

논문 2008-45SP-4-7

# 터널 화재의 실시간 조기 탐지를 위한 화염 및 연기 검출 기법

( Flame and Smoke Detection Method for Early and Real-Time Detection of Tunnel Fire )

이 병 무\*, 한 동 일\*\*

( Byoungmoo Lee and Dongil Han )

## 요 약

본 논문에서는 터널 환경 내에서 발생할 수 있는 화재를 조기에 실시간으로 탐지하기 위한 시각 처리 기법을 제시한다. 다양한 환경 하에서 화재 발생 시 이를 조기에 발견하여 인명 및 재산 피해를 최대한 줄이기 위한 목적을 가지고 많은 연구들이 제안되었다. 그러나 터널 화재 탐지의 경우 터널 환경이라는 특이성 때문에 기존의 화재 탐지 기법을 적용하기 어려우며, 터널 공간에 특성화된 새로운 알고리즘이 필요하다. 이에 본 논문에서는 컬러정보를 기반으로 한 화염 후보 영역 검출기법, 움직임 정보를 기반으로 한 연기 후보 영역 검출 기법을 사용하고 모풀로지 기법, 재검증 및 제거 기법을 이용하여 화재 검출 시 발생할 수 있는 오검출 영역을 제거하는 방법을 통해서 정확한 위치 탐지와 조기 탐지가 가능한 알고리즘을 개발하였다. 또한 실험 결과를 통해 각각의 성능을 비교함으로써 제시한 알고리즘의 타당성을 보여주었다.

## Abstract

In this paper, we proposed image processing technique for automatic real-time fire and smoke detection in tunnel environment. To avoid the large scale of damage of fire occurred in variety environments, it is purposeful to propose many studies to minimize and to discover the incident as fast as possible. But we need new specific algorithm because tunnel environment is quite different and it is difficult to apply previous fire detection algorithm to tunnel environment. Therefore, in this paper, we proposed specific algorithm which can be applied in tunnel environment. To minimize false detection in tunnel we used color and motion information. And it is possible to detect exact position in early stage with detection, test, verification procedures. In addition, by comparing properties of each algorithm throughout experiment, we have proved the validity and efficiency of proposed algorithm.

**Keywords:** 실시간 영상처리, 화염 검출, 연기 검출, 조기 화재 검출

## I. 서 론

대도시의 가용 공간 확보를 위해 지하 공간의 개발 필요성이 지속적으로 증가하고 있으며 수송 시간 단축과 공간 활용을 위한 터널 개발이 활성화되고 있다. 또

한 터널의 건설이 늘어나고 터널 길이의 장대화에 따른 터널의 유지 및 관리가 부각되고 있다. 즉 터널 건설의 수요 증가로 인해 터널의 환기 및 화염 방재에 대한 부분이 중요시 되며 특히 터널 내 화재 발생 시 대규모의 인명, 재산 피해가 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책이 강구되고 있다. 실제로 호남 터널 차량 충돌 사건(2007), 대구 달성 미사일 추진체 폭발 사건(2006), 대구 지하철 방화 사건(2003), 프랑스-이탈리아 Mont-blanc 터널 화재(1999), 오스트리아 Tauern 터널 화재(1999) 등 지난 몇 년간 발생한 터널 내 화재로 인해 대규모의 인명, 재산 피해가 발생되었다. 이와 같이 터널 내 화재에 의한 피해를 최대한 경감하기 위해서는 터널 화재의

\* 정희원, 비티컨설팅

(BT Consultants Co.,Ltd)

\*\* 정희원, 세종대학교 컴퓨터공학과

(Dept. of Computer Engineering, Sejong University)

※ 본 논문은 서울시 산학연 협력사업(CR070048)과 건설기술평가원에서 출연한 시설안전네트워크연구단의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2008년 2월 13일, 수정완료일: 2008년 4월 25일

조기 발견 시스템이 요구된다. 화재를 조기에 발견하여 초기 소화 및 조기 피난을 가능케 하는 설비를 개발하여 예방함으로써 발생할 수 있는 대형 피해를 최소화 할 수 있다.

기존의 연구 중 산불 탐지 기법의 경우 컬러 정보를 이용하여 녹색의 숲과 적색의 산불을 탐지하거나<sup>[1]</sup> 이전 필드와의 차이 영상을 이용하여 빠르게 발생하는 연기 등을 탐지하는 것<sup>[2]</sup>이 가능하였다. 산불 감지 시스템의 경우 일반적으로 각 프레임 간의 움직임이 거의 없는 정지 영상이고 조류의 움직임 등은 그 크기가 매우 작아 무시가 가능하였다. 또한 컬러 정보를 이용할 경우 녹색의 숲과 적색의 화염이 쉽게 탐지 가능하며 야간의 경우는 그보다 더 쉽게 탐지 가능하다.

하지만 터널 내에서 이와 같은 알고리즘을 적용 시 움직이는 차량 조명 및 터널내의 조명 등과 같은 여러 가지 상황에 의해서 화재 탐지에 어려움이 존재한다. 그래서 산불 탐지와 터널 내 화재 탐지는 전혀 다른 문제로 독자적인 알고리즘의 개발이 요구된다.

터널 내 화재 탐지 알고리즘의 경우 히스토그램을 추출한 후 정상 상태와 화재 상태와의 차이를 비교<sup>[3]</sup>하거나 터널로 진입하는 차량이나 열차의 비정상적인 과열 징후 탐지<sup>[4]</sup>, 혹은 터널 내의 비정상적인 상황을 모니터링하는 시스템<sup>[5]</sup> 등이 연구되고 있지만 터널 내의 빠른 차량 움직임에 대한 대처 미약, 차량의 매연 등에 대한 대처 미약, 또는 차량의 전조등, 후미등에 의한 잘못된 화염 화재 탐지 가능성이라는 문제점들을 가지고 있다. 또한 신경망을 이용한 터널 내 화염 탐지<sup>[6]</sup>, 통계적 컬러 모델을 이용한 화염 탐지<sup>[7]</sup>, 컬러 모델과 연기 확산 특징을 이용한 연기 탐지<sup>[8]</sup> 등도 연구 되고 있지만, 트레이닝 시간에 대한 문제점, 계산 복잡도에 따른 실시간 처리 문제, 터널 내 조명에 의한 컬러 변환 가능성이라는 문제점들을 가지고 있다.

이러한 문제점들은 터널 내 화재의 실제 탐지 가능성 을 낮추거나 개선이 필요하여 상용화에는 많은 문제점을 가지고 있다.

Marbach<sup>[9]</sup>는 이러한 문제를 다음과 같이 요약하였다.

- 조명 상태(낮, 밤, 인공조명, 조명 반사, 그림자, 자동차의 전조등과 후미등)
- 영상의 화질(불충분한 카메라 해상도, 불충분한 카메라 대조, 불충분한 신호 전송, 더러운 렌즈, 영상의 화질에 영향을 주는 시설물 파괴)
- Scene 복잡도(움직이는 물체 및 사람, 다른 속도

와 크기, 자동차의 가스 배출)

- 프로세서 성능(실시간 검출, 프로세서 속도와 메모리)
- 시스템 설치(설치 환경과 매개변수)

화염 및 연기 탐지 시스템에서는 오동작으로 인한 피해가 엄청나게 크기 때문에 오검출 및 경보 반응 시간을 줄임으로써 큰 유연성과 고 신뢰성의 알고리즘 개발이 요구된다. 게다가 검출 알고리즘은 기존 CCTV 시스템의 모니터링과 저장 작업의 질을 줄이거나 성능을 약화 시키지 말아야 한다.

본 논문에서는 앞서 언급한 문제점들을 해결하기 위한 화염 및 연기 검출 알고리즘을 제안하고, 실험을 통해 실시간 처리 및 성능을 검증하였다. II장에서는 제안된 화염 및 연기 알고리즘에 대한 세부 설명을 나타내며, III장에서는 II장에서 설명한 알고리즘들에 대한 실험 결과 및 성능평가를 보여준다. IV장에서는 결론으로 실험 및 성능 평가를 기반으로 제안된 알고리즘에 대한 결론 및 추후 연구방향에 대해 기술한다.

## II. 화염 검출과 연기 검출

터널 내부에는 터널 조명과 차량 조명 또는 차량의 매연 등과 같이 빛이나 연기를 나타내는 요소가 지속적으로 발생한다. 이런 요소들은 화재 탐지 시 자칫 화재로 인식되는 경우가 발생할 수 있으므로 이러한 요소들

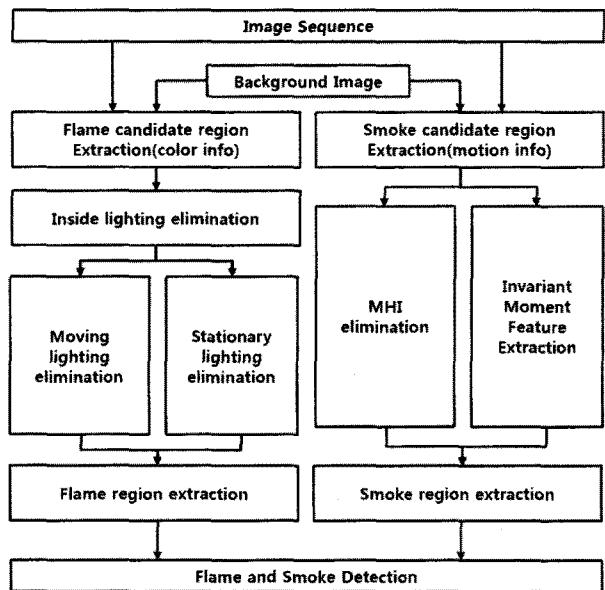


그림 1. 전체 알고리즘 개략도

Fig. 1. The outline of proposed algorithm.

을 효과적으로 제거하면서 실제 화재를 정확하고 빠르게 탐지하는 알고리즘이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 실시간 동작이 가능하고 최대한 오검출을 줄여 검출 성공률을 높이는 방법으로 터널 내 화재 탐지 기법을 제안한다. 그림 1에 제한된 알고리즘의 블록도를 나타내었다. 제안된 알고리즘은 내부적으로 두 가지 알고리즘으로 나누어진다. 하나는 화염 탐지 알고리즘이고 나머지 하나는 연기 탐지 알고리즘이며 두 알고리즘은 병렬로 처리된다. 화염 탐지의 첫 단계는 컬러 정보를 이용하여 화염의 후보영역을 검출한다. 그 후, 화염의 특징을 가지지 않는 영역들을 제거함으로써 최종적으로 화염을 검출한다. 연기 탐지 알고리즘의 경우 우선적으로 움직임이 있는 영역들을 검출하고 연기 영역이 아닌 영역들을 다양한 방법으로 제거하는 기법을 시도한다.

## 2.1 화염 검출 알고리즘

영상 내의 화염 영역은 높은 명도 값을 가지고 있기 때문에 컬러 정보를 이용하는 것이 가능하다. 하지만 컬러 정보를 이용하는 방법은 터널 내 조명, 외부 조명 및 차량의 전조등과 같은 영역들도 같이 검출된다. 따라서 본 연구에서는 화염 영역과 동시에 검출되는 화염이 아닌 영역을 제거하고 남은 영역을 화염으로 인식하도록 구현하였다.

제안된 화염 검출 알고리즘(Flame Detection Algorithm: FDA)은 한 개의 배경이미지와 N개의 연속된 입력 이미지를 필요로 한다. (실 테스트에서는 10개의 연속된 입력이미지를 사용) 여기서, 배경 이미지는 정상 상태의 이미지를 말한다.

화염 후보 영역 검출단계에서는 입력영상 내에서 화염 후보영역이 될 수 있는 모든 영역들을 검출한다. 화염이나 조명은 영상 내에서 매우 밝은 명도 값을 가지는 특성이 있다. 따라서 이 단계에서는 N개의 입력이미지와 배경영상을 이진화 영상으로 변환한다. 즉 이진화 영상 변환 시, 영상 내의 컬러정보를 이용한다. R, G, B 값이 모두 경계값 이상인 값만으로 가지는 굴셀만을 선택한다. 이 단계를 통해 영상 내 존재하는 화염, 터널 내부/외부 조명, 차량의 전조등, 후미등 등이 모두 검출된다.

내부 조명 제거 단계에서는 n개의 이진화 입력 영상들과 하나의 이진화 배경 영상간의 각각의 차영상을 구한다. 이러한 처리는 정적인 터널 내부 조명을 제거하는 효과를 가져온다. 위 두 단계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$I'_{-k}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } I_k(x,y) > th_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad 0 \leq k < N \quad (1)$$

$$T'(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } T(x,y) > th_1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$D_k^f(x,y) = I'_{-k}(x,y) - T'(x,y) \quad 0 \leq k < N \quad (3)$$

$I_k(x,y)$ 는 N개의 입력 영상을 나타낸다. 그리고  $T(x,y)$ 는 배경영상을 나타낸다.  $th_1$ 는 경계값을 나타내며,  $D_k^f(x,y)$ 는 화염 검출 단계에서 입력영상들과 배경영상간의 차영상을 나타낸다. 식 (1)과 (2)는 입력 이미지들과 배경이미지에 대한 이진화 이미지 변환을 나타낸다.

그림 2는 배경이미지를 나타내며 그림 3은 N개의 입

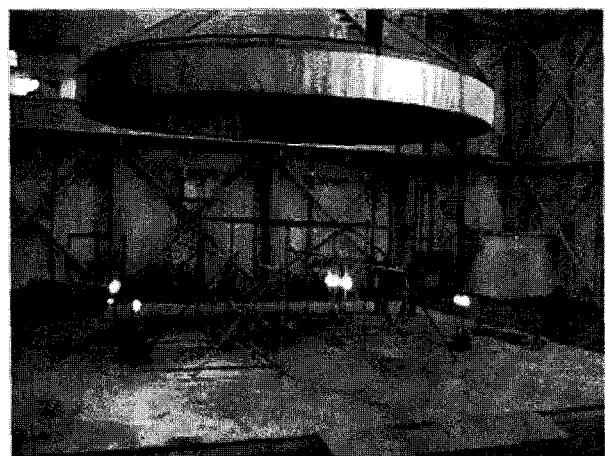


그림 2. 배경 이미지:  $T(x,y)$   
Fig. 2. The background image:  $T(x,y)$ .

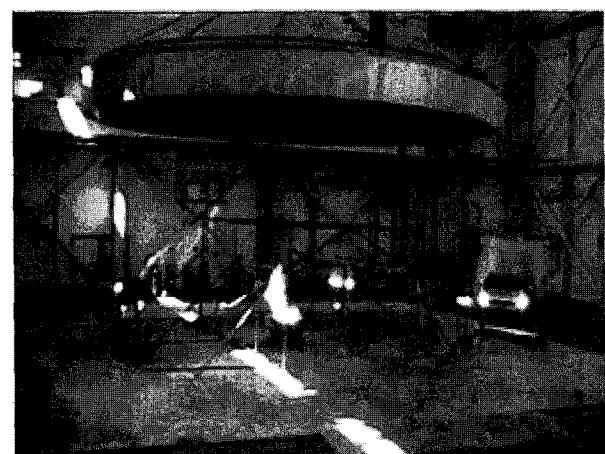


그림 3. 입력 이미지 예  
Fig. 3. As Input image example.



그림 4. 입력 영상 이진화

Fig. 4. The binary image of an input image.



그림 5. 내부 조명 제거 단계 결과 영상

Fig. 5. The result of Inside lighting elimination.

력이미지 중 하나를 보여준다. 그림 4는 이진화된 입력 영상을 보여준다. 그림 5는 차영상을 이용해서 배경 영상과 입력 영상 모두에 존재하는 영역이 제거된 내부 조명 제거 단계의 결과를 보여준다.

움직이는 조명 제거 단계에서는 얻어진 n개의 이진화 이미지 중 처음과 끝의 이미지에 대해서 AND 연산을 수행한 후 침식과 팽창 연산을 수행한다. AND 연산은 움직이는 차량에 의한 검출을 제거할 수 있다. 침식과 팽창 연산은 노이즈를 제거한다. 위 단계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$D_{\text{and}}(x,y) = \text{AND}(D_0^f(x,y), D_{N-1}^f(x,y)) \quad (4)$$

$$D'_{\text{and}} = D_{\text{and}} \otimes K = [x : K + x < D_{\text{and}}] \quad (5)$$

$$M(x,y) = D'_{\text{and}} \oplus K = [(D'_{\text{and}})^c \ominus (-K)]^c \quad (6)$$

식(4)에서  $D_0^f(x,y)$ 는 첫 번째 차영상을 의미하며,  $D_{N-1}^f(x,y)$ 는 마지막 차영상을 의미한다.  $D_{\text{and}}(x,y)$ 는 AND 연산 후의 이미지를 나타낸다. 식(5)와 (6)의 K는 침식 팽창 연산에 필요한 구조 요소를 의미한다.  $M(x,y)$ 는 움직이는 조명 제거 단계의 결과 영상을 의미한다.

정지된 조명(내부의 고정적 조명이 아닌 외부 빛이나 정지된 차량의 전조등이나 후미등)제거 단계에서는 얻어진 n개의 이진화 이미지에 대해 인접한 이미지 간의 차영상들의 합을 구한다. 화염의 경우 크기가 빠르게 변화하고 정지된 차의 빛이나 외부 빛 등은 크기의 변화가 거의 없다. 이런 특징을 이용하여 정지된 조명 제거부에서는 정지된 차의 빛이나 외부 빛 등에 의해서 발생하는 오검출을 줄일 수 있다. 위 단계를 수식으로 표현하면 다음과 같다:

$$N(x,y) = \sum_{k=1}^{n-1} |D_k^f(x,y) - D_{k-1}^f(x,y)| \quad (7)$$

식(7)의  $D_k^f(x,y)$ 는 식(3)의 영상을 의미한다.  $N(x,y)$ 는 정지된 조명 제거 단계의 결과 영상을 의미한다. 그림 6은 정지된 조명 제거 단계의 결과를 보여준다.

최종적으로 움직이는 조명 제거 단계의 결과 이미지와 정지된 조명 제거 단계의 결과 이미지 사이에 겹쳐지는 영역을 종합하여 화염으로 인식하고 최종적인 검출을 한다.

$$F(x,y) = \begin{cases} M(x,y) & \text{if } M(x,y) \cap N(x,y) \text{ then} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

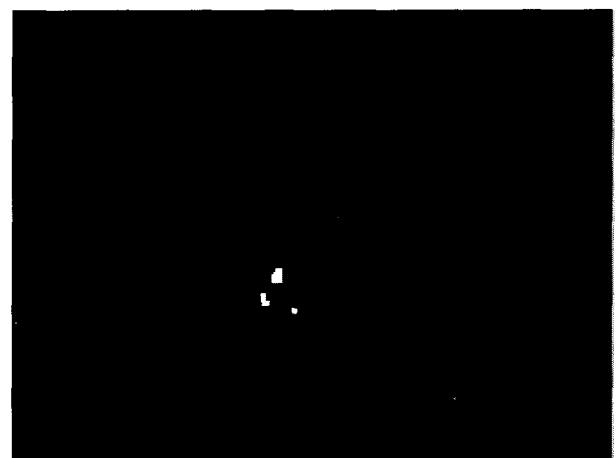


그림 6. 정지된 조명 제거 단계 결과 영상

Fig. 6. The result of Non-Moving lighting elimination.

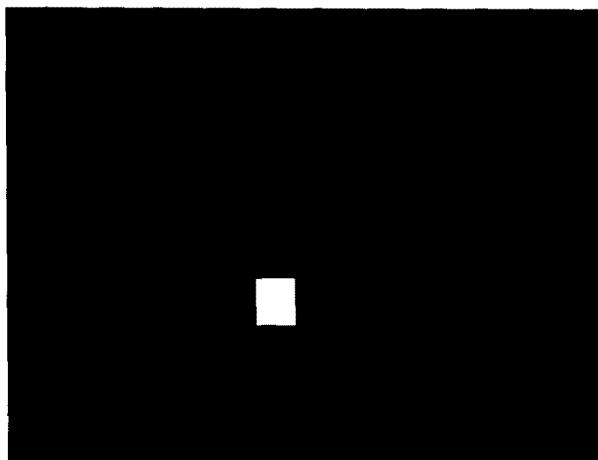


그림 7. 두 단계 사이의 겹쳐지는 영역

Fig. 7. The overlapped image between previous steps.

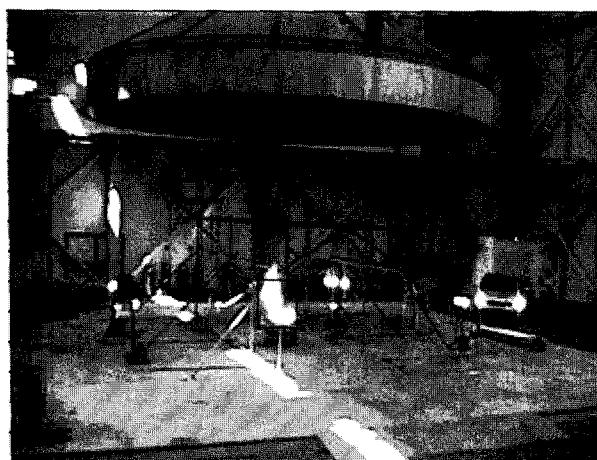


그림 8. 화염 검출 결과 예

Fig. 8. As fire detection example.

식(8)에서  $N(x,y)$ 는 정지된 조명 제거 단계의 결과를 의미하고  $M(x,y)$ 는 움직이는 조명 제거 단계의 결과를 의미한다. 그림 7은 정지된 조명 제거 단계의 결과 영상과 움직이는 조명 제거 단계의 결과 영상사이에서 겹쳐지는 영역을 보여준다. 그림 8은 최종적인 화염 검출 결과를 보여준다.

## 2.2 연기 검출 알고리즘

터널 내의 연기는 조명에 의해 컬러 정보가 다양하게 변화하기 때문에 컬러 정보를 이용하기에는 많은 문제가 따른다. 그래서 본 연구에서는 컬러 정보의 이용을 배제하고 움직임 정보만을 이용한 연기 영역의 검출을 시도하였다. 제안된 연기 검출 알고리즘(Smoke Detection Algorithm: SDA)은 인접프레임간의 차영상을 이용하여 움직이는 모든 영역들을 구한다. 그 후 움직이는 물체(차량, 사람 등) 영역들을 제거하고 남은 부분을

연기로 인식하였다.

제안된 SDA는 FDA와 마찬가지로 한 개의 배경이미지와 N개의 연속된 입력 이미지를 필요로 한다. (실 테스트에서는 10개의 연속된 입력이미지를 사용)

연기 후보 검출단계에서는 입력영상과 배경 영상간의 차영상을 구한다. 하지만 이영상은 많은 노이즈를 포함하기 때문에 필터링을 통한 노이즈 제거 후 이진화시킨다. 이러한 처리과정은 배경영상에 존재하지 않은 새로운 물체(연기, 차량, 사람 등)가 생기는 모든 영역들을 검출한다.

$$D(x,y) = |I_N(x,y) - T(x,y)| \quad (9)$$

$$D^s(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } D(x,y) > th_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

$I_N(x,y)$ 는 N번째 입력 영상을 나타낸다.  $T(x,y)$ 는 배경영상을 나타낸다. 식(9)는 배경 영상과 입력 영상들

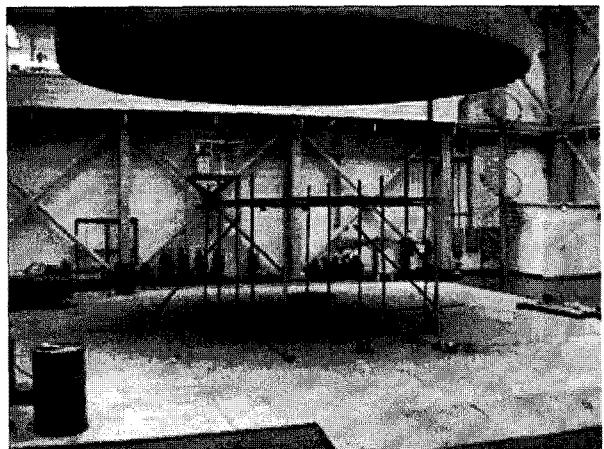
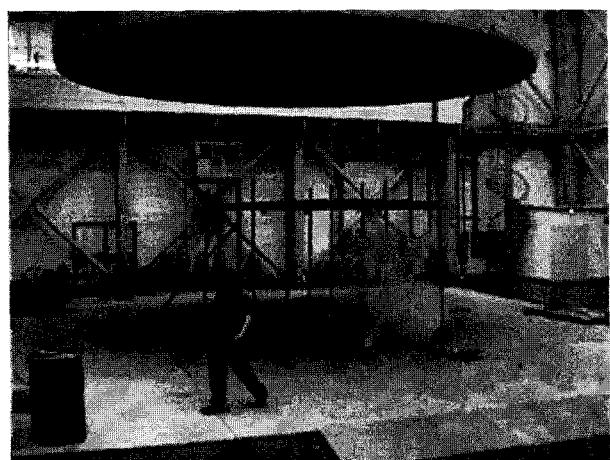
그림 9. 배경 이미지:  $T(x,y)$ Fig. 9. The background image:  $T(x,y)$ .

그림 10. 입력 이미지 예

Fig. 10. An input image example.

간의 절대 차영상을 보여준다. 식(10)에서의  $th_2$ 는 경계값을 의미한다. 또한  $D^s(x,y)$ 는 변환된 이진화 이미지를 보여준다. 그림 9는 배경 영상을 보여주며, 그림 10은 입력 영상을 보여준다. 그림 11은 배경영상과 입력영상간의 차영상을 보여준다. 그림 12는 그림 11을 이진화 시킨 영상으로 연기 후보 영역을 보여주고 있다.

MHI 제거 단계에서는 Motion History Image (MHI)를 이용하여 움직이는 영역(사람 혹은 자동차등)을 구하고 이를 제거한다.

MHI는 N개의 인접프레임간의 차영상들을 구하고, 각각의 차영상 내에서 경계값 이상인 픽셀들로 이진화 시킨 영상들의 합으로 움직이는 영역을 구할 수 있다. MHI를 수식으로 표현하면 다음과 같다.:

$$Ad_k(x,y) = |I_k(x,y) - I_{k-1}(x,y)| \quad 1 \leq k \leq N \quad (11)$$

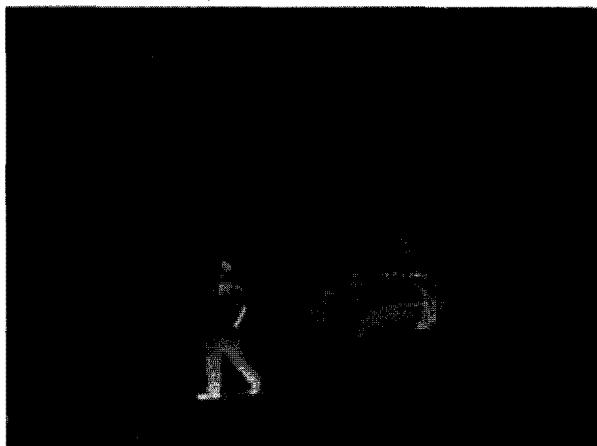


그림 11. 입력 이미지와 배경 이미지간의 차영상  
Fig. 11. The difference image between input and background.

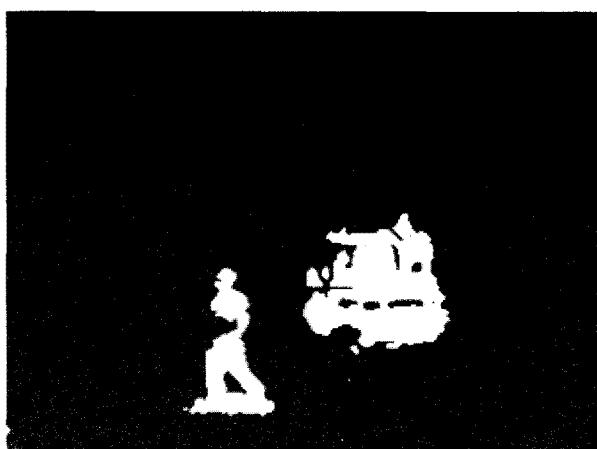


그림 12. 이진화 영상으로 변환된 차영상  
Fig. 12. The converted binary image.

$$Ad'_{-k}(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } Ad_k(x,y) \geq th_3 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad 1 \leq k \leq N \quad (12)$$

$$I_{mhi}(x,y) = \sum_{k=1}^n Ad'_{-k}(x,y) \quad (13)$$

식(11)에서  $Ad_k(x,y)$ 는 인접프레임간의 차영상을 의미한다. 식(12)에서  $Ad'_{-k}(x,y)$ 는 변환된 이진화 이미지를 의미한다. 식(12)에서의  $th_3$ 는 경계값을 의미한다. 식(13)에서  $I_{mhi}(x,y)$ 는 모션 히스토리 이미지를 의미하며 이것은  $Ad'_{-k}(x,y)$ 의 합으로 만들어진다. 이렇게 MHI를 이용하여 MHI 제거 단계를 수식으로 나타내면 다음과 같다.:

$$Mhi(x,y) = D^s(x,y) - I_{mhi}(x,y) \quad (14)$$

식 (14)에서  $D^s(x,y)$ 는 연기 후보 검출 단계의 결과

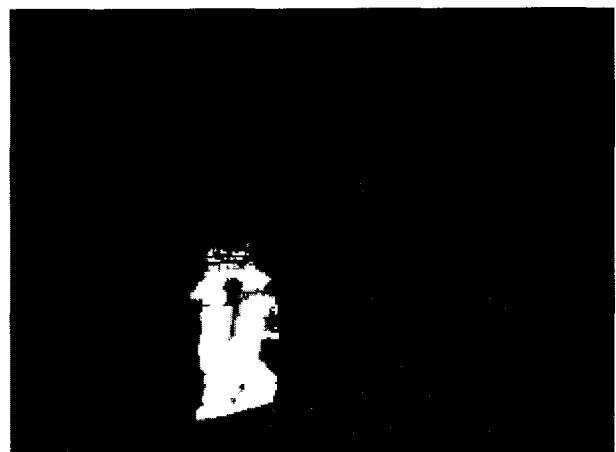


그림 13. 모션 히스토리 이미지(MHI)의 예  
Fig. 13. The example of MHI.

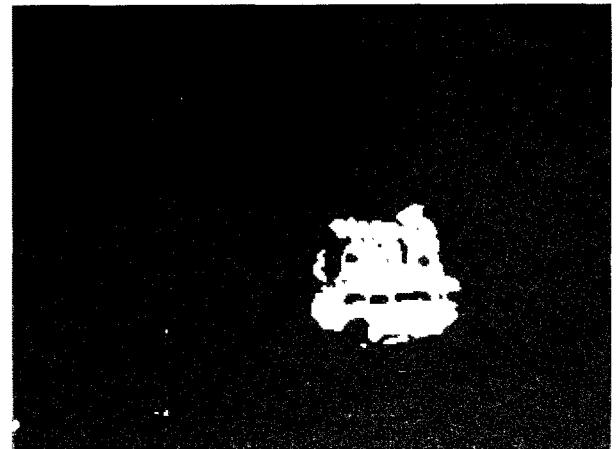
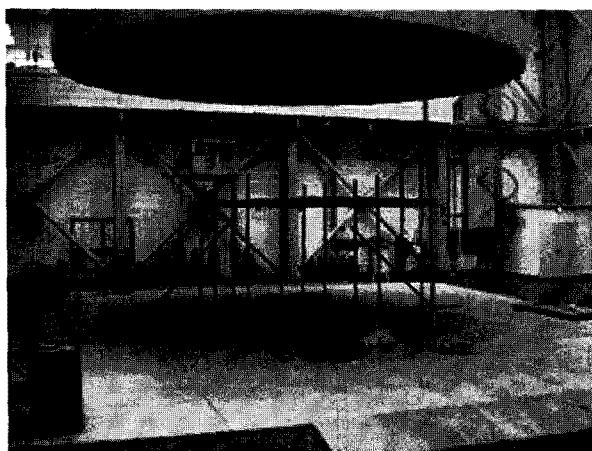


그림 14. MHI 제거 결과  
Fig. 14. The result of MHI elimination.

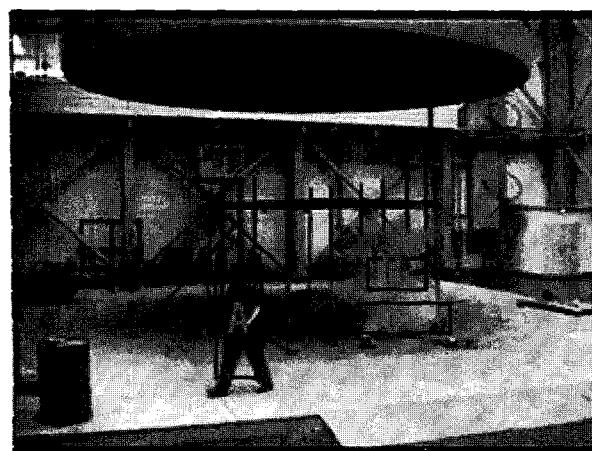
영상을 나타내며,  $I_{mhi}(x,y)$ 는 MHI 영상을 의미한다.

그림 13은 MHI의 일반적 예를 보여준다. 그림 14는 MHI를 이용하여 움직이는 객체를 제거한 영상을 보여준다.

하지만 MHI 제거부에서는 움직이던 물체가 일시 정지 하였을 경우 인접 프레임간의 차이가 거의 없어서 정지된 사람이나 정지된 자동차와 같은 영역(그림 15의 a)은 제거하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이 경우 연기 영역이 사람이나 다른 물체 영역의 불변 모멘트보다 적은 값을 가지는 특징을 이용한 불변 모멘트 특징 추출 단계를 통해서 이러한 문제점을 해결하였다. 본



(a) 움직이던 물체가 정지되는 영상 예시



(b) 각 부분의 불변 모멘트 특징

그림 15. 각 부분의 불변 모멘트 특징 분석 예  
Fig. 15. The example of Invariant moment feature analysis.

연구에서는  $\Phi_1$ 을 특징치로 사용하였다.<sup>[10]</sup>

$$\Phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad \eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r} \quad r = \frac{(p+q)}{2} + 1 \quad (15)$$

식(15)에서 p, q의 합으로 모멘트의 차수를 나타낸다. 또한  $\mu_{pq}$ 는 중앙 모멘트를 의미한다.  $\eta_{pq}$ 는 정규화된 중앙 모멘트를 의미한다. 그림 15과 16은 불변 모멘트 특징 분석 예를 보여준다.

그림 16의 그래프는 연기 영역, 비 연기 영역 각각 50개의 위치에서 임의로 추출한 불변 모멘트 값을 나타내며 중앙을 기준으로 왼쪽은 연기가 아닌 영역, 오른쪽은 연기 영역의 수치를 나타내고 있다.

불변 모멘트를 이용하여 배경 영상과 다른 비 연기 영역을 효과적으로 검출할 수 있었으며 MHI 제거 단계 영상과 불변 모멘트 특징 추출 영상 사이에 겹쳐지는 영역만을 연기로 인식하여 검출한다.

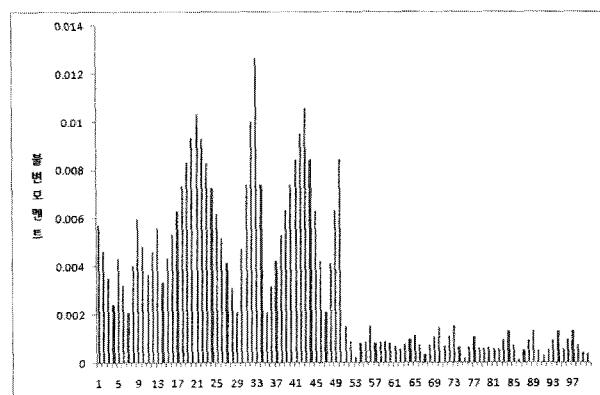


그림 16. 연기, 비연기 영역의 불변 모멘트 특징 예  
Fig. 16. The example of Invariant moment feature analysis.

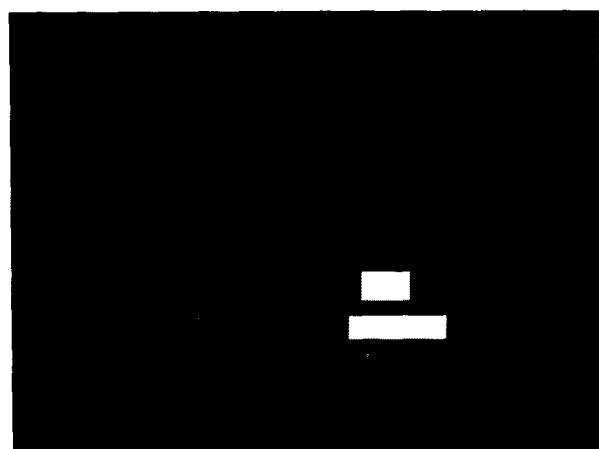


그림 17. 불변 모멘트를 이용하여 추출된 연기 영역  
Fig. 17. The extracted smoke region.



그림 18. 연기 검출 결과 예

Fig. 18. An smoke detection example.

$$S(x,y) = \begin{cases} Mhi(x,y) & \text{if } Mhi(x,y) \cap Mnt(x,y) \text{ then} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

식(16)에서  $Mnt(x,y)$ 는 불변 모멘트를 이용하여 추출한 연기 후보 영상을 의미한다.  $S(x,y)$ 는 최종 결정된 결과 영상을 의미한다. 그림 17은 불변 모멘트 특징 추출 단계를 통해 나온 결과이다. 그림 18은 최종적인 연기 검출 결과를 보여준다.

### III. 실험 결과

제안된 알고리즘의 실시간 동작을 고려하여 다양한 동영상을 이용한 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 동영상은 크게 실제 터널에 설치된 CCTV 영상(대구 달성 터널 화재 영상)과 건설 기술 연구소 방재동에서 실시한 모의 화재 실험 영상으로 나누어진다. 표 1은 실험을 위해 사용한 동영상들의 정보를 보여준다. 모든 영상은 320x240의 크기를 가지는 영상을 사용하였고 실험 환경은 Pentium 4 3.7G에 memory 4G 이다. 제안한

표 1. 실험 동영상들

Table 1. The experimental image sequence.

		Time
CCTV image sequence		2min 23sec
Test image sequence	Scene 1(flame)	6min 43sec
	Scene 2(flame)	6min 58sec
	Scene 3(flame)	11min 14sec
	Scene 4(smoke)	2min 46sec
	Scene 5 (flame and smoke)	10min 17sec

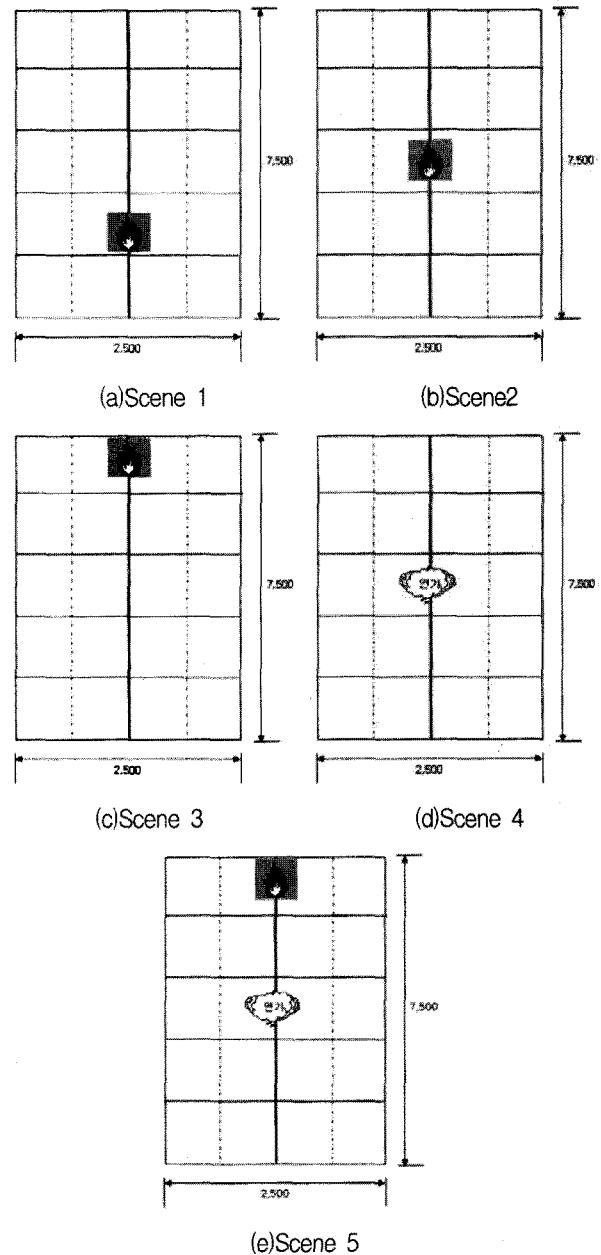
그림 19. 모의 화재 실험 시 화염 및 연기발생위치  
(단위:mm)

Fig. 19. Fire and smoke position in fire test(unit:mm).

화염과 연기 검출 알고리즘의 동시 수행 시간은 9ms~16ms 가 소요되었다. 처리 시간을 통해서 우리는 실시간 동작 가능하다는 결론을 얻을 수 있었으며 테스트 수행에서 실시간으로 검출 결과를 추출할 수 있었다.

그림 19는 모의 화재 테스트에 대한 상황을 보여준다. 그림과 같이 각 시나리오마다 화염과 연기 발생 위치를 다르게 배치하였다.

그림 20은 CCTV 영상을 이용한 화염 검출 결과이며 그림 21은 모의 화재 테스트 영상을 이용한 화염 검출 결과이다. 그림 22는 CCTV 영상을 이용한 연기 검출

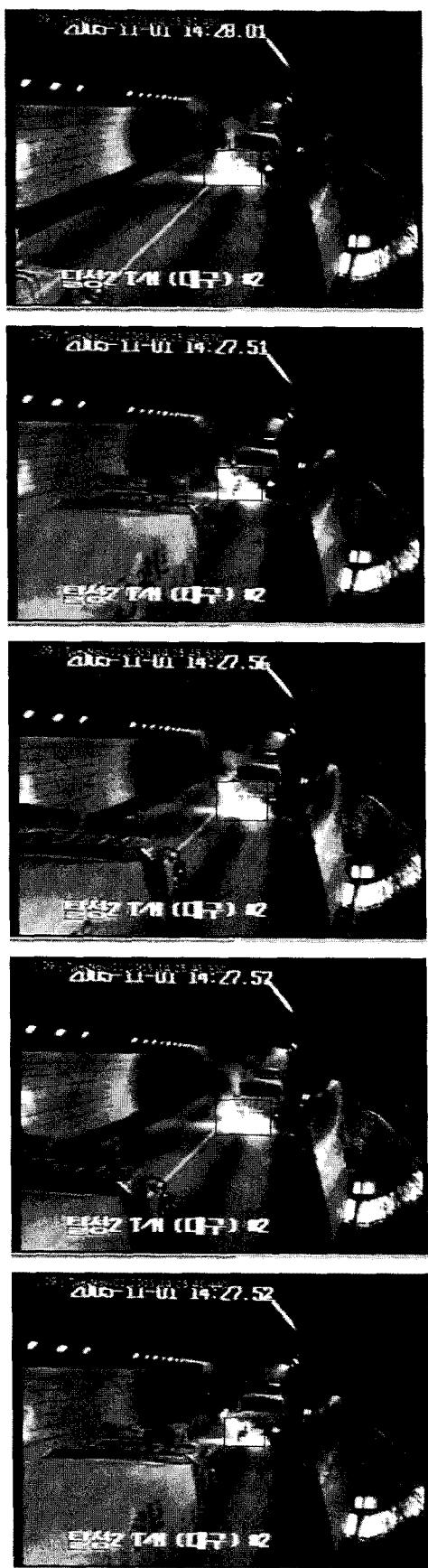


그림 20. 화염 검출 결과(CCTV)  
Fig. 20. The results of fire detection(CCTV).

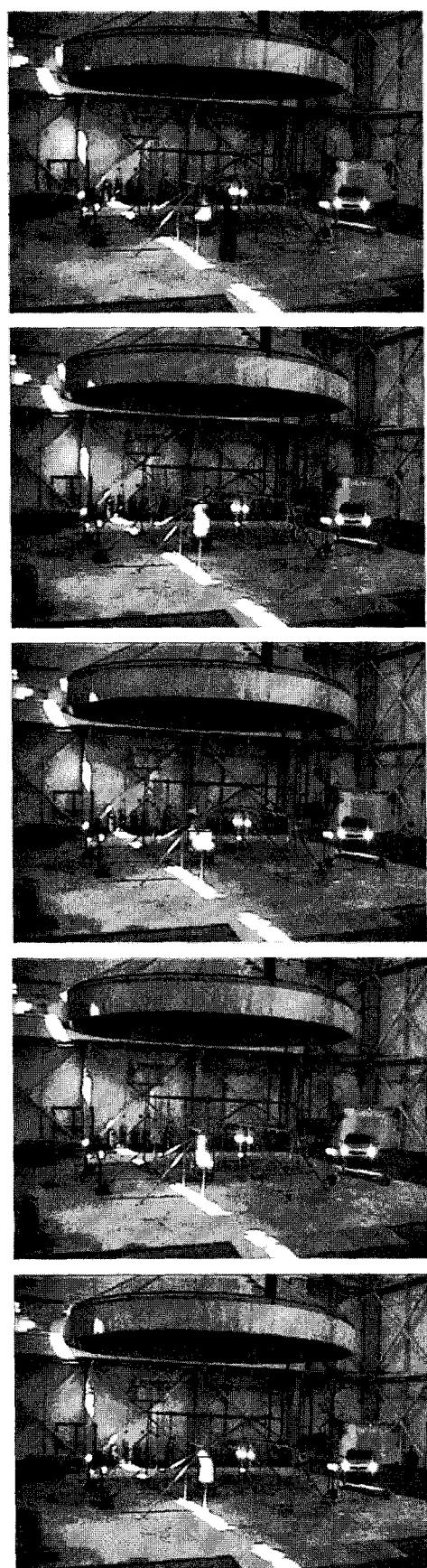


그림 21. 화염 검출 결과(모의 화재 테스트)  
Fig. 21. The results of fire detection.

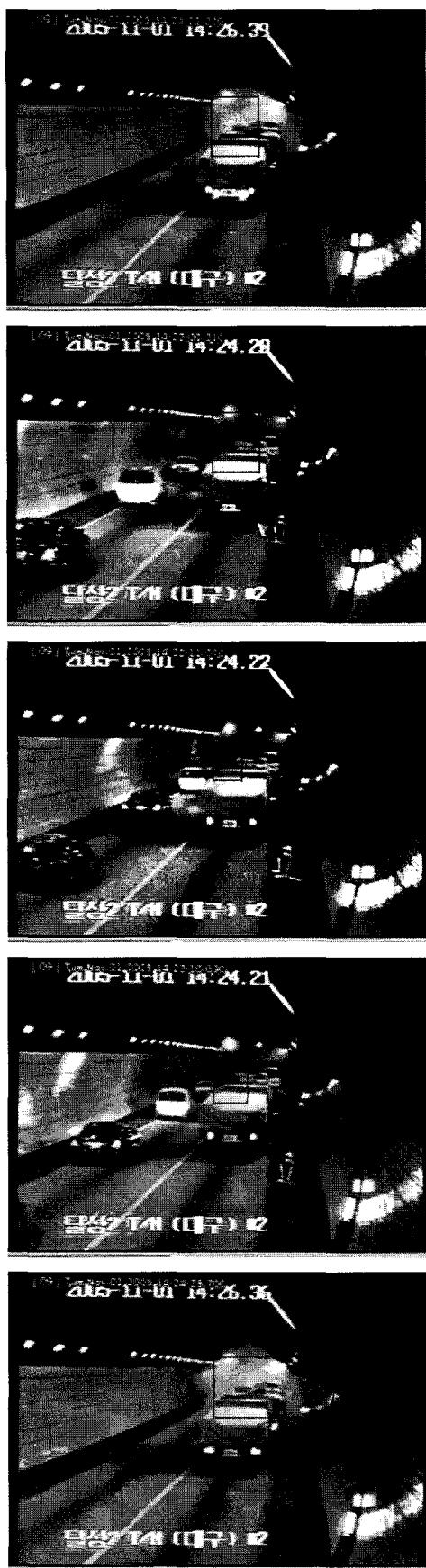


그림 22. 연기 검출 결과(CCTV)

Fig. 22. The results of smoke detection(CCTV).

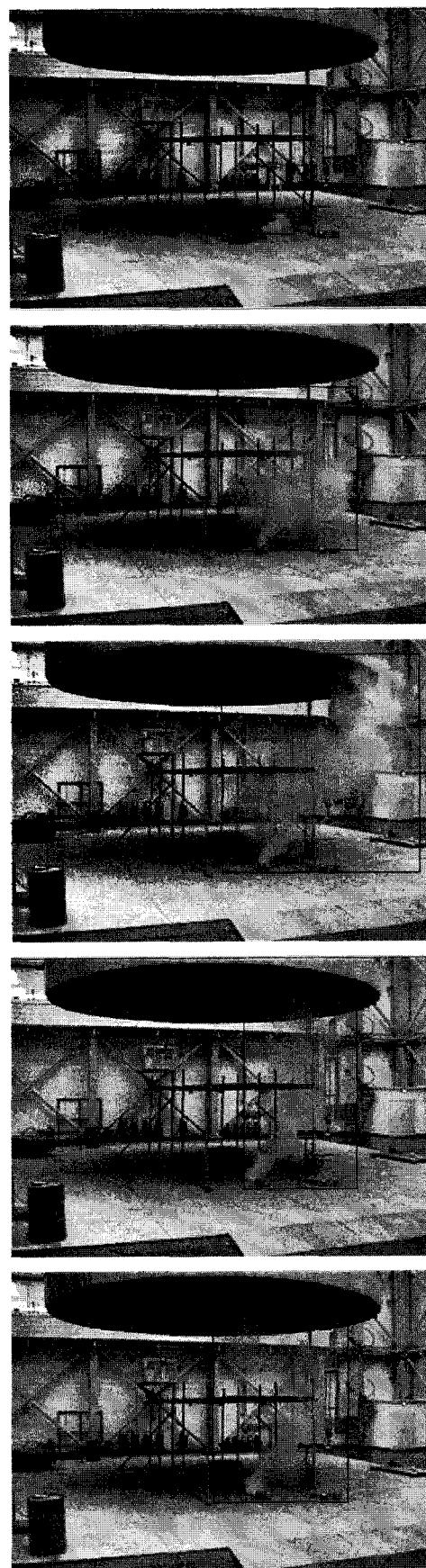


그림 23. 연기 검출 결과(모의 화재 테스트)

Fig. 23. The results of smoke detection.

표 2. 실험 영상 결과에 대한 화염 검출 성능 분석

Table 2. The analysis of fire detection performance about experimental sequence image.

	전체 프레임 수	화염 프레임 수	비화염 프레임 수	화염 검출	화염 오검출	비화염 검출	비화염 오검출	화염 검출 성능	비화염 검출 성능	전체성능
scene1	12087	10320	1767	10121	199	1767	0	98.1%	100%	98.4%
scene2	12560	9000	3560	8402	598	3559	1	93.4%	99.9%	95.2%
scene3	20200	15880	4320	15294	586	4320	0	96.3%	100%	97.0%
scene4	5003	0	5003	0	0	4887	116	-	97.7%	97.7%
scene5	18500	12540	5960	11862	678	5960	0	94.6%	100%	96.3%

표 3. 실험 영상 결과에 대한 연기 검출 성능 분석

Table 3. The analysis of smoke detection performance about experimental sequence image.

	전체 프레임 수	연기 프레임 수	비연기 프레임 수	연기 검출	연기 오검출	비연기 검출	비연기 오검출	연기 검출 성능	비연기 검출 성능	전체성능
scene1	12087	0	12087	0	0	10576	1511	-	87.5%	87.5%
scene2	12560	0	12560	0	0	11266	1294	-	89.7%	89.7%
scene3	20200	0	20200	0	0	17836	2364	-	88.3%	88.3%
scene4	5003	4087	916	3989	98	884	32	97.6%	96.6%	97.4%
scene5	18500	10208	8292	9514	694	7355	937	93.2%	88.7%	91.2%

결과이며 그림 23은 모의 화재 테스트 영상을 이용한 연기 검출 결과이다.

또한 성능 평가를 위하여 실험 영상 전체에 대하여 제안된 알고리즘을 실시간으로 수행하였으며, 결과 영상을 저장 후 확인한 결과를 표 2와 표3을 통해서 요약 정리하였다. 표 2는 화염 검출에 대한 분석 결과이며, 표 3은 연기 검출에 대한 분석 결과이다. 참고로 화염 검출 결과는 화염 부분을 화염으로 정확히 검출한 경우, 화염 오검출은 화염 부분을 검출 실패한 경우, 비화염 검출은 비화염 부분을 정확히 감지한 경우, 비화염 오검출은 비화염 부분을 화염으로 잘못 탐지한 경우를 나타낸다. 화염 검출 시 약 97%~98%의 검출 성공률을 보이며 연기 검출 시 약 88%~92%의 검출 성공률을 보인다.

#### IV. 결론 및 추후 과제

터널 내 설치된 CCTV를 사람이 24시간 내내 감시하

기에는 어려운 점이 너무 많다. 따라서 CCTV영상에 적절한 영상 처리를 이용하여 화염 및 연기 검출 시스템을 장착하여 사용할 경우, 보다 편리한 운용이 가능하다. 즉 사람이 모니터 앞에 없는 동안에 화재가 발생할 경우에도 화재를 검출하고 이를 통보함으로써 지속적인 대응과 이를 통하여 만일의 사고 시 피해를 최소화 할 수 있다.

화재 탐지를 위하여 앞서 제안된 두 알고리즘은 서로 별별로 수행되어 화염 화재와 연기 화재를 동시에 검출 할 수 있다. 화염 검출 알고리즘은 영상의 컬러 정보를 이용하여 정상상태 영상과의 비교를 통해서 후보영역을 검출하고 화염이 아닌 영역들을 제거하여 화염을 검출하였다. 연기 검출 알고리즘은 영상 내 움직임 검출을 이용하여 후보영역을 검출하고 MHI 및 불변 모멘트를 이용하여 연기가 아닌 영역들을 제거함으로써 연기 영역을 검출하였다.

CCTV 영상 및 다양한 모의 화재 테스트 영상을 이용한 실험을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 확인하였

다. 화염 검출 알고리즘의 경우 터널 내 조명이나 차량의 전조등 및 후미등 등의 요인에 기존의 알고리즘보다 민감하지 않아 보다 좋은 성능을 나타냈다. 또한 연기 검출 알고리즘에서도 기존의 알고리즘보다 좋은 성능을 나타냈다.

추후 연구 방향으로는 실제 터널 내부에서의 화재 상황에 대한 모의 실험을 통해 성능 평가 및 향상 작업이 필요하다. 또한 실시간 모니터링 기능의 제공과 동시에 경보 기능 등의 사용자 편의를 제공하는 방안을 제시하고자 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Thou-Ho. Chen, Cheng-Liang. Kao and Sju-Mo. Chang, "An intelligent real-time fire-detection method based on video processing." In Security Technology, 2003. Proceedings. IEEE 37th Annual 2003 International Carnahan Conference on 14-16 Oct. pp.104 ~ 111, 2003.
- [2] Cappellini. V, Mattii. L. and Mecocci. A, "An intelligent system for automatic fire detection in forests" In Image Processing and its Applications Third International Conference 1989, pp. 563 ~ 570, 1989.
- [3] Noda. S and Ueda. K, "Fire detection in tunnels using an image processing method" In Vehicle Navigation and Information Systems Conference Proceedings 1994, pp. 57 ~ 62, 1994.
- [4] Cigada. A, Ruggieri. D and Zappa. E, "Road and railway tunnel fire hazard: a new measurement method for risk assessment and improvement of transit safety" In Measurement Systems for Homeland Security, Contraband Detection and Personal Safety Workshop(IMS 2005) Proceedings of the 2005 IEEE International Workshop on 29-30 March pp. 89 ~ 94, 2005.
- [5] Koga. K, Inobe. T., Namai. T and Kaneko. Y, "Integrated traffic flow monitoring system in a large-scale tunnel" In Intelligent Transportation System ITSC 97. IEEE Conference 1997, pp. 165 ~ 170, 1997.
- [6] T. Ono, H. Ishii., K. Kawamura, H. Miura, E. Momma, T. Fujisawa and J. Hozumi, "Application of neural network to analyses of CCD colour TV-camera image for the detection of car fires in expressway tunnels" In Fire safety journal, pp. 285-289, 2006.
- [7] Turgay. Celik, Hasan. Demirel, Huseyin. Ozkaramanli and Mustafa. Uyguroglu, "Fire detection using statistical color model in video sequences" In Journal of Visual Communication and Image Representation, Volume 18, Issue 2, ISSN:1047-3203, pp. 176-185, 2007.
- [8] Thou-Ho(Chao-Ho). Chen, Yen-Hui. Yin, Shi-Feng. Huang. and Yan-Ting. Ye, "The smoke detection for early fire-alarming system base on video processing" In International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia, pp. 427-430, 2006.
- [9] Marbach G, Loepfe. M and Bruppacher. T, "An Image processing technique for fire detection in video images" In Fire safety Journal 2006; volume 9, Number 28 ISSN 1556-8849, 41(4) pp. 285-289, 10 July 2006.
- [10] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digital Image Processing", Prentice Hall, pp.665-720, 2003.

---

### 저 자 소 개



이 병 무(정회원)  
2006년 세종대학교 컴퓨터공학과  
학사졸업.  
2008년 세종대학교 컴퓨터공학과  
석사졸업.  
2008년 ~ 현재 비티컨설턴트(주)  
<주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터,  
신호처리>



한 동 일(정회원)-교신저자  
1988년 2월 고려대학교 전자전산  
공학과 졸업(학사)  
1990년 2월 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 졸업(석사)  
1995년 2월 한국과학기술원 전기  
및 전자공학과 졸업(박사)  
1995년 2월 ~ 2003년 2월 LG전자  
디지털TV연구소 책임연구원.  
2003년 3월 ~ 현재 세종대학교 컴퓨터공학과  
부교수  
<주관심분야 : 영상 처리, 컴퓨터 비전, 디지털  
TV, 디스플레이 화질 개선, 시스템 온 칩>