

論文95-32B-9-9

영상처리 기법에 기반한 아날로그 및 디지털 계기의 자동인식에 관한 연구

(A Study on Analog and Digital Meter Recognition Based on Image Processing Technique)

金 敬 昊 * , 秦 成 一 ** , 李 容 範 *** , 李 鍾 旼 ***

(Kyong-Ho Kim, Sung-Il Chien, Yong-Bum Lee, and Jong-Min Lee)

요 약

본 논문은 원전시설 내의 각종 설비 및 장치에 대한 무인 자동계측, 감시 시스템 구축의 일환으로서 원자력 발전소 내의 아날로그 및 디지털 계기의 계측치를 무인 로봇이 자동으로 인식할 수 있는 비전시스템의 구축을 그 목적으로한다. 카메라에 포착된 계기영상에서 이진화와 영역레이블링 방법을 사용하여 각각의 계기영역을 추출하며 아날로그 계기의 경우, 계기영역 중심에서의 투영법을 이용하여 바늘의 각도를 구하고 디지털 계기의 경우는 계기영역 내에서 영역 레이블링과 투영법으로 숫자 및 소숫점을 추출한 뒤 신경망을 이용하여 최종 인식을 행한다. 데이터베이스를 이용하여 아날로그 계기의 바늘의 각도 및 디지털 계기의 인식값으로부터 계기의 눈금분포 및 단위등을 고려한 실제 지침값을 획득하기 위해서는 계기명 인식의 과정이 필수적으로 요구된다. 따라서 본 논문에서는 반복적 이진화-영역 레이블링등의 방법으로 계기명을 추출, 인식하였으며 아날로그 계기의 경우, 눈금 분포에 대한 자동 해석을 통하여 데이터베이스 없이도 실제 계측치로의 자동 변환을 가능하게 하였다.

Abstract

The purpose of this paper is to build a computer vision system that endows an autonomous mobile robot the ability of automatic measuring of the analog and digital meters installed in nuclear power plant(NPP). This computer vision system takes a significant part in the organization of automatic surveillance and measurement system having the instruments and gadgets in NPP under automatic control situation. In the meter image captured by the camera, the meter area is sorted out using mainly the thresholding and the region labeling and the meter value recognition process follows. The positions and the angles of the needles in analog meter images are detected using the projection based method. In the case of digital meters, digits and points are extracted and finally recognized through the neural network classifier. To use available database containing relevant information about meters and to build fully automatic meter recognition system, the segmentation and recognition of the function-name in the meter printed around the meter area should be achieved for enhancing identification reliability. For thus, the function-name of the meter needs to be identified and furthermore the scale distributions and values are also required to be analyzed for building the more sophisticated system and making the meter recognition fully automatic.

* 正會員, 韓國科學技術研究院 시스템工學研究所
(KIST/SERI)

** 正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Univ.)

*** 韓國原子力研究所
(KAERI)

※ 이 논문은 한국원자력연구소의 연구과제 연구비에 의하여 연구되었음.

接受日字: 1995年4月29日, 수정완료일: 1995年9月1日

I. 서 론

오늘날, 컴퓨터 및 로봇비전의 응용 범위는 실로 방대하여 각종 산업 개발 현장에서 획기적인 생산성 증가 및 작업능률 향상을 이룩하고 있으며 특히, 인간 으로서는 적용 불가능한 열악한 환경하에서의 작업에 로봇의 이용을 가능케 함으로써 과학 기술의 발전에 있어 새로운 돌파구를 마련하게 되었다. 인간에 의해 구축된 작업 환경 중에서 이러한 로봇을 이용한 자동화가 절실히 요구되는 곳 중의 하나가 바로 원자력 발전소이며 특히 원전 내부시설 중 방사능 방출이 비교적 높은 지역의 무인 운용화는 컴퓨터시각의 유용한 응용 분야의 하나라고 할 수 있다¹¹⁾.

원자력 발전소에 대한 무인 감시, 조작 및 운용의 임무를 완수하기 위해서 로봇은 각종 센서들을 장착한 뒤 이를 이용하여 각각의 구체적인 작업을 수행하게 되는데 이러한 센서들로는 시각센서, 라디에이션센서, 진동센서, 음향센서, 그리고 온도센서 등이 있다. 이 중 CCD 카메라로 대표되는 시각센서를 이용하여 로봇이 수행할 수 있는 작업에는 각종 계기의 계측치 인식과 밸브 및 스위치, 제어 단자 등의 인식 및 위치 확인 등이 있으며 본 논문에서는 이 중 특히 아날로그 및 디지털 계기의 계측치 자동인식 모듈의 구축을 중심으로 연구를 수행하였다. 이러한 계측기 자동인식 모듈은 원자력 발전소내의 각종 설비 및 장치에 대한 무인 자동 검사, 조작 시스템에서 핵심적인 역할을 하며 나아가 제반 계기의 밸브, 스위치 및 슬라이더 제어단자 등의 자동 조작 모듈에 연결됨으로써 본격적인 원격 검사 및 조작의 수행을 완수할 수 있다¹²⁾. 이러한 자동검사 시스템의 구축은 원전시설의 무인 운용을 가능하게 하고 원전시설이 보다 안전하게 운용될 수 있다는 인식을 사회 전반에 확산 시키는 데에도 큰 역할을 담당할 수 있다.

영상처리 기술에 기반한 원전시설 자동인식 및 검색 시스템에 대한 연구는 국내에서는 거의 전무한 상태이고 국외에서는 이러한 연구들의 필요성에 관한 기초적인 보고서가 U.S. Nuclear Regulatory Commission에 제출된 바 있으며 최근에와서 미국 에너지부(Department of Energy)에서 몇몇 연구소를 중심으로 연구과제를 수행시키고 있는 실정이다¹⁴⁾. 한편, Trivedi¹²⁾^[3] 등이 시각시스템의 로봇 응용에 대한 주제 연구(case study)로서 원전시설용 제어기판

을 대상으로한 자동 검사 및 조작 시스템의 구축에 대해 연구 발표 하였으나 계측기 인식 부분에서는 기본적인 인식 절차의 나열 정도에 그치고 있으며 구체적인 실험결과등은 제시하지 않았다. 이들은 아날로그 계기영상에서 외곽선 추출과 Hough 변환을 사용하여 계기의 바늘을 검출하였는데 여기에는 외곽선 추출이 잡영의 영향에 취약하고 또한 전체 영상을 대상으로 Hough 변환을 수행할 경우 수행 시간이 많이 걸리는 단점이 예상된다. 이들은 또한 디지털 계기의 숫자코드 인식에 있어서 외곽선 추출과 세선화, 푸리에 디스크립터를 이용한 특징 추출을 이용하였는데, 여기서도 외곽선 추출과 세선화 과정이 잡영에 극히 취약한 점을 고려할 때 이러한 방법으로 실용적인 인식 시스템을 구현하는데에는 무리가 있을것으로 보인다.

본 연구는 크게 아날로그 계기 인식과 디지털 계기 인식의 두 부분으로 나눌수가 있는데 아날로그 계기의 경우 먼저 바늘의 위치를 찾아내어 바늘이 회전한 각도를 구하고 디지털 계기의 경우는 계기 판면에 디스플레이된 숫자코드를 추출하여 그 값을 인식한다. 한편 아날로그 계기의 경우 바늘이 회전한 각도를 계기의 눈금분포 및 단위 등을 고려한 실제 계측치로 변환하는 과정이 필요하며 이는 lookup table의 형태로 저장된 지식베이스를 이용하여 수행할 수가 있다. 즉, 바늘의 회전각도와 실제 계측치의 일대일 대응표를 각 계기별로 작성하여 저장한 뒤 이를 이용하여 바늘의 각도로부터 실제 계측치를 구하는 것이다. 또한 이를 위해서는 계기를 식별(identification)하는 과정이 필수적으로 요구되는데 가장 간단한 한가지 방법은 계기가 설치된 절대적인 위치 및 각 계기에 대한 상대 위치 정보를 미리 지식베이스로 저장한 뒤 이를 이용하여 계기를 식별하는 것이다. 그러나 본 논문에서는 이러한 방법과는 달리 각각의 계기 판면에 새겨진 계기명을 인식함으로써 계기를 식별해내는 방법을 제시하였는데 이로써 계기의 위치에 대한 지식베이스가 불필요하게 되었으며 따라서 새로운 계기들이 추가로 설치되거나 계기간의 상대적 위치가 변동되는 등의 경우에도 적응력있게 계기의 식별을 수행할 수가 있게된다. 본 연구에서는 디지털 계기의 계기명 인식을 통한 계기 식별도 아울러 수행함으로써 지식베이스로 저장된 계측치의 단위를 알아낼 수 있었다.

또한 아날로그 계기의 경우 계기 판면의 눈금 및 눈금값을 추출한 뒤 이를 이용하여 계기의 전반적인 눈

금분포를 자동적으로 파악함으로써 지식베이스 없이도 바늘의 회전각도로부터 실제 계측치로의 변환을 가능하게 하였다. 그러나 이 방법은 계기의 눈금 및 눈금값의 안정된 추출이라는 어려움으로 인해 아직까지 많은 연구의 여지를 남기고 있으며 본 논문에서는 기본적인 수행과정의 제시 및 간단한 실험결과만을 나타내었다.

이상에서 제시한 아날로그 및 디지털 계기의 계측치 자동인식 모듈은 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 그 실용성을 입증하였다. 한편, 본 연구의 대상으로 삼은 원자력 발전소 내의 계기들이 일반적인 디지털 및 아날로그 계기의 정형에서 크게 벗어나지 않으므로 본 인식 모듈은 여타 산업시설에 대한 자동계측 시스템의 구축에도 쉽게 적용될 수 있다.

본 논문의 구성을 살펴보면 먼저 연구의 수행방법을 아날로그 및 디지털 계기의 경우로 대별하여 II장 및 III장에서 자세히 기술하고 IV장에서 실험결과 및 고찰을 다루고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 아날로그 계기 인식

1. 인식 시스템의 구성

아날로그 계기의 계측치 자동인식 시스템은 지식베이스에 대한 인식 모듈의 자립도에 따라 그림 1에서와 같이 크게 세가지의 방법으로 구축될 수 있다. 첫번째 방법은 계기 바늘의 회전각도만을 인식한 후 계기가 설치된 위치 및 계기명, 각 계기의 눈금 분포, 단위 등이 저장된 데이터베이스를 이용하여 계기의 실제 계측치를 환산해내는 방법으로 이는 한 화면에 포착된 다수의 계기의 계측치를 동시에 인식하거나 포착된 계기 영상의 상태가 불량하여 계기명 인식이나 눈금 분포 파악이 불가능할 경우에 사용할 수 있는 방법이다. 두번째 방법에서는, 계기 판면에 새겨진 계기명을 인식함으로써 계기를 식별하는데 이는 제어기판에서의 계기들의 절대적인 위치 및 계기들 간의 상대적인 위치 정보로부터 계기를 식별하는 첫번째 방법에 비해 지식베이스의 크기를 줄일 수 있고 인식 모듈의 독립성을 높임으로써 여타의 계측기 인식 시스템에로의 이식성 및 적응성 향상에 결정적인 역할을 하게 된다. 세번째 방법에서는 계기의 눈금 및 눈금값을 추출 인식 함으로써 계기의 눈금 분포를 자동적으로 파악하여 지식베이스 없이도 바늘의 회전각도로부터 실제 계측치로의 자

동 변환을 가능케 한다. 이상의 인식 모듈 및 지식베이스가 탑재된 로봇트를 이용하여 실제적인 계기 인식을 행할 경우에는 주위 조명 및 계기판의 상태 변화에 따라 계기 인식의 가능성을 스스로 판단하여 시각 센서의 줌-인 비율을 적응적으로 조절하게 함으로써 위에서 제시한 세가지 방법중 가장 적절한 방법을 자동적으로 선택하여 수행하게할 수 있고 또는 이 세가지 방법을 병행한 뒤 인식 결과의 비교를 통해 그 정확성을 검증함으로써 신뢰도를 높일 수도 있다.

아날로그 계기 자동인식 시스템 구축을 위한 세가지 접근 방법에 쓰일 주요 인식 모듈을 계기 영역 추출 및 바늘 각도 인식, 계기명 인식, 그리고 눈금값 인식 및 눈금 분포 파악으로 분류하여 아래에서 자세히 다루기로 한다. 본 논문에서는 '실제 계측치'를 '아날로그 계기의 바늘 각도를 계기의 종류 및 눈금 분포등을 고려하여 실제의 계측치로 변환한 값' 또는 "디지털 계기의 숫자코드 값에 단위를 붙인 값"으로 정의하여 사용하기로 한다.

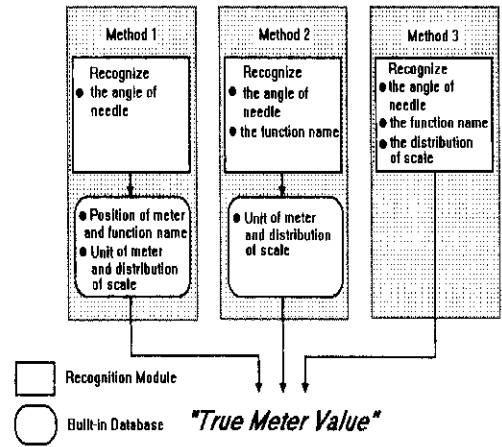


그림 1. 아날로그 계기 인식 시스템
Fig. 1. Strategies for the automatic analog meter recognition system.

2. 계기영역 추출 및 바늘 각도 인식

1) 계기영역 추출

카메라로 포착한 계기 영상에서 계기영역만을 추출해 내기 위해서 먼저 전체 영상에 대한 이진화를 수행한다. 이진화는 영상 분할의 가장 간단하고도 강력한 방법의 하나인데 여기서는 그 중 전역 이진화의 일종인 반복적 이진화(iterative thresholding) 알고리즘

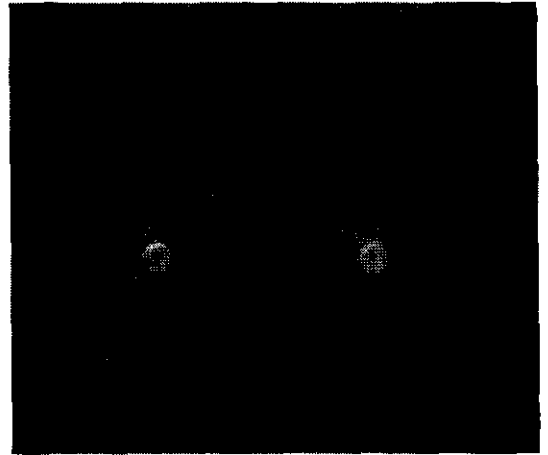
^[6]을 사용하였으며 이는 주어진 영상의 히스토그램 분석을 통하여 단일한 최적의 문턱치를 구하는 알고리즘이다.

다음으로, 이진화된 영상에서의 연결요소 분석 방법으로 영역 레이블링 알고리즘^[6] [7]을 적용한다. 영역 레이블링 방법은 영상의 최상단에서 우하단까지의 각 화소들을 순차 스캔하면서 4방향 또는 8방향으로 연결된 영역들에 고유한 번호를 부여(coloring or labeling)함으로써 각 영역들을 추출할 수 있는 알고리즘이다. 이때, 채색된 여러 영역들 중에서 계기영역을 추출하기 위하여 전체 영상에 대한 영역의 면적비 및 중형비 등의 상대적 공간 특징을 제한조건으로 사용하였는데 그 구체적인 경계값들을 실험 영상들로부터 얻은 데이터의 통계치에 기초 하였다. 그림 2(a)는 명암 영상의 한 예이고 이상의 방법으로 계기영역을 추출한 예를 그림 2(b)에 보였다. 한편, 계기 영상의 포착 시 카메라의 수평 기울기 등으로 인해 계기영상이 기울어져 포착될 수가 있다. 이때에는 영상의 기울기를 계산한 뒤 영상처리 기법을 사용하여 기울어진 영상을 바로잡거나 아니면 무인 이동 로봇에 부착된 카메라를 영상의 기울기 만큼 자동 회전시킨 후 기울어짐이 보정된 영상을 재 획득할 수가 있다.

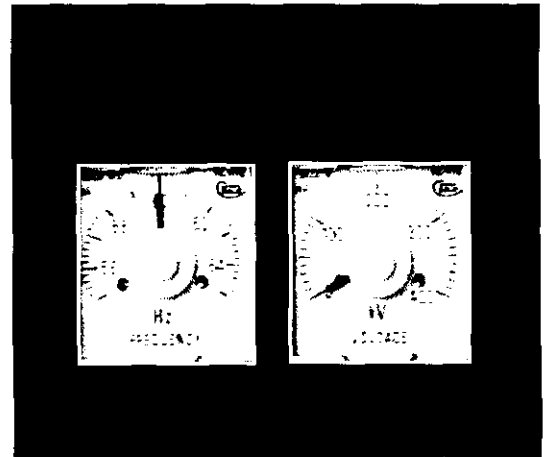
2) 바늘의 회전각도 인식

추출된 계기영역에서 계기 바늘을 찾고 그 회전각도를 구하기 위해서는 먼저 계기영역의 중심을 구한뒤 이 중심에서 유효 내접원 내의 영역을 0도에서 360도 스캔하면서 run length^[8]을 구하여 가장 큰 값이 있는 곳을 바늘의 위치로 정한다. 이때, 계기 영역의 최소 외접사각형의 중심을 계기의 중심 및 바늘의 회전 중심으로 정하였으며 run length는 컴퓨터 그래픽에서 두 점 사이를 잇는 직선을 그리는 알고리즘으로 널리 쓰이는 Bresenham 알고리즘^[9]을 사용하여 계기 영역의 중심에서 원주상의 한 점을 잇는 직선상에 존재하는 모든 화소를 추적하면서 검은 화소의 run length를 구하였다.

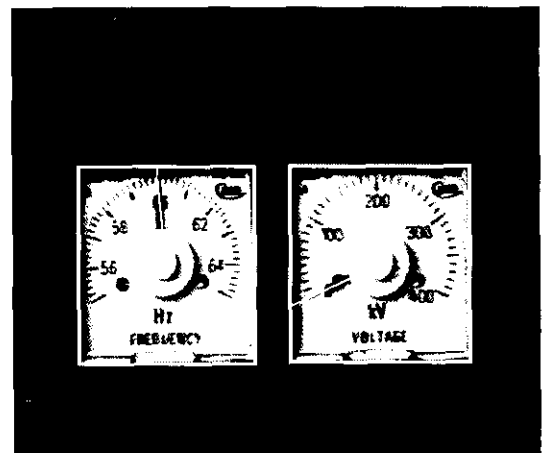
이와 같이 아날로그 계기의 바늘의 위치를 결정하는데 있어서 계기영역이라는 제한된 공간을 대상으로 투영이라는 간단한 알고리즘을 사용함으로써 상당한 빠르기의 수행 속도를 얻을 수가 있으며 계기 판면에 존재하는 각종 잡영에도 비교적 둔감한 장점이 있다. 그림 2의 (c)와 (d)에서 아날로그 계기의 바늘의 위치 및 회전각도를 구한 모습을 보였다.



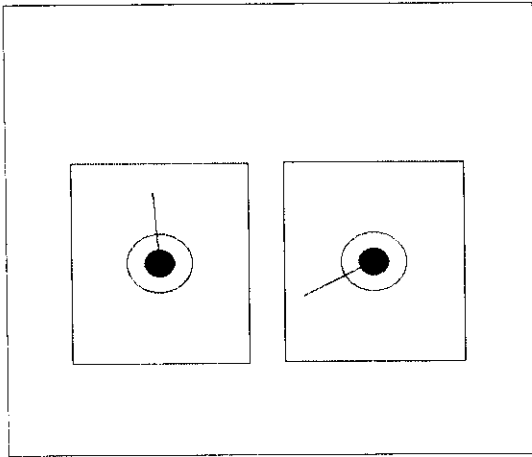
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 2. 계기영역 추출 및 바늘각도 인식한 예
 (a) 원래의 명암영상
 (b) 계기영역 추출한 영상
 (c) 바늘의 회전각도 인식한 영상
 (d) 그래픽으로 재구성한 인식 결과

Fig. 2. Meter extraction and needle detection.

(a) Gray level image
 (b) Image of meters extracted
 (c) Images of needles detected
 (d) Graphic representation of needles detected

3. 계기명 인식

아날로그 계기의 바늘이 가리키는 실제적인 지침값을 알기 위해서는 앞절에서 제시한 방법으로 구한 바늘의 회전각도를 계기의 눈금분포 및 단위 등을 고려한 실제 계측치로 변환하는 과정이 필요하며 이는 지식베이스로 저장된, 바늘의 회전각도와 실제 계측치의 일대일 대응표를 이용함으로써 가능하게할 수 있다. 한편, 이를 위해서는 계기의 식별 과정이 필요 불가결한 문제가 되므로 본 논문에서는 각각의 계기 판면에 새겨진 계기명을 인식함으로써 계기를 식별해 내는 방법을 제시하였으며 그 구체적인 과정을 계기명 추출과 추출된 계기명 인식의 과정으로 대별하여 설명하기로 한다.

1) 계기명 추출

아날로그 및 디지털 계기의 계기명 인식을 위해서는 계기명을 구성하는 각 개별 문자(영문 대문자 및 특수 기호)들을 성공적으로 추출하는 과정이 필수적이다. 문자를 구성하는 개별 문자의 분리, 추출의 과정은 일반

적인 OCR(optical character recognition)시스템에 있어서 그 인식률의 결정에 핵심적인 역할을 담당하며 실용적인 문서의 자동인식을 위해 해결하여야할 난제 중의 하나로 손꼽힌다^{[10]~[13]}.

계기명 추출의 과정은 본 연구의 전반적인 수행과정에 있어서도 가장 어려운 부분에 속하는데 그것은 다음과 같은 이유에 기인한다. 첫째, 계기영상의 포착시 카메라의 기울어짐으로 인해 계기영역에 경사가 생기게 된다. 둘째, 계기 주변 조명의 불규칙적인 경사로 인해 계기판면에 그림자가 생기게 되며 이는 전역 이진화를 수행하였을 때 문자들을 서로 접촉하게 만드는 요인이 된다. 이러한 이유들로 인해서 개별 문자의 추출은 투영 등의 단순한 방법만으로는 성공적으로 수행할 수 없으며 영역 레이블링 및 이진화 등의 기법을 병행하여 사용하였을 때 보다 효과적인 결과를 얻을 수가 있다. 원자력 발전소용 아날로그 계기의 계기명 추출에 있어서의 가장 큰 난제는 계기판면 유리덮개의 굴곡부가 주위 조명으로 인해 계기명 영역으로 그림자를 드리우게 되므로 원래의 명암 영상에서부터 계기명의 각 글자가 이러한 긴 그림자 성분으로 인해 서로 접촉되어 버린다는 점이다. 따라서 이러한 경우에는 접촉 문자들을 강제 분리하는 과정이 필요하며 그 전반적인 수행과정을 요약하면 다음과 같다.

알고리즘 1:

- 과정 1. 전체 영상의 이진화
- 과정 2. 영역 레이블링으로 계기영역 추출
- 과정 3. 계기영역 정보로부터 계기명이 존재하는 대략적인 영역 추출
- 과정 4. 과정 3에서 추출한 영역 내를 다시 이진화
- 과정 5. 과정 3에서 추출한 영역 내에서 영역 레이블링 수행하여 단일 문자에 해당하는 영역을 추출
- 과정 6. 과정 5에서 구한 단일 문자영역 사이의 거리를 측정하여 주어진 범위에 속하는 사이부분을 추출
- 과정 7. 과정 6에서 구한 사이부분의 높이의 절반 지점을 하한선으로 해서 점차 영역을 넓혀가며 영역 레이블링을 반복 수행.
- 과정 8. 영역의 수가 감소하지 않는 최하한선에서 정지. 이곳까지 영역 레이블링하여 추출한 영역을 단일 문자영역으로 지정.

알고리즘 1의 각 과정을 자세히 설명하자. 계기영역의

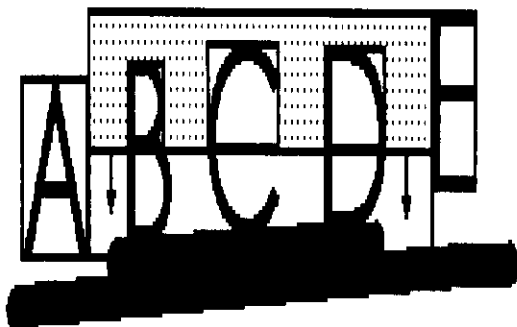
추출 과정은 앞절에서 설명한 바와 같다(과정 1, 2). 본 연구의 대상으로 삼은 아날로그 계기의 계기명은 그림 2의 (b)에서 나타낸 바와 같이 계기 영역의 약 5분의 1에 해당하는 하단부에 한 줄 또는 두 줄에 걸쳐 영문 대문자 및 몇개의 특수문자로 표기되어 있다. 따라서 이 영역을 계기명 추출의 대상 영역으로 정한다(과정 3).



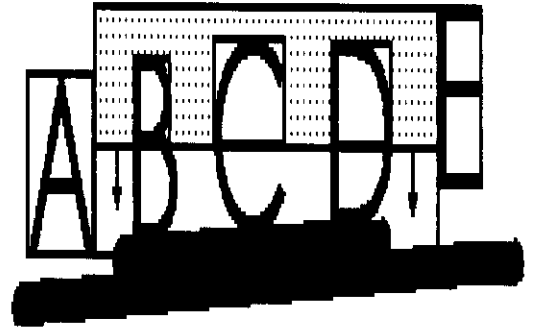
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

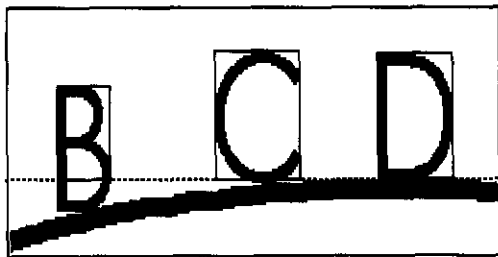
그림 3. 아날로그 계기명의 추출 과정

- (a) 이진화 후의 영상
- (b) 단일문자를 추출한 영상
- (c) 하한 경계를 내려가며 영역 레이블링을 반복 수행한 영상
- (d) 최초의 밑줄 접촉 지점에서 영역의 수가 감소한 영상
- (e) 개별 문자를 최종 추출한 영상

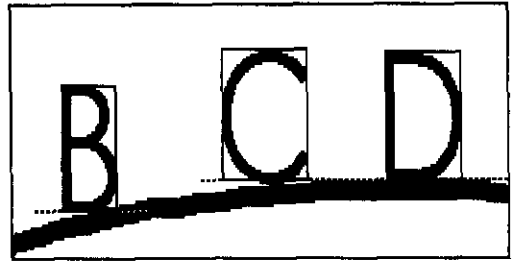
Fig. 3. Process of extracting characters of analog function name.

- (a) Image after thresholding
- (b) Image with isolated characters extracted
- (c) Image region labeled iteratively pulling down lower limit
- (d) Region labeled image with the number of blob decrease for the first time
- (e) Image with the characters finally segmented

한편, 앞서 계기영역 추출을 위해 전체 영역을 전역 이진화한 결과, 계기명의 개별 문자들이 심하게 접촉되며 개별 문자 자체도 왜곡이 심하게 된다. 따라서 각 개별 문자들의 효율적인 분리 추출 및 인식률 향상을 위하여 위에서 구한, 계기명이 존재하는 대략적인 영역 내의 명암 영상을 다시한번 이진화 함으로써 계기명 영상의 품질을 향상시킬 필요가 있다(과정 4, 그림 3의 (a)). 다음으로 과정 3에서 구한 영역 내에서 영역 레이블링을 수행한 뒤, 각 영역의 면적비와 중형비를 제한조건으로 하여 단일 문자에 해당하는 영역들을 추출한다(과정 5, 그림 3의 (b)). 추출된 단일 문자 사이의 수평거리가 단일 문자의 평균 폭 이상일 때는 그 사이 영역에 밀줄 접촉문자가 있을 가능성이 있으므로 이 영역을 대상으로 강제 분리 과정을 수행한다(과정 6). 밀줄 접촉문자 강제 분리 과정을 자세히 살펴보면 그림 3의 (c)에서 처럼, 앞서 구한 두 단일문자 사이 영역의 수직 절반 지점을 하한 경계로 시작하여 아래로 하한 경계를 한줄씩 이동시키면서 영역 레이블링을 반복적으로 수행한뒤 영역의 수를 세어본다(과정 7). 이때 영역의 수가 감소하기 시작하는 곳이 바로 밀줄 성분에 의해 둘 또는 그 이상의 단일 문자가 접촉된 지점이므로(그림 3의 (d)) 영역의 수가 감소하지 않는 최하단의 하한 경계까지의 사이 영역을 대상으로 최종적인 단일 문자를 추출해낸다(과정 8, 그림 3의 (e)). 그러나 밀줄 성분의 기울기가 심하거나 계기 영상 포착시 카메라의 수평 기울기로 인해 계기명 자체에 어느정도 이상의 기울기가 생겼을 때에는 위의 방법으로는 추출된 단일문자의 하단부가 심하게 잘려버리는 왜곡이 생길 수 있다(그림 4의 (a)). 이때는 그림 4의 (b)에서와 같이 최초의 접촉문자 이외의 영역을 대상으로 하한 경계를 더 넓혀가며 영역 레이블링을 수행한 뒤, 영역의 갯수 및 가로폭의 변화 정보를 이용하여 나머지 단일 문자를 추출해낼 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. 기울어진 영상에서 개별 문자 분리시의 왜곡

- (a) 단일 문자의 하단부가 잘려진 영상
- (b) 단일 문자를 왜곡없이 추출한 영상

Fig. 4. Distortion of character segmented from the sloped image.

- (a) image with the character distorted
- (b) image with the character segmented with no distortion



(a)



(b)

그림 5. 아날로그 계기명의 단일문자 추출 예

- (a) 이진화 및 영역 레이블링만으로 단일문자를 추출하였을 때
- (b) 강제분리 방법으로 밀줄 접촉문자들을 성공적으로 분리 및 추출한 그림

Fig. 5. Segmentation of the analog function name.

- (a) Segmentation performed using only thresholding and region labeling
- (b) Segmentation performed successfully using the method proposed

알고리즘 1의 과정 1에서 과정 5까지의 과정을 실제 계기 영상에 실험한 예를 그림 5의 (a)에 보였으며 과정 6에서 과정 8의 밀줄 접촉문자 강제 분리 과정을 수행한 결과를 그림 5의 (b)에 나타내었다.

2) 계기명 인식

위에서 추출한 계기명의 개별 문자 인식에는 신경회로망^{[14][15]}을 사용하였다. 아날로그 및 디지털 계기의 계기명에 사용되는 24개의 영문 대문자 및 특수문자('/') 각각에서 80개의 망특징^[16]을 추출하여 신경회로망의 학습 및 인식에 사용하였다.

표 1. 계기명 인식에 사용한 신경회로망의 구조와 파라메타

Table 1. Architecture and parameters of neural network used for the function name recognition.

Structure of neural network	Multilayer perceptron trained by back-propagation algorithm
No. of input nodes	80(8×10)
No. of hidden nodes	30
No. of output nodes	25
No. of training pattern	950 (25 Characters×38 Sets)
Learning rate	0.1
Momentum	0.7
Max. error rate	0.01

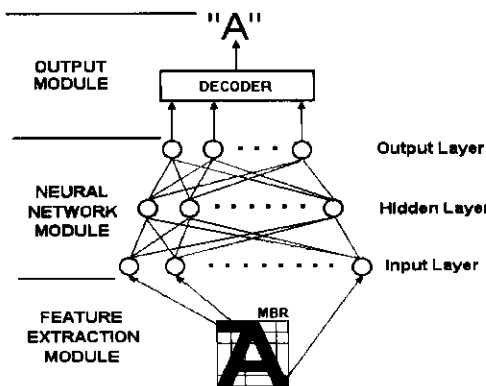
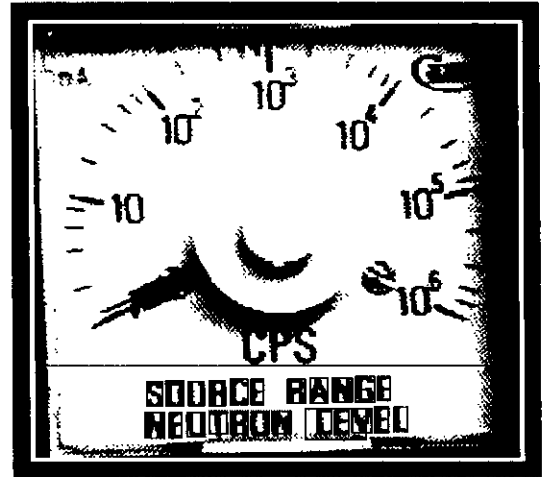


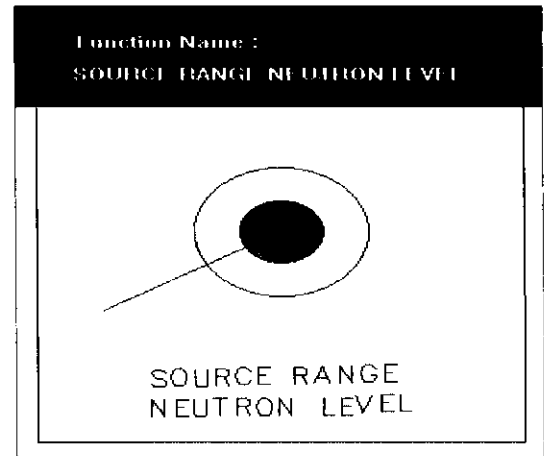
그림 6. 개별 문자 인식에 사용한 인식 모듈
Fig. 6. Recognition module used for the isolated character recognition.

이때, 망특징은 여타의 특징들에 비해 잡영이나 획의 변형에 비교적 강한 특성을 보이는 장점이 있다. 하나의 네트워크와 가중치 파일로써 아날로그와 디지털 계

기의 계기명 인식을 동시에 수행하였으며 신경회로망을 이용한 개별 문자 인식모듈의 상세한 구조는 그림 6에서와 같다. 한편, 이때 사용한 신경회로망의 구체적인 구조와 파라메타를 표 1에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 7. 아날로그 계기명 인식 결과
(a) 개별 문자 분리한 모습
(b) 최종 계기명 인식한 영상

Fig. 7. Recognition result of analog function name.

- (a) Segmentation of each character
- (b) Graphical representation of final recognition result

이상의 방법으로 구한 각 개별 문자의 인식 결과와 데이터베이스로 저장되어 있는 계기명들과의 유사도를 측정하여 가장 큰 값을 가지는 것을 최종 계기명으로 선택한다. 이때 두 비교 대상 문자열간의 유사도는

$$\text{유사도} = \frac{\text{개별문자간의 일대일 대응시 일치한 문자수}}{\text{두 개의 비교 대상 문자열중 긴 문자열의 길이}}$$

와같이 정의한다. 그림 7에서는 아날로그 계기에서 각 개별 문자의 분리, 인식 및 최종 계기명 인식을 행한 예를 보였다.

4. 눈금 및 눈금값 인식을 통한 눈금분포 파악

아날로그 계기에서 바늘의 회전각도를 인식한 뒤 이를 실제 지침값으로 변환하는 방법은 크게 두가지로 나눌 수 있다. 첫번째 방법은 계기명 인식을 통해 계기를 식별한 뒤, 지식베이스로 미리 저장된 계기의 눈금 분포 정보를 이용하여 실제 계측치를 환산해내는 방법이고 두번째는 계기 판면에 새겨진 눈금의 각도와 눈금값을 인식함으로써 계기의 전반적인 눈금 분포를 자동적으로 파악하여 이를 실제 계측치로의 변환에 이용하는 방법이다. 특히 두번째 방법으로는 지식베이스로 저장된 바늘의 회전각도 대 실제 계측치의 일대일 대응표 없이도 자동적으로 실제 계측치를 구할 수 있으므로 산업현장에서의 계측치 자동인식의 실제 수행시 새로운 계기가 추가로 설치되거나 대체 되었을 때에도 이에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있다. 아날로그 계기 눈금분포 자동 파악의 구체적인 수행 방법은 다음과 같다.

알고리즘 2:

- 과정 1. 계기영역 추출.
- 과정 2. 영역 레이블링으로 눈금과 눈금값에 해당하는 숫자 추출.
- 과정 3. 눈금의 평균길이를 계산하여 긴 눈금만 따로 추출.
- 과정 4. 긴 눈금과 근접한 영역내의 숫자영역 추출.
- 과정 5. 눈금의 각도 및 눈금값 인식.
- 과정 6. 바늘의 회전각도를 실제 계측치로 변환.

알고리즘 2의 각 과정을 자세히 살펴보면 우선, 추출된 계기영역 내에서 영역 레이블링을 수행한 뒤 영역의 면적비와 종횡비 및 MBR 내에서 영역의 분포 정보를 이용하여 눈금과 눈금값에 해당하는 숫자를 각각 분리 추출한다(과정 1, 2). 이렇게 추출된 눈금의 평균 길이를 계산하여 눈금값이 새겨져 있는 긴 눈금만을 따로 추출한 뒤(과정 3) 추출된 각각의 긴 눈금에

그 눈금값에 해당하는 숫자 영역을 대응시킨다(과정 4). 한편, 눈금의 기울기를 측정하여 눈금의 각도를 구하고 눈금값에 해당하는 숫자는 신경회로망을 이용하여 인식한다(과정 5). 이러한 방법으로 눈금의 각도와 눈금값을 인식하였으므로 내삽법과 외삽법을 이용하여 0도에서 360도까지의 전반적인 눈금 분포를 계산해낼 수 있게된다. 이를 변환표의 형태로 저장한 뒤 바늘의 회전각도로부터 실제 계측치로의 자동 변환에 이용하게 되는 것이다(과정 6). 여기서 한가지 주의할 점은 계기의 전반적인 눈금분포를 파악해 내기 위해서는 하나의 계기에서 적어도 2개 이상의 긴 눈금과 그에 해당하는 눈금값의 성공적인 추출 및 인식이 이루어져야만 한다는 것이다.

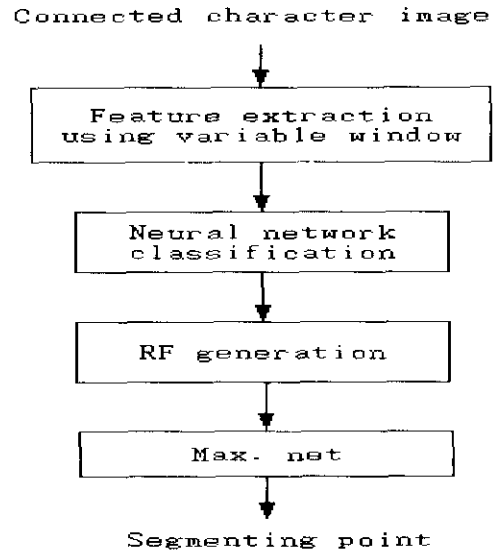


그림 8. 가변창을 이용한 접촉문자 분리과정
Fig. 8. Process of segmenting touched characters using variable window methods.

한편, 눈금값으로 추출된 숫자들 중에는 이웃 문자간의 접합 정도가 심하여서 일반적인 영역분할 방법으로 개개의 숫자를 분리, 추출하기가 상당히 곤란한 문제가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 "가변창(Variable Window) 방식"¹⁷⁾을 사용하여 접합 문자의 분리와 인식을 동시에 수행하였다. 여기서 가변창 방법이란 적절한 너비의 윈도우를 접합된 문자 영역의 좌측에서 우측으로 확장해 가면서 윈도우내의 글자 부분을 인식기의 입력으로 넣은 뒤 출력값을 이

용한 신뢰도지수(reliability factor : RF)^[18]를 계산하여 문자의 분리지점을 결정하는 방법이다. 접촉된 문자 영상에서 개별 문자로의 분리지점을 찾는 과정을 그림 8에 나타내었으며 그림 9에서는 신뢰도 지수를 이용하여 개별 문자의 분리지점을 결정하는 구체적인 예를 나타내었다. 인식기로는 다층 퍼셉트론 구조의 신경회로망을 사용하였으며 본 연구에서 사용한 신뢰도 지수는

$$RF = O_{max} - O_{sec\ and}$$

와 같이 표현된다. 여기서 O_{max} 는 신경회로망의 출력 노드 가운데 가장 큰 값을 나타내며 $O_{sec\ and}$ 는 두번째로 큰 값을 나타낸다. 이상의 과정을 통하여 아날로그 계기의 바늘의 회전각도로부터 실제 계측치를 획득한 예를 그림 10에 나타내었다. 그런데, 아날로그 계기 눈금 분포의 자동 파악이 제대로 수행되기 위해서는 첫째, 지수항 및 음부호 등을 포함하는 복잡한 눈금값들을 성공적으로 추출, 인식할 수 있어야하며 둘째, 내삽과 외삽에 의한 오차를 줄이기 위해서 원점에서 FSD 근처까지의 눈금들이 제대로 추출되어야만 한다. 이는 복잡하고도 세련된 영상 전처리 과정을 필요로하며 앞으로의 주요 연구 과제로 남는다.

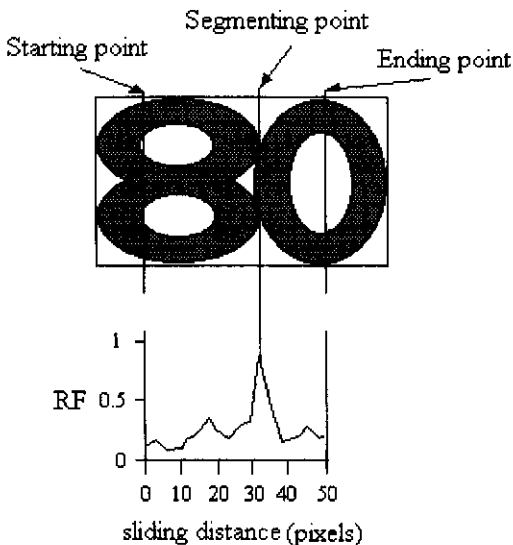


그림 9. 신뢰도 지수를 이용한 접촉문자의 분리 지점 결정

Fig. 9. Determination of segmenting point using reliability factor.

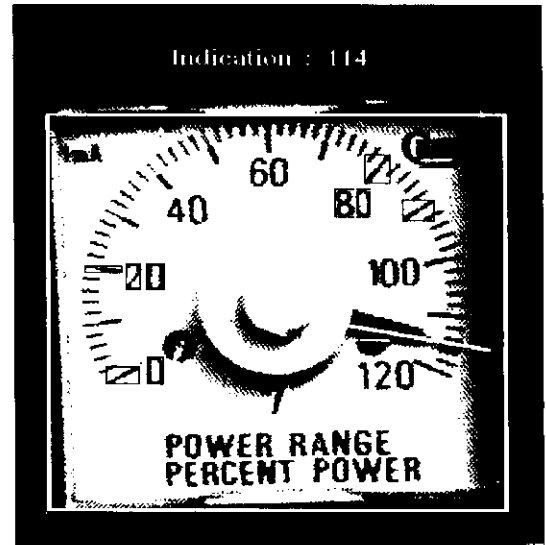


그림 10. 눈금분포 파악을 통한 실제 계측치를 획득한 영상

Fig. 10. Acquisition of true measurement value through the analysis of scale distribution.

III. 디지털 계기 인식

디지털 계기의 계측치 인식 모듈은 우선, 계기판면에 LED로 표시된 숫자코드(numeric code)를 인식하는 과정과 계기의 식별을 위해 계기명을 인식하는 과정의 2가지로 구성될 수 있으며 다음에서 각 과정을 자세히 알아보도록 하자.

1. 숫자코드의 인식

원자력 발전소내에 설치되어 있는 디지털 계기는 단일 종류로써 그 모양이 서로 유사하며 계기당 최대 네 개의 숫자 및 소숫점을 표시할 수 있도록 되어있다. 또한 하나의 숫자를 표시하기 위해 28개(4×7)의 LED들이 점 행렬 형태로 배열되어 있으며 소숫점은 1개의 LED를 사용하여 나타내었다. 원자력 발전소내에 설치되어있는 디지털 계기의 일반적인 유형은 그림 11에서와 같다. 디지털 계기의 숫자코드를 인식하기 위해서는 계기영역 찾기, 숫자 및 소숫점 추출, 숫자 인식 등의 과정이 필요하다.

1) 계기영역 추출

디지털 계기영역은 주변에 비해 균일한 검은 영역이므로 일단 전체 영상을 이진화하고 검은 영역에 대한 영역 레이블링을 수행하여 연결 성분들을 추출한 뒤

영역의 면적 등의 공간 영역 특징과 영역의 종횡비와 같은 상대적 특징을 이용하여 최종적인 계기 영역을 추출한다.

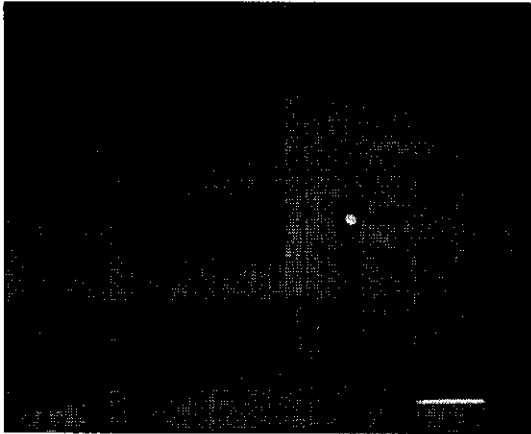


그림 11. 원자력 발전소 내에 설치된 디지털 계기
Fig. 11. Digital meters installed in the nuclear power plant.

2) 숫자 및 소숫점 추출

디지털 계기영역 내에서 숫자 및 소숫점을 추출할 때에는 몇가지 문제점이 예견된다. 첫째, 계기영역 주위의 잡영 및 영상 포착시 카메라가 좌우로 기울어짐으로 인하여 계기영역과 숫자등에 기울기가 생기게 된다. 둘째, 하나의 숫자는 가로 4개, 세로 7개의 LED들의 배열로 구성되어 단순한 투영법만으로는 이러한 LED 간의 공백을 커버할 수 없다. 그런데 LED들을 묶어 하나의 숫자로 처리해야 되는 점과 하나의 LED를 또한 하나의 소숫점으로 처리해야 되는 점은 그 접근 방법에 있어서 서로 상치되는 어려움이 존재한다. 따라서 본 연구에서는 숫자 및 소숫점을 추출하기 위해 영역 레이블링 및 이동창(sliding window)를 이용한 투영법등을 동시에 활용하였는데 그 구체적인 수행 방법은 다음과 같이 요약된다.

알고리즘 3:

- 과정 1. 계기영역 내에서 영역 레이블링으로 LED 추출.
- 과정 2. LED들 간의 거리 측정으로 소숫점 추출.
- 과정 3. 소숫점을 제외한 나머지 LED들로 대략의 숫자 영역 설정.
- 과정 4. 가로방향 투영 및 이동창을 이용한 세로방향 투영으로 최종적인 숫자 영역 추출.

영역 레이블링으로 추출한 LED들에서 소숫점의 유무를 확인하고 이를 추출하기 위해서는 소숫점에 해당하는 LED가 숫자를 구성하는 LED들에 비해 하단부에 위치하는점을 이용하여, 가장 아래에 위치한 LED로부터 다른 LED들 간의 거리를 계산하여 소숫점의 존재 유무를 확인할 수 있다(과정 1, 2). 한편 과정 4에서 각 숫자의 세로방향 분리에 이용되는 이동창의 폭은 단일 숫자를 구성하는 LED간의 공백보다는 넓고 각 숫자간의 간격보다는 좁아야 한다. 그림 12에 이동창을 이용한 세로분리의 방법을 나타내었고 위의 방법을 사용하여 실제의 디지털 계기 영상에서 숫자 및 소숫점을 추출하는 과정을 그림 13에 나타내었다.

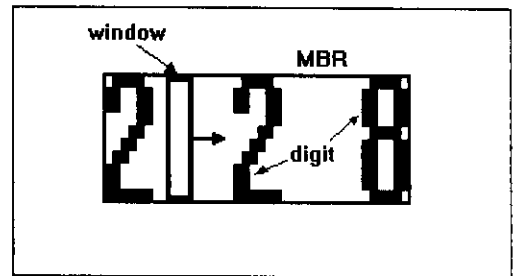
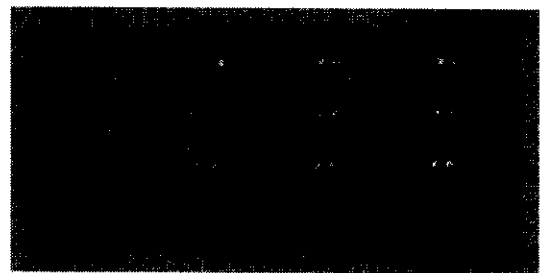
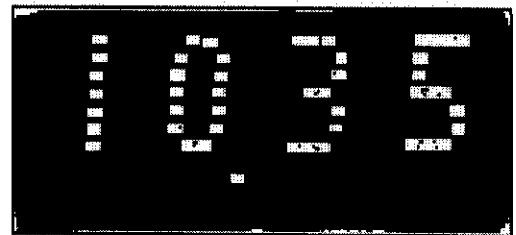


그림 12. 이동창을 이용한 숫자코드의 세로분리 방법

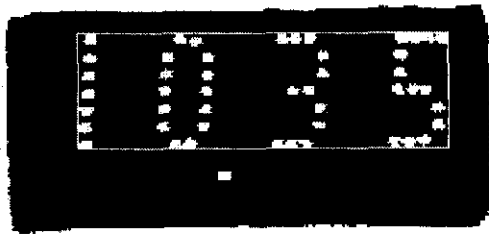
Fig. 12. Vertical segmentation of numeric code using moving window.



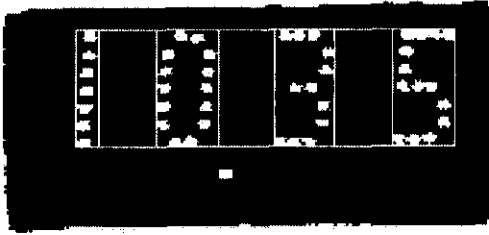
(a)



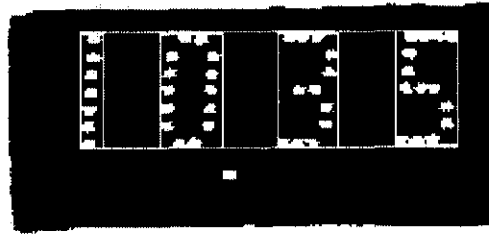
(b)



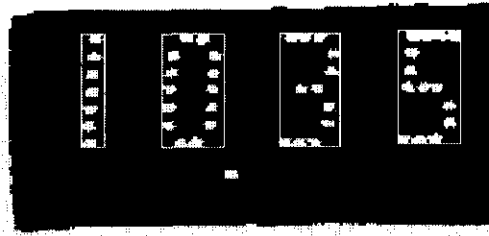
(c)



(d)



(e)



(f)

그림 13. 디지털 계기의 숫자 및 소숫점 추출 과정
 (a)명암 영상 (b) LED 셀 추출
 (c)소숫점 추출 (d) 세로 분리 후
 (e)가로분리 후 (f) 최종 숫자 및 소숫점
 추출

Fig. 13.Extraction of digits and point of digital meter.

- (a)Gray level image
- (b)Extraction of LED cells
- (c)Extraction of point
- (d)Vertical segmentation
- (e)Horizontal segmentation
- (f) Digits and point finally extracted

3) 숫자 인식

추출된 각 숫자의 인식에는 다층 퍼셉트론 신경회로망을 사용하였으며 각 숫자당 28개의 망특징을 추출하여 신경회로망의 학습 및 인식을 위한 입력값으로 사용하였다. 한편, 앞서 설명한 여러 과정을 통하여 계기 영역내 소숫점의 존재유무, 숫자의 자릿수 그리고 각 숫자에 대한 소숫점의 위치등이 파악되었으므로 각 숫자의 인식결과로부터 최종적인 숫자 코드를 계산해낼 수 있게 된다. 이상의 과정을 통해 디지털 계기 계측치를 최종 인식한 결과를 그림 14에 나타내었다.

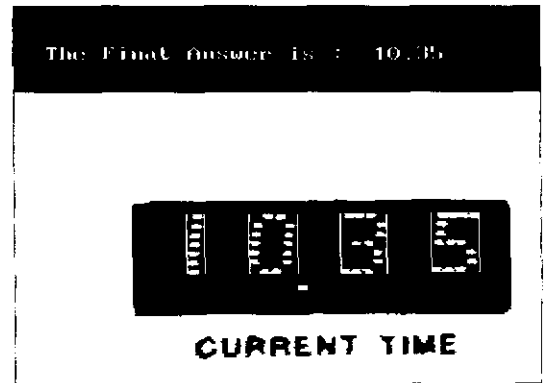


그림 14. 디지털 계기의 계측치 최종 인식 결과
 Fig. 14. Recognition result of LED display.

2. 계기명 인식

디지털 계기는 아날로그 계기와는 달리 실제 계측치를 얻기위해 눈금분포를 파악해야 하는 등의 과정이 필요없이 계기판면에 디스플레이된 숫자코드에 단위를 붙인값이 곧 실제 계측치가 된다. 따라서 계기명 인식을 통한 계기식별이 성공적으로 수행되면 전반적인 디지털 계기 인식 시스템의 구성이 완성된다할 수 있다. 디지털 계기의 계기명 추출시 가장 어려운 문제는 계기판면에 존재하는 긴 선분 모양의 잡영과 각 개별 문자 사이의 간격의 미소함으로 인해 계기명을 구성하는 각 문자들이 이진화를 수행하였을 때 서로 연결되어 버린다는 점이다. 그러나 원래의 명암영상을 살펴보면 각 개별 문자들이 서로 분리되어 있으나 조명의 효과로 가장자리가 흐트러져서 결국은 전역 이진화를 수행하였을 때 서로 접촉하는 현상이 발생함을 알 수가 있다. 따라서 원래의 명암영상에서 문턱치를 적당히 낮추어서 이진화를 하면 각 개별 문자가 접촉되는 분체를 효과적으로 해결할 수가 있다. 이때 이진화의 문턱치를

너무 낮게 잡으면 단일 글자마저도 왜곡되어 버리는 문제가 생기므로 문턱치의 하한값의 결정에 주의할 필요가 있다.

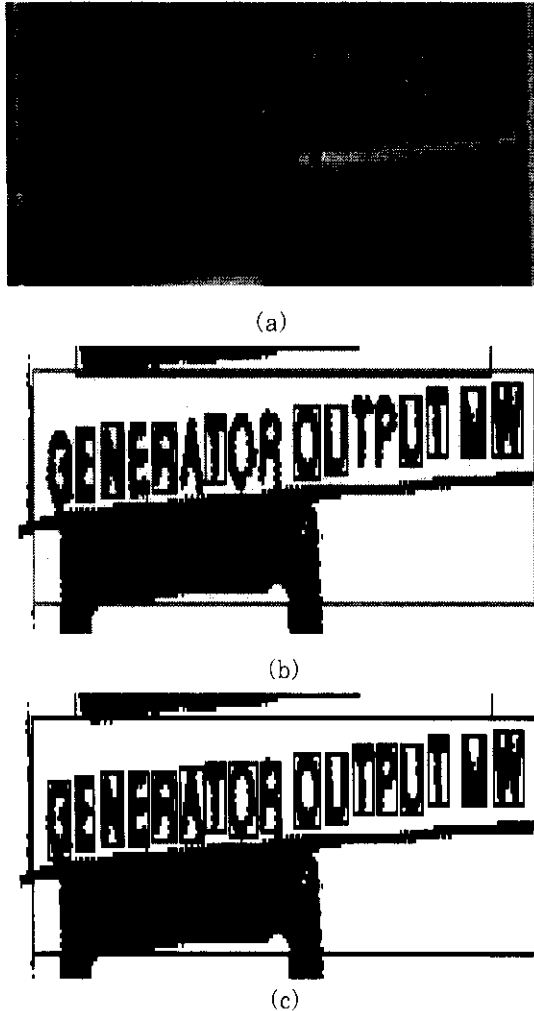


그림 15. 디지털 계기명 추출의 예
 (a) 계기명의 명암 영상
 (b) 이진화와 영역레이블링으로 개별 문자를 추출한 영상
 (c) 반복적 이진화-영역 레이블링으로 접촉 문자를 분리한 뒤 단일 문자를 추출한 영상

Fig. 15. Segmentation of function name of digital meter.
 (a) Gray level image
 (b) Extraction of characters using thresholding and region labeling
 (c) Extraction of characters after segmentation of merging characters through iterative thresholding-region labeling method

본 연구에서는 계기영상 전체를 전역 이진화할 때 얻은 문턱치에서 시작하여 이 문턱치의 절반값까지 반복적으로 이진화와 영역 레이블링을 수행하여 각 단계에서 단일 문자에 해당하는 영역의 MBR 정보를 추출한 뒤 저장한다. 이렇게 추출된 단일문자의 MBR 정보를 이용하여 처음의 이진화 영상에서 각 개별 문자들을 분리, 추출하게 된다. 이러한 반복적 이진화-영역 레이블링 방법으로 디지털 계기명의 개별 문자를 성공적으로 추출한 모습을 그림 15에 나타내었다. 한편, 추출된 개별 문자를 인식하고 최종 계기명을 결정하는 방법은 아날로그 계기의 경우와 동일하며 그 결과를 그림 16에 나타내었다.

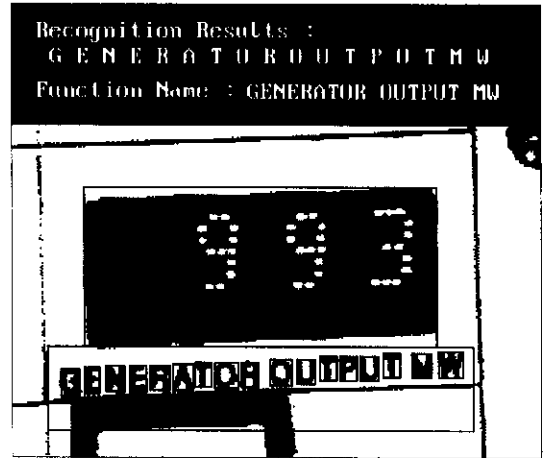


그림 16. 디지털 계측기의 계기명 추출, 인식 및 최종 계기명 결정한 영상

Fig. 16. Extraction and recognition of each character and selection of final function name.

IV. 실험결과 및 고찰

본 연구의 실험 대상으로 삼은 계기는 원자력 발전소 내에 현재 설치되어 있는 각종 아날로그 및 디지털 계기들이며 실험 데이터 영상은 원자력 연구소의 "Advanced Compact Nuclear Simulator"로부터 카메라를 통하여 획득하였다. 10종류의 아날로그 계기와 20종의 디지털 계기를 실험 대상으로 삼았으며 다수의 계기가 한 화면에 동시에 포착된 경우를 포함한 약 50여 장의 계기 영상을 대상으로 실험을 수행하였다.

전반적인 실험결과를 표 2에 나타내었으며 참고로

아날로그 및 디지털 계기의 계기명을 표 3에 나타내었다. 아날로그 및 디지털 계기의 계기명 인식은 육안으로 계기명 인식이 가능할 정도로 충분히 좋은 되었을 경우만을 실험 대상으로 하였으며 아날로그 계기의 눈금분포 파악에 대한 구체적인 실험결과는 표 2에서 제외하였다. 한편, 아날로그 계기의 바늘 각도 인식에서는 인식한 바늘의 회전각도와 실제의 바늘 각도와의 오차가 $\pm 1^\circ$ 이내일때 바늘 각도 인식이 성공한 것으로 정의 하였다.

표 2. 인식 정확도

Table 2. Recognition accuracy.

Type of meter	Experiment	No. of data image	No. of success	Success rate (%)
Analog meter	Detection of needle	20	20	100
	Recognition of function name	10	9	90
Digital meter	Recognition of numeric code	30	30	100
	Recognition of function name	20	19	95

표 3. 원자력 발전소내의 계측기 명

Table 3. The function names of various meters in nuclear power plant.

20 digital meters	10 analog meters
CBA POS, CBB POS, CBC POS, CBD POS, SBA POS, SBB POS, SBC POS, SBD POS, BORON CONC, CURRENT TIME, BORIC ACID BATCH, MAKEUP WATER BATCH, SUBCOOL TEMP MARGIN, TBN SPEED RPM, GENERATOR OUTPUT MW, ACCELERATION RPM/MIN, SPEED SETPOINT RPM, LOAD SETPOINT MW, SIMULATION TIME, LOAD RATE MW/MIN	SOURCE RANGE NEUTRON LEVEL, POWER RANGE PERCENT POWER, STARTUP RATE, AXIAL OFFSET, FREQUENCY, VOLTAGE, CURRENT, INCOMING VOLTAGE, RUNNING VOLTAGE, INTERMEDIATE RANGE NEUTRON LEVEL

본 연구의 수행과정 중 그 주축을 이루는 영역분할 과정인 계기명 추출, 눈금 및 눈금값 추출등에 있어 난

제로 대두되는 각종 잡영 및 영역간 접합 등은 주로 영역분할의 초기단계에 행한 전역 이진화의 단점에 그 원인을 두고 있다. 따라서 더욱 효율적인 영역분할 및 인식 시스템의 전반적인 성능 향상을 위해서는 주어진 계기영상의 분포 특성 및 조명의 기울기 등을 고려한 적절한 국부 이진화^{[19][20]}의 적용이 절실히 요구되며 이는 본 실험의 개선점으로 남는다.

V. 결 론

본 연구에서는 원자력 발전소내의 각종 아날로그 및 디지털 계기의 계측치 자동인식 시스템을 구현하였다. 아날로그 계기 인식과 디지털 계기 인식의 경우로 대별하여 연구 수행 과정을 자세히 설명하였다. 아날로그 계기의 바늘과 디지털 계기의 숫자코드를 추출하는데 이진화와 영역 레이블링 그리고 투영 등의 비교적 단순하고도 기본적인 영상 처리 기법은 주로 사용함으로써 수행 속도를 높일 수 있었으며 계기 영상에 존재하는 각종 잡영에도 둔감한 효과를 얻을 수가 있었다.

각 계기의 눈금분포 및 단위 등이 저장된 지식베이스를 이용하여 실제 계측치를 환산해내기 위해서는 계기의 식별과정이 필수적으로 요구되며 이를 위해서 계기명을 추출하여 인식하였다. 이때 긴 밑줄 성분 등의 잡영을 제거하고 계기명을 구성하는 개별 문자들을 성공적으로 추출하기 위해서 디지털 계기의 경우 '반복적 이진화-영역 레이블링 방법'을 적용하였고 아날로그 계기의 경우는 영역을 넓혀가며 영역 레이블링 방법을 수행한 뒤 이때의 영역 갯수 정보를 이용하여 개별 문자 분리를 수행하였다. 한편 아날로그 계기의 눈금 및 눈금값 추출에 의한 눈금분포의 자동 파악을 통하여 지식베이스없이도 바늘의 회전각도로부터 실제 계측치를 구할 수 있었으며 이때, 눈금값의 개별 숫자 분리의 어려움을 '가변창 방법'을 이용하여 해결할 수 있었다.

다수의 계기가 동시에 포착된 영상을 포함한 50여 장의 계기 영상을 대상으로 실험한 결과, 아날로그 계기의 바늘의 회전각도 인식과 디지털 계기의 숫자코드 인식에서는 100%의 성공률을 보였고 계기명 인식에 있어서는 아날로그 계기와 디지털 계기 각각의 경우에 있어서 90%와 95%의 인식률을 보였다. 본 연구가 원전 시설 내에 설치된 계기 자동인식에 관한 것이라는 점에서 볼 때 계측치 인식의 성패 여부가 가지는 중요성은 실로 대단한 것이며 그 인식 결과의 중요성을 고

려 할 때 계측치의 인식 결과를 확실히 검증할 수 있는 2차적인 측정조치의 마련이 필요하다.

이상과 같이 컴퓨터를 이용한 모의 실험결과를 통하여 본 논문에서 제시한 계기 인식 알고리즘의 유용성을 입증할 수 있었으나 조명의 상태 및 계기의 크기 등에 변화를 준 다수의 새로운 실험 데이터를 사용함으로써 더욱 신뢰성 있는 실험결과를 얻어낼 필요가 있다. 본 논문에서 제시한 아날로그 및 디지털 계기의 자동인식 모듈 구현에 관한 연구는 원자력 발전소용 계기뿐만 아니라 여타의 산업시설에 대한 계측기 자동검사 시스템에도 높은 이식성을 가진다고 할 수 있다. 본 연구는 세부적인 알고리즘의 개선 및 이진화를 포함한 전처리와 아날로그 계기의 눈금분포 파악 등에 많은 연구과제 및 개선의 여지를 남기고 있으며 실용적인 계측기 자동인식 시스템의 완성을 위해서는 이들에 관한 꾸준한 연구개발의 노력이 필요하리라 본다.

참 고 문 헌

- [1] S. Yamamoto, "Development of Inspection Robot for Nuclear Power Plant," Proc. 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, pp. 1559-1566, May 1992.
- [2] M. M. Trivedi, C. Chen, and S. B. Marapane, "A Vision System for Robotic Inspection and Manipulation," *IEEE Computer, Special Issue on Autonomous Intelligent Machines*, vol. 22, no. 6, pp. 91-98, June 1989.
- [3] M. M. Trivedi, S. B. Marapane, and C. Chen, "Automatic Inspection of Analog and Digital Meters in a Robot Vision System," in *Proceedings of the Fourth Conference on Artificial Intelligence for Space Applications*, Huntsville, pp. 233-242, NASA, November 1988.
- [4] J. R. White, R. E. Eversole, K. A. Farnstrom, H. W. Harvey, and H. L. Martin, "Evaluation of Robotic Inspection Systems at Nuclear Power Plants," *Tech. Rep. NUREG/CR-3717*, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, March 1984.
- [5] M. Sonka, V. Hlavac, and R. Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, Chapman & Hall Computing, London UK, pp. 112-122, 1993.
- [6] 백영득, 임길택, 김우태, 진성일, "영역 레이블링 방식을 이용한 일반문서의 Layout Understanding," 제 6회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp. 204-209, 1994
- [7] D. H. Ballard and C. M. Brown, *Computer Vision*, Prentice Hall, Inc. pp. 149-165, 1982.
- [8] R. M. Haralick and L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, vol. 1 Addison Wesley, pp. 40-48, 1992.
- [9] E. Angel, *Computer Graphics*, Addison Wesley, 1990.
- [10] T. Akiyama and N. Hagita, "Automated Entry System for Printed Documents," *Pattern Recognition*, vol. 23, no. 11, pp. 1141-1154, 1990.
- [11] S. Liang, M. Ahmadi, and M. Shridhar, "Segmentation of Touching Characters in Printed Document Recognition," *ICDAR*, Japan, pp. 569-572, October 1993.
- [12] L. A. Fletcher and R. Kasturi, "A Robust Algorithm for Text String Separation from Mixed Text/Graphics Images," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 10, no. 6, pp. 910-918, November 1988.
- [13] S. Kahan, T. Pavlidis, and H. S. Baird, "On the Recognition of Printed Character of Any Font and Size," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. PAMI-9, no. 2, pp. 274-287, March 1987.
- [14] Yoh-Han Pao, *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [15] S. I. Chien, "Hangul(Korean) and English OCR System Using Multiple Hypotheses Driven Neural Nets," *Proc. 1994 Korean-French Character Recognition Workshop*, Seoul, pp. 37-52, September 1994.
- [16] S. Mori, K. Yamamoto, and M. Yasuda,

"Research on Machine Recognition of Handprinted Character," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. PAMI-6, no. 4, pp. 386-405, July 1984.

- [17] 김경훈, 김상수, 진성일, "신뢰도 지수와 혼동 리스트를 활용하는 신경회로 망에 기반한 영문자 및 숫자 인식시스템," 제 1회 문자 인식 워크샵 발표 논문집, 충북대학교, pp. 229-235, 1993
- [18] 김상수, 김우태, 진성일, "모듈화된 신경회로망을 이용한 필기체 숫자인식," 제 3회 신경회로

망 연구회 학술대회 논문집, 서울, pp. 219-224, 1992

- [19] A. Perez and R. C. Gonzalez, "An Iterative Thresholding Algorithm for Image Segmentation," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 9, no. 6, pp. 742-751, November 1987.
- [20] J. R. Parker, "Gray Level Thresholding in Badly Illuminated Images," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 13, no. 8, pp. 813-819, August 1991.

— 저 자 소 개 —



金敬昊 (正會員)

1970년 3월 16일생, 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995년 2월 ~ 현재 시

스템공학 연구소 연구원. 주관심분야는 컴퓨터 비전, 패턴인식, GIS 등임.

秦成一 (正會員)

1995년 4월 28일생, 1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사) 1981년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사) 1988년 미국 Carnegie Mellon University Electrical and Computer Engineering 졸업(공학박사). 1981년 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 부교수. 주관심분야는 신경망, 컴퓨터 비전, 패턴 인식, 문서 인식 등임.

李容範 (正會員)

1962년 1월 10일생, 1985년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사) 1987년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1987년 3월 ~ 현재 한국원자력연구소 선임연구원. 주관심분야는 화상처리, 로봇비전 등임.

李鍾旻 (正會員)

현재 한국원자력연구소 책임연구원(본부장)