한국소음진동공학회 05추계학술대회(수송기계편), pp. 45~48.

돌풍하중완화 풍동시험을 위한 돌풍발생장치 설계 및 지상시험

Design and Ground Test of Gust Generator for GLA Wind Tunnel Test

이상욱* · 김태욱** · 김성찬** · 황인희** · 하철근***

Sang-Wook Lee, Tae-Uk Kim, Sung-Chan Kim, In-Hee Hwang and Chul-Keun Ha

Key Words : Gust Generator(돌풍발생장치), Gust Field(돌풍장), Scaled Flexible Wing Model(축소 유연날개모델), Gust Response Alleviation System(돌풍응답완화 시스템)

ABSTRACT

The gust generator was designed for generating the gust field in the wind tunnel test of the scaled flexible wing model for validating gust response alleviation system. The ground operation test was performed for estimating the dynamic performance of the gust generator before installing it in the wind tunnel for gust field measurement. The ground test results showed that the gust generator has sufficient dynamic capability to simulate the sinusoidal and random motion of the gust generator wing and thus can be used in the wind tunnel test related to gust.

1. 서 론

항공기 운항 중에 작용하는 돌풍 등의 외란은 구조물의 진동을 유발하여 항공기에 부가적인 하중을 가하고, 탑승객의 승차감을 저해하는 등의 부정적인 영향을 끼치게 된다. 이에 따라 항공업계에서는 조종면이나 지능구조물 등을 이용하여 유연한 날개의 돌풍하중을 능동적으로 제어하려는 연구가 이루어지고 있다. 돌풍에 의한 구조물 진동과 부가적인 하중을 경감시키면 구조물의 피로수명과 승차감을 향상시킬 수 있다. 능동 공탄성 제어에 관한 연구는 (1) 해석에 의한 시뮬레이션, (2) 축소 유연모델에 대한 풍동시험을 통한 기술검증, (3) 능동 공탄성 제어시스템의 비행시제기 적용을 통한 실효성 검증 등의 세가지 단계로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 축소 유연모델의 돌풍응답완화 특성을 검증하는 풍동시험을 수행하는데 필요한 돌풍발생장치를 설계/제작하는 방법을 제시하였다. 또한, 풍동시험을 수행하기 이전에 제작된 돌풍발생장치에 대한 지상 성능시험을 수행하여 돌풍발생장치 구동부의 정상 작동여부와 돌풍발생장치가 돌풍발생용 날개의 정현파 운동, 랜덤 운동 등을 구현할 수 있는 동적 특성을 보유하고 있는지 여부를 확인하였다.

* 한국항공우주연구원 항공구조그룹
E-mail : lsw@kari.re.kr
Tel : (042) 860-2833, Fax : (042) 860-2009
** 한국항공우주연구원 항공구조그룹
*** 울산대학교 항공우주공학과

2. 돌풍발생장치 설계 및 제작

본 연구에서 사용된 돌풍발생장치는 1.5m의 스팬길이를 갖는 축소형 유연날개모델[2]에 작용하는 돌풍하중을 최적제어이론에 의해 구한 조종면 능동제어를 통해 완화시키는 풍동시험을 한국항공우주연구원(이하 항우연) 아음속 풍동 시험부에서 수행할 수 있도록 설계/제작되었다. 돌풍발생장치는 돌풍발생용 날개와 돌풍발생장치 구동부로 구성되며, 아음속 풍동 시험부 입구에 설치된 2개의 돌풍발생용 날개에서 유도된 후류를 통해 유연날개모델 장착 위치에서 원하는 돌풍 기류를 발생할 수 있도록 하였다.

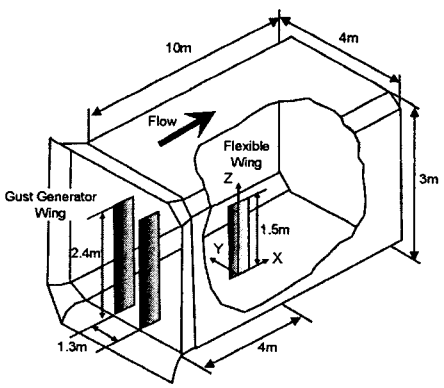

Fig.1 Schematic Diagram of Gust Generator Wing and Flexible Wing in KARI Subsonic Wind Tunnel

Fig.1은 항우연 아음속 풍동 시험부에 장착된 축소형 유연날개 모델과 돌풍발생용 날개의 위치관계를 개략적으로 나타낸 것이다. 항우연 아음속 풍동 구조물의 변경를 최소화하기 위해서, Fig.1과 같이 유연날개모델과 돌풍발생용 날개를 풍동 바닥면에 수직으로 부착하는 방식을 사용하였다. 돌풍발생용 날개를 구동하는 돌풍발생장치 구동부는 돌풍발생용 날개가 부착되는 풍동 바닥면 위치의 풍동 하부 구조물에 장착하였다.

2.1 돌풍발생용 날개

돌풍발생용 날개는 항우연 아음속풍동의 시험부 크기(너비 4m, 높이 3m)를 고려하여 스팬길이는 2.4m, 시위길이는 0.9m로 결정하였다. 에어포일은 $C_{l_{max}}$ 특성이 좋은 NACA0012가 바람직하지만, 날개 구조물의 강성을 보강하기 위해 NACA0015를 사용하였다. 또한, 돌풍발생용 날개의 회전축 위치는 회전에 따른 관성모멘트와 공기력에 의한 모멘트의 합이 최소가 될 수 있도록 날개 앞전에서 시위방향으로 30% 지점으로 결정하였다. 돌풍발생용 날개의 주요 설계/제작 요구조건은 다음과 같다.

- 날개 회전에 사용할 작동기의 용량을 최소화할 수 있도록 날개 자체 중량 및 회전축에 대한 관성모멘트를 최소화할 것
- 가진 진폭 ±2.5°, 주파수 10Hz로 날개 회전시 견딜 수 있는 충분한 강도를 가질 것
- 제작이 용이하고 비용이 저렴할 것

돌풍발생용 날개는 Fig.2에 나타낸 것과 같이 회전축 조립체와 스파, 립, 외피, 스트링거 등으로 구성된다. 회전축 조립체는 원통형 복합재 파이프, Root 립의 강도를 보강하기 위한 알루미늄 보강판, 작동기가 연결되어 돌풍발생용 날개에 회전모멘트를 전달하는 알루미늄 Shaft Connector 등으로 구성된다. 스파, 립, 외피, 스트링거 등은 돌풍발생용 날개의 외형을 구현하여 공기력을 발생시키는 역할을 하며, 구조물 경량화를 위해 스파와 립은 항공베니아, 외피와 스트링거는 발사로 제작하였다. 작동기에 의한 회전모멘트를 돌풍발생용 날개에 골고루 분산하여 전달할 수 있도록 각각의 립 위치에서 회전축 조립체와 립을 체결하였다. 각 체결부위는 주로 접착 형태를 사용하였으며, 높은 강도가 요구되는 부분은 플랜지와 볼트, 너트 등을 활용하여 체결하였다.

제작된 돌풍발생용 날개 각각에 대한 총 중량, 무게중심 및 회전축 관성모멘트 측정시험을 수행한 결과, 날개 1개의 중량은 약 16.6 kg, 무게중심은 날개 앞전에서 시위방향으로 약 36%, 날개 Root에서 스팬방향으로 약 34%인 지점이었으며, 회전축에 대한 관성모멘트의 값은 약 0.95 kgm^{2}을 나타내었다.

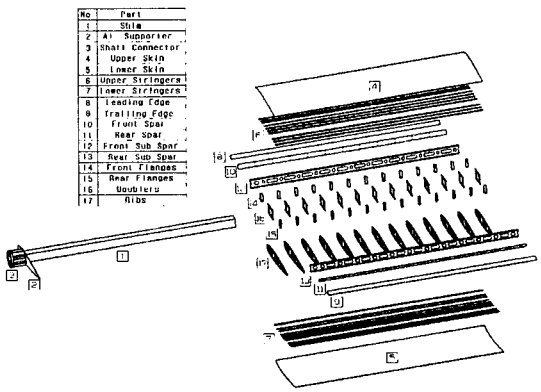

Fig.2 Structural Parts for Gust Generator Wing

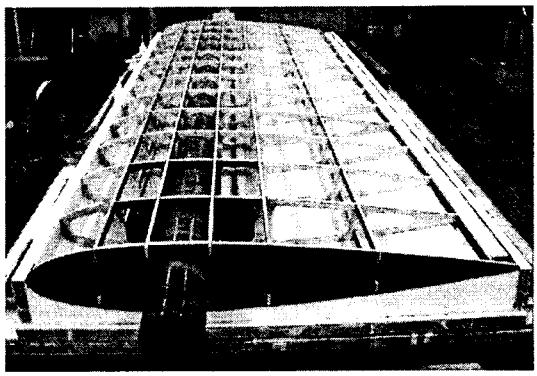

Fig.3 Structural Layout for Gust Generator Wing

2.2 돌풍발생장치 구동부

돌풍발생장치 구동부는 돌풍발생용 날개의 회전축 조립체와 연결되어 제어장치에서 주어진 가진 신호에 따라 돌풍발생용 날개를 회전시키는 구성품이다. 돌풍발생장치 구동부는 제어장치에서 주어진 가진 신호에 따라 정/역 회전운동을 하는 DC 서보모터, 서보모터의 회전을 왕복 직선운동으로 변환하는 선형 Motion Table, 선형 Motion Table과 돌풍발생용 날개의 회전축 조립체를 연결하여 Motion Table의 왕복 직선운동을 돌풍발생용 날개의 회전운동으로 변환하는 링키지 시스템과 관련 부품들을 장착하는 지지구조물로 구성된다. 각각의 돌풍발생용 날개 회전축 조립체는 동일한 링키지 시스템을 통해 하나의 선형 Motion Table에 연결하여, 2개의 돌풍발생용 날개가 제어장치에서 주어진 신호에 따라 동일한 회전 운동을 하도록 설계하였다. 조립된 돌풍발생장치 구동부는 돌풍발생용 날개가 장착될 항우연 아음속 풍동 바닥면 위치의 하부 구조물에 12개의 볼트를 사용하여 체결된다. Fig.4은 지상 성능시험을 위해 제작/설치된 돌풍발생장치, 돌풍발생장치 구동부 및 구동부에 사용된 DC 서보모터를 나타낸 것이다.

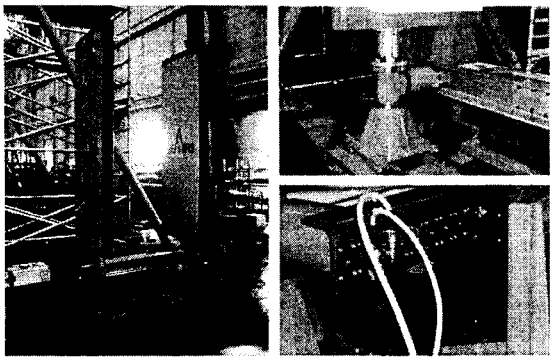

Fig.4 Gust Generator Installed for Ground Test

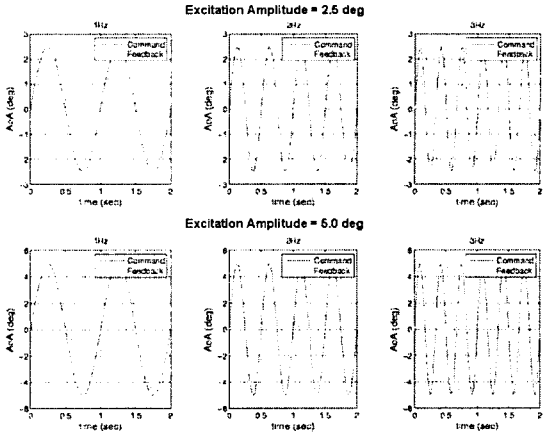

Fig.5 Command vs. Feedback for Sinusoidal Excitation

3. 돌풍발생장치 지상시험

본 연구에서 설계/제작된 돌풍발생장치에 대한 지상 성능 시험을 수행하여 돌풍발생장치 구동부의 정상 작동여부와 돌풍발생장치가 제어장치에서 주어진 신호에 따라 돌풍발생용 날개의 정현파 운동, 랜덤 운동 등을 구현할 수 있는 동적 특성을 보유하고 있는지 여부를 확인하였다. 돌풍발생장치 구동부를 제어하는 프로그램은 NI사의 상용 소프트웨어인 LabVIEW를 이용하여 작성하였으며, 서보모터의 피드백 제어에는 엔코더 응답값을 사용하였다.

3.1 정현파 운동

돌풍발생용 날개를 정현파 신호로 가진하는 경우 돌풍발생장치 구동부의 작동 성능을 분석하기 위해 다양한 주파수와 진폭을 갖는 정현파로 지상시험을 수행하였다. 정현파 가진에 의한 지상시험의 주요 목적은 정현파 가진주파수 변화에 따른 돌풍발생용 날개의 실제 운동 진폭의 변화 정도를 파악하는데 있다. 이를 위해 정현파 가진을 ±2.5°, ±5° 두가지 진폭에 대해 수행하였으며, 각각의 진폭에서 가진 주파수는 6가지 조건(0.5, 1, 2, 3, 4, 5Hz)을 사용하였다. Fig.5는 3가지 가진주파수(1, 2, 3Hz)로 각각의 진폭조건(±2.5°, ±5°)에서 정현파 가진시 돌풍발생용 날개의 회전각으로 환산된 서보모터 입력값(Command)과 출력값(Encoder Feedback)을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 돌풍발생용 날개의 실제 회전각 응답 주파수는 서보모터 가진 주파수와 동일함을 알 수 있으며, 실제 회전각의 진폭도 가진 진폭의 크기에 따라 거의 선형적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 다만, 가진 주파수와 진폭이 커짐에 따라 돌풍발생용 날개의 실제 응답이 가진 진폭을 완전히 따라가지 못하고 감소되어 나타나는 현상을 발견할 수 있는데, 이는 돌풍발생장치 구동부에 사용된 DC 서보모터와 모터의 회전운동을 왕복운동으로 변환시켜주는 역할을 하는 선형 Motion Table의 기계적인 가속도 한계 때문인 것으로 판단된다.

3.2 랜덤파 운동

돌풍발생장치는 추후 유연날개 돌풍하중완화 풍동시험 수행시 대기 난류(Dryden 돌풍모델)를 모사하는데 사용될 예정이므로, 대기 난류를 모사할 수 있는 랜덤파로 돌풍발생용 날개를 가진한 경우 돌풍발생용 날개의 응답을 측정/분석하였다. 랜덤파 가진은 최대 진폭 ±2.5°, ±5° 두가지 진폭에 대해 수행하였으며, Fig.6은 각각의 진폭으로 가진시 돌풍발생용 날개의 회전각으로 환산된 서보모터 입력값과 출력값을 비교하여 나타낸 것이다. 여기서, 랜덤파 가진의 경우도 정현파 가진의 경우와 마찬가지로 가진 진폭의 크기가 증가함에 따라 돌풍발생용 날개의 회전각 응답도 거의 선형적으로 증가하고 있으며, 가진신호의 고주파 성분을 제외하고는 응답이 가진신호를 전반적으로 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. Fig.7은 Fig.6에 나타낸 응답신호들의 PSD를 비교하여 나타낸 것인데, 10Hz 미만의 저주파 대역에서는 응답신호가 가진신호를 잘 추종하고 있으나 10Hz 이상에서는 응답신호가 가진신호 PSD보다 감소되어 나타나고 있음을 알 수 있다.

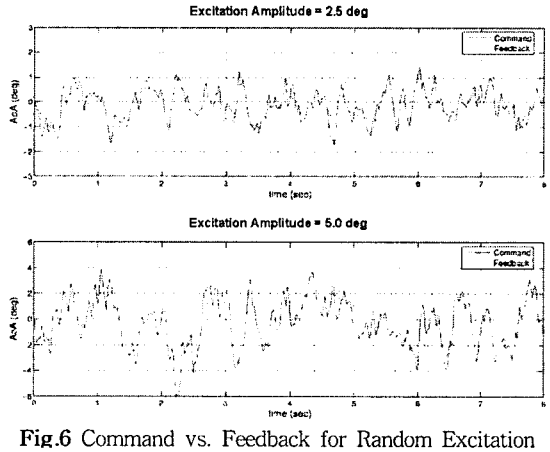

Fig.6 Command vs. Feedback for Random Excitation

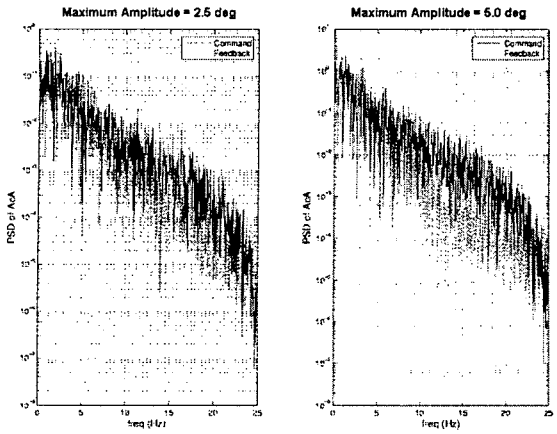

Fig.7 Power Spectral Density of Command & Feedback for Random Excitation

4. 결 론

본 연구에서는 유연 날개 축소모델의 돌풍응답완화 풍동시험 수행시 필요한 돌풍장을 생성할 수 있는 돌풍발생장치를 설계/제작하는 방법을 제시하였다. 또한, 돌풍발생장치 풍동시험을 수행하기 이전에 제작된 돌풍발생장치에 대한 지상 성능시험을 수행하여 돌풍발생장치 구동부의 정상 작동여부와 돌풍발생장치가 돌풍발생용 날개의 정현파 운동, 랜덤 운동 등을 구현할 수 있는 동적 특성을 보유하고 있는지 여부를 확인하였다. 지상성능시험이 완료된 돌풍발생장치는 추후 풍동시험을 통해 유연 날개 축소모델을 장착할 위치에서의 정상 및 비정상 상태의 돌풍기류를 측정/분석함으로써 돌풍응답완화 풍동시험에의 활용가능성을 최종적으로 검증할 예정이다.

참 고 문 헌

(1) 이상욱, 김태욱, 황인희, 하철근, 2004, "항공기 날개 돌풍 응답해석 및 완화기법," 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.452-456

(2) 이상욱, 김태욱, 김성찬, 황인희, 2005, "풍동시험용 유연날개 설계 및 제작," 춘계학술발표회 논문집, 한국항공우주공학회, pp.488-491

(3) Matsuzaki, Y., Ueda, T., and Matsushita, H., 1989, "Gust Load Alleviation of a Transport-Type Wing : Test and Anaysis," *Journal of Aircraft*, Vol.26, pp.322-327

(4) Tang, D., Cizmas, P., Dowell, E., 1996, "Experiments and Analysis for a Gust Generator in a Wind Tunnel," *Journal of Aircraft*, Vol.33, pp.139-148