

## 동작특징에 대한 퍼지추론

### Fuzzy Decision based on Motion Characteristics

박세진 · 김경수 · 최형일

S.J. Park, K.S. Kim, and H.I. Choi

숭실대학교 정보과학대학

#### 요 약

본 논문에서는 유해 물질에 인간보다 더욱 민감하게 반응하는 어류의 움직임을 분석하여 수질의 상태를 감시하는 시스템에 대하여 기술한다. 자동수질감시 시스템(Water Quality Inspection System, WQIS)은 CCD 카메라를 이용하여 컬러 영상을 획득하고, 획득된 영상에서 어류들의 영역을 분할한 다음, 몇 개의 이전 프레임과 현재 프레임에서 얻어진 각각의 어류들의 위치를 이용하여 어류의 움직임을 묘사한다. 본 논문에서는 어류 행동 패턴을 반영하는 다섯 가지 유형의 특징을 정의하였다: 부유성(floatness), 회피성(fledness), 군집성(clusterness), 확산성(diffusiveness), 이동성(mobility). 이와 같은 어류의 행동 패턴을 반영하는 특징들을 이용하여 퍼지 추론을 수행하고 그 결과에 따라서 현재 유해물질이 유입되고 있는지 여부를 판단한다. 본 논문에 기술되는 WQIS은 호수 관리, 폐수 관리, 하천 관리 등과 같은 분야에 적용되어 오염물질의 유입과 같은 환경사고를 사전에 예방하는데 사용될 수 있으리라 본다.

#### ABSTRACT

This paper describes a monitoring system that examines water quality by analyzing behavioral patterns of fishes. The water quality inspection system (WQIS) captures color images of fishes with a CCD camera, extracts out fish regions from the images, and determines motion characteristics of fishes by computing consecutive frames. We define five types of measures that reflect behavioral patterns of fishes: floatness, fledness, clusterness, diffusiveness, and mobility. These measures are utilized when the system performs fuzzy inference to induce the conclusion about water quality. We believe that the proposed system can be a solution for securing clean water.

#### 1. 서 론

문명의 발전은 인간에게 많은 혜택을 주지만 반드시 그에 상응하는 보상을 요구한다. 산업의 발달로 인해 배출되는 오염물질의 종류와 양은 해마다 증가하고 있으며, 이를 처리하기 위한 첨단처리공정들이 개발되고 있다. 그러나 환경에 대한 관심 부족과 부주의 및 유지관리기술의 낙후 등으로 인하여 성분을 확인하기도 어려운 오염물질들이 상수원으로 무단 배출되어 자연 생태계를 위협함은 물론, 이를 식수원으로 이용하는 사람의 건강을 해치거나 죽음에 이르게 까지 하고 있는 실정이다. 이러한 급작스러운 오염 사고에 대처하기 위한 예방적인 연구나 대책이 없으면 고가의 첨단 수질 측정장비를 뒤 늦게 도입하기도 하지만,

불특정 오염물질 유입에 대한 대처 능력은 많은 비용을 투자한 기기의 복잡성에 비해 매우 열악하다고 볼 수 있다. 따라서, 자연 생태계를 위협하는 수질오염 인자에 민감하게 반응하는 어류를 이용하여 생태계를 보전함은 물론 상수원을 보호함으로써 환경문제에 대한 보다 깊이 있는 사고를 고취시키는 효과를 창출하는 의미에서 본 연구가 이루어졌다.

일반적으로 어류는 인간보다 수질의 변화에 민감하다. 어류들이 수조 전체에 고루 퍼져서 천천히 움직인다면 그 물은 충분히 좋은 것이라고 할 수 있다. 만일, 어떤 유해 물질이 유입되면, 어류들은 갑자기 광란하게 되고 물이 깨끗한 쪽으로 몰리게 된다[1,2]. 본 논문에서는 이러한 어류의 움직임을 분석하여 수질을 감시하는 시스템을 기술한다. 이러한 유형의 수

\*본 논문은 한국과학재단 96년도 특정기초과제(과제번호 96-0101-03-01-3)의 연구비 지원에 의한 결과임.

질감시 방법을 생물학적 분석법(Bioassay)이라고 하는데 일본 등지에서 연구가 활발히 이루어지고 있다. 예를 들어, Hayao Yahagi 등은 본 시스템과 유사한 환경에서 어류들의 수직 분포도를 분석하여 어류의 행동특성을 수치화하는 방법을 제안하였다[1,2].

본 논문에서 기술하는 시스템은 어류의 행동특성의 수치화 및 이를 이용한 수질의 오염도 측정을 수행한다. 제 1장에서는 본 논문의 취지 및 기본방향에 대하여 기술하였다. 2장에서는 전체 시스템의 구성에 대하여 기술하고, 3장과 4장에서는 영상에서 특징값 추출에 대하여, 5장에서는 이 특징들을 사용하여 계산되는 오염도 판정, 6장에서는 실험 및 결과에 대하여 기술한다.

## 2. 개 요

### 2.1 시스템 환경

자동수질감시 시스템(Water Quality Inspection System, WOIS)은 취수장과 정수장 사이에 위치하여 상수원 수질의 상태를 감시하는 기능을 한다. 그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 상수원에서 취수된 물은 정수장으로 흐른다. 이때 취수된 물은 수질 검사를 위하여 WOIS에 유입된다. 만약 취수된 물이 오염되어 있다고 판단되면 경고 시그널을 취수장과 정수장에 보내어 정수공정을 중단하거나 다른 조치를 취하게 된다.

WOIS는 그림 2와 같이 수질감시를 위해 특별히 설계된 수조와 영상의 분석을 위한 장비로 이루어진다. WOIS로 유입된 물은 수조의 왼쪽에 있는 유입구를 통해서 수조로 유입되고 수조의 오른쪽에 위치한 유출구를 통해서 배출되게 된다. 수조의 상단에 위치한 형광등은 난반사를 통하여 일정한 밝기의 조명을 유지하기 위해서 반사판을 이용하여 간접조명을 사용하도록 되어있다[3]. 어류 행동 패턴의 분석을 위해 수조 정면에 CCD카메라가 설치되고, 영상획득을 위해 컴퓨터와 온라인(on-line)으로 연결되어 있다. 이렇게 획

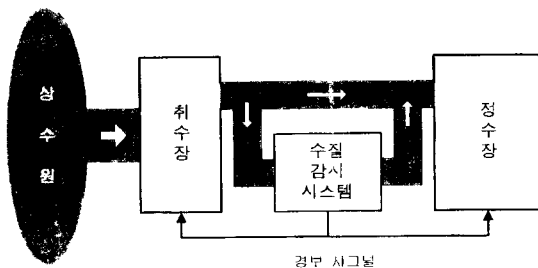


그림 1. 시스템 환경

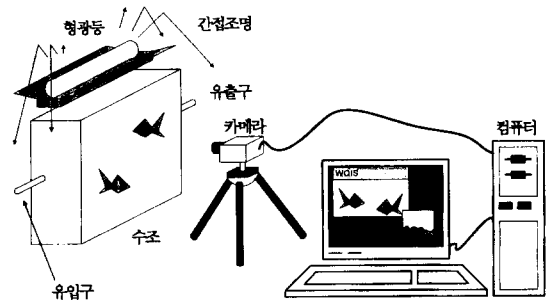


그림 2. 영상획득 환경

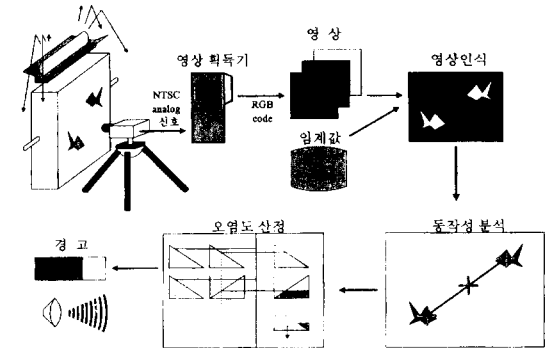


그림 3. 시스템 구성도

득된 영상으로부터 어류의 행동패턴의 척도로 정의한 5가지 특징들을 계산한 후 이 값들을 가지고 오염도를 판정한다: 부유성(floatness), 회피성(fledness), 군집성(clusteriness), 확산성(diffusiveness), 이동성(mobility).

### 2.2 시스템 구성

그림 3과 같이 WOIS는 수조에 대한 영상을 획득하고, 그 영상을 분석한 후 수질의 오염도를 분석한다. CCD카메라로부터 획득된 160×120 크기의 칼라 영상을 학습을 통해서 획득된 어류의 색상 정보가 이용하여 배경 영역과 어류 영역이 분리된 이진 영상으로 분할한 후 어류의 위치와 크기 등에 대한 정보를 계산한 후, 이 정보들을 이용하여 어류 행동 패턴에 대한 척도인 5가지 특징값을 계산한다. 이렇게 계산된 현재 영상에 대한 특징값들과 이전 영상들에 대한 특징값들을 이용하여 퍼지 추론을 수행하여 수질의 오염 여부를 판정한다.

## 3. 영역 추출

영상에서 어류에 대한 영역을 추출하기 위하여 본 논문에서는 임계 방법을 사용한다[4]. 즉 화소의 값이

특정 임계값 보다 큰 화소들을 어류 영역에 속하는 화소라고 판정하여 이진 영상을 구한 후, 1-패스(one-pass) 레이블링 알고리즘을 적용하여 어류 영역을 추출한다[5]. 레이블링 연산 과정에서 어류의 크기에 대한 정보를 이용한 크기-필터링(size filtering) 연산을 적용하여 잡음 영역을 제거한다[5].

이진 영상을 구하기 위하여 사용되는 임계값을 본 논문에서는 사용자와 상호작용에 의한 학습에 의하여 구한다. 특히 본 연구에서는 사용하는 어류의 색상을 배경 부분과 큰 대조를 이루는 붉은 색으로 제한한다. 먼저 카메라를 통하여 획득된 RGB 칼라 영상은 일반적으로 밝기에 민감한 반응을 나타내므로 식 (1)과 같이 정규화를 수행하여 밝기 정보가 배제된  $r$  성분에 대한 임계값  $TH_{fish}$ 를 결정한다

그림 4는 임계값  $TH_{fish}$ 를 학습하는 예를 보여준다. 먼저 시스템은 입력 영상을 정지 화면으로 모니터에 출력한 후 사용자에게 배경 영역과 어류 영역을 지정

할 것을 명령한다. 사용자는 마우스를 이용하여 화면에 사각형 영역을 설정한 후 설정된 영역이 배경 또는 어류 영역임을 시스템에게 알려준다. 시스템은 사용자에게 의하여 정의된 영역에 속하는 화소들의  $r$ 값을 분석하여 임계값  $TH_{fish}$ 를 식 (2)와 같이 결정한다.

$$g_B = \frac{(r - \mu_B)^2}{\sigma_B^2} \quad g_F = \frac{(r - \mu_F)^2}{\sigma_F^2}$$

$$TH_{fish} = \frac{\mu_B \sigma_F + \mu_F \sigma_B}{\sigma_B + \sigma_F} \tag{1}$$

$$r = \frac{R}{R + G + B} \times 100 \tag{2}$$

식 (2)에서 첨자  $B$ 와  $F$ 는 각각 배경과 어류를 나타내고  $\sigma_B$ 와  $\sigma_F$ 는 사용자에게 의하여 지정된 샘플들의 정규화된  $r$ 값에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다.  $g_B(r)$ 와  $g_F(r)$ 는 배경 및 어류 영역의 평균값에서  $r$ 까지의 마할라노비스 거리(Mahalanobis distance)를 나타낸다. 임계값  $TH_{fish}$ 는  $g_B(r)$ 와  $g_F(r)$ 가 같은 값을 갖는  $r$ 값으로 정의한다. 즉, 배경의 중심에서부터의 마할라노비스 거리와 물체의 중심에서부터의 마할라노비스 거리가 같게 되는  $r$ 값이 임계값이 된다. 일반적으로 어류 영상의 히스토그램은 그림 4의 (b)와 같이 두개의 모드를 갖기 때문에, 단일 임계값으로 배경과 물체 영역이 분리될 수 있다.

#### 4. 어류의 행동패턴의 척도

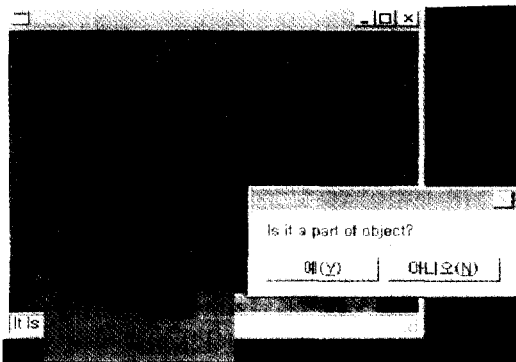
본 논문에서는 어류 행동패턴의 척도로 5가지 특징값을 정의하였다: 부유성, 회피성, 군집성, 확산성, 이동성. 오염된 물에서 어류의 행동패턴은 비정상적으로 나타나기 때문에, 수질의 오염도는 이 특징값을 이용하여 계산될 수 있다.

##### 4.1 부유성

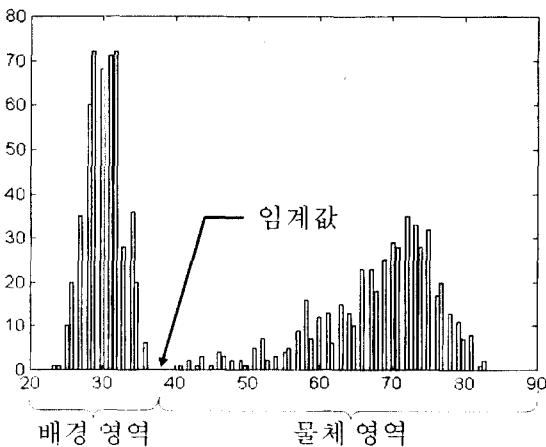
오염물질이 유입되면 어류는 호흡곤란 등으로 수면위로 떠오르려는 비정상적인 행동을 하게 된다.  $floatness(t)$ 의 값은 어류의 부유정도를 측정하는 값이고, 어류가 수면 가까이 위치하면 매우 높은 값을 갖게 된다.

$$floatness(t) = \frac{\sum_{i=top-d}^{top} \sum_{\tau=t-\alpha}^t VP_{\tau}(i)}{\sum_{i=0}^{top} \sum_{\tau=t-\alpha}^t VP_{\tau}(i)} \tag{3}$$

$floatness(t)$ 는 그림 5에서와 같이 수면에서 깊이  $d$

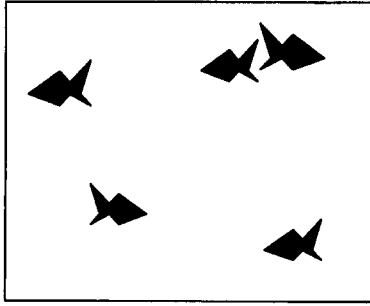


(a) 물체 영역의 샘플링

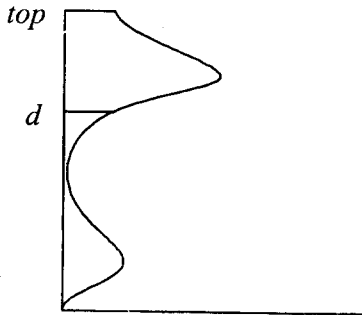


(b) 영상의 히스토그램

그림 4. 학습과정과 영상의 히스토그램



(a) 이진 영상



(b) 누적된 수직 프로파일

그림 5. 부유성의 산정 예

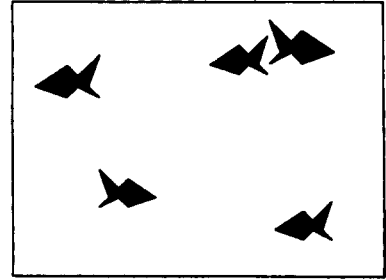
까지 사이에 있는 물체영역의 크기와 전체 물체 영역의 크기의 비율을 시간 동안 누적된 후 정규화한 값이다. 식 (3)에서  $VP_r(i)$ 는  $t$ 시점의 이진 영상에 대한 수직 프로파일을 나타낸다.

#### 4.2 회피성

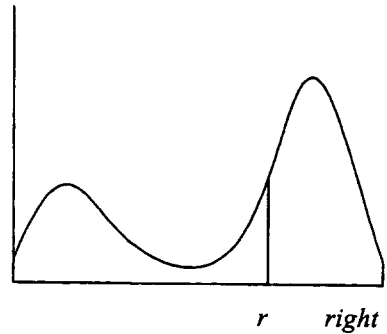
취수된 물은 수조의 왼쪽에서 유입되어 오른쪽으로 유출된다. 따라서 유입되는 물에 오염물질이 포함되어 있다면, 순간적으로 왼쪽의 오염도가 오른쪽 보다 높게 나타나고, 어류는 본능적으로 그 물질을 피하기 위한 행동을 한다. 따라서 전반적인 어류의 군집이 수조의 오른쪽에 편중되는 현상을 보이게 된다. 식 (4)와 같이 정의되는 회피성은 어류의 편중성을 측정하는 척도이다. 그림 6은 회피성 산정의 예이다.

$$floatness(t) = \frac{\sum_{i=right-r}^{right} \sum_{\tau=t-\alpha}^t HP_{\tau}(i)}{\sum_{i=0}^{right} \sum_{\tau=t-\alpha}^t HP_{\tau}(i)} \quad (4)$$

$fledness(t)$ 는 수평 프로파일  $HP_r(i)$ 에서 크기  $right-r$ 만큼의 우측부분을 고려해서 계산된다.  $floatness(t)$ 와 비슷하게 계산되어지는  $fledness(t)$ 는 어류가 오른



(a) 이진 영상



(b) 누적된 수평 프로파일

그림 6. 회피성 산정의 예

쪽에 편중되면 높은 값을 갖도록 정의하였다.

#### 4.3 군집성

정상적인 물에서 어류는 개별행동을 취하면서 수조 전체에 고루 분포한다. 하지만 오염물질이 물에 유입되면 본능적으로 위험을 피하기 위해서 집단행동을 취하게 된다. 군집성은 어류의 이러한 집단행동을 측정하기 위한 척도이다. 군집성을 계산하기 위하여 먼저 각 시점에서의 모든 어류 영역들에 대한 전체 무게중심을 식 (5)와 같이 구한다.

$$cent_i^* = \frac{\sum_{i=1}^N cent_i' \times SizeOfArea_i'}{TotalSize'} \quad (5)$$

식 (5)에서  $cent_i'$ 는  $i$ 번째 어류 영역의 중심을 나타내고  $SizeOfArea_i'$ 는  $i$ 번째 영역의 크기를 나타낸다. 어류 영역들의 전체 무게중심이 구해지면 각 어류 영역의 중심에서 전체 무게중심까지의 거리를 계산한 후 계산된 값을 일정 시간 동안 평균한 값을 군집성이라 정의한다.

$$close(t) = \frac{1}{1 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N cent_i' - cent_i^*} \quad (6)$$

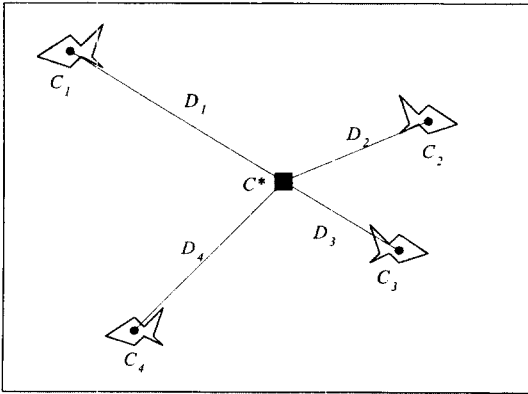


그림 7. 군집도 산정의 예

$$cluster_i = \frac{1}{\alpha} + \sum_{\tau=t-\alpha}^t close(\tau) \times \omega_{\tau-t+\alpha} \quad (7)$$

식 (6)에서  $close(t)$ 는  $t$ 시점 영상에서 어류의 전체 무게중심  $cent^*$ 까지의 평균 거리의 정규화된 값을 나타내며, 그림 7은 군집성 측정의 예를 도식적으로 보여준다.

#### 4.4 확산성과 이동성

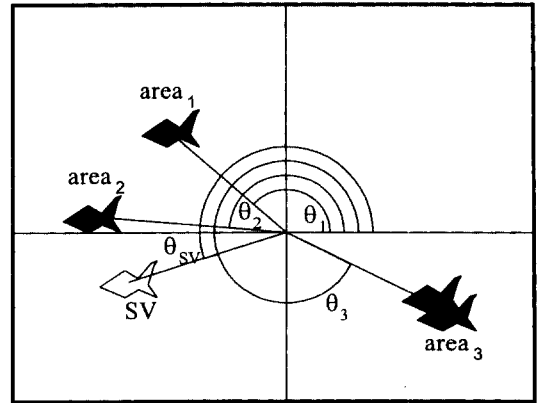
이 척도들은 어류의 광란 현상과 오염물질에 대한 회피 노력을 측정하는 척도이다. 오염된 물속의 어류들은 그 시간이 지속됨에 따라, 또 그 농도에 따라서 광란 현상을 보이게 된다. 그리고 이 오염물질로 부터 벗어나기 위해 빠른 움직임을 보인다. 이때 어류 개개의 이동속도는 증가를 보이게 된다.

$diffusive_i$

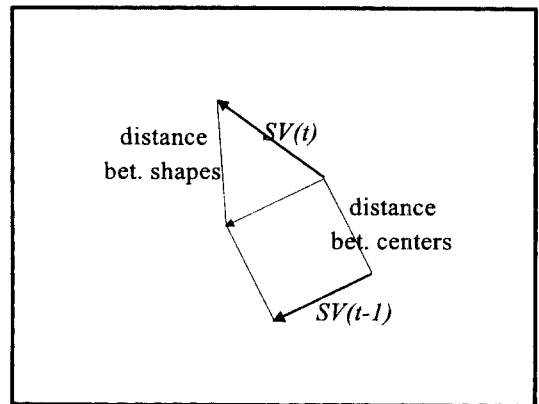
$$= \frac{1}{\alpha} \sum_{\tau=t-\alpha}^t |close(\tau) - close(\tau-1)| \times \omega_{\tau-t+\alpha} \quad (8)$$

$diffusive(t)$ 는 위에서 정의했던  $close(t)$ 의 1차 미분에 대한 절대값을 일정 시간 동안 가장 평균한 값이다. 이 값은  $close(t)$ 의 1차 미분 값이기 때문에 어류들이 중심으로 이동하거나 중심에서 밖으로 이동하는 속력을 근사적으로 측정할 수 있다.

이동성은 확산성과 함께 어류들의 이동 속도를 측정하는 척도이다. 어류 군집 전체의 이동 속도는 어류 개개의 이동 속도에 의해서 결정되기 때문에 정확한 속도를 측정하는 것은 복잡한 연산을 요구하며 어류 개개에 대한 추적을 필요로 한다. 영상에 대한 실시간 처리를 요구하는 본 시스템은 많은 연산 시간을 필요로 하는 개개의 어류에 대한 추적을 수행하는 대신 어류의 분포를 나타내는 형태 벡터(shape vector)와 어류 군집의 위치를 나타내는 무게 중심을 이용하여 어류



(a) 형태벡터 계산의 예



(b) dist 계산의 예

그림 8. 이동성 산정의 예

군집의 이동 속도를 측정하는 근사적인 측정 방법을 사용한다. 식 (9)와 같이 정의되는 형태 벡터  $SV(t)$ 는  $t$  시점에 획득된 영상에서의 모든 어류 영역들을 대표하는 전체 무게중심을 원점으로 하여 각 어류 영역들의 분포를 나타내는 벡터로서 크기와 각도를 갖는다.

$$\|SV\| = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|sv_i\|$$

$$\angle SV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \angle sv_i \quad (9)$$

식 (9)에서  $sv_i$ 는 그림 8의 (a)에서와 같이 어류 영역들의 전체 무게중심에서  $i$ 번째 어류 영역의 중심을 향하는 벡터이다. 형태 벡터  $SV$ 의 크기는 모든  $sv_i$ 의 크기의 평균으로 정의되고, 각도는 모든  $sv_i$ 의 각도의 평균으로 정의된다. 따라서  $SV(t)$ 는  $t$ 시점에서의 어류 군집의 형태를 나타내며, 그림 8의 (b)와 같이 계산되

는  $\|SV(t)-SV(t-1)\|$ 은 어류 군집의 중심이 변하지 않는다는 가정하에서  $t$ 시점과  $t-1$ 시점간의 어류 군집의 형태 변화를 대변하는 측정값으로서 이동성 척도의 중요한 요소가 된다. 각 시점에서의 어류 군집 중심의 변화 역시 이동성 척도의 중요한 요소이므로 본 논문에서는 식 (10)와 같이 군집 중심의 변화와 군집 형태의 변화를 종합한  $dist(t)$ 를 거리 척도로 정의하고, 식 (11)과 같이  $dist(t)$ 의 정규화된 값을 시간 동안 평균한 값을 이동성 척도로 사용한다.

$$dis(t) = \alpha \times \|cent_{t-1}^* - cent_t^*\| + \beta \times \|SV(t-1) - SV(t)\| \quad (10)$$

$$mobil(t) = \frac{1}{\alpha} \sum_{\tau=t-\alpha}^t \left( 1 - \frac{1}{1+dist(\tau)} \right) \quad (11)$$

### 5. 오염도 산정

WQIS는 수조 내에 있는 어류들의 행동패턴을 감지함으로써 수질의 오염도를 산정하는 시스템이다. 어류의 행동 패턴에서 수질의 오염도를 유도하는 과정을 수식으로 공식화하는 작업은 매우 어려운 일이다. 앞에서 정의한 5가지의 척도와 수질의 오염도 사이를 단일 수식으로 표현할 수 있는 정량적인 관계가 있는 것이 아니고 어류의 행동 패턴이 오염물질 유입을 연속적이고 안정적으로 반영하지 않기 때문이다. 또한 "수질이 오염되었다./ 오염되지 않았다."라는 것은 이진논리로 표현할 수 없는 애매한 것이기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 이런 애매하고 완전하지 않은 정보를 표현하고 처리하기 위해서 퍼지 추론을 적용한다.

일반적으로 퍼지 추론 시스템은 그림 9에서와 같이 4개의 부분으로 구성된다. 외부의 입력값을 시스템 내부에서 사용할 수 있는 퍼지 변수로 변환시켜주는 퍼지 화기와 실제로 추론을 수행하는 추론부, 추론된 결과값을 외부에서 사용할 수 있는 값으로 변환시켜주는 비퍼지화기, 위의 3부분에 지식, 즉 소속 함수나 퍼지 규칙 등에 대한 정보를 제공하는 지식베이스로 구성된다. 본 논문에서는 각 제어 변수들은 두개의 퍼지 변수 - normal과 abnormal-로 구성하고, 이들 각각의 소속 함수는 그림 10에서와 같이 실험을 통해서 정의하였다[6-8].

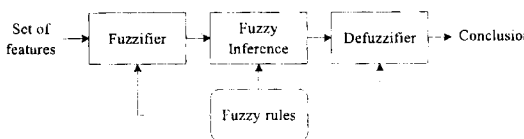


그림 9. 퍼지 추론 시스템

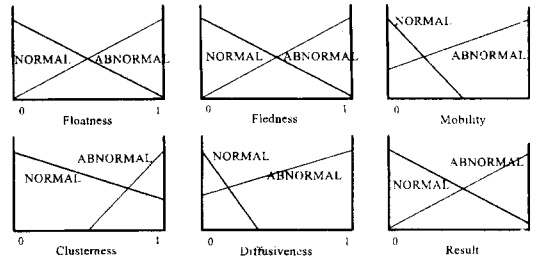


그림 10. 제어변수의 소속함수

- Rule 1 : IF floatness is Normal and Fledness is Normal, Then water quality is Normal.
- Rule 2 : IF floatness is Abnormal and Fledness is Abnormal, Then water quality is Abnormal.
- Rule 3 : IF mobility is Normal and Clusterness is Normal, Then water quality is Normal.
- Rule 4 : IF mobility is Abnormal and Clusterness is Abnormal, Then water quality is Abnormal.

그림 11. 퍼지 규칙의 예

외부의 입력값을 퍼지시스템 내부에서 사용하는 퍼지 변수로 변환해주는 퍼지화 기법으로는 입력값이 정확하다고 가정할 때 많이 사용되는 단일 퍼지화 방법(fuzzy singleton)을 사용하였고 비퍼지화 방법으로는 무게중심법을 사용하였으며, 퍼지 추론 방법으로는 일반적으로 사용되는 mandani방법을 사용하였다[9,10]. 본 연구에서 사용한 대표적인 퍼지 규칙들은 그림 11에 도시하였다.

추론부에서는 퍼지규칙의 조건부와 입력값들의 정합도를 계산하기 위해서 먼저 퍼지화기에서 변환된 입력 퍼지변수와 조건부의 제어 변수 간의 min연산을 수행하여 두 변수간의 계산한다. 이렇게 계산된 각 정합도에 min-max연산을 수행하여 입력 특징값에 의한 규칙 결론부의 만족도를 구한다. 본 논문에서는 5개의 특징값들을 사용하기 때문에 입력값과 규칙의 전체부 사이의 만족도는 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$cond_i = \mu_{A_{11}}(f_1) \wedge \mu_{A_{12}}(f_1) \wedge \dots \mu_{A_{52}}(f_5) \quad (12)$$

식 (12)에서,  $A_{ij}$ 는  $i$ 번째 입력 특징값의  $j$ 번째 퍼지 집합을 나타낸다. 따라서  $A(f)$ 는 입력 특징값과 퍼지 집합  $A$ 와의 만족도를 나타내며,  $cond_i$ 는 5개의 특징들이  $i$ 번째 규칙의 전체부를 만족시키는 정도를 나타낸다. 퍼지 추론 과정은 입력값의 모호성과 애매함을 규칙의 결론부에 전파하기 위해서 전체부의 만족도를 나타내는  $cond_i$ 의 값으로 (13)에서와 같이 결론부 소속 함수의 윗 부분을 절단한 후 max연산을 수행하며, 각 규칙에서 추론된 값은 (14)와 같이 합연산되어 최종 결론을 도출한다.

$$\mu_{result_i}^* = (\omega) = cond_i \wedge \mu_{result_i}(\omega) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \mu_{result}(\omega) &= \mu_{result_1}^* = (\omega) \vee \mu_{result_2}^* \\ &= (\omega) \vee \dots \vee \mu_{result_5}^*(\omega) \end{aligned} \quad (14)$$

이와 같은 방법으로 계산된 결론은 퍼지시스템 내부에서만 사용될 수 있는 퍼지 변수이기 때문에 외부에서 사용할 수 있는 값으로 변환시켜야 할 필요가 있다. 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 무게중심에 의한 비퍼지화 방법을 사용한다[9,10].

$$\omega^* = \frac{\sum_k \omega_k \cdot \mu_{final}(\omega_k)}{\sum_k \mu_{final}(\omega_k)} \quad (15)$$

### 6. 실험 결과 및 결론

현재 본 WOIS의 처리 속도는 초당 5프레임 정도이고, 각 시점에서 추출된 특징 값들을 20초간 평균하여 수질의 오염도를 산정한다. 본 실험에서는 30-50 mm크기의 금붕어 5마리를 사용하였고, 오염물질로는 cyanide를 사용되었다. 특히 오염물질은 실제

상황과 동일하게 하기 위하여 물에 희석된 채로 수조의 유입구를 통하여 유입되었다.

그림 12는 정상 상태와 오염물질이 유입된 상태에서 각 특징값의 변화를 도시한 것이다. 오염 물질이 유입된 순간을 나타내기 위하여 가로축에 수직 마크를 사용하였다. 오염 물질이 유입된 후 부유성과 회피성이 증가하며 군집도 역시 급격히 증가함을 볼 수 있고, 이동성은 점진적으로 증가함을 볼 수 있다. 또한 어류가 수조의 우측 상단에 군집하여 정체해 있을 경우, 이동성이 급격히 저하됨을 관찰할 수 있다.

수질오염의 판단은 영상에서 계산된 특징값들과 지식베이스에 저장되어 있는 10개의 퍼지규칙을 가지고 계산된다. 퍼지 추론에 의해서 산정된 수질의 오염도는 그림 13과 같이 나타난다. 오염 물질이 유입된 시점으로 부터 약 30초 후에 수치가 급격히 증가함을 관찰할 수 있으며, 거의 정상 상태로 환원됨을 알 수 있다. 이러한 변화를 그림 12의 특징값 추이에서 이미 예측될 수 있다.

본 논문에서는 CCD카메라로 촬영된 영상으로부터 어류의 행동 패턴을 분석하여 수질의 오염도를 산정

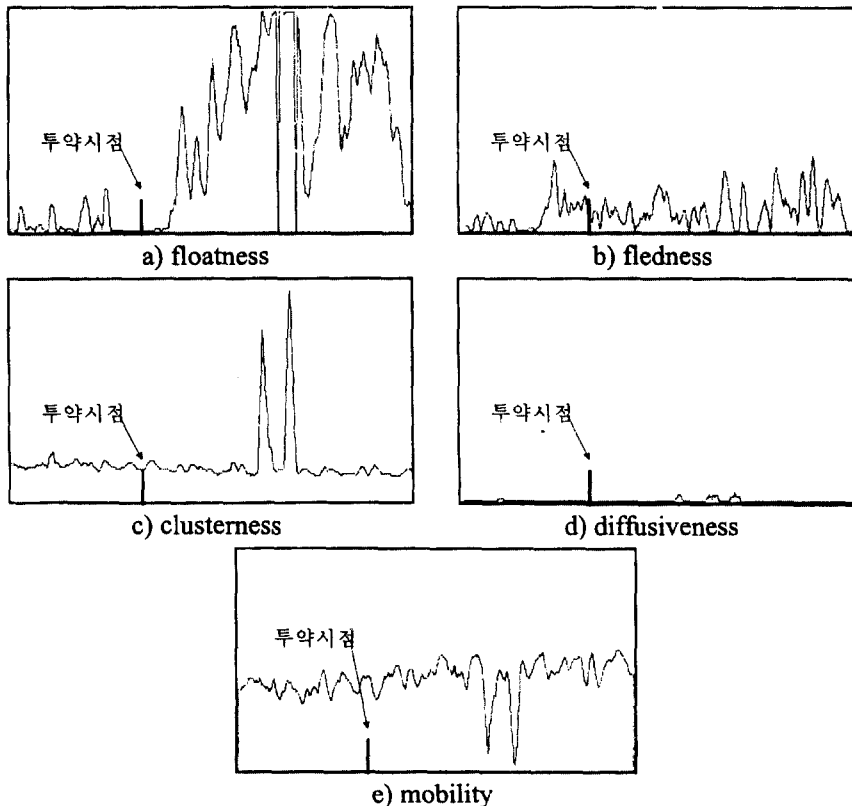


그림 12. 특징값의 추이

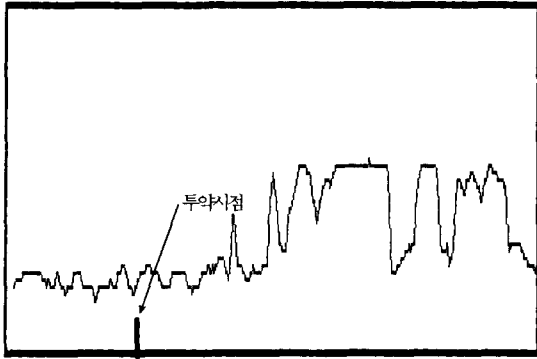


그림 13. 오염도 산정의 예

하는 시스템을 기술하였다. 특히, 사용자와 상호작용에 의하여 임계 값을 학습하는 방법과 어류의 행동 패턴을 대표하는 5개의 특징을 산출하는 과정을 제안하였다. 제안된 시스템의 성능은 사용된 어종, 투입된 오염물질의 유형, 특징 추출 시 소요된 평균시간, 퍼지 추론 시 사용된 퍼지 규칙 등 여러 요소에 의하여 좌우될 수 있다. 따라서 제안된 시스템이 현장에서 적용되기 위하여는 파라메타 조절과 같은 공학적인 작업(engineering work)이 심도 있게 이루어 져야 한다. 현재 본 시스템은 현대 건설에서 시운전되고 있으며, 비교적 신뢰성 있는 결론을 도출하고 있다.

### 참고문헌

[1] Yahagi H., Baba K., Kosaka H. and Hara N., "Fish image monitoring system for detecting acute toxicants in water-proposal of new indices and detection of nerve poisons," *Interumentation, control and automation of water and wastewater treatment*

and transport systems, *proceedings of 5th IAWPRC Workshop*, pp.609-616, 1990.

[2] Kenji Baba, Hayao Yahagi, Naoki Hara and Mamoru Miyashita, "Toxicants Detection Using Image Analysis-The Effects of Fenitrothion on the Behavioral Pattern of the Guppy, *Peocilia Reticulata*," *Hazard Assessment and Control of Environmental Contaminants in Water*, Ed. by Saburo M., Kyoto University press, pp.304-311.

[3] Bernd Jhane, *Digital Image Processing: Concepts, Algorithm and Scientific Applications*, Springer-Verlag, 1995.

[4] S. U. Lee and S. Y. Chung, "A comparative performance study of several global thresholding techniques for segmentation," *Compute. Vision Graphics Image Process.* Vol. 52, 171-190, 1990.

[5] Hironobu Takahashi and Fumiaki Tomita, "Fast Region Labeling with Boundary Tracking," *IEEE ICIP '89*, pp.369-373, 1989

[6] Shideo Abe and Ming-Shong Lan, "A Classifier Using Rules Extracted Directly From Numerical Data," *2nd IEEE Inter. Conf. on Fuzzy Systems*, Vol. II, pp.1191-1198, 1993.

[7] Earl Cox, *The Fuzzy Systems Handbooks : a practitioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems*, chapter 6, Academic Press, Inc., 1994.

[8] Earl Cox, *The Fuzzy Systems Handbooks : a practitioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems*, chapter 9, Academic Press, Inc., 1994.

[9] Zimmermann H. J., *Fuzzy Sets Theory and Its Applications*, Kluwer-Hijhoff Publishing, pp.47-60, 1985.

[10] Hyun-Jung Yi and Kyung-Whan Oh, "Neural Network-based Fuzzy Production Rule Generation and its Application to an Approximate Reasoning Approach," *Proc. of the 2nd Inter. Conf. on Fuzzy Logic & Neural Networks*, pp.333-336, 1992.





**최형일 (H.I. Choi)**

1979년 2월: 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1982년 6월: 미시간대학교 전산공학과 졸업(공학 석사)  
1987년 6월: 미시간대학교 전산공학과 졸업(공학 박사)

현 재: 송실대학교 컴퓨터 학부 교수 재직 중  
주관심분야: 컴퓨터 비전, 퍼지 및 신경망 이론, 패턴 인식, 지식 기반 시스템 등



**박세진 (S.J. Park)**

1996년 2월: 송실대학교 인공지능 학과 졸업(공학사)  
1996년~현재: 송실대학교 대학원 전자계산학과 석사과정 인공지능 연구실  
주관심분야: 컴퓨터 비전, 퍼지 및 신경망 이론 등 임



**김경수 (K.S. Kim)**

1992년 2월: 군산대학교 컴퓨터학과 졸업(공학사)  
1995년 2월: 송실대학교 대학원 전자계산학과 졸업(공학박사)  
1995년~현재: 송실대학교 대학원 전자계산학과 박사과정 인공지능 연구실

주관심분야: 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 퍼지이론, 영상처리