

유전자 알고리즘에 의한 전동 유압 CAB TILTING SYSTEM의 최적설계에 관한 연구

김수태*, 김진한⁺, 정상원⁺, 김규탁⁺⁺, 이호길⁺⁺⁺

A Study on the Optimal Design of Hydraulic Cab Tilting System by the Genetic Algorithm

S. T. Kim*, J. H. Kim⁺, S. W. Jung⁺, G. T. Kim⁺⁺, H. G. Lee⁺⁺⁺

Abstract

Generally, the commercial truck has the hydraulic cab tilting system which absorb the vibrations and impacts of the cab. The cab tilting system is equipped for the maintenance and inspection of truck. And it is very important to help user's feeling of driving and convenience. But when the truck cab is tilted, existing model has serious problem of vibration. To satisfy customer's requirements for convenience, it is necessary to improve the hydraulic truck cab tilting system.

In this study, the optimization of cab tilting system is carried out by using the G.A to reduce the vibration. The results show that the vibration is reduced and the mean velocity of tilting is improved. In conclusion the improved cab tilting system can be designed and the possibility of optimal design for cab tilting system by using the GA is testified.

Key Words : Cab Tilting System(캡 틸팅 시스템), Genetic Algorithm(유전자 알고리즘), Optimization(최적화)

1. 서론

최근 자동차 산업은 국가 기간산업으로서 선도적인 역할을 하고 있으며, 이 중 신속한 물류의 수송을 담당하는 대형 트럭의 역할 또한 경제규모가 커질수록 증대되고 있다. 아울러 사용자의 요구 조건 역시 증대되고 다양화되고 있다. 이와 같이 사용자들의 요구가 계속 고급화되어지는 추세에 따라 차량 제작사들은 차량에 각종 전자 제어 장비 및 유압 장치를 장착하여 승차감 및 주행 안정성의 향상과 더

불어 운전자의 편의성 향상을 추구하고 있다.

연구의 대상이 되는 트럭 캡 틸팅 시스템은 차량의 정비와 점검을 위하여 캡을 상승 및 하강시키며 편리하게 정비할 수 있는 각도로 캡을 기울이고, 주행시에는 캡으로 전달되는 진동 및 충격을 최대한 흡수하여 운전자의 피로도를 낮추도록 하는 기구이다. 과거에는 캡을 기울이기 위해 수동으로 펌프를 조작해야 했지만 현재 출시되는 대부분

* 주저자, 창원대학교 기계공학과 (stkim@changwon.ac.kr)
주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지
+ 창원대학교 기계공학과 대학원
++ 창원대학교 전기공학과
+++ 동진정공(주)

의 대형 트럭은 전동 유압식으로 작동된다.⁽¹⁻²⁾

본 연구에서는 대형 트럭 캡 틸팅 시스템의 성능 향상을 위해 최근 설계 최적화에 널리 사용되고 있는 유전자 알고리즘을 트럭 캡 틸팅 시스템의 유압회로에 적용하여 캡 틸팅 시스템이 가장 안정적이고 효율적으로 작동할 수 있는 설계 파라미터를 도출하고 최적화를 수행하였다.

2. 트럭 캡 틸팅 시스템

2.1 트럭 캡 틸팅 시스템의 구성과 문제점

트럭 캡 틸팅 시스템의 구조는 Fig. 1과 같다. 트럭 캡 틸팅 시스템은 크게 전기 모터로 구동되는 전동 펌프와 유압 시 수동으로 트럭 캡을 틸팅하기 위한 수동 펌프, 캡의 상승 동작과 하강 동작을 제어하기 위한 방향 제어 밸브, 실제 트럭 캡을 구동시키고 운전시 서스펜션 역할을 하는 편로드 실린더 및 이중의 힌지로 이루어진 틸팅 브라켓으로 구성되어 있다.

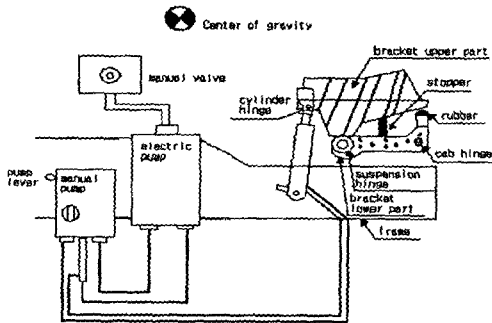


Fig. 1 Truck Cab Tilting System

이처럼 이중의 힌지 구조로 인해 캡이 서스펜션 힌지를 중심으로 상승할 때 부하의 급격한 변화가 발생하게 된다. 또한 이와 동시에 유압 회로 내에는 큰 압력의 변동이 발생하고 이로 인해 사용자들에게 불안감을 주게 된다.

2.2 트럭 캡의 이동 경로에 따른 무게 중심의 변화

상승 또는 하강 동작시 계속해서 동적으로 변하게 되는 캡의 무게 중심을 구하는 방법의 개략도는 Fig. 2와 같다.

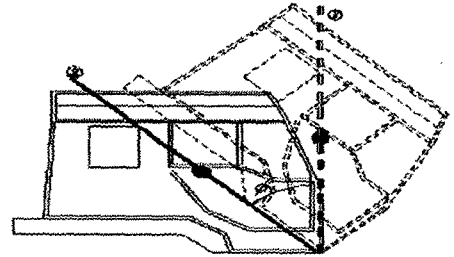


Fig. 2 캡의 무게 중심 구법의 개략도

무게 중심의 산출을 간단히 하기 위해 캡의 무게는 정면에서 볼 경우 좌우 대칭이라 가정한다. 이 때 캡의 무게 중심은 캡 힌지를 회전 중심으로 하여 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\sum M_0 = F \cdot l - W \cdot d = 0 \quad (1)$$

여기서 l 은 힘 F 까지의 모멘트 암의 길이이고, W 는 캡의 무게이며 d 는 캡의 무게에 대한 모멘트 암의 길이이다. 모멘트 암의 길이 d 를 구하면 무게 중심은 ②부분의 선상에 존재하므로 그 위치를 구할 수 있다.⁽³⁻⁴⁾

3. 동적 거동 해석

3.1 유압 회로 모델링

트럭 캡이 상승하는 동안 캡의 동적인 거동을 살펴보기 위해 Fig. 3과 같이 구성된 트럭 캡 틸팅용 유압 시스템을 모델링하여 액추에이터 부위인 실린더를 중심으로 그 결과를 살펴 보았다. 유압 시스템은 로드측으로 유입된 유량이 헤드측으로 다시 유입되는 차동식 회로로 되어있다.

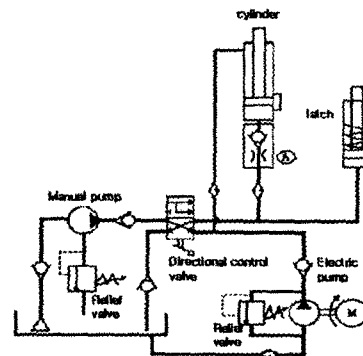


Fig. 3 트럭 캡 틸팅 시스템의 유압회로

차동식 회로에서의 유량 방정식은 식 (2)와 같다.

$$Q_p(t) = 2C_{ep}P(t) + A_r \frac{dx_p}{dt} + \frac{V_t}{\beta_e} \frac{dP(t)}{dt} \quad (2)$$

여기서 C_{ep} 는 외부 누설 계수이고 β_e 는 작동유의 체적 탄성 계수이며 V_t 는 유압 실린더 전체 체적이다. 또한 A_r 은 로드측의 단면적을 나타내며 $P(t)$ 는 실린더 로드측과 헤드측의 압력을 나타낸다.⁽⁵⁻⁷⁾

이 때 유압 실린더로부터 출력되는 힘은 식 (3)과 같다.

$$F = A_r \cdot P(t) \quad (3)$$

캡 톨딩 시스템에서 실린더에 인가되는 힘과 캡의 운동과의 관계는 다음 식과 같다.⁽³⁾⁽⁸⁾

$$F \cdot b \cdot \sin(\alpha_1 + \alpha_2 + \phi) - W \cdot d \cdot \cos(\beta + \alpha_1) = I \cdot \ddot{\alpha} \quad (4)$$

여기서, I 는 캡의 질량 관성 모멘트이며 $\ddot{\alpha}$ 은 회전 가속도를 h 와 d 는 각 회전 중심에서 캡에 작용하는 힘과 캡의 무게 중심까지의 거리를 나타낸다. 그리고 α 는 α_1 과 α_2 의 합이고, $\alpha_1, \alpha_2, \phi, \beta$ 는 Fig. 4에 나타난 각 부분의 각도이다.

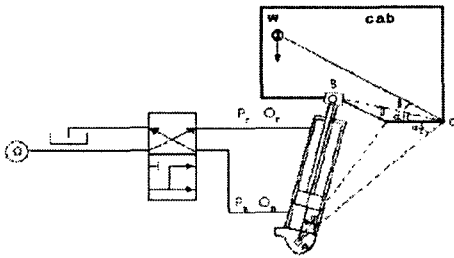


Fig. 4 톨딩 메카니즘의 기구학적인 구조의 개략도

유압 회로의 모델링에 사용된 설계 파라미터는 Table 1 및 Table 2와 같이 하였다.

Table 1 유압 실린더 파라미터

구분	Parameter	Value	Unit
①	rod diameter	28	mm
②	piston diameter	35	mm
③	pipe thickness	20	mm
④	orifice diameter	15	mm

Table 2 전동 유압 펌프 파라미터

	Parameter	Value	Unit
①	displacement volume	0.109	cc/rev
②	power	0.13	kW
③	tank volume	440	cm ³

3.2 거동 해석

캡이 상승하는 동안 유압 실린더에 인가되는 부하를 시뮬레이션한 결과는 Fig. 5와 같다.

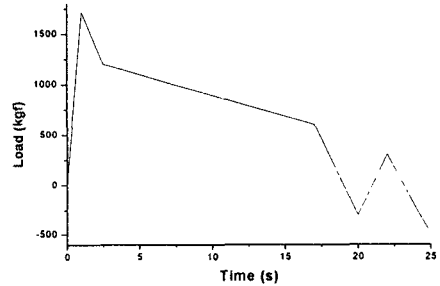


Fig. 5 Cylinder Load

위 결과에서 알 수 있듯이 캡 상승 동작후 약 17초에서 20초 사이에 캡이 서스펜션 힌지를 중심으로 회전하면서 음의 부하가 발생하는 것을 알 수 있다. 이에 따른 유압 실린더의 입구와 출구측의 압력과 로드측에 작용하는 부하 및 실린더의 변위 시뮬레이션 결과는 Fig. 6~Fig. 9와 같다.

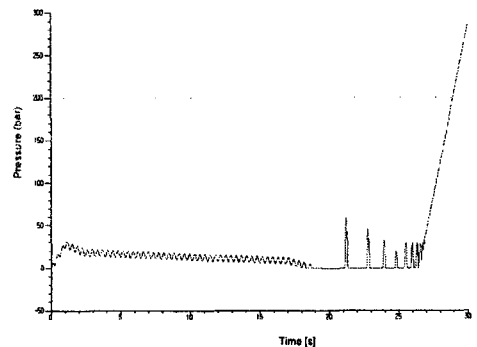


Fig. 6 Inport Pressure

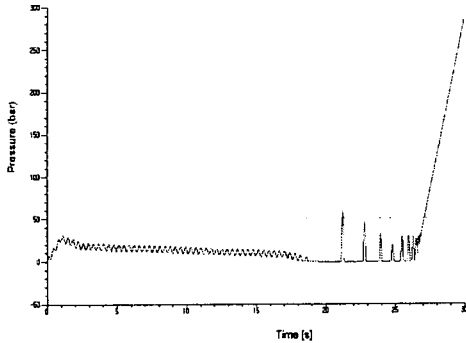


Fig. 7 Output Pressure

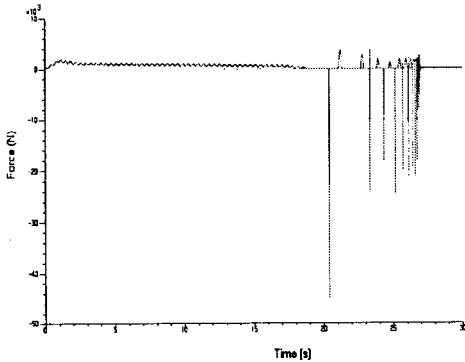


Fig. 8 Rod Force

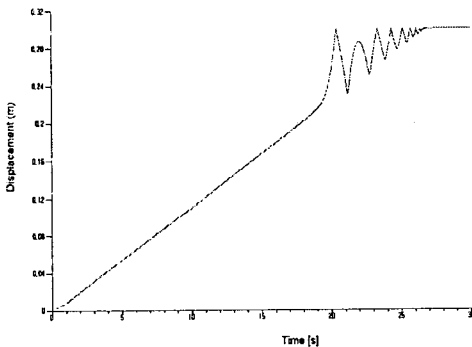


Fig. 9 Cylinder Displacement

이상의 시뮬레이션 결과에서 캡에 작용하는 부하의 급격한 변화로 인해 유압 실린더의 입구측과 출구측의 압력과 로드측에 작용하는 힘이 급격하게 변동함을 알 수 있고 이로 인해 캡이 상승 최고점 도달 직전에 요동을 하는 현상이

발생함을 알 수 있다.

4. 유전자 알고리즘을 이용한 최적화

4.1 실변수 유전자 알고리즘(Real-Valued GA)

이진 변수를 사용하는 유전자 알고리즘은 연산에서 긴 스트링의 길이를 필요로 하여 많은 계산 시간을 요구하게 되며, 수렴 정도 역시 늦어지게 된다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 실변수 값을 그대로 변수로 사용하는 실변수 알고리즘을 사용하였다. 실변수 유전자 알고리즘의 최적화 순서는 Fig. 10과 같다.⁽⁹⁻¹⁰⁾

4.2 목적함수(Objective Function)의 정의

캡이 상승할 때 요동현상이 발생하는 문제점을 개선하기 위해 본 연구에서는 실린더의 입구측의 압력 평균값을 목적함수로 잡고 이를 최소화하도록 목적함수를 설정하였다.

4.3 초기집단 생성

각각의 염색체는 설계변수 개수의 실수를 갖도록 변수의 상·하한치 내에서 랜덤(random)하게 발생시켜 초기집단을 생성한다.

$$X = X_{\min} + \text{random}(X_{\max} - X_{\min}) \quad (5)$$

x : 설계 변수, X_{\max} : 변수 최고값, X_{\min} : 변수 최저값

4.4 유전인자의 정의

본 연구에서는 유전자 알고리즘의 기본 인자인 선택, 교배, 돌연변이를 사용하였다.

4.4.1 선택(Selection)

모집단을 우성 인자와 열성 인자 두 개의 그룹으로 나누어 우성 인자들의 적합도 합계를 계산한 다음, 각 개체는 자신의 적합도가 적합도 합계에 차지하는 비율에 따라 선택에 참가시킨다. 즉 부익부, 빈익빈, 도태의 원칙을 일반적으로 사용한다.

4.4.2. 교배(Crossover)

내삽 접근, 외삽 접근, 휴리스틱 접근, 휴리스틱과 교차등 4가지 방법의 조합이 사용되며 본 연구에서는 그 확률을 0.95로 하였다.

4.4.3 돌연변이(Mutation)

돌연변이 계획은 한개의 컴포넌트를 선택후 선택된 값을 난수 발생기를 이용하여 랜덤하게 변화시키며, 생성 방법은

초기 집단의 생성 방법과 동일하다. 본 연구에서는 돌연변이 확률을 0.05로 설정하였다.

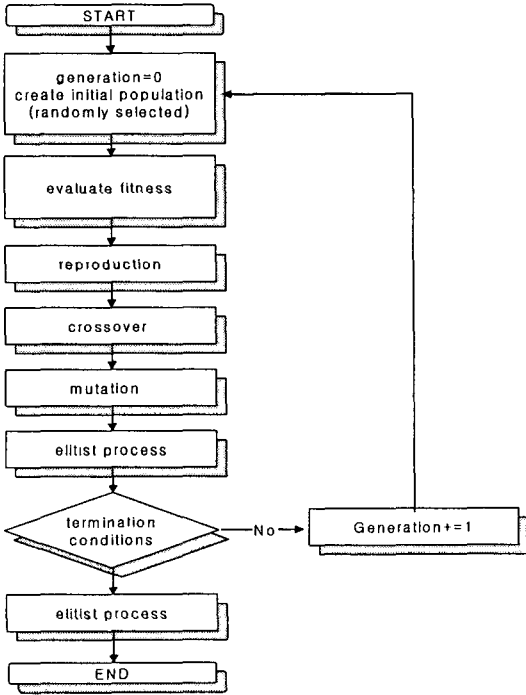


Fig. 10 RVGA Flow Chart

4.5 최적화 해석

최적화 결과 실린더 입구측 압력의 평균값은 Fig. 11과 같이 약 250세대에서 13.3bar정도에서 수렴하였다.

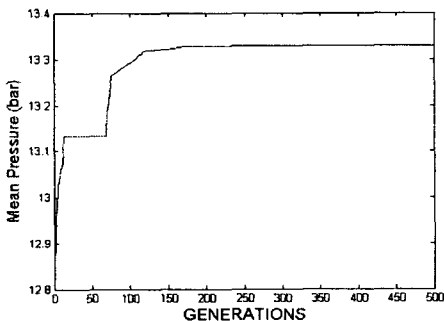


Fig. 11 GA Result

이선 모델에 적용하여 최적화 전후의 실린더 입구측 압력과 출구측 압력 및 실린더 로드측 부하와 실린더 변위 해석 결과를 비교하여 나타낸 것이다.

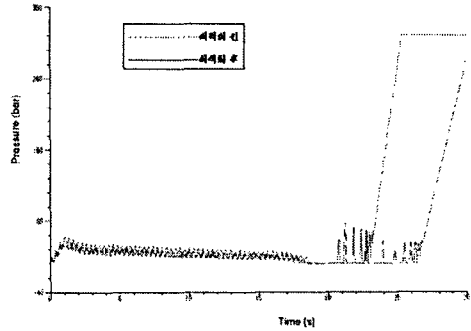


Fig. 12 Inport Pressure

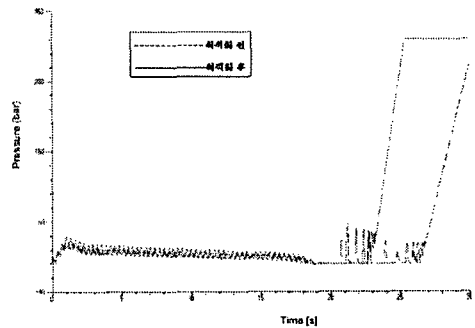


Fig. 13 Ouport Pressure

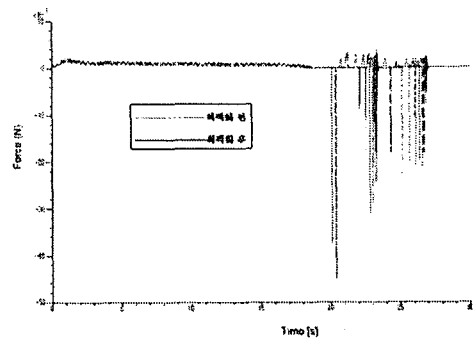


Fig. 14 Rod Force

Fig. 12~Fig. 15는 최적화된 설계변수 값들을 시물레

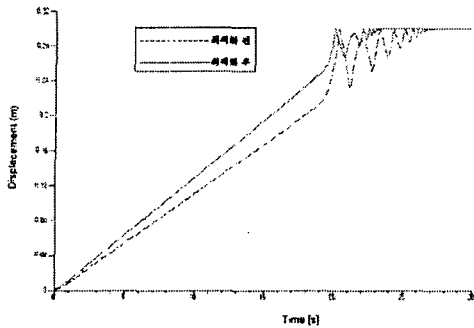


Fig. 15 Cylinder Displacement

Fig. 12과 Fig. 13의 실린더 입구측과 출구측의 최적화 결과에서 트럭 캡의 무게 중심이 급격히 변할 때 나타나는 최대 압력값이 10bar정도 떨어진 것을 알 수 있다. 그리고 21초 이후 압력 요동이 발생하는 구간이 3초정도 단축되었음을 알 수 있다.

Fig. 14의 유압 실린더 로드측에 작용하는 힘의 경우 최적화 후 최적화 이전보다 10N정도 줄어들었으며 요동 시간 또한 약 3초간 줄어들었음을 알 수 있다.

Fig. 15의 실린더 변위 비교 결과에서 최적화 후 요동 현상이 약 19초에서 23초까지 이루어지며 최적화 전보다 시간이 절반정도로 줄어들음을 알 수 있다. 또한 트럭 캡이 최고 위치에 도달하기 전까지의 유압 실린더 피스톤의 평균 이동 속도를 구해보면 기존의 것은 0.011m/s인데 반해 최적화 모델의 경우 0.013m/s정도로 평균 이동 속도 또한 0.002m/s정도 개선되었음을 알 수 있다.

5. 결론

기존의 유압 시스템 모델에 유전자 알고리즘을 적용한 결과 안정성이나 성능 면에서 좀 더 효율적인 성능을 나타내는 설계인자 값들을 구할 수 있었다. 또한 이 설계인자 값들을 기존의 모델에 적용함으로써 개선된 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 유전자 알고리즘을 캡 틸팅 시스템의 설계에 적용한 결과 실린더 내의 압력 요동의 평균값이 낮춰졌으며 요동 시간 또한 감소했다. 이로 인해 캡 상승시 동작이 기존의 모델에 비해 완만해졌고 또한 실린더의 로드측에 작용하는 힘의 평균 힘이 감소했으며 실린더의 평균 이동 속도가 증가함에 따라 캡 상승 동작이 더욱 신속하게 이루어질 수 있게 되었다.

이를 통해 유전자 알고리즘을 적용한 유압 시스템의 설계 최적화가 가능함을 검증하였다.

후 기

본 연구는 한국 과학 재단 지정 창원대학교 공작기계 기술 연구 센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- (1) C. S. Oh, 1992, *A Study on the Principle Trend of Super Cargo Truck*, ASIA Technical Review, Vol 14
- (2) G. J. Lee, 1993, *An introduction of 8x4 super cargo truck*, ASIA Technical Review, Vol 18
- (3) K. J. Waldron, 2000, *Theory of Mechanism*, Peason Education Korea
- (4) S. H. Park, J. G. Lee, 2001, *The Development of Exclusive Control Valve for Improving the Performance of Truck Cab Tilting System*, Journal of the KSPE, 2001,3 vol.018, No.003, pp.90-98
- (5) Y. K. Seo, 2001, *Fluid Power Control Engineering*, Kyeongmunsa
- (6) E. C. Fitch, I. T. Hong, 1998, *Hydraulic Component Design and Selection*, BarDyne
- (7) J. S. Lee, 2000, *Hydraulic Control System*, Bomundang
- (8) T. J. Lardner, R. R. Archer, 2000, *Mechanics of Solid*, McGraw-Hill
- (9) David E. Goldberg., 1989, *Genetic Algorithms*, Addison-Wesley
- (10) Mitsuo Gen, Runwei Cheng, 2000, *Genetic Algorithms & Engineering Optimization*, Wiley