

항공우주공학 분야의 소리발생 되먹임 현상

Feedback Sound Mechanism in Aerospace Engineering

이덕주
Duck-Joo Lee

1. 서 론

유동과 음향 현상은 매우 밀접한 연관을 갖고 있다. 진동 유발 소음과 구분되는 소위 유동 유발 소음은 유동 속에 존재하는 물체의 표면 압력 변화 또는 유동의 전단층 및 와류의 복잡한 거동과 같은 유동의 비정상적 거동에 의하여 직접적으로 발생한다. 역으로 음향파가 유동 현상에 영향을 가하는 경우가 있는데, 불안정한 형태로 발달한 경계층의 전단 유동, 모서리 형상 주변 또는 역 압력구배가 걸린 전단 유동 등은 음향파가 가진 작은 세기의 압력 또는 속도 에너지에 민감하게 반응하여 박리 또는 와류 생성에 지배적인 영향을 끼칠 수 있다.

이러한 두 가지 현상이 서로 되먹임을 이루며 루프(loop)를 형성할 경우에 유동의 비정상 거동과 음향파 발생이 강하게 증폭되어 공학적으로 원치 않은 문제를 낳는다. 대개 이러한 경우는 비정상적 거동이 특정 주파수에서 고정되어 큰 세기의 톤 소음이 발생한다.

음향과 유체 간 피드백 현상의 기저 및 정량적 예측을 위해 전산 시뮬레이션이 효과적으로 응용될 수 있다. 이러한 전산 시뮬레이션은 압축성 유체의 지배방정식을 기본으로 하여 시간과 공간 미분에 대한 고차의 차분식을 사용하여 현상의 재현을 이루고 정량적인 예측값의 정확도를 높일 수 있다.

2. 연구 방법

지배방정식으로 압축성 Euler 또는 Navier-Stokes 방정식이 사용되었으며, 수치방법은 고차 고해상 방법이다.

† 교신저자; KAIST 항공우주공학과
E-mail : djlee@kaist.ac.kr
Tel : (042)350-3716 Fax : (042) 350-3710

* 공동저자의 소속

** 공동저자의 소속

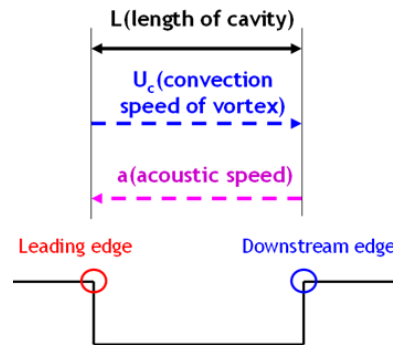
$$\frac{\partial \mathbf{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial y} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial z} = \mathbf{S}$$

이러한 계산은 CAA(Computational Aero-Acoustics)이라 한다. 실험적인 것은 KAIST 음향 풍동(Acoustic Wind Tunnel)이 이용되었다.

3. 음향 되먹임 현상

3.1 폭탄투하시 공동의 되먹임현상

전폭기에서 폭탄을 투하 시 폭탄 저장고(weapon Bay)의 공동(cavity)에 의한 유동과 음향의 되먹임이 일어난다. 아래 그림 1.에서의 전연에서 바람이 불며 이에 의한 전단류가 후연에 부딪치며 소리를 발생한다. 이 경우 전단류가 흘러가는 시간과 후연에서 소리가 전연으로 방사될 때 시간의 합이 아래의 특정 주파수의 역수의 정수배로 되면 서로 되먹임 생겨 전단류의 불안정성이 증가된다. 불안정성은 와류 발생으로 나타나며 이 와류의 압력으로 폭탄투하가 방해되어 심각한 문제를 일으킨다. 이러한 현상을 CAA 로 모사하였다.



$$\frac{L}{U_c} + \frac{L}{c_0} = \frac{n - \beta}{f}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

그림1. Cavity톤 주파수

3.2 초음속 제트의 스크리치 톤

초음속 제트 소음은 난류 소음, 충격파 관련 소음, 스크리치 톤 소음 등 세 가지로 구분된다. 이 중 스크리치 톤 (Screech Tone)은 제트 유동 방향과 반대인 상류 방향에서 크게 측정되는 톤 소음으로서, 그림2에서 표현된 shock cell 구조와 노즐 출구 사이에 있는 불안정 전단층과 음향파 간의 피드백에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 이 현상은 로켓 발사제트나 제트엔진에서 발생되며 매우 높은 순음이 발생되며 이 음향압력으로 로켓 내부의 전자장비들을 파괴 시켜 로켓 발사실패의 원인이되기도 한다. 이 경우 소리는 Shock cell 구조에서 발생된다. CAA로 유동과 이로 인한 소리 되먹임역학을 모사하였다.

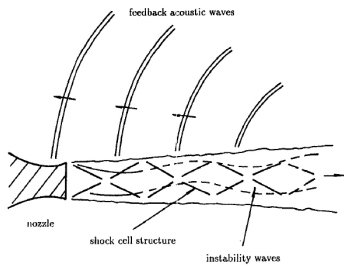


그림2. 스크리치톤 생성 개략도

3.3 익형 천이영역에서의 되먹임현상

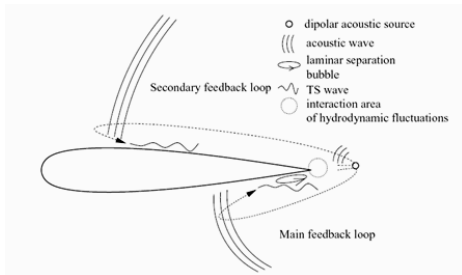


그림3. 익형 되먹임현상 개략도

낮은 레이놀즈 수에서 익형표면에 천이현상이 일어날 때 익형 후연에서의 후류변동으로 소리가 발생된다. 이 소리가 그림3. 과 같이 천이를 증폭시켜 일정한 주파수의 순음과 고차 하모닉이 발생된다. KAIST 음향풍동에서의 측정된 음압을 각도에 따라 비교한다. 이러한 되먹임은 자동차의 백미러에서도 작용된다.

3.4 제트엔진 사일런스에서의 되먹임현상

제트엔진에서의 팬소리를 저감하기위해 엔진 나셀안쪽에 그림4.와같이 Liner를 사용한다. 이경우는 소리가 나셀의 공판을 지나갈 때 공판에 와류를 발생하며 공판안쪽의 부

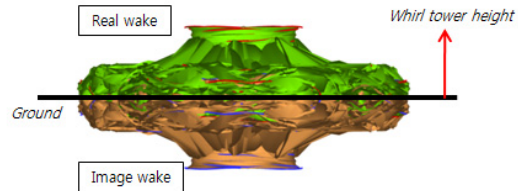
피에 따라 소음 저감주파수가 결정된다. CAA를 사용하여 작용역학을 모사한다.



그림4. 제트엔진 Liner

3.5 로터 후류의 지상 되먹임 현상

그림5.와같이 로터의 후류가 지상에서 반사 되어 옆과 상부의 속도가 발생된다. 이 상부속도로 인해 후류의 일부가 로터의 유입류로 들어 간다 로터 소리의 증폭과 진동을 유발한다.



Ground effect simulation using image method

그림5. 로터 후류 지상 효과

4. 결 론

본 발표에서는 항공우주공학 분야에서 야기되는 유동과 음향의 피드백 현상이 소음, 유동불안정과 진동 등에 심각하게 작용된다는 것을 전산 시뮬레이션과 음향풍동을 통해 보여 주었다.

후 기

상기내용은 KAIST 공력음향학실의 조치훈, 장지성, 이용우, 위성용 그리고 현재 Boeing회사에 근무하는 졸업생 이인철박사의 도움으로 완성되었음.