침수전기설비 안전성 평가 알고리즘 개발

정종욱, 정진수, 임용배, 배석명, 김준범*
한국전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹, 홍익대학교 전자전기공학부*

Development of Safety Assessment Algorithm for Submerged Electrical Utilities

Jong-Wook Jung, Jin-Soo Jung, Yong-Bae Lim, Seok-Myung Bae, Joon-Bum Kim*
Electrical Facility Safety Research Grp., Electrical Safety Research Ins., KESCO, Sch. of Electronic & Electrical Eng., Hongik Univ.*

Abstract - This paper describes the safety assessment algorithm applied for the underground electrical utilities submerged due to flooding. In implementing the algorithm, several factors pertaining to utility safety were introduced into the process flow, and safety weight was given to each factor. It is considered that this algorithm can ensure the safety of electrical utilities installed underground when they are submerged.

1. 서 론

인구의 도시집중 및 도시미관의 문제로 인해 중요 전시설비 설치를 위한 가용부지가 협소해지고 이들 설비에 대한 일반인의 부정적 인식으로 말미암아 이들 설비들이 지하공간에 설치되는 경우가 증가해 지하에서 일상생활을 영위하는 인원들에 대한 위험이 증가해 왔다. 설상가상으로 최근의 이상기후로 인한 게릴라성 집중호우는 지하에 설치된 전기설비를 단시간에 침수시킴으로써 이들 설비에 대한 인체의 위험은 더욱 증가되어 왔다. 그럼에도 불구하고 이에 대한 대책은 여전히 미흡한 채 상황이 발생하면 임기응변적인 조치로써 매년 같은 유형의 피해가 반복되고 있는 실정이다. 침수발생 시, 침수복구인력이 투입되어 신속한 구난작업을 실시하기 위해 사용되는 다양한 장비에는 전기로 동작되는 것이 많으며, 침수라는 조건하에서 지하구내 전기설비 설치환경 및 주변전기기인 변압기의 구조를 고려할 때, 이 작업을 수행하는 데는 이럴 수도 저럴 수도 없는 상황적 딜레마, 즉 신속한 구난작업을 위해 침수환경에서 전기를 사용하게 되는 문제에 봉착하게 된다. 따라서, 이같은 작업을 수행하는 인력에게 가해질 수 있는 위험요소를 최소화시킴으로써 최대한의 안전을 보장하는 데는 정량적 평가가 요구된다.본 논문에서는 이와 같은 수해로 인한 지하구내에 설치된 전기설비가 침수되었을 경우, 재난복구를 위해 현장에 투입되는 인원의 안전을 보장하고 재난상황을 통합적으로 관리할 수 있는 시스템을 구축하기 위한 사전작업으로서 안전성 평가 알고리즘을 구현하고자 한다.

2. 안전성 평가 알고리즘

시스템이나 설비의 안전성을 평가하기 위한 알고리즘을 구현하기 위해서는 우선 평가범위를 결정하고 평가팀에 의한 을 구성해 평가기법 등을 고려해야 함은 물론, 평가방법에 대한 교육 및 이에 대한 숙지도 필요하다. 기타 사항으로는 침수메카니즘, 예상되는 침수피해로 인한 과급효과와 안전수준, 침수복구의 복잡성, 분석팀의 능력, 소요기간 등도 필요하다.

2.1 안전성 평가방법

안전성은 "정성적 방법"과 "정량적 방법"으로 평가할 수 있다. 오래된 방법인 정성적 방법에서는 '사고교훈' 및 위험상황 리스트를 활용한 PRA(예비위험 분석)를 통해 안전성을 확보한다. 반면, 정량적 방법에서는 FTA(고장수목 분석), ETA(사건수목 분석), HEA(휴먼에러 분석)와 같이 과학적 시뮬레이션을 통해 지하구내 전기설비의 가상 침수시나리오를 작성해 대비함으로써 사고의 사전예방은 물론, 사고발생 시 설비 및 인명피해를 최소화하기 위한 관리체계로 운영하고 있다. 즉, 정량적 안전성 평가의 목적은 침수 복구과정에서 발생할 수 있는 감전사고, 설비사고와 같은 재해피해의 정도 및 피해범위 등을 정량적으로 산정해 피해를 최소화할 수 있는 대책을 수립하는 것이라 보아도 무방하다.

사고피해 예측은 우선 근본적 위험요소를 확인하고 침수모델 작성을 비롯한 확산모델을 선정한 후 피해를 예측해야 한다. 또한 위험기준의 정립이 필요하며, 자연재해로 인한 복구과정에서 발생하는 감전이나 기타 2차재해 등과 같은 사고발생 시의 위험기준을 작성해야 한다. 특히, 위험기준 결정과 정량적 안전성평가 결과에 따른 사고영향 감소대책 수립, 본질적 안전체계 구축 등은 중요요인이라 할 수 있으며, 정량적 안전성이 보다 체계적으로 평가되기 위해서는 지하구내 각 시설에 대한 위험도 결정이 가능하고 복구장비 및 인원투입의 우선순위를 결정해야 한다. 또한, 투입인원의 범위와 비상조치계획 및 안전대피지역 등 비상조치계획서 작성에 근본이 되는 여러 정보를 제공하며, 위험확인, 사고결과 영향평가방법 등 안전기술과 정보활용기술까지도 충분히 반영해야 한다[1].

2.2 퍼지이론

본 논문에서는 침수라는 특수상황이 갖는 고유한 모호성(vagueness)을 퍼지이론을 도입하여 해결하고자 하였다.

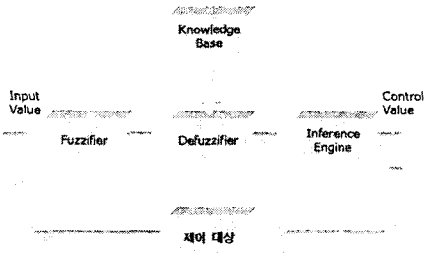
2.2.1 퍼지이론

퍼지이론은 언어적인 값이 갖는 모호성을 정량적으로 표현하기 위한 것으로, 침수라는 특수상황에 따라 언어적으로 주어지는 애매한 형태의 자료를 처리하기 위해 Fuzzy Set, Fuzzy Logic, Fuzzy Number 등의 개념을 포함하고 있다. Fuzzy Logic은 기존의 논리체계에 비해 인간의 사고나 자연어의 특성 측면에서 매우 유사하므로, 실세계의 근사적이고 불확실한 현상을 표현하는데 효과적으로 이용될 수 있다. 본 논문에서는 침수상황에서도 보다 정확하고 타당한 최적의 의사판단을 보장하기 위해 인간의 의사결정 능력을 모방할 수 있는 "퍼지"라는 도구를 도입하여 알고리즘을 구현하고자 한다.

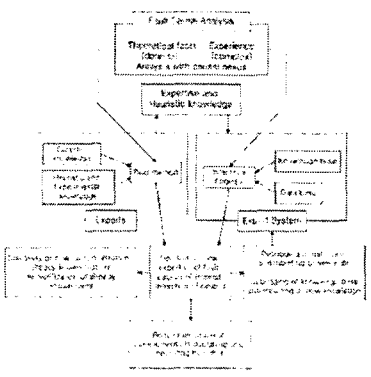
2.2.2 퍼지논리와 퍼지제어

논리학이란 인간의 사고방법과 원리를 연구하는 학문으로, 고전적인 개념의 논리학에서는 모든 명제를 "true" 또는 "false"로만 한정하여 미래사건에 대해서는 그 진리값을 규정할 수 없었다. 따라서, true와 false 이외의 제3의 진리값인 indeterminate(부정) 및 그 이외의 값도 고려하는 three-valued logic, many-valued logic까지도 등장하였다. 퍼지논리는 바로 이 many-valued logic에 Fuzzy Set을 적용한 논리로서, Fuzzy Set을 사용하여 부정확한 명제에 대해서도 근사적으로 추론할 수 있다는 특징을 갖는다.

퍼지제어기는 인간의 축적된 경험과 지식을 제어하고자 하는 대상에 적용한 것으로, 이때 활용되는 제어규칙은 주로 전문가의 경험과 지식에 의해서 결정된다. 퍼지제어기의 핵심이 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 퍼지 합성 규칙에 의해서 제어 입력이 생성된다. 결국 퍼지제어기는 전문가의 제어지식을 언어적인 형태로 표현한 제어규칙을 토대로 하여 제어기가 동작하도록 하는 기능을 갖고 있으며, 경험과 축적된 지식에 따라 제어규칙을 언어적인 변수값으로 대응하고 이에 따라 수학적인 모델링이 필요하지 않아서 비선형 특성을 가지고 있는 시스템, 그리고 선형화된 모델이라 할지라도 프로세스의 제어변수가 많은 경우의 시스템에 대해 고전적인 제어방법으로는 어려운 것을 퍼지제어기는 전문가의 지식으로 대체하여 제어가 용이하도록 한 것이다. 퍼지제어기의 일반적인 구조는 Fuzzifier, Knowledge Base, Inference Engine, Defuzzifier로 구성되며, 그 개요도를 그림 1, 이와 유사한 전문가 시스템의 블록도를 그림 2에 각각 나타내었다.



<그림 1> 퍼지제어기의 구조



<그림 2> 전문가시스템의 블럭도

2.3 퍼지이론을 적용한 안전성 평가 알고리즘 구현

2.3.1 알고리즘 구현 시 고려사항 선정

지하공간 내에 설치된 전기설비가 침수되는 특수상황은 다양한 위험요소를 포함할 수 있으며, 이들의 상호 복합작용에 의한 또다른 위험이 발생하기도 한다. 이같은 위험성을 내포한 지하공간 내 설비의 안전성을 평가하기 위한 알고리즘 구현 시 고려해야할 사항을 표 1에 정리하였다.

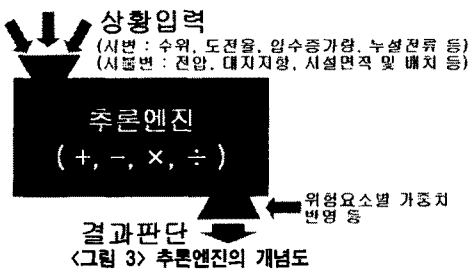
<표 1> 알고리즘 구현시 고려사항

구분	위험요소		
	위험군	위험목	단위위험요소
내적요인	공간배치	작업공간확보 대피경로확보	· 작업공간의 여유도 · 피난용 유도등의 높이 및 사용전압 · 수전실의 위치
	전기환경	전기파라미터 배수조건 인체조건	· 복구용 투입장비의 사용전압 · 운전 중인 변전설비의 사용전압 · 전원차단 조건 · 접지상태 · 콘센트 설치높이 · 수위센서 동작 여부 · 배수펌프의 용량/동작상황 · 인체관련 전기적 파라미터 · 작업공간의 수위
외적요인	하천범람	외수대책	· 모래주머니, 차수벽 구비 여부 · 외수 유입경로의 넓이
	침수환경	유입파라미터 내수대책	· 우수의 도전율 · 우수의 유입속도 · 우수의 유입량 · 집수정을 통한 역류

표 1에 보인 바와 같이, 지하공간에 설치된 전기설비가 침수되었을 경우의 위험요소는 크게 내적요인과 내적요인으로 구분할 수 있다. 우선 내적요인으로는 복구인력이 투입되어 배수작업을 할 수 있는 충분한 공간의 확보가 필수적이며, 공간이 협소할수록 동일한 전기적 환경에서 인체가 받을 수 있는 전격의 위험이 증가한다. 만일의 경우, 복구인원이 피난해야 하는 상황에서 피난용 유도등의 높이 및 사용전압도 위험요인으로 작용하고 있다. 일반적으로 지하에 위치한 변전실의 경우, 침수환경에서 인체의 전격을 야기하는 가장 중요한 환경을 조성하지만, 현재 지하 변전실의 경우, 건물의 최하층보다 높은 층이나 옥상에 이설하는 경우도 많으므로, 수전실의 설치층의 여부는 가장 중요한 요소가 될 수 있다. 내적요인으로는 복구용 투입장비, 변전설비의 사용전압 및 전원차단조건 등이 당연히 가장 중요한 요인으로 작용하지만, 이에 못지않게 중요한 것이 접지와 같은 부대환경조건이다. 이밖에도 인체의 전기적 파라미터 및 유입된 우수를 밖으로 배출하기 위한 배수설비의 용량 등의 요인도 중요하다. 외적요인으로는 하천의 범람시 유입되는 외수에 의한 위험요인이 주를 이루며, 외수의 유입을 억제하기 위한 차수대책과 이미 유입된 물의 양과 침수속도와 같은 파라미터들은 인체의 행동을 제약하고 도전율 등의 위험요인들은 전격에 직접적인 영향을 미치므로, 역시 고려의 대상이 되어야 한다. 이밖에도 몇몇 지하구내의 경우, 상당량의 외수가 발생하였을 때 배수를 위해 설치한 집수정으로 외수가 역류하여 발생하는 피해도 크며, 이 경우 외부유입수의 상태가 순수한 우수보다 오염된 경우가 있어 도전율이 증가하게 되는 경우도 있다.

2.3.2 퍼지를 이용한 추론엔진 구축

그림 1에서 보인 퍼지제어기의 결과가 최적으로 동작하기 위해서는 추론엔진의 기능이 가능한 많은 정보와 경험을 지니고 있어야 한다. 추론엔진은 기본적으로 제반 연산자로 구성된 미지의 상자(black box)로 비유할 수 있으며, 본 논문에서 구현하고자 하는 알고리즘의 경우에는 이 상자 내로 입력되는 변수로서 시변요소인 수위, 도전율, 누설전류 등, 시불변요소인 사용전압, 시설면적 등을 들 수 있다. 추론엔진에 의해 연산된 결과는 본 알고리즘의 경우, 전 시스템을 통제하기 위한 결과인 위험, 요주의, 안전의 판정기준으로서 표시되며, 이 기준에 의해 인원 및 설비를 보호할 수 있다. 추론엔진의 간략한 개념도를 그림 3에 나타내었다. 표 2는 지하구내가 침수되었을 시 수위센서를 이용하여 펌프의 동작여부 판단과 이때 위험도 판단에 대해 표 3은 이때 적용한 퍼지룰에 대해 나타내었다.



<그림 3> 추론엔진의 개념도

<표 2> 지하구내 침수시 고려사항

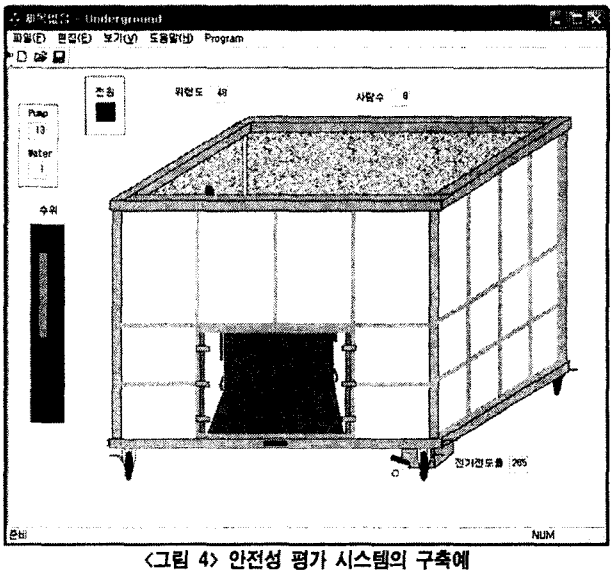
동작	고려사항
수위 센서	· 수위 표시 · 수위에 따라 펌프 동작 · 수위가 30을 넘어갈 경우, 전원을 차단하고 비상전원 동작
위험도 판단	· 수위와 지하구내의 사람 수 · 물의 전기 전도율을 기준으로 위험도를 판단

<표 3> 퍼지룰

인원수	수위 / 전도율	low	mid	high
low	low	very low	very low	low
	mid	very low	low	mid
	high	low	mid	high
mid	low	very low	low	mid
	mid	low	mid	high
	high	mid	high	very high
high	low	low	mid	high
	mid	mid	high	very high
	high	high	very high	very high

2.4 알고리즘을 이용한 시스템 구축예

2.3절까지 구현된 알고리즘을 이용하여 지하공간 내 설치된 전기설비가 침수되었을 경우 안전성을 평가할 수 있는 시스템의 구축예를 그림 4에 나타내었다.



<그림 4> 안전성 평가 시스템의 구축예

그림 4와 같은 시스템의 구축을 위해 지하공간 내 설치된 센서를 통해 측정된 입력을 멤버십 함수를 통해 퍼지화한다. 그 퍼지값을 퍼지룰을 통해 현상위험도를 평가한다. 본 시스템 구축용 알고리즘의 퍼지추론에는 가장 범용되고 있는 Mamdani(MIN-MAX)법이 적용되었으며, 비퍼지화에는 무게중심법이 적용되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 지하공간 내 설치된 전기설비가 침수되었을 경우, 그 안전성을 평가하기 위한 알고리즘을 구현하고 그 결과로써 안전성 평가 시스템의 일례를 소개하였다. 일반적으로 퍼지시스템에서는 퍼지함수를 어떻게 결정할 것인지가 중요한 문제로 봉착된다. 가장 일반적인 방법은 전문가의 경험이나 데이터의 분포에 근거해 삼각형이나 사다리꼴의 퍼지함수를 정해주는 것이다. 만약 퍼지함수가 적당하지 않다면 경험이나 직관적(heuristic)인 해석에 의해 추론치와 실험치가 같을 때까지 퍼지규칙과 Fuzzy Set들을 수정·재구성(tuning) 해주어야 한다. 이 작업은 많은 시간과 노력을 필요로 하므로, 보다 효과적인 시스템의 동작을 보장하기 위한 연구가 지속되어야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] 정종욱 외, 지하구내 전기설비의 침수에 의한 2차재해에 대한 안전성 연구(1차년도 중간보고서), 2005

[2] 윤용남, 지하공간의 침수방지대책에 관한 연구, 행정자치부, pp.5-35, 2004