

실측에 의한 특고압수용가의 전력품질 분석

Analysis of Power Quality for Extra-High Voltage Customers by Field Tests

지 평 식* · 문 중 필†
(Pyeong-Shik Ji · Jong-Fil Moon)

Abstract - Recently, due to the expansion of electric power demands, nonlinear load such as converters and inverters connected to the electric power distribution system, and extensive application of harmonic generation sources with power electric devices, disturbance of the electric power system and its influences on industries have been continuously increasing. In this research, power quality was analyzed for 11 extra-high voltage customers by considering voltage unbalance condition, power factor, THD and TDD. This research will be utilized as fundamental data to improve power quality for power utility.

Key Words : Harmonics, THD, TDD, Power quality, Power factor, Voltage unbalance

1. 서 론

전력의 공급은 충분한 품질을 전제로 하지 않으면 안 된다. 또한, 공급의 신뢰도를 높이기 위해서는 계통의 계획, 설계, 운용 및 제어 등이 최상의 상태를 유지하여야 한다 [1-3]. 산업의 발달과 함께 전력계통에는 다양한 반도체 전력설비와 전력기기인 변압기, 회전기기 등의 비선형 특성을 나타내는 부하설비의 사용이 증가하고 있고 이러한 비선형 부하들은 고조파를 발생시켜 입력전압의 왜곡뿐만 아니라, 연계 계통내로 고조파 전류가 흘러 들어가 다른 부하설비에 까지 악영향을 미친다[4-6]. 또, 모든 분야에 걸쳐 신속성, 편리성 및 효율성의 극대화를 요구하고 있어 각종 전력변환장치 등의 연구·개발이 가속화되고 있으며, 그 결과 비선형 특성을 나타내는 부하설비 등의 급증에 따라 기본파 이외에 고조파 발생의 원인이 되고 있다[7-9]. 따라서 전력계통내에는 기본파 이외에 다양한 비선형부하에서 발생된 고조파 전류가 혼재되어 있음으로 고조파의 영향을 고려한 부하 설계 및 계통해석을 수행하여야 한다. 특히, 고조파가 존재하는 전력계통 해석에 중요한 성능지표로 고려되는 유효전력과 무효전력의 동특성을 모델링이 중요한데, 이를 위해서는 우선적으로 전력계통내에서 고조파의 실태 등 전력품질 분석이 선행되어야 한다[10-11].

본 연구에서는 특고압수용가에 대한 전력품질 실태를 분석하기 위해 11개의 자가용 수용가를 대상으로 전압불평형률, 전류불평형률, 역률, THD(Total Harmonic Distribution) 및 TDD(Total Demand Distortion)를 측정하고 이를 IEEE 및 한국전력공사 전력공급 약관에 의해 분석하고 그 결과를 제

시하여 특고압 수용가의 전력품질 제고에 기여하고자 한다.

2. 전력품질 측정 및 분석

2.1 측정 방법

산업용 부하에 대한 전력품질을 측정하기 위해 22,900[V]를 수전하는 11개의 자가용 수용가를 대상으로 그 실태를 측정·분석하였다. 본 연구에 사용된 전력분석기 DEWE-TRON PNA 560으로 샘플링 주파수는 9.6[kHz]이다. 11개의 자가용 수용가 중, A사의 경우는 태양전지 제조설비를 갖춘 수용가로 측정시간은 2011. 12. 11. 11:30~2011. 12. 11. 11:52까지 약 22분간 전기설비가 총 가동 중으로 측정시간을 설정하였으며, 측정장소는 메인 VCB P/L 1차측에서 측정하였다. 변압기는 22,900/380-220[V], 1,750 [kVA], Z=5%이며 Y 결선으로 되어 있다. 또한, B사의 경우 볼트, 너트 제조설비를 갖춘 수용가로 고조파 측정시간은 2011. 9. 23. 10:38~11:30으로 전기설비 가동시간을 고려하여 약 52분간으로 측정시간을 설정하였다. 측정장소는 주 VCB P/L 1차측에서 측정하였으며, 변압기는 22,900/3,300[V], 1,400 [kVA], Z=5%이며 Y 결선으로 되어 있다. 이 이외의 수용가에 대하여도 차단기 P/L 1차측 또는 변압기 2차에서 설비가 동을 등을 고려하여 수용가 협조하에 전력품질 분석을 위해 현장측정을 수행하였다.

2.2 측정 결과

A사의 경우 각 상의 측정된 전압은 그림 1과 같다. 측정 데이터 분석 결과 최대 23,016.5[V], 최소 22,429.4[V], 기준 전압에서 전압불평형률 1.89[%]로 나타났다. 그러나 전압변동이 크면 전력손실, 생산성저하, 제품의 불균일, 전기기기의 수명저하 같은 나쁜 영향을 주므로 전압, 전선의 굵기, 변압기 용량, 변압기 탭 등을 적절하게 선정하여 전압강하를 되도록 억제하여야 한다. 한편, 전류 측정 결과는 그림 2와 같으며, 전류 불평형율은 29.51[%]로 나타나 권장기준치 80[%] 임을 감안하면 양호하게 나타나고 있다.

* 시니어회원 : 한국교통대 전기공학과 교수·공학

† 교신저자, 중신회원 : 한국교통대 전기공학과 조교수·공학

E-mail : moon@ut.ac.kr

접수일자 : 2012년 4월 30일

최종완료 : 2012년 5월 15일

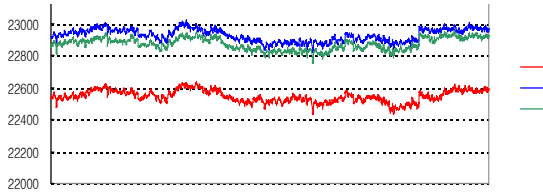


그림 1 전압 측정 결과 (A 수용가)
Fig. 1 Result of voltage measurement (A-Customer)

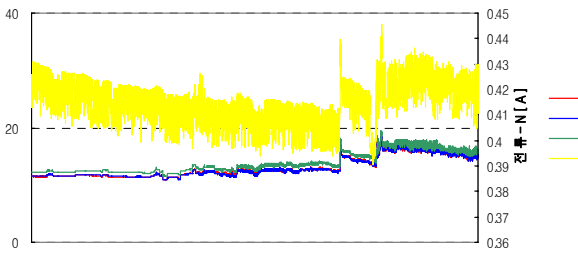


그림 2 전류 측정 결과 (A 수용가)
Fig. 2 Result of current measurement (A-Customer)

내선규정의 불평형률 허용기준은 단상은 40[%] 이하이며, 3상은 30[%] 이하이다. 급격한 부하 불평형은 급격한 무효 전력을 요구할 수 있으며 이런 경우 전압 플리커로 이어져 부하의 오동작 및 수명단축의 원인이 될 수 있다.

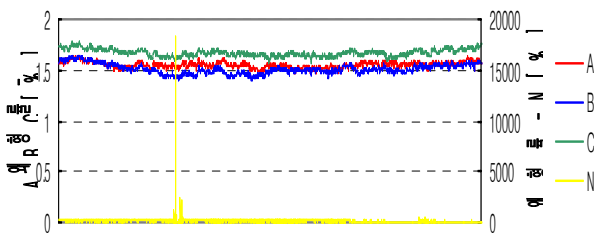


그림 3 종합 고조파 전압 왜형률 (A 수용가)
Fig. 3 Total harmonic voltage distortion (A-Customer)

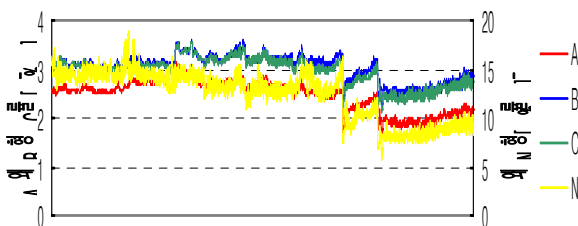


그림 4 종합 고조파 전류 왜형률 (A 수용가)
Fig. 4 Total harmonic current distortion (A-Customer)

한편, 측정기간 동안 유효전력은 최대 3상 717.2[kW], 피상전력은 최대 739.9[kVA], 무효전력은 최대 187.6[kVar]로 나타났으며, 역률은 96~97[%]로 나타났다. 또, 종합 고조파 전압왜형률은 그림 3과 같이 나타났으며, 각 A, B, C상 최대 1.77[%], 최소 1.40[%]로 나타났으나 N상의 경우 최대 순간 18.358[%], 최소 48.8[%]로 나타나 중성선에 전압고조파 왜형률은 크게 나타나고 있다.

표 1 전압 고조파 (A 수용가)

Table 1 Voltage harmonics (A-Customer)

차수	1차	3차	5차	7차	9차	11차	13차	15차
A상	100	0.94	0.74	0.46	0.86	0.05	0.06	0.10
B상	100	0.68	1.01	0.39	0.80	0.02	0.06	0.04
C상	100	0.78	1.02	0.69	0.80	0.04	0.09	0.08
N상	100	60.7	52.1	49.1	47.8	47.8	47.5	47.7

표 2 전류 고조파 (A 수용가)

Table 2 Current harmonics (A-Customer)

차수	1차	3차	5차	7차	9차	11차	13차	15차
A상	100	0.51	1.21	0.98	0.12	1.15	0.92	0.15
B상	100	1.39	1.25	1.63	0.10	0.76	1.20	0.23
C상	100	0.93	1.47	1.60	0.06	0.89	1.20	0.11
N상	100	4.59	10.4	4.77	2.50	1.93	1.43	1.63

또한, 종합 고조파 전류왜형률은 그림 4와 같이 나타났으며, 각 A, B, C상 최대 3.59[%], 최소 1.68[%]로 나타났으나 N상의 경우 최대 18.97[%], 최소 1.68[%]로 나타났다. IEEE 519 전압THD는 Class1 5%, Class2 8%, Class3 10%이다. IEEE 519에서 THD규정은 Class1 5[%], Class2 8[%], Class3 10[%]이다. 전체 전압고조파의 경우 표 1과 같이 나타나 15차 까지의 고조파는 모두 규정치 이내인 것으로 분석되었다.

전체 전류고조파의 경우 표 2와 같이 나타났으며, 이를 그림으로 표기하면 그림 5와 같다. 고조파에 대한 기준은 IEEE 519, IEEE 141, 전기공급 약관 및 일본의 기준 등이 있으며, IEEE 519에서는 각 차수 별 15[%] 이하(단 SCR=단락 전류/부하전류, SCR 1,000 이상가정), IEEE 141에서는 기수파는 3[%] 미만, 한국전력공사 전기공급 약관에서는 지중선

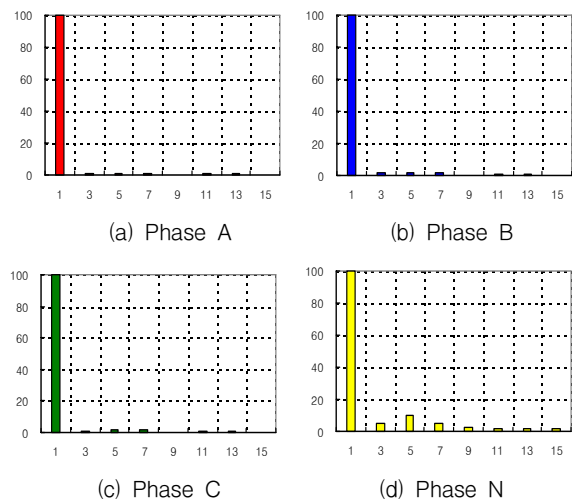


그림 5 각 상별 고조파 (A 수용가)
Fig. 5 Harmonics for each phase (A-Customer)

로가 있는 S/S에서 공급시는 3[%] 이하로 규정[4]하고 있어 본 수용가는 규정치 이내로 운용되고 있음을 알 수 있다.

한편, 고조파 전류 규제치의 판단 기준값으로 사용되는 최대부하전류 대비 고조파 전류의 함유율인 TDD도 측정 분석하였다.A사의 경우 앞에서 기술한 바와 같이 변압기 용량이 22,900/380-220[V] 1,750[kVA], Z=5%이며 Y 결선으로 단락전류는 식 (1)과 같이 계산하였으며 SCR은 식 (2), 전류고조파 TDD는 식 (3)을 이용하여 계산하였으며 수전전압 69[kV]이하의 경우 IEEE TDD 적용기준은 표 3과 같다.

$$I_{sc} = \frac{P \times 100}{\sqrt{3} \times V \times Z} \quad (1)$$

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (2)$$

$$TDD = \frac{I_{THD}}{I_{peak}} = \frac{\sqrt{3^2 + 5^2 + 7^2 + 9^2 + 11^2 + 13^2}}{I_{peak}} \quad (3)$$

여기서, I_{sc} : 단락전류, I_L : 평균 부하전류, I_{peak} : 최대 부하전류이다.

표 3 69[kV] 이하 선로에서의 TDD 기준 (A 수용가)
Table 3 Standard for TDD in line not more than 69[kV] (A-Customer)

I_{sc}/I_L	고조파 차수					TDD
	11차 이하	11-17차	17-23차	23-35차	35차 이상	
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

A사의 경우 표 4에서 보는바와 같이 각 상별 전류고조파 TDD는 0.02~0.08로 나타나 기준 20[%] 이내로 양호한 것을 알 수 있다.

한편, B사의 경우 각 상의 측정된 전압은 그림 6과 같다. 측정 데이터 분석 결과 최대 23,402.3[V], 최소 22,540.67[V], 기준전압에서 전압불평형률 3.24[%]로 부하의 특성상 다소 크게 나타났다. 전압변동이 크면 전력손실, 생산성저하, 제품의 불균일, 전기기기의 수명저하 같은 나쁜 영향을 주므로 전압, 전선의 굵기, 변압기 용량, 변압기 탭 등을 적절하게 선정하여 전압강하를 되도록 억제할 필요가 있다.

표 4 IEEE기준 전류 고조파 (A 수용가)
Table 4 IEEE standard for current harmonics (A-Customer)

상별	I_L [A]	I_{sc} [A]	SCR	I_{peak} [A]	TDD	판정
A상	13.13	53957.39	4109.56	19.47	0.02	양호
B상	13.09	53957.39	4120.80	18.83	0.02	양호
C상	13.89	53957.39	3885.03	20.71	0.08	양호

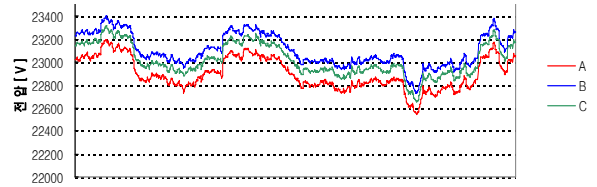


그림 6 전압 측정 결과 (B 수용가)
Fig. 6 Result of voltage measurement (B-Customer)

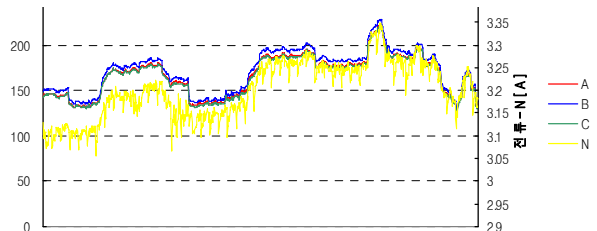


그림 7 전류 측정 결과 (B 수용가)
Fig. 7 Result of current measurement (B-Customer)

한편, 전류 측정 결과는 그림 7과 같으며, 전류 불평형율은 29.57[%]로 나타나 권장기준치 80[%] 임을 감안하면 양호하게 나타나고 있다. 한편, 역률은 88~96[%]로 평균 역률은 92.38%이며, 전기공급규정에서는 90% 이상으로 규정하고 있어 정상적으로 운용되고 있음을 알 수 있다.

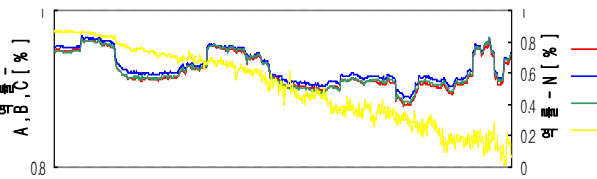


그림 8 역률 측정 결과 (B 수용가)
Fig. 8 Result of power factor measurement (B-Customer)

그러나 콘덴서의 추가 설치를 통해 역률을 개선할 수 있으며, 역률을 개선하면 변압기 설비용량의 여유도가 증가하고 배전선로의 전압강하와 변압기 및 배전선로 손실을 감소할 수 있고, 전력요금의 경감 및 고조파 유출 전류를 억제할 수 있다. 그림 8에 역률측정 결과를 나타내고 있다.

또, 측정기간 동안 유효전력은 최대 3상 7,544.44[kW], 피상전력은 최대 8,764.94[kVA], 무효전력은 최대 4,098.76[kVar]로 나타났다. 또, 종합 고조파 전압왜형률은 각 A, B, C상 최대 1.91[%], 최소 1.09[%]로 나타났으나 N상의 경우 최대 1,254.12[%], 최소 187.29[%]로 나타나 중성선에 전압고조파 왜형율은 크게 나타나고 있다.

고조파 전류왜형률은 각 A, B, C상 최대 5.02[%], 최소 3.25[%]으로 나타났으나 N상의 경우 최대 7.65[%], 최소 3.95[%]로 나타났다. 전체 전압고조파의 경우 표 5와 같이 나타났으며, 전체 전류고조파의 경우 표 6과 같이 나타나고 있다. 고조파 관리기준은 IEEE 141에서는 기수파는 3% 미만, 한국전기공급 약관에서는 지중선로가 있는 S/S에서 공급시는 3% 이하로 규정[4]하고 있어 본 설비는 적절한 것으로 판단된다.

표 5 전압 고조파(B 수용가)

Table 5 Voltage harmonics (B-Customer)

차수	1차	3차	5차	7차	9차	11차	13차	15차
A상	100	0.63	0.45	0.53	0.26	0.42	0.39	0.47
B상	100	0.52	0.45	0.58	0.29	0.37	0.41	0.45
C상	100	0.61	0.51	0.49	0.37	0.47	0.37	0.48
N상	100	29.4	46.4	32.7	32.6	106	91.9	29.5

표 6 전류 고조파(B 수용가)

Table 6 Current harmonics (B-Customer)

차수	1차	3차	5차	7차	9차	11차	13차	15차
A상	100	0.21	1.99	1.45	0.22	2.04	1.65	0.08
B상	100	0.39	2.23	1.31	0.14	2.09	1.75	0.10
C상	100	0.27	2.09	1.52	0.12	2.14	1.67	0.12
N상	100	1.35	2.73	1.49	1.11	2.03	1.90	1.28

표 7 IEEE기준 전류 고조파(B 수용가)

Table 7 IEEE standard for current harmonics (B-Customer)

상별	I_L [A]	I_{sc} [A]	SCR	I_{peak} [A]	TDD	판정
A상	166.82	1193.82	7.16	227.28	0.03	양호
B상	171.66	1193.82	6.95	233.52	0.03	양호
C상	165.52	1193.82	7.21	226.06	0.03	양호

B사의 수전용 변압기는 22,900/3,300[V], 1,400 [kVA], Z=5[%]이며 Y 결선으로 되어 있어 표 3의 TDD기준 및 식 (1)~(3)을 적용하면 표 7과 같이 0.03[%]로 나타나 전류 고조파 TDD 기준 5.0[%]이내이므로 양호한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 측정 분석한 전압불평형률 및 전류불평형률, 평균역률 등을 표 8에 나타내었다. 표 8에서 보면 사례연구대상 11개 수용가에서 전압불평형률은 3.24[%]가 가장 높았으며 0.91[%]로 거의 전압불평형률이 1[%] 미만인 수용가도 있으며 평균 1.65[%]로 전압불평형률은 양호한 것으로 분석되었다. 또 전류불평형률은 전선피복 제조수용가에서 최고 54.8[%], 전자부품 제조 수용가에서 최소 4.55[%]로 전류불평형률은 평균 22.85[%]로 나타나고 있다. 내선규정의 불평형률 허용기준을 고려할 때 3상의 경우 30[%] 이하이기 때문에 사례연구 대상 11개 수용가 중 C, D, K 수용가는 급격한 무효 전력을 요구할 수 있으며 이런 경우 전압플리커로 이어져 부하의 오동작 및 수명단축의 원인이 될 수 있고 또한 불평형에 의한 역상분 전류가 발생하여 송전선로 및 변압기 손실증가 및 지락 계전기의 오동작 원인이 될 수도 있어 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

평균 역률의 경우 D 수용가가 전기공급 규정 90[%]에 미달되는 87[%]로 유지되고 있어 설비용량의 여유도가 증가하고 배전선로의 전압강하와 변압기 및 배전선로 손실을 감소, 전력요금의 경감 및 고조파 유출 전류를 억제할 위해 조상설비의 설치 운용이 필요한 것으로 사료된다.

또, TDD의 경우 모두 기준에 만족하는 것으로 분석되었으며, 표 8에서 보는바와 같이 E, F, G 수용가가 전압, 전류 변동률이 적으며 역률도 97[%]이상으로 운전되고 있어 전력

공급에 따른 품질 또한 양호한 것으로 사료되며 이는 수용가의 특성에 기인한 것으로 판단된다.

표 8 수용가별 전력품질 분석 결과

Table 8 Analysis result of power quality for each customer

수용가	측정점	결선	형태	전압 불평형률	전류 불평형률	평균역률	TDD
A	22.9kV/280V 1,750kVA, 1차측	Y	태양전지 제조	1.89	29.5	98.1	0.08
B	22.9kV/3,300V 1,400kVA, 1차측	Y	볼트너트 제조	3.24	29.5	92.3	0.03
C	22.9kV/220V 350kVA, 2차측	Y	상가 (상업용)	1.94	47.9	95.3	1.03
D	22.9kV/440V, 2000kVA, 2차측	△	전선피복 원료제조	2.17	54.8	87.0	-
E	22.9/6.6kV 20MVA, 1차측	Y	전자부품 제조	1.22	5.94	97.6	0.03
F	22.9/6.6kV 20MVA, 1차측	Y	전자부품 제조	1.19	6.22	97.3	0.21
G	22.9/6.6kV 10MVA, 1차측	Y	전자부품 제조	1.13	4.55	97.4	0.10
H	22.9/3.3kV 4000kVA, 2차측	△	폐수처리	2.29	10.3	91.3	-
I	22.9kV/380V 5800kVA, 1차측	Y	다이아몬드 제조	0.91	4.89	92.8	0.11
J	22.9kV/380V 13950kVA, 1차측	Y	다이아몬드 제조	1.02	10.4	93.1	0.21
K	22.9kV/220V 300kVA, 1차측	△	가스제조	1.20	47.4	94.4	-

표 9에 수용가별 종합고조파 왜형을 분석결과를 나타내었다. D사의 경우 전압 THD는 3[%] 이상으로 나타나고 있고 전류 THD의 경우에도 약 50[%] 이상으로 나타나고 있어 고조파 저감대책이 마련되어야 할 것으로 사료된다. 또 A 수용가의 경우 전압THD가 N상에 최대 18,358[%]가 순간 나타나고 있고 E수용가의 경우에도 N상에 2,473[%]가 순간 나타나고 있어 이에 대한 정밀 분석 및 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 이 외에 사례연구 대상 다른 수용가는 상대적으로 고조파 관리가 규정치 이내로 잘 관리되고 있음을 알 수 있었다.

표 9 수용가별 종합고조파 왜형을 분석결과

Table 9 Result of THD analysis for each customer

수용가	전압 THD[%]					전류 THD[%]				
	A상	B상	C상	N_P	N_L	A	B	C	N_P	N_L
A	1.65	1.65	1.77	18,358	48.81	3.13	3.59	3.56	18.97	5.60
B	2.71	1.70	1.91	1254.1	187.29	4.66	4.88	5.02	7.65	3.95
C	1.84	1.74	1.70	562.1	230.8	19.3	20.9	23.58	3655.77	43.98
D	3.25	3.21	3.49	-	-	54.9	49.9	57.99	-	-
E	0.72	0.72	0.67	2473.1	628.6	1.82	1.82	1.87	2.91	2.70
F	0.70	0.67	0.64	1603.0	536.0	6.89	7.15	7.58	37.96	21.72
G	0.64	0.60	0.56	132.90	113.15	4.07	4.25	4.47	11.81	10.52
H	0.87	0.79	0.74	-	-	1.70	1.85	1.60	-	-
I	1.00	1.11	0.91	237.1	125.2	2.80	2.98	2.49	14.23	11.24
J	0.96	1.22	0.81	247.8	143.8	4.52	4.54	4.56	28.33	23.50
K	1.22	1.35	1.30	-	-	6.50	7.10	6.07	-	-

3. 결 론

본 연구에서는 특고압 수용가에 대한 전력품질 유지관리 실태를 측정하기 위해 11개의 수용가를 대상으로 전력품질 실태를 측정하고 그 결과를 분석하였다. 분석 결과 상업용 부하로 구성된 상가건물의 경우 중성선에는 고조파 전류가 크게 흐름을 알 수 있으며, 여타 수전설비에서는 각 사별로 고조파 저감대책에 따라 고조파 전류가 규정치 이내로 유지 관리되고 있음을 알 수 있었다. 또한 일부 수용가는 역률을 규정치 이하로 유지하고 있어 적절한 조상설비의 설치 운영이 필요한 것으로 분석되었으며, TDD분석결과 11개 수용가 모두 걱정된 것으로 분석되었다. 전압불평형률 및 전류불평형률은 규정치 이내로 잘 운용되고 있으나 설비의 특성상 다소 크게 나타나는 수용가도 있어 정밀진단이 필요한 것으로 사료된다.

향후, 본 연구에서 분석된 결과를 토대로 계통의 고조파 저감은 물론 전력품질 향상을 위한 대책수립은 물론 이를 근거로 한 계통해석시 필요로 하는 부하모델링에 있어서도 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance, "Load representation for dynamic performance analysis", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 8, No. 2, pp. 472-482, May 1993
- [2] IEEE Task Force Report, "Load Representation for Dynamic Performance Analysis", Paper 92WM126-3 PWRD, presented at the IEEE PES Winter Meeting, New York, January 26-30, 1992
- [3] Yoshihiko KATAOKA, "State variable description of dynamic load models in electrical power system analysis", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 149-157, Feb. 1995
- [4] 이상영, "전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위논문, 2006
- [5] 전대근, "배전계통에서 위상조정변압기를 이용한 고조파 저감에 관한 연구", 홍익대학교 석사학위논문, 2003
- [6] 한국전기안전공사, "전력계통의 고조파 장해분석", 1996
- [7] J. Arrillaga, D. A. Bradley, Power System Harmonics, John Willy & Sons, 1985
- [8] W. S. Wood, F. P. Flynn and A. Poray, "Effects of Supply Voltage Waveform Distortion on Motor Performance", Int. Conf. on Source and Effect of Power System Disturbance, London, England, pp. 22-24, April 1974,
- [9] R. Fisher, R. Hoft, "Three-Phase Line Conditioner for Harmonics Compensation and Power Factor Correction", IEEE IAS 87, 1987
- [10] 박한중, 강창섭, "고조파억제용 수동필터의 현장 적용화 연구", 한국전기안전공사 전기안전시험연구원, 연구보고서, 1999. 12

- [11] 高調波對策專門委員會, "電力系統における高調波とその對策", 電氣共同研究會, 第46卷 第2號, 1990. 6

저 자 소 개



지 평 식 (池平植)

1964년 3월 5일생. 1989년 2월 한밭대학교 전기공학과 졸, 1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사), 1998년 동대학원 전기공학과 박사과정 졸업(박사), 현재 국립 한국교통대학교 전기공학과 교수

Tel : 043-841-5152

E-mail : psji@ut.ac.kr



문 종 필 (文鍾必)

1977년 5월 27일생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2009년~현재 한국교통대학교 전기공학과 조교수

Tel : 043-841-5146

E-mail : moon@ut.ac.kr