▨연구논문

다구찌 방법과 비제어인자를 이용한 흡기계의 저소음화 최적 설계+

차경준 · 진정언
한양대학교 자연과학대학 수학과

The Optimal Design of Low Noise Intake System Using Taguchi Method with Non-controllable Factors

Kyung Joon Cha · Chung Un Chin
Dept. of Mathematics, Hanyang University

Abstract

Recently, the regulations from the government and concerns of the people give rise to the interest in noise from a passengers car.

In this paper, Taguchi method is adopted to reduce the noise from the intake system of a car. Based on the current design of the intake system, the factors such as the length and radius of each component of the intake system, which are thought to be effective for the system are arranged using L_{18} table of orthogonal array. Moreover, the non-controllable factors are included for the analysis.

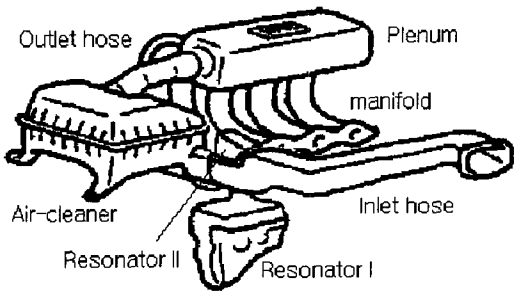
Thus, the relation between control factors and non-controllable factors are analyzed with constraints.

+ 이 논문은 1999년 한양대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음.

1. 서론

환경소음에 대한 국내외적인 규제가 강화되고 있어 자동차의 저소음은 주요조건이 되고 있으며, 특히 자동차의 흡기 소음은 일반적으로 500Hz이내의 저주파 소음으로 그 자체로서 뿐만 아니라 차실 내로 전달되어 부밍음의 원인이 되는 등 승차감을 저해하는 요인이 되고 있다. 흡기소음에 대한 대책은 엔진룸 설계 후 시행착오적인 방법을 통하여 이루어졌고 엔진 성능에 미치는 영향과 엔진룸 내에 있는 타 부품과의 위치에 따른 공간적 제약에 따라 최적화한 설계가 어려운 실정이다. 그러나, 최근에는 김관주와 이봉노(1997)가 전달행렬법을 이용하여 평판의 진동과 소음을 해석하였으며 Craggs(1976)와 Sahsrabudhe et al.(1991)은 배기계의 해석에 음향 유한 요소해석법을 사용하였다. 이러한 기법들이 기존의 흡기 소음 저감에 적용됨으로서 많은 개선이 이루어지고 있다.

하지만 이러한 기존의 방법은 주로 경험에 의존하는 시행착오적 방법으로 많은 시간과 고비용을 유발한다. 따라서, 최근 적은 노력과 비용을 가지고 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 다구찌방법이 많이 사용되고 있다. 권이성 외(1996)는 다구찌기법을 에스컬레에터의 소음저감에 적용하였으며 박성근과 김진동(1997)은 세탁기에 이 방법을 적용하여 소음저감의 효과를 가져왔다. 즉, 다구찌방법은 그 편의성과 유용성에 의해 여러분야에서 적용이 되고 있다[6, 8, 9].



< 그림 1 > 흡기계의 실제모양

본 논문에서는 <그림 1>과 같은 흡기계를 대상으로 소음저감특성을 평가하고 나타난 문제점을 파악하여 이를 개선하기 위해 다구찌방법을 사용하여 상대적으로 소음저감 성능이 낮은 주파수 영역을 보완하고자 허용되는 경계조건 내에서 흡기계의 설계변수 사양의 최적조건을 고려한 후에 전달행렬법과 최적화기법을 적용한 소프트웨어를 통해 흡기계의 저소음 최적화기법을 제안하고자 한다. 또한 비제어인자를 적용함으로써 실험실 조건에 따른 주인자에 영향을 알아보고자 한다.

2. 설계이론 및 설계조건

2.1 해석 이론

2.1.1 흡기소음의 특성

흡기소음은 흡기밸브의 개폐에 따른 압력변동에 의해 생성되며 식 (1)과 같은 주파수 특성을 갖는다.

$$f\,(Hz) = n \times rpm \times \frac{cyc}{2} \times \frac{1}{60}, \qquad (1)$$

여기서, f는 결과주파수이고, n은 조화 차수, rpm은 엔진 회전수, cyc는 실린더 개수이다.

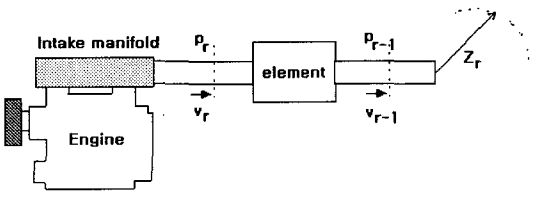
2.1.2 전달 행렬법

전달행렬법은 전기계에서 사용하고 있는 임피던스 개념을 도입하여 음향의 전달특성을 모델링하는 방법으로서 행렬의 계산이 간단하고 임의의 형태로 조합된 음향계에 적용할 수 있어 많이 이용되고 있다. 또한 음향계를 각 요소별로 모델링하여 전체계를 구성하므로 설계변경이 용이한 방법이다.

전달행렬법에서 사용되는 두개의 상태변수는 음향 요소 양면의 음압 p와 입자속도 v를 사용하고 양면의 조건에 따라 4극 전달행렬계수(four-pole parameter)를 구할 수 있으며 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} p_r \\ v_r \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} Transfer\ \ matrix \\ 2\times 2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_{r-1} \\ v_{r-1} \end{Bmatrix}, \qquad (2)$$

여기서, $\{p_r \ \ v_r\}^T$는 입구점 r에서의 상태벡터이고 $\{p_{r-1} \ \ v_{r-1}\}^T$는 출구점 $r-1$에서의 상태벡터이다. <그림 2>는 전달행렬법에 대한 개략적인 개념도이며, 여기서 Zr은 방사임피던스(radiation impedance)이다.



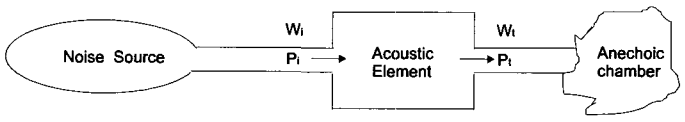
< 그림 2 > 음향계에서의 전달행렬법 개념도

2.1.3 전달손실

전달손실은 음향요소만의 에너지 손실을 표현하는 것으로서 음향요소의 입출구 사이의 음압비를 dB로 나타낸다. 즉, 음향요소에 입사된 음압과 통과된 음압과의 비를 의미하는 것으로 음향요소 끝단에는 반사파의 영향을 제거하기 위하여 두 음향탐촉자법(two-microphone methods)을 사용하며 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$TL(dB) = 10\log_{10}\left|\frac{w_i}{w_t}\right| = 20\log_{10}\left|\frac{\hat{p}_1^+}{\hat{p}_2^-}\right|, \qquad (3)$$

여기서, w_i는 입구측 에너지이고, w_t는 출구측 에너지, P_1^+는 입구측 진행 음압, P_2^-는 출구측 진행음압이다. <그림 3>은 전달손실 측정의 개략도이다.



< 그림 3 > 전달손실 측정의 개략도

2.2 흡기계 성능평가 및 설계조건

2.2.1 두 음향 탐촉자법

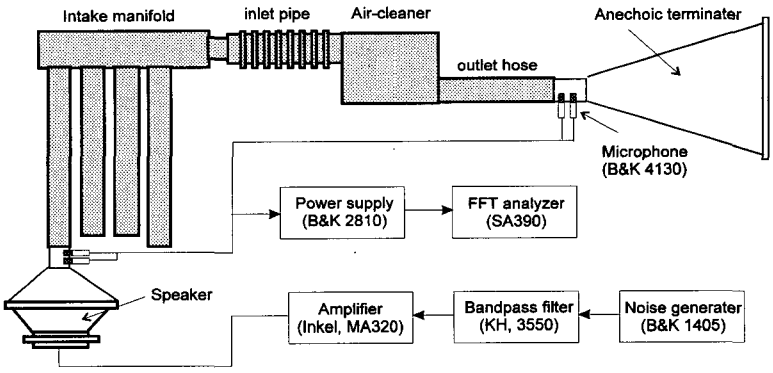
두 음향 탐촉자법은 관내의 반사파와 입사파를 분리할 수 있는 방법으로서 전달손실은 <그림 4>와 같이 두개의 마이크로폰을 사용하여 식 (4)와 같이 표현 될 수 있다.

$$TL(dB) = 10\log_{10}\frac{S_{aa}}{S_{cc}}, \qquad (4)$$

여기서, S_{aa}는 입구단의 입사스펙트럼이고 S_{cc}는 출구단의 입사스펙트럼이다. 반사파의 완전한 분리를 위하여 출구단에 무반사단을 설치하였다.

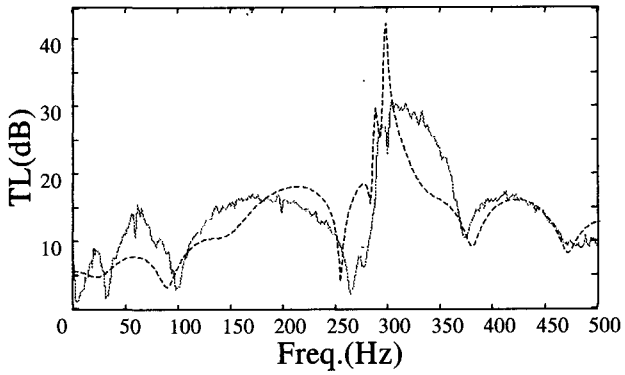
2.2.2 흡기계의 성능평가

본 연구에서 사용된 흡기계 성능평가 소프트웨어의 신뢰성을 검증하기 위해서 <그림 1>과 같은 흡기계의 전달 손실(Transmission Loss)을 실험을 통하여 구하였다.



< 그림 4 > 흡기계 실험설치

<그림 5>의 결과에서 알 수 있듯이 흡기계 성능 평가 소프트웨어가 흡기계의 성능을 잘 예측함을 알 수 있으므로 이용된 해석 소프트웨어의 신뢰성을 파악할 수 있고 최적화 기법 및 다구찌방법의 활용으로 검증할 수 있다.



< 그림 5 > 흡기계의 전달손실 (실험치 : -, 예측치 : --)

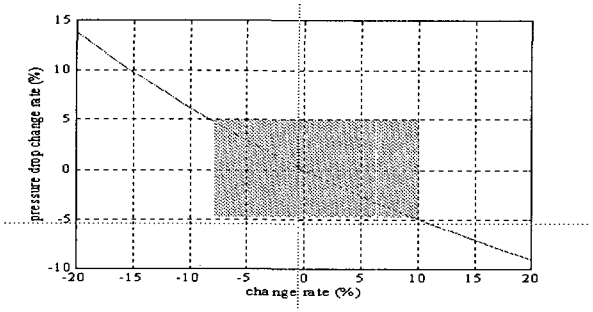
2.2.3 설계조건

본 연구에서의 설계변수의 변경한계는 기존의 흡기계가 갖고 있는 압력손실의 약 5% 이내의 범위에서 변경될 수 있도록 하여 효율에 미치는 영향을 최소화하도록 하였다. 일반적으로 원관에서의 압력손실은 식 (5)와 같다.

$$\Delta p = f\frac{L}{D}\frac{V^2}{2g}, \qquad (5)$$

여기서 Δp는 압력손실, f는 관내의 마찰 계수, L는 관 길이, D는 관 직경, V는 평

균 유속, g는 중력 가속도를 나타낸다. <그림 6>은 실제 흡기계의 압력손실 특성을 요소의 길이와 직경의 변화에 따른 영향도(%)를 보여주고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 길이와 직경은 압력손실에 서로 상반된 영향을 보여주고 있으며 압력손실에 대한 5 %의 변화는 길이와 직경의 약 10% 범위의 변화량이 허용될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 흡기계가 가질 수 있는 최대사양 변화량의 제한을 기존의 10% 범위 이내로 제한하였다.



< 그림 6 > 흡기계의 압력손실 특성

2.2.4 설계 구속조건

최적화를 위한 목적함수와 다구찌방법에 의하여 결정된 최적조건에 따라 구속조건을 정리하면 식 (6)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\text{목적 함수 : } g(x) = \sum_{f=0}^{500} TL(f,x)$$

구속 조건 : (단위 : m)

$$\begin{aligned}
&0.60 \le \text{입력관길이} \le 0.90\\
&0.052 \le \text{입력관직경} \le 0.078\\
&0.48 \le \text{출력관길이} \le 0.72\\
&0.052 \le \text{출력관직경} \le 0.078\\
&0.126 \le A/C\text{길이} \le 0.154\\
&0.22 \le A/C\text{직경} \le 0.242\\
&0.05 \le \text{입력관길이} \le 0.07\\
&0.05 \le \text{출력관길이} \le 0.07
\end{aligned} \qquad (6)$$

위에서 목적함수 $g(x)$는 실험에서의 출력결과가 0~500Hz까지의 전달손실(Transmission Loss) 오버올(overall) 값으로 하였다. 여기서 오버올은 전체 합을 말한다. 또한 식 (6)은 제어인자들을 조정할 수 있는 범위를 나타낸 것이다.

3. 통계적 설계이론 및 분석결과

3.1 다구찌방법과 S/N 비

다구찌방법은 기본적으로 품질이라는 개념을 가지고 모든 제품의 성능을 평가한다. 품질이라고 하는 것은 제품이 출하된 후에 발생하는 세 가지 손실 (기능의 산포에 의한 손실, 사용 코스트, 폐해항목에 의한 손실)의 합으로 정의한다. 그리고 이에 따른 손실함수를 사용하여 S/N비를 유도해 낸다[4, 5, 11]. 측정값이 y 이고 목표값이 m 이라 할 때 손실함수(Loss function) $L(y)$를 m에 대하여 Taylor 급수 전개한 것은 식 (7)과 같다.

$$L(y) = L(m) + L'(m)(y-m) + \frac{L''(m)}{2}(y-m)^2 + \cdots \qquad (7)$$

식 (7)에서 $L(m)=0$, $L'(m)=0$이고 3차이상의 항을 무시한 손실 함수는 식(8)과 같다.

$$L(y) = k(y-m)^2, \qquad (8)$$

여기서, $k=L''(m)/2$로서 특성치가 소비자 허용한계점 $m\pm\triangle$에서 소비자의 손실이 A라고 한다면 아래 식 (9)와 표현 할 수 있다.

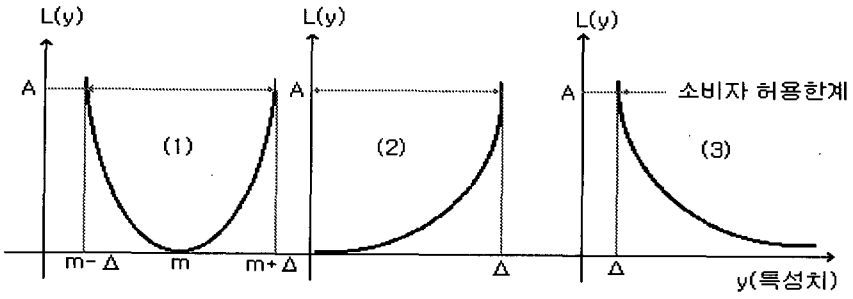
$$k=A/\triangle^2 \qquad (9)$$

식 (8)에서 특정한 목표값인 m이 존재하면 망목특성을 나타내고 $m=0$일 때 망소특성을 나타낸다. 품질손실 계수 k는 식 (9)와 같다. 여기서 망대특성 y를 변환하여 $y'=1/y$로 하면 망소특성이 되며, 이렇게 변환시키면 망대특성을 항상 망소특성으로 취급할 수 있다. 망대특성인 경우의 손실함수는 아래 식 (10)과 같다.

$$L(y) = k(\frac{1}{y^2}), \qquad (10)$$

여기서, 품질손실 계수 $k(=A\triangle^2)$이다.

이렇게 유도된 손실함수와 특성치와의 관계는 아래 <그림 7>과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 $\triangle$는 허용한계점이다.



< 그림 7 > 손실함수와 특성치의 관계

손실함수를 적용하여 얻어지는 S/N비를 <표 1>에 나타내었다.

< 표 1 > 특성치 분류

	Loss function	S/N ratio
nominal-is -best characteristics	$L(y)=k(y-m)^2$	$10\log\left[\left((\bar{y})^2-\frac{V}{n}\right)/V\right]$
smaller-the better characteristics	$L(y)=ky^2$	$-10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2\right]$
larger-the better characteristics	$L(y)=k\left(\frac{1}{y^2}\right)$	$-10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right]$

인자를 결정한 후 실험배치를 직교적으로 구성함으로써 중복되는 실험이 없이 효과적인 분산분석을 하여 각 인자의 변동효과를 평가할 수 있는 지표인 S/N비로 인자들의 최적 수준을 결정할 수 있다.

3.2 파라미터 설계

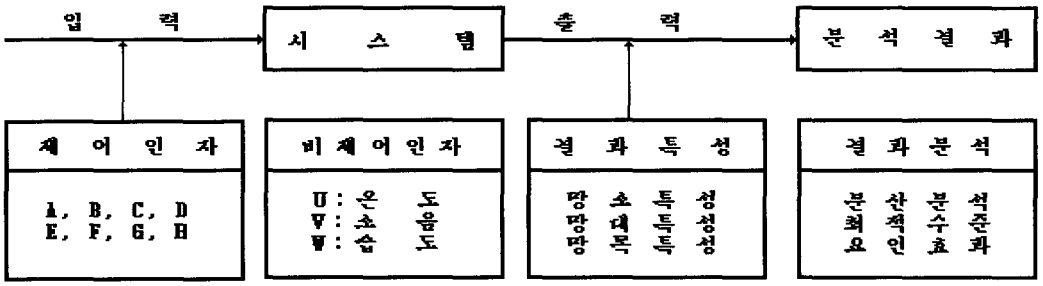
최적설계에서 중요한 직교배열표와 다구찌 실험계획법을 적용하여 파라미터 설계를 하였다. 아래의 <표 2>는 본 연구에서 사용한 파라미터설계로서 내측배열로는 $L_{18}(2^1\times3^7)$을 이용하고 외측배열로는 $L_4(2^3)$ 사용하였다.

< 표 2 > 파라미터설계 구성도

구 분	내측배열($L_{18}(2\times3^7)$)								외측배열($L_4(2^3)$)				
요인배치	A	B	C	D	E	F	G	H	원데이터				S/N비
인자이름									실험번호 1	2	3	4	비제어인자
수준 1	<표 3 참조>								0	0	1	1	U
수준 2									0	1	0	1	V
수준 3									0	1	1	0	W
열번호 / 실험번호	1	2	3	4	5	6	7	8					
1	1	1	1	1	1	1	1	1	y11	y12	y13	y14	S/N1
2	1	1	2	2	2	2	2	2	y21	y22	y23	y24	S/N2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	y31	y32	y33	y34	S/N3
4	1	2	1	1	2	2	3	3	y41	y42	y43	y44	S/N4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	y51	y52	y53	y54	S/N5
6	1	2	3	3	1	1	2	2	y61	y62	y63	y64	S/N6
7	1	3	1	2	1	3	2	3	y71	y72	y73	y74	S/N7
8	1	3	2	3	2	1	3	1	y81	y82	y83	y84	S/N8
9	1	3	3	1	3	2	1	2	y91	y92	y93	y94	S/N9
10	2	1	1	3	3	2	2	1	y101	y102	y103	y104	S/N10
11	2	1	2	1	1	3	3	2	y111	y112	y113	y114	S/N11
12	2	1	3	2	2	1	1	3	y121	y122	y123	y124	S/N12
13	2	2	1	2	3	1	3	2	y131	y132	y133	y134	S/N13
14	2	2	2	3	1	2	1	3	y141	y142	y143	y144	S/N14
15	2	2	3	1	2	3	2	1	y151	y152	y153	y154	S/N15
16	2	3	1	3	2	3	1	2	y161	y162	y163	y164	S/N16
17	2	3	2	1	3	1	2	3	y171	y172	y173	y174	S/N17
18	2	3	3	2	1	2	3	1	y181	y182	y183	y184	S/N18

내측배열에는 제어인자들(A, B, C, D, E, F, G, H)을 배치했고 외측배열에는 비제어인자들(U, V, W)을 배치했다. 분산분석시 성능특성치 y_{ij}에 대해 분석하지 않고 y_{ij}들로 부터 구한 S/N비를 계산하여 S/N비를 새로운 특성치로 삼아 분석을 실시하였다. S/N비는 앞의 3.1에서 설명한 것과 같다.

실험에 있어서 특성치에 영향을 주리라고 예상되는 가능한 모든 제어인자를 포함시키고, 비제어인자로서 잡음인자, 블록인자, 보조인자 또는 표시인자 등을 배치하되 가능한 너무 많지 않게 배치하였다. 본 실험의 예를 들면, 아래의 <그림 8>과 같은 구조의 인자 · 특성관계를 가지고 있다.



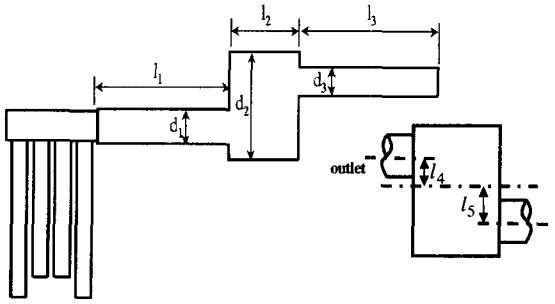
< 그림 8 > 인자와 특성관계

비제어인자가 1개 또는 2개일 때에는 1원이나 2원배치를 외측배열에 배치시키는 것이 좋으나, 3개이상인 경우에는 <표 2>에서와 같이 직교배열을 하는 것이 좋다. 이는 분석에 있어 비제어인자가 1개 또는 2개일 때 직교배열표의 이용이 비효율적이나 3개 이상인 경우 직교배열표의 이용이 효율적이기 때문이다.

3.3 설계 및 분석

3.3.1 설계인자 및 수준

흡기계를 구성하는 요소인 메니폴드, 플리넘, 에어크리너, 파이프, 공명기중 메니폴드, 플리넘은 엔진 성능을 고려하여 설계가 이루어져 있으므로 설계인자에서 제외하였다. 그리고, 공명기는 기본적인 흡기계의 구성이 이루어진 뒤에 설계가 이루어지므로 설계인자에서 제외하였다.



< 그림 9 > 흡기계의 단순계략도

<그림 9>는 흡기계의 성능 평가를 위해 <그림 1>을 단순화한 그림이며, 각 설계변수와 수준은 <표 3>에 제시하였다.

현재 사양은 굵은 글씨체로 표시하였고, 설계 변수 A의 경우는 클수록 좋으므로 현재 사양보다 증가된 값을 수준으로 선정하였다.

< 표 3 > 제어인자와 수준 (단위 : m)

Control factor		level		
		1	2	3
A(a/c diameter)	d_2	**0.22**	0.242	×
B(outlet tube length)	l_1	0.48	**0.60**	0.72
C(outlet tube diameter)	d_1	0.052	**0.065**	0.078
D(a/c length)	l_2	0.126	**0.14**	0.154
E(inlet tube length)	l_3	0.60	**0.75**	0.90
F(inlet tube diameter)	d_3	0.052	**0.065**	0.078
G(OFFSET length OF inlet)	l_4	0.05	**0.06**	0.07
H(OFFSET length OF outlet)	l_5	0.05	**0.06**	0.07

3.3.2 L_{18} 직교 배열표를 이용한 다구찌방법 적용

앞에서 정의한 설계변수들과 수준을 평가하기 위해서는 $2^1 \times 3^7$의 조건을 만족하는 실험을 수행해야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해서 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교배열표를 이용하여 <표 3>과 같은 인자의 수준으로 배치를 하여 실험을 수행하면 각각의 실험결과에 대한 특성치를 얻을 수 있다. 또한 이 실험에서는 비제어인자를 적용하여 파라미터를 설계하였다. 따라서 <표 4>와 같이 실험값이 4번 반복한 형태가 되었다.

측정값이 클수록 소음제거에 이상적이므로 품질의 특성치는 망대특성을 적용하였고, S/N비를 구한 결과는 <표 4>와 같다. 여기서, 특성치는 0~500Hz까지의 전달손실(Transmission Loss)의 오버올(overall) 값으로 하였다. S/N비를 이용하여 분산분석을 수행한 결과는 <표 5>에 나타냈다.

< 표 4 > 실험치와 S/N비

실험번호	반복 실험치				SN비
y1	y1 (1)	y1 (2)	y1 (3)	y1 (4)	31.5229
y2	y2 (1)	y2 (2)	y2 (3)	y2 (4)	30.4718
y3	y3 (1)	y3 (2)	y3 (3)	y3 (4)	30.3119
y4	y4 (1)	y4 (2)	y4 (3)	y4 (4)	31.8987
y5	y5 (1)	y5 (2)	y5 (3)	y5 (4)	31.1449
y6	y6 (1)	y6 (2)	y6 (3)	y6 (4)	32.1156
y7	y7 (1)	y7 (2)	y7 (3)	y7 (4)	32.2049
y8	y8 (1)	y8 (2)	y8 (3)	y8 (4)	32.4869
y9	y9 (1)	y9 (2)	y9 (3)	y9 (4)	31.7603
y10	y10 (1)	y10 (2)	y10 (3)	y10 (4)	31.5389
y11	y11 (1)	y11 (2)	y11 (3)	y11 (4)	30.7403
y12	y12 (1)	y12 (2)	y12 (3)	y12 (4)	30.7959
y13	y13 (1)	y13 (2)	y13 (3)	y13 (4)	32.2058
y14	y14 (1)	y14 (2)	y14 (3)	y14 (4)	32.4363
y15	y15 (1)	y15 (2)	y15 (3)	y15 (4)	32.8414
y16	y16 (1)	y16 (2)	y16 (3)	y16 (4)	31.7462
y17	y17 (1)	y17 (2)	y17 (3)	y17 (4)	32.4237
y18	y18 (1)	y18 (2)	y18 (3)	y18 (4)	32.7251

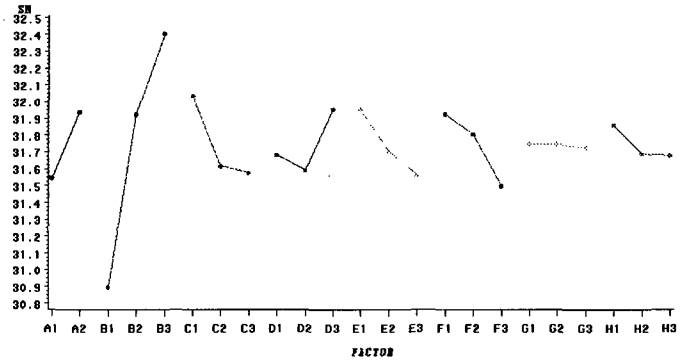
< 표 5 > S/N비에 대한 분산분석표

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F-Value	Pr>F
A	1	0.69446393	2.76884291	27.77	0.0342
B	2	7.13855890	18.26214959	142.75	0.0070
C	2	0.77561343	2.29271833	15.51	0.0606
D	2	0.43032860	0.57040797	8.61	0.1041
E	2	0.47567964	3.08057460	9.51	0.0951
F	2	0.58159208	1.55463916	11.63	0.0792
G	2	0.00195396	0.08518853	0.04	0.9624
H	2	0.12554893	0.35312014	2.51	0.2848
Model	15	10.22373948	0.68158263	27.26	0.0359
Error	2	0.05000678	0.02500339		
Total	17	10.27374626			
R-squre	C.V	Root MSE	S/N Mean		
0.995133	0.498142	0.158122460	31.74286569		

<표 5>의 S/N비를 이용하여 분산분석을 실시한 결과를 보면 R^2가 0.995133을 보여주고 있어 전체적으로 에러에 대한 변동보다는 주 인자들에 대한 변동이 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

분석결과를 보면 p-value가 B인자는 유의수준 0.01이하이며, A, C, E, F는 유의수준 0.10이하인 것을 알 수 있고, 그 중 B인자가 가장 유의하다는 것을 알 수가 있다.

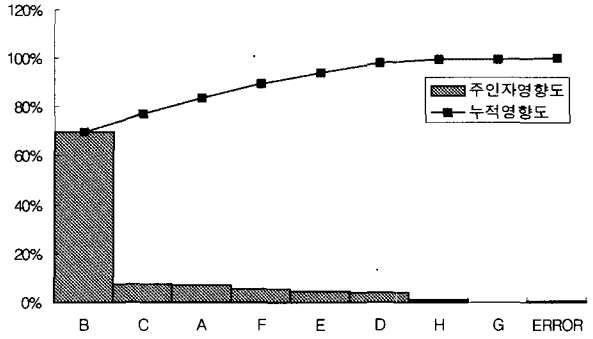
S/N비를•이용하여 각 변수와 수준별 요인효과도를 그려보면 <그림 10>과 같다.



< 그림 10 > 제어인자에 대한 요인효과도

<그림 10>을 이용하여 각 변수별 최적수준을 살펴보면 $A_2B_3C_1D_3E_1F_1G_1H_1$이고 특성치에 민감한 설계변수는 A(a/c의 직경), B(출력관 길이), C(출력관 직경), E(입력관의 길이), F(입력관 직경)임을 알 수 있다.

또한 <그림 11>의 제곱합(Sum of Square)에 대한 파레토그림을 보면 주인자영향도에서 B인자가 다른 인자보다 매우 영향이 있다는 결과를 알 수 있다. 전체적인 주인자의 경향을 보면 <그림 11>의 누적영향도가 B인자에서 완만하게 100%로 접근하는 것을 알 수가 있고, 전체적인 주인자의 영향도는 B가 유의수준 내에서 강하게 작용한다는 것을 알 수가 있다.



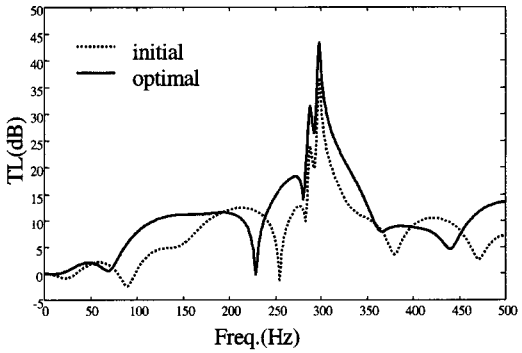
< 그림 11 > 주인자의 영향도와 누적영향도

<표 6>은 가장 유의하지 않은 인자 G, H를 제외한 주인자의 최적화 결과이다.

< 표 6 > 흡기계의 최적수준값

	Outlet pipe	Air-Cleaner	Inlet pipe
Length	0.72	0.154	0.60
Diameter	0.052	0.242	0.052

위에서 구한 최적조건($A_2B_3C_1D_3E_1F_1$)을 적용하여 흡기계 성능평가 소프트웨어로 재해석을 수행한 결과는 <그림 12>와 같으며, TL의 오버올 레벨이 현재의 설계보다 6.5dB 향상된 결과를 얻었다. G, H인자는 현행수준을 유지하였다.



< 그림 12 > 최적설계에 대한 값과 현행 값의 비교

3.3.3 잡음인자의 영향도

잡음인자의 최적수준 선정은 불가능하다. 본 연구에서 잡음인자는 강건설계를 위한 인자가 아니라 효과를 조사해 보고자 하는 인자이다. 여기서 잡음인자의 영향정도를 미리 조사해두면 이들을 조합시킬 때 시뮬레이션의 횟수를 대폭 줄일 수 있기 때문이다.

비제어인자인 잡음은 온도(U), 소음(V), 습도(W)를 적용한 실험을 실시하였다. 잡음은 특정치를 기준으로 설정하는 것에 여러 문제점이 있기 때문에 아래 <표 7>과 같이 범위를 주어 그 범위 내에서 실험을 실시하였다.

< 표 7 > 비제어인자의 수준조합

비제어인자	수 준	
	1	2
U(온도)	10 °~20 °	20 °~30 °
V(소음)	20(db)~30(db)	30(db)~40(db)
W(습도)	45~50%	80~100%

즉, 일교차가 큰 밤과 낮을 선택하여 <표 7>과 같이 알맞은 범위에 속하는 온도를 기준으로 실험을 실시하였으며, 습도는 가습기를 이용하여 조절하였고, 소음은 평상시 낮과 밤의 외부잡음을 기준으로 선택하였다.

비제어인자의 분산분석결과는 아래 <표 8>과 같다. 여기서의 R^2는 0.007982로 나타났다. 이것은 전체의 변동 중 에러의 변동이 비제어인자의 변동보다는 크다는 것을 의미하며, 또한 비제어인자 중 유의한 인자가 하나도 없음을 알 수가 있다.

< 표 8 > 비제어인자에 대한 분산분석표

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F-Value	Pr>F
U	1	7.20911078	7.20911078	0.50	0.4839
V	1	0.00077225	0.00077225	0.00	0.9942
W	1	0.75027167	0.75027167	0.05	0.8210
Model	3	7.96015469	2.65338490	0.18	0.9080
Error	68	989.32166335	14.54884799		
Total	71	997.28181804			
R-squre	C.V	Root MSE	S/N Mean		
0.007982	9.832740	3.81429522	38.79178333		

< 표 9 > 비제어인자 평균비교

비제어인자	평균값
U1	38.4753
U2	39.1052
V1	38.7950
V2	38.7885
W1	38.6897
W2	38.8938

<표 9>를 보면 비제어인자에 대한 실험치의 평균값이 미비하게 작용함을 알 수가 있다. 결론적으로 비제어인자의 수준조합에서 실험한 결과 그 영향이 미비하다고 판단되며 비제어인자를 잡음으로 처리하였다.

4. 결론

다구찌방법을 이용한 최적화 수행은 3수준의 혼합 직교배열모듈과 2수준의 표준 직교배열모듈을 사용하였다. 또한 비제어인자를 고려한 실험이기 때문에 실험실의 조건을 제시할 수 있었다.

본 실험에 있어서 흡기계의 압력손실에 대한 경계조건의 폭을 잡았으나 그 범위 내에 이론적 최적값이 존재하지 않았다. 따라서, 최적치에 더욱 근접하기 위해서는 경계조건의 범위를 크게 해야할 것으로 생각된다. 만약 경계조건을 크게 잡아 경계조건 내에 최적치가 존재하여 일반 최적화기법의 결과와 다구찌방법에 의한 결과에 차이가

있더라도, 그 차이는 미미할 뿐만 아니라 다구찌방법을 이용하여 설계변수를 최적화함으로써 시간을 크게 단축시킬 수 있고, 또한 주요 인자들의 전체적인 영향도를 알 수 있어 정확한 최적 조건을 찾을 수 있으리라 판단된다.

지금까지 다구찌방법에 의하여 흡기계의 저소음화 기법의 제안을 수행하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 기존 설계와 최적화 설계를 비교해 보면 전달 손실의 전체합인 오버올(overall) 값이 6.5dB 향상된 흡기계를 설계할 수 있었다.

2) A(a/c의 직경), B(출력관 길이), C(출력관 직경), E(입력관의 길이), F(입력관 직경) 설계 변수들이 흡기계의 전달 손실에 민감하였다. 그 중에서도 B(출력관 길이)가 흡기계 전달손실에 가장 영향을 미치는 것을 알았다.

3) 최적화기법만을 이용한 것보다는 다구찌방법에 의한 설계변수를 최적화기법에 적용함으로써 시간을 단축시켜 보다 개선된 흡기계의 저소음화 기법을 제안할 수 있었다.

4) 실험실 조건이 미치는 영향이 미비하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] 권이석, 박선용, 김성대, 서장원, 김석관, 이종원(1996), "다구찌 기법을 이용한 에스컬레이터의 소음저감에 관한 연구," 한국소음진동공학회 1996년도 춘계학술대회논문집, pp. 142-147.

[2] 김관주, 이봉노(1997), "Modal Expansion을 이용한 평판의 진동 · 소음해석," 대한기계학회 1997년도 추계학술대회논문집A, pp. 754-759.

[3] 박성근, 김진동(1997), "회전형 압축기용 저소음 머플러 개발을 위한 다구찌 방법의 적용," 대한기계학회 1997년도 춘계학술대회논문집 B, pp. 91-95.

[4] 박성현(1982), 「현대실험계획법」, 민영사.

[5] 박성현(1990), 「응용실험계획법」, 영지문화사.

[6] 이종원, 김추호(1994), "다구찌 방법을 이용한 컴퓨터원용 강건설계기법의 개발," 대한기계학회논문집, 제18권, 제2호, pp. 278-291.

[7] Craggs, A.(1976), "A Finite Element Approach for Damped Acoustic Systems: An Application to Evaluate the Performance of Reactive Mufflers," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 48, pp. 377-392.

[8] Hwang, W.J., Park, G.J. and Lee, W.I.(1994), "Structural Optimization Post Processing Using Taguchi Method," *JSME Series A,* Vol. 37, No. 2, pp. 166-172.

[9] Kim, J.K.(1999), "Optimum Design of a Heat-Exchange-Fan Casing of Clothe Using the Taguchi Method," *KSME International Journal*, Vol. 13, No. 12, pp. 962-972.

[10] Sahsrabudhe, A.D., Anantha, R.S. and Munjal, M.L.(1991), "Matrix Condensation and Transfer Matrix Techniques in the 3-D Analysis of Expansion Chamber Muffler," *Japan of Sound and Vibration*, Vol. 143, No. 7, pp. 371-384.

[11] 田口玄一(1991), 「품질설계를 위한 실험계획법」, 한국공업표준협회.