

## 디젤자동차의 헌팅억제 제어에 관한 연구

홍순일, 이효명  
부경대학교 공과대학 전기공학과

### Suppressed Hunting Control of Diesel Engine Vehicle

S. I. HONG, H. M. LEE  
Pukyong National Uni. Dep. of Electrical Engineering

**Abstract** - 실제 디젤 자동차를 운행할 때 헌팅이나 서지현상이 발생하여 운전상 좋지 못한 현상이 발생한다. 자동차의 디젤기관은 회전수의 안정화를 도모하기 위해서 연료 분사펌퍼의 분사량 조정봉(Rack)을 가바나의 조속기에 의해 위치 제어할 필요가 있다.

본 연구에서는 헌팅을 억제할 목적으로 종래에 사용한 기계식 가바나 대신에 최근에 등장하고 비교적 자유로운 제어규칙을 갖도록 할수 있는 전자식 가바나를 사용할 때 헌팅이 발생하는 조건이 시뮬레이션을 통하여 조사검토 할 수 있음을 나타내었다. 이 결과에 기초하여 헌팅의 억제는 운전상태에 따라 행할 수 있는 헌팅억제 규칙을 얻었다.

#### 1. 서 론

디젤 엔진은 1892년에 Rudolf Diesel에 의해서 발명되어져 1세기가 지나면서 그 사이 여러 가지로 개량되어져 왔다. 현재 자동차의 디젤엔진은 원래부터 소형의 농업기계에서 수전실의 비상발전기 및 대형선박에 이르기까지 여러 가지 동력원으로써 활용되어 오고 있다. 또한 이것은 연비가 좋은 장점도 있고 그 시대의 인간사회에 있어서 공헌도는 상당히 높다. [1 - 2]

최근 전자식 조속기의 등장으로 Wellstead 등은 Ruston & Hornsby 6YEX Mk II 6기통 4행정 디젤 기관에 대하여 제어시스템 모델을 유도하고 자기동조계를 설계하였으며 田村直樹, 佐藤 등은 디젤기관의 전자식 가바나에 의한 다양한 제어기법을 제시하고 있다. [5, 6]

최근 전자기술과 제어기술의 발전에 의해 디젤

또한 자동차도 가솔린 자동차와 같이 진동, 소음, 배기가스 등의 문제를 해결하기 위해서 컴퓨터에 의한 전자제어가 도입되어 연구가 활발히 진행되고 있다. [7]

자동차의 디젤기관은 회전수의 안정화를 도모하기 위해서 연료 분사펌퍼의 분사량 조정봉을 가바나의 조속기에 의해 위치 제어할 필요가 있다. 그러나, 실제 디젤기관에서 연료분사 제어를 행하면 주기적인 회전의 기복현상인 회전난조(헌팅)이나 서지(카녹) 등이 있어서 운전상 좋지 못한 현상이 발생한다.

본 연구에서는 헌팅을 억제할 목적으로 종래에 사용한 기계식 가바나 대신에 최근에 등장하고 비교적 자유로운 제어규칙을 갖도록 할수 있는 전자식 가바나 액추레이터를 사용할 때의 헌팅 시뮬레이션을 행한다. 이것에 기초하여 헌팅억제 방법에 관하여 연구 검토한다.

#### 2. 디젤엔진의 헌팅 시뮬레이션

##### 2.1 헌팅시뮬레이션 기본모델

시뮬레이션은 자동차가 정상적으로 동작하고 있을 때의 헌팅을 조사하는 것이기 때문에 엔진축과 차량축을 킬러치로 완전히 분리된 상태라고 한다.

그림 1은 전자가버너를 사용한 때의 디젤 자동차의 속도제어 블록도를 나타낸다. 속도제어계는 전자가바나, 연료분사 펌프, 연소과정, 토크-속도변환부 및 ECU( Electronic Control Unit)로 구성된다.

디젤 엔진에서는 흡입 공기량은 항상 일정하고 토오크 발생의 가감은 실린더내에 분사하는 연료분

사람에 의해서 행해진다.

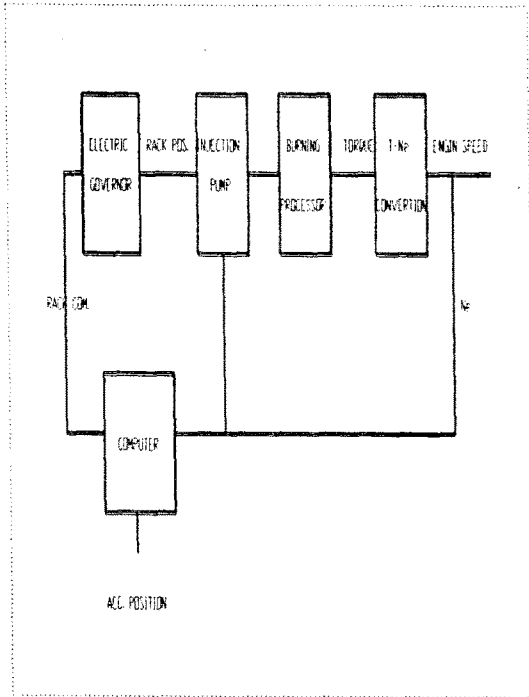


그림 1 전자가바나에 의한 속도제어계

Fig2.1 Block diagram of vehicle speed control by electronic gaban

그림에서 자동차 속도제어계의 기본동작 원리는 엔진의 회전속도가 연료 분사펌프와 ECU(Electronic Control Unit)에 입력되고 있다. 여기서, 분사펌프에는 연료를 압송하기 위한 동력원으로서의 엔진 회전속도가 입력되고 ECU에는 전자가바나에 내장되어 있는 엔진 회전속도 검출기로부터 검출된 회전속도 신호가 입력되도록 되어 있다.

모델로한 차량은 중형 트럭이고 엔진은 4사이클 직렬 6기통 직접분사 디젤엔진이다. 여기서 클러치를 절 환할 경우 기관 회전 부의 관성 모우먼트를  $I_c[\text{Kg} \cdot \text{ms}]$ 로 하면 분사량  $Q[\text{mm}^3/\text{st}]$ 에 대한 평균 발생 토크  $T[\text{Kgfm}]$ 는

$$T = \alpha Q - \beta \quad (1)$$

로 근사화 시킬 수 있다. 여기서  $\alpha, \beta$ 는 정수.

크랭크축의 각도를  $\theta_0$  [rad]라 하면 다음 식이 성립한다.

$$T = I_0 \frac{d^2 \theta_0}{dt^2} \quad (2)$$

다음 가바나 제어부는 사전에 회전속도에 비교한 분사량을 그래프에서 결정한다. 그 분사량에 따라서

클랭크를 제어하는 것이다. 이상을 FORTRAN언어로 프로그래밍하고 시뮬레이션 한 것에서 현상발생은 확인되었다.

전자가바나는 日野 自動車工業(株)제품이고 내부에 PID 보상회로가 설치되어 있으며 그것을 포함해서 측정된 스텝응답의 측정결과를 이용하여 가바나의 전달함수를 구하였다. 전달함수는 스텝응답 측정결과 그래프에서 처음에는 2차 지연 요소로 근사하려고 했지만 잘 근사할 수 없었다. 그래서 3차 지연요소로 검토를 진행하여 결국 3차 지연요소 + 부동작 시간요소로 거의 정확하게 근사할 수 있게 되었다. 그 전달함수  $G(s)$ 는 식(3)으로 얻어졌다.

$$G(s) = e^{-0.01s} \frac{1436500}{s^3 + 150s^2 + 22425s + 1436500} \quad (3)$$

시뮬레이션 프로그램에서는 목표분사량으로부터 산출하는 랙위치(목표 랙위치)를 이 전달함수의 입력으로 하고 그 출력이 실제의 랙위치가 된다. 그리고 프로그램상에서는 전달함수를 미분방정식으로 고쳐 그것을 3차의 Runge-Kutta method로 수치계산한다.

시뮬레이션은 히스테리시스를 갖는 분사계의 동특성과 3차지연계 + 부동작시간 요소에 근사화 할 수 있는 가바나의 동특성을 자동차모델에 입력하는 것으로 하여 이 시뮬레이션에서 현상의 발생이 확인되었다. 이 시뮬레이션에서 현상은 크랭크 위치와 분사량의 이력에 의한 위상지연에 의한 이 2개의 동특성 때문에 발생하는 현상이라고 생각할 수 있다. 그리고 맵의 기울기를 변화시키면 분사계의 제어이득을 변화시키는 것과 대응하는 것으로 될 수 있음을 알 수 있었다.

## 2.2 엔진의 회전속도 안정화에 관한 검토

헌팅을 억제하는 것은 이상의 시뮬레이션 결과에서 2개의 동특성을 보상하는 방법과 맵의 기울기를 전환하여 변화시키는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서는 후자의 맵의 기울기를 변화시키는 방법에 관하여 검토한다.

헌팅의 시뮬레이션 결과로부터 맵 기울기의 절대 값 크기가 적게 하던 즉, 피이드백 제어이득을 적게 하던 헌팅을 억제할 수 있는 것을 알 수 있지만 맵 기울기의 절대 값이 작은 상태에서는 가바나 원래의 목적인 속도제어 기능을 저하시키게 된다. 그러므로 여기서는 운전상태의 변화에 대응하여 맵의 기울기를 변화시키는 제어를 행하는 것으로 한다.

운전은 클러치를 전환한 상태에서 가속기를 일정히 밟고 → 클러치를 스텝 상으로 3단계로 증가시키고 → 엔진과 클러치를 완전히 연결되게 하는 과정으로 행한다. 이 경우 제어규칙은 이상적인 상태에서 헌팅을 억제하기 때문에 맵 기울기의 절대 값은 작고 다음에 클러치의 회전속도가 정으로 된 후 맵 기울기의 절대 값을 중간정도로 한다. 그렇게 하여 클러치의 연결이 완료하고 엔진과 차량의 클랭크 축상에서 환산한 회전속도의 차이가 어느 일정값 이하로 된 후 맵 기울기의 절대 값을 크게 한다. 이상의 제어규칙으로 시뮬레이션을 행한 결과 이상적인 경우 헌팅은 억제되고 주행시의 제어성능도 좋은 상태로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

이상과 같이 시뮬레이션을 통하여 알 수 있는 것과 같이 헌팅억제의 지침을 2개의 제어규칙으로 나타내었다. 하나는 분사계와 가바나계의 동특성의 보상규칙이고 또 하나는 맵의 제어선의 기울기를 변화시키는 규칙이다.

이 검토에서 전자는 실제로 보상을 행하는 것이 곤란하다고 생각되어졌기 때문에 후자의 제어선의 기울기에 대해서 검토를 행하였다. 그 결과 단순히 이상적인 운전 중의 헌팅을 억제하는 것만이 아니라 다양한 운전상황에 대해서 엔진 회전수의 안정화를 검토하기 위해 차속 영역에서의 가속 시뮬레이션모델을 구축하였다. 다음 이 시뮬레이션 모델에 기초하여 어떤 방법으로 헌팅의 발생을 억제할지를 검토하였다. 그 결과 운전상황에 대응해서 제어선의 기울기를 적절히 변화시키는 것으로 헌팅의 억제가 가능하게 될과 동시에 주행시에는 변경전과 같은 차량 회전속도의 조속성능을 얻을 수 있다고 하는 예측을 얻을 수 있었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 우선 전자 가바나를 사용할 경우 헌팅이 발생하는 조건이 시뮬레이션을 통하여 조사 검토 할 수 있음을 나타내었다. 이 결과에 기초하여 헌팅의 억제는 운전상태에 따라 행할 수 있는 헌팅 억제 규칙을 얻었다.

### {참 고 문 헌}

[1] 藤澤英夜, 川井靜男, "デーゼル 燃料噴射" 山海堂 pp. 15- 46. 1990

[2] 대우중공업 "Daewo diesel generating sets instruction manual", 대우 고출력 발전기 기술자료, 1993. 1

[3] W.Trinks, "Governors and governing of prime movers", 1919

[4] W.Hort, "Technische Schwingungslehre", Springers, 1922

[5] Wellstead, "P.E. , and P.M Zanker, "Application of self tuning to engine control", IEE Control engineering series, 15, pp. 282-295, 1981.

[6] 田村直樹, 佐藤 勲, 岸本 功, "電子ガバナ制御 パラメタ の最適化 システム の開發", 日本船舶機械學會誌, 第24卷, 第6號, pp. 26-35, 1989.

[9] 尾奇紀男, "自動車工学" 林北出版, pp.182 - 189, 1989

[7] Tsutomu Tble, Masahiro Ohba, "On the application of modern control theory to automotive engine control" IEEE Transactions on Industrial Elec. Vol. IE-34, NO.1, Feb. pp.35- 39 ,1987

[8] Bimal. K, Bose, "A microprocessor-based control system for a near-term electric vehicle", IEEE Tans. Ind. Appl. Vol. IA-17, No.6, pp.626-631 nov. 1981.