

공학석사 학위논문

인공지능을 이용한 자동 싱크대 높낮이  
제어 시스템 구현에 관한 연구

A Study on the Implementation of Automated Sink Height  
Control System using Artificial Intelligence



2013년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

박 상 용

본 논문을 박상용의  
공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 박 동 국 (인)

위 원 김 정 창 (인)

위 원 이 상 배 (인)



2013년 2월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iv
List of Figures .....	v
Abstract .....	vi
<b>제 1 장. 서 론</b>	
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구내용 .....	2
<b>제 2 장. 싱크대 높낮이 제어 시스템</b>	
2.1 높낮이 조절이 가능한 싱크대 제어 시스템 .....	4
<b>제 3 장. 퍼지 제어 시스템</b>	
3.1 퍼지이론의 개요 .....	7
3.2 보통집합과 퍼지집합 및 연산 .....	7
3.3 퍼지추론 .....	11
3.4 퍼지제어기의 구성 .....	13
<b>제 4 장. 인공지능 싱크대 설계 및 구현</b>	
4.1 싱크대 높낮이 제어 시스템 .....	18
4.2 퍼지추론을 이용한 자동 싱크대 높이 제어 알고리즘 .....	21
4.3 하드웨어 구성 .....	25
<b>제 5 장. 실험 및 결과</b>	
5.1 실험 방법 .....	30
5.2 실험 결과 .....	31
<b>제 6 장. 결 론</b> .....	35

참고 문헌 ..... 36

감사의 글 ..... 38



## List of Tables

표 1. 신장에 따른 펄지 집합 .....	21
표 2. 간격에 따른 펄지 집합 .....	21
표 3. 싱크대 높이 제어량에 따른 펄지 집합 .....	22
표 4. 펄지 룰 .....	22
표 5. 측정 결과 .....	32



## List of Figures

그림 1. 연구의 흐름 .....	3
그림 2. 높낮이 조절이 가능한 싱크대 .....	4
그림 3. 싱크대 높낮이 제어 시스템의 측면도 .....	5
그림 4. 기존의 높낮이 제어시스템의 흐름도 .....	6
그림 5. 보통집합과 퍼지집합의 표현 .....	8
그림 6. 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 교집합 .....	10
그림 7. 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 와 $\tilde{A}_2$ 의 합집합 .....	10
그림 8. 퍼지 집합 $\tilde{A}_1$ 의 여집합 .....	10
그림 9. Mamdani의 추론 .....	12
그림 10. 퍼지 제어기의 기본구조 .....	13
그림 11. 퍼지 추론 과정 .....	15
그림 12. 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도 .....	17
그림 13. 싱크대 높낮이 제어 블록도 .....	18
그림 14. 자동 싱크대 높낮이 제어 시스템의 측면도 .....	19
그림 15. 모터 구동에 따른 싱크대 높이 조절 .....	20
그림 16. 퍼지 추론을 통한 높낮이 제어 값 결정 .....	24
그림 17. 제작한 제어 모듈 .....	25
그림 18. 제어부 회로도 .....	26
그림 19. LCD 및 초음파 센서 회로도 .....	26
그림 20. 초음파 센서 모듈 타이밍 다이어그램 .....	27
그림 21. 초음파 센서 모듈 응답 특성 .....	28
그림 22. 구동부 회로도 .....	28
그림 23. 실험 설정 및 환경 .....	30
그림 24. 실제 측정 모습 .....	31
그림 25. 3차원 함수 그래프 .....	33
그림 26. 시뮬레이션 결과 .....	33

# A Study on the Implementation of automated sink height control system using artificial intelligence

Park Sang-yong

Department of Electronics & Telecommunications Engineering

Graduate School of  
Korea Maritime University



According to the press release of 1990, most 40% of back pain patients were housewife. But nowadays, the rate of patients has been increasing in number of students and office workers. This result is deduced from whole family doing housekeeping work by increasing of husband and wife both working, Not only wife's things. Also, children do some part of housekeeping work like washing dish and somethings instead of their mother. modern sinks are set same pattern of the height, So children have to set extra chairs or boxes so as to do washing dish and washing fruits on the sink. but this situation makes children dangerous and cause possibility of falling down. Also children need to

clean up their working place. Of course, the original sink foot has the ability to adjust the height while supporting the bottom. For this reason, if you rotate the device, the height of the sink will increase and if you rotate in the opposite direction, the height is low. Adults can learn how to use easily. But the children still difficult to use due to lack understanding. Therefore, a new sink for height adjustment is required to solve above problems. The purpose of this paper is You should be able to automatically adjust the height of the sink depending on the individual's height. If the height of the sink is too high or too low, people will feel the pain in the waist while using the sink. That's why this control system can prevent back pain and this paper is a study of the automatic height control system.





# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

1990년 언론 보도 자료에 의하면 우리나라 전 인구의 80%이상에서 나타나는 요통은 그 원인의 한부분으로 세면대나 싱크대의 높이가 낮고 잘못된 주택구조와 그릇된 생활양식 때문에 발생하고 있는 것으로 나타났다, 요통환자의 40%를 차지하는 것은 주부로서 가장 큰 비중을 차지했다[1]. 과거 요통환자의 비율은 주부에 편중되어 있었으나 현대의 요통환자의 비율에서는 학생이나 직장인의 비율이 점차 늘어나고 있는 실정이다.

2000년대 이후로 맞벌이 부부의 증가로 인해 가사노동이 여성에게만 국한되지 않고 남성이나 아이들에게까지 확대되면서 비율이 늘어나게 되었다. 가족 구성원 중 아이들이 어머니를 대신하여 설거지를 하는 등 많은 부분에서 아이들이 부모의 가사노동을 분담하는 경우가 빈번하다. 종래의 싱크대는 그 높이가 정형화되어 있어 아이들이 싱크대에서 설거지를 도와주거나 과일 세척 등을 하기 위해서는 별도로 의자나 상자 등을 세워놓고 그 위에 올라가서 작업을 해야 했다. 하지만 아이들이 의자나 상자 위에 올라가서 설거지 하는 경우에는 의자나 상자가 넘어지면 추락의 위험이 있었으며, 설거지를 마친 후에는 다시금 의자나 상자를 치워야 하는 번거로움이 있었다.

또한 가사 노동 인구에서 성인 남성의 비율이 증가하면서, 싱크대를 사용하는 남성도 덩달아 늘어났다. 하지만 싱크대 높이가 낮음으로 인해서 불편하게 허리를 굽혀 작업을 하는 경우가 있어 이로 인한 요통 증상도 늘어났다.

종래의 싱크대 받침다리에는 싱크대를 바닥면에 고정하는 동시에 회전에 의해서 그 높이가 조절되는 높이조절판이 장착되어 있어 높이조절판을 순방향으로 회전시키면 싱크대의 높이가 올라가고, 역방향으로 회전시키면 싱크대의 높이가 내려오도록 이루어져 있다. 성인들의 경우, 사용법을 숙지하면 쉽게 사용할 수 있으나 이해력이 부족한 아이들은 사용하기가 힘들다.

높낮이를 조절할 수 있는 싱크대의 목적은 사용자가 보다 편안한 환경에서 작업을 할 수 있도록 하는 것이다. 하지만 단지 키에만 의존하여 높낮이를 조절

하기 때문에 실제로 싱크대를 사용하는 사람들에게 최적의 작업 환경을 제공하지 못한다. 사람마다 추구하는 편안한 자세는 모두 틀리며, 키뿐만 아니라 개인의 팔 길이 등의 외부적인 신체적인 조건을 고려해야 한다.

본 논문은 싱크대의 높이를 개인의 신장에 따라서 자동적으로 조절할 뿐만 아니라 추가적으로 싱크대와 사람과의 간격을 고려하여 실제적으로 싱크대를 사용하는 사람들에게 최적의 사용 환경을 제공하는 시스템을 구현한 것으로, 이를 위해서 인공지능의 하나인 퍼지 추론을 이용하여 시스템을 구성하였다. 시뮬레이션을 통하여 기존에 사용되고 있는 싱크대 시스템의 높낮이 제어값과 새롭게 퍼지 추론을 이용한 싱크대 시스템의 높낮이 제어값을 비교하여 결론을 도출하였다.

## 1.2 연구 내용

본 연구는 다음 장의 그림 1과 같이 이론 연구에서 출발하여 퍼지 추론을 이용한 싱크대 높낮이 시스템의 실제적인 구현, 그리고 이에 따른 실험과 고찰, 최종 결론의 단계로 수행되었다. 이론 연구 단계에서는 현재 시판되고 있는 높낮이 조절이 가능한 싱크대를 기준으로 하여 종래의 높낮이 제어 시스템을 분석하였고, 이전의 알고리즘을 대체할 인공 지능인 퍼지 추론에 대한 이론적인 지식들을 서술하였다. 시스템 구현 단계에서는 앞서 연구한 이론에 맞춰 실제로 퍼지 제어를 이용한 싱크대 높낮이 제어시스템을 구현하였고, 특히 싱크대와 사람간의 간격이라는 하나의 변수를 더 추가하여 사용자의 입장에서 싱크대를 사용하는 데 최적의 높이를 제공하도록 구성하였다. 결론에서는 퍼지 알고리즘을 통한 새로운 높낮이 제어 시스템을 시뮬레이션을 통해 최종적으로 결과를 도출하였다.

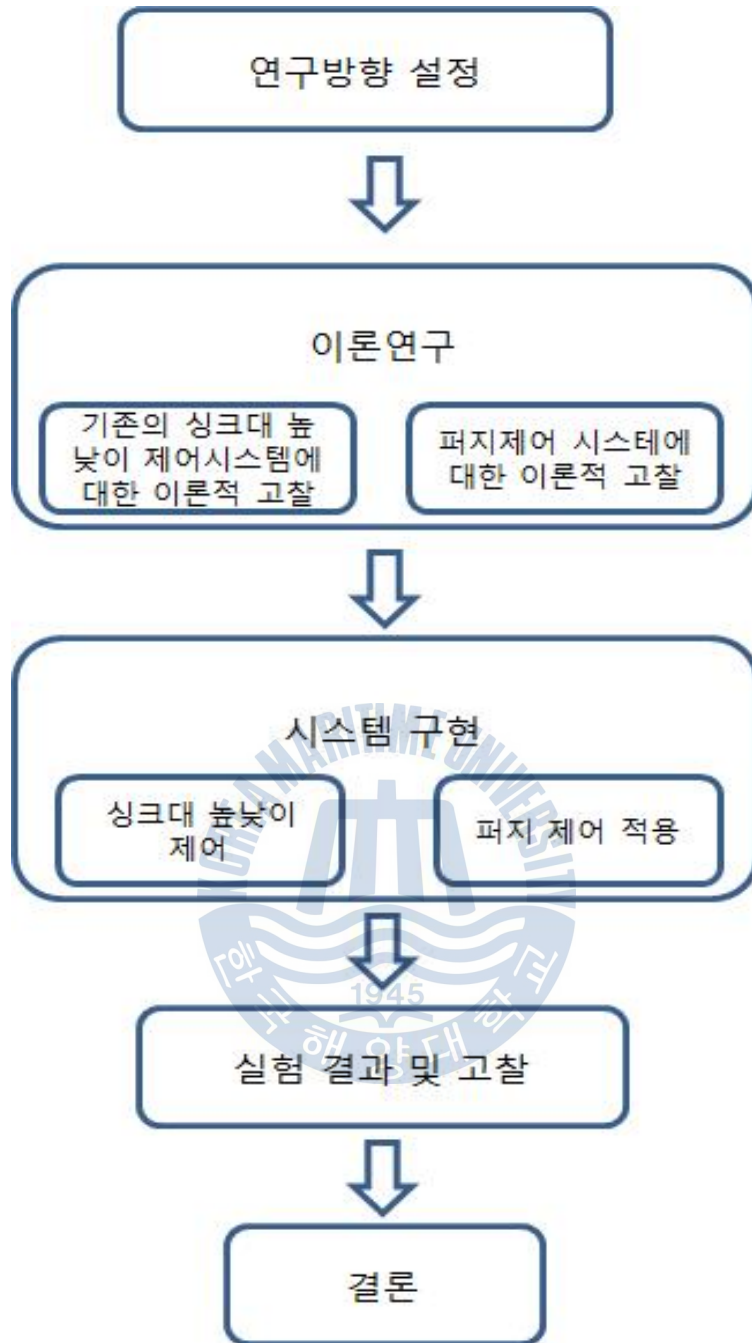


그림 1. 연구의 흐름

## 제 2 장 싱크대 높낮이 제어 시스템

### 2.1 높낮이 조절이 가능한 싱크대 제어 시스템

2011년 9월에 개최된 ‘베이비붐 세대를 위한 노후준비 박람회(SENDEX11)’에서 첫 선을 보인 높낮이 조절이 가능한 싱크대[2]는 보통 일반적인 싱크대가 단일형인 것과는 다르게, 개수대 부분을 포함한 상층부와 수납공간을 포함하는 하층부의 두 부분으로 나뉘어진다. 아래의 그림 2는 현재 기업에서 시중에 판매하고 있는 높낮이 조절이 가능한 싱크대의 모습을 보여준다.



그림 2. 높낮이 조절이 가능한 싱크대

하층부의 경우는 지면에 직접 닿는 부분으로 싱크대를 직접 고정하는 역할을 하며, 상층부의 경우는 실제 개수대의 높낮이를 조절할 수 있게끔 리프트가 장착되어 있다. 여기서 리프트(lift)란 일종의 도르래를 말하며 리프트의 회전으로 인해 싱크대의 높이를 조절할 수 있다. 이러한 싱크대 높낮이 제어 원리는 다음과 같은 방식으로 동작하게 된다. 먼저 사용자의 신장에 따른 임의의 높이를

리프트의 제어부에서 우선 설정을 한다. 제어부에서는 설정된 임의의 높이를 고정된 값인 하나의 모드(mode)로 저장을 한다. 이와 같은 상태에서 작업을 할 사용자가 미리 설정된 모드를 선택하게 되면 그 선택 모드의 신호가 인가됨과 동시에 리프트가 구동하여 싱크대의 싱크대를 설정한 모드의 위치로 승강하여 작업을 대기하게 된다.

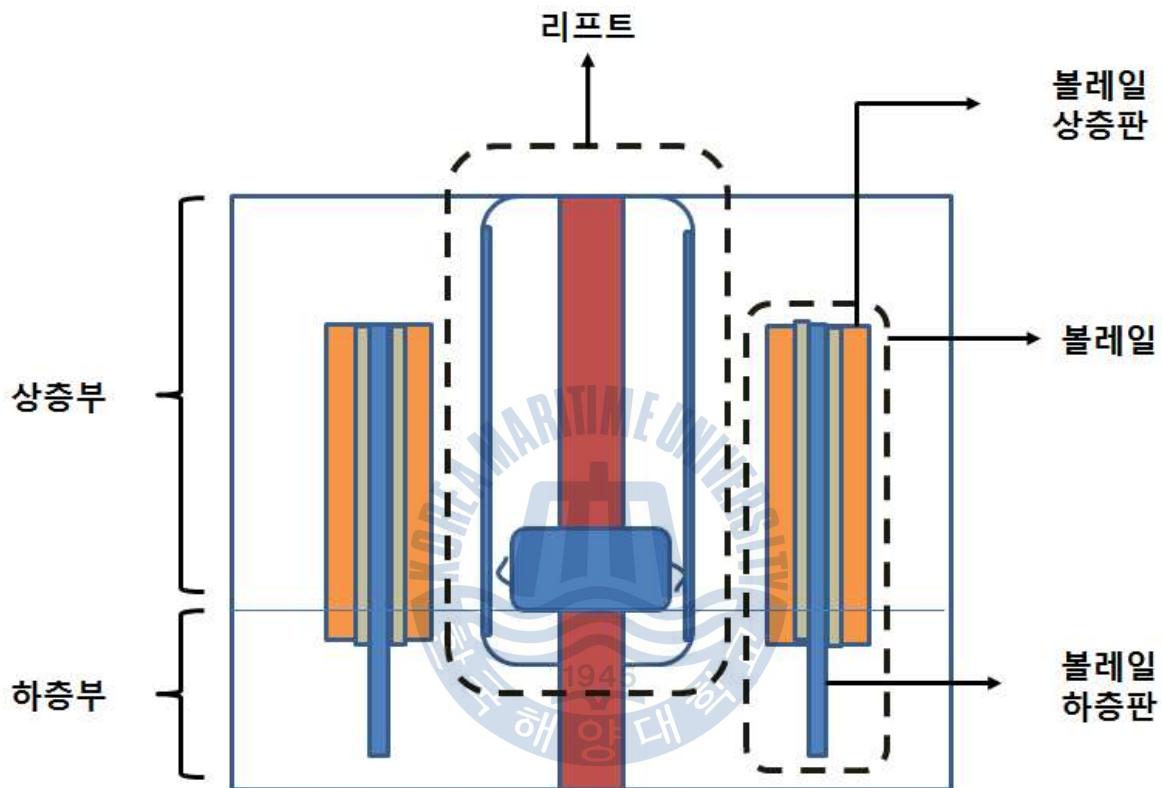


그림 3. 싱크대 높낮이 제어 시스템의 측면도

위의 그림 3은 싱크대 높낮이 제어 시스템의 측면도로 리프트 및 블레일의 전체적인 구성을 보여 주는 단면도이다. 여기서 블레일이란 상층부와 하층부를 이어서 고정시키는 레일을 말한다. 그림 3에서와 같이 리프트와 싱크대의 사이 양측에 승강을 안내하는 한 쌍의 블레일을 갖추고 있다. 이러한 블레일은 상층판과 하층판으로 나누어지며, 상층판과 하층판 사이에 다수의 볼을 넣어서 미끄럼이동이 가능하도록 되어 있다. 블레일은 싱크대의 각 좌우 상하와 싱크대의 상호 대향 주 벽면에 각기 분리 설치된 후, 싱크대의 승강을 위한 미끄럼 작용 및 좌우 이탈 방지 역할을 한다. 그리고 양 블레일의 사이의 적당한 위치

에 싱크대의 승강을 위한 리프트가 위치한다. 이 리프트는 사용자의 각 신장에 맞게 설정된 선택 모드에 의해 구동하게 되고 이로 인해 싱크대의 높낮이가 설정된다. 하지만 등록되지 않은 다른 사용자가 사용하려면 싱크대 아랫부분의 리프트를 조절하여 블레일 상층판을 움직여서 자신의 신장에 맞게 수동으로 조절해야 한다[3].

기존의 높낮이 조절이 가능한 싱크대의 경우, 싱크대의 높낮이를 조절할 수 있다는 장점은 있으나, 모드를 등록할 수 있는 인원이 싱크대 설치 시의 사용자 1인에 한정되어 있어서, 초기 사용자가 모드를 등록하게 되면 그 이후의 사용자는 모드 등록이 없이 직접 수동으로 높낮이를 조절해야 한다는 단점이 있다.

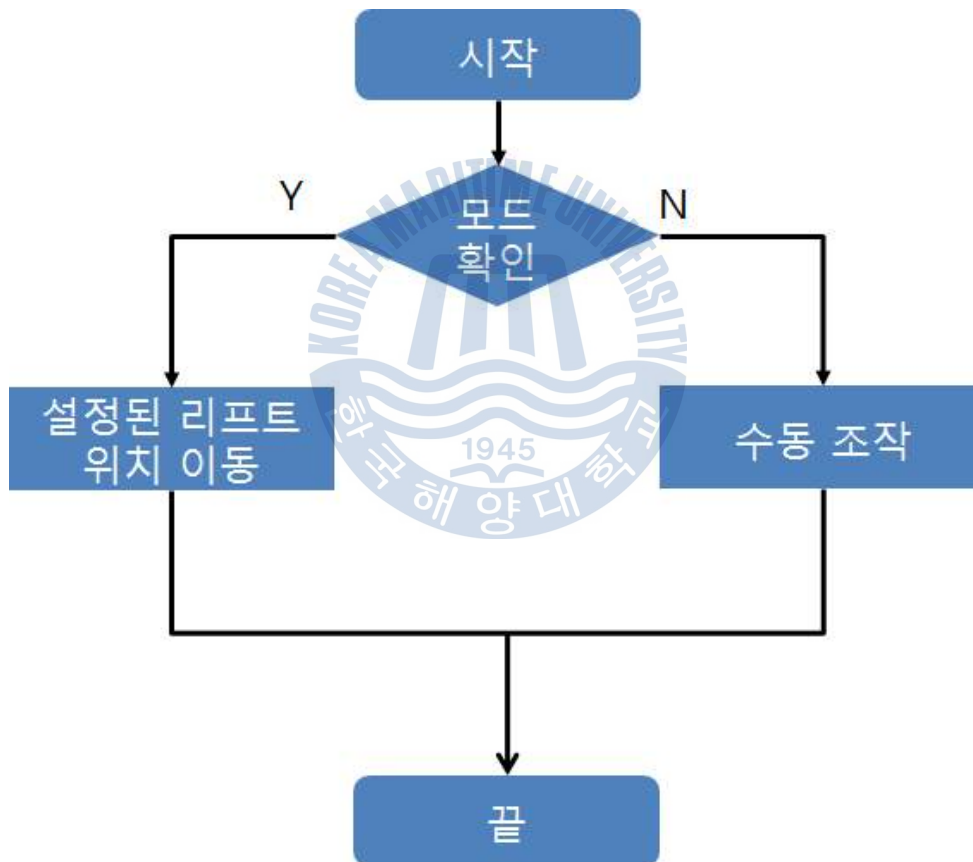


그림 4. 기존 높낮이 제어 시스템 흐름도



## 제 3 장 퍼지 제어 시스템

### 3.1 퍼지이론의 개요

퍼지 이론은 1965년, 미국 버클리대학의 Lofti Zedeh 교수가 ‘퍼지집합 (FUZZY SET)’이란 논문을 발표하면서부터 시작되었으며 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 고전적인 집합론인 부울 논리를 확장한 개념이다[4].

부울 논리를 기본으로 하는 집합이론에서는 특정한 객체가 주어진 집합  $A$ 의 원소로 속하거나 속하지 않거나 둘 중의 하나이다. 그러나 퍼지 논리를 기반으로 하는 퍼지 집합이론에서는 이 객체가 구성 원소로서 특정 집합  $A$ 에 어느 정도로 속하는가 하는 것을 0과 1사이의 수치로써 나타내며 이를 소속의 정도라고 한다. 이것으로 인해 퍼지 논리가 인간의 불확실한 개념을 다룰 수 있도록 해주며, 물리적인 수치와 양에 대한 인간의 불확실한 논리적 개념을 정연한 수학적 표현 형태로 나타낼 수 있다는 특징이 있다[5].

### 3.2 보통집합과 퍼지집합 및 연산

고전적 집합론에서 집합이란 확정된 원소들의 모임을 나타내며, 이와 같이 경계가 명확한 보통집합(crisp set)와 전체집합  $X$ 의 원소를  $A$  집합  $\{0, 1\}$ 로 대응시키는 특성함수는 식 (1)로 표현된다[6].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

여기서 특성함수  $\mu_A$ 는 대집합 내의 원소  $x$ 에 대한  $A$ 의 “소속”을 표현하며, 보통집합에서는 전체집합 내의 원소에 대한 주어진 집합에서의 소속과 비 소속 사이의 변화는 이산적으로 잘 정의되어 있다.

퍼지집합  $A$ 를  $\tilde{A}$ 로 표현하고, 만일 대집합의 한 원소  $x$ 가 퍼지집합  $\tilde{A}$ 에 소속되면 이에 대한 사상(mapping)은 다음과 같이 식 (2),(3)으로 주어진다.

$$\text{소속정도} \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (2)$$

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x) | x \in X) \quad (3)$$

다음 그림 4는 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합사이의 소속정도를 알 수 있다.

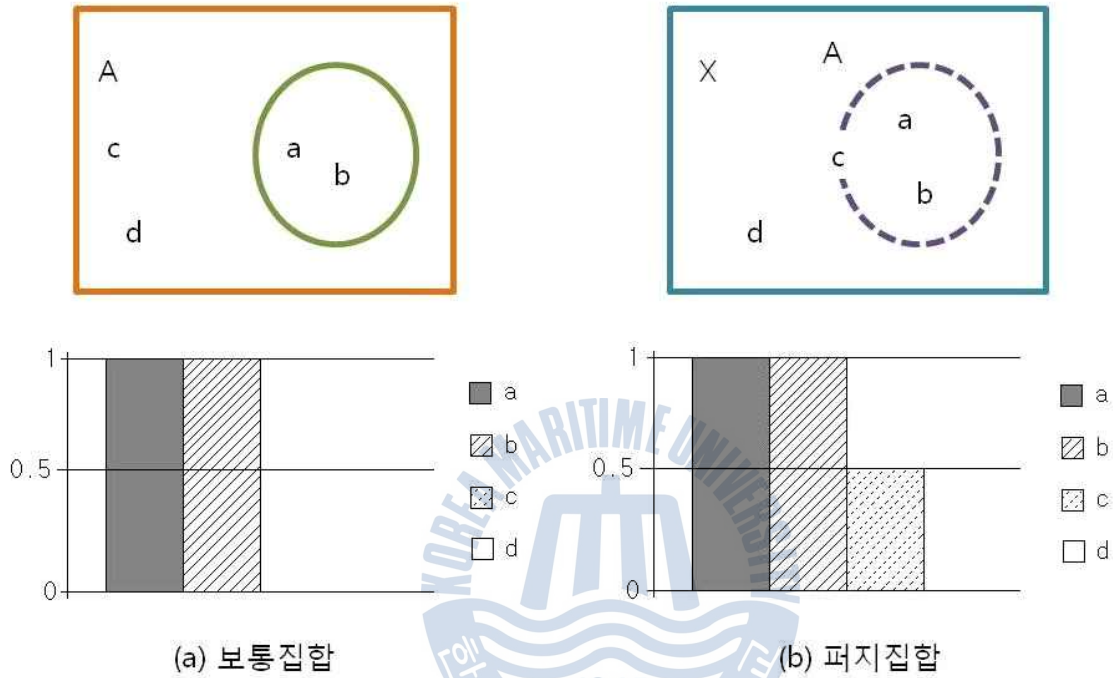


그림 5. 보통집합과 퍼지집합의 표현

여기서 전체집합이  $X$ 일 때 퍼지집합  $\tilde{A}$ 를 이산적이고 유한한 형태로 표현하면 다음 식 (4)와 같다.

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots = \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (4)$$

그리고 연속적이고 무한한 형태로 표현하면 식 (5)와 같다.

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (5)$$



퍼지집합의 연산에는 합집합, 교집합, 여집합 3개의 기본적인 연산이 있으며 [7], 만약 전체 집합  $X$ 내에 퍼지 집합  $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3$ 가 존재한다고 하면, 퍼지집합의 합집합, 교집합, 여집합은 다음과 같이 식 (6),(7),(8)로 나타낼 수 있다.

• 합집합 :  $\mu_{\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2}(x) = \mu_{\tilde{A}_1}(x) \vee \mu_{\tilde{A}_2}(x)$  (6)

• 교집합 :  $\mu_{\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2}(x) = \mu_{\tilde{A}_1}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}_2}(x)$  (7)

• 여집합 :  $\overline{\mu_{\tilde{A}_3}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}_3}(x)$  (8)

퍼지이론에서 교집합에 사용되는 t-norms에는 다음과 같은 연산자가 있으며, 이를 식 (9),(10),(11),(12)로 나타내었다.

• 논리곱(logical product) :  $a \wedge b = \min(a,b)$  (9)

• 대수곱(algebraic product) :  $a \cdot b$  (10)

• 한계곱(bounded product) :  $a \otimes b = \max(a+b-1, 0)$  (11)

• 격렬곱(drastic product):  $a \wedge b = \begin{cases} a, & b = 1 \text{ 일 때} \\ b, & a = 1 \text{ 일 때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$  (12)

퍼지이론에서 합집합에 사용되는 t-conorms에는 다음과 같은 연산자가 있으며, 이를 각각 식 (13),(14),(15),(16)으로 나타내었다.

• 논리합(logical sum) :  $a \vee b = \max(a,b)$  (13)

• 대수합(algebraic sum) :  $a + b = a + b - ab$  (14)

• 한계합(bounded sum) :  $a \oplus b = \min(a+b, 1)$  (15)

• 격렬합(drasticsum)  $a \vee b = \begin{cases} a, & b = 0 \text{ 일 때} \\ b, & a = 0 \text{ 일 때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$  (16)

다음의 그림 6, 그림 7, 그림 8은 퍼지집합의 연산인 퍼지 합집합, 퍼지 교집합, 퍼지 여집합을 그림으로 나타낸 것이다[8].

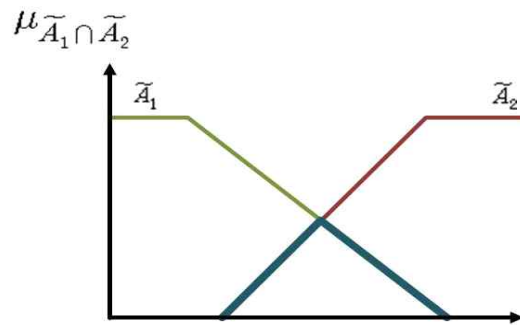


그림 6. 퍼지 집합  $\bar{A}_1$ 와  $\bar{A}_2$ 의 교집합

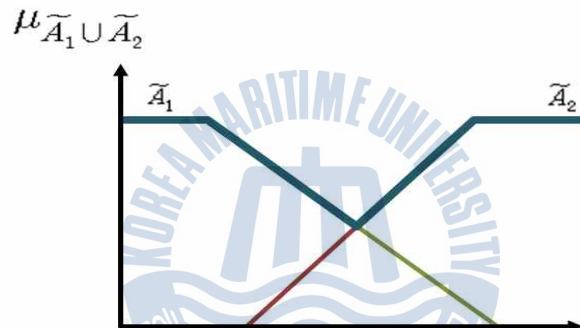


그림 7. 퍼지 집합  $\bar{A}_1$ 와  $\bar{A}_2$ 의 합집합

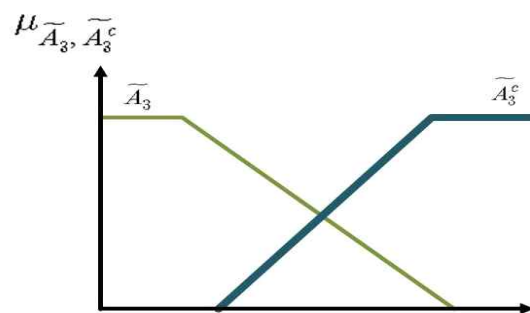


그림 8. 퍼지 집합  $\bar{A}_1$ 의 여집합

### 3.3 퍼지추론

“P이면 Q이다” 와 같은 조건명제를 이용하여 이루어지는 추론에는, 연역추론(modus ponens)와 대우추론(modus tollens)이 있다[9]. 이와 같은 비퍼지 명제에 대한 연역추론 및 대우추론을 퍼지명제로 확장시킨 것이 일반화된 연역추론(generalized modus ponens : GMP) 및 일반화된 대우추론(generalized modus tollens : GMP)이다[10].

여기서는 본 논문에서 사용한 일반화된 연역 추론법에 근거한 퍼지 추론 혹은 근사 추론에 대하여만 설명하기로 한다. 일반화된 연역추론은 다음과 같이

$$(전제1)\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q} : "if\ x\ is\ \tilde{A}\ then\ y\ is\ \tilde{B}"$$

$$(전제2)\tilde{P}^* : "x\ is\ \tilde{A}^*"$$

---


$$\text{결론 } \tilde{Q}^* : "y\ is\ \tilde{B}^*"$$

에 있어서  $\tilde{Q}^*$ 를 구하는 방법이다. 여기에도  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$  및  $\tilde{P}^*$ 를 이용한 퍼지관계의 합성연산으로부터 직접 구하는 직접법(direct method)과, 퍼지명제의 언어적 진리값을 이용하여,  $\tilde{P}$ 의  $\tilde{P}^*$ 에 대한 상대적 진리값  $L(\tilde{P})$ 을 구하고,  $L(\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q})$  및  $L(\tilde{P})$ 를 이용하여  $\tilde{Q}$ 의 진리값  $L(\tilde{Q})$ 을 구한후,  $L(\tilde{Q})$ 를 이용하여  $\tilde{Q}$ 로부터  $\tilde{Q}^*$ 를 구하는 간접법(indirect method)이 있다. 이하에서는 본 논문에서 사용하는 'Mamdani's minimum fuzzy implication rule'인 직접법에 대하여 설명한다. 직접법은 퍼지집합  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$  및  $\tilde{P}^*$ 의  $\tilde{Q}^*$  합성연산에 의해 이루어지며, 결론  $\tilde{Q}^*$ 는 다음과 같이 식 (17)로 나타낸다.

$$\tilde{Q}^* = \tilde{P}^* \circ (\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}) \quad (17)$$

여기서, 조건명제  $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$ 에 대한 구체적인 예로 Mamdani가 제안한 식 (18)의

$$\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q} = \tilde{R}_{\tilde{P} \times \tilde{Q}} \quad (18)$$

를 사용하면,  $\tilde{Q}^*$ 의 소속 함수는 식 (19)인

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}_{\tilde{Q}}}^*(y) &= \max_x (\mu_{\tilde{A}^*}^*(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y)) \\ &= \max_x \{ \mu_{\tilde{A}^*}^*(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \} \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \\ &= \omega \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \end{aligned} \quad (19)$$

단,  $\omega = \max_x \mu_{\tilde{A}^*}^*(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x)$ 로 된다. 여기서,  $\omega$ 는  $\tilde{P}^*$ 의  $\tilde{P}$ 에 대한 적합도를 나타내므로, 결론  $\tilde{Q}^*$ 는  $\tilde{Q}$ 의  $\omega$ 보다 큰 부분을 잘라낸 형태와 같다는 것을 알 수 있으며, 다음 장의 그림 9는 이를 나타내고 있다.

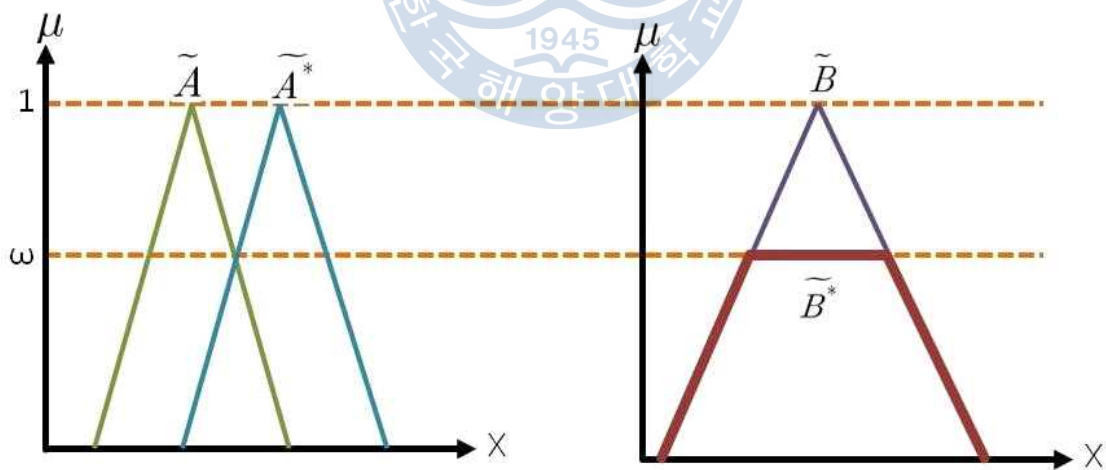


그림 9. Mamdani의 추론

### 3.4 퍼지 제어기의 구성

퍼지이론은 적절한 언어값을 정의함으로써 불확실한 느낌을 그대로 나타낼 수 있다[11].

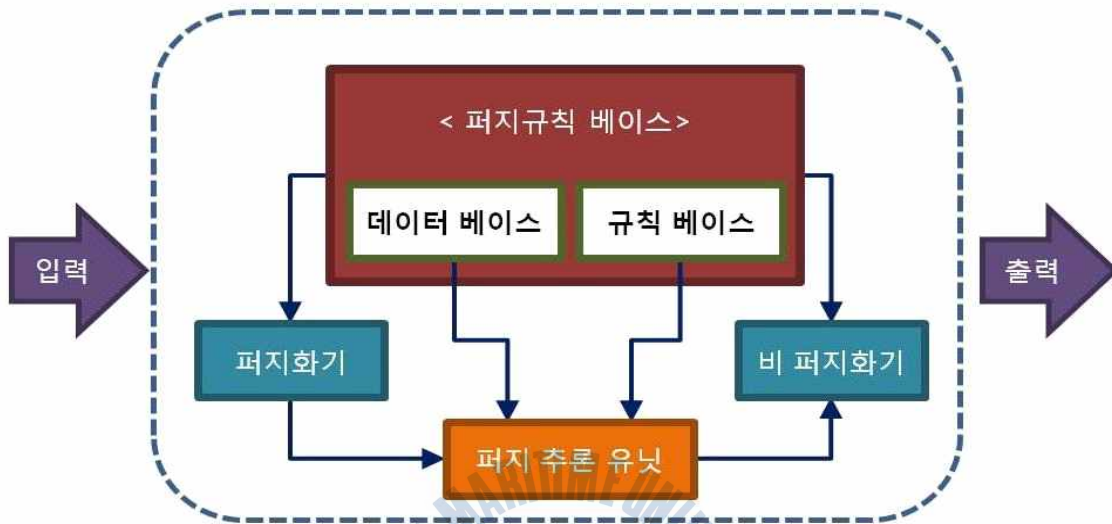


그림 10. 퍼지 제어기의 기본구조

위의 그림 10은 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지추론을 하기 위해서는 IF-THEN 형식의 추론 규칙이 필요하며, 이를 “퍼지 IF-THEN규칙” 이라고 한다.

다음 식 (20),(21)과 같은 2개의 규칙으로 된 2입력1출력의 경우를 고려해보자.

$$R^1 : IF x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1, \text{ THEN } z \text{ is } C_1 \quad (20)$$

$$R^2 : IF x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } z \text{ is } C_2 \quad (21)$$

여기에서  $A_1, B_1, A_2, B_2, C_1, C_2$ 는 퍼지 집합이다. 또한  $A_1, A_2 \subset X, B_1, B_2 \subset Y, C_1, C_2 \subset Z$ 이다.

식 (20)와 식 (21)과 같은 퍼지 규칙(fuzzy rule)에 있어서 첫 번째 규칙의 연결 강도를  $\alpha_1$ , 두 번째 규칙의 연결강도를  $\alpha_2$ 로 정의하면 다음의 식 (22)과 같이 표현된다.

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0), \quad \alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (22)$$

Mamdani 추론법에서  $i$ -번째 퍼지 규칙은 다음의 식(23)과 같이 정의된다.

$$\mu_{C_i}(W) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(W) \quad (23)$$

최종적인 결론으로서의  $\mu_C(W)$ 는 다음의 식 (24)와 같다.

$$\mu_C(W) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(W)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(W)] \quad (24)$$

여기서  $\mu_C(W)$ 를 실제 제어 값으로 사용하기 위해서는 실수의 값으로 비퍼지화(defuzzyfication)하여야 한다. 본 논문에서는 다음 식 (25)와 같은 무게중심법(center of gravity method)을 사용하였다[12].

$$\mu = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (25)$$

이러한 퍼지추론 과정을 도식적으로 나타내면 그림 11과 같다.

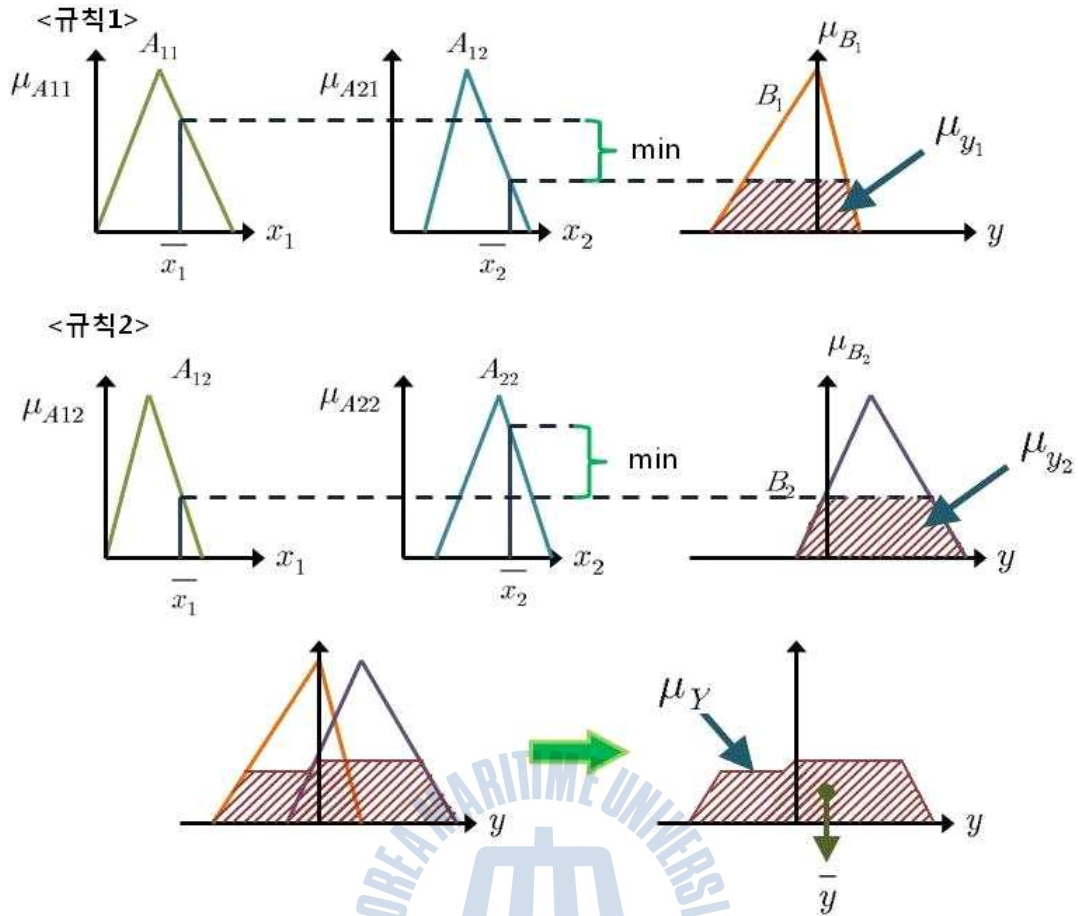


그림 11. 퍼지 추론 과정

지금까지의 앞장에서 설명한 이론을 바탕으로 퍼지 제어기를 설계할 때 결정해야 할 주요사항을 정리하면 다음과 같다.

① 퍼지제어기의 입· 출력변수들과 그들의 퍼지값 결정

제어대상이 주어지면 입· 출력변수를 먼저 결정한 후, 입· 출력 변수들의 언어값과 그 언어값에 대한 소속함수를 결정한다[13].

② 지식기반(knowledge base)의 설계

제어에 필요한 지식은 규칙기반으로 표현할 수 있으며, 여기에서는 if-then 형식의 규칙으로 if절은 전반부 또는 전건부 등으로 불리고 then절은 후반부 또는 후건부 등으로 불리는 퍼지함의(fuzzy implication)로 제어규칙을 기술하는 경우를 생각한다[14].

③ 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

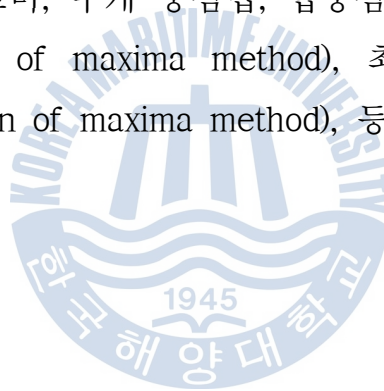
입력변수의 값은 수치적인 값이므로 추론과정에 직접 이용될 수 없으므로 입력변수의 값을 퍼지화기(fuzzifier)를 통하여 퍼지값으로 변환하여 사용해야 한다[15].

④ 퍼지추론 방법의 결정

추론법에는 무한치 논리를 기반으로 하는 추론법과 퍼지논리를 기반으로 하는 추론법이 있다. 무한치 논리를 기반으로 하는 추론법은 합성에 의한 방법, Tsukamoto의 방법, Takagi와 Sugeno의 방법으로 분류할 수 있다. 합성에 의한 추론법에는 Zadeh의 방법, Mamdani의 방법, Larsen의 방법 등이 있다[16].

⑤ 출력 퍼지값의 비퍼지화 방법의 결정

프로세스의 입력인 제어량은 수치적인 값이어야 하므로 퍼지값인 추론결과를 수치적인 실수값으로 변환하는 과정이 필요하며, 이 기능을 수행하는 것을 비퍼지화기라고 부르며, 무게 중심법, 합중심법(center of sums method), 최대 면적 중심법(first of maxima method), 최대치 평균 방법(middle of maxima method or mean of maxima method), 등이 있다[17].





다음의 그림 12는 다변수 퍼지 시스템의 내부 구조 및 연산 과정을 나타낸 것이다.

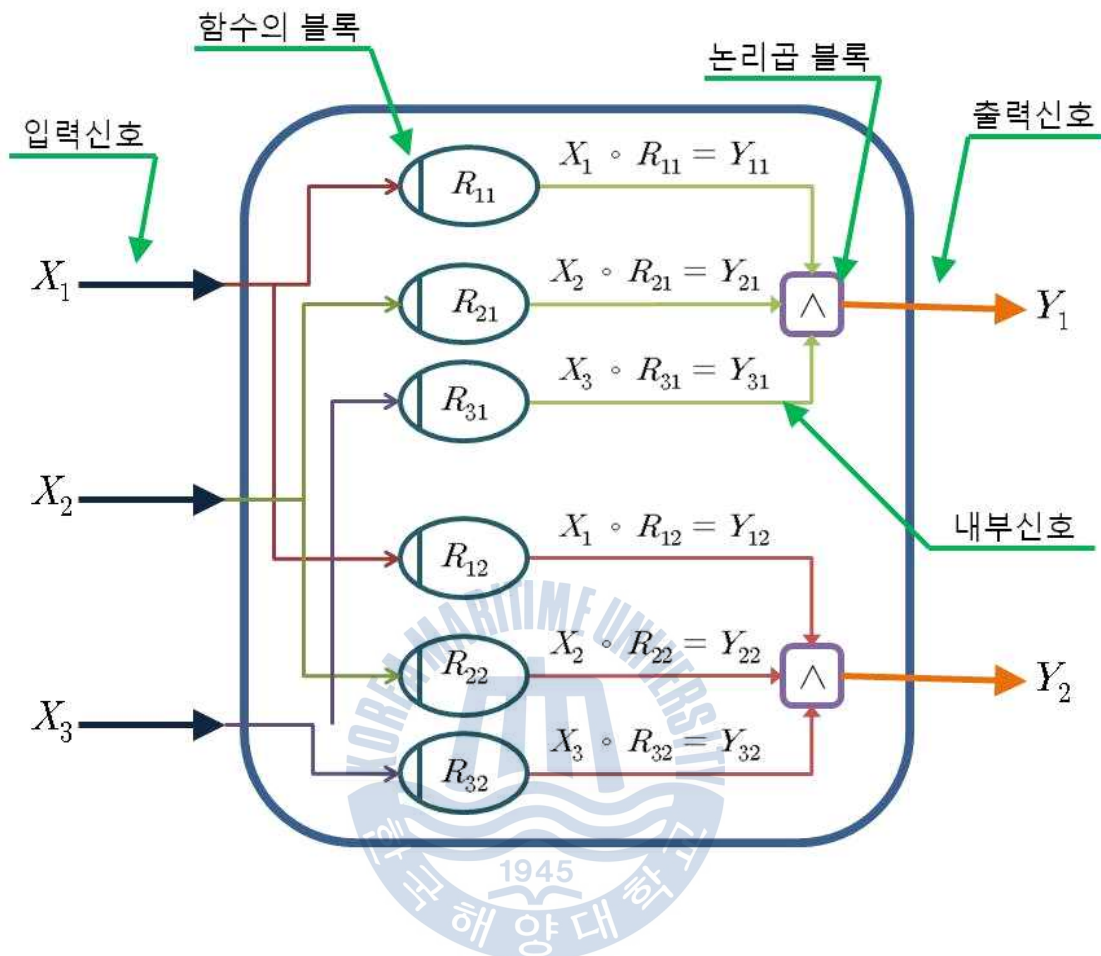


그림 12. 다변수 구조 퍼지시스템의 블럭도

## 제4장 인공지능 싱크대 설계 및 구현

### 4.1 싱크대 높낮이 제어 시스템

싱크대 높낮이 제어 시스템의 블록도는 그림 13와 같다.

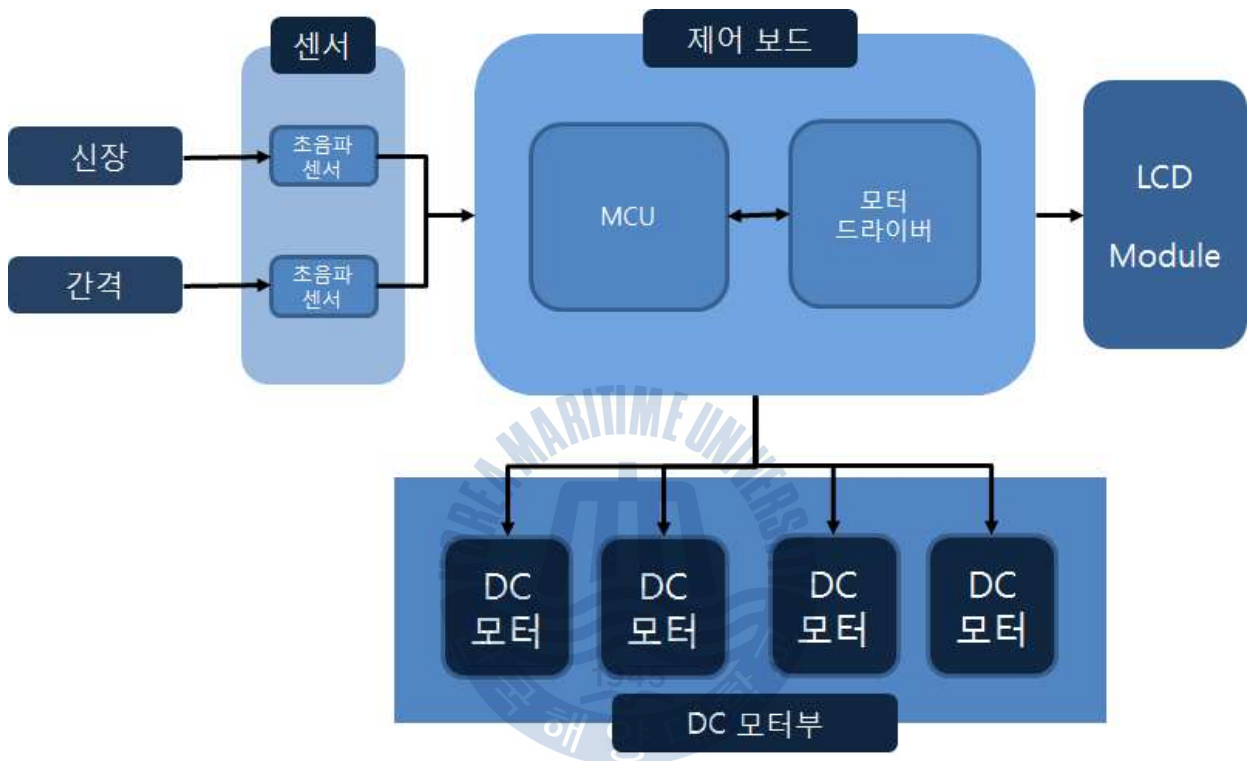


그림 13. 싱크대 높낮이 제어 블록도

초음파 센서를 통해 간격과 신장의 값을 취득하고 현재 사용자의 싱크대 높이를 계산한다. 싱크대의 높이는 다음 식을 통해 얻을 수 있다[20].

$$\text{신장} * 1/2 + (\text{간격} - 5\text{cm}) = \text{일반적인 높이} \quad (26)$$

싱크대 높이를 얻은 후 현재의 싱크대 높이와 비교하여 모터가 정방향 또는 역방향으로 회전하여 사용자의 신장 및 간격에 맞는 싱크대 높이로 조절된다.

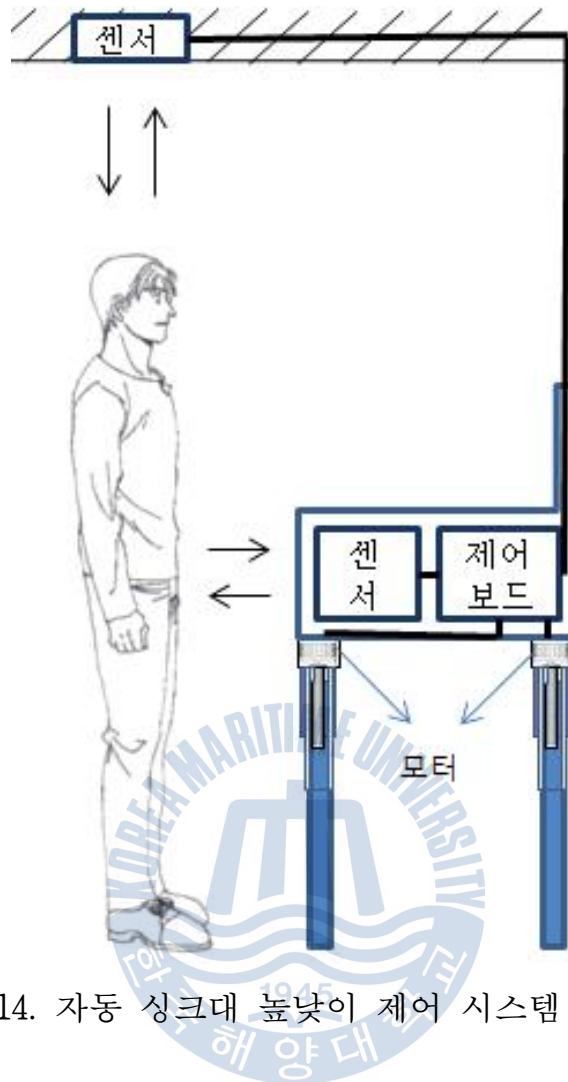


그림 14. 자동 싱크대 높낮이 제어 시스템 측면도

본 논문에서 구현하는 싱크대 높낮이 제어 시스템은 두 개의 초음파 센서를 이용해 사용자의 신장과 싱크대와의 간격을 측정한다. 하나는 사용자가 작업을 하게 될 곳의 천장에 설치되고, 나머지는 싱크대의 상단부에 설치된다. 그림 14는 싱크대 높낮이 제어 시스템의 측면도를 나타내는데 싱크대의 각 모서리에 모터가 설치되어 있다. 각각의 모터는 동일한 동작을 하여 싱크대의 높이를 일정하게 제어하게 된다.

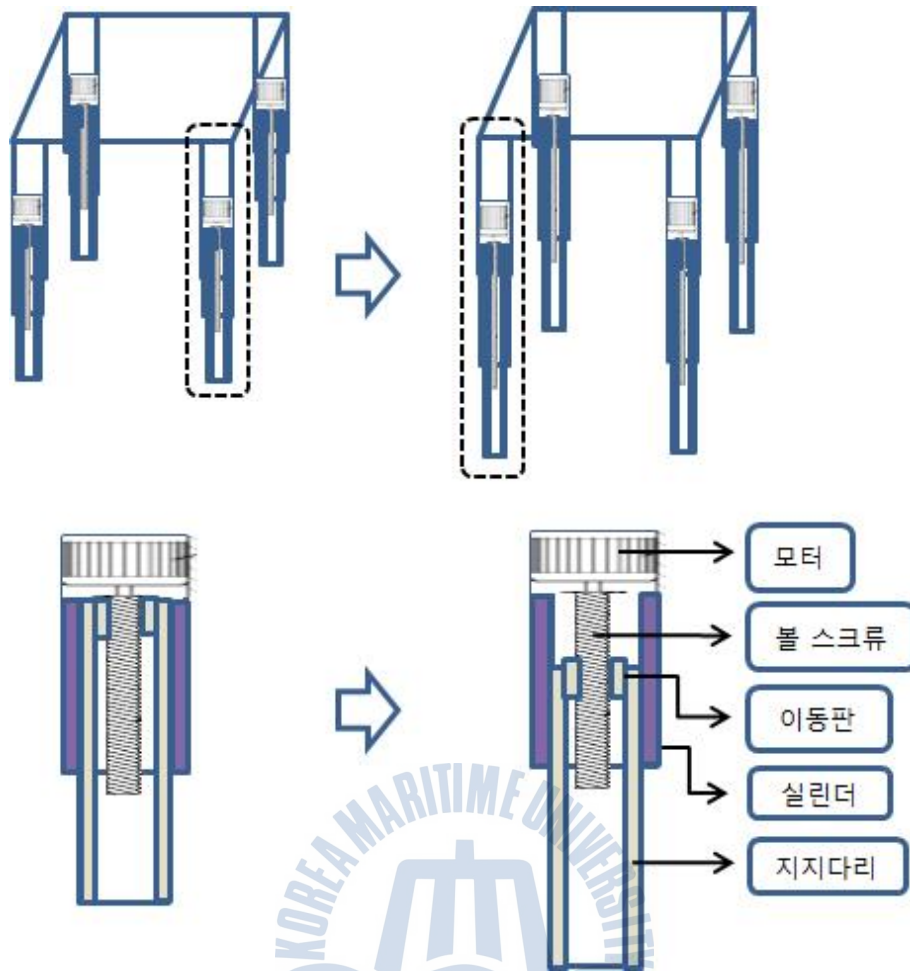


그림 15. 모터 구동에 따른 싱크대 높이 조절

그림 15는 싱크대 높낮이 제어 시스템을 사용하여 싱크대의 높이를 조절하는 것을 도식화한 것이다. 윗부분은 모터가 구동됨으로 인해 싱크대의 다리가 길어져 싱크대가 높아지는 것을 보여준다. 아랫부분은 싱크대의 다리부분을 확대하여 나타낸 것이다. 실린더는 네 개의 지지다리에 각각 설치되어 있다. 모터는 실린더의 상단에 고정적으로 부착되어 있으며, 모터에 회전 구동력을 전달하여 볼 스크류가 회전되도록 한다. 이때, 모터는 시계방향 또는 반시계 방향으로 회전하여 싱크대의 높낮이가 조절 된다. 이동판은 너트 형상이며, 볼 스크류의 회전에 따라 회전되어 수직방향으로 이동된다. 지지다리는 실린더와 볼 스크류 사이에 위치되어 있으며, 이동판에 고정된다.

본 논문에서 제어 가능한 높이변화는 70 ~ 110cm이므로 이것을 감안해서 볼 스크류는 최대 40cm까지 동작 가능하도록 한다.

## 4.2 퍼지 추론을 이용한 자동 싱크대 높낮이 제어 알고리즘

본 논문의 목적인 퍼지 추론을 이용한 자동 싱크대 제어 시스템의 효용성을 알기 위하여 퍼지 추론을 통하여 시스템을 구현 하도록 한다.

본 연구에서 사용된 퍼지 추론 시스템은 신장과 간격을 입력으로 하고 싱크대 높이 조절 값을 출력으로 하였다. 입력 변수가 두 개이고 출력 변수가 한 개인데 입력 변수들은 다섯 구간, 출력 변수들은 다섯 구간으로 각각 나누었다. 각각의 퍼지 소속도는 다음과 같다.[13]

신장은 일반인의 신장의 분포를 생각해 140 ~ 200cm 로 정하여 매우 작음(VL), 작음(L), 보통(M), 큼(H), 매우 큼(VH)의 5개의 등급으로 나누었다. 각 등급별 신장을 기준으로  $\pm 15\text{cm}$ 까지 소속도를 가지도록 설정하였다.

표 1. 신장에 따른 퍼지 집합

신장(cm)	VL	L	M	H	VH
140	1	0.5	0	0	0
155	0.5	1	0.5	0	0
170	0	0.5	1	0.5	0
185	0	0	0.5	1	0.5
200	0	0	0	0.5	1

VL-very low, L-low, M-medium, H-high, VH-very high

간격은 1 ~ 5cm 로 정하여 매우 작음(VS), 작음(S), 보통(M), 큼(L), 매우 큼(VL)의 5개의 등급으로 나누었다. 각 등급별 간격을 기준으로  $\pm 1\text{cm}$ 까지 소속도를 가지도록 설정하였다.

표 2. 간격에 따른 퍼지 집합

간격(cm)	VS	S	M	L	VL
1	1	0.5	0	0	0
2	0.5	1	0.5	0	0
3	0	0.5	1	0.5	0
4	0	0	0.5	1	0.5
5	0	0	0	0.5	1

VS-very short, S-short, M-medium, L-long, VL-very long

출력 싱크대 높이의 범위는 식 (26)과 앞서 설정한 신장과 간격의 설정값에 의한 일반적인 높이를 감안 하여 70 ~ 110cm 로 각 등급별로  $\pm 10\text{cm}$ 까지 소폭 도를 가지도록 설정하였다.

표 3. 싱크대 높이 제어량에 따른 퍼지 집합

싱크대높이(cm)	VN	N	Z	P	VP
70	1	0.5	0	0	0
80	0.5	1	0.5	0	0
90	0	0.5	1	0.5	0
100	0	0	0.5	1	0.5
110	0	0	0	0.5	1

VN-very negative, N-negative, Z-zero, P-positive, VP-very positive

그리고, 퍼지 추론을 위한 퍼지 룰은 다음과 같이 설정하였다. 퍼지 제어에서의 오차는 입력 변수와 퍼지 룰에 의하여 정해지므로 룰 작성자의 성향 및 설정에 따라 출력되는 값은 달라질 수 있다. 퍼지 룰은 10개의 그룹으로 나누었으나 이 외의 설정값은 신장, 간격에 따라 복합적으로 연산된 출력값이 도출된다.

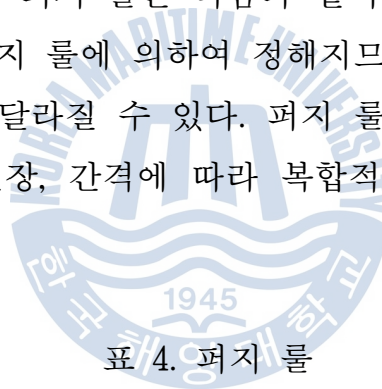


표 4. 퍼지 룰

	신장[T]	간격[W]	싱크대 높이[G]
rule 1	VL	VS	VN
rule 2	VL	S	VN
rule 3	L	VS	N
rule 4	L	M	N
rule 5	M	S	Z
rule 6	M	L	Z
rule 7	H	S	P
rule 8	H	VL	P
rule 9	VH	L	VP
rule 10	VH	VL	VP

위의 룰은 각각 다음과 같이 식 (27), (28)로 나타낼 수 있다.

$$R_1 = \bigvee_{i=1}^{10} [T_{(i)} \wedge G_{(i)}] \quad (27)$$

$$R_2 = \bigvee_{i=1}^{10} [W_{(i)} \wedge G_{(i)}] \quad (28)$$

위의 식으로 인한 퍼지 관계 함수  $R_1, R_2$  는 다음과 같은 행렬로 나타 낼 수 있다.

$$R_1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad (29)$$

$$R_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 1 & 0.5 \\ 1 & 0.5 & 0.5 & 1 & 1 \\ 1 & 0.5 & 1 & 0.5 & 0.5 \end{vmatrix} \quad (30)$$

입력 변수는 0 이나 1로 명확하게 나타낼 수 있는 crisp한 값이므로 퍼지화기를 통하여 퍼지화를 시켜야 한다. 퍼지 이론에서는 몇 가지의 퍼지화 방법을 제공하는데 본 논문에서는 퍼지 싱글턴(Singleton) 방식을 사용하였다[5]. 여기서 퍼지 싱글턴 방식이란 입력 변수의 값에 해당하는 부분의 소속도만 1로 하고 나머지는 0으로 하는 방식이다. 이렇게 퍼지화 된 입력 값을 관계 함수와 Max-Min 연산을 한다. Max-Min 연산은 먼저 관계식에서 최소 값을 연산하고 그 값을 통해 최대 값을 도출해 내는 방식이다. 계산되어 나온 출력 값은 다시 비 퍼지화기를 통하여 퍼지 값을 crisp한 값으로 만들어야 하는데 본 논문에서는 무게 중심법(Centroid of Gravity Method)을 통하여 비 퍼지화기를 구성하였다. 무게 중심법은 퍼지 제어에서 보편적으로 사용하는 기법 중 하나로 소속 함수의 가중 평균이나 소속 함수에 의해 중첩되어 있는 면적이 있을 경우에 중첩되는 부분을 고려하여 계산하는 기법이다. 이렇게 구성된 퍼지 추론 시스템



의 구성도는 그림 16과 같이 나타낼 수 있다.

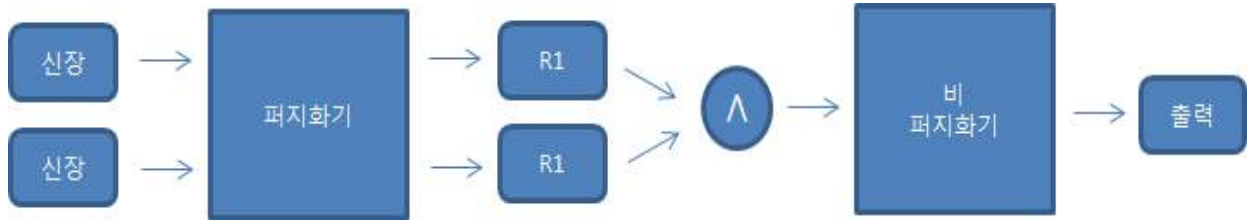


그림 16. 퍼지 추론을 통한 높낮이 제어 값 결정





### 4.3 제어 모듈 하드웨어 구성

본 논문을 위해 제작된 제어 모듈은 아래 그림 17과 같으며 전원부, 제어부, 구동부, 센서부로 나누어져 있다. 전원부는 모터를 구동하기 위해 인가되는 12V의 전압을 5V로 감압시켜주는 레귤레이터를 포함한다. 제어부의 MCU(Micro Control Unit)는 ATmega128을 선정하였으며 펌지 연산을 하기 위한 제어기가 프로그래밍 되어 있다. 펌지 제어기는 센서부의 초음파 센서로부터 사용자의 신장과 싱크대와의 간격 데이터를 반영하여 펌지 제어 룰에 따라 싱크대의 높이를 결정한다. 구동부는 모터의 정회전, 역회전을 제어하기 위한 모터 드라이버를 포함한다.

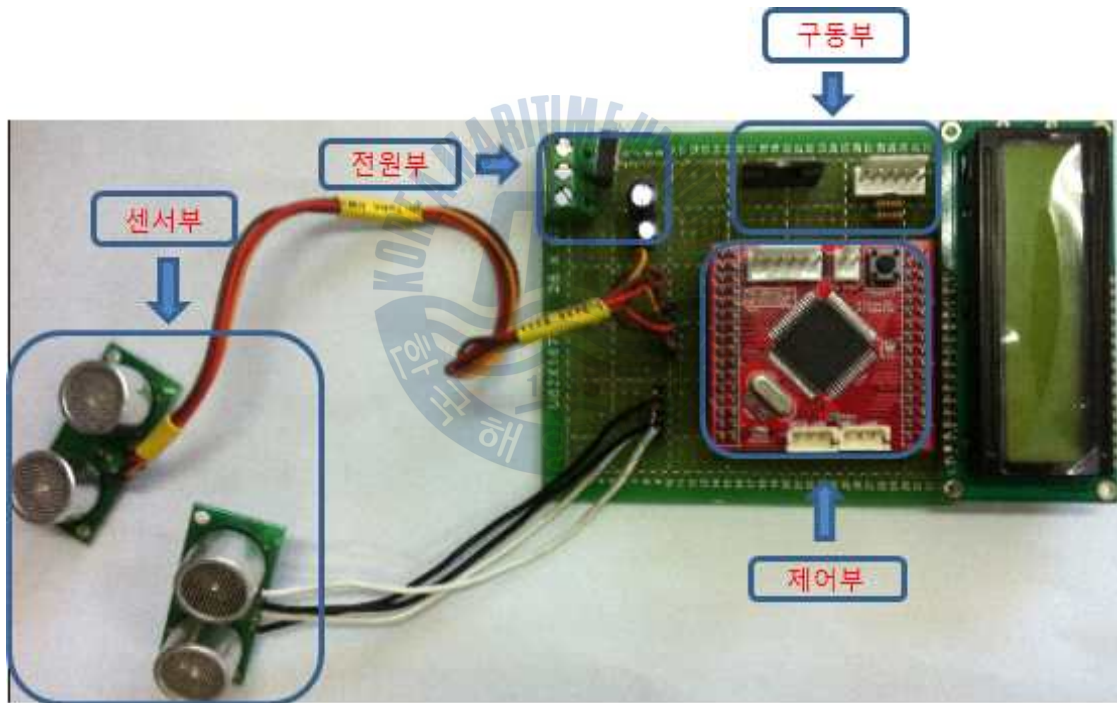


그림 17. 제작한 제어 모듈

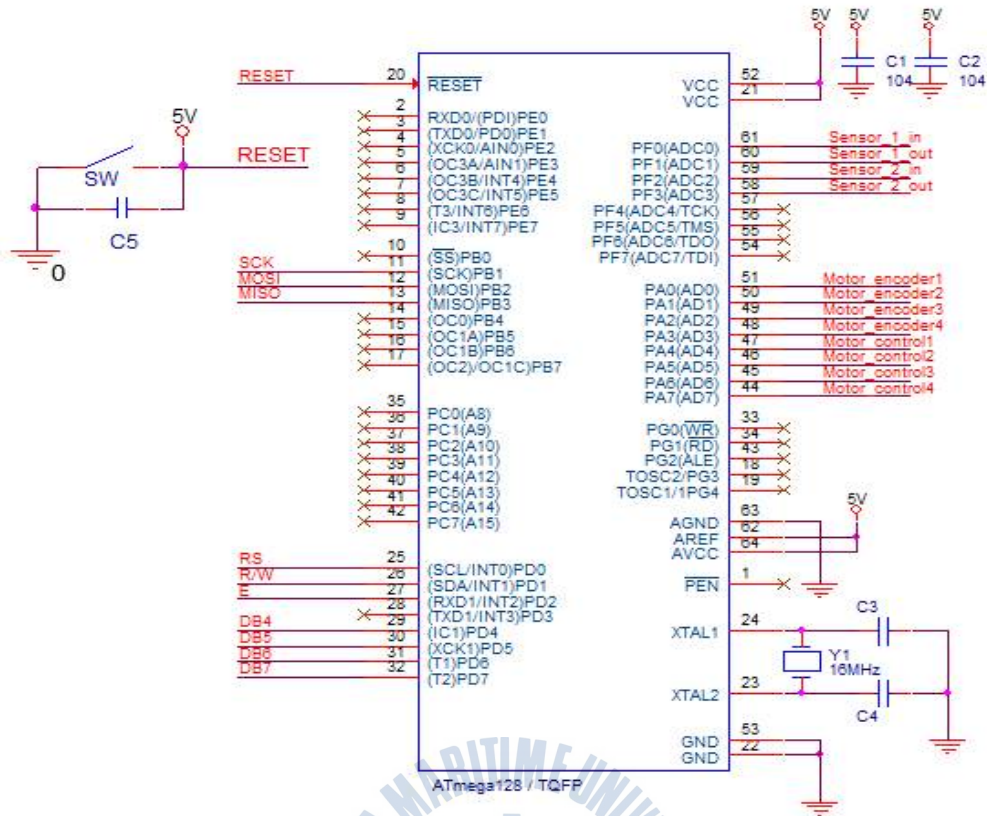


그림 18. 제어부 회로도

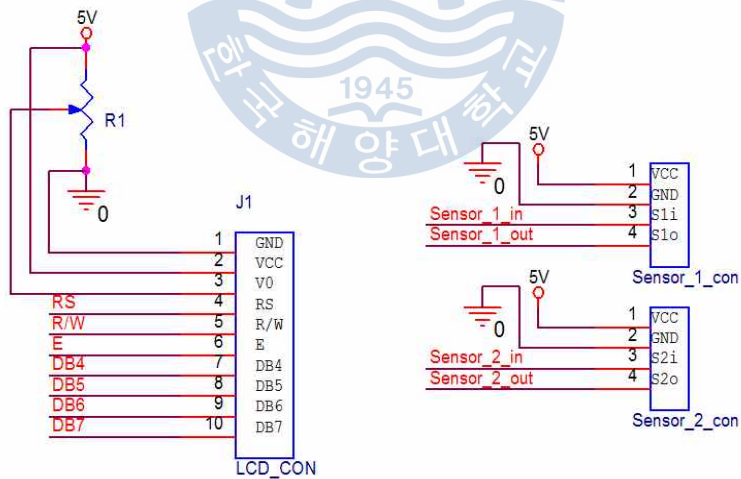


그림 19. LCD 및 초음파 센서 회로도

그림 18은 제어부의 회로도이고 그림 19는 LCD 및 초음파 센서 회로도이다. 제어 모듈에서 사용한 LCD, 초음파 센서, 모터 등의 각각의 연결 포트를 확인할 수 있다.

본 논문에서 사용한 초음파 센서 모듈(SRF-04)은 40kHz의 초음파를 방출해 반사되어 돌아오는 시간을 측정해 거리를 산출해 낸다. 측정 가능한 최소 범위는 3cm이고, 최대 범위는 3m이다. 그림 20은 초음파 센서 모듈의 타이밍 다이어그램이다.

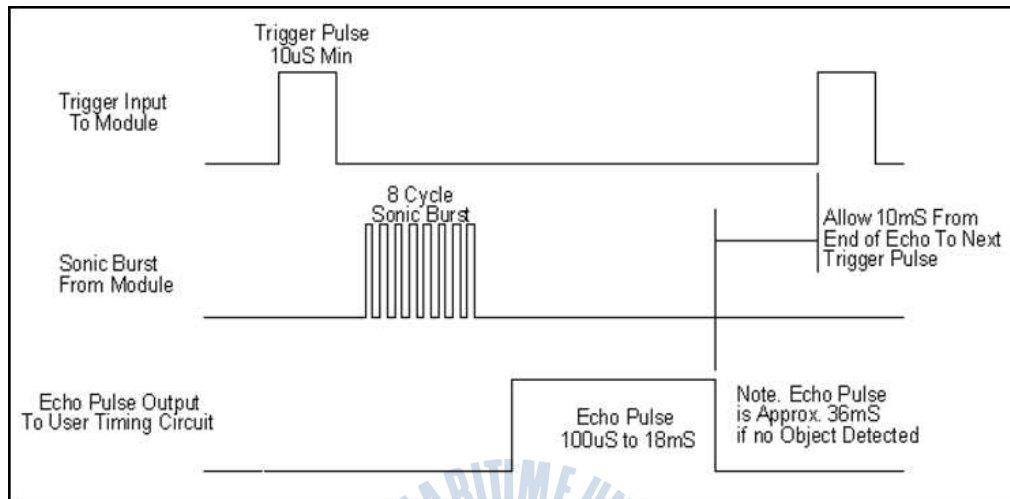


그림 20. 초음파 센서 모듈 타이밍 다이어그램

초음파 센서 모듈의 Trigger Input 포트에 10usec폭의 신호를 입력하게 되면 두 번째 펄스파와 같이 8사이클의 초음파(40kHz)가 발생 됩니다. 초음파가 출력되고 물체에 반사되어 돌아오면 Echo Output 포트로부터 해당 거리에 따른 펄스파가 생성됩니다. 이때 출력된 펄스파는 측정된 거리에 따라 폭이 달라진다. 출력된 펄스파의 폭에 따른 측정거리는 58usec폭에 1cm 이다.

그림 21은 방위각에 따른 응답 특성 곡선을 나타낸 그래프이다. 센서와 수직으로 물체가 있을 경우 가장 좋은 응답특성을 가지며  $\pm 30^\circ$  까지 우수한 응답 특성을 가진다.

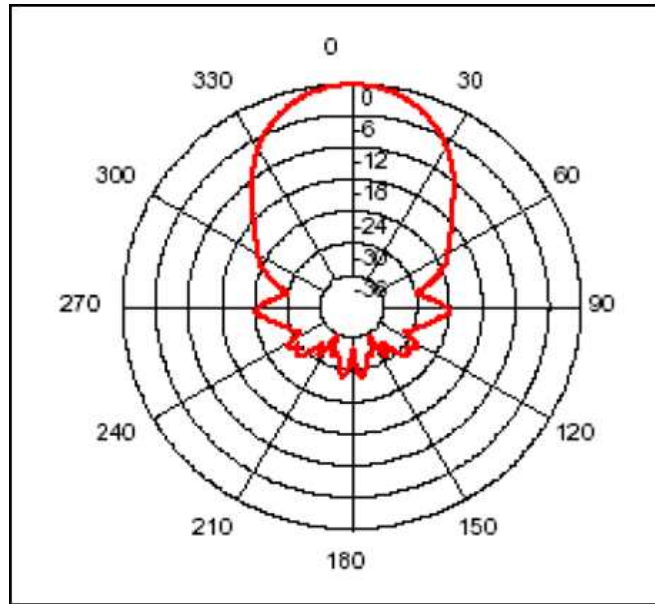


그림 21. 초음파 센서 모듈 응답 특성

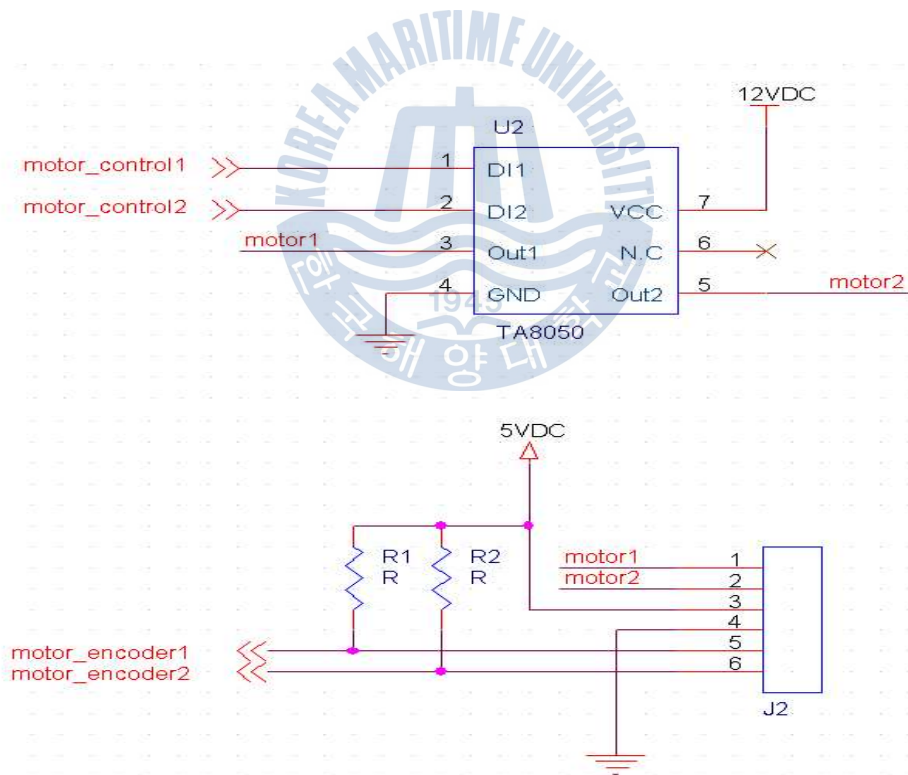


그림 22. 구동부 회로도

구동부에서는 모터를 구동하기 위하여 DC모터 전용 드라이버(Driver) TA8050P를 사용하였다. TA8050P는 H-브릿지(H-Bridge)를 내장하고 있어서 DC

모터를 정방향과 역방향으로 제어할 수 있다. 그 외에도 브레이크 기능과 보호 회로가 내장 되어 있어 모터의 파손을 방지한다. 브라이버에서 최대로 흘려보낼 수 있는 전류는 1.5A로 본 시스템에 사용하기에 장애가 없다. 아래 그림 21은 모터 드라이버인 TA8050P와 엔코더 사용을 위한 회로를 보여준다.

본 논문에서는 데모 버전을 제작하여 실험을 진행하였지만 실제로 사용되는 싱크대는 중량이 늘어서 다른 모터를 사용해야한다. 실험에 사용한 모터는 Motor Bank의 GM35BE-12V1-200w로서 12V로 구동되며 기어 비는 1:200이다. 기어비가 높아 회전 속도는 많이 떨어지지만 6kg · m의 토크를 낼 수 있다.





## 제 5 장 실험 및 결과

### 5.1 실험 방법

싱크대 높낮이 조절 시스템으로 직접 사용자들의 피드백을 받는 것이 가장 좋은 실험 방법이나, 싱크대 환경 구성의 어려움으로 외부 환경 요인에 따른 모터의 회전수를 측정하고, 부족한 부분은 MATLAB Simulation을 통해 결과값을 얻었다. 실험은 공대 1호관 내의 연구실에서 진행하였다.



그림 23. 실험 설정 및 환경

그림 23과 같이 모터 제어를 위한 제어 모듈과 실제로 동작을 확인할 DC모터를 설치하고 사용자와 싱크대의 간격을 측정할 초음파 센서를 장착하였다. 또한, 사용자의 키를 측정하기 위하여 천장에 또 하나의 초음파 센서를 부착하였다. LCD 모듈을 제어 보드에 장착하여 초음파센서를 통해 입력되는 입력값들을 실시간으로 모니터링하게 하였으며, 아울러 모터의 회전수 역시 볼 수 있도록 구성하였다. 오차 등을 고려하여 필자가 총 5회에 걸쳐서 진행하였다.

다음 그림 24와 같이 지면과 천장의 높이는 270cm정도이며 필자의 키는 187cm이고, 초음파센서와 머리끝의 거리는 83cm 정도다.

신장의 측정은 다음 식 31과 같이 간단하게 계산하도록 프로그래밍하였다.

$$270\text{cm} - \text{초음파센서 측정거리(cm)} = \text{신장(cm)} \quad (31)$$

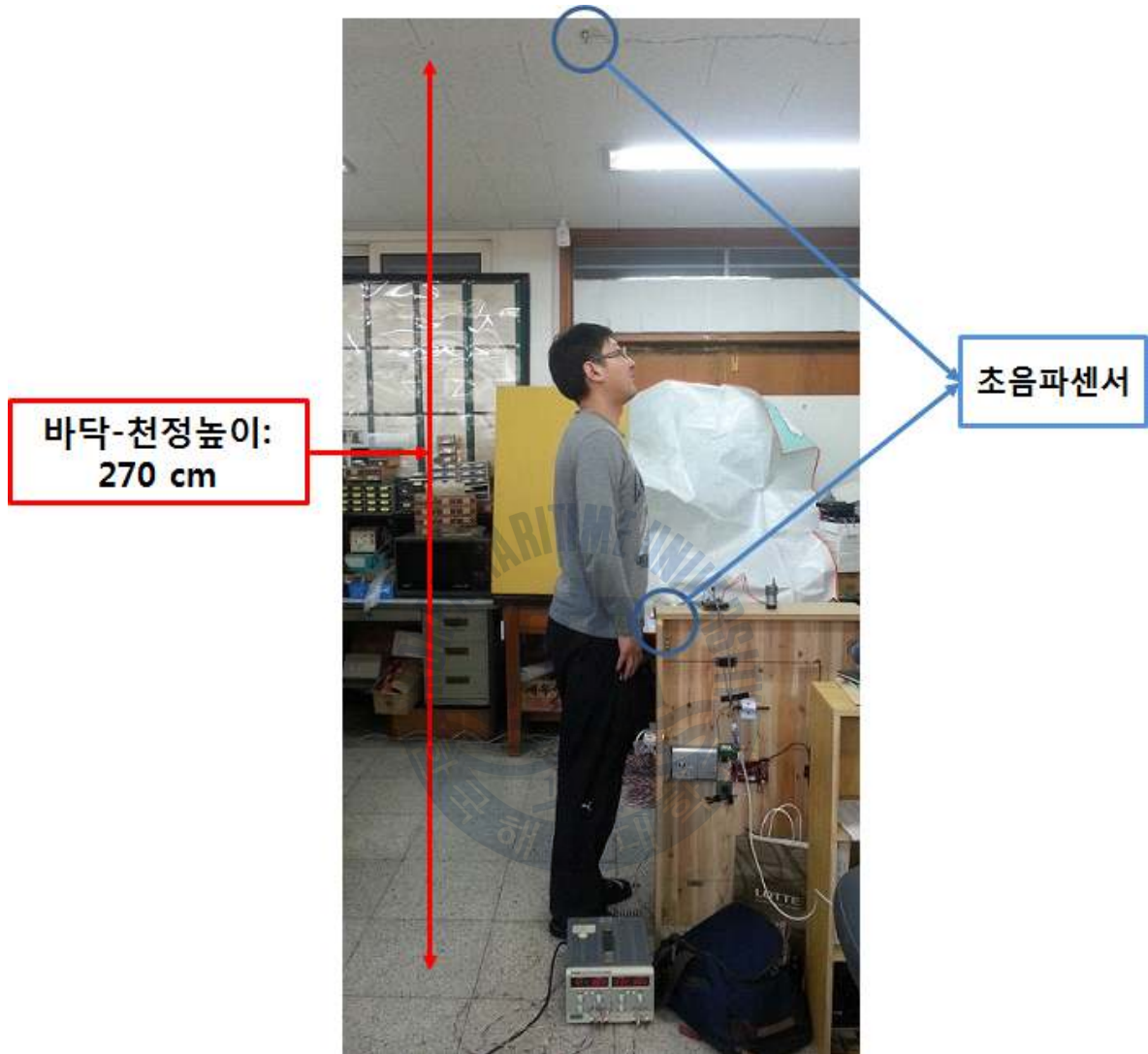


그림 24. 실제 측정 모습

## 5.2 실험 결과

다섯번의 실험을 통한 실험값은 DC모터의 회전수 및 LCD 모듈로 확인할 수 있었으며, 처음 초기값은 싱크대의 일반적인 높이인 90cm를 기준으로 설정하였다.

또한 각 회 차의 실험이 끝난 후는 제어 보드를 초기화시켜서 초기값인 90cm를 유지하도록 하였다. 초음파센서의 값에 따른 변화를 모터의 순방향 혹은 역방향 회전수로 측정하여 다음 표 5에 나타내었다. 단, 순방향은 싱크대의 높이를 올리는 것이며, 역방향은 반대로 싱크대의 높이를 내리는 것이다.

표 5. 측정 결과

	측정된 키	간격	모터의 방향	회전수
1회	180cm	6cm	역	1바퀴
2회	185cm	9cm	역	5.5바퀴
3회	183cm	10cm	정	3바퀴
4회	178cm	8cm	역	0.5바퀴
5회	182cm	7cm	정	3바퀴

실험 결과, 각 회 차가 끝난 후 다시 측정을 위해 제자리에 섰으나 위치가 맞지 않거나 하는 문제로 측정된 키의 값이 모두 틀리고 간격 또한 너무 크게 측정되었다. 하지만 모터의 구동여부는 확인이 가능했다. 위 실험으로는 실험자의 수가 필자 1인으로 한정되었고, 위치 선정 등의 변수로 인해 각 부분별로 정확한 결과값 측정이 불가하며, 간단한 모터의 회전수밖에 측정할 수 없었다.

따로 MATLAB Simulation을 통해 일반적인 결과값을 도출하였으며, 이를 3차원 함수의 그래프로 다음 그림 25에 나타내었다.

x축과 y축을 각각 키와 간격으로 설정을 하고 z축을 싱크대의 높낮이 변화를 나타내었으며, 단위는 cm이다. 예를 들어 간격이 1cm이고, 신장이 140cm이면 싱크대의 높이가 100cm가 되는 것이다.



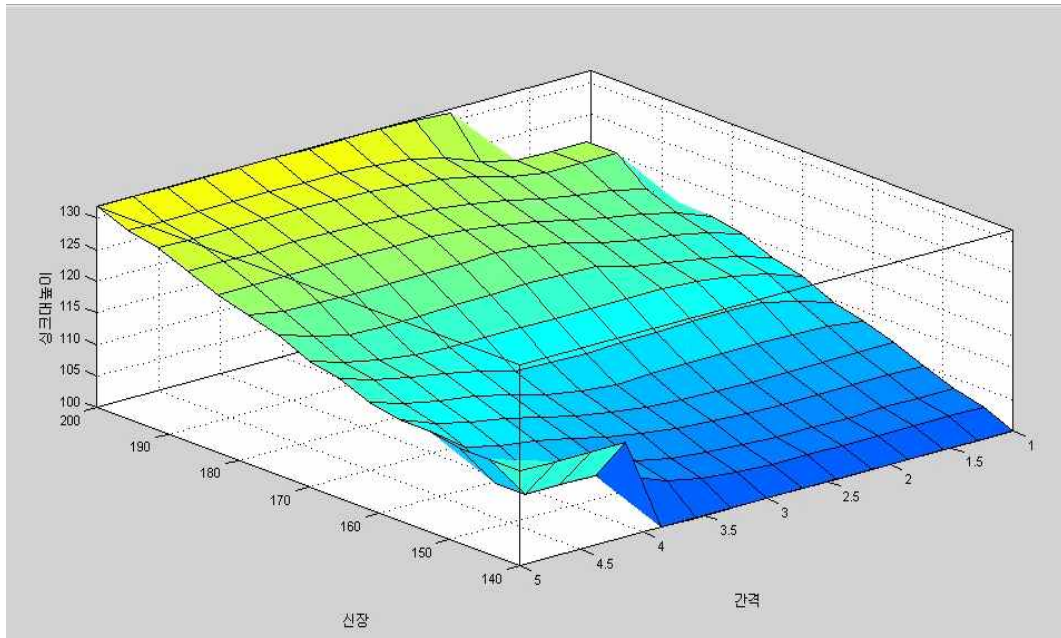


그림 25. 3차원 함수 그래프

다음의 그림 26은 입력 변수 2개와 퍼지 규칙 10개에 의한 퍼지 연산 Simulation을 수행한 결과를 나타낸다. x축은 각각 신장, 간격, 싱크대높이를 나타내고 Y축은 소속도를 나타낸다.

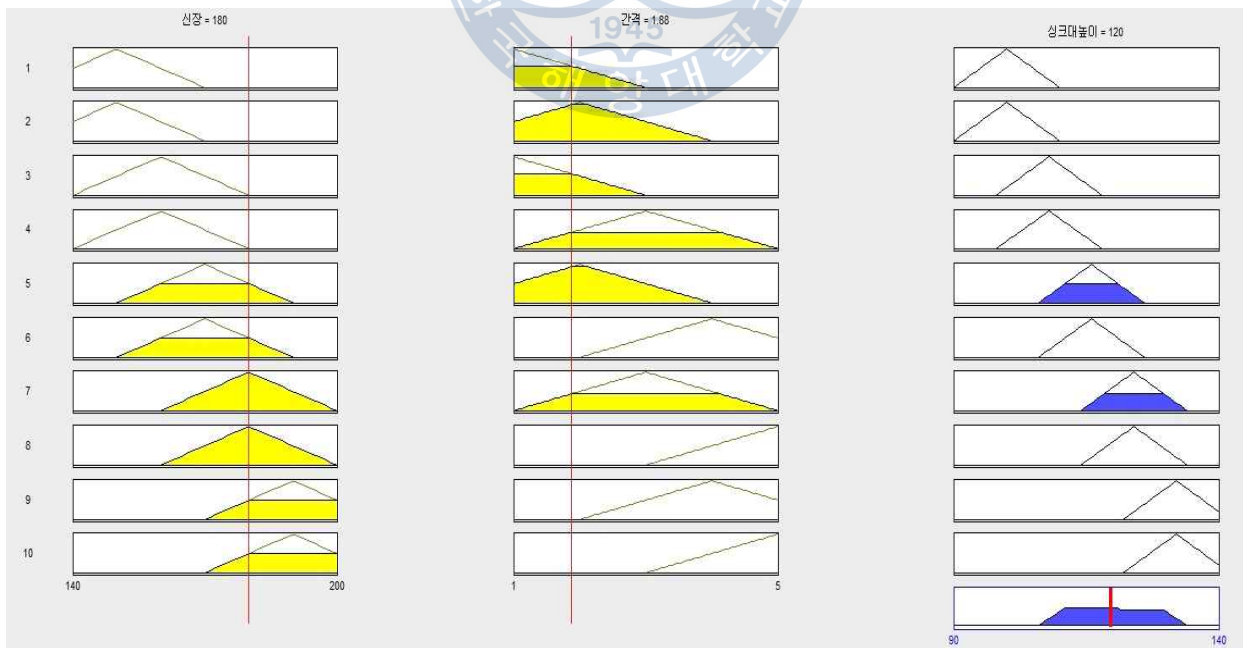


그림 26. 시뮬레이션 결과

신장과 간격으로 인해 싱크대높이가 무게중심법의 계산에 의해 결과값으로 도출되게 된다. 퍼지에서의 출력은 입력변수와 퍼지 규칙에 의해서 정해지기 때문에 똑같은 입력변수라 하더라도 규칙작성자의 성향에 따라 결과값은 달라질 수 있다. 이것은 퍼지 추론이 인공 지능의 특성을 가졌기 때문에 가능하다.



## 제 6 장 결 론

편안함을 추구하려는 인간의 욕구는 기술이 한결음 더 나아가는 데 중요한 밑거름이 된다. 종래의 높낮이 조절이 가능한 싱크대의 경우도 보다 더 나은 환경을 제공하기 위해 발명되었지만 사람에게 최적의 작업 환경을 제공하는 데에는 무리가 있었다.

본 논문에서 제시한 퍼지 추론을 싱크대 자동 높낮이 제어 시스템에 적용한 결과, 만족스럽지는 않았지만 시중에 선보이고 있는 싱크대보다 좀 더 효율적인 결과를 얻을 수 있었다. 인체공학적으로 설계된 본 시스템은 사용자가 직접 높낮이를 조절하지 않더라도 사용자의 신장과 싱크대간의 거리를 실시간으로 반영하여 작업에 가장 최적의 높이를 제공한다.

하지만 퍼지 추론의 특성상, 입력 변수의 개수에 따라 그 시스템의 성능이 크게 좌우되므로, 입력 변수가 두 개인 본 시스템에 다른 여러 입력 변수를 추가하고, 출력 변수 또한 단지 싱크대의 개수대 높이 변화에 국한되지 않고 개수대의 경사도 조절 등을 추가한다면, 지금보다 더 최적화된 환경을 제공할 수 있을 것이다.

시뮬레이션 결과, 퍼지추론을 통한 제어가 좀 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있었지만 본 연구에는 한계를 가지고 있다. 왜냐하면 제품의 실질적인 환경 테스트를 하지 못하였다. 이는 이론상 최적의 높이를 제공하지만, 실제 사용자의 편안함까지는 알 수는 없다.

추후, 실제로 사용자들의 환경 테스트를 거쳐 피드백을 받아서 본 시스템의 부족한 부분을 보완한다면 좀 더 나은 시스템이 될 수 있을 것이다.

아울러, 단지 싱크대뿐만 아니라 퍼지 추론을 다양한 산업 혹은 다양한 제품군에 적용시킨다면 좋은 결과를 낼 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] <http://newslibrary.naver.com/viewer/index.nhn?articleId=1991082200329122009&edtNo=15&printCount=1&publishDate=1991-08-22&officeId=00032&pageNo=22&printNo=14148&publishType=00010>
- [2] 이용한, 권영조, 2002, “높낮이 조절이 가능한 싱크대”, 에넥스.
- [3] 홍광철, “초음파센서를 이용한 거리측정기기의 제작”, 푸름정밀.
- [4] 센서텍, “초음파센서의 거리 측정 원리”
- [5] 이상배, 1999, “퍼지-뉴로 제어 시스템”, 교학사, pp. 7-108.
- [6] 이광형, 오길록, 1991, “퍼지이론 및 응용 I/II”, 홍릉과학출판사.
- [7] 임진강, 2012, “퍼지 추론을 이용한 자동 롤러 웨이드 제어 시스템에 관한 연구”, 한국해양대학교.
- [8] Chin-Teng Lin and C.S George Lee, 1996, “Neural fuzzy systems, Prentice Hall” .
- [9] L. A. Zadeh, 1965, “Fuzzy Sets, Information and Control 8” , pp.338-353.
- [10] M. Mizumoto, 1989, “Pictorial representation of fuzzy connectives, Part I : cases of t-norms, t-conorms and averaging operators”, Fuzzy sets and Systems, v31, pp.217-242.
- [11] L. A. Zadeh, 1978, “Fuzzy sets as a basic for a theory of possibility” , Fuzzy sets and Systems, v1, pp.3-28.
- [12] Jyh-Shing, Roger Jang, 1993. “Adaptive Network Based Fuzzy Inference system“, IEEE Trans. on system, Man, And Cyb. Vol. 23, No.3, pp.665-685.
- [13] J. S. R. Jang and C.-T. Sun, 1995. “Neuro-Fuzzy Modeling and Control” , Proc.IEEE, March.
- [14] M. Sugeno and M. Nishida, 1985. “Fuzzy control of model car” , Fuzzy Sets syst., Vol.16, pp.103-113.
- [15] 네이버 전자 사전, “퍼지 이론[Fuzzy Theory]” , <http://terms.naver.com/item.nhn?dirId=513&docId=2485>.
- [16] 오성권, 2002, “C 프로그래밍에 의한 퍼지모델 및 제어시스템”, 내하 출판

사.

[17] 이현엽, 문경일, 1999, “MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로” , 아진, pp.445-454.

[18] MADAN M. GUPTA, “Multivariable Structure of Fuzzy Control System” , pp2.2-18.

[19] <http://blog.naver.com/k91073?Redirect=Log&logNo=140088295868>.

[20] [www.cgagu.com](http://www.cgagu.com).



## 감사의 글

이 논문이 완성되기까지 아낌없는 성의로 지도해 주신 이상배 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

논문심사 과정을 통해 부족한 점들을 조언해 주신 박동국 교수님, 김정창 교수님 그리고, 석사생활동안 많은 편의를 봐 주신 임재홍 교수님께도 감사를 드립니다.

편입 입학하여 학부생 때부터 물심양면으로 도와주신 완전 동안이신 주현진 조교수님께 감사드립니다,

지금은 라면집을 차려서 너무 바쁘신 주원이행님, 석사과정 대학원 동기이자 1년 동안 생활한 학과 동생 진강이, 2년 동안 연구실에서 같이 생활하며 같이 도와준 창완이, 봉근이, 4년 동안 술자리를 늘 같이한 나노연구실의 해병대를 다녀온 진상 원경이, 덩치는 크지만 귀여운 현이 모두 감사드리고 사랑합니다. 뒤늦게 입학해서 학업에 열중하는 친구 동근이 재입학해서 열심히 하는 친구 영철이 니들 덕에 학교에 친구가 있으니 좋았고 재미있는 학교생활을 한 것 같다. 학부생 관준이행님, 민석이행님, 민재, 지훈이, 성욱이, 재용이, 민수, 줄기, 주화 등 후배님들께도 감사를 드립니다. 구영이행님, 승훈이행님, 상수행님, 기현이행님, 구효행님, 우리 개모임 개2 기식이, 개3 일현이, 개4 광영이 합쳐서 개4마리 친구들 언제나 나를 믿어주고 응원해줘서 고맙고 사랑한다.

마지막으로, 고등학교 때부터 사람 패고 다니고 정신 못 차리는 저를 지도해 주시고 잡아주신 사랑하는 어머니, 아버지께 감사를 드립니다. 그리고, 하나뿐인 동생 현주한테도 고맙다는 말을 하고 싶습니다.

다시 한번 모든 분 들께 진심으로 감사드리며 이 글을 마칩니다..