

## 기상 상태 변화에 따른 직육면체의 재질별 표면온도 변화 특성에 대한 실험 연구

### Experimental Study on Surface Temperature Variation Characteristics of Rectangular Parallelepipeds Constructed by Different Materials for Varying Meteorological Conditions

김 동 건\*      최 준 혁\*      길 태 준\*      김 정 호\*\*      김 태 국\*  
Dong-Geon Kim      Jun-Hyuk Choi      Tae-Jun Kil      Jung-Ho Kim      Tae-Kuk Kim

#### Abstract

The spectral radiance received by a remote sensor is consisted of the self-emitted component directly from the target surface, the reflected component of the solar irradiance at the target surface, and the scattered component by the atmosphere without ever reaching the object surface. In general, the self-emitted component is the most important part in the infrared signatures from the target. We measured the solar irradiation, sky irradiation, air temperature, wind velocity, wind direction, relative humidity, and atmospheric pressure together with the surface temperatures of rectangular parallelepiped targets. The measured diurnal surface temperature variations on the three different rectangular parallelepiped targets constructed by the steel, aluminum and bakelite are obtained at the same time intervals. The measured surface temperature results show that the top surface temperature of bakelite recorded up to 7.6°C higher than that of aluminium and 6.1°C higher than that of steel at 11 AM on the sunny condition. A complete set of measured data including the surface temperature of rectangular parallelepiped targets together with the detailed weather information can be a valuable reference for future study.

Keywords : Surface Temperature(표면온도), Weather Condition(기상조건), Solar Irradiation(태양복사), Sky Irradiation(대기복사), Material(재질)

#### 1. 서론

적외선 탐색기(Infrared Seeker)는 물체와 그 주변 배

경 사이에 대비되는 값을 인식하기 때문에 이와 같은 대비 값은 군사적으로 매우 중요한 인자로 여겨진다. 특히 주변 환경 조건이 거의 균일한 온도 및 복사 특성을 갖는 경우 그 조건 하에 위치한 물체는 주위 배경에 비해 뚜렷하게 대비되는 온도 및 복사 특성을 가지게 되기 때문에 적외선 특성을 이용하는 유도 무기에 쉽게 노출될 수 있는 위험성이 있다. 적외선 유도 미사일은 이러한 대비 특성을 적극적으로 이용하고

† 2011년 12월 30일 접수~2012년 3월 23일 게재승인

\* 중앙대학교(Chung-Ang University)

\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김태국(kimtk@cau.ac.kr)

있어 현재 군사적 용도로써 가장 위험도가 높다고 인식되고 있다. 적외선 신호의 경우 방어하는 입장에서 살펴보면 레이더와는 달리 상대방이 자신을 탐지한다는 사실을 인지하지 못한 상태에서 추적당하는 경우가 많아 그 위험성이 대단히 높다. 이러한 기술은 현대전에서 적외선 호밍 방법 등으로 발전해 나가고 있으며 전 세계적으로 적외선 스텔스 기능에 관하여 많은 관심을 가지는 계기가 되어왔다. 따라서 국내에서도 자체적인 적외선 신호 분석 연구가 필요한 실정이며 현재 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[1~3]</sup>. 앞서 언급한 바와 같이 주위에 은폐물이 전혀 없는 물체의 적외선 신호는 주변 환경의 적외선 신호에 비해 뚜렷한 차이를 갖게 되어 보다 쉽게 상대방에게 노출될 수 있다. 그러나 물체와 주변 배경과의 적외선 복사휘도 차이는 물체의 적외선 표면 특성(온도, 방사율, 반사율 등)에 변화를 가함으로서 상대적으로 적은 값을 갖도록 조절할 수 있다. 이와 같이 물체의 표면 특성을 변화시켜서 주변 배경과 물체로부터 나오는 적외선 신호 값 사이의 차이가 최소가 되도록 하는 기술은 인명 및 군용 장비의 보호 차원에서 매우 중요하다고 할 수 있다<sup>[4]</sup>.

원거리에 위치하고 있는 적외선 센서는 물체 자체에서 방출되는 복사에너지, 외부 광원이 물체 표면에서 반사되어 나오는 복사에너지 및 센서가 향하고 있는 경로 상의 대기에서 산란된 복사에너지를 탐지하게 된다. 이 중 물체 자체에서 방출되는 복사에너지는 물체 표면의 온도에 기인하며 외부로부터 물체 표면에서 반사되어 나오는 복사에너지는 태양 혹은 대기복사에너지의 양과 물체 표면의 반사율 등에 영향을 받는다. 대기에서 산란된 복사에너지 성분은 물체와는 상호 관련이 없다. 물체 자체에서 방출되는 복사에너지는 전체 복사에너지 성분 중 가장 높은 분율을 차지하고 있기 때문에 표면온도 또한 중요한 요소로써 분석되어야 한다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서에 도달되는 복사휘도 중 물체 자체에서 방사되는 에너지를 분석하는 데 있어서 필수적인 직육면체의 표면 온도 데이터를 계측하였다. 특히 24시간 외부 환경요소에 의하여 변화하는 특성을 분석하기 위하여 기상조건(대기온도, 풍향, 풍속, 상대습도, 대기압) 및 일사량(태양복사, 대기복사)을 5분 간격으로 24시간 동안 각각 계측하였으며, 이러한 인자들의 특성을 반영하여 각 재질(알루미늄, 스틸, 백크라이트)에 따른 직육면체

의 표면온도 역시 5분 간격으로 24시간 동안 각각 계측하여 분석하였다.

## 2. 태양 및 대기 복사에너지 계측 장비

본 연구에서는 태양 및 대기로부터의 복사에너지를 계측하기 위해 EPLAB 사의 계측 장비를 이용하였다. 이 계측 장비는 측정 장소의 위치 정보와 표준 시간을 입력 받아 자동적으로 태양의 위치를 추적하는 장치(Solar Tracker)와 태양의 직사 성분을 측정하는 센서(NIP : Normal Incidence Pyheliometer), 태양의 확산 성분을 측정하는 센서(PSP : Precision Spectral Pyranometer), 대기 복사에너지 성분을 측정하는 센서(PIR : Precision Infrared Radiometer)로 구성되어 있다. 각각의 센서는 Fig. 1과 같은 형태로 장착되어 운용된다. 측정에 이용된 센서는 세계 기상 기구(World Meteorological Organization)에서 1등급으로 인정받은 모델이며 다음 Table 1에 각각의 센서에 대한 사양을 나타내었다. 태양의 직사 성분은 추적 장치에 의해 지속적으로 태양을 바라보며 직사 성분 값을 계측한다. 태양의 확산 성분은 0.285~2.8 $\mu$ m 파장대역 내의 태양 복사에너지를, 대기 복사 성분은 3.5~50 $\mu$ m 파장대역 내의 대기 복사에너지를 측정하는 것을 의미한다<sup>[6]</sup>.

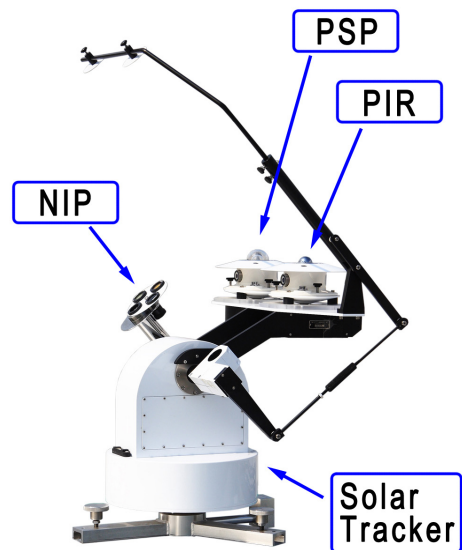


Fig. 1. Solar and Sky Irradiations Measuring Equipment

Table 1. Sensor Specifications

(a) Direct Solar Component Measuring Sensor

NIP(Normal Incidence Pyheliometer)	
Sensitivity	approx. $8\mu V/Wm^{-2}$
Impedance	approx. $200\ Ohms$
Temperature Dependence	$\pm 1\%$ over ambient temperature range -20 to $+40\ ^\circ C$
Linearity	$\pm 0.5\%$ from 0 to $2800\ W/m^2$
Response time	1 second
Calibration	reference Eppley primary standard group of pyrheliometer

(b) Diffuse Solar Component Measuring Sensor

PSP(Precision Spectral Pyranometer)	
Sensitivity	approx. $9\mu V/Wm^{-2}$
Impedance	approx. $650\ Ohms$
Temperature Dependence	$\pm 1\%$ over ambient temperature range -20 to $+40\ ^\circ C$
Linearity	$\pm 0.5\%$ from 0 to $1400\ W/m^2$
Response time	1 second
Calibration	Integrating hemisphere

(c) Sky Irradiation Measuring Sensor

PIR(Precision Infrared Radiometer)	
Sensitivity	approx. $4\mu V/Wm^{-2}$
Impedance	approx. $700\ Ohms$
Temperature Dependence	$\pm 1\%$ over ambient temperature range -20 to $+40\ ^\circ C$
Linearity	$\pm 0.5\%$ from 0 to $700\ W/m^2$
Response time	2 second
Calibration	Blackbody reference

### 3. 기상조건 계측 장비

물체의 표면온도에 영향을 미치는 기상조건으로는 대기온도, 풍향 그리고 풍속이다. 풍향 및 풍속의 경우 최초 계측 시점의 표면온도를 시간이 흐름에 따라 대기온도에 열평형을 이루는 경향에 영향을 미치게 된다. 따라서 물체의 표면온도를 분석하기 위해서는 대기온도, 풍향 및 풍속이 매우 중요한 데이터로 이용되기 때문에 이를 함께 계측하였다.

시간에 따라 다변하는 이러한 기상조건은 현재 휴대용 측정 장비로 해외에서 널리 사용되고 있는 Casella사의 NOMAD를 이용해 측정하였다<sup>[7]</sup>. 본 측정 장비는 대기온도, 풍향, 풍속을 비롯해 상대습도, 기압, 강수량 등을 주어진 시간 단위에 따라 측정이 가능하다.



Fig. 2. Meteorological Conditions Measuring Equipment

### 4. 실험 장비 구축 방법

본 연구에서는 각기 다른 재질에 따른 표면온도 분석을 위해 스틸, 알루미늄, 백크라이트 총 3가지 재질을 이용하였다. 각각의 재질로 구성된 직육면체는 Fig. 3에 나타난 바와 같은 크기(두께 : 5mm)로 제작되었으며, 모두 옅은 회색으로 도장되어 있다. 내부에는 직육

면체의 각 방향 별로 내부에 4mm 깊이의 구멍을 뚫고 그 안에 구리 성분이 함유된 도전성 접착제를 이용해 열전대(Thermocouple K-type)를 부착하여 표면온도를 측정하는 데 이용하였다. 이러한 방법은 사전에 알루미늄 평판을 이용해 검증 과정을 수행하였으며, 동일 조건에서 각 센서 간 온도 편차는 1°C 내외로 나타났다. 이렇게 부착된 열전대로부터 측정된 직육면체의 표면온도는 데이터로거를 통해 주어진 시간 간격에 따라 저장된다<sup>[5]</sup>.

실험은 중앙대학교 공과대학 옥상에서 2011년 8월 23일 0시부터 24시간동안 진행되었으며, 실험 장비는 Fig. 4와 같이 구축하였다. 직육면체 3개를 옥상 위에 배치하고 표면에 연결되어 있는 온도 센서를 데이터로거에 연결 후 5분 간격으로 데이터를 측정, 저장하였다. 표면온도 측정과 동시에 태양 및 대기복사에너지와 기상조건도 같은 시간 간격으로 측정하였다.

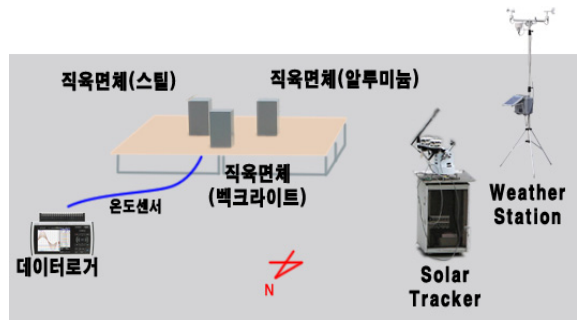


Fig. 4. The Site of Surface Temperature Measuring Experiment

Table 2. Geographical Conditions

위치	위도	경도
서울, 대한민국	37.3N	126.57E

Table 3. Material Properties of Objects

재질	열전도계수 [W/m K]	비열 [J/kg K]	밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]
스틸	52.019	460.97	7768.98
알루미늄	201.07	884.25	2770.09
백크라이트	22.23	1590	1260

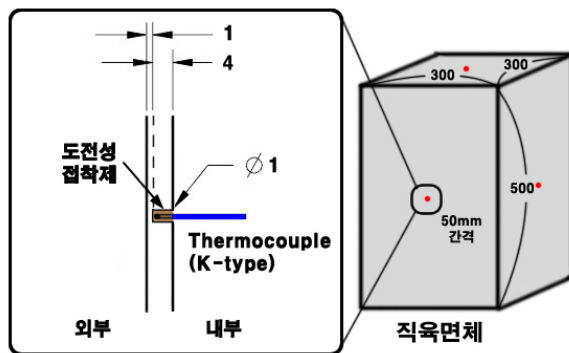
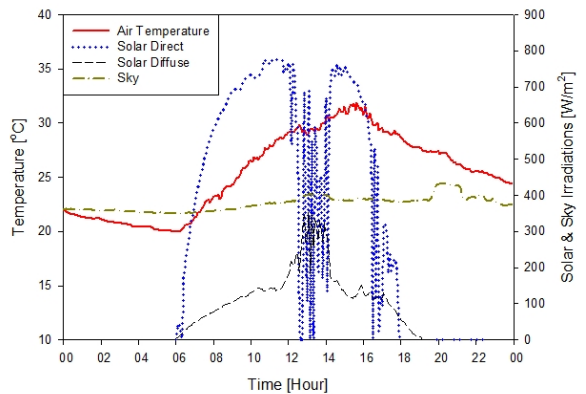


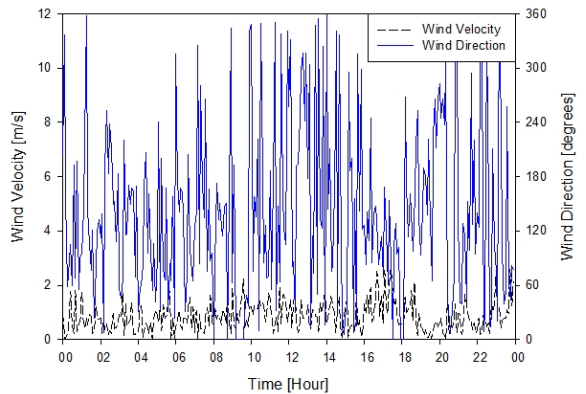
Fig. 3. Method of Measuring Surface Temperature

## 5. 측정 결과

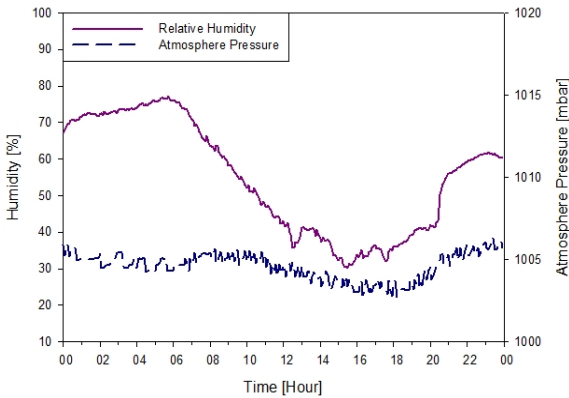
### 가. 태양, 대기복사에너지 및 기상조건



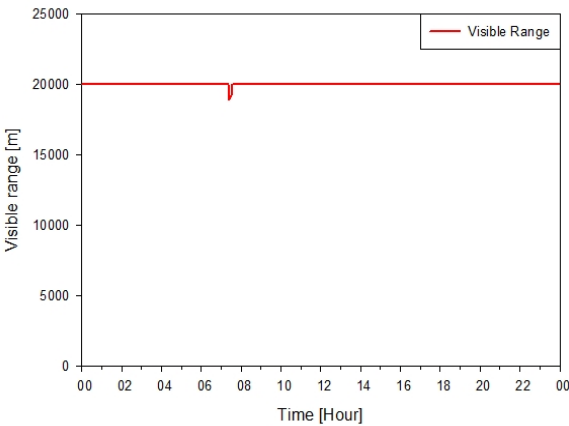
(a) Solar, Sky Irradiations and Air Temperature



(b) Wind Speed and Directions



(c) Relative Humidity and Atmosphere Pressure



(d) Visible Range

Fig. 5. Measured Meteorological Conditions

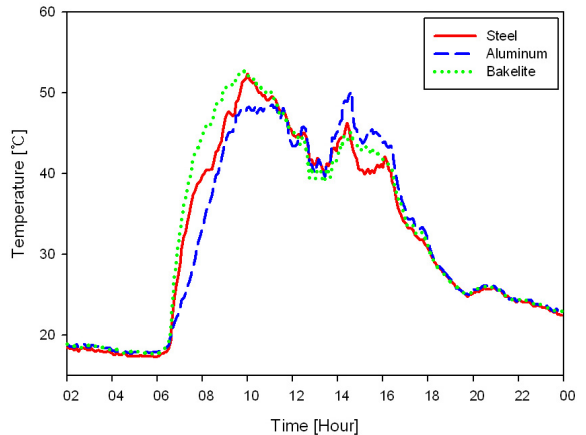
Fig. 5에는 8월 23일 0시부터 24시간동안 5분 간격으로 측정된 기상조건이 나타나있다. 주간에 표면온도에 가장 큰 영향을 미치는 태양의 직사 성분의 경우 11시 근처에 가장 큰 값을 나타냈으며 12시부터 14시 사이에는 태양의 직사 성분이 상당 부분 감소되었으며 반면에 태양의 확산 성분은 12시부터 14시 사이에 급격하게 증가되었음을 확인할 수 있다. 태양의 직사 성분은 태양으로부터 직접 물체에 도달하는 성분을 뜻하며, 태양의 확산 성분은 태양에서 대기 혹은 구름을 거쳐 물체에 도달하는 성분을 뜻한다. 가시거리는 주로 안개 혹은 공해에 의한 스모그의 영향을 받으며 6시 경을 제외하고는 대부분 20km의 깨끗한 기상 상태를 보여주었다. 따라서 12시부터 14시 사이의 태양 직사 성분 감소 및 태양 확산 성분 증가 현상은 구름의

영향으로 태양이 가려지는 이유로 나타난 것으로 확인할 수 있다. 대기 온도는 일출 이후 태양의 영향에 의해 지속적으로 증가하여 15시 근처에서 하루 중 가장 높은 값을 나타내었다. 상대 습도의 일간 변화는 대기 온도의 변화와 반비례 한 특성을 보여주는데 이는 맑은 날에 일반적으로 나타나는 현상이다.

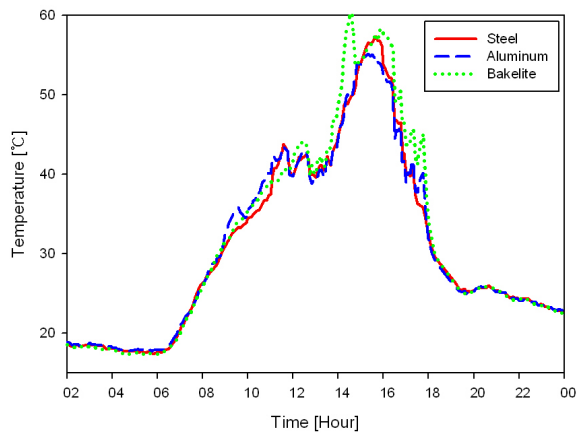
나. 표면온도

Fig. 6에는 직육면체의 재질별, 방향별로 5분 간격으로 측정된 표면온도 결과에 대해 나타내었다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 표면온도는 동, 서, 남, 북쪽을 향하는 면 그리고 윗면의 중심점에서 계측하였다.

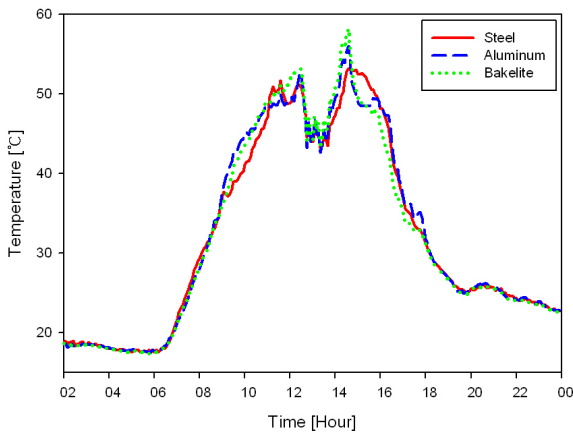
먼저 재질별 특성에 따른 표면온도 변화를 살펴보면 세 가지 재질 모두 태양 복사에너지의 직사 성분 변화



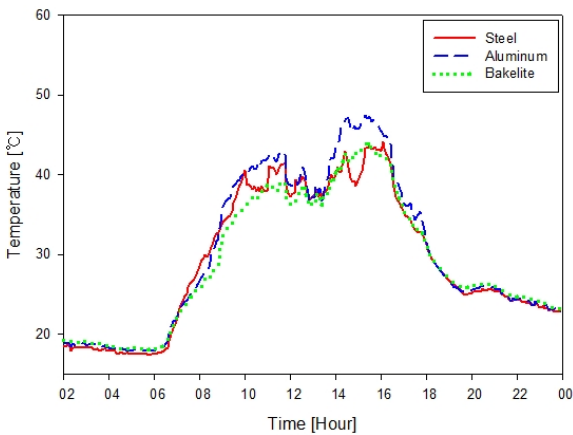
(a) East-side



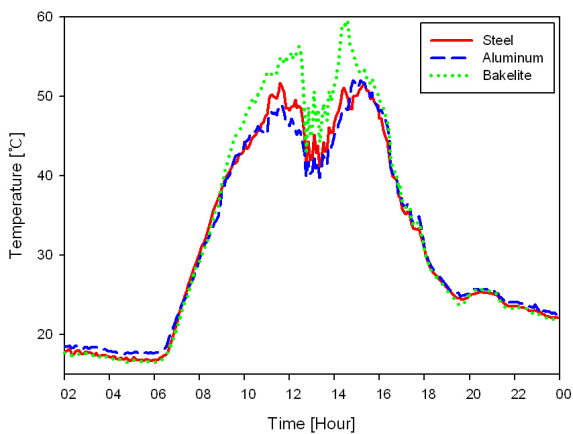
(b) West-side



(c) South-side



(d) North-side



(e) Upper-side

Fig. 6. Measured Surface Temperature

와 비슷한 경향을 갖는 것을 확인할 수 있다. 동쪽면 일출 후의 온도 변화와 윗면의 전체적인 온도 변화를 살펴보면 전반적으로 백크라이트, 스틸, 알루미늄 순서로 태양의 직사 성분에 대한 반응이 민감하게 나타나고 있다. 특히 백크라이트 재질의 경우 태양의 직사 성분이 구름의 영향 없이 계속 받아왔던 11시경에 윗면에서 알루미늄 대비 7.6°C, 스틸 대비 6.1°C의 온도 차를 보였다. 또한, 태양의 직사 성분 영향을 받지 않는 북쪽면의 경우 백크라이트 재질의 표면온도가 전반적으로 가장 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 각 재질의 열전도 특성의 차이로 인해 발생된 것으로 열전도율이 가장 높은 알루미늄의 경우 태양의 직사 성분에 의해 올라간 표면온도가 주변으로 비교적 빠르게 전도되어 북측면의 표면온도에도 영향을 준 반면 열전도율이 가장 낮은 백크라이트의 경우는 알루미늄과 반대되는 결과를 나타내는 데서 확인할 수 있다.

방위별 특성에 대해 살펴보면 동쪽면의 경우 주로 오전에 태양의 직사 성분을 정면으로 받아들이기 때문에 오전 시간대에 가장 높은 온도 값을 나타내며 오후에는 태양의 직사 성분의 영향이 적은 북쪽면의 경향을 따라 가는 것을 확인할 수 있다. 서쪽면의 경우는 마찬가지로 이유로 오후 14시부터 16시경까지 다른 면에 비해 표면온도가 높게 측정되었다. 또한, 태양으로부터 직사 성분을 많이 받는 남쪽면과 윗면은 북쪽면과 대비했을 때 주간의 온도 차이가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 스틸의 경우 주간 평균 온도가 남쪽면은 38.8°C, 북쪽면은 34.4°C로 4.4°C의 차이가 있는 것으로 나타났다.

표면온도 측정과 함께 측정된 상대습도, 기압, 가시거리의 결과로 미루어보아 실험이 진행된 일자의 기상 상태는 정오 부근에 한 때 구름이 낀 것을 제외하고는 맑은 날씨였음을 확인할 수 있다. 또한, 풍속의 경우 일 평균 0.85m/s로 보퍼트 풍력 계급 1의 수준으로 그 영향이 미비하다고 할 수 있다. 따라서 상기와 같은 맑은 날의 외부 환경에 놓여 있는 물체의 표면온도는 태양의 직사 성분에 따른 영향을 가장 크게 받는 것을 확인할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 원거리에 위치하고 있는 적외선 센서에 도달되는 복사휘도 중 물체 자체에서 방사되는

에너지를 분석하는 데 있어서 중요한 백크라이트, 알루미늄 및 스틸로 구성된 직육면체를 제작하여 표면 온도 데이터를 계측하였다. 분석 결과 모든 재질에서 오전에는 동쪽을 향하는 부분의 표면온도, 정오에는 남쪽 및 위쪽을 향하는 부분의 표면온도, 마지막으로 오후에는 서쪽을 향하는 부분의 표면온도가 상대적으로 높게 나타났다. 직육면체 상부표면의 재질별 온도 변화를 관측한 결과 햇빛이 강하게 비치는 오전 11시경에 백크라이트 표면의 온도는 알루미늄 표면의 온도보다 약 7.6℃, 스틸 표면의 온도보다 약 6.1℃까지 높게 나타나는 것을 관찰하였다. 따라서 주간에는 태양복사에너지가 물체의 표면온도에 많은 영향을 미치게 되며, 야간에는 대기온도, 풍향, 풍속에 의하여 직육면체의 표면온도가 결정됨을 알 수 있다.

본 연구에서는 외부 환경요소(태양 및 대기 복사에너지, 대기온도, 풍향, 풍속)가 표면온도에 영향을 미치는 인자들을 분석하는 실험을 하였으며, 이러한 실험 데이터는 향후에 이루어지게 될 적외선 신호를 계측하는 매우 중요한 기준 데이터로 활용할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 국방 피탐지 감소기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] 최준혁, 박태원, 김태국, “측정된 기상 조건 데이터를 이용한 지상물체의 표면온도 특성 연구”, 한국군사과학기술학회지 제13권 제3호, pp. 470~477, 2010.
- [2] 김윤식, 김정호, 정인화, “함정 적외선신호에 대한 해상계측 및 수치해석”, 선박해양기술 제50호, pp. 13~20, 2010.
- [3] 신종진, 김병주, 윤인오, 김진수, “합성 적외선 영상을 이용한 표적 인지 성능 계산 기법 개발”, 제14차 유도무기 학술대회, pp. 309~312, 2007.
- [4] 최준혁, 김정호, 정인화, 이필호, 김태국, “거제도 해양의 여름 및 겨울철 환경에서 거리에 따른 대기투과도를 고려한 함정의 적외선 신호 특성 분석”, 한국군사과학기술학회지 제13권 제2호, pp. 320~327, 2010.
- [5] Jun-Hyuk Choi and Tae-Kuk Kim, “Numerical and Experimental Studies on Characteristic Surface Temperature Variations of Aluminum Plates Facing Different Directions”, Journal of Mechanical Science and Technology, Volume 24, pp. 2561~2566, 2010.
- [6] EPLAB, <http://www.eppleylab.com>
- [7] Casella NOMAD, <http://www.casellausa.com>