

# 영상 감시와 퍼지 제어를 이용한 지하구내 전기설비의 침수에 의한 2차 재해에 대한 안전성 연구

## A Study on Safety against Secondary Disaster due to Submergence of Electrical Equipments in Underground Premises using Fuzzy control and Surveillance system

권동민<sup>1</sup>, 강민희<sup>1</sup>, 조성원<sup>1</sup>, 김준범<sup>1</sup>, 정종욱<sup>2</sup>, 정진수<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과 지능정보처리 연구실  
E-mail: aa2242@naver.com

<sup>2</sup> 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹  
E-mail: phdjung@kesco.or.kr

### 요 약

지상의 침수와 지하공간의 침수는 많은 부분에서 발생 및 진행 메커니즘이 다르므로, 침수시 요구되는 대응방안 또한 많은 차이를 나타내고 있다. 일반적으로 지하구내의 침수 피해는 지상에 비해 피해 규모가 막대할 뿐만 아니라 복구에도 많은 어려움이 있다. 생명과 재산의 피해를 최소화할 수 있는 적절한 대책이 필요하다. 본 논문에서는 영상처리와 퍼지 제어를 적용해서 지하구내 침수 상황을 감시·통제하고 안전성을 평가하는 알고리즘과 시스템을 제안한다.

**Key Words** : Fuzzy Control, surveillance system, 지하구내, 안전성

### 1. 서 론

지하상가와 같은 지하구내에 설치된 전기설비는 침수피해의 가능성이 상존한다. 그러므로 침수상황에서 재난복구를 위해 투입되는 인력에게 미칠 수 있는 2차 재해에 대한 안전성을 평가하고, 생명과 재산의 피해를 최소화 할 수 있는 적절한 대책이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 수해로 인해 지하구내에 설치된 전기설비가 침수 되었을 경우, 재난복구를 위해 현장에 투입되는 인원의 안전을 보장하고 재난상황을 통합적으로 관리할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 사전 작업으로써 안전성 평가 알고리즘을 구현하고자 한다. 안전성 평가를 위하여 인간의 지식과 경험을 이용해 인간의 사고방식과 비슷한 결과를 내주는 퍼지 제어와 지하구내의 상황을 감시하고 획득한 영상을 분석하여 사람을 탐지, 파악하여 사람 수를 알아내기 위해 영상 감시 시스템을 이용하였다. 영상 감시 시스템을 통한 지하구내 상황 감시와 여러 입력 변수들을 퍼지 제어에 적용하여 지하구내 안전성을 평가하는 시스템을 제안한다.

이 논문은 2006년 전력산업연구개발사업의 재원으로 산업자원부의 지원을 받아 수행된 연구임.

### 2. 본 론

#### 2.1 시스템의 입·출력 요소

논문에서 제안하는 침수 상황 감시, 통제 및 안전성 평가 시스템에는 가장 중요하다고 생각되는 몇 가지를 입·출력으로 정하여 시스템에 사용하였다. 입·출력 요소들은 표 1에 나타내었다.

표 1. 시스템의 입·출력 요소

입 력	현재 수위	출 력	펌프배수량
	지하 공간 내 사람 수		위험도
	유입수의 전기전도율		
	접지선의 누설전류 전위		

지하구내가 물에 잠기게 되면 그 수위에 따라 지하구내에 원래 존재하던 사람들이 대피할 때나 상황 복구를 위해 인력이 투입될 때에 행동하는 데 있어서 제약이 생긴다. 그리고 콘센트나 변압기의 리드 단자 등이 물에 잠기게 되면 누전의 위험이 있다.

현재 수위는 지하구내로 유입되는 물의 양과 지하구내에서 펌프로 배수되는 물의 양의 영향을 받아 변한다. 유입되는 물은 외부로부터 들

어오는 외수와 집수정을 통해서 역으로 유입되거나 지하구내의 수도관이 파열되어 들어오는 내수로 크게 나눌 수 있다. 물의 수위는 사람들의 탈출에 방해가 될 뿐만 아니라 누전의 위험도 있으므로 위험도에 큰 영향을 준다. 또한 물의 유입 경로에 따라, 즉 외수인지 내수인지에 따라 물의 특성에 의해 전도율이 달라진다. 집수정을 통해서 역으로 유입되는 물의 경우는 물의 오염도가 높아 전도율이 더 높고, 전도율이 높아질수록 전기가 더 잘 통하여 위험도가 높다고 볼 수 있다. 누설 전류가 흐르면 감전이나 화재의 위험이 있다. 전위의 경우는 그 위험도가 다른 입력 요소에 비해 더욱 높아 위험도 차지 비율에 있어서 큰 비율을 차지한다. 지하구내에 물이 유입되는 경우 펌프를 가동하여 수위를 조절하는데, 그 펌프의 배수량은 퍼지 제어의 결과로서 나오게 된다. 또한, 4가지 입력 요소를 퍼지 제어한 결과 지하구내의 위험도를 산출한다. [1]

**2.2 지하구내 감시 시스템**

지하 공간 내 사람의 수를 알아내기 위해서 지하구내 감시 시스템을 적용하였다. Ismail Haritaoglu의 W<sup>4</sup>연구에서 객체를 탐지하는 부분을 지하 공간 내 사람의 수를 찾는 데 적용하였다. W<sup>4</sup>는 "Who? When? Where? What?"의 준말로 실시간으로 사람을 찾아서 트래킹하고 그들을 감시하는 시스템이다. 그래서 감시 구역 내에 누가 있고, 언제 어디에서 그들이 어떤 행동을 하는지를 알아내는 시스템이다. [2] 지하구내 감시 시스템에서는 W<sup>4</sup>의 일부분인 사람을 찾는 것까지만 사용하여 그것으로 지하구내의 인원수를 알아낸다.

지하구내 감시 시스템에서는 사람이 없는 배경 영상으로 학습을 통해 배경을 모델링한다. 배경 모델링은 학습 과정 동안, 각 픽셀별로 픽셀의 최소값(M), 최대값(N) 그리고 연속된 프레임 간의 가장 큰 차이값(D)을 저장한다. 이 값들은 다음 과정에서 전경을 찾는 데 쓰인다. 카메라를 통해 입력된 영상에서 각 프레임

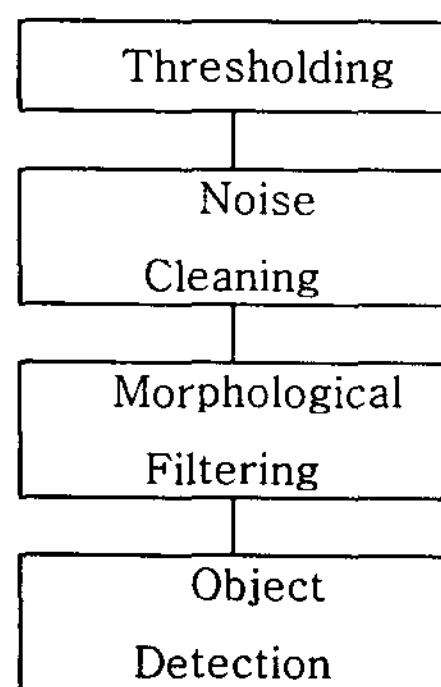


그림 1. 객체 탐지 과정

별로 크게 4단계의 과정을 거친 처리를 하여 객체를 분리한다. 객체의 분리는 사람의 탐지를 의미한다. 전체 과정은 그림 1과 같다.

앞에서 학습된 배경 모델을 사용하여 입력 영상의 한 프레임에서 각 픽셀이 배경인지 전경인지 분류한다. 현재의 픽셀값과 학습된 최소값(M) 또는 최대값(N)과의 차이가 프레임 간의 차이값(D)에 k를 곱한 값보다 크면 그 픽셀은 전경이라고 분류하고, 그 외의 경우는 배경으로 분류하는 것이다. 그 후에 분류된 영상에서 잡음을 제거한다. 침식 연산으로 인해 남아있는 전경 영역은 원래보다 크기가 작아졌으므로 침식 연산과 팽창(Dilation)연산의 조합으로 전경 부분을 완전한 원래의 크기로 만들어야 한다. 위의 과정들을 통해 나온 결과가 전경 영역이다. 탐지된 각 전경 영역은 BCC 연산으로 라벨링을 하여 각각의 부분에 대해 판단하고 처리할 수 있다. [3]

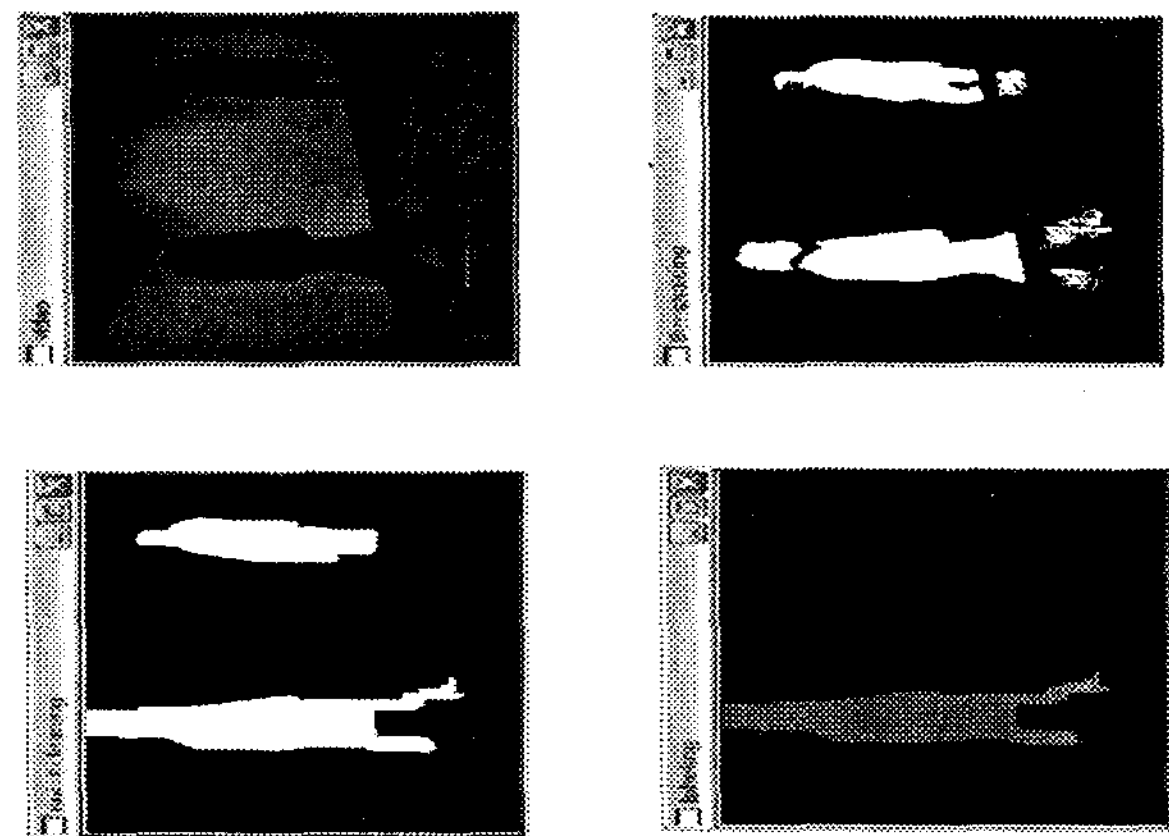


그림 2. 객체 탐지 영상

그림 2에서 보는 것처럼 실험 영상 내에 존재하는 사람을 네모칸으로 표시하고, 인원수가 2라는 것을 알아내는 결과를 볼 수 있다. 이와 같이 지하구내 감시 시스템을 통해 알아낸 사람의 수는 안전성 평가 시스템에서 입력으로 사용된다.

**2.2 침수상황 통제 시스템**

지하구내에 물이 유입되기 시작하면 미리 설치되어 있는 펌프를 동작시켜서 배수를 해야 한다. 그래야 지하구내의 전기 설비에 대한 피해도 줄일 수 있고, 지하구내에 존재하는 인원의 안전이 보장되며, 복구를 위한 인원의 투입도 가능해진다.

유입량을 정확히 알 수 없으므로, 시계열 분석으로 미래의 값을 예측하였다. 그리고 전 단계에서의 예측 수위와 실제 수위와의 오차를 측정하여 오차량과 현재의 예측 수위를 입력으로 한 퍼지 제어 시스템을 구성하였다. 그 시

시스템은 펌프의 동작량, 즉 배수량을 결정하여 펌프를 가동시켜 수위를 제어한다. 또한, 수위 변화에는 지하구내 공간의 면적도 고려해야 하므로 시스템 동작 전에 미리 현재의 면적을 택하여 시스템에 적용할 수 있다.

### 2.3 안전성 평가 시스템

안전성 평가는 현재 지하 공간의 수위와 지하 공간 내에 존재하는 사람의 수, 지하 공간으로 유입된 물의 전기 전도율, 접지선의 누설 전류 그리고 전위를 입력으로 한 퍼지 추론을 통해 나온 위험도를 기준으로 평가한다. 여기에서 먼저 입력 요소 별로 중요성을 판단해서 유입수의 전기전도율과 접지선의 누설 전류는 하나의 전기적인 위해요소로 통합하였다. 그래서 결국 안전성 평가 시스템에는 4가지의 입력이 쓰이게 된다.

각 입력 변수값이 측정되면 퍼지화 과정을 통해 그 값을 퍼지 값으로 변화시키고, 추론 엔진에 미리 정해진 룰에 의해서 추론 결과가 나온다. 추론 규칙은 일반적으로 다음과 같은 형식의 퍼지조건문들로 이루어진다.

“ IF(특정 조건들이 만족된다면), THEN(특정 결과들이 유추될 것이다) ”

괄호 속의 조건들은 각각 조건부와 결론부라 하고 정성적인 언어로 표현된다. 조건부와 결론부에는 각각 여러 개의 퍼지 변수들이 도입될 수 있으며, 전체 규칙은 여러 개의 복수 입력-복수 출력 퍼지 조건문들로 구성되는 것이 일반적이다. 본 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부에 사람의 수와 현재 수위, 그리고 전기적인 위해요소, 전위로 구성하고, 결론부에는 위험도로 구성하였다. 조건부의 멤버십 함수는 LOW, MID, HIGH 3부분으로 나뉜다. 결론부는 VERY VERY LOW, VERY LOW, LOW, MID, HIGH, VERY HIGH, VERY VERY HIGH 7부분으로 나뉜다. 멤버십 함수는 표현이 간단하고 연산상의 편리함이 있는 삼각형과 사다리꼴형의 조합으로 만들어진다. 또한 조건부에 현재 수위, 사람의 수, 전기적 요소, 전위 각각 3개씩 총 81개의 추론 규칙이 적용되었다. 본 연구에 적용된 규칙은 표 2에 있고, 그 예는 다음과 같다.

IF 현재 수위 is MID AND 전위 is LOW AND 사람의 수(#P) is HIGH AND 전기적 요소(C\_L) is MID THEN 위험도 is Mid

이와 같이 구성된 퍼지 규칙을 이용하여 추론하는 여러 방법 중 추론 규칙의 조건부와 결론부가 모두 일반 언어로 대응 가능하고 정성적으로 표현이 가능하며 추출 과정을 그래프로 표현하기 쉽다는 장점이 있어 가장 많이 사용되는 Mamdani 방법을 채택하였다. [4]

표 2. 위험도 판단을 위한 추론 규칙

현재 수위	전위	LOW			MID			HIGH		
		#P C_L	LO W	MID	HIG H	LO W	MID	HIG H	LO W	MID
LOW	LO W	VV. Low	VV. Low	V. Low	VV. Low	V. Low	V. Low	V. Low	V. Low	Low
	MID	VV. Low	V. Low	Low	V. Low	Low	Mid	Low	Mid	High
	HIG H	V. Low	Low	High	Low	High	V. High	High	V. High	V. High
MID	LO W	VV. Low	V. Low	V. Low	V. Low	V. Low	Low	V. Low	Low	High
	MID	V. Low	Low	Mid	Low	Mid	High	Mid	High	V. High
	HIG H	Low	High	V. High	High	V. High	V. High	V. High	V. High	VV. High
HIGH	LO W	V. Low	V. Low	Low	V. Low	Low	High	Low	High	V. High
	MID	Low	Mid	High	Mid	High	V. High	High	V. High	VV. High
	HIG H	High	V. High	V. High	V. High	V. High	VV. High	V. High	VV. High	VV. High

VV. = Very Very

추론 엔진을 통해 나온 결과는 퍼지 값이기 때문에 시스템에 바로 적용하기 어려워 사용가능한 비퍼지 값으로 바꾸는 과정이 필요하다. 비퍼지화 방법에는 여러 가지가 있지만 가장 많이 사용되는 무게중심법을 선택하였다. 이렇게 비퍼지화 과정을 거쳐서 시스템의 위험도를 도출한다.

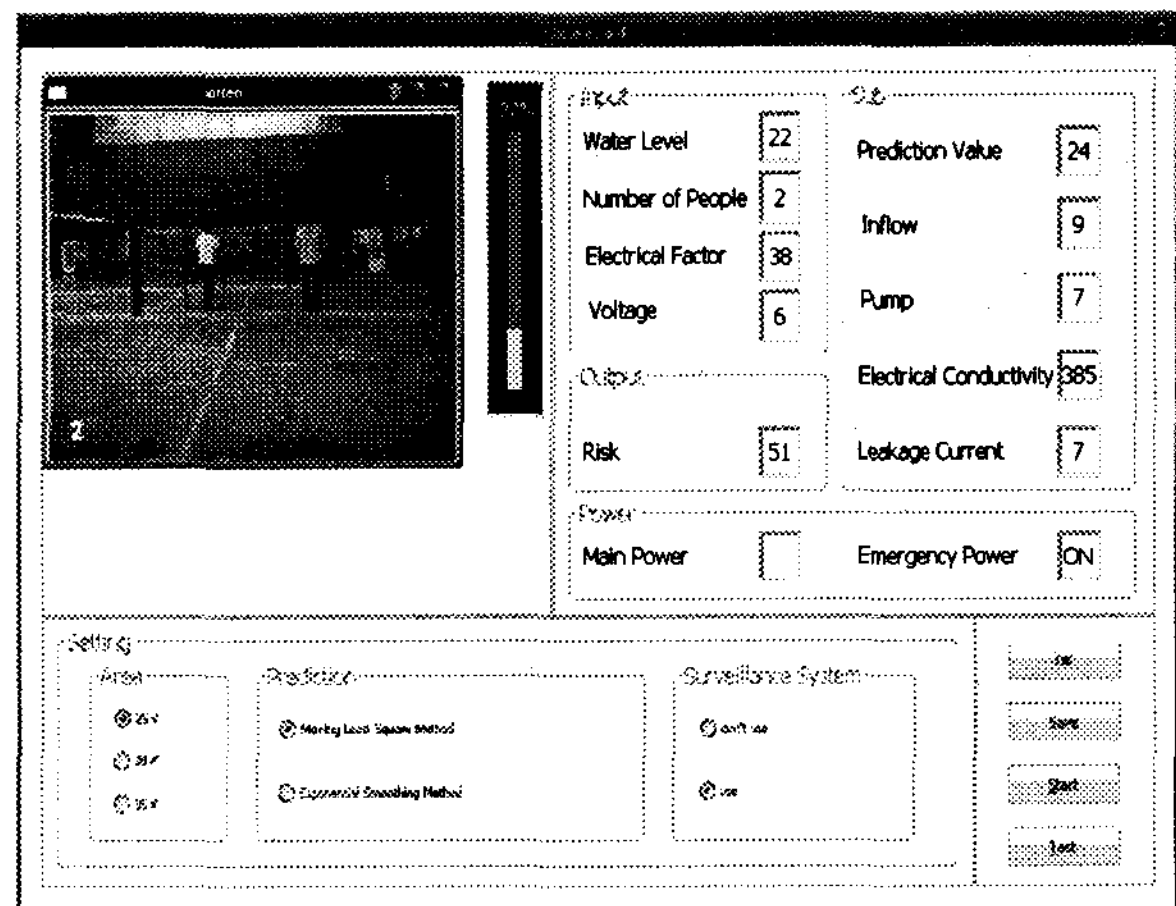


그림 3. 안전성 평가 시스템

그림 3은 본 연구에서 제안하는 영상 감시와 퍼지 제어를 적용하여 지하구내의 안전성을 평가하는 시스템이다.

현재 수위는 22이고 그 다음 순간에서의 수위 (Prediction Value)는 24일 것이라고 예측하였다. 그리고 그 순간의 지하구내로의 물의 유입량

(Inflow)은 9이고 퍼지 시스템에 의해서 정해진 펌프의 배수량은 7이므로, 다음 순간의 실제 수위는 24가 될 것이다. 또 지하 공간 내에 존재하는 사람의 수는 영상 감시를 통하여 2명으로 나타났다. 다음으로 전기전도율은 385이고 누설전류는 7이므로 두 요소를 퍼지 통합하면 전기적인 위해요소는 38이 된다. 또한, 전위는 6이다. 4가지 입력 요소를 안전성 평가 시스템에서 퍼지 추론한 결과로 위험도는 51이 나온다. 위험도가 다소 높기 때문에 주전원을 차단하고 비상 전원을 동작하는 것을 볼 수 있다.

위의 결과와 같이 지하구내 감시 시스템은 사람의 수를 정확히 찾아내고, 침수 상황 통제 시스템은 수위를 적절히 조절한다. 그리고 안전성 평가 시스템은 각 변수의 변화에 맞게 위험도를 판단하고, 그 결과에 따라 지하구내의 전원 상황을 통제하는 것을 볼 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 지하구내 침수 시 현재 수위와 지하 공간 내에 존재하는 사람의 수, 지하 공간으로 유입된 물의 전기 전도율, 접지선의 누설 전류를 통합한 전기적인 위해 요소, 그리고 전위를 이용하여 영상 감시와 퍼지 제어를 적용한 침수 상황 감시 및 통제, 안전성 평가 시스템을 제안한 연구이다.

지하구내 감시 시스템은 영상 감시를 통해 비교적 정확하게 객체를 탐지하여 존재하는 사람의 수를 찾아내었다. 또한, 침수 통제 시스템은 현재 수위와 물의 유입량에 따라 그에 맞게 펌프가 동작하여 수위를 적절히 조절하였다. 침수 시 순간적으로 지하구내로 들어오는 유입량을 정확히 알 수 없어 시계열 분석으로 미래의 값을 예측하였다. 예측된 미래값은 실제 수위와 크지 않은 오차를 보여 신뢰성을 높여주었다. 안전성 평가 시스템은 퍼지 제어를 통하여 4가지 입력 변수에 알맞게 추론된 위험도가 도출되어 비교적 정확하게 안전성을 평가하고 그에 따른 주전원과 비상 전원의 통제가 잘 이루어졌다.

본 연구에서 제안된 시스템은 지하구의 면적만을 다루었으며, 입력 변수들 역시 센서를 통해 직접 받아들여진 것이 아니라 자동으로 주어지도록 하였다. 실제로 센서를 통하여 입력 변수의 값을 받아 실험이 가능하도록 하여야 하겠고, 여러 번의 실험을 통해 입력 멤버십 함수나 퍼지 규칙을 최적의 정확성을 가질 수 있도록 수정하는 작업이 필요할 것이다. 또한, 미처 다루어지지 않은 여러 다른 주요 입력 변수 요인들을 적절히 적용한다면 매우 정확하고

좋은 시스템이 될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 정종욱 외, "침수전기설비 안전성 평가 알고리즘 개발", 대한전기학회 제37회 하계학술대회논문집, 2006.
- [2] Haritaoglu, I., Harwood, D. and Davis L. S. "W4: Who? When? Where? What? A Real Time System for Detecting and Tracking People". IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. (April 1998).
- [3] Oliveras, A. and Salembier, P. "Generalized Connected Operators". Proc. SPIE Visual Communications and Image Processing. MMDCCXXVII (Feb 1996), pp. 761-772.
- [4] Foo, S. Y. "A Fuzzy Logic Approach to Fire Detection in Aircraft Dry Bays and Engine Compartments". IEEE Transaction on Industrial Electronics. XLVII (Oct 2000), pp. 1161-1171.