

크레인의 Anti-Swing 및 위치 제어기의 개발

Development of Controller for Anti-Swing and Position of Crane

°정승현, 권관조, 박정일, 이달해

영남대학교 전기전자 공학부(Tel: 053-810-2498; E-mail:jjipark@ynuucc.yeungnam.ac.kr)

ABSTRACT The roof crane system is used for transporting a variable load to a target position. At this time, the goal of crane system is transporting to a goal position as soon as possible with no rope oscillation. Generally crane is operated by expert's knowledge, but recently automatic control with high speed and rapid transportation is required. In this thesis we developed fuzzy controller of crane which has simplified expert's knowledge base for anti-swing and rapid transportation to goal position.

Keyword Fuzzy controller, Expert's knowledge base.

1. 서 론

크레인은 산업현장의 무거운 물체를 이송하는 경우에 쓰인다. 이러한 이송의 과정에서 물건을 들어올리는 동시에 가속을 하고 일정지점까지 등속으로 움직이다가 목표지점의 일정위치 근처에서 감속과 동시에 물건을 내리는 일련의 동작은 필연적인 로프의 진동을 수반한다. 이러한 진동은 물건의 추락 및 주변물체와의 충돌을 유발시킬수 있고 물체이송시간을 길게 만들어 목표지점도달시 잔류진동을 남기게 된다. 이러한 문제점을 해결할 경우 크레인의 자동화는 가능하다.

크레인을 제어하는 방법으로는 개루프제어, 피드백제어, 퍼지제어 등의 방법으로 나눌 수 있다. 여기서, 개루프제어는 로프의 진동을 최소로 하는 트롤리의 바람직한 속도레적을 미리 입력한 후 실제로 트롤리가 이 속도레적을 따라가도록 하는 것이다. 일반적으로 이 방법은 각도 피드백이 필요 없기 때문에 산업용 크레인에 쉽게 적용되어 질수 있다. 그러나 운행중 로프의 길이가 변하거나 로프의 초기진동이 있을 경우, 그리고 외란이 인가 되었을 경우에 효과적인 제어를 기대하기 어렵다. 반면에 피드백 제어는 진동각 및 트롤리의 속도와 가속도를 실시간으로 궤환시킨다. 이 방법은 환경의 변화에 대하여 적절히 대처할수 있다. 그러나 이 방법은 로프의 길이변화에 대하여 바람직한 결과를 얻지 못하고 있다. 그래서 이를 극복하기 위하여 퍼지제어를 이용한 크레인의 진동각 및 위치제어에 관한 연구가 계속되어져 왔으나 대부분의 경우는 진동각과 위치에 가해지는 제어입력 가중치가 일정한 경우이다.[3] 그러나 실제로 산업현장에서 크레인 숙련 작업자의 행동을 관측해보면, 경험적인 숙련기술에 의해서 진동각 및 위치제어를 함께 고려한 작업을 해내고 있다.

따라서 본 연구에서는 숙련기술자의 제어지식을 어떻게 모델링할것이며 이러한 숙련기술자의 제어지식을 어떻게 크레인제어기에 도입할것인가에 대해서 각도제어 및 위치 제어값을 새로운 퍼지모델에 도입한 합성추론을 제시하였다.

2. 제어 알고리즘

2.1 진동각 제어

트롤리 로프의 진동각 제어를 위해서 진동각 θ 및 각속도 θ' 의 멤버쉽 함수를 정한다.

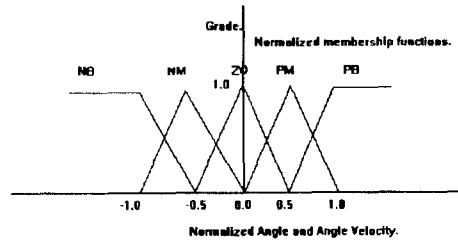


그림 1. 각도와 각가속도에 관한 멤버쉽 함수의 모양.
Fig 1. The shape of membership functions for angle and angle velocity.

각각의 집합들은 제어를 원하는 구간에서 정규화를 시킨다. 이러한 정규화된 멤버쉽함수를 사용함으로써 임의의 구간에서 쉽게 함수를 적용시킬수 있다. 위의 삼각형의 멤버쉽함수는 조건부 일차 방정식으로 표현할 수 있다.

한 예로 멤버쉽함수 NB의 표현은 다음과 같다.[2]

$$\begin{aligned} &\text{if } (\theta \text{ or } \theta' < -1) \\ &\quad \text{NB} = 1 \\ &\text{else if } (-1 \leq \theta \text{ or } \theta' < -0.5) \\ &\quad \text{NB} = -2 * [\theta \text{ or } \theta'] - 1 \\ &\text{else } \text{NB} = 0 \end{aligned}$$

퍼지 제어규칙은 다음과 같다.

If θ is NB and θ' is NB then U is PB

.....

If θ is ZO and $\dot{\theta}$ is NM then U is PM
 If θ is ZO and $\dot{\theta}$ is ZO then U is ZO

표 1. 제어규칙표

Table 1. Rule table for control

		Angle derivative				
		NB	NM	ZO	PM	PB
A n g l e	NB	PB	PB	PB	PM	ZO
	NM	PB	PB	PM	ZO	PM
	ZO	PB	PM	ZO	NM	NB
	PM	PM	ZO	NM	NB	NB
	PB	ZO	NM	NB	NB	NB

PB : Positive Big , PM : Positive Medium ,
 ZO : Zero, NB : Negative Big ,
 NM : Negative Medium

위의 제어규칙표는 일반적으로 쉽게 상상할수 있는 보편 타당한 삼단논법을 도식화한 것이다. 일반적으로 위와 같은 테이블에서 제어값의 추론은 직접추론법중에서 Mamdani의 합의에 따른다. 이는 Max-Min 합성으로서 전건부 적합도 중 Min값을 이용 각 규칙의 적합도를 구하고 후건부의 퍼지집합에 반영시켜 개개규칙의 추론결과를 구한 후 이것들을 모아서 Max 연산을 이용 최종적인 추론결과를 얻는다. 크레인과 같은 플랜트는 확정치가 필요한 경우이기 때문에 최종적 추론결과와 무게중심을 구한다. [1][2]

2.2 위치 제어

트롤리의 위치 제어를 위해서 위치오차 x 및 속도 \dot{x} 의 멤버십 함수를 정한다. 이는 위의 각도 제어와 같은 방법으로 실시한다. 즉, 위치오차 x 및 속도 \dot{x} 에 관하여 NM, ZO, PM, PB의 5개의 멤버십 함수를 정의한다. 그 다음 제어규칙을 설정한다. 이 때의 제어규칙은 각도 제어와 같은 규칙을 적용시킨다. 다음에는 제어규칙표를 만든다. 마지막으로 Max-Min gavity 합성을 실행하여 위치제어 값을 구한다.

2.3 진동각제어와 위치제어의 합성

로프의 진동 및 트롤리의 위치 제어는 한쪽을 제어하면 다른 한 쪽이 잘되지 않는 상대적인 관계에 있으므로 동시에 만족스럽게 제어하는 것은 매우 어렵다. 그러나 크레인 숙련기술자의 행동을 유심히 관찰해 보면 다음과 같은 사실을 알수 있다. 첫째, 거리오차가 많을 경우 작은 진동은 크게 신경쓰지 않는다. 둘째, 진동이 큰 경우에는 거리오차를 크게 신경쓰지 않는다. 셋째, 목표지점에 가까워지면 진동과 위치의 가중치를 경험에 의해서 변화시킨다.

본 연구에서는 이러한 숙련기술자의 행동자세를 퍼지추론해낸다. 이는 한샘플링의 제어구간에서 먼저 위치와 각도에 관한 트롤리의 속도지령값을 추론해내고 이를 숙련기술자의 행동자세를 모델링한 퍼지추론 룰에 대입시킨다.

2.3.1 각도 및 위치에 관한 트롤리 지령값의

멤버십 함수의 결정

진동 제어값 control_angle과 위치 제어값 control_distance의 멤버십 함수를 정한다.

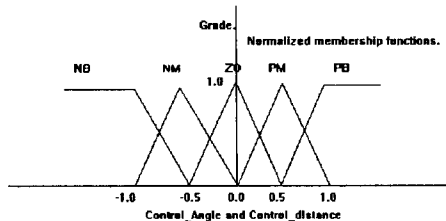


그림 2. 각도제어값과 위치제어값에 대한 멤버십 함수의 모양
 Fig 2. The shape of membership functions for control_angle and control_distance

2.3.2 제어규칙표의 작성

If control_distance is NB and control_angle is NB
 then U is NB

 If control_distance is NM and control_angle is NM
 then U is NM

 If control_distance is ZO and control_angle is NB
 then U is ZO

 If control_distance is PM and control_angle is PM
 then U is PM

 If control_distance is PB and control_angle is PB
 then U is PB

표 2. 전문가의 지식베이스로 FAM surface 구성
 Table 2. Construction of FAM surface with experter's knowledge base

		Control Distance				
		NB	NM	ZO	PM	PB
Cont - rol angle	NB	NB	NB	NB	NB	PB
	NM	NB	NM	NM	ZO	PB
	ZO	NB	NM	ZO	PM	PB
	PM	NB	ZO	PM	PM	PB
	PB	NB	PB	PB	PB	PB

위의 제어 규칙표는 앞에서 설명한 세가지의 전문가의 기술행동을 반영한 것이다. 이것을 그림으로 도식하면 다음과 같다.

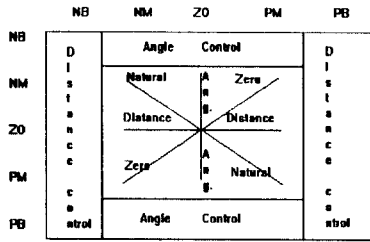


그림 3. 전문가의 행동모델 도식화(제어행면그림)
Fig 4. Expert's action model construction

3. 크레인의 실험 및 결과고찰

실험은 실험용으로 제작한 simulator를 이용하였으며, 그 구조는 길이 2m, 높이 1m이고, 구동 모터는 DC Servo 모터를 사용하였다. 그리고 로프의 진동은 트롤리의 진행축 방향으로의 각도만 측정하였으며, 운반물의 무게는 1.5Kg, 로프의 최대길이는 0.8m이다.

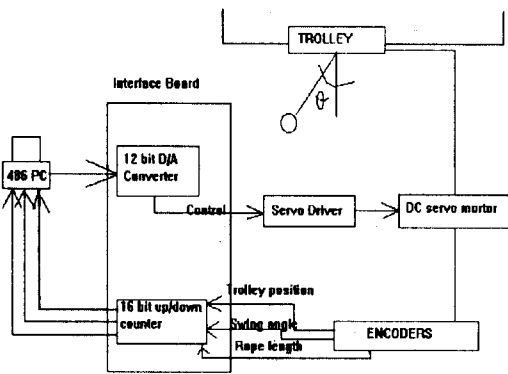


그림 4. 실험장치 구성도
Fig 4. The block diagram of experimental apparatus

그림 4는 실험장치의 구성도이다. 전체 동작과정을 살펴보면, 트롤리 구동 모터에 달린 엔코드의 펄스와 로프 진동에 위한 엔코드의 펄스, 그리고 로프의 길이를 변화시키는 모터에 달린 엔코더의 펄스들은 인터페이스 보드에서 up/down 카운팅되어, 486PC로 입력되고, 486PC는 C언어로 구성된 제한된 퍼지 제어기에서 제어 입력을 계산한다. 이 값은 다시 인터페이스보드에서 D/A변환기를 통해서 드라이브에 전달되어 모터를 구동하게 된다.

그림 5는 일반적인 제어방식인 위치제어와 각도제어의 가중치가 일정하고 가속, 등속, 감속의 속도프로파일을 이용한 제어결과이다. 그림 6은 전문가의 제안된 방식의 결과로서 정상상태 도달 시간이 2.5초정도 빨라졌음을 알 수 있다.

이는 지식제어으로써 속도와 위치에 관한 가중치를 변화 시킴으로써 가능하게 되었다.

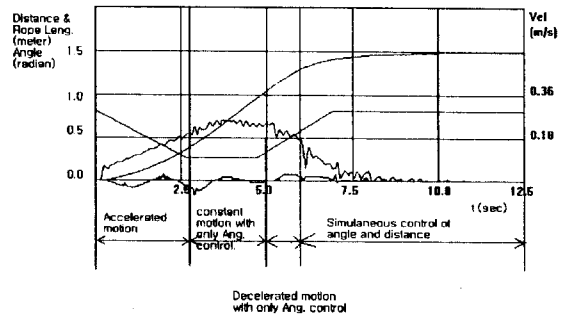


그림 5. 일반적 속도프로파일을 이용한 방법에 의한 제어
Fig 5. Control result by method using general velocity profile

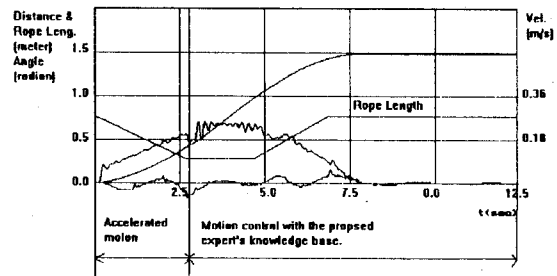


그림 6. 제안한 전문가의 지식을 이용한 제어
Fig 6. Control result using the proposed expert's knowledge base

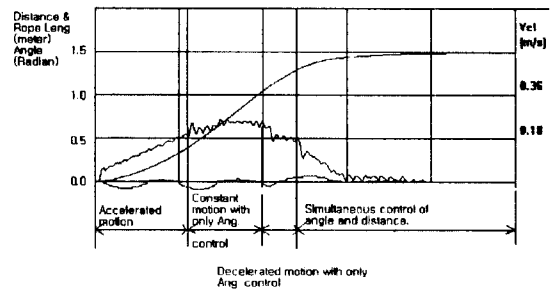


그림 7. 로프길이변화가 없을 시 일반적 속도프로파일을 이용한 제어결과
Fig 7. Control result using general velocity profile with constant rope length

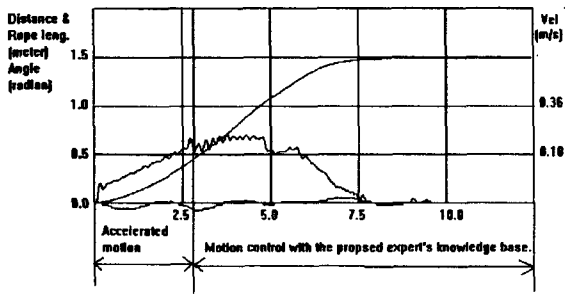


그림 8. 로프길이변화가 없을 시 제안한 전문가의 지식을 이용한 제어결과
Fig 8. Control result using the proposed expert's knowledge base with constant rope length

그림 7은 로프길이 변화가 없을 때의 속도제어 결과이다. 그림 8은 로프길이 변화가 없을 때의 제안된 방식에 의한 제어 결과이다. 이 그림에서 제안된 지식제어에 의한 방식이 각도와 위치의 수렴특성이 빠름을 알 수 있다.

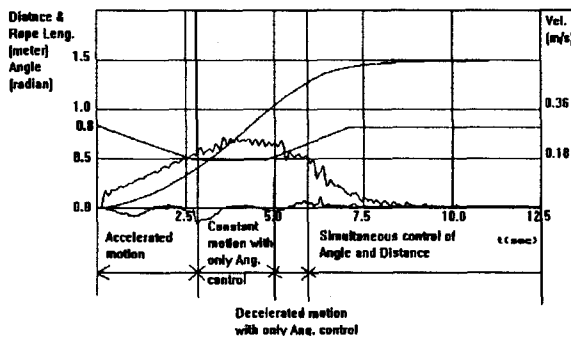


그림 9. 로프길이변화가 적을 시 일반적 속도프로파일을 이용한 방법에 의한 제어결과
Fig 9. Control result by method using general velocity profile with small variation of rope length

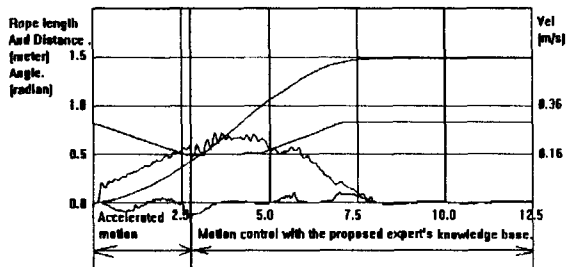


그림 10. 로프길이변화가 적을 시 제안한 전문가의 지식을 이용한 제어결과
Fig 10. Control result using the proposed expert's knowledge base with small variation of rope length

그림 9는 로프길이 변화가 30cm일 때의 속도 제적제어 결과이다. 그림 10은 로프길이변화가 30cm 일 때의 제안된 방식의 제어결과이다. 이 결과에서도 제안한 방식이 수렴속도가 빠름을 알 수 있다.

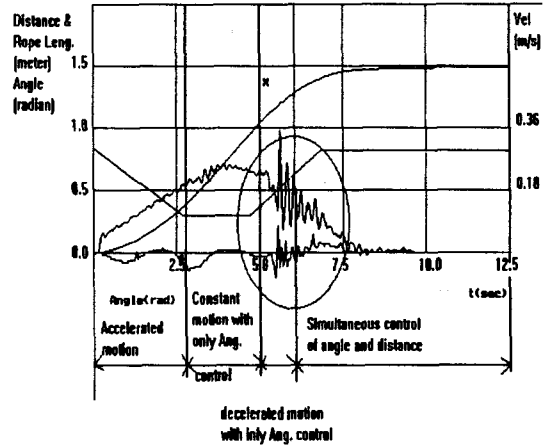


그림 11. 외란인가 시 일반적 속도프로파일을 이용한 방법에 의한 제어결과
Fig 11. Control result by method using general velocity profile when the disturbance is applied

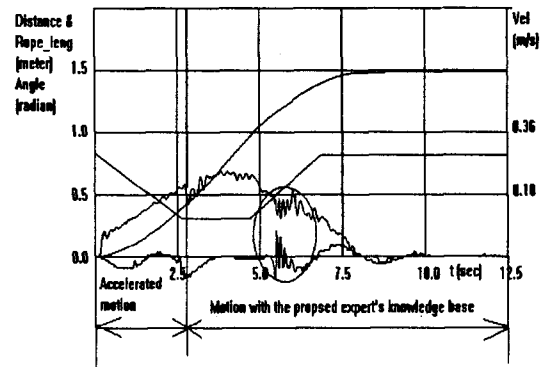


그림 12. 외란인가 시 제안한 전문가의 지식을 이용한 제어결과
Fig 12. Control result using the proposed expert's knowledge base when disturbance is applied

그림 11은 1.2m 부근에서 외란을 인가시켰을 때에 속도프로파일을 이용한 제어결과이며 그림 12는 같은 조건에서의 지식제어에 의한 결과이다. 그림 12에서 지식제어에 의한 방식이 임의의 외란을 전문가의 지식을 이용 판단하여 효과적으로 감소시킴을 볼 수 있다.

4. 결 론

속도프로파일을 이용하여 위치제어와 각도제어를 일정하게한 제어방식과, 전문가의 지식을 이용한 퍼지제어기로서 위치제어와 각도제어의 가중치를 변화시키면서 제어하는 실험을 비교하였다. 이를 통해 얻은 결과는 다음과 같다. 첫째, 초기가속구간을 두어 원하는 속도로 도달한뒤에 지식 제어를 적용시키는 것이 유리하다. 이것은 초기가속구간이 없을시 갑자기 속도가 높아짐으로 인하여 트롤리의 진동 발생을 억제하기 위함이다. 둘째, 지식제어는 크레인의 무진동제어에 효과적으로 적용되었다. 이것은 종래의 가중치가 일정한 경우와는 다르게 임의의 시간에 적절한 전문가의 지식을 도입하는 것으로서 정상상태도달시간을 크게 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] B.Kosko, Neural networks and Fuzzy systems, Prentice-Hall International, Inc. 1992.

[2] 이해영, Fuzzy 제어이론과 응용, 영남대학교 전기공학과 . 1994

[3] 한창욱,박정일, "퍼지제어기를 이용한 크레인의 무진동 및 위치제어의 합성에 관한 연구," 영남대 전자공학과 석사 학위논문, 1995.

[4] 이해영,백기남, "Fuzzy 제어를 위한 퍼지 추론법", RIST 연구기보, 제4권, 제3호, pp.92-99, 1990.

[5] 채상락,박정일,이석규,"신경회로망-퍼지제어기를 이용한 독립전자의 제어," 한국자동제어 학술회의 논문집, 1994.

[6] M.Sugeno, International Applications of Fuzzy control, Elsevier Science Publishers B.V.. 1985

[7] 박병석,윤지섭,이재철, "무진동 크레인을 이용한 흔들림 제어에 관한 연구" , 한국자동제어 학술회의 논문집, pp.292-297, 1990

[8] 임태성, 유완식, 변중남, "퍼지논리를 이용한 천정 크레인의 무진동 제어," 한국자동제어 학술회의 논문집, pp.87-91 1993.