

원거리 화염 신호 탐지를 위한 알고리즘

Detection Algorithm for Long Range Flame Signal

이병귀, 송인섭

(주)이오시스템 광학기술연구소

bgtop@eosystem.com

1. 서론

본 논문에서는 원거리에서 순간적으로 발생하는 화염을 탐지하기 위해 일반적인 열상 카메라와는 다른 새로운 신호처리 개념 및 알고리즘을 제시하였다. 원거리 화염 탐지를 위한 검출기의 화염 감응 신호 산출을 위해 화염 발생 복사도, 대기투과도, 광학계 투과율, 검출기 등잡음복사조도등을 산출하여 화염발생에서 최종 검출기에 도달하는 신호대 잡음비를 도출하였다.

2. 본론

화염의 발생조건은 화염발생온도, 검출 파장, 화염의 지속시간, 복사율 등을 고려하여 흑체복사 이론에 적용함으로써 자체 복사량을 산출 하였고 화염의 방사특성에 따라 복사도가 계산되어진다.

분석한 화염의 복사도가 대기를 거쳐 광학계에 도달하기까지는 대기조건에 따른 감쇄가 발생되는데 이런 감쇄효과는 MODTRAN 시뮬레이션을 이용하였다. MODTRAN에서 일반적으로 사용하는 모델은 U.S Standard Atmosphere Model로서 분자들의 무게가 일정하고 가스의 화학반응이 이상적인 조건을 가정한 것으로 고도에 따른 온도 분포를 8포인트로 구분 설정하고 선형화하여 실제 대기의 온도분포 곡선을 근사적으로 계산하였다. 대기를 거친 화염이 광학계까지 도달하는 세기는 화염과 광학계 간의 거리를 이용하여 광학계에 입사하는 입체각을 구하고 이 값에 복사도를 곱하여 얻을 수 있으며, 광학계 투과율을 감안하여 검출기의 입사되는 검출신호 조도를 구한다. 검출기의 신호대잡음비(Signal Noise Ratio, SNR)를 구하기 위해서는 먼저 검출기의 등잡음조도(Noise Equivalent Irradiance, NEI)를 구해야 한다. NEI란 검출기에서 발생하는 자체 노이즈 신호와 같은 빛의 세기를 말하며 검출기의 NEI를 결정하는 주요한 요소인 D^* (Specific detectivity of the detector)는 검출기의 면적과 주파수 범위를 일반화하여 표현한 값이다.

[표 1]의 탐지성능 제한요소를 기준으로 20km 거리에서 발생된 화염신호의 SNR을 분석한 결과 2.22로 산출되었고 오경보확률(Probability of False Alarm, P_{fa})을 5%로 설정할 때 320×240 픽셀의 카메라의 문턱대잡음비(Threshold to Noise Ratio, TNR)는 4.835이므로 산출된 TNR과 SNR을 기준으로 1개 프레임의 탐지확률은 0.4%이다. 카메라의 화염 탐지확률을 높이기 위해서는 시스템의 SNR이 TNR에 비해 큰값을 가져야 하며 시스템의 SNR이 큰 값을 가지기 위해서는 검출기의 집속되는 신호가 커져야 하지만 물리적인 제약으로 인해 한계를 가지므로 화면갱신율을 증가시켜 화염신호를 누적처리하는 고속화면갱신에 의한 누적검출방식을 이용하여 SNR을 높인다. 화염 지속시간을 100ms로 가정하고 검출장비의 프레임 속도를 5ms(200Hz)로 설정하면 획득 가능한 프레임 20장의 화염신호로 누적검출 알고리즘을 적용하면 검출신호가 20번 누적처리되어 SNR은 기존신호에 비해 $\sqrt{20}$ 배 만큼 향상된 9.84로 증가하게 된다. 증가된 SNR은 P_{fa} 5% 기준으로 탐지확률을 계산하면 99.99%의 탐지확률을 가지게 된다. 따라서 짧은 시간 발생하는 화염을 정확히 판단하기 위해서는 짧은 프레임 속도로 많은 양의 프레임을 가져와 분석해야 한다. [그림 1]은 오경보확률과 누적값에 따른 탐지확률을 나타내

었고, [그림 2]는 화염온도별 탐지확률을 나타내었다.

탐지성능 제한요소	영향요소	분석값
화염 발생 복사도	화염발생온도: 1000K 검출과장: 3.6~4.9 μ m, 화염지속시간: 100ms 복사율: 0.12	방출도: 1476 w/m ² 복사도: 470 w/(m ² · sr)
대기 투과도	가시거리: 20km 기상조건: 청명	평균투과도: 0.194
검출 신호 조도	광학계 구경: 50mm 광학계 투과율: 90% 입체각: 4.91 $\times 10^{-12}$ sr	입사에너지: 4.03 $\times 10^{-10}$ w/m ²
검출기 등잡음복사조도	초점거리: 3.91mm IFOV: 0.22° 주파수 밴드폭: 100Hz D*: 4.2 $\times 10^{11}$ jones	등잡음 복사조도: 1.82 $\times 10^{-10}$ w/m ²

표 1 . 탐지성능 제한요소

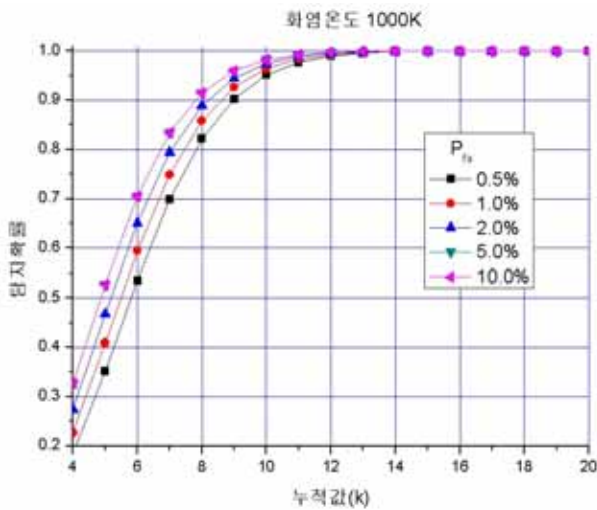


그림 1. 오경보확률과 누적값에 따른 탐지확률

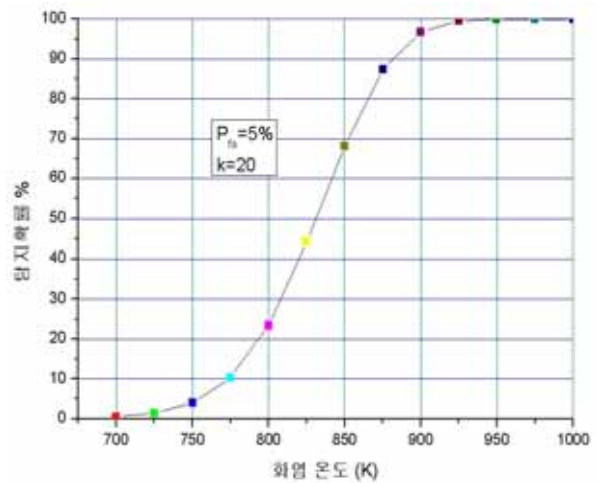


그림 2. 화염온도별 탐지확률

3. 결론

본 논문에서는 원거리에서 짧은 시간 동안 발생하는 화염 신호에 탐지를 위해 탐지성능 제한요소를 도출하여 카메라 1개 화면(frame)의 탐지확률을 산출하였으며, 탐지확률을 증가시키기 위해 누적검출을 통한 화염 신호 누적을 통해 상승된 탐지 확률을 계산할 수 있었다. 본 연구는 일반적인 열상카메라에서 활용되는 탐지 개념에서 벗어나 원거리에서 순간적으로 발생하는 신호를 탐지하기 위한 시스템 구성 개념 및 탐지확률 도출 알고리즘을 제시하였다.