



KC-100 항공기 주날개의 결빙에 의한 공력 영향성 연구

이 창 훈,¹ 신 성 민,¹ 정 성 기,¹ 명 노 신,^{*2} 조 태 환,² 정 재 흥,³ 정 훈 화³

ICING EFFECTS ON AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE MAIN WING SECTION OF KC-100 AIRCRAFT

C.H. Lee,¹ S.M. Sin,¹ S.K. Jung,¹ R.S. Myong,^{*2} T.H. Cho,² J.H. Jung,³ H.H. Jeong³

Ice accretion on aircraft surface in icing condition induces external shape changes that may result in a hazard factor for aircraft safety. In case of aircraft main wing with high lift equipment, ice accretion is observed around leading edge and flap. During the design phase, location of ice accretion and associated aerodynamic characteristics must be investigated. In this study, icing effects on aerodynamic characteristics of the main wing section of KC-100 aircraft are investigated using an Eulerian-based FENSAP-ICE code in various icing conditions.

Key Words : 액적량(Liquid Water Content, 이하 LWC), 평균체적지름(Mean Volume Diameter, 이하 MVD), 축적율(Collection Efficiency), 결빙증식(Ice Accretion)

1. 서 론

결빙 조건에 노출된 항공기는 결빙증식으로 인해 예상하지 못한 형상 변형이 발생한다. 이는 최대양력계수 및 실속각 감소, 항력 증가 등을 유발하여 항공기 안전성에 위협적인 인자가 된다. 또한 고정의기의 경우 추진효율 감소, 안테나 진동, 트림특성의 변화를 포함한 공력 및 조종 안정성에 부정적인 영향을 끼치게 되며, 이착륙 시 실속 여유 및 상승률 감소, 수평미익의 Pitch-Over 등이 발생한다. 특히 고양력 장치가 장착된 날개의 경우 결빙은 앞전과 Flap에 결빙이 발생하며 항공기 안전성을 위해 반드시 결빙 위치 및 영향성이 조사되어야 한다. 이러한 공력특성의 악영향은 항공기 사고를 유발할 수 있다. AOPA(Aircraft Owners and Pilots Association)의 1990~2000년 사이 미국에서 발생한 항공기 사고 조사 결과에 따르면, 전체 3230건 중 388건 (12%)이 결빙으로 인해 발생하

였으며, 그 중 203건 (52%)이 엔진 흡입구, 152건 (40%)이 외부 구조물에 발생한 결빙과 관련이 있는 것으로 조사되었다.[1~3] 결빙에 의해 발생 가능한 항공기 성능 저해 인자를 파악하기 위해 실험 및 수치해석 연구가 병행되어야 한다. 하지만 국내에서는 결빙으로 인한 항공기 성능분석을 위한 신규 시설 건설과 높은 운용비로 인해 실험을 이용한 연구는 제한적이다. 현재 국내 결빙 관련 연구는 KC-100 항공기 및 KUH의 결빙 관련 연구가 진행 중이다. 본 연구에서는 KC-100 항공기의 주요한 공력 특성을 내포하고 있는 주날개의 단면을 결빙 시 Flap up 및 Flap down의 경우에 대해 공력 특성을 조사하였다. 주날개 단면 결빙증식을 예측하기 위해 결빙 관련 전문 해석 프로그램인 FENSAP-ICE 코드를 이용하였다.

2. 결빙해석 시스템

2.1 유동장 계산

결빙해석 시스템에서 최우선으로 결빙이 없는 형상에 대해 액적이 존재하지 않을 때의 유동장 계산이 수행되어야 한다. 유동장 계산을 위한 지배방정식으로는 3차원 압축성 Navier-Stokes 방정식을 사용하였다. 난류 모델로서는 Spalart-Allmaras 모델을 적용하였다. 유동장 계산은 효율적인

1 정희원, 경상대학교 기계항공공학부 대학원

2 정희원, 경상대학교 기계항공공학부 및

항공기부품기술연구소

3 한국항공우주산업

* TEL : 055) 751-6107

* Corresponding author, E-mail: myong@gnu.ac.kr

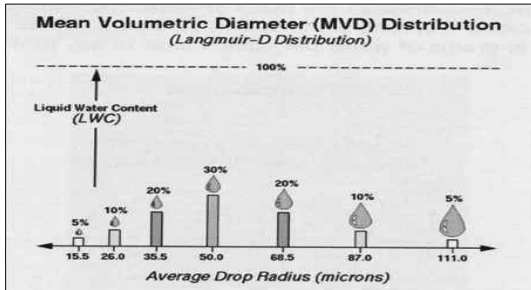


Fig 1 Langmuir-D 분포

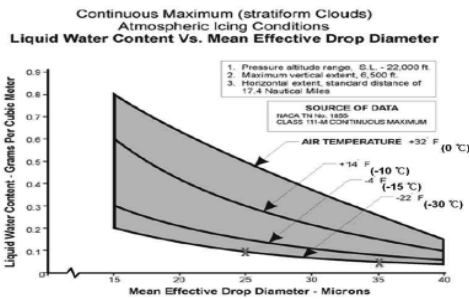


Fig 2 FAR Part 25 Appendix C

계산을 위해 상용 CFD 코드인 FLUENT를 활용하였다.

2.2 축적율

유동장 결과를 활용하여 액적이 물체에 부딪히는 비율을 정량적으로 파악하기 위한 축적율 계산을 수행하였다. 이때 액적의 크기는 균일하게 분포되어 있지 않는 Langmuir-D(가장 큰 액적의 크기는 분포되어 있는 액적의 평균값보다 2.2배 크고 가장 작은 액적의 크기는 평균값의 2.2배 작게 분포되어 있다.) 대신 액적의 크기가 균일한 Mono-Disperse로 가정하여 적용하였다. Fig 1은 MVD 50 μ m에 대한 Langmuir-D 분포를 나타낸다.

2.3 결빙증식

결빙증식은 크게 Glaze Ice와 Rime Ice로 나눌 수가 있다. Glaze Ice는 대기 온도가 0 $^{\circ}$ C 부근의 적운형 구름에서 생성되며, 액적이 크거나 Freezing Rain 시, 비교적 높은 온도와 고속, 높은 LWC에서 발생한다. 액적이 항공기 표면 위를 흐르면서 부드럽게 결빙된다. 단단하고 무거우며 표면에 강하게 부착되며 질량이 커 무게중심에 영향을 미친다. Rime Ice는 층운형 구름이나 가랑비 같이 액적이 작고, 저온, 저속 및 작은 LWC의 조건에서 발생한다. 액적이 미세하여 항공기 표면에 부딪히는 순간 급속히 결빙되고 처음 결빙된 얼음 층과

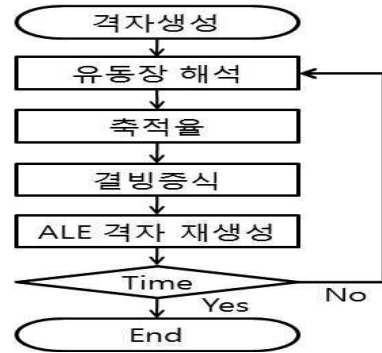


Fig 3 결빙해석 시스템 순서도

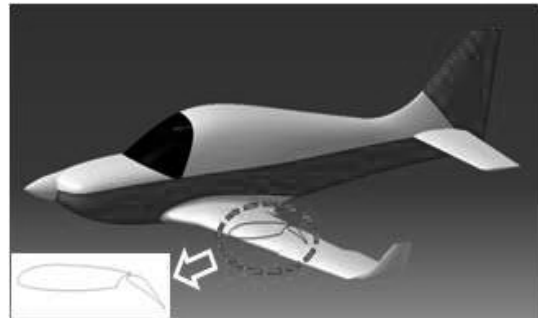


Fig 4 KC-100 항공기 주날개 익형추출

지속적으로 축적되는 얼음 층 사이에 공기가 유입되어 우윳빛을 띤다. Glaze Ice를 해석하기 위해서는 전단력과 Heat Flux가 고려되어야 하지만 Rime Ice는 고체면과 부딪히는 순간 결빙이 발생하기 때문에 전단력과 Heat Flux는 고려되지 않는다. Fig 2는 FAA의 FAR Part 25 Appendix C의 결빙 시 항공기 운항 안정성 확보를 위한 결빙 조건을 나타낸다. 항공기의 운항 안정성 입증을 위해 제시된 조건에서 최대 45분간 비행 가능함을 풍동 실험 및 수치해석을 통해 확보해야 한다. 본 연구에서는 Fig 2의 모든 영역을 물리적으로 계산 할 수 없으므로 우선적으로 Rime 결빙 조건인 LWC 1.0g/m 3 , MVD 25 μ m 와 LWC 0.5g/m 3 , MVD 35 μ m를 선정하여 계산을 수행하였다.

3. 해석 결과

KC-100 항공기의 경우 날개 끝단의 익형과 날개와 동체가 접하는 부분의 익형 형태가 다르므로 KC-100 항공기 Flap이 있는 주날개의 3차원 모델에서 중간 단면을 추출하였다. 이는 3차원 모델 해석에 많은 시간이 소요되므로 보다 많은 Icing 조건에서 해석을 수행하기 위함이다.[Fig 4] 선정된 주날개 단면을 기본으로 고양력 장치가 장착된 에어포일의 결빙증식에

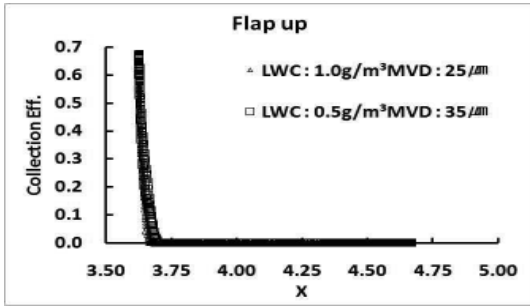


Fig 5 결빙 조건에 대한 축적율 비교 (Flap up)

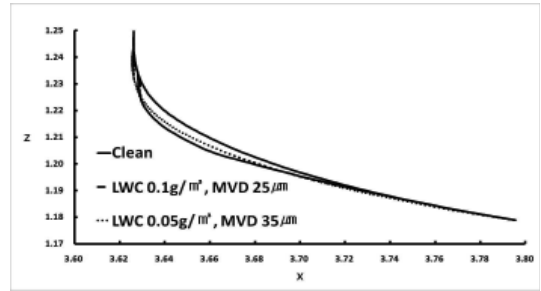


Fig 8 주날개 앞전 결빙형상 비교 (Flap down)

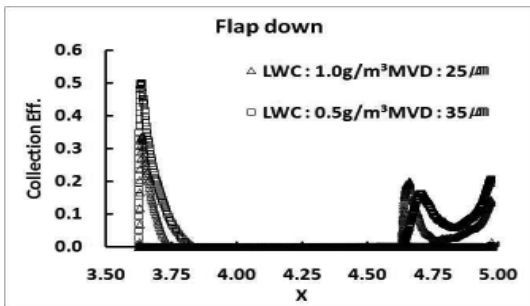


Fig 6 결빙 조건에 대한 축적율 비교 (Flap down)

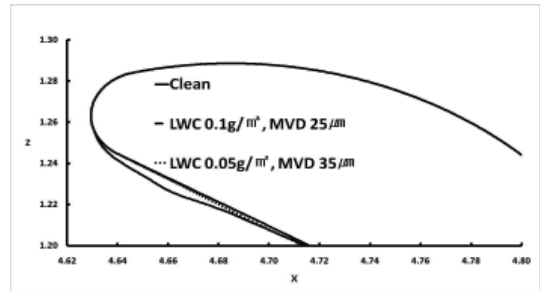


Fig 9 Flap 앞전 결빙형상 비교(Flap down)

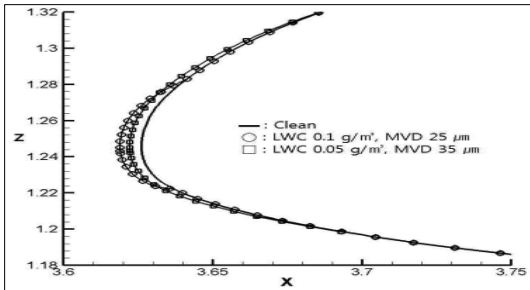


Fig 7 결빙증식 형상 비교 (Flap up)

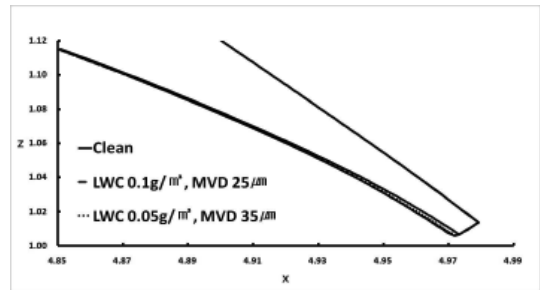


Fig 10 Flap 후미 결빙형상 비교(Flap down)

의한 공력특성을 분석하였다.

3.1 축적율

Fig 5,6은 Flap up 과 Flap down 시의 축적율을 나타낸다. Flap up의 경우 주날개 단면의 앞전에서 축적율이 발생하지만 Flap down의 경우 주날개 단면의 앞전뿐만 아니라 Flap의 앞전, Flap의 후미에서도 축적율이 나타남을 확인 하였다. 이를 바탕으로 Flap up의 경우 결빙증식이 단지 주날개 단면의 앞전에서 형성 될 것을 예측할 수 있고 Flap down의 경우 주날개와 Flap의 앞전, Flap의 후미에 형성 될 것을 예측할 수 있다.

3.2 결빙증식

Fig 7~10은 결빙증식 형상을 나타낸다. 결빙증식이 Fig 5,6에서 예측한 위치에서 형성되는 것을 알 수 있다. Rime 결빙 조건에서는 매우 낮은 대기온도로 인해 액적이 고체면과의 충돌과 동시에 결빙이 발생하므로 결빙형상이 Fig 7-10과 같이 완만한 형태를 나타낸다.

3.3 공력특성

KC-100 항공기 주날개 익형 단면에 대해 LWC 1.0g/m³, MVD 25µm와 LWC 0.5g/m³, MVD 35µm의 결빙증식 후 받음각 변화에 따른 양력, 항력 및 모멘트의 변화를 계산하였다.[Fig

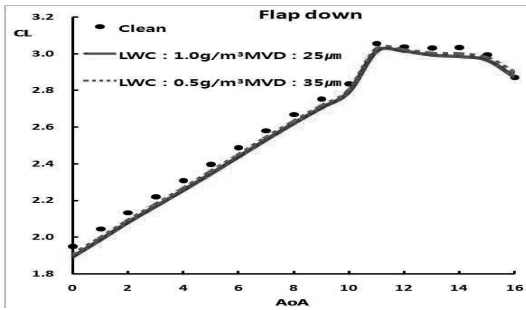


Fig 11 양력계수 비교(Flap down)

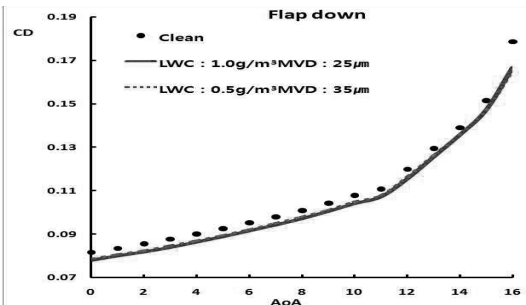


Fig 12 항력계수 비교(Flap down)

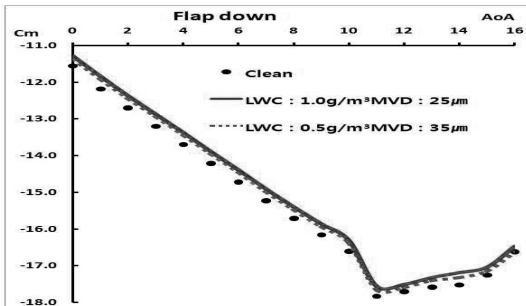


Fig 13 모멘트계수 비교(Flap down)

11~13] 본 연구에서 적용된 Rime Ice 조건은 결빙증식 시 완만한 형상이므로 공력특성에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

KC-100 항공기의 주요한 공력 특성을 내포하고 있는 주날개의 단면을 결빙 시 Flap up 및 down에 대해 공력 특성을 조사하였다. 액적이 없는 형상에 대해 유동장을 계산한 후 이

를 이용하여 축적율을 계산하였다. 그 후 결빙증식 형상 및 결빙증식 형상에 대한 공력 영향성을 조사하였다. Flap down의 경우 Flap의 앞전 및 후미에 결빙증식이 형성된다는 것을 알 수 있었다. 또한 Flap up 및 down에 대해 주어진 Rime 결빙 조건에서는 완만한 형태의 결빙증식이 형성되어 양력, 항력 및 모멘트에 대한 공력특성에 큰 변화를 초래하지 않음을 확인 할 수 있었다. 향후 본 연구를 바탕으로 KC-100 항공기 주날개의 Glaze 결빙에 대한 연구를 수행 할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 항공안전기술개발사업의 핵심과제 “소형항공기급 인증기 개발”의 “항공기 표면 발생 Icing 및 공력영향성 해석” 위탁 연구과제의 지원과 한국학술진흥재단 중점연구소(KRF-2008-005-J01002)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 2000, *Aircraft icing handbook*, The Civil Aviation Authority, New Zealand.
- [2] 2000, Gent, R.W., et al, "Aircraft Icing," *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, Vol.358, p.2873-2911.
- [3] 2005, Bragg, M.B., et al, "Iced-Airfoil Aerodynamics," *Progress in Aerospace Sciences*, Vol.41, p.323-362.
- [4] 1998, Kind, R.J., et al, "Experimental and Computational Simulation of In-Flight Icing Phenomena," *Progress in Aerospace Sciences*, Vol.34, p.257-345.
- [5] 1997, "FAA Inflight Aircraft Icing Plan," *Federal Aviation Administration*, U.S. Department of Transportation, Washington D.C..
- [6] 2008, 백선우, 외2인, "2차원 날개의 서리얼음 형상예측," *KSAS08-2111*.
- [7] 2009, 정경진, 외2인, *FENSAP-ICE를 이용한 에어포일 결빙해석*, *KSAS09-2117*.
- [8] *NTI Solutions User Manual*, Newmerical Technologies Int.
- [9] 2003, *FLUENT 6.1 User's Guide*, FLUENT Inc..
- [10] 2010, S.K. Jung. et al., "Ice Accretion Effect on the Aerodynamic Characteristics of KC-100 Aircraft," *48th AIAA Aerospace Sciences Meeting*.