[Research Paper]

화재현장의 소방대원 시야 확보를 위한 영상처리 기술 효과성 검토

신영민 · 김동환 · 김황진^{*†} · 강동구^{**} · 배영민^{**}

국립소방연구원 대응기술연구실 연구원, ^{*}국립소방연구원 대응기술연구실 공업연구관, ^{**}한국전기연구원 RSS센터 책임연구원

Examination on the Effectiveness of an Image Processing Technology for the Visibility Enhancement of Firefighters in Fire

Young Min Shin · Dong Hwan Kim · Hwang Jin Kim^{*†} · Dong Goo Kang^{**} · Young Min Bae^{**}

Researcher, Fire Technology Research Division, National Fire Research Institute,

^{*}Senior Research Officer, Fire Technology Research Division, National Fire Research Institute,

^{**}Principal Researcher, RSS Center, Korea Electrotechnology Research Institute

(Received May 12, 2021; Revised June 11, 2021; Accepted June 11, 2021)

요 약

화재 시 신속한 진압 및 원활한 구조·구급활동을 위해서는 시야 확보가 매우 중요하다. 본 연구에서는 화재현장에서 소방대원의 시야 개선을 위한 방안으로 한국전기연구원에서 보유하고 있는 다중스케일 레티넥스(Multi Scale Retinex, MSR)와 연기 농도 균일화 처리를 결합한 시각강화 영상처리 기법을 적용하였다. 짙은 연기 상황에서 영상처리 기술의 시야 개선 효과성을 검토하기 위해 밀폐된 구획실에서 연기의 발생량에 따른 시야를 단계화하고 영상처리 전·후 개선 효과를 정량적으로 비교하였다. 시야는 각 숫자판의 인식 가능한 거리에 따라 7단계로 구분하였으며, 영상처리 기술을 적용한 결과 최대 4단계까지 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 본 기술의 수요자인 소방대원을 대상으로 해당 연구결과에 대한 심층 인터뷰를 진행한 결과 3.5 m 이상 시야가 확보되어야 한다는 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In the case of fire, it is important to enhance the visibility of firefighters for emergency activities (for example, fire extinguishment, rescue, and first-aid). In the present study, an image processing technology for visibility enhancement developed by the Korea Electrotechnology Research Institute was used to improve the visibility of firefighters. Image processing technology for visibility enhancement is a technology that combines Multi-Scale Retinex and smoke concentration equalization processing. To examine the effectiveness of the image processing technology in thick smoke conditions, the visibility was classified depending on the smoke generation in an enclosed compartment. In addition, comparative before and after evaluation of image processing technology was performed quantitatively. The visibility was divided into seven levels depending on the recognizable distance of each number plate. Thus, the visibility was improved from a maximum of four levels. Additionally, an in-depth interview was conducted with field crews who are the consumers of this technology; a view of more than 3.5 m was required to use this technology in fire fields.

Keywords : Image processing technology, Visibility enhancement, Just noticeable difference (JND), Illuminance, Smoke

1. 서 론

연기는 공기 중에 부유하고 있는 0.01 μm - 10 μm 크기의 고체 또는 액체의 미립자 형태로 화재 시 연소물질로부터 발생하는 고온의 수증기와 불완전 연소로 생성되는 가

스(gas), 타르(tar), 그을음(soot), 응축된 미립자 및 부유 분진 등으로 구성되어 있다. 화재 시 연기의 유해성은 크게 시각적 유해성, 심리적 유해성, 생리적 유해성으로 구분할 수 있으며, 이에 대한 설명은 다음과 같다⁽¹⁾.
시각적 유해성, 심리적 유해성, 생리적 유해성으로 구분

[†] Corresponding Author, TEL: +82-41-559-0551, FAX: +82-41-541-1108, E-Mail: khj2652@korea.kr

© 2021 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

된다. 시각적 유해성은 연기가 광선을 흡수하는 성질을 가지고 있어 시야 확보를 방해하는 것을 의미하고 심리적 유해성은 연기에 의해 시야 확보가 어려울 경우 심리적으로 극도의 불안감 및 공포심을 유발하여 이성적인 행동 능력을 상실하게 되는 것을 의미하며 생리적 유해성은 연기에 다량으로 포함된 유독성 가스 흡입 시 호흡 장애 및 질식 현상을 유발하는 것을 의미한다⁽¹⁾. 특히, 시각적 유해성과 심리적 유해성은 시야 미확보와 밀접한 관련이 있으며, 이는 제1차의 피난뿐 아니라 현장 내 소방대원의 진압 및 구조·구급 활동, 정확한 화점 및 구조대상자 탐색 등의 현장 대응 활동에 영향을 미칠 수 있다.

화재현장에 출동하는 소방대원은 공기호흡기 면제 등을 착용하여 연기의 생리적 유해성으로부터 보호받고 있는 반면, 시야 확보의 어려움으로 인한 시각적 유해성 및 심리적 유해성을 극복하는 방안에 대한 연구는 미비한 실정이다. 화재현장에서 소방대원은 진압이나 구조·구급 활동을 할 때 짙은 연기나 정전에 의한 암흑으로 인해 시야가 확보되지 않아 현장활동을 수행하는데 많은 어려움이 있다. 실제 화재현장 내부에서 시야 확보가 어려운 소방대원들은 벽을 짚고 이동하거나 소방호스 혹은 라이트 라인(light line)에 의지한 채 활동한다. 또한, 근거리 시야 확보를 위한 연기 투시용 랜턴(lantern)을 사용하고 원거리 시야 확보를 위해 휴대용 탐조등을 사용하지만 이러한 조명 기구로도 시야를 확보하는 데 한계가 있어서 열화상 카메라를 병행하여 사용한다. 그렇지만 열화상 카메라는 건물 내 장애물에 의한 열 감지 방해와 낮은 해상도로 인해 원거리에서 인명이나 발화지점 탐색이 어렵다는 한계가 있다. 시야가 확보되지 않은 곳에서의 활동은 구조대상자뿐만 아니라 소방대원의 안전도 위협할 수 있다. 짙은 연기, 저조도 등 열악한 화재 현장에서 소방대원의 시야를 확보하는 것은 복잡한 현장에서 빠르고 정확한 판단을 내리는데 매우 중요하다⁽²⁾.

따라서 본 연구진은 화재현장에서 소방대원의 원활한 소방활동을 위한 영상 기반 시야 개선 장치를 개발하고자 한다. 본 연구는 1단계 연구로써 기존에 개발되어 여러 분야에서 활용 중인 영상처리 기술의 화재현장 적용성을 분석하고 화재실험을 통해 짙은 연기 상황에서 최소한의 시인성을 확보할 수 있는 단계를 도출하여 영상처리 장치의 정량적 시야 개선 목표를 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 영상처리 기술 정의

영상처리 기술은 영상을 픽셀(pixel) 단위로 처리하여 영상의 수많은 픽셀에 은닉된 정보를 강화하고 그 결과를 사용자에게 효과적인 영상형태로 전달하는 형태의 기술을 의미하며⁽³⁾, 최근 의료영상기술, 위성사진 처리, 천체 별들의 사진 처리, 생체응용공학 등 다양한 분야에서 응용되고 있다⁽⁴⁾.

본 연구에서는 시각강화 영상처리 기법을 적용하여 연

기·안개 제거, 저조도 시야 확보, 관심대상 강조 기능을 구현하고자 하였다. 시각강화 영상처리 기법은 한국전기연구원에서 보유하고 있는 기술로, 다중스케일 레티넥스(Multi Scale Retinex, MSR)⁽⁵⁾와 연기 농도 균일화 처리를 결합한 것이다. 다중스케일 레티넥스(MSR)란 다수의 주변 함수를 통해 조명 성분을 추정하고 이를 가중합하여 화질을 개선하는 알고리즘이며⁽⁶⁾, 연기 농도 균일화 처리는 영상 내 연기 농도를 간접적으로 예측하여 연기 농도에 적응적으로 연기에 은닉된 컬러 정보를 가시화하는 기법이다⁽³⁾. 세부적으로 연기·안개 제거의 경우, 비균일한 농도의 연기를 적응적으로 처리하여 연기를 제거하는 기술을 적용하였으며, 저조도 개선의 경우, 영역 기반 AI 디노이징(denoising) 기술을 추가적으로 적용하였고, 관심 대상 강조의 경우, 색상 공간으로 변환하여 특정 색상을 강조 처리하였다⁽³⁾. 이에 대한 각각의 적용 사례는 Figure 1과 같다.

이러한 기술을 화재·재난 현장에 적용함으로써 소방대원의 진압 및 구조·구급활동에 필요로 하는 다양한 시각 정보를 도출하여 시인성을 개선하고자 하였다.

2.2 선행연구 분석

2.2.1 영상처리 기술에 대한 연구

Cho 등⁽⁷⁾은 화재현장에서 사용할 수 있는 RGB 카메라, 열화상 카메라, 레이더(radar)를 조합하여 센서를 구성하고 상황에 따라 사용할 수 있도록 단일 카메라 센서 모드, 영상 분할을 이용한 열화상 스테레오 모드, 다중 센서 융합 모드, 레

Figure 1. Examples of image processing technology.

이더 모드 등 4가지 모드로 구현한 센서를 개발하였다.

Kim 등⁽⁸⁾은 화재와 어두운 상황에서도 연기를 투시하여 선명한 영상 화면을 획득할 수 있도록 감마보정에 의해 영상을 처리하며 디바이스(device) 프로토타입(prototype)은 헬멧에 카메라를 부착하고 눈 주위에 영상을 디스플레이(display)할 수 있는 화면이 추가로 구성된다.

국외에서는 군사 목적으로 열화상 카메라와 감시용 무인 카메라를 사용하는 것으로 조사된다. 최근에는 일본 ROHM사에서 개발한 IC를 적용하여 비디오 인코더(video encoder)에 화상 보정 기능을 추가하고 있는 것으로 조사된다⁽⁸⁾.

그러나 영상처리 기술을 적용하여 화재현장에서 소방대원이 현실적으로 사용할 수 있도록 실제 화재 실험을 통해 개발한 연구 사례 및 기술은 없는 것으로 분석된다.

2.2.2 연기에 따른 시야 단계화 연구

Oh 등⁽⁹⁾은 연기농도별 최대 가시거리에 따른 피난구 유도등의 인지성에 관한 연구를 진행하였으며 화재 시 연기로 인한 시야 제한 상황은 불투명 안대를 제작하여 구현하였다.

Kim 등⁽¹⁰⁾은 다양한 화재실험에서 광학 연기밀도 측정을 위하여 광소멸법을 이용한 저가형 장치를 개발하였다. 저가형 장치의 상대적 측정 정확도는 He-Ne 레이저(laser), 포토셀(photocell) 및 다양한 광학 부품을 이용한 고가의 표준 장치로 측정된 연기밀도의 비교를 통해 평가하였다.

Kim 등⁽¹¹⁾은 화재 시 연기 중에서의 가시도에 대한 연구를 진행하였으며, 화재 시 발생하는 연기와 피난구의 연관성에 관한 기존 연구 자료를 조사하여 피난구 연기의 상관성에 대한 이론적 분석을 진행하였다.

Lee⁽¹²⁾는 가로 40 cm, 세로 40 cm, 높이 80 cm 크기의 직육면체 연실(smoke box) 내에서 3 g의 시료 연소 시 연기 발생량에 따른 조도(illuminance)변화를 측정하여 암흑화(obscurtion) 정도를 조도의 역수로 표현하였으며, 화재 시 옥내의 암흑화 정도는 하부로 내려갈수록 약해지지만 급기 역할을 하는 개구부 주변에서는 상부보다 암흑화가 심한 변이가 일어난다는 것을 확인하였다.

국외 특허 분석 결과 라이다(lidar), 열화상, 거리연산, 융합센서, UWB 라이다, 4D 등의 기술을 이용한 농연 대응

기법은 제시되고 있는 것으로 조사된다⁽³⁾.

그러나 화재현장을 반영한 화재실험, 실제 화재 실험을 통해 연기 정도에 따른 시야를 단계화하여 제시한 연구 사례 및 기술은 없는 것으로 분석된다.

3. 연기에 의한 시야 단계화 분석 실험

3.1 실험 장치 및 시료

본 실험은 다양한 화재현장에서의 연기 발생상황을 모사하여 시야를 단계화하고 영상처리 기술의 정량적 기술 도달 목표를 제시하고자 실시하였다.

일반적으로 고체에서 생성된 연기밀도를 측정할 때에는 국제표준규격인 american society for testing materials (ASTM)의 시험방법에 따라 측정하며, 연기밀도는 특정 광학 밀도(specific optical density)로 표현된다⁽¹³⁾. 이 표준에서는 연소 반응시험 시 최대 25.4 mm 두께의 고체재료와 조립체로부터 생성된 연기의 특정 광학 밀도를 측정한다. 다만, 이 방법은 특정 시료에 의해 발생하는 연기의 밀도를 측정하는 방식이기 때문에 관찰 영역의 범위가 한정적이라는 한계점이 있다⁽¹⁴⁾. 따라서, 화재현장을 모사한 본 화재실험에서는 연기의 양을 정량화하기 위해 선행연구⁽¹²⁾에 착안하여 조도계를 사용하였다. 발광부(조명)에서 일정한 조도의 광이 주어질 때, 연기의 양이 증가할수록 수광부(조도계)에 수렴되는 빛의 세기가 감소되는 관계를 이용하여 적용하였다.

본 실험에서 사용한 화재실험 장치 개략도는 Figure 2와 같이 길이 6 m, 폭 3 m, 높이 2.5 m이며, 국립소방연구원 내에 구축하였다. 창문에 가림막을 설치하여 외부에서 유입되는 빛을 차단하고, 밀폐된 공간을 구성하기 위해 문풍지 등을 부착하여 외기를 차단하였다.

숫자판은 피난구 유도등 사이즈인 가로 15 cm, 세로 25.7 cm로 제작하였으며, 숫자는 원거리에서 식별하기 쉬운 0과 1을 제외하고 2~9를 활용하였다. Figure 2에 나타낸 바와 같이, 숫자판의 위치는 화재실험 장치의 폭 중앙인 1.5 m, 높이 중앙인 1.25 m에 일렬로 설치하였으며, 카메라를 기준으로 최소 1.5 m부터 0.5 m 간격으로 최대 5.5 m까지 일정하게 숫자판을 배치하였다.

Figure 2. Schematic diagram and photograph of combustion test equipment.

실제 화재현장의 연기를 모사하기 위하여 화원은 목재 (2.5 cm × 2.5 cm × 10 cm) 10개, 착화탄 2개, 헵탄(heptane) 50 ml로 구성하였다. 가연물이 연소할 때 화원에 의한 빛이 조도에 영향을 미치지 않고 연기만 방출할 수 있도록 별도의 연소 상자를 제작하여 연기가 균일하게 퍼질 수 있도록 실험장치 내 바닥의 중앙에 위치시켰다.

광원은 개별적인 LED 조명(3 W)을 사용하여 각 숫자판마다 동일한 조도(약 1,200 lx)가 되도록 조성하였으며, 조도계는 숫자판의 중앙인 다섯 번째 숫자판의 옆에 숫자판과 동일한 높이에 위치하도록 설치하였다.

영상은 화재현장에 적용할 경우에도 카메라에 촬영되는 영상을 확인하는 것을 고려하여 카메라를 사용하여 기록하였으며, 카메라는 국민건강보험공단 건강검진통계⁽¹⁵⁾에 따라 남·여 평균 신장인 164.38 cm에 위치하도록 설치하였다.

3.2 실험 방법

본 실험은 목재, 착화탄, 헵탄으로 구성된 화원에 점화한 후 실험 장치 내에 연기가 가득해지는 1,500 s 동안 연소를 진행하였다. 시야가 가장 잘 확보되는 조도(약 1,200 lx : 실험 장치 내에 연기가 없을 때 조명에 의한 각 숫자판의 조도값) 대비 시야가 가장 확보되지 않는 조도(약 500 lx : 연기가 가득해 숫자판 식별이 불가능한 상황에서 측정된 조도값)를 기준으로 시야 단계화를 진행하였다. 동일 조건으로 3회 반복 실험을 진행하였으며, 실험 결과는 미리 설치한 카메라, 조도계를 통해 기록하였다.

3.3 실험 결과

본 연구에서는 연기의 양을 정량화하기 위하여 조도(illuminance, lux)를 사용하였으며, 연기에 따른 숫자판의

시인성(visibility)을 판단하기 위하여 Weber contrast 기반 Just Noticeable Difference (JND)를 적용하였다. 시인성은 보통 육안으로 물체를 볼 수 있는 대기의 최대 거리를 의미하며, JND는 두 자극의 차이를 변별할 수 있는 최소한 차이를 말한다. JND를 적용하기 위한 상수로는 균일한 배경에 대해 문자의 인식 정도를 파악하는 것으로 이에 용이한 Weber contrast를 적용하였다⁽¹⁶⁾. 균일한 배경에 대해 숫자의 픽셀 위치가 고정되어 있는 경우 Weber contrast 기반 $JND(k)$ 를 계산하는 방법은 식(1)과 같다.

$$k = \frac{L_2 - L_1}{L_2} \quad (1)$$

L값은 영상에 촬영된 숫자판의 RGB값을 휘도(luminance, cd/m²)로 변환한 것이며, L_1 은 숫자판의 검정색 숫자 부분(foreground)의 평균 휘도값이고, L_2 는 하얀색 배경 부분(background)의 평균 휘도값이다. 화재실험 공간 내 연기가 가득해질수록 배경 부분(L_2)의 변화폭보다 숫자판 부분(L_1)의 변화폭이 더 커지게 되어, L_2 와 L_1 의 차이가 작아짐에 따라 0에 가깝게 수렴한다. JND를 측정한 결과, 0.1이상이면 가시적이며 0.1미만이면 비가시적이라고 판단한다⁽³⁾.

Figure 3은 1~3차 실험, 평균에 대한 조도 결과 및 1~3차 실험에 대한 각 숫자판별 JND 결과이다. 각 실험의 조도 결과(Figures 3(a)~3(c))와 JND 결과(Figures 3(d)~3(f))를 비교하여 확인한 결과, 두 결과 모두 연기의 양이 증가할수록 감소하는 것을 확인할 수 있다.

카메라로부터의 거리에 따라 JND 값이 0.1 이하로 도달하는 시간이 줄어들었다. 즉, 카메라에서 제일 근 거리에 있는 숫자판인 첫 번째 숫자판 JND 값이 0.1 이상을 가장 오

Figure 3. Illuminance data and JND data of combustion test equipment.

Table 1. Data for Each Stage of Vision According to Smoke

Level	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Illuminance (lx)	876	833	769	742	660	587	572
Time (s)	1~639	640~679	680~739	740~779	780~949	950~1249	1250~1500
Distance (m)	5.5	5	4	3.5	3	2.5	2

래 유지하였다. 0.1 이하로 도달하기 직전까지는 숫자판의 식별이 가능하다는 의미이다. 카메라로부터 거리가 멀어질수록 식별 가능한 시간(JND 값이 0.1 이하로 도달하는 시간)이 줄어드는 것을 정량적으로 확인할 수 있었다.

1차 실험 결과, 첫 번째 숫자판의 JND 값이 0.1 이하로 도달하는 시간은 1,410 s (1,200 lx → 580 lx, ▽ 620 lx), 두 번째 숫자판은 1,230 s (1,200 lx → 615 lx, ▽ 585 lx), 세 번째 숫자판은 1,050 s (1,200 lx → 688 lx, ▽ 512 lx)인 것으로 확인되었다. 카메라로부터 제일 원거리에 있는 아홉 번째 숫자판이 인식되지 않기 시작한 시간은 690 s (1,200 lx → 927 lx, ▽ 273 lx)이며, 네 번째 숫자판부터는 근소한 시차로 식별이 어려워지는 것으로 확인된다. 카메라로부터 가장 근거리인 1.5 m 거리에 있는 첫 번째 숫자판은 조도 580 lx일 때 식별이 어려워졌지만, 가장 원거리인 5.5 m 거리에 있는 아홉 번째 숫자판은 조도 927 lx일 때 식별이 어려워졌다. 이는 카메라로부터의 거리에 따라 시인성에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

2차 실험 결과, 첫 번째 숫자판과 두 번째 숫자판은 실험 종료까지 0.1 이하로 도달하지 않았으며, 이는 숫자판이 식별 가능하다는 의미이다. 세 번째 숫자판은 900 s (1,300 lx → 691 lx, ▽ 609 lx), 네 번째 숫자판은 780 s (1,300 lx → 744 lx, ▽ 556 lx) 이후 0.1 이하의 JND 값에 도달하는 것으로 확인되었다. 카메라로부터 제일 원거리에 있는 아홉 번째 숫자판이 인식되지 않기 시작한 시간은 600 s (1,300 lx → 892 lx, ▽ 408 lx)였으며, 다섯 번째 위치한 숫자판부터는 근소한 시차로 식별이 어려워지는 것으로 확인된다. 1차 실험 결과와 동일하게 카메라로부터의 거리에 따라 시인성에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

3차 실험 결과, 카메라로부터 제일 근거리에 있는 숫자판인 첫 번째 숫자판과 두 번째 숫자판의

JND 값이 0.1 이하로 도달하는 시간이 제일 길었으며, 0.1 이하로 도달한 1,020 s (1,200 lx → 551 lx, ▽ 649 lx) 직전까지는 숫자판 식별이 가능한 것으로 확인된다. 카메라로부터 거리가 멀어질수록 식별 가능한 시간이 줄어들어 세 번째 숫자판은 900 s (1,200 lx → 625 lx, ▽ 575 lx), 네 번째 숫자판은 750 s (1,200 lx → 709 lx, ▽ 491 lx) 이후 0.1 이하의 JND 값에 도달하는 것으로 확인되었다. 카메라로부터 제일 원거리에 있는 아홉 번째 숫자판이 인식되지 않기 시작한 시간은 630 s (1,200 lx → 835 lx, ▽ 365 lx)였으며, 다섯 번째 위치한 숫자판부터는 근소한 시차로 식별이 어려워지는 것으로 확인된다. 1, 2차 실험 결과와 동일

Figure 4. Level of vision according to smoke.

하게 카메라로부터의 거리에 따라 시인성에 차이가 있는 것을 확인할 수 있다.

3.4 시야 단계화

본 실험을 통해 정리된 연기에 따른 시야 단계 결과는 Figure 4와 같으며, Table 1은 각 단계별 조도, 시간, 시야 확보 가능 거리를 정리한 결과이다. 1차, 2차, 3차 실험 결과를 종합한 결과이며, JND 결과에 따라 각 숫자판이 인식되지 않는 시간을 기준으로 단계를 제시하였다.

모든 숫자판이 인식되는 단계는 V1 단계이며, 카메라로부터 제일 원거리에 있는 아홉 번째 숫자판이 인식되지 않는 단계는 V2 단계이다. 여덟 번째 숫자판과 일곱 번째 숫자판이 인식되지 않는 실험 결과를 반영하여 V3 단계로 설정하였으며, 여섯 번째 숫자판과 다섯 번째 숫자판이 인식되지 않는 실험 결과를 반영하여 V4 단계로 설정하였다. 네 번째 숫자판이 인식되지 않는 단계는 V5 단계이며, 세 번째 숫자판이 인식되지 않는 단계는 V6 단계이다. 두 번째 숫자판과 첫 번째 숫자판 또한 동시에 인식되지 않는 실험 결과를 반영하여 V7 단계로 설정하였다.

3.5 영상처리 기술 적용 결과

화재실험 영상에 영상처리 기술을 적용하여 전·후를 비교하고, Weber contrast 기반 JND 결과를 토대로 단계를 구분하였다. 그 결과, 숫자판 식별 거리가 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 영상처리 기술 적용 전·후의 단계, 조도, 거리를 비교하면 Table 2와 같으며, 영상처리 기술 적용 전보다 적용 후에 최대 4단계 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통해 도출된 평균 데이터와 제일 유사한 2차

Table 2. Data for Each Level of Vision before and after the Application of Image Processing Technology

Diagnosis	Contents							
Before applying image processing technology	Level	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
	Illuminance (lx)	876	833	769	742	660	587	572
	Distance (m)	5.5	5	4	3.5	3	2.5	2
After applying image processing technology	Level	V1	V1	V1	V1	V2	V3	V3
	Illuminance (lx)	876	876	876	876	833	769	769
	Distance (m)	5.5	5.5	5.5	5.5	5	4	4
Level up		Sameness	Level 1	Level 2	Level 3	Level 3	Level 3	Level 4
Improved distance		Sameness	0.5	1.5	2	2	1.5	2

Table 3. Comparison Results for Each Level of Vision before and after the Application of Image Processing

Before applying image processing technology		After applying image processing technology	
Level	Photograph	Level	Photograph
V1		V1
V2		V1
V3		V1
V4		V1
V5		V2
V6		V3
V7		V3

실험 영상을 중심으로 시야 단계 사진을 비교하였다. Table 3과 같이 각 단계별 영상처리 기술 적용 전·후 사진을 비교한 결과, 육안으로도 영상처리 기술 적용 전보다 적용 후에 숫자판의 시인성이 더 개선된 것을 확인할 수 있다.

시인성을 정량화하기 위하여 사용한 각 실험의 영상처리 비교 분석 결과는 Figure 5와 같다. 분석 결과를 보면 각 실험마다 숫자판이 보이는 정도에는 차이를 보였으나, 영상처리 전보다 영상처리 후 숫자판 식별 거리가 확연히 개선됨을 확인할 수 있다. 각 실험에 대한 평균 데이터를 검토한 결과, 영상처리 기술 적용 후 최소 0.5 m에서, 최대 2 m 확보 가능한 것을 확인할 수 있다.

4. 화재현장 영상⁽¹⁷⁾

4.1 화재현장 진압 영상에 대한 효과성 검토

일선 서에서 제공한 화재진압 영상에 대해 영상처리 기술 적용하여 영상처리 적용 후 사람·사물 인식 개선 여부 등을 검토하고자 실시하였다.

Figure 6(a)는 화재 진압 시 가장 중요한 구조대상자 여부, 위치 등을 파악하기 위한 사람 식별 가능성을 검토한 내용이다. 영상처리 기술 적용 결과, 시인성이 확보되어 사람 식별이 가능한 것으로 확인된다. 이는 구조대상자 여부를 신속하게 파악하고 대원 간 원활한 의사소통에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Figure 6(b)는 진입로 식별 가능성을 검토한 내용으로 영상처리 기술 적용 결과, 건물 내부로 진입하는 출입구가 식별 가능한 것으로 확인된다. 이는 화재현장에서 신속하게 진입로를 확보하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Figure 6(c)는 장애물 여부, 위치 등을 파악하기 위한 사물 식별 가능성을 검토한 내용이다. 영상처리 기술 적용 결과, 소방대원이 사용하는 휴대용 열화상 카메라 화면의 색상이 뚜렷하게 식별 가능한 것으로 확인된다. 이는 현장에서 사람을 인식하여 구조하는 데 많은 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 건물 내 진입 시 어둡고 연기에 가려진 사물을 식별하는데 탁월한 것으로 확인되므로 이는

Figure 5. JND results before and after application of image processing technology.

Figure 7. Image processing technology applied to video of forest fire.

리 기술을 적용하여 영상처리 적용 후 화점 인식, 주변 지형 지물 식별 개선 여부 등을 검토하고자 실시하였다.

Figure 7(a)는 산림 화재 관제 및 진압 시 중요한 화점 위치 식별 가능성을 검토한 내용이다. 영상처리 기술 적용 결과, 연기 내 화점이 식별 가능한 것으로 확인된다. 이는 화재 관제 시에 화점을 파악하여 신속하게 진입로를 확보하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Figure 7(b)는 주변 지형지물, 도로 위치 식별 가능성을 검토한 내용이다. 영상처리 기술 적용 결과, 주변 지형지물 및 도로 식별이 가능한 것으로 확인된다. 이는 산불 발생 주변 도로 등을 식별하여 진입로를 확보하는 등 화재 진압 전략을 수립하는데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

Figure 6. A video taken with entering the fire scene.

실내 위험 시설 위치 등을 신속하게 파악하는데도 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 산림 화재현장 영상에 대한 효과성 검토

일선 서에서 제공한 산림 화재현장 영상에 대해 영상처

Table 4. Questions used in the In-Depth Interview

Diagnosis	Contents
Preliminary investigation	Position and period of experience in charge
	Uncomfortable experience when working in the field due to the lack of visibility
Effectiveness review	Contents requiring improvement through image processing
	Target of reaching the quantitative technology required in the field
	When comparing before/after applying image processing, effect after application
Development direction	Proposed device type
	Things to consider when developing a device

5. 심층 인터뷰

5.1 심층 인터뷰 방법 및 대상자 특성

본 연구에서 적용한 영상처리 기술은 화재현장에서의 시야 개선이 목적이므로 본 기술의 수요자인 소방대원을 중심으로 심층 인터뷰를 진행하여 영상처리 기술의 실효성을 검토하고 향후 장치의 개발 방향에 대해 심층 인터뷰를 진행하였다.

심층면접법(in-depth interview)이란 소수의 대상을 선택하여 심층 인터뷰를 통해 질적인 자료를 얻는 연구방법이다. 심층면접법은 양적 연구에서 다루는 일반적인 경향을 확률의 논리로 규명하는 것이 아니고, 사소하거나 예외적인 특성까지를 포함한 실질적인 현황과악에 적합한 조사방법이라 할 수 있다¹⁸⁾. 따라서 본 연구에서는 인터뷰 대상자가 자유롭게 본인이 속한 업무의 특성을 이야기하고 질문 위주의 인터뷰를 통해 깊이 있는 답변을 이야기하고자 하였다.

자료 수집을 위해 소방공무원 4인을 대상으로 심층 인터뷰를 실시하였다. 조사대상의 기준은 현장에서 10년 이상 종사한 자로 제한하였다. 질문지는 영상처리 기술 효과성 검토 전반에 해당되는 내용을 중심으로 이루어졌다. Table 4는 영상처리 기술 효과성 검토 전반에 해당되는 내용을 중심으로 이루어졌다.

인터뷰 방법으로는 사다리 면접법(ladder interview)을 이용하였다. 이 방법은 서술적인 질문에 따라 응답자의 답변에 대해 좀 더 구체적이고 분석적인 재질문을 하여 심화된 응답자의 대답을 유도하는 방법이다¹⁹⁾.

인터뷰에 응한 4명의 소방공무원은 모두 현장대원 경력자로 구성되었다. 가칭 A대원(총 근무 연수 25년, 진압대원 경력 10년, 구조대원 경력 10년, 구급대원 경력 5년), B대원(총 근무 연수 20년, 구조대원 경력 20년), C대원(총 근무 연수 19년, 진압대원 3년, 구조대원 8년, 내근 8년), D대원(총 근무 연수 10년, 구조대원 6년, 화재조사 4년) 이상의 4명이다.

5.2 심층 인터뷰 내용

인터뷰 질문지에 구분된 사전 조사, 영상처리 기술 효과성 검토, 연구 방향에 대해 인터뷰한 답변 내용을 기술한 것은 다음과 같다.

우선, 현장에서 근무할 때 시야 미확보로 인해 불편함을

느낀 경험을 조사한 결과 화점 및 물체 식별이 어려워 골든타임(golden time)을 놓칠 우려가 있으며 심리적으로 불안함을 느끼는 것으로 확인된다.

다음으로, 영상처리 기술 효과성에 대해 검토한 내용이다. 영상처리 기술 적용을 통해 개선이 필요한 부분에 대해 조사한 결과, 안전 확보를 위해 시야가 확보되길 요구하는 것으로 확인된다. 현장 활동상황을 반영하여 영상처리 기술을 통해 최소한 확보되었으면 하는 거리를 조사한 결과, 실제 화재현장에서는 시야 확보가 거의 불가능하고 인명 검색하는 상황 등을 고려할 때 V4단계(3.5 m) 이상은 확보되어야 하는 것으로 확인된다. 화재현장 진압 영상, 산림화재 영상 등 현장에서 녹화한 영상에 영상처리 기술 적용 전·후 사진 및 영상을 제공한 후 기존 영상 대비, 영상처리 기술 적용 후 효과성에 대해 조사한 결과 영상처리 후 시야가 개선된다면 현장 지휘 및 활동하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

마지막으로, 영상처리 장치를 개발할 때 고려해야 할 부분은 사용의 편리성이다. 인터뷰 결과 조작법이 편리하고 사용법이 단순해야 한다는 의견이 많았다. 대원마다 요구하는 장치의 형태에는 견해 차이가 있었으나, 기존에 사용하는 장비에 영상처리 기술을 추가하는 것을 주로 제안하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 화재현장에서 소방대원의 시야를 개선하기 위한 방안으로 다중스케일 레티넥스(MSR)와 연기 농도 균일화 처리를 결합한 시각강화 영상처리 기법을 활용하여 짙은 연기상황에서 시야 개선 효과를 정량적으로 분석하고 현장에서 활용될 수 있는 영상처리 장치의 시야 개선 목표를 도출하였다.

1) 연기 발생에 따른 시인성을 단계화하기 위해 구획실에서 연기량에 따른 조도측정 실험을 실시하였으며, Weber contrast 기반 JND값을 기초로 시야 단계를 7단계로 구분하였다.

2) 영상처리 기술 적용 전 시야 확보 단계와 영상처리 기술 적용 후 시야 확보 단계를 비교한 결과, 영상처리 전 V7(시야 확보 거리 2 m) 단계가 V3(시야확보 거리 4 m)단계까지 상승하는 효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 각 단

계별 최소 1단계(0.5 m 개선)에서 최대 4단계(2 m 개선)까지 시야 개선이 가능한 것으로 확인되었다.

3) 실제 화재현장에서 촬영된 영상을 대상으로 영상처리 기술을 적용한 결과 연기에 의해 인지가 불가했던 사람, 사물, 출입구 등의 식별이 가능해졌으며 산림화재 시에도 연기에 의해 식별이 불가했던 잔불의 위치 및 진입로 등의 식별이 가능하였다.

4) 영상처리 기술의 정량적인 기술목표를 도출하기 위해 소방대원들과의 심층 인터뷰를 진행한 결과 화재현장에서는 시야 확보가 거의 불가능한 점을 고려할 때, 영상처리 기술 적용을 통해 V4단계(시야확보 거리 3.5 m) 이상은 확보되어야 하는 것을 알 수 있었다.

화재현장에서 시야가 확보되지 않을 경우 화점 및 물체 식별이 어렵고 활동 범위에 제약이 많아 골든타임을 놓칠 우려가 있으며, 심리적으로도 불안감이 패닉(panic)으로 이어져 소방대원 및 구조대상자까지 위협해줄 수 있다. 본 연구결과를 바탕으로 소방대원의 시야 개선을 위한 장치개발 연구를 지속 추진하여 화재현장의 대응력을 높이고자 한다.

후 기

본 연구는 소방청 소방대응력 향상을 위한 연구개발지원 사업(1761002000)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

본 연구는 2019년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 선행융합연구사업(No. CPS-19-08-KERI)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. Society of Fire Protection Engineers (SFPE), The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (2005).
2. Y. M. Shin, D. H. Kim, H. J. Kim and D. G. Kang, "Analysis on the Effect of Vision Enhancement Using Image Processing Technology in Fire", Proceedings of 2021 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, p. 102 (2021).
3. D. G. Kang and D. B. Shin, "Feasibility Study of an Enhanced Fire Vision System for Rapid Fire Intervention", NST Report CPS-19-08-KERI, Korea Electrotechnology Research Institute (2020).
4. Y. S. Ha, "Analysis of the Medical Image by Image Processing", NIMS-2011-01-0014, National Institute for Mathematical Sciences (2012).
5. D. J. Jobson, Z. U. Rahman and G. A. Woodell, "Properties and Performance of a Center/surround Retinex", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 3, pp. 451-462 (1997). <https://doi.org/10.1109/83.557356>.
6. H. S. Kang and Y. H. Ko, "Image Quality Enhancement Method using Retinex in HSV Color Space and Saturation Correction", Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 20, No. 9, pp. 1481-1490 (2017). <https://doi.org/10.9717/kmms.2017.20.9.1481>.
7. M. Y. Cho, D. I. Shin and S. W. Jun, "A Sensor Module Overcoming Thick Smoke through Investigation of Fire Characteristics", The Journal of Korea Robotics Society, Vol. 13, No. 4, pp. 237-247 (2018). <https://doi.org/10.7746/jkros.2018.13.4.237>.
8. S. J. Kim, T. S. Lim and J. W. Seok, "A Study on the Real-time Image Enhancement System for Fire Rescue Efforts", Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 17, No. 1, pp. 183-192 (2017). <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2017.17.1.183>.
9. R. S. Oh, J. H. Choi and W. H. Hong, "A Study on Cognitional Effects of Lighting Hue of Exit Sign and Maximum Visible Distance classified by Smoke Density", Proceedings of 2015 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 89-90 (2015).
10. B. J. Kim, J. H. Cho, C. H. Hwang and S. H. Park, "A Study on the Development of a Low-cost Device for Measuring the Optical Smoke Density", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 4, pp. 81-88 (2015). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.4.081>.
11. D. E. Kim, D. G. Seo, H. R. Hong and Y. J. Kwon, "A Study on Visibility in Fire Smoke", Proceedings of 2010 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 283-286 (2010).
12. C. S. Lee, "A Study of Obscuration on Height of Air Supply Indoor Fire", Master's degree, Yeungnam University (1993).
13. ASTM E 662, "Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials", American Society for Testing Materials (2019).
14. X. Zhou, F. Yu, Y. Wen, Z. Lu and G. Song, "Early Fire Detection Based on Flame Contours in Video", Information Technology Journal, Vol. 9, No. 5, pp. 899-908 (2010). <https://scialert.net/abstract/?doi=itj.2010.899.908>.
15. National Statistical Office, "Average Height Distribution by Province, Age, and Gender", National Health Insurance Service's Health Checkup Statistics (2020).
16. D. G. Pelli and P. Bex, "Measuring contrast sensitivity", Vision Research, Vol. 90, pp. 10-14 (2013). <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.04.015>.
17. Y. M. Shin, "Fighters in Fire "Need to Ensure Vision" in 119 Plus Magazine", Fire Prevention News, Vol. 17, No. 9, pp. 100-104 (2020).
18. Y. H. Kim, "Latent Class Segmentation Analysis of Clothing Shoppers", Doctoral Thesis, Hanyang University (2010).
19. J. P. Peter and J. C. Olson, "Consumer Behavior and Marketing Strategy (6th ed)", McGraw-Hill Company, New York (2002).