

## 공압 굴삭기 시스템의 구축

천세영\* ,이영주, 임태형, 안태규(울산대 대학원 기계자동차공학부)  
 양순용(울산대 기계자동차 공학부 부교수)  
 Development of Pneumatic Excavator System

Y. S. Cheon\*, K. T. Ahn (Mecha. & Automotive Eng. UOU),  
 J. Y. Lee, C. H. Cho (Institute of e-vehicle technology UOU),  
 S. Y. Yang(Mecha. & Automotive Eng. UOU)

### ABSTRACT

The most bottleneck of development of automation excavator system is the making mathematical linear model. Because of non-linear of control circuit, cylinder, join in hydraulic circuit, and heavy loading so on. Therefore, whatever robust controller is designed, real experimentation is necessary. But, a real experimentation has many risks. The excavator is expensive and large size. Therefore a development of experimentation system is difficult and not safe. Specially, there have a difficulty, because of big noise. So, on experimentation is difficult in school. Manufacturing pneumatic excavator model and using system identification, design a system transfer function in this paper. Also, planning m-PID Controller using CDM, and examining usefulness applied to actuality model.

**Key Words** : Pneumatic, System Identification, CDM, m-PID Controller

### 1. 서론

굴삭기의 실차실험시 시스템 구축도 힘들뿐더러 실험시 안전면에서 위험요소를 상당히 내포하고 있다. 특히 학교내에서 실험시 상당한 소음을 동반하여 연속적인 실험을 하기에 어려움이 가지고 있어 실험기간의 최소화가 요구되는 실정이다.

본 논문에서는 Lab에서 다양하고 연속적인 실험이 가능하도록 공압을 이용한 굴삭기 모델을 제작하고 기초시스템을 구축하여 암 끝단의 수평·수직 이동이 가능한 자동화 굴삭기의 기초자료로 활용하고자 한다. 본 목적에 따라 손쉽게 하드웨어 제작이 가능한 DR. LEGO를 이용하여 시스템을 구축하고 System Identification을 이용하여 전달함수를 도출하며, CDM을 이용하여 강인제어기를 설계하여 구축된 시스템에 적용하였다.

### 2. 시스템

시스템의 전달함수 도출을 위한 데이터를 수집하였다. 붐과 암을 각각 원하는 목표각도까지 동작시키고 그 동안의 실제 각도변화 데이터를 수집하였다. 입력은 목표각도이고, 출력은 실제 각도의 변화 값이었고, 알고리즘은 LabVIEW 7.1을 사용하였다.

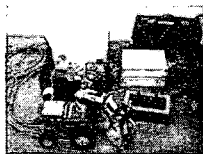


Fig 1. System

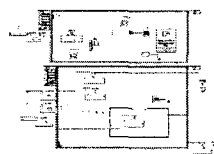


Fig 2. Algorithm

### 3. System Identification

2절에서 수집된 데이터를 MATLAB 6.5를 이용하여 시스템 규명을 실시하였다. 모두 4가지 모델에 대하여 실시하였으며, 그 결과를 Table 1과 Fig 3, 4에 나타낸다.

Table 1. Transfer Function

모 델		전 달 함 수
ARX	붐	$G(s) = \frac{0.001625s + 0.005542}{s^2 - 1.152s + 0.1527}$
	암	$G(s) = \frac{0.002814s + 0.006582}{s^2 - 1.301s + 0.3035}$
ARMAX	붐	$G(s) = \frac{5.336e - 5s + 0.0002111}{s^2 - 1.968s + 0.968}$
	암	$G(s) = \frac{-0.001747s + 0.002296}{s^2 - 1.963s + 0.9634}$
OE	붐	$G(s) = \frac{1.92e - 5s + 0.000177}{s^2 - 1.981s + 0.9816}$
	암	$G(s) = \frac{0.0002155s + 0.0003551}{s^2 - 1.964s + 0.9651}$
BJ	붐	$G(s) = \frac{-0.0007889s + 0.0009225}{s^2 - 1.987s + 0.9871}$
	암	$G(s) = \frac{-0.001448s + 0.001955}{s^2 - 1.968s + 0.9681}$

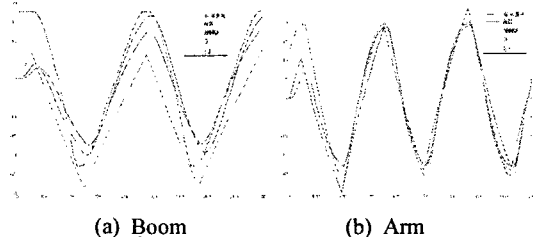


Fig 3. Compared with experiment, 4 model simulation

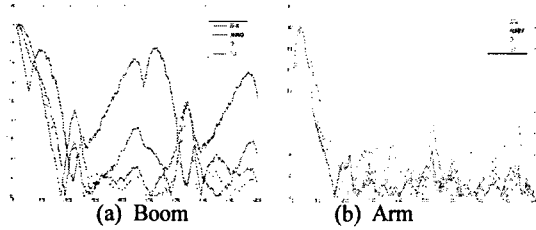


Fig 4. Mean deviation of experiment & 4 model simulation

ARX 모델을 제외하고는 나머지 세 모델이 비슷한 유형을 보이고 있으나, 실제 모델과의 표준편차에서 전체적으로 OE 모델이 가장 적은 편차를 나타내고 있다. 따라서, 본 논문에서는 붐과 암 모두 OE 모델로 선정한다.

#### 4. CDM을 이용한 제어기 설계

본 절에서는 CDM(Coefficient Diagram Method)을 이용하여 m-PID Controller를 설계하였다.

2차계로 선정된 붐과 암의 OE 모델은 다음과 같은 형식을 가진다.

$$\frac{B_p}{A_p} = \frac{q_1s + q_2}{s^2 + w_1s + w_2}$$

Fig 5의 전체 시스템에 대한 페루프 전달함수  $G$ 와 특성방정식  $P$ 를 구하면 다음과 같다.

$$G = \frac{K_i B_p}{(T_d s^2 + s)A_p + (K_d s^2 + K_p s + K_i)B_p}$$

$$P = (T_d s^2 + s)A_p + (K_d s^2 + K_p s + K_i)B_p$$

특성방정식의 계수를  $a_i$ 라고 하면 다음과 같이 표현된다.

$$P = a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0$$

안정도 지수  $\gamma_i = [2.5 \ 2 \ 2]$ 로 결정하였기 때문에 계수를 비교하여  $T_d, K_d, K_p, K_i, a_i$ 를 도출한다.

$\tau$ 의 변화( $\tau = 0.5, 1, 2, 3, 5, 7$ )에 대해 스텝응답을 확인하였다. 붐의 경우 모두 안정함을 알 수 있었고, 암의 경우  $\tau$ 가 약 1.8초 이후부터 안정함을 보여주고 있었다.  $\tau$ 의 선정을 위해 MATLAB Simulink를 이용하였고, 붐은  $\tau = 6.5$ , 암은  $\tau = 5$ 일 때로 선정하였다.

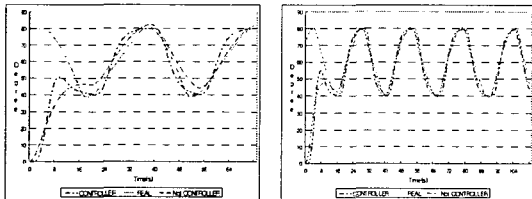


Fig 8. Response curve to same input

Fig 8은 시뮬레이션 결과로서 제어기를 설계하지 않은 경우 목표각도를 넘어서거나 못 미치고 있다. 제어기를 설계한 경우 응답성에서 약간 뒤처짐을 보여주고 있으나, 목표각도에 정확히 도달하고 있음을 알 수 있다.

#### 5. 제어기 적용 결과 및 고찰

본 절에서는 설계된 제어기를 성능향상을 살펴본다. 4절에서 설계된 제어기를 LabVIEW 7.1의 Simulation toolkit을 사용하여 구축하였다.

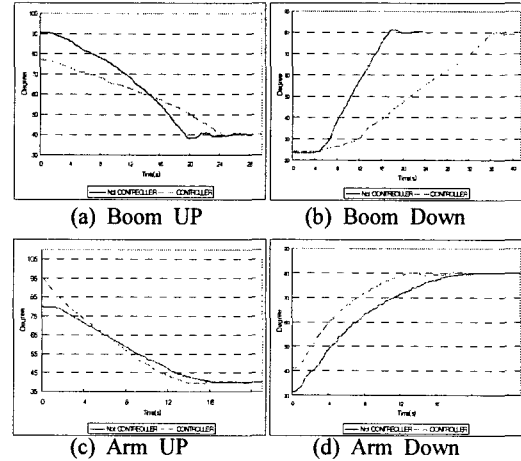


Fig 9. Response to used controller & not used controller

붐의 경우 상승과 하강 모두에서 Overshoot를 약간 감소시켰음을 알 수 있으나, 암의 경우 그다지 큰 변화가 없었다. 전체적으로 괄목할 만한 성능향상은 일어나지 않았다.

#### 6. 결론 및 향후계획

- 실제 시스템에 제어기를 적용한 결과 괄목할 만한 성능향상은 확인할 수 없었으며, 붐의 경우에서만 약간의 Overshoot 감소현상을 확인할 수 있었다.
- 시뮬레이션과 실제실험의 결과가 다른 원인은 다음과 같이 사료된다.
  - LEGO용 실린더의 사용으로 header측과 bottom측에서 공압누수현상이 있었다.
  - LEGO로 제작된 시스템으로 인해 각 부품 및 실린더에서 유격현상이 있었다.
  - 포텐셔미터의 전압과 각도간의 관계를 Curve fitting하여 관계식을 유도하였기 때문에, 시스템 전체의 정밀성이 떨어졌다.
- 향후 문제점을 보완한 시스템의 재구성이 필요하며, 제안된 System Identification과 CDM을 실제 5톤 굴삭기에 적용하여 자동굴삭기 시스템을 구현한다.

#### 참고문헌

- S.Manabe, 1998, "COEFFICIENT DIAGRAM METHOD," 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace .
- Jer-Nan Juang, "Applied System Identification", Prentice Hall PTR, 1993