

**퍼지이론을 이용한 지하구내 전기설비의 침수에 의한 2차 재해에 대한 안전성 연구**

김준범<sup>1\*</sup>, 조성원<sup>1</sup>, 김재민<sup>1</sup>, 정종욱<sup>2</sup>, 임용배<sup>2</sup>, 정진수<sup>2</sup>  
 1: 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과 지능정보처리 연구실  
 2: 한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹

**A Study on the Safety against Secondary Disaster due to Submergence of Electrical Equipments in Underground Premises using Fuzzy Theory**

Joon-Bum Kim<sup>1\*</sup>, Seongwon Cho<sup>1</sup>, Jaemin Kim<sup>1</sup>, Jong-Wook Jung<sup>2</sup>, Young-Bae Lim<sup>2</sup>, Jin-Soo Jung<sup>2</sup>

1: Department of Electrical, Information & Control Engineering, A.I. Lab  
 Hongik University  
 2: Electrical Facility Safety Research Group  
 Electrical Safety Research Institute, KESCO

**Abstract** - 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. 본 연구에서는 먼저 지하구내 침수사고사례 조사를 통해 사고의 패턴을 분류하고 전기적 위험요소를 도출한다. 그리고 그것을 바탕으로 퍼지추론을 적용해서 침수상황을 통제하고 안전성을 평가하는 알고리즘과 시스템을 제안한다.

**1. 서 론**

근래 들어 인구의 도시집중으로 인해 생활부지가 부족해지면서 인간의 생활공간이 지상으로부터 지하로 확장되고 있다. 이와 함께 생활공간 활용의 극대화 및 중요 전기 설비에 대한 일반인의 혐오감 때문에 많은 전기설비가 지하공간에 배치되고 있는 실정이다. 그러나 이 같은 현실과는 달리, 인간의 활동이 이루어지는 지하공간에서 발생하는 재해에 대한 대책은 세밀하게 검토되어 있지 않다. 특히 최근에는 지구온난화의 영향으로 극지성 집중호우에 의해 지하구내가 침수되는 사례가 빈발하고 있지만, 이런 재해에 대한 대책마련은 아직도 미흡한 실정이다. 일례로 2002년 8월 7일 지하에 설치된 영월 변전소가 침수되어 전기 공급이 일시 중단되었던 적도 있다.

침수와 같은 1차 재해는 발생초기에 신속히 대응하지 않을 경우, 지하구내 인원의 익사의 위험뿐만 아니라, 지하구내에 설치된 전기설비에 의해 재난복구 투입인력에 대한 2차 재해로 확대됨으로써 인명과 설비에 심각한 위협을 가하게 된다. 따라서 1차 재해를 복구하기 위해서는 배수펌프 등의 복구용 전기설비를 구동하기 위한 전원이 안정적으로, 또한 안전이 보장된 상태로 확보되어야 한다. 안전이 확보되지 않은 상태에서 재해에 대응하기 위한 무리한 전원투입은 결과적으로 2차 재해에 대한 위험성을 증가시키므로, 이와 같은 전원투입과 인명의 안전 확보 간에는 상호배타성이 존재하며, 재해대책 수립 시 이에 대한 적절한 협조가 필요하다.

지상의 침수와 지하공간의 침수는 많은 부분에서 발생 및 진행 메커니즘이 다르므로, 침수 시 요구되는 대응방안 또한 많은 차이를 나타내고 있다. 일반적으로 지하구내의 침수피해는 지상에 비해 피해규모가 막대할 뿐만 아니라 복구에도 많은 어려움이 있다. 이를 더욱 어렵게 하는 원인 중 하나로써 체계화된 재난복구전략의 부재를 들 수 있지만, 현재 침수설비를 모의하여 실험할 수 있는 설비 및 인체에 대한 안전성조사 제대로 연구된 바가 없기에 지하구내에서 발생한 재해에 대한 재난복구 프로그램을 구축함으로써 2차 재해를 미연에 억제하고 1차 재해로 인한 피해를 최소화할 수 있는 시스템을 확보하려 한다.

따라서 본 연구에서는 지하구내의 침수상황에서 안전성을 평가하고, 현재 상황에 맞는 대응을 할 수 있는 알고리즘과 시스템을 제시한다. 안전성 평가를 위하여 인간의 지식과 경험을 이용해 인간의 사고방식과 비슷한 결과를 내주는 퍼지이론을 이용하였다.

**2. 본 론**

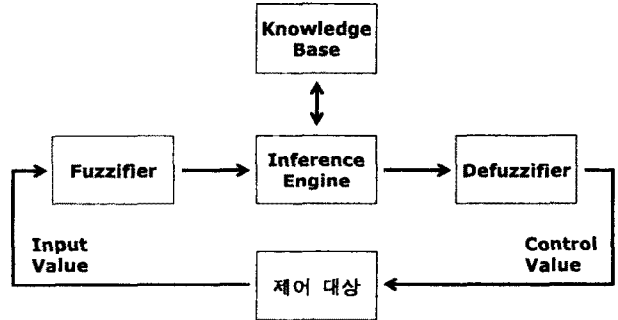
**2.1 퍼지이론**

퍼지 이론은 애매한 특성이 있는 언어적인 값을 정량적으로 표현하기 위하여 1965년 Zadeh 교수에 의해서 '퍼지 집합 이론'이 제창되었고, 이후로 오늘날 우리가 추구하는 인공지능의 세계를 실현하는 하나의 방안으로 주목받고 있다. 퍼지 이론은 언어적으로 주어지는 애매한 형태의 자료를 처리하기 위하여, 퍼지 집합, 퍼지 논리, 퍼지 수 등의 개념을 포함하고 있으며 수학적인 계산 방법도 현재 개발되어 있다. 퍼지 논리는 기존 논리 체계보다 인간의 사고나 자연어의 특성과 많은 유사성을 가지고 있어서 실세계의 근사적이고 불확실한 현상을 표현하는데 효과적으로 이용될 수 있다.

퍼지 제어는 인간의 축적된 경험과 지식을 제어하고자 하는 대상에 적용한 것이며, 제어 규칙은 주로 전문가의 경험과 지식에 의해서 이루어진다. 퍼지 제어의 핵심은 일련의 언어적 형식의 제어 규칙이며, 퍼지 합성 규칙에 의해서 제어 입력이 생성된다. 결국 퍼지 제어는 전문가의 제어 지식을

언어적인 형태로 표현한 제어 규칙을 토대로 하여 제어기가 동작하도록 하는 기능을 갖고 있으며, 경험과 축적된 지식에 따라 제어 규칙을 언어적인 변수 값으로 대응하고 이에 따라 수학적인 모델링이 필요하지 않아서 비선형 특성을 가지고 있는 시스템, 그리고 선형화 된 모델이라 할지라도 프로세스의 제어 변수가 많은 경우의 시스템에 대해 고전적인 제어 방법으로는 어려운 것을 퍼지 제어기는 쉽게 전문가의 지식으로 대체하여 제어가 용이하도록 한 것이다[1].

퍼지 제어 시스템 또는 퍼지 추론 시스템의 일반적인 구조는 제어 대상에서 측정된 명확한(crisp) 입력 값을 적절한 퍼지 값으로 바꿔주는 퍼지화부(Fuzzifier), 제어 규칙을 IF-THEN- 형식으로 나타내는 지식 베이스(Knowledge Base)와 인간의 의사 결정과 유사한 추론 엔진(Inference Engine), 그리고 추론 결과로 나온 퍼지 값을 다시 제어 대상에 적용할 수 있는 명확한 값으로 변환시켜주는 비퍼지화부(Defuzzifier)로 구성되며 [그림 1]과 같은 형태를 갖는다.



〈그림 1〉 퍼지 제어 시스템의 구조

**2.1.1 퍼지화부(Fuzzifier)**

퍼지 제어 시스템은 퍼지 논리를 응용하므로 하나의 명확한 값으로 측정된 입력 변수 값도 적절한 퍼지 값 또는 퍼지 집합으로 바꾸어져야 하는데, 이 작업은 퍼지 시스템의 도입부에서 이루어져야 한다. 대체로 센서로부터 측정된 값의 영역을 그대로 입력부의 퍼지 변수의 영역으로 사용하기 보다는 이를 퍼지 연산에 편리하도록 미리 정해 놓은 입력 퍼지 변수의 전체 집합으로 맞추어 주는 것이 편리하다. 또한 입력정보의 특성에 따라서 여러 가지 방법으로 퍼지화하게 되는데, 대체로 퍼지 단일값(Fuzzy Singleton)과 삼각 퍼지 소속 함수(Triangular Fuzzy Membership Function)를 많이 사용한다[2].

**2.1.2 퍼지 추론 엔진(Fuzzy Inference Engine)**

추론규칙은 일반적으로 IF-THEN- 형식의 언어적 규칙으로 표현된다. 퍼지규칙을 구성하는데 있어서 우선되는 작업은 적절하게 입력력 변수를 선정하는 것이다. 이것은 퍼지시스템의 동작특성을 특징지어 주는데 매우 중요한 판단이 된다.

퍼지규칙은 다음과 같은 형식의 퍼지조건문들로 이루어진다. IF (특정 조건들이 만족된다면), THEN (특정 결과들이 유추될 것이다). 괄호 속의 조건들은 각각 조건부의 결론부라 하고 정성적인 언어로 표현된다. 조건부와 결론부에는 각각 복수개의 퍼지 변수들이 도입 될 수가 있으며, 전체 규칙은 여러 개의 복수 입력-복수 출력 퍼지 조건문들로 구성되는 것이 보통이다. 본 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부에 사람의 수와 현재 수위, 그리고 물의 전도율로 구성하고, 결론부에는 위험도로 구성하였다. 조건부의 멤버십 함수는 각각 LOW, MID, HIGH 3부분으로 나뉜다. 그리고 결론부의 멤버십 함수는 VERY LOW, LOW, MID, HIGH, VERY HIGH 5부분으로 나뉜다. 멤버십 함수는 표현이 간단하고 연산 상의 편리

함인 있는 삼각형과 사다리꼴형의 조합으로 만들어진다. 또한 조건부에 사람의 수, 수위, 물의 전도율 각각 3개의 총 27개의 추론규칙이 적용되었다. 본 연구에서 적용된 규칙은 [표 1]에 있고, 그 예를 들면 다음과 같다.

IF 사람의 수 is MID AND 수위 is LOW AND 전도율 is HIGH  
THEN 위험도 is MID

그리고 이와 같이 구성된 퍼지규칙을 이용하여 추론하는 방법은 Mamdani의 Minimum 연산과 Larsen의 Product 연산, Mizumoto의 Product-Sum 연산 등이 있다. Mamdani 방법에 있어서 'and'는 Minimum 연산으로 대체되고, Larsen 방법은 Product 연산을 취한다. Mizumoto의 방법은 Larsen의 방법에서 더 나아가 Maximum 연산 대신에 Sum 연산을 취하게 된다.

이 추론방법 중에서 Mamdani 방법은 추론규칙의 조건부와 결론부를 모두 일반 언어로 대응시킬 수가 있고, 정성적으로 표현이 가능하며 추출과정을 그래프로 표현하기 쉽다는 장점이 있어 가장 많이 사용되는 방법이다. 따라서 본 연구에서도 추론방법으로 Mamdani 방법을 채택하였다[3].

<표 1> 위험도의 퍼지 룰

사람의 수	수위		LOW	MID	HIGH
	전도율				
LOW	LOW	VERY LOW	VERY LOW	VERY LOW	LOW
	MID	VERY LOW	LOW	LOW	MID
	HIGH	LOW	MID	MID	HIGH
MID	LOW	VERY LOW	LOW	LOW	MID
	MID	LOW	MID	MID	HIGH
	HIGH	MID	HIGH	HIGH	VERY HIGH
HIGH	LOW	LOW	MID	MID	HIGH
	MID	MID	HIGH	HIGH	VERY HIGH
	HIGH	HIGH	VERY HIGH	VERY HIGH	VERY HIGH

**2.1.3 비퍼지화부(Defuzzifier)**

비퍼지화부는 퍼지화 된 결과를 추론 결과들의 가능성 분포를 가장 잘 나타내고 있는 비퍼지 값으로 전환시켜 주는 과정으로, 어느 추론 방법에서나 반드시 필요하다. 여러 비퍼지화 방법 중 최대기준법(Max Criterion Method), 최대평균법(Mean of Maximum Method), 무게중심법(Center of Area Method), 그리고 최대무게중심법(Centroid of Largest Area) 등이 사용된다. 최대기준법은 퍼지 추론 결과들의 가능성 분포 중 최대값을 취하는 방법이고, 최대평균법은 멤버십 함수가 최대인 모든 값들의 평균값을 취하는 방법이며, 최대무게중심법은 생성된 멤버십 함수의 최대무게중심값만을 취하는 방법이다. 무게중심법은 생성된 멤버십 함수의 무게중심 값을 취하는 방법으로 가장 많이 사용되고 있는 비퍼지화 전략으로, 본 연구에서도 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다[4].

**2.2 퍼지이론을 이용한 안전성 평가 시스템**

[그림 2]는 본 연구에서 제안하는 퍼지이론을 적용한 지하구내의 안전성을 평가하는 시스템의 화면이다. 현재는 가상으로 침수조를 설정하여 그것을 지하구내라고 가정하고, 또 몇 가지 센서에 의한 입력값 역시 가상으로 변화를 주어 상황을 실험해본다. 이 시스템은 침수 상황에 적절하게 대응하고 안전성을 평가해주는 두 가지 기능을 한다.

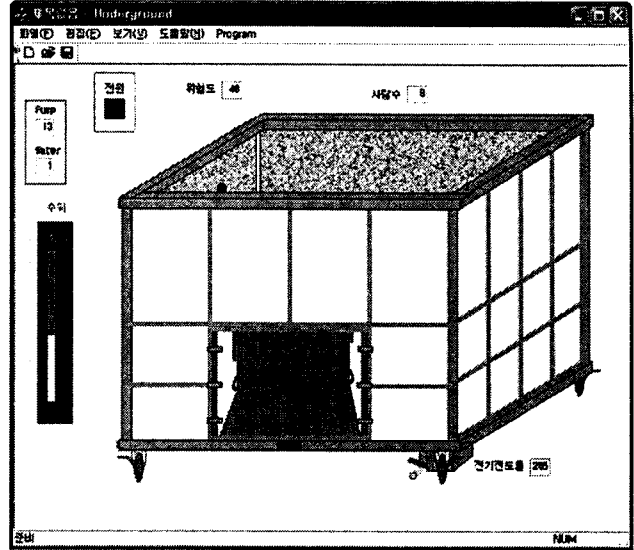
**2.2.1 침수상황통제**

현재는 침수상황통제 부분에서 수위를 통해 전원부만 통제하는 것으로 되어있다. 먼저 수위를 나타내주는 부분이 있는데, 수위는 유입되는 물의 양과 펌프로 물을 빼내는 양의 영향을 받아 변화한다. 펌프는 현재 수위에 따라 퍼지 관계로 동작한다. 그래서 수위가 10%를 넘으면 주의를 주고, 30%를 넘어갈 경우 경고를 내린다. 그리고 30%를 넘어서게 되면 매우 위험하므로, 지하구내에 공급되는 전원을 차단하고 외부의 비상전원을 동작시킨다. 차단된 전원은 수위가 다시 10% 밑으로 떨어져 어느 정도 안전해졌다고 생각될 때 다시 복구가 되고, 비상전원은 차단된다.

**2.2.2 안전성 평가**

본 연구에서는 안전성 평가를 위해 시스템의 위험도를 추론한다. 위험도의 추론을 위해서 지하구내 사람의 수와 현재의 수위, 그리고 물의 전도율을 입력값으로 받아들인다. 지하구내 사람의 수는 사람이 아예 없는 경우와 있는 경우의 위험도가 당연히 다르고, 사람이 있을 경우 사람의 수에 따라 행동의 제약 등으로 위험도가 달라지는 영향이 있다. 현재의 수위는 콘센트나 변압기의 경우 리드 단자 등이 물에 잠기면 누전의 위험이 있고 잠긴 부분의 전압에 따라 위험도가 달라지며, 또 수위에 따라 사람이 움직이는데 제한을 받기 때문에 위험도와 상관이 있다. 그리고 물의 전도율의 경우 계단 등을 통해 유입되는 빗물이나 강의 범람에 의한 침수와 지하구내의 수

도관 파열이나 배수구나 집수정 등을 통해서 역으로 유입되는 더러운 물의 전도율이 다르다. 더러운 물 일수록 전도율이 더 높고 전도율이 높을수록 더 위험하기 때문에 위험도에 영향을 준다. 3개의 입력 변수는 각각 3부분으로 나뉘고 시작과 끝은 사다리꼴형이고 가운데는 삼각형인 멤버십 함수로 표현된다. 위험도는 5부분으로 나뉜 삼각형 멤버십 함수이다. 이렇게 3개의 입력값을 조건부로 사용하여 [표 1]의 퍼지 규칙에 따라 결론부인 위험도를 판단한다. 추론 방법으로는 Mamdani 방법으로 알려진 Max-Min 법을 사용하였고, 비퍼지화 방법으로는 무게중심법을 사용하였다.



<그림 2> 안전성 평가 시스템

**3. 결 론**

본 논문은 지하구내 침수 시 사람의 수와 현재 수위, 그리고 물의 전도율을 이용하여 퍼지 이론을 적용한 침수상황통제 및 안전성 평가 시스템을 제안한 연구이다. 본 연구에서 제시하는 안전성 평가 시스템은 위의 3가지 입력 변수를 가지고 추론 알고리즘을 통하여 지하구내의 위험도를 계산하는 프로그램을 포함하고 있다. 가상의 입력 변수를 주고 실험을 해보니 현재 수위에 따라 그에 맞게 펌프가 동작해 수위를 조절하고, 전원과 비상전원의 통제가 잘 이루어졌다. 그리고 3가지 입력 변수에 알맞게 추론된 위험도가 도출되어 비교적 정확하게 안전성을 평가하는 것으로 판단된다.

현재는 지하구내의 모의실험으로 침수조를 만들어 지하구내라 가정하고 실험을 하는데, 아직 센서에서 입력을 직접 받아들이진 않고 입력 변수를 자동으로 주게 하였다. 이제 실제로 센서에서 입력 변수의 값을 받아서 실험이 가능하게 하고, 전문가의 자문을 받고 여러번의 실험을 통한 경험으로 현재의 퍼지 규칙이나 멤버십 함수의 모양 등을 최적의 결과가 나오도록 수정, 재구성 하는 작업이 필요할 것이다. 그리고 실험 공간의 크기나 누설 전류, 전압의 크기, 유입 되는 물이 외수인지 내수인지의 여부 등의 입력 변수 요인을 늘리고 시스템의 흐름을 다듬으면 더 좋은 결과가 나올 수 있을 것이다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] 안준식, "퍼지알고리즘을 이용한 순시부하예측제어", 홍익대학교 대학원 석사학위 논문, pp62-66, 1997.
- [2] 이광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용", 홍릉과학출판사, Vol. 2, pp5-14, 1992.
- [3] 홍성호, 김두현, 김상철, "열과 연기농도를 입력변수로 갖는 퍼지로직을 이용한 화재감지시스템", 한국화학소방학회 논문지, 제18권 제4호, pp42-51, 2004.
- [4] 조영민, "인공지능 시스템", 홍릉과학 출판사, pp291, 2003.