

항공기 화물실의 CCTV 화재감지설비

The Cargo Fire Monitoring System(CFMS) for the visualisation of fire events in aircraft cargo holds

T.Wittkopp, C. Hecker, D. Opitz

1. 서론

항공기 운항 중 가장 위험한 사고는 기내 화재이다. 항공기 조종사는 항공기 화물실의 소구획실로부터 화재경보신호를 수신하면 소화설비를 즉시 동작시킨 후에 비상착륙해야 한다. 지금까지 화재 감지는 대부분 광전식 또는 이온화식 연기감지기와 같은 한계장치에 의한 연기 감지방식이었다. 이러한 감지기들은 쉽게 트러블이 발생되어 오경보의 비율이 실제화재경보의 200배에 달한다고 보고되었다. 지난 25년 동안 항공기 화물실의 소구획실 화재경보건수에 대한 조사 결과, 오경보 건수와 오경보율이 꾸준히 증가하고 있다. 이것은 화재탐지설비를 많이 설치함에 따라 화물실의 위험등급을 D등급에서 C등급으로 변경시킨 결과이다. 화재경보 발령시 가장 가까운 공항으로 귀환하는 경우 약 \$50,000의 많은 비용이 낭비되기 때문에 높은 오경보율은 쉽게 수궁할 수 없다. 또한, 오경보로 인한 낮은 공항으로의 비상착륙, 항법운항장치의 효율성 감소, 짧은 활주로, 소화성능 감소 및 적재화물의 손실 등 여러 가지 요소들로 인하여 위험이 증가된다. 화재경보 발령시 대양 상공을 운항 중에 조종사는 물 위로 불시착수 등 부적절한 장소에 위험을 감수하고 착륙을 유도할 수 있으나, 일반적으로 화재경보를 신뢰하지 않게 된다. 게다가 자동소화설비가 오작동되어 오존층 파괴물질 중 하나로 알려진 할론1301 약제가 방출되기도 한다.

또한, 공기순환이 없는 화물실에서 일반적인 연기감지기는 소화설비에 의해 화재가 진압된 경우에도 계속해서 경보를 발하게 된다. 따라서, 조종사는 화재가 진압되었는지 또는 화재가 계속 성장하고 있는지 알 수 없다. 이러한 이유 때문에 조종사는 화물실의 소구획실 상황, 특히 화재성장과 소화설비의 효과에 대하여 믿을 수 있는 정보를 얻을 수 있어야 한다.

Clery와 Grosshandler는 일반적인 화재감지방법론들을 중심으로 항공기 화물실의 소구획실의 화재감지에 관하여 광범위한 조사를 실시하였다.

디지털 화상이 화재감지 수단으로 점점 더 많이 사용되고 있다. Goedeke et al.은 일찌기 노출화원을 감지할 수 있는 감지장치를 소개하였다. 자외선과 적외선 감지기가 화재사건 신호를 발생시키면, 화상 프로세서는 컬러 비디오카메라의 화상을 분석하여 밝은 부분의 물체를 찾아 화재사건으로 확인하게 된다. 상세 접근방법으로 Foo는 규칙기반 기계화상 접근법(Rule-based Machine Vision Approach)을 적용하였다. 연속적인 화상프레임의 화상축소분석과 막대그래프에서 유도된 통계법을 기초로 하는 일련의 발견적 지도법

(Heuristics)이 화재와 비화재를 구별하기 위한 방법으로 사용된다. Cheng 등은 새로운 비디오 화재감지장치를 제안하고, 비디오에 근거한 화재감지장치의 원칙을 더욱더 일반적인 방법으로 고찰하였다. 이들은 비디오장치로 규칙적인 촬영을 통해 창고와 같은 대규모 공간에서도 화재를 감지할 수 있다고 주장하였다. 또 다른 접근방법은 사진 설정된 온도 또는 일산화탄소 농도에서 색깔이 변화하는 화학종감응센서(Species Sensitive Sensors)와 온도를 감시하는 컬러비디오카메라를 이용한다.

디지털화상에 의한 화재감지는 인지속도가 빠르고 넓은 면적을 감시할 수 있으며, 부가적으로 경보가 발령된 경우 시각적으로 확인이 가능하다. 대부분 디지털화상 화재감지는 가시화재 또는 적외선 방사만이 감지가 가능하여 노출화원으로 감시가 제한된다. 훈소화재는 장시간 동안 감지되지 않는 상태로 남아있을 수 있고 대규모 노출화재로 급격하게 변하는 높은 위험이 있으므로 노출화원으로 감시가 제한되는 것은 바람직하지 않다. 이러한 단점을 보완하기 위해 화재감지와 비행 중 조정실 비디오감시 겸용으로 디지털화상감지(CFMS)를 기초로 하는 새로운 화재감지장치가 개발되었다. CFMS는 노출화재와 훈소화재의 신속한 감지, 기존 화재감지장치에 의한 화재경보의 확인, 항공기 화물실의 소구획실과 같은 밀폐된 공간에서 화재성장과 화재진압상황의 감시를 할 수 있다. 다른 접근 방식과 달리 불꽃 자체가 보이지 않아도 화재를 감지 할 수 있다. 이것은 특수한 조명기술과 화재인자를 분명하게 강조시킬 수 있는 디지털화상 알고리즘의 결합으로 가능하게 되었다. 이러한 화재인자에는 연기와 연기의 특성, 화재로부터 발광되고 벽에서 반사되는 가시광선 및 화염의 명멸(flickering)과 같은 주기적인 현상적 특성들이 포함된다. 새로운 비디오화재감지장치의 개념은 상세하게 기술되어 있고 장단점에 대한 논의가 이루어지고 있다. 이 장치의 효율성을 항공기 화물실의 소구획실에 대한 모의시험 결과로 평가해 보았다.

비디오화재감지장치는 화재를 감지하는 경우 소구획실을 시각적으로 계속 감시할 수 있다. 그렇지만 상대적으로 적은 양의 연기를 감지하는 것은 거의 불가능하다. 연기가 느리게 성장하거나 소구획실에 컨테이너가 적재된 경우와 같이 작은 틈새로 화재가 성장하는 경우에는 특히 불가능하다. 이것은 사람의 시각만이 느리게 변화하고 있는 화재현장에 적용되기 때문이다. 그러므로 연기 또는 화재의 시각적 감지성능을 매우 향상시키기 위해 알고리즘이 사용되었다.

2. 시험

시험은 그림 1과 같이 소구획실에서 실시하였다. 시험화재의 종류 및 전등, 카메라와 화재의 위치에 따라 표 1에서와 같이 여러 가지 형태로 시험하였다. 화물실의 소구획실은 카메라로 감시되고 비디오 영상은 컴퓨터와 테이프에 실시간으로 저장되었다.

[표 1] 3가지 시험의 종류

시험종류	EN-54에 적합한 시험화재	화재의 종류	재료	컨테이너
1	TF4	플라스틱 노출화재	폴리우레탄폼	없음
2	TF4	플라스틱 노출화재	폴리우레탄폼	있음
3	TF2	열분해 혼소화재	목재	있음

2.1 시험위치

시험은 에어버스 A340 화물실의 소구획실을 모의한 실내에서 실시하였다. 소구획실은 적재되지 않은 화물실과 2개 컨테이너가 적재되어 있고 카메라의 촬영범위는 높이 7cm의 협대역으로 한정되었다. 첫 번째 시험에서는 화물실에 화물이 적재되지 않은 경우 바닥 위에서의 화재가 카메라의 촬영범위 내에서 발생하였다. 두 번째 시험에서는 카메라가 소구획실 천정과 컨테이너 상부 사이의 공간을 주시하고 있어서 화재 감지가 더욱 복잡하게 하였다. 화재 감지가 복잡한 이유는 상승 중인 연기와 화재로 인한 빛의 반사에 의해서만 감시될 수 있기 때문이다.

2.2 시험화재

표 1은 3가지 시험화재를 정의한 것이고 2가지 시험화재는 다음과 같다.

2.2.1 목재 혼소화재

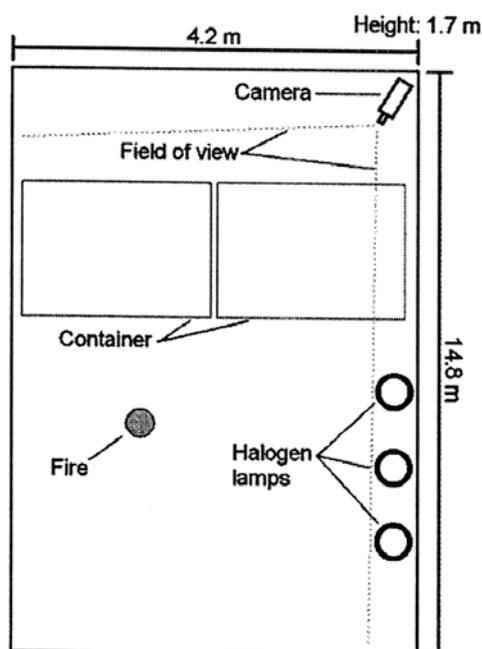
동심형 늑재를 설치한 가열판 위에 자작나무 장작(크기 3.5×1×2cm) 25개를 놓고 가열 3-5분 후 밝은 색의 연기가 발생하였다.

2.2.2 폴리우레탄폼 노출화재

폴리우레탄폼(크기 25×25×2cm)은 2점으로 겹쳐서 쌓은 상태에서 점화되어 많은 양의 검은 연기와 함께 밝은 불꽃이 발생하였다.

2.3 영상장치, 카메라와 조명

화재시험 현장은 컴퓨터와 결합된 일반적인 BAS-비디오 카메라에 의해 디지털형태로 저장된다. 할로겐 전등이 화재시험현장을 비추고 있었고 그림1과 같이 설치되었다. 전등은 화재시험현장을 어두운 부분에서 간접조명으로 비추고 있는 것이 특이할 만한 사항이다. 이러한 이유 때문에 노출화재와 조명이 없는 상태에서 볼 수 없는 연기도 영상화할 수 있었다.



[그림 1] 화재시험을 위한 모의시험장치(에어버스 A340 화물실)

2.4 영상 처리

Foo는 디지털영상을 기초로 하는 화재감지장치와 프레임의 통계적 분석을 위한 기초를 다음과 같이 제안하였다. 여러 가지 제안사항 중에서 하나의 영상에 대한 화소(pixel)의 평균값 \bar{g} 과 표준편차 σ 는 화재여부를 판단하는 파라미터이다.

평균값 \bar{g} 는 다음과 같이 정의한다.

$$\bar{g} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{n} \quad g_i: \text{화소값} \quad n: \text{하나의 화상 중 화소의 수}$$

표준편차 σ 는 다음과 같이 정의한다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2}{n-1}}$$

조명이 잘 되는 실에서 영상화소의 평균값 \bar{g} 이 크면 화재일 가능성이 높다. 어두운 배경위에 밝은 점이 있는 것을 의미하는 표준편차 σ 가 크면 화재로 판단한다.

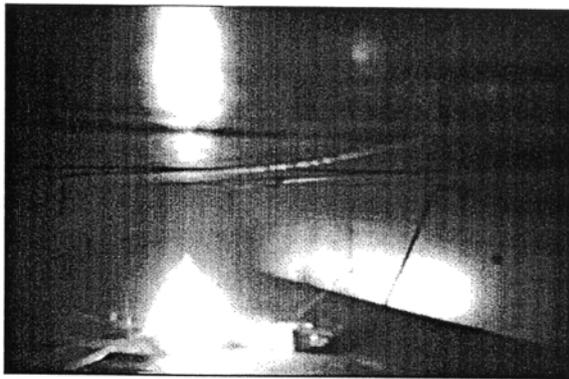
평균값 \bar{g} 와 표준편차 σ 가 모두 작으면 화재가 아닐 가능성이 높다. 따라서, 화재를 감지하기 위해서는 시종속 평균값과 표준편차를 계산하고 시간에 따른 변화값이 설정값을 초과하는 경우에는 화재경보를 발한다.

연기의 가시성능을 향상시키기 위해서 기준영상이 필요하다. 이 기준영상은 비화재시 저장되고 가시성능에 영향을 미치지 않는 영상의 시간에 따른 평균값으로 계산할 수 있다. 기준영상은 쉽게 해석할 수 있는 영상으로 편집하기 위해 실제영상과 겹쳐서 놓을 수

있다. 실제 영상은 먼저 평탄하게 하고 그 다음에 기준영상으로부터 영상을 축소시키고 연기가 발생한 부분을 밝은 지역으로 임계화한 후 산출한다.

3. 시험결과

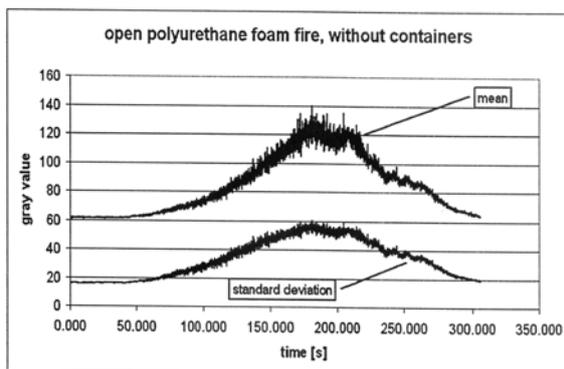
여러 가지 시험으로 시종속 평균값 \bar{g} 와 표준편차 σ 를 계산하고 그 결과는 그림4~그림 6과 같다. 시험 1의 경우(그림2, 컨테이너가 없는 상태에서 폴리우레탄폼 화재)에는 화재에 대한 평균값 \bar{g} 와 표준편차 σ 의 응답이 좋았다. 평균값은 약 2배이었고 표준편차는 3배까지 커졌다. 시험 2의 경우(그림3, 컨테이너가 있는 상태에서 폴리우레탄폼 화재)에는 응답이 훨씬 좋지 않았다. 이것은 화재나 광체에 대한 영상촬영지역의 범위가 상대적으로 좁았기 때문이다.(그림 5)



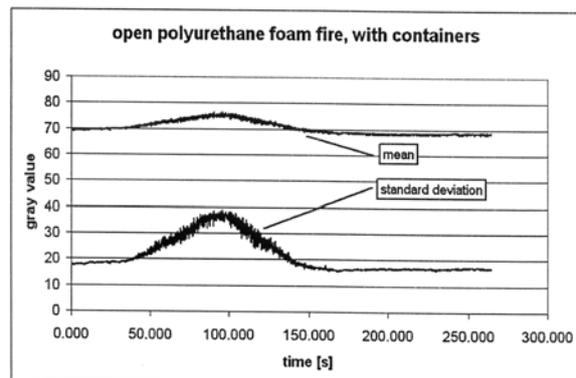
[그림 2] 화재시험 1(시험 180초 후)



[그림 3] 화재시험 2(컨테이너와 천정사이에 틈새를 촬영
a) 착화 전, b) 화재가 최성기인 시험 100초 후



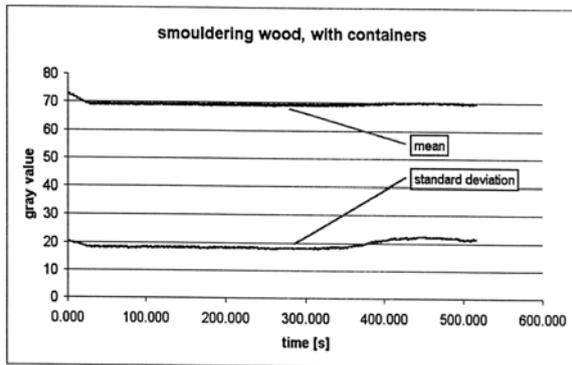
[그림 4] 컨테이너가 없고 폴리우레탄 폼
노출화재시 시종속 평균값과
표준편차(시험화재 1)



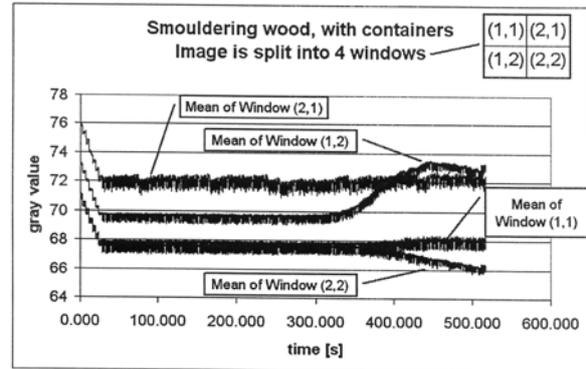
[그림 5] 컨테이너가 있고 폴리우레탄 폼
노출화재시 시종속 평균값과
표준편차(시험화재 2)

시험 3의 경우에는 표준편차가 약 20% 증가하는 동안 평균값은 거의 일정하다.(그림 6) 이것은 시험 1과 2를 비교하면 표준편차가 매우 작지만 표준편차 $\sigma(t)$ 의 통계적 파동에 관해서는 중요한 사항이다. 이러한 현상에도 불구하고 이 시험에서 연기가 비교적 적게

발생했다는 사실도 고려하여야 한다. 응답함수는 영상촬영지역의 창을 겹치는 부분이 없이 표준편차와 평균값을 각각의 창에 대해서 분리하여 계산하는 경우 개선할 수 있다. 이를 증명하기 위해 시험 3의 경우, 영상을 수평 방향으로 2개와 수직방향으로 2개, 즉 3개의 보조창으로 나누고 각각의 보조 창에 대해서 통계데이터를 계산한다. 그림 7은 4개의 창에 대하여 계산한 평균값이다.

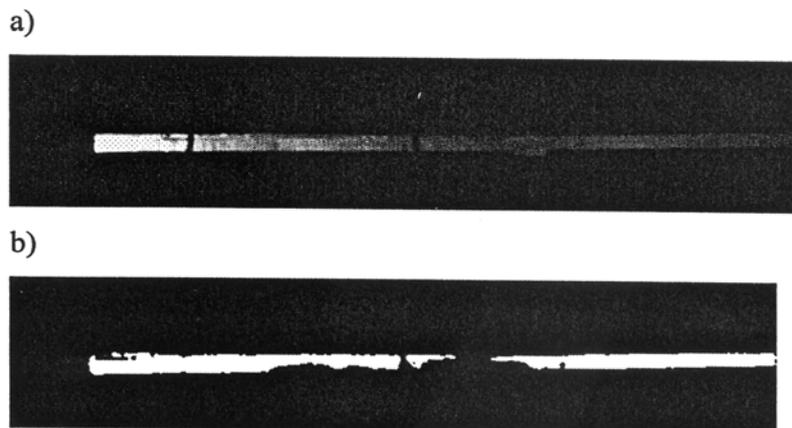


[그림 6] 컨테이너가 있고 목재 훈소화재시 시종속 평균값과 표준편차(시험화재 3)



[그림 7] 컨테이너가 있고 목재 훈소화재시 시종속 평균값(시험화재 3) 영상을 4개창(하나의 창이 각각 1을 담당)으로 분리 (윗부분 왼쪽 창 (1,1), 아랫부분 오른쪽 창(2,2))

영상 윗부분 창(창(1,1)과 창(2,1))의 평균값은 2개의 창으로 나누어진 영상촬영지역은 성장 중인 화재에 영향을 받지 않기 때문에 일정하다. 영상 아랫부분 왼쪽 창(1,2)에서의 평균값은 약 4% 올라가고, 영상 아랫부분 오른쪽 창(2,2)에서의 평균값은 약 3% 내려간다. 이것은 평균값 $\bar{g}(t)$ 의 편차범위와 비교하면 중요하다. 평균값 증가는 영상의 왼쪽에 위치한 할로겐램프이 연기의 조명도에 영향을 미치기 때문이다. 영상 아랫부분 오른쪽 창에서 평균값 감소는 왼쪽부터 오른쪽으로 빛의 감쇠로 설명할 수 있다.



[그림 8] 컨테이너와 천정 사이 틈새를 통해 촬영한 화재시험 3 (목재 훈소화재 시험 후 400초)
a) 최초 영상, b) 연기를 밝은 흰색으로 처리한 영상

그림 8은 가시성능을 향상시키기 위해 연기를 강조한 경우 처리된 영상과 최초 영상을 비교한 것이다. 이러한 예로부터 연기를 강조하면 화재경보가 실제 경보인가 또는 오경보인가를 예측할 수 있고, 대규모 노출화재 또는 훈소화재시 실제 경보를 할 수 있는 화재상황의 관찰능력을 향상시킬 수 있다.

4. 요약

CFMS 개념은 컴퓨터기반 영상시스템으로 화재를 감지할 수 있다는 것이다. 화원이 컨테이너 뒤에 위치하고 소량의 연기만이 발생하는 경우와 같이 화원이 노출되지 않을 경우에도 훈소화재와 노출화재의 화원을 감지할 수 있다. 첫 번째 시험에서 CFMS시스템은 가시적으로 소구획실을 감지할 수 있고 믿을 수 있는 화재감지방식이 될 수 있다. 이와 더불어 화재경보를 확인하거나 비화재시 감시 장치로 이용할 수도 있다. 시험결과 갈무리된 시퀀스로부터 연기와 같은 화재징후를 감지하는 것은 실패하기 쉬운 것으로 밝혀졌다. 이러한 새로운 화재감지개념은 화물실 소구획실의 화재 감지 및 감시의 발전으로 이어지고 이에 관한 더 많은 연구를 이끌어낼 것이다.

출처 : 12th International Conference on Automatic Fire Detection (2001. 3. 25~28)

번역 : 총무부 팀장 이상현