가스터빈 결빙시험용 결빙모사장치 개발

이경재* · 양수석* · 이대성**

Development of Icing Simulation Device for Gas Turbine Icing Test

Kyung-Jae Lee* · Soo-Seok Yang* · Dae-Sung Lee**

ABSTRACT

Most aircraft cruise in the stratosphere at which temperature is below -50℃ and, as a result, the surface of aircraft can be iced up. Ice on the wing can change aerodynamic characteristic and results in the deterioration of its performance. Ice on the engine inlet increases the possibility of compressor blade damage and affects the performance and safety of the engine. This paper focused on the development of icing simulation device for analyzing effect of icing on engine performance. Icing simulation tests were conducted with a liquid air system and a icing simulation device and results show that icing could be simulated with this system.

초 록

대부분의 항공기는 성층권에서 순항을 하며, 이때의 온도는 지상의 그것보다 상당히 낮아 항공기 표면에 결빙이 발생할 수 있다. 기체 날개에 결빙이 발생하면 날개의 형상이 변화되어 비행특성을 저하시키며, 흡입구에서 발생한 결빙은 압축기 블레이드의 손상의 위험을 높이고 엔진의 성능에도 큰 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 결빙에 의한 여러 가지 상황 중 결빙으로 인한 엔진 성능 변화를 분석하기 위하여 결빙모사장치의 개발을 수행하였다. 결빙모사장치와 액체공기시스템을 이용하여 결빙모사 시험을 수행하였으며, 시험수행을 통하여 결빙이 모사가 가능함을 확인하였다.

Key Words : Gas Turbine Engine(가스터빈엔진), Icing Test(결빙시험), MVD(액적크기)

1. 서 론

항공기 운항 시 나타날 수 있는 외부환경 조건은 상당히 가혹하며, 특히 차가운 대기 조건에서의 항공기 운항 시에는 결빙에 의해 항공기의 성능 및 안전에 큰 변화가 생길 수 있다.[1]

항공기 운항 중 기체의 날개 앞전에 얼음이 생성되면 날개의 형상을 변화시켜 비행특성을 저하시키며, 엔진의 흡입구 앞전에 생성되면 압축기 블레이드의 손상뿐 아니라 성능 및 항공기

* 한국항공우주연구원 첨단추진기관팀
** 한국항공우주연구원 항공사업단
연락저자, E-mail: lucia01@kari.re.kr

의 안전에도 영향을 미치게 된다. 2003년 2월 발생한 컬럼비아호 우주왕복선 폭발참사의 직접적 원인도 외부탱크에 생성된 얼음덩어리가 우주왕복선 날개를 손상시킨 것이었다.

본 연구기관에서는 결빙으로 인한 여러 가지 상황 중 엔진 입구로 유입 되거나 엔진 흡입구 앞전에 생성되는 결빙으로 인한 상황을 방지하고자 결빙에 의한 엔진 성능변화 추이를 분석하고자 하였다. 이를 위해 액체공기시스템을 이용하여 실제의 상황을 가상의 시험을 통해 모사 가능한 결빙시험용 결빙모사장치를 개발하였다.

2. 결빙모사장치 개발

2.1 결빙시험조건

결빙시험이란 여러 가지 원인에 의해 생겨나는 얼음알갱이들이 항공기 성능 및 안전에 미치는 영향을 평가하는 시험이다.

FAA(Federal Aviation Administration)에서는 얼음알갱이들이 생성되는 조건에 대한 MVD와 LWC와의 관계를 정의 하고 있다.

MVD(Median Volume Droplet)란 입자의 지름을 의미하며 MVD 수치는 총 입자 중 50%의 입자는 지름이 수치 값 보다 크고 나머지 50%의 입자는 지름이 수치 값 보다 작다는 개념의 평균의 의미를 나타낸다. LWC(Liquid Water Content)는 결빙생성 영역이 포함하고 있는 액체의 양을 나타낸다.

2.2 결빙모사장치 설계요구조건

위에서 언급된 FAA에서 정의한 얼음알갱이의 정의를 통해 노즐에서 생성되는 액적의 크기인 MVD는 약 0 ~ 50 μm 이며, 액체의 유량은 LWC 값으로 환산했을 때 약 0 ~ 3 g/m^3 값이 되어야 한다.

LWC 값이 0 ~ 3 사이의 값을 갖기 위해서는 약 0 ~ 100 mm/hr의 강우량과 같은 유량이 필요하다. 이는 AGARD-AR-332 2장에 의한 강우량-물 함량비 전환방법을 통하여 계산할 수 있다.[2]

Rain rate(mm/hr) ⇒ Water content(g/m3)

환산식 : g/m3 = 0.062×(mm/hr)0.913

이때 264 mm의 직경을 가지는 덕트를 적용한다고 가정한다면, 100 mm/hr의 강우량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

액체유량 = $\pi \times r^2 \times$ 강우량

$= \pi \times 0.132^2 \times 0.1$

$= 0.00547\ m^3/hr = 5.47\ L/hr$

2.3 MVD 측정

노즐에서 분사되는 액적의 MVD 값을 측정하여 결빙시험에 필요한 데이터베이스를 구축하고자 하였다.

2.3.1 노즐선정

이류체 미세분무 노즐은 원형, 광각원형, 부채꼴형 분무형태 타입으로 나누어진다. 그 중 가장 작은 입자경을 만들 수 있는 분무형태는 부채꼴형 분사형태이다. 하지만 부채꼴형 분무형태를 가지는 노즐을 선정할 경우 원형을 이루고 있는 덕트 내에서 고른 분무분포를 만들어 낼 수 없다. 그렇기 때문에 본 연구에서는 원형으로 제작되어있는 덕트의 형태를 고려하여 원형과 광각원형 형태의 분무형태를 갖추고 있는 이류체 미세분무 노즐을 선정하였다. 선정된 이류체 미세분무 노즐이 Fig. 1에 나타나있다.

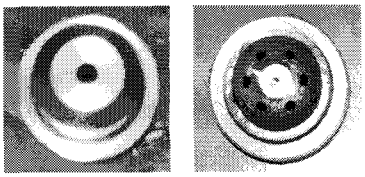

Fig. 1 이류체 미세분무 노즐(좌측 : 1번 노즐)

2.3.2 측정방법

노즐에서 분사되는 액적의 MVD 값을 측정하기 위하여 압축공기를 노즐의 기체부분과 액체의 가압탱크에 공급하고 노즐에 연결한다.

압축공기 후단 및 가압탱크 전단에 설치된 압

력조정기를 이용하여 원하는 압력을 설정한 후 노즐 전단에 설치된 솔레노이드 밸브를 열어 노즐에서 액적이 분무되도록 한다. 분무되는 액적의 MVD를 레이져 장비를 이용하여 측정하였다.

2.3.3 측정조건

여러 가지 압력조건에 대하여 MVD를 측정하였으며, 다음의 Table은 여러 가지 측정조건에 대한 MVD 측정결과를 보여준다.

Table 1. 측정결과

Nozzle #	Air	Liq.	MVD
1번 노즐	0.7	0.7	42.22
	0.8	0.7	31.89
	1	0.7	27.91
	1.1	1.5	33.52
	2.2	1.5	25.27
	2.7	2	25.11
2번 노즐	0.6	0.7	44.18
	0.7	0.7	40.74
	1	0.7	39.54
	1	1.5	37.06
	1.5	1.5	33.17
	1.7	1.5	32.69
	1.8	1.5	32.26
	2.1	2	31.45
	2.4	2	31.96
	3.2	3	28.77
	3.4	3	30.17
	3.5	3	29.17
	4	4	30.16

2.4 결빙모사장치 구성

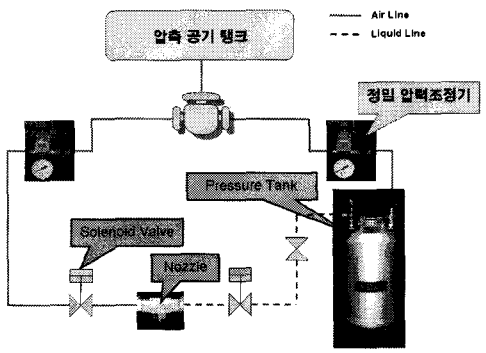

Fig. 2 결빙모사장치 구성도

액체 분사용 덕트에 공급 될 액체는 가압 탱크를 사용하여 공급한다. 시험부 안에서 사용하는 압축공기의 압력을 정밀 압력 조정기를 이용하여 설정하여 준 후 가압탱크에 공급해주면 가압탱크는 액체가 공급되는 동안 일정하게 액체의 압력을 유지해준다.

노즐에 공급되는 공기는 압축공기의 압력을 정밀 압력 조정기를 이용하여 설정하여 준 후 솔레노이드 밸브를 거쳐 노즐에 공급된다. 위와 같은 방법으로 노즐에 공급되는 기체와 유체의 압력을 설정하여주며, 기체와 유체의 압력 변화에 따라서 노즐에서 분무되는 액적의 크기와 유량의 값이 달라진다.

노즐의 유량측정은 코리올리 유량계를 사용하였다. 유량계의 측정범위는 5 L/hr 이며, 정확도는 ±0.16%이다. 가압탱크 및 유량계를 이용하여 결빙모사장치 시스템을 Fig. 3과 같이 제작하였다.

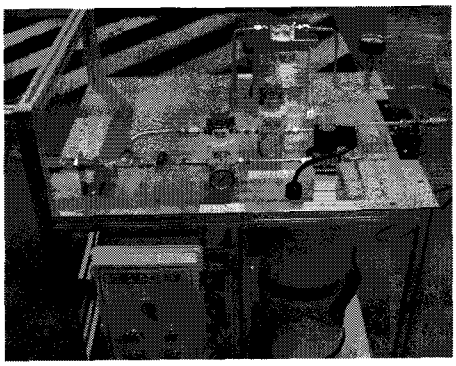

Fig. 3 결빙모사장치

3. 결빙모사시험

결빙모사시험을 위해 레이크형 물분사 노즐을 설계/제작하였다.

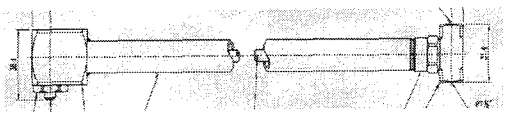

Fig. 4 레이크형 물분사 노즐

물분사 노즐은 레이크 형태로 제작되어 노즐이 부착되어지는 반대쪽에 액체라인과 기체라인을 연결할 수 있다. 액체와 기체는 Stem 내부에 액체와 기체라인을 따라서 이류체 노즐로 연결되며, 이류체 노즐을 통하여 덕트 내부로 분사된다. 영하 40℃ 이하의 저온에서 시험이 진행되므로, 액체가 얼어버리는 현상을 방지하기 위하여 Stem 주위로 열선을 감고 시험을 진행하였다. 실제로 결빙이 생성됨을 확인하기 위하여 엔진 입구 덕트를 제거한 후 시험을 수행하였으며, 결빙모사시험을 통하여 실제로 결빙이 생성됨을 확인하였다.

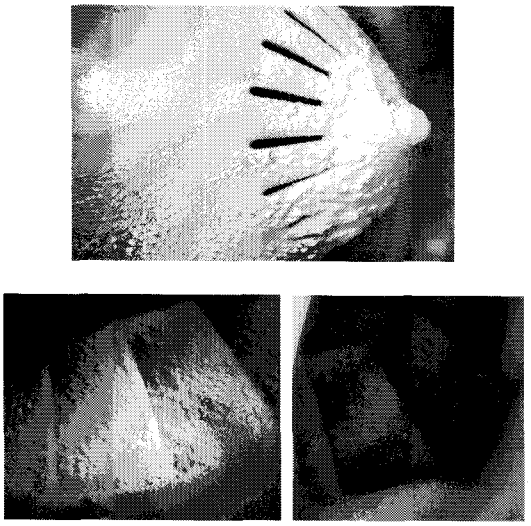

Fig. 5 결빙모사시험 결과

4. 결 론

항공기가 비행 시 나타날 수 있는 극한의 상황을 모사하기 위하여 가스터빈엔진의 결빙시험을 계획하였으며, 이를 위해 액체공기공급 시스템과 이류체 미세분무 노즐을 이용하여 분사되는 액체에 약 영하 40 ℃ 상태의 액체 공기를 분사하여 순간적으로 생성되는 결빙을 모사할 수 있는 결빙모사장치를 개발하였다. 노즐에서 분무되는 액적의 크기(MVD)를 레이져 장비를 이용하여 측정하였다. 또한, 결빙모사시험을 통하여 제작된 결빙모사장치의 작동을 확인하였다.

차후, 이 장치들을 이용하여 실제 엔진에 적용하여 결빙모사 시험을 수행 할 계획을 하고 있으며, 다음 항목들은 차후 시험 조건들이다.

- MVD 측정 외에 LWC 측정을 통해 항우연 설비의 실제 시험가능 영역을 알아본다.

- 실제 엔진 시험에 적용하여 액체공기공급 시스템과 미세분무 노즐을 통하여 생성된 결빙이 엔진 성능 및 안전에 미치는 영향을 알아본다.

- Inlet distortion 시험기법과 결합하여, 왜곡된 분무 특성을 보일 때 결빙이 엔진 성능 및 안전에 미치는 영향을 알아본다.

- Performance Deck과 연계하여 엔진 입구로 유입되는 결빙의 영향을 실시간으로 알아본다.

참 고 문 헌

1. Philip P. Walsh, Paul Fletcher, "Gas Turbine Performance," 2nd ed., Blackwell Science Ltd, 2004
2. 이대성외 10명, "비행체 추진기관 고공성능 시험의 신뢰도 향상과 비정상상태 시험기술에 관한 연구," 국가지정연구실사업 보고서, 2002