영상기반 자동 화재감지시스템의 감지성능 특성 분석 연구

A Study on Characteristics Analysis for Detection Performance of a Video-based Automated Fire Detection System

구재현*

Ku, Jae-Hyun

Abstract

Smoke detectors and flame detectors in detection ability of sensors is greatly limited by the ability to detect environmental impacts in case of fire have a problem in accurate fire detection. This study describes to analyze detection performance of a video-based automated fire detection system consisted of CCTV camera, a video-based fire alarm control station, CPU in order to enhance the fire detection performance. GMM(Gaussian Mixture Model) modeling for an intelligent motion detection is analyzed and the application of MHI(Motion History Image) technology is showed the improved fire detection performance. The fire detection performance is experimentally evaluated as a function of the fire source and detection distance. As a result, the fire detection time is found to increase with increased the detection distance and is analyzed with 10 sec at the detection distance of 15 m. Therefore, the video-based automated fire detection system developed showed good performance for automatic fire detection comparing with the detection time criteria of 30 sec for flame detectors.

Key words : CCTV camera, Video-based, Automatic fire detection performance, Modelling analysis, Detection time

요 지

기존의 연기감지기와 불꽃감지기는 화재 발생시 주변 환경의 영향에 의해 감지성능이 크게 제한되어 명확한 화재감지에 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 화재감지 성능을 향상시키기 위하여 CCTV 카메라, 영상화재수신기, CPU로 구성된 영상기반 자동 화재감지시스템의 감지성능을 분석하고자 한다. 지능형 모션 감지를 위한 GMM(Gaussian Mixture Model) 모델링이 해석되었고 MHI(Motion History Image) 기술의 적용은 화재감지 성능을 향상시킴을 보여 주었다. 화재감지 성능은 화원과 감지 거리에 따라 실험적으로 평가되었다. 결과적으로, 화재감지 시간은 감지거리가 증가할수록 증가하며 감지거리 15 m에서 10초로 분석되었다. 따라서, 개발된 영상기반 자동 화재감지 시스템은 불꽃감지기의 감지시간기준 30초와 비교하여 자동 화재감지를 위한 양호한 성능을 보여 주었다.

핵심용어 : CCTV 카메라, 영상기반, 자동 화재감지성능, 모델링 해석, 감지시간

1. 서 론

최근 전 세계적으로 초고층 건물, 문화재, 지하철역사 등에서 대형 복합화재 발생에 따른 인명피해와 재산피해가 커지고 있다. 이에 따라 다양한 화재 감지기술이 개발되고 있고, 최초 발화시 신속한 감지를 통한 발화점 파악 및 발화원인 분석 기술이 절실히 필요하다. 특히 기존의 화재감지기로 사용하는 연기감지기와 불꽃감지기의 오작동을 해결할 수 있는 영상기반 화재감지 기술이 중요하게 대두되고 있다.

기존의 연기감지기와 불꽃감지기는 화재감지 오작동과 함께 초기 화재 상황인식을 위한 정확한 확인이 불가능한 문제점을 갖는다. 그러나 화재영상 감지기술은 기존 화재감지기술

과 비교하여 화재 감지성능의 향상, 오작동을 개선 및 화재 상황의 정확한 인지성능을 가지며, 국외에서는 UL 등의 기준에 적합한 인증제품이 상용화되고 있는 실정이나 국내에서는 관련 시험기준이 없으므로 관련 데이터베이스 구축을 통한 영상감지기술 도입이 필요하다.

국외적으로 발전된 CCTV 기술을 이용하여 기존의 방법기능에 화재감지기술을 접목시킨 CCTV 영상기반 화재감지시스템 기술이 상용화되고 있다(FILK, 2012). 이러한 CCTV를 이용한 화재영상 자동 감지기술은 카메라로 촬영된 불꽃과 연기영상을 자동적으로 분석과 감지할 수 있는 기술이다. 따라서 영상기반 자동화재 감지시스템은 CCTV 카메라 본래 기능과 연계한 지능형 화재영상 분석과 화재감지 기능을 갖

*교신저자. 정회원. 목원대학교 소방안전관리학과 교수(Tel: +82-42-829-7707, Fax: +82-42-829-7705, E-mail: kujhhh@empas.com)
Corresponding Author: Member. Professor, Department of Fire Safety Management, Mokwon University

는 프로그램 개발을 통해 화재영상 특성에 맞는 자동 판독과 화재 인지기능이 요구된다.

그러나, 국내의 경우 영상기반 화재감지시스템 관련 성능시험기준이 마련되어 있지 않으며 성능을 확인할 수 없는 제품들이 시장에 출시되어 소비자는 혼란을 겪고 있고 제조사는 제품성능이 우수함을 입증할 수 있는 방법이 없는 실정이다(FILK, 2012).

선행연구 조사결과, Liu and Ahuja(2004)은 높은 밝기 값을 가지는 영역부분을 초기 화염영역 설정 후에 영역확장 방법을 사용하여 화염영역을 검출하는 기법연구를 수행하였으며, Toreyin *et al.*(2006)은 배경영상과 입력영상의 차를 계산하여 배경영상의 화소들로부터 변경된 영역을 검출하고, 시간과 공간 웨이블릿 변환을 사용하여 검출된 영역에서 시간에 따른 에지의 세기에 의해 연기를 검출하는 연구를 수행하였다. 또한 김동호 등(2007)은 비디오 영상에서 블록기반의 차 영상을 이용한 연기검출 방법 연구를 수행하였다. 선행연구에서는 화재 영상을 명확하게 감지함에 있어서 성능의 한계가 있었으며 관련 데이터베이스가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 영상기반의 자동 화재감지시스템의 감지 성능의 특성 분석 연구로서, 화재영상 분석 알고리즘 해석을 통해 영상기반 자동화재감지시스템을 개발하고 국외 성능시험기준에 근거하여 화원과 감지거리에 따른 화재영상 감지성능을 평가하고자 한다. 향후 본 연구결과는 화재감지성능 향상을 위하여 영상기반 화재감지 기술개발을 위한 기초 데이터베이스 구축에 기여할 것으로 판단된다.

2. 영상기반 화재감지 알고리즘 분석

본 연구에서 개발한 영상기반 화재감지 알고리즘은 적응적 가우시안 혼합모델(Adaptive Gaussian Mixture Model) 및 시간 도함수 영상의 일시적 축적(Temporal Accumulation of Time Derivative Images) 기법을 이용한 알고리즘으로, 최적의 화재 후보 영역을 검출하고, 이 영역에 대해 연기와 불꽃에 대한 특성을 추출한다. 그리고 연기 또는 불꽃 여부를 판별하기 위해 연기 또는 불꽃 패턴이 지속적으로 나타나면 경보를 발생한다(Lee *et al.*, 2010).

Fig. 1은 본 연구를 통하여 개발한 영상기반 화재감지 알고리즘과 처리 흐름도를 나타낸 것으로, 획득한 영상에 대하여 YCbCr 컬러 공간으로 모델변환하고 연기와 화염의 통계적 컬러 모델 분석과 가우시안 혼합 모델을 해석을 통한 배경 모델링을 실시한다. 그리고 연기와 화염 영상의 후보영역에서 색상, 패턴, 움직임 등 속성을 분석하여 최종적으로 화재를 감지한다.

2.1 영상 획득 및 영상모델 변환

디지털 컬러 이미지는 3색 컬러평면으로 구성되며 빨강(R), 녹색(G), 청색(B)의 각 컬러 평면은 서로 다른 파장에 작용하는 인간의 눈에 의해 재 표현된다. RGB 컬러평면을 조합하면 디지털 환경에서 컬러를 표현할 수 있고, RGB 컬러공간이 픽셀 분류에 사용될 수 있다.

Fig. 1. Algorithm and Flow-Chart of a Video-based Automated Fire Detection

본 연구에서는 RGB 컬러공간에 대하여 밝기와 색상이 잘 구분되는 연기와 화염 컬러모델로 선형변환을 갖는 YCbCr 컬러공간을 사용하며 이와 관련된 변환식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2568 & 0.5041 & 0.0979 \\ -0.1482 & -0.2910 & 0.4392 \\ 0.4392 & -0.3678 & -0.0714 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, Y는 휘도(Luminance, cd/m^2), Cb 및 Cr은 각각 파란색상(Chrominance Blue) 성분 및 붉은색상(Chrominance Red) 성분이다. Y 값의 범위는 [16,235]이고, Cb와 Cr은 [16,240]이다.

2.2 평균 성분 값 산정 및 컬러 분석

화재시 연기와 화염의 색상공간에서 연기와 화염 클러스터들의 경계점을 분석하면, 다양한 규칙성을 나타내게 된다. 이러한 점을 이용하여 연기와 화염의 컬러모델에서 명시한 수식조건을 만족하게 되면 연기 또는 화염 색으로 간주하는 알고리즘을 적용하며, 매우 간단하고 검출 속도 역시 매우 빠르므로 연기와 화염 색 검출로 많이 사용되어 왔다.

① 연기 컬러 모델

대부분 연기가 포함하고 있는 색상인 회색 계열 색상은 YCbCr 컬러공간으로 변환시 Cb성분과 Cr성분의 평균 성분 값이 128로 변환되며, 연기 검출을 위하여 다음의 조건을 이용한다.

$$S(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \|(Cb(x,y)-128), |Cr(x,y)-128)\| < \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, ε 값범위는 통상 그레이 영역인 $0 < \varepsilon < 20$ 이다.

② 화염 컬러모델

입력 영상에 대해 YCbCr 각 성분에 대한 평균 성분 값은 다음과 같이 정의한다.

$$Y_{mean} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K Y(x_i, y_i) \quad (3)$$

$$Cb_{mean} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K Cb(x_i, y_i) \quad (4)$$

$$Cr_{mean} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K Cr(x_i, y_i) \quad (5)$$

여기서 (x_i, y_i) 은 픽셀좌표이고, K는 입력 영상의 단일 프레임에서 모든 픽셀이다.

화염 픽셀은 RGB 컬러 공간에서 $R > G > B$ 와 $R > R_{mean}$ 규칙으로 정의되고, YCbCr 공간으로 변환하면 다음과 같다.

$$Y(x, y) > Cb(x, y) \quad (6)$$

$$Cr(x, y) > Cb(x, y) \quad (7)$$

화염의 밝기성분은 파란색상(Chrominance Blue) 성분보다 큰 값을 가지고 붉은색상(Chrominance Red) 성분은 파란색상(Chrominance Blue) 성분보다 큰 값을 가진다. 또한, 화염 영역은 일반적으로 영상에서 가장 밝은 영역을 포함하므로 Y 성분은 Y평균값 보다 큰 값이고, Cb성분은 Cb평균값보다 작은 값이며, Cr성분은 Cr평균값보다 큰 값을 나타낸다. 화염 검출을 위한 다음과 같은 조건을 이용한다.

$$F(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } Y(x, y) > Y_{mean} Cb(x, y) < Cb_{mean} Cr(x, y) > Cr_{mean} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 $F(x, y)$ 는 임의 픽셀이 조건으로 만족할 경우 화염픽셀로 구분되며, Cb와 Cr의 차이가 일정 수준이상되는 것을 화염으로 판단한다. 색차간 차이는 화염후보로 정해지는 픽셀의 범위를 조절하게 된다.

화염픽셀의 Cb와 Cr성분은 현저한 차이를 보이고, Cb성분은 검정색, Cr성분은 흰색을 나타내며 이를 수식화 하면 다음과 같다.

$$F_i(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } |Cb(x, y) - Cr(x, y)| > \tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

2.3 가우시안 혼합모델 해석을 통한 배경 모델링

연기색상 분포를 분석하면 대부분 가우시안 분포를 나타내고 있으며, 이러한 특성을 이용하여 배경 모델과 함께 연기색상 모델을 추가하여 움직임이 있는 연기의 모델링 방법이 필요하다.

가우시안 혼합 모델은 복잡한 형태의 가우시안 형태를 표현할 수 있는 모델로서, 데이터 x에 대한 확률밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있으며 불완전한 정보 분포에 대한 해석을 위한 반복적 기법으로 잘 알려진 EM(Expectation Maximization) 알고리즘을 통해 해석을 수행한다(Friedman, 1997).

$$p(\vec{x} | smoke) = \sum_{m=1}^M \pi_m \eta(\vec{x}; smoke) \quad (10)$$

여기서 M은 혼합모델의 가우시안 개수이고, π_m 은 혼합계수로 $\sum_{m=1}^M \pi_m = 1$, 이다.

연속적인 비디오 영상의 경우, 임의 시간 t에서 일정 시간 주기 T에 대해 $X_T = \{x^{(t)}, \dots, x^{(t-T)}\}$ 로 표현된다. 새로운 샘플은 훈련 데이터 집합 X를 업데이트 하고 p를 재 계산한다. M개의 가우시안 모델을 갖는 GMM의 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\vec{x} | X_T, BG + Smoke) = \sum_{m=1}^M \pi_m \eta(\vec{x}; \vec{\mu}_m, \sigma_m^2) \quad (11)$$

여기서, $\eta(\vec{x}; \vec{\mu}_m, \sigma_m^2)$ 은 가우시안 분포 함수이고 각각 평균과 공분산 행렬을 가진다. 임의시간 t에서 주어진 샘플 $\vec{x}^{(t)}$ 에 대해 업데이트 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \pi_m &\leftarrow \pi_m + \alpha(o_m^{(t)} - \pi_m) \\ \mu_m &\leftarrow \mu_m + o_m^{(t)}(\alpha/\pi_m)\delta_m \\ \sigma_m^2 &\leftarrow \sigma_m^2 + o_m^{(t)}(\alpha/\pi_m)(\delta_m^T \delta_m - \sigma_m^2) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서, $\delta_m = \vec{x}^{(t)} - \mu_m$ 이다. α 는 이전 데이터의 영향을 점진적으로 줄이는 역할을 하며 시간 주기 T와 $\alpha = 1/T$ 인 관계가 있다. $o_m^{(t)}$ 는 새로운 샘플이 가장 큰 값 π_m 을 갖는 가우시안 분포 함수에 포함되면 1이고 그렇지 않으면 0이 된다.

2.4 화재 후보영역 해석

화염은 방출되는 빛의 강도가 증가하고 감소함에 따라 흔들거리는 속성을 가진다. 이 속성은 비디오 영상에서 밝기의 증가 또는 감소를 가져오며, 통상적으로 화염의 흔들림 주기는 1~10 Hz로 알려져 있다. 연기의 경우 발화 지점으로부터 생성되어 대류에 의해 원추형으로 확산하고, 연기량에 의해 영역이 증가 또는 감소한다.

이러한 시간 변화에 따른 변화량을 효과적으로 기술하기 위해서 YCbCr컬러공간을 이용한다. 밝기를 나타내는 Y성분에 대한 시간미분에 대하여 안정적인 영역은 0이고, 움직임 영역에 대해서는 0이 아닌 값을 가진다. 따라서 비디오 영상에 대한 시간미분에 의해 움직임 물체를 추적할 수 있으며, 미분 절대 값의 합은 한 영역에서 주위로 물체가 주기적으로 움직이면 증가한다. 화염의 경우 화염의 흔들거림에 의해 화염 주위의 픽셀 값이 불변하게 증가하고, 연기의 경우 발화 지점에서 생성되는 연기의 변화량에 의해 그 주위 픽셀 값이 증가한다. 이때 미분의 합은 다음과 같이 수식으로 표현된다.

$$M(x, y) = \sum_t D_t(x, y), t_0 < t < t_n \quad (13)$$

여기서, (t_0, t_n) 은 이산합 구간이고, $D_t(x, y)$ 는 Y 성분의 시간에 대한 배경 차 영상의 절대 값으로 구하는 수식은 다음과 같다.

$$D_t(x, y) = |Y_t(x, y) - B_{t-1}(x, y)| \quad (14)$$

$M(x, y)$ 을 표현하기 위해 효과적이고 강인한 방법으로 축적

시간 도함수 행렬(Cumulative Time Derivative Matrix)을 적용하며 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_i(x,y) = \alpha A_{i-1}(x,y) + (1-\alpha)D_i(x,y)W_i(x,y) \quad (15)$$

여기서, α 는 축적강도(Cumulative Strength)로서 범위는 $0 < \alpha < 1$ 이다. $A_i(x,y)$ 는 $N+1=N/\alpha$ 관계의 시간 구간 $[t-N, t]$ 에 대해 $D_i(x,y)$ 에 대한 평균을 나타내며 α 에 의해 지수적으로 증가 또는 감소하고 값의 범위는 $\min\{D_i(x,y)\} \leq A_i(x,y) \leq \max\{D_i(x,y)\}$ 이다.

잡음에 의한 오정보를 줄이기 위해 다음과 같이 $D_i(x,y)$ 는 가중치 행렬(Weight Matrix) $W_i(x,y)$ 를 곱하여 적용한다.

$$A_i(x,y) = \alpha A_{i-1}(x,y) + (1-\alpha)D_i(x,y)W_i(x,y) \quad (16)$$

$$W_i(x,y) = \begin{cases} Y_i(x,y), & \text{if } Y_i(x,y) > \delta \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (17)$$

여기서, Y성분에 대한 임계 값 $\delta(\lambda_1, \lambda_2)$ 은 화염 또는 연기 이외 픽셀을 제거하기 위해 Y성분의 최대값과 전체 평균값을 이용한다.

2.5 연기 및 화염의 특징 추출

화재시 검출된 연기와 화염 영역은 발화지점을 중심으로 지속적 속성 변화의 특징이 있으며, 연기는 대부분 회색 색상의 특징이 있고, 화염픽셀은 RGB 컬러 공간에서 $R > G > B$ 의 색상 특징을 가진다. 따라서 연기와 화염발생을 안정적으로 판단하기 위하여 일정 시간동안 이전의 프레임과 검출된 변화 영역의 크기, 속도, 모양, 색상, 및 밝기변화의 주파수 등의 특징을 이용한다.

검출된 변화 영역에서 임계값 η_1 보다 큰 값을 가지는 픽셀들을 활동 픽셀(Active Pixels) Ω_{ROI} 로 정의한다. 여기서 η_1 의 범위는 $0 \leq \eta_1 \leq 255$ 이다.

$$\Omega_{ROI} = \{(x,y) | A_i \geq \eta_1\} \quad (18)$$

여기서 활동픽셀의 밝기, 활동픽셀 개수 및 색상정보를 이용하여 연기와 화염의 특징을 추출한다[17].

2.6 화재 패턴 특징 추출

각 특징점 $x_{ROI}(t)$ 은 임계치에 의해 지시자 $I(x, t)$ 로 나타내며, 여기서, 임계치 $\mu_{low}(x)$, $\mu_{high}(x)$ 는 경험적 수치이다. 또한 다음과 같이 모든 특징 점에 대한 지시자들을 조합하여 화재 경보 지시자 $I_f(x, t)$, 연기경보 지시자 $I_s(x, t)$ 로 나타낼 수 있다.

$$I(x, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } \mu_{low}(x) \leq x_{ROI}(x) \leq \mu_{high}(x) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

$$I_f(x, t) = I(I, t)I(f, t)I(a, t)I(r, t)I(c_r, t)I(m, t) \quad (20)$$

$$I_s(x, t) = I(I, t)I(f, t)I(a, t)I(r, t)I(c_s, t)I(m, t) \quad (21)$$

여기서 지시자 $I_f(t)$ 가 1이면 화염이고, $I_s(t)$ 가 1이면 연기이다. 화재 또는 연기 패턴이 일정 시간동안 지속적으로 발생

하면 이벤트를 발생시킬 수 있다. 화염의 경우, $I_f(t)$ 의 출력 값에 따라 레벨을 증가 또는 감소하도록 지시자 $Q_f(t)$ 에 의해 표현되며, 연기 감지의 경우도 동일하게 적용된다.

$$Q_f(t) = Q_f(t-1) + v(2I_f(t) - 1) \quad (22)$$

여기서, $0 \leq Q(t) \leq Q_T$ 의 조건에서 v 에 의해 증가 또는 감소량을 조절할 수 있다. 구간 $[0, Q_T]$ 을 설정하여 레벨이 증가 또는 감소에 의해 발산됨을 방지한다. $Q(t)$ 가 임계값 Q_0 이상이면 알람을 발생한다(Toreyin, 2006).

2.7 움직임 특징 추출

일정시간 동안의 움직임 특징을 나타내는 함수 $m_{ROI}(t)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$m_{ROI}(t) = (cm_{ROI}(t), dm_{ROI}(t), sm_{ROI}(t)) \quad (23)$$

여기서, $cm_{ROI}(t)$ 는 활동 픽셀 Ω_{ROI} 영역의 중심 위치, $dm_{ROI}(t)$ 는 중심위치 $cm_{ROI}(t)$ 로부터 거리의 표준편차, $sm_{ROI}(t)$ 는 중심 위치에 대한 속도이다.

3. 영상기반 자동 화재감지시스템의 개요

영상기반 자동 화재감지시스템 개발품은 영상 화재카메라, 영상화재수신기, 중앙처리장치(CPU), RAM, 메인보드, 비디오 카드, 하드웨어코덱 등으로 구성된 주요 부속장치로 구성된다.

본 연구에서 화재영상 감지를 위하여 사용된 카메라(엘지전자(주), L332-BN)의 기능은 대상의 영상을 실시간 지속적으로 영상화재수신기로 전송하는 것으로, 양질의 성능을 가진 카메라 선택시 명확한 감지성능을 얻을 수 있다. 이때 요구되는 카메라 성능은 표준 CCTV 카메라(NTSC)를 사용하여 수동초점 조절이 가능한 자동 Iris 렌즈를 갖추고 카메라 흔들림 보상기능을 갖춘 PTZ 카메라를 사용한다. 카메라 흔들림 보상기능 측면에서 자동 흔들림 보상이 시스템에 포함되어 있어도 많은 양의 진동이 있다면 감지감도가 감소되므로 카메라 설치시 단단한 구조물에 설치되어야 한다.

본 연구개발품은 영상정보를 기반으로 자동 영상분석과 화재를 감지할 수 있는 시스템으로, 카메라로부터 영상을 전송받아 화재의 다중 속성을 분석하여 화재를 신속하고 정확하게 옥내 영상의 감지, 검출하여 저장 전송할 수 있는 영상화재수신기의 핵심기술을 개발하였다. 영상화재수신기의 기능은 영상화재카메라가 영상 이미지를 전송하면 영상분석 알고리즘이 실시간으로 영상을 분석하고 영상분석 알고리즘이 영상 이미지로부터 화재를 검출하면 모니터상에 화재표시와 함께 화재위치표시를 한다.

그리고 화재 발생시 화재가 발생한 경계구역과 화재 발생 시간을 시스템에 기록하며, 수신기와 카메라의 배선에 단선이 있는 경우 이상이 발생하였음을 수신기에 자동적으로 표시하거나 수동적으로 확인가능하다.

Fig. 2는 본 연구에서 개발된 영상화재수신기의 모습을 나타낸 것으로, 전면과 후면을 나타낸 것이다.

Fig. 3은 본 연구를 통해 개발된 영상기반 자동화재감지 시스템의 전체 구성도로서, 다중 채널의 화재감지가 가능하며 10 by 10 Size 영상의 화재감지시 5초 이내 경보를 발생시킬 수 있다 또한 16채널의 영상입력 및 D.V.R 기능을 갖추고 있으며, 하드웨어 MPEG-4 압축기능과 함께 사용자 편의를 고려한 UI 제공이 가능하며 네트워크 전송 및 CMS 시스템으로 구성된다. 특히 연기감지, 영상보정, 카메라 흔들림 제어 및 카메라 영상 화질 개선 기능을 갖추고 있고 180°/360°의 각도로 파노라마 카메라 영상 표현이 가능하며, Table 1은 이와 관련 개발품의 주요 사양을 나타내고 있다.

Fig. 2. The Developed Product of a Video-based Fire Alarm Control Station

Fig. 3. Schematic Diagram of a Video-based automated Fire Detection System

Table 1. Specification of the Developed Product

Items	Spec.
Case(Industrial)	4U
CODEC	Hardware MPEG-4
Display	Realtime
NTSC/PAL Recording(FPS)	CIF (480/480), 2CIF (240/200), D1 (120/100)
Video In	16CH
Video Out	1CH Spot Switching 1CH Split Mode
Audio In	16CH(option)
Sensor In/Alarm Out	16In / 8Out(option)
PTZ	RS-485
CPU	P4 2.8 Ghz or higher
RAM	512MB or higher
HDD	500GB
Max.HDD	4TB(option)
OS	Window Vista™, Window XP(Window 98 & Window ME not supported)
Dimension	560(w) × 560(h) × 340(d)mm
Weight	17 kg

4. 화재영상 감지성능 시험방법

영상기반 자동 화재감지시스템 개발품의 영상감지 성능시험은 감지기가 화재발생시 얼마나 신속하게 수신기에 화재신호를 보내는지를 확인하는 시험이다. 현재 국내 관련 적용기준이 없으므로 미국 UL 268B 기준(비디오 영상 연기감지기), 중국 GB 4715.7-200x 기준(화재감지기-영상타입감지기) 및 ISO/TS 7240-9(화재감지기 화재시험)의 영상감지기 관련 국외기준을 준용하여 화재영상 감지성능 시험조건과 시험방법을 설정하여 개발품의 화재영상 감지성능을 분석하였다.

개발품의 화재영상 감지시험을 위하여 시험장 기준, 화원 종류 선정, 화원 위치 선정의 선정기준이 정립되어야 한다.

4.1 시험장치

Fig. 4는 화재영상 감지시험을 위한 시험장의 개략도를 나타낸 것으로, 시험장의 크기는 가로 11 m, 세로 6.6 m, 높이 3 m이며 시험장 내부의 공기 이동이 최소화 되어 있고 외부의 날씨 등으로 인한 조도변화와 같은 변인을 최소화 하여야 한다. 화재영상 감지시험을 위한 화원으로 알코올, 가솔린, 목재, 면심지의 4종류의 가연물을 사용하였다. 선정된 가연물을 각각 시험장 중앙에 배치하여 화재영상 감지시험을 실시하였다. 이때 알코올과 가솔린 화재의 경우 메틸알코올 300 g과 가솔린 300 g을 각각 크기 0.3 m×0.3 m의 정사각형 화조에 넣고 점화봉으로 점화시킨 후 화재영상 감지성능 시험을 실시하였다. 목재 화재의 경우 너도밤나무 70개를 10 mm×20 mm×250 mm의 부피로 쌓은 후 시험을 실시하였고, 면심지 화재의 경우 길이 80 cm, 질량 3 g의 면심지를 90개를 놓고 시험을 실시하였다(ISO, 2012).

Fig. 4. Schematic Diagram of Video-based Fire Detection Performance Test

카메라는 가로 11 m, 세로 6.6 m, 높이 3 m의 시험장에 카메라 수평 이격거리는 화원으로부터 5 m로 하고, 카메라 수직 이격거리는 바닥으로부터 2 m로 설정하였다. 시험장 조도는 중앙의 위치에서 수평면 조도 22 ± 2 lx, 연직면 조도는 10 ± 1 lx로 설정한다.

개발품의 정량적 성능 분석을 위한 시험장치 환경 사양으로 2.66 GHz 성능의 중앙처리장치를 가진 윈도우 XP 운영체제를 사용하고 유효 화소수 768×494, SLA-550DA(배율: 10배, 초점거리: 5~50 mm)의 카메라 렌즈를 사용하였다.

4.1 시험방법

화재영상 감지성능은 자동 화재감지시스템을 정격전압 상태로 $20 \pm 15^\circ\text{C}$ 환경에서 30분 이상 방치하였다. 그리고 지정된 화원의 점화 후, 1분 이상 자기연소상태를 지속시켜 감지기의 감도특성을 확인하였다. 카메라와 화원 간 직선거리 5 m, 10 m, 15 m로 각각 이격배치하고 거리별 감지 작동시간을 측정한다. 각각의 화원에 의해 나타나는 불꽃 및 연기에 의해 카메라가 지속적으로 신호를 발하는 순간까지의 지속시간을 측정하였다. 이때 관련 기준에 근거하여 감지시간이 30초 이하이면 적합한 감지성능으로 분석하였다. 이때 화재영상 감지 성능기준의 요건으로 카메라가 화원에 노출된 후 30초 이내에 화재를 감지한 후 지속적으로 화재신호를 발신하여야 하고 수동으로 복귀시키지 않는 한 지속되어야 한다(FILK, 2010/2011).

Fig. 5는 화재영상 감지시험을 위하여 알코올, 가솔린, 목재의 화원별 화재시험 모습을 나타낸 사진이다.

Fig. 6은 개발품의 화재 감지영상을 나타낸 것으로, 연기와 불꽃이 감지되면 각각 노란색 프레임과 빨간색 프레임으로 가시적으로 표시된 모습을 보여주면서 자동적으로 녹화된다.

Fig. 5. Fire Test of Fire Sources

Fig. 6. Test Results of a Video-based Fire Detection

Table 2. Test Results of Fire Detection Time according to Fire Sources and Detection Distance

Fire Source	Detection Distance(m)		
	5	10	15
Alcohol	6	16	27
Gasoline	7	21	29
Wood	8	8	10
Cotton Wick	5	6	8

5. 시험결과 및 고찰

Table 2는 개발품의 정량적 화재영상 감지성능 시험결과를 나타낸 것으로, 알코올, 가솔린, 목재, 면심지 화재시 거리 5 m에서 감지시간이 5~8초, 화재시 거리 10 m에서 감지시간이 6~21초, 화재시 거리 15 m에서 감지시간이 8~29초를 나타내었다. 따라서, 개발품의 화재영상 감지성능은 15 m 이하의 거리에서 30초 이내에 화재영상이 감지됨에 따라 기준 성능에 적합한 것으로 분석하였다. 이때 알코올 화재 및 가솔린 화재는 순식간에 불꽃이 커져 화재신호를 약간 발하였고 휘발성 액체이므로 불꽃이 갑자기 감소하며 불꽃의 변화량이 매우 적어 거리 15 m에서 감지시간이 기준요건인 30초에 근접해서 감지하는 것을 확인하였다. 목재 화재의 경우 거리 15 m에서 불꽃이 발생한 이후에는 10초의 빠른 감지가 이루어졌으며, 이는 높은 온도의 불꽃 발생에 기인한 것으로 분석되었다. 면심지 화재는 연소가 쉽게 발생하고 불꽃이 잘 발생함에 기인하여 거리 15 m에서 8초에 화재 감지가 이루어졌다. 따라서, 4종류 화원의 화재실험에서 대부분 국내 소방법령에서 제시한 감지성능 기준 30초 이내에 화재를 감지하는 양호한 성능을 보여 주었다.

개발된 영상기반 자동 화재감지시스템의 화재감지성능에 대하여 기존의 연기감지기와 불꽃감지기를 비교한 결과, 연기감지기는 설치공간에 따라 연기의 감지시간이 다르고 불꽃감지기는 불꽃에 대하여 30초 이내에 가능하나 화재발생 현장확인 기능, 자동녹화기능, 오경보 확인기능 측면에서 불가능하다는 문제점을 가지고 있다. 그러나 영상기반 자동 화재감지시스템은 연기와 불꽃을 모두 감지할 수 있고 모니터를 통한 화재영상의 즉시 확인, 자동녹화기능 확보, 오경보의 즉시 확인 측면에서 기존의 연기감지기와 불꽃감지기와 비교하여 우수한 감지성능을 가진다고 분석할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 영상기반 자동 화재감지시스템의 감지성능 특성 분석에 관한 연구로서, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 연기·화염 컬러 모델과 가우시안 혼합모델 해석 및 화재영역 분석 성능을 향상시킬 수 있는 영상기반 자동 화재감지 알고리즘 해석을 실시하여 화재영상 분석 프로그램을 개발하였다.
- 2) 영상 카메라, 영상화재수신기, 중앙처리장치 등의 주요 부속장치로 구성된 영상기반의 자동화재감지시스템을 개

발하였으며, 특히 화재의 다중 속성 분석을 통한 화재 감지, 검출, 저장 및 전송할 수 있는 영상화재수신기의 핵심기술을 개발하였다.

- 3) 현재 영상기반 화재감지 성능기준이 국내 관련 적용기준이 없으므로 미국 UL 268B 기준 등 국내외 영상감지 관련 기준을 준용하여 화재영상 감지성능 시험조건과 시험방법을 정립하였다.
- 4) 알코올, 가솔린, 목재, 면심지의 화원과 감지거리에 따른 화재영상 감지성능을 측정한 결과, 거리 5 m에서 10초 이내, 거리 15 m에서 30초이내에서 화재 감지성능을 나타내는 것으로 분석되었다. 향후 최적 설계를 위해 다양한 변수에 따른 연구가 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

References

- FILK(Fire Insurers Laboratories of Koea) (2011) FS 075 Flame Detector, FILK Standard.
- FILK(Fire Insurers Laboratories of Koea) (2012) *A Study on the Performance Evaluation and FILK Standard Development of Video Image Detection System*, FILK Report.
- Friedman, N. and Russell, S. (1997) Image Segmentation in Video Sequences: A Probabilistic Approach, *Thirteenth Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence(UAI 97)*.
- International Organization for Standardization (2012) ISO/TS 7240-9, Fire Detection and Alarm Systems-Part 9:Test Fires for Fire Detectors, ISO Standard.
- Kim, D.H. and Kim, W.H. (2007) Smoke Detection using Block-based Difference Images and Projections, *The KIPS Transactions:PartB*, Korea Information Processing Society, Vol. 14B, No. 5, pp. 361-368.
- Lee, D.H. et al., Yoo, J.W., Lee, K.H., and Kim Y. (2010) A Real Time Flame and Smoke Detection Algorithm Based on Conditional Test in YCbCr Color Model and Adaptive Differential Image, *Journal of the Korea Society of Computer and Information*, Vol. 15, No. 5, pp. 57-65.
- Liu, C.B. and Ahuja, N. (2004) *Vision Based Fire Detection*, IEEE International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, UK.
- National Emergency Management Agency (2012) *Technology Standard of Type Approval Certification and Product Inspection of Detector*, NEMA Standard.
- People's Republic of China(PRC) Country Standard GB 4715.7 Fire detectors Part 7 : Image type detectors.
- Piao, F.J. et al. (2010) A YCbCr Color Model for Fire Detection based on Fire Movement, *Fall Conference Proceedings of Korea Multimedia Society*, Vol. 13, No. 2, pp. 431-433.
- Toreyin, B.U. Dedeoglu, Y., Gudukbay, U., and Cetin, A.E. (2006), *Computer Vision Based Method for Real-time Fire and Flame Detection*, Pattern Recognition Letters, 27, pp. 49-58.
- Underwriters Laboratories(UL) 268B (2009) Video Image Smoke Detectors, UL Standard.

© Received August 5, 2013

© Revised August 14, 2013

© Accepted October 14, 2013