

# 공력 소음 및 소음 제어에 관한 연구 현황과 미래 전망에 대한 고찰

이수갑, 장세명

서울대학교 기계항공공학부, 공력소음 및 소음제어 연구실

## A Review on Issues and Perspectives in the Field of Aeroacoustics and Noise Control Research

Soogab Lee and Se-Myong Chang

Aeroacoustics & Noise Control Lab

School of Mechanical and Aerospace Engineering Seoul National University

solee@plaza.snu.ac.kr; smc1972@dreamwiz.com

### 요약문

본 논문에서는 최근 공력소음 및 소음제어 분야의 연구 동향을 정리하고, 이에 대한 미래의 가능성을 진단해 본다. 공력소음공학은 학문적 관심과 실용적 응용성을 동시에 만족시키면서, 이러한 목적을 달성하기 위해 수치적 혹은 실험적인 여러 가지 방법들을 다양하게 채용하고 있는 학제적 (interdisciplinary) 연구 분야이다. 자동차 냉각 팬 소음, 헬리콥터 소음, HRSG 소음, 고속 철도 소음, 원심 압축기 소음, 수중 추진기 소음, 전산공력음향학, 농동 소음 제어, 충격파-와동 간섭 소음 등 현재 연구되어지고 있는 문제들을 간략하게 조명하면서, 환경 과학과 인간 공학으로서의 이 분야가 지닌 미래의 무한한 잠재력을 고찰한다.

### 1. 머리말

공력소음공학 및 소음 제어 기술은 지난 반 세기 동안 비약적인 발전을 해왔다. 그러나 기술의 발전에도 불구하고 환경 소음의 문제는 반 세기 전에 비하여 그리 개선되지 못한 것처럼 보인다 [1]. 소음은 여전히 일반인들에 있어 가장 민감한 생리적 자극원이다. 제트 비행기, 고속도로, 건설 현장, 건물 내부 등 우리 주변의 모든 생활 환경이 바로 소음원이 되고 있다. 현재 소음을 방지하거나 억제하는 수많은 기술들이 개발되고 있음에도 불구하고, 아직도 그 목표에는 접근하지 못하고 있는 것이 사실이다. 오늘날 '삶의 질'이 향상되면서 보다 나은 생활 환경을 요

구하는 목소리가 높아지고 있다. 따라서 소음 공학은 이러한 환경 과학으로서의 특성 뿐만 아니라 삶의 질을 개선시키려는 인간 공학적 관점에서 접근되어야 한다.

최근 유럽 연합 등에서는 범 국가 연합적인 위원회를 구성하여 환경 소음 문제를 해결하려는 움직임을 보이고 있다. 참고 문헌 [2] 에 의하면 그림 1. 과 같은 8 개 주요 분야의 위원회를 구성, 각각 정부와 산업계, 학계가 공동 참여하여 체계적인 소음 조절 정책을 수립하려 하고 있다.

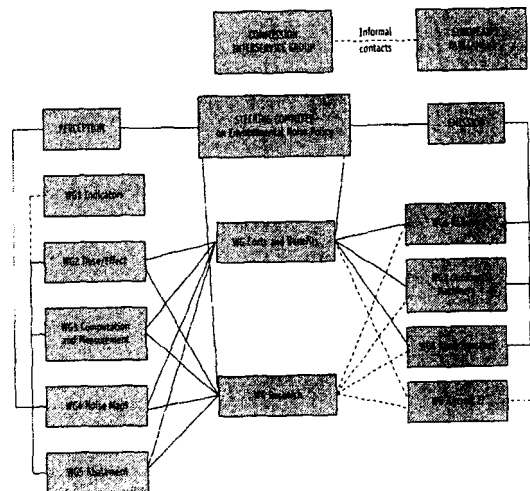


그림 1. 유럽 연합 (EU)의 소음 정책 체계도, [2]

이 밖에도 세계 보건 기구 (WHO)나 국제 표준 기구 (ISO) 등에서도 인간의 정신 및 신체 건강에 해악을 끼치지 않을 정도의 환경 소음에 대한 기준치 (guideline)를 마련해 놓고 있다 [3]. 최근의 소음 문제에 대한 인식은 단지 규제와 계몽을 통하여 정량적으로 dB 수준을 낮추는 것 뿐만 아니라, 음질 (sound quality)이나 심리 음향 (psycho-acoustics) 문제들에 까지 미치고 있다. 따라서 가까운 미래에 이러한 분야들에 대한 연구의 수요가 많아질 것으로 예상된다.

본 논문에서는 먼저 공력 소음 및 소음 제어 분야에서 현재 이루어지고 있는 연구 성과들에 대해 간략히 고찰한다. 현재의 연구 분야란 자동차 냉각 팬 소음, 헬리콥터 소음, HRSG 소음, 고속 철도 소음, 원심 압축기 소음, 수중 추진기 소음, 전산공력음향학, 농동 소음 제어, 충격파와동 감쇠 소음 등 학문적이면서 실용적인 여러 방법들이다. 따라서 이러한 방법론의 개발을 통하여 산업계에서 응용하고 부가 가치를 창출할 수 있는 기술적 토대를 마련하면서, 나아가 미래 연구의 경향을 파악하여 지금의 기술 수준을 한 단계 끌어 올리는 역할을 선도해 나가야 할 것이다.

## 2. 연구 현황

### (1) 자동차 냉각 팬 소음

팬 설계의 목적은 공기 역학적 성능을 극대화 하면서 소음 수준은 낮추는 것이다. 따라서 최적화의 목적 함수는 팬 효율과 소음 수준 - 두 변수로 이루어지며, 이들 사이의 가중치를 통하여 적절한 설계점을 정한다. 이 때 공기 역학 및 공력 소음 해석에 관련된 모듈들은 서로 유기적이며 구조적으로 연결되어야 한다. 소음에 대한 예측은 후류 패널법으로 유동장을 계산한 다음 Lighthill의 음향 상사법을 이용하여 구한다 [4]. 그림 2(a)-(b)는 자유 음장에서 회전하고 있는 팬의 후방류 (wake) 모습과 소음 스펙트럼이다.

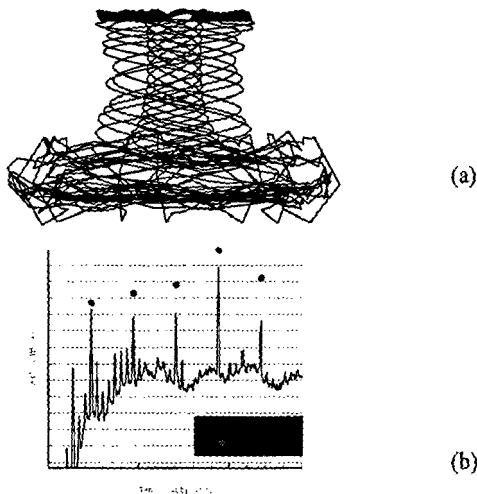


그림 2. 자동차 냉각 팬 소음: (a) wake geometry, (b) noise spectrum.

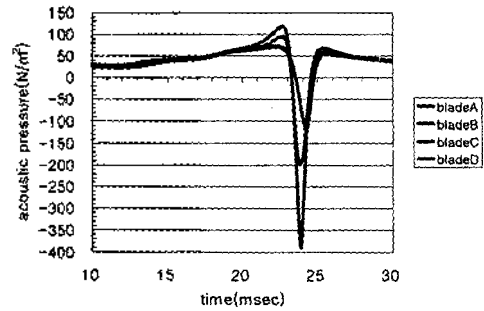


그림 3. 헬리콥터 소음: HSI noise.

### (2) 헬리콥터 소음

헬리콥터 로터에 의해 발생하는 소음에는 크게 단극자 (monopole) 타입의 두께 소음과 쌍극자 (dipole) 타입의 하중 소음이 있다. 두께 소음은 회전 유체의 질량 변동에 의해 발생하며, 하중 소음은 와류와 블레이드의 간섭과 같이 로터의 표면 형상에 관계한다. 그림 3.은 이러한 헬리콥터 소음의 HSI 소음을 계산한 결과이다 [5].

### (3) HRSG 소음

HRSG (Heat Recovery System Generator) 는 발전소 설비에 사용되며, 그 소음 예측에는 매우 구조적인 접근법이 요구된다. 일반적인 HRSG 는 그림 4 (a) 와 같이 다섯 개의 단으로 구성된다. 가스 터빈에 의해 발생된 소음은 벽면, 튜브 단, 90 도 회전부, 소음기 등 많은 성분들에 의해 산란된다. 따라서 이러한 모든 구조가 모두 고려되어야 한다. 그림 4 (b) 는 실험치와 비교된 예측 결과이다.

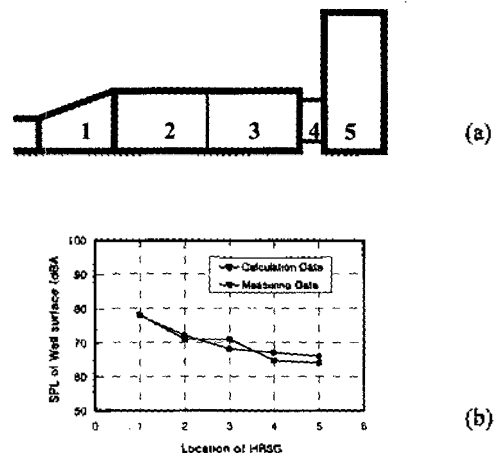


그림 4. HRSG 소음: (a) schematic, (b) sound pressure level.

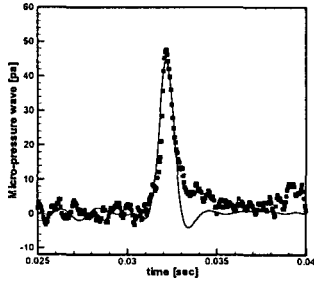


그림 5. 고속 철도 소음: micro-pressure wave.

(4) 고속 철도 소음

고속 철도가 터널부를 통과하면서 발생하는 소음은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 이들은 입구에서의 강한 압축파 (compression wave)와 출구에서의 미세 압력파 (micro-pressure wave)이다. 이 중 충격파와 비슷한 압축파는 일반적인 CFD 코드로 계산할 수 있다. 그러나 크기가 작은 음향파들은 수치적인 소산 (dissipation)으로 인하여 계산하기 힘들므로 CFD-Kirchhoff 연합법을 사용한다. 즉 근장에서 적절한 Kirchhoff 표면을 설정하여 그 위에서 압력값을 면적 적분하여 원장에서의 압력 변동을 예측한다 [6]. 그림 5. 는 이렇게 해서 구한 미세 압력파를 실험치와 비교한 것이다.

(5) 유체 기계 소음

유체 기계 유동은 여러 가지 물리 현상들이 혼재되어 있기 때문에 매우 복잡한 문제에 속한다. 주요한 소음 파라미터로는 난류 소음, 임펠러와 디퓨저 배인 사이의 간섭 소음, 임펠러 입구에서의 와동 소음, 그리고 컷 오프에서의 소음 등을 들 수 있다. 난류 효과까지 고려하기 위해서는 Navier-Stokes 방정식에 적절한 난류 모델을 사용하여 유동장을 계산해야 한다. 계산된 유동을 통하여 소음 성분들을 예측한다. 그림 6(a)-(b) 는 원심 압축기에 들어가는 회전부와 수치 해석으로 구한 소음 스펙트럼을 나타낸 것이다.

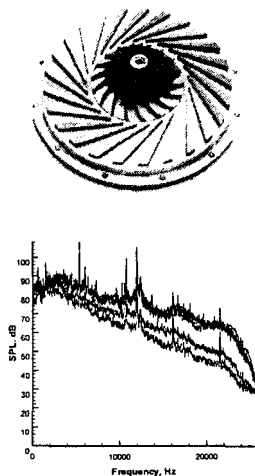


그림 6. 원심 압축기 소음: (a) photograph, (b) noise spectrum.

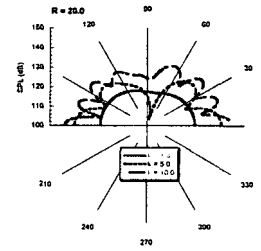


그림 7. 수중 추진기 소음: far-field sound directivity.

(6) 수중 추진기 소음

잠수함의 결 덮개가 있는 펜의 해석은 고전 공력음향학의 많은 도구들을 사용하여 이루어졌다. 유동 데이터를 얻는 데에는 페널법이, 덮개 안에 음향 원 (sound source)을 배치하는 데는 음향 상사법이, 그리고 원장에서의 음향파 전파 예측에는 경계요소법 (BEM)을 사용한다. 그림 7. 은 이러한 수중 추진기 소음 해석 결과이다.

(7) 전산공력음향학 (CAA)

음향 상사법, Kirchhoff 방법, 경계요소법과 같은 간접법 이외에도 음향의 전파를 직접 계산 할 수 있는 전산공력음향학이 컴퓨터의 발달과 함께 발전하고 있다. 이 방법을 이용하면, 음파의 회절, 반사, 통과, 산란 등을 직접적으로 모사할 수 있다. 최근 '최적화 개념'을 사용한 고차 해상도 해법들이 속속 개발되고 있다. 그 중 하나인 DRP (Dispersion-Relation-Preserving) 유한 차분법은 앞으로 음향 해석에 많은 가능성을 보여주고 있다. 그림 8. 은 이러한 방법을 이용하여 계산한 결과이다 [7].

(8) 능동 소음 제어 (ANC)

ANC 는 피드백과 구동기 (actuator)를 사용한 소음 제어 시스템이다 [8, 9]. 이러한 장치를 통하여 특정 주파수의 소음 레벨을 능동적으로 감소시킬 수 있다. 그림 9(a)-(b) 는 ANC 시스템의 구조와 소음 제어 결과를 나타낸 것이다.

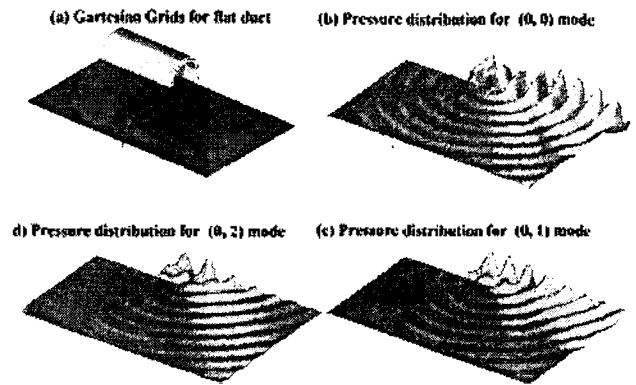
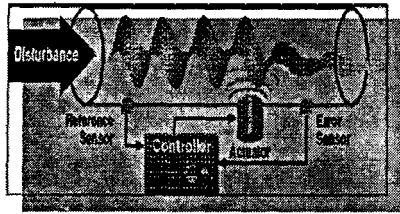
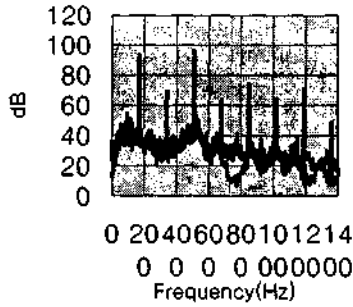


그림 8. CAA : mode analysis of duct noise.



ANC result in duct



(a)

(b)

그림 9. ANC : (a)schematic, (b) control result.

(9) 충격파-와동 간섭 소음

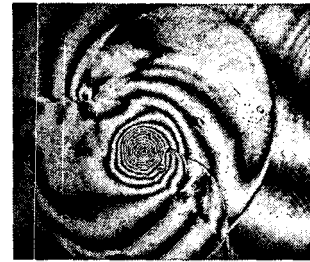
이 문제는 비선형 음향 원 (nonlinear sound source)의 연구에 속하는 것으로, 압축성 유동장에서 충격파가 와동과 간섭할 때 4극자 (quadrupole) 타입의 음향파가 발생한다. 이러한 음향파의 구조에는 복잡한 충격파 구조가 내재하고 있다 [10]. 따라서 전산 해석 및 실험을 통하여 이러한 구조를 파악하는 것이 중요하다. 그림 10(a)-(b)는 4극 구조를 관찰하기 위한 실험 및 개념적 모델이다.

3. 미래 전망

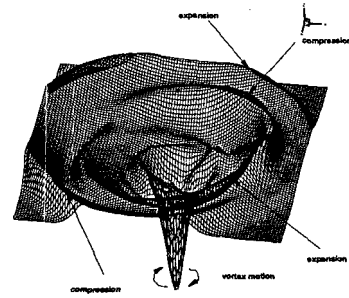
산업 구조가 고도화되고 인류의 생활이 더욱 윤택해질수록 보다 높은 삶의 질을 추구하는 것은 당연하다. 소음은 우리의 일상 생활에 가장 밀접히 연관되어 있으며 직접적으로 그 영향을 받는 대표적인 분야이다. 따라서 소음 공학은 머리말에서도 언급한 바와 같이 환경 과학과 인간 공학으로서의 측면을 지닌다.

지금까지의 연구가 주로 소음을 예측하고 측정하여 그 소음원을 해석하는 데 집중이 되었던 반면에 21 세기의 소음 공학에서는 인류의 삶의 질을 향상시키는 데 더욱 관심을 가지게 될 것이다. 고도의 소음 저감 기술은 물론이며, 생체 과학과 연계한 음질에 대한 연구라든지 심리학과 연계한 심리 음향학 등의 연구들이 각광을 받을 것으로 예상된다. 이러한 분야들은 모두 복합적인 제 학문 분야의 결합으로 구현될 수 있으므로, 학제적인 연구가 활성화되고 보다 많은 분야 연구자들의 참여가 요구된다.

인류의 역사에 있어 모든 인간의 학문이란 그 시대의 필요에 의해 발생하며 발전하고 소멸한다. 공력소음 및 소음제어 분야에 대한 연구의 수요도 환경 소음 문제와 인류 복지 향상이라는 시대의 요구와 밀접한 관련이 있다. 이러한 문제들이 추구되어지는 한 이 분야에 대한 발전 가능성은 거의 무한하다고 하겠다.



(a)



(b)

그림 10. 충격파-와동 간섭: (a) experiment, (b) conceptual model.

참고문헌

- [1] B. H. Sharp, "A Perspective on noise Control Technology and its Future Implementation", *Internoise 99*, Florida, USA, 1999.
- [2] *The Noise Policy of the European Union, Year 2 (1999-2000)*, European Communities, 2000.
- [3] B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela and K. T. Goh, *Guidelines for Community Noise*, World Health Organization, Geneva, 2000.
- [4] J. H. Lee, K. Cho and S. Lee, "Application of Acoustic Analogy to Automotive Engine-Cooling Fan noise Prediction", *AIAA Journal*, Vol. 38, June, 2000.
- [5] S. Lee and S. Shin, "A Comparison of Linear and Nonlinear Kirchhoff Formulation in Rotor High-Speed Impulsive Noise Prediction", *HPC Asia 97 Conference*, Seoul, 1997.
- [6] T. Yoon and S. Lee, "Prediction and Validation on the Sonic Boom by a High Speed Train entering a Tunnel", *Journal of Sound and Vibration*, 2000 (accepted).
- [7] C. Cheong and S. Lee, "The Effects of Discontinuous Boundary Conditions on the Directivity of Sound from a Piston", *Journal of Sound and Vibration*, 2000 (accepted).
- [8] S. Cho, Y. Lee and S. Lee, "Active Control of Thermo-Acoustic Instability in Cylindrical Ducted Combuster", *AIAA Journal*, 2000 (accepted).
- [9] W. H. Park, S. Lee and S. Hong, "Stall Control with Surface Buzzing on a NACA 0012 Airfoil", *AIAA Journal*, 2000(accepted).
- [10] S. M. Chang and K. S. Chang, "On the Shock-Vortex Interaction in Schardin's Problem", *Shock Waves*, Vol. 10, No. 5, 2000.