

# 파리의 청각 구조를 이용한 음원 방향 감지 기술

## Estimation of sound source direction using the hearing structure in the parasitoid fly *Ormia ochracea*

이상문† · 박영진\* · 박윤식\*\*

Sangmoon Lee, Youngjin Park, and Youn-sik Park

거쳐 신경세포로 전달된다.

### 1. 서 론

음원 방향 감지 기술은 공학적으로 센서 어레이를 통해 측정된 신호를 이용하여 음원의 방향을 감지하는 기술로 인지형 로봇, 모니터링 시스템 등에 적용되어 사용자와 시스템간의 상호작용을 위한 기반 기술로 알려져 있다.

기존의 음원 방향 감지 기술(이하 방향 감지 기술)은 주로 센서에서 측정된 신호 간의 도달시간지연차(Time Delay of Arrivals, TDOA)를 이용하여 사용되었다. 하지만, TDOA방법은 배치된 센서간의 거리가 짧아질수록 낮은 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 적용의 대상에 따라서 배치 가능한 센서의 위치가 다르며, 제한적인 경우에는 TDOA방법은 방향 감지 성능을 보장할 수 없다.

센서 어레이의 사이즈가 작아질수록 보다 낮은 감지 성능을 가진다는 한계를 극복하고 어레이 구조를 개선하려는 목적으로 작은 곤충들이 가지는 청각 구조에 관심을 두었다. 작은 동물 및 곤충의 경우, 양이(耳)간의 거리가 매우 짧지만 방향 감지가 가능한 것에 착안하여 그들의 청각 구조를 살펴보는 것으로 연구를 시작하였다.

본 연구는 이처럼 센서간의 거리가 아주 짧은 경우에 적용가능한 방향 감지 기술에 관심을 가지며 파리와 같은 특정 곤충의 청각 구조, 즉 기계적 결합 구조를 모방한 방향 감지 모델에 대해서 살펴보도록 한다.



그림 1 파리의 청각 위치

### (2) 파리 청각 모델

파리의 청각 모델은 1995년 R. N. Miles에 의해 그림 2와 같이 제안되었다. 두 개의 Membrane사이의 연결조직은 Spring과 Dashpot으로 모델링 되고 외부 Cuticle 구조는 Lever로 모델링된다.

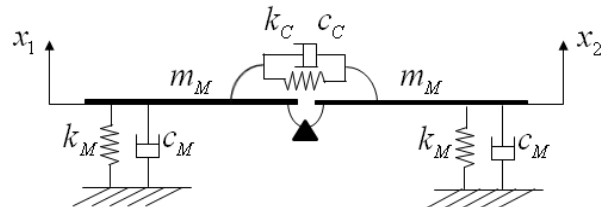


그림 2 파리 청각 모델

Membrane의 물리적 특성은  $m_M$ ,  $k_M$ 과  $c_M$ 으로 묘사되고 Inter-tympanal Bridge는  $k_C$ 와  $c_C$ 로 나타낸다.

### 2. 본 론

#### 2.1 파리(*Ormia ochracea*)의 청각 구조와 간단화된 모델

##### (1) 파리의 청각 구조

그림 1과 같이 파리의 청각은 앞가슴에 위치한다. 직접적으로 전달된 음파는 앞가슴에 위치한 두 개의 Membrane에서 기계적 진동으로 변환되고 이는 내부에 존재하는 줄기를

#### 2.2 파리 청각 모델을 이용한 방향 감지 기술

##### (1) 비대칭형 모델

생물학적으로 파리 청각은 대칭성을 띠지 않거나 방향 감지 기술을 위한 모델로서는 비대칭적인 구조가 변화하는 환경의 감지에 보다 효율적이다. 이에 본 연구에서는 기존에 제안된 대칭모델의 물리치를 비대칭이라 가정하고 그림 3과 같은 모델을 제안한다.

Capital M은 Membrane의 물리적 특성을 나타내며  $m_{ML/R}$ ,  $k_{ML/R}$ ,  $c_{ML/R}$ 은 왼쪽/오른쪽 Membrane의 물리치를 나타내며  $k_C$ ,  $c_C$ 는 Inter-tympanal Bridge의 특성을 나타낸다.

† 이상문; 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : smansl@kaist.ac.kr  
Tel : (042) 350-3076, Fax : (042) 350-8211

\* 한국과학기술원 기계공학과

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

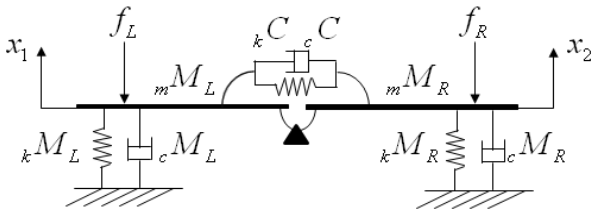


그림 3 비대칭 청각 모델

비대칭 모델의 운동방정식은 식 (1), (2)와 같이 표현된다.

$$m_M \ddot{x}_L = -(k_M + k_C)x_L - c\dot{x}_R + f_L \quad \dots (1)$$

$$m_M \ddot{x}_R = -(k_M + k_C)x_R - c\dot{x}_L + f_R \quad \dots (2)$$

측정되는  $x_1$ 과  $x_2$ 간의 전달함수는 식 (3)와 같이 표현된다.

$$H_{\frac{x_R}{x_L}}(j\omega, \tau) = \frac{\text{Re}(num) + j \text{Im}(num)}{\text{Re}(den) + j \text{Im}(den)} \quad \dots (3)$$

$$\text{Re}(num) = [-k_C + (-m_M \omega^2 + k_M + k_C) \cos \omega\tau - (c_M + c_C) \omega \sin \omega\tau]$$

$$\text{Im}(num) = [-c_C \omega + (-m_M \omega^2 + k_M + k_C) \sin \omega\tau + (c_M + c_C) \omega \cos \omega\tau]$$

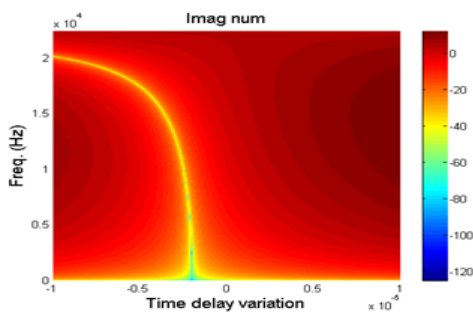
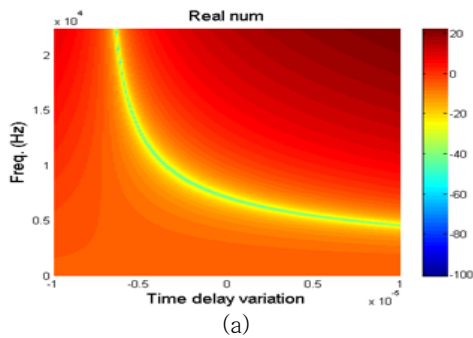
$$\text{Re}(den) = [-m_M \omega^2 + k_M + k_C - c_C \omega \sin \omega\tau + c_C \omega \cos \omega\tau]$$

$$\text{Im}(den) = [(c_M + c_C) \omega - c_C \omega \sin \omega\tau - c_C \omega \cos \omega\tau]$$

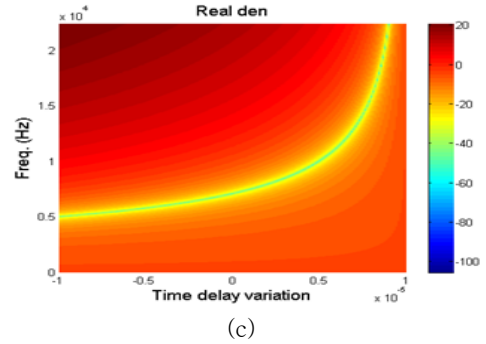
(2) Inter-Tympanal Transfer Function(ITTF) 특성

식 (3)으로부터 ITTF가 가지는 특성은 Membrane과 Inter-tympanal Bridge의 물리치와 연관성을 찾을 수 있으며 이로부터 원하는 ITTF를 조절하여 방향 검지에 적용할 수 있을 것이다.

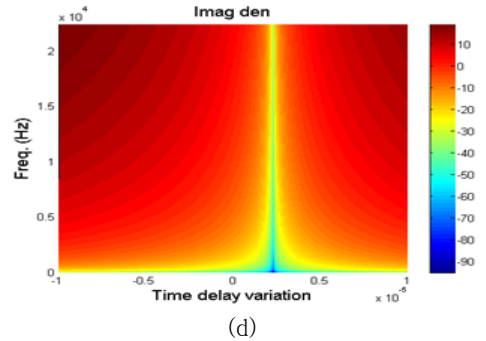
식 (3)에서 분자/분모가 가지는 실수부와 허수부의 크기를 그려보면 그림 4와 같이 나타난다.



(b)



(c)



(d)

그림 4 (a) 분자의 실수부 (b) 분자의 허수부

(c) 분모의 실수부 (d) 분모의 허수부

## 4. 결 론

각각의 응답들은 Membrane과 Bridge가 가진 물리치에 의해 결정된다. 특히 Peak와 Notch들의 변화양상을 물리량의 변화를 통해 조절할 수 있으며 최종적으로 원하는 응답 형태를 얻을 수 있다. 예를 들어 그림 5와 같이 음원의 방향에 따라 서로 다른 ITTF의 응답을 획득할 수 있다. 이러한 응답을 가진 모델을 이용하여 방향 검지 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

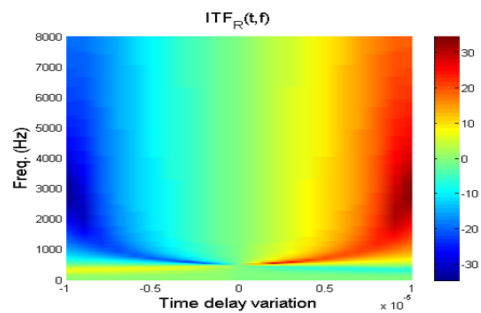


그림 5 ITTF 크기

## 후 기

이 연구는 지식경제부 지원으로 수행하는 21세기 프론티어 연구개발사업(인간기능 생활지원 지능로봇 기술개발사업)과 5차년도 두뇌한국(BK)21 사업의 일환으로 수행됨.