

공리적 접근을 이용한 자동차 경량화 설계 - 통합 흡기시스템의 개발 (I) -

Weight Reduction in automobile Design Through Axiomatic Approach - Development of Integrated Air Fuel Module (I) -

문용락*, 차성운**, 윤풍영***
Yongrak Moon, Sungwoon Cha, Pungyoung Yoon

ABSTRACT

Today, one of the most important objectives in automobile development is to reduce the weight of automobile. The eventual depletion of petroleum and environmental regulations brought considerable emphasis to this area on increasing fuel efficiency. Conventional intake air-fuel system is very heavy because it is composed of numerous parts. The bulky size caused increase in the amount of metal being used to build automobile chassis and this became a serious weight problem. The size also caused difficulties in optimization of fuel supply system which in turn decreased engine efficiency. Currently, there are efforts to integrate several intake system modules into one. The purpose of this paper is to evaluate the directions of such development.

주요기술용어 : Axiomatic Approach (공리적 접근), Intake System (흡기 기관), Intake Manifold (흡기 다기관), Integrated Air Fuel Module (통합 흡기 시스템)

1. 서론

현재 자동차 개발에 있어서 가장 중요한 개발 목표 중 하나는 자동차 경량화이다. 자동차 경량화의 추세는 80년대 후반기에 들어 석유의 자원 고갈과 가격의 상승으로 인하여 연비를 줄이려는

노력과 환경규제 강화를 배경으로 자동차 경량화의 중요성이 범세계적으로 부각되면서 미국, 유럽 등 자동차 선진국을 중심으로 보다 중점적인 연구, 개발이 이루어지고 있는 상태이다. 이러한 연구의 중심방향은 신소재의 개발과 자동차를 이루는 많은 부분을 경량화 할 수 있는 설계도출 쪽으로 가닥이 잡혀가고 있다. 이러한 연비절감 추세는 전세계적으로 강화되고 있는 추세이다. 자동차 선진국인 미국은 오래 전부터 자동차의 연비를 규제하기 위하여 CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 제도를 도입, 운영하고

* 정회원, 연세대학교 기계공학과 대학원

** 연세대학교 기전공학부

*** 연세대학교 기계공학과

있다. 1990년대에 들어서 자동차 배출가스로 인한 지구 온난화 현상이 심각한 환경문제로 등장함으로써 CAFE 제도가 새로운 국면을 맞이하면서, 미국 정부는 승용차 연비의 40% 개선을 목표로 새로운 규제의 움직임을 보이고 있다. 그리고 유럽의 경우 EU차원에서 배기가스에 대한 규제가 엄격한 가운데 독일 등 자동차 선진국에서는 승용차의 연비를 5.9리터/100km 수준으로 25% 개선할 계획을 밝히고 있다.

일반적으로 차량중량이 10%정도 가벼워지면 연비효율은 7-10%정도 개선되는 효과를 가져오게 된다. 그러나 구조 변화에 따른 차량 경량화에 의한 안전성 저하 문제와 개발기간의 연장 등의 문제를 야기하지 않고 효과적인 차량경량화를 이룰 수 있는 방안으로 엔진부분 중 흡기기관의 경량화가 중요하다고 할 수 있다.

따라서 본 논문은 공리적 설계기법을 이용하여 자동차의 흡기기관을 경량화 할 수 있는 통합 흡기시스템(Integrated Air Fuel Module)의 개발 방향과 최적의 설계과정을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 공리적 설계

2.1 공리적 접근

공리적 설계는 제품 또는 만족할만한 설계를 위하여 체계적인 방법을 통한 설계과정이다. 만족할만한 설계는 모든 요구조건을 만족시키는 것이라고 할 수 있다. 따라서 설계자의 역할은 설계요건을 만족시키는 것과 동시에 그런 설계요건을 적절히 정의하는 것이라고 할 수 있다. 공리적 설계에서는 기능적 요구들(Functional Requirements, FRs)을 만족시키는 설계와 이러한 기능적 요구들을 만족시키는 설계 요소들(Design Parameters, DPs)의 적절한 선택이 좋은 설계의 요건이라고 할 수 있다. 기능적 요구와 설계 요소들을 간단히 정의하면 기능적 요구(FR)는 '달성하고자 하는 목표'이고, 설계요소(DP)는

'목표를 달성하기 위한 수단'이라고 할 수 있다.

Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 공리적 설계에서 설계과정은 여러 영역 사이에서 각 영역을 관계 지워주는-사상(Mapping)이라고 정의되어지는 과정-작업이라고 정의된다. 설계과정은 다음과 같은 4가지의 영역으로 나누어진다. 소비자 영역(Customer Domain), 기능적 영역(Functional Domain), 물리적 영역(Physical Domain), 공정적 영역(Process Domain)이 그것이다. 설계과정을 예를 들면 먼저 설계자는 소비자의 요구를 만족시키는 기능적 요구들을 선택하고 그 다음에 기능적 요구들을 만족시키는 설계 요소들을 선택한다. 그리고 나서 마지막으로 필요한 설계요소를 구성하는 설계 변수들을 선택하면 된다.

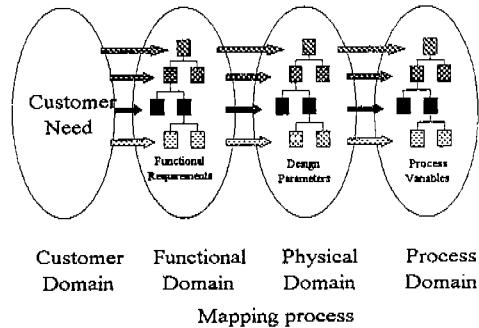


Fig. 1 Relation between the domains

다른 설계의 기법은 단지 설계과정의 몇 가지 측면 또는 한 가지에 초점을 맞추게 된다. 공리적 설계는 어떤 설계라도 그 질을 파악할 수 있으며 설계자로 하여금 목적에 맞는 최적의 독창적인 설계가 가능하도록 해주기 때문에 매우 정확한 설계가 된다. 공리적 설계의 모든 이점을 활용하기 위해서 몇 가지 도구와 방법을 신중하게 사용하여야 한다. 따라서 공리적 설계는 많은 설계 방법들의 제한점인 계층구조 설계과정을 이용하여 강력한 설계의 도구가 될 수 있다.

2.2 설계과정의 계층 구조적 특징

공리적 설계의 규칙에 따르면 설계과정의 본질은 계층구조에 있다. 즉, 설계자는 종합적인 기능적 요구나 종합적 요구에서부터 설계를 시작한다. 따라서 모든 요구는 중요 정도의 차이가 있다. 설계는 기능적 요구들의 많은 계층으로 분해할 수 있다.

그러나 그러한 기능적 요구들의 분해는 동시에 설계 요소의 계층적 분해와 같이 이루어져야만 한다는 전제를 가지고 있다. 설계가 하층구조로 진행될수록 더욱 자세한 내용이 고려되어야 한다. 이러한 것은 설계자의 노력을 효과적으로 사용할 수 있으므로 효과적이다. Fig. 2에서 나타난 바와 같이 상위수준에 있는 기능적 요구가 상위의 설계 요소에 의해 만족되어야만 하위 수준의 기능적 요구를 만족시킬 하위의 설계 요소를 선택할 수 있다. 설계에서 부가적인 창조성은 이러한 절차를 따라서 설계가 이루어질 때 만들어지게 된다. 가장 기본적인 기능적 요구-기능적 요구의 최상위 단계-로부터 시작된 설계과정은 새로운 설계가 제안되어지고 넓은 범위의 설계 요소가 고려되어지므로 정확한 평가가 이루어지게 된다.

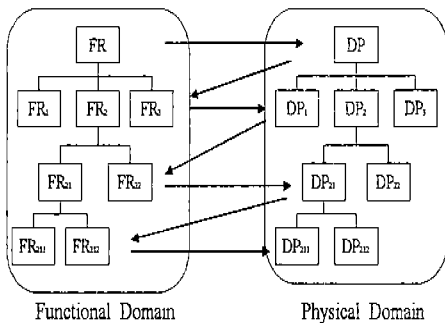


Fig. 2 Hierarchical structure of axiomatic approach

2.3 설계의 공리

공리적 설계는 '좋은' 설계를 선택하기 위하여 쓰는 도구라고 정의된다. 두 가지 설계의

공리는 '새로운 설계의 창조에 도움이 되는 도구'이다. 첫 번째 공리는 기능적 요구의 선택에 대하여 서술한다. 두 번째 공리는 어느 설계가 더 좋은지 질적으로 판단할 수 있는 방법을 제시해 준다. 설계의 공리는 다음과 같이 정의되어 진다.

공리 1 : 독립의 공리

(기능적 요구의 독립성 유지)

공리 2 : 정보의 공리

(정보량의 최소화)

위의 두 가지 공리는 두 가지 이상의 설계 중 더 나은 설계를 선택하는데 필요한 가장 기본적인 방안을 제시한다. 적합한 설계가 되려면 첫 번째 공리를 만족시켜야 한다. 중복되지 않거나 탈 중복화 되었다면 첫 번째 공리를 만족시킨 설계이다. 중복여부를 빠르게 판단하는 방법은 다음 절에서 설명하는 설계 행렬을 이용하는 방법이다.

구상단계의 설계 평가 시에 가장 효율적인 도구는 공리적 설계의 독립적 공리이다. 제안하는 설계의 기능적 요구의 독립성이 유지되는가의 여부를 일찍 아는 것이 만족되지 않는 많은 설계를 초기단계에서 제거할 수 있다. 반면에, 정보의 공리의 이용은 더욱 세밀하고 이미 독립성을 만족시키는 설계를 비교할 수 있는 효과적인 수단이다.

정보의 공리는 설계의 복잡성과 관계가 있으며 상대적으로 단순한 설계가 더 좋은 설계라는 것은 의미한다. 정보의 공리는 기능적 요구를 만족시킬 수 있는 성공률에 의해서 설계요소를 선택한다. 즉, n개의 기능적 요구를 갖고 있을 때 '정보의 양'을 다음과 같이 정의한다.

$$I = \sum_{i=1}^n \log(1/P_i) \quad (1)$$

여기서 P는 성공률이며 I는 정보량이 된다. 성공률이 100%일 때 P=1이 되어 가장 좋은 설계가 되므로 정보량 I가 적을수록 좋은 설계가 된다.

이 논문에서 설계 과정을 평가하는 수단은 독립적 공리이다. 기능적 요구와 설계의 요소사이의 관계를 가장 명확하게 나타내는 방법은 설계행렬을 이용한 독립적 공리의 만족 여부를 확인하는 것이다.

2.4 설계 행렬

기능적 요구와 설계 요소간의 관계는 설계 행렬 [B]를 이용하는 상징적인 방법으로 나타낼 수 있다. 비슷한 방법으로 설계 행렬들을 이용하여 서로 다른 영역사이의 관계를 상징적으로 표시할 수 있다.

$$\{FRs\} = [B]\{DPs\} \quad (2)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ B_{n1} & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

각 행렬성분 B_{ij} 는 FR_i 와 DP_j 사이의 관계를 나타낸다. 설계행렬은 관계가 깊은 요소 끼리는 X로 표시하고 관계가 없거나 약한 요소는 O로 표시한다. 이러한 설계 방정식은 기능적 독립성을 확인하는 간단한 방법이다. 만일 기능적 독립을 자세한 수치로 표현하려면 적절한 관계의 명백성이 필요하게 된다.

기능적 독립성을 유지하므로 체계적인 방법으로 설계요소를 변경시켜서 기능적 요구의 제어가 달성될 수 있다. 기능적 요구의 독립성이 유지되지 않으면 이러한 설계를 중복된 설계라고 하며 어떠한 조정시도도 기능적 요구의 바람직하지 않은 변경이 뒤따르게 된다.

독립적 공리가 만족된다면 설계 행렬은 대

각행렬이나 삼각행렬형태로 나타나게 된다. 대각행렬은 완전하게 기능적 독립의 공리가 만족되는 비 중복화설계를 나타내고 가장 바람직한 행렬이다. 이러한 경우에는 각 기능적 요구가 하나의 설계요소에 독립적으로 영향을 받게된다. 삼각행렬은 탈 중복화설계를 나타낸다. 이러한 설계도 적합한 설계이지만 설계 요소들은 기능적 요구를 만족시키기 위하여 반드시 특별한 순서로 재배치되어야 한다. 반면에 중복되지 않은 설계는 특별한 순서가 필요하지 않다. 세 번째 설계 형태는 중복화설계이다. 이러한 형태의 설계는 적합하지 않은 설계이다. 이러한 설계는 설계요소의 변경에 따른 기능적 요구의 변경에 대해 효과적인 해결 방법이 없기 때문에 바람직하지 않은 설계이다.

3. 본 론

본 장의 목적은 지금까지 살펴본 공리적 접근 이론을 바탕으로 기존 시스템을 평가해보고 그 문제점을 파악하여 문제를 해결할 수 있는 새로운 통합 흡기시스템(Integrated Air Fuel Module)의 기본설계안을 마련하는데 있다. 공리적 접근을 이용하여 기존의 흡기시스템의 평가는 기존 설계의 문제점을 찾아내어서 불필요한 부분이나 기능적으로 유사성을 갖는 부품들을 하나의 통합된 부품으로 설계통합을 이루기 위해서이다. 이를 위해 적절한 사용자의 요구, 기능적 요구를 설정하고 이와 관계된 설계변수들의 정립을 통해 기존의 흡기 시스템의 설계를 평가하기로 하고 새로운 통합 흡기시스템의 설계안의 경우 공정 변수까지 고려하여 구체적인 모듈화 방안을 제시하도록 한다.

3.1 사용자의 요구, 기능적 요구사항 및 설계요소의 설정

흡기·연료 시스템에 요구되는 소비자의

요구 조건은 다음과 같다.

- CR₁ : 연비가 좋아야 한다.
- CR₂ : 성능이 좋아야 한다.
- CR₃ : 시끄럽지 않아야 한다.

위의 소비자 요구를 기반으로 상위 FR과 DP를 설정해 보면 다음과 같다.

- FR₁ : 시스템의 경량화
- FR₂ : 엔진 성능의 향상
- FR₃ : 소음의 감소

연비 향상 문제는 자동차의 경량화 문제와 직결되어 있다. 따라서 연비 향상이라는 소비자 요구에 대한 기능적 요구는 시스템의 경량화라고 볼 수 있다. 흡기 시스템의 경량화는 자동차 경량화를 위한 가장 기본적이고 설계목적에 가장 관계가 깊은 사항이다. 지금까지 경량화를 위하여 많은 시도가 진행되어져 왔고 또한 지금도 진행중이다. 그러나 기존의 재료를 대체할 수 있는 경량화된 재료의 성형기술이 개발되지 않고 또한 경량화를 위한 흡기시스템의 설계가 도출되지 못하여 자동차의 경량화라는 목표를 달성하지 못하였다.

엔진성능의 향상 역시 흡기 연료 시스템이 가져야 하는 기능적 요구사항중의 하나이다. 만일 경량화를 위하여 새로운 흡기 시스템을 개발했지만 엔진성능의 저하를 가져오게 되면 경량화로 인한 이득보다 엔진의 성능저하로 인한 손실이 더욱 커질 수도 있다. 따라서 엔진성능향상도 만족시켜야 하는 기능적 요구사항중 하나이다.

엔진 성능의 향상은 여러 면에서 볼 수 있지만 흡기·연료 시스템과 관련해서는 출력 향상이라는 의미로 받아들여 질 수 있다. 물론 깨끗한 공기의 공급이라는 흡기 시스템의 기본 요구 기능도 성능 향상과 관련이 있으

나 이것은 특정 부품 요소에만 한정된 요구 사항이므로 전체적인 흡기·연료 시스템과 관련해서는 엔진 성능 향상이 기능적 요구로 더 적당하다.

시끄럽지 않아야 된다는 소비자 요구에 대한 기능적 요구는 소음의 감소라고 볼 수 있다. 자동차에서 발생하는 소음은 여러 원인이 있는데 최근에 흡기 시스템 내부에서 발생하는 소음이 많이 연구되어지고 있다. 자동차의 소음은 탑승자에게 불쾌감을 줄 수도 있고, 자동차의 성능저하에도 관계가 있으므로 시스템 내부에서 발생하는 소음을 감소시키는 것이 중요하다.

위의 기능적 요구사항들과 가장 관계가 깊은 설계변수들을 선정하면 다음과 같다.

- DP₁ : 무게
- DP₂ : 체적 효율
- DP₃ : 흡기 맥동

무게의 감소는 흡기 시스템의 경량화와 가장 관계가 깊은 요소로서 기존의 흡기 시스템이나 새로운 통합 흡기시스템에서도 기능적 요구를 만족시키는 설계요소라 할 수 있다. 무게의 감소라는 설계변수는 하나의 부품의 무게를 포함하는 것이 아니라, 여러 부품의 무게를 감소를 포함하는 것이다.

체적효율은 엔진성능을 결정하는 중요한 요소로 흡기 시스템과 관련된 가장 중요한 설계변수이다. 체적효율은 흡기 시스템의 여러 부품들 사이로 흡입된 기체와 혼합연료의 흐름에 관계되는 것으로 체적효율의 향상이 엔진성능 향상으로 이어지는 중요한 설계변수이다.

흡기맥동은 흡기 시스템의 소음과 관계가 있는 설계요소이다. 엔진의 작동에 의한 충격파가 흡입된 기체와의 충돌이 소음의 발생과 밀접한 관계가 있다. 따라서 흡기맥동은 소음의 감소와 깊은 관계를 갖는 설계요소로

서 설정할 수 있다.

3.2 공리적 접근에 의한 기존 흡기·연료 시스템의 평가

앞에서 살펴본 공리적 접근의 장점을 통합 흡기시스템의 설계에 적용하기 위하여 각 기능적 요구사항과 설계변수들의 관계를 설계 행렬을 사용하여 기존의 흡기 시스템을 평가하고 평가의 결과로 나타난 문제점을 해결하기 위하여 새로운 개념의 통합 흡기시스템을 설계한다. 기존의 흡기 시스템을 평가하기 위하여 위에서 설정한 기본적인 기능적 요구들을 하위 개념의 기능적 요구사항들로 분해하여 기존 흡기·연료 시스템을 평가한다. 여기서 평가 대상이 되는 기존 흡기·연료 시스템이란 다중분사(Multi Point Injection, MPI) 전자 제어 방식의 시스템을 말한다.

먼저 첫 번째 기능적 요구 사항에 대한 하위 기능적 요구 사항을 설정해 보면 다음과 같다.

- FR₁ : 시스템 경량화
- FR₁₁ : 가벼운 부품사용
- FR₁₂ : 체결 부품수 감소
- FR₁₃ : 부피 최소화

시스템의 경량화에 대한 첫 번째 하위 기능적 요구 사항은 부품의 무게에 관한 것으로서 경량화에 대한 기능적 요구로 자명한 것이다. 두 번째 하위 기능적 요구 사항은 부품수에 관계된 것이며 세 번째는 흡기·연료 시스템이 차지하는 부피에 관한 것인데 큰 부피나 효율적이지 못한 자리 배치는 쓸데없는 공간의 낭비로 인하여 그만큼 자동차의 부피를 더 크게 하므로 경량화 문제와 직결되어 있다고 할 수 있다.

이상의 기능적 요구사항들에 대한 기존 흡

기·연료 시스템의 설계요소는 다음과 같다.

- DP₁ : 무게
- DP₁₁ : 부품의 재질
- DP₁₂ : 부품 연결 구조
- DP₁₃ : 부품의 크기

가벼운 부품은 부품의 재질 문제와 연관되어 있다. 기존 흡기·연료 시스템의 경우에 있어 흡기다기관(Intake Manifold), 스톱보디(Throttle Body), 연료관(Fuel Rail)은 보통 알루미늄에 규소와 구리 등을 첨가한 알루미늄 합금을 주조 및 가공하여 사용하고 일부 수지를 사용하며 공명관(Resonator), 클리너(Cleaner), 튜브(Tube)등은 플라스틱으로 만들어지고 있다. 체결 부품수에 관련된 설계 변수는 부품들간의 연결 구조라 볼 수 있다. 작은 공간을 차지해야 한다는 기능적 요구에 대한 기존 흡기·연료 시스템의 설계 변수는 부품의 크기로 볼 수 있다.

위의 기능적 요구사항과 설계요소의 관계는 다음과 같은 설계행렬로 나타낼 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & O & X \\ X & X & X \\ O & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{Bmatrix} \quad (4)$$

가벼운 부품을 사용해야 한다는 기능적 요구 사항은 재질 뿐 아니라 부품의 크기에도 연관이 있고 체결부품의 감소라는 기능적 요구 사항은 부품의 연결 구조 외에 재질과 부품의 크기와의도 모두 연관되어 있다. 마지막으로 작은 공간을 차지해야 한다는 기능적 요구 사항은 부품 크기 외에 부품의 연결 구조와도 연관이 있다.

위의 행렬은 중복설계를 나타내며 바람직하지 못한 설계로써 새로운 설계의 개선이 필요하다.

- FR₂ : 엔진 성능 향상
- FR₂₁ : 적정 흡기온도 유지
- FR₂₂ : 유동 저항 최소화
- FR₂₃ : 각 실린더에 균등한 혼합기 분배
- FR₂₄ : 흡입 공기의 기밀성 유지

엔진 향상을 만족시키기 위해서는 체적 효율의 향상이 필요한데 그에 대한 요구 사항으로 위와 같은 하위 기능적 요구사항들이 설정 될 수 있다.

흡기 시스템내의 온도 유지는 아주 중요한데 연료의 기화와 분자화를 위해서는 비교적 높은 온도가 필요하지만 차가운 공기가 같은 부피의 더운 공기에 비해 더 많은 산소를 포함하고 있고 연소 효율을 높일 수 있으므로 최적 공기 온도 유지가 굉장히 중요하다. 또 관로내의 유동 저항이 작아야 엔진이 쉽게 원하는 양의 공기를 공급받을 수 있으므로 중요한 요소가 되고 흡입 공기가 새지 않아야 한다는 요구 사항도 같은 맥락에서 이해 될 수 있다. 또 각 실린더에 균등한 양과 질의 혼합기가 들어가야 엔진이 최적의 성능을 발휘할 수 있다.

위의 기능적 요구사항과 가장 관계 깊은 설계요소를 설정해 보면 다음과 같다.

- DP₂ : 체적효율
- DP₂₁ : 온도 조절 장치
- DP₂₂ : 관로의 형상
- DP₂₃ : 흡기다기관 조정
- DP₂₄ : 기밀 방법

적정 온도 유지를 위한 설계 변수는 각종 온도 센서와 온도 조절장치등으로 이루어진 온도 조절 장치이고, 유동 저항은 관로의 무리한 면적 변화나 곡률 반경 등에서 비롯되기 때문에 관로의 형상과 밀접한 관계가 있다고 하겠다. 각 실린더에 균등한 혼합기를 공급하기 위해서는 흡기다기관의 각 선로의

길이와 형상이 모두 동일하게 하고 갑작스런 굴곡이나 각도의 변화를 없애 선로의 모든 조건을 같게 하여 유동 특성의 최적상태를 맞춰야 하므로 조정(Tuning)이 직접적인 설계변수가 된다. 마지막으로 흡입 공기가 새지 않기 위해서는 각 부품간 연결에 있어 기밀(Sealing)이 중요한 변수로 작용하게 된다. 위의 기능적 요구사항과 설계요소간의 관계를 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \\ FR_{24} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X & 0 & 0 & X \\ 0 & X & X & X \\ 0 & 0 & X & X \\ 0 & 0 & 0 & X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \\ DP_{24} \end{pmatrix} \quad (5)$$

위의 기능적 요구사항과 설계요소의 관계를 생각해 보면 적정 흡기온도의 유지는 온도 조절 장치와 기밀에 의해 영향을 받는다. 관로나 흡기다기관의 형상과는 큰 관계가 없는 것으로 볼 수 있다. 유동 저항의 감소는 관로의 형상뿐 아니라 흡기다기관의 형상과 기밀에도 영향을 받으며 온도 조절 장치와는 큰 연관이 없다. 균등한 혼합기를 공급해야 한다는 요구 사항은 흡기다기관의 조정과 기밀의 영향을 받고 온도 조절 장치나 관로의 형상에 의한 영향은 상대적으로 작다고 볼 수 있기 때문에 관계없으므로 설정 가능하다.

위의 행렬이 나타내는 것은 탈 중복설계로 순서에 따라 설계 변수를 설정함으로써 기능적 요구사항의 독립성을 유지할 수 있으므로 적절한 설계라 볼 수 있다. 즉, 위 행렬에서 아래에서 위 방향으로 설계 변수의 순서를 정함으로써 기능적 요구사항의 독립성을 유지할 수 있다.

- FR₃ : 소음의 최소화
- FR₃₁ : 관로내의 소음 최소화
- FR₃₂ : 공명관의 공진 주파수 조절

자동차에서 발생하는 여러 소음 중 흡기계에 의한 소음은 비교적 최근에서야 연구되고 있다. 소음의 최소화를 위해서는 관로와 공기청정기를 통한 소음을 최소화시킬 수 있어야 하고 소음 저감이 되지 않은 주파수 영역의 소음을 감소시키기 위해 공명관의 주파수를 조절할 수 있어야 한다. 이상의 기능적 요구사항과 가장 관계 깊은 설계 변수를 설정하면 다음과 같다.

DP₃ : 흡기맥동

DP₃₁ : 관로와 청정기의 면적비

DP₃₂ : 공명관의 형상

공기청정기에 연결된 관로의 면적과 그 관로가 연결된 공기청정기면의 면적비에 의해 소음 저감 효과의 차이가 생긴다. 즉, 즉 면적비가 클수록 소음 저감의 효과가 커진다. 그 주파수 특성은 500Hz까지는 단조 증가하거나 사인 함수의 반파장에 해당하는 모양을 가지므로 적절한 면적비가 요구된다. 공명관의 주파수는 위에서 언급했듯이 공명관의 형상에 영향을 받게 된다. 위의 관계를 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

위의 행렬은 중복설계로써 바람직하지 못한 설계이다. 따라서 새로운 설계의 개선이 필요하다고 하겠다.

4. 결론 및 고찰

기존의 흡기 시스템이 가지는 여러 문제들을 개선하기 위하여 통합 흡기시스템을 개발하려는 목적은 자동차를 개발하는데 있어서 차체의 경량화와 개발기간의 단축, 부품공급물류의 개선 등을 목적으로 개발하고 있다.

흡기시스템은 엔진의 효율에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 자동차 경량화에도 필수적이다. 그러나 흡기시스템의 경량화는 대체되는 재료와 새로운 설계안의 도출이 필요하다. 따라서 새로운 설계를 도출하기 위해서 공리적 접근을 이용한 기존의 흡기 시스템의 평가는 필수적이라 할 수 있다.

흡기·연료 시스템의 경우 부피가 필요 이상으로 크고 무게가 많이 나가기 때문에 제작비의 상승과 연료 소비율의 증가를 초래한다. 내열성이 그다지 요구되지 않은 부품에는 고분자 화합물이 대체 재료로 사용될 수 있다. 현재의 기술 수준으로 살펴보면, 현재 일부 흡기다기관에 플라스틱 재료가 쓰여지고 있는 정도인데 이것을 엔진 커버나 스톱 볼 보디 등 다른 구성 부품에 확대 적용시킬 수 있어야 한다. 현재 고려되고 있는 재료는 PA6, PA66, High Temperature PA66(HTN) 등이다. 또 여러 개의 부품으로 복잡하게 연결되어 있어 엔진룸에 쓸데없는 빈 공간을 만들게 되어 크기에 악영향을 끼치게 되고 자동차의 소형화를 방해하게 된다. 그리고 부품수가 많고 볼트 같은 체결 부품이 많이 필요하여 잔고장의 가능성이 크고 물류, 구매비의 상승을 일으켜 원가 상승을 초래한다. 따라서 기능적으로 유사하거나 조립 공정시 함께 체결되는 부품은 하나의 모듈로서 개발되어야 한다. 통합에 따르는 재료의 절감효과는 약 6.5kg정도이며 성능향상을 통한 연비향상은 약 2%내외이다.

통합의 방법은 동일 시스템 내의 부품 통합/병합을 이루는 것이다. 공명관을 공기청정기안에 집적하고 흡기다기관과 일체화시킨다. 공명관을 공기청정기에 집적함으로써 공기 유동 특성을 향상 시켜 소음 저감과 엔진 성능 향상에 도움을 줄 뿐만 아니라 공명관이 차지하는 큰 부피를 줄일 수 있다.

이후 논문에는 위의 평가결과를 바탕으로 새로운 통합 흡기시스템의 설계를 구체적으로

로 제시하고자 한다.

참 고 문 헌

1. J. Erjavec & R. Scharff, Automotive Technology, Delmar, pp.48-56, 1987.
2. Nam P. Suh, The Principles of Design, Oxford Univ. Press, pp.34-41, 1990.
3. A.A. Badawy, F. Bolorchi and S.K. Gaut, "E-Steer TM System Redefines Steering Technology," Automotive Engineering Vol. 9, pp.15-18, 1997.
4. 박병완, "연비 및 배기가스 저감 기술," 자동차용 엔진의 배기 및 연비저감기술, KATECH 부품기술세미나, pp.12-17, 1997.
5. 장병주, 최신 자동차 공학, 동명사, pp.120-130, 1987.
6. 정해일, 권오상, "Hybrid method에 의한 흡기계의 소음 해석," 기아자동차 기보, pp.89-92, 1995.
7. 이지근, "흡기다기관 형상 변화가 LPG엔진의 토크특성에 끼치는 영향에 대한 실험적 연구," 한국 자동차 공학회 논문 5권 6호, pp.78-83, 1997.
8. J. H. Pyun, "에어 인테이크 매니폴드용 플라스틱 재료 개발," 한국 자동차 공학회 구조강도, 재료부문 초록집, pp.156-160, 1997.