

퍼지이론과 시계열 예측을 통한 지하구내 침수 상황 통제 시스템에 대한 연구

A Study on the Flooding Control System in Underground Premises using Fuzzy Theory and Time Series Forecasting

강민희*¹, 권동민¹, 조성원¹, 김준범¹, 정종욱², 정진수²

¹ 서울시 마포구 상수동 홍익대학교 대학원 전기정보제어공학과

E-mail: meipel@naver.com

² 한국 전기안전공사 전기안전연구원 설비안전연구그룹

E-mail: phdjung@kesco.or.kr

요 약

지하구내에 물이 유입되기 시작하면 미리 설치되어 있는 펌프를 동작시켜서 배수를 해야한다. 이 경우 지하구내로 유입되는 물의 경로로 구분한 내수와 외수의 양을 알 수 있다면 위험도의 평가에 있어서 좋지만 유입량을 정확히 알 수 없으므로, 시계열 분석으로 미래의 값을 예측하는 방법을 제시하고자 한다. 시계열 분석으로 예측한 값을 토대로 퍼지 이론을 이용한 지하구내 침수 상황 통제 시스템을 구현하였다.

Key Words : Time series forecasting, Moving average method, Exponential smoothing method

1. 서 론

지하로의 물의 유입은 이에 의한 직접적인 피해는 물론, 유입 시 인간의 피난방향이 대부분의 경우, 물의 유입방향과 일치하는데서 유발되는 심리적 불안감에 의해 피해가 가중된다. 침수와 같은 재해의 경우 발생초기에 신속히 대응하지 않을 경우, 지하구내 인원의 익사의 위험뿐만 아니라, 지하구내에 설치된 전기설비에 의해 재난복구 투입인력에 대한 재해로 확대됨으로써 인명과 설비에 심각한 위협을 가하게 된다. 따라서 미리 설치되어 있는 펌프를 동작시켜서 배수를 하는것이 중요하다. 그래야 지하구내의 전기설비에 대한 피해도 줄일 수 있고, 지하구내에 존재하는 인원의 안전이 보장되며, 복구를 위한 인원의 투입도 가능해지기 때문이다.

펌프의 동작을 통한 배수가 원활하기 위해서는 지하구내의 현재 수위를 알아야 하는데, 현재수위는 일정 단위 시간 이전의 수위와 각종 출입구를 통하여 지하구내로 유입되는 물의 양과 펌프로 배출하는 물의 양의 영향을 받게 된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$WL_t = WL_{t-1} + (IF_t - PF_t)$$

$$IF_t = IIF_t + OIF_t$$

WL_t : 시간 t 에 대한 수위

IF_t : 시간 t 에서 단위시간 동안의 물의 유입량

PF_t : 시간 t 에서 단위시간 동안의 펌프배수량

IIF_t : 내수, OIF_t : 외수

여기에서 지하구내로 유입되는 물의 경로로 구분한 내수와 외수의 양은 측정이 힘들다. 뿐만 아니라 지하 구내로의 유입량도 알기가 어려운데 이는 파이프 등을 통해서 물이 유입되는 것이 아니라 보통 지상과 연결되는 계단이나 주차경사로 등을 통하여 유입되기 때문이다.

따라서 유입량을 정확히 알 수 없으므로, 시계열 분석으로 미래의 값인 WL_{t+1} 을 예측하였다. 그리고 그 전 단계에서의 예측 수위와 실제 수위와의 오차를 측정하여, 오차량과 현재의 예측 수위를 입력으로 한 퍼지 제어 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 펌프의 동작량, 즉 배수량을 결정하여 펌프를 가동시켜 지하구내의 수위를 제어하여 침수로 인한 직접적인 인명피해 뿐만 아니라 전기 설비 등에 의한 간접적인 피해를 막는것을 목표로 한다.

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

2. 시계열 예측

시계열 예측(Time Series Forecasting)이란 관측된 과거의 시계열 패턴이 변하지 않고 미래에도 지속될 것이라는 가정 하에 사용하는 확률적이고 통계적인 기법이다.

시계열이란 국가의 GNP, 자동차 판매량, 강우량, 전력량 등과 같이 일정한 시간 간격을 두고 수집된 자료를 말하는 것으로 시계열분석이란 이를 이용하여 예측을 실행하는 것이다. 이러한 시계열분석의 목적은 시계열 자료를 관찰하고 주어진 자료를 발생시키는 확률적 체계를 이해하고 모형화하여 과거의 자료를 가지고 미래의 값을 예측하는데 있다. 시계열 자료는 일반적으로 시간의 흐름에 따라 주기적으로 변하는 특성을 가지고 있다. 이런 주기성과 추세성에서 생성되는 확률과정을 모형화하고 분석하는 것이다. 대표적인 시계열 분석방법을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 이동최소자승법

이동최소자승예측법(Moving Least Square Forecast)법은 초기 데이터부터 현재까지의 데이터를 계속 저장하고 이를 변동해 가면서 추정을 한다. 그러므로 그 시스템에 적절한 샘플링 자료의 수를 결정할 수 있고 데이터 변화에 대한 추정을 알맞게 할 수 있다.

이동최소자승예측법은 샘플링 구간 내에서의 분산과 공분산을 고려해서 서로의 자기상관도를 계산하여 예측하는 방법을 말한다. 이 방법은 다른 예측방법에 비하여 비교적 데이터의 변동이 심한 곳에서 보다 더 안정적인 예측을 제공하며, 예측 속도도 빠르다는 장점을 가지고 있다.

예측을 위해 샘플링 된 데이터를 최소자승법을 사용하여 1차 선형방정식으로 나타내면 다음 식과 같다.

$$FWL_t = a \times t + b$$

a, b 계수는 a, b 계수는 다음의 과정을 통하여 구할 수 있다.

먼저 각 데이터의 평균값을 구한다.

$$\bar{t}_i = \left(\sum_{i=1}^m t_i \right) / m$$

$$\overline{WL}_i = \left(\sum_{i=1}^m WL_i \right) / m$$

\bar{t}_i : 샘플링 된 시간 데이터 t_i 의 평균

\overline{WL}_i : 샘플링 된 수위 WL_i 의 평균

m : 샘플링 된 데이터의 수

이를 다음의 식에 대입하여 시간과 수위의 데이터 간의 공분산과 시간 데이터의 분산을 구한다.

$$cov(t_i, WL_i) = \sum_{i=1}^m (t_i - \bar{t}_i)(WL_i - \overline{WL}_i)$$

$$var(t_i) = \sum_{i=1}^m (t_i - \bar{t}_i)^2$$

여기서 $cov(t_i, WL_i)$ 는 공분산(covariance)으로 데이터 t_i 와 WL_i 의 관련도를 말하고, $var(t_i)$ 는 분산(variance)으로 t_i 의 분포정도를 나타낸다.

이 값들을 이용하여 a, b 계수를 구해서 처음의 1차 선형방정식에 적용한다.

$$a = \frac{cov(t_i, WL_i)}{var(t_i)}$$

$$b = \overline{WL}_i - a \times \bar{t}_i$$

이와 같이 제시된 시간 t 에 대한 예측 수위 FWL_t 와 예측 수위와 실제 수위와의 오차 ($FWL_{t-1} - WL_{t-1}$)는 퍼지 제어기의 입력으로 사용된다.

2.2 지수평활법

1950년 초 개발된 지수평활법은 사용하기에 편리하고 계산시간이 아주 짧으며 예측치를 계산하는데 적은 자료만을 사용하는 예측방법으로 이동평균법과 마찬가지로 단기예측에 많이 이용된다.

이 방법은 구간 내의 관측 값들에 똑같은 가중치를 부여하며 그 이전의 관찰 값을 사용하지 않는다는 문제점을 보완하는 예측방법이다. 지수평활법에 사용된 가중방법은 분석 상 오래된 관찰 값을 포함시키며 최근 관찰 값에 비례적으로 더 큰 가중치를 부여하려는 특성을 갖는다. 지수평활법은 최신의 변동을 민감하게 반영할 수 있으며, 가중치의 배분을 용이하게 조정할 수 있고, 데이터 저장소요가 적다는 것이 장점이다. 데이터 저장소요가 적다는 것은 데이터를 많이 보유할 필요가 없다는 것으로 여러 개의 대상에 대해 예측을 해야 할 때 유리하다.

지수평활법을 통한 예측식은 다음과 같다. 예측값은 새로 관측된 값과 그 이전까지의 예측값의 가중치 합으로 나타난다.

초기 데이터부터 현재까지의 데이터를 계속 저장하고 이를 변동해 가면서 추정을 한다. 그러므로 그 시스템에 적절한 샘플링 자료의 수를 결정할 수 있고 데이터 변화에 대한 추정을 알맞게 할 수 있다.

$$FWL_t = \alpha WL_{t-1} + (1-\alpha)FWL_{t-1}$$

$$(0 \leq \alpha \leq 1)$$

α : 지수평활계수

위의 식은 다음과 같은 방법으로도 표현할 수 있다.

$$FWL_t = \alpha WL_{t-1} + (1-\alpha)FWL_{t-1}$$

$$= \alpha WL_{t-1} + (1-\alpha)\{\alpha WL_{t-2} + (1-\alpha)FWL_{t-2}\}$$

$$\vdots$$

$$FWL_t = \alpha \sum_{i=0}^{t-2} (1-\alpha)^i WL_{t-1-i} + (1-\alpha)^{t-1} FWL_1$$

위의 식으로부터 예측 값은 과거의 모든 원 자료에 의해 결정되며, 최근의 자료에 더 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다. 초기 예측값은 첫 번째 관측 값 또는 그 이전에 관측된 시계열의 평균을 이용한다. 초기 예측값이 그 이후의 예측값에 미치는 영향은 크지 않다.

지수평활계수 α 의 값이 크면 평활의 정도가 작고, 반대로 α 의 값이 작으면 평활의 정도가 크다. 그러나 이 지수평활계수는 시계열 데이터로부터 구하는 것이 아니라 데이터 분석자가 주관적으로 정하는 것이다.

3. 수위 조절 퍼지 시스템

퍼지 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 구성된다.

수위 조절 퍼지 시스템은 시계열 예측을 통해 산출된 수위의 예측값과 그 전 단계에서의 예측 수위와 실제 수위와의 오차를 시스템의 입력으로 해서 펌프의 배수량을 계산한다.

수위 조절 퍼지 시스템을 각 단계별로 보면 다음과 같다.

3.1 퍼지화부

퍼지 제어 시스템은 퍼지 논리를 응용하므로 하나의 명확한 값으로 측정된 입력 변수 값인 예측수위와 오차에 관한 값도 적절한 퍼지 값 또는 퍼지 집합으로 바꾼다.

입력정보의 특성에 따라서 여러 가지 방법으로 퍼지화하게 되는데, 일반적으로 퍼지 단일 값과 삼각 퍼지 소속 함수를 많이 사용한다. 수위 조절 퍼지 시스템에서도 삼각 퍼지 소속 함수를 사용 하였다.

먼저 예측 수위의 멤버십 함수는 Very Low 부터 Very High까지 5단계로 나뉘어져 있다. 각 구간은 지하구내 전기설비의 높이와 행동에 제약을 주는 수위를 고려하여 나누었다.

오차에 대한 멤버십 함수는 예측 수위보다 실제 수위가 더 낮은 Negative Large부터 예측 수위보다 실제 수위가 더 높은 Positive Large까지 5단계로 나뉘어 있고, 멤버십 함수의 모양은 실험을 통해 나오는 오차를 보고 제어가 효과적으로 되도록 나누었다.

3.2 퍼지 추론 엔진

위의 멤버십 함수를 통해 퍼지화 된 변수는 퍼지 추론 규칙을 바탕으로 결과를 구하게 된다.

퍼지규칙은 "IF (특정 조건들이 만족된다면), THEN (특정 결과들이 유추될 것이다)."와 같은 형식의 퍼지조건문들로 이루어진다.

괄호 속의 조건들은 각각 조건부와 결론부라 하고 정성적인 언어로 표현된다. 본 연구에서 적용된 추론규칙에는 조건부를 예측수위와 오차로 구성하고, 결론부에는 펌프 배수량으로 구성하였다. 각 입력요소 별로 5단계의 변수가 합해져 Least부터 Most까지 7단계의 결과로 규칙이 구성된다. 그 퍼지 규칙은 아래 표 1에 정리하였다.

표 1 수위 조절을 위한 퍼지 규칙

예측 수위 오차	Very Low	Low	Mid	Very High	High
Negative Large	Least	Least	Less	Little	Mid
Negative Small	Least	Less	Little	Mid	Much
Zero	Less	Little	Mid	Much	More
Positive Small	Little	Mid	Much	More	Most
Positive Large	Mid	Much	More	Most	Most

추론방식으로는 Mamdani(Max-Min) 법을 사용하였다. Mamdani 방법은 추론규칙의 조건부와 결론부가 모두 일반 언어로 대응 가능하고, 정성적으로 표현이 가능하며 추출과정을 그래프로 표현하기 쉽다는 장점이 있어 가장 많이 사용되는 방법이다.

3.3 비퍼지화부

비퍼지화부는 퍼지화 된 결과를 추론 결과들의 가능성 분포를 가장 잘 나타내고 있는 비퍼지 값으로 전환시켜 주는 과정으로, 퍼지 값으로 나온 펌프의 배수량을 실제로 우리가 쓰는 실수값으로 바꾸어 주기 위한 것이다.

여러 비퍼지화 방법 중 최대기준법, 최대평균법, 무게중심법, 최대무게중심법 등이 많이 사용된다. 최대기준법은 퍼지 추론 결과들의 가능성 분포 중 최대값을 취하는 방법이고, 최대평균법은 멤버십 함수가 최대인 모든 값들의 평균값을 취하는 방법이며, 최대무게중심법은 생성된 멤버십 함수의 최대무게중심 값만을 취하는 방법이다. 무게중심법은 생성된 멤버십 함수의 무게중심 값을 취하는 방법으로 가장 많이 사용되는 비퍼지화 전략으로, 본 연구에서도 비퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다

4. 결 론

본 논문은 시계열 예측 방법을 통하여 지하구내 침수 시의 수위를 예측하고 예측한 값과 오차를 토대로 침수 상황을 통제하는 시스템을 제안한 연구이다.

수위 조절 퍼지 시스템에서 사용된 시계열 예측 방법으로는 이동최소자승법과 지수평활법 2가지가 있다. 각각의 방법을 이용하여 구한 예측수위와 그 오차를 퍼지 수위 조절 시스템에 입력으로 적용한 결과의 수위를 비교해 보면 다음 그림 1과 같다.

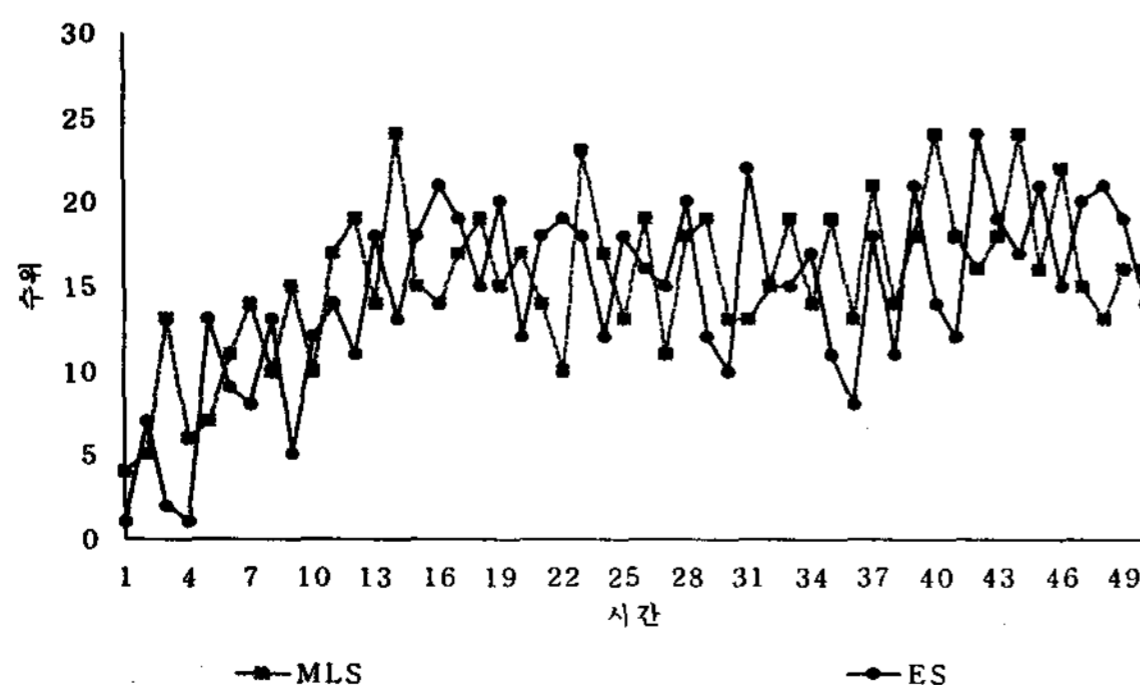


그림 1 시계열 예측의 비교

이동최소자승법과 지수평활법의 결과를 보면 두 방법 모두 수위가 크게 높아지지 않도록 안정적으로 제어되고 있는 것을 볼 수 있다. 굳이 비교를 하자면 이동최소자승법을 사용한 방법의 평균 수위는 15.34로 지수평활법의 14.48보다 약간 높다. 그리고 분산은 이동최소자승법의 21.25보다 지수평활법의 29.68이 더 크다. 지수평활법은 분산이 큰 대신 이동최소자승법에 비해 낮은 값을 갖는 경우가 많았다. 이동최소자승법의 경우 다른 예측방법에 비하여 비교적 데이터의 변동이 심한 곳에서 보다 더 안정적인 예측을 제공하며, 예측 속도도 빠르다는 장점을 가지고 있고, 지수평활법은 사용이 용이하고 비용이 적게 들며 연산 시간 감소의 장점이 있으므로 사용자의 편의에 맞게 적당한 방법을 선택하도록 시스템을 구성 하였기 때문에 한가지 방법만을 적용한 시스템보다 침수 상황에 대한 능동적인 대처가 가능하리라 본다.

앞으로는 실제로 센서에서 입력 변수의 값을 받아서 실험이 가능하게 하고, 전문가의 자문을 받고 지속적인 실험과 연구를 통한 경험으로 현재의 퍼지 규칙이나 멤버십 함수의 모양 등을 최적의 결과가 나오도록 수정, 재구성 하는 작업이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 윤용운. "예측방법론의 이해", 자유아카데미, 1995.
- [2] Janacek, G. and Swift, L. *Time Series: Forecasting, Simulation, Applications*. Ellis horwood, 1994.
- [3] 이광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용", 홍릉과학출판사, Vol.2, pp5-14, 1992
- [4] 홍성호, 김두현, 김상철, "열과 연기농도를 입력변수로 갖는 퍼지 로직을 이용한 화재감지 시스템", 한국화재소방학회 논문지, 제18권 제4호, pp42-51, 2004.
- [5] 조영임, "인공지능 시스템", 홍릉과학 출판사, pp291, 2003.