

## 자동차 순항주행 제어를 위한 시스템 식별에 관한 연구

양승현\*, 양재원\*, 남기현\*\*, 이석원\*

\* 호서대학교 정보제어공학과, \*\* (주) 태성전자

### A Study on System Identification for Cruise Control of Vehicle

Seung-Hyun Yang\*, Jae-Won Yang\*, Khi-Heon Nam\*\*, Suk-Won Lee\*

\* Department of Information & Control Eng. Hoseo Univ. \*\*TaeSung Electro-Circuit System Co.Ltd..

**Abstract** - 본 논문에서는 운행 중인 자동차에서 스로틀밸브의 각도와 자동차의 속도를 추출하고 시스템 식별 알고리즘을 이용해 비교적 정확한 자동차의 수학적 모델링 식 즉, 전달함수를 구하고, 식별 알고리즘에 의해 구해진 고차 형태의 전달함수를 2차식과 시간지연 항으로 간략화 시켜 자동차가 순항 운행할 수 있는 제어기를 설계한다.

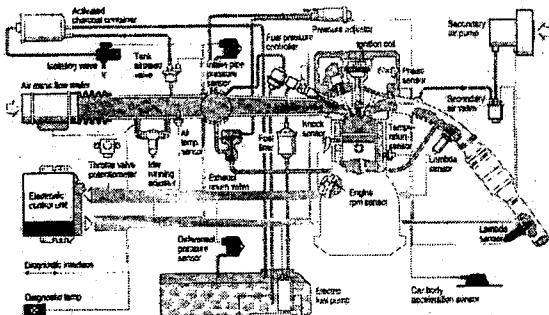
### 1. 서 론

무인운전에 많은 관심과 개발이 이루어지면서 AICC (Automatic Intelligent Cruise Control)에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 이러한 연구는 지능형 자동차(Intelligent Vehicle)의 주된 근간을 이루고 있다. 지능형 자동차는 자동차에 기계, 전기, 전자, 통신, 제어 등 각종 첨단 기술을 접목시켜 운전자가 주행에 신경 쓸 필요 없이 자동으로 목적지까지 주변 상황에 맞춰 도착하게 하는 미래형 자동차를 말한다. 이러한 미래형 자동차에서 보다 높은 신뢰성과 안전성의 확보는 기본이고, 자동주행 및 충돌방지 등과 같은 운전의 편리성, 기능의 고급화 및 다양화, 기능의 지능화를 위한 추구가 가속화 되어갈 것으로 보이며, 레벨의 안정성, 연비개선, 편리성 등의 기능을 달성하기 위해 전자 및 소프트웨어를 기반으로 한 기능구현의 비율이 확대되고 있다. 특히, 지능형 자동차가 갖추어야 할 필수 조건은 운전자 및 탑승자의 안전을 위해 일정한 속도로 주행할 수 있는 적응주행 제어 시스템이다. 본 논문에서는 실시간으로 운행 중인 자동차에서 자동차의 속도를 유발시키는 스로틀밸브나 RPM를 입력으로, 자동차의 속도(Speed)를 출력으로 정해 입출력 데이터를 추출 후 시스템 식별 알고리즘을 이용 자동차의 비선형 동작에 대한 수학적 모델 식, 즉 전달함수를 구하고 고차식으로 구해진 전달함수를 모델축소 알고리즘을 이용해 시간지연이 포함된 2차 시스템 형태로 바꾼 후에 순항 주행제어기를 설계한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 자동차의 입출력 데이터 취득

본 연구에서 시스템 식별을 위해서는 자동차의 스로틀밸브나 RPM과 자동차의 속도가 필요하다. 이러한 자동차의 전반적인 데이터를 취득할 수 있는 곳이 바로 ECU(Electric Control Unit)이다.

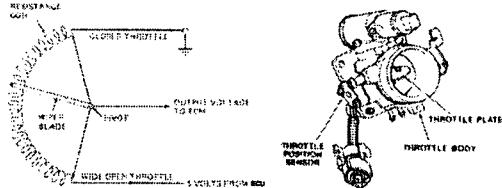


〈그림 1〉 자동차 전장시스템과 ECU 구성도

<그림 1>은 ECU가 자동차의 전장 시스템들과 연결된 상태를 보여주는 그림으로 자동차의 가속ペ달에 압력을 가할 경우에 스로틀 벨브가 비례적으로 열리고 산소가 흡입되어 RPM이 증가되는 것을 알 수 있다. 자동차의 속도 또한 바퀴의 회전수에 따라 ECU에 입력되는 구형과 형태의 신호를 추출해 측정할 수 있다.

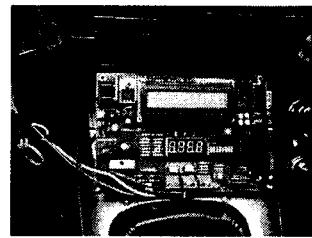
##### 2.1.1 스로틀밸브 각에 따른 입력 데이터 추출

가속ペ달을 밟게 되면 스로틀밸브가 비례해서 열리게 되고, 개폐 량에 따라 자동차의 속도가 결정된다. <그림 2>는 스로틀밸브를 동작원리와 실제 스로틀바디를 보여주고 있다.



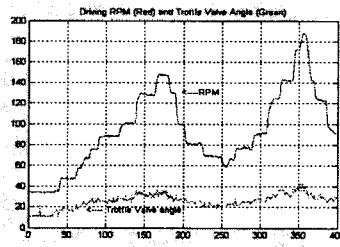
〈그림 2〉 스로틀밸브의 원리와 스로틀바디

스로틀밸브는 원리가 분압기(Potentiometer)와 같은 구조를 가지고 있으며, 스로틀바디는 원통모양의 관 내부에 원판이 있어 관을 개폐시키는 역할을 한다. 판이 개폐된다면 공기의 흡입이 이루어지는 것이다.



〈그림 3〉 측정보드 사진

<그림 3>은 ECU에서 출력되는 신호를 측정하기 위해 제작된 보드로 측정하는 그림으로 측정 대상은 스로틀밸브의 각도와 RPM 그리고 자동차의 속도다. 스로틀밸브의 각은 <그림 2>와 같이 5V가 입력되고 벨브의 개폐 량에 따라 비례적으로 아날로그 전압이 출력된다. 하지만 RPM과 자동차의 속도는 자동차의 공급전원인 12V형태의 구형파가 출력되기 때문에 측정보드에서 포토커플러를 이용해 비례적으로 입력되는 구형파의 수를 확인하게 된다. 데이터 측정에 사용된 샘플링 시간은 1초이다.



〈그림 4〉 RPM과 스로틀밸브 각도 데이터 측정

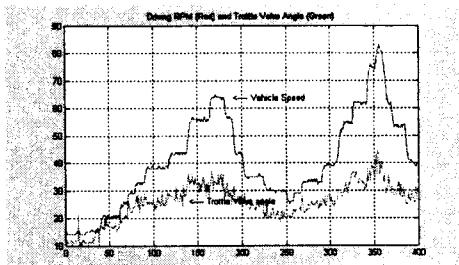
<그림 4>는 운행 중인 자동차의 RPM과 스로틀밸브의 각을 측정한 데이터이다. 1초의 샘플링시간을 가지며, 아날로그 입력과 펄스입력을 AVR 컨트롤러로 제작된 보드로 측정하였다. 측정된 데이터는 PC를 통해 저장하는 방식이다.

##### 2.1.2 자동차 속도에 따른 출력 데이터 추출

본 연구에서 시스템 식별에 필요한 출력은 운행 중인 자동차의 속도가 된다. 자동차의 속도 측정은 ECU에 입력되는 차속라인의 신호를 측정보드에 연결하여 측정하였다. 실제 자동차의 속도는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{Km/h} = 2\pi \times \text{타이어반지름} \times (\text{엔진RPM}) / (\text{변속비} \times \text{종감속비}) \times 60/100$$

하지만, ECU로 입력되는 속도신호 선은 자동차의 실제속도와 비례해 과형의 주기가 변하기 때문에 좀 더 정확하게 측정이 가능하다.



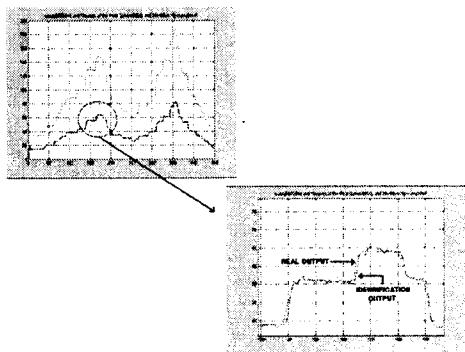
<그림 5> 스로틀밸브 각도 따른 실제 속도 데이터 측정

## 2.2 시스템 식별

파라미터를 추정하는 식별방법은 다양하지만 대표적인 알고리즘 방식은 상태공간 방정식, ARX, ARMAX, OE(output error) 등이 있다. 본 연구에서는 대표적 방법 중 하나인 ARX 기법을 이용해 자동차의 모델을 추정했다. 실시간 운행중인 자동차에서 얻어진 입력과 출력 자료를 이용해 전달함수 추정을 위한 파라미터를 추출하는 것이다. 기본적인 ARX의 모델 구조는 다음과 같다.

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + e(t) \quad (1)$$

<그림 6>은 식(1)과 같은 알고리즘을 이용해 실제 자동차의 속도를 추정한 결과를 보여주고 있다. 실제 출력과 식별알고리즘을 이용해 구해진 데이터가 유사함을 알 수 있다.

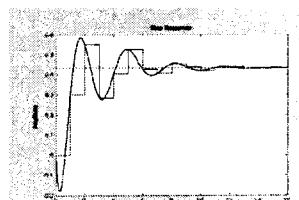


<그림 6> 실제 출력값과 추정된 출력 데이터 비교

MATLAB 프로그램을 이용 ARX의 알고리즘을 프로그램 하면 <그림 6>과 식(2)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\frac{-1.582s^5 - 0.5829s^4 + 1.872s^3 + 6.427s^2 + 5.907s + 2.177}{s^6 + 5.721s^5 + 14.69s^4 + 28.56s^3 + 31.77^2 + 18.71s + 5.015} \quad (2)$$

6차 이상의 모델링 식은 6차의 내용과 유사하기 때문에 식(2)와 같이 전달함수를 구하였다. <그림 7>은 식 (2)의 전달함수에 STEP입력에 대한 출력 과형을 나타낸 그림이다.



<그림 7> 식별된 전달함수에 대한 STEP 응답

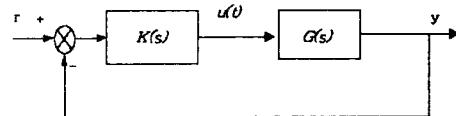
## 2.3 근사화 모델을 이용한 제어기의 설계

고차의 전달함수는 시스템의 제어기 설계에 많은 어려움을 주기 때문에

저차로 축소시키는 것이 매우 중요한다. 식(2) 프로세서의 전달함수  $G(s)$  또는 주파수 응답  $G(j\omega)$ 가 유용하기 때문에 단일 투프 제어기의 구조를 가지며, PID 제어기의 식은 식(3)과 같은 형태이고 프로

$$K(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (3)$$

세서의 제어기로 사용되며 튜닝의 대상은 파라메타  $K_p, K_I, K_D$  를 결정하는 것이다.



본 논문에서는 시간지연이 포함된 고차 시스템(high-order system)을 저차 시스템으로 근사화 하는 방법을 이용하여 제어기를 다음과 같이 설계한다. 주파수 응답을 이용하여 시간 지연 항을 포함한 2계 근사 모델  $\hat{G}(s)$ 은 플랜트의 주파수 응답 중 단지 두 점만을 이용하여 다음과 같은 2계 근사화 모델을 고려한다.

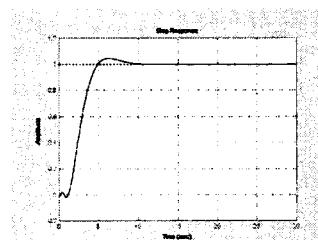
$$\hat{G}(s) = \frac{e^{-sL}}{as^2 + bs + c}$$

a,b,c,L의 값들이 2계 근사화 모델에서 계산하여야 하는 파라미터들이며, 이를 결정하기 위해 주파수 응답의 위상을 만족하는 두 개  $G(j\omega_c)=-180^\circ, G(j\omega_b)=-90^\circ$  의 주파수 포인트  $s=j\omega_c, s=j\omega_b$ 를 선정한다. 이때,  $G(j\omega_c) = \hat{G}(j\omega_c), G(j\omega_b) = \hat{G}(j\omega_b)$  라고 두면 식 (4)(5)의 관계로

$$c - aw_b^2 + jb\omega_b = \frac{\cos(\omega_b L) - j\sin(\omega_b L)}{-j|G(j\omega_b)|} \quad (4)$$

$$c - aw_c^2 + jb\omega_c = \frac{\cos(\omega_c L) - j\sin(\omega_c L)}{-|G(j\omega_c)|} \quad (5)$$

부터 a, b, c의 관계식을 유도한다. 또한 L은 Newton-Raphson방법으로 근사해로 구할 수 있다[2]. 식별된 결과의 전달함수를 근사화된 모델을 이용 제어기를 설계한 후 스텝입력으로 시뮬레이션을 주게 되면 <그림 8>과 같은 결과를 얻을 수 있다.



<그림 8> 근사화된 제어기에 의한 STEP 응답

## 3. 결 론

본 연구에서는 실시간 운행중인 자동차의 스로틀 각과 자동차의 속도를 임출력으로 간주해 데이터를 추출하고, 자동차의 전달함수를 시스템 식별 알고리즘을 이용해 비교적 정확한 수학적 모델링을 하였다. 하지만, 모델링되어진 전달함수가 고차시스템의 형태를 가지고 있기 때문에 자동차의 순항제어기를 설계하기에 많은 어려움이 있어 근사화 모델을 이용해 제어기를 설계하고 안정함을 보였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] M. R. Matausek and A. D. Micic, "A Modified Smith Predictor for Controlling a Process with an Integrator and Long Dead-time", IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. 41, No. 8, pp. 1199-1203, 1996
- [2] Q. G. Wang, T. H. Lee, H. W. Fung, Q. Bai, and Yu Zang, "PID Tuning for Improved Performance", IEEE Trans. Contr. syst. Technol., vol. 7, pp. 457-465, 1999
- [3] Lennart Ljung. " System Identification Theory for the user", Prentice Hall. 1999