

<논 문>

유전자 알고리즘을 이용한 진보된 헬름홀쯔 공명기의 설계 기법

Advanced Design Technique of Helmholtz Resonator Adopting the Genetic Algorithm

황 상 문* · 황 성 호** · 정 의 봉*

Sang-Moon Hwang, Sung-Ho Hwang and Weui-Bong Jeong

(1998년 8월 17일 접수 : 1998년 10월 30일 심사완료)

Key Words : Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), Helmholtz Resonator(헬름홀쯔 공명기), Distributed Impedance(분포된 임피던스), Fitness Function(적합도 함수), Constraint(구속 조건), Transmission Loss(투과 손실)

ABSTRACT

For an analysis of some Helmholtz resonators, it is likely to be more appropriate to consider acoustic field within cavity than just the 1-DOF analogous model. However, a design method that considers increased parameters than the lumped model, is not a trivial process due to the trade-off effect among the parameters. In this paper, the genetic algorithm, one of the optimization technique that rapidly converges to global fittest solution and robust convergence, is applied to the design process of Helmholtz resonators. Results show that the genetic algorithm can be successfully and efficiently used to find the resonant frequencies for both lumped model and distributed model.

1. 서 론

진동이나 소음에 관한 연구는 비교적 역사가 짧으나 최근에 그 중요성이 강조되고 있으며, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 헬름홀쯔 공명기 역시 구조적으로 간단하고 적용이 편리하여 보편적으로 이용되고 있으며 최근까지도 관심있는 주제로 다루어지고 있다.

헬름홀쯔 공명기에 관한 연구는 공명 주파수의 예측과 실험결과의 불일치 및 유효 흡음 주파수의 폭

에 영향을 주는 감쇠에 대한 해석에 집중되었고, 최근에는 공동의 형상에 따른 공동내의 고차 음향 모드가 중요한 역할을 한다는 것을 규명하여, 그 결과 과거부터 사용되었던 헬름홀쯔 공명기의 기본 공명 주파수 뿐만 아니라 공동 내의 파동운동의 정확한 추측과 분석으로 두 위치 이상의 음파에 대하여 흡음 및 방사 효과를 얻을 수 있는 설계가 가능함을 확인하였다. 그러나, 이론적으로는 잘 정립된 해석연구에 대하여 실제적인 설계시에는 여러 가지 문제점을 지적할 수 있다. 고전적인 예측방법을 통한 설계는 그 방법이 매우 간단하나 내부 고차 모드의 영향이 전혀 고려되지 않아서 공명기의 효과를 최대한 발휘할 수 없고, 현재 새로이 제시된 해석 기법에 의한 설계는 상대적으로 변수가 다양하고 그 해석

* 정회원, 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소

** 부산대학교 기계설계공학과 대학원

모델이 복잡하여 정확한 예측이 어렵고 각각의 변수 사이에 비독립성과 trade-off가 있으므로 그 설계과정이 상당히 복잡하고 비효율적이라 할 수 있다.

유전자 알고리즘(genetic algorithm)은 70년대부터 시작되어 활발히 연구가 진행되고 있는 최적해를 찾는 방법으로 일반성과 강력한 수렴성으로 공학의 여러 분야에 적용되고 있는 최적화 기법이며, 최근 회전기계의 밸런싱이나 액추에이터의 최적 설계 등 진동 저감 설계의 연구 사례가 꾸준히 발표되고 있다^(1,2). 따라서, 본 논문에서는 환경에 적응하여 가장 적합한 형태로 수렴하게 되는 성질로 이미 최적화에 널리 사용되고 있는 유전자 알고리즘을 이용하여 보다 효율적이고 적용가능한 공명기의 설계 기법을 제시하고자 한다.

2. 헬름홀츠 공명기의 이론적 분석

2.1 개 요

헬름홀츠 공명기는 Fig. 1과 같이 상대적으로 큰 부피를 갖는 공동(cavity) V 가 강성을 주는 스프링(spring) 요소로, 파이프와 연결하는 목(neck) 부위의 유체 매질과 그 운동에 따르는 부가질량(added mass) m 이 관성(inertial) 요소로, 목안의 점성 마찰이 저항(resistive) 요소로 작용하는 1자유도(1 Degree of Freedom)계로 나타낼 수 있으며, 이는 기계계 또는 전기계와 유사(analogous)하다⁽³⁾. 공명기는 공명 주파수에 해당하는 음의 위상이 입사된 음의 위상과 180° 만큼 다르게 되어, 저주파수 대역에서 주파수 폭이 작고 감쇠량이 큰 상쇄가 일어나게 된다.

헬름홀츠 공명기의 임피던스를 에너지 손실이 없다는 가정하에 연속방정식과 운동량 방정식으로 해석하면 식 (1a)와 식 (1b)와 같이 된다⁽⁴⁾.

$$Z_{HR} = R + Xj \quad (1a)$$

$$R = \frac{l_0}{\pi a^3} \sqrt{2\mu\rho\omega}$$

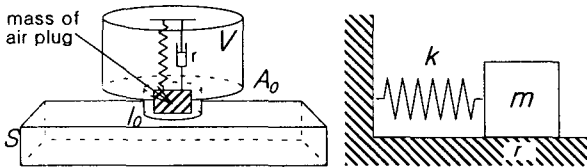


Fig. 1 Rough model and Analogous model of Helmholtz resonator

$$X = \frac{\omega\rho l'}{A_0} - \frac{\rho c^2}{\omega V} + \frac{l_0}{\pi a^3} \sqrt{2\mu\rho\omega} \quad (1b)$$

c : 음속

l_0 : 목의 길이

a : 목의 반경

A_0 : 목의 면적

V : 공동의 체적

$l' = l_0 + \Delta l$: 목의 유효길이

점성계수 μ 를 무시한다면 공명기의 공명주파수는 임피던스가 최소가 될 때 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$f_{resonate} = \frac{c}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{A_0}{Vl'}} \quad (2)$$

식 (2)에서 알 수 있듯이 형상에 의한 공명주파수의 영향은 찾아볼 수가 없다. 그러나 최근의 연구 결과에서는 같은 체적을 갖는 공동의 경우라도 형상이나 치수에 따라 공동내의 파동운동이 매우 다르게 나타난다는 것이 밝혀졌다⁽⁵⁾. Alster는 공명기 내의 질량 입자 운동에 의한 영향을 고려하여 다양한 형상의 공동을 갖는 공명기의 공명 주파수를 해석하였고⁽⁶⁾, Panton은 원통형 공명기에 대해 공명기의 목이나 공동의 치수가 파장의 5~10%에 달하면 파동운동이 중요한 영향을 미침을 설명했다⁽⁷⁾. 또한, Davis의 3인은 머플러의 여러 형상들에 대하여 그 영향과 특징들을 비교 분석하였다⁽⁴⁾. 이들은 직접적으로 헬름홀츠 공명기의 고차 모드의 영향에 대한 언급은 없었으나, 공동이 길 경우에 대하여 길이에 의한 공명의 변화(length-controlled phenomenon)를 분포된 임피던스(distributed impedance)로 설명하고 있다. 그러므로 이러한 배경을 바탕으로 헬름홀츠 공명기의 설계시 고차 모드를 활용함으로써 효과의 극대화와 이론적 계산의 타당성의 고찰이 가능하다고 사료되며, 고차 모드의 활용을 위하여 임피던스식에 대한 정밀한 해석 모델의 설정이 우선시 되어야 할 것이다.

2.2 임피던스식의 확장

먼저 고차 모드를 고려하는 설계를 하기 위해서는 간단하게 고차 모드가 고려된 공명기의 임피던스를 살펴볼 필요가 있다. 공명기의 임피던스는 레지스턴스가 충분히 작은 경우 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다⁽⁵⁾.

$$Z_{HR} = j\rho\omega\frac{8a}{3\pi} + j\rho\omega l' + \rho c^2\frac{A_0}{j\omega V}$$

$$= Z_{rad} + Z_{neck} + Z_{cavity} \quad (3)$$

Z_{rad} 은 방사임피던스이며 고전적인 해석에서는 무시되는 항으로 영향은 그렇게 크지 않다. Z_{neck} 은 동적 리액티브(reactive) 임피던스이고, Z_{cavity} 는 공동의 임피던스를 표시하며, 고차 모드를 고려하기 위해서는 Z_{cavity} 의 수정이 필요하다.

공동을 한쪽이 막힌 관(pipe)으로 보고, 공동 내의 정재파(standing wave)를 관 내부의 공명(resonance)으로 생각하면 공동에 분포된 임피던스는 식 (4)와 같이 유도되며, 식 (5)와 같이 전개할 수 있다⁽⁸⁾.

$$Z_{cavity} = Z_{n0}/S^2 = -j\frac{\rho_0 c}{S} \cot kL \quad (4)$$

$$Z_{HR} = j\rho\omega\frac{8a}{3\pi} + j\rho\omega l' - j\frac{\rho_0 c}{S} \cot kL \quad (5)$$

그러나, 식 (5)는 최장축(the longest axial) 방향에 대하여 1차원적인 정재파만 고려하였으므로 완벽하게 단일 형태의 공동 모델링이라고는 할 수가 없다. Davis는 식 (5)에 대하여 동심원형 공명기를 언급하였으며⁽⁴⁾, 본 논문에서는 일반적인 특성에 관한 고찰에 초점을 두어 임의로 Fig. 1과 같이 수직 방향으로 길이가 긴 간단한 형태의 헬름홀츠 공명기에 대하여 적용시켰다.

3. 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)

3.1 기본 개념

유전자 알고리즘은 자연세계의 진화 현상에 기초하여 J. Holland에 의해 1975년에 개발된 전역적(global)인 최적화 알고리즘이다. Darwin의 적자 생존(survival of the fittest)의 이론을 바탕으로 어떠한 문제를 주어진 적합도 함수 $Y=f(x)$ 에 대한 가장 적합한 해 x 를 찾는 모의 진화(simulated evolution)형의 최적화 알고리즘이라 할 수 있다⁽⁹⁾. 유전자 알고리즘은 전역적(global) 최적해를 발견할 확률이 높다는 장점과 적합도 함수에 대한 수학적 제약이 거의 없는 일반성을 가지고 있으며, 그 수렴 과정의 임의성(random process)으로 예상하지 못했던 의외의 결과도 얻을 수 있어 원하는 설계 조건에 대하여 여러 가지 형상이 제안될 수도 있다. 이러한 장점으로 전자기(electromagnetics) 분야의 경우 94

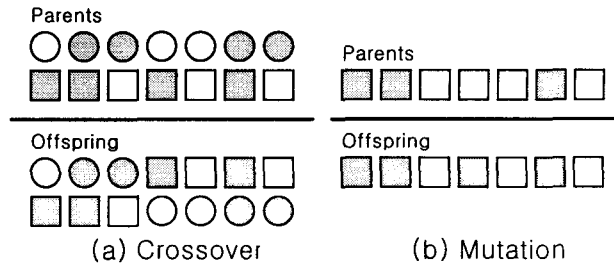


Fig. 2 Crossover and mutation

년부터 발표되는 등 최근에 들어 유전자 알고리즘은 여러 설계 분야에서 활발하게 이용되기 시작하였다⁽¹⁰⁾.

Fig. 2는 유전자 알고리즘의 주요 연산 과정을 도시한 것으로, 이는 생물들의 유전인자인 염색체(chromosome)가 진화하는 과정과 동일하게 재생산(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)를 거친다⁽¹¹⁾. 재생산 과정은 각각의 염색체가 가지는 적합도에 따라서 자신을 복제하는 과정이며, 교배는 부모세대의 성질을 가지면서도 보다 새로운 형질을 갖기 위해 개체간의 정보를 교환하고 탐색 영역을 확장하는 과정이다. 여기서 교배를 통하여 국지적(local)인 수렴에 빠지는 경우도 있으므로 돌연변이로써 전역적 탐색능력을 향상시킬 수 있다.

3.2 프로그램 구성

유전자 알고리즘의 일반적인 성질을 결정하는 가장 중요한 매개변수(parameter)는 개체군의 크기, 교배·돌연변이 확률을 들 수 있다. 개체군(population)의 크기가 작으면 계산속도는 향상되지만 개체의 다양성이 손실되며, 그 반대의 경우에는 최적해에 도달할 확률이 증가하는 대신 많은 기억 용량과 시간이 소요된다. 그리고, 교배율과 돌연변이율이 클 경우 넓은 탐색 공간을 확보하여 진화의 초기에는 유리하지만 최적해로 수렴하는 수렴 속도가 저하되며, 그 반면 작은 교배율과 돌연변이율일 경우에는 반대의 특징을 갖게 된다. 따라서 적절한 값의 선택이 중요하며, 본 논문에서는 기본적으로 Table 1에서와 같이 성능이 우수하다고 인정받은 Dejong의 매개변

Table 3 Dejong's parameters

The number of initial population	50
The number of iterations	200
Probability of crossover	0.6
Probability of mutation	0.005

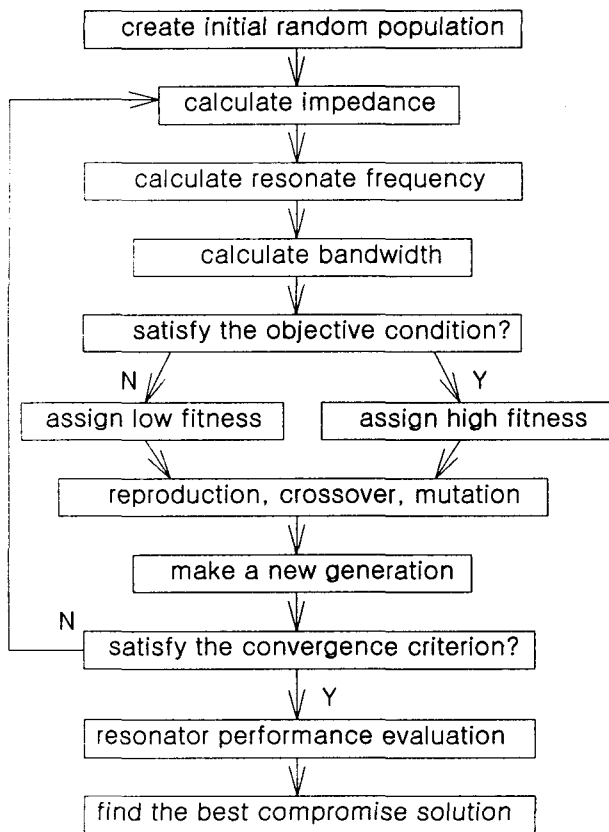


Fig. 3 Flowchart of resonator design

수를 사용하였으나, 프로그램의 확장시 필요에 의해 가변적으로 사용하였고⁽⁹⁾, 교배 전략으로는 룰렛 휠 (roulette wheel) 또는 몬테카를로 모델로 알려진 적응도 비례전략을 사용하였다.

공명기 설계의 경우 유전자 알고리즘의 흐름도는 Fig. 3과 같고 구조의 명확한 이해를 위하여 단순 유전자 알고리즘 (simple genetic algorithm)을 사용하였다. 또한, 프로그램을 모듈 (module) 형식으로 구성하여 프로그램의 확장이 용이하도록 개발하였으며, 형상이나 공간에 대한 여러 가지 구속조건을 적용할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 공명기의 설계를 위한 탐색공간의 일부를 도시한 것이다. 투과손실이 20 dB 이상 높게 나오는 형상들이 무수히 많고 3~4개의 변수가 사용되므로 고전적인 해석 방법을 사용하더라도 최적화 설계가 간단하다고는 말할 수가 없을 것이며, 이러한 요소를 모두 고려한 프로그램의 구성이 제시되어야 할 것이다.

3.3 적합도 함수 작성

유전자 알고리즘이 정상적으로 수렴하기 위해서는 원하는 모델에 적절한 적합도 함수의 작성이 가장

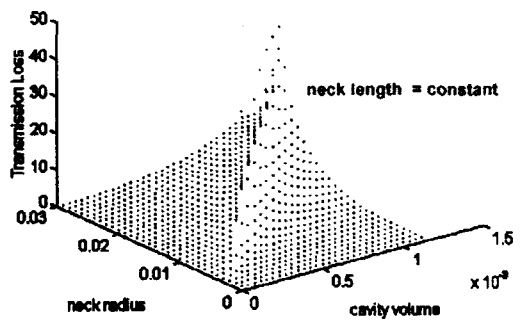
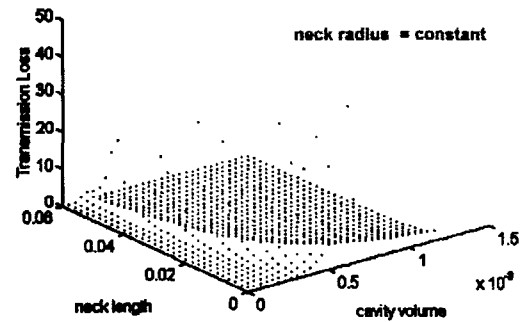
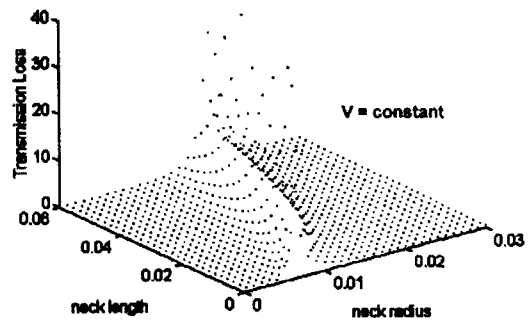


Fig. 4 The search field for resonator design (use lumped resonator model : set 300 Hz)

중요하다. 헬름홀츠 공명기의 경우 각 개체의 공명 주파수나 임피던스를 사용한 적합도 함수가 이상적이라 판단되어지며, 강건한 수렴을 위해서 가중치를 주는 것도 효과적이라 사료되어진다. 본 논문에서의 적합도 함수는 식 (6)과 같고 ± 1 Hz일 경우에 대하여 가중치를 주어 수렴도를 향상시켰다.

$$\eta = \frac{|f_{wanted} - f_{resonate}|}{f_{wanted}} \times 100(\%) \quad (6)$$

여러 가지 적합도 함수를 만들어 프로그램을 실행한 결과 공명주파수를 이용하는 것이 가장 효과적으로 수렴하는 것으로 관측되어졌다. 임피던스의 경우 계산과정이 가장 짧지만 값의 차이가 너무 커서 이

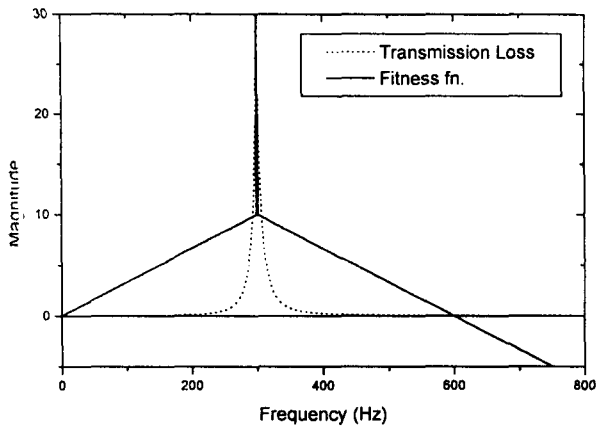


Fig. 5 Comparison of TL and Fitness fn. (setting frequency : 300 Hz)

용하기가 어렵고, 투과 손실의 경우 그 크기는 이론상 무한대이므로 적합도 함수로서 수렴치 근처에서는 매우 효과가 뛰어나지만 그 외의 경우에는 값이 거의 0에 가까우므로 탐색공간의 충분한 활용이 어려운 경향을 가질 수가 있다. 또한 유전자 알고리즘 프로그램 수행 시에 계산되어지는 모델들의 투과 손실 곡선의 형상이 다르므로 투과손실 곡선을 적합도 함수로 이용하는 것보다는 투과 손실의 대역폭 (bandwidth)을 계산하여 제안된 모델이 여럿일 경우에 이상적인 선정 기준으로 활용하는 것이 효과적이라 할 수 있다. Fig. 5는 투과손실과 적합도 함수를 비교한 그림으로 투과손실처럼 우수한 수렴성을 가지면서도 전역 탐색능력이 향상되어 있음을 추측할 수 있다.

유전자 알고리즘으로 헬름홀츠 공명기를 설계하려면 이에 따른 제약조건이 염색체(chromosome)에 대한 환경으로 작용한다. 특수한 형태에 대하여도 적용이 가능하지만 본 논문에서는 일반성에 관한 고찰에 초점을 맞추어 설계 변수를 Table 2처럼 두어 35 bit의 염색체를 구성하였다. 탐색이 가능한 주파수 범위는 이론상 제한이 없지만 설계 변수의 한계상 고주파에 대한 공명주파수 설정은 어렵다고 여겨

Table 5 Resonator parameter identification

Location	Para.	Setting field (mm)	Chrom. len. (bit)	Actual field (mm)
Neck	Length	5.0~55.0	9	5.0~56.2
	Radius	0.0~50.0	9	0.0~51.2
Cavity	Length	50~300	8	50~306
	Radius	0.0~50.0	9	0.0~51.2

진다. 본 논문의 프로그램에서는 설계변수들의 범위 자체가 구속조건(constraint)으로 작용하며, 설계가 불가능한 경우($r_{neck} > r_{cavity}$)는 적합도 함수를 0으로 두어 계산의 효율성을 높였다.

3.4 프로그램의 확장

넓은 적용범위를 얻기 위해서는 확장된 형태의 프로그램을 생각할 수 있다. 즉, 공명기의 내부 고차 모드까지 고려한 프로그램으로 확장시키기 위해서는 두 개의 수렴치를 가지는 유전자 알고리즘을 고려하여야 한다. 공동내의 고차 모드는 기본 공명주파수에서처럼 20 dB이상의 높은 투과손실을 얻을 수 있어 최근 관심있게 연구되고 있는 분야이나 공동의 형상 외에도 공명기 목의 수치 변화에 대해서도 trade-off 현상이 발생하는 등 설계가 매우 어렵다고 할 수 있다. 이러한 조건을 만족시키기 위하여 본 프로그램에서는 두 공명주파수를 임피던스로부터 구하고 두 개의 적합도를 각각 식 (6)을 이용하여 계산하였다. 내부 고차 모드의 경우에는 공동의 길이 방향이 가장 크게 영향을 미치므로 내부 공명주파수의 적합도로 공동의 길이를 선택하고 기본 공명주파수로 나머지 성분들을 결정하여 두 경우 모두 만족하며 수렴하도록 유도할 수 있다. Fig. 6은 확장된 프로그램의 염색체 교배과정을 도시한 것으로, 공명기의 설계 변수들에 대하여 여러 가지 교배 방식으로 수행하여 본 결과 가장 효율적인 형태인 2점 교배 방식을 채택하였다. 또한, 초기 탐색시 더욱 넓은 탐색공간의 활용을 위하여 평균 적합도에 따라 가

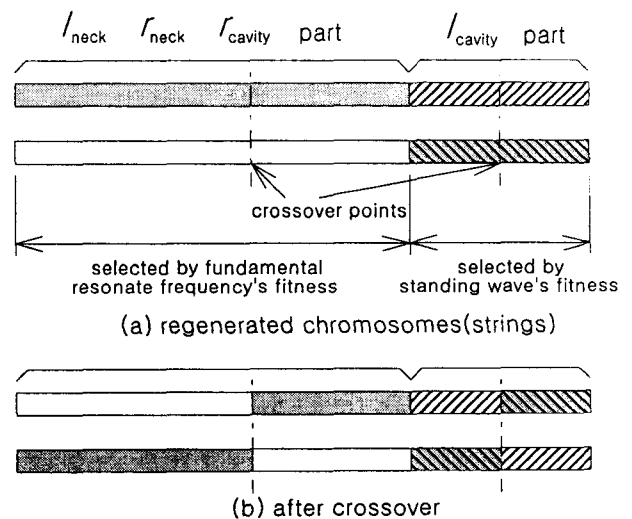


Fig. 6 Modeling of two point crossover

변적인 돌연변이율을 사용하도록 프로그래밍하였다.

부가적으로, 프로그램을 조금 더 확장시킨 형태를 고려할 수 있다. 즉, 공명기의 성능을 개선시키기 위하여 대역폭의 넓고 좁음이나 공동 부피의 대소를 계산함으로써 유전자 알고리즘을 이용한 여러 가지 모델 중 가장 적절한 모델을 제안할 수도 있다. 일반적인 대역폭으로 계산해본 결과 그 대역폭이 너무 작고 모델간의 차이가 거의 없어 실용적이지 못함을 알 수 있었다. 그런 이유로 본 논문에서는 투과 손실이 소음의 감소를 감지할 수 있는 최저 수치인 3 dB을 기준으로 한 유효 감쇠폭을 계산하였으며, 적합도 함수에 유효 감쇠폭의 크기만큼 가중치를 주도록 프로그래밍하였다.

4. 프로그램 결과

Table 3은 수렴하고자 하는 공명주파수를 300 Hz로 두고 프로그램을 5회 수행하였을 때의 결과를 나타내고 있다. Embleton의 계산법으로 설계된 기존 모델이 3 Hz의 오차를 가지는 반면 모든 경우에 오차가 0.5 Hz 이하로 만족할만한 수렴 결과와 대역폭의 범위가 10배 정도 넓어지는 것을 확인할 수 있다. 또한, 매개변수들의 수치는 다양한 값을 가지며 동일한 공명기 형태에서도 Fig. 7처럼 다양한 모양을 가짐을 알 수 있다. 그 이유는 유전자 알고리즘은 초기치가 임의의 값(random fn.)으로부터 시작하고 구속조건이 매개변수의 수보다 작을 경우에는 수렴 조건이 까다롭지 않아 여러 값으로 수렴할 수 있기 때문이다. Fig. 8은 Table 3에서 제안된 모델에 대한 투과 손실 곡선을 나타내며, 다양한 형상에 관계없이 거의 비슷한 효과를 나타내므로 요구 조건에 따라 적절한 선택이 이루어질 수 있다.

위 결과에 이어서 프로그램의 확장의 타당성을 검

증하기 위하여 동일한 Table 1의 변수들을 사용하여 내부 고차 모드를 고려한 경우의 프로그램을 수행한 결과, 두 지점에 대해 정확히 수렴함을 알 수 있었다. 그러나, 구속조건보다 설계 변수가 여전히 많으므로 여러 가지 수치로 수렴하는 경향이 나타나며, 동일한 내부 공명주파수에 대하여 공동의 길이도 여러 가지 값을 취하고 있다. Table 4와 Fig. 9

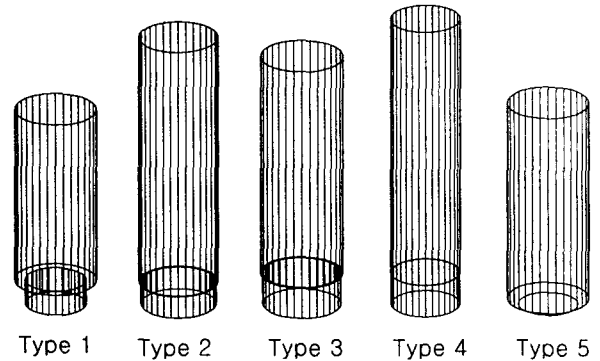


Fig. 7 Various resonator model

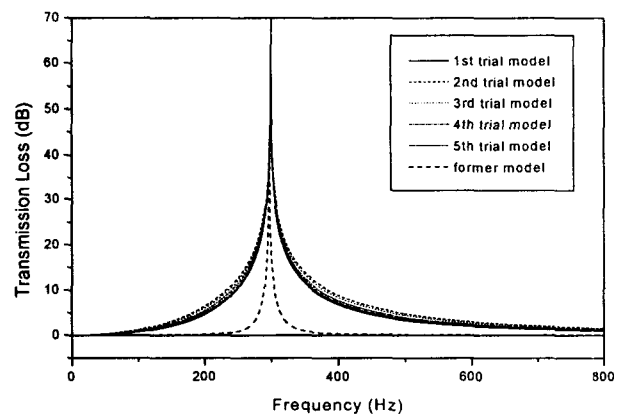


Fig. 8 TL of various suggested model

Table 6 Program simulation results (setting frequency : 300 Hz)

Trial No.	Last Gen.	L_{neck} (mm)	R_{neck} (mm)	L_{cavity} (mm)	R_{cavity} (mm)	Resonate Frq.(Hz)	Bandwidth (Hz)
Former M.	-	5.00	5.50	190.80	19.30	297.77	47.06
1	43	28.07	37.40	200.78	50.26	299.93	380.59
2	20	26.03	46.19	288.00	48.52	299.90	485.05
3	13	36.49	47.25	255.12	49.90	299.87	440.51
4	64	37.23	41.88	298.70	42.40	300.06	426.03
5	30	6.75	33.19	230.00	50.25	299.56	397.74

Table 7 Program simulation results (setting Frq. : resonance(300 Hz), standing(900 Hz))

Trial No.	L_{neck} (mm)	R_{neck} (mm)	L_{cavity} (mm)	R_{cavity} (mm)	Resonate Frq.(Hz)	Standing wave Frq.(Hz)	Bandwidth(Hz)
Former	5.00	5.50	190.80	19.30	254.00	988.00	32.72
1	12.84	12.69	254.00	12.83	297.35	901.07	24.91
2	5.51	15.66	254.97	16.05	297.81	901.51	39.25
3	5.24	18.99	251.00	19.27	297.06	902.72	56.26
4	5.12	18.85	251.00	19.20	297.13	902.88	55.88
5	7.54	26.38	242.29	26.76	291.33	899.60	105.36

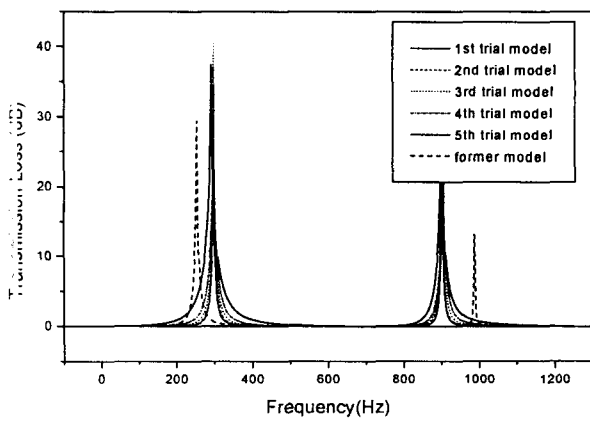


Fig. 9 TL of resonator designed by distributed impedance setting Frq. : resonance(300 Hz), standing(900 Hz)

는 기본 공명 주파수와 내부 공명 주파수 두 곳에 대한 수렴 결과와 투과 손실을 나타내며, 약 10%의 오차를 가지는 기존의 설계 방법과 비교해 볼 때 효과적으로 원하는 주파수에 수렴하고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 동일한 기존의 설계 모델에 대하여 공명주파수가 다르게 나타나는 것은 공동 내부의 파동운동이 공명주파수에 큰 영향을 주고 있음을 나타내며, 이는 기존의 설계 방법의 한계를 보여주는 것이라 할 수 있다. 또한, 수렴치의 정밀도에 따라서도 최종모델이 상당히 달라진다. 즉 Table 4의 4가지 경우의 약 1%의 정밀도를 유지하지만 3%의 정밀도를 가지는 마지막 모델에 비하여 대역폭의 성능이 상당히 희생되고 있음을 알 수 있다.

그러나 모든 입력 조건에 대하여 정확한 결과를 얻을 수는 없었다. 몇몇 입력 조건에 대하여는 프로그램 수행시 수렴이 제대로 되지 않는 경우도 발생하였다. 여러 가지 원인을 생각할 수 있으나 입력 조건이 주어진 설계의 범위를 넘을 경우나 주어진

조건이 처음부터 설계가 불가능할 경우를 들 수 있으며, 이러한 경우를 판별할 수 있는 연구가 계속 진행되어야 한다고 사료된다.

5. 결 론

유전자 알고리즘이 최적 설계에 유용하게 쓰이고 있으며, 이것이 공명기 설계에서도 적절하게 응용될 수 있음을 확인하였다. 최근 여러 분야에서 각광 받고 있는 최적해를 찾는 방법을 이용하여 소음 설계의 가능성을 제시함으로써 소음저감 설계 기법에 영향을 줄 수 있으며, 이러한 기술은 공명기 뿐만 아니라 소음기(muffler) 자체에 대한 설계의 방법에도 응용될 수 있을 것이다. 본 논문에서는 단순 유전자 알고리즘을 사용하였고 구속조건보다 수렴조건이 간단하여 여러 가지 설계 모델이 존재하므로 여러 경우 중에서 가장 적절한 값의 선택이 요구되어진다. 또한 실제 적용시 주변의 영향으로 충분한 활용이 어렵지만 입력조건의 타당성, 구속조건을 정확한 구속범위에 관한 연구, 다른 소음모델에 대한 적용 등을 통하여 체계적으로 연구를 진행한다면 우수한 소음 설계 기법으로 발전시킬 수 있으리라고 사료된다.

후 기

본 연구는 1996년도 교육부 학술 연구 조성비에 의한 대학 부설 중점 연구소 과제의 일부로 연구되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) 노철용, 최원호, 양보석, 주호진, 임동수, 1995.

- “유전 알고리즘을 이용한 최적 평형잡이에 관한 연구”, 한국진동소음공학회지 춘계학술대회 논문집, pp. 137~141.
- (2) 최병근, 양보석, 1996, “유전 알고리즘을 이용한 초입계 회전축계의 진동 최적 설계”, 한국진동소음공학회지 추계학술대회 논문집, pp. 313~318.
- (3) Hall, D.E., 1987, Basic Acoustics, John Wiley & Sons, Inc., pp. 230~252.
- (4) Davis, Jr., D.D., Stokes, G.M., Moore, D., and Stevens, Jr., G.L., 1954, “Theoretical and Experimental Investigation of Mufflers with Comments on Engine-Exhaust Muffler Design”, National Advisory Committee for Aeronautics, Report 1192, pp. 25~71.
- (5) 하상태, 김양한, 1994, “1자유도 등가 진동계로 이해하는 헬름홀쯔 공명기 특성의 한계점과 응용”, 한국소음진동공학회지, 제 4권, 제 3호, pp. 209~219.
- (6) Alster, M., 1972, “Improved Calculation of Resonant Frequencies of Helmholtz Resonators”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 24, No. 1, pp. 63~85.
- (7) Panton, R.L., and Miller, J.M., 1975, “Resonant Frequencies of Cylindrical Helmholtz Resonators”, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 57, pp. 1533~1535.
- (8) Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., and Sanders, J.V., 1982, Fundamentals of Acoustics, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., pp. 200~245.
- (9) 임영도, 이상부, 1997, 퍼지·신경망·유전진화, 도서출판 영과일, pp.193~215.
- (10) Vasconcelos, J.A., Saldanha, R.R., 1997, “Genetic Algorithm Coupled with a Deterministic Method for Optimization in Electromagnetics”, IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 33, No. 2, pp. 1860~1863.
- (11) Srinivas M., and Patnaik, L.M., June, 1994, “Genetic Algorithms: A Survey”, IEEE Computer, Vol. 27, No. 6, pp. 17~26.