

工學碩士 學位論文

인공지능 기법을 이용한 화상처리  
가공시스템의 오차보정에 관한 연구

A Study on the Error Compensation of Image Processing  
Control System using Artificial Intelligence

指導教授 李 尙 培

2002年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

孔 惜 珉

本 論 文 을 孔 惜 珉 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

主 審      梁 圭 植      ㉠

副 審      林 宰 弘      ㉠

副 審      李 尙 培      ㉠

2002年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

孔 惜 珉

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 퍼지이론 .....	3
2.1 퍼지이론의 개요 .....	3
2.2 퍼지추론 .....	5
2.3 다변수 구조 퍼지시스템 .....	9
제 3 장 퍼지논리를 이용한 오차보정 .....	12
3.1 영상의 기본적 변환 .....	12
3.2 퍼지논리에 의한 에러 보정 .....	21
3.3 영상에서의 퍼지입력 파라메타의 산출 .....	22
3.4 보정계수 산출을 위한 퍼지추론 .....	27
제 4 장 시스템의 구현 및 실험 .....	30
4.1 시스템 구성과 개요 .....	30
4.2 전체 가공기의 동작 시퀀스 .....	32
4.3 실험결과 .....	35
제 5 장 결론 .....	39
참고문헌 .....	41

## Abstract

It remains simple automation on processing of the work which manufactures raw materials in a primary industry and demands much more manpower than the others category of industry.

It has developed and applied automatic machine due to reduce processing line and downsize manpower per processing line, But the operators waste a lot of time to revise size and assort the size of object when the machine is operating.

The subject is the fish head cutter which is impossible to efficient operating and inevitable stop without assort of fish size before it's operating and the processing system which is basically composed of pattern and distinguishing feature of the object and obtain to high quality object image in real time using with CCD(Charge Coupled Device) camera without the limitation and assortment of the size and especially, the important of this paper is to acquire optimum image when established controller attach on processing system and to compensate error between coordinates on the acquired image and projection on the coordinates of real processing space.

The restoration optimum image from transformation image demands compound change of image change, calendar reform, and multiple solution calculation. This study presents that system actively deal with outside interference, vibration, movement, mechanical feature on the operating or before the operating and

avoids complicated mathematical numerical expression and revise based on expert knowledge based which applies Fuzzy Logic which is one of Artificial Intelligent technique.

# 제 1 장 서 론

오늘날 대량생산과 대량가공의 노동집약적인 산업 구조에서 오는 기업의 경쟁력의 약화를 개선하려는 노력들이 생산라인 전반에 널리 퍼져 가고 있다.<sup>[1]</sup> 특히, 생산라인의 자동화로 그 효과를 피하려는 움직임이 두드러지고, 모든 가공기계들로 최종 제품검수를 제외한 모든 생산과정을 인간의 수작업과 같은 정교한 가공과 더 나은 생산성을 요구하게 되고 있다.<sup>[2]</sup> 하지만, 아직도 식가공의 1차적 원재료의 가공은 단순 공정의 자동화에 머물고 있으며, 그에 투입되는 인력 또한 타 업종에 비해 많은 편이라 하겠다. 그에 많은 제품이 공정라인의 단축, 라인 당 작업인원의 축소 등의 이유로 자동화 기기를 개발·투입해 오고 있으나, 아직 기계적이거나 기기의 운전 도중 조작자가 가공물의 치수에 의해 기기의 치수보정이나 가공물의 치수분류 등에 많은 시간을 허비하고 있다.

이러한 가공 전 단계에서의 가공 대상물의 치수별 분류작업이 없이는 효율적인 가공기 운전이 불가능하고 라인운전의 정지가 불가피한 어류 절두기(切頭機)를 대상으로 분류작업이나 어류의 치수에 제한 없이 가공할 수 있는 가공기의 연구가 필요하다.

본 연구는 그러한 가공기 개발에 목적을 두었고, 컴퓨터의 보급·확산과 기술의 발전으로 인한 CCD(Charge Coupled Device) 카메라의 가격하락 등으로 고품질의 가공정보를 획득할 수 있게 됨에 따라 실시간으로 가공물을 획득하고 가공물의 패턴과 특징을 이용하여 가공하도록 구성하였다.

특히, 본 논문은 기존의 제어기를 장착한 가공기의 영상획득 시

주위환경에 의한 영상의 최적획득과 획득된 영상에서의 좌표와 실제 가공공간 좌표상의 투영에 대한 불일치를 정확한 수치입력이 아닌 기기의 자가수정에 의한 오차보정에 중점을 두었다. 그러한 자가수정으로 가공기의 운전 전이나 운전 중에 가공기의 외란-진동, 이동, 기계적 특성-에 능동적으로 대처하는 기기의 제작에 인공 지능적인 기법인 퍼지논리(fuzzy logic)를 적용하여 그 효과를 기대하였다.<sup>[3][4]</sup>

본 논문의 구성은 2장은 오차 보정으로 사용되어지는 인공지능 기법 중 하나인 퍼지이론에 대한 기술이고, 3장은 기본적인 영상변환기법과 퍼지 입출력 파라메타 선정에 관해 소개했다. 4장은 본 논문에서 실험·구성한 가공기와 오차보정 기법의 시뮬레이션으로 그 성능을 고찰하였다. 5장은 결론으로 본 연구의 적용부분의 실효성과 앞으로의 연구에 대해 제시하였다.

## 제 2 장 퍼지이론

인공지능 분야에서 인간의 추론능력을 구현할 수 있는 이론이 퍼지이론이다. 퍼지이론은 전문가 시스템적인 측면을 내포하고 있으며 지금까지의 고전제어 기법이나 현대제어 기법과는 다른 제어기법이다.<sup>[5]</sup> 또한 퍼지이론은 제어뿐만이 아니라 광범위한 공학분야에 걸쳐 응용될 수 있는 진정으로 「사람의 지혜」를 살린 기술이라 말할 수 있다.

### 2.1 퍼지이론의 개요

일반적인 제어시스템은 일반적으로 제어대상의 수학적 모델을 알 수 있고, 모델이 선형적인 시스템에 대해서는 기존의 PID제어, 극배치제어, 최적제어 등의 제어기 설계기법을 적용하여, 폐루프 시스템이 원하는 성능을 발휘하도록 제어기를 설계하는 것이 일반적인 제어시스템이다.<sup>[6][7]</sup> 한편, 미지의 선형 시스템 제어기법으로는 적응제어기법(adaptive control method), 학습제어기법 등이 제시되고 있다.<sup>[8]</sup> 선형으로 근사화할 수 있는 비선형 시스템은 선형 시스템 설계기법을 적용하여 어느 정도 원하는 성능을 얻을 수 있으나, 비선형성이 강하여 선형으로 근사화할 수 없는 경우에 대한 일반적인 설계기법은 소개되어 있지 않다. 그러므로, 한정된 분야에서만 적용되는 비선형 시스템 제어기법들이 소개되고 있다.<sup>[9][10]</sup>

속련자 중심 시스템은 시스템이 크고 복잡하며 모델이 비선형이거나 모델을 얻을 수 없는 시스템은 기존의 제어기 설계기법으로는

자동화하기 어려우므로, 충분한 경험적 지식을 가지고 있는 숙련자가 시스템을 작동시킨다. 이러한 ‘숙련자 중심 시스템’의 특징은 숙련자가 현재의 조작량(제어량)을 결정하는 데 경험적 지식을 활용하는 것으로 지능(학습능력과 판단능력)을 가지고 있는 사람이 시스템에 포함되어 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 ‘숙련자 중심 시스템’을 자동화할 수 있는 방법의 하나는 제어기에 인공지능을 부여하여 숙련작업자를 흉내내도록 하는 것이다. 이러한 인공지능제어의 하나가 퍼지논리제어인 것이다.<sup>[11][12]</sup>

‘숙련자 중심 시스템’을 자동화할 수 있는 한 가지의 제어기법은 숙련자의 경험적 지식과 제어전문가의 지식을 활용하여 시스템 제어에 필요한 제어규칙을 기술할 수 있다는 것이다. 즉, 제어기에 판단능력을 보유하도록 하는 것이다. 제어기는 숙련작업자의 지식과 제어전문가의 지식을 어떠한 규칙 또는 데이터베이스를 기초로 하여 제어기가 그러한 규칙기반을 활용하여 주어진 편차에 대해 조작량을 판단 결정하는 기능을 가지게 하는 ‘숙련자 중심 시스템’과 같이 지능을 갖춘 시스템이 ‘퍼지 제어시스템’인 것이다.<sup>[13][14]</sup>

특히, 퍼지 제어기라는 것은 본질적으로 비선형적인 시스템을 대상으로 하는 비선형 제어기라고도 하다. 그러므로, 선형 시스템론과 같은 개념구성이 매우 어렵다. 그러나, 퍼지시스템은 넓은 클래스의 비선형성을 대상으로 하고 있으며, 퍼지시스템에서의 퍼지모델은 비선형 시스템의 특성을 복수개의 선형시스템의 조합으로 근사화하는 넓은 범위의 비선형 시스템을 대상으로 한다는 것이다. 그 외에도 모델의 기술방법 또한 종래의 것과 매우 다르다.<sup>[15]</sup>

종래의 기술은 정확한 수치를 이용하는 하나의 수식에 의해 기술되었고, 전제조건으로는 입·출력양과 시스템 파라미터를 분명히

알 수 있다는 가정, 게다가 시스템이 그러한 파라미터나 수식에 의해 지배된다는 가정 하에서 전개되는 것이고, 시스템측면에서 보면 확정적인 선형모델을 알 수 있고, 정보가 확실하다고 하는 가정 하에서의 이론인 것이다. 그러나, 실제 시스템에서는 어떤 모델도 실제 모델에 대한 근사치에 지나지 않고, 확률론적 모델로부터 얻어진 기대치에 불과한 어떤 경향적인 모델인 것이다. 그러므로, 시스템을 모델링할 때에는 근사치를 고려하여야 하며, 불확실하게 모델링된 시스템을 제어할 때에는 그 모델에 대한 적절한 제어기법이 필요하게 되는 것이다.<sup>[16][17]</sup>

## 2.2 퍼지추론

퍼지이론은 시스템 파라미터들 사이의 상관관계를 정량적으로 명확하게 규명하기가 힘들고 전문가의 경험에 의존하여 어느 정도 밝혀져 있는 경우에 매우 유용한 제어 알고리즘이다.<sup>[18]</sup>

본 논문에 사용할 퍼지추론법<sup>[18][20]</sup>은 일반적인 제어에 쉽게 사용되는 “*Mamdani's minimum fuzzy implication rule*”를 소개하고자 한다.

$$\begin{aligned} R^1 &: \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1, \text{ THEN } z \text{ is } C_1, \\ R^2 &: \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } z \text{ is } C_2. \end{aligned} \quad (2.1)$$

식(2.1)과 같은 퍼지제어규칙에 있어서 첫 번째 규칙의 연결강도를  $\alpha_1$ , 두 번째 규칙의 연결강도를  $\alpha_2$ 로 정의하면 식(2.2)와 같이 표현된다.

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0)$$

$$\mathbf{a}_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.2)$$

식(2.2)에서  $\mu_{A_1}(x_0)$ 와  $\mu_{B_1}(y_0)$ 은 퍼지 규칙집합(rule-based)에서의 데이터와 입력으로 주어지는 데이터 사이의 소속되는 소속정도이다.

*Mamdani* 추론법에서  $i$ -번째 퍼지규칙(fuzzy rule)은 식(2.3)과 같이 정의된다.

$$\mu_{C_i}(w) = \mathbf{a}_i \wedge \mu_{C_i}(w) \quad (2.3)$$

최종적인 결론으로서의  $\mu_C(w)$ 는 식(2.4)와 같다.

$$\begin{aligned} \mu_C(w) &= \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} \\ &= [\mathbf{a}_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\mathbf{a}_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \end{aligned} \quad (2.4)$$

여기에서, 근사추론의 결과  $\mu_C(w)$ 는 퍼지값으로 실제 제어대상의 입력으로 사용할 수 없다. 그러므로,  $\mu_C(w)$ 를 실제 제어값으로 사용하기 위해서는 실수의 값으로 비퍼지화(defuzzification)하여야 한다.

일반적으로 *Mamdani*의 추론법에서는 식(2.5)와 같은 무게중심법(center of gravity method)을 주로 사용한다.

$$u = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (2.5)$$

이러한 퍼지추론 과정을 도식적으로 나타내면 그림 2.1과 같다.

지금까지의 이론을 바탕으로 퍼지제어기를 설계할 때 결정해야 할 주요사항은 다음과 같다.<sup>[15][19][20][21]</sup>

- ① 퍼지제어기의 입·출력변수들과 그들의 퍼지값 결정

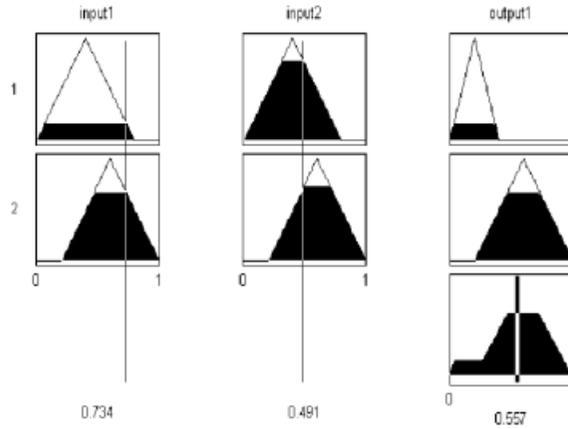


그림 2.1 2개의 규칙집합에 대한 퍼지추론

제어대상이 주어지면 제어대상의 입력인 퍼지제어기의 출력변수를 결정하고 제어방법에 종속하여 필요한 입력변수의 종류를 결정하여야 한다. 입·출력변수를 먼저 결정한 후, 입·출력 변수들의 언어값과 그 언어값에 대한 소속함수를 결정한다. 대부분의 퍼지제어기의 입력변수로는 편차, 편차의 미분, 편차의 적분, 상태변수 등이 사용된다.

## ② 지식기반(knowledge base)의 설계

프로세스 제어에 필요한 지식은 데이터베이스 또는 규칙기반으로 표현할 수 있으며, 여기에서는 if-then 형식의 퍼지함의(fuzzy implication)로 제어규칙을 기술하는 경우를 생각한다. 일반적으로 지식기반(제어규칙)은 숙련작업자의 지식정도와 제어전문가의 지식정도에 따라 다를 수 있다. 퍼지 제어규칙들은 if-then 형식으로 표현하면 제어정책을 쉽게 기술할 수 있으므로 if-then 형식의 제어규칙이 가장 많이 사용된다.

### ③ 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

일반적으로 입력변수인 오차( $e_0$ )는 수치적인 값이므로 추론과정에 직접 이용될 수 없으므로 입력변수인 오차( $e_0$ )를 퍼지값으로 변환하여 사용하여야 한다. 수치적인 입력값 오차( $e_0$ )를 퍼지값으로 변환하는 것을 퍼지화기(fuzzifier)라고 부른다.

### ④ 퍼지추론 방법의 결정

퍼지입력과 퍼지제어 규칙으로부터 제어량에 대한 퍼지값을 추론하기 위한 추론방법을 결정해야 한다. 추론법에는 무한치 논리를 기반으로 하는 추론법과 퍼지논리를 기반으로 하는 추론법이 많이 사용된다. 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 등 40 여 가지의 방법이 있다.

### 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, 방법으로는 무게중심법, 간략화된 COG방법(simplified COG), 최대치 선택법(maxcriterion method), 최대치 평균법(mean of maxima method) 등이 있다.<sup>[2][8][11][20][22]</sup>

## 2.3 다변수 구조 퍼지 시스템

먼저 단일 입력, 단일 출력의 퍼지 시스템의 블록도를 나타내어 보면 다음과 같다.

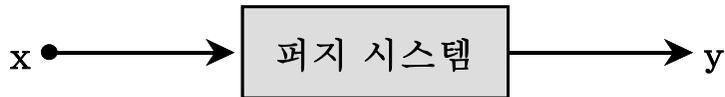


그림 2.2 단일입력-단일출력 퍼지시스템

그림 2.2와 같이 단일 입력-단일 출력의 퍼지시스템은 아래와 같은 간단한 형태의 퍼지 규칙을 가진다.

IF X(1) THEN Y(1)

ALSO

IF X(2) THEN Y(2)

ALSO

.

.

.

IF X(n) THEN Y(n)

여기서 X(i) 와 Y(i)는 언어적 규칙부의 가정과 결론부의 규칙들을 나타내고, n은 추론 규칙의 갯수를 나타낸다.

그리고, 입력 X와 관계행렬 R이 주어질 때 계산되는 출력값 Y는 다음과 같이 정의된다.

$$Y = X \circ R \quad (2.6)$$

이때 관계행렬 R은 다음과 같이 정의된다.

$$R = \bigvee_{i=1}^n \{ X_{(i)} \wedge Y_{(i)} \} \quad (2.7)$$

◦ 는 Max-Min 연산자이며,  $\bigvee$  는 Max 연산,  $\wedge$  는 Min 연산을 나타낸다.

다중 입력-다중 출력을 가지는 퍼지 제어 시스템은 다음과 같은 형태의 퍼지 제어규칙을 가진다.

IF X1(1) AND X2(1) AND X3(1) THEN Y1(1) AND Y2(1)

ALSO

·

·

IF X1(i) AND X2(i) AND X3(i) THEN Y1(i) AND Y2(i)

ALSO

·

·

IF X1(n) AND X2(n) AND X3(n) THEN Y1(n) AND Y2(n)

여기서  $X_k(i)$ 와  $Y_j(i)$ 는 언어적 규칙부의 가정과 결론부의 규칙들을 나타내고,  $k$ 는 입력 변수의 개수,  $j$ 는 출력변수의 개수,  $n$ 은 추론규칙의 개수를 각각 나타낸다.

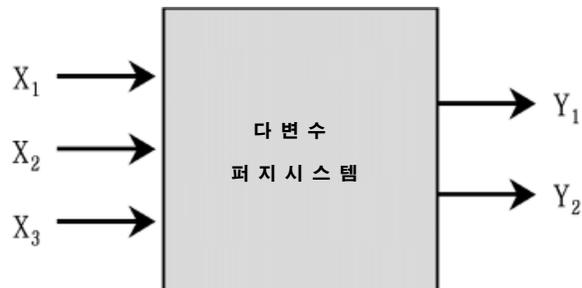


그림 2.3 다변수 퍼지시스템 블록도

그리고 입력  $X_k$ 와 관계 행렬  $R_{kj}$ 이 주어질 때 계산되는 출력값  $Y_j$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$Y_1 = X_1 \circ R_{11} \wedge X_2 \circ R_{21} \wedge X_3 \circ R_{31}$$

$$Y_2 = X_1 \circ R_{12} \wedge X_2 \circ R_{22} \wedge X_3 \circ R_{32} \quad (2.8)$$

이때 각각의 입력  $X_k$ 와  $Y_j$ 에 대한 관계 행렬  $R_{kj}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_{kj} = \bigvee_{i=1}^n \{X_{k(i)} \wedge Y_{j(i)}\} \quad (2.9)$$

여기서,  $k=1, 2, 3, j=1, 2$

전체적인 퍼지제어 시스템의 블록도는 그림 2.4와 같다.

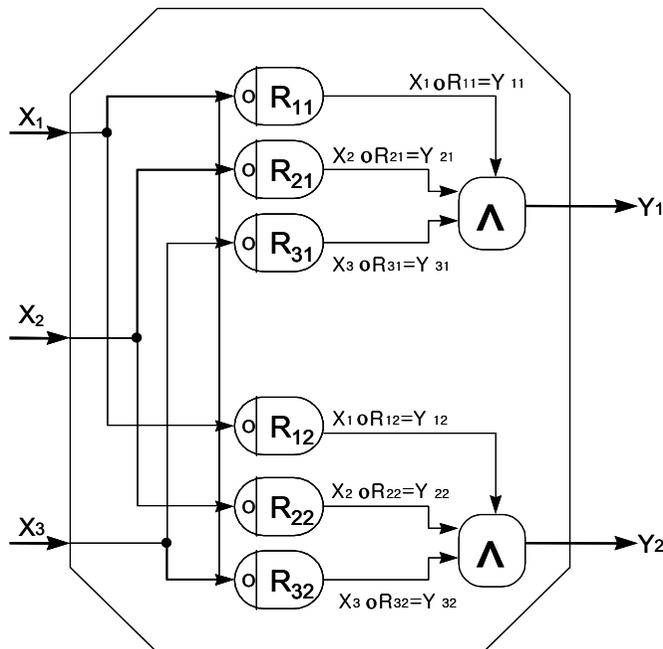


그림 2.4 다층구조 퍼지시스템

## 제 3 장 퍼지논리를 이용한 오차보정

가공기 상의 CCD카메라의 설치 운전시 가공중 진동이나 그 외 기계적 요소의 외적요인으로 CCD카메라로 획득된 영상의 특징추출 데이터의 절단 이송 모터 제어기로 전송시 그 변환식 고정에 의한 실 좌표계에서의 왜곡이 발생하게 된다. 특히, 가공기의 구조상 절단공정 시 공압 실린더의 하강충격으로 인해 CCD카메라의 고정 짐벌(gimbal) 등의 흔들림이 발생하고 획득영상의 영상좌표가 실제 플랜트의 좌표 상에서 벗어나게 된다. 이러한 영상의 변화는 어떤 것이 있으며 퍼지논리에 의한 오차보정에 대해 본 장에서 논하겠다.

### 3.1 영상의 기본적 변환

영상이 CCD카메라로부터 획득되었을 때, 그 영상 데이터를 그림 3.1과 같이 변환할 수가 있다. 이러한 영상의 기본적 변환<sup>[23][24]</sup>을 이 절에서 논의한다.

#### a) 이동(Translation)

여기서, 좌표 (X, Y, Z)의 점을 변위 (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub>)를 이용하여 새로운 위치 (X\*, Y\*, Z\*)로 이동시키는 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} X^* \\ Y^* \\ Z^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

#### b) 회전(rotation)

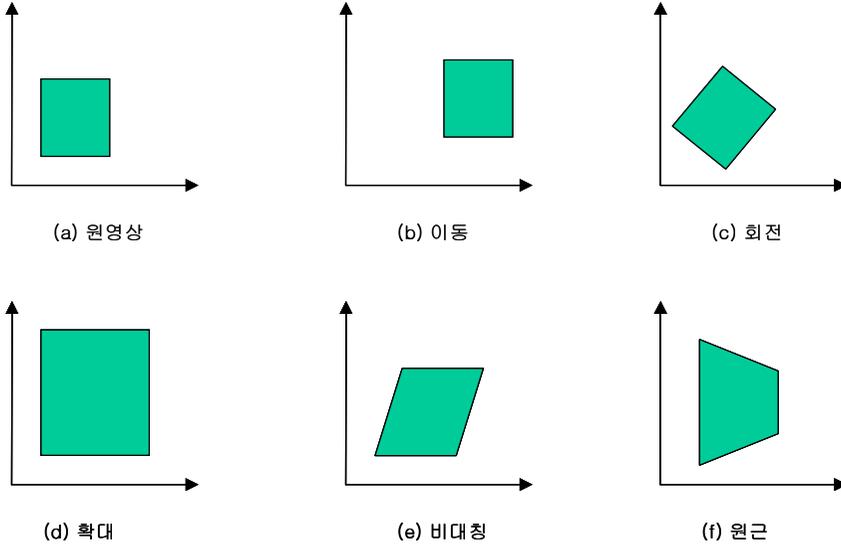


그림 3.1 영상의 변환

임의의 한 점을 각 축에 대해 회전하는 변환 행렬은 다음과 같다. 먼저, Z축에 대해 각  $\theta$ 만큼 회전하는 것은 다음 변환 행렬을 이용한다.

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

회전각  $\theta$ 는 +Z축의 점에서 원점방향으로 바라보면서 시계방향으로 측정한다. 이 변환은 단지 X와 Y좌표에만 영향을 미친다.

X축에 대한 각  $\theta$ 만큼의 회전은

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

이고,

Y축에 대해 각  $\theta$ 만큼을 회전시키기 위해서는 다음의 식(3.4)의 변환 행렬을 이용한다.

$$R_{\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

### c) 배율(Scaling)

X, Y, Z 축을 따라 배율  $S_x, S_y, S_z$ 로 배율을 조정하는 변환행렬은 다음과 같다.

$$S = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

### d) 비대칭(Skewing)

비대칭 변환 행렬은 다음과 같다.

$$S_K = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ d & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

### e) 원근(Perspective)

원근변환은 3차원 상의 한 점을 평면에 투사한다. 원근변환은 인

간이 3차원 세계를 직접 눈으로 봄으로써 한 영상을 구성하는 방법과 매우 근사한 방식이기 때문에 영상처리에서 중심적인 역할을 한다. 이 변환은 영상의 기본변환과는 다르다. 왜냐하면 이 변환은 좌표값에 의해 나뉘지는 비선형성을 포함하는 다른 변환들과는 기본적으로 다르다.

그림 3.2는 영상형상 과정의 기본모델을 보여준다. 카메라 좌표계(x, y, z)에는 xy평면과 일치하는 영상 평면이 있고 Z축을 따라서 광축(렌즈의 중심에 의해 결정됨)이 있다. 따라서 영상 평면의 중심이 원점이고, 렌즈 중심은 좌표(0, 0, λ)이다. 만일 카메라가 멀리 떨어진 물체와 초점이 맞는 거리에 있다면 λ를 렌즈의 초점거리라고 한다. 여기에서의 가정은 카메라 좌표계가 실좌표계(X, Y, Z)와 일직선상에 맞춰져 있다는 것이다.

그림 3.2에서처럼 (X, Y, Z)를 3차원 장면에서 임의의 한 점에 대한 실좌표계라 하자. 모든 관심점들이 렌즈의 앞에 놓여 있는  $Z > \lambda$

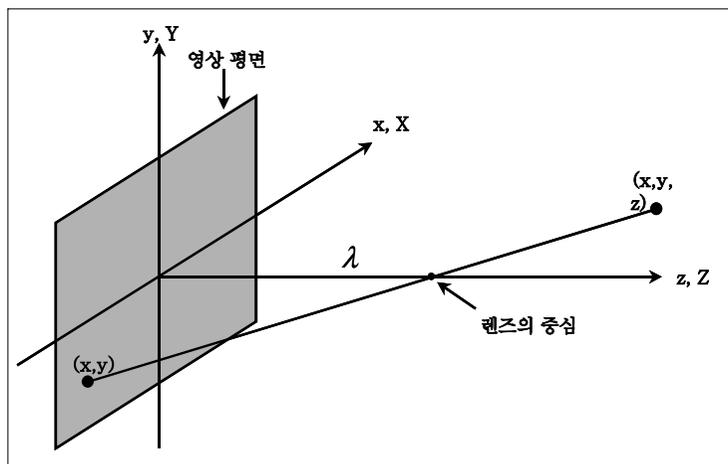


그림 3.2 영상 형성 과정의 기본 모델

를 가정하자. 첫 번째 단계는 점(X, Y, Z)가 영상 평면으로 투사되어 좌표(x, y) 만드는 관계를 얻는 것이다. 이것은 닳은꼴 삼각형을 이용해 쉽게 알 수 있다. 그림 3.2의 닳은꼴 삼각형을 이용하여

$$\frac{x}{\lambda} = -\frac{X}{Z-\lambda} = \frac{X}{\lambda-Z} \quad (3.7)$$

이고

$$\frac{y}{\lambda} = -\frac{Y}{Z-\lambda} = \frac{Y}{\lambda-Z} \quad (3.8)$$

이다.

여기서 X나 Y앞의 음부호의 의미는 영상 점들이 실제로 뒤집혀 있다는 뜻이다.

식(3.7)과 (3.8)을 통해 투사된 3차원 점의 영상 평면좌표를 다음과 같이 직접 구할 수 있다.

$$x = \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \quad (3.9)$$

이고

$$y = \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \quad (3.10)$$

이다. 이 식들은 Z에 의해 나뉘지므로 비선형이다. 위 식들을 직접 사용할 수도 있지만, 회전, 이동, 배율조정처럼 선형 행렬의 형태로 표현하는 것이 더 편리하다. 이것은 동차좌표(homogeneous coordinates)를 이용하여 쉽게 해결할 수 있다.

직교좌표(X, Y, Z)를 갖는 한 점의 동차좌표는 (kX, kY, kZ, k)로 정의할 수 있다.(여기서 k는 0이 아닌 임의의 상수이다.) 이 변환된 동차 좌표를 직교 좌표로 되돌리는 것은 네 번째의 상수로 동차좌표의 처음 세 좌표를 나누면 된다. 직교 실좌표계의 한 점은 다음의 벡터 형태로 표현할 수 있다.

$$w = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

그리고 그것의 대응되는 동차좌표는 다음과 같다.

$$w_h = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

만일 우리가 원근 변환 행렬을 다음과 같이 정의하면

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

벡터적  $PW_h$ 의 결과 벡터를  $C_h$ 로 표기하면,

$$\begin{aligned} C_h &= Pw_h \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ \frac{-kZ}{\lambda} + k \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.14)$$

이다. 여기에서  $C_h$ 의 원소들은 동차 형태의 카메라 좌표이다. 앞에서 언급했듯이 이 좌표는 네 번째 원소로  $C_h$ 의 앞의 세 원소를 나누면 직교형태로 바꿀 수 있다. 따라서 카메라 좌표계의 어떤 직교 좌표도 다음 벡터의 형태가 될 수 있다.

$$C = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda X}{\lambda - Z} \\ \frac{\lambda Y}{\lambda - Z} \\ \frac{\lambda Z}{\lambda - Z} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

C의 처음 두 원소는 앞의 식(3.2)과 식(3.3)에서 보여준 것과 투사된 3차원 점 (X, Y, Z)의 영상평면에서의 (x, y)좌표이다. 그림 3.2의 모델에 의하면 세 번째 요소는 아무런 의미도 없다. 다음에서 보여주는 것과 같이 이 요소는 역 원근 변환에서의 자유변수와 같다. 역 원근 변환은 한 영상점을 3차원으로 되돌린다. 식(3.14)를 이용하면

$$W_h = P^{-1}c_h \quad (3.16)$$

이다. 여기서  $P^{-1}$ 은 다음과 같다.

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\lambda} & 1 \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

영상의 한 지점의 좌표가  $(x_0, y_0, 0)$ 라고 가정하자, 여기서  $z$ 의 값이 0이라는 것은 영상 평면이  $Z=0$ 에 위치해 있다는 의미다. 이 점은 다음의 동차벡터의 형태로 표현할 수 있다.

$$c_h = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

식 (3.16)을 적용하면 다음의 동차 실좌표 벡터를 얻는다.

$$w_h = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ 0 \\ k \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

또는 직교좌표로

$$w = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

이다.

이 결과는 어떤 3차원 점에 대해  $Z=0$ 이기 때문에 문제가 생긴다. 3차원의 장면을 영상 평면으로 투사하는 것은 여러 점에서 한 점으로의 변환이기 때문이다. 영상의 한 지점  $(x_0, y_0)$ 은  $(x_0, y_0, 0)$ 과  $(0, 0, \lambda)$ 를 통과하는 선상의 동일 직선상의 3차원 점들의 집합에 대응한다. 실좌표계에서 이 직선의 방정식은 식(3.9)과 식(3.10)으로부터 구할 수 있다.

$$X = \frac{x_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (3.21)$$

이고

$$Y = \frac{y_0}{\lambda}(\lambda - Z) \quad (3.22)$$

이다. 식(3.21)과 식(3.22)는 만일 3차원 점을 생성할 수 있는 영상 점(예를 들어 영상의  $Z$ 좌표)의 정보가 없다면 영상으로부터 3차원 점을 완벽하게 복구해 낼 수는 없다. 이러한 예상치 못한 관찰 결과는 0대신 자유변수를  $C_h$ 의  $z$ 요소에 사용함으로써 역 원근 변환을 공식으로 나타내는데 사용될 수 있다.

따라서  $C_h$ 를 아래와 같이 둘 수 있다.

$$c_h = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ kz \\ k \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

식(3.16)을 이용하면

$$w_k = \begin{bmatrix} kx_0 \\ ky_0 \\ kz \\ \frac{kz}{\lambda} + k \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

이고, 위의 변환을 직교 좌표로 나타내면

$$w = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\lambda x_0}{\lambda + z} \\ \frac{\lambda y_0}{\lambda + z} \\ \frac{\lambda z}{\lambda + z} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

이다. 이를 다른 말로 표현하면,  $z$ 를 자유변수로 간주함으로써 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= \frac{\lambda x_0}{\lambda + z} \\ Y &= \frac{\lambda y_0}{\lambda + z} \\ Z &= \frac{\lambda z}{\lambda + z} \end{aligned} \quad (3.26)$$

마지막의  $Z$ 항에 대한 식을  $z$ 에 대해 풀이하여 위의 두 식에 대입하면

$$\begin{aligned} X &= \frac{x_0}{\lambda} (\lambda - Z) \\ Y &= \frac{y_0}{\lambda} (\lambda - Z) \end{aligned} \quad (3.27)$$

이다. 실좌표 중 적어도 하나의 좌표를 아는 상태에서는 역 원근 변환에 의해 원래의 3차원 지점으로 복원할 수 있다는 것을 알 수 있다.<sup>[24]</sup>

### 3.2 퍼지논리에 의한 에러보정

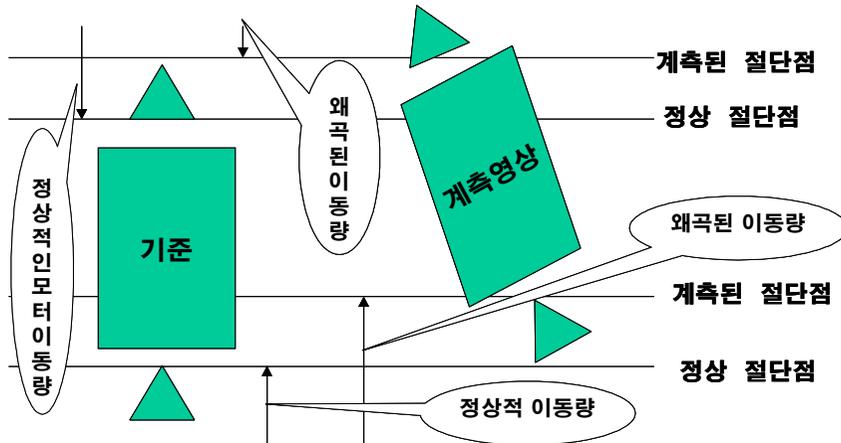


그림 3.3 영상왜곡이 제어량에 미치는 영향

3.1절에서 설명한 각종 변환 행렬들은 취득영상의 가공에 주로 쓰인다. 하지만, 본 시스템에서는 그러한 이론들을 바탕으로 운전 중 절단공정 시(時)에 공압 실린더의 하강충격이나 그 외의 외란 등으로 인한 CCD카메라의 최적위치가 계측물의 범위내의 한계지역 내에서 CCD카메라의 고정 짐벌(gimbal)의 흔들림에 의해 왜곡된 영상이 들어온다고 가정했다.

이러한 왜곡은 3.1절의 내용의 대부분을 복합적으로 가지고 입력되게 되고, 그림 3.3과 같이 결국 최적의 영상에서 계산되어진 값과는 틀린 왜곡된 제어량을 제어기에 인가하게 된다. 그러므로, 왜곡된 입력영상으로부터 계산되어진 절단위치를 기본적 영상변환을 거쳐 최적영상과 실편트의 좌표축 일치를 이루는 쪽으로 보정을 시켜야 한다. 즉, 절단위치라고 인지된 각 픽셀(pixel)만을 각축에 대해서 최적의 영상 축과의 비교로 회전정도를 판단하여 그만큼 역(易)

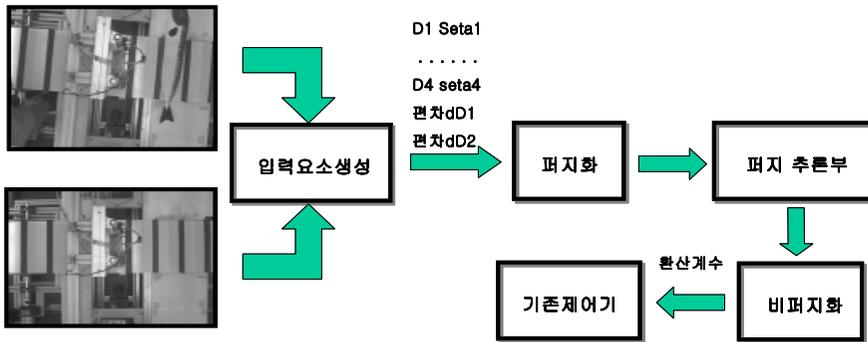


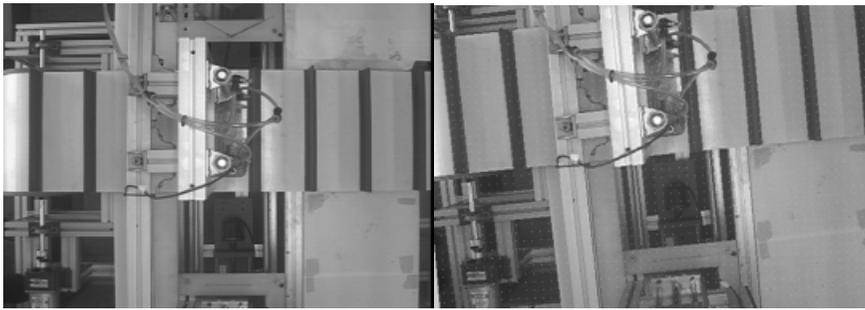
그림 3.4 퍼지추정기의 블록도

으로 필요 픽셀만을 변환한다면 실플랜트와의 좌표축의 뒤트림이 보상되어져 기존제어기의 역량을 충분히 발휘시킬 수 있다.

본 연구는 이러한 여러 기본적 영상변환을 기초로 하여 CCD카메라의 위치를 이용해 최적의 위치로 환원하는 것이다. 하지만, 획득된 영상으로 CCD카메라의 축 상에서의 각 회전요소를 알 수 없고, 알고있다는 가정을 두더라도 여러 변환행렬의 합성에 의한 전체 변환행렬의 역변환 역시 쉬운 일이 아니다.<sup>[23][24]</sup> 그러므로, 그림 3.4와 같은 구조의 퍼지논리(fuzzy logic)를 이용해 최적의 입력영상과 왜곡된 영상을 비교하여 제어기로 제어량이 입력되기 전에 그 보상이 이루어지도록 하였다.

### 3.3 영상에서의 퍼지 입력 파라메타 산출

그림 3.5에서 처럼 CCD 카메라 자체의 진동요소에 의한 영상의 취득은 항상 기준영상과는 다른 원점의 변화를 가져오게 되고, 그로 인해 기준좌표의 이동과 플랜트와 CCD카메라의 동일좌표를 이루던



a) 최적영상

b) 왜곡영상

그림 3.5 최적영상과 왜곡영상의 비교

Z축의 어긋남을 동반하게 된다. 그러므로, 만약 CCD카메라의 Z축으로의 기울기와 그 축의 회전요소를 외부에서 측정하여 영상데이터를 그 요소만큼 회전과 원점이동 등으로 필요한 좌표만을 보정할 수 있으나, 본 가공기에서는 외부에서 CCD카메라의 진동요소를 측정할 다른 계측소자를 배제하고 관심좌표의 주위에 존재하는 불변 측정체의 좌표를 측정요소로 하여 그 좌표를 기준영상에서의 동일체의 좌표로 환원시킴으로써 관심좌표를 보정함을 기본으로 한다.

하지만, Z축의 기울어짐을 동반한 XY축의 회전은 단순한 회전요소를 계산하여 구해진 것과는 다른 결과를 도출하게 된다. 그러므로, 앞에서 기술한 영상의 기본변환의 조합과 그 역변환의 도출을 수학적인 해로 구하는 것이 쉽지 않을뿐더러 왜곡이 일어난 영상만으로 알고자하는 기울어짐과 회전요소를 찾기 또한 쉬운 과정이 아니다. 그렇기에, 본 논문에서는 기준 영상의 불변 측정체의 좌표를 기준으로 왜곡이 일어난 영상의 불변 측정체의 좌표를 찾아내어 그들 간의 관계를 퍼지논리를 이용하여 다시금 기준영상으로 관심좌표를 보정시키고자 한다. 즉, 좌표군들 중에서 가공공정에 필요한

좌표는 두 절단점을 나타내는 두 개의 Y좌표만이 필요하다.

그림 3.6에 나타난 것처럼 먼저, 불변 측정체의 기준 좌표군을 설정하고 그 좌표군과 입력된 영상에서의 좌표군의 왜곡된 좌표와의 거리를 하나의 입력으로 설정한 다음, 그들 좌표군들의 평면상의 분포각을 구하여 전체적인 입력 파라메타로 사용했다. 그리고, 출력은 두 개의 Y좌표만을 필요로 하므로 계측된 영상의 Y좌표에서 제어량의 산출에 필요한 Y좌표로의 비례계수 K만을 요구하게 된다. 그러한 입력의 조건들을 공정라인 중에 전문가가 모니터링하여 수많은 작업의 노하우(know-how)로 직접 계측영상의 일그러짐을 눈으로 계측하고 게인다이얼(gain dial)을 돌려 출력을 보정하는 경우로 볼 수 있다. 그러나, 그러한 경험을 알 수가 없기에 직접 외부에서 계측하여 각각의 데이터를 산출하고 이를 기초로 입력에 대한 파라메타의 구체적 산출을 이루었다. 그에 대한 좌표군들과 분포각들은 부록 4에서 부록 7까지 각각 나타내었다.

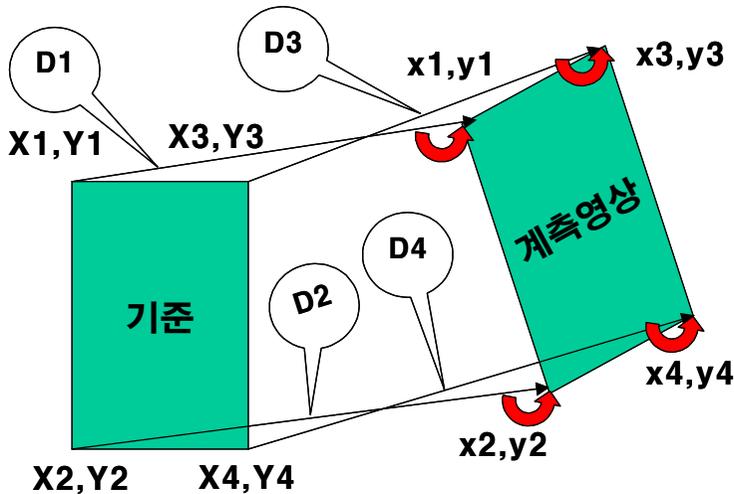


그림 3.6 입력 파라메타의 결정

그림 3.7은 입력의 4개의 거리에 대한 값들을 비교하여 구성된 소속함수 중 하나를 나타내었다. 메모리에 저장되어 있는 4개의 기준좌표와 가공물의 계측시점에서 계측된 트레이에 대응되는 4개의 좌표들간의 거리를 측정하여 그 거리들간의 원근(遠近)에 대한 관계를 세운 것이다.

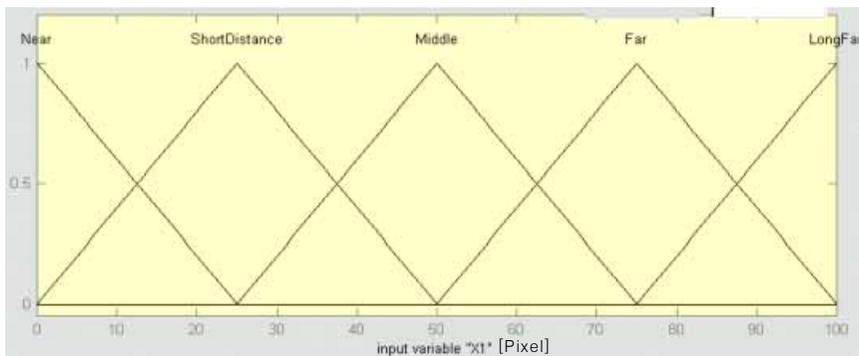
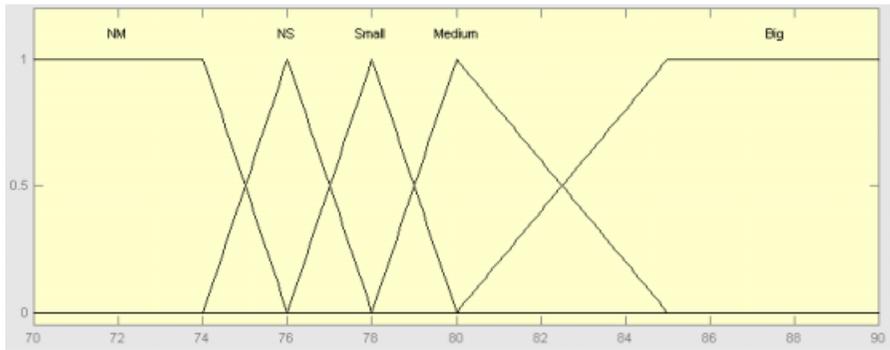


그림 3.7 거리에 대한 입력 소속함수

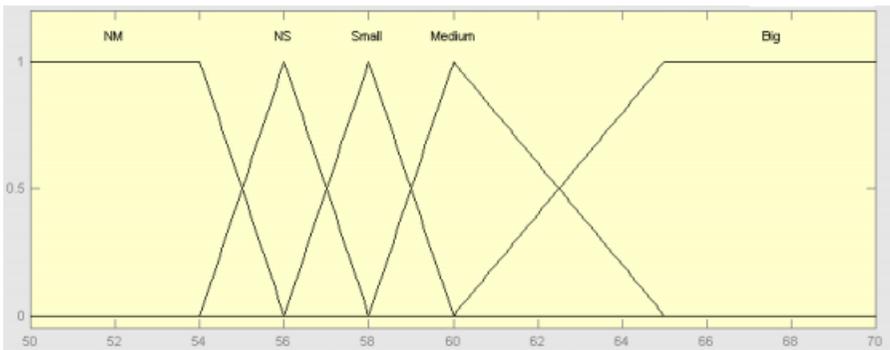
그림 3.8 또한 계측된 영상에서의 기준 트레이 네좌표의 Y축상과 이루는 분포각에 대한 각 크기에 대해서 소속함수를 구성한 것을 나타내었다. 각각 각의 크기의 분포가  $\theta_1$ ,  $\theta_3$ 는  $[70\ 90]$ 이고  $\theta_2$ 와  $\theta_4$ 는  $[50\ 70]$ 의 데이터 분포로 각각 틀리기 때문에 언어적 값에 따른 소속함수의 정의역이 틀린 소속함수가 나오게 된다.

그리고, 퍼지추론에 따른 출력의 값은 왜곡 제한내의 입력영상에서 관심점인 Y좌표 두 개로 나타나는 절단점은 원래의 절단점이 되기 위해서 0에서 2까지의 비례계수로 그 목적을 이룰 수가 있다. 그래서, 각 블록의 출력은 다음의 그림 3.9에서처럼 나타내었다.



Seta1 & Seta3 [도]

(a)  $\theta_1, \theta_3$ 에 대한 소속함수



Seta2 & Seta4 [도]

(b)  $\theta_2, \theta_4$ 에 대한 소속함수

그림 3.8 분포각에 대한 입력 소속함수

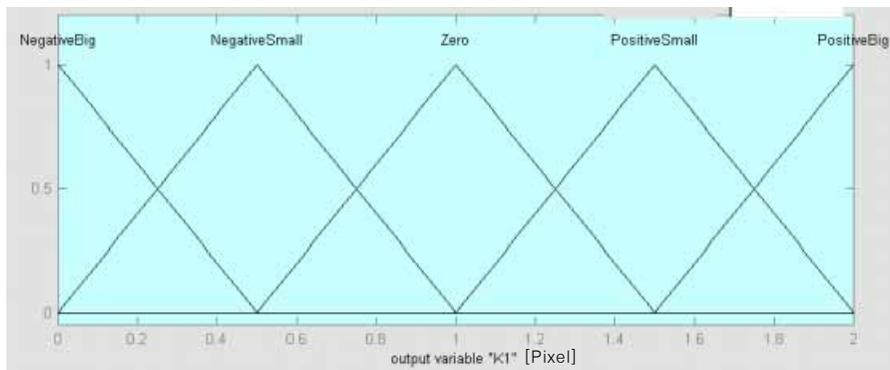


그림 3.9 출력에 대한 소속함수

### 3.4 보정계수 산출을 위한 퍼지추론(Fuzzy Inference)

각각의 입출력 파라메타와 그에 관한 소속함수를 구성하고 부록 4에서 부록7까지의 외부계측에 의한 데이터표를 기초로 합당한 제어량을 내어야 하고. 각각의 입력에 대한 획득영상의 기준좌표군에서의 관심점인 절단점들은 그 절단점의 근처에 위치한 점들의 변환에 대부분 귀속되어 진다고 볼 수가 있다. 그러므로, 입력으로 결정한 서로 대응되어진 좌표군들과의 거리의 원근과 영상면의 원점에서의 분포각들의 크기변화로 위치와 기울기 등에 따른 관심점들의 환원되어질 비례계수를 추론할 수 있다.

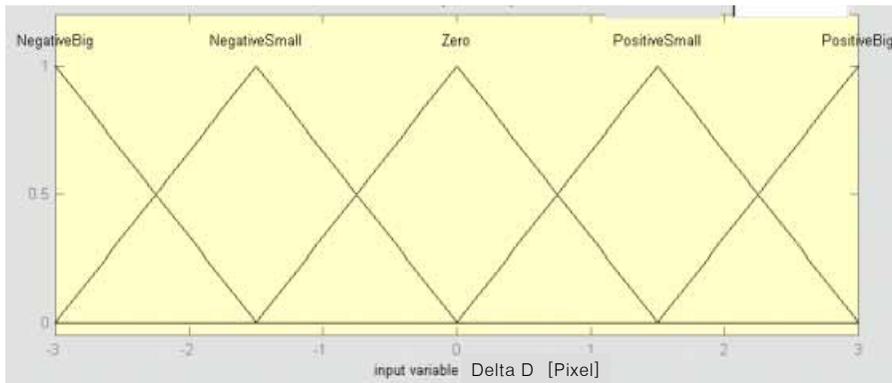


그림 3.10 거리편차에 대한 소속함수

먼저, 거리D와 분포각 $\theta$ 의 관계에 따른 비례계수 K1, K2와의 규칙(rule-base)는 표 3.1과 같다. 여기서, D에 관한 N은 Near, SD는 Short Distance, M은 Middle, F는 Far 그리고, LF는 Long Far이다. 또,  $\theta$ 의 NM은 Negative Middle, NS는 Negative Small, S은 Small 그리고, B는 Big 이다.

표 3.1 거리 D, 분포각  $\theta$ , 출력 K에 관한 규칙

D \ $\theta$	NM	NS	S	M	B
N		Z	Z		
SD	PS	Z	Z	Z	NS
M	PS	PS	Z	NS	NS
F	PB	PS	Z	NS	NB
LF	PB	PS	Z	NB	NB

N:Near, SD:Short Distance, M:Middle, F:Far, LF:Long Far  
 NM:Negative Middle, NS:Negative Small, S:Small, B:Big

표 3.1과 같은 결과로 얻어진  $D_1$ 과  $\theta_1$ ,  $D_2$ 와  $\theta_2$ 에 관한 각각의  $K_1$ ,  $K_2$ 값과 다음과 같이 거리에 대한 편차( $dD=D_3-D_1$ )를 그림 3.10과 같은 멤버십을 구성하고 언어적 추론으로  $K_3$ 를 도출한다.

IF  $dD$  is Zero THEN  $K_3$  is Zero

IF  $dD$  is Positive Small THEN  $K_3$  is Positive Small

IF  $dD$  is Positive Big THEN  $K_3$  is Positive Big

IF  $dD$  is Negative Small THEN  $K_3$  is Negative Small

IF  $dD$  is Negative Big THEN  $K_3$  is Negative Big

각각의  $K_1$ ,  $K_2$ 의 비례요소는 다른 값을 가지므로 그 중간에 분포될 절단점은 두 비례요소의 값의 중간값을 출력하면 되나,  $K_3$ 을

부가함으로써 두 비례요소사이의 값 중 거리편차에 해당하는 쪽으로 무게중심을 옮기게 됨으로써 원근에 관한 요소를 감안한 값으로 출력되게 한다. 이렇게 한 절단점에 대해서 두 개의 거리와 두 개의 각분포, 하나의 각편차를 입력으로 하여 각각의 비례계수를 구하고 이것에 대해 무게중심법을 사용하여 그 최종적인 보정치를 환산하기 위한 비례계수를 출력값으로 내게 된다. 그리고, D2와  $\theta_2$ , D4와  $\theta_4$ 에 관한 각각의 K4, K5와 K6도 같은 방법으로 구하면 된다.

## 제 4 장 시스템의 구현 및 실험

### 4.1 시스템 구성과 개요

본 논문에 사용한 영상처리 블록과 제어블록은 그림 4.1과 같다. 크게 영상을 입력하는 부분과 입력된 영상을 처리하는 호스트 컴퓨터, 그리고 서브시스템의 제어를 담당하는 두 개의 마이크로 컨트롤러(80C196KC)로 구성할 수 있다. 이때 호스트 컴퓨터가 하는 일은 입력된 영상을 실시간으로 분석하는 일과 기타 입출력 장치를 통해 입력된 정보를 처리하고, 각각의 하부시스템 모듈들에게 명령을 지령하는 역할을 한다.

전체적인 시스템의 관리는 호스트 컴퓨터가 전체적인 시스템을 제어한다. 영상데이터를 습득, 저장, 디스플레이, 그리고 처리동작과 순차제어에 따라 사용자와의 인터페이스를 제공한다.

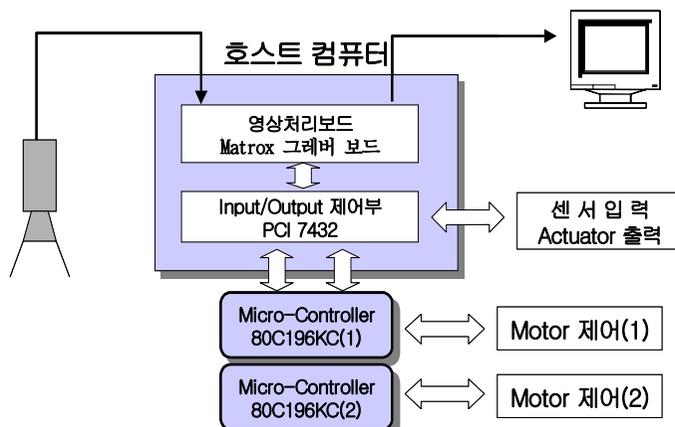


그림 4.1 화상처리 가공시스템의 시스템 블록도

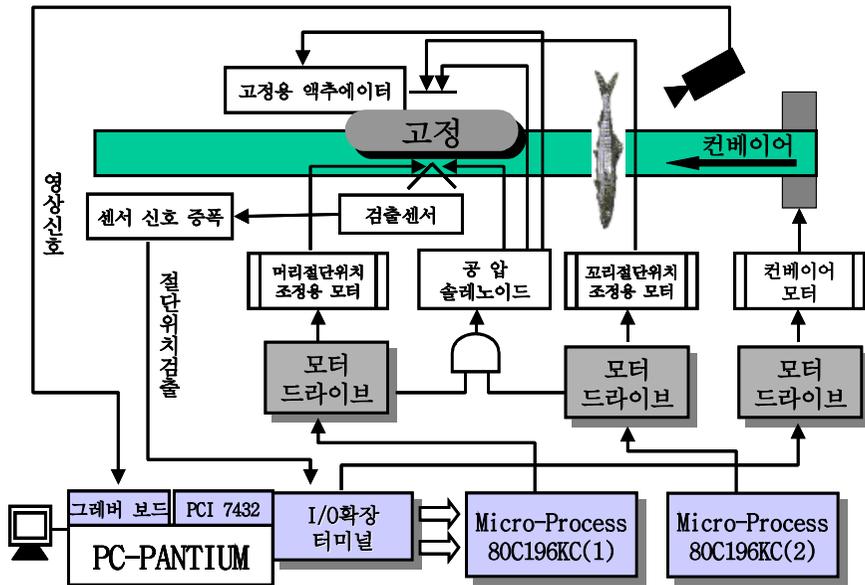


그림 4.2 화상처리 가공시스템의 상세도

실험에 사용되어진 화상처리 가공시스템의 상세도는 그림 4.2에 나타내었다.

먼저, 가공물의 이송을 맡은 컨베이어부와 각종 기계적, 공압적 시퀀스를 총괄하는 마이크로 컨트롤러부이다. 이는 전체적인 제어와 모니터링과 연산을 담당하고 있는 PC와의 인터페이스 모듈인 PCI7432와 I/O 확장보드에 의해 접속되어 PC가 가공한 데이터를 전송받아 모터 드라이브단과 실제 기계적인 모듈들의 각종 시퀀스의 동작에 관여하게 된다. 다음은 PC와 CCD카메라이다. 이는 CCD 카메라로부터 획득한 가공물의 영상을 가공이 가능한 특징들을 추출하여 하부 제어모듈인 마이크로 컨트롤러에 그 이동변위를 전송하고 전체 시스템이 통괄적인 작동의 동기에 관여하며 그에 따른 모니터링을 담당하게 된다.

## 4.2 전체 가공기의 동작 시퀀스

본 논문에서 구성한 전체적인 동작 순서도를 그림 4.3에서 그림 4.5에 걸쳐 제시하였다.

먼저, 그림 4.3은 호스트 컴퓨터에 의해 초기화 작업과 첫 번째 동작 방법을 나타내고 있다. 초기화 작업의 대상은 절단기 이송용 DC 모터 두 개를 대상으로 하며, 컨베이어 모터는 대기 상태에 둔다. 두 대의 절단기 이송용 모터가 초기화 위치에 도달하면 리미트 스위치에 의해 기준을 잡아준다. 초기화가 끝날 때 호스트 컴퓨터에 설치된 PCI-7432 보드를 이용하여 초기화 작업이 완료되었음을 모니터링하여 사용자에게 알려준다.

다음 단계는 본 시스템이 첫 번째 작업인가를 체크한다. 이유는 첫 번째 대상에 대한 정보를 얻지 못했기 때문에 첫 번째 대상을 기준으로 하여 작업할 대상을 검출하는 방식을 채택하였다. 그러므

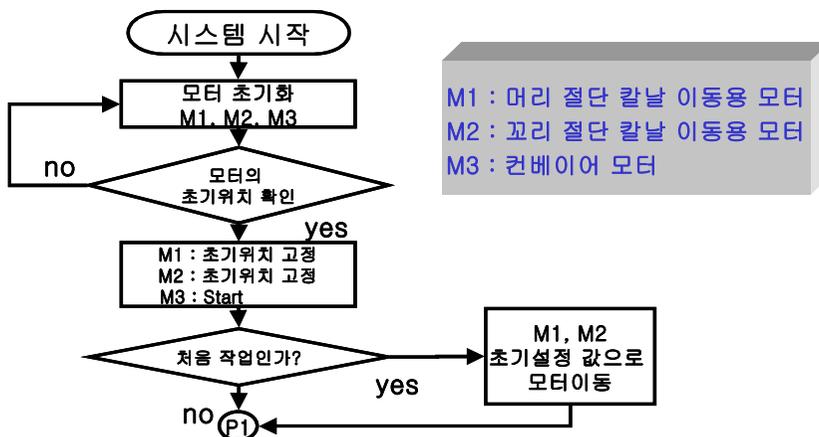


그림 4.3 초기상태에 대한 시스템 동작

로 첫 번째 대상은 표준값으로 첫 번째 작업을 수행한다.

그림 4.4와 그림 4.5에서 제시한 순서도에 따라서 다음단계로의 프로세서를 수행한다. 프로세서의 동작 시작점은 대상물을 검출하는 센서에 대상물이 검출되었을 때 이미지를 획득한다. 다음 단계는 획득한 이미지를 분석하여 대상물의 특정 위치정보를 추출한다. 여기서 삽입된 퍼지 추정기로 획득된 이미지가 어느 정도의 영상 일그러짐이 있는지를 판단하여 잘못된 위치정보에 보상치를 가하게 된다. 이렇게 보상까지 완료된 위치정보를 호스트 컴퓨터에 설치된 PCI-7432 보드를 통하여 각각 8bit 씩 두 개의 서브시스템으로 정보를 전달한다. 또한 호스트 컴퓨터는 PCI-7432 보드를 이용하여 전체적인 복합제어시스템을 감시하여 사용자에게 실시간으로 시스템의 운용상태를 모니터링 하여 보여주게 된다.

시스템의 전체적 동작 시퀀스는 호스트 컴퓨터의 시작명령을 입

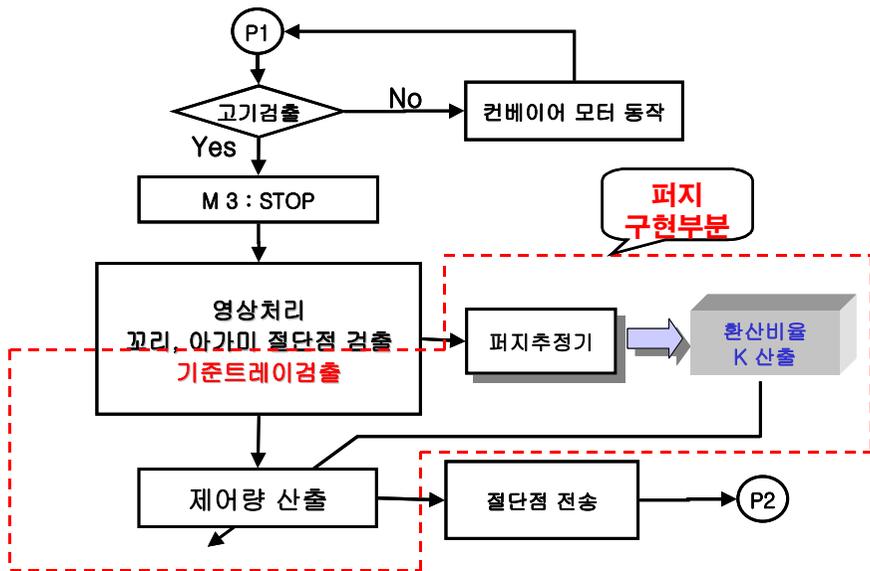


그림 4.4 화상처리 가공시스템의 동작블록도(I)

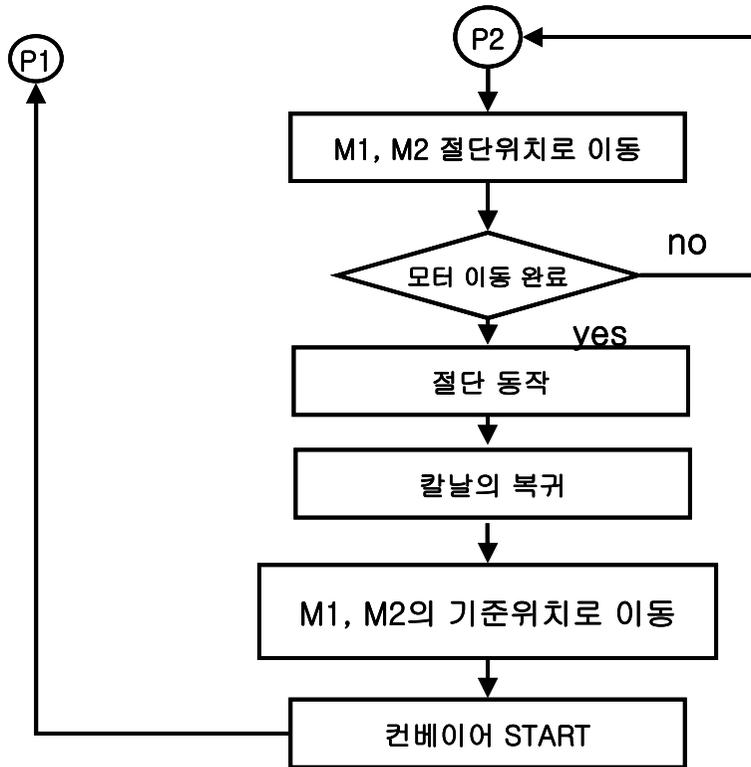


그림 4.5 화상처리 가공시스템의 동작블록도(II)

력 받아 서브시스템은 절단 위치로 모터를 이동하게 하였으며, 두 개의 이송 모터가 절단위치로 이동이 완료되면 다음동작의 오차보정 신호의 추정을 위해 다시 영상을 캡처한 후 어류 검출센서에서 신호가 검출될 때까지 대기상태에 둔다. 절단위치에 대상물이 존재하여 검출센서에 신호가 검출되면 호스트 컴퓨터는 영상을 캡처하여 영상을 분석하며, 두 개의 서브시스템은 어류의 머리와 꼬리를 각각 절단한 후, 호스트 컴퓨터의 지령을 받아서 다음 작업을 수행하기 위해 모터가 이동하게 시스템을 운영한다.

### 4.3 실험결과

본 연구의 목적은 동일한 좌표평면에서 CCD카메라로 획득한 영상과 그 영상정보로부터 얻어진 제어량으로 제어되는 절단모터가 동일좌표축이 아닌 축의 뒤틀림에 의해 획득영상의 좌표가 실플랜트의 좌표와 어긋남으로써 제어량이 왜곡됨을 다시금 보상하고자 함에 그 목적이 있다. 그로 인해 계측한계 내에서의 왜곡발생 시에도 동일한 제어기로 동작 가능하도록 함에 목적을 두었다.

입출력에 대한 소속함수와 추론의 적용에 대해서 다음의 입력영상에 대한 제한요소를 두었다.

- 1) 영상획득 시 반드시 메모리상에 저장된 기준 트레이의 위치와 계측될 관심위치가 영상면에 존재해야 한다. 이는 관심위치의 영상면에서의 탈주는 시스템의 동작 제어량을 측정할 수 없기에 그로 인한 시스템의 탈주가 일어날 수 있기 때문이다.
- 2) 기준 트레이의 왜곡범위가 영상면의 중심에서 1/4분면과 4/4분면상에 존재해야 한다. 이는 짐벌(gimbal)상에 취부되어 있는 CCD카메라의 왜곡요소가 그러한 좌표평면상의 왜곡에 주로 나타나며, 전문가적 입장에서 퍼지규칙에 관련된 데이터를 외부에서 측정하여 적용한 것이기에 그 외 평면상의 왜곡에 대한 영향은 본 연구에서는 제외시켰다.
- 3) 1)과 2)에서 제한한 것과 같은 것은 외부에서의 CCD카메라의 왜곡된 데이터 측정을 5도내로 제한시켰다. 그 외 각도로 영상평면이 왜곡될 경우 1)에서처럼 영상면의 탈주가 일어나게 된다.

먼저, 가공공정 중 가공물의 계측 시퀀스 부분에 대해 외부에서 왜곡요소를 가했을 때 시스템 상에서 계측되어 제어기로 전송되는 좌표와 그러한 전송전의 데이터를 퍼지논리로 인해 추론되어진 보상 데이터에 관한 출력 그래프를 그림 4.6과 그림 4.7에 나타내었다.

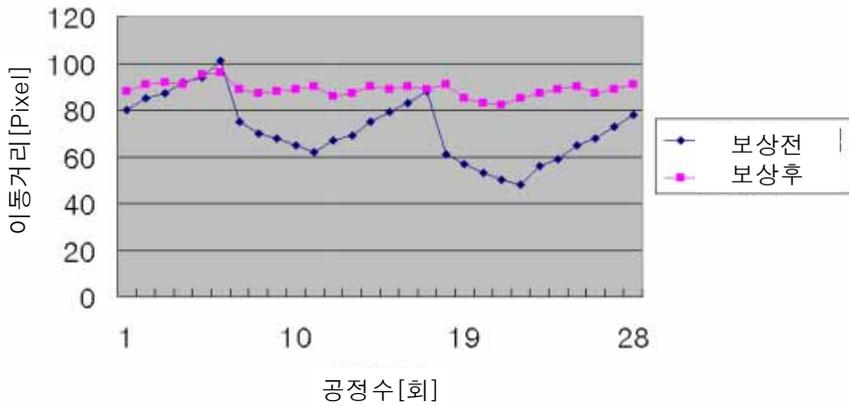


그림 4.6 아가미 절단점의 추종 (기준점 : 91)

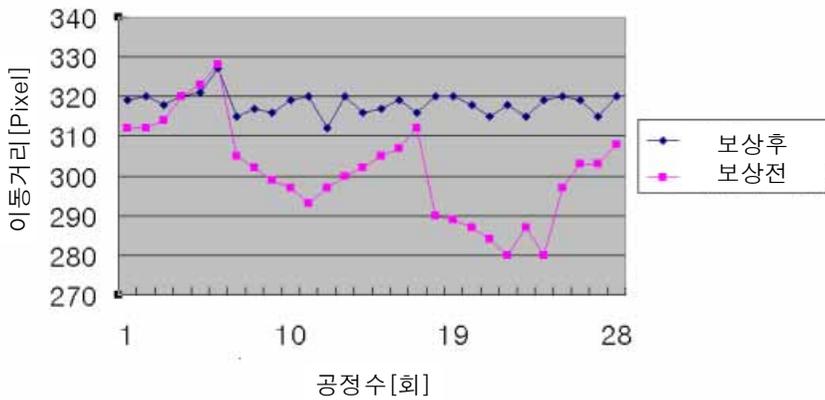


그림 4.7 꼬리절단점의 추종 (기준점 : 320)

그림 4.6과 그림 4.7에서 나타나듯 여러 가지 왜곡요소가 변할 때 마다 기존 시스템에서는 크기는 40픽셀(pixel)정도의 제어기로의 왜곡좌표를 보내게 되고 이로 인해 보통 영상면과 모터제어기에서의 실제 동작 플랜트간의 함수 맵핑(mapping)에 거의 2[mm]의 관계가 성립될 때 가공물의 가공점까지 80[mm]정도까지 모터의 이동오차를 가져다 줄 수 있다는 것을 볼 수가 있다. 이는 영상면의 왜곡이 기존시스템의 정밀성에 엄청난 왜곡요인으로 작용하고 있음을 보여준다. 그에 비해 퍼지논리에 의한 그 추론결과인 환산계수 K에 의해 기존 영상면의 왜곡요소를 거의 기준절단점으로 환원시켜짐을 볼 수가 있다. 다시 말해 시스템의 왜곡요인이 CCD카메라에 의해 발생하더라도 영상면 내에 관심영역이 존재한다면 충분히 그 왜곡요인의 추정으로 관심좌표인 절단점의 보상이 이루어진다는 것을 보여주고 있다. 즉, 수학적인 보상에서처럼 정확한 보상이 아니지만, 퍼지추론에 의해서도 신뢰 가능한 보상이 되고 있음을 알 수 있다.

그림 4.8은 계측 영상면의 왜곡발생에 대해 실제 플랜트상의 이

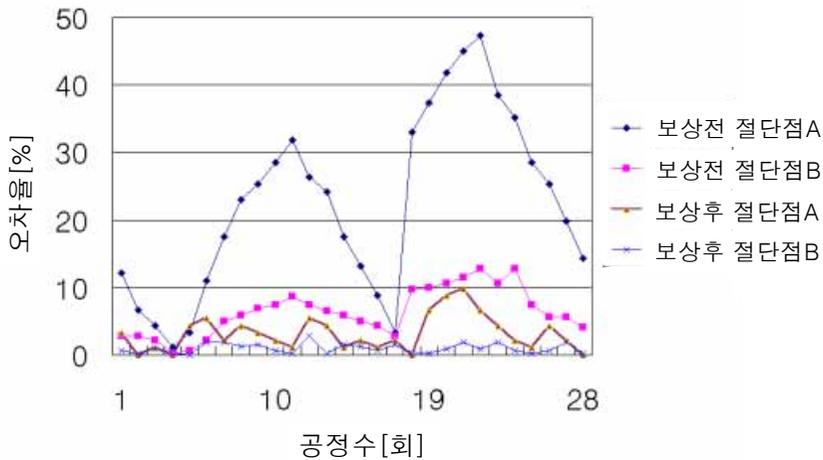


그림 4.8 보상전과 보상후의 오차비교

송모터의 절단점까지와의 오차에 대한 비교를 나타내었다. 왜곡된 영상면에 대해 가공기의 제어량은 약 50[%]정도까지 큰 오차범위를 발생하게 됨을 알 수가 있으며, 그러한 오차의 발생은 정확한 절단점까지의 이송모터의 역할을 저해하는 것 또한 자명한 것임을 알 수가 있다. 하지만, 그림 4.8에서 보상전 절단점 A는 보상후 절단점 A로, 보상전 절단점 B는 보상후 절단점 B로의 오차보정이 이루어졌으며, 이로 인해 왜곡정도에 따라 50[%]정도까지의 오차의 발생범위가 10[%]미만까지 크게 개선되어졌음을 알 수가 있다. 그렇기 때문에 공압절단기의 하강충격에 대해서 CCD카메라의 계측지점의 변동등이 오차의 제한요소 내에서 발생하게 된다면, 이는 영상왜곡에 대한 보상이 없는 제어기로 제어하기보다는 본 연구에서 제안한 퍼지추론에 의한 보상을 한 후 제어기로 그 환산계수를 보정한 후 전송하는 것이 더욱 오차를 줄일 수 있으며, 보상 없이 가공물의 가공을 행하는 것보다 더욱 나은 가공물의 정밀성 향상에 도움이 됨을 알 수 있었다.

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 기존의 기계적이며 가공물의 길이나 형태 등에 가변적이지 못한 가공기계에 대해 영상기법을 동원하여 그 가변성에 대한 적응능력을 가지는 가공기를 구현하고, 기계적인 충격에 대한 보정능력을 향상시켰다. 이러한 가공기의 설계시 최적의 설계조건에서 구현된 제어기에 계측요소의 왜곡이 실제 프랜트와의 좌표 불일치에 대한 왜곡으로 바뀌어지고, 그로 인한 가공물의 가공에 많은 손실요건을 주게 됨을 보였다.

계측요소인 CCD카메라의 왜곡에 대한 외부 계측요소의 부가 없이 입력된 영상과 메모리 상에 저장된 기준점 등을 비교하여 그 영상변화를 추정하고 실제 액추에이터의 좌표 상 이동변위를 보상케 함으로써 왜곡요소로 인한 부정확성을 보상할 수 있음을 퍼지논리에 의해 실현함으로써 복잡한 수학적 해의 도출과 변환행렬 등의 역행렬 문제를 회피할 수 있었으며, 또한 모든 영상의 복원을 원하지 않는 것이기에 원하는 부분만의 원하는 정보인 절단점의 보상만을 취함으로써 충분히 충족시켜짐을 알 수가 있었다.

이러한 결과를 볼 때, 가공기의 설치 시 제한적 공간으로 인해 CCD카메라의 취부가 진동요소의 영향을 받게 되는 곳에 설치하게 될 때 적절한 보상을 다른 계측요소를 추가하지 않고 본 연구의 퍼지논리를 이용하여 추정, 보상함이 가능하다.

하지만, 그 보상에 대한 데이터의 산출과 입출력에 대한 정확한 소속함수의 정의와 추론에 많은 시간이 소모됨으로써 수학적 복잡함을 덜고자했던 점이 퇴색될 우려가 있다. 그러므로, 앞으로 자가

튜닝(self-tuning)에 의해 입출력 소속함수를 정밀하게 조절할 수 있는 방법과 제한적 추론의 확장 등에 대해서도 고려하여 연구할 필요가 있다.

## 참고 문헌

- [1] White, D.A. and D.A Sofge, Handbook of Intelligent Control, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992
- [2] Clarence W. de Silva., Intelligent Control Fuzzy Logic Application, CRC Press. 1995
- [3] Lefteri H. Tsoukalas and Robert E. Uhring, Fuzzy and Neural Approaches in Engineering, John Wiley & Sons Inc. 1992
- [4] Rumelhart, D.E, "Parallel Distributed Processing: Explorations in the Micro Structure of Cognition Vol. I: Foundations" MIT Press, 1986
- [5] Jacek M. Zurada "Introduce to Artificial Neural Systems" Info Access Distribution Pte Ltd. 1992
- [6] J-J.E. Slatine, Applied Nonlinear Control, Prentice Hall. 1991
- [7] Takahashi Y. and C.S. Chan. "Parametereinstellung beilinearen DDC-algorithmen", Regelungstechnik und Prozess Datenverarbeitung Vol19, pp 237-244, 1971
- [8] Astrom K.J and T. Hagglung "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins" Automatica, Vol.20 pp 645-651,1984
- [9] Rad, A.B and P.J Gawthrop "Explicit PID self-tuning control for systems with unknown time-delay" Proc. of IFAC Int. Symposium on Intelligent Tuning and Adaptive Control, 1991
- [10] Cameron, F. and D.E. Seborg "A Self-tuning controller with

- PID structure" Int Journal of Control Vol 30 pp 401-417, 1983
- [11] K.S Leung, W. Lam "Fuzzy Concepts in Expert Systems", IEEE Computer, September, 1988
- [12] C.V Negoita "Expert Systems and Fuzzy System" Benjamin/Cummings, Menlo Park, California, 1985
- [13] J. J Buckley. W. Siler, D. Tucker, "A Fuzzy Expert Systems", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, 1986
- [14] J. J. Buckley, D. Tucker, "Second Generation Fuzzy Expert Systems", Fuzzy Sets and Systems, Vol.31, 1989
- [15] J. C. Bezdek, "Analysis of Fuzzy Information Vol. II : Artificial Intelligence and Decision System", CRC Press, Florida, 1987.
- [16] Chuen Chien Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems : Fuzzy Logic Controller - Part I · II, " IEEE Transection on System, Man, and Cybernetics, Vol. 20, No. 2, pp. 404-435, March/April, 1990.
- [17] K. Tanaka and M. Sano, "Trajectory Stabilization of A Model Car via Fuzzy Control," Fuzzy Sets and Systems Vol. 70, pp. 155-170, 1995.
- [18] L.X. Wang, "Stable Adaptive Fuzzy Control of Nonlinear Systems",IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.1, No.2, May 1993
- [19] 이 상배, 퍼지 뉴로 제어 시스템, (주)교학사, 1999
- [20] B.Kosko, Neural Networks and Fuzzy Systems, Prentice Hall,

1992

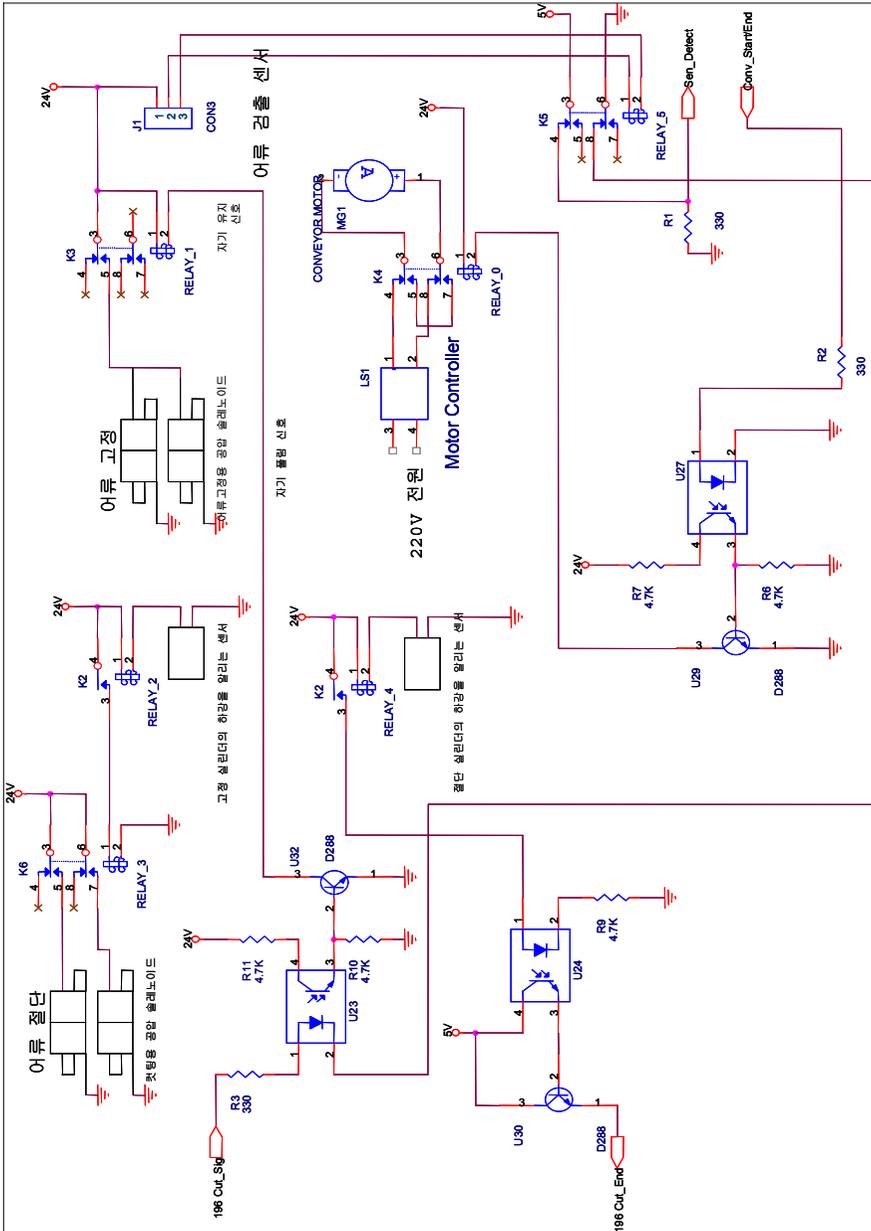
- [21] J.-S.R. Jang and C.-T.Sun, "Neuro-Fuzzy Modeling and Control", Proc. IEEE, March 1995
- [22] 테라노 토시로우, 實用 ファジィ制御技術, 電子情報通信學會, 1991
- [23] Dana H. Ballard, Christopher M. Brown, Computer Vision, Prentice-Hall, Inc., pp. 465-484
- [24] Gonzalez, Woods, Digital Image Processing, 그린, pp.1-68, pp.489-669, 1998
- [25] Paulo R. S. Mendonca, Roberto Cipolla, "A Simple Technique for Self-Calibration" IEEE, 1999
- [26] Chin-Teng Lin and C.S. George Lee, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall, 1996
- [27] 이 용수, "An Automatic Navigation of Ship in Dynamic Environment Using Multivariable Fuzzy Control System", 한국해양대학교 석사학위 논문, 2000
- [28] 北林俊行, 新 誠一, 適應制御, コンピュートロール32 ,コロナ社
- [29] 김 관형, "실시간 화상처리 기법을 이용한 인공지능형 복합제어 시스템의 설계 및 구현", 한국해양대학교 박사학위 논문, 2001
- [30] C.W. de Silva, Motion Sensors for Industrial Robots, Mech. Eng., pp. 40-51, 1985.
- [31] C.W. de Silva, Advanced Techniques for Robotic Manipulator Control, Proc. Int. Conf. Tech, pp. 148-153, 1986.
- [32] Lin, Lee, Neural Fuzzy systems - A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems, Prentice Hall, pp. 205-468,

1996

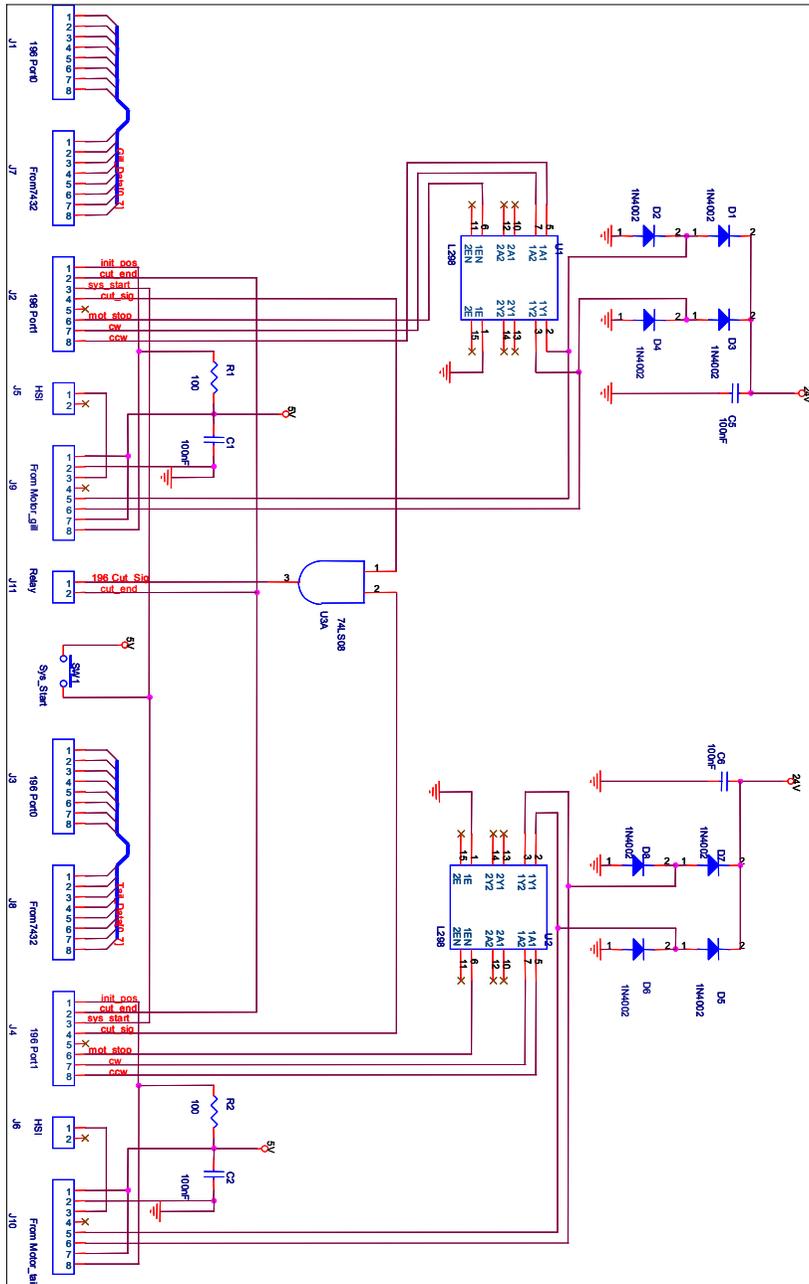
- [33] C.W. de Silva, Control Sensors and Actuators, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989
- [34] C.W. de Silva, Intelligent Control-fuzzy logic applications, CRC press, pp. 235-268, 1995
- [35] J. S. R. Jang, C. T. Sun, E. Mizutani, Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, 1997.

# 부 록

## 부록 1 화상처리 가공시스템의 시퀀스 회로도



## 부록 2 화상처리 가공시스템의 모터구동 회로



부록 3 화상처리 가공시스템



부록 4 기준좌표와 계측영상 간의 거리 (I)

Z축회전		Z축의 -Y축으로의 기울기					Z축의 X축으로의 기울기				
		1°	2°	3°	4°	5°	1°	2°	3°	4°	5°
1°	D1	6	21	31	44	61	12	21	27	56	67
	D2	6	21	31	43	59	13	22	28	51	63
	D3	5	20	31	42	59	12	21	28	56	68
	D4	6	20	29	41	58	14	22	28	52	63
2°	D1	5	18	28	41	58	12	19	25	53	64
	D2	3	17	27	39	55	15	24	28	53	64
	D3	6	17	26	38	55	13	21	24	53	64
	D4	1	14	25	37	53	17	24	28	53	64
3°	D1	9	17	25	38	55	13	20	24	51	61
	D2	1	14	23	36	52	18	24	29	52	64
	D3	11	15	23	35	51	17	22	26	51	61
	D4	5	9	19	31	48	20	27	30	53	63
4°	D1	14	17	24	36	53	17	21	23	47	58
	D2	4	10	20	33	49	21	27	30	53	64
	D3	16	16	21	32	48	22	26	25	67	59
	D4	9	4	14	27	43	24	30	32	53	64
5°	D1	18	19	23	34	50	20	23	24	46	56
	D2	8	6	16	28	44	23	30	32	53	63
	D3	23	19	20	30	46	27	29	28	47	57
	D4	14	2	9	21	38	29	34	35	55	64

부록 5 기준좌표와 계측영상 간의 거리 (II)

Z축회전		Z축의 -Y축으로의 기울기					Z축의 X축으로의 기울기				
		1°	2°	3°	4°	5°	1°	2°	3°	4°	5°
-1°	D1	14	29	39	51	68	17	26	34	64	74
	D2	14	28	38	50	66	14	21	28	53	64
	D3	16	30	40	53	70	17	26	34	63	74
	D4	16	30	40	52	68	13	21	28	53	64
-2°	D1	20	34	43	56	73	27	30	38	67	81
	D2	18	31	42	54	70	15	21	28	52	64
	D3	22	36	45	58	76	17	30	38	67	78
	D4	21	35	45	57	74	17	22	28	55	65
-3°	D1	26	38	48	60	77	26	34	42	71	83
	D2	22	35	46	57	74	16	22	30	54	65
	D3	29	41	52	65	80	27	35	43	72	83
	D4	27	41	49	62	78	19	26	31	56	66
-4°	D1	30	42	52	63	81	31	38	46	75	85
	D2	26	39	50	61	77	19	23	31	53	64
	D3	35	48	59	70	86	34	40	49	76	87
	D4	32	45	55	66	84	23	27	34	58	67
-5°	D1	36	48	58	69	85	35	43	51	78	89
	D2	30	43	53	65	81	21	25	32	56	67
	D3	41	54	64	76	92	39	45	54	81	92
	D4	36	50	60	72	87	28	30	37	61	70

부록 6 계측영상의 분포각 (I)

Z축회전		Z축의 -Y축으로의 기울기					Z축의 X축으로의 기울기				
		1°	2°	3°	4°	5°	1°	2°	3°	4°	5°
1°	01	78	79	81	82	84	76	75	75	74	73
	02	57	58	59	61	62	55	55	54	53	52
	03	79	81	82	83	85	78	77	77	77	76
	04	61	63	63	64	66	60	59	59	58	57
2°	01	77	79	80	82	84	75	75	75	74	73
	02	57	58	59	60	62	55	54	54	52	52
	03	79	80	81	83	84	77	77	77	76	76
	04	61	62	63	64	65	59	59	59	58	57
3°	01	77	79	80	81	84	75	74	75	73	73
	02	56	58	59	60	62	55	54	54	52	51
	03	78	80	81	82	84	77	76	76	76	76
	04	60	62	62	64	65	59	58	58	57	57
4°	01	76	78	80	81	83	75	74	74	73	73
	02	56	58	58	60	61	54	54	54	52	51
	03	78	79	80	82	83	76	76	76	75	75
	04	60	61	62	63	65	59	58	58	57	56
5°	01	76	78	79	81	83	74	74	74	73	73
	02	56	57	58	60	61	54	53	53	52	51
	03	77	79	80	81	83	76	75	76	75	75
	04	60	61	62	63	64	58	58	58	57	56

부록 7 계측영상의 분포각 (II)

Z축 회전		Z축의 -Y축으로의 기울기					Z축의 X축으로의 기울기				
		1°	2°	3°	4°	5°	1°	2°	3°	4°	5°
-1°	01	78	80	81	83	85	76	76	76	74	74
	02	58	59	60	61	63	56	55	55	53	52
	03	80	82	83	84	86	78	78	78	77	77
	04	62	63	64	65	67	60	60	60	59	58
-2°	01	79	81	82	83	86	75	76	76	75	74
	02	58	59	60	61	63	56	55	55	54	52
	03	80	82	83	84	86	79	78	78	78	77
	04	62	64	64	66	67	61	60	60	59	58
-3°	01	79	81	82	84	86	77	76	76	75	74
	02	58	60	60	62	63	56	56	55	54	53
	03	81	82	84	85	87	79	79	79	78	78
	04	63	64	65	66	67	61	61	60	59	58
-4°	01	79	81	82	84	86	77	77	76	75	75
	02	58	60	61	62	64	57	56	56	54	53
	03	81	83	84	86	87	80	79	79	78	78
	04	63	64	65	66	70	62	61	61	60	59
-5°	01	80	82	83	84	87	78	77	77	75	75
	02	59	60	61	62	64	57	56	56	54	53
	03	82	83	85	86	88	80	80	80	79	78
	04	63	65	66	67	68	62	61	61	60	59

## 감사의 글

2년의 길지만 짧았던 기간의 열매를 맺는 지금, 아쉬움과 기쁨이 교차함을 느낍니다. 이 결실을 맺기까지 지도·편달해주신 이상배 교수님과 바쁘신 중에도 미력한 부분을 꼼꼼히 지적해 주시며 심사해 주신 양규식 교수님, 임재홍 교수님께 진심으로 감사의 글을 올립니다. 또한, 2년간의 생활의 밑거름을 다져주신 부경대학교의 이형기 교수님, 최연욱 교수님, 김남호 교수님, 변기식 교수님, 황용연 교수님, 김만고 교수님께 감사의 글을 올리며, 연구실 후배에게 따뜻한 격려와 조언을 주신 김일 교수님과 탁한호 교수님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

술한 희비를 같이 느끼고 동트는 하늘을 바라보며 괜히 푸석한 얼굴을 마주보고 웃던 동기인 창우 선배, 동민이와 주상이에게 고마움을 전하며, 부족한 면이 있어도 감싸주며 발전할 수 있도록 도와준 최성욱 선배, 김관형 선배, 이재현 선배 그리고, 강성인 선배에게도 마음을 전합니다. 또한, 비록 같이 있었던 기간은 짧았지만 멀리서 관심을 베풀어준 김태영 선배, 방 은오 선배와 성문씨에게도 감사드립니다. 처음 연구실에 들어와 아무런 대가도 없는 고된 일을 묵묵히 해준 재명, 동한, 희근, 영탁 그리고, 창규에게 마음으로 그들의 따뜻한 마음을 느끼고 있음을 전합니다.

기나긴 시간, 못난 아들을 위해 뒤에서 묵묵히 뒷바라지해주시고 아들이 하는 일에 믿음으로 조용히 보아주신 아버지께 그리고 어머니께 보잘 것 없지만 이 논문을 드립니다. 아버지, 어머니 감사합니다. 또한, 형을 위해 자신을 아끼지 않았던 사랑스런 동생 환민이에게도 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로, 못난 친구를 위해 자신의 일처럼 도와준 친구들에게 고마움을 전합니다.