

다구찌 방법과 실험계획법을 이용한 소음기의 설계 방법

Design of Muffler using Taguchi Method and Experimental Design

오재응*, 차경준**, 이규태***, 진정인****
Jaeeung Oh, Kyungjoon Cha, Kyutae Lee, Chungun Chin

ABSTRACT

Recently, the regulations from the government and the concerns of the people give rise to the interest in exhaust noise of passenger car as much as other vehicles. The exact analysis of various mufflers is needed to reduce the level of exhaust noise.

In this paper, we propose a design to improve the mufflers capacity by reducing noise of exhaust system combining Taguchi method and fractional factorial design. In order to measure the performance of a muffler, the performance prediction software which is developed by the Dept. of Automotive Engineering at Hanyang University is used. From the current muffler system, we select control factors such as length and radius of each component that are thought to be effective on capacity of muffler. Factors are arranged using L_{18} , L_{27} table of orthogonal array and the fractional factorial design for analysis. We find some significant interaction effects using 1/3 fractional factorial design and accomplish the reduction of noise from the muffler.

주요기술용어 : Muffler(소음기), Taguchi Method(다구찌 방법), Design of Experiments(실험계획법), Larger the better Characteristic(망대특성), Table of orthogonal arrays(직교배열표)

1. 서론

생활 수준 향상에 따라 트랙터 등 특수차량을 이용한 작업 환경 개선과 주변환경 소

음에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히, 차량의 배기 소음은 환경 소음원의 주요인으로 인식되고 있으며, 작업자의 피로감을 가중시키는 등 작업 환경에 악영향을 미치는 요인이 되므로 이러한 배기 소음의 저감은 주요 연구 대상이 되고 있다. 하지만, 흠배기계 제작 업체들은 이론적인 해석 방법보다는 많은 반복 실험을 통한 소음 저감 성능 향상을 행하고 있다.

* 정회원, 한양대학교 기계공학부

** 한양대학교 수학과

*** 조선대학교 기계공학부

**** 한양대학교 수학과 박사과정

이에 대해 최근에는 소음기에 대한 많은 이론적인 설계기법^{[1][7]}이 적용되고 있다. 소음기의 이론적인 해석은 파동방정식에 의한 전달 행렬법(Transfer Matrix Method)을 이용하고 있으며, 최근에는 유한요소법(FEM)과 경계요소법(BEM)을 이용하여 소음을 음향학적으로 해석하는 방법이 제안되고 있다. 그러나, 유한요소법과 경계요소법을 이용하는 방법은 해석결과의 신뢰성은 우수하나, 모델링 및 해석에 시간과 비용이 많이 소모되며, 설계 변경시 모델링 및 해석을 다시 수행해야 하는 단점이 있어 변경 모델의 성능 검증에는 우수하나 소음기의 개발 초기 단계에는 효율적이지 못한 면이 있다. 따라서, 적은 노력과 비용을 가지고 빠르고 효율적으로 소음기의 소음 저감 성능을 향상시킬 수 있는 방법이 필요하게 되었다. 최근 적은 노력과 비용을 가지고 시스템의 성능 개선을 할 수 있는 방법 중에 다구찌 방법^{[8][9][10]}이 산업 현장에서 많이 사용되고 있으며 이를 적용한 많은 연구사례^{[11][12]}들이 발표되고 있다. 하지만, 다구찌 방법은 각 제어 인자간의 모든 교호작용을 거의 할당하지 않는 문제가 있기 때문에 이를 보완하기 위해서 전통적인 실험계획법인 일부실시법^{[13][14]}을 이용하여 모든 인자간의 교호작용을 확인할 필요가 있다. 그리고, 다구찌 방법은 여러 번의 반복 실험을 해야하나, 기존에 개발된 소음기 소음 저감 성능 해석 소프트웨어^{[3][7]}를 이용할 경우 실험에서 발생 할 수 있는 랜덤 요소가 없으므로 한 번의 해석으로 기존의 반복 실험을 대신 할 수 있어 시간과 비용이 절약된다.

따라서, 본 논문에서는 소음기의 성능향상을 위하여 기존에 개발된 소음기 소음 저감 성능해석 소프트웨어를 이용한 소음기 해석을 바탕으로 다구찌 방법을 이용하여 각 제어인자의 영향을 파악함으로써 주효과를 찾아내고, 전통적인 실험계획법 중 일부실시법을 적용하여 각 제어인자간의 교호작용을 분

석하고 강한 교호작용을 나타내는 인자를 찾아낸 후, 강건설계를 위하여 잡음인자로서 온도를 첨가한 다구찌 방법을 다시 적용하는 소음기의 소음 저감 성능향상을 위한 설계 방법을 제시하였다.

좀더 자세히 언급하면, 소음기의 성능에 영향을 미치는 8개의 제어인자를 선택한 후 최소한의 실험횟수로 최대한의 인자를 배치할 수 있는 L_{18} 직교배열표를 이용하여 유의한 주효과를 검출하였다. 그러나 교호작용 또한 소음기의 성능에 영향을 미치므로 위에서 찾아낸 유의한 주효과를 이용하여 일부실시법을 시행한 후 유의한 교호작용을 검출하였으며, 마지막으로 잡음인자로서 온도를 첨가한 다구찌 방법으로 L_{27} 직교배열표를 이용하는 설계방법을 제시하였다.

2. 실험계획법

실험계획법의 정의는 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것으로 Fig. 1에 도식되어 있다.

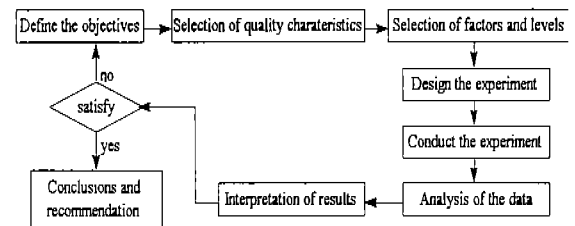


Fig. 1 Flow chart of experimental design

실험에서의 반응치를 특성치, 반응치에 영향을 주는 원인 중 실험에서 취급되는 원인을 인자라고 부르는데 실험계획법에서는 주로 분산분석(analysis of variance)을 통하여 유의한 인자를 찾아내고 최적조건을 구하게

된다. 분산분석이란 특성치의 산포를 제곱합(sum of squares, 또는 변동)으로 나타내어 이 제곱합을 각 인자의 제곱합으로 분해하여 오차에 비해 큰 영향을 주는 요인이 무엇인가를 찾아내는 방법이다. 각 요인의 제곱합을 그 요인의 자유도로 나누면 그 요인의 제곱평균이 되며 오차분산에 비하여 얼마나 큰가를 F검정을 통하여 알아내게 된다.

간단한 예를 들어보면, 어떤 특성치에 관한 요인 A의 영향이 어느 정도인지를 알아보기 위하여 A의 수준을 변화시켜 가면서 실험을 하였다. 그 때 특성치의 산포를 나타내는 제곱합은 요인 A에 의한 제곱합과 오차라는 요인의 제곱합으로 분해할 수 있다. 특성치의 제곱합을 총제곱합(total sum of squares)이라고 하며 Fig. 2에 나와 있다.

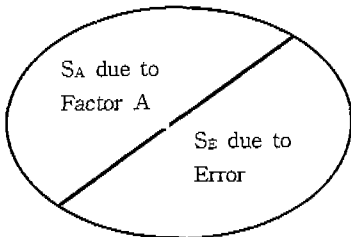


Fig. 2 Separation of sum of squares

이 제곱합들에 관련된 자유도를 각각 Φ_A , Φ_E 로 나타내면 S_A/Φ_A 를 V_A 로 놓고 요인 A의 제곱평균이라 하며, S_E/Φ_E 를 V_E 로 놓고 오차분산이라 한다. 여기서 비율 $F = V_A/V_E$ 가 크면 요인 A가 오차요인에 비해 통계적으로 유의한 영향을 준다고 말하고 검정결과 유의한 영향을 미친다고 판단되는 인자들 중에 특성치의 값을 최적으로 만드는 수준을 선택하고 최적 조건을 찾아나가게 된다.

실험계획법에서 많이 사용되는 요인배치법과 다원배치법은 소용기처럼 인자의 수가 많은 복합구조물의 경우에는 실험횟수가 기하급수적으로 많아지게 된다. 실험의 횟수가

많아지면 실험실시일이 수일이 되는 등 동일한 조건하에서 실험을 행하기가 힘들게 된다. 따라서 크게 유의하지 않고 결과해석에 어려움이 있는 3차 이상의 교호작용에 대하여 검출을 하지 않는 대신 실험의 횟수를 줄이는 일부실시법과 교략법을 많이 사용하게 된다. 본 논문에서는 일부실시법을 사용하였으며, 일부실시법이란 유의하지 않다고 판단되는 교호작용이라든가 고차의 교호작용은 구하지 않고 인자의 조합 중 일부만을 실험하여 실험의 횟수를 줄이는 방법이다.

3. 다구찌 방법

다구찌 방법은 전통적인 실험계획법과는 다른 매우 독특한 개념에서 출발한다. 품질을 정의할 때 제품이 출하된 후에 발생하는 다음 세 가지 손실의 합으로 정의한다.

(품질) = (기능의 산포에 의한 손실) + (사용코스트) + (폐해항목에 의한 손실)

그리고 이에 따른 손실함수를 사용하여 SN비를 유도해 낸다. 측정값이 y 이고 목표값이 m 이라 할 때 손실함수(lost function) $L(y)$ 를 m 에 대하여 Taylor 급수를 이용한 전개를 하면 다음 식(1)과 같이 된다.

$$L(y) = L(m) + L'(m)(y-m) + \frac{L''(m)}{2}(y-m)^2 + \dots \quad (1)$$

여기서 $L(m) = L'(m) = 0$ 이고 2차 이상의 항을 무시하면 손실함수는 식(2)와 같이 된다.

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (2)$$

이렇게 유도된 손실함수를 이용하여 다구찌 방법은 품질 특성치를 Table 1과 같이 3가지로 분류하고 각각의 SN비를 이용하여 주어진 데이터들을 분석하게 된다.

그리고 다구찌 방법의 특징을 나타내는 것 들로는 다음과 같은 내용들이 있다.

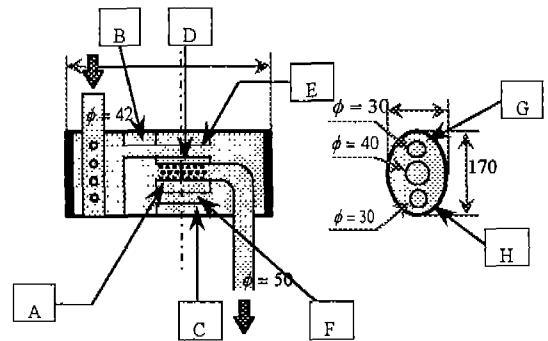
- 적절한 품질특성을 선정할 것
- SN비를 사용할 것
- 손실함수를 사용할 것
- 제어인자간의 교호작용을 최대한 할당 하지 말 것
- 직교배열표를 사용할 것
- 확인 실험을 할 것

Table 1 Classification of quality characteristics

	Loss function	SN ratio
Nominal the better Characteristics	$L(y) = k(y - m)^2$	$10 \log \left(\frac{\bar{y}^2 - \frac{V}{n}}{V} \right)$
Smaller the better Characteristics	$L(y) = k \left(\frac{1}{y^2} \right)$	$-10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$
Larger the better Characteristics	$L(y) = ky^2$	$-10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

4. 주효과와 교호작용의 검출

이번 실험에서 주효과만으로 이루어진 최적조건 선정을 위하여 1차로 다구찌 방법을 이용하였다. 따라서, 주효과만을 가장 효율적으로 배치하여 최소한의 실험횟수로 최대한의 인자를 배치할 수 있는 L_{18} 직교배열표를 이용하였다. Fig. 3은 다구찌 방법을 사용하기 위하여 제어인자로 선택된 요인들을 나타낸 것이다. 삽입관과 다공관은 관심주파수 영역에서 유의하지 않은 인자이므로 제외하였으며, 전체 크기에는 변화를 주지 않고 설계과정에서 변경이 용이하고 경험상 특성치에 대한 기여도가 크리라고 예상되는 것들로 기존 설계안의 설계자와 함께 선정하였다.



- A. segment number of perforated pipe
- B. length of straight pipe
- C. length of straight pipe
- D. Radius of perforated pipe
- E. Radius of straight pipe
- F. Radius of straight pipe
- G. Offset length of inlet pipe
- H. Offset length of inlet pipe

Fig. 3 Control factors of L_{18}

이와 같은 8개의 제어인자를 다구찌 방법에서 많이 사용되는 L_{18} 직교배열표에 Table 2와 같이 배치하였다. 소음기 성능해석은 기존에 개발된 소음기 해석 전용 소프트웨어를 이용하였다. 소프트웨어의 성능검증을 위하여 Fig. 4에 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 나타내었다.

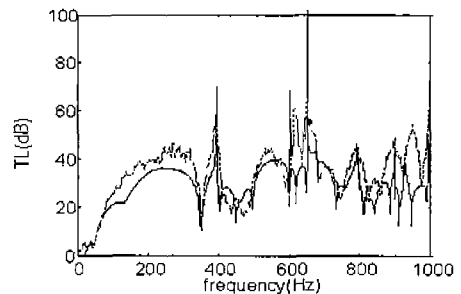


Fig. 4 Comparison between simulation and experimental result

- simulation
- - - experiment

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 실험 결과가 거의 일치하므로 대상계의 전달 손실을 시뮬레이터의 결과로 대치할 수 있으며 시뮬레이터의 사용이 적합하다는 것을 입증할 수 있다.

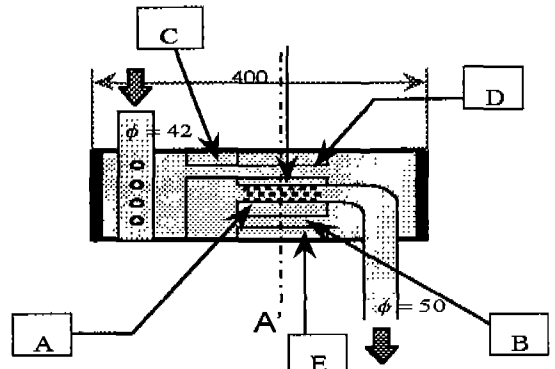
Table 2 Orthogonal arrays of control factors by L_{18}

실험 번호	배열								SN비
	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	6	0.15	0.08	0.015	0.01	0.01	0.05	0.05	37.7860
2	6	0.15	0.1	0.02	0.015	0.015	0.055	0.055	37.7636
3	6	0.15	0.12	0.025	0.02	0.02	0.06	0.06	37.5704
4	6	0.17	0.08	0.015	0.015	0.015	0.06	0.06	37.2068
5	6	0.17	0.1	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	36.5989
6	6	0.17	0.12	0.025	0.01	0.01	0.055	0.055	36.8522
7	6	0.19	0.08	0.02	0.01	0.02	0.055	0.06	39.0073
8	6	0.19	0.1	0.025	0.015	0.01	0.06	0.05	38.3080
9	6	0.19	0.12	0.015	0.02	0.015	0.05	0.055	39.0655
10	7	0.15	0.08	0.025	0.02	0.015	0.055	0.05	39.1426
11	7	0.15	0.1	0.015	0.01	0.02	0.06	0.055	39.9477
12	7	0.15	0.12	0.02	0.015	0.01	0.05	0.06	38.7904
13	7	0.17	0.08	0.02	0.02	0.01	0.06	0.055	39.3603
14	7	0.17	0.1	0.025	0.01	0.015	0.05	0.06	39.1713
15	7	0.17	0.12	0.015	0.015	0.02	0.055	0.05	39.8334
16	7	0.19	0.08	0.025	0.015	0.02	0.05	0.055	38.6190
17	7	0.19	0.1	0.015	0.02	0.01	0.055	0.05	38.8699
18	7	0.19	0.12	0.02	0.01	0.015	0.06	0.05	38.5062

특성치로는 구해진 TL값의 오버울값을 사용하였으며, 값이 클수록 소음기의 성능이 좋은 것이므로 망대특성을 적용하였다.

각 실험에서 구해진 SN비를 특성치로 하여 분산분석을 한 결과 유의 수준을 10%로 잡아도 유의한 인자는 존재하지 않았다. 또한 특성치의 전체 변동 중 8개 인자의 변동으로 설명할 수 있는 비율을 나타내는 R^2 값도 65%밖에 나오지 않았다. 또한 최적수준을 구한 후 그 조건에서의 점추정값은 101.5(dB)이지만 실제 확인실험을 한 결과는 92.5(dB)가 나왔다. 이는 이 모델의 경우 주효과가 특성치에 영향을 미치는 정도가 작게 나타나고 교호작용을 무시했기 때문에 2차 교호작용들이 위의 주효과에 많이 교락되어 있어서 정확한 최적조건을 찾지 못했다고 판단된다. 따라서, L_{18} 직교배열표를 이용하여 실험한 결과 유의하지 않았던 인자들을 제거하고 모든 2인자 교호작용까지 검출할 수 있

도록 각 인자별 자유도의 수를 계산하여 실험의 횟수를 일부실험시법을 통하여 제어인자를 다시 조정하였다. 유의한 주효과들 중 어느 인자들의 2차 교호작용이 강하게 검출이 될지 모르는 상황이므로 모든 2차 교호작용을 검출할 수 있을 정도의 실험횟수(최소51회)를 실행하였으며, 어떠한 2차 교호작용이 강하게 작용하는지를 알아내어 향상된 조건을 찾아내었다. 먼저 일부실험시법을 이용한 해석을 위하여 배치된 인자는 Fig. 5에 나와 있다.



- A. Segment number of perforated pipe:7
- B. Radius of straight pipe:0.02 m
- C. Length of straight pipe:0.19 m
- D. Radius of straight pipe:0.01 m
- E. Length of straight pipe:0.08 m

Fig. 5 Modified control factors

3수준 5개의 인자인 경우 다원배치법에 의하여 $3^5=243$ 회의 실험을 해야 되지만 여기서서는 1/3 일부실험시법을 이용한 81회의 실험을 통하여 최적수준을 구하게 된다. 주효과뿐만 아니라 처음 분석에서는 2인자 교호작용 10개를 모두 포함하는 모델을 선정하였다. 모든 2차 교호작용을 모델에 포함시켰을 때 R^2 값은 97%가 나왔으며 주효과와 10개의 2인자 교호작용 중 유의하다고 판정된 D, E의 교호작용만을 모델에 포함시켜서 다시 분산분석을 시행하였으며 그에 따른 분산분석

표는 Table 3과 같다. 표의 효과만을 모델에 포함했을 때의 R^2 값은 88%이다. Table 3에서 볼 수 있듯이 D, E의 교호작용이 가장 강하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Table 3 ANOVA table

Factors	Mean Square	F Value	Pr>F
A	46.11	3.41	0.0389
B	15.95	1.18	0.3135
C	287.69	21.30	0.0001
D	23.74	1.76	0.1805
E	70.30	5.20	0.0080
D*E	1469.72	10.79	0.0001

또한 각 인자의 수준별 평균값을 나타낸 그림은 Fig. 6과 같고 그림의 접선은 전체평균을 나타낸다. 그림을 보면 인자 A와 C는 선형성을 나타내므로 교호작용이 약하다는 것을 알 수 있고 D와 E는 유의한 교호작용이 존재한다는 것을 볼 수 있다. 그림에서도 나타나지만 분산분석결과 인자 B와 D의 교호작용도 어느 정도 검출이 되지만 R^2 값을 크게 향상시키지는 못하고 교호작용이 늘어나면 해석의 어려움이 있으므로 제외하였다.

이때 각 수준의 조합중 오버울값을 최대로 하는 조합은 $A_1B_1C_1D_3E_1$ 이고 이때의 점추정값은 식(3)에 의하여 구해진다.

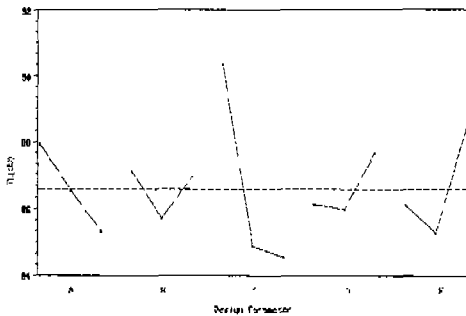


Fig. 6 Mean squares of levels of control factors

$$\begin{aligned}
 \mu(A_i B_j C_k D_l E_m) &= \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + e_m + (de)_{lm} \\
 &= (\mu + a_i) + (\mu + b_j) + (\mu + c_k) \\
 &\quad + \{\mu + d_l + e_m + (de)_{lm}\} - 3\mu \\
 &= \bar{x}_i + \bar{x}_j + \bar{x}_k + \bar{x}_{lm} - 3\bar{x} \quad (3)
 \end{aligned}$$

이 조건에서의 점추정값은 101.68(dB)이고 신뢰도 95%의 신뢰구간은 (99.85, 103.50)이다. 이 조건에서 실제 확인실험의 결과는 100.1(dB)로 오차가 1.6%이므로 추정치와 거의 같음을 볼 수 있다. 이는 다구찌 방법을 사용했을 때와 비교하여 R^2 값이 향상되었기 때문이다. 다른 2차 교호작용을 모델에 첨가하면 더 높은 R^2 값을 얻을 수 있지만 인자가 늘어날수록 해석이 어려워지고 인자가 늘어난 만큼 R^2 값이 크게 향상되지는 않았다. 이로 인하여 기존 설계안의 오버울값 73.5(dB)과 비교하여 약 36%의 성능 향상을 가져올 수 있었으며, 소음기의 부품 중 소음기 내부의 입구관과 출구관의 반경끼리의 교호작용이 강하다는 것을 알 수 있었다. 이를 이용하여 특성치의 성능을 높이는 것만 아니라 품질의 산포를 줄일 수 있도록 다구찌 방법을 적용하였으며 다음 5절에서 자세히 언급하였다.

5. 다구찌 방법을 이용한 해석

일부실험을 이용한 결과를 통하여 소음기의 입구관과 출구관의 반경끼리의 교호작용이 강하다는 것을 확인하였고 그에 따른 오버울값을 최대로 하는 최적수준도 결정하였다. 물론 제품의 성능을 최대로 하는 것도 중요하지만 품질의 산포를 줄이는 것이 또 하나의 목표이다. 다구찌 방법의 가장 큰 특징중 하나가 바로 품질의 산포를 줄이는 것이다. 즉 소음기의 성능이 어떠한 외부요인이 바뀌더라도 크게 영향을 받지 않는 강건설계(robust design)를 하는 것이 매우 중요하다. 따라서 이번 해석에서는 잡음인자로

온도를 추가하여 다구찌 방법을 이용하였다. 또 다른 잡음인자로서 습도나 외부소음을 고려할 수도 있으나 습도변화에 따른 전달손실의 차이는 관심주파수 영역에서 미미한 것으로 판단되며 실험조건이 정해지더라도 실험조건에 따른 정확한 실험의 수행이 어려우므로 잡음인자에서 제외되었다. 또한, 외부소음에 대하여 실험수행 시 외부소음이 적은 시간대를 택하였고, 실험환경이 외부소음과 차단되어 있으므로 외부소음의 영향을 고려하지 않았다. 그러나, 온도의 경우는 배기계의 특성상 온도변화에 따른 실험값의 변화를 예상할 수 있으므로 잡음인자로 선택하였다.

Table 4 Orthogonal arrays of L_{27}

Exp. No	control factors													noise factors		SN ratio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	G1	G2	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	y1,1	y1,2	37.10
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	y2,1	y2,2	37.56
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	y3,1	y3,2	37.91
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	3	y4,1	y4,2	37.66
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	y5,1	y5,2	37.04
6	1	2	2	2	3	3	3	3	1	1	2	2	2	y6,1	y6,2	37.78
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	y7,1	y7,2	38.10
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	y8,1	y8,2	37.79
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	y9,1	y9,2	36.29
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	y10,1	y10,2	36.88
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	y11,1	y11,2	37.48
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	y12,1	y12,2	37.81
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	y13,1	y13,2	37.60
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	y14,1	y14,2	36.82
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	y15,1	y15,2	38.15
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	y16,1	y16,2	37.96
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	y17,1	y17,2	37.97
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	y18,1	y18,2	36.51
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	y19,1	y19,2	36.74
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	y20,1	y20,2	37.66
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	y21,1	y21,2	37.64
22	3	2	1	3	3	1	3	2	1	3	3	2	1	y22,1	y22,2	37.66
23	3	2	1	3	3	2	1	3	3	2	1	3	2	y23,1	y23,2	36.55
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	y24,1	y24,2	37.22
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	3	2	1	y25,1	y25,2	37.85
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	y26,1	y26,2	37.28
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	y27,1	y27,2	36.92
	A	D		E		D*	E	B	C	D*	E					

3수준 다섯 개의 주효과와 한 개의 교호작용을 Table 4와 같이 L_{27} 직교배열표에 배치하였고 각 실험조건에서 온도(18°C와 -10°C)를 변화시켜 두 번씩 반복실험 하였으며, 망대특성을 이용한 SN비를 구하였다.

SN비를 특성치로 하여 분산분석을 시행한 결과 R^2 값은 96%였으며 유의수준 10%에서 유의한 주인자는 D와 E를 제외한 모든 요인이 유의하다고 판정되었다. 오버올값을 특성

치로 했을 때와 마찬가지로 소음기내부의 입구관과 출구관의 반경거리의 교호작용이 가장 강하게 나타났다. 분산분석 결과와 각 인자들의 요인효과도를 Table 5와 Fig. 7에 각각 나타내었다.

Table 5 ANOVA table

control factors	Mean Square	F Value	Pr > F
A	0.104	4.05	0.0454
B	0.074	2.88	0.0949
C	0.254	9.88	0.0029
D	0.003	0.10	0.9076
E	0.069	2.72	0.1064
D*E	5.909	57.53	0.0001

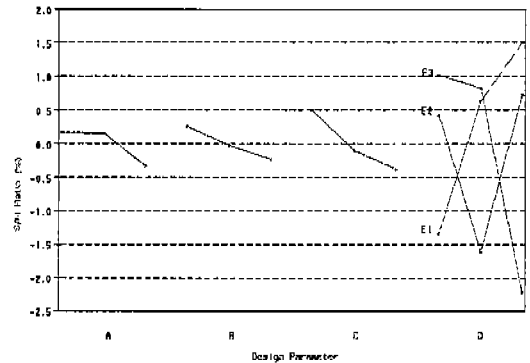


Fig. 7 Graph of factor effect

분석결과에 의하여 SN비를 최적으로 하는 조합은 $A_1B_1C_3D_3E_1$ 이고 일부실시법을 이용하여 구한 최적조건과는 C인자의 수준만이 변경되었다. 기존설계안의 오버올값은 73.5 (dB)이고, SN비는 36.65(dB)이며, 최적조건에서의 점 추정값은 식(1)에 의하여 계산하면 38.31(dB)이다. 그러나 확인실험 후 Table 1의 망대특성의 SN비 공식을 통하여 계산한 값은 37.80(dB)에 불과하였다. 여기에 추가하여 일부실시법에서 구한 최적조건($A_1B_1C_1D_3E_1$)에서 반복실험을 통하여 오버올값을 구한 결과는 100.4(dB)이고 SN비는 38.04(dB)이었다. 따라서 두 가지의 최적조건 중 상온에

서의 오버울값을 최대로 하고 재현성에서도 뛰어난 결과를 보인 $A_1B_1C_1D_3E_1$ 을 최종설계안으로 고려할 때 이 조건에서 오버울값은 26.9(dB), SN비는 1.39(dB)가 증가하는 것을 알 수 있다. Fig. 8에 최종설계 전과 후의 사양에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. Fig. 8을 통하여 최종설계 후의 TL 값이 전반적으로 증가한 것을 볼 수 있으며 따라서 소음기의 성능이 향상되었다는 것을 알 수 있다.

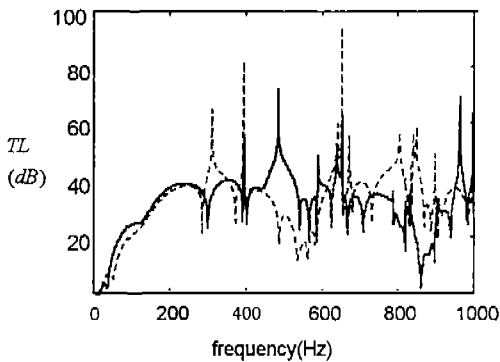


Fig. 8 Simulation results of transmission loss

———— before optimization
 - - - - - after optimization

6. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 다구찌 방법에 의해 나온 결과를 이용해 유의하지 않은 인자를 제외하고 일부실시법을 적용하여 모든 요소의 교호작용을 계산한 결과 입출구관의 반경이 강한 교호작용을 나타냄을 알았다.

2. 일부실시법을 이용하여 찾아낸 강한 교호작용을 나타내는 인자를 첨가하고, 강건설계를 위하여 온도의 잡음 조건을 고려한 L_{27} 을 이용한 다구찌 방법을 사용하여 해석한 결과 기존의 설계에 비하여 오버울값은

26.9(dB), SN비는 1.39(dB)의 성능 향상을 가져왔다.

3. 위와 같이 다구찌 방법에서는 모든 교호작용을 고려하지 못하는 단점을 일부실시법을 이용하여 보완한 후 일부실시법에 의해 찾아낸 강한 교호작용을 나타내는 인자와 강건설계를 위하여 잡음인자까지 고려한 다구찌 방법에 적용하는 설계 방법을 제시하였다.

참고문헌

1. 도중석, "차량용 소음기의 성능해석 및 성능개선에 관한 연구", 한양대학교 대학원 석사학위논문, 1997.
2. M. L. Munjal, "Acoustics of Ducts and Mufflers", John Wiley & Sons, 1987.
3. 오재응, 한광희, 이재철, "승용차용 소음기의 성능해석 및 향상에 관한 연구", 대한기계학회 춘계학술대회논문집 (I), pp.726~732, 1995.
4. 오재응, 한광희, 이재철, "승용차용 소음기의 성능해석 소프트웨어 개발 및 향상에 관한 연구", 자동차공학회논문집, 제4권 제6호, pp.133~143, 1996.
5. 오재응, 한광희, 손동연, "자동차 저소음 흡기계 설계기법에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회, pp.317~322, 1996.
6. 오재응, 한광희, 이규태, "자동차 흡기 소음 저감을 위한 설계기법에 관한 연구(1)-공명기의 적정위치 선정-", 대한기계학회논문집(A) 제21권 제10호, pp.1648~1655, 1997.
7. 오재응, 한광희, 김상현, "자동차 흡기 소음 저감을 위한 설계기법에 관한 연구(2)-흡기계의 사양 개선-", 대한기계학회논문집(A) 제21권 제10호, pp.1656~1665, 1997.

8. 田口玄一, “개발설계단계의 품질 공학”, 한국공업표준협회, 1991.
9. 田口玄一, “품질설계를 위한 실험 계획법”, 한국공업표준협회, 1991.
10. 田口玄一, “품질공학 사례집 미국, 유럽편”, 한국공업표준협회, 1991.
11. 박성근, 김진동, “회전형 압축기용 저소음 머플러 개발을 위한 다구찌 기법의 적용”, 대한 기계학회 춘계학술대회논문집 B, pp.91~95, 1997.
12. Park. S. K, "Application of Quality Engineering for Energy Efficiency of Compressor", The 12th Annual Taguchi Symposium, Rochester, New York. pp.199~211, 1994.
13. 박성현, “현대실험계획법”, 민영사, 1982.
14. 박성현, “응용실험계획법”, 영지사, 1990.
15. G E. P. Box, William G. Hunter, J. Stuart Hunter, "Statistics for Experiments", John Wiley & Sons, 1978.