

工學碩士 學位論文

퍼지 추론을 이용한 비전 시스템의 영상인식
알고리즘 및 제어모듈 구현에 관한 연구

A Study on the Image Recognition Algorithm
and Control Module Implementation using Fuzzy Inference

指導教授 李 尙 培

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科 金 永 卓

工學碩士 學位論文

퍼지 추론을 이용한 비전 시스템의 영상인식
알고리즘 및 제어모듈 구현에 관한 연구

A Study on the Image Recognition Algorithm
and Control Module Implementation using Fuzzy Inference

指導教授 李 尙 培

2003年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科 金 永 卓

本 論 文 을 金 永 卓 의
工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 林 宰 弘 印

委 員 朴 東 國 印

委 員 李 尙 培 印

2003年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 子 通 信 工 學 科

목 차

Abstract	i
제 1 장 서론	1
제 2 장 퍼지이론	3
2.1 보통집합과 퍼지집합 및 연산	3
2.2 퍼지추론	7
2.3 퍼지 제어기의 구성	9
제 3 장 비전 시스템 및 영상처리 기법	13
3.1 비전 시스템의 구성	13
3.2 영상처리 기법	15
제 4 장 퍼지 추론을 이용한 영상인식 알고리즘	20
4.1 퍼지 추론에 의한 임계값 추출	20
4.2 퍼지 추론에 의한 명도값 및 대비값 추출	29
4.3 퍼지 추론에 의한 영상의 침식과 팽창연산	33
제 5 장 제어모듈 구현 및 실험	38
5.1 영상획득 및 처리부	38
5.2 제어부 및 구동부	40
5.3 실험 및 결과	43
제 6 장 결론	52
참고문헌	53
부 록	55

Abstract

Fuzzy inference is an important issue in research on the fuzzy set theory. Because of the suitability for representing uncertain values, fuzzy numbers have been widely used in many applications.

In this paper proposed detecting specific position of the object using fuzzy inference and image processing.

Recently instead of classify the object by shade using existing analog sensor, apply a theory to detect of the object information by using image data from CCD camera. It takes interest in the morphology of image, fuzzy inference and image analysis system on knowledge base. and now days, image processing method was used in the most part of field. So, in this paper proposed detecting method on specific position of specific object(fish) about real time gray level input image using image processing method(histogram analysis, binary, erosion, dilation, projection) and application case in intelligent processing system using the fuzzy inference algorithm and based on the computer with machine vision system. We obtained dynamic threshold value, contrast value, brightness value ,erosion and dilation value using fuzzy inference.

This processing system is inspected by IBM-PC interface digital I/O card, image grabber board, micro-controller and sensor, etc, so the operating data(the position of cutter, cutting operation, conveyor of movement, detecting fish, observation of sensor data, transmission of cutting data, etc) of processing system are monitoring and control on IBM-PC monitor during the processing time.

A view of a component control machine in this paper, one frame image as captured by CCD camera of effective pixel resolution 320×240. If the positioning of the carriage is based on accurate gauging of the desired position, the image contains the necessary information.

Finally, a control system processing work-cell was presented as a system to which the model could be applied. The results of a practical implementation of the system were given. We conformed that our study had better performance than conventional one.

제 1 장 서 론

이동 물체의 이동 거리 추적이나 대상 물체의 인식과 판별 그리고 물체의 특징 추출과 같은 응용분야에서 컴퓨터와 비전 시스템을 이용한 영상 신호 처리 분야의 이용률이 증가하면서, 그에 따른 연구가 활발하게 진행되고 있다^[1]. 그리고 퍼지이론, 신경회로망, 유전자 알고리즘, 등과 같은 지능 제어 알고리즘이나 이런 응용 기법을 사용하여 불확실한 미지의 대상물을 보완하고 인간의 사고(思考)와 유사(類似)한 동작을 추구하고 있는 실정이다^[2]. 또한 머신(machine) 비전 시스템과 고성능의 마이크로 프로세서를 도입하여 영상응용과 멀티미디어 응용분야로 생산자동화에 주력하고 있다^{[3][4]}.

따라서 본 논문에서는 이런 지능기법이나 비전 시스템을 바탕으로 가공 시스템에 화상처리기법, 비전 시스템, 지능제어기법을 도입하여 가공시스템을 설계하고 구현하였다. 전체 시스템은 크게 세 부분으로 데이터 획득부 및 처리부, 제어부, 구동부로 나뉜다. 데이터 획득부 및 처리부는 컴퓨터, 영상 획득 장치인 이미지 그래버 보드(image grabber board), CCD카메라(Charge-Couple Device camera)와 디지털 입출력 보드(digital input output board)로 구성되어 있으며, 카메라로부터 입력된 그레이 레벨(gray level)의 영상을 입력받아 특징을 추출한 후, 퍼지 추론을 이용하여 임계값 결정과 명도와 대비값 추출 및 모폴로지 기법인 침식과 팽창처리한 이진영상의 투영이미지로부터 위치 정보를 획득하여 제어부로 전송한다. 제어부는 인텔(intel)사의 80C196KC로 구성되어 위치정보를 입력받아 액추에이터(actuator)를 구동시킨다. 액추에이터는 L298 모터앰프(motor amp.) 소자를 사용하였으며 DC모터 축상에 장착된 엔코더(encoder)신호를 제어부로 궤환(feed back)하여 위치제어하고, 릴레이(relay)로 구성된 시퀀스

(sequence) 장치를 통하여 공압장치를 순차적으로 구동한다.

본 논문에서는 영상처리과정에서 CCD카메라를 통하여 입력되는 그레이 레벨의 영상 정보는 외부의 조명의 강약이나 카메라의 물리적 진동과 대상의 형태, 즉 대상이 가지는 컬러정보나 명암값 등의 영향에 상당히 민감한 반응을 보인다. 따라서 본 논문에서는 지능기법의 하나인 퍼지이론을 이용하여 주어진 영상 데이터를 분석, 처리하여 최적의 위치정보를 얻는 과정을 제안하고 전체 시스템을 제어하기 위한 모듈(module)을 구성하여 실제 실험을 통하여 타당성을 제시한다.

본 논문의 구성은 모두 6장으로 되어있다. 2장에서는 퍼지이론에 대한 개념과 퍼지 제어시스템의 구조, 퍼지 추론알고리즘을 논의하였고, 3장에서는 본 시스템에서 사용된 비전 시스템의 구성과 사용된 영상신호의 종류, 영상처리 기법에 대한 개념을 논의하였으며, 4장에서는 퍼지를 이용하여 영상 처리 알고리즘의 구성과 처리 과정에 대하여 논의하였고, 5장에서는 실제 실험에 사용하기 위하여 구성한 전체적인 시스템을 설명하고, 제안된 알고리즘을 통하여 실험한 결과를 고찰하였으며, 끝으로 6장에서는 본 논문의 실험 결과에 따른 결론을 제시하였다.

제 2 장 퍼지이론

퍼지 이론은 1965년, 미국 버클리대학의 Lofti Zadeh 교수가 ‘퍼지집합 (FUZZY SETS)’이란 논문을 발표하면서부터 시작되었으며 퍼지 이론 (fuzzy theory)은 퍼지 논리를 기초로 하는 이론이며 고전적인 집합론인 부울 논리(bool logic)를 확장한 개념이다^[5].

부울 논리를 기본으로 하는 집합이론에서는 특정한 객체가 주어진 집합 A의 원소로서 속하거나 속하지 않거나 둘 중의 하나이다. 그러나 퍼지 논리를 기반으로 하는 퍼지 집합이론에서는 이 객체가 구성 원소로서 특정 집합 A에 어느 정도로 속하는가 하는 것을 0과 1사이의 수치로써 나타내며 이를 소속의 정도(grade of membership)라고 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^[6].

2.1 보통집합과 퍼지집합 및 연산

고전적 집합론에서 집합이란 확정된 원소들의 모임을 나타내며, 이와 같이 경계가 명확한 보통집합(crisp set) A는 전체집합 X의 원소를 집합 {0, 1}로 대응시키는 다음과 같은 특성함수(characteristic function)는 식 (2.1)로 표현된다.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.1)$$

여기서 특성함수 μ_A 는 대집합내의 원소 x에 대한 A의 “소속”을 표현하며, 보통집합에서는 전체집합 내의 원소에 대한 주어진 집합에서의 소

속과 비(非) 소속 사이의 변화는 급격하고 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 주어진다.

$$\text{소속정도} \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (2.2)$$

$$\tilde{A} = (x, \mu_{\tilde{A}}(x) | x \in X) \quad (2.3)$$

아래의 그림 1은 보통집합과 퍼지집합의 관계를 나타낸 것으로 두 집합 사이의 소속정도를 알 수 있다.

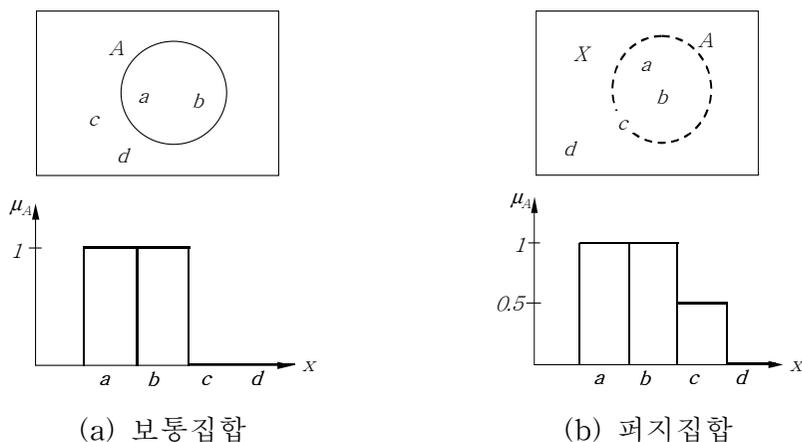


그림 1. 보통집합과 퍼지집합의 표현

여기서 전체집합이 X 일 때 퍼지집합 \tilde{A} 를 이산적이고 유한한 형태로 표현하면 다음 식(2.4)와 같다.

$$\tilde{A} = \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots = \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \quad (2.4)$$

그리고 연속적이고 무한한 형태로 표현하면 식(2.5)와 같다.

$$\tilde{A} = \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \quad (2.5)$$

퍼지집합의 연산에는 합집합, 교집합, 여집합 3개의 기본적인 연산이 있으며^[7], 만약 전체 집합 X내에 퍼지 집합 $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3$ 가 존재한다고 하면, 퍼지집합의 합집합, 교집합, 여집합은 다음과 같다.

$$\text{합집합 : } \mu_{\tilde{A}_1 \cup \tilde{A}_2}(\mathbf{x}) = \mu_{\tilde{A}_1}(\mathbf{x}) \vee \mu_{\tilde{A}_2}(\mathbf{x}) \quad (2.6)$$

$$\text{교집합 : } \mu_{\tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2}(\mathbf{x}) = \mu_{\tilde{A}_1}(\mathbf{x}) \wedge \mu_{\tilde{A}_2}(\mathbf{x}) \quad (2.7)$$

$$\text{여집합 : } \overline{\mu_{\tilde{A}_3}}(\mathbf{x}) = 1 - \mu_{\tilde{A}_3}(\mathbf{x}) \quad (2.8)$$

퍼지이론에서 교집합에 사용되는 t-norms에는 다음과 같은 연산자가 있다.

- 논리곱(logical product) : $a \wedge b = \min(a, b)$ (2.9)

- 대수곱(algebraic product) : $a \cdot b$ (2.10)

- 한계곱(bounded product) : $a \otimes b = \max(a+b-1, 0)$ (2.11)

- 격렬곱(drastic product)

$$a \wedge b = \begin{cases} a, & b = 1 \text{ 일때} \\ b, & a = 1 \text{ 일때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (2.12)$$

퍼지이론에서 합집합에 사용되는 t-conorms에는 다음과 같은 연산자가 있다.

- 논리합(logical sum) : $a \vee b = \max(a, b)$ (2.13)

- 대수합(algebraic sum) : $a + b = a + b - ab$ (2.14)

- 한계합(bounded sum) : $a \oplus b = \min(a+b, 1)$ (2.15)

- 격렬합(drastic sum)

$$a \vee b = \begin{cases} a, & b = 0 \text{ 일때} \\ b, & a = 0 \text{ 일때} \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (2.16)$$

다음의 그림 2에서 그림 4는 퍼지집합의 연산인 퍼지 합집합, 퍼지 교집합, 퍼지 여집합을 벤 다이어그램으로 나타낸 것이다.

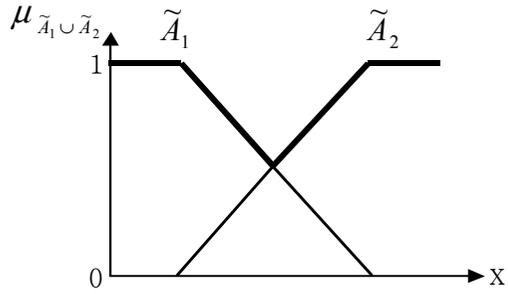


그림 2. 퍼지 집합 \tilde{A}_1 와 \tilde{A}_2 의 합집합

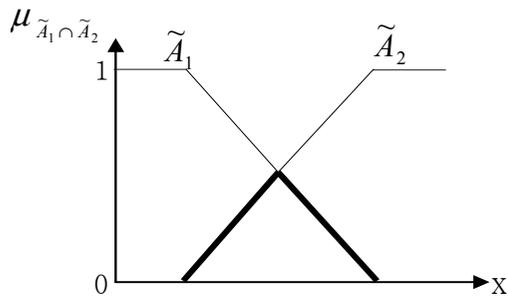


그림 3. 퍼지 집합 \tilde{A}_1 와 \tilde{A}_2 의 교집합

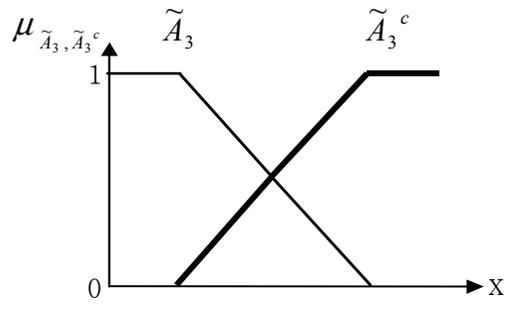


그림 4. 퍼지 집합 \tilde{A}_1 의 여집합

2.2 퍼지 추론

“P이면 Q이다”와 같은 조건명제를 이용하여 이루어지는 추론에는, 연역추론(modus ponens)과 대우추론(modus tollens)이 있다^[8]. 이와 같은 비퍼지 명제에 대한 연역추론 및 대우추론을 퍼지명제로 확장시킨 것이 일반화된 연역추론(generalized modus ponens : GMP) 및 일반화된 대우추론(generalized modus tollens : GMT)이다^[9].

여기서는 본 논문에서 사용한 일반화된 연역 추론법에 근거한 퍼지 추론(fuzzy inference) 혹은 근사 추론(approximate reasoning)에 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}^* "

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 퍼지 관계의 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 구한 후, $L(\tilde{Q})$ 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}^* 는 합성연산에 의해 이루어지며, 결론 \tilde{Q}^* 는

$$\tilde{Q}^* = \tilde{P}^* \circ (\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}) \quad (2.17)$$

로 구해진다. 여기서, 조건명제 $\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q}$ 에 대한 구체적 예로 Mamdani가 제안한

$$\tilde{P} \rightarrow \tilde{Q} = \tilde{R}_{\tilde{P} \times \tilde{Q}} \quad (2.18)$$

를 사용하면, \tilde{Q}^* 의 소속함수는

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}_{\tilde{Q}^*}}(y) &= \max_x (\mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y)) \\ &= \max_x \{ \mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \} \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \\ &= \omega \wedge \mu_{\tilde{B}}(y) \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\text{단, } \omega = \max_x \{ \mu_{\tilde{A}^*}(x) \wedge \mu_{\tilde{A}}(x) \}$$

로 된다. 여기서, ω 는 \tilde{P}^* 의 \tilde{P} 에 대한 적합도를 나타내므로, 결론 \tilde{Q}^* 는 \tilde{Q} 의 ω 보다 큰 부분을 잘라낸 형태와 같다는 것을 알 수 있으며, 그림 5는 이를 나타내고 있다.

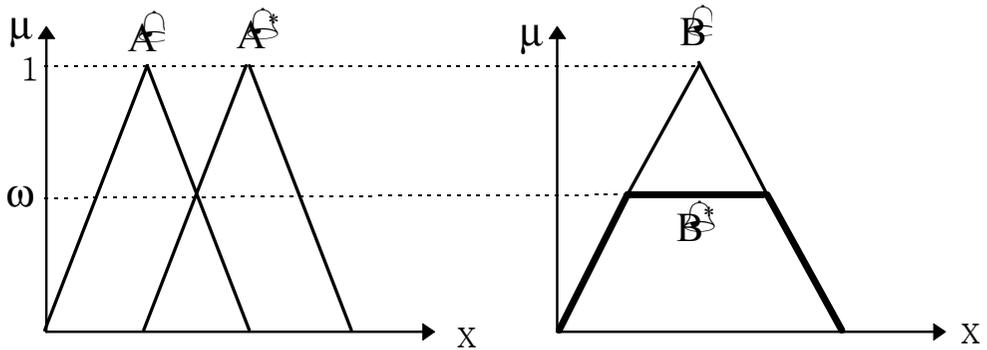


그림 5. Mamdani의 추론

2.3 퍼지 제어기의 구성

퍼지이론은 적절한 언어값(linguistic value)을 정의함으로써 불확실한 느낌을 그대로 나타낼 수 있다^[10].

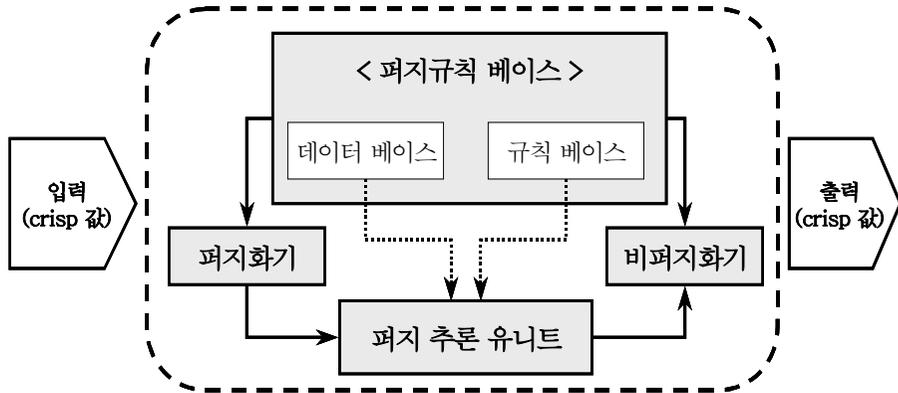


그림 6. 퍼지 제어기의 기본구조

위의 그림 6은 기본적인 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있으며, 퍼지 추론을 하는데는 IF-THEN 형식의 추론 규칙이 필요하며, 이를 “퍼지 IF-THEN규칙” 이라고 한다.

다음과 같은 2개의 규칙으로 된 2입력 1출력의 경우를 고려해보자.

$$R^1 : \text{IF } x \text{ is } A_1 \text{ AND } y \text{ is } B_1, \text{ THEN } z \text{ is } C_1. \quad (2.20)$$

$$R^2 : \text{IF } x \text{ is } A_2 \text{ AND } y \text{ is } B_2, \text{ THEN } z \text{ is } C_2. \quad (2.21)$$

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(2.20)와 식(2.21)과 같은 퍼지 규칙(fuzzy rule)에 있어서 첫 번째 규칙의 연결강도를 α_1 , 두 번째 규칙의 연결강도를 α_2 로 정의하면 다음의 식(2.22)과 같이 표현된다.

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0), \alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.22)$$

Mamdani 추론법에서 i -번째 퍼지 규칙은 다음의 식(2.23)과 같이 정의된다.

$$\mu_{C_i}(w) = a_i \wedge \mu_{C_i}(w) \quad (2.23)$$

최종적인 결론으로서의 $\mu_C(w)$ 는 다음의 식(2.24)와 같다.

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1} \vee \mu_{C_2} = [a_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [a_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \quad (2.24)$$

여기서 $\mu_C(w)$ 를 실제 제어값으로 사용하기 위해서는 실수의 값으로 비퍼지화(defuzzification)하여야 한다. 본 논문에서는 식(2.25)와 같은 무게중심법(center of gravity method)을 사용하였다.

$$u = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (2.25)$$

이러한 퍼지추론 과정을 도식적으로 나타내면 그림 7과 같다.

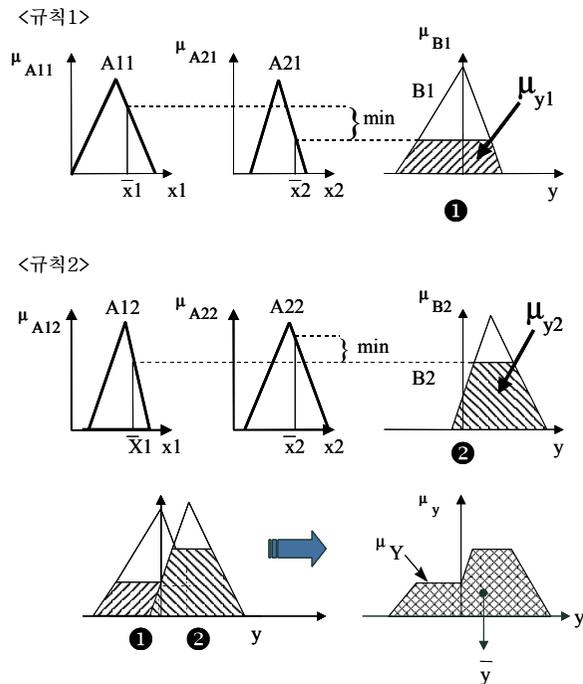


그림 7. 퍼지 추론 과정

지금까지의 앞장에서 설명한 이론을 바탕으로 퍼지제어기를 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^[11].

(2) 지식기반(knowledge base)의 설계

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

일반적으로 지식기반(제어규칙)은 숙련작업자의 지식정도와 제어전문가의 지식정도에 따라 다를 수 있다^[12].

(3) 수치적인 입력변수값의 퍼지화방법 결정

입력변수의 값은 수치적인 값이므로 추론과정에 직접 이용될 수 없으므로 입력변수의 값을 퍼지화기(fuzzifier)를 통하여 퍼지값으로 변환하여 사용하여야 한다^[13].

(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^[14].

(5) 출력 퍼지값의 비퍼지화 방법의 결정

프로세스의 입력인 제어량은 수치적인 값이어야 하므로 퍼지값인 추론 결과를 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^[15].

아래의 그림 8은 앞에서 설명한 다변수 퍼지 시스템의 내부 구조 및 연산 과정을 나타낸 것이다.

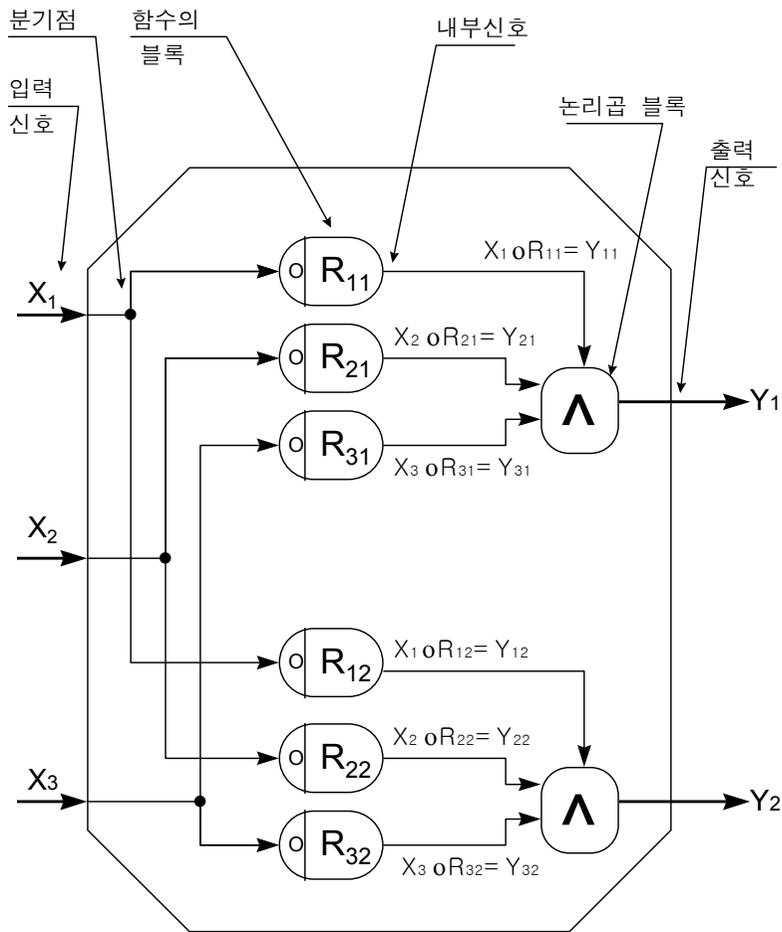


그림 8. 다변수 구조 퍼지시스템의 블록도

제 3 장 비전 시스템 및 영상처리 기법

비전 시스템(vision system)이란 사람이 눈으로 보고 직접하는 작업(조립, 가공, 검사 등)을 대신 할 수 있는 일종의 자동화 시스템의 일부 요소이며, CCD카메라로부터 획득한 영상 정보를 컴퓨터가 분석 처리하여 대상을 인식하거나 검출하는 시스템을 말한다^[16].

이번 장에서는 본 논문에서 구성한 비전 시스템과 입력영상의 전처리 과정 중 사용된 영상처리 알고리즘에 대하여 설명한다.

3.1 비전 시스템의 구성

비전 시스템은 기본적으로 하드웨어와 데이터를 습득하고 저장하며, 디스플레이(display)할 수 있는 소프트웨어 구성요소, 그리고 디지털 이미지(digital image) 처리의 집합체이다^[17].

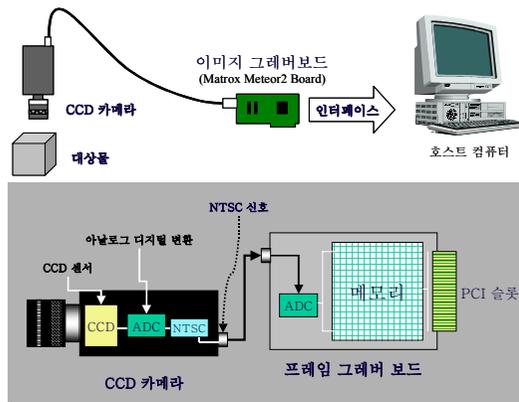


그림 9. 비전 시스템의 구성

위의 그림 9는 비전 시스템의 디지털영상처리장치의 구성으로 CCD카메라로부터 입력되는 아날로그 신호(analog signal) 즉, NTSC신호

(National Television System Committee signal)를 디지털 신호(digital signal)로 변환하는 부분은 디지털 이미지 그레이버 보드이다. 이 부분과 컴퓨터의 상호 인터페이스(interface)를 통하여 외부 대상물의 컬러(color)나 형태 위치 등의 아날로그정보가 디지털정보로 변환되는 일련의 과정을 통하여 컴퓨터 메모리에 저장되거나 디스플레이 장치를 통하여 재생되어 사람의 시각으로 전달된다.

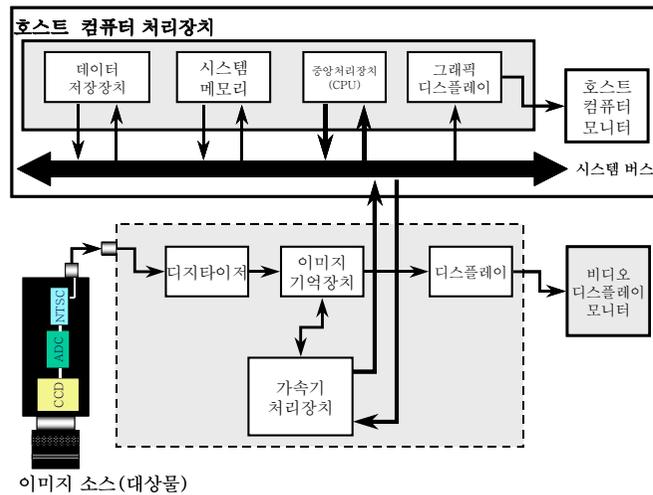


그림 10. 디지털 영상처리 신호의 전달과정

디지털 이미지 처리에서 첫 단계는 이미지의 획득이다. 이것은 어떤 센서장치(sensor unit)와 디지털화 기능이 요구되는 두 단계 처리이다.

본 논문에서는 CCD 카메라가 이미지 습득 센서로서 사용함을 가정할 것이다. 본 논문에서 사용한 비전 시스템의 전체적인 구성과 CCD 카메라와 그레이버 보드와의 연결과 전달되는 신호는 위의 그림 10과 같으며, 본 논문에서는 물체의 이미지를 CCD 카메라로부터 받아들이고 이를 프레임 그레이버를 통하여 양자화된 디지털 값으로 변환하는데, 대상물의 정보를 하나의 화소가 256레벨의 값을 가지는 그레이 스케일의 이미지 320×240 크기의 영상 데이터를 PC환경에서 처리하게 된다.

히스토그램이란 영상 안에서 픽셀(pixel)들에 대한 명암값의 분포를 나타낸 것이며, 이를 그래프로 나타내면 히스토그램 그래프라고 한다. 히스토그램 그래프는 그레이 스케일 이미지의 명암값 범위는 0에서 255값을 가지고 있으며 각 명암 값의 빈도수를 조사하여 그래프의 높이로 나타낸다.



그림 12. 원영상(Lena)

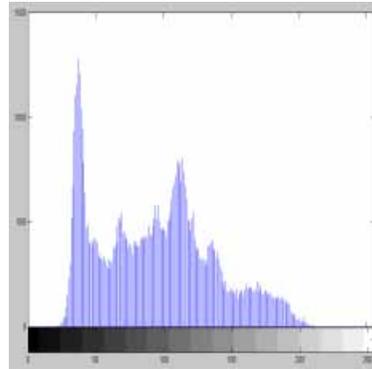


그림 13. 히스토그램

위 그림 12와 그림 13은 레나(Lena)의 원 영상과 히스토그램을 나타낸 그림이다. 그림 12는 레나의 영상으로 256 그레이 레벨의 명암 값을 가지고 있는 이미지이다. 그림 13은 산 모양의 그래프는 레나 영상의 명암 값의 분포를 그래프화 시킨 것으로 그래프의 가로축이 왼쪽 끝(0)부터 오른쪽 끝(255)까지 이미지의 명암 값을 나타내고 있으며 이는 총 256단계로 되어있다. 또한 세로축은 각 명암 값의 빈도 수를 나타내고 있다.

3.2.2 영상의 이진화 및 투영 이미지

영상의 이진화 처리에는 P-타일법(단순 임계치 방법), 모드(mode)법, 평균 이진화, 반복 이진화, 적응 이진화 방법이 있다^[19]. 본 절에서는 논문에서 사용되는 모드법에 대하여 간단히 설명한다.

이는 물체와 배경을 분리한다든지, 일정한 농도 값 이상의 픽셀들만 추출해 낸다든지, 영상의 전체적인 정보를 간략화 하는 등 많은 이미지처리의 전처리로 사용되고 있다. 먼저 이진화 처리를 위해서 앞 절에서 소개한 바와 같이 히스토그램을 이용하여 어떤 임계값을 정하고 픽셀의 명도값이 임계값보다 작으면 명도값 0(검정색)으로 임계값보다 크면 명도값 255(흰색)으로 만드는 과정이다. 이때 가장 중요한 것이 임계값의 선택 문제이다. 그러나 영상에서 배경이 되는 부분과 원하는 영역의 경계가 되는 명암값, 즉 임계값으로 물체와 배경을 구분 짓기란 어려운 일이다. 일반적으로 임계값의 결정은 처리전의 입력 영상(x,y)의 장소에 있는 픽셀이 가지는 명암 농도 값을 $f(x,y)$ 라고 하고, 처리후의 픽셀 농도 값을 $g(x,y)$ 값이며 t 는 임계값이라고 하면,

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \geq t \\ 0 & f(x, y) < t \end{cases} \quad (3.1)$$

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & f(x, y) \leq t \\ 0 & f(x, y) > t \end{cases} \quad (3.2)$$

식 (3.1)과 (3.2)와 같이 임계값을 나타내는 t 에 따라서 처리후 $g(x,y)$ 의 농도 값이 결정되게 된다. 이러한 임계값의 설정은 많은 경험과 시행착오를 거치며 얻게 되는데 모드법은 히스토그램의 분포를 보고 결정하는 것이다. 아래의 그림 14는 명도값의 차이가 큰 영상의 히스토그램을 나타낸다.

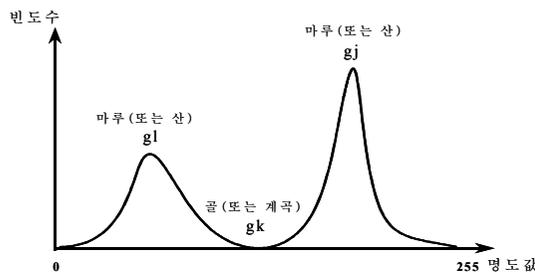


그림 14. 임계값 결정을 위한 히스토그램

앞의 그림 14의 히스토그램에서 산과 산 사이의 계곡에 해당하는 명도 점을 이진화의 임계값으로 하는 방법으로 적당한 임계값 결정을 위한 최고점 검출 알고리즘은, 히스토그램에서 어느 정도 이상 떨어져 있는 2개의 국부 최대점을 찾는다. 이들이 그레이 레벨 g_l 와 g_j 라고 하자, 히스토그램에서 가장 낮은 지점 g_k 을 찾는다. $\min(H(g_l), H(g_j))/H(g_k)$ 으로 정의되는 최고점을 계산한다. 영상을 이진화하는 임계값으로는 가장 높은 최고점을 가지는 g_k 를 사용한다.

위에서 설명한 히스토그램과 다르게 이진 영상을 수평이나 수직 방향으로 투영하는 것은 수평이나 수직 방향의 라인상에 존재하는 픽셀값이 1인 픽셀의 개수를 세는 것이다.

다음 식 (3.3)과 (3.4)는 영상의 수평, 수직 방향으로 투영을 하기 위한 픽셀의 수를 세는 수식이다.

- 수평 투영(수평 방향으로 1인 픽셀 개수)

$$H[i] = \sum_{j=1}^m B[i, j] \quad (3.3)$$

- 수직 투영(수직 방향으로 1인 픽셀 개수)

$$V[i] = \sum_{j=1}^n B[i, j] \quad (3.4)$$

아래의 그림 15는 이진 영상의 투영 원리를 나타낸 것이다.

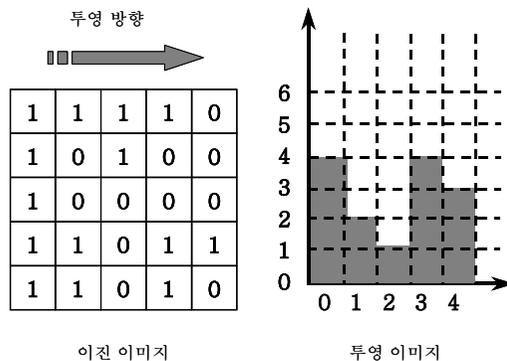


그림 15. 영상의 투영 이미지의 원리

3.2.3 모폴로지 기법(침식, 팽창처리)

모폴로지 기법은 영상 전처리 작업이나 초기 객체 분류 또는 이러한 처리 뒤에 이어서 물체의 내재된 구조를 명확히 하는데 이용된다^[20]. 이것은 물체의 외곽선을 물체의 가장 현저한 1-픽셀 두께의 외곽선이나 골격선을 간단하게 함으로써 이루어진다. 다시 말하면 최 외각선의 한 픽셀을 빼던가 더하던가 하는 작업을 말한다. 그러므로 한 픽셀의 잡음은 제거될 수도 있고 두 픽셀로 확장될 수도 있다.

(1) 침식(Erosion) 연산

물체에 대해 배경을 확장시키고 물체의 크기를 축소하는 역할을 한다. 침식 마스크를 이용한 연산으로 흰 물체의 둘레로부터 한 픽셀을 없애는 효과를 갖는다.

(2) 팽창(Dilation) 연산

물체의 최 외각 픽셀을 확장하는 역할을 한다. 따라서 물체의 크기는 확장되고 배경은 축소된다.

그림 16에서 그림 18은 원영상에 대하여 침식과 팽창처리 결과이다.

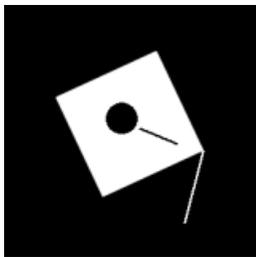


그림 16. 원영상

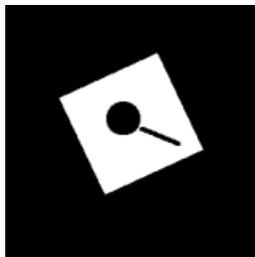


그림 17. 침식

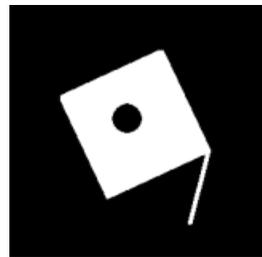


그림 18. 팽창

제 4 장 퍼지 추론을 이용한 영상인식 알고리즘

본 장에서는 2장의 퍼지이론과 3장의 영상처리 기법에서 논의한 이론을 바탕으로 실제 본 논문에서 사용한 실시간 비전 시스템에서 대상물의 위치와 인식도를 향상시키고, 또한 탐색 성능을 높이기 위하여 퍼지 추론을 기반으로 한 영상처리 과정에 대하여 논의한다.

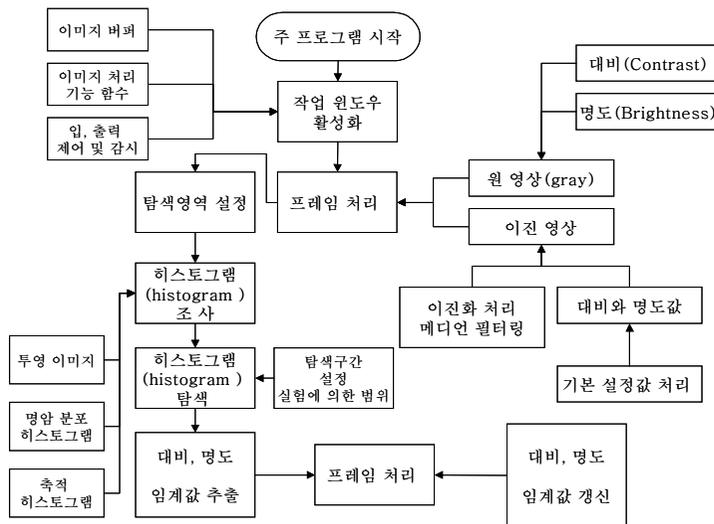


그림 19. 입력 영상의 전체 처리과정

본 논문에서 사용한 비전 시스템에서 입력된 영상에서 대상물을 탐색하기 위한 전체 처리과정의 블록도는 위의 그림 19와 같다.

4.1 퍼지 추론에 의한 임계값 추출

영상의 전처리 과정에서 조명의 종류라든지 밝기의 정도를 결정하는 작업과 임계값을 결정하는 일은 수동적인 작업을 필요로 하며 대부분 많은 실험과 경험을 바탕으로 이루어지고 있다^[21]. 따라서 본 논문에서는 퍼지

이론을 적용하여 적당한 임계값을 추출하는 것을 제안하고자 한다. 아래 그림 20의 이진화한 결과 영상에서 알 수 있듯이 그레이 레벨의 영상에서는 적용하는 임계값에 따라서 각각 다른 결과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있다.

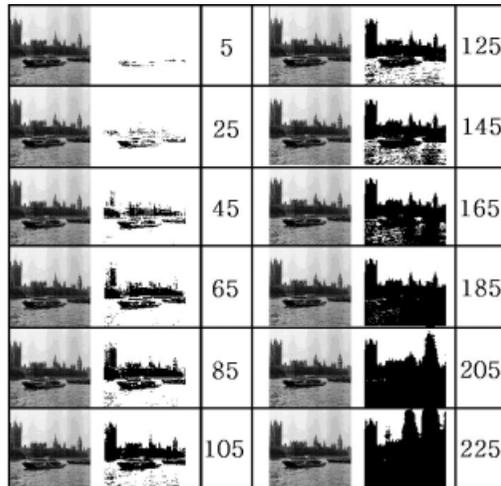


그림 20. 임계값에 따른 이진영상

위와 그림 20과 같이 영상에서의 임계값은 이진화 처리에서 영상을 추출하거나 배경과 대상을 분리하는데 사용되는 중요한 값이며^[22], 본 논문에서는 CCD카메라로부터 이미지 그레이 보드를 사용하여 그레이 레벨의 영상을 실시간으로 획득하기 때문에 외부의 영향으로 인한 변화가 많으므로 일반 이미지 파일과는 다르게 임계값의 결정은 가장 핵심이 되는 부분이다.

전체 처리 과정 중 퍼지추론을 이용하여 임계값을 추출하기 위한 퍼지추론 알고리즘의 전체적인 처리 순서는 다음의 그림 21과 같으며, 그림 22와 그림 23에서와 같이 전체 이미지의 히스토그램과 탐색 영역의 히스토그램 그리고 투영이미지를 이용하여 이들의 특징이 되는 값을 추출하여 퍼지 제어기의 입력값으로 설정한다.

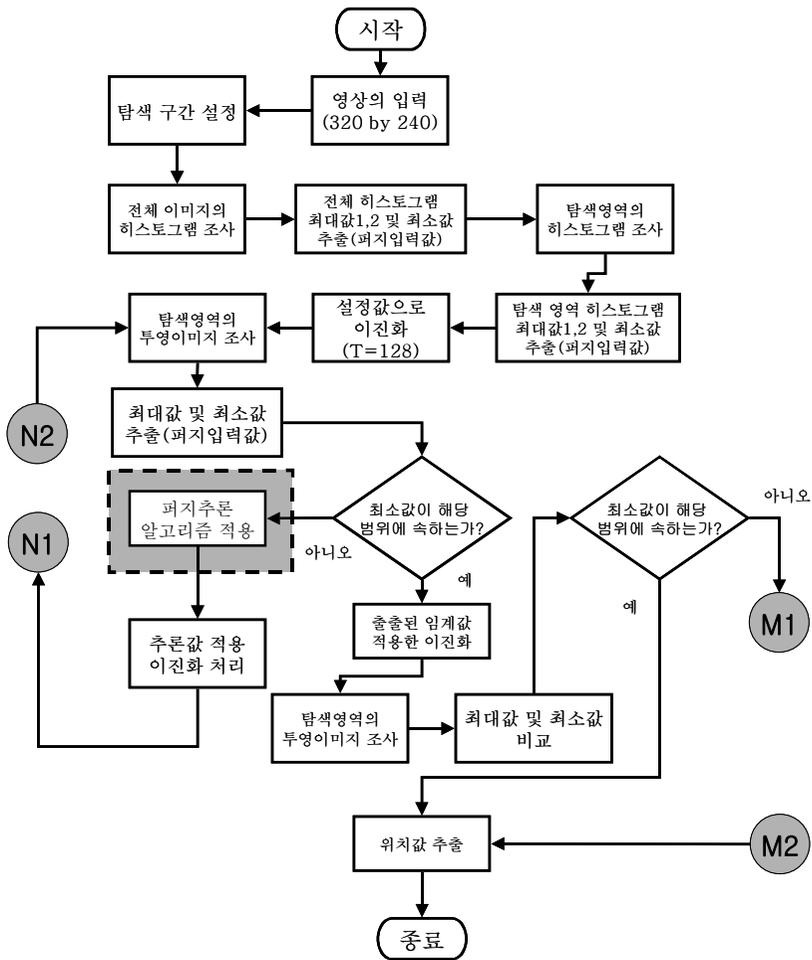


그림 21. 임계값 추출을 위한 순서도

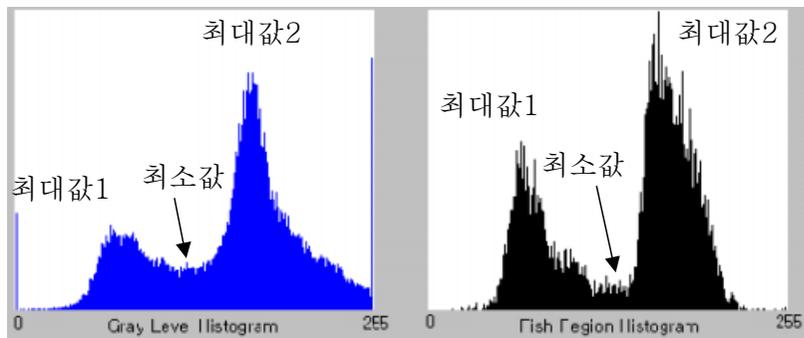


그림 22. 전체 영상 및 대상 영역의 히스토그램

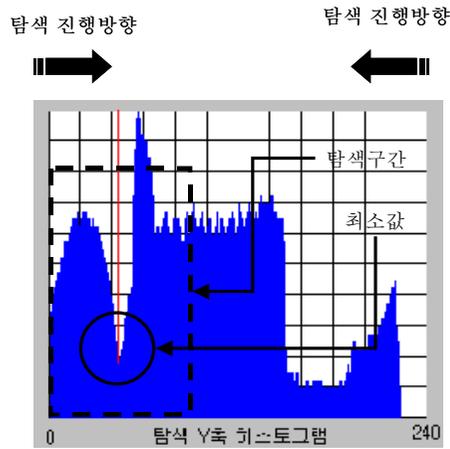


그림 23. 대상 영상의 투영 이미지

퍼지 제어기의 전건부 입력 변수의 선정은 본 시스템의 반복적인 실험을 통하여 시스템 환경에 적합한 요소들로 구성되었고, 대상물의 특징을 고려하여 입력되는 값의 범위를 결정하였으며, 실제 퍼지 제어기로 입력되는 변수를 선정하기 위한 요소는 전체 히스토그램에서의 첫 번째 최대값, 전체 히스토그램에서의 두 번째 최대값, 탐색영역 히스토그램에서의 첫 번째 최대값, 탐색영역 히스토그램에서의 두 번째 최대값, 투영이미지에서 최소값의 빈도수로 5개의 요소를 이용하여 2입력 1출력을 가지는 퍼지 제어기로의 입력값을 구하는 방법 및 임계값을 구하는 과정을 그림으로 표현하면 아래의 그림 24와 같다.

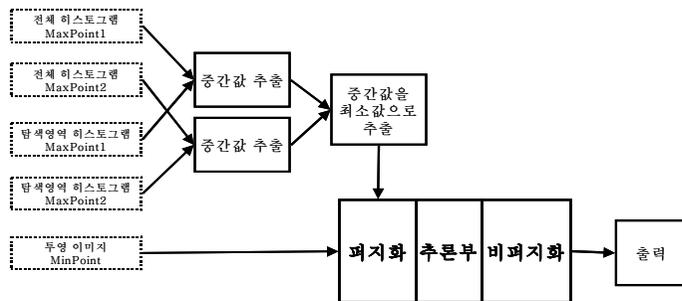


그림 24. 퍼지 추론을 이용한 임계값 추출

퍼지 입력 변수의 선정은 입력되는 5개의 요소와 실험을 통하여 입력되는 영상의 패턴으로 분석된 히스토그램의 특징으로 인한 제약 조건에 따라서 다음과 같이 5개의 조건이 있다.

- 1) 전체 히스토그램에서의 첫 번째 최대값의 분포 농도 범위

$$45 \leq T_{\max 1} \leq 128 \quad (4.1)$$

- 2) 전체 히스토그램에서의 두 번째 최대값 분포농도

$$128 \leq T_{\max 2} \leq 190 \quad (4.2)$$

- 3) 탐색영역 히스토그램에서의 첫 번째 최대값 분포 농도

$$50 \leq Th_{\max 1} \leq 128 \quad (4.3)$$

- 4) 탐색영역 히스토그램에서의 두 번째 최대값 분포농도

$$128 \leq Th_{\max 2} \leq 200 \quad (4.4)$$

- 5) 투영이미지에서 최소값의 빈도수의 적합도

$$0 \leq F_{\text{fitness}} \leq 100 \quad (4.5)$$

여기서 $T_{\max 1}$, $T_{\max 2}$ 는 입력 영상의 전체 히스토그램의 최대값이고, $Th_{\max 1}$, $Th_{\max 2}$ 는 탐색영역에 해당한다. 또한 입력 영상의 이진화를 위한 임계값은 수동적인 방법으로 제한된 환경내에서 충분히 실험한 결과를 바탕으로 이 범위 외의 값은 의미가 없는 것으로 간주하며, 출력된 퍼지 값을 실제 임계값으로 사상시키기 위한 출력 소속도 함수의 범위는 다음 식 (4.6)과 같다.

$$100 \leq T_{\text{out}} \leq 140 \quad (4.6)$$

여기서 T_{out} 은 퍼지 추론 결과로 추출된 임계값이다.

전체 히스토그램과 탐색영역의 두 히스토그램을 비교하여 중간값을 추출하는 방법은 다음의 그림 25를 이용하여 산정된 아래의 식 (4.7)과 같다.

$$C = \frac{A + A'}{2}, \quad C' = \frac{B + B'}{2}, \quad D = \frac{C + C'}{2} \quad (4.7)$$

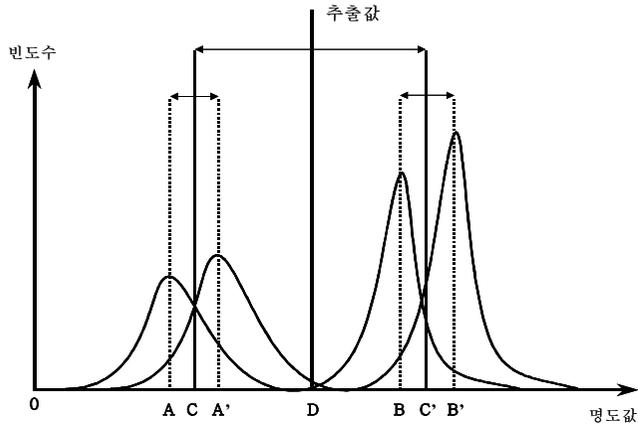


그림 25. 히스토그램을 이용한 입력값 결정

따라서 위에서 논의한 조건에 따라서 2입력 1출력의 퍼지 추론기의 입력 변수값의 영역을 이에 대응되는 전체집합으로 사상시키고, 입력값에 대하여 적당한 언어적인 값으로 변환하고, 이를 멤버십 함수로 바꾸는 퍼지화 및 추론 목적과 전문가에 의한 제어 규칙을 언어적인 규칙으로 표현하고 정의한 추론규칙 및 출력된 퍼지값을 실제 출력 집합에 맞게 크기를 변환하는 비퍼지화의 과정을 아래와 같이 구성된다.

다음의 그림 26은 앞 절에서 설명한 과정을 통하여 추출된 입력 임계값의 소속함수이다. 첫 번째 입력값의 범위는 다음과 같다.

$$100 \leq \text{Input1} \leq 140 \quad (4.8)$$

여기서 Input1은 앞 절에서 히스토그램에 의하여 추출한 값이며 퍼지추론기의 첫 번째 입력 값이다.

같은 방법으로 퍼지 추론기의 두 번째 입력으로 값의 범위는 다음과 같다.

$$0 \leq \text{Input2} \leq 255 \quad (4.9)$$

여기서 Input2는 앞 절에서 이진영상의 투영이미지에 의하여 추출한 값이며 퍼지추론기의 두 번째 입력 값이다.

그림 26의 맨 아래에 있는 소속함수는 출력값의 멤버십 함수로 추론을 통하여 출력되는 퍼지값을 실제 적용할 수 있는 값으로 전환하며, 이는 영상 처리과정 중에서 입력 이미지의 이진화처리 단계에서 임계값으로 추출되어 사용되어지고, 해당값의 출력 범위는 위의 식(4.8)에서 제시한 바와 같다.

본 논문에서는 각 입·출력조건 및 퍼지추론기에서 사용되는 모든 입력 변수 및 출력변수들이 가지는 값의 구간을 S(Small), SM(between Small and Medium), M(Medium), MB(between Medium and Big), B(Big)로 5 부분으로 나누었다. 그리고 입력 값에 대하여 퍼지화 및 퍼지 출력값의 실제 제어량을 구하기 위하여 삼각형 형태의 퍼지수를 사용하여 퍼지화 및 비퍼지화 하였다.

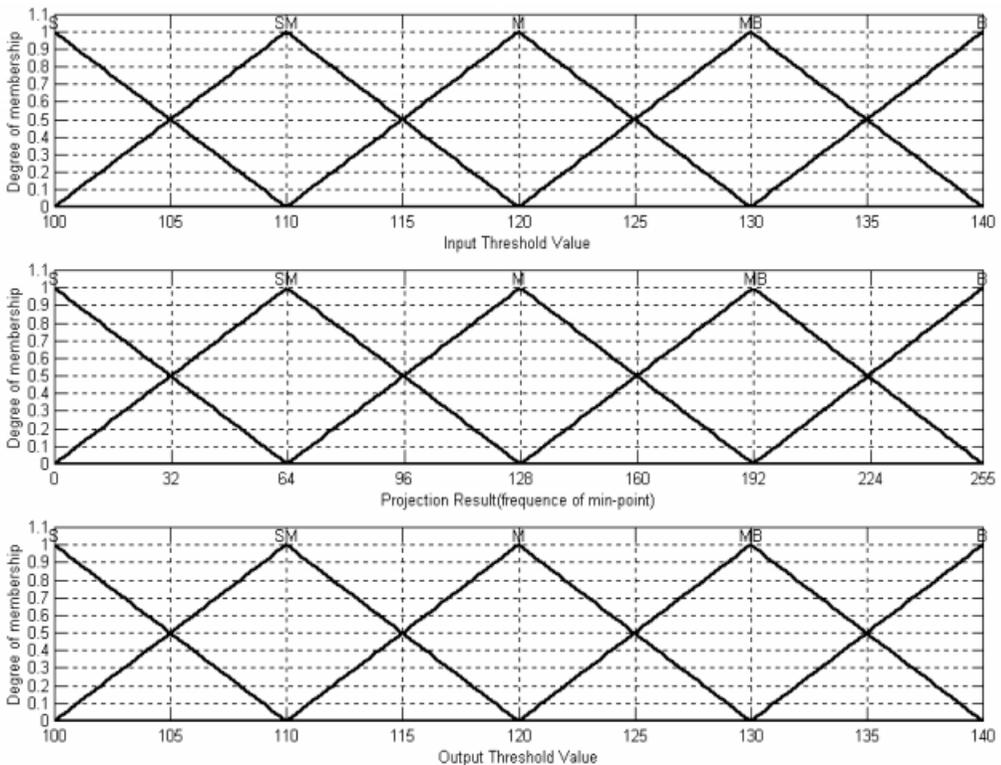


그림 26. 임계값 추출을 위한 입·출력변수의 소속함수

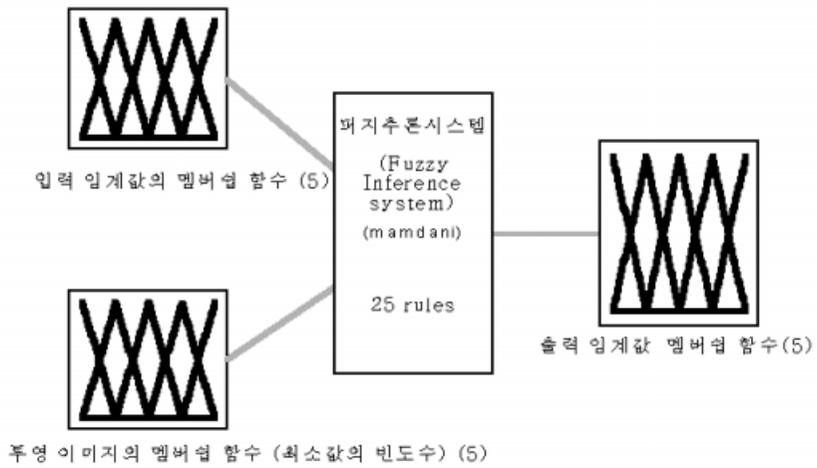
표 1. 임계값 추출을 위한 퍼지 추론 규칙

HV PF	S	SM	M	MB	B
S	S	SM	M	M	MB
SM	S	SM	M	MB	MB
M	SM	M	M	MB	B
MB	M	MB	MB	B	B
B	MB	B	B	B	B

위의 표 1은 히스토그램 분석에 의한 입력값과 투영이미지의 최소값의 빈도수에 대한 25개의 퍼지 제어 규칙이며, HV(histogram value)는 히스토그램 분석에 의한 입력값이고, PF(frequency of projection value)는 투영이미지의 최소값의 빈도수이다. 이는 두 개의 입력값에 대하여 대상물의 이진화를 위하여 임계값을 추출하기 위한 퍼지 제어 규칙으로 표에서 보는 바와 같으며, 만약 입력(HV)가 M이고, 입력(PF)가 S이면 출력은 M이된다.

추론규칙은 출력 멤버십의 중간 값인 120을 기준으로 임계값이 상향 또는 하향 조정되도록 구성되어 있다. 최종적인 출력값은 제 2장에서 제시한 무게중심법에 의하여 산출된다.

다음의 그림 27은 퍼지 추론 과정에서 입력과 출력 변수에 따른 퍼지 추론기의 전체적인 블록도를 나타내며, 추론법은 앞장에서도 제시했듯이 Mamdani가 제안한 직접법을 사용했음을 밝혀둔다. 또한 그림 28은 표에서 제시한 입·출력에 따른 퍼지 추론 규칙을 3차원화 하여 퍼지 추론 규칙하에 의한 입·출력 관계를 시각적으로 나타낸 것으로 X축과 Y축은 각각 추론기의 전건부 입력변수의 범위, Z축은 퍼지 추론기의 후건부 출력변수의 범위에 해당한다.



- 퍼지 추론 시스템 (Fuzzy Inference system): 2 입력, 1 출력, 25 규칙 (rule) -

그림 27. 임계값 추출을 위한 퍼지 추론과정 블록도

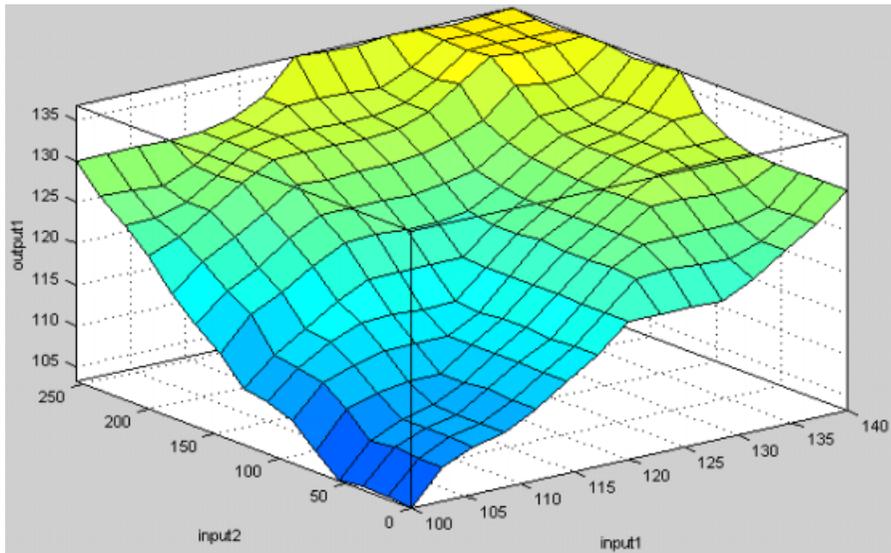


그림 28. 퍼지추론 규칙의 제어 평면

입력1 : 전체 히스토그램과 대상물의 히스토그램 분석으로 추출된 값

입력2 : 대상물 이진영상의 투영 이미지에서 최소값의 빈도수

출력 : 임계값

4.2 퍼지 추론에 의한 명도값 및 대비값 추출

영상처리과정에서 CCD카메라를 통하여 입력되는 영상의 정보는 많은 양의 데이터와 정보를 가지고 있으며 이 정보는 외부 조명의 강약이나 대상의 형태, 즉 대상이 가지는 컬러정보나 명암값 등의 영향에 상당히 민감한 반응을 보인다^[23]. 이런 조명의 영향을 대신하는 방법은 히스토그램을 이용하는 방법, 명암, 대비를 이용하는 방법 등이 있다. 따라서 본 논문에서는 외부의 조명 역할을 대신할 수 있는 방법을 제안하기 위하여 명도와 대비를 영상에 적용시켜 외부 빛의 양이 변하더라도 이에 적응할 수 있도록 하였다.

따라서 이런 처리를 통하여 배경과 대상물의 경계를 확실하게고, 영상처리 과정 중 배경과의 분리를 용이하게 할 수 있는 장점이 있다.

영상에서의 대비란 영상의 가장 어두운 영역으로부터 가장 밝은 영역의 범위로 이 두 요소의 비율의 조정으로 영상을 향상시킬 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 아래의 식(4.10)과 같다.

$$\text{Contrast} = \frac{I_{\text{MAX}} - I_{\text{MIN}}}{I_{\text{MAX}} + I_{\text{MIN}}} \quad (4.10)$$

여기서 I_{MAX} 와 I_{MIN} 은 어떤 영역이나 영상의 명암도의 최대와 최소값이다. 따라서 대비와 명도값을 적당히 조정하면 외부의 조명을 대신하여 어두운 영상이나 밝은 영상이 입력되어도 원하는 출력을 얻을 수 있다는 결론을 얻는다.

본 논문에서는 대비와 명도값을 한 프레임의 영상에 동일하게 적용하므로 하나의 값을 찾는다면 두 요소 모두를 만족하기 때문에 퍼지 추론과정에서도 하나의 추론값을 얻는다. 그리고 아래의 그림 29와 그림 30은 명도와 대비값을 적용하기 위한 퍼지 추론기의 전체적인 순서 및 추론기로의 입력과 출력관계를 나타낸 것이다.

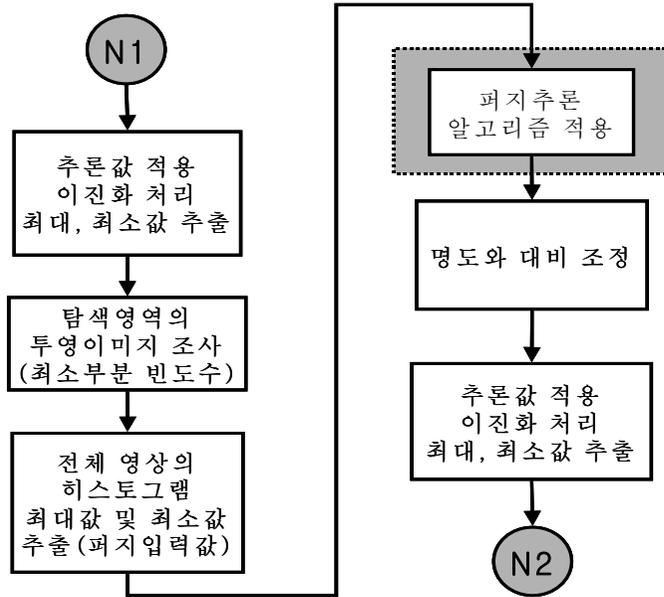


그림 29. 명도와 대비값 결정을 위한 순서도



그림 30. 퍼지 추론을 이용한 명도와 대비값 추출

다음의 그림 31은 입력값과 출력값의 소속도를 삼각형 형태의 퍼지수를 사용하여 멤버쉽 함수를 결정하였다. 전체적인 처리 과정은 4.1절에서 논의한 바와 같은 형식으로 처리된다.

단, 소속함수의 형태나 전체 입력값의 범위는 다르게 구성되어 있으며 그 외의 항들은 앞에서 제안한 과정을 통하여 출력값을 얻는다.

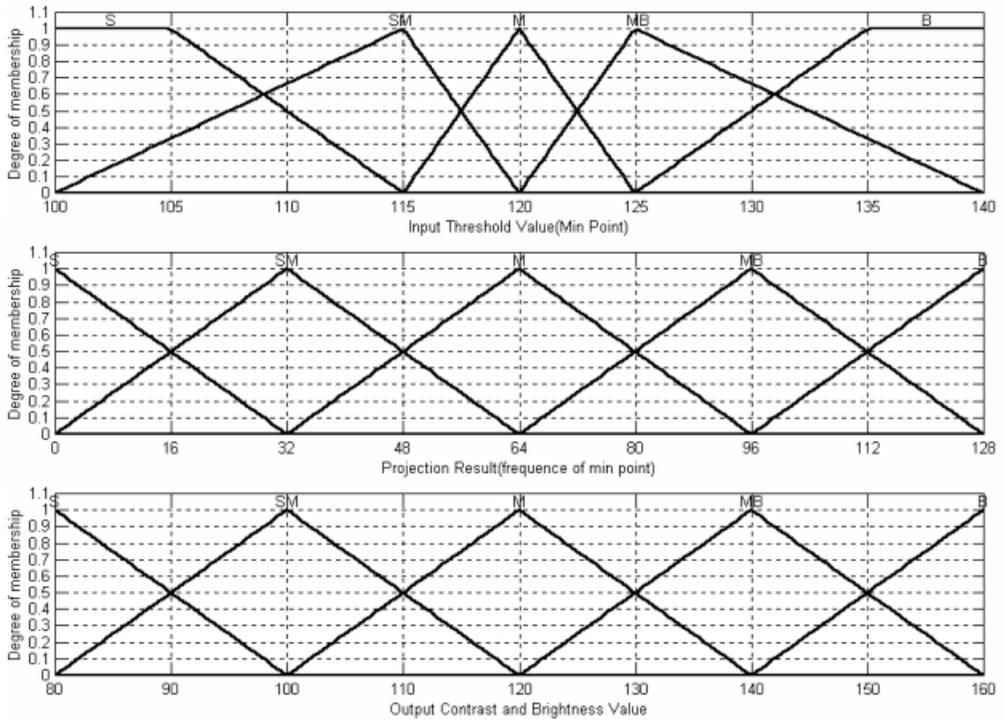


그림 31. 명도값 및 대비값 추출을 위한 입·출력변수의 소속함수

표 2. 명도와 대비 추출을 위한 퍼지 추론 규칙

HV \ PF	S	SM	M	MB	B
S	M	M	M	MB	MB
SM	M	M	MB	MB	MB
M	M	MB	MB	MB	B
MB	MB	MB	MB	B	B
B	MB	MB	B	B	B

위의 표 2는 명도와 대비를 결정하기 위한 퍼지 제어 규칙으로서, 4.1절에서와 같이 전체 입력 변수와 출력 변수 값의 범위를 같은 항인 S(Small), SM(between Small and Medium), M(Medium), MB(between

Medium and Big), B(Big)로 전체 5단계로 나누었다. 명도와 대비에 해당하는 부분도 실제 임계값과 같은 형태로 일정한 상수값의 형태로 되어있으며 이 값을 제안한 퍼지 추론규칙을 통하여 추출하여 프로그램상의 함수에 반환하여 입력 영상에 명도와 대비의 효과를 주어 출력 영상을 향상시킨다. 결과적으로 이진화 처리 결과의 투영을 조사함으로써 보다 낮은 위치 정보를 얻고자 함이다.

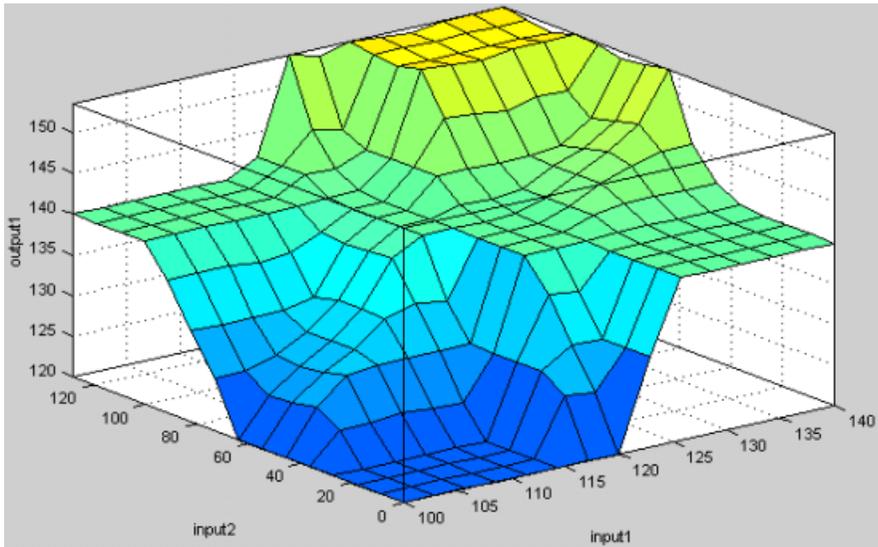


그림 32. 퍼지추론 규칙의 제어 평면

입력1 : 임계값의 최소값에 해당하는 명암값

입력2 : 대상물 이진영상의 투영 이미지에서 최소값의 빈도수

출력 : 명도와 대비값

위의 그림 32는 표 2에서 제시한 입·출력에 따른 퍼지 추론 규칙을 3차원화 하여 나타낸 것으로 X축과 Y축은 각각 추론기의 전건부 입력변수의 범위, Z축은 퍼지 추론기의 후건부 출력 변수의 범위에 해당하며, 따라서 두 개의 입력값의 변화에 대한 단일 출력값의 변화, 즉 출력공간 맵(output surface map)을 3차원 공간화하여 시각적으로 나타낸 것이다.

4.3 퍼지 추론에 의한 영상의 침식과 팽창연산

본 논문의 시스템에서 사용된 입력영상은 기본적으로 잡음을 제거하기 위하여 여러 가지 필터 알고리즘이 있지만, 본 논문에서는 기본적으로 입력 영상에 대하여 잡음을 제거하기 위하여 메디언 필터(median filter)를 사용하였다. 그러나 필터를 거친 이미지에도 출력에 영향을 미치는 잡음 요소가 있기 때문에 이를 이진 영상에 대하여 모폴로지 기법 중에서 침식과 팽창 처리를 통하여 제거하였다.

이진 영상의 투영이미지를 생성하고, 투영 이미지의 탐색을 통하여 대상물에서 원하는 위치정보를 추출하는 과정에서 보다 정확한 위치정보를 얻고자 퍼지이론을 적용한 예를 논의한다.

아래의 그림 33은 입력 영상을 퍼지 추론을 이용하여 이진화 처리 한 후 모폴로지 기법인 침식과 팽창 처리에 대하여 처리 과정을 시각적으로 나타낸 부분이다.

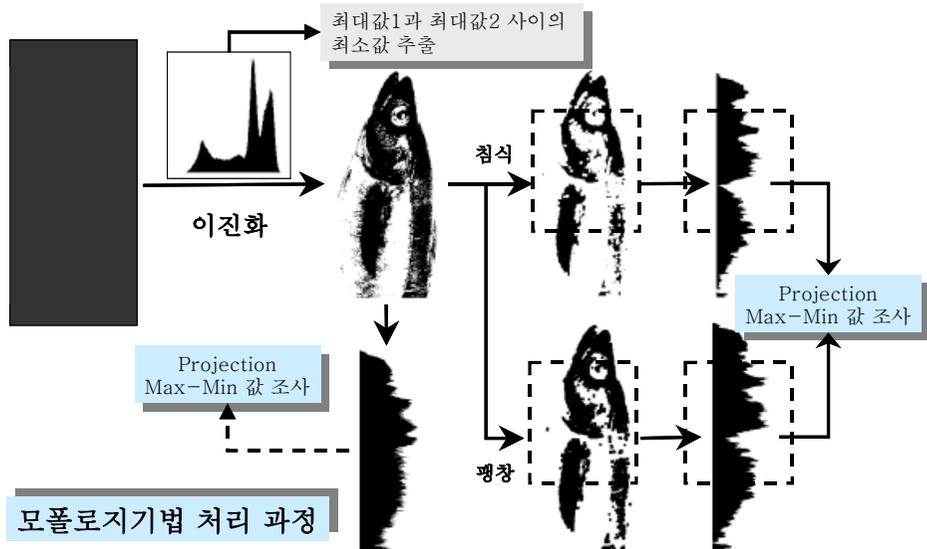


그림 33. 입력영상의 침식 및 팽창처리

앞에서의 그림 33에서 알 수 있듯이 대상의 투영이미지로부터 위치정보를 알아내는 것이 본 비전 시스템의 목적이므로 임계값의 결정이 끝난 후 이진화한 결과 영상으로 투영이미지를 생성시 탐색구간에서 정확한 정보를 추출하기가 모호한 경우가 발생할 수 있다. 따라서 이런 경우 침식과 팽창처리를 통하여 원하는 투영이미지를 생성하여 원하는 결과를 얻는 방법이다.

침식과 팽창처리는 이진화된 영상에 대하여 반복적인 처리를 통하여 최적의 결과를 얻는 것이기 때문에 본 논문에서는 조건에 기대치 않은 투영이미지가 출력되면 이를 퍼지 기법을 통하여 오차를 보정하고자 한다.

아래의 그림 34는 침식과 팽창 처리를 위한 순서도를 나타낸다.

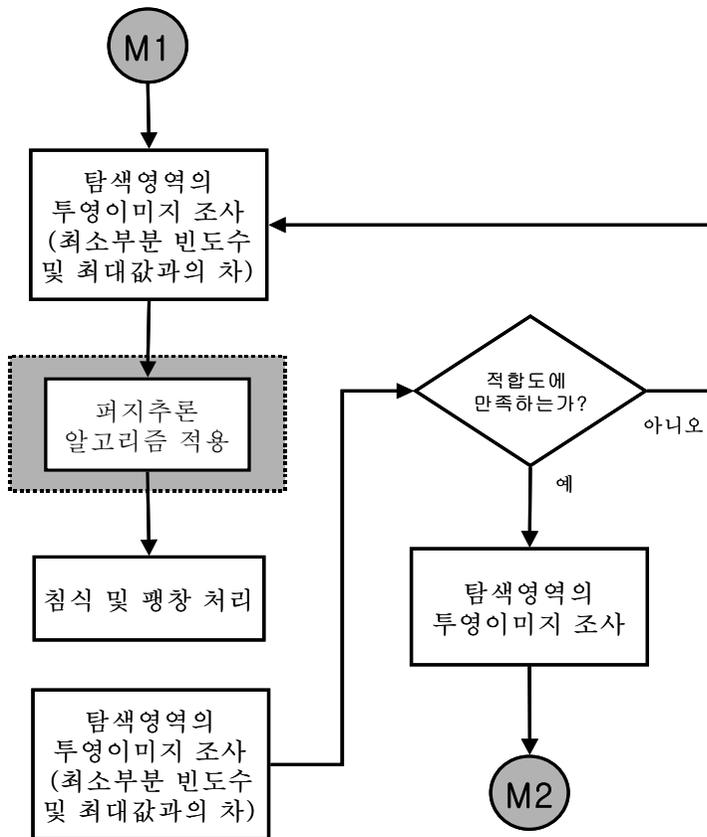


그림 34. 침식과 팽창 처리를 위한 순서도

아래의 그림 35는 추출된 입력값을 퍼지화하고, 퍼지 추론 규칙을 통하여 실제 원하는 결과를 얻기 위하여 침식과 팽창처리 횟수를 결정하는 과정이다. 아래의 그림 35에서와 같이 임계값을 적용하여 얻어진 이진화 결과로 투영이미지 정보를 만들고 이를 이용하여 탐색 방향으로 최대값과 최소값의 차가 적은 경우를 찾아낸다. 그리고 이 결과에 퍼지추론을 적용하여 침식과 팽창을 통하여 외부의 픽셀을 줄이거나 확장시킴으로써 잡음을 줄이거나 불필요한 픽셀들을 제거할 수 있다.

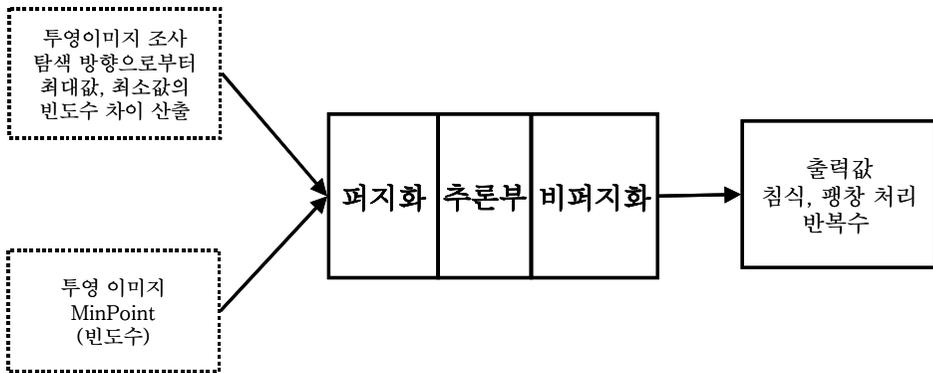


그림 35. 퍼지 추론을 이용한 침식과 팽창 처리

다음의 그림 36은 침식과 팽창처리를 위한 퍼지 추론을 적용하기 위하여 추론기로의 입력값과 출력값을 퍼지화 및 비퍼지화하기 위한 멤버쉽 함수(membership function)이다.

본 절에서도 앞 절에서 제안한 바와 같이 입력 변수의 구간에 대하여 각각 5단계로 나누었다. 첫 번째 입력변수의 구간은 그레이 레벨의 표현 범위인 0부터 255까지 256단계의 수를 모두 사용하였고, 출력변수의 범위는 입력에 대하여 퍼지추론을 적용하여 무게중심법을 이용하여 비퍼지화 결과 최소 1번에서 최대 5번의 침식과 팽창처리를 각각 수행하도록 설계하였다.

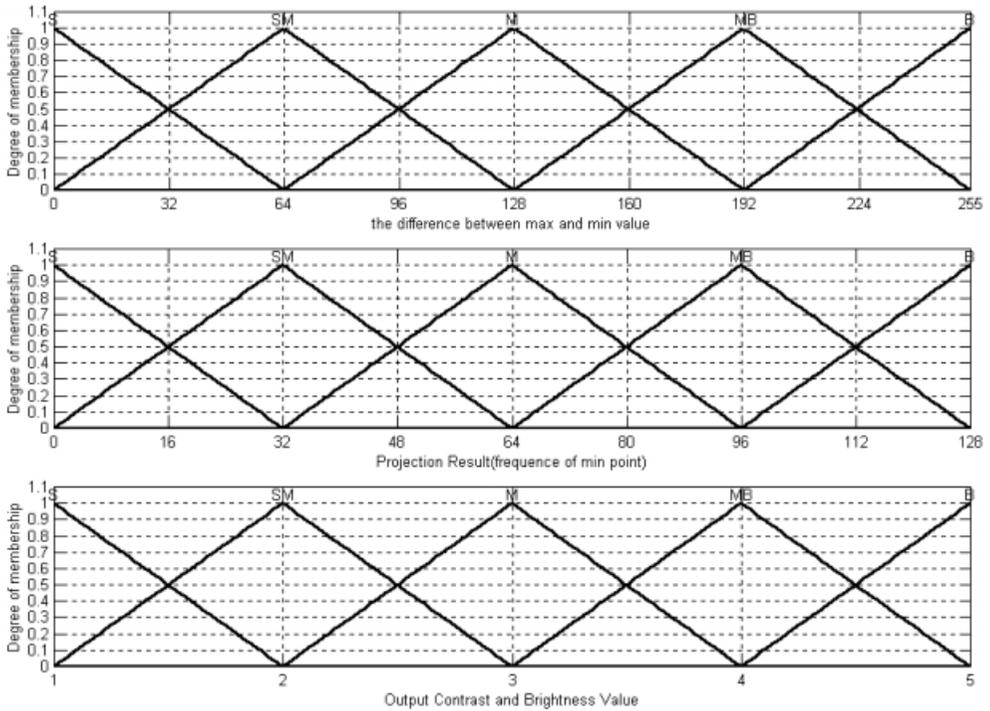


그림 36. 침식과 팽창처리를 위한 입 · 출력변수의 소속함수

표 3. 침식과 팽창 처리를 위한 퍼지 추론 규칙

HV \ PF	S	SM	M	MB	B
S					S
SM				SM	SM
M		MB	SM	SM	SM
MB	MB	MB	MB	M	M
B	B	B	MB	M	M

위의 표 3은 침식과 팽창처리를 위한 퍼지 추론 규칙 테이블이다. 전건부의 각각 5개의 입력 변수에 대하여 후건부 출력 관계를 25개의 규칙을 이용하여 나타낸 것이다. 규칙의 구성은 전문가의 지식이나 경험, 실험 데

이터를 바탕으로 “IF - THEN” 형식으로 구성되어 있기 때문에, 이를 테이블 화하면 위의 표와 같은 형태로 표현된다.

아래의 그림 37은 표에서 제시한 퍼지 추론 규칙을 3차원화 하여 나타낸 것으로 X축과 Y축은 추론기의 전건부 입력변수의 범위, Z축은 퍼지 추론기의 후건부 출력 변수의 범위에 해당하며, 이에 따른 제어 평면을 시각적으로 나타낸 것이다.

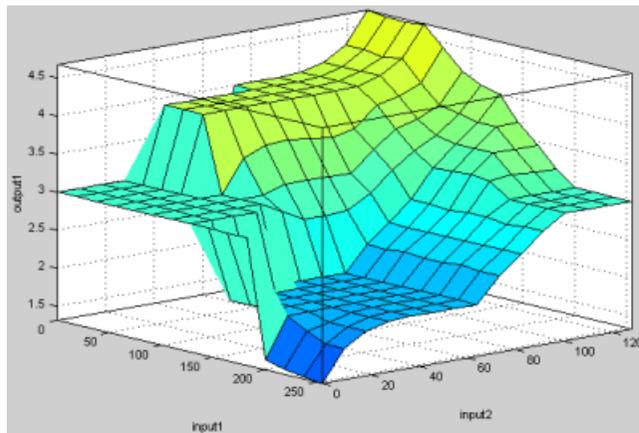


그림 37. 퍼지추론 규칙의 제어 평면

입력1 : 투영이미지의 최대, 최소값 빈도수의 차

입력2 : 투영이미지의 최소값의 빈도수

출력 : 침식, 팽창처리 반복수

본 논문에서 제안한 처리 알고리즘을 통하여 보다 나은 출력 결과를 얻기 위하여 먼저 실험 결과와 이론적인 배경을 수립 후 알고리즘을 작성하였다. 본 논문에서 알고리즘의 타당여부를 알아보기 위하여 매트랩(Matlab)의 퍼지 툴박스(fuzzy tool box)를 이용하여 설계한 알고리즘이 원하는 결과를 출력하는지 검증 후, 실제 실험 환경인 마이크로 소프트웨어(Microsoft)사의 Visual C++의 MFC(Microsoft Foundation Class)환경에서 작성된 프로그램에 적용하여 실험하였다.

제 5 장 제어모듈 구현 및 실험

본 장에서는 앞 장에서 제안한 영상처리 알고리즘을 바탕으로 실제 시스템에 적용하기전 본 논문에서 구성한 시스템을 소개한다. 전체적인 시스템 개략적인 구성 및 각 모듈간의 인터페이스 관계는 아래의 그림 38와 같으며, 전체적인 제어 모듈의 구성은 영상획득 및 처리부, 제어부 그리고 구동부 3부분으로 나뉜다.

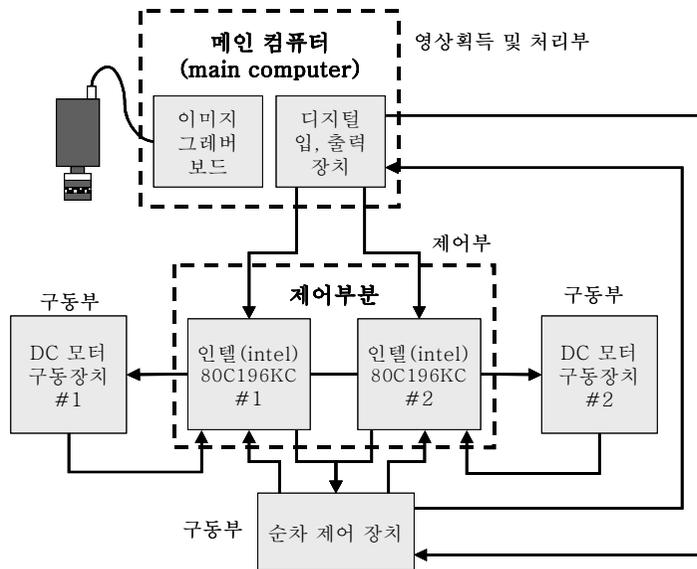


그림 38. 전체 시스템의 구성도

5.1 영상획득 및 처리부

본 논문에서 사용된 비전 시스템 및 다른 외부의 장치에 데이터를 전달하거나 획득 및 제어신호를 전달하기 위한 인터페이스 장치의 전체 구조는 다음의 그림 39와 같고, 실제 시스템상의 인터페이스 관계와 실장 및 시스템 외형은 부록 1을 참고하기 바란다.

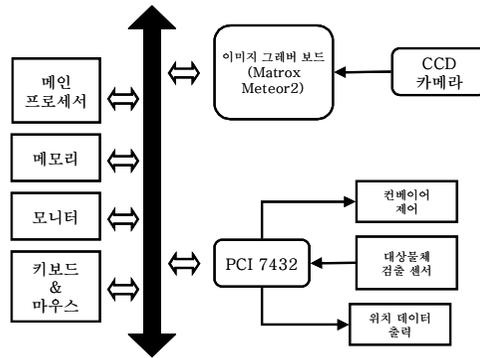


그림 39. 비전 시스템의 구성

위의 그림 39에서 알 수 있듯이 대상물의 정보가 디지털화 되어 PC의 메모리에 저장되면 이를 처리 알고리즘을 이용하여 원하는 값을 추출하고 제어부로 데이터를 전송하게 된다. 호스트 컴퓨터 쪽의 프로그램 수행시 디지털 I/O 카드를 통하여 제어부의 프로세서가 다음 데이터를 요구하면 이전 영상 데이터의 프레임을 갱신하고 다시 처리 과정을 거쳐 새로운 정보를 추출하여 제어부로 전송한다. 이런 일련의 과정을 반복적으로 수행하면서 시스템을 운용하게 된다.

표 4. 영상처리 시스템의 개발환경

개발 도구	사 양
중앙처리장치 (CPU)	Intel Celeron 333MHz
개발 운영체제	Windows 98SE
개발 툴	Visual C++ 6.0
디지털 입·출력 카드 (Digital Input Output Card)	PCI-7432 64채널(각각 32채널) 디지털 Input, Output
이미지 그레버 보드 (Image Grabber Board)	Matrox사의 Meteor II Image Grabber
CCD 카메라	SAMSUNG SHC-410NAD, NTSC

위의 표 4는 입력 영상에 대하여 대상물을 인식하고 위치 정보를 추출하기 위한 영상처리 알고리즘 적용부인 PC와 비전 시스템을 기반으로 한 메인 시스템의 구성요소 및 개발 환경이다. 위의 구성요소로 이루어진 메인 시스템은 디지털 입·출력 카드의 입력과 출력 단자를 이용하여 제어부와 동기를 맞추는 역할을 한다.

5.2 제어부 및 구동부

호스트 컴퓨터에서 전송한 데이터는 일종의 위치 신호로서 각각 8비트로 십진수로의 표현 범위는 0부터 255까지 256가지의 수를 나타낼 수 있다. 이는 실제 대상물의 특정 부분의 위치 정보로 이 값은 다시 프로세서 내부의 제어 알고리즘에 따라서 구동부의 DC모터의 이동 거리로 환산하여 제어출력으로 보낸다. 아래의 그림 40은 제어부의 마이크로 컨트롤러인 인텔 80C196KC와 구동부인 DC모터의 연결관계 및 이동환경과 제어 신호 체계를 나타낸 그림이다.

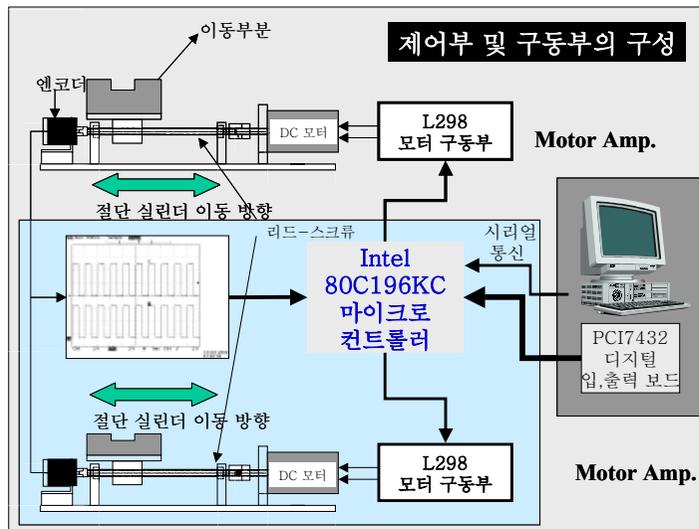


그림 40. 제어부와 구동부 연결관계 및 제어신호

본 논문에서 인텔 80C196KC는 멀티버스(multi bus)구조이며, 풍부한 인터럽트 소스와 고속 입·출력을 위한 HSI(High Speed Input)와 HSO(High Speed Output), 모터 제어용 출력 단자인 세 개의 PWM 신호, 8/10비트의 A/D 컨버터 등, 총 8비트 I/O 포트가 5개가 있으므로 하나의 컨트롤러로 다양한 기능을 구사할 수 있는 장점이 있다^[24].

본 논문에서는 2개의 제어용 프로세서를 사용하였으며, 제어부의 마이크로 컨트롤러는 입력 전용 8비트 포트 0을 통하여 호스트 컴퓨터에 장착된 디지털 입·출력 카드로부터 8비트의 데이터값을 받아 모터의 이전 진행방향과 시스템의 관측용 및 제어용 센서의 값을 조합 판단하여 다음 모터의 진행 방향 및 제어 동작을 산출한다. 또한 HSI 입력단자를 이용하여 모터의 회전수를 엔코더의 출력 펄스열을 측정하여 원하는 거리를 움직일 수 있도록 폐루프 제어를 하였다. 그리고 센서의 동작을 알기 위하여 외부 인터럽트 발생 여부를 감지하여 주어진 동작의 처리 과정에 따라서 상황에 대처하도록 하였다.

이런 일련의 모듈별 처리 및 동작 과정을 나타내면 그림 41과 같다.

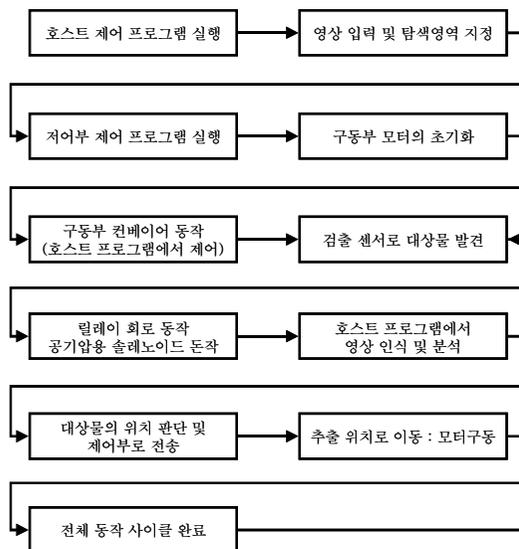


그림 41. 시스템의 전체 동작 과정

이동 로봇이나 매니플레이터 등의 시스템에는 움직임을 발생시키는 액추에이터가 반드시 필요하다. 즉, 외부환경을 인식하는 부분이 센서나 카메라이면 일을 하는 부분이 바로 액추에이터로서, 소형 및 경량이고 토크 등의 출력이 커야하고 에너지 효율도 좋고 제어하기 쉬워야 한다^[25].

본 논문에서는 엔코더를 DC 모터 회전축에 부착하여 속도와 위치 정보를 알아내서 속도나 위치 제어 알고리즘 등이 지령 값과 실제 값의 차이를 없애면서 모터를 움직이도록 제어하였다. 그리고 본 논문의 시스템의 제어 요소는 각종 감지 센서, 공기압 실린더로 구성되어 있다. 그리고 정격전압 DC24[V], 정격전류 1[A]의 릴레이를 사용하여 시퀀스 회로를 구성하였고, 이를 사용하여 공기압 실린더를 제어하였다.

아래의 그림 42는 구동부의 구성 요소와 이들의 제어부와 호스트부의 지령에 따른 순차적인 동작 과정을 나타낸 시스템의 타이밍도이며, 표 5는 본 논문의 시스템에 사용된 제어부 및 구동부의 구성요소와 개발환경이며, 제어부와 구동부의 회로도도 는 부록 2에서 부록 5를 참고하기 바란다.

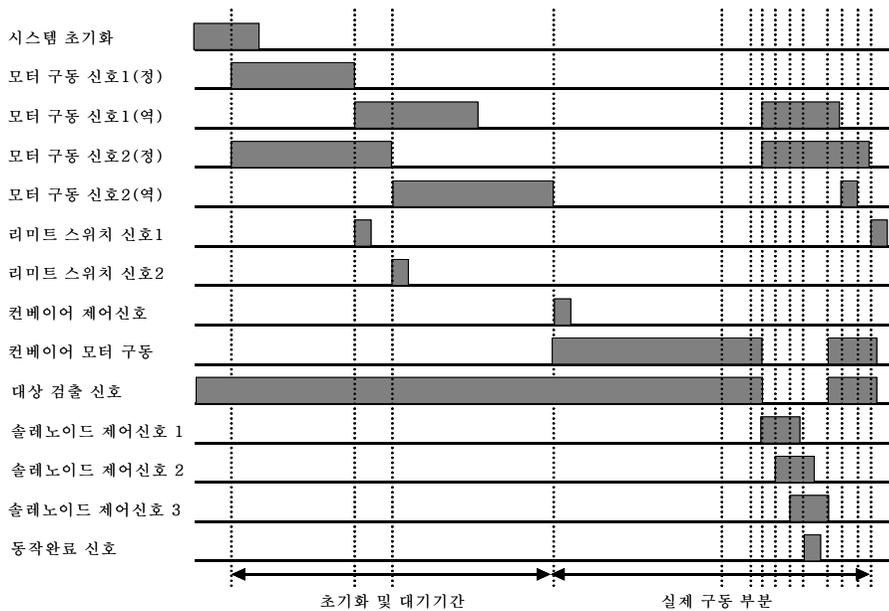


그림 42. 시스템 타이밍도

표 5. 시스템의 개발 환경

개발 도구	사 양
개발 툴	IC96 C-컴파일러(80C196KC)
모터 제어용 마이크로 프로세서	80C196KC 3채널 PWM 출력, 3채널 카운터
DC 서보모터	2000rpm, 40W, 0.6A, DC60V
엔코더	Autonics사 ENB-25-2-1(1회전 25펄스, 2상)
절단기 파워 소스	공압장치
동작 검출용 센서	Autonics사의 BE300-DFAL 광센서
	APD-C75 자기센서
순차 처리용 소자	릴레이(24VDC), 공압 솔레노이드 공압 실린더
모터 구동 드라이브	L298, 3A, 55V, 듀얼 H브릿지 내장형

5.3 실험 및 결과

본 장에서는 제 4장에서 제안한 퍼지 추론을 이용한 영상의 인식 및 처리 알고리즘 및 5.1절과 5.2절에서 각 제어 모듈의 구성을 통하여 본 장에서는 실제 전체 모듈을 조합하여 실험한 결과를 제시한다.

본 논문에서 사용한 대상물은 어류를 사용하였으며, 이는 조명이나 대상의 형태에 따라서 많은 변화와 다양한 형태의 패턴을 가진다. 따라서 본 시스템에서 사용한 전체 입력 영상은 320×240 의 화소를 가지며, 한 화소는 8비트의 분해능을 가지고 0부터 255까지의 그레이 레벨의 영상을 사용하였다.

다음의 그림 43는 입력 영상에 대하여 전체 영상의 히스토그램과 대상물, 즉 탐색 영역에 대한 히스토그램 정보와 최종 위치를 추출하게 되는 탐색 영역의 이진 영상에 대한 투영이미지를 나타내고 있다.

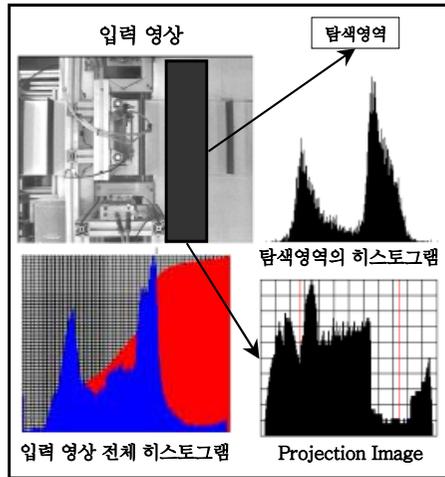


그림 43. 입력 영상의 분석 결과

본 논문에서는 제안한 방법의 성능을 평가하기 위하여 기존의 수동으로 입력영상을 조정하는 프로그램과 제안한 알고리즘을 적용한 프로그램을 비교 설명하기로 한다. 대상의 종류는 동일한 정보를 가지는 어류에 대하여 외부의 환경의 변화, 여기서는 조명의 유무로 인위적으로 외부에서 조명원을 두어 빛을 주거나 주지 않는 방식으로 실험 환경을 만들었다. 실제 대상물은 그레이 레벨의 화소로 구성되어 있기 때문에 조명에 따라서 상당히 민감한 반응을 보인다. 따라서 이진화 결과 역시 조명 유무에 따라서 임계값을 각각 다르게 적용해야만 원하는 결과를 얻을 수 있다.

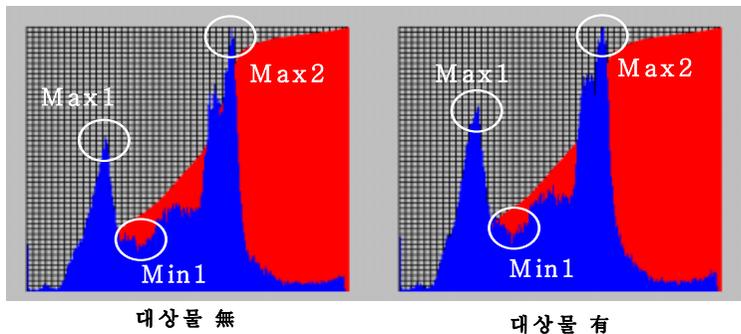


그림 44. 입력영상의 히스토그램 결과

앞에서의 그림 44는 임계값 결정을 위한 입력영상의 히스토그램이며, 히스토그램을 통하여 알 수 있듯이 전체 영상의 히스토그램에 대상물의 히스토그램이 속해 있는 것을 볼 수 있다.

다음의 그림 45는 영상처리 시스템의 화면의 각 구성 요소 및 기능을 나타낸 것이다.

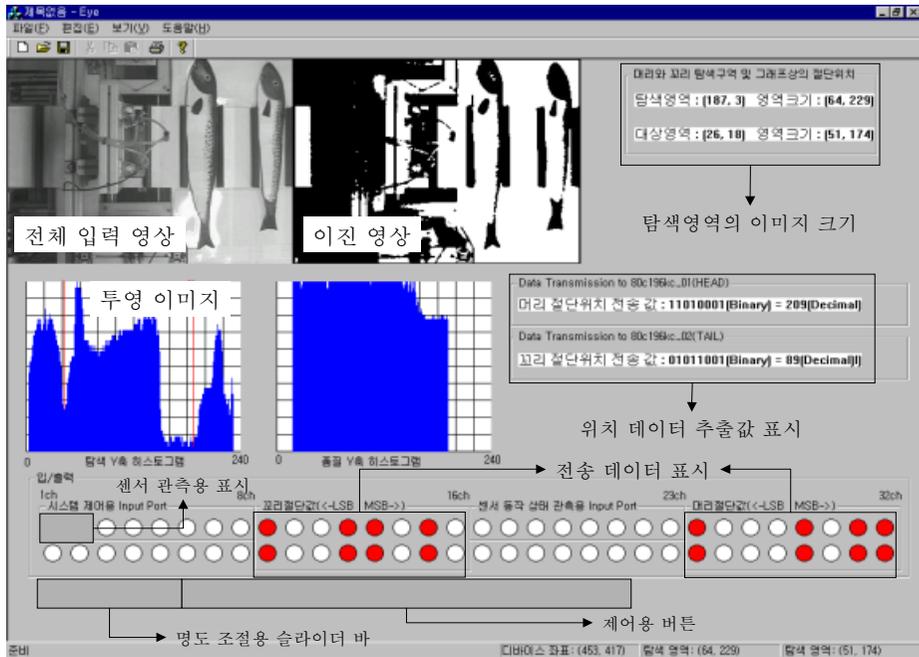


그림 45. 기존 시스템의 영상처리 프로그램

위의 그림 45에서 알 수 있듯이 기존의 시스템에서는 입력영상에 대하여 미리 투영 이미지의 결과를 보고 그림의 좌측 하단에 있는 슬라이더 바를 움직임으로서 원하는 결과가 나올 때까지 사용자가 눈으로 확인하며 작업을 수행해야만 했다. 따라서 조명의 변화가 있으면 그때 마다 조정을 해야하는 문제점을 안고 있었다. 다음의 그림 46과 그림 47은 슬라이더 바의 조절에 따라 입력영상의 정보에 영향을 주어 투영이미지가 변하는 것을 나타낸 것이다.

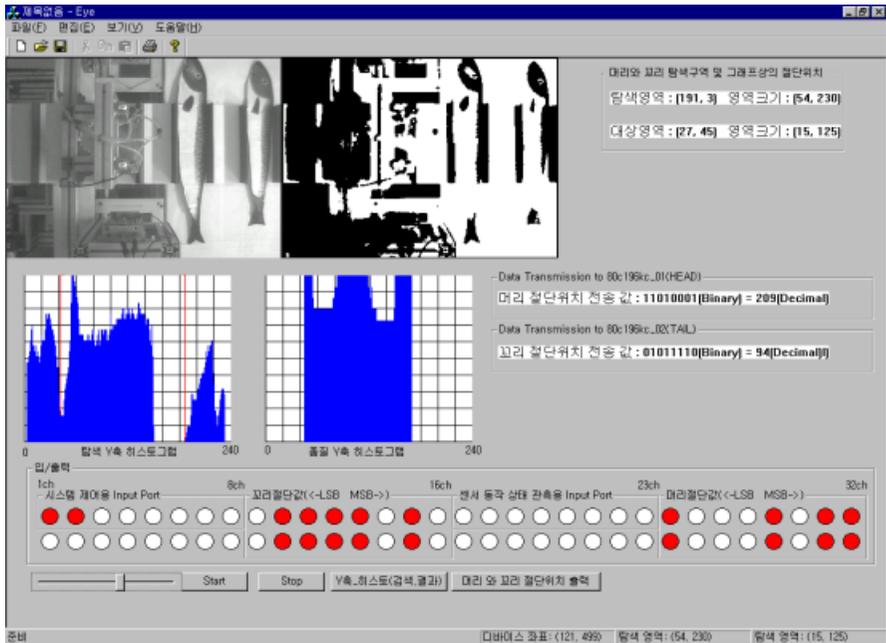


그림 46. 기준값(128)을 기준으로 상향 조정 한 결과

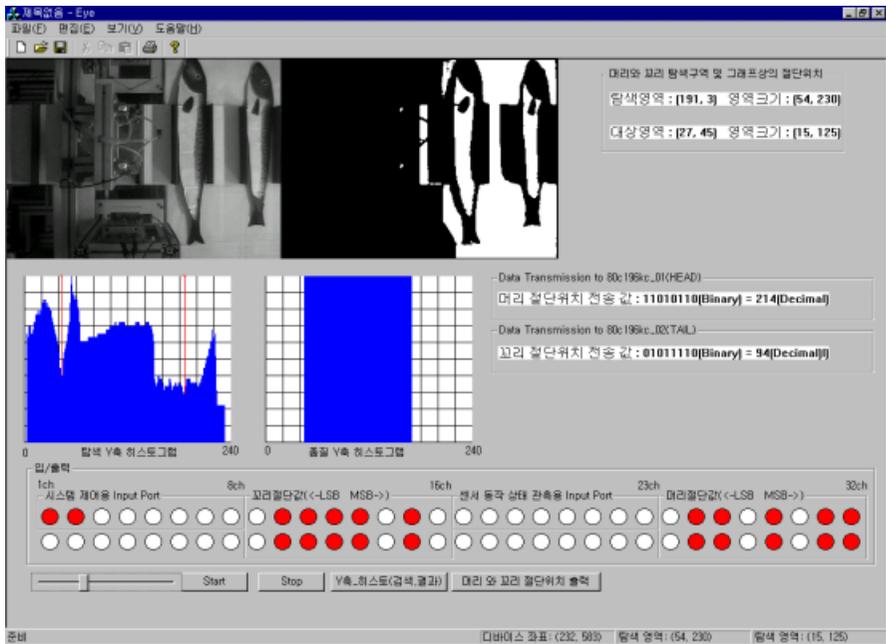


그림 47. 기준값(128)을 기준으로 하향 조정 한 결과

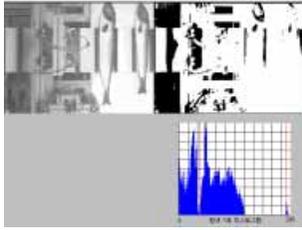


그림 48. 밝기 레벨1

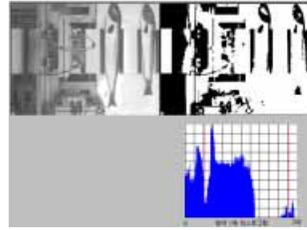


그림 49. 밝기 레벨2

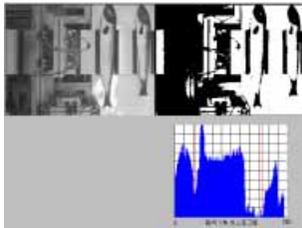


그림 50. 밝기 레벨3

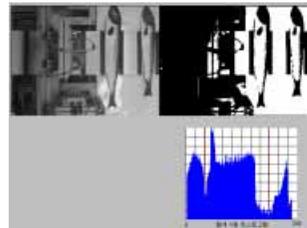


그림 51. 밝기 레벨4

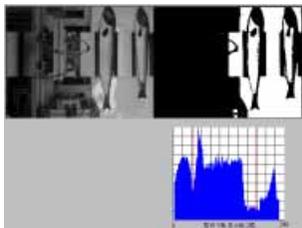


그림 52. 밝기 레벨5

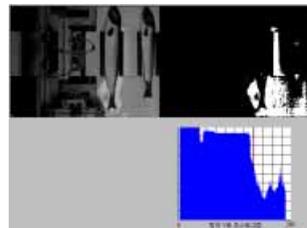


그림 53. 밝기 레벨6

위의 그림 48에서 그림 53은 각 6가지의 조명 효과를 주어 그에 따른 투영이미지를 조사한 결과이다. 여기서 밝기 레벨이 높을수록 어두운 영상이 입력된다. 앞에서의 그림 46과 그림 47에서는 슬라이더 바를 조정하여 입력 영상에 영향을 줄 수 있지만, 외부 조명의 변화가 있을 때도 입력 영상에 변화를 가져온다. 바꾸어 생각하면 외부의 변화가 있을 때 슬라이더 바를 이용하여 입력 영상에 대하여 명도를 바꾸어 준다면 이런 변화에도 일정한 결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 수동적인 방법으로 결과를 향상시키는 방법을 배제하고 퍼지 추론을 이용하여 비전 시스템의 성능을 향상시켜 4장에서 제안한 알고리즘을 실제 실험 결과를 제시한다.

3장과 4장에서 미리 제시한 바와 같이 외부의 변화를 감지하여 출력을 개선시키는 방법에서 명도만으로는 그 요소가 충분치 않아 대비와 침식, 팽창 처리를 병행하여 처리하였다.

아래의 그림 54는 제안한 처리 알고리즘을 적용한 영상처리 프로그램의 전체적인 구성이다.

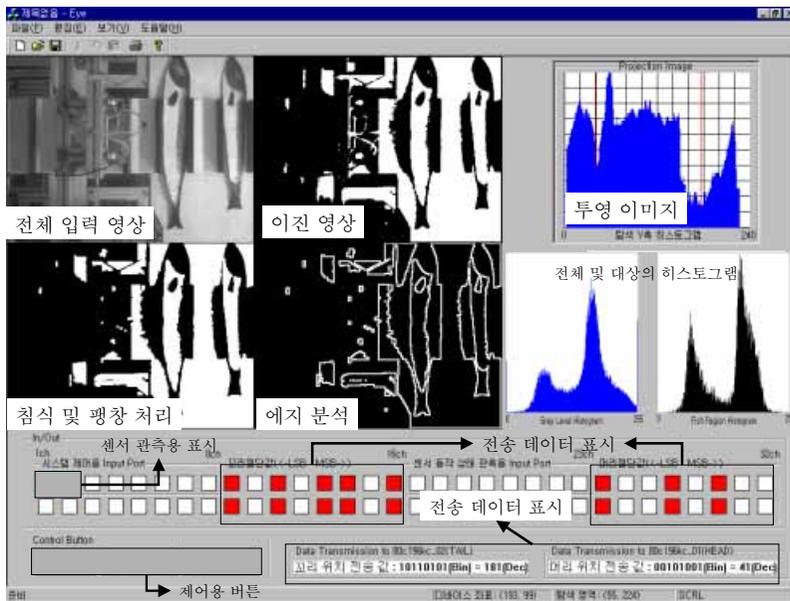


그림 54. 퍼지 추론을 적용한 영상처리 프로그램의 구성

다음의 그림 55는 밝은 상태, 즉 외부에 조명을 설치하여 실내 환경에서 영상을 입력받은 것이다. 여기서 외부 조명은 일반적으로 구하기 쉬운 형광등을 사용하였다. 예전 시스템의 경우는 아래의 경우 정확한 위치를 찾기가 어려웠으나 그림 우측의 결과에서 알 수 있듯이 투영이미지를 통하여 대상의 특정 위치를 분간할 수 있다.

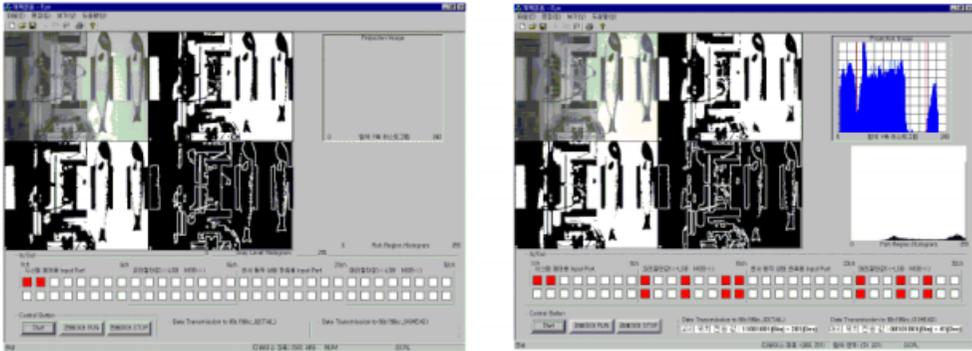


그림 55. 조명이 있는 경우의 입력영상 및 처리 결과

아래의 그림 56은 외부의 조명을 제거한 상태 즉 밀폐된 공간에서 자연광으로 만 영상을 입력받은 경우이다. 아래의 그림 56의 오른쪽의 처리결과에서 알 수 있듯이 투영 이미지를 통하여 대상의 위치를 찾을 수 있다. 이외에도 조명의 강약에 따라서도 실험을 하였으며, 그중 가장 밝은 경우와 어두운 경우로 외부 환경이 가장 열악한 상태에서 실험을 하여 결과를 제시한 것이다. 그 외의 경우에도 제안한 알고리즘이 환경에 잘 적응하는 것을 관찰하였다.

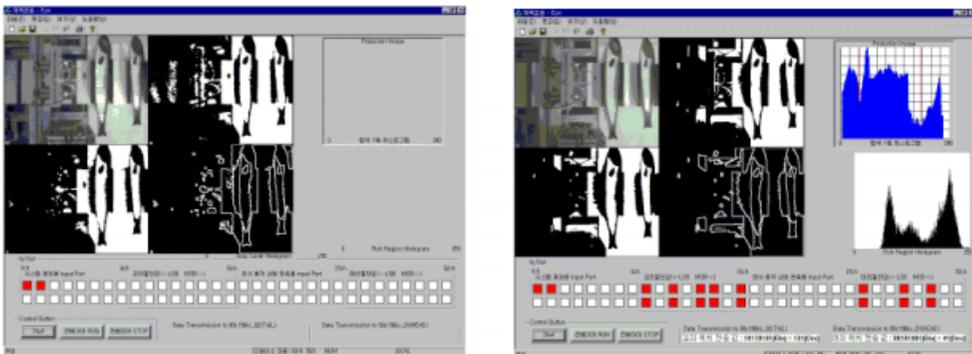
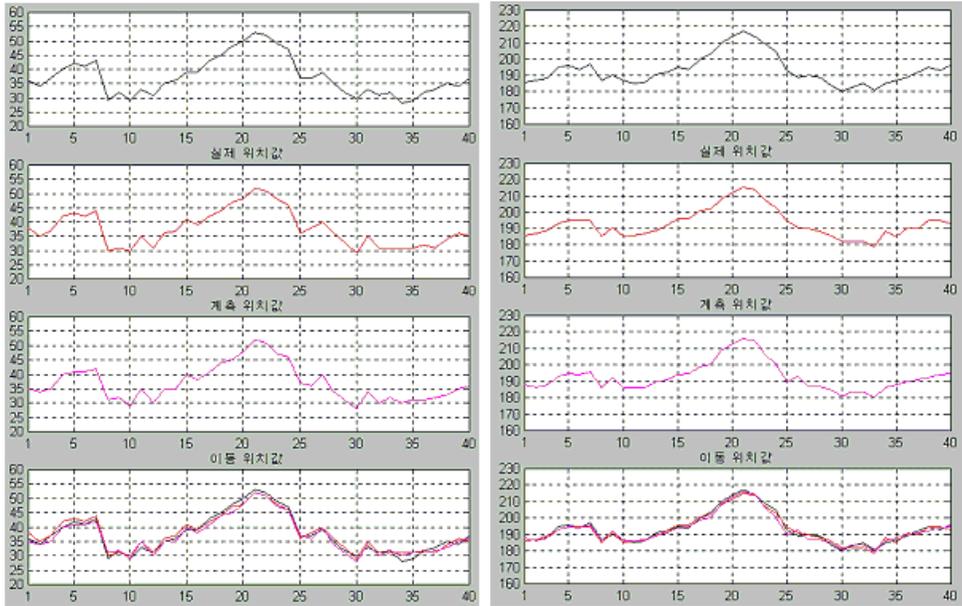


그림 56. 조명이 없는 경우의 입력영상 및 결과

다음의 그림 57과 그림 58는 외부 환경변화에 따른 영상처리 결과와 실제 시스템의 영상처리 및 모니터링 환경을 나타낸 것이다.

아래의 그림 59는 시스템의 구동시 실제 조작자가 관측한 거리와 영상 처리를 통하여 계산된 거리, 그리고 실제 모터의 이동 거리를 나타내며, 모두를 비교하면 2에서 10픽셀이내의 오차를 가짐을 알 수 있다.



x축 : 대상물의 처리수

y축 : Pixel수 및 이동위치

(a) 머리 부분

(b) 꼬리 부분

그림 59. 대상물의 위치 분포 및 계측과 이동 거리

제 6 장 결론

본 논문에서는 컴퓨터 비전 시스템 및 영상처리 기법과 지능제어 기법의 하나인 퍼지이론을 도입하여 대상물을 인식하고 원하는 위치를 정확하게 검출한 후 처리하는 시스템 모듈을 설계하고 구현하였다. CCD 카메라를 통하여 실제 대상물의 화상을 그레이 스케일의 이미지로 입력받은 후 단순히 영상처리 기법만을 적용하여 정확한 절단위치를 찾는다는 것은 힘든 일이었다. 물론 하나의 대상에 대한 검출 알고리즘은 쉽게 찾을 수 있지만, 이를 일반화하기에는 상당히 까다로운 조건들을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 다른 영상처리 기법보다 히스토그램을 이용한 처리기법과 투영이미지, 그리고 이미지의 침식과 팽창 처리를 언어적인 제어 기법인 퍼지 추론을 이용하여 실험한 결과 기존의 알고리즘에 비하여 주어진 환경에 빨리 적응하며, 비교적 여러 대상물에 대하여 효율적으로 적용되는 것을 알 수 있었다.

본 논문에서 구성한 제어 시스템은 PC, 마이크로 컨트롤러, DC 모터, 릴레이, 기타의 제어요소 각각의 제어 모듈별로 인터페이스하여 상위 시스템에서 하위 시스템을 효과적으로 처리할 수 있어 보다 구조적이고 일률적인 처리를 할 수 있는 기능을 가지고 제안한 알고리즘을 적용하여 기존의 기계식에 비하여 성능이 우수함을 알 수 있었다.

앞으로의 연구방향은 본 시스템은 하나의 대상물만 유효하게 적용되는 단점을 보완하며, 그레이 레벨의 흑백 영상 대신 칼라 영역에서 대상물의 인식과 위치를 추출하는 연구가 필요하다. 컴퓨터와 마이크로 프로세서 그리고 비전 시스템을 기반으로 하는 시스템의 보다 분산적이고 지능적인 제어시스템을 연구하여 호스트 컴퓨터와 각 개체들 사이에 상호 협조할 수 있는 지능형 다 개체 협력시스템을 개발하고자 한다.

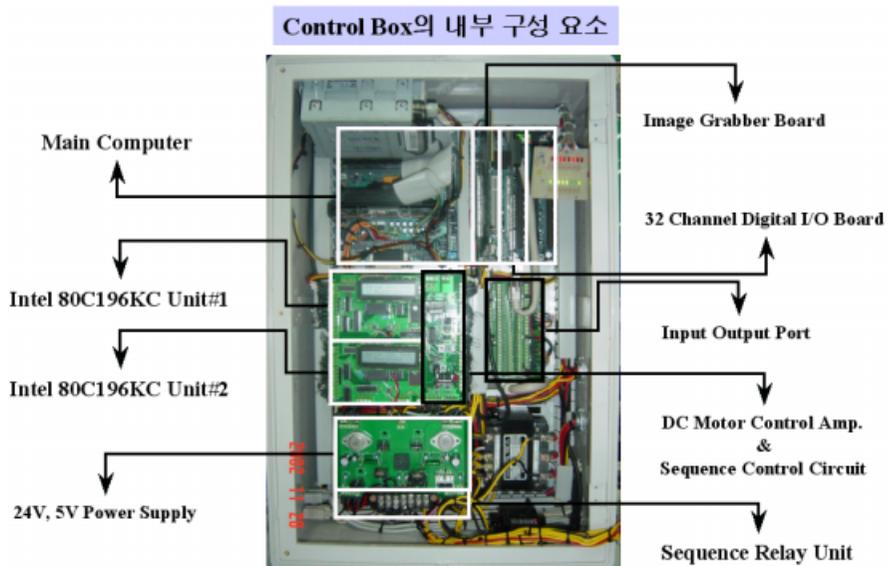
참 고 문 헌

- [1] James M. Keller, *Fuzzy set theory in computer vision: A prospectus*, *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 90, Issue 2, pp. 177-182, September 1997.
- [2] Kil-jae Lee and Zeungnam Bien, *A Model-Based Machine Vision System Using Fuzzy Logic*, *International Journal of Approximate Reasoning*, Volume 16, Issue 1, pp.119-135, January 1997.
- [3] Shaocheng Tong, Tao Wang and Han-Xiong Li, *Fuzzy robust tracking control for uncertain nonlinear systems*, *International Journal of Approximate Reasoning*, Volume 30, Issue 2, pp.73-90, June 2002.
- [4] 김관형, “실시간 화상처리 기법을 이용한 인공지능형 복합제어 시스템의 설계 및 구현”, 한국해양대학교 박사학위 논문, 2001.
- [5] 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.
- [6] Jacek M. Zurada, *Introduction to Artificial Neural System*, West Publishing Company, 1992.
- [7] Chin-Teng Lin and C.S. George Lee, *Neural fuzzy systems*, Prentice Hall, 1996.
- [8] 이상배, “퍼지-뉴로 제어 시스템”, 교학사, pp. 7-108 , 1999.
- [9] 이광형, 오길록, “퍼지이론 및 응용 I/II”, 홍릉과학출판사, 1991.
- [10] L. A. Zadeh, “*Fuzzy Sets, Information and Control 8*”, pp.338-353, 1965.
- [11] M. Mizumoto, *Pictorial representation of fuzzy connectives, Part I:cases of t-norms, t-conorms and averaging operators*, *Fuzzy Sets and Systems*, 31, pp.217-242, 1989.
- [12] L. A. Zadeh, *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility*, *Fuzzy Sets and Systems 1*, pp.3-28,1978.

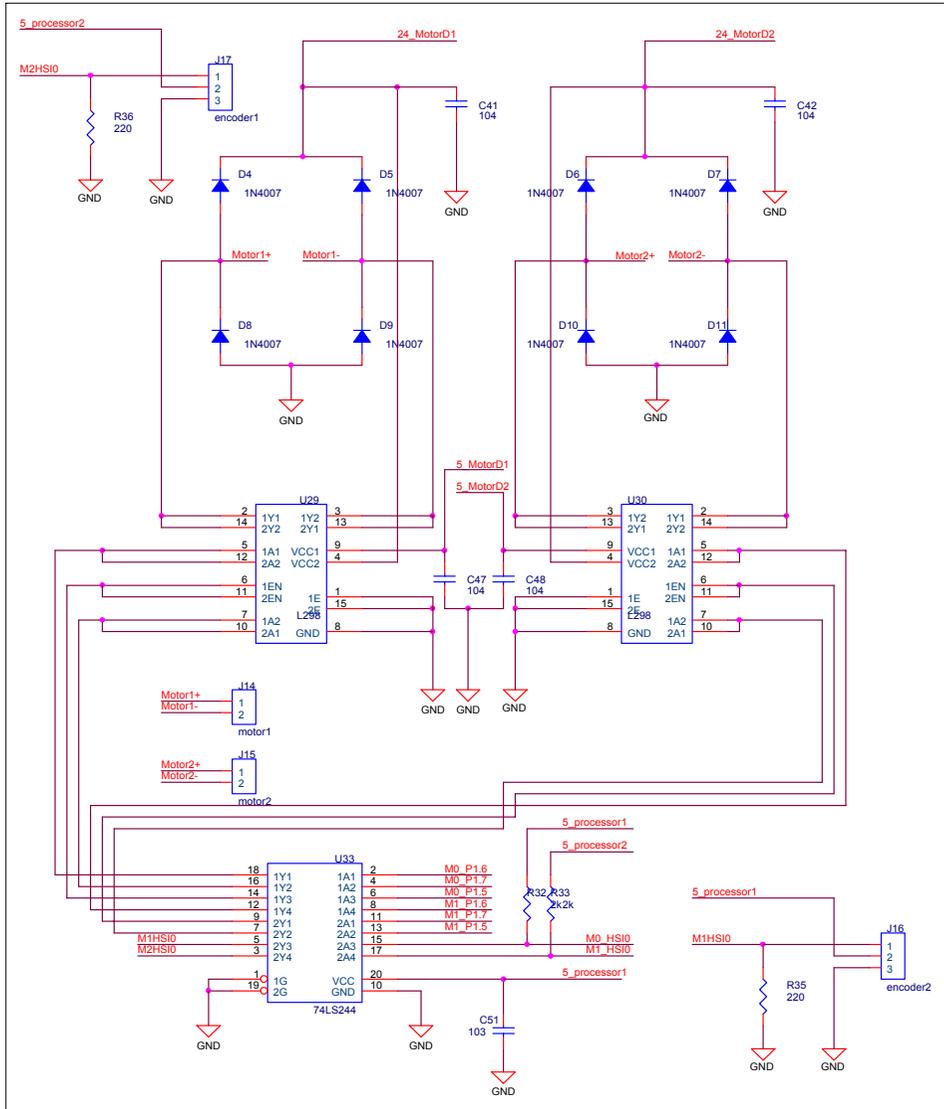
- [13] Jyh-Shing Roger Jang, ANFIS: "Adaptive Network Based Fuzzy Inference system", IEEE Trans. on system, Man, And Cyb. Vol. 23, No. 3, pp. 665-685, 1993.
- [14] J. S. R. Jang and C.-T. Sun, "Neuro-Fuzzy Modeling and Control", Proc. IEEE, March 1995.
- [15] M. Sugeno and M. Nishida, "Fuzzy control of model car", Fuzzy Sets Syst., Vol.16, 1985, pp.103-113.
- [16] Loughlin, C. , Hudson, E., "Eye in hand Robot Vision", 2nd ROVISEC, Stuttgart. pp.264-270, 1982.
- [17] Hu, N. K. , "Vision Recognition by Moment Invariants", IRE, pp.179-187. 1962.
- [18] Greg Pass and Ramin Zabih, "Histogram Refinement for Content-Based Image Retrieval." 3rd IEEE Workshop on Application of Computer Vision, pp.96-102, Dec. 1996.
- [19] Prewitt, J. M. , "Object Enhancement and Extraction", In Picture Processing and Psychopictorics, pp.75-150. 1990.
- [20] 김태영, 김관형, 김일, 이상배, "신경회로망의 패턴분류를 이용한 용접 갭 검출에 관한 연구", 한국 퍼지 및 지능 시스템 학회 논문집 Vol. 8, No. 2, pp.527-531, 1998.
- [21] 이주상, "신경회로망을 이용한 방향성 특징추출 지문인식방법에 관한 연구", 한국해양대학교 석사학위 논문, 2001.
- [22] I. Pitas, and P. Kiniklis "Multichannel techniques in color image enhancement and modeling", IEEE Trans. Image Processing, Vol.5, No. 1, pp.1352-1361, January 1996.
- [23] Y. Anzai, *Pattern recognition and machine learning*, Academic Press, Inc., 1992.
- [24] H. D. Cheng and Huijuan Xu, *A novel fuzzy logic approach to contrast enhancement*, Pattern Recognition, Volume 33, Issue 5, pp.809-819, May 2000.
- [25] C. W. de Silva, *Control Sensors and Actuators*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

부 록

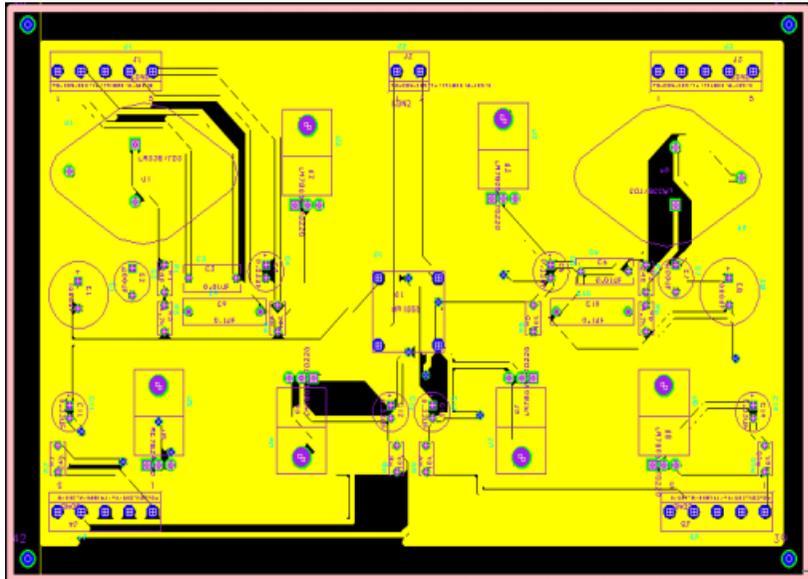
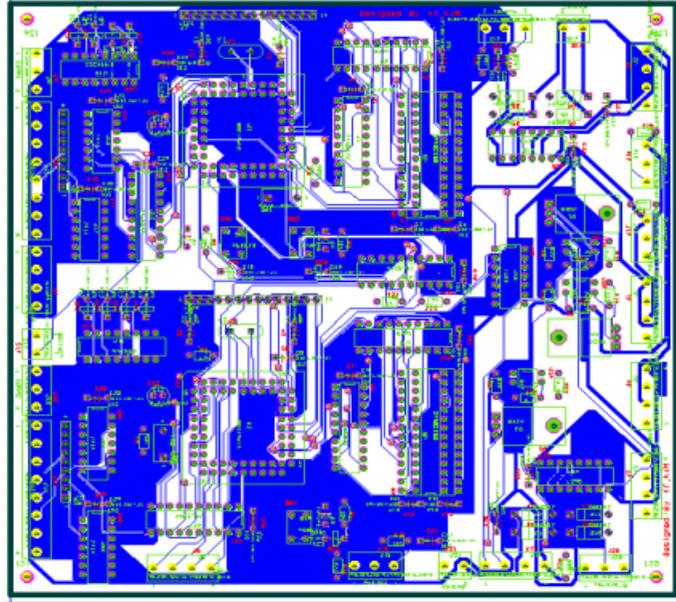
부록 60. 제어부, 구동부, 전원부 및 전체 시스템 구현



부록 5. 모터 구동 회로도



부록 6. 제어부, 구동부 및 전원부
PCB(Printed Circuit Board) 설계



감사의 글

2년 전 겨울, 아치섬에 자리잡고 있는 한국해양대학교의 매서운 바다바람을 맞으며 낯설고 새로운 곳에서의 생활이 시작되었습니다. 비록 석사 2년이라는 짧은 기간이었지만 많은 것을 배울 수 있었고, 작은 하나를 얻는다는 것이 얼마나 힘든 일인지를 알게 되었습니다.

이 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 지도와 편달을 아끼지 않으신 이상배 교수님께 머리 숙여 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 바쁘신 중에도 심사 과정에서 논문의 부족한 점을 지적해 주시고 격려를 주신 임재홍 교수님과 박동국 교수님께도 감사드립니다.

먼 진주에서 여러모로 도와주시고 지켜봐 주신 진주산업대학교의 김현덕 교수님, 탁한호 교수님, 추연규 교수님, 이광석 교수님, 이병로 교수님께도 감사드리며, 진주국제대학교의 김자룡 교수님, 최일홍 교수님, 박순규 교수님, 방만식 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 따뜻한 말과 관심을 가져주신 동부산대학의 김일 교수님께도 감사드립니다.

후배들을 위해 지원을 아끼지 않으신 채명기, 김관형, 이재현, 강성인, 이주상, 공석민 선배님 그리고 졸업하신 최성욱, 김태영, 방은오, 손창우 선배님들께도 감사드립니다.

연구실이라는 한 공간 안에서 동고동락하며 생활했던 희근, 재명이 형, 동한, 창규, 정훈 그리고 지난 1년 동안 새로운 환경에서 적응하는데 힘든 시간을 보냈을 강종윤, 유홍석, 김수정 후배님들께도 감사드리며 앞으로도 각자의 목표를 위하여 열심히 노력하시길 바랍니다.

비록 같은 길은 아니지만 사회에서 멀리서나마 관심 어린 눈길로 지켜 봐준 광영, 성용, 영길, 고향 친구 용원, 은경 그리고 다른 모든 친구들에게도 이 작은 결실과 고맙다는 말을 전합니다.

무엇보다도 이 논문이 있기까지는 저의 소중한 가족이 항상 지켜봐 주신 덕분입니다. 시골에서 아들 잘되기만을 바라시며 뒷바라지하시느라 헌신하시고 고생하시는 아버지, 어머니 그리고 오빠에게 따뜻한 격려와 먼저 석사를 마쳐 많은 것을 가르쳐준 둘째 동생 영림, 항상 응석받이로 오빠에게 힘이 되어준 우리 집 막내 미나 그리고 모든 친지분들께도 이 작은 결실을 바칩니다.