

〈논 문〉

단순확장관과 공명기 모듈 설계를 위한 유전자 알고리즘의 적용에 관한 연구

Study on Adopting Genetic Algorithm for Design Single Expansion Chamber and Resonator Module

황 상 문* · 황 성 호** · 정 의 봉* · 김 봉 준** · 정 용 호***

Sang-Moon Hwang, Sung-Ho Hwang, Weui-Bong Jeong, Bong-Joon Kim and Yoong-ho Jeong

(1999년 5월 11일 접수 ; 2000년 1월 17일 심사완료)

Key Words : Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), Simple Expansion Chamber(단순확장관), Helmholtz Resonator(헬름홀츠 공명기), 4-Pole Parameter Method(4단자 정수법), Fitness Function(적합도 함수), Constraint(구속 조건), Transmission Loss(투과 손실)

ABSTRACT

With the increased requirement for automobile noise, a design of mufflers with higher performances becomes more important in recent days. For a design of some mufflers, it must satisfy both minimizing back pressure and maximizing sound attenuation in broad range of frequency. Even for a simple Helmholtz resonator, an important element in a muffler, a resonator design with accurate resonant frequency is difficult if one want to consider standing waves within the cavity. In this paper, the genetic algorithm, one of the optimization technique with high capability of global fittest solution and robust convergence, is applied to the design process of mufflers. Results show that the genetic algorithm can be successfully and efficiently used to find the fittest model for both mufflers and Helmholtz resonators.

1. 서 론

소음기는 "유체의 자유로운 흐름에 방해가 되지 않으면서, 내부를 통해 전파되는 소음의 감쇠를 목적으로 형상 및 재질의 처리를 한 관이나 덕트의 한 부분"으로 정의되며, 엔진 성능 저하를 최소화하면서 음향에너지의 감소를 목적으로 한다고 할 수 있다⁽¹⁾. 또한, 그 설계 목적이 소음 레벨의 감소에만 있는 것이 아니라 현실적인 응용을 위하여 크기 제한, 중량, 형상, 가격, 내구성과 교

체성 등도 고려하여야 한다. 그 중에서 엔진 성능과 배압 간의 설계 조건은 상호 교환(trade-off) 관계가 있고, 설계시에 그 형상 및 위치에 대한 조건들이 까다로와서 최적의 소음기를 설계하는 것은 매우 어려우므로 상반되는 설계목적들을 모두 만족시켜 줄 수 있는 설계 방식(design algorithm)의 확립이 요구되어 진다.

한편, 유전자 알고리즘(genetic algorithm)은 일반성과 강력한 수렴성으로 공학의 여러 분야에 적용되고 있는 최적화 기법이며, 자동차의 설계시에도 승차감이나 밸런싱, 축진동 등 다양한 부분에 적용이 되고 있고^(2,3), 또한 유전자 알고리즘을 이용한 공명기의 최적설계도 제안되었다⁽⁴⁾. 그러나 지금까지의 연구를 살펴보면⁽⁴⁾, 단순히 공명기 한 요소에 대한 설계만을 언급하여 전체적인 소음기에 대한 적용이 아직 미비하고, 공명기 요소에 대한

* 정회원, 부산대학교 공과대학 기계공학부

** 부산대학교 대학원 기계설계공학과

*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

해석도 1차원적인 해석만 실시하여 헬름홀쯔 공명기에 대한 완전한 해라고 말하기 어렵다. 따라서 소음기에 대한 확장된 모델과 각 요소에 대한 정교한 모델이 필요하다. 본 논문에서는 이전 연구결과를 토대로 유전자 알고리즘을 이용한 설계 영역을 소음기 중에서 근본이 되는 영역까지 확대시키고, 또한 일반 모델의 한계를 극복하여 더욱 정교한 설계가 가능한 모델의 설정에 관한 방향을 제시하고자 한다.

2. 소음기

2.1 개요

소음기 설계의 방향은 배출되는 배기소음을 감소시키고, 엔진효율의 저하를 최소화시키는데 있다. 소음기의 성능에 영향을 미치는 요소들은 소음기의 기하학적 형상, 즉 입구 및 출구관의 위치 및 크기 등이 있고, 음파의 전달 속도에 영향을 주는 소음기에 입사되는 유동의 속도 및 온도구배와 소음기 내부의 공극관 및 흡음재 등에 의한 영향 등을 고려할 수 있다. 본 논문에서는 소음기의 형상 설계의 관점을 두어 기하학적 형상만을 고려하여 설계하는 방법에 대하여만 논하겠다.

2.2 단순확장관(simple expansion chamber)

단순확장관은 출구 및 입구 측의 음향 임피던스의 부정합을 이용하여 입사된 음파를 음원측으로 반사시켜서 소음전달량의 감쇠를 얻는 원리로 자동차 소음기의 기본 형태라 할 수 있다⁽¹⁾. 단순확장관은 방의 길이가 $\lambda/2$ 또는 그 정수배에 해당하는 주파수에서 감쇠효과가 최소가 되고, 길이가 $\lambda/4$ 및 홀수배에 해당하는 주파수에서 최대의 감쇠효과가 얻어진다. 이 때, 입출구의 면적과 방의 면적비가 크면 클수록 최대감쇠량은 커지게 되지만, 이는 확장관 부피의 증가와 입출구의 감소를 의미하므로 공간 활용이 어렵거나 엔진효율의 저하 등 반작용이 발생하므로 주어진 제한 조건내에서 최적의 형상으로 설계되어야 한다.

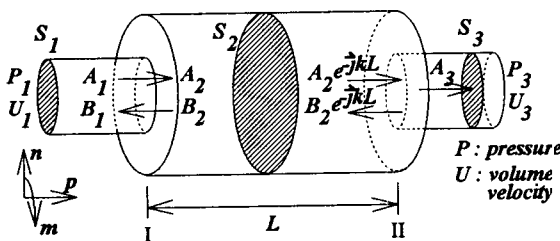


Fig. 1 Acoustic model of single expansion chamber

입출구 직경이 다른 단순확장관에서 평면파에만 관심을 둘 경우, Fig. 1과 같은 모델에서의 투과 손실은 식 (2)와 같이 유도할 수 있다⁽¹⁾.

$$\frac{A_1}{A_3} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{m_1}{m_2} \right) \cos kL + \frac{j}{2} \left(m_1 + \frac{1}{m_2} \right) \sin kL \quad (1)$$

$$TL = 10 \log \left| \frac{A_1}{A_3} \right|^2 \quad (2)$$

여기서, $m_1 = S_2/S_1$, $m_2 = S_2/S_3$ 로 각각의 팽창률, $k = \omega/c$ 로 파수(wave number)이다.

소음기는 그 요구 사항에 맞추어 적절하게 여러 형태로 설계할 수 있는데, 단순확장관의 경우에도 격벽을 사용하거나 입출구 관의 오프셋(offset) 혹은 상대 각변위(twisting angle)가 있는 경우 등 다양한 형태를 가지고 있어 해석시에 평면파 영역만 고려하여 해석할 경우 고주파 부분의 해석이 부정확하고 소음기의 형상이 충분히 고려되지 않아 정확한 값의 예측이라 할 수 없다. 따라서, 내부 음장을 고려한 해석이 필요하며, 최근 발표된 연구 중 Green 함수를 이용하여 공동의 내부 음장을 고려한 모델을 유도할 수 있다. 즉, 공동 내의 음장은 Kirchoff-Helmholtz 방정식으로부터 표현되고, 각 형상에 따른 속도 포텐셜(velocity potential)이 구해진다. 속도 포텐셜을 입출구 표면에 대하여 면적분을 수행하면 압력을 계산할 수 있고, 압력과 영향계수(influence coefficient)와는 식 (3)의 관계가 있으므로 압력으로부터 4개의 영향계수를 식 (4a)~(4d)와 같이 구할 수 있다⁽⁵⁾.

$$\bar{p}_{ij} = - \frac{j\omega\rho}{A_i} \int_{\text{port } i} \phi_i(\tau) dS_i = U_j E_{ij} = A_j V_j E_{ij} \quad (3)$$

$$E_{11} = j\omega \sum_{m,n,p} \frac{4\epsilon_m \epsilon_p (k_{r mn} + \mu_{mn})^2}{\pi L (k_{r mn} a_1 + 2\mu_{mn})^2 \{ (k_{r mn} + \mu_{mn})^2 R^2 - m^2 \}} \cdot \frac{\{ J_1(k_{r mn} a_1) + \mu_{mn} \}^2 J_m^2(k_{r mn} \delta_1)}{J_m^2(k_{r mn} R) \cdot \{ k_{zp}^2 - (\omega/c)^2 \}} \quad (4a)$$

$$E_{12} = j\omega \sum_{m,n,p} \frac{4\epsilon_m \epsilon_p \{ J_1(k_{r mn} a_1) + \mu_{mn} \} \{ J_1(k_{r mn} a_2) + \mu_{mn} \}}{\pi L (k_{r mn} a_1 + 2\mu_{mn}) (k_{r mn} a_2 + 2\mu_{mn})} \cdot \frac{(k_{r mn} + \mu_{mn})^2 J_m(k_{r mn} \delta_1) J_m(k_{r mn} \delta_2) \cos(k_{zp} L) \cos(m\theta_c)}{\{ (k_{r mn} + \mu_{mn})^2 R^2 - n^2 \} \cdot J_m^2(k_{r mn} R) \cdot \{ k_{zp}^2 - (\omega/c)^2 \}} \quad (4b)$$

$$E_{21} = -E_{12} \mid_{1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1} \quad (4c)$$

$$E_{22} = -E_{11} \mid_{1 \rightarrow 2} \quad (4d)$$

여기서, ϵ_m , ϵ_p 는 m 이나 p 가 0일 때 1이고 m 이나 p 가 0이 아닐 경우에 2이며, μ_{mn} 은 m 과 n 이 0일 때

만 1의 값을 갖는다. 1→2, 2→1은 각 수식에서 첨자를 상호 교환하는 표시이다. 또한 δ_1, δ_2 는 입출구의 편심량, θ_c 는 입출구간의 상대각변위, m, n, p 는 각각 공동의 원주(circumferential), 반경(radial), 길이(axial) 방향의 모드를 나타내며, k_{zp} 와 k_{rnm} 는 길이 방향과 반경 방향의 파수 성분을 나타낸다. 또한 소음기의 투과손실을 계산하기 위하여 필요한 4단자 정수는 영향계수와 식 (5a)~(5d)를 이용하여 유도할 수 있으며, 식 (6)에 대입함으로써 3차원 모델링으로 단순확장관의 투과손실을 계산할 수 있다.

$$T_{11} = E_{11}/E_{21} \quad (5a)$$

$$T_{12} = -E_{11}E_{22}/E_{21} + E_{12} \quad (5b)$$

$$T_{21} = 1/E_{21} \quad (5c)$$

$$T_{22} = -E_{22}/E_{21} \quad (5d)$$

$$TL = 20 \log_{10} \left(\frac{Z_1}{Z_3} \right)^{\frac{1}{2}} \left| \frac{T_{11} + T_{12}/Z_1 + T_{21} \cdot Z_3 + (Z_3/Z_1)T_{22}}{2} \right| \quad (6)$$

단, $Z_1 = \rho c/S_1, Z_3 = \rho c/S_3$

일반적으로 소음기의 전반적인 형태에 대한 소음기의 소음감소특성을 나타내기 위해서는 4단자정수법이 이용되는데, 여러 개의 소음기 요소가 직렬적으로 조합되어 있을 때에도 2×2 행렬의 연속적인 곱의 형태로 표현되므로 계의 특성 분석이 용이하고 모듈(module)화 설계가 가능하다. 덧붙여, 소음기 자체의 형상이 다양할 뿐만 아니라 소음기의 종류도 역공명기, 천공관, 헬름홀쯔 공명기 등 여러 종류들의 요소가 있다. 일반적인 소음기는 이들 요소의 연결로 구성된 복합체로 구성되고, 여러 요소의 복합체의 해석시 명확한 설계를 위하여 각 요소에 대한 입체적인 정확한 분석이 우선되어야 할 것이다.

2.3 공명기

앞절에서 언급하였던 여러 요소들 중에서 가장 유용하고 효율적인 요소로써 헬름홀쯔 공명기를 들 수 있다. 헬름홀쯔 공명기는 목의 체적에 비하여 상대적으로 큰 부피를 갖는 공동(cavity)과 파이프와 연결되는 목(neck)으로 구성된 음향기구로, 등가 1자유도(1 Degree of Freedom) 기계적 계와 유사할 수 있다. 즉, 공명기는 공명 주파수에 해당하는 음의 위상이 입사된 음의 위상과 180° 만큼 다르게 되어 저주파수 대역에서 주파수 폭이 작고 감쇠량이 큰 상쇄가 일어나게 된다⁽¹⁾. 헬름홀쯔

공명기는 그 감쇠 대역의 특성상 엔진 폭발 주파수 등과 같이 저주파 영역에서 발생하는 주요 소음의 감소에 유용하여 소음기 설계시 필수적으로 사용되어지는 요소라 할 수 있다. 또한, 공명기의 형상을 고려한 해석에 관한 연구도 상당히 진행되어 있으므로 이러한 연구를 바탕으로 최적설계의 새로운 방향을 제시하여 보는 것은 앞서서 언급했던 각 요소에 대한 정확한 분석과 사용 가능한 모듈의 확장이라는 입장에서 볼 때 가치 있는 일이라 할 수 있다.

Kim⁽⁸⁾의 연구 결과에 따르면 소음기에서 언급한 공동 내의 내부 음장 해석법이 공명기에서도 동일하게 적용될 수 있음을 알 수 있다. 즉, 공동 내의 음장을 Kirchoff-Helmholtz 방정식과 각 형상에 따른 경계 조건으로부터 유도하고 음장으로부터 목의 표면의 힘을 구하여 공동의 임피던스를 계산할 수 있으며, Fig. 2와 같은 형태로 편심이 없는 원형 단면의 공동일 경우의 임피던스를 유도하면 식 (7)과 같이 된다.

$$Z_{cavity} = j\rho c k \sum_{m, n, p} \frac{4\epsilon_m \epsilon_p r_n^2 (k_{rnm} + \mu_{mn})^2}{L(k_{rnm} r_n + 2\mu_{mn})^2 \{ (k_{rnm} + \mu_{mn})^2 r_c^2 - m^2 \}} \times \frac{(J_1(k_{rnm} r_n) + \mu_{mn})^2}{J_m^2(k_{rnm} r_c) \cdot (k_{zp}^2 - k^2)} \quad (7)$$

각각의 변수는 소음기의 경우와 동일하며, 식 (8)과 같이 소음기의 임피던스를 유도할 수 있는데, 고전적인 해석의 경우 공동의 임피던스는 식 (9)와 같이 계산하였고, 관 내부의 정재파(standing wave)를 고려한 분포된 임피던스(distributed impedance)를 이용한 공동의 임피던스의 경우 식 (10)과 같이 전개할 수 있다.

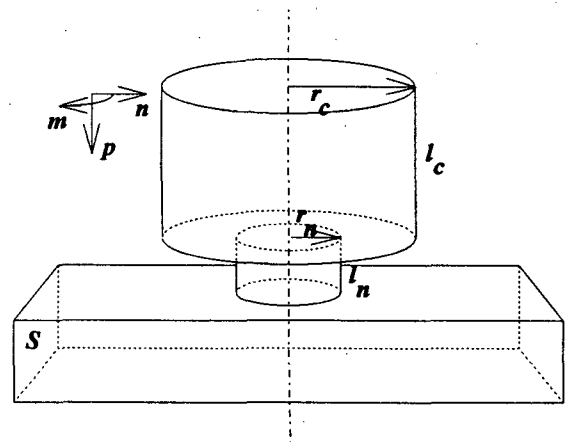


Fig. 2 Acoustic model of Helmholtz resonator

$$Z_{HR} = jX_{HR} = Z_{neck} + Z_{cavity} = j\rho a l_c' + j\rho a \sum_{m, n, p} \dots \quad (8)$$

$$Z_{cavity, lumped} = -j\rho c^2 \frac{\pi r_n^2}{\omega V} \quad (9)$$

$$Z_{cavity, distributed} = -j \frac{\rho c}{\pi r_c^2} \cot kL \quad (10)$$

즉, 모든 형상의 공명기에 대하여 임피던스식이 유도되면 식 (11)과 같이 4단자 정수법을 이용하여 표현이 가능하고, 식 (12)를 이용하여 투과손실을 유도할 수 있음을 알 수 있다.

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ U_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jX_{HR}^{-1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_2 \\ U_2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$TL = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{Z_0}{X_{HR}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

위와 같이, 4단자 정수형의 특징인 뛰어난 일반성과 확장성은 소음기의 각 요소에 대한 유전자 알고리즘 설계시 적합도 함수로써 투과손실을 계산하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

3. 유전자 알고리즘

3.1 기본 개념

1975년 Holland에 의해 제안된 전역적(global) 최적화 알고리즘인 유전자 알고리즘은 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 기법이라 할 수 있다⁽⁹⁾. 유전자 알고리즘은 전역적 최적해를 발견할 확률이 높고, 광범위한 일반성과 그 수렴 개념(concept)이 random process에 기초를 두고 있으므로 의외의 결과를 얻을 수도 있어 설계 요구 조건을 만족시키는 다양하고 혁신적인 형상이 제안될 수 있으므로 최근 여러 설계 분야에서 활발하게 이용되고 있다.

3.2 프로그램 구성

유전자 알고리즘의 일반적인 성질을 결정하는 가장 중요한 매개변수(parameter)로 개체군의 크기, 교배·돌연변이 확률을 들 수 있다. 개체군(population)의 크기는 계산 속도와 기억용량에 대하여 상호 교환 관계가 있고, 교배율과 돌연변이율은 탐색 공간의 확보 및 최적해로의 수렴 속도에 대하여도 상호 교환 관계가 있으므로, 적절한 값의 선택이 중요하다. 본 논문에서는 성능이 우수하다고 인정받은 Dejong의 매개변수를 기초로 하여 프로그램

Table 1 Dejong's parameters

The number of initial population	50
The number of iterations	200
Probability of crossover	0.6
Probability of mutation	0.02 → 0.001

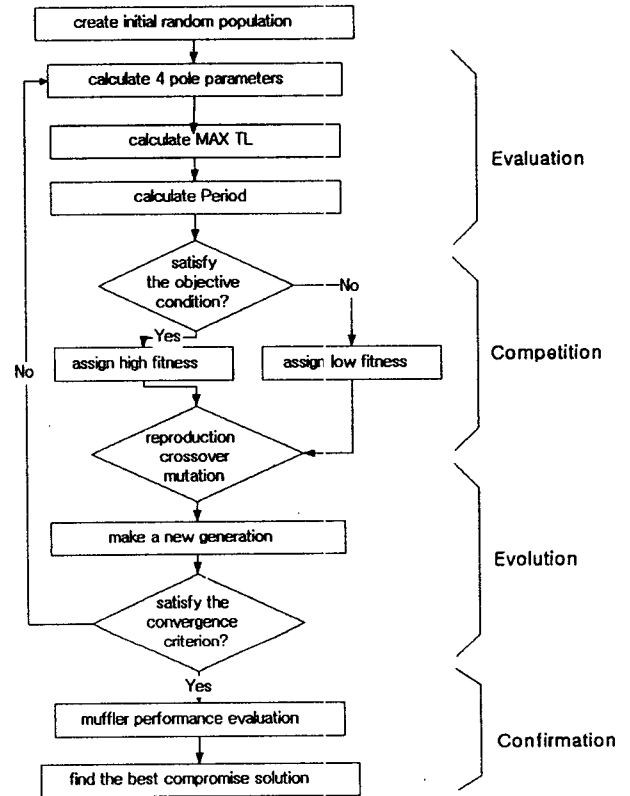


Fig. 3 Flowchart of resonator design

의 수렴 특성에 따라 적절한 값을 Table 1에서와 같이 설정하였고⁽¹⁰⁾, 본 논문의 수렴조건이 그 특성상 진동하는 형태를 취하므로 가변적인 돌연변이율을 2단계로 나누어 수렴 성능을 향상시켰으며, 프로그램의 특성상 교배 전략으로는 적응도 비례전략을 사용하였다.

소음기 설계의 경우 유전자 알고리즘의 흐름도의 구성은 Fig. 3과 같고 기본 알고리즘으로 단일층(single-layer), 단일 개체군(single-population)으로 구성된 단순 유전자 알고리즘(simple genetic algorithm)을 사용하였다⁽¹⁰⁾. 모듈(module) 형식을 채택하여 프로그램의 확장성과 형상이나 공간에 대한 구속조건의 적용이 용이하도록 하였다.

3.3 적합도 함수

일반적으로 유전자 알고리즘을 이용한 프로그램이 요

구하는 값에 정상적으로 수렴하기 위해서는 원하는 수렴치에 적절한 적합도 함수의 작성이 가장 중요하다. 소음기와 같이 여러 종류의 모듈의 결합으로 구성되어진 계의 경우 전체적인 계에 적합한 적합도 함수의 작성을 위하여 우선 각 요소에 대한 특징을 파악하고, 그 요소에 알맞은 효율적인 적합도 함수의 설정이 선행되어야 할 것이다. 본 논문에서는 작은 크기로 동일한 투과손실을 확보하거나 혹은 더 넓은 유효 투과 손실 폭의 확대를 위하여 각 모듈(module)별로 2개의 목적함수를 사용하였다.

(1) 단순확장관

단순확장관의 적합도 함수로써 투과손실의 최대치나 주기, RMS값, 투과손실의 형상 등이 최적화의 조건으로 쓰일 수 있으리라 사료되며, 확장관이 차지하는 공간의 크기나 형상이 중요한 구속조건으로 작용할 것이다. 본 논문에서는 기존의 모델과 동일한 성능을 발휘하면서 확장관의 부피를 줄이는데 목표를 두어 기존 모델의 최대 투과손실(TL) 및 그 주기(f)에 대한 차이를 적합도 함수로 설정하였다. 또한 수렴치 근처에서 가중치를 두어 수렴도를 향상시켰다.

$$\eta_{TL} = \frac{|TL_{wanted} - TL_{MAX}|}{TL_{wanted}} \times 100(\%) \quad (13)$$

$$\eta_f = \frac{|f_{wanted} - f|}{f_{wanted}} \times 100(\%) \quad (14)$$

내부음장을 고려한 모델링을 적합도 함수에 이용할 경우, 식 (13)과 식 (14)를 사용하기 위하여 비주기성이 나타나는 고주파수 영역을 제외한 평면파 영역에만 관심을 두도록 하였다. 따라서, 모델의 정밀도가 향상되지만 그러나 최종적인 목표인 복합계로 나아갈 경우 새로운 적합도 함수가 필요할 것이며, 고차모드를 포함한 다각적인 고찰이 요구될 것이다.

(2) 공명기

헬름홀쯔 공명기의 경우에도 유사하게 식 (15)와 식 (16)과 같이 공명주파수($f_{resonate}$)와 내부정재파($f_{standing}$)를 이용한 적합도 함수로 설정할 수 있으며, 프로그램 수행시 적합도가 수렴하지 않고 진동하는 것을 방지하기 위하여 목표수렴치 ± 1 Hz일 경우에 대하여 가중치를 주어 수렴도를 향상시켰다.

$$\eta_{resonate} = \frac{|f_{wanted} - f_{resonate}|}{f_{wanted}} \times 100(\%) \quad (15)$$

$$\eta_{standing} = \frac{|f_{wanted} - f_{standing}|}{f_{wanted}} \times 100(\%) \quad (16)$$

Table 2 Comparison of different fitness fn. (setting frequency : 300 Hz)

Trial No.	Use new fitness fn.		Use trans. loss	
	Generations	Resonate frq.	Generations	Resonate frq.
1	15	299.79	65	301.16
2	14	300.03	66	300.69
3	19	300.51	63	300.23
4	23	300.30	161	300.00
5	22	299.91	58	301.12

선형적인 함수에 가중치를 주는 형태의 적합도 함수에 대한 효율성은 기존의 연구 결과에서도 언급되고 있으며⁽⁴⁾, 일례로 Table 2와 같이 식 (12)를 이용한 프로그램 결과를 비교해 보면 투과손실을 이용한 경우보다 제안된 적합도 함수를 이용한 경우가 약 1/3 정도의 세대가 소요되므로 성능과 효율성을 고려해 볼 때 본 논문의 목적함수로 적용하는 데 충분히 타당하다.

3.3 프로그램

소음기의 최적화 설계를 위하여 설계변수들과 구속조건을 주어야 한다. 본 논문에서는 Table 3처럼 35 bit의 염색체로 구성된 설계변수들을 사용하였고, 설계변수들

Table 3 Resonator parameter identification

(a) Simple expansion chamber

Location	Para.	Symbol	Setting field (mm)	Chrom. len. (bit)	Actual field (mm)
Inlet	Radius	R_{in}	20.0~70.0	9	20.0~71.2
Outlet	Radius	R_{out}	20.0~70.0	9	20.0~71.2
Chamber	Radius	R_{ch}	50~100	9	50.0~101.2
	Length	L_{ch}	250~500	8	250.0~506.0

(b) Helmholtz resonator

Location	Para.	Symbol	Setting field (mm)	Chrom. len. (bit)	Actual field (mm)
Neck	Radius	R_{neck}	0.0~50.0	9	0.0~51.2
	Length	L_{neck}	5.0~55.0	9	5.0~56.2
Cavity	Radius	R_{cavity}	0.0~50.0	9	0.0~51.2
	Length	L_{cavity}	50~300	8	50.0~306.0

의 범위 자체가 구속조건(constraints)으로 작용하며, 설계가 불가능한 형상이나 설계자가 원하는 조건들 역시 구속조건으로 고려하였다.

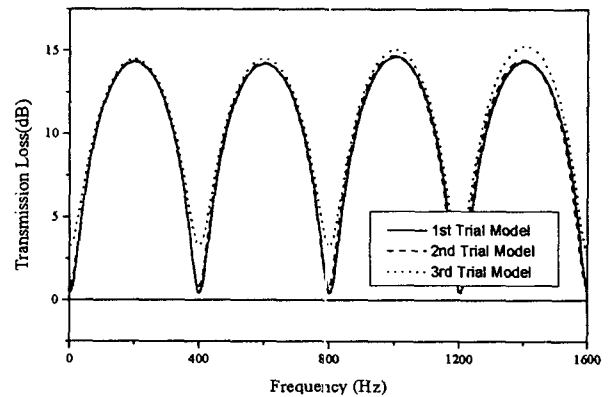
또한 적합도 함수의 수렴 조건의 경우, 단순확장관에 사용한 두 개의 수렴조건은 거의 독립적이라 할 수 있다. 따라서 주어진 최대 투과손실에 적합하도록 입·출구관 및 확장관의 반지름을 결정하고, 원하는 주기를 얻기 위하여 확장관의 길이를 설정하는 순서로 프로그래밍하였다. 또한 설계의 타당성을 유도하기 위하여 입·출구관과 확장관 반지름의 차이가 3 mm 이상 유지되도록 조정하였다.

그러나, 공명기에 사용된 수렴 조건의 경우는 기본 공명 주파수와 공동의 내부 고차 모드에 대한 수렴이므로 모든 변수들에 대하여 상호 교환 현상이 발생한다. 따라서 이전 연구에서 유용하다고 입증된 방법을 채택하였다⁽⁴⁾. 즉, 내부 고차 모드의 경우에는 공동의 길이 방향이 가장 크게 영향을 미치므로 내부 공명 주파수의 적합도로 공동의 길이를 선택하고, 기본 공명 주파수의 적합도로 나머지 성분들을 결정하여 두 경우 모두 만족하면서 수렴하도록 유도하였다. 공명기 역시 설계의 타당성을 위하여 공동과 공명기 목 반지름의 차이가 3 mm 이상 유지되도록 조정하였고, 더욱 넓은 사용 대역폭을 확보하기 위해 적합도 함수에 대역폭에 의한 가중치를 포함시켰다. 끝으로 교배방식은 본 프로그램의 특성상 소음기와 공명기 두 경우 모두 두 개의 적합도를 가질 경우에 가장 효율적인 2점 교배 방식을 채택하였다.

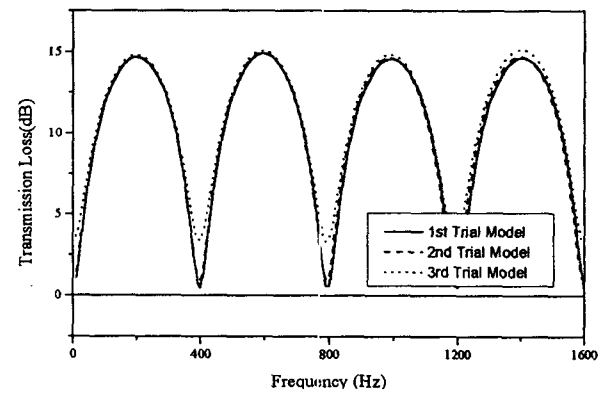
4. 결 과

단순확장관에 대하여 3회의 프로그램 수행 결과, Table 4와 같이 기존의 모델보다 최대 15%가량 작은 부피로 사용자가 원하는 수렴치인 주기 400 Hz와 투과손실 14 dB에 정확히 수렴하고 있음을 확인할 수 있다. 저안된 소음기의 형상이 다양함을 알 수 있는데, 그 이유는 반지름 방향의 구속조건이 매개변수의 수보다 작아서 수렴 조건이 까다롭지 않고, 유전자 알고리즘의 초기치

가 랜덤 함수로부터 시작하며, 그 수렴치 역시 여러 값을 가질 수 있기 때문이다. Fig. 4는 SYSNOISE를 이용한 모의실험 결과와 내부음장을 고려한 이론치의 투과손실을 비교한 그림으로 평면파만 고려한 경우와 비하여 그렇게 큰 변화를 찾기는 어렵다. 그 이유는 모델에 대한 구속조건과 수렴조건이 동일하여 모델의 변화에 한계가 있고, 적합도 함수의 설정 방법상 모델링의 정밀도를 따라가지 못함으로써 발생하는 한계라 할 수 있다. 그러나 정확한 설계와 지속적인 확장을 고려한다면 내부 음



(a) Theoretical model



(b) Simulation model

Fig. 4 TL of 3-D models using theoretical method vs simulation(FEM)

Table 4 GA program results using 3-D model (Setting freq.: 400 Hz , TL: 14 dB)

Trial No.	Last gen.	R_{in} (mm)	R_{out} (mm)	R_{ch} (mm)	L_{ch} (mm)	Freq. (Hz)	TL (dB)
Former M.	-	28.00	28.00	87.00	428.00	400.00	14.00
1	106	23.00	24.10	73.63	430.00	400.77	13.98
2	48	23.40	25.68	75.08	432.00	399.07	14.00
3	132	26.02	35.98	83.80	432.95	399.79	14.02

Table 5 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 freq.(Hz)	Standing wave freq.(Hz)	Bandwidth(Hz)
Lumped	5.00	5.50	190.80	19.30	254.00	988.00	32.72
Distr.	5.00	10.80	251.00	13.90	297.00	902.57	29.06
1	5.40	17.80	252.00	20.80	297.13	902.77	65.86
2	5.11	15.90	253.00	19.30	297.41	902.67	56.72

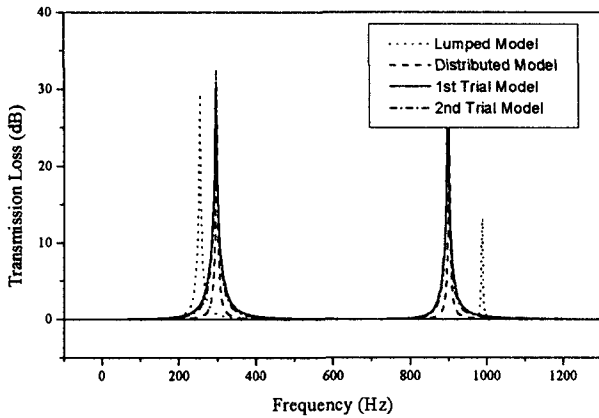


Fig. 5 TL Comparison of Helmholtz resonators setting; Frq. : resonance(300 Hz), standing(900 Hz)

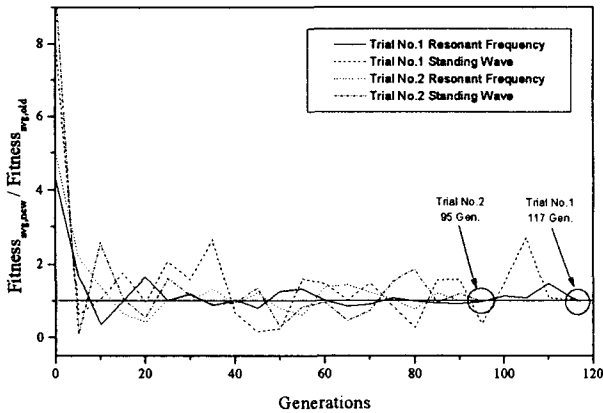


Fig. 6 Convergence Results of 2 trial models

장을 고려한 정교한 3차원 모델이 필수라 하겠다.

한편, 유전자 알고리즘을 이용한 설계시 다른 형상으로 확장된 경우라 할 수 있는 공명기의 경우, 공명기의 공명주파수와 내부 고차 모드를 고려한 경우 Table 5와 같은 결과를 보이므로 식 (9)를 이용하여 설계된 기존 모델과 비교하여 두 수렴치에 대하여 역시 정확하게 수렴함을 알 수 있었다. 또한, 동일한 유전자 알고리즘을 이용한 경우에도 적합도 함수에 따라 다른 결과를 보이

고 있다. 즉, 분포된 임피던스를 이용한 식 (10)의 1차원 모델의 경우보다 음장해석식을 이용한 3차원 모델의 경우가 사용가능한 대역폭이 2배 가량 증가함을 알 수 있다. 대역폭이 넓어지기 위해서는 모든 변수들이 영향을 미치므로 어느 한 변수만 조정해서는 최적점을 발견하기가 어렵다. 그러나, 유전자 알고리즘에 정교한 모델을 채택함으로써 대역폭이 넓어지려는 수렴방향으로 모든 변수들이 지향성을 가짐으로써 이를 해결하였다. 즉, 유전자 알고리즘의 특징을 충분히 활용한 예라 하겠다.

또한 구속조건을 주어 형상을 유도한 1차원 모델에 비하여 3차원 모델로 제안된 형상이 좀 더 현실적이고 효율적이라 생각된다. 그러나, 3차원 모델의 경우 프로그램의 수행시간이 오래 걸리는 것이 단점이라 할 수 있다. Fig. 5는 Table 5에 제안된 모델들에 대한 투과 손실을 나타내며, Fig. 6은 각각의 Trial Model에 대한 수렴과정을 도시한 것이다. 두 개의 수렴치 사이에 상호 교환 관계가 있어서 이들 모두를 만족시키기 어려운 관계로 진동하는 형태로 나타나고 있으나 수렴 직전 빠른 세대 수 내에 안정화됨을 알 수 있다. 또한 내부 고차 모드가 제대로 고려되지 않은 기존의 설계 방법(lumped model)과 비교해 볼 때 약 1%의 정밀도를 유지하며 효과적으로 원하는 주파수에 수렴하고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

소음기의 설계시 유전자 알고리즘을 이용한 방법이 소음기의 각 요소에도 유효적절하게 응용이 될 수 있음을 확인하였다. 소음기 각 부분 설계시에 유전자 알고리즘이 응용되었고, 또한 정교한 모델의 설정이 프로그램의 정밀도와 모델결과를 개선시켰다. 아직 초기 단계인 연유로 프로그램 수행시 몇몇 입력 조건에 대하여 발산하거나 정확한 수렴치를 찾지 못하는 경우도 발생하였지만, 이후 지속적인 연구를 바탕으로 더욱 복잡하고 정교한 형태로 발전시키기 위한 초석으로써 발전방향을 제시하였다 할 수 있을 것이다. 또한, 향후 과제으로써 설계 입

력 조건과 설계의 타당성에 대한 전처리(pre-process) 과정의 설정을 통하여 문제점 개선, 계속적인 소음기 요소 및 전체계에 대한 프로그램의 확장 등을 들 수 있다. 즉, 단순확장관의 경우에도 격벽, 입출구 관의 굵기, 상대 각 변위 등이 고려된 새로운 적합도 함수를 제안해야 할 것이며, 본 논문에서 고려한 평면파 영역 외에 좀 더 넓은 주파수 영역에 대하여 적용이 가능하도록 지속적인 연구가 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 이정권, 1994, "배기소음기의 음향 해석 및 설계 : I. 구조에 따른 작동 원리", 한국자동차공학회지, 제 15 권, 제 4 호, pp. 37~50.
- (2) 양보석, 주호진, 임동수, 노철웅, 최원호, 1995, "유전 알고리즘을 이용한 최적 평형잡이에 관한 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 137~141.
- (3) 최병근, 양보석, 1996, "유전 알고리즘을 이용한 초임계 회전축계의 진동최적설계", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 313~318.
- (4) 황상문, 황성호, 정의봉, 1998, "유전자 알고리즘을 이용한 진보된 헬름홀쯔 공명기의 설계 기법", 한국소음진동공학회지, 제 8 권, 제 6 호, pp. 1113~1120.
- (5) Kim, Y. H. and Kang, S. W., 1993, "Green's Solution of the Acoustic Wave Equation for a Circular Expansion Chamber with Arbitrary Locations of Inlet, Outlet Port and Termination Impedance", Journal of Acoustical Society of America, 94 (1), pp. 473~490.
- (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) Pantou, 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) 하상태, 김양한, 1994, "1자유도 등가 진동계로 이해하는 헬름홀쯔 공명기 특성의 한계점과 응용", 한국소음진동공학회지, 제 4 권, 제 3 호, pp. 209~219.
- (9) 임영도, 이상부, 1997, 퍼지·신경망·유전진화, 도서출판 영 과 일, pp. 193~215.
- (10) Srinivas M. and Patnaik, L. M., 1994, "Genetic Algorithms: A Survey", IEEE Computer, Vol. 27, No. 6, pp. 17~26.
- (11) 김양한, 최재웅, 1991, "복합형 반사형 소음기의 음향학적 특성과 설계방법", 한국소음진동공학회지, 제 1 권, 제 1 호, pp. 29~38.