Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 22, No.12, pp. 110~114 December 2008 논문 22-12-14

# 고압 수용가의 고조파 방출 한계 평가

## (Assessment of Harmonic Emission Limits for Customer at HV System)

왕용필* · 김세동 · 전영수 · 주석민
(Yong-Peel Wang · Se-Dong Kim · Young-Soo Jeon · Seok-Min Joo)

## 요 약

현재 국외에서는 고조파 제어 및 유지를 위해 관리기준이 제정되어 적용되고 있는 실정이나 국내에서는 적당한 기준 및 적용절차가 없어 제대로 고조파를 관리하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 국내 송전계통의 특성에 맞으면서 국제 기준의 주요 목적을 반영할 수 있는 고조파 관리기준을 제정할 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 논문에서는 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 고압 수용가의 고조파 방출 한계를 평가하는 소프트웨어를 개발하였다.

## Abstract

In recent years, the standard for harmonics has established and applied in many countries. However a harmonic management has not performed for the absence of standard and procedure in Korea. For this reason, the standard establishment for harmonic based on the main purpose of international harmonic standards and property of domestic transmission system is required. This paper describes the software of assessment of harmonic emission limit for customer at HV System using Microsoft Excel.

Key Words : Harmonic Emission Limit, Customer at HV System, Assessment Software

## 1. 서 론

비선형 부하의 급증으로 고조파로 인한 문제가 점차적으로 커지고 있으나 국내에서는 고조파 관리 기준 및 적용절차의 미비로 제대로 된 고조파 관리가 이루어지지 못하고 있다. 그러나 국외의 경우 전압 고조파의 제한치는 전력회사가 관리하고 전류 고조파 제한치를 이용하여 수용가에 발생하는 고조파 유출량을 관리하고 있다[1-5].

IEEE Std. 519-1992에서는 전압 고조파의 경우 종합 왜형률(Total Harmonic Distortion : THD) 및 차수별 제한과 전류 고조파의 차수별 제한을 하고 있다. 또한 부하 연결점의 단락용량과 부하전류를 기준으로 수용가의 고조파 전류를 관리하고 있다[1]. IEC 61000-3-6의 경우 계통 전체에서 유지해야 되는 고조파 수준과 단락용량, 부하용량 및 고조파 영향계수 등을 적용하여 계산과정은 복잡하지만 보다 정확한 고조파 관리가 가능하다[2].

따라서 국내 송전계통에 연계되어 있는 고압수용가에서 계통으로 유출할 수 있는 고조파 크기를 산

* 주저자 : 동아대학교 전기공학과 초빙교수
Tel : 051-200-6944, Fax : 051-200-7743
E-mail : ypwang@daunet.donga.ac.kr
접수일자 : 2008년 9월 8일
1차심사 : 2008년 9월 22일
심사완료 : 2008년 10월 13일

정하는 프로그램이 필요하다. 국외에서는 IEC 61000-3-6 고조파 관리 기분을 바탕으로 고압 수용가의 고조파 허용치 산정 알고리즘이 개발된 상태이다. 그러나 국외 송전계통의 공칭 전압 기준 및 임피던스 분포가 국내 송전계통과 일치하지 않기 때문에 이 알고리즘을 국내 송전계통에 바로 적용할 수 없다. 따라서 이 알고리즘을 바탕으로 국내 송전계통 실정에 맞는 알고리즘으로 보완하고, 마이크로 소프트 엑셀 프로그램을 이용하여 고압 수용가 고조파 허용치 산정 프로그램을 개발하고자 한다[5-6]. 또한 실 고압수용가를 선택하여 고조파 분포를 측정하고, 개발한 프로그램을 이용하여 고조파 방출 한계를 평가하였다.

## 2. 국내 송전계통 양립성 및 계획레벨 선정

### 2.1 양립성 레벨 선정

국내 송전계통 고조파 양립성 레벨을 선정하기 위하여 IEC 61000-3-6을 토대로 국내 송전계통 전압 레벨을 저압(LV), 중압(MV), 및 고압(HV)으로 선정하고[2], 저압, 중압, 고압계통 임피던스 분포를 $K_{nLV}$, $K_{nMV}$ 및 $K_{nHV}$로 구분하여 표 1과 같이 요약하였다.

**표 1. 국내 송전계통 전압별 임피던스 분포**
**Table 1. Impedance distribution at transmission system voltage**

| $K_{nLV}$ (Vn≤22.9[kV]) | $K_{nMV}$ (22.9[kV]<Vn≤154[kV]) | $K_{nHV}$ (154[kV]<Vn≤345[kV]) |
|---|---|---|
| 2.3 | 11.0 | |
| 4.0 | 11.5 | 10 |
| 4.5 | 14.5 | |
| 3.5 | 12.3 | 10.0 |
| 13[%] | 48[%] | 39[%] |

허용오차 : ± 10[%]

※ $K_{nLV} + K_{nMV} + K_{nHV} = 1$

국내 송전계통 전압별 임피던스를 이용하여 국제 고조파 관리 기준인 저압(LV)계통 양립성 레벨인 8[%] 로 정하고[2], PSCAD/EMTDC을 사용하여 국내 송전계통 전압별 고조파 전달 영향을 조사하였다.

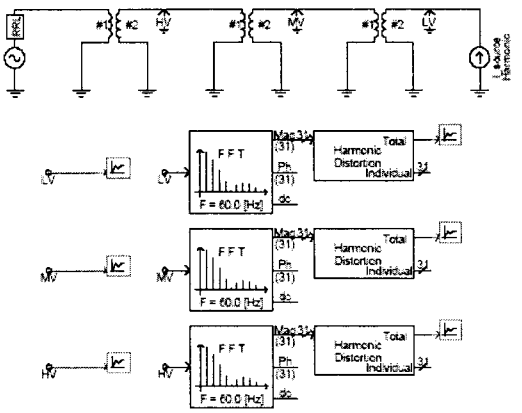


**그림 1. 양립성 레벨 선정 시뮬레이션**
**Fig. 1. Selection for compatibility level simulation**

그림 1, 2와 같이 시뮬레이션 결과 중압(MV)/고압(HV) 양립성을 레벨이 6.0/2.3[%]로 나타났다. 따라서 향후 증가할 수 있는 여유분을 고려하여 국내 고압계통(HV) 양립성 레벨을 3[%]로 선정할 수 있다.

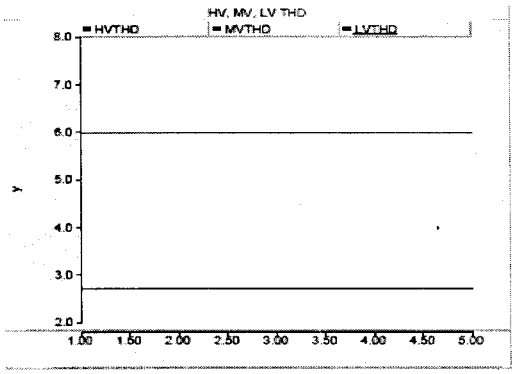


**그림 2. 양립성 레벨 시뮬레이션 결과**
**Fig. 2. Simulation result of compatibility level**

### 2.2 계획성 레벨 선정

국내 송전계통 고조파 양립성 레벨을 기초로 하여 고조파 계획 레벨을 선정한다. 표 2는 IEC 61000-3-6의 양립성 및 계획레벨을 나타내었다.

표 2. IEC 61000-3-6 양립성 및 계획 레벨
Table 2. Compatibility levels and planning level of IEC 61000-3-6

| 홀수 고조파 (비 3배수) | | | 홀수 고조파 (3배수) | | | 짝수 고조파 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 차수 | 양립성 레벨 | 계획 레벨 | 차수 | 양립성 레벨 | 계획 레벨 | 차수 | 양립성 레벨 | 계획 레벨 |
| 5 | 6.0 | 5.0 | 3 | 5.0 | 4.0 | 2 | 2.0 | 1.6 |
| 7 | 5.0 | 4.0 | 9 | 1.5 | 1.2 | 4 | 1.0 | 1.0 |
| 11 | 3.5 | 3.0 | 15 | 0.3 | 0.3 | 6 | 0.5 | 0.5 |
| 13 | 3.0 | 2.5 | 21 | 0.2 | 0.2 | 8 | 0.5 | 0.4 |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 25 | 1.5 | 1.5 | | | | | | |
| THD(양립성, 계획) : (8.0, 6.5%) | | | | | | | | |

| Odd harmonics non multiple of 3 | | Odd harmonic multiple of 3 | | Even harmonics | |
|---|---|---|---|---|---|
| Order h | Harmonic voltage % | Order h | Harmonic voltage % | Order h | Harmonic voltage % |
| 5 | 2.3 | 3 | 1.9 | 2 | 0.8 |
| 7 | 1.9 | 9 | 0.6 | 4 | 0.4 |
| 11 | 1.3 | 15 | 0.2 | 6 | 0.2 |
| 13 | 1.1 | 21 | 0.1 | 8 | 0.2 |
| 17 | 0.8 | 27 | 0.1 | 10 | 0.1 |
| 19 | 0.7 | 33 | 0.1 | 12 | 0.1 |
| 23 | 0.5 | 39 | 0.1 | 14 | 0.1 |
| 25 | 0.5 | 45 | 0.1 | 16 | 0.1 |
| 29 | 0.4 | | | 18 | 0.1 |
| 31 | 0.4 | | | 20 | 0.1 |
| 35 | 0.3 | | | 22 | 0.1 |
| 37 | 0.3 | | | 24 | 0.1 |
| 41 | 0.3 | | | 26 | 0.1 |
| 43 | 0.2 | | | 28 | 0.1 |
| 47 | 0.2 | | | 30 | 0.1 |
| 49 | 0.2 | | | 32 | 0.1 |
| | | | | 34 | 0.1 |
| | | | | 36 | 0.1 |
| | | | | 38 | 0.1 |
| | | | | 40 | 0.1 |
| NOTE-Total harmonic distortion(THD) : 3% | | | | | |

그림 3. 송전계통 계획레벨
Fig. 3. Planning level of transmission system

표 2에서 THD에 대한 계획/양립성 레벨비(6.5/8.0)를 다른 차수에 곱하면 비율에 따라 계획레벨을 선정할 수 있다. 국내 송전계통 고조파 LV 양립성 레벨 8[%]와 HV 계획레벨 3[%]을 설정하고, 위상의 방법을 적용하여 국내 송전계통 각 차수별 고조파 계획레벨을 그림 3과 같이 선정할 수 있다.

## 3. 고조파 방출 한계 평가 절차

IEC 61000-3-6을 토대로 국내 송전계통 고조파 방출 한계 평가 절차는 그림 4와 같이 2단계로 구성하였다.

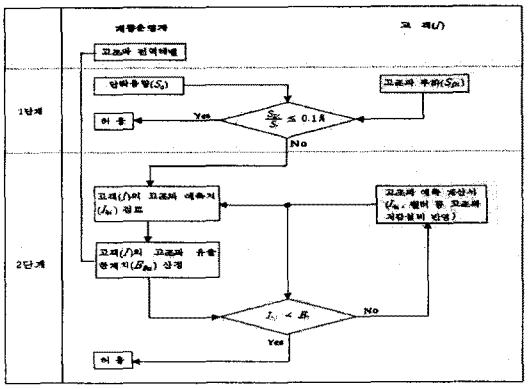


그림. 4 고조파 방출 한계 평가 절차
Fig. 4. Assessment procedure of Harmonic emission limits

단계 1에서는 고압 수용가의 고조파 부하용량과 전력계통 단락용량과의 비를 이용하여 계산한다. 이때 고조파 부하용량과 단락용량 비가 0.1[%] 이하이면 전력공급을 허용하도록 한다. 단계 1을 만족하지 못할 경우 단계 2에서는 상세하게 고조파 방출 전압 및 전류 한계를 계산한다.

## 4. 결과 및 고찰

2, 3장의 내용을 바탕으로 고조파 유출 허용치 산정프로그램을 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 완성하였다. 개발한 소프트웨어의 유용성 및 타당성을 검증하기 위하여 그림 5와 같은 실 고압수용가에 적용하였다.

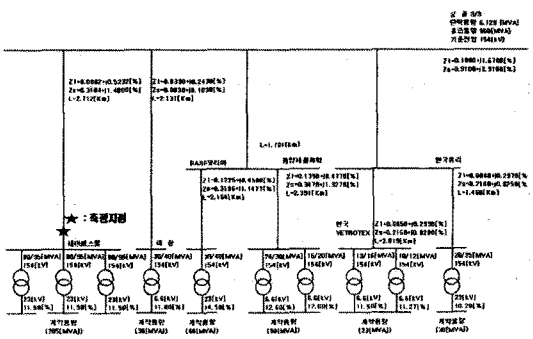

그림 5. 고압 수용가 계통도
Fig. 5. Customer at HV system

고압 수용가 고조파 방출 한계를 그림 4와 같이 단계별 절차를 이용하여 평가한다.

그림 3의 송전계통 고조파 계획레벨을 이용하여 고조파 전역 레벨을 그림 6과 같이 선정한다. 또한 중압 및 저압계통의 영향을 고려하여 고압 계통의 고조파 전역레벨은 계획레벨의 80[%] 수준으로 선정할 수 있다.[2]

| Odd harmonics | | Odd harmonic multiple of 3 | | Even harmonics | |
|---|---|---|---|---|---|
| Order h | Harmonic voltage % | Order h | Harmonic voltage % | Order h | Harmonic voltage % |
| 5 | 1.8 | 3 | 1.5 | 2 | 0.6 |
| 7 | 1.5 | 9 | 0.5 | 4 | 0.3 |
| 11 | 1.1 | 15 | 0.1 | 6 | 0.2 |
| 13 | 0.9 | 21 | 0.1 | 8 | 0.2 |
| 17 | 0.6 | 27 | 0.1 | 10 | 0.1 |
| 19 | 0.5 | 33 | 0.1 | 12 | 0.1 |
| 23 | 0.4 | 39 | 0.1 | 14 | 0.1 |
| 25 | 0.4 | 45 | 0.1 | 16 | 0.1 |
| 29 | 0.3 | | | 18 | 0.1 |
| 31 | 0.3 | | | 20 | 0.1 |
| 35 | 0.2 | | | 22 | 0.1 |
| 37 | 0.2 | | | 24 | 0.1 |
| 41 | 0.2 | | | 26 | 0.1 |
| 43 | 0.2 | | | 28 | 0.1 |
| 47 | 0.2 | | | 30 | 0.1 |
| 49 | 0.2 | | | 32 | 0.1 |
| | | | | 34 | 0.1 |
| | | | | 36 | 0.1 |
| | | | | 38 | 0.1 |
| | | | | 40 | 0.1 |

**그림 6. 고조파 전역 레벨**
Fig. 6. Global level of Harmonic

고조파 전압 및 전류 방출 한계를 평가하기 위하여 단계 2를 적용한다. 그림 7과 같이 전력회사의 공급용량, 모선등가 임피던스 자료와, 수용가의 계약용량 및 선로 임피던스 데이터를 입력한다.

| 공급 용량 (S3)[kVA] | 자체변전소 | 인접변전소[S1] | 인접변전소[S2] | 인접변전소[S3] | HVDC | SVC |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 800,000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 기준용량 | 100 | MVA | | 공급 용량(S3) | 800,000 | [kVA] |
| 기준전압 | 154 | kV | | 계약 용량(S3) | 265,000 | [kVA] |

| 모선등가 임피던스 | | 선로 임피던스 | | | | 임피던스 합계 [%] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.17 | 1.82 | 지중선로 | | 가공선로 | | | |
| km당 임피던스[%] | | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.19 | 0.25 | 2.14 |
| 거리[km] | | 0.0 | | 2.7 | | | |

**그림 7. 전력회사 및 수용가 정보**
Fig. 7. Information of utility and customer

위상의 정보를 이용하여 그림 8과 같이 차수별 고조파 임피던스, 전역 레벨, 전압/전류 레벨[%] 및 전류 레벨[A]을 계산한다.

| | | |
|---|---|---|
| 몇 차 고조파? | 5 | 차 |
| 고조파 임피던스 | 25.42 | Ω |
| $G_{hHV}$ | 1.80 | % |
| $E_{uhi}$ | 0.86 | % |
| $E_{thi}$ | 2.82 | % |
| $E_{Ihi}$ | 30.12 | A |

**그림 8. 5차 고조파 전압/전류 방출한계**
Fig. 8. Harmonic voltage/current of 5th

고압수용가에서 실 측정한 고조파 전압 및 전류를 분포를 방출 한계치와 비교하여 그 결과를 평가한다. 그림 8-9에서는 전압 및 전류의 고조파 방출 한계를 평가하여 정상 및 초과를 평가할 수 있다. 평가 결과 고조파 전압은 3배수 고조파 27, 39차와 우수 고조파 2, 8, 10차수가 한계치보다 초과함을 알 수 있다. 또한 전류 고조파는 3배수 고조파 15, 27차와 우수 고조파 2, 4, 10, 12, 14, 16, 18차수가 한계치보다 초과하는 것으로 평가되었다.

| Odd harmonics | | | | Odd harmonic multiple of 3 | | | | Even harmonics | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Order h | 기준치 [%] | 측정치 [%] | 결과 | Order h | 기준치 [%] | 측정치 [%] | 결과 | Order h | 기준치 [%] | 측정치 [%] | 결과 |
| 5 | 0.86 | 0.41 | 정상 | 3 | 0.53 | 0.31 | 정상 | 2 | 0.21 | 0.27 | 초과 |
| 7 | 0.72 | 0.26 | 정상 | 9 | 0.22 | 0.14 | 정상 | 4 | 0.11 | 0.09 | 정상 |
| 11 | 0.63 | 0.32 | 정상 | 15 | 0.07 | 0.04 | 정상 | 6 | 0.07 | 0.02 | 정상 |
| 13 | 0.54 | 0.12 | 정상 | 21 | 0.05 | 0.02 | 정상 | 8 | 0.07 | 0.08 | 초과 |
| 17 | 0.36 | 0.03 | 정상 | 27 | 0.04 | 4.80 | 초과 | 10 | 0.04 | 0.05 | 초과 |
| 19 | 0.32 | 0.02 | 정상 | 33 | 0.04 | 0.02 | 정상 | 12 | 0.05 | 0.02 | 정상 |
| 23 | 0.25 | 0.03 | 정상 | 39 | 0.04 | 0.04 | 초과 | 14 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 25 | 0.23 | 0.02 | 정상 | 45 | 0.04 | 0.00 | 정상 | 16 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 29 | 0.19 | 0.02 | 정상 | | | | | 18 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 31 | 0.17 | 0.02 | 정상 | | | | | 20 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 35 | 0.15 | 0.03 | 정상 | | | | | 22 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 37 | 0.14 | 0.04 | 정상 | | | | | 24 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 41 | 0.12 | 0.01 | 정상 | | | | | 26 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 43 | 0.11 | 0.01 | 정상 | | | | | 28 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 47 | 0.10 | 0.01 | 정상 | | | | | 30 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| 49 | 0.09 | 0.01 | 정상 | | | | | 32 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| | | | | | | | | 34 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| | | | | | | | | 36 | 0.05 | 0.01 | 정상 |
| | | | | | | | | 38 | 0.05 | 0.02 | 정상 |
| | | | | | | | | 40 | 0.05 | 0.01 | 정상 |

**그림 9. 고조파 전압 방출 레벨과 측정값 비교**
Fig. 9. Comparison of emission level and measurement harmonic voltage

| Odd harmonics | | | | Odd harmonic multiple of 3 | | | | Even harmonics | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Order h | 기준치 [A] | 측정치 [A] | 결과 | Order h | 기준치 [A] | 측정치 [A] | 결과 | Order h | 기준치 [A] | 측정치 [A] | 결과 |
| 5 | 30.12 | 8.00 | 정상 | 3 | 31.14 | 16.00 | 정상 | 2 | 18.66 | 27.00 | |
| 7 | 17.93 | 5.00 | 정상 | 9 | 4.18 | 2.00 | 정상 | 4 | 4.67 | 6.00 | |
| 11 | 9.97 | 3.00 | 정상 | 15 | 0.84 | 1.00 | | 6 | 2.09 | 2.00 | 정상 |
| 13 | 7.23 | 2.00 | 정상 | 21 | 0.45 | 0.00 | 정상 | 8 | 1.57 | 1.00 | 정상 |
| 17 | 3.68 | 1.00 | 정상 | 27 | 0.23 | 0.40 | | 10 | 0.68 | 1.00 | |
| 19 | 2.90 | 1.00 | 정상 | 33 | 0.19 | 0.00 | 정상 | 12 | 0.71 | 1.00 | |
| 23 | 1.92 | 1.00 | 정상 | 39 | 0.16 | 0.00 | 정상 | 14 | 0.60 | 1.00 | |
| 25 | 1.60 | 1.00 | 정상 | 45 | 0.14 | 0.00 | 정상 | 16 | 0.52 | 1.00 | |
| 29 | 1.15 | 0.00 | 정상 | | | | | 18 | 0.46 | 1.00 | |
| 31 | 0.98 | 0.00 | 정상 | | | | | 20 | 0.41 | 0.00 | 정상 |
| 35 | 0.75 | 0.00 | 정상 | | | | | 22 | 0.37 | 0.00 | 정상 |
| 37 | 0.65 | 0.00 | 정상 | | | | | 24 | 0.34 | 0.00 | 정상 |
| 41 | 0.51 | 0.00 | 정상 | | | | | 26 | 0.31 | 0.00 | 정상 |
| 43 | 0.46 | 0.00 | 정상 | | | | | 28 | 0.29 | 0.00 | 정상 |
| 47 | 0.37 | 0.00 | 정상 | | | | | 30 | 0.27 | 0.00 | 정상 |
| 49 | 0.33 | 0.00 | 정상 | | | | | 32 | 0.25 | 0.00 | 정상 |
| | | | | | | | | 34 | 0.24 | 0.00 | 정상 |
| | | | | | | | | 36 | 0.22 | 0.00 | 정상 |
| | | | | | | | | 38 | 0.21 | 0.00 | 정상 |
| | | | | | | | | 40 | 0.20 | 0.00 | 정상 |

**그림 10. 고조파 전류 방출레벨과 측정값 비교**
**Fig. 10. Comparison of emission level and measurement harmonic current**

## 5. 결 론

국내 송전계통에 연계되어는 있는 고압수용가에서 계통으로 유출할 수 있는 고조파 크기를 산정하는 프로그램을 IEC 61000-3-6 고조파 관리기준을 바탕으로 마이크로소프트 엑셀을 이용하여 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램의 유용성 및 타당성을 검증하기 위하여 실 고압수용가에 적용하여 고조파 방출한계를 평가하였다. 이상의 결과 개발한 소프트웨어는 전력회사 및 수용가 실무자들이 쉽게 고조파 방출 한계를 평가할 수 있었다.

## References


[1] IEEE Std. 519, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", 1992.

[2] IEC 61000-3-6 Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3: Limit - Section 6: Assessment of Emission Limits for Distorting Loads in MV and HV system.

[3] Engineering Recommendation G5/4, "Planning Levels for Harmonic Voltage Distortion and the Connection fo Non-Linear Equipment to Transmission Systems and Distribution Networks in the United Kingdom", 2001.

[4] Gosbell, V. J. et al, "A review of the new Australian harmonics standard AS/NZS 61000.2.0". Proceedings of AUPEC/EECON' 99, 1999, pp. 134-135.

[5] Yong Peel Wang et al, "Assessment Software of Harmonic Emission Limits for Transmission System", KIIEE, Vol. 21, No 10, pp. 134-140, 2007.

[6] Study on Harmonic Recommendations and Requirements for Transmission System, Final Report, 2007.


## ◇ 저자소개 ◇


**왕용필** (王龍泌)
1966년 8월 25일생. 1992년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1999~2001년 뉴질랜드 캔터베리대학 전기공학과 Post-Doc. 현재 동아대학교 전기공학과 초빙교수.
관심분야 : 전력시스템 품질, 전력시스템 과도현상

**김세동** (金世東)
1956년 3월 3일생. 1980년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1986년 동대학원 졸업(석사). 2000년 서울시립대 전기전자공학부 대학원 졸업(박사). 한국전력공사(1979~1984) 근무. 한국건설기술연구원(1984~1997.2) 수석연구원 역임. 현재 두원공과대학 전기과 교수. 건축전기설비기술사. 당학회 총무이사.
관심분야 : 전력설비 진단 및 DSP, 최적 전기설비설계

**전영수** (全榮洙)
1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1997년 충남대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년~현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구소 책임연구원.

**주석민** (朱碩珉)
1965년 5월 11일생. 1992년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 창원대학교 진동내구성평가센터 전담교수.
관심분야 : 전력시스템제어, 전력시스템 품질