

인천국제공항 여객터미널의 고조파 측정 및 분석

(Harmonic Measurement and Analysis of Incheon International Airport)

김용하* · 이 범** · 최상규 · 이명민 · 우성민

(Yong-Ha Kim · Bum Lee · Sang-Kyu Choi · Myeng-Min Lee · Sung-Min Woo)

요 약

본 논문은 허브공항으로의 기능을 담당하고 있는 인천국제공항 여객터미널의 전력품질을 측정하고 분석하여 이에 대한 대책에 관하여 방법을 제시하였다. 각 Load Center는 인천국제공항 여객터미널을 운영하는 수용가의 PCC 점이라 할 수 있다. 그러므로 Load Center의 전력품질을 안전하고 안정적으로 유지하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이를 위해 각각의 위치에 있는 부하 측정지점에서 고조파를 측정·분석하여 대책수립을 위한 Filter의 종류를 제시하였다.

Abstract

Recently, harmonic problem affect a great effect on power system. Especially, Incheon International Airport is a very important place in view of safety and reliability of power.

In this paper we measure the harmonics at incheon international airport, especially passenger terminal. With the results we analysis the results and propose the guideline of harmonic reduction method. To do this we compare various kinds of specification for harmonic restrictions.

Key Words : Power quality, Harmonics, IEEE-Standard, THD, TDD

1. 서 론

최근 전력전자기술의 발전에 따라 Power Electronics를 이용한 기술이 다양화 되고, 그 응용

범위가 확대되고 있는 추세이며 이러한 전력변화 기술은 우리 사회가 발전해 가는데 필요한 기술로 자리매김 하고 있다. 다만 이러한 기술의 응용에 있어 중요한 문제점의 하나로는 필연적, 파생적으로 나타날 수밖에 없는 고조파(광의의 의미로는 전력품질)에 대한 문제점이 지적되고 있다[1]. 고조파는 발생 기기가 있는 수용가내의 장애를 발생시키며, 동일계통에 접속된 다른 수용가에도 악영향을 끼친다. 이 때문에 전기기기로부터 전력계통으로 유출되는 고조파전류를 억제하기 위한 고조파 관리기준을 설정하고 있다. 이와 아울러 고조파를 저감시키기 위한

*주 저 자 : 인천대학교 전기공학과 교수
Tel : 032-770-8434, Fax : 032-766-8434

E-mail : yhkim@incheon.ac.kr

**교신저자 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수
Tel : 061-659-3313, Fax : 061-659-3313

E-mail : buhmllee@yosu.ac.kr

접수일자 : 2004년 8월 31일

1차심사 : 2004년 9월 2일

2차심사 : 2004년 10월 7일

심사완료 : 2004년 10월 19일

인천국제공항 여객터미널의 고조파 측정 및 분석

대책으로 고조파 발생원의 발생량을 저감시키는 방법, 개별적으로 고조파를 다량 발생시키는 기기를 대상으로 하여 저감장치를 설치하는 방법, PCC (Point of Common Coupling)에 고조파저감장치를 설치하는 방법에 대한 연구가 진행되어 왔다.

공항계통에 고조파가 발생하게 되면 공항내의 인근 기기에 장애를 유발할 뿐만 아니라, 전력공급설비에도 유출되어 동일계통에 접속된 다른 공항설비에 장애를 유발하게 되며, 앞으로 산업설비가 첨단화되어 전력전자기기들의 사용이 더불어 증가함에 따라 고조파의 영향은 보다 심각해 질 것으로 전망되고 있다.

그러므로 본 논문에서는 인천공항의 여객터미널을 대상으로 고조파를 실측하였으며, 자료를 분석하여 고조파해석을 수행하였고, 고조파 저감 대책 수립을 위한 Filter의 종류를 제시하였다.

2. 진단계통 및 측정방법

여객터미널 내 10개 Load센터에 설치되어 있는 전기설비 전력수전계통(책임 분계점 22.9kV)을 측정 대상으로 하였다. 또, 측정 기준점은 TR 2차측에 설치된 Main ACB 기준(이하 Level 1로 함)의 30개 소(A10, A20, A30, ..., M10, M20, M30)로 하였으며, 측정기준점의 고조파가 기준을 초과할 경우 분기회로의 고조파측정을 실시하였다. 또 측정기준점의 고조파가 기준을 초과하지 않을 경우 측정기준점의 고조파 측정치만을 기록하였다. 그림 1과 그림 2는 인천국제공항의 전력계통 구성을 나타낸 것이다[2].

측정지점의 진단방법으로는 일괄진단 하였으며, 공항운영에 지장이 없도록 무정전 상태에서 측정하였다. 측정·분석한 실험장치로는 미국의 AMETEK사의 ACE4000으로 측정하였다. ACE4000은 전력품질 계측장비로서 고조파측정을 비롯하여 전압, 전류, 전력, 역률, 주파수변동, 에너지, sag, swell, flicker 또는 상차각 등의 전력품질과 관련된 사항들을 실시간으로 측정할 뿐 아니라 측정데이터를 저장하여 다양한 분석을 수행 할 수 있는 기능을 내장하고 있다. 그림 3과 그림 4는 ACE4000을 이용한 측정모습을 보이고 있다.

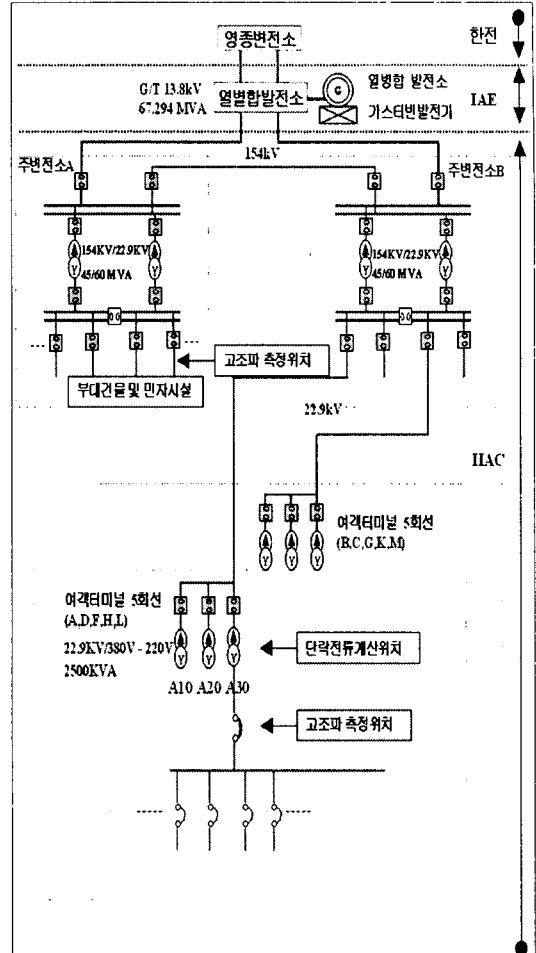


그림 1. 인천국제공항의 전력 구성도
Fig. 1. A single-line diagram of Incheon International airport

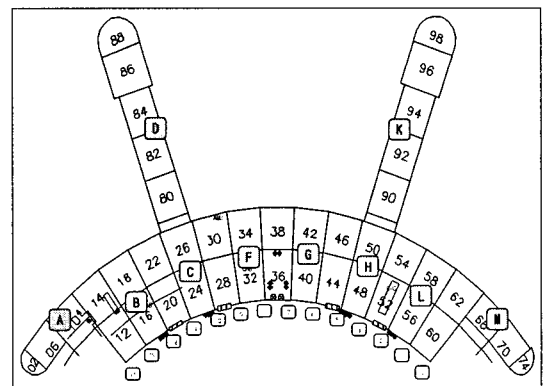


그림 2. 여객터미널 Load Center 배치도
Fig. 2. Location of traveler-terminal Load Center

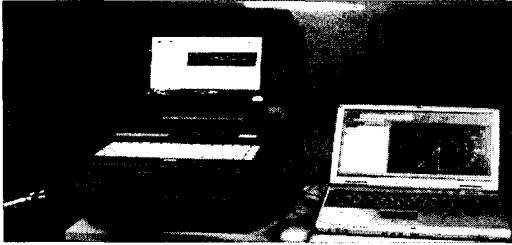


그림 3. ACE4000의 측정모습
Fig. 3. ACE4000



그림 4. 고조파의 측정
Fig. 4. Measurement of harmonics

3. 고조파 규격에 의한 적용기준 검토

먼저 고조파의 제한값의 적용을 위하여 한국전력 공사의 고조파 허용기준 및 IEEE Std 519-1992와 IEC 61000-3-6의 각각의 규정을 보면 표 1과 같이 각 규정 마다 약간의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 1. 각 규정의 고조파 제한 값
Table 1. Harmonic-limit regulations

구분	전압[%]					전류[%]					
	T	3	5	7	9	T	T	3	5	7	9
고조파 차수별 한유율	H	조	조	조	조	H	D	조	조	조	조
고조파 제한 규정	D	파	파	파	파	D	D	파	파	파	파
한전	3										
IEEE 519 (단락비 20미만)	5	3	3	3	3	5	4	4	4	4	4
IEC 61000-3-6	8	5	6	5	1.5						

본 논문에서는 국제공항이라는 계통의 특수성을 고려하여 한국전력공사나 IEC 규격보다 규제치 제약이 엄격한(단락비20미만의 경우) IEEE Std-519 규격을 적용하여 규제치 위반 여부를 판정하고 이를 만족시킬 수 있는 저감대책을 강구하는 것으로 하였

다[3][4][5].

4. 측정결과 및 규제치의 검토

공항시설의 고조파 분석을 위하여 먼저 부하전류와 단락전류를 이용하여 단락비를 구하여야 한다. 부하전류는 변압기정격전류로 계산하여야 하나 실 부하는 대개 60~80[%]를 취하게 된다. 그러므로 다음과 같이 변압기 정격전류의 80[%] 부하전류를 적용하여 그림 1의 단락전류계산지점에서 단락전류를 다음과 같이 계산하였다.

$$I_L = \frac{[KVA] \times 10^3 \times 0.8}{[V] \times \sqrt{3}} = \frac{2500 \times 10^3 \times 0.8}{380 \times \sqrt{3}}$$

$$= 3038.6[A] \tag{1}$$

단 I_L : 부하전류

위와 같이 계산하여 부하전류를 3038.6[A]로 구하였다.

또, 단락전류는 다음과 같이 구할 수 있다. 이때 [%]Z값은 인천국제공항에서 제시한 값인 7을 사용하도록 하였다.

$$I_{sc} = \frac{[KVA] \times 10^3 \times 100}{\sqrt{3} \times [V] \times \%Z} = \frac{2500 \times 10^3 \times 100}{\sqrt{3} \times 380 \times 7}$$

$$= 54262[A] \tag{2}$$

단 I_{sc} : 단락전류, [%]Z : 변압기 [%]임피던스

이와 같이 단락전류를 54262[A]로 계산하였다[6].

그러므로 단락비는 17.85이 되므로 IEEE-519규정에 따라 단락비가 20미만인 경우에 5[%]를 적용하며 측정된 결과는 표 2와 같다. 또한, 부하의 운전조건에 따른 고조파 발생량을 표현하기 위하여 TDD(Total Demand Distortion) 를 사용한다. 이는 최대부하전류의 퍼센트로서 전체 수용 왜형파를 나타내며 다음과 같이 나타낸다.

$$I_{TDD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_L} \tag{3}$$

인천국제공항 여객터미널의 고조파 측정 및 분석

여기서 I_L 은 기본파 주파수에서의 최대수용부하 전류이다. 반면에 THD(Total Harmonic Distortion)는 기본파 실효치에 대한 고조파 실효치의 합으로 나타낸다[7].

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1} \quad (4)$$

기본파를 기준으로 전압과 전류의 고조파 함유율은 표 2와 같다.

표 2. 측정지점의 고조파 왜형률
Table 2. Harmonic distortion

측정 지점	전압 [V] (정격전압 380)	기본파 전류[A] I_f $I_L = 3038.6$	왜형률	
			전압 THD [5%]	전류TDD [5%]
A10	379.2	319.1	2.50	3.21
A20	376.2	484.4	3.21	5.67
A30	378.5	315.0	2.79	2.80
B10	384.7	529.7	2.30	3.79
B20	383.8	857.6	2.57	4.20
B30	387.7	495.6	2.15	4.83
C10	388.6	951.8	3.45	6.41
C20	382.9	587.9	2.39	2.10
C30	383.7	702.8	3.10	6.49
D10	377.4	487.2	2.80	3.24
D20	376.6	434.6	3.17	4.38
D30	376.8	707.4	3.42	5.41
F10	381.9	979.5	4.07	5.34
F20	383.8	1089.6	3.95	4.37
F30	390.7	596.8	3.89	4.23
G10	391.6	958.3	3.60	4.87
G20	385.9	966.1	3.70	3.72
G30	388.9	740.0	3.47	3.60
H10	385.4	918.0	4.44	7.35
H20	384.1	811.6	3.68	3.22
H30	387.1	758.3	4.46	6.03
K10	381.7	786.1	3.13	4.84
K20	384.9	549.5	2.91	3.78
K30	383.5	892.5	3.24	6.51
L10	382.8	810.9	4.12	6.22
L20	384.3	540.4	3.28	3.52
L30	382.2	594.6	3.40	5.58
M10	385.6	672.7	2.68	3.53
M20	386.6	210.6	2.86	3.91
M30	388.2	443.0	2.53	3.19

단 [숫자%]는 IEEE Standard-519 규제치

표 3. 개별 고조파 함유율
Table 3. Harmonic distortion

측정 지점	고조파 함유율(기본파 기준)							
	전압[3%]				전류[4%]			
	3조파	5조파	7조파	9조파	3조파	5조파	7조파	9조파
A10	1.31	1.71	1.30	0.80	27.67	7.81	10.40	6.45
A20	0.70	2.56	1.25	0.55	4.64	30.29	18.02	3.20
A30	0.90	1.96	1.53	0.88	19.03	15.18	11.79	7.60
B10	1.00	1.41	1.60	0.51	17.75	4.88	11.58	3.64
B20	0.72	2.14	1.13	0.37	5.02	13.28	4.45	1.60
B30	1.30	1.08	1.92	0.63	17.80	17.80	15.56	3.96
C10	1.55	2.95	1.37	0.52	15.76	11.24	6.60	1.40
C20	0.59	1.90	1.09	0.41	3.24	8.99	5.15	1.91
C30	1.28	1.70	2.20	0.54	22.68	4.77	15.79	2.16
D10	0.76	2.20	1.28	0.57	9.69	15.59	8.51	2.70
D20	0.95	2.68	1.16	0.49	8.16	27.13	11.57	1.97
D30	1.32	2.75	1.55	0.74	14.86	15.51	8.88	5.23
F10	0.97	3.03	2.73	0.47	8.05	10.91	9.53	1.26
F20	0.81	3.18	2.36	0.65	5.95	9.96	3.76	2.09
F30	0.82	2.79	2.83	0.61	11.32	12.58	13.32	3.17
G10	1.07	2.63	2.45	0.50	7.98	10.90	7.46	1.25
G20	0.90	2.52	2.54	0.70	6.72	7.69	5.73	1.69
G30	0.96	2.57	2.43	0.54	9.02	7.93	8.62	2.80
H10	1.64	3.57	2.41	0.54	13.39	16.45	11.90	1.74
H20	0.92	3.14	1.94	0.50	6.65	9.41	3.53	1.34
H30	1.53	2.94	3.49	0.71	15.30	7.41	17.16	2.90
K10	1.03	2.52	1.46	0.65	5.86	15.57	8.56	2.68
K20	1.05	2.56	0.93	0.45	6.74	17.57	9.15	1.84
K30	1.69	2.59	1.50	0.76	17.44	10.62	8.64	5.11
L10	1.69	2.83	2.88	0.48	13.09	7.64	17.72	1.92
L20	0.87	2.80	1.48	0.43	6.49	16.30	9.19	2.59
L30	1.43	2.20	2.74	0.58	17.00	10.39	20.40	2.46
M10	1.08	2.09	1.27	0.51	12.92	7.78	5.11	1.92
M20	0.69	2.46	0.93	0.44	9.32	48.05	28.16	3.94
M30	1.08	1.70	1.66	0.56	14.38	6.59	15.08	4.39

단 [숫자%]는 IEEE Standard-519 규제치

그림 5는 각 측정 지점에서의 전압THD 함유율을 IEEE기준에 적용하였을 때를 나타내고 있으며, 전압과는 달리 전류는 IEEE기준에 크게 위배되는 것을 알 수 있다. 그림 6은 각 측정 지점에서의 전류 TDD를 나타내고 있다.

표 3에서 알 수 있듯이 전압THD와 전류TDD중에서 전류의 고조파 함유율이 높음을 알 수 있다.

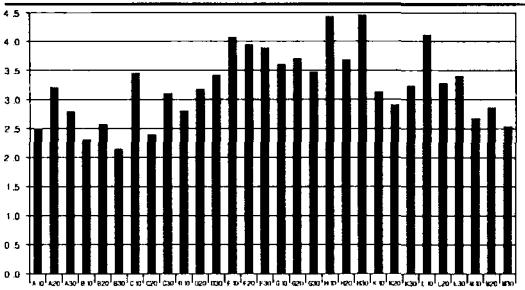


그림 5. 전압 THD ■ : IEEE 기준값
Fig. 5. IEEE limited value for voltage THD

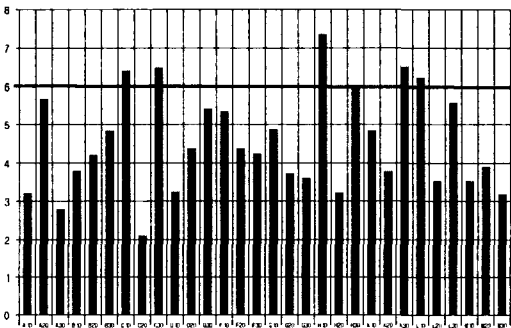
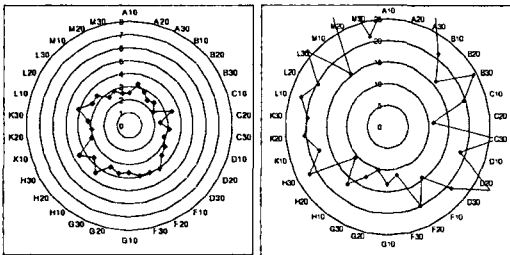


그림 6. 전류TDD ■ : IEEE 기준값
Fig. 6. IEEE limited value for current TDD

각 고조파의 차수별 함유율을 그림 7에서보면 전압은 전 구간에서 제한치를 만족함을 알 수 있다.



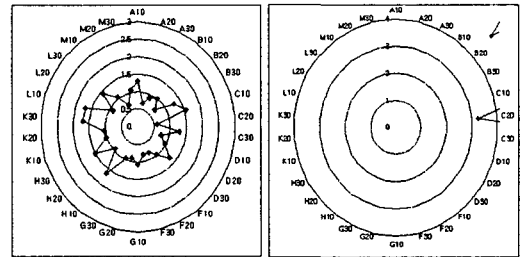
(a)전압THD 5(%)적용 (b)전류TDD 5(%)적용

그림 7. Level 1의 전압THD와 전류TDD
Fig. 7. Voltage THD and Current TDD from the level 1

그러나 제한치를 크게 벗어나는 전류TDD값으로 고조파 전류에 의한 문제발생을 예측할 수 있다.

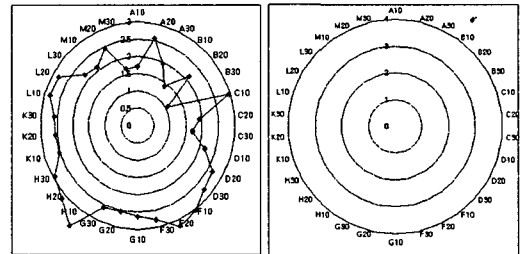
그림 8에서부터 그림 11은 전압THD와 전류TDD

의 각 차수별 고조파 측정치를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 전압과 전류의 각 개별고조파 기준치와 측정치를 나타내고 있다. 개별고조파의 경우 전압의 기준치는 3[%]를 적용하며, 전류의 경우는 4[%]를 적용하게 된다. 전압의 경우 모든 측정지점에서 3[%]를 대부분 만족시키나, 전류의 경우는 거의 모든 측정지점에서 기준치를 위배하고 있음을 알 수 있다.



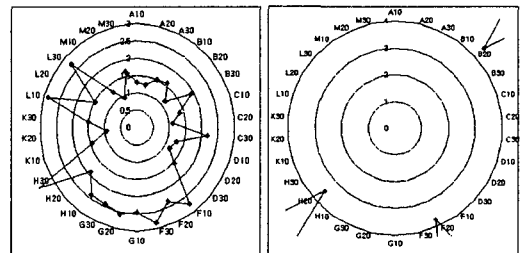
(a) 3조파 전압 3(%)적용 (b) 3조파 전류 4(%)적용

그림 8. Level 1의 3조파 전압과 전류
Fig. 8. 3th Harmonic limit



(a) 5조파 전압 3(%)적용 (b) 5조파 전류 4(%)적용

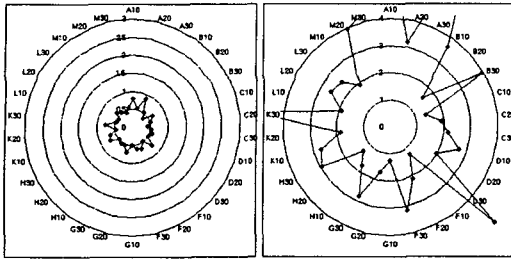
그림 9. Level 1의 5조파 전압과 전류
Fig. 9. 5th Harmonic limit



(a) 7조파 전압 3(%)적용 (b) 7조파 전류 4(%)적용

그림 10. Level 1의 7조파 전압과 전류
Fig. 10. 7th Harmonic limit

인천국제공항 여객터미널의 고조파 측정 및 분석



(a) 9조파 전압 3(%)적용 (b) 9조파 전류 4(%)적용

그림 11. Level 1의 9조파 전압과 전류
Fig. 11. 9th Harmonic limit

위의 측정값과 제한치를 비교하여 A20, C10, C30, D30, F10, H10, H30, K30, L10, L30에서 고조파로 인한 문제가 발생할 수 있음을 알 수 있다. 또, Light, Escalator, MCC(Motor Control Center), GPS (Global Position System), BHS(Baggage Handling System), Elevator, UPS, X-ray와 같은 장치들에서 고조파를 다량으로 발생시키고 있었으며, 이러한 장비들과 연결된 상·하위 계통에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 고조파에 대한 대책이 강구되어야 할 것으로 판단된다. 이들 장비에 의해서 발생하는 고조파 전압·전류 왜형률은 표 4와 같다[8][9].

표 4. 고조파 발생기기의 왜형률
Table 4. Harmonic distortion of Harmonic source

고조파 발생기기	왜형률	
	전압THD[%]	전류THD[%]
Light	3.018	28.95
Escalator	2.668	53.30
MCC	2.778	59.49
GPS	3.053	13.00
BHS	2.151	98.13
Elevator	2.663	133.7
UPS	2.913	26.21
X-ray	3.044	262.8

5. 결 론

위의 결과로서 세계 속에서 날로 발전하며 허브공항으로의 기능을 담당하고 있는 인천공항의 안정적

이고 안전한 운영을 위하여 고조파에 대한 대책이 강구되어야 함을 알 수 있다.

이를 위해 영상분 고조파가 다량 함유된 개소(C10, C30, H30, K30, L10)는 수동형 영상분고조파 필터(Zero Sequence Filter)를 시설하여 Triplen Harmonic을 제거해야 할 것으로 판단되며, 또 제5차, 제7차 고조파가 다량으로 함유된 개소(A20, D30, F10, H10, L30)는 3상4선 방식의 정상, 역상, 영상 고조파 제어가 가능한 능동형 필터(Active Power Filter)를 시설해야 할 것으로 판단된다.

이와 같이 각각의 부하특성에 맞는 필터(계통과 공진이 없는 이상적인 필터)를 설치하여 고조파를 저감시킬 수 있다. 향후 기기의 설치 시 전류 TDD가 규정을 만족시키는지를 함께 살펴야 하며, 전력설비에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 충분히 검토하고 실행해야 할 것으로 판단된다[10].

"본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아전자물류연구센터의 지원에 의한 것임"

References

- (1) Yongha Kim, Jongkook Kim, "A Study on harmonic analysis and reduction of power system", University of Incheon, 2000, 06.
- (2) Yongha Kim, Joonhee Yeon, "Harmonic analysis considering Bus harmonic voltage constraints at IIA passenger terminal", University of Incheon, 2003, 06.
- (3) IEEE Std 519-1992, "Recommended Practices & Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems".
- (4) International Standard IEC 61000-3-6, 2000.
- (5) International Standard IEC 61000-3-4, 2000.
- (6) 김정철, "現場實務를 위한 電氣技術", 技多利, 2001.
- (7) Jonggyeum Kim, Eunwoong Lee, "Analysis on the Harmonics Characteristics Due to Increase & Decrease of Nonlinear Load" KIEE Vol52P No3 pp100~106 2003. 09.
- (8) Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power System Quality" McGraw-Hill, 1996.
- (9) Wildi, Theodore, "Electrical machines, drives, and power system", Prentice Hall, 2002.
- (10) C. Sankaran, "Power Quality", CRC PRESS, 2002.

◇ 저자소개 ◇

김용하 (金龍河)

1959년 5월 16일생. 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인천대학교 전기공학과 교수.

Tel : (032) 770-8434

E-mail : yhkim@incheon.ac.kr

이 범 (李 范)

1959년 10월 28일생. 1981년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1989년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 여수대학교 전기 및 반도체 공학과 부교수.

Tel : (061) 659-3313

E-mail : buhmlee@yosu.ac.kr

최상규 (崔祥圭)

1960년 12월 22일생. 1983년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1986년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 안양과학대학 전기제어과 부교수.

Tel : (031) 441-1326

Email : cskm@aytc.anyang-c.ac.kr

이명민 (李明珉)

1967년 10월 5일생. 2002년 한국방송통신대학 경제학과 졸업. 2002년~현재 인천대학교 산업대학원 석사과정. 현재 (주)KT 근무.

Tel : 010-7337-5222

Email : chairman@kt.co.kr

우성민 (禹成珉)

1980년 11월 1일생. 2004년 인천전문대학교 전기공학과 졸업. 2004년 학점은행제 전기공학과 졸업. 2004년~현재 인천대학교 대학원 석사과정.

Tel : (032) 770-4323

E-mail : ywoosm@hanmail.net