


PMU를 이용한 변전소 상태 해석에 관한 연구

김태희¹, 이경민², 박철원², 전동훈³, 권대윤⁴, 최용성¹ 

¹ 동신대학교 전기공학과

² 강릉원주대학교 전기공학과

³ 한국전력공사 전력연구원

⁴ 그린이엔에스 부설연구소

A Study on State Analysis of Substation Using PMU

Tae-Hee Kim¹, Kyung-Min Lee², Cheol-Won Park², Dong-Hoon Jeon³, Dae-Yoon Kwon⁴, and Yong-Sung Choi¹

¹ Department of Electrical Engineering, Dongshin University, Naju 58245, Korea

² Department of Electrical Engineering, Gangneung-Wonju National University, Wonju 26403, Korea

³ Korea Electric Power Research Institute (KEPRI), Korea Electric Power Corporation (KEPCO), Daejeon 34056, Korea

⁴ Affiliated Research Institute, Green E & S, Gwangju 61153, Korea

(Received January 30, 2024; Revised February 14, 2024; Accepted February 14, 2024)

Abstract: In this paper, in order to analyze the PMU data of the accident section, we collected the raw data of a total of 35 PMU installed at the Yeonggwang substation and tried to find a way to analyze the data, and analyzed the data using Excel format and formula. As a result, the three-phase voltage and current data of the PMU were calculated using formulas in Excel and interpreted as effective and reactive power, and it was possible to check the effective and reactive power of the accident section through the graph to see why it was different from before the accident. As a result, it was confirmed that each power was greatly reduced in the graph of the effective and reactive power of the accident section, and it was confirmed that the loss occurred as the power of the accident section was greatly reduced.

Keywords: PMU data, Three-phase voltage and current, Accident, Loss occurred, Effective power, Reactive power

1. 서론

최근 정부에서는 국가 단위의 지능형 전력망(smart grid)을 구축하기 위한 로드맵을 기획하고 있으며, 이러한 전력망을 구축하기 위해서는 전력계통의 다양한 상황에 대

하여 실시간으로 감시할 수 있고, 불시의 사고에 전체 전력 계통으로 파급되는 것을 차단하여 복구 및 예방할 수 있는 시스템 및 네트워크를 필요로 하고 있다. 통상 WAMPAC (wide area measurement, protection and control) 시스템이라 하며, 이 중에서도 시각동기(time-synchronization) 페이저 측정장치(phasor measurement unit, PMU)가 개발된 이후로 실시간 전압안정도 해석에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다 [1]. PMU를 이용한 시각동기 데이터 취득은 대규모 전력계통의 동적 특성을 온라인으로 감시하는 데 매우 유용하다. PMU는 디지털 파형 측정기능을

✉ Yong-Sung Choi; yschoi67@dsu.ac.kr

Copyright ©2024 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

보유하고 있으며, 데이터 저장 시 데이터의 종류나 양식을 선택해서 저장할 수 있는 능력이 있기 때문에 사고 기록 장치로의 사용도 가능하다 [2].

또한, 시각동기 고정밀 빅데이터 활용 기술이 절실하게 요구되고 있으며 [3,4], 최근에는 AI 기법을 PMU 데이터 기반 전력계통의 고장 유형 분류 및 위치 예측에 적용하는 시도에 관심이 높아지고 있다 [5].

본 논문에서는 영광변전소에 설치된 총 35대의 PMU의 raw 데이터를 수집하여 데이터의 해석을 위한 방안을 모색하여 사고 구간의 PMU 데이터를 해석하였다.

2. PMU 데이터의 해석 방안

영광변전소는 PMU로 구성된 상태 감시 시스템이 적용되어 있으며, 신설 D/L 일부를 제외하고 모든 감시 포인트에 설치되어 있다. 연계대상 지역은 영광, 장성, 고창, 여수 등 호남지역을 대상으로 하고 있으며, 주요 감시 대상으로는 154 kV bus 측 W/P 연계 T/L 1곳, PV 연계 T/L 2곳과 23 kV bus 측 W/P 연계 D/L 2곳, PV 연계 D/L 1곳이 있다. 영광변전소를 한 달에 한 번 직접 방문하여 실시간으로 저장되는 데이터 디스크를 교체함으로써 데이터를 수집하였다. 그림 1은 PMU 데이터의 전력 계산을 나타내었으며 그와 동시에 엑셀의 기능 중 조건부 서식 옵션을 이용하여 새 규칙을 통해 표준 편차의 평균보다 크거나 작을 때

의 이상 데이터를 색으로 구분하여 표시한 것을 나타내었다. 이로 인해, 이상 데이터를 육안으로 확인할 수 있도록 하였다.

또한, 영광변전소에 설치된 35대의 PMU 데이터를 해석하기 위해 엑셀에서 함수식을 이용하여 PMU 데이터의 3상 전압, 전류로 유효 전력 및 무효 전력을 계산하였다.

주어진 PMU 데이터의 3상 전압, 전류를 식 (1)을 이용하여 유효 전력을 계산하였으며, 식 (2)를 이용하여 무효 전력을 계산하였다.

계산한 3상의 유효 전력과 무효 전력을 그래프를 이용하여 사고 구간의 이상 데이터의 정확한 시간을 알 수 있으며, 이상 데이터 발생 시, 데이터 효율의 증가 또는 감소를 확인할 수 있도록 하였다.

$$=PRODUCT(H2,P2)*COS[RADIANS(I2-Q2)] \quad (1)$$

$$=PRODUCT(H2,P2)*SIN[RADIANS(I2-Q2)] \quad (2)$$

3. 결과 및 검토

3.1 PMU의 사고 구간 데이터 해석

그림 2는 영광변전소의 35대 PMU 중 감시 포인트가 장성-영광#2 T/L인 #1 PMU의 2023년 7월 11일 오전 11시

	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1	DIMod	D1	a상[W]	a상[var]	b상[W]	b상[var]	c상[W]	c상[var]
2	0		-2,431,604.484	4,177,570.376	-2,170,206.646	3,965,950.831	-2,187,578.403	3,721,341.775
3	0		-2,436,564.371				-2,125,195.936	3,722,241.392
4	0		-2,381,794.662				-2,129,201.227	3,720,203.488
5	0		-2,357,018.543	4,196,552.860	-2,221,871.562	3,914,382.112	-2,134,087.734	3,716,994.820
6	0		-2,362,210.371	4,193,956			3,894,949.079	3,715,243.528
7	0		-2,366,865.390	4,190,926			3,870,078.653	3,779,849.150
8	0		-2,372,057.527	4,188,332			3,837,377.682	3,709,726.556
9	0		-2,376,287.985	4,185,914.685	-2,147,362.031	3,884,009.334	-2,156,678.383	3,774,321.939
10	0		-2,382,093.611	4,183,716.745	-2,152,198.969	3,881,711.011	-2,157,270.614	3,704,479.660
11	0		-2,387,711.115	4,180,506.664	-2,156,386.234	3,878,720.755	-2,165,408.897	3,768,500.653
12	0		-2,392,365.155	4,177,474.106	-2,160,571.835	3,876,366.542	-2,165,303.411	3,698,948.769
13	0		-2,397,982.246	4,174,264.158	-2,166,062.407	3,874,124.429	-2,170,446.861	3,696,332.439
14	0		-2,403,599.593	4,171,054.575	-2,171,621.675	3,871,209.029	-2,174,730.114	3,693,433.028
15	0		-2,408,057.720	4,167,014.380	-2,176,461.518	3,868,909.911	-2,182,903.962	3,758,295.418
16	0		-2,413,252.563	4,164,419.158	-2,181,367.764	3,865,938.308	-2,120,978.567	3,759,373.200
17	0		-2,418,251.627	4,160,816.605	-2,185,619.308	3,862,911.738	-2,125,603.217	3,757,143.969
18	0		-2,363,182.068	4,129,523.271	-2,134,770.880	3,897,946.612	-2,130,293.823	3,754,876.675
19	0		-2,363,182.068	4,129,523.271	-2,134,770.880	3,897,946.612	-2,130,293.823	3,754,876.675
20	0		-2,349,390.497	4,180,920.402	-2,149,568.966	3,889,283.460	-2,144,886.099	3,746,395.110
21	0		-2,443,213.086	4,146,925.175	-2,209,417.809	3,848,043.587	-2,149,257.131	3,743,567.056
22	0		-2,448,829.901	4,143,715.751	-2,213,602.969	3,845,689.553	-2,153,370.874	3,740,142.470
23	0		-2,453,275.191	4,139,682.441	-2,218,505.889	3,842,719.802	-2,158,286.002	3,737,055.889
24	0		-2,398,927.698	4,108,729.080	-2,222,690.889	3,840,365.409	-2,162,367.218	3,735,085.543
25	0		-2,464,089.715	4,133,877.029	-2,228,251.568	3,837,449.596	-2,166,736.053	3,732,258.825

Fig. 1. Calculating the power of a PMU.

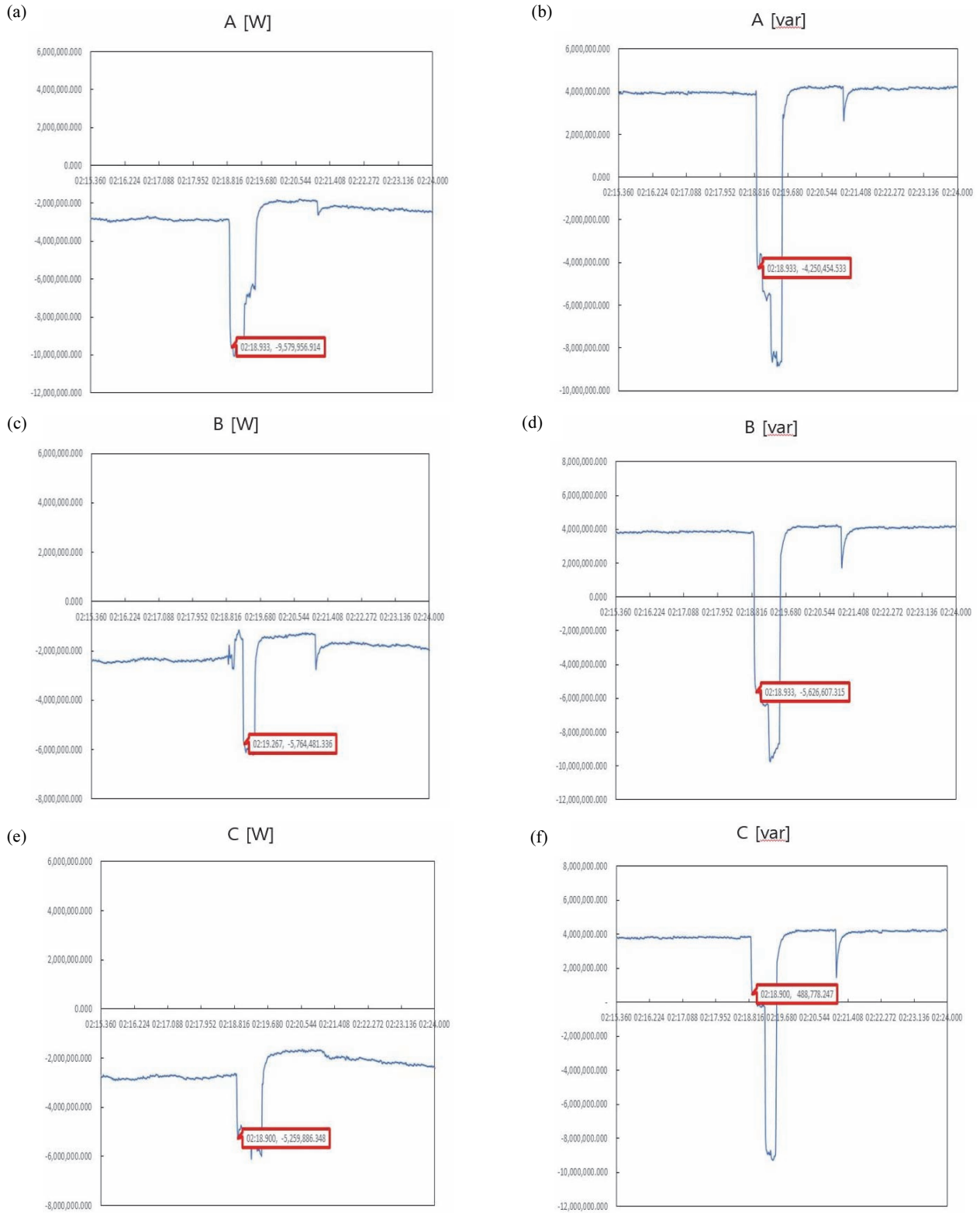


Fig. 2. Three-phase power in the PMU: (a) effective power of phase A, (b) reactive power of phase A, (c) effective power of phase B, (d) reactive power of phase B, (e) effective power of phase C, and (f) reactive power of phase C.

부터 오후 12시까지 1시간 동안의 데이터를 3상 유효 전력과 무효 전력으로 나타내었다. 그중 (a)와 (b)는 A상의 유효 전력과 무효 전력을 나타낸 것이고, (c)와 (d)는 B상의 유효 전력과 무효 전력을 나타낸 것이며, (e)와 (f)는 C상의 유효 전력과 무효 전력을 나타낸 것이다.

엑셀의 그래프를 통해 사고 구간의 유효 전력과 무효 전력을 확인하였으며, 이상 데이터의 정확한 시간과 이상 데이터 발생 시, 데이터 효율성의 증가 또는 감소를 확인할 수 있었다.

2023년 7월 11일 오전 11시부터 오후 12시까지의 데이터를 확인하였을 때, 송전선로에 고장이 일어나 모든 상에 서 전압강하가 일어난 것을 확인하였다.

그림 2(a), (c), (e)에서 각각의 A상, B상, C상의 유효 전력의 전체 평균은 -2.158 MW, -1.680 MW, -2.002 MW로 계산되었으며, 2분 18.933초에서 A상의 유효 전력이 약 -9.579 MW, 2분 19.267초에서 B상의 유효 전력이 약 -5.579 MW, 2분 18.900초에서 C상의 유효 전력의 손실이 약 -5.259 MW로 크게 증가한 것을 확인하였다. 이는 전력의 부하가 증가했음을 의미하며, 이로 인해 상의 전력 흐름이 늘어나 시스템 안정성과 효율성에 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 그림 2(b), (d), (f)에서 각각의 A상, B상, C상의 무효 전력의 전체 평균은 3.441 MW, 3.348 MW, 3.356 MW로 계산되었으며, 2분 18.933초에서 A상의 무효 전력이 약 -4.250 MVar, 2분 18.933초에서 B상의 무효 전력이 약 -5.626 MVar, 2분 18.900초에서 C상의 무효 전력의 손실이 약 0.489 MVar로 크게 감소한 것을 확인하였다. A상, B상, C상의 평균 무효 전력은 서로 유사하게 나타났으나, C상의 경우 무효 전력의 손실이 크게 감소하여 이는 해당 사고 구간 순간에 시스템에서 C상의 무효 전력의 손실이 A상과 B상에 비교했을 때 적은 것을 유추해볼 수 있었다.

이를 통해, 사고가 나는 순간 3상의 유효 전력과 무효 전력에 모두 영향이 끼쳤으며, 3상의 유효 전력과 무효 전력이 둘 다 떨어졌다는 것은 전력이 유용한 작업에 사용되지 않고 소모된 것을 의미하고, 떨어진 유효 전력과 무효 전력 만큼 전력의 손실이 변화하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 영광변전소에 설치된 총 35대의 PMU의 데이터를 변전소를 직접 방문하여 수집하였으며, 데이터의 해석을 위해 방안을 모색하고, PMU의 3상 전압, 전류를 이용하여 수식을 통해 각각의 유효 전력과 무효 전력을

계산하였다. 또한 계산한 3상의 유효 전력과 무효 전력을 엑셀의 조건부 서식 기능을 이용하여 표준 편차의 평균보다 크거나 작을 때의 이상 데이터를 색으로 구분하여 나타내었으며, 그래프를 이용하여 이상 데이터를 확인하고 해석하였다.

그래프를 통해 2분 18.933초에서 A상의 유효 전력이 약 -9.579 MW로 343.88%, 2분 19.267초에서 B상의 유효 전력이 약 -5.579 MW로 232.08%, 2분 18.900초에서 C상의 유효 전력이 약 -5.259 MW로 162.69% 손실이 크게 증가한 것을 확인하였다.

또한 2분 18.933초에서 A상의 무효 전력이 약 -4.250 MVar로 223.51%, 2분 18.933초에서 B상의 무효 전력이 약 -5.626 MVar로 268.04%, 2분 18.900초에서 C상의 무효 전력이 약 0.489 MVar로 85.43% 손실이 크게 감소한 것을 확인하였다.

결과적으로, PMU Raw 데이터의 3상 전압, 전류를 엑셀의 수식을 이용하여 3상의 유효 전력과 무효 전력을 계산하였고, 계산한 유효 전력과 무효 전력을 그래프로 나타냈으며, 나타낸 그래프를 통해 사고 구간에서의 각각의 전력 변화를 확인하였다.

사고 구간에서의 전력 변화를 확인한 결과, 사고가 난 순간부터 전력이 크게 감소하는 것을 확인하였으며, 이로 인해 사고가 일어나는 순간 전력이 감소하면서 손실이 발생한 것으로 확인되었다.

또한, 유효 전력에서 평균보다 각각의 A상, B상, C상의 유효 전력들이 사고 구간에서 손실이 크게 증가하였으며, 무효 전력에서 평균보다 각각의 A상, B상, C상의 무효 전력들이 사고 구간에서 손실이 크게 감소한 것을 통해 손실로 인한 유효 전력과 무효 전력의 관계가 반비례함이 나타났다.

ORCID

Yong-Sung Choi

<https://orcid.org/0000-0003-2904-2813>

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 2022년 착수 기초연구개발 과제연구비에 의해 지원되었음(Grant number: R22XO05-04).

REFERENCES

- [1] S. W. Han and B. J. Lee, *Proc. Korean Institute Summer Conference KIEE* (eds. P. J. Jeon) (Korean Institute Electrical, Korea, 2009) p. 14.
- [2] D. H. Jeon and J. W. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **52**, 39 (2003).
- [3] K. M. Lee and C. W. Park, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **72**, 975 (2023).
- doi: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2023.72.9.975>
- [4] KEPRI, 3rd Basic Plan for Intelligent Power Networks, IOP KSGA (2023).
<https://www.ksga.org/edu/Board/7212/detailView.do>
- [5] S. Bodda, A. Thawait, and P. Agnihotri, *Proc. 2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)* (IEEE, Toronto, Canada, 2022) p. 781.
doi: <https://doi.org/10.1109/IEMTRONICS55184.2022.9795781>