

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0097

유전 알고리즘을 이용한 현가장치의 기구학적 최적설계

Optimum Design of Suspension Systems Using a Genetic Algorithm

이 덕 회*, 김 태 수**, 김 재 정***
Duckhee Lee, Taesoo Kim, Jayjung Kim

ABSTRACT

Vehicle suspension systems are parts which effect performances of a vehicle such as ride quality, handling characteristics, straight performance and steering effort etc. Kinematic design is a decision of joints' position for straight performance and steering effort. But, when vehicle is rebounding and bumping, change of joints' displacement is nonlinear and a surmise of straight performance and steering effort at that joints' position is difficult. So design of suspension systems is done through a inefficient method of tried-and-error depending on designer's experience. In this paper, kinematic design of suspension systems was done through the optimal design using a genetic algorithm. For this optimal design, the function for quantification of straight performance and steering effort was made, and the kinematic design method of suspension systems having this function as the objective function was suggested.

주요기술용어 : Vehicle suspension system(차량 현가장치), Kinematic design(기구학적 설계), Genetic algorithm(유전 알고리즘), Optimal design(최적설계)

1. 서 론

현가 장치는 차량의 성능에 많은 영향을 주는 부분으로서, 특히 차량의 승차감, 주행 안정성, 직

진성, 조종성 등으로 표현되는 성능에 영향을 준다. 현가장치 설계는 크게 동역학적 설계와 기구학적 설계로 나뉘는데, 동역학적 설계는 주로 승차감과 주행 안정성을 향상시키기 위해, 타이어 휠의 질량, 스프링의 강성계수(stiffness coefficient)와 감쇠계수(damping coefficient)등을 결정하는 것이다. 이에 비하여 기구학적 설계는 주로 직진성과 조종성을 향상시키기 위해, 현가장치 각 조인트(joint)의 위치를 결정하는 것이다. 일반적

* 회원, 한양대학교 기계설계

** 회원, 한국과학기술연구원

*** 회원, 한양대학교 기계설계

으로 차량을 설계할 때는 먼저 차량의 기본 외양 (layout)을 정하고, 여기서 정해진 범위 내에서 현가장치 각 조인트의 위치를 결정하고(기구학적 설계), 그 위치에서 각 부품의 질량과 동역학적 계수들을 결정한다(동역학적 설계). 즉 현가장치 설계 초기에 기구학적 설계를 통해서 현가장치의 기본 구조를 결정한다. 그러나 현가장치의 운동 양상이 비 선형적이고 성능을 정량화 하기가 어려워 각 조인트의 위치에 따른 현가장치의 성능을 예측하기가 힘들다. 따라서 설계자는 경험과 직관에 의지하여 반복적인 수정작업을 통하여 현가장치를 설계하므로 많은 시간과 노력을 필요로 하게되며 비 효율적이다.

현가장치 설계와 관련된 많은 연구들이 있어 왔는데, 먼저 현가장치의 기구 운동해석을 위해 Suh¹⁾는 비선형적 구속조건식을 수치적으로 푸는 방법을 제안하였고, Sandor²⁾는 벡터식으로 표현된 구속조건식을 세워 해석적으로 푸는 방법을 제안하였다. 또 현가장치 설계를 위해 탁³⁾은 민감도 해석을 이용하여 동역학적 최적설계를 하였다. 또한 백⁹⁾은 유전알고리즘을 이용하였고, 황⁸⁾은 수정 적정 방향법(modified method of feasible directions)을 이용하여 동역학적 최적설계를 하였다. 민⁴⁾,문⁵⁾ 등은 기구학적 특성에 대한 민감도 해석을 하였다. 위 연구들을 살펴보면, 동역학적 특성에 관한 민감도 해석과 승차감, 주행 안정성의 지수화를 이용하여 동역학적 최적설계를 수행할 수 있었으나, 기구학적 최적설계에서는 기구학적 성능인 직진성과 조종성을 지수화하기가 어려워, 기구학적 특성에 대한 민감도 해석에 머무르고 있다.

본 연구에서는 현가장치의 기구학적 설계에 유전 알고리즘을 이용한 최적설계를 적용하였다. 현가장치의 기구 운동해석을 위해 적용하기 쉬운 Suh의 방법을 이용하였다. 또 최적설계를 위해서 직진성과 조종성을 지수화 하는 함수를 제시하여, 이를 목적함수로 하고, 현가장치 구조를 결정하는 조인트의 위치를 설계변수로 하는 최적설계법을 제안하고, 이의 유용성을 평가하였다. 본 연

구에서는 전역해를 얻기 위해 유전 알고리즘을 이용하여 최적설계를 수행하였는데, 유전 알고리즘은 1975년에 Halland에 의해 제안된 이후로 전역해를 구하는 공학설계에 많이 이용되었으며¹³⁾, 현가장치의 동역학적 최적 설계에도 이용되었다⁸⁾.

2. 관련 이론

2.1 현가장치

현가장치는 기구학적 연결 형태, 스프링의 종류, 독립성 여부 등에 따라 여러 종류가 있는데, 본 연구에서는 기구학적 성능에 민감한 더블위시본식(Fig.1)을 설계 대상으로 하였다. 더블위시본식은 구조가 복잡하고, 고가이며, 차체축이 무거우나 제어가 자유롭고 저 마찰화, 조종 안정성, 승차감을 최대화할 가능성이 있어 소형차의 전륜이나 스포츠계 승용차에 많이 사용되며 최근에 사용이 증가하고 있다. 더블위시본 현가장치는 지오메트리를 결정하고 횡력이나 전,후력을 지지하는 컨트롤 암(control arm), 진동,소음 차단,강성을 높이는 프레임(frame), 타이어의 상하 운동과 조향 운동을 가능케하는 볼 조인트(ball joint), 진동을 흡수하는 충격흡수기(coil spring and shock absorber) 로 구성된다.

차량이 주행할 때 움직이는 조인트의 위치변화

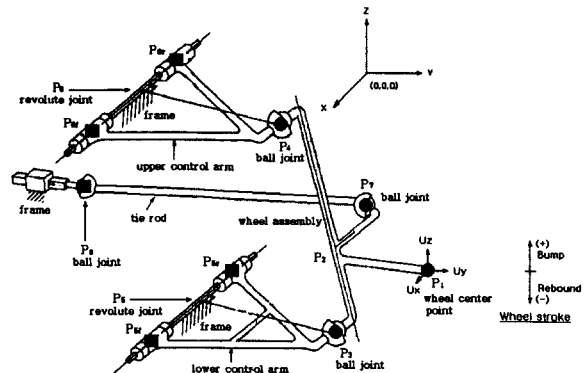


Fig.1 Modeling of a double-wishbone suspension system

를 계산하여 현가장치의 특성을 나타낼수 있는데, 이 위치해석을 위해 일반적으로 더블위시본 현가장치를 Fig.1과 같이 모델링하며, 각 조인트의 위치변화만 구하면 되므로 탄성 변형을 무시하고 기구학적 구속 조건에 의한 강체 운동을 하는 것으로 가정한다. 또 차량 주행시 바퀴는 상하운동을 하게 되는데 이를 wheel stroke이라고 부르고, wheel stroke이 0이면 공차 상태, wheel stroke이 양(+)이면 범프(bump) 상태, wheel stroke이 음(-)이면 리바운드(rebound) 상태 라고 부르며, Fig.1에서 바퀴가 리바운드&범프 할 때 원으로 표시된 P₁, P₃, P₄, P₇ 은 움직이는 조인트이고, 사각형으로 표시된 P₅, P₆, P₈ 은 프레임에 고정된 조인트이다. Fig.1은 왼쪽 앞바퀴만을 모델링한 것으로 x축의 양(+)의 방향이 차량의 전진 방향이며, 프레임에 고정된 조인트들은 바퀴의 상하운동을 고려하도록 리벌루트 조인트(revolute joint)로 모델링 하고, 휠어셈블리(wheel assembly)에 연결된 조인트들은 조향을 위한 전후운동과 바퀴의 상하운동을 고려하도록 볼 조인트(ball joint)로 모델링 한다. 이와 같이 모델링된 현가장치의 자유도를 구하면 다음과 같다. 3차원에서 각 링크의 자유도는 6이며, 볼조인트는 3자유도를 구속하고, 리벌루트 조인트는 5자유도를 구속하는데 Fig.1에서 링크의 수는 4개, 볼조인트는 4개, 리벌루트 조인트는 2개 이므로, 현가장치의 전체 자유도는 $4*6 - 4*3 - 2*5 = 2$ 이다. 그러나 휠어셈블리는 기구 전체의 운동에 영향을 주지 않고 중심축에 대해 회전만 하는 수동적 자유도를 가지므로 전체 자유도는 실질적으로 1이 된다. 바퀴의 상하운동을 입력변수로 하여 리바운드,범프 할 때 조인트의 위치변화를 해석하였다¹¹⁾.

2.2 현가장치의 특성

승차감, 안정성, 조종성, 직진성과 같은 차량 성능은 현가장치의 특성을 나타내도록 특수하게 정의된 값들에 의하여 표현될 수가 있다. 이를 현

가장치 특성이라고 하며 크게 두 가지로 구분될 수 있는데, 첫번째는 현가장치의 기구학적 특성으로, 차량의 직진성과 조종성에 영향을 주는 휠 얼라인먼트 관련 특성들이고, 두번째는 승차감에 영향을 주는 힘과 변위, 변위와 변위의 관계에 대한 특성들이다. 캐스터각, 캐스트 트레일, 킹핀 경사각, 킹핀 오프셋, 캠버각, 토우각 등 휠 얼라인먼트 관련(기구학적) 특성들은 현가장치 모델의 기하학적 위치를 나타내는 조인트의 위치들로부터 직접 계산될 수 있다⁷⁾. 다음은 본 연구에서 고려한 현가장치 특성들이다.

캠버각(camber angle)-휠의 위쪽이 아래쪽 보다 바깥쪽으로 나가면 양, 안쪽으로 들어가면 음으로 정의한다. 조종성을 향상시켜주고, 코너링 성능을 좋게하나 직진성은 감소시킨다. 캠버각에 대한 캐스터각의 영향이 크고 캠버각은 토우각과 적절한 조화를 이루어야 한다.

킹핀 경사각(kingpin inclination angle)-킹핀 경사각은 조향시 휠의 운동을 약간의 구름운동(rolling contact)으로 유도하여 조향을 쉽게 하며, 핸들의 복원력을 증대시켜주며, 주행 및 제동시 충격을 감소시켜서 타이어의 마모를 줄이는 역할을 한다.

킹핀 오프셋(kingpin offset)-물리적인 의미는 접점에 제동력이 가해질 때 킹핀 주위에 발생하는 모멘트의 크기를 결정하는 유효길이 이다. 킹핀 오프셋이 크면 핸들을 빼앗기게 되므로, 이를 방지하고 차량의 자세를 유지한 상태에서 정지시키기 위하여 킹핀 오프셋을 마이너스로 하는 것이 많다.

캐스터각(caster angle)-킹핀축의 아래쪽이 위쪽보다 앞으로 나가면 양, 반대의 경우는 음으로 한다. 선회시 타이어에 작용하는 타이어 발생력에 의한 킹핀 둘레 복원 모멘트를 확보하게 해준다. 또 양의 캐스터는 조향축의 지면 접촉점이 타이어의 지면 접촉면보다 앞에 놓이게 하므로 주행시의 노면 저항이 휠을 정전(straight ahead)방향으로 유도하도록 하여 차량의 직진성을 확보해준다. 그러나 휠에 토인의 경향을 부여하고, 너무

크면 조종성이 나빠진다. 캐스터각을 크게 설정하면 캠버각이 음의 방향으로 변화한다.

캐스터 트레일(Caster Trail)-캐스터 트레일을 크게하면 복원력과 직진성이 향상되나 조종성이 나빠진다. 매뉴얼 스티어링의 경우에는 캐스터 트레일 설정에 한도가 있다.

토우각(toe angle)-안쪽으로 들어가면 토인(toe-in, positive), 바깥쪽으로 나가면 토아웃(toe-out, negative)이라 한다. 구동륜은 토인을, 종동륜에는 토아웃을 준다. 캠버때문에 토아웃의 경향을 가지게 되는데 토인은 이를 상쇄시켜 타이어 마모를 줄이는 역할을 하며 오버 스티어와 언더 스티어를 결정하는 중요한 인자이다. 또 토 변화가 적을수록 안정된 조향을 기대할 수 있다.

2.3 유전 알고리즘

유전 알고리즘(genetic algorithm, GA)은 우수한 적응도를 가진 개체가 주위환경(최적설계문제의 경우에는 주어진 구속조건)속에서 더 큰 생존확률을 가지고 더 많은 교차조작에 참가하여 다음 세대에 우수한 개체를 생성하는 자연계의 적자생존의 원리와 번식, 교배, 돌연변이를 통해서 다음 세대를 형성하는 유전과정의 원리를 응용한 확률, 통계적 다점 최적화 방법이다. 유전 알고리즘의 특징은 파라미터 코딩한 것을 직접

이용하고, 다점(multi points : 군(population))탐색 방법이므로 전역해를 구할수 있으며, 탐색에 적합도 함수를 이용, blind search를 하므로 미분값이나 다른 부가적인 지식을 요구하지 않는다. 또, 결정론적인 규칙이 없고, 확률적 연산자를 사용하므로 적용하기가 쉽다¹⁴⁾. 유전 알고리즘의 flow chart는 Fig.2와 같다.

본 연구에서 사용한 유전연산자는 다음과 같다

(1)선택(selection)

선택 연산자는 잘 적응한 해들은 살아남고 잘 적응하지 못한 해들은 도태되도록 유도함으로써 자연 선택(natural selection)현상을 모델링한다. 선택의 기반이 되는 것은 적합도이며 그 기본 원리는 더 좋은 개체들에게 특권을 부여한다는 것이다. 본 연구에서는 적합도 비례 선택(proportion selection)과 엘리트 보존 선택(elitist preserving selection)을 함께 사용하였다. 적합도 비례선택은 기본적인 선택방법으로 적합도가 우수한 개체일수록 다음 세대에 자손을 남길 확률이 높아지도록 하는 것이다. 엘리트 보존 선택은 확률에 따라 개체를 선택하여 교배 및 돌연변이의 결과로 특별히 좋은 해가 소실되는 것을 막기 위하여 가장 좋은 해를 보존하여 다음 세대에 남기는 방법이다. 일반적으로 다른 선택 방법과 융합하여 사용한다. 그러나 가장 좋은 해를 잃지 않고 보존하는 대신 엘리트 개체의 유전자가 개체군 전체로 급속히 퍼져나갈 가능성이 높기 때문에 국소적인 해로 수렴할 위험을 가지고 있다. 이를 방지하기 위해 적합도 비례선택과 돌연변이조작을 적절하게 사용하였다.

(2)교배(crossover)

교배는 2개의 개체간에 염색체를 부분적으로 서로 바꿈으로써 새로운 개체를 생성하는 것이다. 이때 부모의 형질이 자손에게 계승된다. 본 연구에서는 유전자가 독립적으로 교환될 수 있도록 마스크를 쥘위 비트가 0일 경우에만 유전자를 교환하는 일정 교배(uniform crossover) 방법을 사용하였다.

(3)돌연변이(mutation)

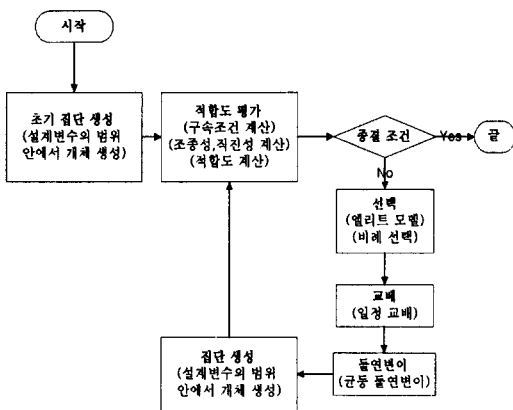


Fig.2 Flow chart of genetic algorithm

개체의 각 유전자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립 유전자의 값으로 바꾸는 것이다. 개체에 근접한 새로운 개체를 생성하는 국소적인 랜덤 탐색의 효과를 준다. 또 집단에서 잃어버린 유전형질을 복구하여 다양성을 유지하기 위한 수단으로 사용된다. 돌연변이 확률이 높으면 전역적인 탐색 효과가 나타나며, 진화의 초기에 뛰어난 성능을 발휘하지만, 진화의 후반부에는 높은 적합도를 가진 개체를 바꿔버릴 수도 있다. 즉 탐색된 우수한 최적해가 사라질 수도 있다. 돌연변이 확률이 낮으면 초기 유전자조합 이외의 공간을 탐색할 수 없기 때문에 국부적인 최적해에 빠질 수 있다.

3. 현가장치의 기구학적 최적설계

현가장치 성능은 차량 주행시 현가장치 특성의 변화를 통해서 파악되고, 이 현가장치 특성은 위치가 변하는 조인트의 위치에 의해 결정되므로 본 연구에서는 Fig.1에서 움직이는 조인트인 P_1 , P_3 , P_4 , P_7 의 각 좌표값을 설계변수로 하였다. 또 설계자의 요구를 구속조건으로 하였으며, 직진성과 조종성을 동시에 균등하게 고려하도록 목적함수를 정하였다. 이 설계변수, 구속조건, 목적함수를 가지고 전역해를 구하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였다. 새로운 집단을 생성할 때 설계변수의 범위 안에서만 각 개체를 생성함으로써 설계변수에 대한 구속조건을 만족 시켰으며, 구속조건 함수와 목적함수를 통해서 각 개체의 적합도를 계산하여 구속조건을 만족하면서 직진성과 조종성을 동시에 고려하였다. 유전 알고리즘의 종료조건으로는 지역해에 빠지지 않기 위해, 설정한 세대교체의 최대횟수에 도달할 때 까지 반복하도록 하는 방법을 사용하였다. 그러나 이 방법은 최적해를 탐색하기에 충분한 세대교체 횟수를 사용자가 설정해 주어야 하므로 본 연구에서는 여러 번의 반복 수행후에 2000번의 세대교체 횟수로 정하였다. 다른 종료방법으로는 집단해의 적합도가 일정한 비율 이상일 때 종료하는

방법과 일정 세대동안 해의 개선이 없을 경우에 종료하는 방법이 있으나 지역해에 수렴한 후 종료될 가능성이 있다.

3.1 조종성과 직진성의 성능 지수화

현가장치의 기구학적 성능인 조종성과 직진성은 서로 trade-off의 관계이므로 한쪽 성능에 치우치지 않고 둘을 동시에 균등하게 고려할 수 있는 목적함수를 구성하여야 한다. 이 목적함수를 구성하기 위해 추상적인 개념인 조종성과 직진성을 성능 지수화 해야한다. 그러나 조종성과 직진성을 나타내는 마땅한 지표가 없으므로 조종성과 직진성에 영향을 미치는 6개의 현가장치 특성을 이용하여 식(1), 식(2)와 같이 성능 지수화 함수를 구성하였다.

$$F_{re} = \sum_{i=1}^n W r_i \Delta \alpha_i \quad (1)$$

$$F_{st} = \sum_{i=1}^n W s_i \Delta \alpha_i \quad (2)$$

F_{re} : 직진성에 대한 성능지수화 함수

F_{st} : 조종성에 대한 성능 지수화 함수

$$\Delta \alpha_i = \alpha_i - \alpha_{st}$$

α_i : 현가장치 특성값

α_{st} : 현가장치 특성 기준값

$W r_i$: 각 현가장치 특성이 직진성에 영향을 미치는 정도(직진성에 대한 가중치)

$W s_i$: 각 현가장치 특성이 조종성에 영향을 미치는 정도(조종성에 대한 가중치)

식(1)와 식(2)에서 α_{st} 는 직진성과 조종성을 동시에 고려할 때 일반적으로 많이 사용하는 값을 의미한다. 그리고 직진성에 대한 가중치는 각 현가장치 특성값이 증가할 때 직진성이 감소되면 음(-), 향상되면 양(+),의 부호를 주고, 직진성에

영향을 미치는 정도를 상,중,하로 나누어 3,2,1의 크기를 주었다. 그러나 캐스터 트레일과 킹핀 오프셋은 각각 캐스터각과 킹핀 경사각에 의존하므로 크기를 반으로 줄였다. 이 기준과 참고문헌, 전문가의 도움을 이용하여 직진성에 대한 가중치를 결정하였다. 조종성에 대한 가중치도 같은 방법으로 결정하였으나 킹핀 오프셋은 킹핀 경사각과 달리 조종성을 감소 시키는 방향으로 큰영향을 미치는 것으로 생각하였다. 직진성과 조종성의 trade-off관계를 나타내기위해 각 현가장치 특성의 직진성에 대한 가중치와 조종성에 대한 가중치의 부호를 다르게 정하였다.

3.2 적합도 함수

복잡한 구속조건을 가진 문제를 구속조건이 없는 문제로 변환하기 위해 벌칙함수법(exterior penalty function)을 사용하였고, 다목적함수 계산은 가중치를 곱한 각 목적함수의 합을 새로운 목적함수로 취해 최적설계를 수행하는 weighted sum method를 사용하였다. 적합도 함수는 식(3)과 같다.

$$F_{fitness} = w_{re}F_{re} + w_{st}F_{st} + \gamma_{diff}G_{diff} + \sum_{j=0}^n \gamma_j (\max(G_j, 0))^2 \quad (3)$$

G_{diff} : 캠버각, 토우각 변화에 대한 구속 조건

G_j : 현가장치 특성의 범위에 대한 구속 조건

w_{re}, w_{st}, γ : 가중치

식(3)에서 조종성과 직진성을 동시에 고려하기 위해 가중치 w_{re} 와 w_{st} 를같은 값으로 주었고 설계변수인 조인트의 위치에 대한 구속조건을 만족시키기 위해 정해진 범위 내에서만 개체를 생성하여 새 집단을 형성하도록 하였다. 이 적합도 함수는 한쪽 성능에 치우치지 않게 조종성과 직진성을 동시에 균등하게 고려하는 방향으로 최적설

계가 수행되도록 하므로 각 성능지수의 크기보다는 부호가 더 중요하다. 즉 식(3)으로 표현되는 적합도 함수는 직진성과 조종성 각각을 개별적으로 향상시키기 위한 것이 아니라 어느 한쪽 성능으로 치우치지 않게 설계를 하기 위한 것이다. 그러므로 본 연구에서는 이 두 성능의 차가 작을수록 좋은 성능으로 평가하였다.

4. 적용 사례

4.1 설계자의 요구 및 기본 설정값

현가장치의 기구학적 설계시, 설계자의 일반적인 요구는 주로 조인트의 위치에 관한 요구와 현가장치 특성에 대한 요구가 있는데, 조인트 위치에 관한 요구는 각 조인트들이 일정한 영역안에 위치해야 하는 것이며, 현가장치 특성에 관한 요구는 공차 상태에서 각 현가장치 특성이 설계자가 정한 허용범위를 만족해야 하는 것과 리바운드,범프 할 때 캠버각 변화와 토우각 변화가 설계자가 원하는 캠버각 변화와 토우각 변화에 가까워지도록 하는 것이다. 이에 본 연구에서는 설계 변수인 조인트의 위치 범위를 ADAMS의 예제를 참고하여 Table.1과 같이 주었고, 현가장치 특성의 허용범위는 자동차 핸드북을 참고하여 Table.2와 같이 주었다. 또 ADAMS의 예제와 전문가의 검증을 바탕으로 리바운드,범프 할 때 캠버각 변화는 wheel stroke이 -60 mm일 때 -0.302, +60mm일 때 -1.264를 가지는 변화에 가까워지도록 하고, 토우각 변화는 wheel stroke이 -60mm일 때 0.314, +60일 때 -0.102° 를 가지는 변화에 가까워지도록 하였다. 여기서 차량 주행시 wheel stroke의 크기는 -60 ~ +60(mm)로 하였는데, 이는 차량이 일반도로에서 주행할 때 가장 빈번하게 발생하는 리바운드와 범프 크기이다.

Fig.1에서 설계변수 P_1, P_3, P_4, P_7 의 위치변화를 해석하기 위해서 프레임에 고정된 조인트 P_5, P_6, P_8 의 위치를 정해주어야 하는데, 본 연구에서는 P_5, P_6, P_8 의 위치를 ADAMS의 현가장치에

대한 예제와 전문가의 검증을 통해서 Table 3과 같이 정하였다. 또, 현가장치 특성 기준값은 전문가의 도움을 받아 Table 4와 같이 정하였으며, 성능 지수화 함수에 사용되는 가중치들은 3.1절에서 설명한 기준과 참고 문헌, 전문가의 도움을 통해서 Table 5와 같이 주어서 직진성과 조종성을 동시에 고려하도록 하였다.

4.2 결과 및 평가

위에서 결정한 구속조건과 기본 설정값을 바탕으로 유전 알고리즘을 이용한 최적설계를 수행하였고, 이 최적설계를 평가하고 유전 알고리즘 적용의 유용성을 검증하기 위해 임의의 초기값을 갖는 경도법 기반의 최적설계와 유전 알고리즘을 이용한 최적설계의 결과위치를 초기값으로 하는

경도법 기반의 최적설계를 수행 하여, 이 세 최적설계의 결과를 비교하였다. 경도법 기반의 최적설계는 초기값에 따라 결과값이 달라지므로 나쁜 초기값일 경우와 좋은 초기값일 경우 둘 다 수행하여 본 연구를 평가하였다. 이때 유전 알고리즘에 사용되는 파라미터로 집단 크기는 50, 세대 교체의 최대횟수는 2000, 교배율은 0.8, 돌연변이율은 0.05로 하였으며, 경도법 기반의 최적설계 방법으로는 구속조건이 있는 문제에 일반적으로 많이 사용하는 MFD(method of feasible directions)를 ADS(automated design synthesis)를 이용하여 수행하였다. GA를 이용한 최적설계와 임의의 초기값에서 ADS를 이용한 최적설계, GA를 이용한 최적설계의 결과를 초기값으로 하는 ADS를 이용한 최적설계를 수행한 결과는 각각 Table 6

Table 1 Joint 위치 범위

	x	y	z
P1	1400~1500	700~800	450~550
P3	1350~1450	650~750	300~400
P4	1350~1450	550~650	650~750
P7	1250~1350	650~750	400~500

Table 2 현가장치 특성의 허용범위

	α camber	α toe	α caster	d_{trail}	α kingpin	d_{offset}
범위	-2 ~ 1	-0.5 ~ 1	1 ~ 10	0 ~ 30	7 ~ 13	-10 ~ 30

Table 3 고정된 Joint 위치

	x	y	z
P5f	1584	307	389
P5r	1260	307	383
P6f	1588	384	644
P6r	1306	384	715
P8	1311	337	471

Table 4 현가장치 특성 기준값

	α camber	α toe	α caster	d_{trail}	α kingpin	d_{offset}
범위	-1	0.1	3	5	12	-5

Table 5 성능에 대한 현가장치 특성의 가중치

	α camber	α toe	α caster	d_{trail}	α kingpin	d_{offset}
직진성(Wr)	-2	1	3	1.5	-2	1
조향성(Ws)	3	-2	-2	-1	1	-3

, Table 7, Table 8 과 같다. GA와 ADS의 결과는 다른 반면 GA와 GA+ADS의 결과는 거의 같음을 볼 수 있는데, 이는 GA의 결과가 유용함을 보여 준다.

이 결과값 들을 평가하기 위해 wheel stroke이 -60 ~ +60으로 변할 때 각각의 결과위치에서 각 현가장치 특성의 변화와 현가장치 성능의 변화를 살펴보았다. 캠버각의 변화는 Fig.3, 토우각의 변화는 Fig.4, 캐스터각의 변화는 Fig.5, 캐스터 트레일의 변화는 Fig.6, 킹핀 경사각의 변화는 Fig.7, 킹핀 오프셋의 변화는 Fig.8, 현가장치의 기구학적 성능인 조종성과 직진성의 변화는 Fig.9 과 같다.

캠버각과 토우각은 설계자가 요구하는 변화에 가까워야 하고, 전 wheel stroke 범위에서 허용범위를 만족해야 하는데, Fig.3, Fig.4에서 보는 바와 같이 GA, ADS, GA+ADS 모두 허용범위를 만족하면서 설계자가 요구하는 변화에 가까이 있음을 알 수 있다. 또한 캐스터각과 캐스터 트레일, 킹핀 경사각과 킹핀 오프셋은 공차 상태 (wheel stroke이 0 일때)에서 허용범위(그림에서 사각형 막대)를 만족해야 하는데, Fig.5, Fig.6,

Fig.7, Fig.8에서 보는 바와 같이 GA, ADS, GA+ADS 모두 허용범위를 만족하고 있다. 그리고 Fig.9에서 조종성과 직진성은 서로 Trade-off 관계이므로 한쪽 성능에 치우치지 않고 두 성능을 동시에 균등하게 고려하는 것을 좋은 성능으로 하였다. 그러므로 Fig.9에서 직진성과 조종성의 차가 작을수록 좋은 성능으로 생각할 수 있으며, ADS의 성능 차보다 GA와 GA+ADS의 성능 차가 더 작으므로, GA와 GA+ADS의 결과가 더 좋은 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현가장치의 기구학적 설계를 위해 유전 알고리즘을 이용한 최적설계를 제안 하였다. 이를 위해 기구학적 성능인 조종성과 직진성을 성능 지수화 하는 함수를 구성하였고, 직진성과 조종성을 동시에 균등하게 고려할 수 있는 목적함수를 생성하였으며, 설계자의 요구 사항을 구속 조건으로 하여 조인트의 위치를 결정하였다. 이 유전알고리즘을 이용한 현가장치의 기구

Table 6 GA를 이용한 최적설계 후 결정된 Joint 위치

	x	y	z
P1	1409.8	758.1	528.9
P3	1431.9	653.2	365.1
P4	1425.6	579.7	683
P7	1265.7	671.4	457.5

Table 7 ADS를 이용한 최적설계 후 결정된 Joint 위치

	x	y	z
P1	1400	713.18	466.999
P3	1386.19	669.645	312.714
P4	1360.2	569.65	679.579
P7	1250.27	655.453	421.317

Table 8 GA+ADS를 이용한 최적설계 후 결정된 Joint 위치

	x	y	z
P1	1409.83	758.097	528.922
P3	1431.66	653.194	365.085
P4	1425.12	579.729	682.085
P7	1265.7	671.401	457.477

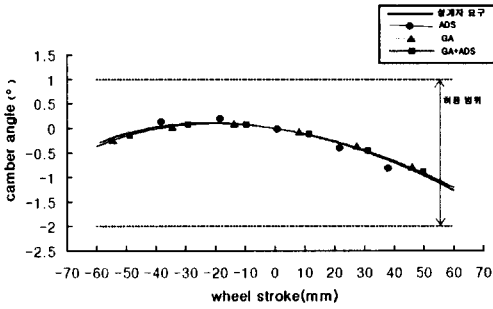


Fig.3 Change of camber angle

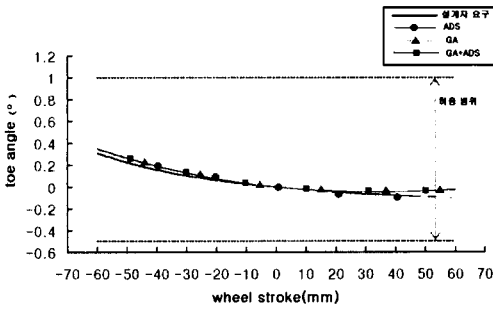


Fig.4 Change of toe angle

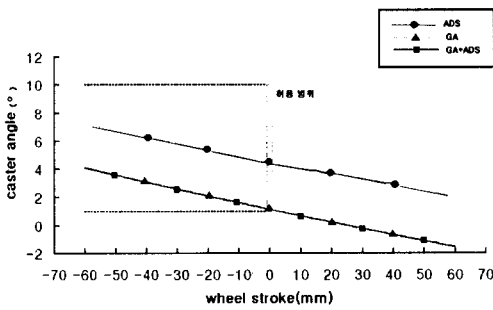


Fig.5 Change of caster angle

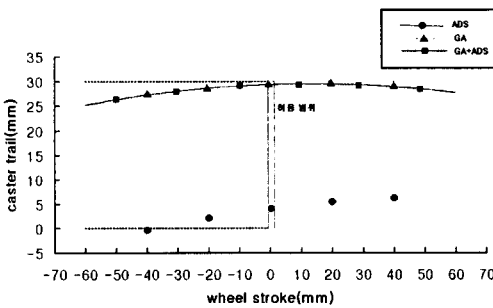


Fig.6 Change of caster trail

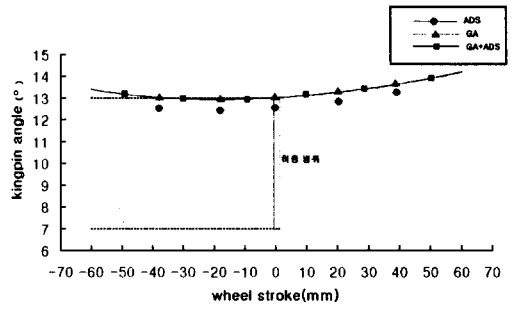


Fig.7 Change of kingpin inclination angle

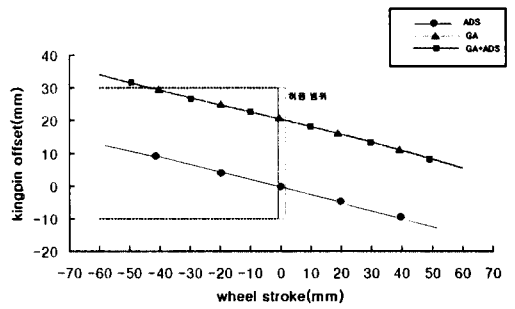


Fig.8 Change of kingpin offset

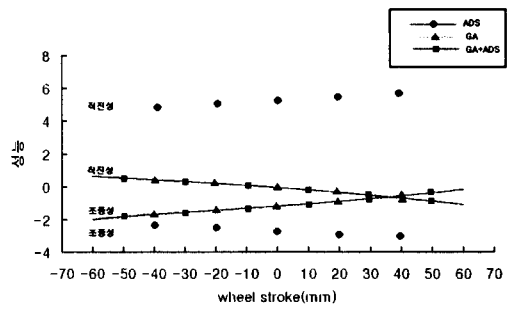


Fig.9 Change of performance

학적 최적설계를 통해서 설계자의 요구 조건을 만족하는 각 조인트의 위치를 결정할 수 있었다. 이는 현가장치 설계시 설계자가 오류수정법에 의해 조인트의 위치를 결정하는 과정에서 생기는 반복 작업을 줄여 줄수 있다. 또 전역해를 구하기 위해 유전 알고리즘을 이용하였는데, 다른 최적 설계 방법과 비교한 결과는 현가장치의 기구학적 최적설계에 유전 알고리즘을 적용하는 것이 유용함을 보여주었다. 또 유전 알고리즘을 이용한 현가장치 설계는 조인트의 초기 위치에 영향을 받

지 않으므로 새로운 현가장치를 설계할 때 많은 도움을 줄 수 있으며, 설계자의 요구를 만족하는 조인트의 위치를 결정하고, 평가할 수 있도록 하여 현가장치의 기본 구조 설계에 도움이 될 것이다. 그러나 더 정확한 결과를 얻기 위해서, 또는 다른 종류의 현가장치에 적용하기 위해서는 성능 지수화 함수에 사용되는 가중치들을 전문가의 경험과 실제 실험 데이터를 이용하여 보완되어야 한다. 또한, 본 연구에서는 직진성과 조종성에 상대적으로 많은 영향을 미치는 6개의 현가장치 특성만을 고려했으므로 동역학적 설계와 연동하기 어렵다. 그러므로 성능 지수화 함수에 사용되는 가중치를 결정하는 기준을 세분화하고, 본 연구에서 고려한 현가장치 특성 외에 안티다이브, 롤 강성 등과 같은 동역학적 특성도 고려해야 한다.

참 고 문 헌

- 1) Suh, C.H, "Synthesis and Analysis of Suspension Mechanisms with Use of Displacement Matrices", SAE paper 890098, 1989.
- 2) Sandor, G.N., Kohli, D, Zhuang, X., Reinholtz, C.F., "Synthesis of Five-link Spatial Motion Generator", ASME Paper NO.82-DET-130, pp.2~9.
- 3) 탁태오, "민감도 해석을 이용한 현가장치의 동역학적 최적설계", 한국자동차공학회 논문집, 제 2권, 제 3호, pp50~60, 1994.
- 4) 민현기, 탁태오, 이장무, "직접미분법을 이용한 현가장치의 기구학적 민감도 해석", 한국자동차공학회논문집, 제5권, 제1호, pp.38~48, 1997.
- 5) 문홍기, "차량 현가장치의 기구학 적 민감도 해석", 한국 자동차 공학회논문집, 제 3권, 제 4호, pp.126~138, 1995.
- 6) Thomas D. Gillespie "Fundamentals of Vehicle Dynamics" Society of Automotive Engineers. Inc 1992.
- 7) ADAMS/VEHICLE User's Guide, Mechanical Dynamics.
- 8) 황상문, 성활경, "유전자 알고리즘을 이용한 동역학적 구조물의 최적설계", 창원대, 1998.
- 9) 백운태, 성활경, "유전자 알고리즘을 이용한 차량 승차감 개선에 관한 연구", 한국 자동차공학회논문집 제6권 제4호, pp76~85, 1998.
- 10) 자동차 기술 핸드북, 출판사함 서울: 한국자동차공학회, 저자 한국자동차공학회, 1996.
- 11) 정병주, "기구학적 사상을 이용한 더블 위시본 현가 장치의 기구학적 설계", 고려대, 1995.
- 12) 황원걸, 김우영, 임형은, "차량현가장치의 최적설계시스템 개발", 한국자동차공학회논문집, 제7권, 제3호, p.339~347 1999.
- 13) Zbigniew Michalewicz(저), 공성곤 외(역), "유전자 알고리즘", 도서출판 그림, 1996.