

소형 화기용 TEC-less 열상 처리 기법

곽동민^{*,1)} · 윤주홍¹⁾ · 양동원¹⁾ · 이용헌¹⁾ · 서용석¹⁾

¹⁾ 국방과학연구소 제5기술연구본부

TEC-less Thermal Image Processing Method for Small Arms

Dongmin Kwak^{*,1)} · Joohong Yoon¹⁾ · Dongwon Yang¹⁾ · Yonghun Lee¹⁾ · Yongseok Seo¹⁾

¹⁾ The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 12 November 2018 / Revised 2 January 2019 / Accepted 8 March 2019)

ABSTRACT

This paper describes a thermal image processing algorithm for uncooled type TEC-less IR detector which is applicable to fire control system of small arms. We implemented a real-time gain and offset compensation algorithm based on polynomial approximation from the raw dataset which is acquired by two reference temperature of blackbody from various FPA(Focal Plane Array) temperature. Through the experiment, we analyzed the output characteristics of detector's raw-data and compared IR image quality to traditional non-uniformity correction method. It shows that the proposed method works well in all FPA temperature range with low residual non-uniformity.

Key Words : IR Image Processing(열상처리), Non Uniformity Correction(불균일보정), TEC-less IR Detector(텍리스 열상검출기)

1. 서론

최근 열상검출기의 소형화에 따라 복합형소총과 같은 소형 화기의 사격통제장치에도 기본적으로 열상모듈을 탑재하여 주야간 탐지 및 조준사격이 가능한 장비로 개발되고 있다. 소형 사격통제장치에 탑재되는 열상모듈은 야간전투 또는 주간 은폐위장 환경의 인원 표적에 대한 탐지기능을 수행할 수 있도록 유효거리

내의 고품질 영상정보를 제공하여야 하며, 휴대 운용성을 고려하여 제한된 크기와 전력으로 주어진 요구 성능을 충족할 수 있어야 한다^{1,2)}. 이러한 이유로 크기, 무게 및 전력소모 면에서 냉각형에 비해 월등하게 유리한 비냉각형 열상검출기의 활용이 요구되어진다.

기존의 비냉각형 열상검출기는 내부에 TEC(Thermal Electric Cooler)를 탑재하여 상온 수준으로 검출기 센서면의 온도 제어가 요구되었지만 최근 비냉각 열상 센서 중 온도 제어 기능이 별도로 필요하지 않은 TEC-less 검출기가 개발되어 소형화, 저전력화 측면에서 휴대형 장비에 활용범위를 더욱 넓히고 있는 추세

* Corresponding author, E-mail: imis@add.re.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

이다³⁾. 그러나 TEC-less 검출기는 검출기 주변온도에 따른 셀 출력 특성 변화를 실시간으로 보정하지 않으면, 시간에 따른 열상의 품질 저하가 많이 발생하는 단점이 있다.

현재 검출기 전면에서 셔터 구조를 적용하여 셔터면을 이용한 주기적인 보정을 통해 영상의 품질을 유지하는 방식의 상용 열상 장치들이 일반적으로 활용되었으나, 여러 가지 기구적인 단점으로 셔터의 사용을 배제하고 영상의 품질을 유지하기 위한 연구가 진행되어 왔다⁴⁾. 특히, 소형 화기와 같이 고충격에 노출되는 장비에 적용하는 경우에 더욱 구조적인 신뢰성을 확보하기 어렵게 된다. 뿐만 아니라 임무 수행을 위한 기도비너 확보를 위해서도 셔터 사용이 없는 열상모듈의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 현재 국내 개발 중인 17 μm 피치급 TEC-less 비냉각 열상검출기를 활용하여 실험실 환경에서 열상 검출기의 출력특성을 분석하였다. 분석한 데이터를 기반으로 주기적인 셔터 사용 없이 한번의 읍셋 보상을 통해 장시간 영상품질을 유지할 수 있는 TEC-less 열상처리 알고리즘을 설계하고 구현하였으며, 실험을 통해서 성능을 분석하였다. 논문의 전체 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 기본적인 열상처리 기법을 다루고, 3장에서는 제안하는 TEC-less 열상처리 알고리즘을 포함한 열상처리 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안한 TEC-less 알고리즘을 적용한 실험결과를 제시하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. TEC를 활용하는 열상처리 알고리즘

일반적인 FPA(Focal Plane Array) 타입 열상 검출기의 영상처리 과정은 동일한 입력 에너지에 대해 FPA 셀 평균 출력을 기준으로 하여 각각의 셀 출력을 동일한 반응특성으로 보상하는 불균일보정(NUC, Non-Uniformity Correction), 비정상 출력을 가지는 불량화소의 대체(BPR, Bad Pixel Replacement) 및 영상전시를 위한 대조비개선(CEM, Contrast Enhancement) 과정으로 이루어진다²⁾. 또한 경계강조, 패턴잡음 제거 등의 후처리 영상개선 알고리즘이 추가적으로 적용될 수 있다.

불균일보정 알고리즘은 검출기의 모든 셀의 응답특성이 하드웨어적으로 동일하게 제작되기 어려우므로, 별도의 영상처리 과정을 통하여 셀 간의 응답특성을

동일하도록 만들어주는 과정이다. 일반적으로 Fig. 1에서와 같이 검출기의 입력에너지에 대한 출력특성을 TEC를 통해 검출기 FPA 주변 온도가 일정하게 유지되는 경우에는 선형특성으로 나타난다.

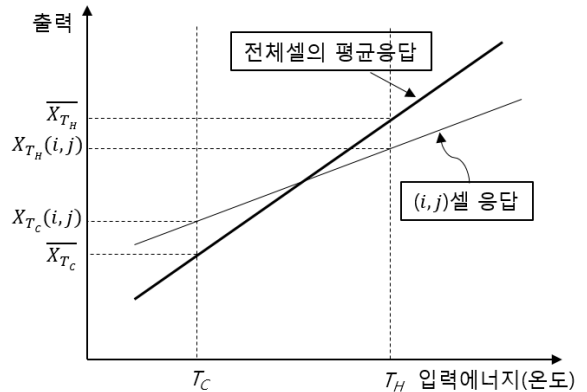


Fig. 1. Output characteristics of uncooled FPA IR detector with TEC

Fig. 1에서 X 축은 검출기로 입력 에너지, Y 축은 입력에 대한 검출기의 출력값을 나타낸다. 검출기 i, j 셀의 Raw 데이터 출력값을 $X(i, j)$ 라고 하면 검출기가 바라보는 2개의 기준면 온도 T_C (Cold Reference), T_H (Hot Reference)에 대한 검출기 셀 전체($M \times N$ 셀)의 평균 응답 출력은 각각 식 (1), 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\overline{X_{T_C}} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{T_C}(i, j) \quad (1)$$

$$\overline{X_{T_H}} = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N X_{T_H}(i, j) \quad (2)$$

검출기의 선형 출력 특성을 고려하면 각 셀의 2개 기준면 온도에 대한 보정 출력 $Y(i, j)$ 가 셀 평균 출력 직선과 일치하도록 Raw 데이터 출력 $X(i, j)$ 에 적절한 이득(G)을 곱하고, 읍셋(O)을 더하여 식 (3)와 같이 표현할 수 있다²⁾.

$$Y(i, j) = G(i, j)X(i, j) + O(i, j) \quad (3)$$

이 때, 두 기준면의 온도차에 대한 셀 전체의 평균 출력차를 기준으로 각각의 셀 출력보정을 위한 이득 값과 읍셋값은 아래 식 (4), (5)와 같이 표현된다²⁾.

$$G(i,j) = \frac{\overline{X_{T_H}} - \overline{X_{T_C}}}{\overline{X_{T_H}(i,j)} - \overline{X_{T_C}(i,j)}} \quad (4)$$

$$O(i,j) = \overline{X_{T_C}} - G(i,j) \overline{X_{T_C}(i,j)} \quad (5)$$

이 때, 옵셋은 서터와 같은 새로운 균일온도를 가지는 기준면에 의해서 갱신할 수 있다. 서터를 이용하여 획득된 새로운 기준면에 대한 검출기 출력을 X_S , 전체 셀의 출력 평균을 $\overline{X_S}$ 라고 하면 출력 보정은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} Y(i,j) &= G(i,j)X(i,j) + \overline{X_S} - G(i,j)\overline{X_S(i,j)} \\ &= G(i,j)\{X(i,j) - \overline{X_S(i,j)}\} + \overline{X_S} \end{aligned} \quad (6)$$

일반적으로 검출기의 옵셋은 시간경과에 따라 조금씩 변화하는 특성을 가지므로, 운용 중에도 서터 등을 이용하여 주기 보정을 수행하여 열상 화질의 개선효과를 얻을 수 있다.

3. TEC-less 열상처리 알고리즘

3.1 TEC-less 열상 검출기 특성

TEC가 없는 열상 검출기는 동작 간에 FPA 온도가 변하게 되고 이 때, 동일한 입력 에너지에 대해서도 출력의 변화가 생긴다. Fig. 2는 온도챔버 안에서 검출기는 항상 20 °C, 30 °C의 균일한 온도면을 가진 흑체 (Black Body)를 센싱하도록하고, 챔버의 온도를 -30 °C에서 60 °C까지 가변 시키면서 검출기 FPA의 온도변화를 발생시켰을 때 셀 출력 값 변화를 나타낸 그래프이다.

Fig. 2에서 Y축은 각 흑체 타겟에 대한 검출기의 아날로그 출력을 14bit A/D 컨버터를 이용하여 양자화한 값이다. 실험에 사용된 비냉각 검출기의 특성은 Fig. 2에서와 같이 검출기 FPA의 온도가 변함에 따라 동일한 온도의 흑체를 바라본 출력이 비선형적으로 변하게 되고, Fig. 3과 같이 일정한 온도차에 대한 검출기 출력의 차이값은 센서면 온도에 비례하면서 커짐을 알 수 있다. 이와 같이 비냉각 검출기에서 FPA 온도 변화에 따른 출력의 변화는 외부 환경변화 또는 열상 모듈을 탑재한 시스템 내부의 온도 변화로부터 영향

을 받아 영상의 열화로 나타나게 된다. 따라서, TEC가 없는 비냉각형 검출기를 적용한 열상시스템은 시스템 내에서 변화하는 FPA 온도에 대한 출력의 균일성을 유지하기 위해 각 셀별로 해당 영향에 대한 실시간 보상 과정이 필요하다. 기존의 TEC-less 알고리즘들은 시스템 내의 서터 구조를 이용한 주기적 보상방법과 복수 개의 참조 온도점에 대한 선형보간을 이용하는 방법 등이 활용되었다^[4]. 그러나 선형보간을 이용하는 방법에서 오차는 실제 출력 특성의 비선형 정도와 참조점의 간격에 의해 결정되는 단점이 있다.

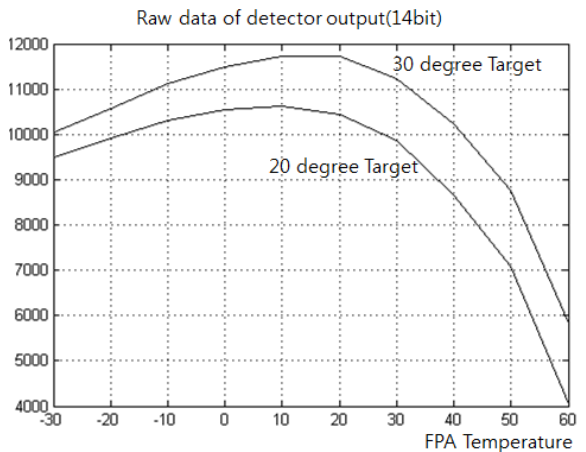


Fig. 2. Detector(1cell) output change according to FPA temperature variation

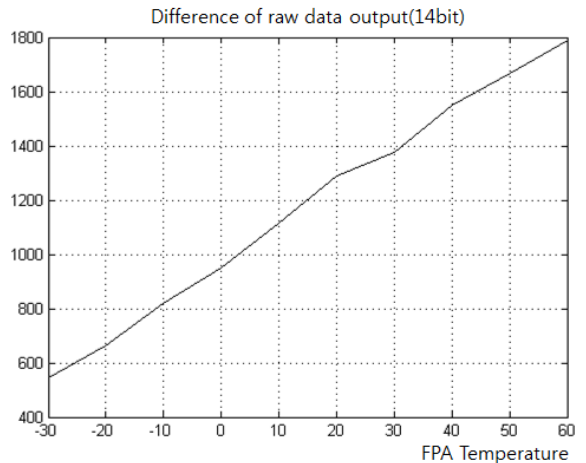


Fig. 3. Detector(1cell) output difference of 2 black body temperatures according to FPA temperature variation

3.2 TEC-less 검출기의 불균일 보정 알고리즘

FPA의 온도는 검출기가 탑재된 시스템의 내외부 환경 조건에 따라 지속적으로 변화되므로, 검출기의 보정출력을 구하기 위해서는 식 (6)에서 추가적으로 현재 이득값과 X_s 를 현재온도에서의 추정치로 계산하여 실시간으로 반영해 주는 과정이 필요하다.

운용시간에 따른 온도변화의 폭이 크지 않은 시스템의 경우 자동 서터구조를 이용하여, 주기적으로 짧은 시간에 서터를 닫고, 획득한 참조값을 이용하여 읍셋을 갱신하여 보상해주는 방법으로 영상의 품질을 유지할 수 있다. 그러나, 소형 화기와 같은 무기체계에 서터 구조는 사격충격, 진동의 야전 운용 환경조건에 취약하여 고장 간 평균수명이 짧아 활용에 제한이 있으며 유지보수가 어려운 문제가 있다. 그러므로, 본 논문에서는 이러한 운용상의 특성을 고려하여 최초 1회만 기준면을 통한 보상 후, 오프라인에서 획득한 검출기 출력 특성곡선을 이용한 다항식 보간을 이용하여 주변온도 변화에 대해 안정적으로 동작하는 실시간 출력보상 알고리즘을 제안한다. 이 때 최초 참조면은 FPA 온도에 관계없이 광학 대물부 덮개, 손바닥, 벽면, 하늘 등을 활용할 수 있다.

Fig. 4에서는 제안하는 TEC-less 열상처리 기법에 대한 흐름도를 나타내었다. 오프라인에서는 검출기 FPA 운용 온도별로 2개의 기준면 온도에 대한 검출기 무보정 상태의 Raw 데이터를 획득하고 분석하여, 다항식 적합 계수를 추출하게 되는 데 이 과정은 개별 검출기마다 수행되어야 한다. 추출된 다항식 적합 계수는 온라인에서 실시간 보정값 추정을 위해 활용된다. 보정된 검출기 출력 데이터는 불량화소 대체, 대조비 개선 등의 전시를 위한 일반적인 열상처리의 후처리 과정을 거친 후 사용자에게 전시된다.

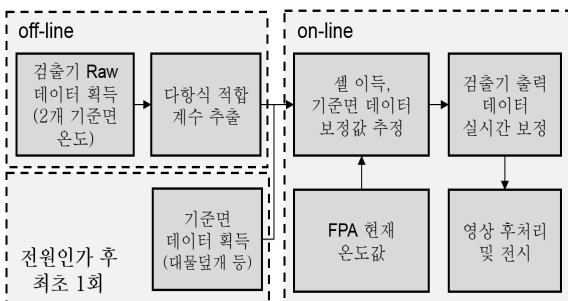


Fig. 4. Flow chart of proposed TEC-less thermal image processing method

Fig. 5에서는 온도변화에 따른 검출기 출력 특성을 획득하는 실험 환경을 나타내었다. 온도 챔버 안에 표면온도가 제어 가능한 2개의 흑체 A, B를 타겟으로 이용하여 데이터를 획득한다. 이 때 검출기 FPA 전체면이 각각의 흑체를 바라볼 수 있도록 환경을 구현한다. 그리고, 챔버 온도를 가변하면서 안정화 시간을 거친 후 데이터를 획득하게 되는데 실험에서는 검출기의 FPA온도가 -30 °C에서 60 °C까지의 구간 동안 10 °C 간격에 대한 2개의 참조온도에 대한 출력을 획득하였다. 이 때 흑체 온도는 20 °C, 30 °C로 설정하였으며, 안정화는 챔버의 온도가 FPA 온도와 평형이 되도록 충분히 유지한다.

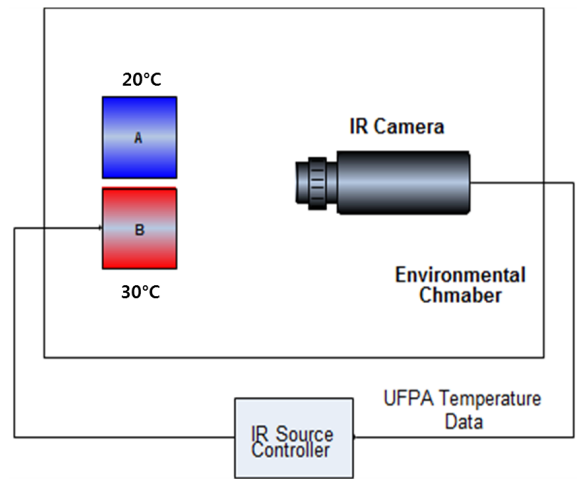


Fig. 5. Raw data acquisition environment for TEC-less coefficients

Fig. 6에서는 획득된 2개 온도 타겟에 대한 참조 픽셀 하나의 Raw 데이터 출력값을 그래프로 나타내었다. 실험에 사용한 검출기의 경우 10 °C 정도의 FPA 온도에서 타겟에 대한 출력값이 최대가 되고 다시 떨어지는 형태의 반응곡선을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6에서와 같이 획득 샘플에 대한 곡선적합(Curve fitting)을 수행한 결과 3차 이상의 차수를 적용한 다항식 보간이 필요함을 알 수 있다. Fig. 6에서 그래프에서 X축은 검출기의 비디오출력 블랭킹 시간에 포함된 FPA온도 즉, 일정시간을 유지한 챔버의 온도가 이며, Y축은 검출기의 출력데이터를 0-1 사이 값으로 정규화한 값으로, 각각 검출기의 아날로그 출력값을 14 bit A/D 컨버터로 양자화하여 획득한 값이다.

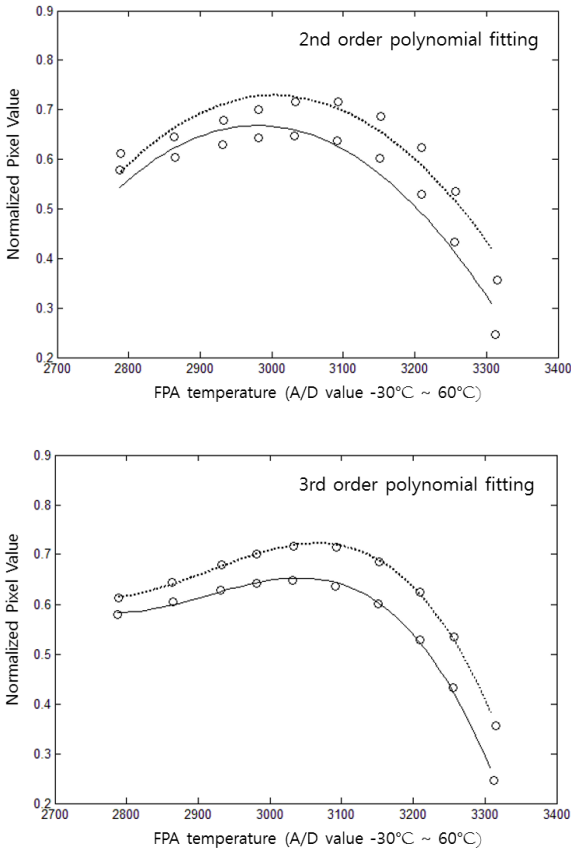


Fig. 6. The comparing result of polynomial curve fitting using 2nd order and 3rd order coefficients

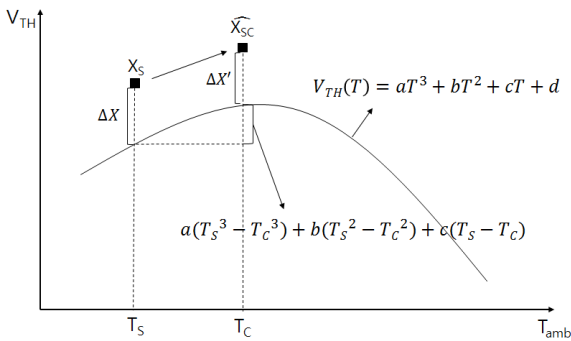


Fig. 7. Output data curve of 30 °C blackbody target according to FPA temperature variation

Fig. 7은 검출기가 온도챔버에서 30 °C 흑체면을 바라보았을 때의 검출기 출력의 3차 다항식 곡선이다. 그림에서 FPA 온도 T_s 에서 최초 참조면을 바라본 검

출기의 출력을 X_s , 시간이 경과한 시점인 현재 FPA 온도 T_c 에서의 X_s 의 추정값을 \widehat{X}_{sc} , 현재 온도에서의 이득값을 G_c 라고 하면 식 (6)으로부터 검출기의 보정 출력 Y 를 식 (7)과 같이 표현할 수 있다^[2].

$$Y = G_c(X - \widehat{X}_{sc}) + \overline{X_{sc}} \quad (7)$$

식 (7)에서 현재 온도의 이득값 G_c 와 최초 참조값 보정 온도에서의 이득값 G_s 와 출력과의 관계를 선형으로 근사화하면 ΔX '는 $\Delta X \cdot G_s / G_c$ 가 되므로 보정출력 Y 는 식 (8)과 같이 표현된다.

$$Y = G_c[X - \{V_{T_H}(T_c) + \Delta X'\}] + \overline{X_{sc}} \\ = G_c[X - \{V_{T_H}(T_c) + \Delta X \cdot G_s / G_c\}] + \overline{X_{sc}} \quad (8)$$

또한, T_H 참조 온도면에 대한 다항식 적합 곡선 $V_{T_H}(T)$ 로부터 식 (9)와 같이 검출기 출력보정 결과를 얻을 수 있다.

$$Y = G_c\{X - V_{T_H}(T_c)\} - G_s\{X_s - V_{T_H}(T_s)\} + \overline{X_{sc}} \quad (9)$$

여기서, $\overline{X_{sc}}$ 은 현재온도에서의 셀 평균응답 추정값의 평균에 해당되며, G_c 와 G_s 는 두 개의 참조 온도에 대한 근사화된 다항식 곡선 $V_{T_c}(T)$, $V_{T_H}(T)$ 으로부터 식 (3)을 통해서 구할 수 있다.

4. 실험결과

본 논문에서는 실험을 위하여 국내에서 제작된 TiO_x 계열의 17 μm 피치 QVGA급 마이크로볼로메터 타입의 비냉각 검출기를 사용하였으며, 검출기의 기본 제원은 Table 1과 같다.

해당 검출기를 적용하여 제작한 광학계를 포함한 열상 모듈을 Fig. 5와 같은 시험 환경을 구축하여 데이터를 추출하여 특성을 분석하였다. 검출기의 아날로그 출력은 14 bit로 양자화해서 획득하고, 다항식 계수 추정은 최소제곱(Least squares)법을 이용하는 Matlab 함수를 활용하였다. 제안된 TEC-less 알고리즘을 시뮬레이션 하였다. 결과 영상의 시인성과 상대비교를 위

Table 1. IR detector specifications for experiment

항목	단위	규격
Spectral Range	μm	LWIR(8~14)
Pixel Pitch	μm	17
Array Format	Pixels	384 × 288
Frame Rate	Hz	60(Max)
NETD	mK	<40(@F/1, 300 K, 30 Hz)
Operability	%	>99.5
Dimension(W×H×D)	mm	16.5 × 16.5 × 3.2
Weight	g	<4
Package Type	-	TECLESS, Ceramic

하여 후처리로는 일반적인 열상처리 과정에서 포함되는 불량화소 대체와 평탄평활화(Plateau equalization) 과정을 거쳐서 8 bit 명암도 영상으로 변환하여 전시하였다.

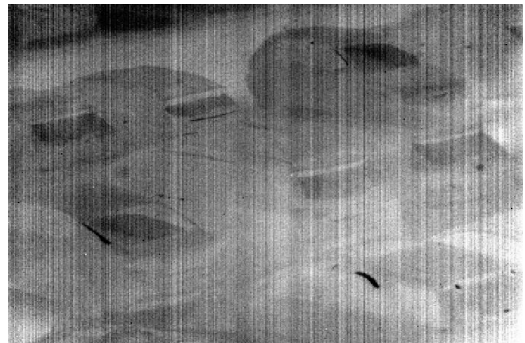
Fig. 8은 검출기 FPA 온도가 최초 온도에서부터 10 °C 변화가 발생하였을 때 TEC-less 알고리즘 적용여부에 따른 영상 품질변화에 대한 실험 결과 영상이다.

Fig. 8(a)는 고정이득, 오프셋을 적용한 열상처리 결과로 현재 획득영상의 FPA 온도와 동일한 온도에서 획득한 이득 및 오프셋값을 적용하여 보정을 수행한 영상이며, 8(b) 영상은 FPA 온도와 10 °C 차이는 환경에서 획득한 이득, 오프셋값을 적용한 경우의 열상처리 결과이다. 이는 최초 참조면 획득온도에서 내부온도가 10 °C 변화한 상황을 모의한 결과로 현재 FPA 온도와 참조값 획득온도가 동일한 경우 영상의 품질이 우

Using static gain and offset



(a) Reference surface(T_C , T_H) acquisition at current FPA temperature



(b) FPA temperature differs 10 °C from (a)

Using TEC-less Algorithm



(c) TEC-less with 3rd order polynomial fitting



(d) FPA temperature differs 10 °C from (c)

Fig. 8. Image quality comparison according to FPA temperature change

수하나, 우측 영상과 같이 FPA 온도가 참조값 획득 온도로부터 멀어질수록 영상의 열화는 심하게 나타나게 된다.

Fig. 8(c) 영상은 -30 °C에서 60 °C 구간의 참조온도 (T_C , T_H)면에 대한 출력 데이터로부터 3차 다항식 보간 계수를 추정하여 제안하는 TEC-less 알고리즘 적용한 결과영상이며, Fig. 8(d) 영상은 최초 참조면 획득 온도가 FPA 온도와 10 °C 차이가 날 때 처리결과 영상이다. 예측한 바와 같이 TEC-less 알고리즘을 적용한 경우에는 Fig. 8(b)에서와 같이 10 °C의 FPA 온도 변화에 나타난 영상의 열화가 Fig. 8(d) 결과와 같이 FPA 온도 변화에도 영상품질을 견고하게 유지하고 있음을 볼 수 있다.

추가적으로 실험내용 정량적인 분석을 위하여 온도별 흑체 영상에 대한 시간 경과 후 RNU(Residual Non-Uniformity) 값 분석을 수행하였다. RNU는 식 (10), (11)과 같이 NUC 후의 영상의 표준편차를 평균으로 나눈 값을 사용한다^[8].

$$RNU[\%] = \frac{S}{Y} \times 100 \tag{10}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (I_{ij} - Y)^2} \tag{11}$$

여기서, N 은 검출기 유효 화소수로 $m \times n$ 이며, Y 는 검출기 출력의 화소 전체 평균값이다.

Table 2와 Fig. 9에서는 3가지 NUC 방법에 따른 RNU 값을 비교하였다. 결과 영상의 RNU 값은 작을 수록 NUC 결과가 양호함을 나타내며, 시험에서는 각 온도별로 획득한 20 °C 흑체 영상을 이용하였다.

실험 결과에서 첫 번째 방법은 기존의 TEC가 있는 비냉각형 열상 검출기에서 사용하는 일반적인 고정이득 및 오프셋을 적용한 결과이다. 이 때 참조온도 T_C , T_H 는 FPA 온도 0 °C에서 획득한 흑체 20 °C, 30 °C 영상을 이용하였다. 두 번째 및 세 번째 방법은 각각 2차와 3차 다항식 보간 기반의 TEC-less 알고리즘을 적용하여 그 결과를 비교하였다.

실험에서 FPA 온도 0 °C, 흑체온도 20 °C 영상은 Method 1에서 이득을 계산하기 위한 T_C 참조영상으로 사용하였으며, FPA온도 20 °C, 흑체온도 20 °C 영상은 모든 방법에서 참조면 영상으로 모의하여 사용하였으므로 비교에서 제외하였다.

Table 2. RNU results for FPA temperature variation

시험영상 (FPA온도/흑체온도)	Method1	Method2	Method3
-30 / 20	1.4953	0.3228	0.0797
-20 / 20	1.0462	0.3032	0.1922
-10 / 20	0.4659	0.4208	0.1689
0 / 20	-	0.3604	0.1310
10 / 20	0.5110	0.2237	0.0727
30 / 20	1.8920	0.2565	0.1115
40 / 20	2.8680	0.4060	0.2295
50 / 20	4.2601	0.3645	0.3003
60 / 20	8.6621	2.1389	0.2873

- Method1 : Static gain and static offset
- Method2 : 2nd order polynomial interpolation
- Method3 : 3rd order polynomial interpolation

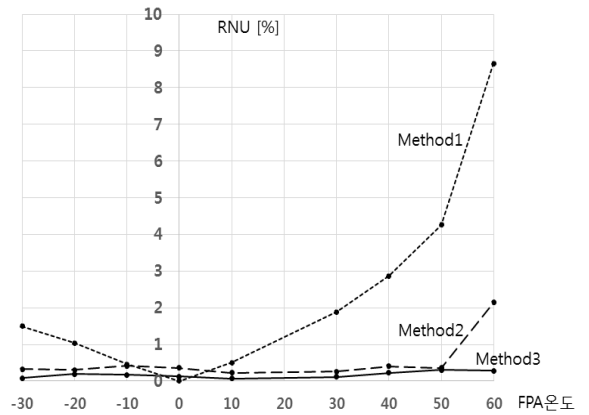


Fig. 9. RNU results for FPA temperature variation

결과에서와 같이 고정이득과 오프셋을 사용하는 경우에 FPA 온도가 참조값 획득온도로 사용한 0 °C에서 멀어질수록 RNU 값이 급격히 증가됨을 알 수 있으며, 제안한 다항식 보간 기반의 계수추정 방법을 사용하는 경우 RNU가 전 온도구간에 걸쳐 안정적으로 유지되고 있음을 볼 수 있다. 검출기의 출력 특성은 감응물질의 종류, 검출기 구조 등에 따라 다소 다른 형태를 가질 수 있으므로, 적합 에러를 최소화하기 위한 다항식 차수의 설정은 오프라인에서 충분히 검출기 데이터에 대한 출력 분석 실험을 통해 결정하여야 한다.

5. 결론

소형 화기와 같은 휴대형 무기체계에서 소형경량화, 저전력화는 체계 운용성 확보를 위한 필수 요구사항이다. 최근 열상 검출기는 하드웨어의 발전과 공정 개발로 셀 간 피치를 줄이면서 꾸준히 소형화가 이루어져왔다. 또한 온도제어가 필요 없는 TEC-less 비냉각 검출기가 개발되어 휴대형 무기체계 뿐만 아니라 민수분야에도 그 수요를 발생시키고 있다. 그러나 상대적으로 TEC-less 비냉각 검출기는 주변온도에 영향을 받아 지속적인 영상품질을 유지하기 위한 별도의 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 소형, 저전력 무기체계에 활용 가능한 다항식 기반의 실시간 TEC-less 열상처리 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해서 영상 품질을 분석하였다. 실험결과에서 제안한 알고리즘을 적용한 경우 최초 보정 후 시간 경과에 따른 FPA 온도 변화에도 열화 없이 우수한 영상 품질을 유지함을 정량적인 분석을 통하여 확인하였다. 본 논문에서는 실험에 사용한 검출기의 반응 특성을 고려하여 3차 다항식을 적용한 경우에 더욱 좋은 결과를 나타내었다.

제안한 알고리즘은 연산을 위한 조건문이나, 분기문이 필요하지 않고 덧셈과 곱셈으로 이루어져 있어 실시간 구현이 용이하다. 다만, 다항식의 차수가 올라갈수록 지수의 거듭제곱 계산에 의한 메모리 및 연산량이 증대되므로, 검출기의 특성을 충분히 분석하여 소형화 장비의 목적에 따라 최적화된 추정 방법을 적용하여야 한다.

향후, 제안된 기법은 국방 분야의 비냉각 검출기를 활용하는 소형 사격통제장치, 휴대형 감시장비와 같은 무기체계 뿐만 아니라 자동차, 스마트폰 등 민수분야의 소형, 저전력을 요구하는 다양한 분야의 열상 응용에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] Dongmin Kwak, Dongwon Yang, Younghun Lee, and Younsik Kang, "Algorithm Design of TECLESS IR Image Processing for Small Arms," KIMST Autumn Conference Proceedings, 2016.
- [2] Giyeul Sung, Dongmin Kwak, Kiho Kwak, Dojong Kim and Joon Lyou, "Low Power IR Module Design for Small Arms Using Un-cooled Type Detector," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 138-144, 2007.
- [3] A. Rogalski, "Infrared Detectors for the Future," Optical and Acoustical Methods in Science and Technology, Vol. 116, No. 3, pp. 389-406. 2009.
- [4] Sanghyuck Han and Dongmin Kwak, "Dynamic Calibration Coefficients Estimation with Linear Interpolation for Uncooled TEC-less IRFPA," Journal of Korea Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 11, No. 1, pp. 98-101, 2012.
- [5] Qu Hui-Ming, Gong Jing-tan, Huang Yuan and Chen Qian, "New Non-uniformity Correction Approach for Infrared Focal Plane Arrays Imaging," Journal of the Optical Society of Korea, Vol. 17, No. 2, pp. 213-218, 2013.
- [6] A. Tempelhahn et. al., "Reducing the Measurement Uncertainty of Shutter-less Microbolometer-based Infrared Measurement Systems," AMA Conference, Sensors and IRS², pp. 961-966, 2015.
- [7] Yogesh Shinde and Arup Banerjee, "Design and Calibration Approach for Shutter-less Thermal Imaging Camera without Thermal Control," IEEE 6th International Conference on Sensing Technology, pp. 259-264, 2012.
- [8] Michal Krupiński et. al., "Non-uniformity Correction with Temperature Influence Compensation in Microbolometer Detector," Proc. of SPIE Vol. 9481. 948113, 2015.