

# Image Correction Method for Uncooled IR TECless Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change

Jung-Ho Shin\*, Seong-Eun Ye\*\*, Bo-Mee Kim\*\*\*, Chan Park\*\*\*\*

## Abstract

In this paper, we propose an efficient image equipment implementation for the detector characteristics of various detectors by analyzing un-cooled thermal detector that exhibits nonlinear changes due to external temperature effects. First, we explain Thermal Electric Cooler for un-cooled detector temperature control system and Non-image correction method for IR system. Second, we present the results of a study on an efficient control technique that can minimize the deterioration of image quality by controlling a un-cooled thermal detector without a thermal electric cooler(TEC) inside. Third, we suggest Image Correction Methods for Uncooled IR TECless Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change. So, we analyze and present the results of Image correction methods for various un-cooled thermal detector.

▶ Keyword: TEC-less, Nonlinear, Un-cooled Detector

## 1. Introduction

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 활용 용도로도 많이 활성화 되고 있다.[1-2]

적외선 검출기의 특성상 냉각기를 사용하여 극저온에서 적외선 신호를 추출해야 열잡음을 최소화 할 수 있기 때문에 냉각기를 검출기와 하나의 패키지로 제작하여 장비에 탑재하여 활용하고 있다. 주로 고성능의 영상을 제공하지만 냉각기를 반드시 탑재해야 하기 때문에 장비의 크기가 커지고, 상대적으로 높은 가격 및 10분정도의 냉각기 초기화 시간 등의 단점이 있다.[3]

비 냉각 방식의 검출기는 검출기 내부에 냉각기 기능을 하는 열전소자(TEC : Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 냉각기의 기능을 대신하고 있다. 이 열전소자의 기능은 검출기의 기준온도를 제어하여 온도변화에 따른 영상화질의 저하를 방지하는 역할을 수행하는데, 최근의 기술추세는 이 열전소자를 삭제하여 크기, 가격

을 줄일 수 있는 노력이 많이 연구되고 있다.[4-6]

본 논문에서는 비 냉각 검출기 제어를 위해 사용되는 열전소자와 영상처리 기법을 설명하고, 내부에 열전소자가 없는 비 냉각 열상 검출기를 보다 효과적으로 제어하여 영상의 화질저하를 최소화할 수 있는 효율적인 제어기법에 대한 연구 결과에 대해 제시 하고자 한다. 특히, 그리고 최근 출시된 비 냉각 검출기를 소개함으로써 외부 온도 영향에 의한 비선형 변화를 나타내는 비 냉각 열상 검출기를 특정해 이의 특성 곡선을 관찰 및 연구함으로써 온도변화에 의한 비선형 특성 검출기에 대한 효율적인 영상 장비 구현 방안 알고리즘을 제시하고, 이 알고리즘을 적용한 시험결과를 제시 및 분석한다.

• First Author: Jungho, Shin, Corresponding Author:Jungho Shin

\*Jung-Ho Shin (jh.hoya.shin@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

\*\*Seong-Eun Ye (seongeun.ye@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

\*\*\*Bo-Mee Kim (bomee318.kim@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

\*\*\*\*Chan Park (chan.park@hanwha.com), Electro-Optronics 2Team, Hanwha Systems Company

• Received: 2017. 09. 01, Revised: 2017. 09. 12, Accepted: 2017. 09. 30.

## II. Preliminaries

### 2.1. Thermal Electric Cooler

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 도체 내에 흡열과 발열이 된다는 Thomson 효과를 발견하였다.[7]

따라서 열전소자는 외부환경 변화에 따른 검출기 출력 특성 변화를 흡열과 발열반응을 통해 일정한 온도로 유지시켜주어 검출기 출력영상을 안정화 시키는 역할을 하게 된다.[8-9]

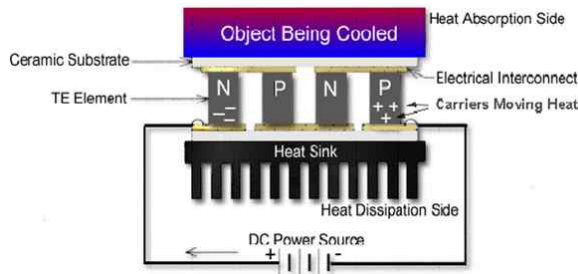


Fig. 1. Structure of Thermoelectric cooling module

이런 열전 소자는 일정 이하의 크기를 가지는 부품의 원하는 온도로 변경 및 유지하는데 많이 사용된다. 원하는 일정 온도의 신속정확하게 변경이 가능하기에 부품의 환경 안정성을 유지하거나 온도에 민감한 열상 카메라 제작에 많이 사용된다. 특히, 비 냉각 열상 장비에서는 비 냉각 열상 검출기의 항온을 유지하는데 많이 사용된다.

이러한 열전소자는 소비전력 문제 등으로 인하여 비 냉각 열상 검출기에 점차 사용하는 경우는 줄어들고 있다. 이에 이를 대체하기 위한 많은 알고리즘이나 보조 방법이 대두되고 있다.

### 2.2. Non-Uniformity Correction(NUC)

모든 다차원 배열 검출기는 각 픽셀 엘리먼트 간의 기하학적 인 차이나 전송 및 증폭 단의 이득의 차이로 고정적인 패턴이 나타나는데, 이를 고정 패턴 노이즈(Fixed Pattern Noise : FPN)라고 한다. 이러한 현상은 가시광 대역을 검출하는 CCD 보다는 적외선 검출기에서, 1차원 검출기보다 2차원 검출기에서, 냉각형 검출기보다는 비 냉각형 검출기에서 심하게 나타난다.

2차원 배열의 비 냉각 검출기는 행과 열 단위로 처리하는 ROIC(Read-Out Integrated Circuit)의 특성상 수평과 수직방향으로 FPN(Fixed Pattern Noise)이 발생하게 되는데, 이러한 영상의 불균일(Non-uniformity)이라고 한다.[10]

아래의 그림은 검출기의 한 픽셀의 온도에 응답 특성을 보면 선형적이지 않다. 선형적이지 못한 2차 이상의 방정식을 모델링의 용이하게 하고 계산량을 줄이기 위해서 1차 방정식으로 근사 화하게 된다.

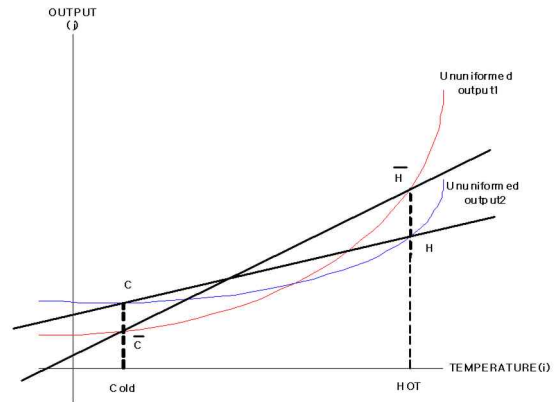


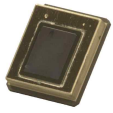
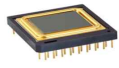
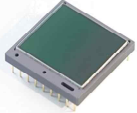
Fig. 2. Output characteristic of the Thermal detector

NUC를 구하기 위해서는 2가지 Reference 입력이 필요한데, 예를 들어 HOT(+30°C)와 COLD(+20°C)에 대해 블랙바디(흑체)를 활용하여 데이터를 받아서 아래 수식의 gain과 Offset을 구한다.

## III. Image Correction Methods for Uncooled TEC-less IR detectors

### 3.1. Type of Uncooled Infra-Red detector

Table 1. Type of Uncooled IR Detector

Componet	VOx	a-Si	TiOx
companies	DRS	ULIS	I3systems
P/N(ex)	U6160	PICO640-046	DB640-17M
Dectector			
NETD (@F/1)	<40 mK	<40 mK(pro) <50 mK(elite)	<50 mK

비 냉각 열상 검출기의 종류는 크게 검출기의 특성을 나타내는 픽셀을 구성하는 성분으로 분리된다. 그중 가장 많은 업체에서 사용하고 온도 반응성이 좋은 성분으로 VOx를 꼽는다. VOx는 온도 반응성이 높아 열분해 능력이 뛰어나 물체 간 온도 차이를 선명하게 구분할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 다만, 외부 온도의 영향을 크게 받아 영상을 균일하게 유지하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.

a-Si의 경우 VOx에 비해 온도 반응성은 다소 낮지만 FPA면을 구성하는 픽셀 격리도를 쉽게 울릴 수 있어서 영상을 균일하게 하기 위한 알고리즘 구현이 간소해서 다소 간편하게 균일한 영상을 획득할 수 있다. a-Si 검출기를 사용하는 경우에도 외부 온도 변화에 의한 영향이 검출기에 영향을 미치기 때문에 이를 보상하기 위한

기구시스템 및 추가적인 알고리즘이 동반되어야 한다.

TiOx의 경우는 국내 업체에서 개발한 검출기 성분으로 VOx와 a-Si의 중간 특성을 가진다.

### 3.2. Principle of Image Correction Method for Uncooled IR Detector without Thermal Electric Cooler due to Temperature Change (TEC-less image correction)

열전소자는 검출기의 항온을 유지시켜 검출기의 외부 온도 변화에 따라 영상의 화질을 저하시키는 영향을 줄여주는 소자이다. 하지만 열전소자 부재는 외부 온도변화에 의해 검출기의 온도변화에 따라 영상도 다르게 받아들이기 때문에 이를 보상하기 위하여 기본적인 불균일 보정방법인 NUC뿐만 아니라 추가적인 TECless 알고리즘이 필요하다.

TECless 알고리즘이란 검출기의 온도변화 및 시간에 따른 Drift 값을 보상해주는 알고리즘(열전소자의 역할)이며, 이는 열전소자가 없는 검출기에서 열전소자가 있을 경우를 감안하여 적용하는 역으로 보상 알고리즘이다.

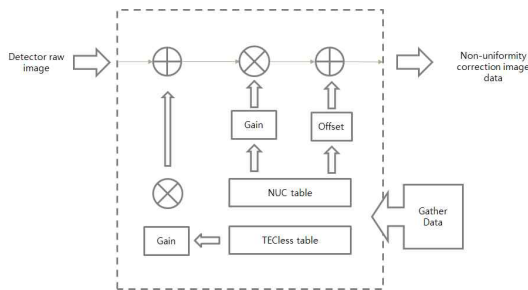


Fig. 3. Procedure of the TECless Algorithm

위 그림과 같이 TECless 알고리즘은 NUC 이전에 열전소자 대신 누적 데이터를 입력받아 이를 활용한 보정 값 산출 및 테이블을 작성하는 방법이다.

$$\begin{aligned} X_{(i,j)o} &= G_{(i,j)} \times X_{(i,j)i} + O_{(i,j)} \\ X_{(i,j)i} &= X_{(i,j)o} - TEC_{(i,j)} \\ TEC_{(i,j)} &= \frac{I_{(i,j)H} - I_{(i,j)C}}{T_{(i,j)H} - T_{(i,j)C}} \times (T_D - T_C) \end{aligned} \quad (1)$$

- $X_{(i,j)o}$  = 최종 영상출력 데이터
- $X_{(i,j)i}$  = 검출기 Raw 출력 데이터
- $X_{(i,j)o}$  = 외부온도변화보정데이터
- $G_{(i,j)}$  = 영상불균일보정 Gain
- $O_{(i,j)}$  = 영상불균일보정 Offset

- $I_H$  = 외부온도가 고온일때 픽셀의 Intensity
- $I_C$  = 외부온도가 저온일때 픽셀의 Intensity
- $T_H$  = 고온 온도값
- $T_C$  = 저온 온도값
- $T_D$  = 검출기 현재 온도값

예를 들어 Target이 20℃를 그대로 유지한 채 환경 온도를 20℃에서 25℃로 상승하였고, 검출기의 온도가 20℃에서 22℃로 상승한다고 가정하면, TH는 25℃, TC는 20℃, TD는 22℃가 된다. 이를 기반으로 수식(1)의 TECless 알고리즘 적용하면 온도변화에 따른 검출기의 온도상승분에 각 픽셀의 밝기 값(intensity)를 곱하게 되면 각 픽셀의 온도변화에 따른 Pixel intensity 변화량을 알 수 있고, 이를 활용하여 미리 구해놓은 Gain과 더하여 TEC가 있을 경우의 항온 상태를 유지시킬 수 있다.[11-12]

### 3.3. Principle of Image Correction Method for Uncooled IR TEC-less Detector with Non-linear characteristics due to Temperature Change(Non-linear TEC-less image correction)

앞에서 설명한 것과 같이 검출기의 종류는 크게 검출기 성분 에 의해 나뉘게 된다. 이때 검출기를 구성하는 픽셀 성분에 의해 온도 영향성이 달라진다. 온도 영향성에 의해 검출기마다 다르게 검출기 출력 변화를 가져오게 된다. 이 중에서 가장 많이 사용되는 VOx 검출기 및 TiOx 검출기는 외부 온도변화에 의한 비선형 특성을 가진다. 외부 온도변화에 의한 비선형 변화에 대한 극복을 위해서는 비선형 방정식을 이용한 온도영향 보상 구현이 필요하다. 이때, 고려해야하는 요소로 과도한 연산데이터는 실제 장비 구현 및 소형 저 전력 장비 구현에 방해가 되는 요소가 된다는 점이다.

외부 온도변화에 의한 비선형 특성을 가지는 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 획득한 결과 아래와 같은 특성 곡선을 획득했다.

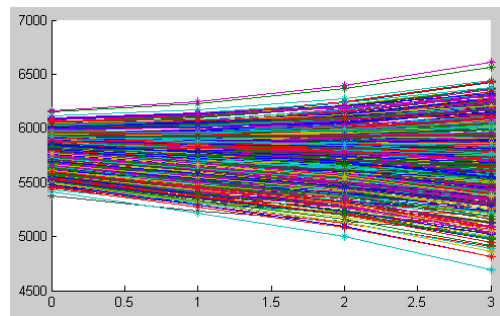


Fig. 4. Non-linear Detector Raw data

외부 온도에 의한 변화는 검출기 내부의 포진되어 있는 FPA 모든 픽셀 마다 다른 특성을 가진다. 그 특성은 위에 그래프를 통해 알 수 있듯이 각 픽셀의 반응성 혹은 기본적으로 보유한 통상 편차에 의해 비선형적 특성 및 선형적 특성을 동시에 가지고 있다.

앞에서 설명했듯이 검출기는 열에 의한 반응을 영상 구현하는 장비이다. 이에 온도 변화에 의한 영향성은 위의 그래프와 같이 급변하게 반응하는 것을 알 수 있다. 특히 열전소자 부재는 외부 온도변화에 의해 검출기의 FPA 온도변화에 직결되기 때문에 이를 보상하기 위한 추가적인 TECless 알고리즘 필수 이다.

이런 필수적인 TECless 알고리즘을 제외하고 가장 기본적인 불균일 보정인 NUC보정 및 기타 영상 보정을 실시하면 영상 보정을 실시한 시점에는 구분가능하면 사용가능한 영상 데이터를 얻을 수 있다. 그러나 실제 검출기의 FPA면은 항상 외부 온도에 노출되어 있기 때문에 이를 감싸고 있는 기구부 혹은 전자부를 통해 온도 변화가 일어나고 변화된 온도는 영상 불균일을 일으키게 된다. 이 외부 온도변화에 의한 검출기의 영상 데이터 변화는 비선형 특성의 픽셀 및 선형 특성의 픽셀이 복합적인 분배된 검출기 FPA면은 제각기 다른 특성을 따라 변화하고 이런 불균일이 지속적으로 발생한 결과 아래와 같은 영상 결과를 얻을 수 있다.

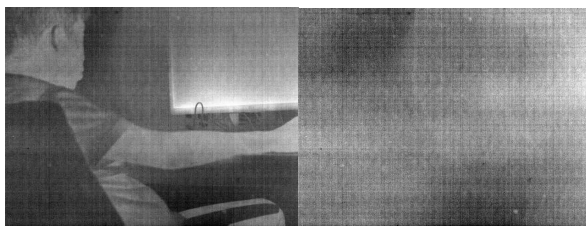


Fig. 5. before TECless compensation[human](L), [Black body](R)

왼쪽 영상은 사람을 타겟으로 촬영한 영상이다. 열상 영상은 기본적으로 주변보다 고온 에너지를 방출하는 물체의 관측이 상대적으로 유리한 특성을 가지는데 주변에 비해 고온 에너지를 방출하고 있는 모니터도 특정 패턴에 의해 모니터 엷지 추출 및 관측이 어려운 것을 확인할 수 있다.

오른쪽 영상은 열상 카메라 데이터 획득시 사용하는 흑체(Black body)를 통해 균일한 영상을 획득한 영상이다. 이 흑체를 통해서 획득한 이미지를 통해 검출기가 온도 변화에 의해 발생하는 각 픽셀간 변위 차이 즉, 비선형 특성의 픽셀 및 선형 특성의 픽셀의 복합적인 상호작용의 결과를 관찰할 수 있다. 균일해야 하는 이미지는 검출기가 가지고 있는 특성 패턴영향을 받아 불균일 영상을 출력하고 있다.

위의 이미지의 불균일 영상 보정을 위해서 기 설명된 온도 변화에 의한 검출기의 영상보정을 필요로 하게 된다. 이때, 검출기 FPA면을 구성하는 픽셀 중 비선형적 특성을 가지고 있는 픽셀들을 보정하기 위해서는 비선형 곡선에 따라 형성된 비선형 TECless 보상을 필요로 한다.

### 3.4. Implementation and Limitation of TEC-less image correction

앞서 설명한 것과 같이 비 냉각 열상 검출기는 픽셀마다 상이한 특성을 가지고 이러한 상이한 특성을 영상에 표출된다. 이러한 불균일을 보정하기 위해서는 열전소자를 사용하거나 이를 대신하기 위한 TEC-less 알고리즘을 구현하여야 한다.

이를 위한 외부 온도 변화에 의한 TECless 선형 방정식을

정리하면 아래와 같은 1차 방정식을 얻을 수 있다. 이때, 수식에 적용된 상수는 기 누적된 데이터를 통해 얻은 상수를 각 픽셀마다 다르게 적용하여 사용한다. 그 수식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} X_{(i,j)o} &= G_{(i,j)} \times X_{(i,j)i} + O_{(i,j)} \\ X_{(i,j)i} &= X_{(i,j)r} - TEC_{(i,j)} \\ TEC_{(i,j)1st} &= A_{(i,j)1} \times (T_D - T_{ref}) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

- $X_{(i,j)o}$  = 최종 영상출력 데이터
- $X_{(i,j)i}$  = 검출기 Raw 출력데이터
- $X_{(i,j)r}$  = 외부온도변화보정데이터
- $G_{(i,j)}$  = 영상 불균일보정 Gain
- $O_{(i,j)}$  = 영상 불균일보정 Offset
- $A_{(i,j)n}$  = n차 방정식 첫번째 상수

위와 같은 수식을 통해 열전소자가 없는 비 냉각 검출기는 외부 온도 변화에 의한 영상의 변화를 일부 극복할 수 있다. 이러한 외부 온도 변화에 의한 영향의 감소는 아래 그래프를 통해 확인할 수 있다.

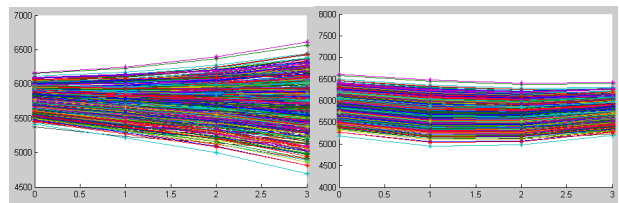


Fig. 6. Non-linear Detector Raw data(L), after Linear equations compensation(R)

왼쪽 그래프는 외부 온도변화에 의한 비선형 특성을 가지는 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 획득한 결과이고, 오른쪽 그래프는 왼쪽의 데이터를 TECless 알고리즘을 통하여 보정한 결과이다. 기존에 보유한 그래프의 변화의 경향성이 일정한 방향성을 가지는 경향으로 바꾸는 것을 확인할 수 있다. 그러나 앞서 설명한 것과 같이 검출기 FPA 내부에 분포된 비선형특성의 픽셀의 외부 온도 경향성을 극복하지 못하는 것이 확인된다. 이러한 외부 온도 변화에 대한 미극복은 아래 그림과 같이 영상의 분균일로 드러나게 된다.

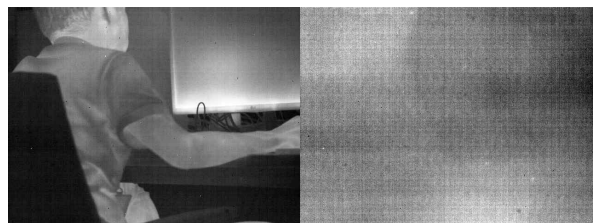


Fig. 7. after Linear equations compensation[human](L), [Black body](R)

왼쪽 영상은 사람을 타겟으로 촬영한 영상으로 TECless 알고리즘을 적용하기 이전에 비해 불균일 보정이 상당히 개선된 것을 확인할 수 있다. 그러나 여전히 영상에서 검출기가 나타내



는 일정한 패턴의 영상이 관찰되는 것을 볼 수 있고 이는 이미지를 관찰하는 관측자 입장에서 기시감으로 작용하게 된다.

오른쪽 영상은 흑체(Black body)를 통해 균일한 영상을 획득한 영상으로 TECless 알고리즘을 통해 개선이 되어 패턴이 약화되었으나, 비 냉각 열상 검출기가 특징적으로 가지고 있는 비선형 특성의 픽셀 및 선형특성의 픽셀의 패턴영향을 그대로 이미지에서 관찰할 수 있다.

이렇게 비 냉각 열상 검출기는 고유의 패턴을 따라 비선형적 특성을 가진 픽셀과 선형적 특성을 가진 픽셀이 분포되어 있다. 그리고 이러한 패턴은 영상으로 나타나게 되는데 이는 선형 방정식에 의존하는 TECless 방식으로 이를 제거하거나 극복하기는 어렵다.

### 3.5. Implementation of Nonlinear TEC-less image correction)

앞서 제안한 대로 비선형특성을 극복하기 위해서는 비선형 방정식을 통해 이를 극복함으로써 불균일이 보상된 영상을 획득 및 제공할 수 있다. 이때, 중요하게 고려해야하는 요소로 과도한 연산데이터는 실제 장비 구현 및 소형 저전력 장비 구현에 방해가 되는 요소가 된다는 점이다. 그래서 비선형 특성을 가지는 검출기의 특성을 극복하기 위해서 비선형 방정식을 사용하여 Nonlinear TECless 구현시 사용하고자 하는 어플리케이션에 따라 이를 목표를 설정 및 구분하여야 한다. 이를 위한 비선형 방정식의 영상분석 결과를 다음과 같이 제시한다.

기 획득된 누적 데이터 및 온도 데이터를 통해서 외부 온도 변화에 의한 비선형 방정식을 적용하기 위한 2차 방정식을 얻을 수 있다. 그 수식은 아래와 같다.

$$X_{(i,j)i} = \overline{X_{(i,j)i}} - TEC_{(i,j)}$$

$$TEC_{(i,j)2nd} = A_{(i,j)2} \times (T_D - T_{ref})^2 + B_{(i,j)2} \times (T_D - T_{ref}) \quad (3)$$

- $\overline{X_{(i,j)i}}$  = 검출기 Raw 출력 데이터
- $X_{(i,j)o}$  = 외부온도변화보정데이터
- $A_{(i,j)n}$  = n차 방정식 첫번째 상수
- $B_{(i,j)n}$  = n차 방정식 두번째 상수

위의 2차 방정식 수식을 통해 열전소자가 없는 비 냉각 검출기는 외부 온도 변화에 의한 영상의 변화를 극복할 수 있다. 이러한 외부 온도 변화에 의한 영향의 극복은 아래 그래프를 통해 확인할 수 있다.

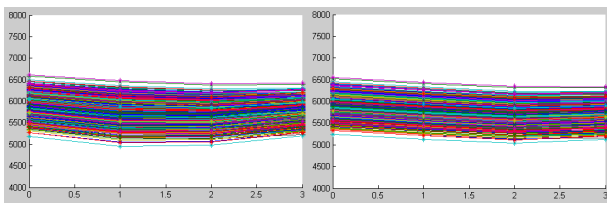


Fig. 8. after Linear equations compensation(L), after 2nd equations compensation(R)

왼쪽 그래프는 외부 온도변화에 의한 비선형 특성을 가지는 비 냉각 열상 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 TECless 알고리즘을 통하여 보정한 결과이다. 앞에서 설명했듯이 일정한 방향성을 가지는 경향을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그러나 앞서 설명한 것과 같이 검출기 FPA 내부에 분포된 비선형특성의 픽셀의 외부 온도 경향성을 극복하지 못하는 것이 확인된다.

오른쪽 그래프는 외부 온도변화에 의한 비선형특성을 가지는 비 냉각 열상 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 2차방정식을 통해 획득한 Nonlinear TECless 알고리즘을 통해 보정한 결과이다. 그래프 상에서 상당히 많은 부분에서 데이터 보상이 이루어진 것을 확인할 수 있다. 기존에 사용된 TECless 알고리즘이 적용된 데이터에 비해 검출기 FPA 내부에 분포된 비선형특성의 픽셀의 외부 온도 경향성을 상당히 많은 부분에서 극복되어 대부분의 데이터가 같은 방향성 가지게 된다.

이러한 외부 온도 변화에 대한 방향성의 일치는 아래 그림과 같이 영상의 분균일의 개선으로 나타난다.

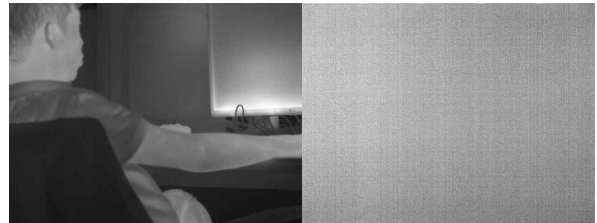


Fig. 9. after 2nd equations compensation[human](L), [black body](D)

왼쪽 영상은 사람을 타겟으로 촬영한 영상으로 기존 TECless 알고리즘을 적용하였을 때 보다 불균일 보상이 한 층 더 개선된 것을 확인할 수 있다. 사물 및 사람의 영상에서 검출기가 나타내는 일정한 패턴이 사라지고 이미지를 관찰하는 관측자 입장에서 기시감이 대부분 없어진 것을 볼 수 있다.

오른쪽 영상은 흑체(Black body)를 통해 균일한 영상을 획득한 영상으로 2차 방정식에 의한 Nonlinear TECless 알고리즘을 통해 비 냉각 열상 검출기가 특징적으로 가지고 있는 비선형 특성의 픽셀 및 선형특성의 픽셀의 패턴영향이 거의 사라진 것을 이미지에서 관찰할 수 있다. 그러나 검출기 고유 패턴이 사라진 대신 세로줄 형태의 패턴이 드러나는 것을 볼 수 있다. 이는 검출기 FPA 내부 배열 중 비선형 특성 픽셀의 검출기의 패턴이 거의 극복되나, 검출기 세로라인을 조정하는 버퍼의 영향은 극복하지 못한다. 그러나 이 온도변화에 의한 영향은 크지 않고 일반적인 영상관측용에는 용도로 장비 개발시 영상에 문제가 되지 않는다.

이렇게 2차 방정식 Nonlinear TECless 알고리즘을 사용하여 외부 온도 변화에 의한 비 냉각 열상 검출기 고유의 패턴을 상쇄하면 열상 야간 관측용 장비 제작 및 구현에 도움을 줄 수 있다는 것을 확인하였다.

그러나 이 또한 특수한 목적을 가진 열상 영상 장비 설계 및 제작 시에는 문제가 될 수 있다. 예를 들어 탐지 및 추적을 위한 열상 영상 획득 장비의 경우에는 좌우 한 픽셀 위치 오차에 의해 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 고차원 비선형 방정식에 의한 Nonlinear TECless 알고리즘을 적용할 필요가 있다.

기 획득한 검출기 외부 온도 변화에 의한 고차원 비선형 방정식에 의한 Nonlinear TECless 알고리즘을 정리하면 3,4차 방정식을 얻을 수 있다. 그 수식은 아래와 같다. 이때, n차 방정식에 사용된 상수 데이터는 알고리즘을 적용해야 하는 각각 검출기의 챔버 온도시험을 통해서 얻을 수 있는 데이터로 기 획득한 검출기의 특성을 따라 다르게 형성되어 진다. 그러므로 비냉각 검출기를 불균일을 보상하기 위한 TECless 알고리즘의 상수 데이터는 픽셀마다 다른 특성 편차를 고려하여 맵핑할 수 있는 시스템 설계가 되도록 해야 한다.

$$\begin{aligned} X_{(i,j)i} &= \overline{X_{(i,j)i}} - TEC_{(i,j)} \\ TEC_{(i,j)3rd} &= A_{(i,j)3} \times (T_D - T_{ref})^3 + B_{(i,j)3} \times (T_D - T_{ref})^2 \\ &\quad + C_{(i,j)3} \times (T_D - T_{ref}) \dots \dots \dots (4) \\ TEC_{(i,j)4th} &= A_{(i,j)4} \times (T_D - T_{ref})^4 + B_{(i,j)4} \times (T_D - T_{ref})^3 \\ &\quad + C_{(i,j)4} \times (T_D - T_{ref})^2 + D_{(i,j)4} \times (T_D - T_{ref}) \quad (5) \end{aligned}$$

- $\overline{X_{(i,j)i}}$  = 검출기 Raw 출력 데이터
- $X_{(i,j)o}$  = 외부온도변화보정데이터
- $A_{(i,j)n}$  = n차방정식 첫번째 상수
- $B_{(i,j)n}$  = n차방정식 두번째 상수
- $C_{(i,j)n}$  = n차방정식 세번째 상수
- $D_{(i,j)n}$  = n차방정식 네번째 상수

위의 3, 4차 방정식 수식을 통해 열전소자가 없는 비 냉각 검출기는 외부 온도 변화에 의한 영상의 변화를 거의 완전히 극복할 수 있다. 이러한 외부 온도 변화에 의한 영향의 극복은 아래 그래프를 통해 확인할 수 있다.

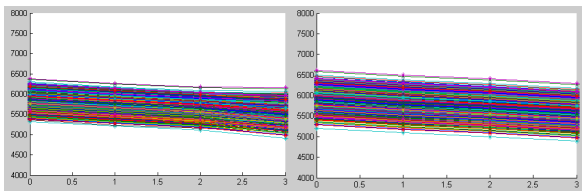


Fig. 10. after 3rd equations compensation(L), after 4th equations compensation(R)

왼쪽 그래프는 외부 온도변화에 의한 비선형특성을 가지는 비 냉각 열상 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 3차방정식을 통해 획득한 Nonlinear TECless 알고리즘을 통해 보정한 결과이다. 그래프 상에서 대부분의 영역에서 데이터 보상이 이루어진 것을 확인할 수 있다. 이는 검출기 FPA 내부에 분포된 비선형 특성의 픽셀의 외부 온도 경향성을 거의 다 극복하고 대부분의 데이터가 같은 방향성 가지게 되었다는 것을 의미한다.

오른쪽 그래프는 외부 온도변화에 의한 비선형특성을 가지는 비 냉각 열상 검출기의 외부 온도 변화에 의한 데이터를 4차방정식을 통해 획득한 Nonlinear TECless 알고리즘을 통해 보정한 결과이다. 그래프 상에서 완전히 일직선을 나타내며 데이터 보상이 이루어진 것을 확인할 수 있다. 이는 검출기 FPA 내부에 분포된 비선형특성의 픽셀의 외부 온도 경향성을 완전히 극복하고 모든 데이터가 같은 방향성 가지게 되었다는 것을 의미한다.

이러한 외부 온도 변화에 대한 고차원 방정식에 의한 Nonlinear TECless 알고리즘은 아래 그림과 같이 영상의 분균일의 개선의 결과로 나타난다.

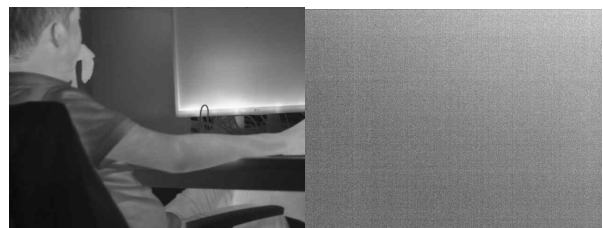


Fig. 11. after 3rd equations compensation[human](L), [black body](D)



Fig. 12. after 4th equations compensation[human](L), [black body](D)

왼쪽 영상은 사람을 타겟으로 촬영한 영상으로 고차원 방정식 Nonlinear TECless 알고리즘을 적용한 결과로 불균일 보상이 더 개선된 것을 확인할 수 있다. 사물 및 사람의 사이의 빈공간 영역에서의 작은 패턴도 관찰이 없어서 대부분의 용도에 사용 가능한 것으로 보인다.

오른쪽 영상은 흑체(Black body)를 통해 균일한 영상을 획득한 영상으로 고차원 방정식 Nonlinear TECless 알고리즘을 통해 모든 패턴영향이 사라진 것을 확인할 수 있다. 3차, 4차 방정식간의 차이에 의한 영향은 사실 거의 없고 더 이상 개선되었다고 보기는 어려워 보인다.

시험 이미지를 통해 3차와 4차 방정식 Nonlinear TECless 알고리즘의 사이에는 영상에 의한 뚜렷한 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명한 것과 같이 고차원 알고리즘을 적용하기 위해서는 SW 구현시 더 복잡한 계산식과 높은 수행능력을 보유한 HW를 구성에 사용해야 한다. 이는 장비 시스템을 설계하는데 장애요소로 작용할 수 있어 단순 관측을 위한 장비보다 탐지 및 추적 등을 요하는 특수한 목적의 장비를 구축하는데 사용하는 게 유리하다.

n차 방정식을 이용한 Nonlinear TECless 알고리즘을 실제 적용한 결과를 확인해 본 결과 2차 이상에서 유효한 결과를 얻을 수 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 3차 이상에는 뚜렷하게 결과가 나아지는 것을 확인가능하다. 이를 통해 2차 방정식을 사용하면서 추가 보정을 사용하면 장비 구현이 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 3차 방정식 이상을 사용하면 추가 보정 없이 영상이 관찰 가능하다는 것이 예상된다. 그러나 추가적 환경 변화 요소가 적용될 경우 실제로 추가 보정 없이는 실제 검출기를 적용한 장비 제작에는 어려움을 겪을 수 있다.

#### IV. Conclusions

열상 장비는 빛이 없는 암흑상태에서도 물체에서 발산하는 적외선(열)을 탐지하여 이를 영상으로 제공하는 장비이다. 그중 열전 소자가 없는 비 냉각 방식의 검출기는 검출기 내부 FPA 면의 온도를 보정하는 보정요소가 없어 외부 온도 변화에 의한 영상 데이터의 변화가 크고 이는 영상을 통해서 확연히 드러난다. 이에 내부에 열전소자가 없는 비 냉각 열상 검출기를 보다 효과적으로 제어하여 영상의 화질저하를 최소화할 수 있는 효율적인 제어기법을 제시하였다. 특히, 외부 온도 영향에 의한 비선형 변화를 나타내는 비 냉각 열상 검출기를 특정해 이의 특성 곡선을 관찰 및 연구함으로써 다양한 검출기의 특성에 대한 효율적인 영상 장비 구현 방안을 제시하였다.

최근 저가형 열영상 장비에 대한 수요는 급증하고 있다. 2016년 Yole 보고서에 따르면 2020년 비 냉각 열상 카메라의 시장이 30억 달러 이상이 될 것으로 예상하였다. [13] 그 중 대부분의 비 냉각 검출기 시장은 열전소자가 없는 저가형 검출기가 주를 이루고 있다. 이런 시장 상황에서 열전소자 없는 검출기 제어는 중요한 연구로 다루어지고 있고 이를 위한 수많은 알고리즘이 제시 및 구현되고 있다.

외부 온도변화에 의한 비 냉각 검출기의 비선형 데이터 변이에 대한 데이터를 획득하고 이를 극복하기 위한 소프트웨어를 설계 및 구성하였다. 가장 기본적인 이론의 보정절차뿐만 아니라 한 단계 고차원 알고리즘으로 구현하여 실제 영상의 보정효과를 확인하였다.

추가적으로 비 냉각 검출기뿐만 아니라 비 냉각 열상 시스템을 구성하는 하나의 요소인 열상 광학계의 온도 영향에 대한 연구가 진행 중이다. 또한 최근 열전소자가 없는 비 냉각 열상 검출기의 추가적인 보정 방법으로 관심을 받고 있는 Shutter-less 알고리즘 대한 연구를 진행함으로 열상 영상 구현시 추가적인 보정요소를 최소화하려고 있다.

열전소자가 없는 비 냉각 검출기는 열전 소자를 보유한 비 냉각 검출기가 가지고 있는 소모 전력 및 크기의 한계를 극복할 수 있는 방법 및 장치로서 가치를 가지고 있으며 다양한 분

야에서 영상획득의 수준을 향상시킬 저가형 검출기로 대두되고 있다. 이에 본 연구의 과정 및 결과자료가 본 목적인 국방분야 뿐만 아니라 차량분야, 시큐리티 분야, UAV 카메라 등의 연구 분야에서도 도움이 되기를 희망한다.

#### REFERENCES

- [1] Hong, Seok-Min "Advanced LWIR Thermal Imaging Sight Design", Korean Journal of Optics and Photonics" Vol. 16, No. 3, pp. 209-216, 2005
- [2] Song, Cheon-ho "Applying tilt mechanism for high-resolution image acquisition," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol.19, No.12 pp.31-37, Dec. 2014.
- [3] A. Rogalski "Infrared Photon detectors versus thermal detectors", Physics of Semiconductor Devices, pp. 754-761, 1998
- [4] R.A.Wood "Monolithic Silicon Micro bolometer Arrays," Uncooled Infrared Imaging Arrays and Systems, P. Kruse and D. Skatrud, Editors, Semiconductors and Semimetals, Vol. 47 pp. 43-121, Academic Press, 1997.
- [5] Park, Min-Young "Advanced CMOS Readout Integrated Circuit for 32 by 32 uncooled infrared focal plane array", Inje university, pp. 91-92, 2007
- [6] A. Rogalski "Infrared detectors", Electro- component science monographs, Gordon and Breach Science Publishers, Vol. 10, pp . 12-14,91, 2000
- [7] Shin, Jin-Young "A Study on a uncooled infrared bolometer using amorphous silicon carbide film", Korea Advanced Institute of Science and Technology, pp. 1-9, 2002
- [8] Kim, Sangjin "Study of methods to enhance Uncooled Microbolometer Efficiency", Kyunghee university, pp. 5-15, 2003
- [9] M. H. Unewisse, et al "The growth and properties of semiconductor bolometers for infrared detection", SPIE, Vol. 2554, 1995
- [10] Lee, Je il "Nonuniformity Correction Algorithm and First Implementation for Infrared Camera Including the Background Effect due to Camera Temperature Variation", Sae Mulli 11, pp. 269-274, 2000
- [11] Kim, Yong-Jin "Novel control scheme for the absence of the thermoelectric(TEC) of infrared detector in an Uncooled thermal system", Ajou university, pp. 2337, 2012
- [12] Han, Joon Hwan "Novel Accuracy Enhancement Method for Absolute Temperature Measurement Using TEC-LESS Control in Uncooled Thermal Imaging",

Journal of The Korea Society of Computer and Information,  
Vol. 17, No. 12, Dec. 2012.

[13] Yole “Uncooled Infrared Imaging Technology & Market  
Trends 2016” pp. 51, 2016

### Authors



Jung-Ho Shin received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Kyung hee University, Korea, in 2010. Mr. Shin joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2010. He is currently a Engineer in the Electro-optics · PGM

R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Analog & Digital Image Processing of Long Wave IR.



Seong-Eun Ye received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Dona-a University, Korea, in 2014. Mr. Ye joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2014. He is currently a Junior Engineer in the Electro-optics · PGM R&D Site, Hanwha systems. He is

interested in Analog & Digital Image Processing of Long Wave IR.



Bo-Mee Kim received the B.S. degrees in Electronic Engineering from Gyeong sang National University, Korea, in 2013. Mrs. Kim joined the Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2014. She is currently a Junior Engineer in the

Electro-optics · PGM R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Digital Image Processing of Long Wave IR.



Chan Park received the B.S. degrees in Electronics and radio Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2014 and M.S. degrees in Electronics and radio Engineering from Kyunghee University, Korea, in 2016. Mr. Park joined the

Electro-Optronics 2Team of Hanwha Systems, Korea, in 2016. He is currently a Junior Engineer in the Electro-optics · PGM R&D Site, Hanwha systems. He is interested in Digital Image Processing of Long Wave IR.