

## ◎ 특집 : 연구실소개

## 고려대학교 기계공학과 전산유동·소음연구실 소개

문 영 준<sup>1</sup>

## 1. 머리말

근간 컴퓨터 성능의 비약적인 발전과 더불어 급속히 발달해 온 수치적 연구는 종래에 이론적, 실험적 연구에만 국한되어 오던 해석과 예측을 보다 적은 비용과 시간으로 가능하게 하였다는 점에서 매우 큰 의미를 지니고 있으며, 특히 유체역학의 다양한 분야에서 실험의 여러 가지 한계를 극복함으로써 그 가치를 높이 평가받고 있다. 최근 들어서는 고차 수치해석 기법의 발달로 인해 기존의 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 이용한 유동 해석뿐만 아니라 전산공력음향학(Computational Aero-Acoustics)이라는 새로운 분야에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 이러한 CAA는 최신기술에 대한 활용도가 높고 소음해석과 예측에도 적용 가능하다는 점에서 향후 발전 가능성이 매우 큰 분야이기도 하다.

이에, 고려대학교 기계공학과 전산유동·소음연구실(<http://cfd.korea.ac.kr>)에서는 기가급 네트워크로 구축된 Linux Cluster를 활용해 전산공력음향 기법 개발, 난류유동소음 해석, 횡류팬 유동소음해석 및 모델링, 공동현상의 소음 해석과 와류유동의 소음 예측 등 다양한 유체역학의 분야에서 매우 활발한 연구와 프로젝트를 수행하고 있다.

## 2. 주요 연구 분야

본 연구실에서 수행하고 있는 연구분야는 크게 공력소음해석 기법개발 분야와 난류유동/소음해석 분야로 나눌 수 있으며, 현재 수행하고 있는 연구는 다음과 같다.

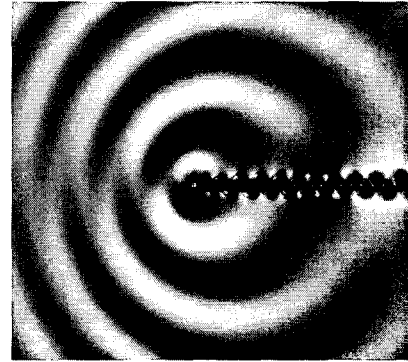


그림 1. 실린더 주위의 음향장 직접수치모사

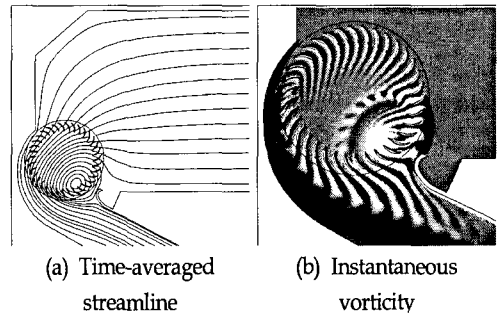
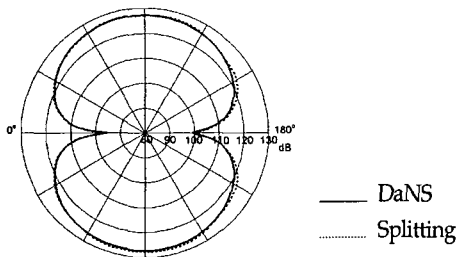
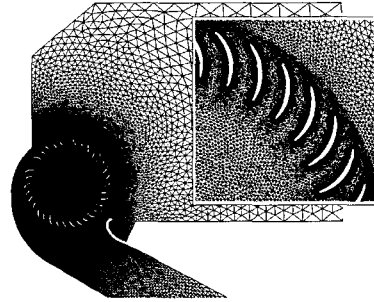
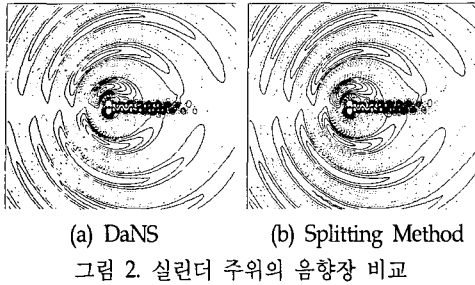
## 2.1. 음향장 직접 수치 모사

공력소음 예측 방법으로서 가장 신뢰할 수 있는 것은 음향장 직접 수치 모사(Direct Acoustic Numerical Simulation: DaNS)이다. 음향장 직접 수치 모사는 완전 압축성 지배 방정식을 고차의 수치 해석 기법을 이용하여 해석함으로써 수행되며 유동장과 소음의 생성 및 전파 모두를 모사할 수 있다. 본 연구실에서는 공간에 대해 6차의 정확도를 가지는 컴팩트 유한 차분법(6th-order Compact Finite Difference Scheme)을 적용하고 시간 적분에는 4차의 Runge-Kutta 방법을 사용하여 음향장 직접 수치 모사를 수행하고 있다. 그림 1은 한 예로서 실린더 주위의 주기적 와류분리에 의한 톤 소음 생성을 직접 수치 모사한 결과이다. 본 연구실에서는 소음장 직접 수치 모사 방법을 이용하여 유동 소음의 생성 및 특성에 대한 보다 심층적인 연구를 수행중이다.

## 2.2. 공력소음 해석을 위한 유동-음향 분리 기법 개발

유동-음향 분리 기법은 음향장 직접 수치 모사의 접근 방식을 비압축성 유동 문제와 압축성

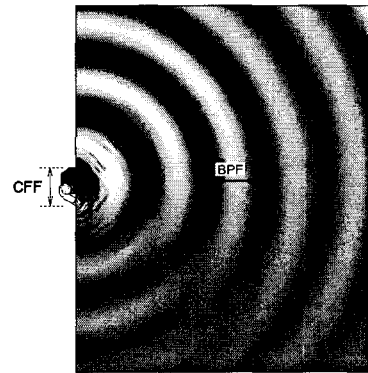
\*1 정희원, 고려대학교 기계공학과 교수  
E-mail : yjmoon@korea.ac.kr



요동 문제로 나누어 해석하는 방법으로 전체적인 유동 현상을 비압축성 지배방정식을 통해 해석하고 이 유동장에서부터 압축성 요동 방정식을 해석하여 소음장을 얻어내는 방식이다. 이는 음향장 직접 수치 모사 방법과 마찬가지로 소음의 생성 및 전파가 동시에 모사되지만, 상대적으로 스케일 차이가 큰 유동과 음향을 분리하여 해석함으로써 수치적 효율성을 크게 증대 시킬 수 있는 장점이 있다. 본 연구실에서는 기존의 유동-음향 분리 기법이 벽 주위의 점성 유동에 의해 발생하는 유동 소음을 정확히 예측해 내지 못하는 문제점을 극복하기 위해 요동 점성항과 새로운 에너지 방정식을 유도하였으며 이 수정된 방법을 사용하여 예측한 소음장 결과가 직접 수치 모사에 필적하는 정확도로 소음장을 모사해 낼 수 있음을 확인하였다(그림 2,3). 또한 이 기법을 난류 소음 예측에 적용하기 위한 연구를 진행 중이다.

**2.3. 횡류팬내의 유동 · 소음 해석**

횡류팬은 가정용 에어컨 실내기, 에어컨튼, 자동차의 환기팬 등에 널리 사용되고 있으며, 많은 응용제품들이 주로 실내에서 사용되고 있어 소음 저감 문제가 더욱 중요시되고 있다. 횡류팬의 내부 유로는 형상이 매우 복잡하기 때문에 비정렬



삼각형 격자를 이용하여 그림 4와 같은 격자를 구성하였으며, 임펠러 부분의 격자를 시간에 따라 회전시켜가며 예측한 성능 곡선은 실험 결과와 잘 일치함을 보인다.

그림 5는 팬 내부의 시간 평균된 유선과 순간적인 와도 분포를 나타내고 있으며, 편심 와류와 임펠러 블레이드 후류의 거동을 뚜렷하게 나타내고 있다. 여기서 임펠러 후류와 스테빌라이저의 상호작용은 횡류팬 공력 소음 발생의 주된 요인으로 BPF 소음을 유발하기 때문에 본 연구실에

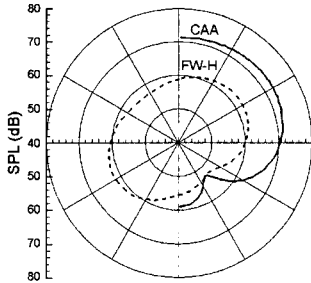


그림 7. Comparison of directivity patterns

서는 부등피치웬을 이용하여 톤 소음을 개선하는 방안에 대해 연구 중이다.

블레이드 끝단에서는 저마하수( $M=0.016$ ) 영역 이므로 유동장과 음향장의 에너지 수준 차이 및 길이 스케일의 불균형이 크게 나타나게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 연구실에서 개발한 새로운 유동-음향 분리 기법을 이용하여 그림 6에 나타난 바와 같이 케이싱 벽면에 의한 반사 효과를 고려한 웬 주변의 음향장을 예측하였다. 또한, 횡류웬 주위에서 발생하는 공력 소음을 기존의 FW-H 방정식으로 해석한 결과와 CAA 기법으로 해석한 결과를 비교함으로써 CAA 기법이 벽면에서의 반사효과를 정확하게 모사할 수 있음을 확인하였다(그림 7).

본 연구실에서는 블레이드 후류와 스테빌라이저의 상호작용으로 인한 BPF 음파의 발생 과정과 주로 웬 입구를 통해 방사되는 음파의 전파 경로 등에 대해서도 활발한 연구를 진행하고 있다.

### 2.4. 공동현상 및 소음 예측

직렬구조(Cascade)로 배치된 평판에서 유체의 압력변화에 의해 발생하는 공동현상(Cavitation)은 유체기계 수명을 단축시키고 소음의 주된 원인이 된다. 이러한 공동현상은 유체의 속도가 빨라지는 영역에서 압력이 포화증기압 이하로 떨어질 때 기포가 형성되는 것으로, 재진입 유동(Re-entrant jet)에 의해 분리된 후 소멸되는 과정을 주기적으로 반복하게 된다. 본 연구실에서는 일본 동북대학교(Tohoku University)와의 학술교류를 통해 기포의 주기적 생성/분리/소멸 과정을 수치적으로 모사하였으며, 이때 발생하는

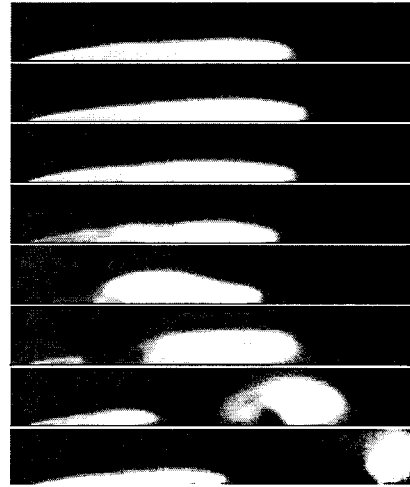


그림 8. Time evolution of void fraction

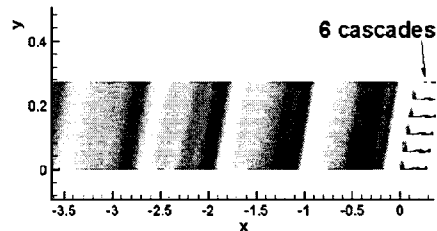


그림 9. 평판 앞전에서의 음향장

소음에 대한 연구를 현재 진행 중이다.

- Homogeneous Equilibrium Model을 이용한 유동 해석(그림 8)
- 고차 수치해석 기법(6th order Compact scheme)을 이용한 소음 예측(그림 9)

### 3. 맺음말

유동소음의 해석과 예측에 대한 실험은 일반적으로 많은 비용과 시간을 필요로 하기 때문에 이를 대체할 수치적 해석기법의 필요성이 크게 대두되어 왔으며, 이러한 요구에 발맞추어 최근 본 연구실에서는 보다 정확한 해석 기법의 개발을 위해 활발한 연구를 진행하고 있다. 또한 제품의 설계와 제작 시에 반드시 고려되어야 할 소음특성에 대한 수치적 연구를 수행함으로써 제품의 개발 시간을 단축시키고 성능을 향상시키는 등 기술개발에도 그 역할을 다하고 있다.