White Paper

열화상 카메라

2024년 3월 19일

Contents

1 개요

1.1 영상 감시 시장에서의 열화상카메라의 역할

세상의 모든 카메라는 사람의 눈이 볼 수 있는 수준 혹은 그 이상의 성능을 내기 위해 꾸준히 발전되어 왔다. 영상 감시 시장에서의 카메라들 또한 그 목적의 특수성에 의하여 사람의 눈보다 더 멀리, 더 상세히 보기 위한 발전을 거듭해 왔다. 다양한 환경과 조건에서 영상 감시를 지속적으로 수행하는 것을 넘어서, 최근에는 AI 기술을 접목한 영상 분석을 통해 사용자에게 보다 효과적이고 의미 있는 정보 전달할 수 있는 기술들이 시장을 주도해 나가고 있다.

아울러, 가시광 카메라로 감시가 어려운 환경에서 오랫동안 군사 및 일부 특수 목적으로 주로 활용되던 열화상 카메라도 최근 몇 년 사이에 일반 영상 보안 시장에서 자리를 잡아가고 있다. 반도체 기술과 MEMS 기술의 발전에 힘입어 2000년대 이후 열화상 기술은 급속한 성장하게 되었으며, 센서 기술과 영상 처리 기술의 발전으로도 극복할 수 없었던 부분을 열화상 카메라가 보완해 주고 있기 때문이다. 영상 보안 시장의 지속적인 성장과 더불어 산업 자동화에 대한 수요 증대 그리고 COVID-19과 같은 시대적 상황을 거치면서 열화상 카메라에 대한 수요는 앞으로도 지속될 것으로 전망된다.

1.2 앞으로 다룰 내용

본 백서에서는 적외선과 적외선 센서를 이용한 열화상 처리에 대한 설명을 바탕으로 열화상 측정 및 분석을 통해 영상 감시 시장에서 열화상 카메라가 어떻게 활용될 수 있는지를 살펴보고, 열화상 카메라를 보다 효과적으로 사용하는 방법에 대해서 다루고자 한다.

앞으로 다룰 내용은 다음과 같이 크게 세 부분으로 구성되어 있다.

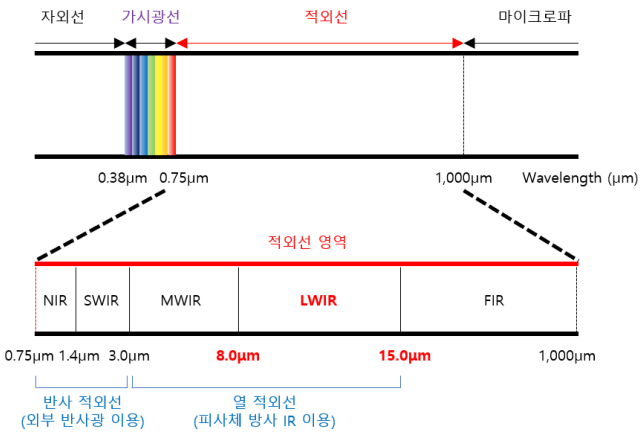
① 열화상 센서의 이해
② 한화비전 열화상 카메라 솔루션의 종류와 특징
③ 열화상 카메라 설치 및 운용 시, 고려할 사항

2 열화상 센서의 이해

2.1 적외선 스펙트럼과 적외선 센서

전자기파 스펙트럼에서 적외선(IR, Infrared) 영역은 **그림 1** 과 같이 0.75μm 에서 1,000μm 파장 영역에 해당한다. 적외선은 파장 영역마다 특성이 다르기 때문에 근적외선(NIR), 단파 적외선(SWIR, Short Wavelength IR), 중파 적외선(MWIR, Middle Wavelength IR), 장파 적외선(LWIR, Long Wavelength IR), 원적외선(FIR, Far IR)로 세분화하여 부른다. 이를 분류하는 기준은 국제 표준화 기구(ISO, International Organization for Standardization), 국제 조명 위원회(CIE, International Commission on Illumination) 등 기관에 따라 다양하지만, 일반적으로 **그림 1** 과 같은 기준을 사용한다.

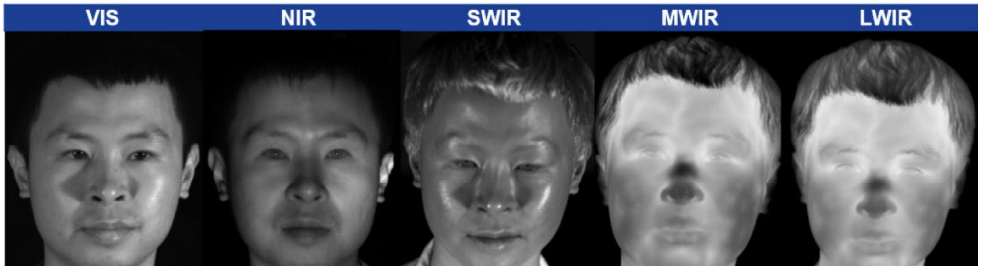
NIR 과 SWIR 영역의 적외선을 사용하는 어플리케이션은 주로 피사체에 의해 반사된 광을 이용하기 때문에 NIR 과 SWIR 을 반사 적외선(Reflected IR), MWIR 과 LWIR 영역의 적외선을 사용하는 어플리케이션은 피사체에서 방사되는 적외선을 이용하기 때문에 MWIR 과 SWIR 을 열 적외선(Thermal IR) 이라고도 한다.



적외선 종류	파장 대역
NIR(Near IR)	0.75μm ~ 1.4μm
SWIR(Short Wavelength IR)	1.4μm ~ 3.0μm
MWIR(Middle Wavelength IR)	3.0μm ~ 8.0μm
LWIR(Long Wavelength IR)	**8.0μm ~ 15.0μm**
FIR(Far IR)	15.0μm ~ 1,000μm

[그림 1. 전자기파에서 적외선 영역]

아래 그림 2 는 가시광과 적외선을 이용해서 얻은 피사체의 영상 차이를 보여준다. NIR 과 SWIR 은 가시광과 같이 반사되는 빛을 이용하기 때문에, 영상이 가시광 영상과 비슷하게 보인다. 반면 MWIR 과 LWIR 은 피사체, 여기서는 피부 표면에서 방사되는 적외선을 이용하기 때문에 가시광 영상과 차이가 나는 것을 볼 수 있다. (출처: Shuowen Hu 외, 2017)



[그림 2. 가시광과 적외선을 이용한 피사체 영상 비교]

SWIR 카메라는 가시광 영상과 같이 파사체에 의한 반사광을 통해서 영상을 얻는다. 최근 InGaAs 반도체 재료를 이용한 비냉각 방식의 센서 생산이 가능해서 센서 단가가 내려갈 것으로 예상되지만, 여전히 MWIR, LWIR 센서에 비하면 고가이다. SWIR 카메라는 주간과 별빛이 있는 야간에 영상을 획득할 수 있고, 유리와 구름을 관통해서 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다. SWIR 카메라는 농산물 식별 및 분류, 전자 보드 검사, 태양 전지 검사, 위조 방지 등의 분야에서 사용된다.

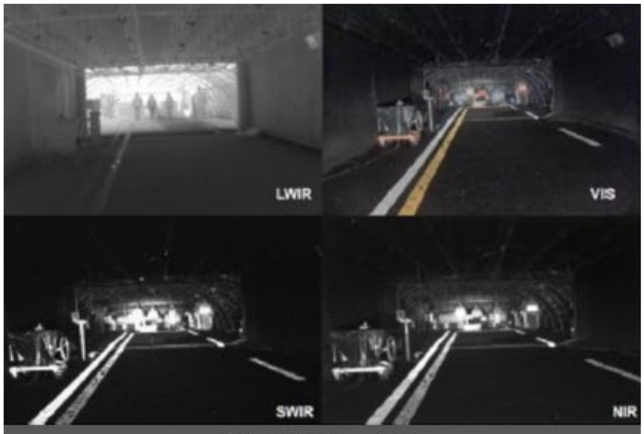
MWIR 카메라는 LWIR 카메라와 같이 피사체에서 방사되어 나오는 적외선을 사용하여 영상을 얻는다. MWIR 은 SWIR 에 비해 대기 중에서 산란이 덜하기 때문에 연기, 먼지, 안개 등의 영향을 덜 받는다. MWIR 카메라는 군사용 이외에도 메탄, 프로판, 에탄올, 육불화황 등과 같은 특정 가스를 감지하는 용도로 사용된다.

LWIR 카메라는 MWIR 카메라와 같이 피사체에서 방사되어 나오는 적외선을 사용하여 영상을 얻는다. LWIR 카메라는 영상 보안 감시 장치로 가장 일반적으로 사용되고 있다. 그 이유는 산화바나듐(VOx, Vanadium Oxide) 또는 아몰퍼스 실리콘(α-Si, Amorphous Silicon) 같은 열형(thermal) 소재를 이용한 MEMS 생산 공정 기술의 발전과 비냉각 방식의 센서 동작 상용화로 인해 다른 적외선 센서 대비 가격이 저렴해졌을 뿐만 아니라, 연기/안개/먼지/비/저조도 등 가시광 카메라의 동작 한계 환경에서 우수한 특성을 보이기 때문이다.

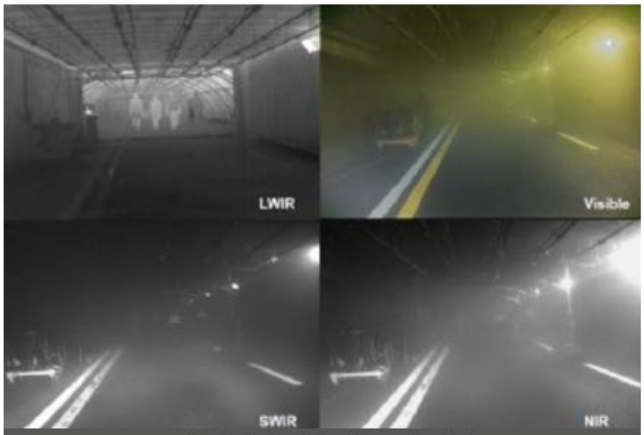
아래 **그림 3** 은 다양한 조건에서 가시광, NIR, SWIR, LWIR 을 이용해 얻은 영상을 비교한 그림이다. 주간 조건(그림 a)에서는 가시광과 NIR, SWIR 영상이 LWIR 영상에 비해서 우수하다. 하지만 어두운 터널(그림 b)나 짙은 안개와 차량의 강한 헤드램프가 있는 상황(그림 c)에서는 LWIR 영상이 가장 우수함을 알 수 있다. 그림 b 와 같이 완벽히 어두운 환경에서 보행자를 감지할 수 있는 것은 LWIR 카메라 뿐이다. 그림 c 와 같이 자욱한 안개 속에서 차량의 전조등을

켰을 때, 보행자를 놓치지 않고 확인할 수 있는 것도 LWIR 카메라를 통해서 가능하다. (출처: N. Pinchon et al. 2018)

(a) 주간도로



(b) 안개 없는 터널



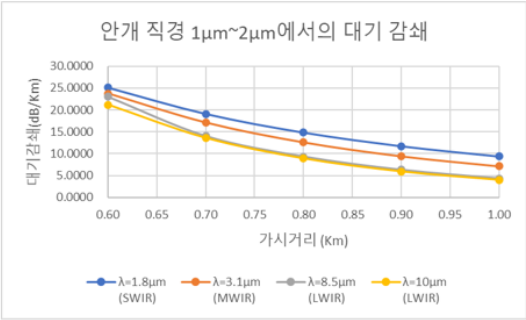
(c) 안개 속 헤드램프 켠 터널

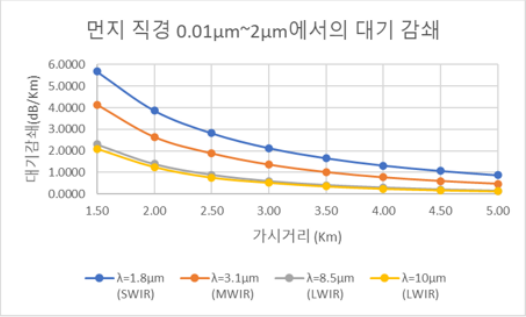
[그림 3. 다양한 조건에서의 비교 영상]

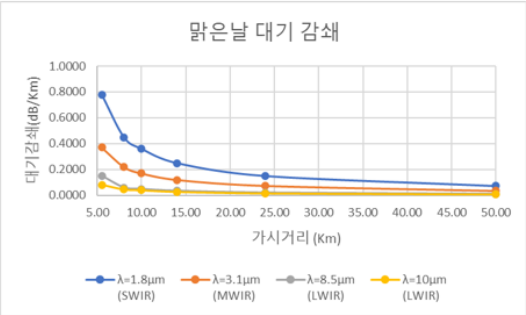
안개/연기/먼지 등이 있는 조건에서 LWIR 카메라가 다른 대역의 카메라보다 우수한 특성을 나타내는 이유는 다음 표를 통해서 알 수 있다. 표 1 는 대기 조건에 따른 파장의 감쇄율을 실험식을 통해 구한 값이다. 안개 직경이 10μm~20μm 로 큰 경우에는 LWIR 카메라도 다른 카메라와 유사한 감쇄 특성을 보이기 때문에, 이 때에는 LWIR 카메라를 사용하더라도 뚜렷한 영상을 얻기 힘들다. 하지만 그보다 작은 안개나 먼지가 대기 중에 있는 조건에서는 LWIR 카메라가 영향을 덜 받기 때문에, 다른 적외선 카메라에 비해 선명한 영상을 얻을 수 있다. (정용택, "적외선 센서의 최신 기술 동향", 홍릉과학출판사, 2014)

대기 조건에 따른 감쇄율

가시거리 (Km)	대기 감쇄(dB/Km)				기후 조건
	λ=1.8μm (SWIR)	λ=3.1μm (MWIR)	λ=8.5μm (LWIR)	λ=10μm (LWIR)	
0.01	1696.9400	1696.9400	1696.9400	1696.9400	안개 직경 10μm~20μm
0.02	848.4700	848.4700	848.4700	848.4700	
0.04	424.2300	424.2400	424.2400	424.2400	
0.05	339.3800	339.3800	339.3800	339.3800	
0.20	84.8400	84.8400	84.8400	84.8400	
0.40	42.4200	42.4200	42.4200	42.4200	
0.50	33.9300	33.9300	33.9300	33.9300	
0.60	25.1200	23.7800	23.0100	21.1600	안개 직경 1μm~2μm
0.70	19.1200	17.1400	14.0200	13.5700	
0.80	14.8600	12.6100	9.3200	8.8800	
0.90	11.7300	9.4200	6.3000	5.9000	
1.00	9.3800	7.1300	4.3100	3.9700	
1.50	5.6800	4.1400	2.3100	2.1000	먼지 직경 0.01μm~2μm
2.00	3.8700	2.6400	1.3900	1.2500	
2.50	2.8200	1.8800	0.8900	0.7600	
3.00	2.1300	1.3600	0.5900	0.5200	
3.50	1.6600	1.0100	0.4100	0.3500	
4.00	1.3200	0.7700	0.2900	0.2400	
4.50	1.0700	0.6000	0.2000	0.1700	
5.00	0.8700	0.4700	0.1400	0.1200	
5.50	0.7800	0.3700	0.1500	0.0800	맑음
8.00	0.4500	0.2200	0.0600	0.0450	
10.00	0.3600	0.1700	0.0480	0.0390	
14.00	0.2500	0.1200	0.0340	0.0270	
24.00	0.1500	0.0740	0.0200	0.0160	
50.00	0.0720	0.0350	0.0097	0.0078	
54.00	0.0470	0.0190	0.0040	0.0028	매우 맑음
60.00	0.0420	0.0170	0.0035	0.0027	







[표 1. 대기 조건에 따른 감쇄율]

2.2 열화상 센서와 이를 이용한 영상 처리

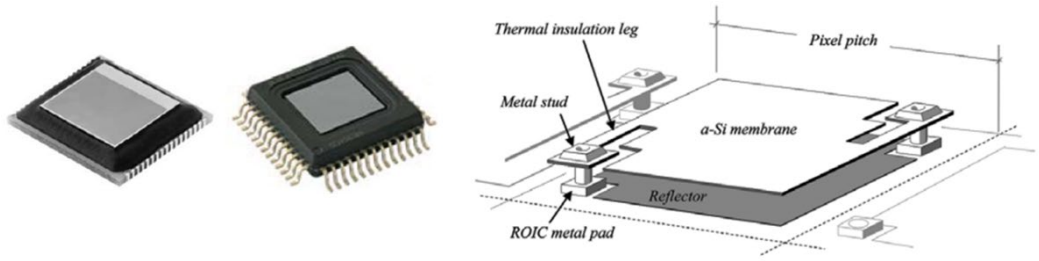
앞서 우리는 적외선을 이용한 세 가지 종류의 카메라, 즉 SWIR 카메라, MWIR 카메라 그리고 LWIR 카메라의 특징을 살펴보고, LWIR 파장대가 영상 보안용 감시 카메라에서 일반적으로 사용되는 이유를 확인할 수 있었다. 이하에서는 LWIR 파장대의 적외선 신호를 감지하는 마이크로 볼로미터 열형(thermal)

센서를 ‘**열화상 센서**’, 그리고 이를 이용한 카메라를 ‘**열화상 카메라**’로 지칭한다.

2.2.1 열화상 센서

절대 온도 0K(Kelvin) 이상의 온도를 가진 물체는 적외선이라는 형태의 에너지로 방사를 하게 된다. 적외선을 측정한다는 것은 물체의 방사 에너지를 측정한다는 의미이며, 이는 달리 물체의 온도를 측정하는 것과 같은 개념이다. 적외선을 측정할 수 있는 센서는 반도체를 재료를 이용한 양자형(quantum)과 반도체 재료가 아닌 재료를 이용한 열형(thermal)의 두 종류로 나눌 수 있다. 여기서는 다양한 적외선 센서 중에서 영상 보안 감시 목적으로 주로 사용되는 열형 센서인 볼로미터(bolometer) 센서에 대해서 다룬다. 볼로미터는 그리스어의 광선(ray)을 뜻하는 bolo 와 측정한다는 의미의 meter 가 합쳐져서 만들어진 단어로, 풀이하면 적외선을 측정한다는 의미를 담고 있다. 볼로미터는 적외선이 입사하거나 온도가 변화면 내부의 저항이 변하는 성질을 이용한 센서이다. 그래서 열화상 센서의 성능은 입사하는 적외선 복사 에너지에 의한 온도 증가와 온도 변화에 의한 전기적인 변화의 2 가지 전달 과정의 효율과 특성에 의해 결정된다. 최근에는 MEM 공정 기술의 발달로 높은 해상도를 갖는 마이크로 볼로미터(micro bolometer)가 일반 열화상카메라에 사용되고 있다.

아래 그림 4 는 일반적인 마이크로 볼로미터 타입의 열화상 센서의 외관과 그 내부 구조를 보여준다. (출처: J.L. Tissot et al. 2013)



(a) 열화상 센서의 외형 (b) α–Si 열화상 센서의 내부 구조

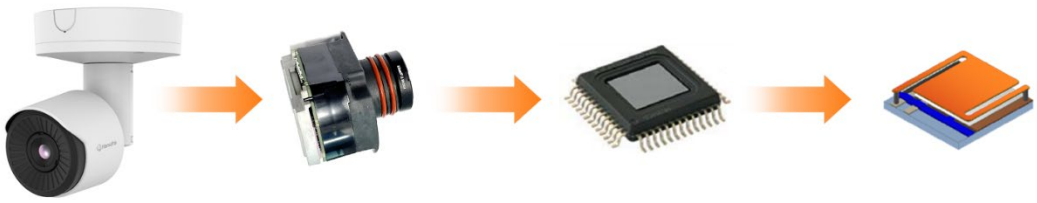
[그림 4. 열화상 센서의 외형과 구조]

볼로미터에 적외선이 입사되면 적외선을 흡수하여 열적으로 고립되어(isolated) 있는 멤브레인(membrane) 저항체의 온도가 올라간다. 저항체의 온도 변화는 흡수된 적외선의 양에 따라 변화한다. 필 팩터(fill factor)는 입사하는 적외선을 흡수하는데 사용되는 픽셀 면적으로 정의하며, 일반적으로 픽셀의 약 80% 정도의 필 팩터를 가지고 있다. LWIR 적외선을 흡수를 강화하기 위해서 멤브레인과 반사판(reflector) 사이에 λ/4 만큼의 공진

간격(resonant cavity)가 사용된다. 블로미터가 주위 온도의 영향을 덜 받도록 하기 위해 열적으로 고립된 다리(thermal Isolation leg)는 낮은 열전도를 가진 소재로 되어 있다. 다리는 FPA(Focal Plane Array, 2 차원 초점 배열)을 ROIC(Readout Integrated Circuit)과 연결시켜 주는 역할과 멤브레인과 반사판 사이의 간격폭을 조정하는 역할을 한다. ROIC 는 멀티플렉서로서 FPA 센서와 연결되어 저항 변화에 의한 각각의 전기 출력을 읽어내고, 작은 신호를 측정 가능한 큰 출력 전압으로 증폭시키는 역할을 한다.

2.2.2 열화상 센서를 이용한 열화상 카메라

열화상 센서를 이용한 일반적인 열화상 카메라의 구조는 다음 그림 5 와 같다. 열화상 카메라는 검출기부와 HW 모듈부로 크게 나눌 수 있다.



[그림 5. 열화상 카메라의 구조]

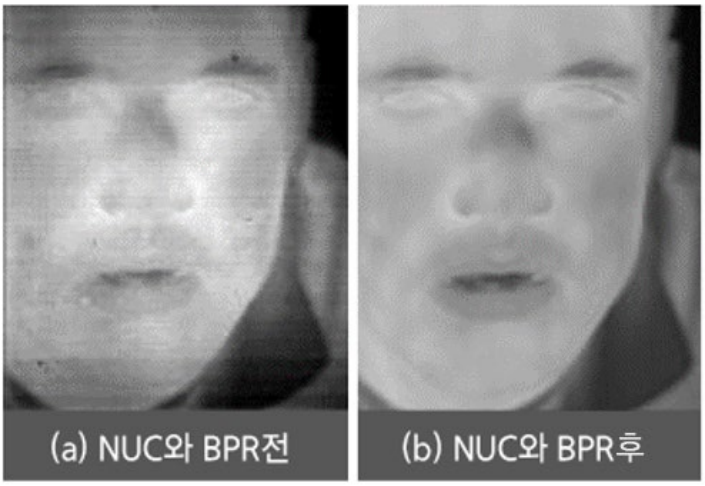
검출기 부분에는 광학렌즈와 입사되는 적외선을 감지하고, 이에 상응하는 전기적인 신호를 출력하는 센서로 구성되어 있다. 열화상 카메라에 사용되는 렌즈의 경우에는 보통 적외선을 잘 투과할 수 있도록 게르마늄(Ge) 렌즈를 사용한다. HW 모듈 부분에는 검출기에서 입력되는 전기 신호를 처리할 수 있는 영상처리부(FPGA 나 DSP 가 사용됨.), 영상 출력부, 전원 회로부 등으로 구성된다. 영상 처리부에서는 열영상을 보다 선명하게 표현하기 위한 다양한 영상처리 기법들이 구현된다.

CMOS 센서와 달리 열화상 센서에서 반드시 필요한 영상 처리 중에 하나가 비균질 보정(NUC, Non-Uniformity Correction) 공정이다. FPA 구조의 열화상 센서는 아래 세 가지 요인에 의해 비균질 문제가 나타난다.

① 입사되는 적외선에 대한 각 픽셀의 불균일한 비선형적인 특성
② 픽셀간 이득(gain)과 옵셋(offset) 값의 불균일한 특성
③ 시간과 설치 공간에 따라 옵셋 값이 비선형적으로 변하는 특성

이를 해결하기 위한 방법이 NUC 공정을 수행하는 것이다.

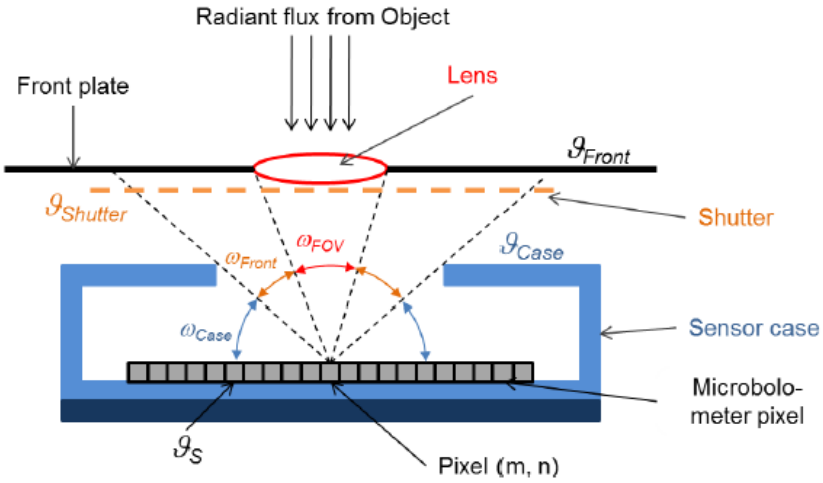
아래 그림 6 은 NUC 전후 영상의 비교를 통해 NUC 공정의 필요성을 보여주기 위한 그림이다. NUC 공정을 통한 각 픽셀 간의 편차가 보정되지 않으면, 그림 (a)와 같이 FPN(Fixed Pattern Noise)가 보이게 되고, 선명한 영상을 얻을 수 없다. NUC 공정 이후 그림 (b)와 같이 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다. (출처: Vladimir I. Ovod et al. 2005)



·NUC(Non-Uniformity Correction)
·BPR(Bad Pixel Replacement)

[그림 6. NUC 전, 후 영상 비교]

NUC 공정에 대해서 이해하기 위해서는 열화상 카메라의 검출기 부분에 대한 이해가 필요하다. 다음 그림 7 은 검출기 부분에 대한 간략한 구조를 보여준다.

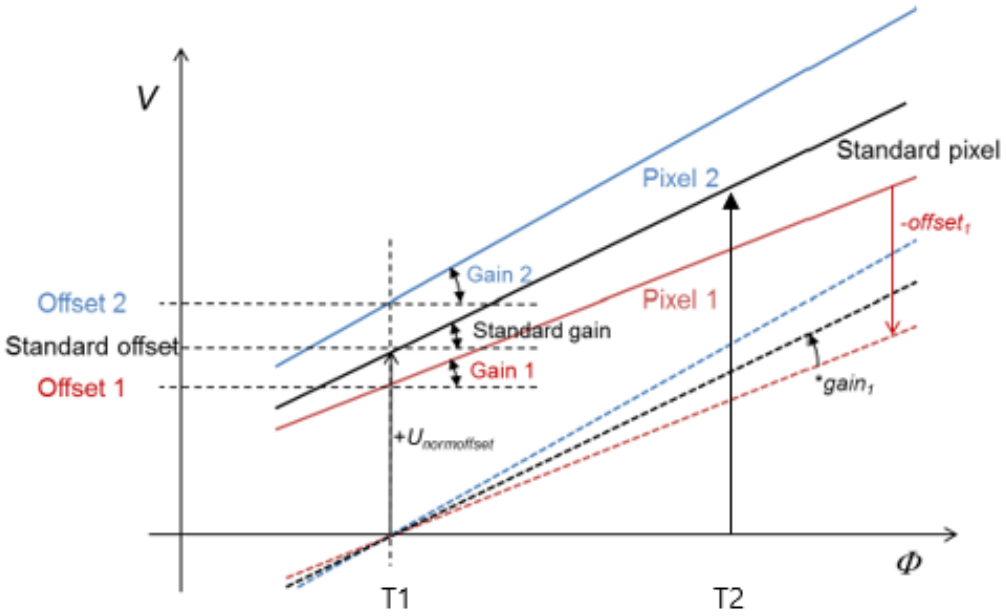


[그림 7. 열화상 카메라 검출기 구조]

위 그림과 같이 센서의 픽셀에 입사되는 적외선원은 피사체에 방사되는 적외선, 전면 하우징에서 방사되는 적외선, 셔터에서 방사되는 적외선, 센서를 감싸고 있는 케이스에서 방사되는 적외선 그리고 센서 자체에서 방사되어 나가는 적외선 등이 있다. 피사체에 의한 적외선양만 측정하기 위해서는 다음과 같이 하면 된다.

센서의 출력은 센서에 입사되는 적외선양과 센서의 온도 변화에 영향을 받기 때문에, 센서가 열적 평형 상태, 즉 센서의 온도가 일정한 상태를 유지하면 센서의 출력은 입사되는 적외선의 양에 따라서만 변하게 된다. 따라서 우선 센서를 열적 평형 상태에 이르게 한다. 그 다음 피사체의 온도 T1, T2 (T1<T2)만 바꿔서 차례대로 촬상 후, 센서의 출력 값을 측정한다. 끝으로 T2 출력값에서 T1 출력 값을 빼주면 그 외 적외선원은 상쇄되므로, 피사체에 의한 적외선양만 측정한 결과를 얻을 수 있다. 이 방법을 통해 FPA 구조의 열화상 센서, 각 픽셀 간 편차를 보정하기 위한 2-Point NUC 이득(Gain)과 옵셋(Offset)을 구할 수 있다.

아래 그림 8 은 두 개의 픽셀 1, 2 에 대해서 표준 커브(standard curve)의 특성으로 보이도록 각각의 이득과 옵셋을 구하는 과정을 나타내고 있다. 흑체(blackbody)의 온도를 T1, T2 로 설정한 후, 모든 픽셀의 평균값을 구해서 이를 표준 커브로 정한다. 그리고 나서 각 픽셀의 개별값이 이 표준 커브 특성을 갖도록 각 픽셀의 이득과 옵셋을 계산을 통해 정하게 된다. 이러한 과정을 통해 개별적인 편차를 가지고 있던 픽셀의 출력은 이후 표준 커브와 같은 공통된 출력을 나타내게 된다. (출처: H. Budzier and G. Gerlach, 2015)



[그림 8. 2-Point NUC Gain 과 Offset 을 구하는 도식]

2.3 열화상 센서 이해를 위한 사양 용어

- 픽셀 피치(Pixel Pitch): 열화상 센서의 FPA(Focal Plane Array)를 구성하는 각 픽셀의 크기를 나타내는 것으로, 열화상 카메라에 주로 사용되는 열화상 센서의 픽셀 피치는 17μm 또는 12μm가 일반적이다.

- 스펙트럼 응답(Spectral Response): 입사되는 전자기파에 대해서 열화상 센서가 반응하는 전자기파의 파장대역을 나타내는 것으로, 열화상 카메라에 주로 사용되는 열화상 센서의 파장대는 주로 8μm ~ 14μm이다.

- 해상도(Resolution): 해상도는 열화상 센서를 통해서 변환한 이미지를 얼마나 작은 단위(Pixel, 픽셀)로 나눌 수 있는지에 대한 지표이다. 영상 보안 목적으로 사용되는 열화상 카메라의 일반적인 해상도는 QVGA(320x240) 또는 VGA(640x480)이 일반적이다. 최근에는 XGA(1024x768), SXGA(1280x1024) 해상도를 가진 열화상 카메라도 시장에 나오고 있는 추세이다.

- 잡음 등가 온도 차이(NETD, Noise Equivalent Temperature Difference): 열화상 센서의 온도 분해능 나타내는 항목이다. 카메라가 가지고 있는 잡음을 고려해서 온도를 구분할 수 있는 최소의 온도 차이를 말한다. 즉, 이 값이 작으면 온도 분해능이 좋은 것이고, 이 값이 크면 온도 분해능이 나쁘다는 것을 뜻한다.

- NEDT(Noise Equivalent Differential Temperature): NETD와 같은 용어.

- NUC (Non-Uniformity Correction): FPA 형태의 열화상 센서 내 각 픽셀 간의 출력 특성 편차를 없애서 동일한 출력 특성이 나오도록 하는 보정. 보통 한 개의 기준점 또는 2개의 기준점을 사용하는 선형 보정법이 주로 사용되며, 이를 통해 각각의 픽셀이 동일한 이득과 옵셋을 갖도록 보정해 줌으로써 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있다.

- 2-Point NUC: 2개의 기준 온도를 사용하여 픽셀 간의 편차를 보정하는 NUC 방법. 2-Point NUC는 열화상 카메라 제조 단계에서 2개의 흑체(blackbody)를 이용해서 수행되며, 이 때 구해진 보정값은 메모리에 저장되어 동작 시 적용된다.

- 1-Point NUC: 1개의 기준 온도를 사용하여 픽셀 간의 편차를 보정하는 NUC

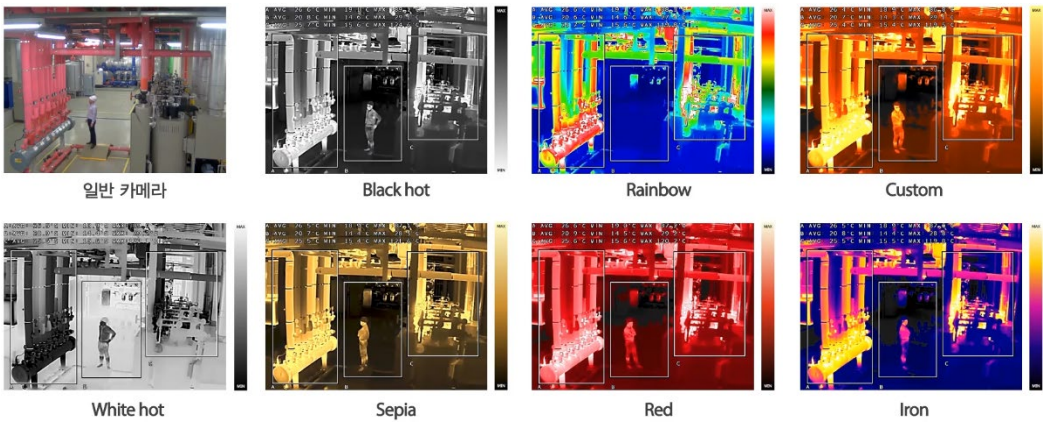
방법. 기준 온도로는 렌즈 앞에 설치된 셔터를 이용한다. 1-Point NUC를 수행하기 위해서는 셔터를 닫고, 셔터면의 온도를 기준으로 각 픽셀간의 옵셋을 보정한다. 셔터면이 닫힌 동안에는 셔터면이 닫히기 직전의 영상이 출력되기 때문에, 연속적인 영상 출력이 안되는 단점이 있다. 하지만 열화상카메라가 설치된 장소의 온도 변화를 실시간으로 반영함으로써 좋은 화질의 영상을 얻기 위해서는 1-Point NUC 가 필요하다.

- NUC 주기: 2-Point NUC는 제조 공정에서 수행되며, 그 결과값(이득과 옵셋)이 메모리에 저장되기 때문에 한 번만 수행하면 된다. 1-Point NUC는 열화상 카메라가 설치된 장소의 주변 온도 변화를 반영해야 하기 때문에, 온도 변화를 적절히 반영할 수 있도록 수시로 수행된다. 운용 중인 열화상 카메라의 주변 온도 변화가 적은 환경에서는 1-Point NUC 수행 주기를 길게 할 수 있다. 열화상카메라의 설정 메뉴에 보면, 1-Point NUC 수행 주기를 필요에 맞게 조정할 수 있다.

- 데드 픽셀(Dead Pixel): Bad Pixel이라고 부르기도 함. 데드 픽셀은 FPA(Focal Plane Array)를 구성하는 각각의 픽셀의 평균 출력 특성과 다르게 반응하는 픽셀을 말한다. 데드 픽셀을 구분하는 기준은 제조사마다 다를 수 있다. FPA 구조를 갖는 열화상 센서는 공정상 불가피하게 데드 픽셀이 존재하기 때문에 열화상 센서 제조사에서는 열화상 센서 납품 시, 사양서에 데드 픽셀의 좌표값을 제공한다. 열화상 카메라 제조 단계에서 이렇게 알려진 데드 픽셀은 영상 처리 기법을 통해 정상적인 열영상이 나오도록 처리한다. 출하 이후 사용 중에 발생하는 데드 픽셀에 대해서는 1-Point NUC 공정 중에 실시간으로 모니터링하고, 그것이 열영상에 영향이 없도록 처리한다.

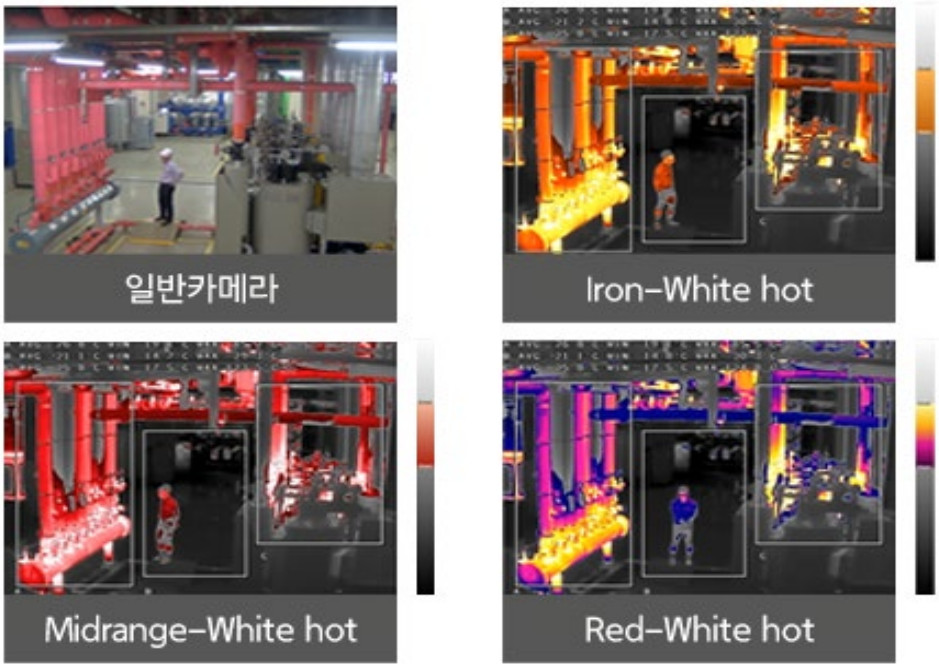
- 컬러 팔레트: 열화상 센서에 입력된 물체의 적외선량은 내부의 이미지 처리 과정을 거쳐 설정에 따라 다양한 색상으로 표현되도록 할 수 있다. 사용하는 환경에 따라 원하는 컬러 팔레트를 설정하여 최적의 영상 감시를 할 수 있도록 지원한다. 단, 컬러 팔레트의 색상과 종류는 별다른 공지 없이 수정 또는 추가될 수 있다.

그림 9 는 기본적으로 제공하는 컬러 팔레트 모드 종류를 보여준다.



[그림 9. 기본 컬러 팔레트 모드]

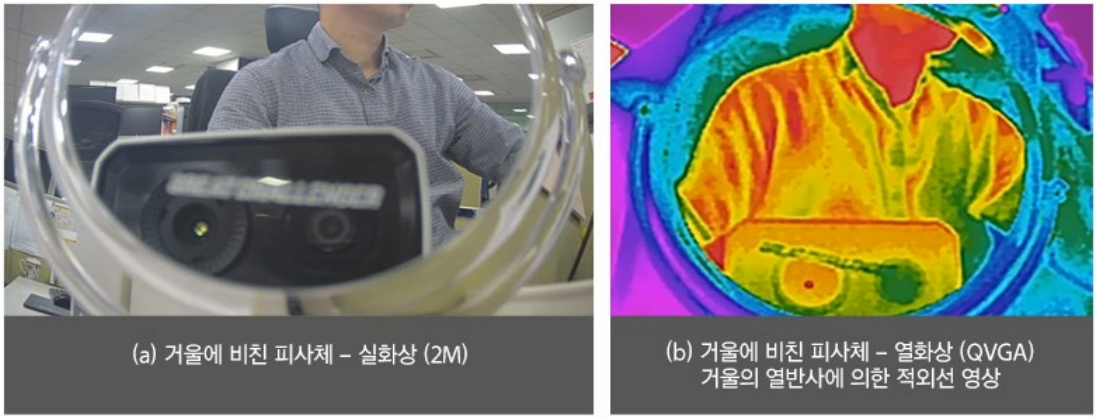
그림 **10** 은 하이브리드 팔레트의 설정 예를 보여준다. 하이브리드 팔레트는 관심있는 온도 범위, 예를 들어 특정 온도 범위를 속하는 피사체만 색상을 입혀서 강조함으로써 효율적인 모니터링을 하고자 할 때 유용한 기능이다. 그림 **10** 과 같이 설정한 하이브리드 팔레트 종류에 따라 설정된 온도 범위에 속하는 피사체가 강조되어 표현되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 10. 하이브리드 팔레트 모드]

- 열반사: 유리, 금속 또는 매끄러운 표면에서는 주변 열원에 의한 적외선 복사의 반사가 쉽게 일어나다. 이러한 열반사는 적외선 열영상 해석에 있어서 주의가 필요한 요인이다.

그림 11은 열반사에 의한 적외선 열영상이 어떻게 나타나는지를 보여준다. 아래 그림은 화각을 유사하게 조정한 후 얻은, 거울에 비친 피사체에 대한 실화상(a)과 열화상(b) 영상이다. (b)에서와 같이 피사체에서 나온 적외선이 거울에서 반사되어 보이는 것을 확인할 수 있다.



[그림 11. 열반사에 의한 적외선 열영상]

실제 열영상 분석에 있어서 열반사로 인해 열원이 있는 것으로 잘못 해석하지 않도록 항상 주의해야 한다.

- 안정화 시간: 열화상 센서의 출력은 입사되는 적외선의 세기뿐만 아니라 센서 자체의 온도에 의해서도 영향을 받는다. 그래서 열화상 카메라는 전원 인가 후, 열화상 센서가 열적 평형 상태에 도달하기까지 안정화 시간이 필요하다. 센서가 열적 평형 상태에 도달하는 동안, 센서에 맞는 설정값이 적용되도록 셔터에 의한 1-Point NUC는 안정화 상태일 때보다 자주 수행된다. 그렇기 때문에 열화상 센서가 안정화 상태에 도달하기 전까지는 온도 측정 또는 온도 감지 동작이 정확하지 않을 수 있다. 열화상 카메라가 동작하는 주변 온도 조건에 따라 안정화 시간은 변할 수 있으며, 일반적으로 30분 정도의 시간이 필요하다.

- IFoV: “Instantaneous field of view”의 약자로 열화상 카메라 공간 해상도를 나타낸다. FoV는 열화상 카메라 광학계 시야각에 따라 감지되는 전체 이미지 범위를 나타내고, IFoV는 열화상 센서의 단일 픽셀이 시야(FoV)측면에서 대상을 기하학적으로 분해하거나 볼 수 있는, 온도를 감지할 수 있는 정도를 표현한다. 간단히 정의하면 IFoV는 열화상 카메라가 주어진 렌즈와 센서 크기, 거리 조건에서 식별할 수 있는 가장 작은 표적 크기이다. 밀리라디안(milliRadians) 단위의 측정 각도로 표기하며, 시야각이 좁고 카메라의 해상도가 높을수록, IFOV값이 작다. IFoV는 일반적으로 아래 2가지 수식으로 계산할 수 있다.

① IFoV(mRad) = [pixel pitch(mm)] / 렌즈초점거리(mm) x 1000
② IFoV(mRad) = FOV(도) / 화소수 x (π/180) x 1000

예를 들어, Pixel pitch 가 17 ㎛가 초점거리가 4.4mm 인 열화상 카메라의 경우, IFoV 는 3.9mrad 이다. 3.9mrad 는 1 미터 떨어진 거리에서 1 개의 픽셀이 온도를 측정할 수 있는 물체의 최소 크기가 두 변의 길이가 3.9mm 인 정사각형을 의미하며, 10 미터 거리에서는 두 변의 길이가 39mm 인 정사각형이 최소 크기가 된다.

하지만 이는 이론적인 최소값이므로 열화상 카메라를 이용해 온도를 측정하는 경우에는 센서의 데드 픽셀, 대상 주변에서의 열반사 등의 실사용 시 발생 가능한 영향을 고려하여 3x3 개 픽셀을 최소 조건으로 하여 대상의 크기와 감지 거리를 고려해 적절한 카메라를 선택하는 것을 권장한다.

- SSR(Spot Size Ratio): 열화상카메라를 이용해 물체의 온도를 측정하기 위해서는 대상의 크기와 감지거리에 대한 고려가 필요하다. 이론적으로 피사체가 열화상센서의 하나의 픽셀에 매핑되면, 온도 측정이 가능하다. 하지만 하나의 픽셀 값에 의존해서 피사체의 온도를 측정하면 잘못 판단할 수 있기 때문에, 실제로는 3x3개 픽셀에 피사체가 매칭되는 거리 조건에서 온도를 측정한다.

SSR = 감지거리(m) / (IFOV x 3)

1m 의 크기의 피사체가 열화상 센서의 3x3 개의 픽셀에 매핑되는 거리와의 관계는 다음 표 2 와 같다.

모델 구분	단센서 모델 시리즈 (열화상 384x288)			단센서 모델 시리즈 (열화상 VGA)		듀얼 센서 모델 시리즈 (실화상 4K, 열화상 VGA)	듀얼 센서 모델 시리즈 (실화상 2M, 열화상 QVGA)
모델명	**TNO-C3010TRA TNO-C3012TRA**	**TNO-C3020TRA TNO-C3022TRA**	**TNO-C3030TRA TNO-C3032TRA**	**TNO-4030TR**	**TNO-4040TR TNO-4041TR**	**TNM-C4940TDR TNM-C4942TDR**	**TNM-C3620TDR TNM-C3622TDR TNM-3620TDY**
렌즈 초점 거리(mm)	4.4	6.6	9.7	13	19	9.1	4.7
열화상 센서 픽셀 피치(um)	17	17	17	17	17	12	12
IFOV(mRad) (주1)	3.864	2.576	1.753	1.308	0.895	1.319	2.553
SSR	**86**	**129**	**190**	**255**	**373**	**253**	**131**
수평화각(HFOV) (degree)	90	60	37.9	48.6	32	50	50
수평화소수	384	384	384	640	640	640	320
IFOV(mRad) (주2)	4.091	2.727	1.723	1.325	0.873	1.364	2.727
SSR	**81**	**122**	**194**	**252**	**382**	**244**	**122**

[표 2. 열화상카메라의 SSR 계산값]

(주1) IFoV(mRad) = [pixel pitch(mm)] / 렌즈초점거리(mm) x 1000, 관계식 이용했을 때,

(주2) IFoV(mRad) = FOV(도) / 화소수 x (π/180) x 1000, 관계식을 이용했을 때, 듀얼 센서 모델의 SSR 계산값

예를 들어, TNO-C3030TRA 를 이용해 1m 크기의 피사체 온도를 측정하고자 할 때, 190m 거리 내에 있으면 피사체의 온도 측정이 가능하다. 이 관계를 이용해서 만약 2m 크기의 피사체 온도를 측정하고자 하면, 피사체가 380m 거리 이내에 있어야 피사체의 온도 측정이 가능함을 알 수 있다.

단, SSR 은 열화상카메라를 이용한 온도 측정이 가능한 최대 거리를 이론적인 계산을 통해 나타내는 값으로, 환경적인 요인(대기 온도, 주변 온도, 상대 습도 등), 피사체의 방사율, 카메라의 설치 각도 등에 따라 측정 거리가 변할 수 있는 점을 항상 감안해야 한다.

3 한화비전의 열화상 카메라 솔루션 종류와 특징

한화비전에서는 다양한 해상도와 형태를 갖는 다수의 열화상카메라 모델 라인업 구축을 통해 고객의 목적에 맞는 열화상 카메라를 제공하고 있다. 그림 12 은 현재 출시된 한화비전 열화상 카메라 일부 모델의 사진이다.

[그림 12. 한화비전 열화상 카메라 모델]

3.1 열화상 카메라 분류

3.1.1 온도감지형 모델과 온도 표시형 모델

열화상 카메라는 일반적으로 온도 감지형 모델과 방사선 측정 카메라 모델로 알려진 온도 표시형 모델의 두 가지 주요 유형으로 나뉜다. 모두 흡수되는

적외선 양을 측정하여 온도로 변환하는 과정을 내부에서 거치지만, 온도 감지형 모델에서는 사용자에게 측정된 온도 값을 보여주지 않고, 관심 영역의 설정된 변화 정도만을 판단하여 알려준다. 사용자는 관심 영역의 최고, 최저 또는 평균 온도를 기준으로 알람 발생 여부를 설정할 수 있다. 온도 표시형 모델은 온도 감지 기능 뿐만 아니라 사용자에게 실제로 변환된 온도값을 보여준다는 차이가 있다.

3.1.2 단센서 모델과 듀얼센서 모델

열화상 카메라는 실화상 카메라가 제 성능을 발휘하지 못하는 안개/연기/먼지/비/눈/저조도 등의 조건에서 단점을 보완하는 역할을 한다. 하지만 열화상 카메라의 해상도가 과거에 해 많이 높아지기는 했지만, 일반 조건에서는 실화상 카메라만큼 선명한 영상을 얻을 수 없다. 그래서 두 카메라의 장점을 활용하고자 한 카메라 안에 두 개의 센서를 적용한 카메라 모델도 영상 감시 시장에서 주목받고 있다.

3.2 열화상 카메라의 주요 특징

3.2.1 열화상 카메라별 탐지-인식-식별 거리

열화상 카메라에서는 대상을 얼마나 멀리 감지할 수 있는지 거리를 측정하기 위한 수단으로 탐지 (Detection), 인식 (Recognition), 식별 (Identification) 가능 항목을 사용한다. 이하 DRI 표준이라 부른다. DRI (Detection, Recognition, Identification) 표준은 150 년대 미 육군에 의해 처음 사용되었으며, 다음과 같이 정의된다.

- 탐지: 피사체를 배경과 구별할 수 있는 수준
- 인식: 피사체의 종류(동물, 인간, 차량, 보트 등) 분류가 가능한 수준
- 식별: 피사체의 상세한 구분이 가능한 수준(모자를 쓴 남자, 개, 지프 등)

아래 표 3 은 열화상 카메라 모델별 DRI 거리를 계산식에 따라 계산한 값이다.

Maximum distance (m)	Model Name				TNO-3010T	TNO-3020T	TNO-3030T	TNO-3040T	TNO-3050T	TNO-C3010TRA TNO-C3012TRA	TNO-C3020TRA TNO-C3022TRA	TNO-C3030TRA TNO-C3032TRA
	Horizontal angle of view				92	50	16	11.5	6.3	90	60	37.9
	Number of horizontal pixels				320	320	320	320	320	384	384	384
	Object size		Pixel No.	PPM								
Detection	Vehicle	2.3	1.5	0.65	237	526	1,746	2,436	4,458	294	510	857
	Human	1.8	3	1.67	93	206	683	953	1,744	115	200	336
Recognition	Vehicle	2.3	6	2.61	59	132	436	609	1,114	74	127	214
	Human	1.8	12	6.67	23	51	171	238	436	29	50	84
Identification	Vehicle	2.3	12	5.22	30	66	218	305	557	37	64	107
	Human	1.8	24	13.33	12	26	85	119	218	14	25	42

Maximum distance (m)	Model Name				TNO-4030T TNO-L4030T	TNO-4040T	TNO-4050T	TNM-C4940TD	TNM-C4950TD	TNM-C4960TD
	Horizontal angle of view				48.6	32	17.2	50	31.9	17.4
	Number of horizontal pixels				640	640	640	640	640	640
	Object size		Pixel No.	PPM						
Detection	Vehicle	2.3	1.5	0.65	1,087	1,711	3,244	1,052	1,717	3,207
	Human	1.8	3	1.67	425	670	1,270	412	672	1,255
Recognition	Vehicle	2.3	6	2.61	272	428	811	263	429	802
	Human	1.8	12	6.67	106	167	317	103	168	314
Identification	Vehicle	2.3	12	5.22	136	214	406	132	215	401
	Human	1.8	24	13.33	53	84	159	51	84	157

[표 3. 열화상 카메라별 DRI 거리 계산표**]**

참고로, DRI 계산식은 다음과 같다.

거리 계산식: 거리= (렌즈 초점 거리) x (피사체 크기) / {(Pixel 수) x (Pixel Pitch)}

그런데 열화상 카메라를 사용할 때에는 열화상 카메라의 DRI 거리뿐만 아니라 Video Analytics 를 사용할 때의 감지 거리를 고려할 필요가 있다. 열화상 카메라의 감지 거리는 대상 물체와 사용 환경의 온도, 대기 중 습도의 영향을 받아 실제 감지 거리가 단축될 수 있기 때문에 설치 환경에서의 PoC(Proof of Concept) 등을 통해 검증하는 것을 권장한다.

Motion Detection Range		TNO-4030T	TNO-4040T	TNO-4050T	TNO-3010T	TNO-3020T	TNO-3030T	TNO-3040T	TNO-3050T
Vehicle	2.3m	160m	234m	430m	86m	150m	438m	607m	1,118m
Human	1.8m	125m	183m	337m	41m	71m	206m	285m	525m

[표 4. 열화상 카메라의 VA(Video Analytics) 감지 거리**]**

표 **4** 는 단센서 열화상 카메라 모델별 영상 분석 감지 거리를 나타낸 표이다. 이는 제한적인 조건에서의 이론적인 최대치이므로, 실사용 시 감지 거리는 대상 물체 및 주변 환경의 영향으로 변경할 수 있다는 점을 항상 고려해야 한다.

표 5 는 AI 기반 영상 분석을 지원하는 열화상 카메라의 감지 거리를 실제로 측정한 표이다. 제한적인 조건에서의 측정한 값으로 설치된 환경과 대상 물체 상태에 따라 변경될 수 있다는 점을 항상 고려해야 한다.

AI based Object Detection Range		TNM-C4940TD	TNM-C4950TD	TNM-C4960TD	TNO-C3010TRA/ C3012TRA	TNO-C3020TRA/ C3022TRA	TNO-C3030TRA/ C3032TRA
Vehicle	2.3m	224m	280m	498m	66m	79m	95m
Human	1.8m	116m	142m	215m	23m	26m	31m

[표 5. 열화상 카메라의 AI 기반 물체 감지 거리 실측정 예]

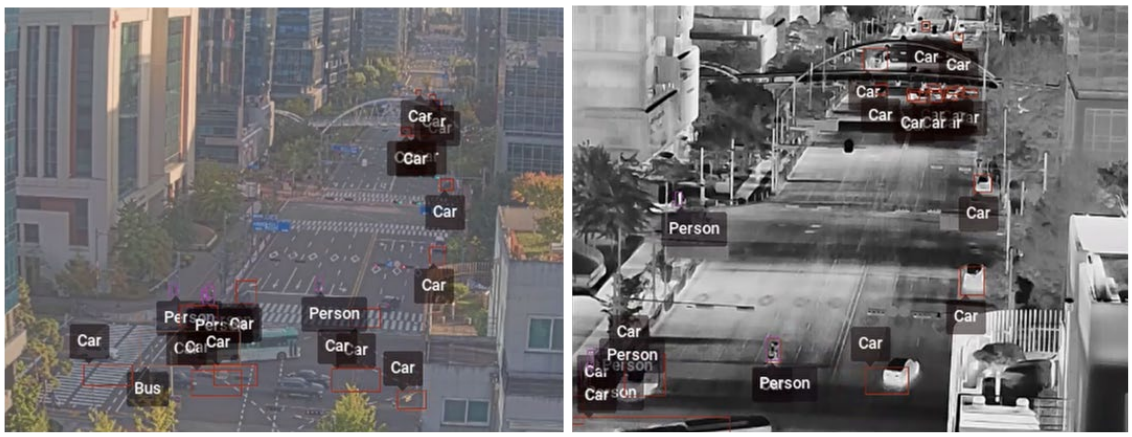
3.2.2 열화상 모니터링에서의 AI 기반 객체 검출/분류 및 IVA 기능 제공

실화상 AI 뿐만 아니라 열화상 영상 감시 영역에도 AI 기술을 활용하여 객체 검출/분류를 지원한다. 특히 야간 환경 및 저조도인 상황의 실화상에서 육안상 구분이 힘든 경우에도 열화상 영상 기반 AI 객체 검출로 미/오알람 개선이 가능하다.

열화상 카메라를 이용해 사람 또는 차량 검출이 가능하다. 하지만 발열 물체를 감지하는 열화상 카메라 특성에 따라 발열 물체가 아닌 경우, 예를 들어 자전거, 주차된 차량 등은 검출이 안될 수 있다. 그리고 색상 정보가 없기 때문에 실화상 카메라에 비하여 객체가 겹쳐진 경우, 그 성능이 하락할 수 있다. 그림 13 과 같이 열화상도 실화상과 마찬가지로 AI 모델의 검출 결과를 기반으로 IVA 기능(방향감지, 움직임 감지, 출입 감지, 가상선)을 제공한다.

[그림 13. 실화상 및 열화상 이미지에서의 객체 검출]

그림 14 는 건물 옥상에 설치된 듀얼 센서 카메라 TNM-C4960TD 를 이용해 확인한 AI 기반 물체 감지 화면을 보여주고 있다. 실상과 열화상 영상 모두에서 AI 기반 물체 감지(OD, Object Detection) 기능이 정상 동작하고 있음을 알 수 있다. 이 때의 감지거리는 위의 표 5 의 측정값을 참고한다.



[그림 14. TNM-C4960TD 를 이용한 AI 감지 기능 예]

3.2.3 Handover 지원을 통한 열화상 모니터링 한계 보완 서비스 제공

이벤트가 감지되었을 때, 설치된 PTZ 카메라의 Handover 기능을 통해 그 대상물체를 좀 더 명확히 확인할 수 있도록 지원한다. 또한, IP 스피커와의 Handover 기능을 통해 침입자에 대한 즉각적인 알람도 가능하도록 지원한다.

3.2.4 Bi-spectrum 카메라를 통한 효과적이고 지속적인 모니터링 제공

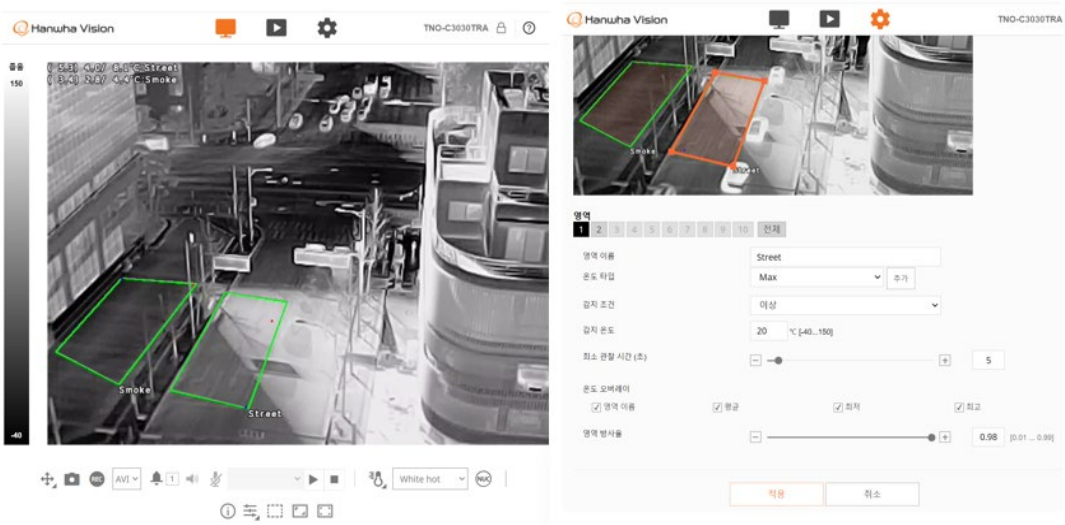
AI 를 지원하는 열화상 카메라라고 할지라도 실화상 카메라처럼 그 대상 물체의 특징을 명확하게 판단하기 어렵고, 저조도 환경에서 뛰어난 영상 품질을 보여주는 실화상 카메라도 야간 또는 안개, 연기 등 환경 요인에 제한을 받는다. Bi-spectrum 카메라는 열화상 카메라와 실화상 카메라가 가지고 있는 이러한 한계를 보완하기 위해서 열화상 센서와 실화상 센서를 결합한 듀얼 센서 카메라이다. 이를 통해 모든 환경에서 효과적이고 지속적인 영상 감시 모니터링이 가능하도록 지원한다.

실화상 채널과 열화상 채널 간의 메타 데이터 공유를 통해 실화상과 열화상의 한계를 보완하여 현장상황을 신속하게 감지하고 파악할 수 있다. 예를 들어, 그림 15 과 같이 야간 또는 비, 안개, 화재, 연무 등 악천후로 시야 확보가 어려운 상황에서도 상황을 보다 정확하게 파악할 수 있다.

[그림 15. 야간 환경에서 실화상(좌)과 열화상 영상(우)의 가시성 차이]

3.2.5 효율적인 시설/설비 관리를 위한 ROI/Spot 온도 모니터링 기능 제공

온도 모니터링을 위해 다각형 관심 영역(ROI, Region Of Interest) 설정 기능을 제공함으로써 온도 모니터링이 필요한 관심 영역을 좀 더 효과적으로 설정할 수 있다. TNO-C30xyTDR(x=1,2,3, y=0,2) 모델은 설정 가능한 ROI 개수가 10 개이고, 그 외 다른 모델은 6 개까지 가능하다. 그리고 각각의 ROI 에 설정된 온도 기준에 따라 개별적으로 알람을 받을 수 있다. 아래 그림 16 은 사용 용도에 맞게 ROI 를 설정한 예를 보여준다. 화재 감시 또는 물체를 감시할 수 있는 사용자 환경 설정 기능을 통해, 세부 온도 감지 범위를 정하고 관련 좌표를 사용자에게 전달하도록 할 수 있다.



[그림 15. ROI 설정 예]

그림 17 과 같이 ROI 를 지정하여 영역별 평균, 최대, 최저 온도를 실시간 표시 및 알림 통보하여 즉각적인 대응이 가능하도록 지원한다.

[그림 16. ROI 영역별 평균, 최대, 최저 온도 모니터링 예]

ROI 로 설정된 부분 외에 특정 위치에 온도 모니터링이 필요한 경우, 확인하고자 하는 위치에서 마우스를 클릭하면 스팟 포인터(Spot Pointer)를 사용하여 특정 위치의 온도를 확인할 수 있다. 아래 그림 18 은 라이브 모니터링 화면에서 확인하고자 하는 특정 위치의 온도를 스팟 포인터를 이용해서 확인하는 예를 보여준다.

[그림 17. 스팟 포인터(Spot Pointer)를 이용한 온도 모니터링]

무인 시설 및 분산된 장비의 온도를 모니터링 하기 위해 hand-held 형태 온도계를 이용해 온도 모니터링을 사용할 경우, 이러한 장비는 측정 포인트가 하나 또는 제한된 영역에 한정되기 때문에 인력 운용과 그에 따른 비용, 시간이 많이 소요된다. 하지만 열화상 카메라와 같이 FPA(Focal Plane Array) 형태의 열화상 센서를 이용한 온도 모니터링은 센서 각 픽셀이 하나의 온도계 역할을 하므로 보다 넓은 영역에 대한 온도 모니터링이 가능하기 때문에, 인력 운용과 그에 따른 비용, 시간을 효과적으로 절감할 수 있다.

아울러 한화비전 열화상 카메라 중 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜을 지원하는 모델을 사용하는 경우, MQTT 를 이용해 카메라가 발행하는 온도 정보를 구독하여 온도 모니터링 시스템을 구성하는 것도 가능하다. MQTT 는 구현이 쉬우면서 가볍고 유연해, 다른 IoT 플랫폼 또는 애플리케이션 간 우수한 연동성으로 주목받는 프로토콜이다. MQTT 를 통해 각 ROI 영역들의 최대, 최소, 평균 온도 및 좌표를 제공하며, 온도 감지 이벤트

발생 정보 또한 제공된다. 아래는 MQTT 를 통해 ONVIF 이벤트 표준에 맞춰 발행된 온도 및 이벤트 발생 정보의 예시이다.

< Temperature Reading >

Topic: C3020TRA/onvif-ej/VideoAnalytics/Radiometry/BoxTemperatureReading/&VideoSourceToken-0/VideoAnalyticsConfigToken-0/TemparetureDetectionModule-01


```
{
  "UtcTime": "2024-01-17T06:29:13.480Z",
  "Source": {
    "VideoSourceToken": "VideoSourceToken-0",
    "VideoAnalyticsConfigurationToken": "VideoAnalyticsConfigToken-0",
    "AnalyticsModuleName": "TemparetureDetectionModule-01"
  },
  "Data": {
    "Reading": {
      "BoxTemperatureReading": {
        "@ItemID": "Z",
        "@MaxTemperature": "324.4",
        "@MaxTemperatureCoordinatesX": "28",
        "@MaxTemperatureCoordinatesY": "208",
        "@MinTemperature": "307.8",
        "@MinTemperatureCoordinatesX": "227",
        "@MinTemperatureCoordinatesY": "228",
        "@AverageTemperature": "307.9"
      }
    },
    "TimeStamp": "2024-01-17T06:29:13.480Z"
  }
}
```

< Temperature Detection >

Topic: C3020TRA/onvif-ej/RuleEngine/Radiometry/TemperatureAlarm/&VideoSourceToken-0/VideoAnalyticsConfigToken-0/AAAA/TemperatureDetection-A

{
"UtcTime": "2024-01-17T06:38:47.958Z",
"Source": {
"VideoSource": "VideoSourceToken-0",
"VideoAnalyticsConfigurationToken": "VideoAnalyticsConfigToken-0",
"Areaname": "AAAA",
"RuleName": "TemperatureDetection-A"
},
"Data": {
"AlarmActive": "true",
"TimeStamp": "2024-01-17T06:38:47.958Z"
}
}

4 열화상 카메라 설치 및 운용 시, 고려 사항

4.1 설치 환경에 다른 일반적인 고려 사항

열화상 카메라의 영상은 관심 영역 물체와 주위 환경 간의 온도차가 클수록 선명한 열영상을 얻을 수 있다. 관심 피사체와 주위 배경과의 온도 차가 크지 않을 경우 선명한 열영상을 얻기 힘들다. 이는 마치 저조도 환경에서 실화상 카메라로 선명한 영상을 얻기 힘든 것과 같다. 아래 그림 19는 이러한 예를 보여준다.

[그림 19. 피사체와 주위 환경 간 온도차가 크지 않을 때 영상]

열화상 카메라는 열에너지를 측정해 열화상 이미지와 온도 정보를 제공하는 장비인 만큼 카메라 및 관찰 대상 주변의 열원, 대류, 습기, 비, 눈 등과 같은 대기 조건, 열화상 센서의 온도 안정화 상태 등에 의해 이미지 또는 온도 정보가 왜곡될 수 있다.

일반 실화상 카메라와는 다른 촬상 특성을 보이는 점도 설치 시 고려해야 한다. 예를 들어, 실화상 카메라는 유리창을 통해서도 영상을 얻을 수 있지만, 열화상 카메라는 열반사로 인해 유리창을 통해서는 열화상 영상을 얻을 수 없다. 동일한 재질의 피사체를 촬상 하더라도 피사체의 표면 상태, 특히 금속의 경우 매끄럽기 정도와 부식 정도에 따라 열영상의 차이가 크게 나타난다.

그러므로 주변 영향이 최소화되리 수 있는 안정적 설치 장소, 관심 피사체와 주위 환경과의 온도 차이가 날 수 있는 시야각 확보, 관심 피사체의 표면 상태 등을 항상 고려해야 한다.

4.2 관심 영역 설정

관심 영역 설정에 있어서 기본적으로 고려해야 할 사항은 관심 대상 외에 주변 배경 또는 다른 물체가 포함되지 않도록 설정해야 한다. 아래 그림 **20**은 관심 영역을 잘못 설정한 예를 보여준다. 아래 그림에서 설정된 관심 영역을 보면, 관심 영역 설정을 통해 어떤 부분을 확인하고자 하는지 불분명하다. 뿐만 아니라 관심 영역에 하늘이 포함되어 있어 예상하지 못한 온도 측정값이 얻어질 수 있다.

[그림 20. 관심 영역을 잘못 설정한 예]

- 관심 영역 크기: 열화상 카메라의 영상은 관심 영역 물체와 주위 환경 간의 온도차가 클수록 선명한 열영상을 얻을 수 있다. 그런데 관심 영역을 너무 작게 설정하거나 너무 크게 설정하면 사용 목적에 부합하는 영상을 얻을 수 없다. 관심 영역의 설정 크기는 최소 50x50 이상을 권장하며, 다른 물체에 의해 가려지지 않도록 설정해야 한다.

4.3 방사율(Emissivity)

방사율이란 물체 표면에서 실제로 방사되는 복사에너지의 양과 같은 온도의 흑체에서 방사되는 복사에너지의 비를 말한다. 흑체는 진동수와 입사각에 관계없이 입사하는 모든 전자기 복사를 흡수하는 이상적인 물체이다. 사업용으로 제작되는 흑제의 방사율은 보통 0.95~0.99 사이의 값을 가지며, 적외선 센서를 보정하는데 필수적으로 사용되는 장비이다. 물체의 방사율은 1보다 작다. 아래 표 6는 주요 물질의 방사율을 보여주는 표이다.

Material	Emissivity
Asphalt	0.93
Charcoal	0.96
Cloth	0.95
Concrete	0.94
Food stuff	0.80 - 0.90
Graphite	0.97
Paints (value may vary depending on color)	0.90 - 0.96
Metals (unoxidized)	< 0.10
Oil paint (value may vary depending on paint types)	0.92 - 0.96
Plastics (value may vary depending on surface finish and paint types)	0.92 - 0.95
Porcelain	0.92
Rubber (hard)	0.94
Rubber (soft)	0.86
Skin (human)	0.98
Soil	0.93
Tape (electrical)	0.95 - 0.97
Tar paper	0.93
Textiles	0.94
Wood (value may vary depending on wood type, finish and so on)	0.90 - 0.95

[표 **6.** 소재별 방사율 표]

방사율에 영향을 미치는 변수들로는 다음과 같은 것들이 있으며, 이에 대한 이해는 열화상 카메라를 올바르게 사용하고, 열영상을 이해하고 분석하는데 꼭 필요하다. (출처: Michael Vollmer et al. 2010)

4.3.1 재료의 종류

단순하게 금속과 비금속으로 분류해서 알아볼 필요가 있다. 주조 또는 연마된 금속 표면은 낮은 방사율로 인해서 정확한 온도를 측정하기 어렵다. 연마된 금속의 경우 0.2이하의 방사율 값을 가지며, 열화상 카메라로 이러한 금속의 온도를 측정하는 것은 의미가 없다.

4.3.2 표면 구조

앞서 연마된 금속의 경우, 0.2 이하의 방사율을 가진다고 했는데, 금속의 표면이 산화 또는 부식이 발생하게 되면 0.8 이상의 방사율을 나타낼 수 있다. 표면 구조에 따른 방사율의 차이를 설명하기 위해 주로 예로 드는 것이 레슬리 큐브(Leslie Cube)이다. 이 큐브는 각각의 면이 다른 방식으로 처리된 속이 빈

구리 큐브인데, 이 큐브 안에 뜨거운 물을 채운 후, 열화상카메라로 적외선 양을 측정하면 서로 다르게 나타난다. 적외선 양으로 온도를 변환해서 보여주는 열화상 카메라이기 때문에 방사율을 감안하지 않는다면 온도 측정이 부정확할 수 있다는 점을 유의해야 한다.

아래 그림 21 은 일반 물병 중간에 절연테이프를 붙이고 뜨거운 물을 채웠을 때 열영상의 차이를 보여주는 그림이다. 절연테이프를 붙인 부분이 그렇지 않은 부분에 비해 온도가 9° 가량 높게 나타나고 있다.

[그림 21. 물병에 뜨거운 물을 채웠을 때 방사율에 따른 열 영상 차이**]**

4.3.3 시야각

피사체와 열화상카메라가 이루는 각도를 0°~85°각도로 변화시켜 가면서 방사율의 차이를 측정해 보면, 0°~45°방향에서는 방사율의 변화가 없이 거의 일정하다. 즉, 그 이상의 각도에서 피사체를 바라보게 되면 방사율 값이 작아지게 되면서 정확한 측정이 어렵게 된다. 따라서 열화상 카메라 설치 시에는 관심 영역과 열화상 카메라의 시야각이 45°이내로 되도록 설치해야 한다.

4.3.4 기타

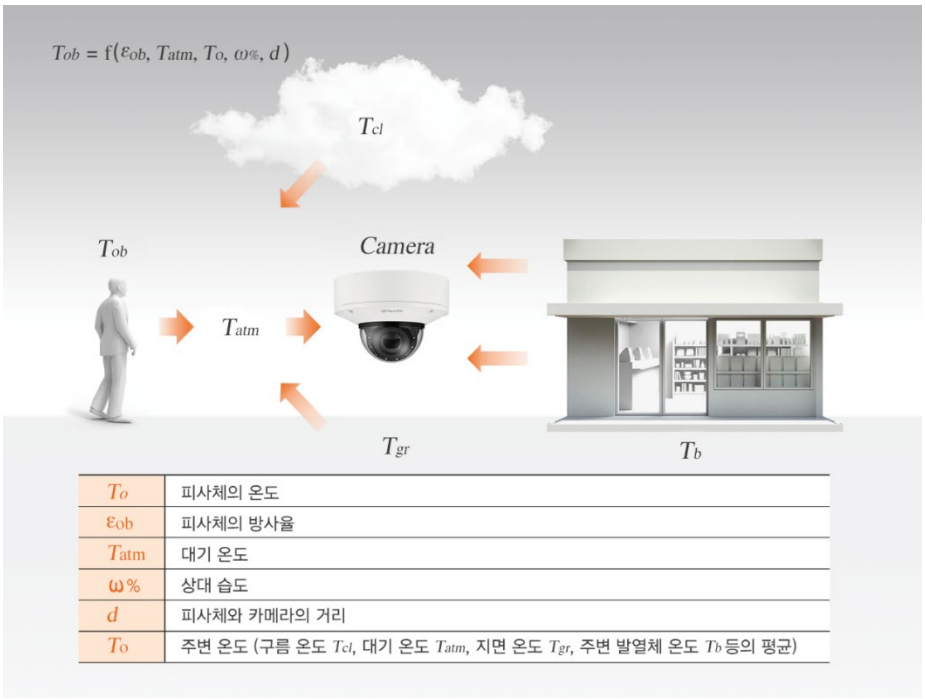
그 외에서 재료의 온도 범위, 파장 범위(LW, MW, SW), 기하학적 형상 등에 따라 변할 수 있지만, 실 사용 조건에서는 일반으로 중요하지 않다.

4.4 촬상 각도

열화상카메라는 피사체를 어느각도에서 바라보느냐에 따라 측정되는 값이 달라지기 때문에서 설치 시, 관심 영역 있는 피사체와 열화상카메라의 촬상 각도에 대한 고려가 필요하다. 일반적으로 45˚이내의 각도가 되도록 설치해야 하면 그 이유는 4.3.3 절의 시야각 부분을 참고한다.

4.5 온도 정확도에 영향을 미치는 요인

아래 그림 22 와 같이 열화상 카메라를 이용해서 피사체의 온도를 측정하고자 할 때, 정확한 온도 측정에 영향을 미치는 요인은 다음과 같다. 피사체의 온도는 피사체의 방사율, 대기 온도, 주변 온도, 상대 습도 그리고 피사체와 카메라 사이의 거리에 대한 함수식으로 표현된다. (출처: W. Minkina and D. Klecha, 2015)



[그림 22. 온도 측정에 영향을 미치는 요인]

피사체에 나오는 적외선은 대기를 통과하면서 흡수와 산란이 일어나는데, 대기 중에 있는 수증기(H_2O)와 이산화탄소(CO_2)가 가장 큰 영향을 미친다.

그렇게 때문에 열화상 카메라를 이용한 온도 측정 정확도는 카메라가 동작하는 주변 조건에 따라 달라질 수 있다. 열화상 카메라의 정확도 성능을 확보하기 위해서는 상기에 언급된 환경적인 요인 뿐만 아니라, 카메라의 설치 각도, 피사체 재질의 변화, 열반사의 효과 등도 고려해야 한다.

5 참고 문헌

- N. Pinchon, M. Ibn-Khedher, O. Cassignol, A. Nicolas, F. Bernardin, P. Leduc, J-P. Tarel, R. Brémond, E. Bercier, G. Julien, “All-weather vision for automotive safety: which spectral band?”, AMAA(Advanced Microsystems for Automotive Applications), 2018

- 정용택, “적외선 센서의 最新 기술 동향”, pp18-23, 홍릉과학출판사, 2014

- J.L. Tissot, P. Robert, A. Durand, S. Tinnes, E. Bercier, and A. Crastes, “Status of Uncooled Infrared Detector Technology at ULIS, France”, Defence Science Journal, Vol. 63. No. 6, 2013

- Vladimir I. Ovod, Christopher R. Baxter, Mark A. Massie, “Advanced Image Processing Package for FPGA-Based Re-Programmable Miniature Electronics”, SPIE, 2005

- H. Budzier and G. Gerlach, “Calibration of uncooled thermal infrared cameras”, JSSS, 2015

- Michael Vollmer, Klaus-Peter Moellman, “Infrared Thermal Imaging Fundamentals, Research and Applicatins, WILEY, 2010)

- W. Minkina and D. Klecha, “Atmospheric transmission coefficient modelling in the infrared for thermovision measurements”, JSSS, 2015

Hanwha Vision Co., Ltd.
13488 Hanwha Vision R&D Center,
6 Pangyo-ro 319-gil, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do
TEL 070.7147.8771-8
FAX 031.8018.3715
www.HanwhaVision.com