

통계적 방법을 이용한 적외선 신호 대비값 계산 방법 연구

한 국 일,¹ 최 준 혁,¹ 하 남 구,² 장 현 성,² 이 승 하,² 김 동 건,³ 김 태 국^{*1}

¹중앙대학교 기계공학과

²LIG넥스원(주) 탐색기/광학연구센터

³LIG넥스원(주) M&S연구센터

STUDY ON STATISTICAL ESTIMATION OF IR RADIANT CONTRAST

K.I. Han,¹ J.H. Choi,¹ N.K. Ha,² H.S. Jang,² S.H. Lee,² D.G. Kim³ and T.K. Kim^{*1}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang Univ.

²Seeker & EO/IR R&D Lab., LIGNex1 Co., Ltd.

³M&S R&D Lab., LIGNex1 Co., Ltd.

Infrared signals are frequently used to detect objects exposed to wide variety of environmental conditions. Detection by infrared signature is accomplished by distinguishing objects by using the IR radiant contrast between objects and the background. There are several methods of estimating the IR radiant contrast. The inverse distance weighting method, which is one of the IR radiant contrast estimation method using the effect of distance from objects, is known to be an effective way to analyze radiant contrast for complex backgrounds. However this method has a disadvantage of requiring a long calculation time. In this study we propose a statistical method of estimating the IR radiant contrast by using randomly selected pixels of arbitrary number among background pixels to reduce calculation time. Some measured IR images in MWIR and LWIR regions are used to test the applicability of the method proposed and we found that the proposed method is very effective in determining the IR radiant contrast showing very rapid estimation with minor accuracy loss.

Key Words : 적외선 신호(Infrared Signal), 적외선 신호 대비값(IR Radiant Contrast), 통계적 방법(Statistical Method), 역거리 가중 방법(Inverse Distance Weighting Method)

1. 서 론

물체의 표면온도가 절대온도 0 K 이상일 경우에는 표면에서 전자기적 신호가 방출된다. 방출되는 신호 중 가시광선과 마이크로파 사이에 존재하는 적외선 신호는 일반적으로 태양 등과 같은 광원이 존재하지 않는 야간에 물체를 탐지하거나 식별하는데 자주 이용된다. 이러한 이유로 적외선 신호를 이용한 탐지방법은 군사용도로 광범위하게 활용되고 있으며, 주로 유도미사일에 적외선 센서를 장착하여 물체를 탐지하고 추적하는데 이용된다. 특정 신호를 방출하여 물체에 반사되어 되돌아오는 신호를 탐지하는 방법인 레이더와 달리 적외선

센서를 이용한 물체 탐지 기법은 물체에서 자체적으로 방출되는 신호를 탐지하게 되므로 적외선 센서를 탑재한 군사 무기는 큰 위협요소로 존재한다. 이에 따라 적외선 신호의 주된 요인인 물체의 표면온도를 낮추기 위해 외부표면에 물을 살포하여 온도를 냉각시키거나 특수도료를 도포하는 등 물체의 적외선 신호를 감소시켜 물체의 탐지율을 낮출 수 있는 기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1-3].

적외선 센서로 얻어지는 적외선 영상 내에서 물체를 인식하는 과정은 물체의 적외선 신호와 배경의 적외선 신호 사이의 차이를 이용하여 물체가 배경과 구분이 되어 물체의 탐지가 이루어지게 된다. 따라서 물체의 탐지특성을 분석하기 위해서는 물체의 적외선 신호뿐만 아니라 배경의 적외선 신호까지 반영하여 분석을 수행해야 하며, 이를 위하여 먼저 적외선 신호의 특성을 파악해야 한다. 적외선 신호는 크게 3가지 성분으로 구성되며, 물체 표면에서 자체적으로 방출되는 성분, 표면에 입사된 외부열원의 적외선 신호가 표면에 반사되

Received: December 13, 2016, Revised: February 8, 2017,

Accepted: February 8, 2017.

* Corresponding author, E-mail: kimtk@cau.ac.kr

DOI <http://dx.doi.org/10.6112/kscfe.2017.22.1.037>

© KSCFE 2017

어 나가는 성분, 그리고 물체와 상관없이 센서와 물체 사이에 존재하는 대기에서 방출되는 성분이다. 이러한 특성을 고려하여 적외선 신호를 예측할 수 있으며, 적외선 신호 예측 S/W를 활용하여 물체의 탐지특성을 분석한다. 물체의 탐지특성을 정량적으로 분석하기 위해서는 복사강도 대비값을 주로 이용하고 있다. 복사강도 대비값을 계산하는 방법은 크게 3가지로 구분되며, 물체와 배경의 평균 적외선 신호를 이용하는 방법 [4], 물체의 각 픽셀별 대비값을 이용하는 방법[5], 역거리를 이용하는 방법[6]이 있다. 물체와 배경의 평균 적외선 신호를 이용하는 방법은 가장 단순한 방법으로 적외선 영상 내에서의 물체의 위치와 상관없이 결과값이 동일하여 위치에 따른 분석이 불가능하며, 물체의 각 픽셀별 대비값을 이용하는 방법은 주로 수평적으로 동일한 특성을 가지는 해양환경에서 주로 이용되는 방법이다. 역거리를 이용하는 방법은 물체의 근접한 배경의 영향을 반영하기 위해 개발된 방법으로서 복잡한 적외선 배경환경에 대해 수치적/가시적으로 물체와 배경의 적외선 신호 값을 가장 효과적으로 분석이 가능하다. 하지만 역거리를 이용한 적외선 신호 대비값 분석은 모든 픽셀을 고려하여 계산하기 때문에 많은 계산시간이 소요되며, 이로 인해 다양한 배경 및 기상조건에 대한 물체의 탐지특성을 분석하기 위해서는 소요시간이 크다는 단점이 존재한다[4-6].

본 연구에서는 역거리를 이용한 적외선 신호 대비값 분석 방법의 계산 소요시간을 단축하기 위해 임의로 선택된 특정 개수의 픽셀을 이용하여 적외선 신호 대비값을 계산하는 방법에 대해 분석하였다[7]. 적외선 신호 대비값 분석의 정확도 손실을 최소화하면서 계산 소요시간을 단축시킬 수 있는 적정 선택 픽셀 수를 파악하기 위해 정량적 분석을 수행하였으며 최적 픽셀 선택 수를 제시하고자 하였다. 이를 위해 배경 영역에 해당하는 픽셀을 임의로 선택하여 적외선 신호 대비값을 분석하였으며, 선택한 픽셀 수에 따른 정확성을 분석하여 최적의 픽셀 선택 수를 결정하였다. 이를 통해 복잡한 배경에서의 적외선 신호 대비값의 정확성을 확보하면서 시간 및 경제적 효과를 확보하고자 한다.

2. 이론적 배경

물체의 적외선 신호를 정량적으로 분석하는 방법으로 주로 적외선 복사강도 대비(Contrast Radiant Intensity, CRI [W/sr]) 값을 이용한다. 이를 통해 배경과 물체의 적외선 신호차이를 계산할 수 있으며, 물체의 적외선 피탐지성을 분석하는데 이용된다. 본 논문에서는 물체와 배경 사이의 적외선 신호차이를 분석하기 위해 역거리 가중 방법(Inverse distance weighting method)을 이용한 적외선 신호 대비값 분석 방법을 사용하였다. 역거리 가중 방법은 물체와 가까운 거리에 있는 배경에

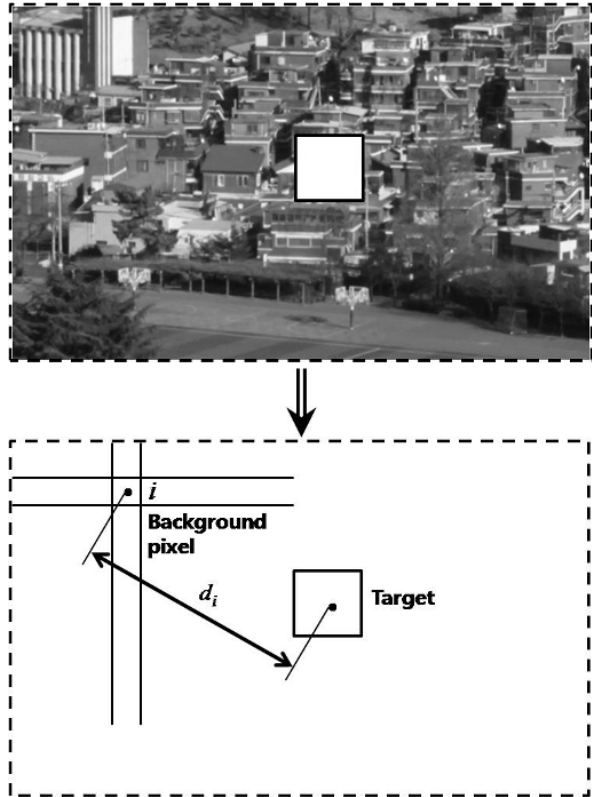


Fig. 1 Inverse distance weighted method[6]

대한 영향을 크게 하고 거리가 멀어질수록 영향을 작게 미치도록 한 방법으로 다음 수식으로 나타낼 수 있다[6].

$$CRI = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_b} \frac{CR_i}{d_i^n}}{\sum_{i=1}^{N_b} \frac{1}{d_i^n}} \right) \times A_{target} \quad (1)$$

여기서 N_b 는 적외선 영상 내에서 배경 영역이 차지하는 픽셀 수, d_i 는 적외선 영상 내에서 물체와 i 번째 배경 픽셀 사이의 거리 그리고 $A_{target}[m^2]$ 은 영상 내에서 물체가 차지하는 영역을 나타낸다. 물체와 배경의 거리를 계산하는 방법은 Fig. 1에 나타내었다. 또한 n 은 가중치(order of weight)로 숫자가 커질수록 가중 정도가 크게 나타나며 본 논문에서는 거리에 따른 적외선 신호 차이의 가중치를 효과적으로 나타내기 위해서 $n=2$ 로 설정하여 계산을 수행하였다. $CR_i[W/m^2sr]$ 은 물체의 평균 적외선 신호와 배경 내의 i 번째 픽셀의 적외선 신호 차이를 나타내며 수식으로는 다음과 같이 표현된다.



Fig. 2 IR image of urban zone(MWIR region)

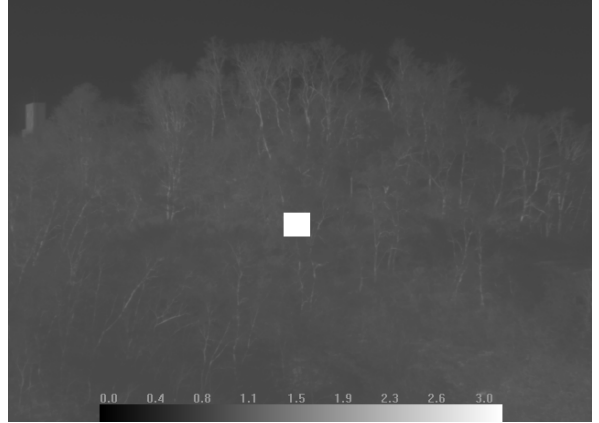


Fig. 4 IR image of forest zone(MWIR region)



Fig. 3 IR image of urban zone(LWIR region)



Fig. 5 IR image of forest zone(LWIR region)

$$CR_i = \left| \overline{L_{target}} - L_{background,i} \right| \quad (2)$$

여기서 $L_{background,i}$ 는 i 번째 선택된 배경 픽셀의 적외선 신호 값을 의미한다. $\overline{L_{target}}$ 은 물체의 평균 적외선 신호 값을 나타내며 다음 수식으로 계산할 수 있다.

$$\overline{L_{target}} = \frac{1}{A_{target}} \sum_{i=1}^{N_t} L_{target,i} \Delta A_i \quad (3)$$

여기서 A_{target} 은 물체의 전체면적, N_t 는 적외선 영상 내에서 물체가 차지하는 픽셀의 총 개수, $L_{target,i}$ 는 i 번째 물체 픽셀의 적외선 신호 값, ΔA_i 는 i 번째 픽셀의 투영 면적을 의미한다.

3. 적용 조건

본 논문에서는 임의적으로 선택한 배경 픽셀의 총 개수 (N_b)에 따른 적외선 신호 대비값을 분석하여 정확성을 확보 하면서 계산량을 단축시키고자 하였으며, 선택한 픽셀의 수에 따른 적외선 신호 대비값을 분석하였다. 적외선 신호 대비값을 분석하기 위해 실제 촬영된 적외선 영상을 활용하였으며, 물체의 적외선 분석에는 자체 개발한 적외선 신호 예측 프로그램[8]을 이용하였다.

3.1 고려된 적외선 영상

적외선 신호 대비값을 분석하기 위해서는 배경에 해당하는 적외선 영상이 필요하다. 본 논문에서는 적외선 카메라로 실제 촬영한 영상을 활용하였으며, 다양한 파장대역을 고려하기

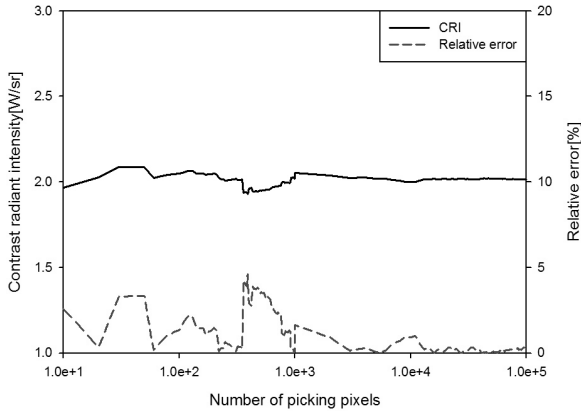


Fig. 6 IR radiant contrast obtained for urban background(MWIR)

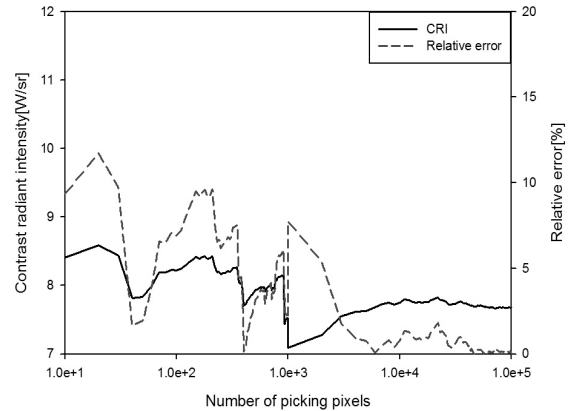


Fig. 7 IR radiant contrast obtained for urban background(LWIR)

위해서 적외선 카메라에 주로 사용되는 MWIR(Mid-wavelength infrared)영역과 LWIR(Long-wavelength infrared)영역에 대한 영상을 이용하였다. 촬영에 사용된 적외선 카메라 특성은 Table 1에 자세히 나타내었다. 배경에 따른 특성을 고려하기 위해 상대적으로 복잡한 배경인 도심배경과 상대적으로 단순한 배경은 산림배경에 대한 적외선 영상을 이용하였으며, 분석에 이용된 적외선 영상은 Fig. 2-5에 나타내었다. 각 적외선 영상을 위치에 따른 픽셀별 데이터를 확보하여 적외선 신호 대비값 분석에 이용하였다. 적외선 영상은 중앙대학교 옥외(37.3°N, 126.57°E)에서 촬영한 영상이다.

3.2 고려된 물체

적외선 신호 대비값을 분석하기 위해서는 물체의 적외선

Table 1 Specifications of IR cameras used

IR camera model	FLIR SC7600BB	FLIR SC7700L
Wavelength ranges	MWIR (3.7 ~ 5.1 μ m)	LWIR (7.5 ~ 9.1 μ m)
Pixel resolution	640 × 512	640 × 512
Field of View	11° × 8.8°	15° × 12°
Noise Equivalent Temperature Difference	< 25 mK	< 20 mK

Table 2 Material properties of test plate

Material	Aluminum
Dimension	1.0 m × 1.0 m
Density	2770.09 kg/m ³
Specific heat capacity	884.25 J/kg·K
Conductivity	201.07 W/m·K
Thickness	5.0 mm
Emissivity	0.9

신호가 필요하다. 물체의 적외선 신호를 획득하기 위해 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 적외선 신호를 획득하였고 실제 측정된 배경 영상의 중앙에 합성하여 선택된 배경 픽셀의 수에 따른 적외선 신호 대비값의 정확성을 분석하였다. 고려된 물체는 알루미늄 재질로 이루어진 정사각형 판으로 가정하였으며, 방사율이 0.9인 회색페인트로 도포되었다고 가정하였다. 적외선 신호에 계산에 필요한 열물성치 및 표면 방사율을 Table 2에 자세히 나타내었다.

3.3 기상 조건

물체에 대한 적외선 신호값을 계산하기 위해서는 해당기상 조건이 필요하다. 3.1장에 나타난 적외선 영상을 촬영할 당시에 해당하는 기상조건 데이터는 기상청으로부터 자료를 획득하여 적외선 신호 분석에 활용하였으며, 이용된 기상조건은 Table 3와 같다.

4. 계산 결과

배경 픽셀 수에 따른 정확성 분석을 하기 위해 임의적으로 선택한 배경 픽셀의 수를 10개부터 최대 327,000개까지 증가 시면서 적외선 신호 대비값을 계산하였다. 개수가 작은 10개

Table 3 Weather conditions applied

Date/Time	2013.11.21 / 14:00
Solar irradiance	452.78W/m ²
sky radiance	351.26W/m ²
Wind speed/direction	1.4 m/s / 245°
Relative humidity	34%
Air temperature	7.4°C

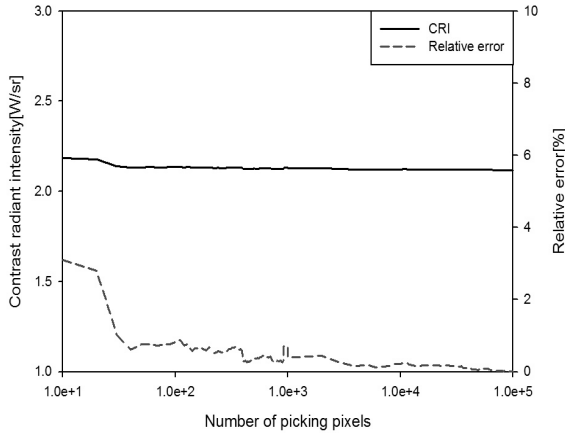


Fig. 8 IR radiant contrast obtained for forest background(MWIR)

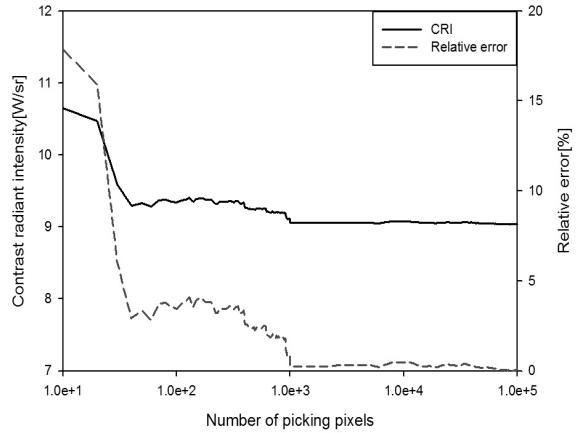


Fig. 9 IR radiant contrast obtained for forest background(LWIR)

부터 1,000개까지는 배경의 픽셀 개수를 10개씩 증가시키면서 분석하였으며, 1,000개부터 327,000개까지는 선택 개수를 1,000개씩 증가시키면서 적외선 신호 대비값을 분석하였다. 도심배경에서의 배경 픽셀의 선택 개수에 따른 적외선 신호 대비값 분석 결과를 Fig 6 및 7에 나타내었으며, 산림배경에 대한 적외선 신호 대비값 분석 결과는 Fig. 8 및 9에 나타내었다. 각 그래프에는 선택 픽셀 수에 따른 적외선 신호 대비값(CRI)과 전체 픽셀을 이용한 결과에 대한 상대오차를 나타내었다. 선택 픽셀 수에 따른 적외선 신호 대비값의 정확성을 분석하기 위해 전체 픽셀을 고려하여 계산한 CRI 값을 기준으로 분석하였으며, 각 영상에 대한 기준 CRI 값을 Table 4에 나타내었다.

선택 픽셀 수에 따른 분석 결과, 배경이 복잡한 도심배경의 MWIR영상에서는 임의로 선택한 배경의 픽셀이 2,000개 이상을 경우 상대오차가 0.99% 이내로 나타남을 확인하였으며, 도심배경의 LWIR영상의 경우에는 선택한 픽셀 수가 27,000개 이상일 때 상대오차가 0.99% 이내로 나타남을 확인하였다. 상대적으로 배경이 복잡한 산림배경의 MWIR영상의 경우에는 임의로 선택된 픽셀의 수가 40개 이상일 경우 CRI 계산결과가 0.88% 이내로 나타났으며, LWIR영상에서는 940개 이상일 경우에 CRI 값의 상대오차가 0.92% 이내로 나타남을 확인하였다. 복잡한 배경의 적외선 영상에 대해서는 약

27,000개의 배경 픽셀을 선택하여 계산할 경우 1%이내의 정확성을 보장하면서 계산량을 약 0.08배 감소시킬 수 있으며, 단순한 배경의 적외선 영상에 경우에는 약 1,000개의 배경 픽셀을 선택할 경우 1% 내의 정확성을 확보하면서 계산량을 0.003배 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

배경 및 적외선 과장대역을 모두 고려할 경우 선택된 픽셀의 개수가 3,000개 이상일 경우 CRI 값의 상대오차가 약 1.83% 이내로 들어옴을 확인하였으며, 이를 통해 임의적으로 배경의 픽셀을 3,000개정도 선택하여 물체의 적외선 대비 값을 분석할 경우 정확성을 유지하면서 물체의 적외선 신호의 정량적 분석을 수행할 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 다양한 배경의 적외선 영상에서 물체의 적외선 신호 대한 정량적 분석의 계산시간을 단축시키기 위해 임의로 선택된 배경의 픽셀 수에 따른 적외선 신호 대비값의 정확성을 분석하였다. 배경이 복잡한 도심배경에 대해서는 약 27,000개의 배경 픽셀을 임의로 선택할 경우 0.99% 이내의 정확성을 확보가능하며, 배경이 상대적으로 단순한 산림배경에 대해서는 약 940개의 배경 픽셀을 선택할 경우 0.92% 이내의 정확성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 최종적으로 모든 배경 및 과장대역을 고려하여 배경 픽셀을 약 3,000개 선택할 경우 CRI 값의 정확성을 약 2% 이내로 확보할 수 있으며, 계산량을 99.08% 감소시킬 수 있다.

배경 픽셀을 임의로 선택하는 통계적 방법이 적외선 신호 대비값 계산에 대해 정확성을 확보하면서 계산 소요시간을 효과적으로 감소시킬 수 있는 방법임 확인하였다.

Table 4 Reference values for IR radiant contrast obtained by using full pixels of images considered

IR image	Contrast radiant intensity
City(MWIR)	2.021 W/sr
City(LWIR)	7.687 W/sr
Tree(MWIR)	2.119 W/sr
Tree(LWIR)	9.034 W/sr

후 기

본 연구는 LIG넥스원에서 주관하는 연구과제 “3차원 적외선 모델링 소프트웨어 및 영상융합 알고리즘 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 2006, Jacobs, P.A., Thermal infrared characterization of ground target and backgrounds, *SPIE press*.
- [2] 2010, Choi, J.H. and Kim, T.K., "Numerical and experimental studies on characteristic surface temperature variations of aluminum plates facing different direction," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.24, Mo.12, pp.2561-2566.
- [3] 2010, Choi, J.H., Shin, J.M., Kim, J.H. and Kim, T.K., "Study on Infrared Image Generation for Different Surface Conditions with Different Sensor Resolutions," *Journal of the Society of Navel Architects of Korea*, Vol.47, No.1, pp.631-681.
- [4] 2013, Koretsky, G.M, Nicoll, J.F. and Tylor, M.S., A tutorial on electro-optical/infrared(EO/IR) theory and systems, IDA.
- [5] 2002, Stark, E., Heen, L.T. and Wikan, K., SIMVEX 2001 trial - Radiant intensity contrast, FFI Report 2002/02568, Kjeller, Norway.
- [6] 2015, Kim, D.G., Park, S.J., Choi, J.H., Ahn, J.M. and Kim, T.K., "An estimation method for radiation contrast via the inverse distance weighting", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.29, No.6, pp.2529-2533.
- [7] 2015, Quantitative analysis method of the infrared signals using statistical method and apparatus thereof, KR Patent, No.1015811780000.
- [8] 2016, Han, K.I., Kim, D.H., Choi, J.H. and Kim, T.K., "Development of a Generalized S/W for IR Image Generation and Analysis," *Korea computer congress 2016*, pp.155-157.