

# 비냉각 열상시스템에서 TEC-Less를 이용한 절대온도 측정 정밀도 향상 기법

한 준 환 \*

## Novel Accuracy Enhancement Method for Absolute Temperature Measurement Using TEC-LESS Control in Uncooled Thermal Imaging

Joon Hwan Han \*

### 요 약

모든 물체는 절대온도 0도 이상에서 복사에너지를 방출한다. 비냉각 열상시스템은 입사된 복사에너지를 검출하여 신호처리를 통해 영상으로 출력하는 장비이다. 최근에는 비냉각 열상장비를 활용하여 의료, 산업, 및 군수 등의 다양한 분야에 응용 되고 있으며, 다양한 응용분야에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 비냉각 열상 시스템 검출기 내부에 열전소자가 없는 검출기를 보다 효과적으로 제어하여 영상의 화질을 향상시키고 이를 기반으로 온도 측정 정밀도를 극대화 할 수 있는 효율적인 제어기법에 대해 설명한다. 제안하는 기법은 비냉각 열상시스템에 TEC-less 및 온도 검출 알고리즘을 적용하는 것이다. 실제 챔버를 활용하여 시험을 수행한 결과 알고리즘 적용 전 시스템보다 우수한 화질의 영상을 획득하고 온도 측정 정밀도가 1°C이하로 향상됨을 확인할 수 있었다.

▶ Keywords : 비냉각, 열상시스템, 검출기, 열전소자

### Abstract

Every object over 0 °K emits radiant energy based on its own temperature. Uncooled thermal imaging system displays the detected incident radiant energy as an image by signal processing. Recently, the uncooled thermal imaging system is applied to various areas such as medical, industrial, and military applications. Also, several researches are in progress to find new applications of the uncooled thermal imaging system. In this paper, we present effective method for

---

• 제1저자 : 한준환  
• 투고일 : 2012. 11. 7, 심사일 : 2012. 11. 27, 게재확정일 : 2012. 12. 13.  
\* 삼성탈레스(Samsung Thales)

controlling TEC-less detector in the uncooled thermal imaging system and also present the efficient control scheme for maximizing the accuracy of temperature measurement. The proposed scheme is to apply TEC-less and temperature detection algorithm in Uncooled thermal imaging system. In results of tests performed by using the actual chamber, we acquired images of better quality than the former system and temperature measurement accuracy was improved to less than 1 °C.

▶ Keywords : Uncooled, Thermal Imager System, Detector, TEC

## I. 서 론

열상 장비는 빛이 없는 암흑 상태에서도 물체에서 발산하는 적외선(열)을 탐지하여 이를 영상으로 제공하는 장비이다. 열상장비의 이러한 야간 감시기능 때문에 현재 군사용으로 널리 보급되어 있고, 민간분야의 활용용도도 많이 활성화 되고 있다[1]. 적외선 검출기의 특성상 냉각기를 사용하여 극저온에서 적외선 신호를 추출해야 열 잡음을 최소화 할 수 있기 때문에 냉각기를 검출기와 하나의 패키지로 제작하여 장비에 탑재하여 활용하고 있다. 이와 같은 시스템은 고성능의 영상을 제공할 수 있는 고성능 시스템으로써의 장점을 가지고 있다. 그러나, 냉각기를 반드시 탑재해야 하기 때문에 장비의 크기의 증가, 상대적인 높은 가격, 그리고 10분 내외의 냉각기 초기화 시간 등으로 인해 많은 단점을 포함하고 있다[2].

비냉각 방식의 검출기는 검출기 내부에 냉각기 기능을 하는 열전소자(TEC : Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 냉각기의 기능을 대신하고 있다. 이 열전소자의 기능은 검출기의 기준 온도를 제어하여 온도 변화에 따른 영상 화질의 저하를 방지하는 역할을 수행한다. 그러나, 열전소자는 전력 소모가 커 배터리의 수명을 단축시키고, 비냉각 검출기의 가격을 상승 시켜 저가, 휴대형 장비에 적용하기 힘들다. 따라서, 최근에는 비냉각 검출기에서 열전소자를 삭제하여 크기와 가격을 줄이고 온도 정확도를 높이는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[3-5].

본 논문에서는 내부에 열전소자가 없는 비냉각 검출기의 효과적 제어를 통해 영상의 화질저하를 최소화 하고, TEC-less 알고리즘 및 온도검출 알고리즘을 적용하여 고정밀도 온도 측정을 수행한 기법에 대하여 제시한다.

영상 화질 저하 최소화 및 획득 데이터 정밀도 향상을 위하여 TEC-less 알고리즘을 적용하고, 정밀한 온도값 획득 및 실시간 처리를 위한 온도검출 알고리즘을 적용한다.

본 논문은 2장에서 열전 소자에 대하여 설명하고 3장에서

TEC-less 알고리즘 및 온도 검출 알고리즘에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험 결과와 분석을 설명하고, 5장에서는 결론을 설명한다.

## II. 열전소자

프랑스의 Jean Peltier는 서로 다른 금속을 접합한 물질에 전류가 흐르면 한쪽 면은 흡열, 다른 한쪽 면은 발열을 하는 현상을 발견하였다. 이것이 Peltier Effect이다. 이후 영국의 Thomson은 Seebeck 효과와 Peltier 효과의 가역성을 열역학적 이론에 의해 온도 구배가 있는 균일한 조성의 도체에 전류가 흐르면 도체내에 흡열과 발열이 된다는 Thomson 효과를 발견하였다[6][7].

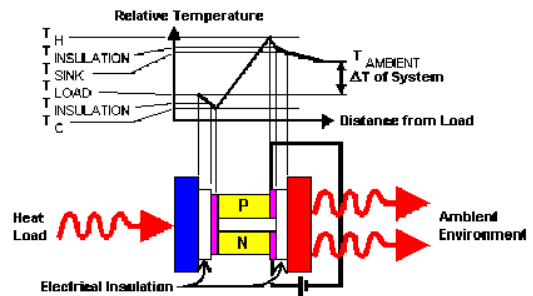


그림 1. Thermoelectric cooling module 구조  
Fig. 1. The structure of Thermoelectric cooling module

그림 1은 열전소자의 구조를 나타낸다. 따라서 열전소자는 외부환경 변화에 따른 검출기 출력특성 변화를 흡열과 발열반응을 통해 일정한 온도로 유지시켜주어 검출기 출력영상을 안정화 시키는 역할을 하게 된다[8][9].

### III. 제안하는 기법

#### 1. TEC-less 제어기법(TEC-less : Thermal Electric Cooler Less)

열전소자는 검출기의 항온을 유지시켜 검출기의 온도 변화에 따라 영상의 화질을 저하시키는 영향은 거의 없게 만드는 소자이다. 하지만 열전소자 부재의 시스템은 검출기의 온도변화에 따라 영상도 다르게 받아들이기 때문에 이를 보상하기 위하여 NUC(Non-Uniformity Correction) 처리 전단에 TEC-less 알고리즘이 필요하다.

TEC-less 알고리즘이란 검출기의 온도변화 및 시간에 따른 Drift 값을 보상해주는 알고리즘(열전소자의 역할)이며, 이는 열전소자가 없는 검출기에서 열전소자가 있을 경우를 감안하여 적용하는 역보상 알고리즘이다. Drift란 입력영상의 변화가 없는데, 검출기 출력값이 변동하는 것을 의미한다.

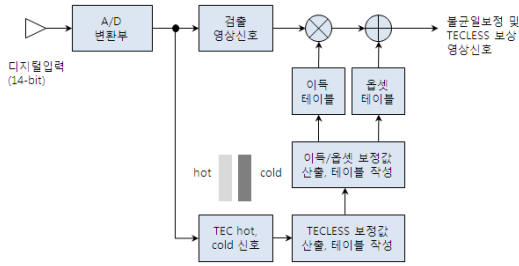


그림 2. TEC-less 알고리즘  
Fig. 2. The flow chart of TEC-less

그림 2는 TEC-less 알고리즘의 구성을 나타낸다. 그림 2와 같이 TEC-less 알고리즘은 NUC 이전에 열전소자에 해당하는 HOT, COLD 데이터를 입력받아 이를 활용한 보정값 산출 및 테이블을 작성하는 방법이다.

$$G \times X_i + O \tag{1}$$

$$X_i = X_i + TEC \tag{2}$$

$$EC = \frac{I_H - I_C}{T_H - T_C} \times (T_D - T_C) \tag{3}$$

$$G = \frac{H - \bar{C}}{H - C} \tag{4}$$

$$O = \bar{H} - H \times G = \bar{C} - C \times G \tag{5}$$

$$O = \frac{H \times \bar{C} - C \times \bar{H}}{H - C} \tag{6}$$

$I$  = 고온(+25℃)일 때 픽셀의 Intensity

$I_C$  = 저온(+20℃)일 때 픽셀의 Intensity

$T_H$  = 고온 온도 값(+25℃)

$T_C$  = 저온 온도 값(+20℃)

$T_D$  = 검출기 온도 값(+22℃)

$X$  = TEC-less, NC 적용 후 출력값

$G$  = NUC Gain 값

$O$  = NUC Offset 값

$\bar{H}$  = 고온 평균값

$H$  = 고온 데이터값

$\bar{C}$  = 저온 평균값

$C$  = 저온 데이터값

예를 들어 Target이 20℃를 그대로 유지한 채 온도 챔버의 온도가 20℃에서 25℃로 상승하였고, 검출기의 온도가 20℃에서 22℃로 상승한다고 가정하면,  $T_H$ 는 25℃,  $T_C$ 는 20℃,  $T_D$ 는 22℃가 된다. 이를 기반으로 식 (3)의 TEC-less 알고리즘을 적용하면 온도변화에 따른 검출기의 온도 상승분에 각 픽셀의 밝기값(intensity)를 곱하면 각 픽셀의 온도변화에 따른 픽셀 밝기값 변화량을 알 수 있고, 이를 활용하여 미리 구해놓은 Gain과 더하여 TEC가 있을 경우의 항온 상태를 유지시킬 수 있다.

그림 3은 TEC-less 적용 전/후의 RAW 데이터와 NUC 데이터에 대한 출력값을 나타낸다. 그래프에서 가로축은 온도의 증가를 말하고, 세로축은 각 픽셀의 밝기 값을 나타낸다. 그림 3에서도 확인할 수 있듯이 TEC-less 적용 전에는 온도를 상승될수록 각 픽셀의 출력 영상의 밝기 값이 감소하고 있으나, TEC-less 적용 후는 출력영상의 밝기 값이 일정하게 유지된다.

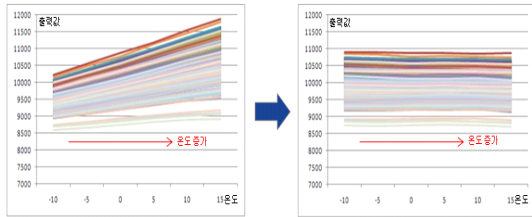


그림 3. RAW 데이터 비교 (a) TEC-less 적용 전 (b) TEC-less 적용 후  
 Fig. 3. The comparison of RAW data (a) before applying TEC-less method (b) after applying TEC-less method

2. 온도 검출 알고리즘

정밀한 온도 검출을 위해서는 검출기 내부 FPA(Focal Plane Array)의 항온유지가 중요하다. 항온 유지를 위한 장치가 없으면 동일한 영상에 대한 검출기의 출력값이 일정하지 않아 절대온도의 온도차가 심하게 발생한다. 이를 극복하기 위해 앞에서 설명한 TEC-less 알고리즘을 통한 출력값을 균일하게 처리한다. 출력값은 디지털 14bit(0~16383)로 표현이 되고, 이 값으로 온도 검출 알고리즘을 적용하면 최종 온도값(-50℃~150℃)으로 전사 된다. 높은 온도검출 정밀도가 필요하고, 실시간(초당 60프레임) 온도 검출을 위하여 온도 검출 알고리즘이 필요하다.

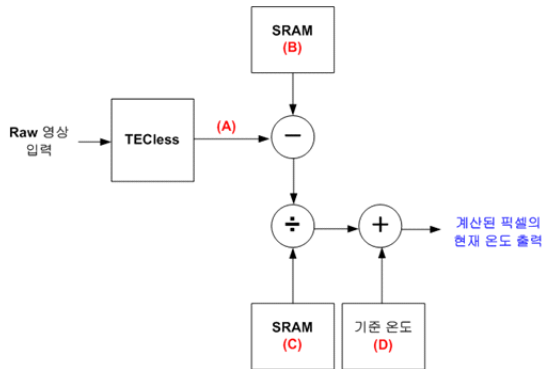


그림 4. 온도 측정 알고리즘 블록도  
 Fig. 4. The flow chart of temperature measurement

그림 4는 온도측정 알고리즘에 대한 블록도이다. 기준 온도에서의 검출기 출력값(B)과 도당 온도변화율(C)을 미리 획득하여 메모리에 저장해 둔다. TEC-less가 적용된 검출기 출력값(A)이 입력되면 SRAM(Static Random Access Memory)에 저장되어 있는 데이터와 온도센서로부터 입력되는 장비 기준온도(D)로 아래의 수식과 같이 현재 온도값을 검출 한다.

식 (7) 은 최종 획득한 온도값을 나타낸다.

식 (8) 은 온도변화에 대한 검출기 출력값을 나타낸다.

$$\frac{Dout_n - Dout_r}{Dout_t} + T_r \tag{7}$$

$$Dout_t = \frac{Dout_h - Dout_c}{T_h - T_c} \tag{8}$$

$T_n$  = 현재 온도

$Dout_n$  = TEC-less가 적용된 검출기 출력값 (A)

$Dout_r$  = 기준 온도에서의 검출기 출력값 (B)

$Dout_t$  = 온도1도 변화에 대한 검출기 출력값(C)

$T_r$  = 기준 온도 (D)

$Dout_h$  = 고온 검출기 출력값

$Dout_c$  = 저온 검출기 출력값

$T_h$  = 고온 온도값

$T_c$  = 저온 온도값

III. 실험 결과

TEC-less 알고리즘 적용을 통한 영상의 화질 개선 여부에 대한 평가는, 적용 전후에 획득된 각각의 온도에 대한 검출기의 RAW 데이터의 노이즈 특성을 분석하여 수행할 수 있다. 노이즈 특성은 식 (9)와 (10)을 이용하여 NETD(Noise Equivalent Temperature Difference)를 계산하여 나타낼 수 있다.

$$= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - m)^2 \tag{9}$$

$$noise = \frac{1}{N} \sum_1^N \delta v_{n, T_i} \tag{10}$$

$N$  = 검출기 pixel (320\*240)

$x_k$  = 계열 k번째 픽셀의 데이터 값

$m$  = 데이터 값의 평균값

$\delta v_{n, T_i}$  : t℃ 일 때 n Pixel의 표준편차

$v$ 는 검출기 출력 데이터

표 1. TEC-less 온도검출 알고리즘 적용 결과  
Table 1. The results of TEC-less method

항목	적용 전 (mV/°C)	적용 후 (mV/°C)
Noise (20°C)	2.1mV /0.42	2.0mV/0.4
Noise (25°C)	7.5mV/1.5	1.9mV/0.38
Noise (30°C)	25.6mV/5.12	2.5mV/0.5
Noise (35°C)	45.3mV/9.06	4.2mV/0.84
Noise (40°C)	54.5mV/10.9	4.9mV/0.98

표 1에서는 외부 온도 변화에 따른 검출기의 출력변화를 나타낸다. 실험 결과 TEC-less 기법과 온도 검출 알고리즘을 통해 픽셀별 실시간 보상을 수행한 결과, 최대 10.9°C의 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다. 또한, TEC-less 알고리즘과 온도검출 알고리즘을 적용하여 노이즈를 개선하고, 사물의 절대 온도 검출 정확도를 1°C이하로 높일 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 5는 최종 영상 출력단에서 저장한 TEC-less, 온도 검출 알고리즘 적용 전/후의 적외선 영상을 나타낸다. 그림에서 코부분의 온도가 알고리즘 적용전 40.9°C에서 적용 후 31°C로 측정되었다. 안경부분은 알고리즘 적용전 35.3°C에서 적용후 25.7°C로 측정되었다.

결과적으로, TEC-less 알고리즘의 적용으로 노이즈 특성과 절대 온도에 대한 Off-set값이 감소하였다. 적용 전 최대 10°C의 Off-set이 존재하지만 알고리즘 적용을 통해 온도 검출 정밀도를 1°C 이하로 높일 수 있었다.

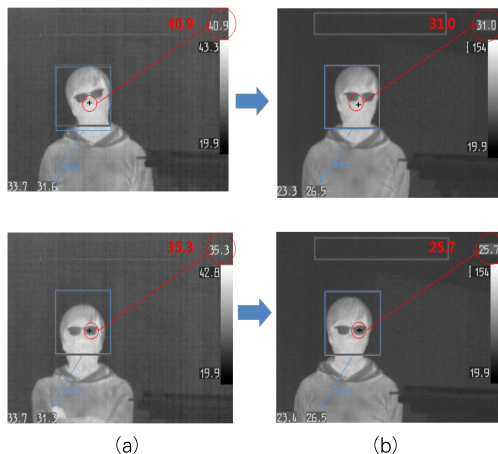


그림 5. 알고리즘 적용 전(a)/후(b) 온도검출영상  
Fig. 5. The image of temperature

그림 6은 최종 영상 출력단에서 저장한 거리별 온도 검출 영상이다. 2m에서 코부분의 온도는 31.9°C, 5m에서 31.6m, 8m에서 31.5m로 측정 되었다. 근거리에서는 거리에 따른 오차값이 0.5°C 이하로 확인 되었지만, 원거리에서는 물체에서 발생하는 적외선에너지가 전달 과정에서 감쇄되어 오차값이 크다.

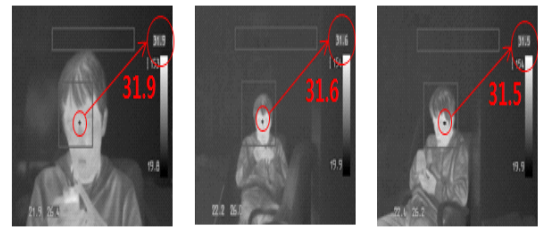


그림 6 온도검출 영상 2m(a),5m(b),8m(c)  
Fig. 6 The image of temperature

그림 7은 최종 영상 출력단에서 저장한 거리별 온도 검출 영상이다. 균일한 블랙바디의 온도가 2m에서 10.5°C, 10m에서 11.3°C, 25m에서 11.5m로 측정 되었다. 25m 이하에서는 거리에 따른 오차값이 1°C 이하로 매우 정밀하지만, 25m 이상에서는 오차값이 1°C가 넘어 온도 검출 정밀도가 낮아진다. 별도의 거리 측정 장비 없이는 물체의 거리가 25m 이하 일때만 정밀하게 온도검출이 되는 것을 확인할 수 있다.

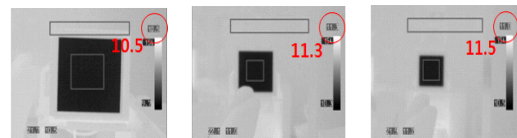


그림 7 온도검출 영상 2m(a),10m(b),25m(c)  
Fig. 7 The image of temperature

#### IV. 결론

본 논문에서 제시한 TEC-less 알고리즘은 TEC(열전소자)가 검출기 내부에 없을 경우 검출기 자체의 크기 축소 및 전력소모 감소 등의 장점이 있어 소형, 경량, 저 전력 설계가 가능하다. 또한 본 알고리즘을 통해 외부 온도변화에 따른 검출기 출력 변화를 정확히 분석하여 픽셀별 실시간 보상을 가능하게 하였다.

또한 온도검출 알고리즘을 적용하여 각 픽셀별 온도 값을 고속(초당 60프레임)으로 획득 가능하게 하였으며, 열영상 카메라를 이용한 온도 측정 장비의 정확도를 최대 10배 이상 향상 시켰다. 비냉각형 온도측정장비를 개발함에 있어 많은 경쟁력이 있을 것으로 판단되며, 향후 의료용, 관측, 보안 및 인명구조 등의 다양한 분야에서 활용될 것으로 예상된다.

본 논문에서 제시한 방법은 근거리에서 높은 정밀도를 가지고 있지만 원거리로 갈수록 에너지가 감쇄되어 오차 값이 커지는 단점이 있다. 이를 극복하기 위하여 거리측정 장비와 연동하여 거리별 검출 데이터 값을 분석하고, 거리별 온도특성에 대해 추가적인 연구를 통하여 거리별 오차 값을 줄일 수 있도록 보완해 나갈 것이다.

### 참고문헌

- [1] Liu, T. and Li, X., "Infrared small targets detection and tracking based on soft morphology Top-Hat and SPRT-PMHT," Image and Signal Processing (CISP), 2010 3rd International Congress on, Vol.2, pp. 968-972, 2010.
- [2] Chen Zhe, Duan Zongtao, Sun Zhaoyun, "ADV212-based High Resolution Still Image Compression System Design," in Second International Conference on Information Technology and Computer Science, pp. 170-173, 2010.
- [3] Zhe Chen, Zong-Tao Duan, "DESIGN AND IMPLEMENT OF HIGH RESOLUTION STILL IMAGE COMPRESSION AND STORAGE SYSTEM," in Proc. of the International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, pp. 55-58, 11-14 July 2010.
- [4] Mohinder S. Grewal, et al., "Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration," A John Wiley & Sons, Ins., 2007.
- [5] Byungin Choi, "Automatic Image Registration Based on Extraction of Corresponding-Points for Multi-Sensor Image Fusion," Journal of the KIMST\_Vol.12, no.4, pp. 524-531, 2009.
- [6] Jungsoo Han "Real-Time Fixed Pattern Noise Suppression using Hardware Neural Networks in Infrared Images Based on DSP & FPGA," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea\_Vol.46 CI, no.4, pp. 94-101, 2009.
- [7] Byungin Choi, "Realistic infrared sequence generation by physics-based infrared target modeling for infrared search and track," Optical Engineering\_Vol.49, no.11, pp. 116401-1-9, 2010.
- [8] Jae Hyup Kim "Gunnery Classification Method using Shape Feature of Profile and GMM," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea CI\_Vol.48, no.5, pp. 470-477, 2011.
- [9] Hong, Seok-min "Far-infrared second-generation IR sight design, Journal of the Optical Society of Korea, 16 (3), pp. 209-215, 2005.
- [10] Jung, Jun-ho "Study on the technique of uncooled infrared detector Precision Control," Kyung Hee University Master's Thesis, pp. 11-14, 2004.
- [11] A. Rogalski, "Infrared Photon detectors versus thermal detectors," Physics of Semiconductor Devices, pp. 754~761, 1998.
- [12] R. A. Wood, "Monolithic Silicon Micro bolometer Arrays," Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems, P. Kruse and D. Skatrud, Editors, Semiconductors and Semimetals, Academic Press, Vol. 47 pp. 43-121, 1997.
- [13] Park Min-young "CMOS signal detection circuit for 32 X 32 uncooled infrared FPA," KAIST University Master's Thesis, pp. 8-14, 2007.
- [14] A. Rogalski, "Infrared detectors," Electro-component science monographs, Gordon and Breach Science Publishers Press., Vol. 10, pp. 12-14, 91, 2000.
- [15] Han, Myung - Soo "Uncooled pyroelectric infrared detector," Electrical and Electronic Materials 17(2), pp. 30-38, 2004.
- [16] M. H. Unewisse, et al, "The growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection," SPIE, Vol. 2554, 1995.
- [17] Lee, Jae-il "The new NUC method proposal considering the infrared system characteristics of internal temperature changes, and H/W

implemen -tation," Sae Mulli 11 Master's thesis, pp. 269, 274, 2000.

[18] Soo-Mok Jung "Quality Improvement Scheme of Interpolated Image using the Characteristics of the Adjacent Pixels," Journal of The Korea Society of Computer and Information, V.16, No.11 pp. 95-102, 2011.

[19] Imgeun Lee, "Image Contrast Enhancement using Adaptive Unsharp Mask and Directional Information," Journal of The Korea Society of Computer and Information, V.16, No.3 pp. 24-34, 2011.

**저 자 소 개**



**한 준 환**  
 2003: 평운대학교  
 전자공학부 공학사.  
 현 재: 삼성탈레스  
 선임연구원  
 관심분야: 열상시스템, 전자광학,  
 감시추적  
 Email: joonhwan.han@samsung.com