

## MATRIXx를 이용한 퍼지제어의 주행형 진자진동에의 적용

송성용<sup>o</sup> · 이현철 · 홍석교

### The Fuzzy Control of Travelling Pendulum using MATRIXx

Seong-Yong Song Hyun-Cheol Lee Suk-Kyo Hong

Department of Control and Instrumentation Engineering, Ajou University

#### ABSTRACT

The studies about the swing control of the travelling pendulum have been developed in many ways. Most of them deal with the linearized pendulum model. This paper shows that the pendulum can be modelled without linearization by using MATRIXx, the dynamics simulation software. The fuzzy controller for reducing swing of the travelling pendulum is implemented with fuzzy tools supplied by MATRIXx.

#### 1. 서론

도급공정에서의 Tray 이송이나 중량물인 금형의 공장내 이송은 열악한 작업 환경이라는 측면에서 무인 자동화가 시급히 요구되는 곳이다. 이러한 부분을 자동화해가는데 있어서 필수적인 것이 Hanger형 주행장치인데 이 주행 시스템은 주행형 진자의 형태를 갖는다. 이 주행형 진자는 구조적으로 비선형 특성을 지니고 있으므로 이의 이송 및 진동 제어에는 여러가지 어려움이 있다. 특히, 이송시의 진행 속도와 대상물인 진자의 진동폭 사이에는 복잡한 관계가 이루어져 단순한 ON-OFF제어로는 정숙하면서도 빠른 이송을 기대하기가 곤란하다. 일반적으로 이러한 제어에는 PID control이나 pole placement 제어 등을 적용하여 어느 정도 정밀한 제어가 가능하다. 그러나 이러한 고전적 제어 방법은 여러가지 불확실한 외란에 대처로 취약한 뿐만 아니라 제어시스템 구성을 위해 많은 수작적 연산이 필요하므로[1], 근래에는 작업자의 경험과 눈리를 활용하며 외란에 강인한 Fuzzy 제어기에 대한 인구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 Fuzzy 제어기를 구성하는 경우에도 주행장치의 진행 거리와 그 속도 그리고 주행장치를 기준으로 진자인 Hanger의 진동 각도를 측정할 필요가 있다. 그러나, 이러한 물리량을 정확히 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서, 기본적인 물리량인 이동량과 진동 각도만을 측정한 뒤 고속의 계산기로 나머지 물리량을 계산하고, 계산이 간단하고 외란에 강인한 Fuzzy 제어기를 구현하면 측정 부분의 애로점을 줄일 수 있다. 여기서는 고속 인산 장치인 DSP로 구성된 AC100/30 제어기를 활용하기 위하여, 우선 MatrixX의 Fuzzy 모듈을 사용한 주행형 진자 진동의 Fuzzy 제어를 보이고자 한다.

#### 2. 본론

##### 2.1. 모델의 구성

주행형 진자에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 구성하기 위하여 고정형 단진자를 분석하고 이를 토대로 주행형 진자의 운동방정식을 정리한다. (그림 1)과 같은 단진자에 대한 운동방정식은 식(1)과 같이 표현한다.

$$T_c = mglsin\theta = ml\ddot{\theta} \quad (1)$$

$T_c$  : 단진자에 가한 토크

$m$  : 단진자의 질량

$g$  : 중력가속도

$l$  : 단진자의 길이

$\theta$  : 단진자의 회전 각도

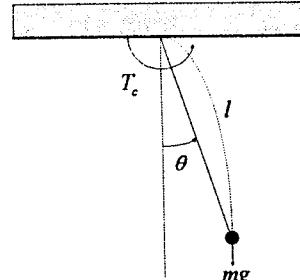


그림 1. 고정형 단진자의 진동

주행형 진자에서 주행 장치가 이동하여 진자의 중심이 이동하면 진자는 진자의 진동 중심으로부터 반대 방향으로 향하는 힘을 받는 것으로 확산할 수 있다. 따라서 이를 (그림 2)와 같은 주행 장치에 대한 운동방정식과 이에 구속된 단진자의 운동방정식으로 정리하면 다음과 같다.

$$(m_1 + m_2)\ddot{y} - m_2l\ddot{\theta} = u \quad (2)$$

$$ml\ddot{\theta} = m_2\dot{y}\cos\theta - m_2g\sin\theta \quad (3)$$

$u$  : 단진자에 가한 토크

$m_1$  : 주행장치의 질량

$m_2$  : 단진자의 질량

$g$  : 중력가속도

$l$  : 단진자의 길이

$\theta$  : 단진자의 회전 각도

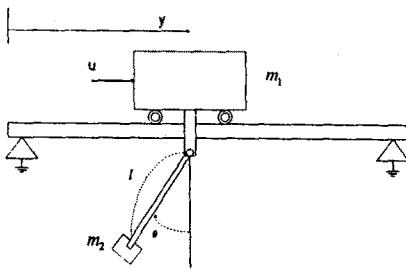


그림 2. 주행 단진자의 진동

제어기 설계에 따른 시뮬레이션을 실행하기 위해서는 위의식을 이용하여 모델을 구성하여야 한다. 그러나 위의식은 주요 제어 대상인  $\theta$ 에 대하여 비선형이므로 간단히 정리하기는 어렵다. 물론 이 식들은  $\theta$ 가 매우 작은 경우라고 가정하면 선형 상태 방정식을 구성할 수 있다. 그러나, MatrixX에서는 이러한 비선형 시스템을 블록도를 이용하여 모델로 구성할 수 있다.[2] 이를 위해 식(2),(3)을 주행 가속도와 진동 각각 속도에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\ddot{y} = \frac{u - mg \sin \theta}{m_1 + m_2 - m_2 \cos \theta} \quad (4)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{-u + (m_1 + m_2)\ddot{y}}{m_2 l} \quad (5)$$

## 2.2. PID제어기의 구성

위 모델에 대하여 전형적인 PID제어기를 구성하고 그 응답 특성을 살펴보면 (그림 3)와 같다.

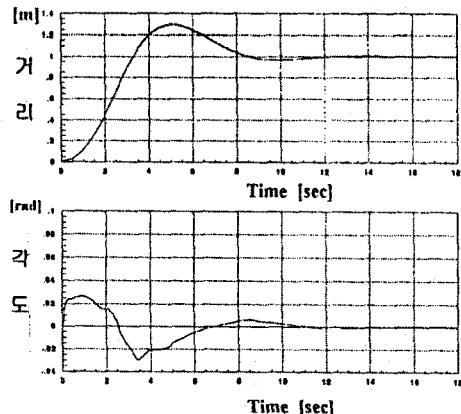


그림 3. PID 제어 출력

이와 같은 모델의 경우 일반적인 PID 매개변수를 구하는데 있어서 식 (2), 식 (3)으로부터 2차 특성방정식의 근식을 유추하기 어려우며, 주행 가속도와 진동 각각 속도는 상호 상반되거나 호응하는 방향으로 작용하므로 일반적인 방법으로 복합적인 매개변수의 값을 결정하기는 매우 어렵다.[3] 따라서, 여기서는 위에서 구성한 모델에 Step 입력 (인정량의 이동)을 가해 그 응답 상대로부터 각 매개변수의 증감을 결정하였다. 그러나, 빠르고 정확한 주행을 위해서는 전자의 진동을 허용해야 하며 전자의 진동을 최소화로 줄이기 위해서는 수행 속도 및 정확성을 최생해야 한다. (그림 3)에서 측정된 결과는 캐빈 신호에

따른 예외 및 그 미적분 값에 비례하는 인관화된 제어방법으로 초기 진동 외에 더 이상의 진동이 없으면서 구현할 수 있는 최소 진동으로 여겨진다. 이와같이 비선형성을 가지는 시스템의 경우 최적의 PID 매개변수를 쉽게 찾기는 매우 곤란하다.

## 2.3. Fuzzy제어기의 구성

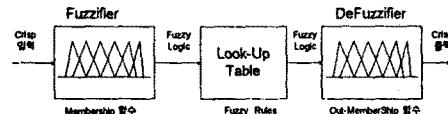


그림 4. Fuzzy 제어기의 구성

(그림 4)과 같은 구조를 갖는 Fuzzy 제어기를 구성하기 위해서는 먼저 입력용 Membership함수와 출력용 Membership함수 및 대상 시스템에 적합한 Fuzzy Rule을 구성하여야 한다. 입력용 Membership함수는 이 제어기에 입력되는 입력 신호를 Fuzzy 변수로 변환하는 기준으로 입력 신호의 크고 작은지를 인지하는 감도로 활용된다. 출력용 Membership함수는 규정된 Rule에 따라 정해진 출력 Fuzzy 변수를 Crisp 값으로 변환하기 위한 비율 함수로서 대상 모델에의 입력을 비선형적으로 정의할 수 있다. (그림 5)는 Fuzzy 제어 시스템을 보여주고 있다.

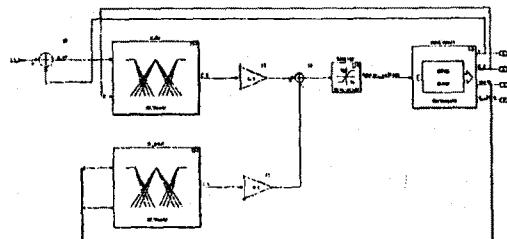


그림 5. Fuzzy제어기의 이용한 제어 시스템

한편, Fuzzy제어의 핵심은 그 제어 Rule의 구성[4]에 있는데 (표 1)에 주행의 제어 Rule, (표 2)에 진동의 제어 Rule을 나타내었다. 이러한 제어 규칙은 기본적인 논리를 가지며 그 크기는 이 논리 상에서 정확하고 빠른 출력을 얻기 위한 적절한 값을 선택하게 된다. 예를 들어 (표 1)을 구성하는 기본 제어 사상을 정리하면 다음과 같다.

```

if  $y_r > y$  and  $\dot{y} > 0'$  then (+small)
if  $y_r > y$  and  $\dot{y} < 0'$  then (+big)
if  $y_r < y$  and  $\dot{y} > 0'$  then (-big)
if  $y_r < y$  and  $\dot{y} < 0'$  then (-small)
if  $y_r = y$  and  $\dot{y} > 0'$  then (-smaller)
if  $y_r = y$  and  $\dot{y} < 0'$  then (+smaller)
if  $y_r > y$  and  $\dot{y} = 0'$  then (+small)
if  $y_r < y$  and  $\dot{y} = 0'$  then (-small)
if  $y_r = y$  and  $\dot{y} = 0'$  then (0')

```

여기에서 0'은 0에 근접한 크기로 인식할 수 있으며 각각의

크기는 그 조건 영역에서 적절한 조각으로 나누어 설정할 수 있다.

표 1 주행의 제어 Rule

$d\theta$	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PMB	PS	PMB	PMB	PMB
NM	PB	PMB	PMB	PS	ZP	PSM	PMB
NS	PMB	PMB	PS	ZP	ZP	ZP	PSM
ZR	PSM	PSM	ZP	ZE	ZN	NSM	NSM
PS	NSM	ZN	ZN	ZN	NSM	NSM	NMB
PM	NMB	NSM	ZN	NSM	NMB	NMB	NMB
PB	NMB	NM	NM	NSM	NMB	NB	NB

표 2 진동의 제어 Rule

$\frac{dy}{dx}$	NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NS	ZP	PM	PM	PB
NM	NB	NS	ZN	ZP	PS	PS	PM
NS	NS	NS	ZN	ZP	ZP	ZP	PS
ZR	ZN	ZN	ZN	ZE	ZP	ZP	ZP
PS	NS	ZN	ZN	ZN	ZP	PS	PS
PM	NM	NS	NS	ZN	ZP	PS	PB
PB	NB	NM	NM	ZN	PS	PM	PB

#### 2.4. 시뮬레이션

실험 대상 모델은 실험실에서 실제 작동을 위해 구성한 주행형 전자를 선택하였으며 실험장치의 제원은 (표 3)과 같다. 여기에서 힘을 가하기 위한 구동용 모터로는 DC Servo Motor를 대상으로 하였다. 모델에 대한 진달함수는 블리드 형식으로 구성함으로써 비선형 시스템을 근사화하지 않고 작성하였다. 이 실험은 1m의 위치 이동을 요구했을 때 전자의 진동을 최소로 하면서 위치 이동을 완료할 수 있는 방법을 고안하고자 한 것으로 전형적인 PID 제어 (그림 3)와 Fuzzy 제어기를 상호 비교하였다. (그림 6) 위 실험에서는 정숙한 운전을 목표로 함에 따라 유사한 속도의 위치 이동시 어느 정도까지 진동 각을 차지할 수 있는가에 중점을 두고 관찰하였다. 우선 PID 제어기의 경우 출발에서 정지까지 2개 주기의 진동이 발생하였으며 최대 진폭각은 0.08rad ( 4.58도 )으로서 주행장치 또는 전자의 길이 60cm에서 약 4.8cm의 위치변화를 가지게 된다. 한번 Fuzzy제어의 경우는 출발에서 정지까지 2개 주기의 진동이 발생하였으며 최대 진폭각은 약 0.03rad ( 1.72도 )으로서 주행장치와는 전자의 길이 60cm에서 약 1.8cm의 위치변화를 가지게 된다. 이들의 결과는 전자 진동을 최소화하기 위하여 위치 이동 영역에서는 과도 응답을 인정하였다. 두 결과를 비교하면 Fuzzy 제어기의 제어 능력이 PID 제어기의 제어 능력을 능가하고 있다. 물론 이를 위해서는 전문가의 경험과 같은 적절한 제어 논리를 필요하다.

표 3. 주행형 전자 실험장치의 제원

명칭	변수명	크기	단위
주행장치 질량	$m_1$	5.4	kg
전자 질량	$m_2$	0.7	kg
전자까지의 길이	l	0.6	m
모터 전기자 저항	$R_a$	0.83	$\Omega$
전기자 인터티스	$L_a$	0.63	mH
토크 상수	$K_a$	1.47	kg cm/A
역기전력 상수	$K_b$	18.1	mV/(rad/sec)

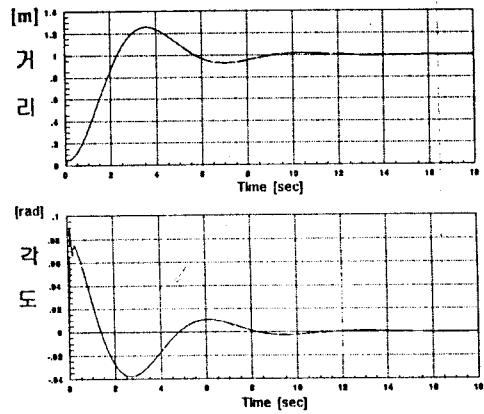


그림 7. Fuzzy 제어 출력

#### 3. 결론 및 추후 과제

이 실험에서는 시뮬레이션 및 제어용 Software인 MatrixX를 이용하여 비선형 시스템을 모델링하고 내부적으로 고안되어 있는 Fuzzy 제어 모듈을 이용하여 주행형 전자의 진동을 감소시키기 위한 제어기 설계를 수행하였다. 이 설계 결과를 이용하여 실험한 측정 결과는 Fuzzy제어기가 주행형 전자의 진동을 최소화하는데 매우 유용함을 보여주고 있다. 그러나 이러한 결과를 얻기 위해서는 적절한 Fuzzy Rule 및 출력용 Membership 함수를 구해야 하며 이 실험에서와 같이 원하는 위치의 이동이 필연적인 전자의 진동을 야기하는 시스템의 경우 복잡한 Membership 함수가 필요하므로 Fuzzy 논리의 처리방법에 지능적인 제어 알고리즘을 적용할 필요가 있겠다.[5]

이 실험 결과는 추후 MATRIXx와 AC100/30 제어기를 연결, 실제 모형에 제어기로 적용하여 Fuzzy 제어기의 성능을 확인하는데 이용될 것이다. 또한 열악한 작업환경에서의 자동화를 위하여 계속적으로 임의의 접점 입력에 대해 강인한 제어기 설계 및 지능형 알고리즘을 이용한 최적의 제어기 설계를 고안해 갈 것이다.

#### 참고문헌

[1] Didier Dubois, Henri Prade, and Ronald R. Yager, "Fuzzy Sets for Intelligent Systems", Morgan Kaufmann Publishers Inc, pp6, 1993

[2] "System Build User's Guide Version 3.0", Integrated Systems Inc., 1992

[3] Michael J. Nalley and Mohamed B. Trabia, "Design of a Fuzzy Logic Controller for Swing-Damped Transport of an Overhead Crane Payload", ASME journal of Dynamic System, vol. 1, pp 393, 1994.

[4] F.Martin McNeill, Ellen Thro, "Fuzzy Logic a practical approach", Academic Press.Inc. pp 66-70, 1994

[5] 박영준, 조형석 "가변 템플레이트를 사용한 새로운 뉴로-퍼지망", 제 9회 로보틱스및 자동화 연구회 Workshop 논문집, pp 155-157, 1995