

## 조기경고기법에 기반한 퍼지 에이전트 설계 및 구현

이 형 일\*, 최 학 윤\*\*

### Design and Implementation of Fuzzy Agent Based On the Early Warning Method

Lee, Hyeong il\*, Choi, Hak Yun \*\*

#### 요 약

실내나 밀폐된 축사시설에서는 청정한 환경을 유지하기 위해 온도 습도 그리고 이산화탄소, 메탄가스 등과 같은 환경요인들을 측정하고 관리하여야 한다. 이때 측정된 수치가 관리대상 구간의 정상범위 내에 존재할지라도 시설이나 축적된 배설물과 주변 환경과의 상호작용 등으로 인한 예측치 못한 상황이 발생하면 측정수치는 급격하게 증가 또는 감소하게 된다.

본 논문에서는 이처럼 급격하게 증가하거나 감소하는 비정상 패턴의 변화가 발생할 경우, 이를 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고기법(EWarM)을 제안하였다. 그리고 이를 기반으로 한 퍼지 에이전트를 구현하였다. 다양한 상황에서의 성능평가를 통해 조기경고기법(EWarM)에 기반한 퍼지 에이전트가 위해 요소를 제거하는데 유용하다는 것이 입증되었다.

▶ Keyword : 지그버, 지능형 에이전트, 퍼지제어, 유사도

#### Abstract

In order to maintain clean environment in an interior space and an enclosed cattle pen, we have to measure and control environmental factors which are temperature, humidity and CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and so on. Although the measured values are within the normal range, those are increased or decreased sharply by the feces or environmental impacts.

In order to take early an appropriate action, we propose an early warning method(EWarM) in this paper, which can recognize the rapidly changing time for the increasing or decreasing rate of the measured values. In addition, we developed fuzzy control system based on an EWarM. We

• 제1저자 : 이형일    • 교신저자 : 최학윤  
• 투고일 : 2011. 01. 28, 심사일 : 2011. 02. 09, 게재확정일 : 2011. 02. 17  
\* 김포대학 인터넷정보과(Dept. of Internet Information, Kimpo College)  
\*\* 김포대학 정보통신과(Dept. of Information Telecommunication, Kimpo College)  
\* 이 논문은 2011학년도 김포대학의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

verified that this system based on an EWarM is used for eliminating that impacts through performance evaluation in a variety of environmental situations.

▶ Keyword : ZigBee, Intelligent Agent, Fuzzy Control, Similarity

## I. 서 론

농축수산물 수입개방과 자유무역협정(FTA: Free Trade Agreement) 등의 국제환경변화는 국제경쟁력을 갖추어야 하는 무한 경쟁을 의미하는 것으로 축산분야 또한 고도의 생산기술개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 유비쿼터스 IT기술을 이용한 축사관리의 효율과 수익률 향상을 위한 첨단화 자동화 연구가 활발히 이루어지고 있다.

자동화된 시스템에 의해 관리되는 축사는 보통 밀집 사육되며, 축사내의 온도과 습도 그리고 이산화탄소, 메탄가스 등의 수치가 높게 나타난다. 이와 같은 축사환경은 가축의 건강과 그로인한 가축의 생산 활동에 유해한 요인으로 작용한다. 또한 지구온난화 방지를 위해 모든 온실가스의 인위적 방출을 규제활동에도 적지 않은 영향을 미친다[1,2].

이와 같이 실내나 밀폐된 공간에서 축산 배설물이 축적되기 시작하면 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고, 메탄가스 등의 수치는 증가하게 된다. 이때 ZigBee 센서 네트워크를 통해 측정수치를 전달받을 수 있도록 인프라를 설계하고, 측정수치의 증가 추이가 예측가능한 정상 패턴의 적정 수치를 벗어나는 시점에 이를 인지하여 제어하는 퍼지제어기를 설계 및 구현하였다. 또한 유리창 파손, 또는 배설물과 축사 주변 환경과의 상호작용으로 인해 예측치 못한 상황이 발생할 경우, 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고 메탄가스 등의 수치는 급격한 증가 또는 감소세를 나타낸다. 이때의 변화추이는 예측하기 어려운 비정상 패턴의 형태로 나타난다. 본 논문에서는 측정된 수치가 관리대상 구간의 적정 범위 내에서 비정상 패턴의 변화가 발생할 경우, 이를 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고기법(EWarM, Early Warning Method)을 제안하여 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 ZigBee 센서 네트워크와 지능형 에이전트, 그리고 퍼지제어 등을 기술하고 III장은 퍼지제어기와 조기경고에이전트를 설계하였다. 그리고 IV장에서는 조기경고기법 퍼지 에이전트 구현하고 축사 전문가의 지식을 바탕으로 만들어진 자료를 통해 시스템을 평가하였다. 마지막으로 V장에 결론 및 앞으로의 연구 발전 방향을 제시하였다.

## II. 관련 연구

이 장에서는 본 연구와 관련된 기존의 연구 내용들에 대해서 소개한다. 먼저, ZigBee 센서 네트워크에 대해서 설명하고, 다음으로 인텔리전트 에이전트, 그리고 퍼지제어에 대한 과거의 연구들에 대해서 간략하게 언급한다.

### 1. ZigBee 센서 네트워크

유비쿼터스 센서 네트워크(USN : Ubiquitous Sensor Network)는 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적 데이터를 감지하고 측정하는 센서를 네트워크로 구성한 것을 말한다. USN 기술은 고급 컴퓨팅 장치를 필요로 하는 블루투스(bluetooth), 무선랜(wireless LAN)등과 달리 낮은 사양의 하드웨어를 이용하여 독자적으로 네트워크를 구성할 수 있는 장점을 갖는다. 이런 네트워크 구성의 용이성 때문에 장소에 구애받지 않고 언제 어디서나 컴퓨팅 환경에 접속할 수 있는 유비쿼터스 패러다임이 확대되면서 전 세계적으로 활발하게 연구되고 있다.

소프트웨어 플랫폼으로는 TinyOS, Nano Qplus, Contiki, LiteOS 등이 있으며, IEEE 802.15.4로 대표되는 저전력 무선 사설 네트워크(Low-power Wireless Personal Area Network), 센서 네트워크 위에서 인터넷 프로토콜을 사용하기 위한 아키텍처 등을 표준화하는 IETF의 6LoWPAN[3], ROLL[4], CoRE[5]와 함께 ZigBee[6], Wireless HART[7], ISA 100[8] 등 다양하다.

ZigBee는 근거리 통신을 지원하는 IEEE 802.15.4 표준 중 하나로 다른 무선 통신기술과 비교해 전력 소모가 적고, 생산 비용이 저렴해 근거리 통신에서 간단한 신호를 주고받는데 매우 유용한 기술이며 표 1과 같은 특성을 갖는다. 또한 ZigBee는 그림 1과 같이 계층구조를 이루며 하위계층은 IEEE 802.15.4의 주파수 대역과 채널대역폭, 그리고 변조 방식 등의 PHY 규격과 연결(association)과 비연결(disassociation), 확인 프레임 배달, 채널 액세스 메커니즘, 프레임 유효성, 타임슬롯 보장 관리, 비컨 관리 등의 MAC 규격을 규정하고 있다. 그리고 상위 계층은 네트워크와 씨큐리티 계층으로 망과 보안 등을 규정하여 사용자 그룹에 의해 ZigBee Alliance을 결성하여 상위 계층과 이를 활용한 응용

서비스 프로파일 개발 작업을 지속적으로 추진하고 있다.

표 4. ZigBee 특성  
Table 1. ZigBee Characteristics.

| 구분    | 특성   |
|-------|--|
| 주파수대역 | 868MHz, 915MHz, 2.4GHz                             |
| 전송속도  | 868MHz : 20kbps, 915MHz : 40kbps, 2.4GHz : 250kbps |
| 채널수   | 868MHz : 1ch, 915MHz : 10ch, 2.4GHz : 16ch         |
| 통신거리  | 10~75m   |
| 확장성   | 65,536   |
| 활용온도  | -40℃ ~ +85℃  |
| 배터리   | Non-Rechargeable                                   |

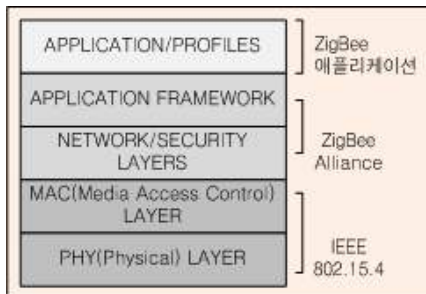


그림 1. ZigBee 프로토콜 계층  
Fig. 1. ZigBee Protocol Layer Architecture.

이와 같이 특징의 기술은 산업용과 가정용의 모니터링, 제어 및 자동화, 의료 진단 등 다양한 분야에 적용할 수 있다 [6,9]. 따라서 본 논문에서는 축사 환경 수치를 측정하는데 ZigBee 기술을 이용하여 그림 2와 같이 설계하고자 한다.

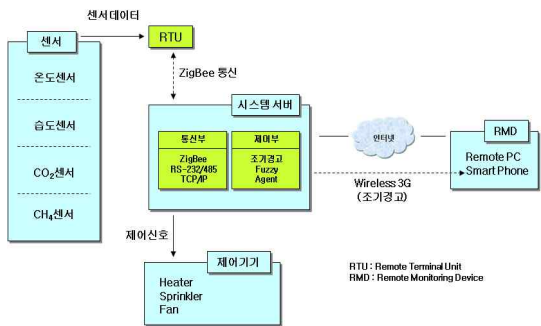


그림 2. 조기경고기반 퍼지 에이전트 네트워크  
Fig. 2. Network of Intelligent Fuzzy Agent based on Early-Warning Method

이와 같은 측정 시스템의 구축은 USN 인프라의 구축을 통해 미래의 축사 자동화에 매우 긍정적인 파급효과를 일으켜 삶의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다.

## 2. 지능형 에이전트

지능형 에이전트란 지식과 추론능력, 학습능력 등을 가지고 사용자를 대신하여 사용자가 원하는 작업을 자동적으로 해결하여 주는 시스템을 의미하며, 자율적 에이전트, 소프트웨어 에이전트, 인터페이스 에이전트, 게이트 등의 이름으로 연구되어 왔다.

지능형 에이전트는 사용자가 해결하길 원하는 작업에 대해 프로그램 사용경향을 파악해 같은 작업을 반복하지 않도록 지원하는 학습능력과 기존 처리방법이나 다른 에이전트의 경험과 지식을 바탕으로 작업을 해결하는 추론능력, 그리고 여러 에이전트가 협력해 하나의 작업을 처리하기 위해 어떤 방식으로 진행할 것인가에 대해 확하고 그 계획에 따라 작업을 수행하는 계획능력 등의 특성을 가진다[11].

따라서 본 연구에 적용한 지능형 에이전트는 조기 경고에 의해 사용자가 실행한 명령을 학습하여 작업할 수 있도록 그림 3와 같이 모델링하였다.

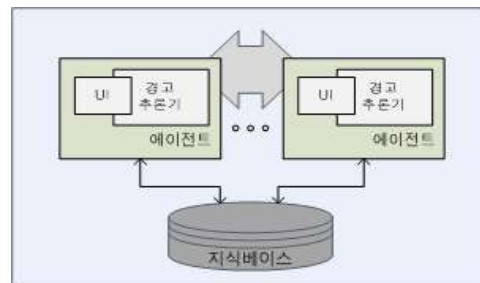


그림 3. 지능형 에이전트 모델  
Fig. 3. Intelligent Agent Model

## 3. 퍼지 제어

1965년 Zedeh가 제안한 퍼지이론은 애매하고 불분명한 상황의 여러 문제들을 포함한 인간이 판단 결정하는 과정에 대하여 수리적으로 접근하려는 이론이다. 기존의 수학적인 시스템 모델링에 의해서 잘 나타낼 수 없는 복잡하고 잘 정의되지 않는 그리고 불확실한 시스템을 if-then 형태의 규칙의 퍼지제어기로 잘 나타낼 수 있다. 또한 퍼지제어기는 복잡한 비선형 시스템의 제어 시 퍼지집합을 분할하여 각 영역에 따른 규칙 베이스를 구성하면 기존의 비선형 제어에 비해 훌륭한 성능을 얻을 수 있다. 그림 4은 퍼지제어기의 구조를 나타내며, 퍼지화(fuzzifier) 단계, 퍼지 추론(fuzzy inference engine) 단계, 그리고 규칙베이스(rule base)와 비퍼지화(defuzzifier) 단계로 구성되어 있다.

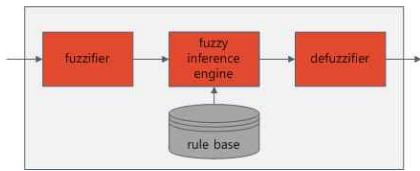


그림 4. 퍼지제어기의 구조  
Fig. 4. Structure of Fuzzy Controller

그림 4에서 퍼지화 단계는 입력데이터를 적당한 퍼지 집합으로 변환하는 기능을 수행하며, 퍼지추론 단계는 지식베이스의 규칙을 이용하여 퍼지입력에 대해 퍼지 출력을 추론하는 기능을 수행한다. 그리고 규칙베이스는 전문가의 경험 등을 if-then 문장 형식으로 구성된 지식베이스이다. 마지막으로 비퍼지화 단계는 추론 결과를 명확한 값으로 변경시키는 기능을 수행한다[12,14].

### III. 조기경고기반 퍼지에이전트 설계

조기경고기반 퍼지에이전트는 축사의 온도와 습도 그리고 이산화탄소, 메탄가스 등의 측정수치를 ZigBee 센서 네트워크를 통해 전달받아 그림 5와 같이 두 단계로 처리한다. 첫 번째의 퍼지제어기는 전달받은 수치가 축사에서 정해놓은 해당 환경변수들의 범위로 평가하여 정상구간, 즉 현재의 상태를 유지해도 되는 상태에 속하면 조기경고에이전트로 센서자료를 전달하고, 비정상 구간에 속하면 센서제어모듈을 통해 적절한 조치를 취하도록 한다.

두 번째의 조기경고에이전트는 퍼지제어기가 현재의 상태를 유지하는 결과의 정상범위에 해당되더라도 예측치 못한 상황의 발생으로 예측하기 어려운 비정상 패턴의 상태로 변화할 때, 즉시 상황을 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고 시스템이다.

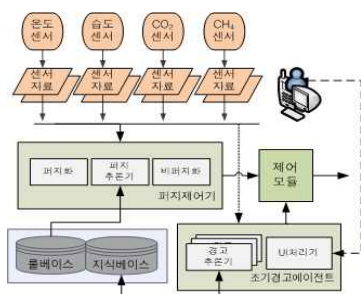


그림 5. 조기경고기반 퍼지에이전트 구조  
Fig. 5. Structure of Intelligent Fuzzy Agent based on Early-Warning Method

#### 1. 퍼지 제어기

그림 5의 퍼지제어기는 그림 4의 기본 구조를 적용하였으며, 센서 네트워크 환경에서 측정된 센서 측정값을 이용하여 축사의 시설내의 환경을 파악하고 평가하여 제어를 결정하는 역할을 한다.

따라서 본 논문에서는 온도와 습도 그리고 이산화탄소, 메탄가스 등의 측정수치를 입력변수로 하여 평가하고 히터와 스프링클러 그리고 클리닝(청소 및 환풍)의 제어를 결정하였다. 이를 위해 입력변수에 대해서는 일반적인 삼각법을 사용한 퍼지화와 “IF-THEN” 형태의 제어규칙과 각각의 제어규칙에 해당하는 규칙베이스, 그리고 Mamdani’s Method(min-max) 방법의 퍼지 추론과 무게 중심법을 사용한 비퍼지화를 사용하였다[13,15,16].

##### 1.1 퍼지화 단계

퍼지화 단계는 입력 변수의 설정으로 논리 영역에서 각 요소에 대한 멤버십 값을 할당함으로써 정의된다. 본 논문에서는 일반적인 삼각법의 멤버십 함수를 사용하였으며, 그림 6는 입력변수들의 소속함수를 나타낸다.

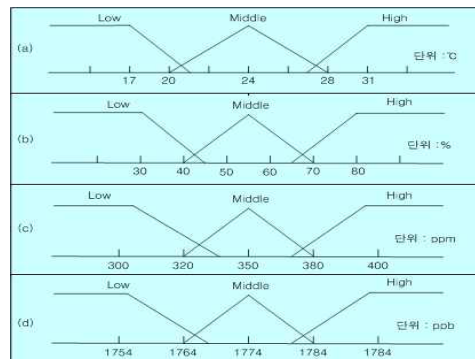


그림 6. 입력변수들의 멤버십 함수  
(a) 온도, (b) 습도, (c) CO<sub>2</sub>, (d) CH<sub>4</sub>  
Fig. 6. Membership Functions of the input Variables (a) Temperature, (b) Humidity, (c) CO<sub>2</sub>, (d) CH<sub>4</sub>

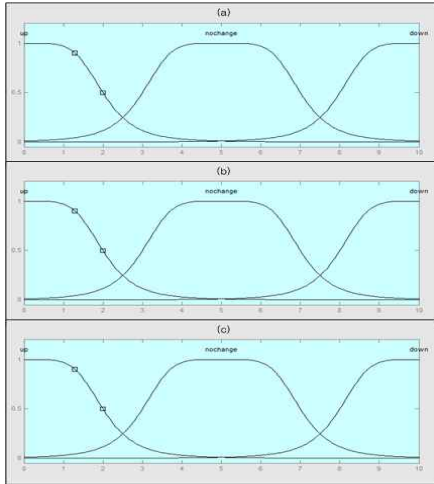


그림 7. 출력의 멤버십 함수  
 (a) 히터 (b) 스프링클러 (c) 클리닝  
 Fig. 7. Membership Functions of the Outputs  
 (a) Heater (b) Sprinkler (c) Cleaning

1.2 퍼지추론 단계

퍼지 제어 룰(rule)은 수학적 모델링 보다는 축사관리 시 얻어진 경험으로 이루어진다. 규칙 n개이고 입력변수가 k개인 퍼지 제어의 룰 베이스(Rule Base)는 IF-THEN형식으로 식 (1) 같은 구조를 가진다.

$$R^i : \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1}, \dots, \text{ and } x_k \text{ is } A_{ik}, \text{ THEN } y \text{ is } c_i \quad (1)$$

여기서,  $R^i$ 는 i번째 규칙을 의미하며,  $x_j (j = 1, \dots, k)$ 는 입력변수이고  $A_{ij}$ 는 퍼지집합의 멤버십 함수이다.

그림 8은 축사의 온도와 습도 그리고 이산화탄소, 메탄가스 등의 수치에 대해 퍼지화 단계를 거쳐, 그림 7의 출력 소속함수에 대한 식 (1)의 형식으로 작성된 룰 베이스이다.

1. If (온도 is te\_low) then (heater is he\_up)
2. If (온도 is te\_middle) then (heater is he\_nochange)
3. If (온도 is te\_high) then (heater is he\_down)
4. If (온도 is te\_high) or (습도 is hu\_low) then (sprinkler is sc\_up)
5. If (온도 is te\_middle) or (습도 is hu\_middle) then (sprinkler is sc\_nochange)
6. If (온도 is te\_low) or (습도 is hu\_high) then (sprinkler is sc\_down)
7. If (CO2 is co\_high) or (CH4 is ch\_high) then (cleaning is c\_up)
8. If (CO2 is co\_middle) or (CH4 is ch\_middle) then (cleaning is c\_nochange)
9. If (CO2 is co\_low) or (CH4 is ch\_low) then (cleaning is c\_down)

그림 8. 룰 베이스  
 Fig. 8. Rule Base

1.3 비퍼지화 단계

규칙베이스는 제어 입력과 출력 사이에 비선형 관계를 만들어 퍼지추론의 출력은 퍼지 값이다. 그러나 시스템을 제어하기 위해 명확한 값이 필요하며 이를 위해 크리슘 값을 출력한다. 따라서 비 퍼지화 단계는 추론된 퍼지제어 출력을 가장 잘 나타내는 크리슘(Crisp) 제어 출력을 산출하는 과정이다.

본 논문에서는 멤버십의 모든 요소들의 값을 모두 취하는 방법으로 무게 중심법(Center of Gravity Method)을 적용하였으며 다음 식 (2)으로부터 계산한다.

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

여기서, n은 퍼지규칙의 총 개수를 나타내며,  $y_i$ 는 각 규칙의 추론값을 나타낸다. 그리고  $y_0$ 는 추론된 값이다. 그리고  $w_i$ 는 규칙 i의 전반부 적합도이다.

2. 조기 경고 기법

실내나 밀폐된 공간에서 축산 배설물이 축적되기 시작하면 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고 메탄가스 등의 수치는 증가하게 된다. 이때 증가 추이는 예측가능한 정상 패턴의 형태로 나타나며, 퍼지시스템은 관리대상의 적정구간을 벗어나는 시점에 이를 인지하여 시스템을 제어하기 시작한다.

그러나 유리창 파손, 또는 배설물과 축사 주변 환경과의 작용으로 인해 예측치 못한 상황이 발생할 경우, 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고 메탄가스 등의 수치는 급격한 증가 또는 감소세를 나타낸다. 이때의 변화추이는 예측하기 어려운 비정상 패턴의 형태로 나타난다. 본 논문에서는 측정된 수치가 관리대상 구간의 적정 범위 내에서 비정상 패턴의 변화가 발생할 경우, 이를 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고기법(EWarM, **E**arly **W**arning **M**ethod)를 제안하였다.

유사도 평가는 대상이 되는 두 객체를 벡터로 표현하고, 각 벡터 간의 거리를 계산하여 그 결과를 객체 간의 유사도로 표현하는 기법이다[17, 18]. EWarM은 유사도 평가를 이용하여 대상이 되는 수치를 객체로 하여 측정시간에 따라 수치 변화의 정도를 파악하는 방법으로, [19]에서 제안한 두 블록 사이의 거리를 측정하는 공간모션 평가(local motion estimation)를 사용하여 EWarM 계수( $\epsilon$ )를 측정하였다. 각 블록의 크기(m과 n)는 측정수치의 개수이다.

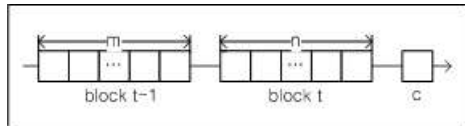


그림 9. Early Warning Method의 모델  
Fig. 9. Model of the Early Warning Method

본 논문은 그림 9에서와 같이 현재의 대상 수치(c)를 기준으로 일정시간 이전대의 블록(t-1)에 대한 현재시간 대의 블록(t)의 유사도를 계산한다. 제한한 유사도 측정을 위해 다음과 같은 식 (3)의 스칼라량의 EWarM 계수(ε)를 정의하였다.

$$\epsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \epsilon_i \quad (3)$$

$$\epsilon_i = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \cosh \left( \pi \left( \frac{b_t(x) - b_{i, t-1}(x)}{ub - lb} \right) \right) \quad (4)$$

$$b_t(x) = c(x) - b_{i, t}(x) \quad (5)$$

식 (4)에서, ub(upper bound)와 lb(lower bound)는 그림 6의 입력변수 membership에서 middle 범위의 각각 하한값과 상한값이며,  $b_t(x)$ 는 현재 수치(c)와 각 블록(t와 t-1) 내의 측정 수차간의 차로 식 (5)와 같다.

표 2는 온도에 대한 EWarM계수(ε)를 산출하는 과정으로 t와 t-1 블록 크기 5인 경우를 예로 표를 이용하여 설명한다. 표 2의 3번째 행은 측정수치로 일련번호 11을 현재의 수치(c)일 때, 일련번호 1~5까지를 블록(t-1)로, 일련번호 6~10까지를 블록(t)로 하여 식 (4)의  $\epsilon_i$ 를 계산하면 표 2의 4번째 행과 같다. 그리고 이를 평균하면, 식 (3)의 EWarM 계수(ε)는 1.27이 되는 것을 알 수 있다.

표 6. ε의 계산표  
Table 2. the table of ε

| 블록                 | t-1 |    |    |    |      | t    |      |      |      |      | 현재(c) |
|--------------------|-----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|-------|
|                    | 1   | 2  | 3  | 4  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |       |
| 일련번호               | 1   | 2  | 3  | 4  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11    |
| 측정값                | 21  | 21 | 21 | 21 | 21.2 | 21.3 | 22.7 | 21.6 | 22.6 | 24.2 | 25.1  |
| 식(4)의 $\epsilon_i$ | -   |    |    |    |      | 1    | 1.21 | 1.02 | 1.2  | 1.89 | -     |
| 식(3)의 ε            | -   |    |    |    |      |      |      |      |      |      | 1.27  |

#### IV. 조기경고기반 퍼지에이전트의 구현 및 평가

본 논문에서 구현한 조기경고기반 퍼지에이전트는 Matlab 2008a와 자바(안드로이드)로 구현하였으며, 사용한

데이터는 그림 6에서 정한 각 수치별 정상과 비정상 수치를 측사 전문가의 지식을 바탕으로 시스템의 기능을 최대한 테스트하기 위해 표 3과 같이 생성하였다. 표 3에는 수치가 점진적으로 변화하는 상태를 나타내는 자료로 그림 12의 ①을 중심으로 전후의 10개씩의 자료이다. 또한 급격하게 변화하는 상태의 자료로는 그림 13의 ②와③을 포함하는 구간의 수치이다. 여러 가지 데이터를 효과적으로 실험 할 수 있도록 파일에 두고 정해진 시간별로 적용하였다.

표 7. 온도 자료  
table 3. Temperature data

|            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 점진적 변화의 자료 | ...  | 22.5 | 22.7 | 23.0 | 23.3 | 23.6 | 23.9 | 24.2 | 24.6 | 24.9 |
| 급격한 변화의 자료 | ...  | 24.9 | 26.6 | 25.9 | 27.6 | 28.6 | 29.0 | 29.5 | 28.3 | 28.8 |
|            | 27.4 | 26.6 | 27.2 | 25.9 | 26.9 | 26.5 | 25.9 | 25.0 | 24.3 | ...  |

그림 10은 조기경고(EWarM)기반 퍼지에이전트의 메인 화면으로 현재 측사의 제어상태를 나타내주며 그림 5와 같이 두 단계로 동작한다.

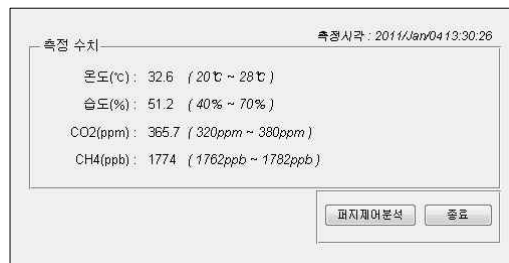


그림 10. 조기경고기반 퍼지에이전트의 주화면  
Fig. 10. main manu of EWarM Agent System based Fuzzy Logic Controller

첫 번째 단계는 퍼지제어 단계로 측정된 수치가 그림 5의 퍼지제어기에 입력되어 퍼지제어되는 단계이다. 그림 10은 측정된 수치(예, 온도)가 퍼지제어기에서 그림 6의 (a)에 의해 퍼지제어를 위한 내역을 도출한 결과이다. 그림 11에서 3개(a, b, c)의 그래프는 측정수치 중 온도에 대한 시스템의 결과를 10을 기준으로 비퍼지화한 결과 수치(빨간색 수직 점선)를 나타낸 것이다. 이때, (a)는 입력변수 온도가 23°C에 대해 시스템의 비퍼지화 결과 5를 나타내고, (b)는 15°C에 대해 1.82를, 그리고 (c)는 32°C에 대해 7.98을 나타내었다. 표 4에 본 연구에서 사용한 퍼지제어 시스템의 출력을 입력된 수치들(예, 온도), 비퍼지화 결과값 그리고 그림 7의 출력 멤버십 함수의 up, nochange(-), down으로 비교하여 나타내었다.

표 8. 퍼지시스템 결과  
table 4. result of the fuzzy system

|          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 측정값( 온도) | 18.4 | 19.4 | 20   | 21.3 | 25.9 | 26.2 | 27.8 | 28.6 | 29.5 | 30.2 |
| 비퍼지화 결과값 | 1.68 | 1.95 | 2.32 | 5    | 5    | 5    | 6.73 | 7.55 | 7.87 | 8.01 |
| 출력멤버십    | up   | up   | up   | -    | -    | -    | -    | down | down | down |

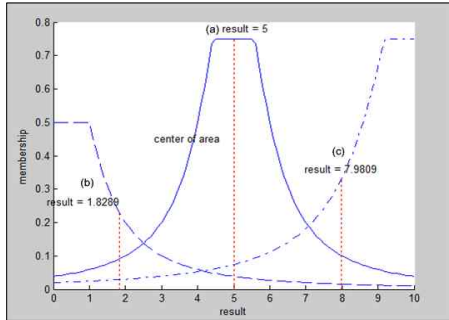


그림 11. 시스템의 비퍼지화  
Fig. 11. Defuzzification of fuzzy system

두 번째 단계는 조기경고 에이전트로 퍼지제어기에 연결되어 동작한다. 조기경고에이전트로 전달되는 자료는 퍼지제어기의 제어동작 중 현재 상태를 유지하는 동작(그림 7의 nochange)으로 입력수치가 정상조건인 범주(그림 6의 middle)에 있는 경우이다. 즉 조기경고 에이전트의 입력 자료는 퍼지제어기가 아무런 행동을 하지 않는 경우의 입력 자료가 된다. 이와 같이 조기경고 에이전트는 입력되는 자료가 적정 범위내에서 비정상 패턴의 변화가 발생할 경우, 이를 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고를 한다.

그림 12는 온도 수치가 점진적으로 빠르게 증가하는 것을 조기경고 에이전트가 시점을 인식한 경우로 EWarM 계수(ε)가 1.2 (EWarM 계수(ε) 그래프와 선 ①의 교차점)인 시점(측정수치 그래프와 선 ①의 교차점)이다.

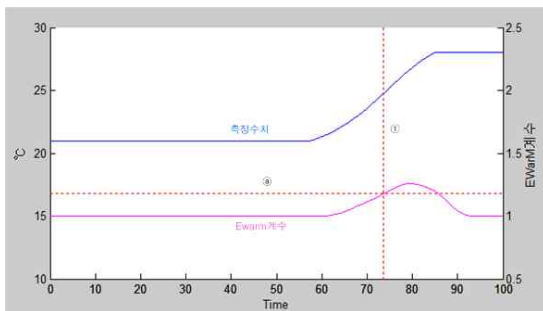


그림 12. EWarM의 처리결과 (1)  
Fig. 12. Results (1) of the EWarM process

또한 그림 13은 온도수치가 급격하게 증가 또는 감소하는 것을 조기경고 에이전트가 시점을 인식한 경우로 EWarM 계수(ε)가 1.2 (EWarM 계수(ε) 그래프와 선 ①의 교차점)인 시점(측정수치 그래프와 선 ①~⑫까지의 교차점)이다.

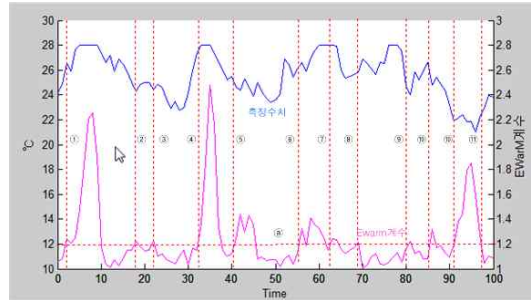


그림 13. EWarM의 처리결과 (2)  
Fig. 13. Results (2) of the EWarM process

이와 같이 조기경고기법에 기반한 퍼지에이전트는 그림 12과 그림 13와 같은 상태를 인식하여 스마트폰을 통해 그림 14와같이 적절한 조치를 취할 수 있도록 관리자에게 알린다. 조기경고 대상항목은 빨간색으로 나타내며 화면에서 process 버튼을 누르면 이전에 조치한 내역과 제어처리를 지정 및 저장할 수 있도록 하였다.



그림 14. 스마트폰 조기경고화면  
Fig. 14. An early-warning menu of the smart phone

## V. 결론

본 논문에서는 실내나 밀폐된 공간에서 축산 배설물이 축적되기 시작하면 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고, 메탄가스

등의 증가되는 수치를 ZigBee 센서 네트워크를 통해 전달받을 수 있도록 인프라를 설계하고, 이때의 증가 추이가 예측 가능한 정상 패턴의 적정 수치를 벗어나는 시점에 이를 인지하여 제어하는 퍼지시스템을 설계 및 구현하였다.

또한 유리창 파손, 또는 배설물과 축사 주변 환경과의 상호작용으로 인해 예측치 못한 상황이 발생할 경우, 온도, 습도, 이산화탄소, 그리고 메탄가스 등의 수치는 급격한 증가 또는 감소세를 나타낸다. 이때의 변화추이는 예측하기 어려운 비정상 패턴의 형태로 나타난다. 따라서 본 논문에서는 관리 구간의 적정 범위 내에서 비정상 패턴의 변화가 발생할 경우, 이를 인식하여 위해요소를 미리 제거할 수 있는 조기경고기법(EWarM, Early Warning Method)을 제안하여 구현하였다.

성능평가를 통해, 다양한 상황에서의 성능평가를 통해 조기경고기법에 기반한 퍼지에이전트가 위해 요소를 제거하는데 유용하다는 것을 입증하였다.

향후 과제로는 조기경고기법에 기반한 퍼지에이전트에서 사용한 EWarM 계수( $\epsilon$ )의 산정 시 환경에 적용하여 선정할 수 있는 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Dong-Il Chang, Soung-Rai Kim, Hong-Hee Chang, "Design of Environment Control and Automated Management Systems for Animal Production : A Review" Journal of Livestock Housing and Environment , v. 1(1), pp. 21-38, 1995.
- [2] Chung-Tae Sang, Min-Young Bong, Moon-Gyeong Kyu, "Temperature Control of Greenhouse Using Ventilation Window Adjustments by a Fuzzy Algorithm ," Journal of Bio-Environment Control , v. 10(1), pp. 42-49, 2001.
- [3] IETF 6LoWPAN Working Group, <http://tools.ietf.org/wg/6lowpan>
- [4] IETF ROLL Working Group, <http://tools.ietf.org/wg/roll>
- [5] IETF CoRE Working Group, <http://tools.ietf.org/wg/core>
- [6] ZigBee, Alliance <http://www.zigbee.org/>
- [7] HART, Communication <http://www.hartcomm.org>
- [8] ISA 100, Wireless Systems for Automation <http://www.isa.org/isa100>
- [9] Andreas Andersson, Mattias Thoren. "ZigBee: A suitable base for embedded wireless development[D]," Sweden: Chalmers University of Technology, 2004.
- [10] Ata Elahi, Adam Gschwender, "ZigBee Wireless Sensor and Control Network," Prentice Hall, pp.40-42, Oct 29, 2009.
- [11] Jung-Hoon Park, Joong-Min Choi, "A Method of Efficient Task Execution by Integrating Plan Rules in Multi-Agent Systems," Journal of KISS:Software and Applications Vol 27. Issue 8, pp. 834 ~ 845 , 2000
- [12] W. Pedrycz, "Fuzzy Control and Fuzzy Systems," Research Studies Press (RSP) Ltd, England, 1989
- [13] Hee-chul Kwon, Jung-sang Yoo, "Fuzzy Inference System Architecture for Customer Satisfaction Service," Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.15, no.1, pp.219-226, 2010
- [14] Young-Woon Woo, Soo-Jong Lee, Kwang-Baek Kim, "Controlling of Dam Gates with Outflow Control by Dynamic Fuzzy Inference," Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.13, no.7, pp.75-82, 2008
- [15] Kwang-Baek Kim, Jae-Hyun Cho, "Recognition System of Car License Plate using Fuzzy Neural Networks," Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.12, no.5, pp.313-319, 2007.
- [16] Dae-Hee Ryu, Se-Yul Lee, Hyeock-Jin Kim, Young-Deog Song, "Anomaly Detection Mechanism based on the Session Patterns and Fuzzy Cognitive Maps ," Journal of the Korea Society of Computer and Information, v.10, no.6, pp.9-16, 2005
- [17] Seunghwan Kim, Jinkyun Park, Sangyong Han, "Anomaly Detection Mechanism based on the

Session Patterns and Fuzzy Cognitive Maps,"  
Journal of the Korea Society of Computer and  
Information, v.15, no.9, pp.165-172, 2010

- [18] Kyoung-Sik Cho, Ja-Young Koo, "An Improved  
Object Detection Method using Hausdorff  
Distance Modified by Local Pattern Similarity,"  
Journal of the Korea Society of Computer and  
Information, v.12, no.6, pp.147-152, 2007
- [19] F. Essannouni, R. Oulad. Haj. Thami, A. Salam,  
and D. Aboutajdine. "A new fast full search  
block matching algorithm using frequency  
domain," ISSPA'05, Sydney, Australia, August  
28 - 31 2005.

## 저자 소개



### 이형일

1985 : 명지대학교 전자계산학과  
공학사.

1994 : 명지대학교 전자계산학 공  
학석사.

2000 : 명지대학교 컴퓨터공학과  
공학박사

현재 : 김포대학 인터넷정보과 교수  
관심분야 : 기계학습, 미디어 영상  
인식, 퍼지제어

Email : hilee@kimpo.ac.kr



### 최학운

1985 : 숭실대학교 전자공학과 공  
학사.

1987 : 숭실대학교 전자공학과 공  
학석사.

1999 : 건국대학교 전자공학과 공  
학박사

현재 : 김포대학 정보통신과 교수  
관심분야 : 신호처리, 안테나 및  
전파전파

Email : hychoi@kimpo.ac.kr

