

## 항공기용 결빙방지액의 지상 사용승인을 위한 FAA의 최근 인증정책 연구

김유광\*

### The Study of FAA's certification policy for approving the ground use of deicing/anti-icing fluids on airplane

You gwang Kim\*

#### ABSTRACT

This study describes the Federal Aviation Administration(FAA) certification policy for approving the use of Type II, III, and IV deicing/anti-icing fluids on small category airplanes. These fluids can be characterized as non-Newtonian, pseudo-plastic fluids, also known as "thickened" fluids. Deicing fluids are used before takeoff to remove frost or ice contamination, while anti-icing fluids are used before takeoff to prevent frost or ice contamination from occurring for a period of time(referred to as "holdover time") after application. Thickened deicing/anti-icing fluids can affect airplane performance and handling characteristics and their residue may cause stiff or frozen flight controls. This study also describes an approval process that may be used by type certificate holders and applicants for a type certificate under parts 23 to support operational use of these fluids on their airplanes.

Key Words: Icing, De-icing/Anti-icing Fluid, Fluid Type, Holdover Time(HOT), Aircraft Ground, De/Anti Icing

#### 1. 서 론

본 연구는 소형 비행기에 이용되는 제빙/결빙 방지액의 유형 II, III, 및 IV의 사용승인을 위한 미연방항공청(FAA) 인증정책에 대한 것이다. 이러한 제빙/결빙방지액은 '점도성(thickened)'

유체로 알려진 비-뉴턴(non-Newtonian), 유사-가소성(pseudo-plastic) 유체 등과 동일한 특징을 가진다. 제빙액(de-icing fluid)은 이륙 이전에 또는 비행중에 발생한 서리(frost) 또는 착빙(ice contamination)을 제거하기 위하여 사용되는 반면, 결빙방지액(anti-icing fluid)은 이륙 이전에 적용한 후 일정기간("지속력 시간(holdover time)") 동안 발생하는 서리 또는 착빙을 방지하기 위하여 사용된다. 점도성 제빙

†2013년 6월 24일 접수 ~ 2013년 9월 24일 심사완료

\* 정회원, 한국항공우주연구원

연락처, E-mail: kysunny@kari.re.kr

/결빙방지액은 항공기 성능과 핸들링 특성에 영향을 미칠 수 있고 제빙액의 잔류물은 비행 조종계통의 경화 또는 결빙을 초래할 수 있으므로, 이러한 제빙/결빙방지액의 사용승인은 인증의 중요 관점인 비행 안전 문제에 있어서 매우 중요하다.[1]



Fig. 1 Aircraft Ground De/Anti Icing in progress

본 내용에서는 Part 23하에서의 형식증명서, 해당 항공기 운용상 이러한 제빙/결빙방지액의 지상 사용을 가능하도록 하기 위하여 형식증명소지자 및 신청자가 활용할 수 있는 인증절차에 대한 FAA의 최신 인증동향에 대하여 분석하고, 세부적인 적합성 입증방법의 예를 도출하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 항공기 제빙액의 종류 (aviation deicing fluid types)

미국자동차공학협회(Society of Automotive Engineers)인 SAE는 표준서(SAE AMS 1428 & AMS 1424)를 통해 4가지의 상호 다른 유형의 항공용 제빙액에 대한 분류를 다음과 같이 하고 있다.

· 유형 I 제빙액 : 저-점도로서 농도가 짙지 않은(unthickened) 액체이다. 사용이후 표면에서 빨리 박리(flow off)되기 때문에 이 제빙액은 짧은 기간의 결빙방지만 가능하다. 이 제빙액

은 눈, 얼음, 서리를 제거하기 위하여 일반적으로 고압에서 고온(130~180° F, 55~80° C)으로 살포된다. 식별 및 적용을 쉽게 하기 위해서 통상 오렌지색으로 염색되어 있다.

- 유형 II 제빙액 : 항공기 표면에서 즉시 박리되는 것을 막기 위한 폴리머 점성제(polymeric thickening agent)을 포함하고 있음을 의미하는 "가소성(pseudoplastic)" 액체이다. 통상적으로 이 액체는 공기역학적인 전단응력(shear stress)로 인하여 점성이 깨지는 지점인 100노트 정도(약 180km/h)에 도달할 때까지 유지된다. 이러한 유형의 제빙액은 대형 항공기에 주로 이용되고 있고, 유형 II 제빙액의 사용으로 유형 IV 제빙액의 사용이 감소하고 있는 추세이다. 유형 II 제빙액은 일반적으로 무색이다.
- 유형 III 제빙액 : 유형 I 및 II 제빙액의 중간급이라고 할 수 있다. 100노트 이하의 이륙 회전속도(rotation speed)를 가진 저속 항공기(지역항공기 및 비즈니스 항공기)에서 주로 이용되며, 유형 III 제빙액은 일반적으로 옅은 노란색이다.
- 유형 IV 제빙액 : 유형 II 제빙액과 동일한 SAE AMS 기준을 만족하지만, 보다 긴 지속력 시간을 제공한다. 전형적으로 제빙액이 잘 도포되는 것을 쉽게 확인할 수 있도록 녹색으로 염색되어 있다.

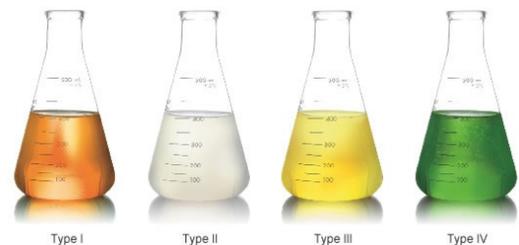


Fig. 2 Types of deicing/anti-icing fluids

일반적으로 농축제(thickener)가 포함되어 있는 제빙액(유형 II, III, 및 IV)은 먼저 유형 I

제빙액으로 제빙작업을 수행한 이후에 재결빙을 방지하기 위하여 주로 이용되기 때문에 결빙방지액(anti-icing fluid)으로 알려져 있다.[2]

**2.2 제빙액 사용에 따른 문제점**

항공업계와 FAA는 SAE와의 협력을 통해 제빙/결빙방지액의 공기 역학적 효과를 최소화하기 위한 기준을 수립하기 위해 노력을 지속했다.[2]&[3] SAE AS 5900 및 SAE AMS 1428은 각각 이륙 지상가속 및 초기 상승단계 동안 항공기의 양력 및 조종면에서 박리되는 공기 역학적인 제빙/결빙방지액의 특성에 대한 표준이 포함되어 있으며, 지상 제빙/결빙방지액 규격은 SAE AMS 1424와 SAE AMS 1428이다.

일반적으로, 지상 제빙/결빙방지액을 적용하기 위해서는, 해당 항공기 형식증명 소지자는 지상 제빙/결빙방지 프로그램의 운용승인을 원하는 운용자의 요구에 의해 항공기 이륙성과 핸들링 특성에 대한 다양한 유체들의 영향성을 평가해 왔었다. 그러나, 이러한 시험은 형식증명 과정인 형식검사승인에서는 수행되지 않았고, 이에 따라 해당 시험계획서는 FAA에 의해 검토 또는 승인되지 않았으며, 일부 경우에는, 시험보고서도 작성되지 않았다. 하지만, 이러한 점도성 유체가 사용되는 항공기에는 안전한 항공기 운용을 위해서 형식증명 소지자는 해당 항공기의 운용 제한사항(operation limitation section) 및 절차에 점도성 유체의 영향성을 표시하기도 하였다. 이러한 운용 제한사항에는 증가된 이륙 회전속도 및 특정 이륙 플랩 설정에 대한 제한사항 등이 포함되며, 만일 제빙/결빙방지액의 사용이 조종사가 항공기의 상승조작을 위해 보다 많은 조종력이 필요하다면 비행승무원이 이륙회전(rotation)을 위해 사용해야 하는 추가적인 절차 등을 포함해야 한다.

최근 FAA는 점도성 결빙방지액을 이용하는 항공기에 대한 안전사고 보고서를 접수했는데 이 보고서는 점도성 결빙방지액이 사용된 항공기를 운항하던 비행승무원이 이륙취소 수행 후 작성한 것이다. 비행승무원은 항공기가 정상적으로

반응하지 않았고, 어떤 경우에는 조종력이 이륙자세로 전환하기 위해 정상적인 조종간 당김 작동력보다 높았다고 보고하였다. 이러한 결빙방지액 사고의 공통적인 요인은 이륙회전속도였으며, 이는 유형 II 및 IV 결빙방지액을 사용하는 데 요구되는 최소 이륙회전속도인 약 100노트 부근이었다. 또한, 해당 항공기는 전원이 공급되지 않는(unpowered) 엘리베이터 비행 조종장치가 장착되어 있었다. 보고된 대부분의 경우에서 점도성 결빙방지액의 사용은 항공기에 사용승인이 되어 있었고, 비행승무원은 점도성 결빙방지액이 뿌려진 비행기의 이륙을 위하여 항공기 비행매뉴얼(AFM) 절차를 준수했다. 하지만, 이 비행승무원들은 결빙방지액이 뿌려진 항공기를 이륙자세로 전환하기 위하여 조종간에 가하는데 필요한 추가적인 조종력에 익숙하지 못했던 것으로 추정되며, 점도성 결빙방지액의 사용시 항공기 이륙전환을 위한 조종사의 피치 조종입력에 대하여 지연된 항공기응답이 초래됨을 정확히 파악하지 못한 것으로 보고되었다. 유형 II 또는 IV 결빙방지액이 뿌려진 일부 항공기의 경우, 이륙절차의 변경이 요구되거나 이륙 성능에 대한 패널티를 적용하는 감항성개선지시(AD)가 발행된 사례도 있는 것으로 조사되었다.

이륙성능 및 핸들링 특성에 대한 점도성 결빙방지액의 영향성 뿐만 아니라, 유럽의 운용자들은 많은 비행조종시스템(FCS)의 고착 또는 결빙 사고에 대해서도 보고하고 있다. 이러한 사고는 전원이 공급되거나 공급되지 않는 비행조종시스템 모두에서 발생하였고, 이 사고들은 점도성 결빙방지액의 재-수화작용(re-hydration) 및 부차적인 잔유물의 결빙으로 인한 것이었다. 점도성 결빙방지액은 조종면 힌지 라인을 따라 공기역학적으로 완만한 후미(cove) 구역에서 집중되어 증발될 수 있는데 증발되었던 점도성 제빙액의 잔유물이 습기, 강우 또는 항공기 세척 등으로 인하여 다시 물과 결합하고, 그러한 상태로 항공기가 결빙 이하의 온도에 있는 고도로 상승시, 조종면을 결빙시키거나 고착시켜 사고를 유발할 수 있다.

또한 불충분한 배수로 인하여 공기역학적으로 밸런스 베이 또는 중량평형 조종면에 점도성 제빙액이 집중될 수 있는데, 이는 조종면의 불균형, 조종력의 이상변화 및 조종면 진동 또는 버펫을 초래할 수도 있다.



Fig. 3 Anti-icing fluid residue in elevator control stuck

### 23 제빙액 지상 사용승인 관련 적용규정

14 CFR Part 23에서 항공용 제빙액의 지상 사용승인과 관련된 규정은 다음과 같다.

- (1) § 23.143(C) ; 조종성과 기동성 - 일반
- (2) § 23.251(b) ; 진동 및 버펫팅
- (3) § 23.1529 ; 감항성유지지침서
- (4) § 23.1581 ; 항공기 비행교범 및 승인된 매뉴얼 자료 - 일반
- (5) § 23.1585 운용 절차
- (6) Part 23의 부록 G ; 감항성유지지침서

Part 23 항공기에 대한 지상 제빙/결빙방지액 관련 주요사안(issue)과 항공기 성능 및 핸들링 특성에 대한 영향성 평가방법은 FAA AC 23.1419-2D, "결빙조건에서의 비행을 위한 Part 23 항공기 인증"에 보다 구체적으로 제시하고 있다.

### 24 지상 사용승인을 위한 적합성인증 방안

유형 II, III, 또는 IV 제빙/결빙방지액 사용의 안전성은 이러한 유체의 운용상 사용승인 이전에 반드시 확인되어야 한다.[4] 따라서 이러한 점도성 제빙액은 항공기 형식증명 프로세스 과

정에서 충분히 시험되는 것을 FAA는 권고하고 있지만 FAR 규정상 반드시 수행되도록 요구하고 있지는 않다. 만일, 점도성 제빙액의 사용이 심각하거나 비정상적인 비행 또는 지상 핸들링 특성을 유발한다면, §23.1581 및 §23.1585에 의거하여 이러한 특성에 대한 정보는 반드시 항공기비행교범(AFM)에 기재하여야 하며, 이러한 특성 유무를 결정하기 위해서 해당 인증신청자는 반드시 비행시험을 수행해야 한다. 추가적으로 신청자는 감항성유지지침서(ICA)의 관련 정보를 제공해야 하며, 기승인된 특정한 제빙액은 항공기비행교범에 기술해야 하고 다른 제빙액은 사용금지 되도록 규정해야 한다.

이러한 시험의 목적은 Part 23에서 요구하고 있는 요건에 적합함을 입증하기 위한 것이므로, FAA는 이러한 시험수행시 FAA Order 8110.4C, "형식증명 절차"를 따르고, 해당 시험은 TIA에 의거하여 FAA가 승인한 시험계획서 및 시험보고서에 따라 수행되어야 한다. 항공기 이륙성능 및 핸들링 특성에 대한 제빙액 영향성 평가의 일환으로, FAA의 항공기 평가그룹(AEG)은 조종사 훈련시 점도성 제빙액의 사용으로 기인하는 모든 특수 절차 또는 핸들링 특성에 대하여 해당 중요성을 인식시킬 수 있도록 하였는지 확인한다. 이러한 항공용 제빙액의 영향성 평가에는 다음의 사항이 포함된다.

- (1) 이륙성능 평가
  - a. 고정피치각 이륙
  - b. 이륙 받음각(AOA) 마진 시험
  - c. 이륙 성능
- (2) 조종성 평가
  - a. 가역피치 수직방향 조종시스템을 가진 항공기의 경우, 모든 엔진운용 상태에서 최소 승인이륙 플랩조건 및 최대 승인이륙 플랩조건을 이용한 최소 실제 총중량 및 최대 이륙 총중량에서 다음의 평가를 수행
    - 1) 계획된 회전속도( $V_R$ )에서 당김작동 동안의 조종 출력 및 조종력
    - 2) 계획된  $V_R$ 에서 7%를 뺀 속도 또는 계획된  $V_R$ 에서 10노트를 뺀 속도 둘 중 높은

- 회전속도와 동일한 속도로 당김이륙시의 조종성
- 3) 이륙 직후 이륙 플랩상태에서 이륙안전속도( $V_2$ )에 10노트를 합한 속도 또는 항공기 카테고리에 따른 50피트 높이의 속도에서 10노트(KIAS)를 합한 속도로 이륙( $\pm 40$ 도 이내 뱅크각도 변경,  $\pm 0.5g$  또는 실속경보) 후 조종성 평가
- b. 멀티엔진 항공기의 경우, 최대 승인이륙 플랩위치 및 모사된 한 쪽 엔진 작동불능 상태로 최소 실제 총중량에서 다음의 평가를 실시
- 1)  $V_R$ 에서 당김작동시의 조종출력 및 조종력
  - 2) 이륙 직후 이륙 플랩상태에서 이륙안전속도( $V_2$ ) 또는 항공기 카테고리에 따른 50 피트 높이의 속도로 이륙( $\pm 30$ 도 이내 뱅크각도 변경,  $+1.3/+0.8g$  또는 실속경보) 후 조종성 평가
- (3) 진동 및 버펫. 진동 및 버펫에 대한 점도성 유체의 잠재적 영향성을 평가하기 위하여 시험에는 이륙 후 최대운용한계속도( $V_{MO}$ )까지의 비행이 포함되어야 하며, 평가는 §23.251 (b)의 진동 및 버펫 요건을 만족해야 한다.
- (4) 비행후 검사(Post-Flight Inspection)를 통해 점도성 제빙액의 잔류물 유무 확인
- (5) 제빙액 평가
- a. 점도성 제빙액의 적용
    - 1) 회색하지 않은 II, III, 및 IV 유체 적용
    - 2) 항공기 제작사의 권고된 절차준수. 적용되는 모든 표면(수평 안정판을 포함)에 도포하고, 유체 적용시 슬레이트/플랩은 권고 위치에 둠
    - 3) 결빙방지액 적용 이후 가능한 빨리 이륙 시험을 수행
    - 4) 적용된 유체가 강우/강설에 의하여 희석되지 않도록 강우/강설조건이 아닌 조건에서 시험 수행
  - b. 시험당일 기온은 SAE AS 5900에 의거하여
    - 최대 허용 경계층변위두께(BLDT : boundary layer displacement thickness)를 낼 수 있는 온도
  - c. 공식적으로 FAA가 발간한 지속력 시간표(HOT : holdover time table)에 기재된 최소 점도임을 확인하기 위하여 시험되는 유체의 점도 점검 수행
- (6) 항공기 시스템 확인
- a. 항공기 시스템의 모든 악영향에 대해 확인 (예; 환경제어시스템, 보조전원장치(APU) 입구 및 출구 막힘 등)
  - b. 이륙 절차는 결빙조건에서의 이륙을 위한 정상 시스템 운용(결빙방지시스템 포함)을 포함
- (7) 항공기 상에서의 유체 흐름 확인
- a. 핸들링 특성과 성능평가를 위해 시험 항공기에 해당 측정계기 장착 및 비디오 녹화
  - b. 엘리베이터/수평 안정판의 간극(gap)은 최소 양산 허용공차(tolerance)내에 있어야 함
- (8) 항공기 비행교범 확인
- a. 제빙액의 유형 지정
  - b. 제빙/결빙방지액이 적용된 항공기의 안전을 위하여 필요하다고 판단되는 정보는 반드시 항공기 비행교범(AFM) 제한사항 절에 제공 (예 ; 플랩 사용 제한 등)
  - c. 비행전 또는 비행후 검사 및 청소에 대한 절차 제시
  - d. 한계점 이상의 이륙속도 및 상응하는 이륙거리 증가는 항공기 비행교범(AFM)의 성능 절에 반드시 규정해야 함
- (9) 감항성유지지침. 정비지침서에 다음의 항목을 포함해야 함
- a. 검사가 필요한 항목
    - 1) 배수 구멍(Drain hole)
    - 2) 조종 밸런스 베이(Control balance bay)
    - 3) 공기역학적으로 확인된 안정 구역
    - 4) 조종시스템 내부 구성품
  - b. 청소 및 윤활. 점성유체로부터의 잔유물이 항공기로부터 제거됨을 확인하기 위한 제

#### 빙절차 수립

- c. 다음 항목에 대한 지침 및 절차 제공
- 1) 재-수화된 젤(re-hydrated gel) 및/또는 건조된 제빙액 잔류물 등 확인 대상
  - 2) 항공기 구조 및 조종시스템의 젤/잔류물 등 확인 구역
  - 3) 이러한 젤/잔류물을 효과적으로 제거하는 방법
  - 4) 이러한 점검 및 예방조치의 주기를 결정하는 방법에 대한 지침

본 내용에 기술된 일반적인 인증정책에 대하여 FAA는 신규로 별도의 규정을 제정하지는 않을 것으로 판단되지만, 특정한 프로젝트가 이러한 경우에 해당된다면, FAA는 이 신규 인증정책을 적용할 예정으로 알려져 있다.[4] 만일 신청자가 제안한 적합성 입증방법이 FAA의 이러한 정책과 상반된다면, 해당 프로젝트의 FAA 항공기 인증부서는 이러한 제빙액 사용 관련 정책 입안부서와 주요사안검토서(issue paper)를 이용하여 상호 의견을 조율할 수도 있다. 이러한 절차는 우리나라 인증절차도 마찬가지이며, 신청자는 유형 II, III, 또는 IV 제빙/결빙방지액의 사용에 대한 신규 승인 신청시 관련한 해당사항에 대한 적합성을 입증해야 한다. 그리고, 이륙 회전속도가 100노트 이하인 항공기 또는 가역피치 수직방향 조종시스템을 가진 항공기의 경우, 최소한 최초의 지상 제빙액 사용승인은 해당 항공기의 형식증명 소지자에 의해 수행되어야 한다고 FAA는 규정하고 있다.[4]

이러한 FAA의 인증정책은 Part 23 항공기의 유형 II, III, 또는 IV 제빙 및 결빙방지액 사용에 대한 형식증명 승인에 적용되어야 하는 적합성 입증방법에 대한 규정을 포함하고 있으며, 형식증명 과정에서의 이러한 승인은 해당 항공기용 제빙액의 운용상 사용을 위한 허가를 용이하게 하기 위해서도 필요하다.[5] 최근 발표된 FAA의 인증정책에서 규정하고 있는 적합성 입증의 세부방법은 최종적으로는 해당 정책의 효력발생일인 2013년 9월30일 이후에 승인되는 인증 프

로그램에 적용되는데, 만일 신청일자가 효력발생일 이전이고, FAA 또는 위임자에 의해 적합성 입증방법이 이미 합의되고 승인되었다면, 신청자는 이전에 수락된 적합성 입증방법을 따르거나 아니면 새로운 정책에 포함된 지침을 따를 수 있는 선택권이 있다.[4]

### 3. 결 론

본 내용에서는 FAA의 '점도성(thickened)' 제빙/결빙방지액의 소형항공기 지상 사용승인에 대한 새로운 인증정책에 대하여 알아보았다.

점도성 제빙/결빙방지액을 항공기에 적용시, 안전한 항공기 운용을 보장하기 위하여 해당 관련 정보 및 자료가 비행교범 및 감항성유지지침서에 포함될 필요가 있으며, 필요시 항공기 숙달 훈련에서 중요하게 강조되어야 하는 내용도 역시 기술되어야 할 필요성이 있다고 할 수 있다. 그리고, 관련된 감항기술기준 §23.143(c), §23.1529, §23.1581, §23.1583, §23.1585, 및 Part 23 부록 G에 적합함을 입증하고, 해당 점도성 제빙액이 감항성에 어떤 영향을 미치는지를 평가하기 위하여 FAA에서는 반드시 비행시험을 수행할 것을 규정하고 있다.

본 내용을 통하여 FAA의 지상 제빙액 사용에 대한 인증정책을 분석하였고, 국내 항공기 인증시, 신청자가 항공기에 점도성 제빙/결빙방지액을 사용하고자 한다면, 각 유형별 제빙/결빙방지액에 따른 사용승인을 받아야 할 것이며, 본 논문에서 기술된 세부적인 적합성 입증방법이 항공용 제빙액의 지상 사용 승인절차에 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- [1]SAE AS 5900, Standard Method for Aerodynamic Acceptance of SAE AMS 1424

- [2] SAE AMS 1428, Aircraft Deicing / Anti-icing, Non-Newtonian (Pseudoplastic), SAE Types II, III, and IV Policy for Approval of Use of Type II, III, and IV Deicing/Anti-icing Fluids on Small & Transport Category Airplanes
- [3] SAE AMS 1424, Deicing/Anti-Icing Fluid, Aircraft SAE Type I [5] N8900.238, Revised FAA-Approved Deicing Program Updates, Winter 2013-2014
- [4] PS-ACE-23-05, Type Certification