.5	38.9	40.0	
1	38.7	39.0	35.3
2	38.3	38.0	
3	37.8	37.3	
4	37.5	36.8	
5	37.1	36.4	33.0
6	37.0	36.1	
7	36.6	35.8	
8	36.2	35.5	
9	36.0	35.3	
10	35.8	35.1	31.4
20	33.9	33.4	29.3
The highest temperature		40.0	

하루 중 최고온도는 2~3시간 지속된다. 그러나 장비는 강렬한 일사량로 인해 대기의 온도보다 훨씬 높은 온도가 된다. 그렇기 때문에 일사량을 포함한 실질적인 일변동과 고온극한값을 함께 고려해야 한다. 또한 일변동은 열 집중 (증강)을 제한하는 풍속도 동시에 고려해야 한다. 최고 고온 상태 동안 발생할 수 있는 극히 낮은 상대습도가 특별한 설계문제점을 유발할 수 있기 문에 수분 함유량도 고려해야 한다 (MIL-HDBK-310). 대구의 고온 1% 일변동과 관련된 기후 요소값은 Table 3.3과 같다.

Table 3.3 Daily cycle of temperature and other elements associated with the Korea's hottest 1-percent temperature value (Daegu, July 1994)

Time	Temp. (°C)	Relative humidity (%)	Wind speed (m/s)	Solar radiation (W/m ²)
1	31.9	78	2	0
2	31.2	80	2	0
3	30.3	81	2	0
4	29.9	82	2	0
5	29.6	82	2	0
6	29.5	82	2	6
7	30.1	82	2	67
8	31.4	76	2	218
9	32.9	70	2	365
10	34.4	64	3	535
11	35.6	58	3	610
12	36.7	52	3	664
13	37.6	52	4	693
14	38.7	52	4	656
15	38.5	52	4	545
16	38.4	52	4	461
17	38.3	52	4	351
18	37.6	52	4	207
19	36.5	56	4	78
20	35.1	60	3	7
21	34.1	63	3	0
22	33.2	67	3	0
23	32.4	70	3	0
24	31.8	74	3	0

4. 대한민국의 저온 환경시험 기준

최저기온 극한값은 여러 가지 기상학 요소가 최적으로 조합되어야 가능하다. 가장 핵심적인 조건은 온도가 극저온으로 떨어진 상태에서 장기간 일사량이 없고, 대기는 맑으며, 눈이 쌓인 상태에서 바람이 거의 불지 않는 때이다.

남한의 최저 기온은 1981년 1월 양평에서 기록된 -32.6°C 이다. 같은 시기 정수 (integer) 시각에 관측된 기록으로는 -30.0°C 가 최저이다. 우리나라의 저온 기록은 양평, 철원, 홍천 등 경기도와 강원도 북부 지역에서 빈번하게 발생한다 (Table 4.1).

Table 4.1 Top 20 minimum temperatures ($^{\circ}\text{C}$) by month (1904~2014)

Rank	Region	Minimum	Average	Maximum	n	Date
1	Yangpyeong	-30.0	-12.4	0.8	598	1981.1
2	Cheolwon	-29.2	-8.5	4.7	744	2001.1
3	Hongcheon	-27.8	-13.4	2.4	177	1981.1
4	Daegu	-27.5	-2.7	12.7	734	1942.1
5	Yangpyeong	-27.2	-9.1	3.9	667	1985.1
6	Wonju	-27.0	-10.2	1	401	1981.1
7	Daegwal-yeong	-26.7	-8.3	7	744	2013.1
8	Cheolwon	-26.7	-8.3	6.4	744	2010.1
9	Yangpyeong	-26.7	-7.5	7	645	1986.1
10	Chungju	-26.7	-7.3	1.7	186	1981.1
11	Hongcheon	-26.7	-7.0	8	744	2001.1
12	Daegwal-yeong	-26.6	-8.5	4.7	124	1974.1
13	Daegwal-yeong	-26.4	-10.5	0.8	708	1981.1
14	Daegwal-yeong	-26.3	-10.0	14	708	1984.1
15	Icheon	-26.3	-9.1	18.3	653	1981.1
16	Hongcheon	-26.3	-6.0	19	704	1986.1
17	Daegwal-yeong	-26.2	-7.2	5.4	744	2008.1
18	Dongduchon	-26.2	-7.1	7.1	744	2001.1
19	Hongcheon	-26.1	-7.1	7.9	124	1974.1
20	Wonju	-25.9	-5.9	9	124	1973.12

월 평균 저온 기준으로 가장 낮은 기록은 -13.4°C 를 기록한 1981년 1월의 홍천이나 관측된 데이터가 177건에 불과하여 발생빈도값을 신뢰성있게 추정하는데 한계가 있어 배제하고 평균기온기준으로 두 번째 낮고 최저기온기준으로 가장 낮은 양평의 1981년 1월을 우리나라에서 가장 추웠던 한 달로 결정한다.

양평의 저온 기록도 일간 저온 기록이 발생하는 시간대인 0시부터 4시 사이에 146건의 기온자료가 결측되어있다. 결측치가 발생한 시간대에는 하루의 저온이 발생할 가능성이 매우 높기 때문에 이를 추정하지 않고 발생빈도값을 계산할 경우 결과에 대한 신뢰할 수 없다. 따라서 결측치를 추정하여 발생빈도값을 산출하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 결측치가 발생한 시간대의 일부 관측자료를 이용하여 분포를 추정하고, 추정된 분포를 따르는 난수를 발생시켜 결측치를 추정하였다. 이러한 방식으로 744시간의 기온자료를 구축한 후에 산출된 저온발생 빈도값은 Table 4.2와 같다. 한편, 대구의 고온 발생빈도값과 마찬가지로 Kim과 Kang (2002)과 KS C 0214 (2007)에서 제시한 저온 1% 빈도값인 -21.5°C 와 적지 않은 차이가 발생하고 있는 이유는 추정에 사용한 데이터의 차이에 있다. Kim과 Kang과 KS C 0214에서는 1973년부터 2004년까지 매년 1월에 관측된 모든 자료를 이용하였고, 본 연구에서는 1981년 1월의 한 달 기록만 가혹한 기간으로 인식한데서 기인한다.

Table 4.2 Percentile low temperatures (°C) for South Korea's coldest month (Yangpyeong, Jan. 1981)

%	Nonparametric estimates	Estimates under normal assumption	KS C 0214 & DQAA-05-1132-R
0.5	-29.7	-29.9	
1	-29.0	-29.0	-21.5
2	-27.4	-27.7	
3	-25.9	-26.3	
4	-25.4	-25.8	
5	-25.0	-25.3	-15.0
6	-24.5	-25.0	
7	-24.0	-24.5	
8	-23.5	-24.0	
9	-23.2	-23.6	
10	-22.8	-23.3	-12.2
20	-19.5	-20.1	-9.4
The lowest temperature		-32.6	

Table 4.3은 가장 추웠던 1981년 1월 양평의 저온 1% 일변동과 관련된 습도, 풍속, 일사량을 제시하고 있다. 일변동의 03시 기온 -29.0°C와 1% 빈도값이 일치한다.

Table 4.3 Daily Cycle of Temperature and Other Elements Associated with the Korea's Coldest 1-Percent Temperature Value (Yangpyeong, 1981. 1.)

LST	Temp. (°C)	Relative Humidity (%)	Wind speed (m/s)	Solar radiation (W/m ²)
1	1	-26.7	75	2
2	2	-27.8	76	2
3	3	-29.0	77	2
4	4	-29.1	77	2
5	5	-28.7	78	2
6	6	-28.9	77	2
7	7	-29.3	79	2
8	8	-28.9	79	2
9	9	-29.2	77	3
10	10	-26.1	70	4
11	11	-22.5	63	4
12	12	-19.4	57	4
13	13	-17.2	52	4
14	14	-15.5	50	4
15	15	-14.7	52	4
16	16	-15.2	51	4
17	17	-16.6	54	4
18	18	-18.6	60	4
19	19	-20.4	62	4
20	20	-21.5	65	4
21	21	-22.9	69	4
22	22	-24.0	70	4
23	23	-24.9	72	4
24	24	-25.7	73	3

5. 결론

군수품의 환경시험은 전 수명주기 동안 영향을 받을 수 있는 운용환경에 대해서 수요자의 요구조건 즉 작전운용성능에 정의된 기후인자별 운용위험도 또는 수명을 보장함을 입증하는 과정이다. 군수품은 수

송-저장-운용의 수명단계를 거치면서 온도, 습도, 강우, 일사 등 다양한 환경요소에 의한 영향을 받는다. 사용 환경에 대한 내환경성을 입증하지 못한 군수품은 운용단계에서 인적·물적 피해를 야기할 수 있으며, 나아가 임무달성에 심각한 지장을 초래할 수 있다. 따라서 군수품 획득을 기획하는 단계에서 군수품이 노출될 수 있는 환경조건을 고려하여야하며, 이를 바탕으로 설계 기준 및 시험평가 기준을 설정할 필요가 있다.

한국에서 운용될 무기체계의 환경시험기준을 설정함에 있어 전세계를 운용 대상으로 하는 미국의 환경시험 기준을 적합화 (tailoring) 과정을 거치지 않고 적용하면, 한국의 환경과 부합하지 않으므로 체계 개발 및 조달 비용이 증가하거나 운용 및 수리비가 과다하게 발생할 수 있다.

본 연구에서는 한국 내륙지역의 1904년부터 2014년까지 111년간 132개 관측지점의 온도자료를 분석하여 고온 및 저온에 대한 설계기준을 제시하였다. 1개월 기준으로 가장 더웠던 지역과 가장 추웠던 지역으로 1994년 7월의 대구와 1981년 1월의 양평을 선택하였다. 고온 및 저온의 0.5%부터 20% 발생빈도까지 추정된 결과를 제시하였으며 특히 1% 발생빈도값은 고온 38.7℃와 저온 -29.0℃로 나타났다. 이들 지역의 기후 환경을 기준으로 고온 및 저온 1%에 대응하는 상대습도, 풍속, 태양복사를 포함하는 고온 및 저온의 일주기표도 제시하였다.

본 연구에서는 온난화 현상을 고려하지 않았다. 최근 빈번하게 급속한 전지구적 이상 기후 현상은 장기간 사용하는 무기체계의 온도설계 기준을 설정할 때 고려하여야할 중요한 요소라고 할 수 있다. 끝으로 Lee (2014, 2015)의 연구와 같이 세분화된 지역별 특성을 반영한 발생빈도값을 추정하는 것도 적합화의 차원에서 의미가 있겠으나 지나친 세분화는 실질적 적용의 어려움이 적지 않음을 주의해야한다.

References

- Kim, I. S. and Kang, C. W. (2002). A temperature analysis study of east asia for generation of temperature specification. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, **5**, 11-22.
- KS C 0214. (2007). *Test method standard for environmental tests*, Korean Agency for Technology and Standards, Seoul, Korea.
- Lee, H. J. (2014). Analysis of statistical models on temperature at the Seosan city in Korea. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **25**, 1293-1300.
- Lee, H. J. (2015). Analysis of statistical models on temperature at the Suwon city in Korea. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **26**, 1409-1416.
- MIL-HDBK-310. (1997). *Global climatic data for developing military products*, U.S. Department of Defense (DoD), Washington, DC.

A study on the temperature guidelines for weapon system test and evaluation in the Korean peninsula[†]

Jayoung Moon¹ · DongGil Kim² · InChul Sung³ · YeonWoong Hong⁴

¹²³Defense Agency for Technology and Quality

⁴Department of Management, Dongyang University

Received 7 November 2016, revised 24 November 2016, accepted 26 November 2016

Abstract

This paper suggests a temperature guidance for requirements which must be addressed in the preparation of specifications for military equipment used in land applications in the Korean peninsula. In general, the equipment should be designed to operate during all but a certain small percentage of the time. Daegu and Yangpyeong are the hottest and coldest regions by month, respectively, based on surface weather observations over 132 regions from 1904 to 2014. The 1-percent high and low temperatures for land environment in the South Korea are 38.7°C, and -29.0°C, respectively. This paper also presents the temperature values occurring for specified frequencies of occurrence during the most severe month. Diurnal cycles associated with the hottest and coldest top one-percent temperatures, including associated solar radiation, relative humidity, and wind-speed are provided.

Keywords: Environmental test, frequency of occurrence, land environment, temperature design criteria.

[†] This work was supported by the Civil-Military Technology Cooperation Program funded by the Defense Acquisition Program Administration (No. 15-DU-UNI-04).

¹ Researcher, Defense Agency for Technology and Quality, 52-8, 28st Dongwon-ro, Suseong-Gu, Daegu 42037, Korea.

² Senior researcher, Defense Agency for Technology and Quality, 52-8, 28st Dongwon-ro, Suseong-Gu, Daegu 42037, Korea.

³ Team manager, Defense Agency for Technology and Quality, 52-8, 28st Dongwon-ro, Suseong-Gu, Daegu 42037, Korea.

⁴ Corresponding author: Professor, Department of Management, Dongyang University, Youngju 36040, Korea. E-mail: hong@dyu.ac.kr