

첨단 항공기 화재 진압 기술

: 차세대 화재 진압 기술 프로그램 연구 결과

Advanced Fire Suppression Technology for Aircraft

미국국립표준기술연구소

Richard G. Gann

□ 도입

1974년 과학자들은 특정 할로젠화합물(chlorofluorocarbons, CFCs)이 지구의 삶을 크게 바꾸어 놓을 수 있을 것이라는 사실을 발견하였다.¹⁾ 이 화합물은 자외선에 의해 광해리되는 성층권에 도달하게 된다.

염소 원자는 태양의 자외선을 흡수하며, 지구상의 동식물 군을 지나친 자외선으로부터 보호해주는 오존을 그러한 보호 작용을 하지 않는 일반 산소로의 전환을 촉진시킨다.

전 세계 국가들은 환경을 보호하기 위한 협약²⁾을 체결했는데 그 과정에서 일부 브롬 화합물들은 CFCs보다 잠재적으로 더 위험하다는 것을 인식했고, 그 중 할론 소화약제가 거명되었다. 할론 소화약제의 생산은 1990년 미국 대기 정화법의 수정과 함께 대폭 감소했다. 1994년 1월 1일 당시 광범위하게 사용되는 소화약제인 할론 1301은 개발도상국과 경제 전환기를 맞이하고 있는 국가들을 제외하고 생산이 중단되었다.

미국 국방부는 여러 중요 시설에 있어서 할론1301 설비에 과도하게 의존했었다. 그 중 하나가 전투 중 화재에 취약하고 민간 항공기와 마찬가지로 일상 작전에서 기내 화재 진압이 필요했던 항공기를 예로 들 수 있다. 초기 연구에 따르면, HFC-125는 이러한 용도로 사용되는 상업적으로 사용이 가능한 최적의 대체 소화약제였다. 그러나 할론 소화약제보다 3배 정도 되는 무게와 저장 부피가 가장 큰 단점이다. 그리하여 효율적이고 효과적인 대체 기술에 대한 심도 있는 연구가 요구되었다.

1997년, 항공기에서 할론1301 설비에 의해 현재의 운영 요구사항을 충족시키는 경제적이고 환경친화적이며 사용이 간편한 프로세스, 기술이자 약제를 위한 기술 개발 및 논증을 도출하기 위한 목적으로 미 국방부 “차세대 화재 진압 기술 프로그램(이하 NGP)”이

¹⁾ Molina, M.J., and Rowland, F.S., "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes : Chlorine Atom Catalyzed Destruction of Ozone", Nature 249, 810-812, 1974.

²⁾ “오존층을 파괴시키는 물질에 대한 몬트리올 의정서, Adjusted and/or Amended in London 1990, Copenhagen 1992, Vienna 1995, Montreal 1997”, United Nations Environment Programme, <http://hq.unep.org/ozone/Montreal-Protocol/Montreal-Protocol2000.html>.

시작되었다. 지난 10년 동안의 연구 결과, NGP는 화재진압 과학 분야를 활성화시켰다. NGP의 최종 보고서는 어떻게 NGP가 만들어졌는지, 어떤 연구가 수행되었는지, 어떻게 이 분야에서 사고를 근대화 시켰는지, 그리고 항공기 내의 화재 진압에 관한 기술 연구결과를 포함하고 있다. 보고서의 사본은 www.bfrl.nist.gov/866/NGP에서 확인할 수 있으며, 항공기 엔진실과 격실 내 화재시의 위급한 상황에 맞추었으며 다양한 연구 결과는 (하단에 요약) 광범위한 화재 시나리오에 적용될 수 있다.

□ 항공기 화재의 특성

항공기 엔진 너셀(engine nacelle, 엔진의 외부를 둘러싸고 있는 커버와 정형부분) 화재는 전투 중이나 비 전투중인 상황에서 항공기의 손실을 가져왔다. 엔진 너셀의 원형에 가까운 모양의 내부는 안쪽으로는 엔진 중심부와 바깥쪽으로는 공기 역학적 형상의 외피로 둘러싸여 있다. 이 공간에는 엔진을 식히고 인화성 연료와 공기의 혼합을 줄이기 위해서 일반적으로 0.1초 동안 공기가 흐른다. 이곳은 유체의 유선(연료, 오일 및 유압/브레이크 액)과 원형의 공간 내 다른 하드웨어 때문에 표면이 불규칙적이고 공기의 흐름이 매우 불안정하다. 엔진 너셀의 외부 표면은 일반적으로 대기 온도로 영하 40℃까지 내려갈 수 있으며, 원형의 내부는 엔진덮개로 인하여 조금 더 높은 온도가 유지된다.

엔진 너셀 내부에서는 여러 곳에서 화재가 발생할 수 있다. 일반적인 화재 시나리오는 유체의 유선에서 일부 누설된 인화성 액체가 가열된 기계 부품과 접촉하면, 이것이 화재(pool fire)로 이어지는 것이다. 인화성 액체는 연소중인 상태로 엔진 너셀의 하단 움푹 패인부분에 고일 수도 있으며, 전투 중에는 원형의 물체(총탄)가 들어와 라인을 파열시키고 누유를 야기할 수 있는 추가적인 위험이 있다. 화재가 감지되어 엔진이 정지하면 소화약제가 보관 용기에서 엔진실로 방출되어 화재가 진압될 때까지 충분한 농도로 약제가 유지되어야 하며, 엔진실 배기관으로 화학 물질을 방출하기 전에 이루어져야 한다. 항공기에서는 물질의 저장량과 부피가 제한되기 때문에 약제량과 장비는 최소한을 유지해야 한다.

두 번째로 항공기 화재가 빈번히 일어나는 곳은 비행기 동체와 날개측 격실이다. 대부분의 일반적인 화재는 설비 또는 엔진이나 점화 장치의 고장으로 발생한다. 이와 대조적으로 전투 시 격실 화재는 통상적으로 격실의 벽과 근접한 연료 저장 구획실을 관통하는 탄도에 의해 발생한다. 격실의 내부는 모양이 불규칙적이고 매우 복잡하며, 격실 내 공기 흐름의 특성과 규모는 외벽의 위치와 개방 정도에 달려있다. 점화 시에 전해지는 압력은 격실 벽을 파괴시킬 수 있고, 격실 벽이 파괴되면 방출되는 연료와 함께 공기와 혼합되어 폭발을 일으킬 수 있다. 따라서 격실 화재는 일반적으로 압력이 항공기의 생존을 위협하는 수준에 도달하기 전에 신속하게 진화되어야 한다.

□ NGP 연구 결과

화염 소화 과정에 대하여 새로 발견된 사실

- 요구되는 약제 체류 시간. 외부 화염의 경우 화염 진화 기준에 있어 소화약제의 농도는 화학에너지가 화염의 화학적 성질을 억제하기에 충분한 최소 농도 이상이다.

내부 화염의 경우 소화약제가 장애물을 넘어 재순환구역(recirculation zone)까지 도달하기 위해서는 어느 정도의 시간이 요구된다. 이러한 시간은 자유류(free stream, 가장 빠른 속도로 흐르는 부분) 내 약제의 농도와 약제가 자유류에 주입되는 시간의 차에 달려있다. 장애물 높이를 유속으로 나눈 값으로 결정되는 특성 혼합시간동안 약제를 주입함으로써 소화에 필요한 약제량을 최소화할 수 있다. 화염을 억제하는데 요구되는 약제의 최소량은 컵 버너 테스트(Cup burner test)에서 정해진 수치와 유사하다.

- 소화약제의 상당 부분이 휘발성 에어로졸의 형태인 경우에 이것이 화염소화 과정에 참여할 것인지를 결정하는데 있어 고려해야할 것은 추가적인 잔류 시간과 물방울의 크기이다. 물방울이 너무 크면 재순환 구역에서 비말동반(飛沫同伴)되어질 수 없게 될 것이다. 더 작은 물방울들은 비말동반될 수 있지만 완전히 증발하려면 재순환 구역 내에서 시간이 더 필요하게 된다.

* 비말동반(飛沫同伴) : 물방울 등이 날아 흩어지거나 튀어오르는 현상이 일어나는 것

소화 메커니즘

- 화염에 있어서 부가물의 영향에 관한 NGP 이전(그리고 일부 NGP)의 대부분의 연구는 화염 억제의 문제를 다루었다. 일반적으로 부가물의 농도는 화염 소화점까지 증가하지 않았고, 부가적인 반응들이 실제 화염 소화에 공헌하는 것으로 알려졌다.
- 화염 확산은 증발된 연료 분자와 함께 주요 원소(H와 O원자, OH기)들의 빠른 반응으로부터 야기된다. 이 원소들은 화염 온도 열평형 상태로부터 예상된 것보다 훨씬 더 높은 농도에서 존재한다. 화학적으로 활성제는 평형상태로 농도를 감소시키는 촉매 물질을 발생시키기 위해 화염에서 분해된다.

이러한 촉매 과정은 화염을 억제하지만 반드시 진압하는 것은 아니다. 화학적, 물리적 활성화된 소화약제는 화염의 온도를 감소시키고 연료 및 공기 혼합물의 열용량을 증가시키며, 기 반응물의 농도 감소와 함께 연소를 지속시키는데 필요한 수준에 못미치도록 화염 반응율을 감소시킨다.

- 화염에 브롬, 요오드 및 염소기가 포함된 화합물을 첨가하면 H원자와 OH기 원소가 감소하게 된다. 이러한 화합물 군은 연료에 첨가될 때보다 공기에 첨가될 때 화염을 억제하는데 더욱 효과적이다. 이러한 화합물의 효과는 비 촉매 부분에 민감하지 않다. 그러나 일부 포함된 산소는 연료로서 작용 하여 명백한 소화약제 효과에 영향을 끼친다. 화염을 억제하는데 있어서 이러한 원자의 상대적 효율성은 $Cl < Br=1$ 이다. 이것은 $HCl + H = H_2 + Cl$ 반응의 역 반응속도에 있어 낮은 비율을 반영하여 Cl

의 효율성이 낮아진다.

- 인 원자를 포함하는 화합물은 분자 기준으로 적어도 할론 1301보다 효과적이다. 그 효과는 화염 지역에서 충분한 체류 시간과 함께 인이 완전히 증발하면서 일부 인이 없는 구조에 있어 독립적이다. 활성화된 인을 포함한 원소들의 농도는 화염이 진화 되도록 계산된 수준 아래에서 정제되어 열 효과도 화염 진화에 공헌한다는 것을 드러냈다.
- Cr, Pb, Fe, Mn와 같은 금속을 함유한 화합물은 화염 억제에 높은 잠재력을 가지며, Ni, W, Mo는 중간 정도의 잠재력을 가지고 있다. 그러나 대부분 비활성 분자를 형성하는 활성 원소의 응축이 관찰되어졌다. 페로센(ferrocene)에서 보여지듯 이러한 응축 현상이 실제 화재에서 발생한다면 금속 화합물들은 측정된 높은 화염억제효과에 부합한 화재억제능력을 보여줄 것 같지 않으며, 응축으로 인한 잠재적 효과의 상실을 예측하는 것은 현재로서는 어려운 일이다.
- 촉매로 인한 효과적인 화염억제를 위해서 활성 원소들이 화염의 적당한 부분에 존재해야 한다. 활성 원소들은 보통 약제 1개 이상의 분해 생성물들이다. 따라서 약제는 화염 근처에서 분해되어 (높은 반응 또는 충분히 낮은 활성화 에너지 때문에) 촉매 주기에 있어서 적합한 매개체가 라디칼 풀(pool)이 고갈되는 충분한 시간동안 존재할 수 있도록 해야 한다. 최고 연쇄분기붕괴 반응이 일어나는 곳에서 밀도가 높으면 활성 물질이 가장 효과적이다.
- 직접적인 화학반응 또는 촉매반응이 없는 화염 진화는 이러한 반응이 지속되기 위한 충분히 높은 온도에서 화염 발생 엔탈피가 연료/공기 "bath"를 유지하기가 더욱 어렵다. 엔탈피에 대한 싱크는 대기의 온도로부터 화염 온도로 억제제를 올리는데 요구되는 열이다. 가스계 소화약제의 경우 이러한 높은 열용량은 전자 진동 방식의 여러 가지 화학 결합과 1개 이상의 약한 화학 결합의 분해에서 비롯된다. 에어로졸로서 화염 지역에 도달하는 소화약제의 경우, 추가 흡열성 물질은 액상의 열용량과 증발열로부터 나온다. 일정 에어로졸 덩어리의 경우 물방울 크기가 축소되면서 화염 진화 효율이 증가된다.
- 무게 제한이 허용되면 높은 열용량을 가진 화학물질과의 결합에 의해 소화약제의 효과는 강화될 수 있다.

□ 화재에 있어서 소화약제의 전달

소화약제가 화재에 가장 잘 전달되는 방식을 포함하여 주어진 소화약제를 위한 최고의 소화설비 실행을 위한 기술이다.

- 저장 용기로부터 분사. 저장 용기의 소화약제 방출율은 용기 내부의 압력에 달려있다. 이러한 압력은 약제의 증기압력(특히 용기 온도에 기인하는), 용기 내 압축가스의

압력 및 약제 내 압축가스의 용해성의 변수이다.

컴퓨터 코드인 PROFISSY는 사용된 소화약제를 압력, 용기부피, 충전 온도와 용기 내 질소를 가압해야하는지, 용기의 압력을 채워야 하는지 10%내로 예측 가능하다.

- 분기 배관을 통한 약제의 흐름. 저장용기를 개방하자마자 약제는 과열된 액체 및 증기의 2상계 혼합물 분기배관에 유인되며, 그 혼합물에는 열역학 및 열적 비평형이 존재한다. 게다가 배관의 큰 압력 강하로 인해 약제가 배관을 통해 이동하면서 끊임없는 순간증발(Flashng)이 예상되고 2상의 한계류(critical flow)가 다양한 위치에서 발생할 수 있으며, 엔진실 또는 격실 내 약제의 방출속도를 심각하게 감소시킨다. FSP 컴퓨터 코드는 임의로 설계한 배관의 흐름으로부터 압력 내력 및 방출 흐름을 예측한다. 계산된 압력 변화는 실험 곡선과 유사하다. 예상된 방출 시간은 범위 15% 내로 정확하다. 따라서 이 코드는 소화약제 전달 시스템의 분석 또는 설계를 위한 중요한 도구가 된다.

□ 효과적인 약제의 방출

- 용기에 저장된 다량의 소화약제를 사용하기 위해서 화학 물질은 소량의 약제를 만족시키는 조건에서 대기 온도 아래의 비점에서 방출하자마자 순간증발(Flashng)이 쉽게 발생해야 한다.
- 공기 흐름에서 소화약제의 질량분율은 화염 소화의 성공에 있어 주요한 결정인자이다. 따라서 소화약제 분사속도는 사용되는 약제의 전체 양보다 더 중요하다.
- 소화약제의 소화농도를 전달하기 위해서는 일반 온도 아래의 비등점을 가진 화학물질과 비교하여 엔진 실 온도보다 더 높은 비등점을 가진 소화약제가 방출되어야 한다. 따라서 공간의 온도 테스트 데이터에 기초한 화재 소화 시스템의 설계는 낮은 온도에서 반응할 때 적절하게 화재를 진압하지 못한다.
- 하류부(downstream)에서 물방울의 흐름은 방울의 크기에 달려있다. 30~50 μ m이상의 큰 방울들은 클러터(clutter, 반사장애) 표면에 충돌한다. 더 작은 물방울들이 가스 흐름에 혼입되어 클러터 주위에서 움직이다가 장애물 뒤의 재순환구역으로 들어간다. 비등점이 더 낮은 물방울은 더욱 쉽게 증발하여 물방울의 크기가 줄어들거나 완전히 증발한다.
- 엔진실내 소화약제의 신속한 측면 분사는 일반적으로 할론 1301에 충분한 단일 분사 포트와는 반대로 다수의 분사 포트에 의해 강화된다. 적합한 위치에 있는 3개의 포트가 소화설비 설계의 기점이 되는 것이다.
- 재순환구역에서 결정되는 소화 농도는 약제의 흐름 농도와, 화염을 안정화시키는 클러터(clutter, 장애물)의 특성, 클러터를 통과한 후 약제의 혼합 시간의 함수로서 결정된다. 약제가 하나의 클러터를 통과하여 화염이 안정화되는 재순환구역으로 주입되어

혼합되는 시간은 클러터의 크기를 클러터를 통과하는 약제의 속도로 나눈 값에 비례한다. 여러 개의 클러터가 존재하는 경우 클러터간의 상호 작용은 약제가 재순환구역으로 주입되어 혼합되는 시간을 늘리거나 줄일 수 있다. 약제 주입구로부터 동일한 거리에 설치된 클러터가 하나 더 존재하면 화염이 안정화되는 구역으로 전달되는 약제의 혼합 비율을 감소시킬 수 있다. 화염이 안정화되는 구역으로 주입된 이후에 설치된 클러터는 약제의 혼합율을 증가시킨다. 이 클러터는 약제 흐름을 재순환구역으로 밀어낸다. 이러한 작용은 인접한 클러터의 항력(물체가 운동할 때 반대방향으로 생기는 힘)작용과 관련이 있다. 항력계수가 클수록 약제 혼합과정에 더 큰 영향을 미친다.

- 화재 근처의 재순환구역 내 소화약제의 농도는 화재 없이 동일한 엔진실 운영 조건 하에서 이루어지는 농도측정으로부터 추정할 수 있다.
- 3개의 화재 시뮬레이션 프로그램(VULCAN, FDS, PPM)은 실제로 항공기 내의 모든 공간에서 화재 진압 시스템을 설계하도록 도와주고, 항공기의 화재 진압 시스템에서 요구되어지는 적절한 시험설계의 지침이 된다. NGP 실물크기의 엔진실 실험에서 예측된 결과의 거의 모든 윤곽이 드러났다.
- 할론1301 설비만큼 무게에 있어 효율적으로 향상된 분말 패널은 항공기 격실의 초기 폭발을 완전히 진화할 수 있다. 기존의 설계와 비교하여 이러한 새로운 패널 설계는 격실에 더 강한 분말을 뿌리고 더 오랫동안 발화를 방지하는 분말을 유지하며 설계의 유연성을 증가시킨다. 이러한 새로운 패널의 효과는 실제 화재 시험에서 증명되었다. 이러한 향상은 Al_2O_3 를 사용하여 증명되는 한편 추가적인 향상은 더욱 가벼운, 화학적으로 활성화된 파우더로 얻어질 수 있다. 지상 전투차량에서 이러한 기술이 화재 진압에 확대 적용된다.
- 차세대 고체추진제 화재 소화기는 엔진실과 격실 둘 다 효과적인 화재 진압을 제공한다. 열손실의 잠재성을 줄이기 위한 유출온도 30%감소는 새로운 고 질소 추진제 BTATZ의 통합 및 추진제 포물레이션에 냉각제의 도입에 의해 얻어졌다. K_2CO_3 와 다른 불활성 추진제의 결합은 화재진압에 필요한 양을 1/3로 줄였다. 결합형 소화기(HFEs)는 화학적으로 소화약제가 추진된 유출제와 부가되어 화재 진압 효율성에 더 큰 이익을 가져다 줄 것으로 기대된다. 견본장치는 연구결과를 최적화함으로써 상당한 중량을 감소시킬 수 있는 시스템을 보여주었다.

□ 대체 화재 진압 기술의 평가

NGP는 할론 1301의 대체 소화약제를 찾기 위해 수천 개의 화학물질들을 평가해야 할 필요성이 있다고 판단했다. 따라서 더 심도있는 시험으로 비교적 많은 가치있는 약제를 확인하기 위해 빠르고 저렴한 검토 방법이 개발되었다. 심사의 기준은 표시된 수치의 문헌 찾기, 유사 화합물을 기반으로 하는 수치 평가, 기술적으로 심도 있는 심사평가의 하

나인 수행평가 등 세 단계 과정으로 이루어졌다.

가장 중요하게 결정된 검토테스트는 화재억제효과(HFC보다 우수한 체적비 5% 이하의 농도), 휘발성(20 ℃이하의 비점), 대기 잔류기간(한 달 이하) 및 독성(화염을 소화하는데 필요한 것보다 낮은 농도에서 인체에 중대한 영향을 나타내는 데이터가 없음)의 유무이다.

일정 크기의 화재(한 잔 분량의 화재 : 컵버너) 소화 농도는 엔진실 화재의 화염 재순환 지역 내 요구되는 중요한 화재진압농도의 척도가 된다. 다른 적합한 화합물에서 지닌 문헌정보에 의존하는 것을 떠나서 어떠한 유효한 심사에서도 심장 독성에 대해 발견되지 않았다.

□ 실행 가능한 새로운 소화약제의 잠재성

NGP는 수천 개의 화합물을 검토하여 어떤 화합물이 적합한지를 파악했다.

- 어떠한 무기 화합물도 발견되지 않았다.
- 모든 검토 기준을 충족시키는 할로젠 또는 인 원자를 포함하지 않은 유기화합물도 없었다.
 - 적어도 할론 1301에 비견할만한 화재 진압의 효율성을 가진 것은 유기인산계 화합물이었다. 그러나 광범위한 불소화반응으로도 휘발성이 매우 낮았고, 일부는 공기 중에 반응했다.
 - 거의 모든 브롬 화합물이 할론 1301에 비견될만한 컵 버너 화염 진압 수치를 보여주었다. 다수의 H 원자의 존재는 이러한 효율성을 상쇄하는 경향이 있었다. H 원자의 F 원자와의 교체, 그리고 플루오르알킬 그룹은 광범위한 유기 화학군의 연소성과 비등점을 줄였다.
 - 오존층 파괴를 줄이기 위해 Br, I 또는 Cl를 포함하는 화합물들은 대류권에서 빠르게 부식하는 또 하나의 특성을 가지고 있어야 한다. CF_2BrCN 와 같이 휘발성이 가장 큰 화합물은 3℃ 비점을 가지며, 부피 4% 아래에서 컵버너 화염척도를 충족시켰다. 이 화합물은 낮은 온도 요구사항이 만족되면 유망할 것이다. 그러나 다수의 높은 독성유무가 검사되어야 하며 대기 잔류시간에 대한 평가가 확인되어야 한다.
 - $N(CF_3)_3$ 는 -10℃의 비점을 기록했고 HFC-125보다 우수한 화재 억제 효율성을 가지고 있다. 그러나 이 화합물은 불소 첨가물로 대기 중에서 잠재 오존 파괴자인 질소 산화물이 될 수 있으므로 환경 친화성에 대한 관심이 요구된다. 더 많은 실험과 함께 화합물의 합성을 시도하였으나 성공적이지 못했다.

□ 추가적인 연구 결과

화재 시험 동안의 측정. 기존 실제 규모의 시험으로 화재 진압 효과(소화 시간 및 소화에 사용된 약제농도)를 측정할 수 있는 기계장치는 거의 없다. 화재 진압과정에 대해 더 연구하고, 향상된 측정 시험 방법을 찾기 위해서 NGP는 소화약제의 농도, 연료 증기, 산소, 화재 진압시 플루오르화 약제에 의해 생성된 독성 물질인 HF를 현장에서 실시간 감시할 수 있는 측정기술을 개발했다.

화재에 있어 공조설비의 제어. 엔진실 내부에 사용된 팽창 물질의 고리모양의 밴드는 엔진실로부터 공기의 흐름을 대폭 감소시킬 수 있다. 실내의 하단 끝에 사용될 경우 상부 화재의 열은 소화약제의 화학 팽창을 활성화할 것이다. 이것은 화염 지역에서 소화약제의 체류시간을 증가시키고, 화염 반응 속도를 감소시켜 화염이 그 부분의 산소농도를 고갈시킴으로 화염을 억제하는 효과를 나타내어 이 때 필요한 소화약제를 감소시키는 결과를 얻게 될 것이다.

Life-cycle 비용 평가. NGP는 Life-cycle 비용 모델을 군용항공기 내 엔진실과 격실을 위한 방재시스템 수행의 비용 절감에 맞추게 하였고, 현존하는 항공기를 개조하거나, 비오존파괴(non-ozone depleting) 화재 진압을 기반으로 하는 새로운 시스템으로 차세대 항공기를 형성하는데 전체 비용을 예측하는 방법론을 개발하였다. 이 수치는 수송트럭, 전투기, 헬리콥터를 대상으로 계산되어졌다. 현재 설치된 기본 소화약제는 할론 1301이고, 모델이 된 대체 소화약제는 HFC-125이었다. 그 결과 화재진압 시스템 수행을 최적화하는데 있어 추가적인 투자는 성과를 거둘 수 있다고 평가되었다.

독립된 제품으로 역할을 하고, 미래 할론의 대안으로서 수정된 모델을 세우는 기반을 제공하며 새로운 기술에 있어 최근 연구에서 고려하고 있는 이상적인 할론 대체물질 특성의 주요 지표를 파악하는 분석 도구로서 역할을 형성하기 위한 방법론이 수립되었다. 이러한 접근법은 몇몇 개발 항공기에 이미 사용되었다. 이러한 방법론은 새로운 항공기, 새로운 화재 억제 기술 및 연료탱크 불활성화와 같은 추가 적용과 같은 과제들을 충족시키기 위해 확대될 수 있다.

출처 : International Interflam Conference, 11th Proceedings. Volume 2. (2007. 9)

번역 : 광주호남지부 곽훈