

퍼지논리(Fuzzy Logic)기반의 태양광 ESS 배터리 통합안전도 구현 및 실증사이트 적용에 관한 연구

윤태일, 김창우, 최효섭

한국전자기술연구원

{taeil777, cwkim, hschoi}@keti.re.kr

Implementation and Site Application of Fuzzy Logic-Based Safety in Solar ESS

Yun Taeil, Kim Changwoo, Choi Hyo-sub

Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요약

본 연구는 태양광 ESS 배터리의 안전도 평가를 위한 퍼지논리 기반 통합안전도 지표를 정의하고 구현한다. 해당 지표를 실증 사이트에 적용하기 위해 기존 연구에서 사용된 소속함수의 형태와 범위를 수정하고, 맘다니형 추론법에서 논리곱 대신 논리합 형태로 결과값을 추론하여 더욱 민감한 안전도 측정을 가능하게 한다. 실증 사이트에 이론적 통합안전도 지표를 적용함으로써, 태양광 ESS의 안전 관리 및 사고 예방에 관한 실질적인 데이터를 제공한다. 이러한 연구 결과는 태양광 ESS 배터리의 안전성 향상에 기여될 수 있다.

I. 서론

본 논문은 이전 연구인 '퍼지논리(Fuzzy Logic)기반의 태양광 ESS 배터리 충전상태에 따른 전압, 온도를 통한 통합 안전도에 관한 연구'의 확장이다. 이전 연구에서는 태양광 ESS 배터리의 안전성을 충전 상태, 전압, 온도 등에 따라 전압과 온도의 퍼지화를 통해 각각의 안전도를 정의하고, 맘다니형 추론(Mamdani method)을 활용하여 이를 통합안전도라는 점수를 측정하였다.

본 논문은 이러한 연구 결과를 바탕으로 태양광 ESS 배터리 시스템의 통합안전도를 실증사이트에 적용하기 위해 기존 연구에 사용된 소속함수의 형태와 범위를 수정하고, 추론과정에서 논리곱 대신 논리합을 사용하는 등 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 배터리 관리 시스템을 구현하는 것을 목표로 한다.

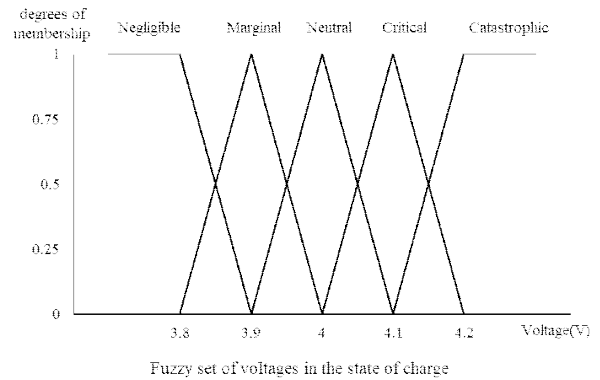


그림 1. 이전연구에서 충전상태에 따른 전압안전도 소속함수

II. 본론

1) 기존에 정의된 소속 함수 수정

이전 연구에서 충전, 방전, 대기 상태에 따른 ESS 배터리 충전상태에 따라 전압 안전도에 대한 소속함수를 [그림 1] 처럼 정의하였다. 해당 소속함수들은 배터리 데이터 시트의 컷오프 전압 데이터와 전문가의 의견을 통해 각 범위의 값을 정하고 퍼지논리에서 가장 기본적으로 사용되는 삼각형과 사다리꼴 형태로 정의되었다. 하지만 해당 소속함수의 형태를 그대로 실증사이트에 적용할 경우 실제 값은 선형적으로 나타나지 않기 때문에 부정확할 가능성이 있다. 따라서 [그림 2]와 같이 매우안전, 매우위험의 소속함수는 시그모이드 함수(Sigmoid function)의 형태로 정의하였고, 안전, 위험의 소속함수는 Z-shaped 모양과 S-shaped 모양의 혼합형태로 정의하였고, 가장 중앙의 보통의 소속함수는 삼각형 상태로 정의하였다.

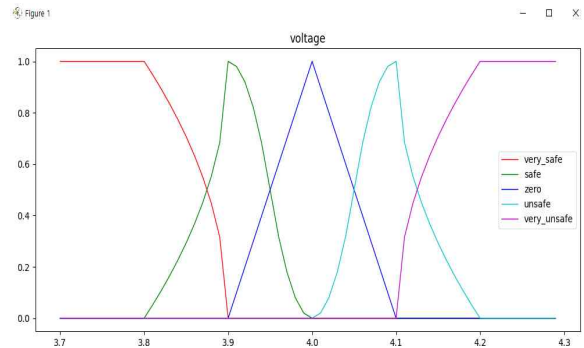


그림 2. 개선된 충전상태에 따른 전압안전도 소속함수

2) 규칙통합

전압과 온도를 각각의 소속함수를 통해 나온 소속도로 통합안전도를 계산할 때 [그림 3] 처럼 이전 연구에서 사용한 논리곱 연산을 사용하게 되면 최소값으로 클리핑하여 통합안전도의 소속도가 구해지기 때문에 실제 값에 예민하게 반응하는 것이 아닌 조감된 반응을 보이기 때문에 안전도라는 지표의 특성상 어울리지 않는다. 따라서 본 연구에서는 [그림 4] 처럼 논리곱이 아닌 논리합 연산을 사용하여 최대값으로 통합안전도를 구하였기 때문에 실증사이트 적용에 있어 좀 더 보수적으로 계산함으로써 정확하고 신뢰도 있는 시스템을 구현할 수 있었다.

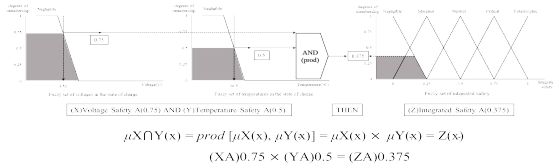


그림 3. 논리곱 연산

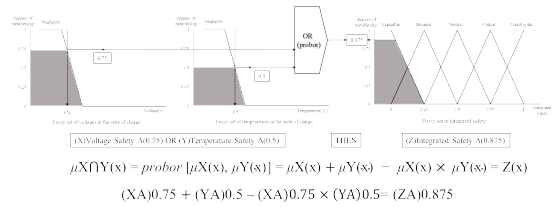


그림 4. 논리합 연산

3) 실증사이트 적용

실증사이트 적용을 위해 태양광 ESS 데이터로부터 Bank의 충전상태, 전압, 온도를 DB로부터 가져와 정의한 소속함수를 통해 각 안전도의 소속도 및 통합안전도를 계산하는데, 실증사이트 적용을 위해서는 매초 실시간으로 데이터를 계산할 수 없기 때문에 특정 시간 단위 (본 논문에서는 10분) 주기로 데이터를 저장한다. 이 때 10분간 발생한 데이터들의 평균값을 기준으로 통합안전도를 저장한다.

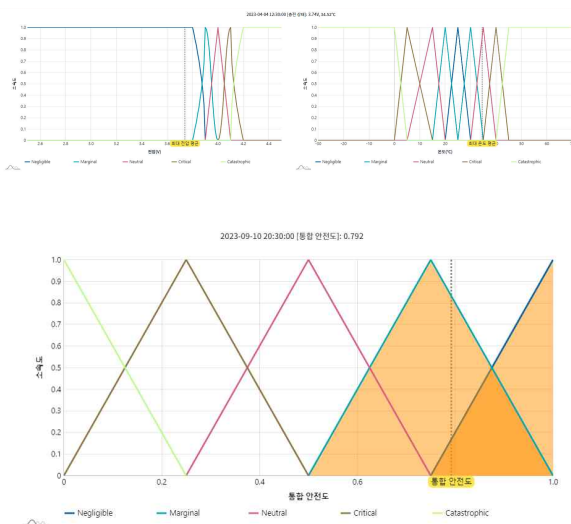


그림 5. 실제 웹에 연동된 통합안전도

III. 결론

본 연구는 '퍼지논리(Fuzzy Logic)기반의 태양광 ESS 배터리 충전상태에 따른 전압, 온도를 통한 통합 안전도에 관한 연구'에 이어진 후속 연구로서, 태양광 ESS 배터리의 통합안전도 구현 및 실증사이트 적용을 목표로 하였다. 이전 연구에서 개발된 퍼지논리 기반의 전압 및 온도 안전도 평가 방법론은 이번 연구에서 실증사이트에 적용하기 위해 소속 함수와 통합안전도 계산과정을 수정하였다.

본 연구의 결과는 퍼지논리를 활용한 통합안전도 평가 방법의 실용성과 효과를 입증함으로써, 태양광 ESS 시스템의 안전성 및 성능 향상에 필수적인 기술적 기반을 마련하였다. 또한, 이번 연구는 퍼지논리를 적용한 태양광 ESS 배터리의 실제 환경 적용 가능성을 탐색하는 중요한 단계를 나타낸다.

향후 연구에서는 본 연구에서 제시된 방법론을 다양한 환경과 조건에서의 추가 실험을 통해 더욱 개선하고, 다른 유형의 ESS 시스템에도 적용 가능성을 탐색할 필요가 있다. 또한 머신러닝을 통한 통합안전도의 예측을 통해 위험성을 감지하는 것 뿐만아닌 예측을 함으로써 태양광 ESS 배터리의 안전성 및 효율성을 극대화하는 데 기여할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2021-0-00077, 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율운영 및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임워크 개발)

참고 문헌

- [1] Yun Taeil, Kim Changwoo, and Choi Hyo-sub, "A Study on the Integrated Safety through Voltage and Temperature according to the State of Charge of Photovoltaic ESS Battery Based on Fuzzy Logic," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 759-760, (2023)
- [2] Dongho Han, Sanguk Kwon, Jonghoon Kim, Kisoo Yoo, Sung-Eun Lee. "Integration of long-short term memory network and fuzzy logic for high-safety in a FR-ESS with degradation and failure". Sustainable Energy Technologies and Assessments. Volume 49. (2022)
- [3] Suan Kim, Dongho Han, Jonghoon Kim. "Relative degradation grade Estimation based on Fuzzy logic algorithm for ESS battery fire protection". Power Electronics Conference. 441-442. (2019)
- [4] Agwu, Daberechi David & Opara, Felix & Chukwuchekwa, Nkwachukwu & Dike, Damian & Uzoechi, Lazarus. (2018). "Review Of Comparative Battery Energy Storage Systems (Bess) For Energy Storage Applications In Tropical Enviroments".