

퍼지논리(Fuzzy Logic)기반의 태양광 ESS 배터리 충전상태에 따른 전압, 온도를 통한 통합 안전도에 관한 연구

윤태일, 김창우, 최효섭

한국전자기술연구원

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

A Study on the Integrated Safety through Voltage and Temperature according to the State of Charge of Photovoltaic ESS Battery Based on Fuzzy Logic

Yun Taeil, Kim Changwoo, Choi Hyo-sub

Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요 약

이차전지 소재산업에서 최근 ESS/EV의 배터리 화재폭발 관련하여 배터리 화재 예방 및 안전성에 대한 연구가 활발히 진행 중이며, ESS 내에서 발생하는 센서 데이터들을 기반으로 다양한 지표들을 생성하여 2차 데이터로 활용하는 추세이다. 본 연구는 태양광 ESS 배터리의 안전도를 추정하기 위해 퍼지논리(Fuzzy Logic)에 근거하여 배터리 충전상태에 따른 전압, 온도 값을 이용하여 통합안전도라는 지표를 정의하고 설계하였다. 안전도라는 지표를 정의하기 위해 퍼지논리(Fuzzy Logic)에서 맘다니형 추론을 통해 퍼지시스템을 설계하고 무게중심법을 통해 최종 출력결과를 특정 값으로 표현한다. 이러한 분석을 통해 ESS 화재폭발에 대한 예측 및 대응에 활용할 수 있다.

I. 서 론

본 논문에서는 태양광 ESS 배터리의 안전도라는 지표를 충전상태, 전압, 온도의 수치를 통해 정의하고 설계한다. 특정 지표 하나에 의존한 분석이 아닌 전압, 온도, 충전상태 등의 지표를 혼합하여 계산하고, 퍼지논리(Fuzzy Logic)에 따라 값을 퍼지화하여 가중치를 산정함으로써 경계값에서 좀 더 정확하게 표현될 수 있는 방법을 고안하였다.

본 논문에서는 퍼지시스템을 설계할 때 사용한 방법으로 맘다니형 추론(Mamdani method)으로 충전상태에 따라 전압, 온도를 퍼지화하여 논리 곱연산을 통해 각각 전압 안전도, 온도 안전도를 정의하고 미리 설계한 퍼지규칙에 따라 규칙 통합 후 무게중심법을 통해 역퍼지화(defuzzification)하여 통합안전도라는 점수를 계산하였다.[1][2]

II. 본론

1) 소속 함수 정의

퍼지논리를 통해 퍼지시스템 설계 시 가장 먼저 해야 할 일은 크리스프 집합(Crisp set)을 퍼지집합(Fuzzy set)으로 바꾸기 위한 퍼지화이다. 퍼지화를 하기 위해서는 각각의 지표 해당 값이 어느 정도에 속할지를 파악하기 위한 함수가 필요한데 이를 소속 함수(Membership Function)라 한다. 본 논문에서는 충전, 방전, 대기 상태에 따른 ESS 배터리 충전상태에 따라 전압, 온도의 소속 함수를 다음 데이터와 전문가의 의견을 통해 정의하였다. 전압은 배터리 데이터시트를 참고하여 컷오프 전압 데이터를 통해 정의하였고, 온도는 배터리 작동 범위와 최적온도(충전시 0~45°C, 방전시 -20~60°C이고 최적온도는 15~35°C)를 기준으로 정의하였다.[3]

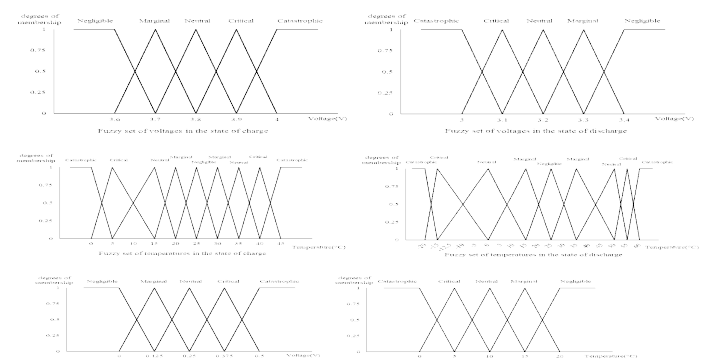


그림 1. 충전상태에 따른 전압, 온도 소속 함수

2) 퍼지규칙 정의

temperature voltage safety	Catastrophic (E) (매우위험)	Critical (D) (위험)	Neutral (C) (보통)	Marginal (B) (안전)	Negligible (A) (매우안전)
Catastrophic (E) (매우위험)	E	E	E	D	C
Critical (D) (위험)	E	D	D	C	B
Neutral (C) (보통)	E	D	C	C	B
Marginal (B) (안전)	D	C	C	B	B
Negligible (A) (매우안전)	C	B	B	B	A

표 1. 통합안전도 퍼지규칙

퍼지규칙에 따라 전압 안전도와 온도 안전도에 의해 통합안전도를 계산한다. 예를들어 전압 안전도가 D(위험)이고 온도 안전도가 B(안전)이라면 통합안전도는 C(보통)이 된다.

3) 규칙통합

특정 전압과 온도에 대한 값을 각각 소속 함수에 대하여 대응시킬 때 나올 수 있는 경우의 수에 따라 논리곱을 통해 나온 값을 최소값으로 클리핑하여 통합안전도에 대한 소속도를 구하고 나온 값들을 다시 합집합 연산을 통해 합친다.

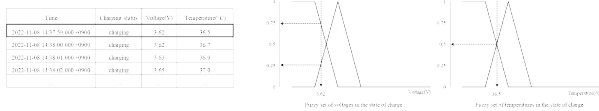
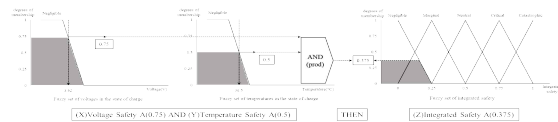
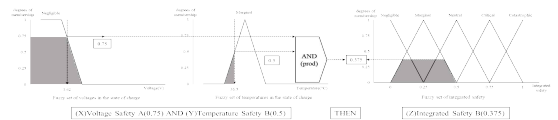


그림 2. 특정 값에 대하여 소속도 계산



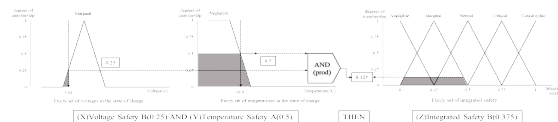
$$\mu_{X \cap Y}(x) = \min[\mu_X(x), \mu_Y(y)] = \mu_X(x) \times \mu_Y(y) = Z(x)$$

$$(XA)0.75 \times (YA)0.5 = (ZA)0.375$$



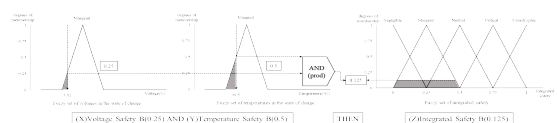
$$\mu_{X \cap Y}(x) = \min[\mu_X(x), \mu_Y(y)] = \mu_X(x) \times \mu_Y(y) = Z(x)$$

$$(XA)0.75 \times (YB)0.5 = (ZB)0.375$$



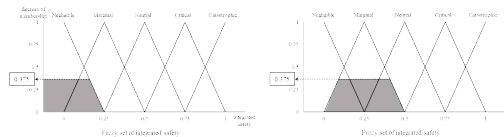
$$\mu_{X \cap Y}(x) = \min[\mu_X(x), \mu_Y(y)] = \mu_X(x) \times \mu_Y(y) = Z(x)$$

$$(XB)0.25 \times (YA)0.5 = (ZB)0.125$$



$$\mu_{X \cap Y}(x) = \min[\mu_X(x), \mu_Y(y)] = \mu_X(x) \times \mu_Y(y) = Z(x)$$

$$(XB)0.25 \times (YB)0.5 = (ZB)0.125$$



$$\mu_{X \cap Y}(x) = \min[\mu_X(x), \mu_Y(y)] = \mu_X(x) \times \mu_Y(y) = Z(x)$$

$$(XA)0.75 \times (YB)0.5 = (ZB)0.375$$

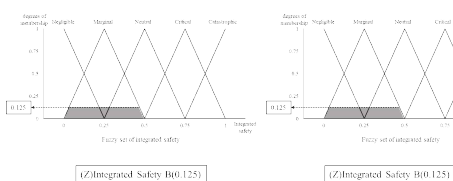


그림 3. 합연산을 통한 규칙통합

4) 무게중심법을 통해 디퍼지화

통합된 규칙들을 무게중심법을 통해 실제 값으로 변환한다. 본 논문에서는 ESS 배터리 전압 3.62V, 온도 36.5°C일 때 통합안전도는 0.213으로 계산된다.

$$c \cong \frac{0.375 \times (0 + 0.05 + 0.1 + 0.15 + 0.2 + 0.25 + 0.3 + 0.35 + 0.4) + 0.1875 \times (0.45) + 0 \times (0.5)}{0.375 \times 9 + 0.1875 + 0}$$

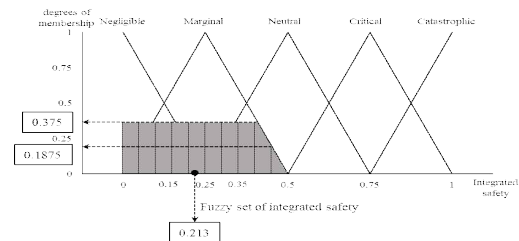


그림 3. 무게중심법으로 계산된 통합안전도 점수

III. 결론

본 논문에서는 배터리의 충전상태에 따른 전압, 온도 수치로 태양광 ESS 배터리의 안전도를 계산할 수 있는 방법론을 제시하였다. 기본적으로 정의된 퍼지규칙 테이블의 경우 전문가의 의견을 반영하여 설계되었고 소속 함수 정의 또한 배터리 데이터 시트와 논문을 근거로 참고하였지만 전문가의 의견을 위주로 정의되었기 때문에 기존의 안전도를 계산하던 방식과 마찬가지로 ‘안전하다’라는 값의 범위를 정의하는 데 있어서 근거가 부족할 수 있지만 다양한 지표들이 참조되었고 애매모호한 값을 정의하는 데 주로 사용되는 퍼지논리를 사용함으로써 기존에 존재하는 방식보다는 좀 더 다양한 시각으로 접근할 수 있다. 추후 전압, 온도뿐만 아닌 다른 지표들과 각각의 소속 함수에 대한 정의와 불충분한 근거에 대해 보충하여 추가적인 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 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)

참고문헌

- [1] 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)
- [2] 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)
- [3] 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”.