

# 변속기 기어소음 저감을 위한 트리즈의 활용

허태혁<sup>†</sup> · 유승현<sup>\*\*</sup> · 한경수<sup>\*</sup> · 정응락<sup>\*\*\*</sup> · 허권<sup>\*\*\*\*</sup> · 오대진<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## Using TRIZ about reduction gear noise in transmission

Taehyuck Heo, Seunghyun Yoo, Kyoungsu Han, Ungrak Jung, Kwon Heo, Daejin Oh

**Key Words :** TRIZ(트리즈), Transmission gear noise(변속기 기어소음), 40 Principles(40 가지 방법론), Substance-field analysis(물질-장 분석)

### Abstract

TRIZ is innovative problem solving methodology. It can solve problems by systematical and convergent method, not by the existing divergent method like 'Brainstorming'. In this paper, TRIZ is used for reduction noise from gear in transmission. In order to reduce gear noise, design resources is derived first. According to the derived idea, level and function of system can be defined. After that, we suggest a way to reduce the noise from gear in transmission using 40 Principles and Substance-field analysis of TRIZ.

### 1. 서론

최근 자동차의 품질이 향상됨에 따라 소비자들은 편리성과 쾌적성을 추구하는 방향으로 관심과 요구가 증대되고 있다. 이러한 소비자의 요구사항에 맞춰 자동차 회사들은 쾌적성의 필수 조건인 소음에 관한 해결방안을 찾기 위해 활발하게 연구를 진행하고 있다.<sup>(1)</sup>

본 논문에서는 이와 같은 소음을 해결하기 위한 방안을 세우는데 있어서, 효율적인 개념설계 단계를 거치기 위한 방법으로 트리즈를 활용하고자 한다. 트리즈는 혁신적인 문제 해결 방법론으로써 기존의 브레인스토밍과 같은 발산적 방법론

이 아닌 수렴적이고 체계적인 문제 해결 방법론이다.

2 장에서는 트리즈에 대한 소개를 하고, 3 장에서는 배경이론을 정리한다. 이를 바탕으로 4 장에서는 설계자원의 도출, 5 장에서는 시스템 분석, 6 장에서는 트리즈를 이용한 아이디어 도출을 기술 하겠다.

### 2. 트리즈

구소련의 겐리히 알츠슐러(Genrich Altshuller, 1926~1998)에 의해 시작된 트리즈는 'Theory of Inventive Problem Solving'을 의미하는 러시아어 약어로서 '창의적인 문제해결을 위한 이론(체계적인 이노베이션)'이라고 말할 수 있다. 트리즈는 전 세계의 우수한 특허 20 만 건을 분석하여 만들어진 이론으로써, 우수한 발명가의 발상과 그들의 기법을 정리한 것이다. 이렇듯 창의적이지 못한 사람들도 우수한 발명가의 발상과 기법을 익힌다면, 창의적인 사람이 될 수 있으며, 모순을 가진 어려운 기술적인 문제도 해결할 수 있다는 것이다.<sup>(2)</sup>

<sup>†</sup> 책임저자, 학생회원, 아주대학교 기계공학부  
E-mail : laputath@naver.com  
TEL : 010-6327-4494 FAX : 031-213-7108

\* 아주대학교 기계공학부

\*\* 종신회원, 아주대학교 기계공학부 교수

\*\*\* 학생회원, 아주대학교 산업대학원 기계공학과

\*\*\*\* 기아자동차

\*\*\*\*\* 학생회원, 아주대학교 대학원 기계공학과

### 3. 배경이론

#### 3.1 소음과 진동

소음이란 인간을 성가시고 불쾌하게 만드는 소리로써 학문적으로는 원하지 않는 소리라고 정의되므로 인간 개개인의 주관적인 판단과 인간의 심리적인 면이 내포되어 있다고 볼 수 있다.

진동이란 평형위치에 대한 물체의 반복적인 흔들림을 뜻한다. 진동형태는 시계추와 같이 일정한 간격마다 물체의 흔들림이 반복되는 주기적인 운동이나 지진과 같은 불규칙한 운동(비주기운동)으로 나타나게 된다.<sup>(3)</sup>

#### 3.2 기어소음

변속기에서 발생하는 기어 소음은 기어의 맞물림이나 헐거워진 접합부분에서의 타격(충격)에 의한 진동현상에 의해서 발생된다. 기어 소음은 발생특성에 따라서 화인 노이즈(Whine Noise, 치합음)와 래틀 노이즈(Rattle Noise, 치타음)로 분류할 수 있다.<sup>(4)</sup>

Table 1 Whine noise and Rattle noise<sup>(5)</sup>

	화인 노이즈	래틀 노이즈
현상	탄성 기어쌍의 정상상태 진동	백래쉬에 따른 기어 이의 충돌분리
특성	순음 형태 0.4~1.5 kHz	주기적인 과도 특성
주요 인자	가공오차, 치형변형, 기어의 접촉형태	시스템의 관성, 기타 비선형 요소, 드래그

#### 3.3 자동차 소음진동

자동차 소음 진동은 Fig. 1 과 같이 진동원(소음의 발생 부위)에서 발생하여 공진계를 통해 증폭되고 차체나 공기 등의 전달계를 통해 소음이나 진동이 전달되어 최종적으로 운전자를 비롯한 탑승자가 느끼게 된다.

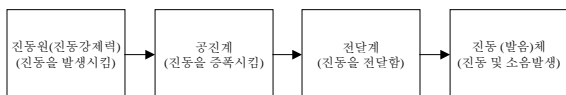


Fig. 1 Origin of Noise from the Automobile and Transmission Route<sup>(5)</sup>

##### 3.3.1 자동차 소음의 종류

소음은 승객의 쾌적성에 영향을 주는 실내 소음은 구동계, 현가계 등 차체를 통하여 전달되는 구조유발소음(Structure-bone-noise, 고체소음(Solid-noise))과 엔진소음, 바람 소리 등 발생 소음이 공기전달에 의해 실내로 유입되는 공기유발소음(Air-bone-noise, 공기소음(Air-noise))으로 구분된다.<sup>(5)</sup>

### 4. 설계자원의 도출

설계 과정에서 기대하는 효과란 설계의 목표가 될 수 있고 더 나아가 IFR(Ideal Final Result)이 될 수도 있다. 그리고 대상에 행동을 가하는 것을 Tool 과 Action 의 관계라 할 수 있으며, 이 둘의 인과관계로 해석된 과학적 효과가 나타난다.

개념설계 단계에서 과학적 효과를 설계자원이거나 설계파라미터로 정의할 수 있으며, 이를 근거로 설계자원을 도출(개념설계)해 나가고자 한다.

#### 4.1 설계자원 수집 1 - 기초이론

진동수의 기본 공식은 식 (1)과 같다.

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

여기서 진동수( $F_n$ )를 낮추기 위해서는 치수를 바꾸거나 추를 달아 질량( $m$ )을 높이든지 재료의 탄성계수( $k$ )가 낮은 재료를 사용하면 된다.

또한 음향출력과 음압레벨의 관계에 의해, 음향출력  $W(W)$ 인 소음원으로부터 거리  $r(m)$  떨어진 소음방사부에 소음장치를 붙여 음향출력이  $W$ 에서  $W'$ 로 변하였을 때 음압레벨을  $SPL'(\mu bar)$ 이라 한다면 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$SPL' = 10 \log W - 10 \log \left( \frac{W}{W'} \right) + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + R_i \right) + 120 \text{ dB} \quad (2)$$

식 (2)에서  $Q$ 는 지향계수이며  $R_i$ 는 방사저항이다.

여기서 소음을 줄인다는 의미로 음압레벨  $SPL'$ 을 낮추고자 한다면, ①원인제거, 강제력 저감 등의 발생원 제거 대책으로  $W$ 를 낮추고, ②소음 장치인 밀폐, 소음기, 흡음 덕트 등의 시설로  $W/W'$ 을 크게 하고, ③거리감쇠로  $r$ 을 크게 하고, ④발생원의 방향 변경 등의 지향성 대책으로  $Q$ 를 적게 하고, ⑤차음, 흡음 등의 대책 등의 환경 대책으로  $R_i$ 를 적게 하는 것, ⑥그밖에 마스킹, 귀마개 등의 수음부 측 대책을 해결책으로 생각할 수 있다.<sup>(6)</sup>

#### 4.2 설계자원 수집 2 - 선행 연구자원

김상욱(한성대학교)의 고효율 에어 갭 공명기의 소음 저감 특성에서 공기층에 의한 소음 저감 특성 논문에서는 소음 저감의 유사환경 실험을 통해 설명하였다.<sup>(7)</sup> 또한 Satoshi ODA의 Vibration and noise of gears of damping alloy 논문에서는 재료에 따른 흡음특성을 실험적인 방법으로 나타냈다.<sup>(8)</sup>

소음진동학에 따르면 방음걸쇠우개(lagging)구조를 사용하면 투과손실이 대폭 상승한다고 명시하였다.<sup>(9)</sup> 또한 특허청의 신기술 동향 자료에서는 유공판의 흡음 및 차음특성을 설명하였다.<sup>(10)</sup>

이외에 여러 소음 관련 서적들을 조사하여 설계자원을 수집하였다.

### 4.3 설계자원의 도출

기초이론과 선행 연구자원을 통해 설계자원을 수집했다. 4.1 절의 기초이론을 통해 소음원을 분석하여 Fig. 2 와 같이 정리한다.

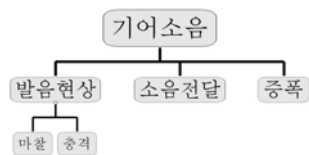


Fig. 2 Noise Analysis

Fig. 2 의 소음원 분석과 4.1 절과 4.2 절에서 수집한 설계자원을 바탕으로 소음방지대책을 Fig. 3 과 같이 정리한다.

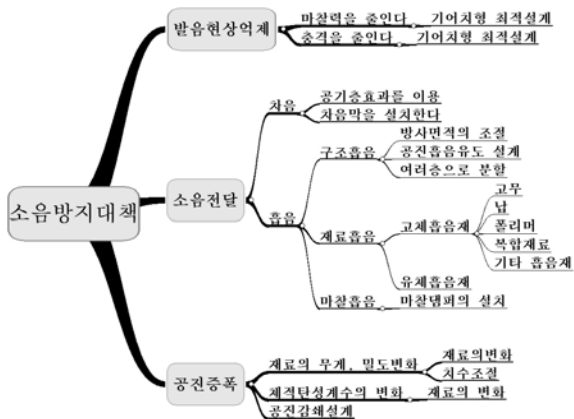


Fig. 3 Design Resources - Noise Prevention Measures

## 5. 시스템 분석

시스템 분석은 개념설계 단계에서 보다 효율적이고 체계적인 분석과 적용을 하는 역할을 한다.

### 5.1 시스템 레벨 정의

변속기를 시스템 레벨에 의하여 정의하고 ThinkWise 를 활용하여 Fig. 4 와 같이 나타낸다. 또한 문제가 되는 기어소음이 어디서 발생하는지 나타내었으며, 각 객체에 달아놓은 숫자는 시스템의 레벨을 의미한다.

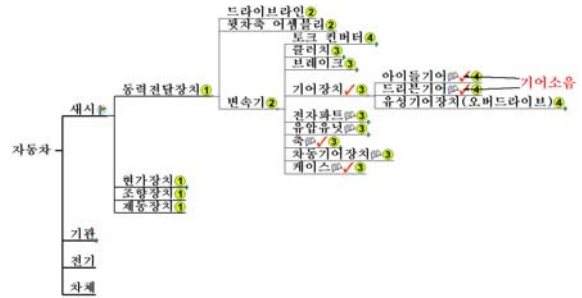


Fig. 4 Definition of System Level

### 5.2 시스템 기능 정의

Fig. 4 의 시스템 레벨 정의를 토대로 각 구성요소의 기능과 관계를 정의하고 Tech Optimizer 를 활용하여 시스템 기능 정의를 Fig. 5 와 같이 나타낸다.

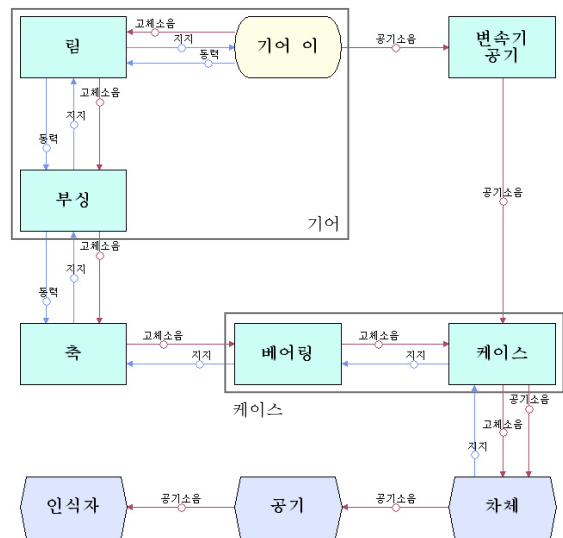


Fig. 5 Definition of System Capacity

### 5.3 기어소음 정의

Fig. 5 의 시스템 기능 정의를 토대로 기어소음을 정의하고 Tech Optimizer 를 활용하여 Fig. 6 과 같이 정의하였다.

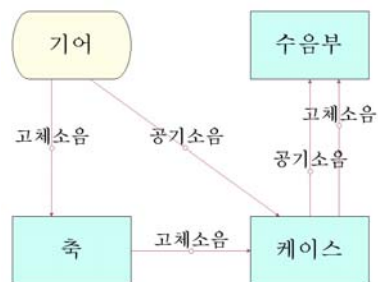


Fig. 6 Definition of Gear Noise

## 6. 트리즈를 이용한 아이디어 도출

### 6.1 시스템 물질-장 분석

Fig. 6의 기어소음 정의에 따라 트리즈의 시스템 물질-장 분석을 정의한다.

$S_1$ : 기어  $S_2$ : 축  $S_3$ : 케이스  $S_{obj}$ : 수음부

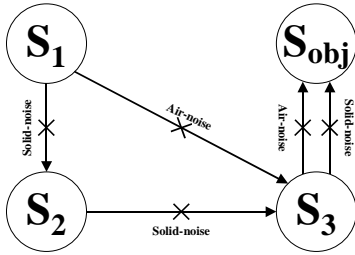


Fig. 7 System Material Substance-field analysis

시스템의 보다 자세한 물질-장 분석을 위하여 구조유발소음과 공기유발소음에 대해 각각 별도의 물질-장 분석을 정의한다.

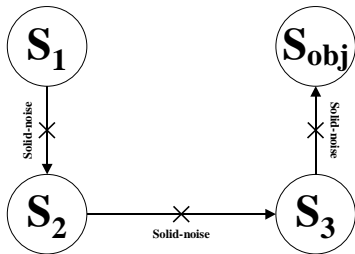


Fig. 8 Structure-born-Noise Substance-field analysis

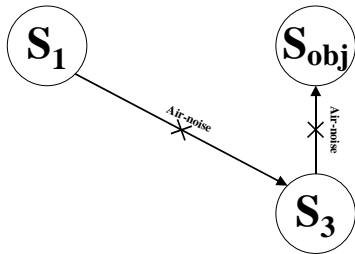


Fig. 9 Air-born-Noise Substance-field analysis

### 6.2 아이디어 #1

자동변속기의 경우 기어소음이 발생하는 이 들기어, 드리븐기어, 종감속기어가 맞물리는 위치에 다공질 구조물을 설치하고, 추가로 구조물 표면에 15~30%의 개공률을 지닌 필름(판)으로 쌓아

직접적인 소음 저감 효과를 기대한다.

Fig. 10에서와 같이 진동원에서 발생한 소음을 다공질 구조물로 흡음 시켜 소음이 공기 중으로 전달되는 과정을 차단하는 아이디어이다.

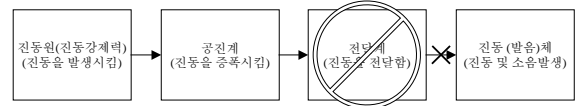


Fig. 10 Conveyance System Interception

### 6.2.1 40 가지 원리를 이용한 아이디어 도출

40 가지 원리 중 7 번 포개기 원리에서 착안하여 30 번 박막 이용, 31 번 다공질 이용 원리에 접목 시켜 아이디어를 도출하였다.

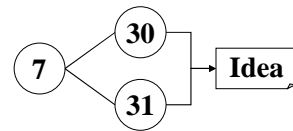


Fig. 11 Idea #1 based upon 40 Principles

### 6.2.2 물질-장 분석

아이디어 #1은 공기유발소음을 차단하는 아이디어로써 물질-장 분석은 Fig. 9의 공기유발소음 물질-장 분석에서 시작된다.

Fig. 9의 S1 주변에 S1'(다공질 구조물)을 설치하여 공기유발소음의 전달을 차단하였다.

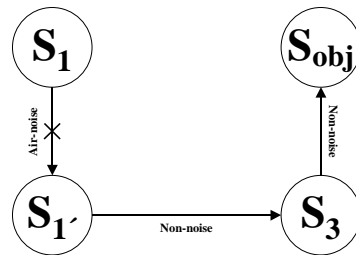


Fig. 12 Substance-field analysis about idea #1

### 6.3 아이디어 #2

기어 홀에 스프링을 설치하여 전체적인 등가탄성계수를 낮춘다. 추가로 스프링 중간에 mass를 설치하여 질량을 늘려 소음(진동)의 증폭을 차단하여 소음 저감 효과를 기대한다.

Fig. 13에서와 같이 진동원에서 발생한 진동을

기어 홀에 있는 오일이나 스프링+mass 로 감쇠 시켜 소음(진동)이 증폭되는 과정을 차단하는 아이디어이다.

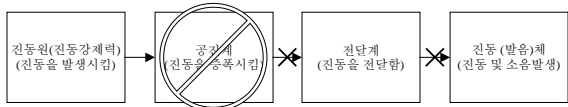


Fig. 13 Sympathy System Interception

6.3.1 40 가지 원리를 이용한 아이디어 도출

40 가지 원리 중 3 번 국소성질 원리와 7 번 포개기 원리에서 착안하여 11 번 사전예방조치, 23 번 피드백 원리에 접목 시켜 아이디어를 도출하였다.

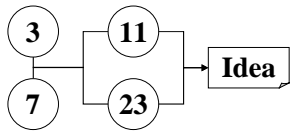


Fig. 14 Idea #2 based upon 40 Principles

6.3.2 물질-장 분석

아이디어 #2 는 구조유발소음을 차단하는 아이디어로써 물질-장 분석은 Fig. 8 의 구조유발소음 물질-장 분석에서 시작된다.

Fig. 8 의 S1 내부에 S1'(오일 혹은 스프링+mass) 을 설치하여 구조유발소음의 증폭을 차단하였다.

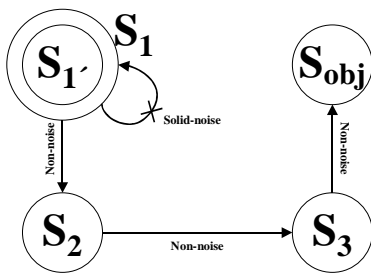


Fig. 15 Substance-field analysis about idea #2

6.4 아이디어 #3

축에 꼭 맞는 링을 설치하여 소음(진동)이 공명 증폭하는 순간을 캐치하여 소음 저감 효과를 기대한다.

Fig. 16 에서와 같이 진동원에서 발생한 진동을 축에 설치한 링으로 감쇠 시켜 소음(진동)이 증폭되는 과정을 차단하는 아이디어이다.

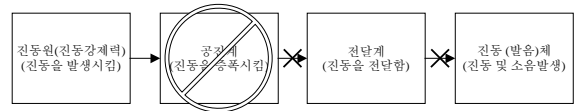


Fig. 16 Sympathy System Interception

6.4.1 40 가지 원리를 이용한 아이디어 도출

40 가지 원리 중 7 번 포개기 원리에서 착안하여 10 번 사전조치 원리에 접목 시켜 아이디어를 도출하였다.

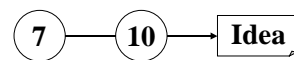


Fig. 17 Idea #3 based upon 40 Principles

6.4.2 물질-장 분석

아이디어 #3 는 구조유발소음을 차단하는 아이디어로써 물질-장 분석은 Fig. 8 의 구조유발소음 물질-장 분석에서 시작된다.

Fig. 8 의 S2 표면에 S2'(고무링)를 설치하여 구조유발소음의 증폭을 차단하였다.

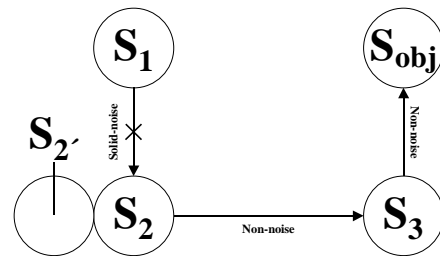


Fig. 18 Substance-field analysis about idea #3

6.5 아이디어 #4

케이스 표면 안쪽에 15~30%의 개공률을 지닌 필름(판)을 설치함으로써 변속기 오일이 자연스레 케이스와 필름 사이 공간에 스며들어 오일막을 형성하게 하여 직접적인 소음 저감 효과를 기대한다.

Fig. 19 에서와 같이 진동원에서 발생한 소음을 오일막으로 흡음 시켜 소음이 공기 중으로 전달되는 과정을 차단하는 아이디어이다.

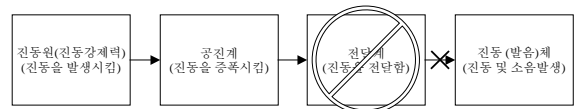


Fig. 19 Conveyance System Interception

6.5.1 40 가지 원리를 이용한 아이디어 도출  
 40 가지 원리 중 6 번 다용도 원리에서 착안하여 30 번 박막이용 원리에 접목 시켜 아이디어를 도출하였다.

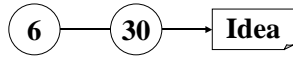


Fig. 20 Idea #4 based upon 40 Principles

6.5.2 물질-장 분석  
 아이디어 #4 는 공기유발소음을 차단하는 아이디어로써 물질-장 분석은 Fig. 9 의 공기유발소음 물질-장 분석에서 시작된다.

Fig. 9 의 S3 안쪽면에 S3'(오일 방음벽)를 설치하여 공기유발소음의 전달을 차단하였다.

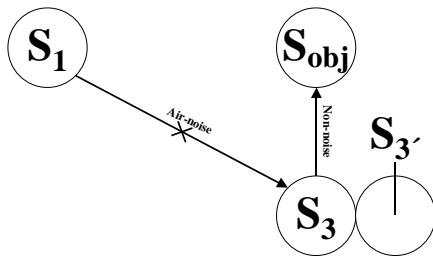


Fig. 21 Substance-field analysis about idea #4

6.6 트리밍  
 기어소음 저감에 대해 앞서 나온 아이디어를 추려내기 위해서 Fig. 22 의 트리밍 과정을 거쳤다.

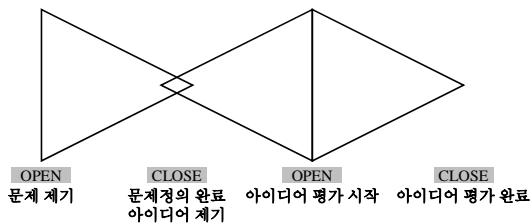


Fig. 22 Trimming

Fig. 22 은 기본적으로 트리즈를 바탕으로 하고 있다. 문제 제기 후 문제를 정의하고, 그에 대한 아이디어를 제기하며 평가를 통한 아이디어 선별 작업을 반복적으로 하는 것을 도식화한 것이다.

아이디어 평가 방법은 과학적으로 근거가 없는 것과 실현가능성이 없는 것을 중점으로 선별하는 방법을 취했다.

## 7. 결론

본 논문은 트리즈를 활용하여 보다 효율적인 개념설계 단계인 시스템 레벨 정의, 시스템 기능 정의와 물질-장 분석과 같은 수렴적이고 체계적인 방법으로 자동차 변속기 내 기어소음 저감 방안을 도출하였다. 이를 위해 배경이론 정리 및 설계자원의 도출, 시스템 분석을 하였다. 이를 바탕으로 40 가지 원리와 물질-장 분석을 통해 아이디어를 도출하였고, 트리밍 과정을 거쳐 아이디어를 추려내었다. 선택된 아이디어는 기어 소음 문제 해결을 대해 충분히 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문을 작성하면서 많은 지도와 도움을 주신 유승현 교수님께 진심으로 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Korean Industrial Property Office, 2000, Automobile noise and vibration reduction technology, pp. 12 ~ 14
- (2) Han, K. S., Yoo, S. H., Heo, T. H., Han, S. H., Cheong, K. Y., Jung, U. R., Oh, D. J., 2007, Innovation-oriented technique classification method using TRIZ, pp. 4 ~ 5.
- (3) Sa, J. S., Noise and vibration in living, Cheong Moon Cak, pp. 11 ~ 35.
- (4) Korean Industrial Property Office, 2000, Automobile noise and vibration reduction technology, pp. 48 ~ 49.
- (5) Sa, J. S., Introduction of automobile vibration and noise, Cheong Moon Cak, pp. 75 ~ 97.
- (6) Jung, I. R., Kim, J. Y., Yoon, S. C. and Lee, T. H., 2001, Newest noise and vibration, sin-kwang moon-hwa-sa, pp. 64 ~ 65.
- (7) Kim, S. W., Lee, J. M. and Lim, W. S., 2004, Noise reduction characteristics of a high-performance air-gap resonator, KSME(A), Vol. 28,NO. 2, pp. 118~124.
- (8) Satoshi oda, Takao koide, Hisao shimizu, Kenzo miura, 1996, Vibration and noise of gears of damping alloy, KSME, International Sessions in Celebration of the 50th Anniversary on DYNAMICS SYSTEMS and DESIGN, pp. 33 ~ 40.
- (9) Kim, B. S., Kim, J. S., Park, S. K., Seo, M. K., Jun, E. C., Jung, J. C., 1997, Noise and vibration mechanics, Jayoo academy, pp. 268 ~ 275, 336 ~ 337.
- (10) R. G. White, J. G. Walker, 1996, Noise and vibration, Ban Do, pp. 26 ~ 28.