

# 생체 모방 로봇을 이용한 관로 모니터링 시스템의 구현

신 대 정<sup>†</sup> · 나 승 유<sup>\*\*</sup> · 김 진 영<sup>\*\*\*</sup> · 정 주 현<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 생체 모방 로봇을 이용한 관로 모니터링 시스템에 대하여 제안한다. 생체 모방 로봇은 관로를 이동하며 온도, 습도, 진동 등 다양한 정보를 획득한다. 관로를 이동하기 위하여 기본적으로 갖추어야 할 기능은 로봇이 이동하여야 할 관로의 형태를 인식하는 것이다. 관로의 형태 인식을 위한 센서로 적외선 거리 측정 센서를 사용하며, 모터에 연결된 센서는 회전 운동을 하며 측정된 각도 및 거리 정보 데이터를 이용하여 관로의 형태, 각도 등을 인식한다. 관로의 형태 인식은 모터에 의해 회전 운동하는 적외선 거리 측정 센서에 의해 감지되는 관로의 개수와 위치에 의한다. 한번 스캔된 데이터에서 감지되는 관로의 수에 따라 별도의 퍼지 분류기를 이용하여 형태 및 관로의 휘어진 각도 등을 추정하며, 다양한 형태의 관로에 대해 실제 측정된 데이터를 통하여 제안된 시스템이 효율적임을 확인한다.

키워드 : 관로 모니터링 로봇, 형태 인식, 생체 모방학, 퍼지 분류기

## Implementation of Pipeline Monitoring System Using Bio-memetic Robots

Daejung Shin<sup>†</sup> · Seung You Na<sup>\*\*</sup> · Jin Young Kim<sup>\*\*\*</sup> · Joohyun Jung<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

We present a pipeline monitoring system based on bio-memetic robot in this paper. A bio-memetic robot exploring pipelines measures temperature, humidity, and vibration. The principal function of pipeline monitoring robot for the exploring pipelines is to recognize the shape of pipelines. We use infrared distance sensor to recognize the shape of pipelines and potentiometer to measure the angle of motor mounting infrared distance sensor. For the shape recognition of pipelines, the number of detected pipelines is used during only one scanning of distance. Three fuzzy classifiers are used for the number of detected pipelines, and the classifying results are presented in this paper.

Keywords : Pipeline Monitoring System, Pattern Recognition, Bio-memetics, ANFIS, Fuzzy Classifier

### 1. 서 론

로봇 개발의 초기에 반복적인 작업을 정밀하고 빠르게 수행하는 비교적 단순한 형태의 산업용 로봇의 개발이 주를 이루었던 반면, 최근에는 인간을 닮은 형태의 로봇 뿐만 아니라 다양한 종류의 서비스 로봇들의 개발이 이루어지고 있다 [1-3]. 최근 로봇 개발의 이러한 추세는 기존의 로봇들에게 부족하였던 인공지능 지능을 부여하는 단계로 넘어가고 있으며 [1, 2], 언제 어디서든 로봇에 접근하고 로봇 또한 어디에서든 원하는 곳에 접속할 수 있는 유비쿼터스 로봇 [4]의

단계에 접어들고 있다. 이러한 로봇의 발전 과정에서 주목할 만한 내용 중 하나는 다양한 생명체의 형태를 모방하고 흉내 내는 것이다. 곤충을 닮은 곤충 로봇, 물고기를 닮은 물고기 로봇, 개나 말처럼 네 개의 다리로 바퀴기반의 로봇이 이동하기 힘든 지형도 쉽게 무거운 짐을 싣고 이동할 수 있는 견마 로봇 등 다양한 형태의 로봇이 연구되고 있다. 제한된 환경에서 가장 효율적으로 동작할 수 있는 형태의 생명체를 모델로 하여 로봇을 개발하고자 하는 것으로 이러한 형태의 로봇들을 생체 모방 로봇이라 부른다 [5-8]. 인간을 닮은 로봇을 인간형 로봇이라 부르지만, 이 또한 넓은 의미에서 생체 모방 로봇의 하나이다.

본 논문에서 제안한 관로 모니터링 시스템을 구축하기 위한 관로 이동 로봇의 구현 또한 관로를 이동할 수 있는 형태를 갖춘 생체 모방 로봇이다. 4개의 그림퍼로 관로를 움켜쥐고 이동할 수 있는 구조를 가지며, 관로의 인식을 위한 인식 시스템을 구축한다. 관로 이동 로봇이 관로를 인식하는 방법으로 적외선 거리 측정 센서를 회전시켜 얻는 각도,

\* This work was supported by the Second BK21, CNU and the NURI-CEIA, CNU.

† 정 회 원 : 전남대학교 유비쿼터스정보가전사업단 박사후연구원

\*\* 종신회원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

\*\*\* 정 회 원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

\*\*\*\* 준 회 원 : 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정

논문접수 : 2009년 9월 11일

수정일 : 1차 2009년 12월 23일

심사완료 : 2010년 2월 3일

거리 정보를 이용한다. 본 논문의 2장에서는 관로 인식 시스템을 위한 관로 이동 로봇을 3장에서는 로봇에 장착된 센서, 관로 인식을 위한 센서 신호처리, 퍼지 분류기를 다루며 4장에서는 관로 모니터링 시스템을 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. 관로 이동 로봇

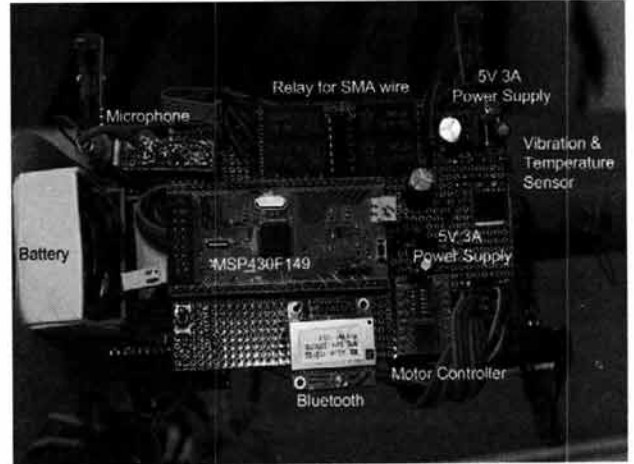
### 2.1 이동 로봇

관로 이동 로봇은 집게 모양의 고정 장치를 팔의 말단에 설치하여 관로를 움켜쥐고 이동할 수 있도록 설계된 생체 모방 로봇이다. 관로 이동 로봇은 원숭이나 도마뱀과 같은 동물처럼 가느다란 관로를 움켜쥐고 천천히 이동한다. 관로를 이동하는 로봇을 제작하기 위하여 관로를 움켜질 수 있는 특수한 형태의 그립퍼와 움켜잡은 후 로봇의 몸체를 끌어당길 수 있는 구조의 관절을 제작하였다. 로봇은 무선 환경에서 자율적으로 동작하며 원하는 데이터를 획득하고 이를 서버로 전송한다.

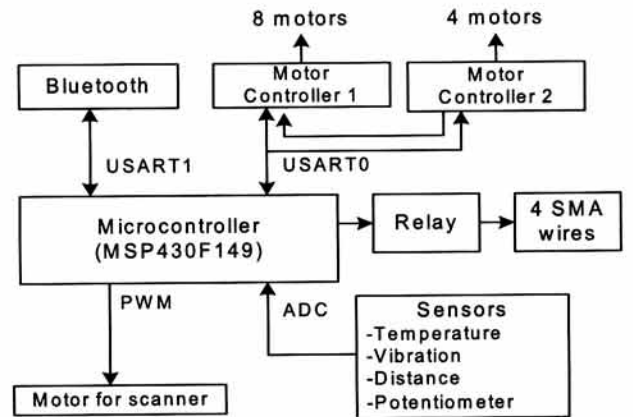
그립퍼의 동작을 위하여 형상 기억 합금에 전류를 공급하거나 차단하는 장치로 릴레이를 사용한다. 형상 기억 합금이 사용된 그립퍼는 로봇의 4개의 다리 말단에 위치한다. 로봇의 이동을 위하여 네 개의 팔들 중의 하나를 이동시키기 위하여 움켜쥐고 있던 그립퍼의 말단부를 벌리고, 서보 모터와 연결된 관절들의 각도를 이동시켜 팔을 앞으로 진행하도록 한다. 앞으로 진행된 팔이 관로에 고정되도록 그립퍼의 형상 기억 와이어의 전력을 차단하고 충분히 관로를 움켜쥐는 힘이 가해지면 정해진 순서대로 나머지 팔들을 관로의 앞 혹은 뒤 쪽으로 이동시킨다. 제작된 관로 이동 로봇의 무게는 배터리를 포함하여 790g이다. 관로 모니터링 시스템을 구현하기 위하여 관로에서 이동 중에 관측할 수 있는 유용한 센서 정보를 수집하여 서버에 전송한다.

### 2.2 마이크로컨트롤러

관로 이동 로봇은 관로를 인식하고, 관로 상을 이동하기 위하여 12개의 모터와 4개의 형상 기억 합금 와이어에 전력을 공급하거나 차단하며, 관로 상에서 획득한 센서 데이터를 서버에 전송하여야 한다. 관로 이동 로봇을 위한 모터 제어, 센서 인터페이스, 외부와의 통신 등 모든 기능을 수행하는 마이크로컨트롤러로 TI사의 MSP430F149를 사용한다. 이동 로봇의 구현을 위한 다수의 서보 모터를 제어하기 위하여 시리얼 포트에 별도의 모터 컨트롤러를 연결하여 사용하고 적절한 명령/데이터의 전송을 위하여 나머지 시리얼 통신 포트에 블루투스 모듈을 연결하여 사용한다. 로봇의 동작을 위한 마이크로컨트롤러의 실제 모습을 (그림 1)의 (a)에, 그 블록도를 (b)에 보인다. 별도의 모터 컨트롤러를 사용하여 마이크로컨트롤러는 다수의 모터를 제어하는 데 큰 부하를 피할 수 있고, 진동, 소음, 온도 등 다양한 센서 값을 획득하고 분석한다. 마이크로컨트롤러가 로봇의 그립퍼를 온/오프 하는 것은 디지털 출력 신호로 충분하며, 릴레



(a) 관로 이동 로봇의 마이크로컨트롤러부



(b) 관로 이동 로봇의 블록도

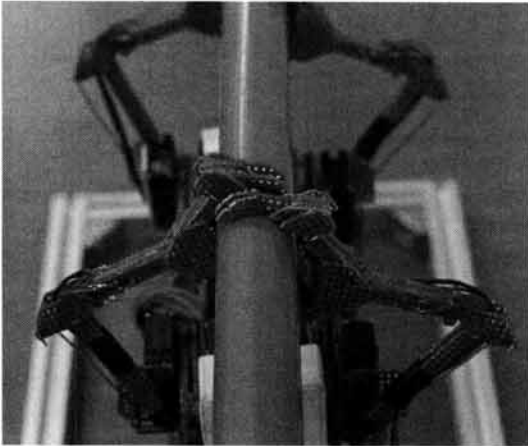
(그림 1) 관로 모니터링 로봇을 위한 마이크로컨트롤러 (Fig. 1) Microcontroller for the pipeline monitoring robot

이를 사용하여 전력을 공급하거나 차단한다.

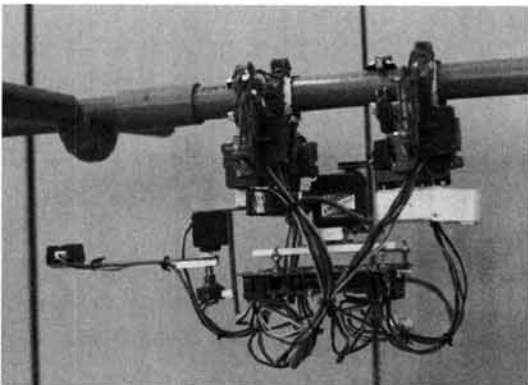
### 2.3 그립퍼

구조를 단순화시키고 부피를 작게 하기 위하여 그립퍼의 구동을 형상 기억 합금 와이어를 사용하였다. Flexinol이라는 이름을 가진 형상 기억 합금 와이어는 니켈과 티타늄 합금의 일종으로 70°C에 도달하면 길이가 약 4% 정도 짧아지는 특성을 가진다. 이러한 성질을 이용하여 단순한 동작을 하는 액추에이터를 제작하는 것이 가능하다. 로봇이 관로를 움켜쥐는 장치인 그립퍼를 (그림 2)의 (a)에 보인다. 그립퍼는 관로를 움켜질 수 있는 부분과 관절, 그리고 관절을 움직이기 위하여 사용된 형상 기억 합금으로 구성된다. 형상 기억 합금은 일정한 전력을 공급하면 온도가 상승하면서 합금 와이어의 길이가 수축된다. 와이어의 수축은 관절을 움직이게 하여 그립퍼의 말단 부분이 벌어지도록 한다. 또한 전력 공급을 중단하면 합금 와이어가 원상태로 되돌아가면서 관절을 구성하는 스프링의 힘에 의해 관로를 움켜쥐게 된다.

실제 로봇 제작에 사용한 형상 기억 합금 와이어는 두께



(a) 관로 이동 로봇의 그립퍼 부분



(b) 관로 이동 로봇의 동작

(그림 2) 관로 이동 로봇  
(Fig. 2) Pipeline monitoring robot

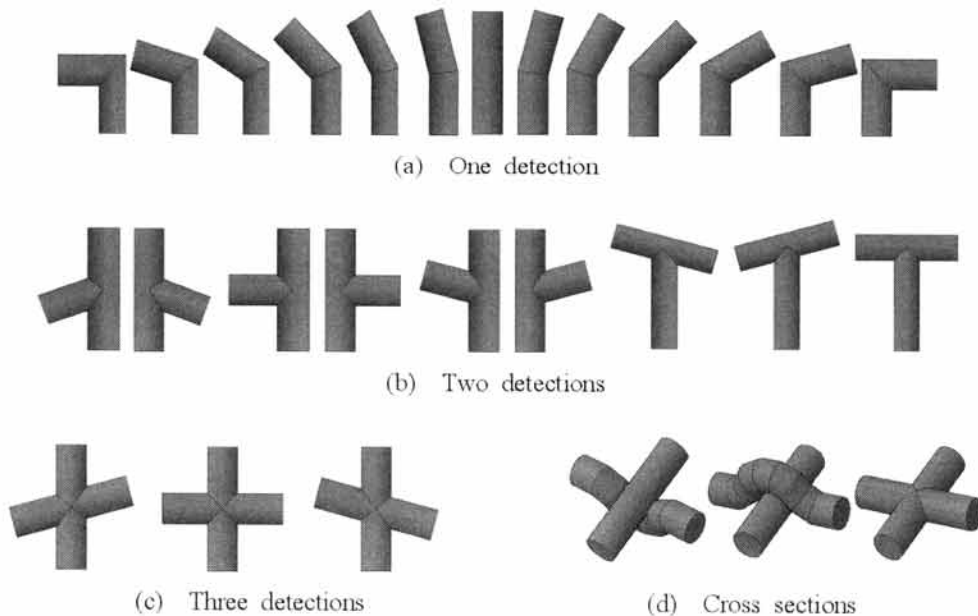
0.004인치, 단위 인치당 3Ω의 저항을 가진다. 약 10인치 길이의 와이어 2개가 힘을 가하는 지점 4곳에 위치하도록 설치되어 있다. 따라서 결합된 와이어 하나당 약  $150g \times 8 = 1200g$ 의 힘을 가진다. 이러한 와이어 세트가 하나의 그립퍼의 양쪽에 설치되어 총 2.4Kg 정도의 힘을 가진다. 길게 연장되고 병렬로 연결된 형상 기억 합금 와이어의 전체 저항은 약 15Ω이며, 5V 전압을 가했을 때 약 0.37A의 전류가 흐르고, 수축하여 그립퍼의 한쪽 관절에서 약 15° 정도의 변이를 보이며 전체적으로 약 30° 정도의 변이를 보인다.

로봇의 모든 관절은 하나의 모터에 의해 한쪽 축으로 회전 운동한다. 모터의 회전 운동으로 팔을 안쪽으로 혹은 바깥쪽으로 이동시키고, 또한 물체를 앞으로 혹은 뒤로 이동시킨다. 제작된 로봇을 (그림 2)의 (b)에 보인다.

### 3. 관로 인식

#### 3.1 관로 형태 인식

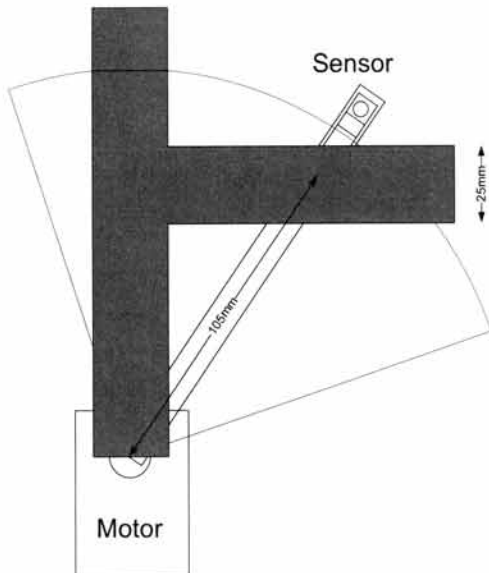
관로 이동용 생체 모방 로봇의 동작을 위하여 로봇은 관로의 형태를 인식해야만 한다. 일반적으로 한쪽 방향으로 휘어진 관로, 분기되는 관로, 교차하는 관로 등 다양한 형태의 관로를 예로 들었다. (그림 3)에 보여지는 관로의 예는 관로 측정 시스템이 측정한 거리, 각도 정보로부터 획득된 관로가 존재하는 영역의 개수로 구분한 것이다. 그리고 마지막 (d)는 '⊕' 모양으로 교차하거나 분기되는 관로의 다양한 형태에 대하여 보인 것이다. (그림 3)과 같은 관로의 분류는 관로의 형태를 측정할 수 있는 최적의 위치에서 측정 시스템이 감지하는 관로의 개수에 따라 구분한 것이다. (그림 3)의 (a)는 하나의 관로만 감지되는 경우, (b)는 두 개의



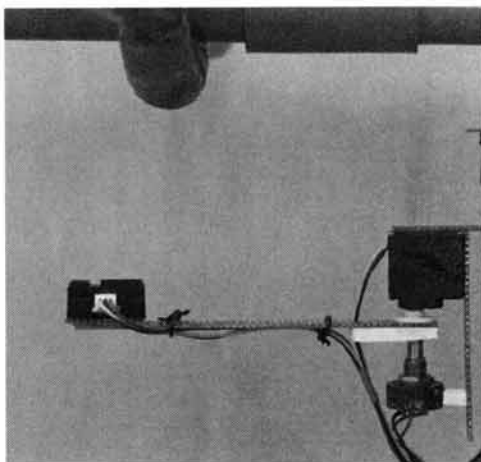
(그림 3) 분류를 위한 관로의 다양한 형태  
(Fig. 3) Various Pipeline shape for the classification

관로가 감지되는 경우이며, (c)는 세 개의 관로가 감지되는 경우이다. 그리고 (그림 3)의 (d)는 (c)의 특별한 경우들로, 교차하거나 분기되는 '우'자 모양에 대한 구체적인 다른 경우의 예를 보인 것으로, 제안된 시스템은 (d)의 경우까지도 분류가 가능하다.

관로의 형태 인식을 위한 방법으로 관로 이동 로봇에 적외선 거리 측정 센서와 센서를 회전 이동시키기 위한 모터, 모터의 이동 각도를 측정하기 위하여 모터의 회전축에 포텐시오미터를 설치한다. 모터 축에서 적외선 거리 측정 센서까지의 거리는 약 10.5cm이며, 센서의 길이는 2.9cm이다. 센서는 모터 방향으로 적외선 수신부, 바깥쪽으로 적외선 송신부가 위치하도록 배치되어 있다. 실험에서 사용한 관로는 직경 2.5cm이며, PVC로 제작된 것이다. (그림 4)의 (a)에 관로 측정 장치의 개념도를, (b)는 로봇에 부착된 관로 측정 장치의 실제 모습을 보인 것이다.



(a) 관로 측정 장치의 개념도



(b) 관로 측정 장치

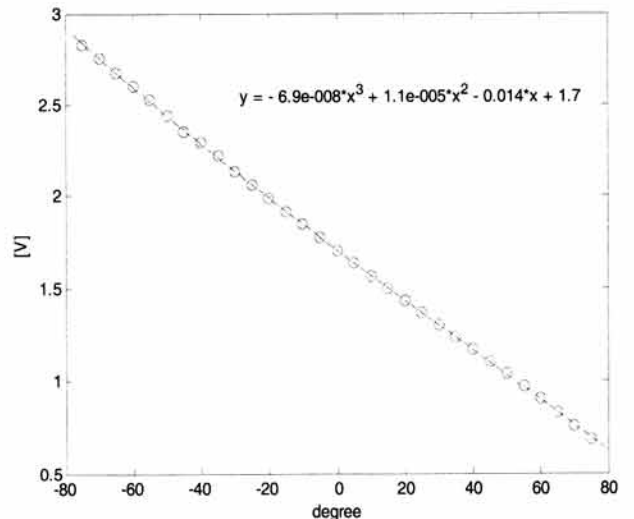
(그림 4) 관로 모양 측정 시스템  
(Fig. 4) Pipeline shape measurement system

3.2 센서부 및 신호 처리

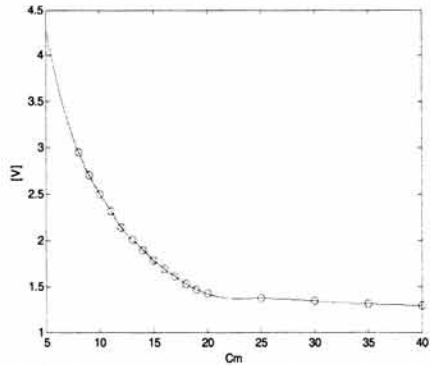
관로를 측정하기 위한 모터의 스캔 범위는 로봇의 좌측으로 75°에서 우측으로 75°이다. 좌측에서 우측으로 스캔하는 시간은 약 9.5초 정도의 시간이 필요하며, 스캔이 완료된 후 다시 스캔하기 위한 위치로 되돌아오는데 약 1.4초의 시간이 필요하다. 스캔하는 동안 적외선 거리 측정 센서와 포텐시오미터의 출력 신호는 초당 20회 샘플링된다. 한번 스캔하는 동안 약 190여개의 거리 및 각도 정보가 획득된다. 190여개의 거리, 각도 정보는 관로의 모양을 분류하기 위한 데이터로 너무 많은 양이기 때문에 -70°에서 +70°까지 2°간격으로 측정된 데이터들을 변환하여 총 71개의 데이터를 생성하여 관로 모양의 식별을 위한 퍼지 분류기의 입력으로 사용한다. 스캔 과정에서 모터의 각도 정보를 획득하기 위하여 얻은 포텐시오미터의 출력 전압을 각도 정보로 환산하기 위하여 사용한 측정 데이터를 (그림 5)에 보인다.

(그림 6)은 적외선 거리 측정 센서의 실제 측정 거리에서의 출력 전압 값을 보인 것이다. 측정된 전압 값은 (그림 6)의 기본 데이터로부터 얻은 인터플레이션된 값을 이용하여 거리로 환산된다. 적외선 거리 측정 센서는 얻어진 데이터와 같이 비선형적인 특징을 보이며, 약 20cm까지는 비교적 정확한 측정값을 보이지만 그 이상의 거리에서는 상당히 큰 오차를 보이므로, 실험에서는 관로 영역을 감지하는데 사용하는 거리 정보 데이터를 약 20cm 까지만 이용한다. 이는 측정된 관로의 거리 데이터에서 20cm 이상 떨어진 것들은 최종적으로 무시하며, 이 거리는 관로 이동 로봇이 실제 접근할 수 없는 영역이다. 모터와 결합되어 있는 포텐시오미터의 축이 완전히 일치하지 않아 각도별로 결과를 보인다. 모터의 회전 각도에 대한 비틀어짐을 보정하기 위하여 일정한 거리에서 얻은 각도별 평면에 대한 거리 정보 데이터를 (그림 7)에 보인다. (그림 7)의 비틀어짐 정보를 이용하여 각도별 측정된 거리 정보로부터 보정하여 사용한다.

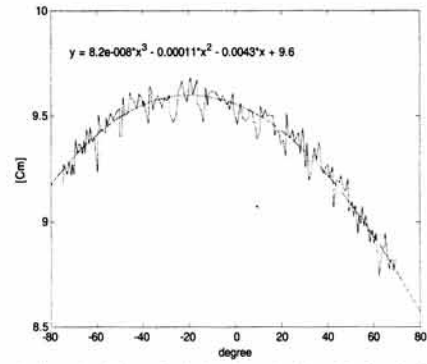
(그림 8)의 (a)는 관로 이동 로봇이 관로의 형태를 측정



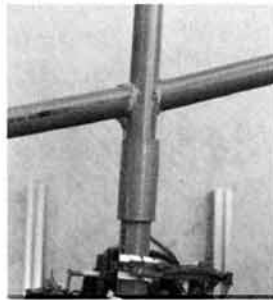
(그림 5) 포텐시오미터의 각도별 출력 전압 특성  
(Fig. 5) Degree-output voltage characteristics of potentiometer



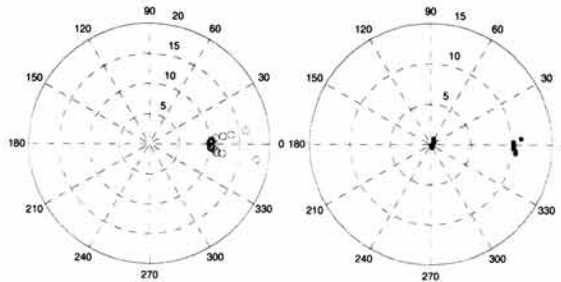
(그림 6) 적외선 거리 측정 센서의 거리별 출력 전압  
(Fig. 6) Distance-output voltage characteristics of infrared distance sensor



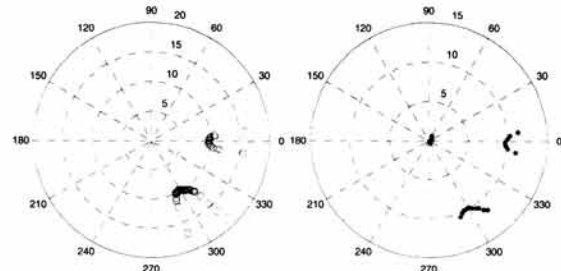
(그림 7) 적외선 스캐너의 각도에 따른 측정 거리 특성  
(Fig. 7) Angle-distance characteristics of the infrared scanner for the same distance



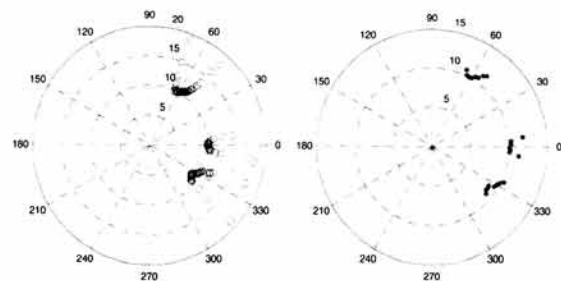
(a) 측정 환경



(b) 1개의 관로가 관측되는 경우 측정 데이터와 퍼지 입력 데이터



(c) 2개의 관로가 관측되는 경우 측정 데이터와 퍼지 입력 데이터



(d) 3개의 관로가 관측되는 경우 측정 데이터와 퍼지 입력 데이터

(그림 8) 다양한 관로의 측정 데이터 예  
(Fig. 8) Measurement examples for the various pipeline

하는 과정을 보이는 것이고, (b), (c), (d)는 스캔된 거리 정보 데이터로 확인한 관로의 감지 개수가 각각 1, 2, 3개 일 때 거리, 각도 데이터를 좌측에 보이며, 퍼지 분류기의 입력 데이터로 사용하기 위한 데이터를 우측에 보인다.

3.3 퍼지 분류기

시스템이 복잡하여 수학적인 모델링이 곤란한 경우나 불확실성이 많은 경우에 전문가의 경험적인 판단을 모델링하는 수단으로 사용되는 퍼지 추론 시스템은 아주 유용한 도구이다. Jang[9]에 의해 제안된 ANFIS(Adaptive-Neuro-based Fuzzy Inference Systems)는 인공 신경 회로망의 특징인 학습 기능을 이용하여 퍼지 규칙부의 변수들이 출력신호를 추종하도록 학습데이터에 기반한 적응형 퍼지 추론 시스템이다. 오차역전법 (backpropagation gradient descent method)에 기반하여 퍼지 시스템의 조건부 멤버십 함수들이 결정되어 시스템이 구성된다.

ANFIS에서 사용하는 Takagi와 Sugeno 타입[10]의 퍼지 if-then 규칙은 다음과 같다.

- Rule 1: If  $x$  is  $A_1$  and  $y$  is  $B_1$ , Then  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$ ,
- Rule 2: If  $x$  is  $A_2$  and  $y$  is  $B_2$ , Then  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$ .

$x$ 는  $i$ 번째 노드의 입력,  $A_i$ 는 크다, 작다 등의 언어 변수이다. ANFIS의 5개의 레이어 중에서, 첫 번째 레이어는 입력 변수를 퍼지화 하는 단계이다. 퍼지화 함수로는 벨 모양의 다음과 같은 식을 사용한다[10].

$$\mu_{A_i}(x) = \exp\left\{-\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right\} \quad (1)$$

$a_i, c_i$ 는 언어 변수를 구성하는 파라미터이다.

퍼지화된 입력은 두 번째 레이어에서 퍼지곱 연산을 수행한다. 이 노드의 출력은 각 규칙의 firing strength를 표현한다[10].

$$\omega_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(x) \quad (2)$$

세 번째 레이어에서는  $i$ 번째 퍼지 규칙의 firing strength에 대한 모든 퍼지 규칙의 firing strength의 합의 비로 계산된다. 이는 일반적인 퍼지 시스템에서의 퍼지 규칙에 해당한다. 식 (4)는 정규화된 firing strength이며 세 번째 레이어의 출력이다[10].

$$\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2}, i = 1, 2. \quad (3)$$

네 번째 레이어는 퍼지 출력 멤버십 함수를 나타내는 곳으로, 퍼지 논리 시스템의 후건부를 선형식으로 표현한 것

으로 다음과 같이 표현된다[10].

$$\bar{\omega}_i f_i = \bar{\omega}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (4)$$

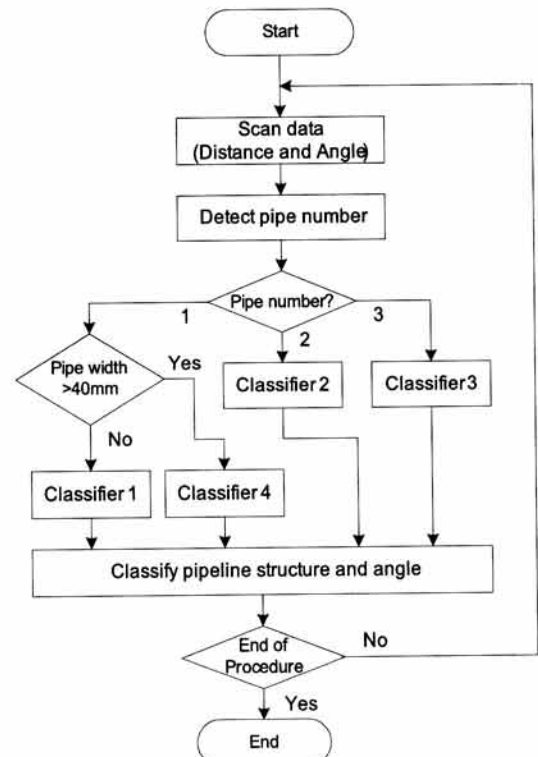
마지막으로 다섯 번째 레이어는 전체 출력을 다음 비퍼지화 식으로 표현된다[10].

$$overall\ output = \sum_i \bar{\omega}_i f_i = \frac{\sum_i \omega_i f_i}{\sum_i \omega_i} \quad (5)$$

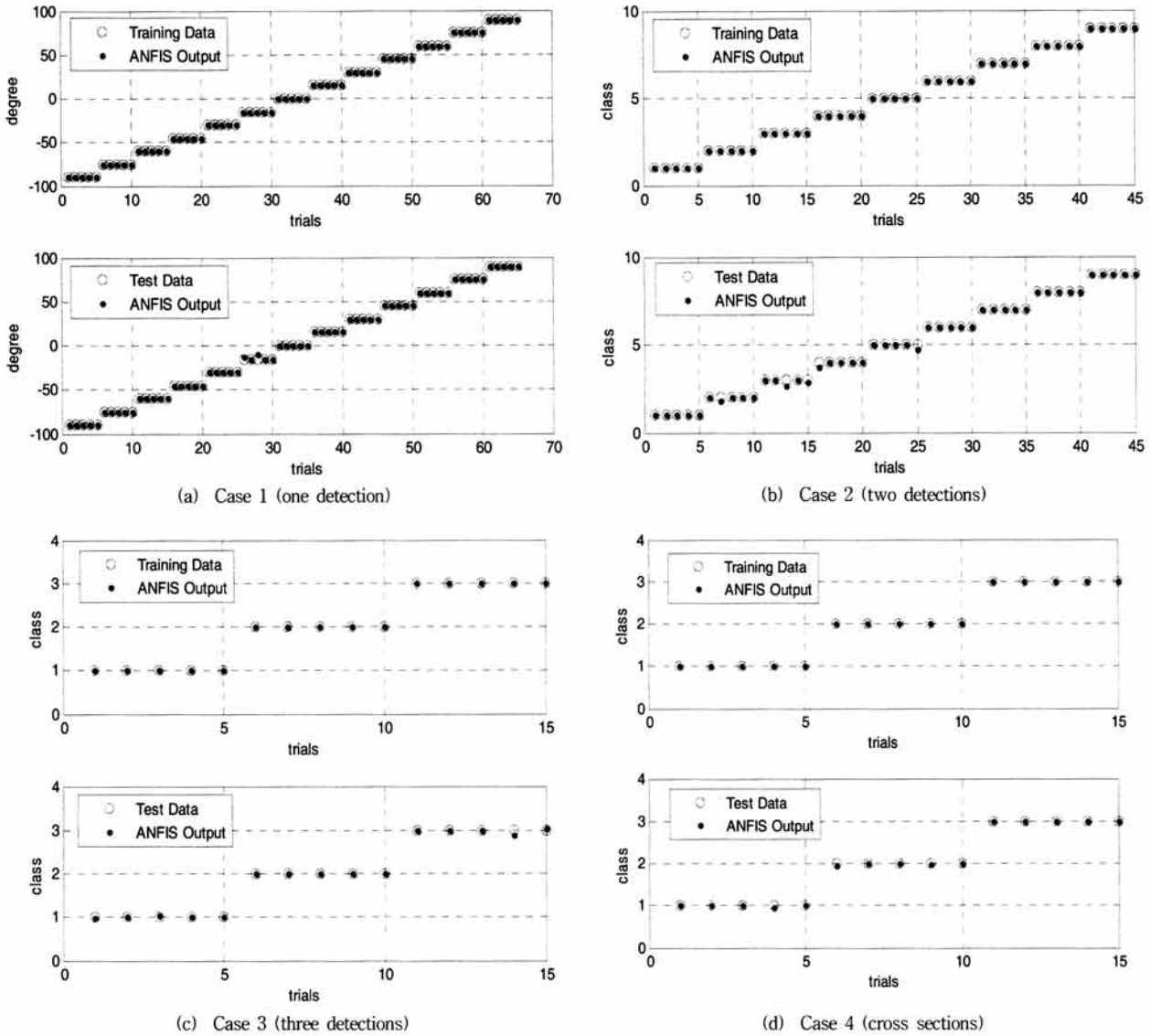
관로 모양을 인식하기 위한 전체적인 시스템의 블록도는 (그림 9)에 보인다. 관로 측정 시스템은 스캔과 동시에 감지된 관로의 개수를 인식하여 (그림 3)의 (a), (b), (c) 중의 하나의 클래스로 구분한다.

또한 클래스 (c)에 속한 경우 과거 측정된 데이터를 이용하여 교차 혹은 분기 등을 확인한다.

각 클래스별 인식 결과를 (그림 10)에 보인다. (그림 10)의 (a)는  $-90^\circ, -75^\circ, -60^\circ, -45^\circ, -30^\circ, -15^\circ, 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$  휘어진 관로에서 획득된 데이터를 이용하여 휘어진 각도를 추정한 결과이다. (b)는 (그림 6)의 (b)에 보여진 '┌'와 '└' 모양의 다양한 각도에 대한 클래스를 인식한 결과이며, (c)는 '└' 모양으로 교차 혹은 분기되는 형태를 구분한 결과이다. 그리고 마지막 (d)는 '└' 모양으로 교차 혹은 분기되는 형태 중에서 분기점의 모양을 따로 구분한 결과이



(그림 9) 관로 인식 시스템의 순서도  
(Fig. 9) Flowchart for the pipeline recognition system



(그림 10) 인식 결과  
(Fig. 10) Recognition results

다. (그림 10)의 인식 결과의 오차와 표준편차를 <표 1> - <표 4>에 보인다.

분기된 관로는 그 형태와 모양에서 아주 복잡한 양상을 보일 수 있다. (그림 11)은 'U' 모양의 관로가분기된 것인지, 아니면 서로 떨어져서 교차된 것인지를 확인하는 방법을 보인 것이다. (그림 11)의 (a)와 (b)와 같이 중앙부에서 감지된 관로의 거리와 주변부에서 감지된 두 개의 관로를 연결한 직선과의 최단 거리가 관로의 직경인 2.5Cm 이상인 경우 서로 떨어져서 교차한 것으로 인식한다. (c)와 (d)는 분기점에서분기된 관로로 인식하는 예이다.

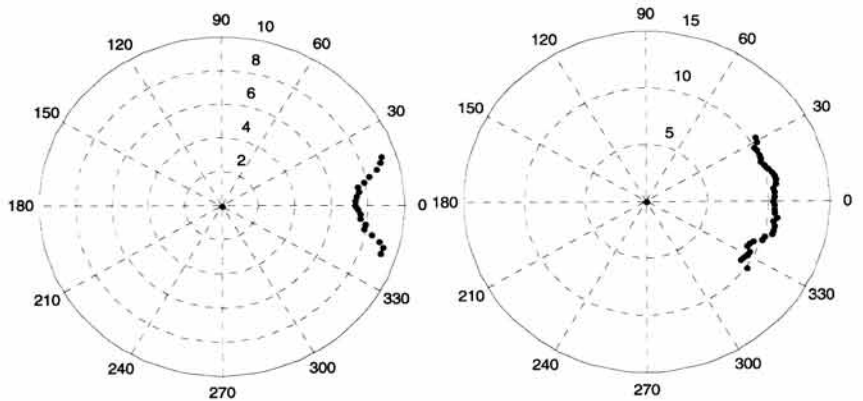
(그림 11)의 결과는 관로 이동 로봇이 관로의 분기 혹은 교차점을 측정 한 몇 단계 이후의 결과이다. 관로 이동 로봇이 측정 한 관로의 분기 혹은 교차점 중에서 특히 분류하기 곤란한 형태가 (그림 3)의 (d)와 같은 형태이다. 제안된 시스템은 (그림 3)의 (d)의 경우를 별도의 하나의 퍼지 분류기로 설계하여 서로 구분하도록 하였다. (그림 12)는 분기나

<표 1> 경우 1의 인식 결과  
<Table 1> Recognition results for Case 1

	Error	Standard Deviation
-90o	-4.8199e-6	3.5655e-6
-75o	-9.3913e-6	2.7576e-6
-60o	-7.4995e-6	2.3301e-6
-45o	-3.4581e-6	7.4083e-7
-30o	-2.1448e-6	1.5991e-6
-15o	-1.4285e+0	2.2016e+0
0o	9.9782e-20	2.2312e-19
15o	2.4353e-6	1.6215e-7
30o	1.8687e-6	1.7738e-6
45o	2.5959e-6	3.3552e-7
60o	1.5175e-6	0
75o	2.1249e-6	0
90o	6.1897e-6	1.8378e-6

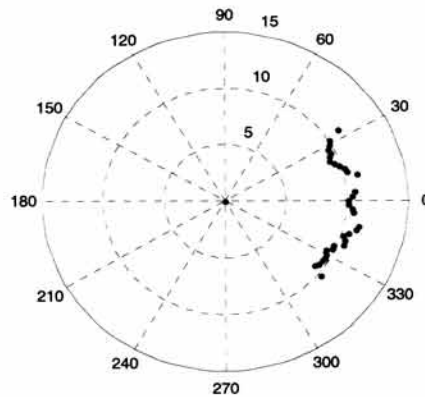
〈표 2〉 경우 2의 인식 결과  
 〈Table 2〉 Recognition results for Case 2

	Error	Standard Deviation
Class 1	6.2125e-8	1.8875e-8
Class 2	0.0347	0.0776
Class 3	0.0947	0.1412
Class 4	0.0500	0.1118
Class 5	0.0625	0.1398
Class 6	2.0863e-7	1.3748e-7
Class 7	1.1184e-7	1.6381e-7
Class 8	2.7889e-7	1.3100e-7
Class 9	1.1179e-7	9.8018e-8



〈표 3〉 경우 3의 인식 결과  
 Table 3 Recognition results for Case 3

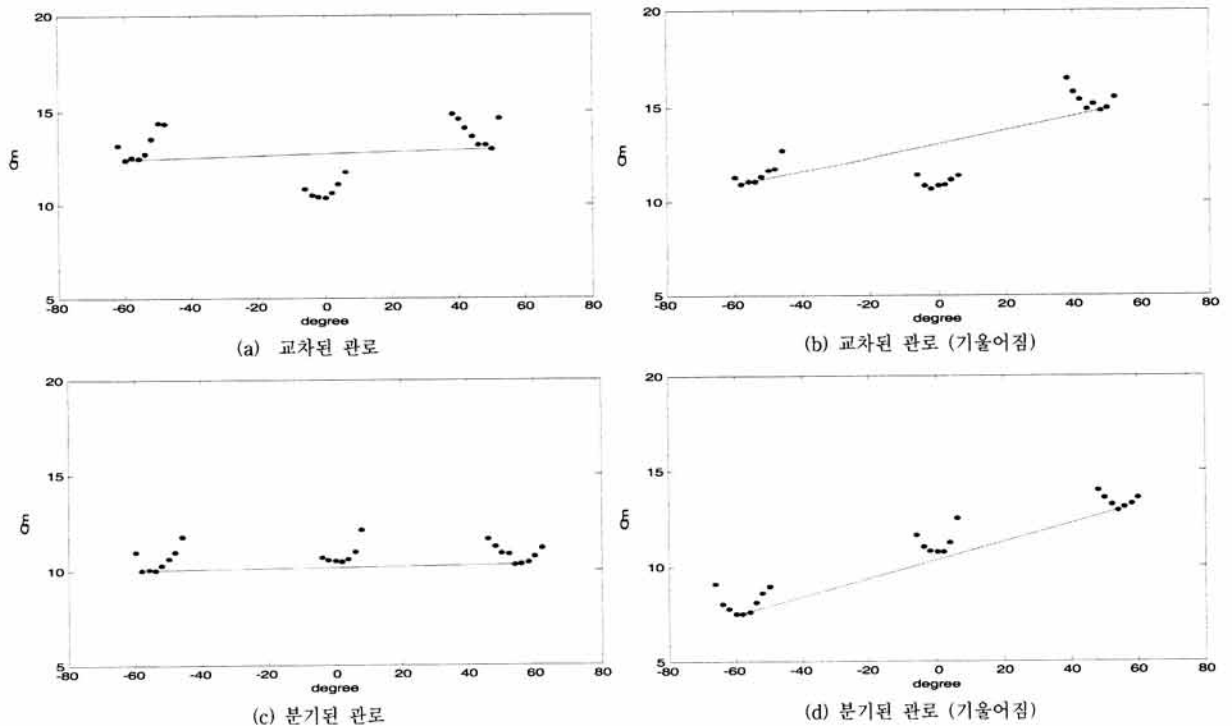
	Error	Standard Deviation
Class 1	-0.0066	0.0235
Class 2	-0.0043	0.0088
Class 3	0.0255	0.0577



〈표 4〉 경우 4의 인식 결과  
 〈Table 4〉 Recognition results for Case 4

	Error	Standard Deviation
Class 1	9.3455e-3	2.7514e-2
Class 2	1.9586e-2	3.2044e-2
Class 3	8.7662e-4	6.9162e-3

(그림 12) 교차되거나 분기 지점의 관로의 구분  
 (Fig. 12) Classification of crossed or branched point



(그림 11) 교차된 관로와 분기된 관로의 구분  
 (Fig. 11) Classification of crossed or branched pipeline



교차가 시작되는 지점에서의 측정 데이터이다. 교차나 분기 시작되는 부분의 구별은 다소 어려우며 로봇이 진행하면서 교차 혹은 분기 특성이 확실한 데이터를 얻는다.

#### 4. 관로 모니터링 시스템

##### 4.1 센서부

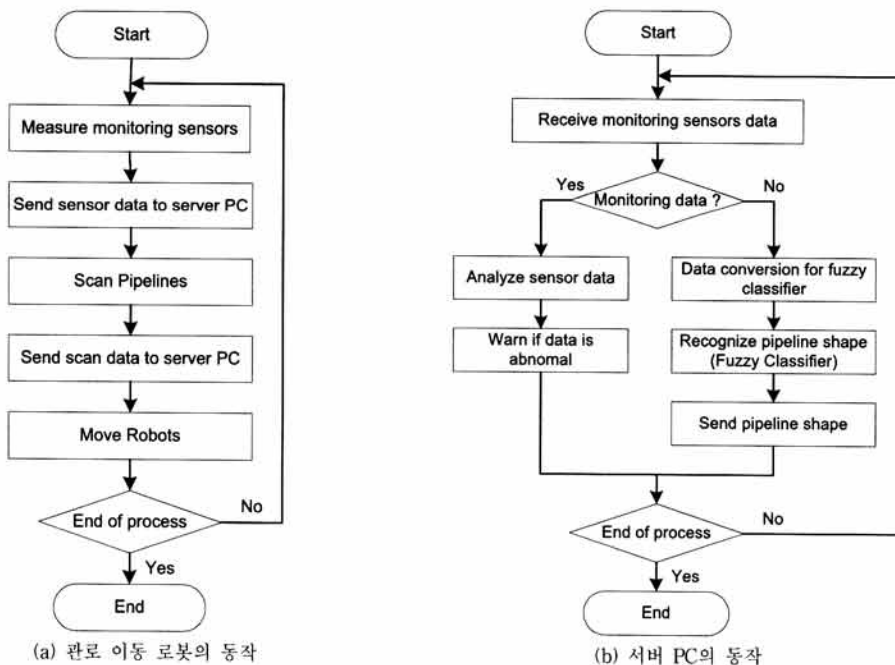
관로 상을 이동하는 생체 모방 로봇이 측정할 수 있는 데이터는 매우 제한적이다. 관로 표면의 소음, 진동, 온도 등이 측정할 수 있는 전부이지만 이것들의 갑작스러운 변화나 장시간에 걸친 변화는 설비 관로 이상을 예측하는 중요한 데이터이다[11, 12]. 또한 기존에 인력이 했던 주관적인 판단으로 파악하기 불가능했던 모든 지점에서의 장시간의 시간 변화에 대한 데이터의 비교가 가능해짐으로써 장비의 노후화 정도를 객관적으로 판단할 수 있게 된다. 관로 내부를 이동하는 물체에 의한 소음은 관로의 위치에 따라 다르지만, 동일한 작업에 있어서 지정된 관로에서의 소음은 일정한 패턴을 갖게 된다. 관로의 모든 지점에서 얻어지는 장기간의 주기적인 소음 자료는 실시간 모니터링 시스템으로 얻을 수 없었던 중요한 정보를 제공한다. 소음을 얻을 수 없는 가혹한 상황이나 소음 자체가 발생하지 않는 곳은 접촉형 진동 센서를 이용하여 진동을 측정한다. 이는 소음보다 직접적인 데이터를 제공하며 전문가인 인력이 감지해 낼 수 없는 미세한 진동의 변화까지도 측정하여 시스템의 모니터링의 범위를 확대한다.

로봇에 장착된 센서는 모니터링을 위한 센서들과 관로 인식을 위한 센서로 구분된다. 관로 이동 로봇이 장착한 모니터링을 위한 센서로는 온도, 습도, 진동 등이다. 온도, 습도

값은 초당 1회 서버로 전송되며, 특히 진동 값은 초당 20회 전송된다. 온도 혹은 습도는 모니터링을 위한 관로의 부분적인 파손 등으로 인해 관로 내부를 이동하는 물질의 누출 여부를 알아볼 수 있는 인자이다. 측정 센서 중에서 진동 센서 또한 관로의 비정상적인 상태를 판단 할 수 있는 중요한 인자이다.

##### 4.2 관로 모니터링 시스템

일반적으로 제조 시스템들은 많은 장비와 설비들로 구성되므로 수집해야 할 데이터의 종류와 양이 다양하다. 설비 시스템의 모니터링을 효율적으로 수행하기 위하여 컴퓨터를 기반으로 한 시스템의 사용이 필수적이다. 모니터링 시스템이란 장비, 설비 혹은 시스템의 상태의 감시 및 이상 발생 시 적절한 조치를 할 수 있는 체계를 말한다[13]. 이러한 모니터링의 과정은 감시 대상으로부터의 데이터 수집, 저장, 분석 및 조치의 과정으로 표현할 수 있다. 이러한 시스템들 중 현장에서 많이 사용되고 있는 것에는 DAS (Data Acquisition System), SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System), MAP (Manufacturing Automation Protocol)을 이용한 시스템들이 있다. 이들 시스템들은 모니터링 데이터를 주기적으로 수집하여 이를 LAN을 통하거나 직/병렬 통신을 이용하여 관리용 컴퓨터에 전송하여, 저장, 분석 및 제어할 수 있는 구조를 가지고 있다. 감시와 측정이 용이하며 가장 중요한 의미를 지니는 지점을 측정점으로 선택하여, 전체 시스템의 데이터를 수집/분석하는 것은 아주 중요한 일이다. 이는 시스템의 이상 발생시 즉각적인 측정 후 보고 및 임시적인 긴급 차단 등 치명적인 사고 및 손실을 예방하기 위한 필수적인 방안이다.



(그림 13) 관로 모니터링 시스템의 흐름도  
(Fig. 13) Flowchart of pipeline monitoring system

설비의 노후화로 인한 관로의 점진적 이상 발생과 같은 현상은 시간의 흐름에 따라 미세하게 진행되며 쉽게 발견되기 어렵다. 하지만 이러한 미세한 진행이 치명적인 관로 이상의 원인이 되는 경우가 대부분이다. 급박한 관로 이상에 의한 시스템의 상태를 쉽게 모니터링하는 기존의 모니터링 시스템에, 부가적으로 관로 곳곳의 미세한 이상 유무까지 확인할 수 있는 시스템의 결합이 최선의 선택이다. 이를 위하여 전문가에 의한 주기적인 관로의 점검이 필수적이며, 전문가가 접근하기 힘든 곳이나 미세한 부분은 이러한 점검에서도 소홀하게 다루어지기 쉽다.

본 논문에서는 생체 모방 관로 이동 로봇을 이용하여 모든 관로를 빠짐없이 훨씬 더 짧은 주기로 점검함으로써 장기간의 시간 변화에 따른 수치화된 측정 데이터를 이용하여 관로의 노후화 및 이상 유무를 분석하고 사고 징후를 예측할 수 있는 수단을 제공한다. (그림 13)은 생체 모방 모니터링 시스템을 이용한 관로 모니터링 시스템의 동작을 간단한 흐름도로 보인다.

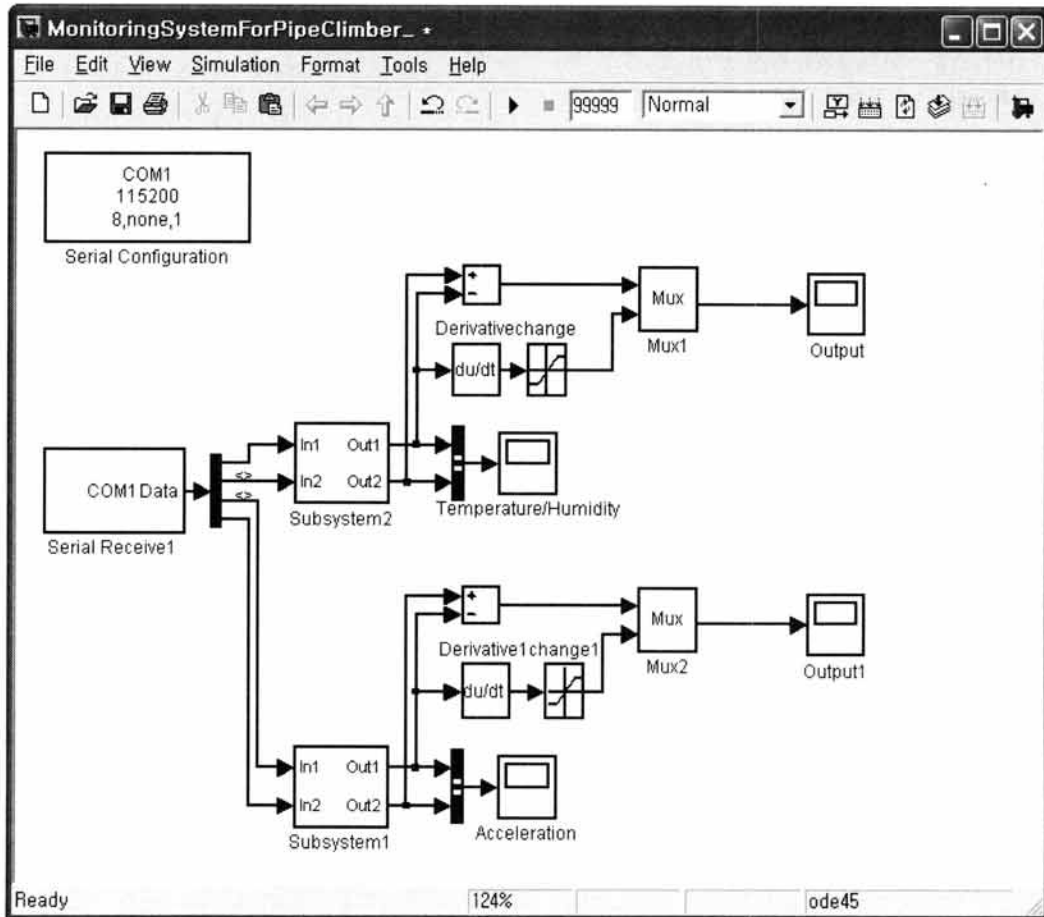
4.3 데이터 전송 및 디스플레이

관로 이동 로봇은 측정한 데이터를 USART 포트와 연결

된 블루투스 모듈을 통해 서버 PC로 전송한다. 서버에 연결된 블루투스 모듈은 관로 이동 로봇이 전송한 데이터를 수신하고, PC의 시리얼 포트에 전송한다. PC로 전송된 다양한 데이터들을 분석하고 처리하는 프로그램은 MATLAB의 SIMULINK로 구현된다. SIMULINK로 구현된 센서 데이터 처리 프로그램의 한 예를 (그림 14)에 보인다.

5. 결론

관로 모니터링 시스템을 구축하기 위한 관로 이동 생체 모방 로봇을 소개하였으며, 로봇의 이동성을 위하여 관로의 형태를 인식하는 방법과 이동식 관로 모니터링 시스템에 대하여 제안하였다. 적외선 거리 측정 센서를 회전시켜 얻는 각도, 거리 정보를 이용하여 관로의 형태 혹은 단순한 구조를 가지는 경우, 관로의 휘어짐 등을 판단하여 관로의 형태를 인식하는 퍼지 분류기를 제안하고 그 효율성을 확인하였다. 특히 단순한 관로의 휘어짐에 의한 모양 뿐 아니라 분기 혹은 교차 등 다양하고 복잡한 모양에 대한 형태 인식도 가능하다. 제안된 관로 모니터링 시스템은 고정 관측점이 없고 관리자가 접근하기 힘든 관로 상의 다양한 지점들이



(그림 14) SIMULINK로 구현된 데이터 처리 프로그램  
(Fig. 14) Data processing program using SIMULINK

동 로봇이 자유롭게 이동하면서 관로 모니터링에 꼭 필요한 다양한 데이터를 수집한다. 제안된 시스템을 실용적이고 확장성 있는 시스템으로 개선을 위하여, 다양한 배경에서 관로를 인식하고 그 형태를 분류하거나, 영상 정보 등을 활용하여 관로를 인식하는 등의 개선된 방법에 대한 개발이 필요하다. 또한 광범위한 관로 시스템에서 효율적인 모니터링을 위해 여러 개의 로봇을 이용해 상호 협력적인 모니터링 시스템을 구현하거나, 센서 네트워크 기반의 모니터링 기반으로의 확장이 요구된다.

### 참고 문헌

- [1] Dong To Nguyen, Sang-Rok Oh and Bum-Jae You, "A Framework for Internet-Based Interaction of Humans, Robots, and Responsive Environments Using Agent Technology," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.52, No.6, pp.1521-1529, 2005.
- [2] Bum-Jae You, Myung Hwangbo, Sung-On Lee, Sang-Rok Oh, Young Do Kwon and San Lim, "Development of a home service robot 'ISSAC,'" Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2630-2635, 2003.
- [3] Gunhee Kim and Woojin Chung, "Tripodal Schematic Control Architecture for Integration of Multi-Functional Indoor Service Robots," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.53, No.5, pp.1723-1736, 2006.
- [4] Young-Guk Ha; Joo-Chan Sohn; Young-Jo Cho, "Service-oriented integration of networked robots with ubiquitous sensors and devices using the semantic Web services technology," 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.3947-3952, 2005.
- [5] Habib, M.K.; Watanabe, K.; Izumi, K., "Biomimetics Robots From Bio-inspiration to Implementation", 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.143-148, 2007.
- [6] Yu, M. Tan, S. Wang, and E. Chen, "Development of a biomimetic robotic fish and its control algorithm," IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics - PartB, Vol.34, pp.1798-1810, 2004.
- [7] Seung Y Na, Daejung Shin, Jin Y Kim, Su-Il Choi, "Collision Recognition and Direction Changes Using Fuzzy Logic for Small Scale Fish Robots by Acceleration Sensor Data", Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp.329-338, 2005.
- [8] D. Shin, S. Y. Na, J. Y. Kim, and S. Baek, "Fuzzy neural networks for obstacle pattern recognition and collision avoidance of fish robots," Soft Computing : Springer, Vol.12, No.7, pp.715-720, 2008.
- [9] Jang, J. S. R., ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.23, No.3, pp.665-685, 1993.
- [10] T. Takagi and M. Sugeno, "Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions," in Proc. IFAS symp. Fuzzy Information., Knowledge Representation and Decision Analysis, pp.55-60, 1983.
- [11] 최현선, "설비진단을 위한 비선형 진동의 이해", 한국 소음 진동 공학회 설비 진단 기술 강습회, 2권, pp.1-12, 2003.
- [12] 문재용, "적외선 열화상을 이용한 석유화학 플랜트 설비 진단 사례", 한국 소음 진동 공학회 설비 진단 기술 강습회, 7권, pp.711-738, 2008.
- [13] 김을영, 한상길, 홍서곤, "기계적 안전성 확보를 위한 설비관리 시스템", 화학 공학의 이론과 응용, 2권, 2호, pp.3039-3042, 1996.

### 신 대 정



e-mail : djshin71ha@hotmail.com

1994년 전남대학교 전자공학과(공학사)  
 1996년 전남대학교 전자공학과(공학석사)  
 2006년 전남대학교 전자공학과(공학박사)  
 2006년~현 재 전남대학교 유비쿼터스정보가전사업단 박사후연구원

관심분야: 생체모방로봇, USN, 센서융합 등

### 나 승 유



e-mail : synal2@chonnam.ac.kr

1977년 서울대학교 전자공학과(공학사)  
 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사, 박사)  
 1987년~현 재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

관심분야: 지능제어, 신호처리, USN

### 김 진 영



e-mail : beyondi@chonnam.ac.kr

1986년 서울대학교 전자공학과(공학사)  
 1988년 서울대학교 전자공학과(공학석사)  
 1994년 서울대학교 전자공학과(공학박사)  
 1994년~1995년 한국통신 소프트웨어 연구소  
 1995년~현 재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

관심분야: 신호처리, 음성인식, 음성합성



**정 주 현**

e-mail : [jupiter-jjh@hanmail.net](mailto:jupiter-jjh@hanmail.net)

2009년 2월 조선대학교 전자과(공학사)

2009년~현 재 전남대학교 전자컴퓨터공  
학과 석사과정

관심분야: 지능제어, USN, 생체 로봇