

## A Study on Flicker Management Standard for Distribution Power System in Korea based on IEC 61000-3-7

강 문 호\* · 이 흥 호†

(Moon-Ho Kang · Heung-Ho Lee)

**Abstract** - Voltage variation caused by large loads such as arc furnace and large motors, which use the large and instantaneous currents, can cause the voltage flicker. The flicker irritates the human's eyes and also has an adverse effect on protection device, rotating machine and electronic device etc, therefore the flicker needs to be managed effectively. Recently, the Korea power quality standard has been established on the IEC standards. This paper presents the flicker management standard for distribution power system and suggests the flicker transfer coefficients for Korea power system based on the IEC 61000-3-7.

**Key Words** : Flicker,  $\Delta V_{10}$ , Flicker transfer coefficient, Planning level, IEC 61000-3-7

### 1. 서 론

플리커란 전등부하에 인가되는 전압의 시간적 변동으로 인하여 시각적 혹은 심리적으로 인식되는 불편함을 나타내는 지수로 인간의 생체심리학적 인지능력과 관련하며, 이러한 시각적 인지도는 GE곡선으로 알려진 플리커 곡선을 통해 알 수 있다. 인간의 눈은 0.3%에서 0.4%의 매우 작은 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에서 민감하게 반응하며, IEC는 시험을 통해 8.8Hz의 전압변동에서 가장 민감하게 인식되는 것으로 확인되었다[1]. 이러한 플리커는 일반적으로 아크로, 용접기, 대형 전동기와 같은 대용량 부하의 운전에 의해 발생하며, 이는 짧은 시간에 순간적으로 많은 양의 무효전력을 소비하기 때문이다.

이렇게 발생한 플리커는 인간에게 시각적 불편감과 함께 지속적인 경우 회전기와 같은 기기들에 악영향을 주며, 전자장비, 전구, CRT 장비, UPS 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작으로 인해 전기품질이 저해되고 있어 이를 효과적으로 관리하기 위한 기준 마련이 필요하다[2][3].

현재 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 진행되고 있으며, 배전계통의 플리커 관리기준은 IEC 61000-3-7규격에 잘 기술되어 있다. 본 논문에서는 현 국내 배전계통 플리커 관리기준과 IEC 국제규격을 분석하고, IEC 국제규격에 부합하는 국내 배전계통의 플리커 관리기준을 제시하고자 한다.

### 2. IEC에 기초한 배전계통 플리커 관리기준

#### 2.1 현 배전계통 플리커 관리기준 분석

현재 국내 배전계통에 적용하고 있는 플리커 관리기준은 전기공급약관 시행세칙에 다음과 같이 규정하고 있다.

표 1 현 배전계통 플리커 관리기준

Table 1 Present Flicker Management Standard

구 분	허용 기준치	비 고
예측계산시	2.5% 이하	최대전압 강하율로 표시
실 측 시	0.45%V 이하	$\Delta V_{10}$ 으로 1시간 평균치임

현재 플리커 관리기준은 일본과 대만에서 사용하는 것과 동일한  $\Delta V_{10}$ 을 플리커 지수로 사용하고 있으며, 등가 플리커 평가지수는 아래와 같이 정의된다[3].

$$\Delta V_{10} = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^N (a_n V_n)^2}}{V_s} \quad (1)$$

여기서  $a_n$ 은 시감도 곡선으로부터 얻을 수 있는 시감도 계수이고,  $V_n$ 은 30Hz이하의 주파수( $f_n$ )에 해당하는 전압변동 성분 크기의 2배에 해당하는 양을 의미한다.

\* 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

† 교신저자, 종신회원 : 충남대학교 전기공학과 교수

E-mail : leehh@cnu.ac.kr

접수일자 : 2011년 6월 13일

최종완료 : 2011년 7월 27일

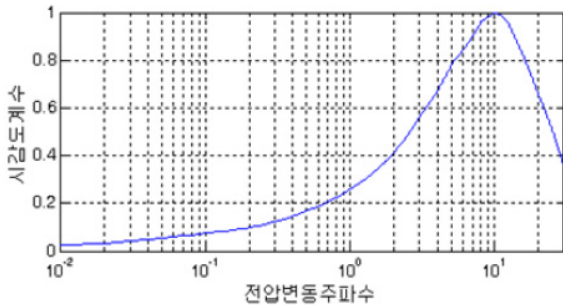


그림 1 시각도 계수 곡선  
Fig. 1 Visibility Curve for ΔV10

시각도 계수는 시각도 계수 곡선을 이용하여 알 수 있으며 10Hz에서 그 곡선의 최댓값을 나타내고 그 크기는 1.0으로 기준값이 된다. 또한 위의 정의로부터 알 수 있듯이 ΔV<sub>10</sub>은 전압변동에 포함된 특정 주파수성분의 신호크기와 그에 해당하는 시각도계수의 곱을 통해 계산된다.

2.2 IEC 플리커 관리기준 분석

배전계통의 플리커 관리기준에 해당하는 플리커 방출수준에 대한 평가는 IEC 61000-3-7에 자세하게 기술되어 있으며, 본 IEC규격에 사용되는 계통전압은 아래의 표 2와 같이 구분된다.

표 2 IEC 61000-3-7 계통전압 구분  
Table 2 Classification of system voltage

계통전압 구분	전압크기
LV (Low Voltage)	Un ≤ 1kV
MV (Medium Voltage)	1kV < Un ≤ 35kV
HV (High Voltage)	35kV < Un ≤ 230kV

IEC 국제규격에서는 합리적인 배전계통의 플리커 관리를 위해 플리커 계획수준을 지시값으로 제시하여 상위 전력계통과 함께 관리하도록 권고하고 있다. 표 3은 IEC 국제규격에 제시된 플리커 계획수준의 지시값을 나타내었다.

표 3 IEC 국제규격의 플리커 계획수준 지시값  
Table 3 Indicative values of Planning levels for P<sub>st</sub>

	계획수준 지시값	
	배전계통(MV)	송전계통(HV)
P <sub>st</sub>	0.9	0.8

개별 플리커 발생고객에 대한 방출수준은 해당 배전계통에 대해 선정된 계획수준을 기반으로 계산된다. 상위계통으로부터 유입되는 플리커를 고려하여 해당 계통의 모선에 대한 총 플리커 발생기여분(Global contribution)을 계산하고 용량에 비례하여 개별 플리커 발생원에 대한 방출수준을 결정한다. 최소 측정기간은 1주일이며 방출수준 평가 시 정전, 순간전압강하 및 상승이 발생하는 데이터는 지수계산에서

제외된다.

IEC 61000-3-7에 따른 배전계통 플리커 관리절차는 3단계로 구성되어 있으며, 각 단계를 정리하면 다음과 같다.

먼저 1 단계는 전력 변동량이 매우 한정적이며 소비전력이 적은 설비에 적용하는 간단한 플리커 평가방법으로, 고객과 배전계통의 접속점(POE)에서의 계통 단락용량(S<sub>sc</sub>)에 대한 피상전력의 변동(ΔS)비가 표 4의 한계값(K)를 초과하지 않는 경우 정밀한 평가 없이 연결가능하며 해당 범위는 분당 전압변동회수(r)에 의해 결정된다.

표 4 분당 전압변동회수에 따른 플리커 한계값  
Table 4 Limits for the Relative Power Variations

r (분당 전압변동회수) min-1	K=(ΔS/S <sub>sc</sub> )max %
r > 200	0.1
10 ≤ r ≤ 200	0.2
r < 10	0.4

2 단계는 실제 배전계통특성에 따른 플리커 평가방법으로 실 계통에서는 플리커 전달계수(T<sub>Pst</sub>)와 동시발생 등으로 인해 1단계에서 설정한 한계값 이상으로 플리커가 발생할 수 있다. 플리커의 전체수준에 대한 기여분(Global contribution)은 배전계통의 총 공급용량에 대한 개별 고객의 계약용량에 따라 개별 고객에게 배분된다. 일반적으로 모든 개별 고객들이 자신의 계약용량에 맞게 할당된 플리커 허용치 이내에서 운전하는 경우, 모든 고객들에 의해 방출되는 플리커의 총량은 계획수준을 초과하지 않는다. 배전계통에서 전력을 공급받는 여러 고객들에 의해 방출되는 전체 플리커 방출기여분(G<sub>PstMV</sub>)는 아래의 식을 이용하여 계산된다.

$$G_{PstMV} = \sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - T_{PstHM}^3 \times L_{PstHV}^3} \quad (2)$$

여기서 G<sub>PstMV</sub>는 해당 배전계통에 대한 전체 플리커 방출기여분으로 모든 플리커원에 의해 발생하는 방출량이 이 값을 넘지 않아야 한다. L<sub>PstMV</sub>는 해당 배전계통의 계획수준, L<sub>PstHV</sub>는 상위 전력계통인 송전계통에 대한 계획수준, T<sub>PstHM</sub>은 상위 전력계통으로부터 배전계통으로의 플리커 전달계수를 각각 의미한다.

이렇게 구한 전체 플리커 방출기여분은 해당 배전계통의 총 공급전력량(S<sub>MV</sub>)에 대한 개별 고객의 계약전력량(S<sub>i</sub>)의 비를 기준으로 개별 고객에게 분배된다. 만일 계약전력량이 상대적으로 작은 소형설비를 보유하는 고객의 경우, 아주 작은 한계값을 갖게 되므로 IEC 규격에는 최소 방출수준을 P<sub>st</sub> 기준 0.35로 규정하고 있다.

마지막 3 단계는 조건부 플리커 방출허용에 대한 평가방법으로 부득이 하게 2 단계의 플리커 한계값을 초과하는 경우에 적용된다. 이미 존재하고 있는 플리커 수준과 예상되는 기여도를 감안하여 고객에 대한 면밀한 조사가 이뤄져야 한다. 지금까지 IEC 61000-3-7에 기술된 배전계통 플리커 관리절차를 단계별로 정리하면 아래 그림 2와 같다.

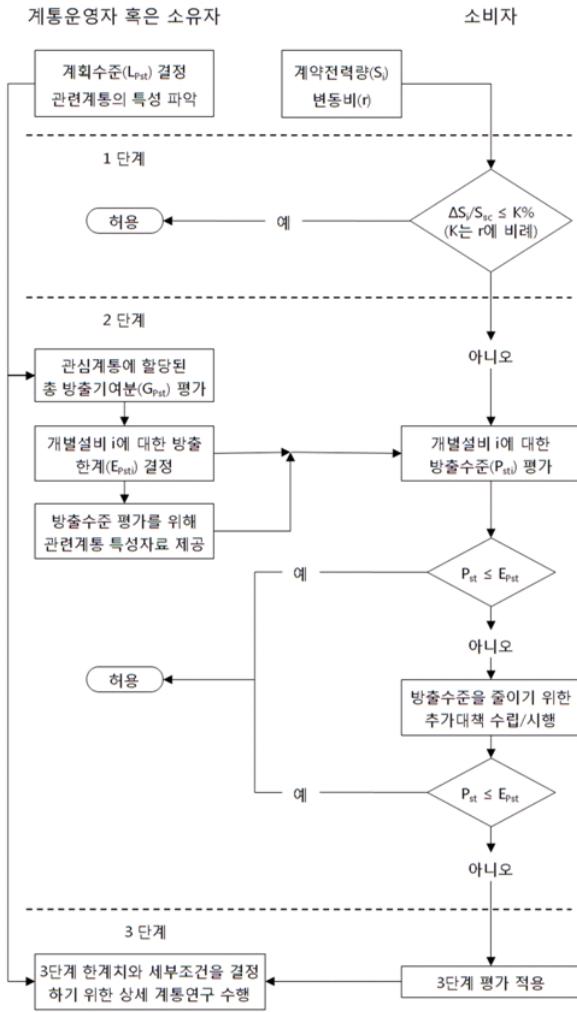


그림 2 IEC 국제규격의 플리커 관리절차  
 Fig. 2 Diagram of evaluation procedure for Flicker

표 5 변전소 플리커 측정 결과(전라북도 소재)  
 Table 5 Flicker measurement result for Flicker Transfer Coefficient(Jeollabuk-do)

구분	P상 P <sub>st</sub>			S상 P <sub>st</sub>			T상 P <sub>st</sub>		
	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수
1	1.0138	0.809	0.7980	0.9069	0.7167	0.7903	0.9124	0.7415	0.8127
2	0.8716	0.7009	0.8042	0.9082	0.7153	0.7876	0.9811	0.7909	0.8061
3	1.0997	0.8855	0.8052	1.0511	0.8337	0.7932	1.1936	0.9632	0.8070
4	0.5691	0.4716	0.8287	0.556	0.4514	0.8119	0.5772	0.4772	0.8267
5	1.1725	0.9432	0.8044	1.0903	0.8621	0.7907	1.1651	0.9456	0.8116
6	1.2452	0.9918	0.7965	1.1147	0.8751	0.7851	1.1647	0.9398	0.8069
7	0.7493	0.6047	0.8070	0.7193	0.5777	0.8031	0.7289	0.5965	0.8184
8	0.6035	0.4929	0.8167	0.5862	0.4756	0.8113	5.744	0.4995	0.0870
9	1.0831	0.8616	0.7955	0.9714	0.7643	0.7868	1.0154	0.8596	0.8466
10	0.7009	0.5732	0.8178	0.689	0.5489	0.7967	0.6605	0.5439	0.8235
11	1.0893	0.8753	0.8035	0.9475	0.7472	0.7886	0.9581	0.805	0.8402
평균			0.8071			0.7950			0.8200

### 2.3 배전계통 플리커 전달계수 산정

일반적으로 방사형 배전계통에서의 플리커는 하위계통으로 전달되며 전달과정에서 감쇠되어 전달계수는 1.0보다 작다. 전압레벨이 높아짐에 따라 고장용량이 증가하는 반면 전압변동이 동시에 일어날 확률이 줄어들기 때문에 하위계통에서 상위계통으로의 플리커의 플리커 전달은 무시할 수 있다.

IEC 61000-3-7 국제규격에는 플리커 전달계수를 서로 다른 전압레벨에서 동시에 측정된 P<sub>st</sub>값들의 비로 정의하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 주요 플리커 부하가 연결된 인근의 변전소 중 전북 군산, 강원도 태백 소재의 변전소에서 측정된 P<sub>st</sub> 결과를 이용하여 154kV 모선과 22.9kV 모선간의 전달계수를 계산하였다.

플리커 전달계수의 계산을 위한 플리커(P<sub>st</sub>) 측정은 154/22.9kV 주변압기(용량 60MW)의 PT 2차측에서 정상근무시간동안 연속적으로 이루어졌다. 그 측정결과를 아래 표 5와 6에 나타내었다.

위 측정결과에서 TR 2차측 모선의 플리커 왜곡현상이 더 심각한 경우인 전달계수가 1 이상인 부분과 측정값이 과도하게 큰 부분은 어두운 색으로 표시하고 전달계수 계산에서 배제하였다. 측정된 P<sub>st</sub>를 바탕으로 국내 송전계통(HV)에서 배전계통(MV)으로의 플리커 전달계수를 계산하였으며, 그 평균값으로 계산된 송전계통에서 배전계통으로의 플리커 전달계수(T<sub>PstHM</sub>)는 0.87이다. 이는 국내 전압레벨을 고려했을 때 송전계통에서 배전계통으로의 플리커 전달계수(T<sub>PstHM</sub>)는 154kV → 22.9kV이므로 유럽의 경우와 비교하여 220kV → 70kV과 70kV → 15kV의 중간적인 크기를 가지므로 그 결과값(0.87)이 매우 타당함을 알 수 있다. IEC 국제규격에서 예시로 제시하고 있는 전달계수는 아래의 표 7과 같다.

또한 배전계통(MV)에서 저압 배전계통(LV)으로의 플리커 전달계수(T<sub>PstML</sub>)는 거의 1에 가깝고 국내 배전전압의 크기 및 배전용 변압기 내부 전압강하를 고려하여 0.98로 선정하였다.

표 6 변전소 플리커 측정 결과(강원도 소재)

Table 6 Flicker measurement result for Flicker Transfer Coefficient(Gangwon-do)

구 분	P상 Pst			S상 Pst			T상 Pst		
	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수
1	0.0914	0.0857	0.9382	0.0878	0.0868	0.9880	0.0922	0.0860	0.9326
2	0.0920	0.0851	0.9254	0.0886	0.0846	0.9546	0.0887	0.0815	0.9191
3	0.1164	0.1049	0.9013	0.1080	0.1036	0.9599	0.1066	0.0987	0.9261
4	0.0743	0.0716	0.9640	0.0685	0.0703	1.0273	0.0707	0.0687	0.9716
5	0.1754	0.2028	1.1562	0.1698	0.2123	1.2504	0.1724	0.2113	1.2257
6	0.0944	0.0882	0.9349	0.0923	0.0896	0.9700	0.0921	0.0860	0.9339
7	0.1099	0.1014	0.9228	0.0985	0.0931	0.9452	0.0964	0.0892	0.9256
8	0.0704	0.0675	0.9596	0.0800	0.0765	0.9561	0.0684	0.0665	0.9721
9	0.0861	0.1561	1.8129	0.0856	0.1255	1.4671	0.0871	0.1563	1.7931
10	0.0878	0.0807	0.9193	0.0858	0.0814	0.9492	0.0832	0.0765	0.9189
11	0.1725	0.1583	0.9177	0.1694	0.1550	0.9154	0.1655	0.1540	0.9307
평 균			0.9306			0.9520			0.9318

표 7 IEC 국제규격의 플리커 전달계수

Table 7 Flicker Transfer Coefficients

전압레벨	T <sub>Pst</sub>
220kV → 70kV	0.82
70kV → 15kV	0.91
15kV → 230V	0.98 ~ 1.0

2.4 IEC 기반의 배전계통 플리커 관리기준[5]

IEC 국제규격에 부합하는 국내 배전계통 플리커 관리절차는 지금까지 기술한 것과 같이 3단계로 구성되며 1단계와 3단계는 배전계통의 구성 및 특성과 무관하기 때문에 IEC 국제규격의 내용과 동일하게 적용할 수 있다. 2단계는 배전계통에 할당된 전체 플리커 방출기여분( $G_{PstMV}$ )을 계산하고 개별고객에 대한 제한치( $E_{Psti}$ )를 설정한 후 플리커 방출수준을 평가하여 플리커 방출한계를 만족하면 허용하고, 초과 시 방출수준을 줄이기 위한 저감대책을 수립·시행한 후 재평가를 수행한다.

2.4.1 고객 간 공유하는 전체 플리커 방출량 산정

먼저 배전계통(MV)에 연결된 고객들에 대한 플리커 전체기여분( $G_{PstMV}$ )은 앞의 식 2를 이용하여 계산되며, 계산에 필요한 데이터들은 다음과 같다.

$T_{PstHM}$  : 송전계통(HV)에서 배전계통(MV)으로 전달되는 플리커 전달계수

$T_{PstML}$  : 배전계통(MV)에서 저압 배전계통(LV)으로 전달되는 플리커 전달계수

$L_{PstHV}$  : 송전계통(HV) 플리커 계획수준

$L_{PstMV}$  : 배전계통(MV) 플리커 계획수준

플리커 전체기여분의 계산을 위해 각 전압레벨에 대한 계획수준을 정해야 한다. 플리커 계획수준의 선정은 각 전력계통의 구성환경에 따라 계획수준은 변동될 수 있기 때문에 IEC 국제규격에서는 확정된 값을 제시하지 않고 표 3과 같이 전력계통별 플리커 계획수준을 지표값으로 제시하고 있으며, 이들 지표값은 전력계통간 플리커 전달계수가 1.0인 경우를 기준으로 선정되었다. 실제로 전압레벨 간의 전달계수는 1.0보다 작으므로 이를 반영하여 계획수준을 선정해야 한다. 예를 들어 배전계통(MV)과 저압 배전계통(LV)간의 전달계수가 0.9인 경우, 배전계통(MV)에 대한 새로운 계획수준은  $L_{PstMV} = 0.9 \div 0.9 = 1.0$ 이 된다.

따라서 앞에서 선정한 HV-MV간 및 MV-LV간의 전달계수는 각각  $T_{PstHM} = 0.87$ ,  $T_{PstML} = 0.98$ 이며,  $T_{PstHM}$ 과  $T_{PstML}$ 의 곱으로 계산되는 송전계통(HV)에서 저전압(LV)로의 플리커 전달계수( $T_{PstHL}$ )는 0.85가 된다.

표 2에서 배전계통(MV)과 송전계통(HV)의 계획수준 지표값은 각각 0.9와 0.8이므로, 이를 적용한 국내 배전계통(MV)과 송전계통(HV)의 계획수준은 아래와 같다.

$$L_{PstMV} = 0.9 \div T_{PstML} = 0.92$$

$$L_{PstHV} = 0.8 \div T_{PstHL} = 0.94$$

따라서 배전계통에서 전력을 공급받는 고객들에 의해 방출되는 전체 플리커 방출기여분( $G_{PstMV}$ )는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$G_{PstMV} = \sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - T_{PstHM}^3 \times L_{PstHV}^3} = \sqrt[3]{0.92^3 - 0.87^3 \times 0.94^3} = 0.61$$

2.4.2 개별 고객에 대한 플리커 방출한계치 설정

배전계통에서 발생하는 플리커 총량을 전체 플리커 방출기여분( $G_{PstMV}$ )이하로 관리를 해야 하기 때문에 개별 고객에 대한 플리커 방출기여분은 아래의 식과 같이 해당 배전계통의 총 공급전력량( $S_{MV}$ )에 대한 개별 고객의 계약전력량( $S_i$ )의 비를 기준으로 개별 고객에게 분배된다.

$$E_{Pss} = G_{PssMV} \sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{MV}}} \quad (3)$$

### 2.4.3 국내 배전계통 플리커 관리 기준

현재 국내 배전계통에 적용하고 있는 플리커 관리기준은 표 1에 나타낸 것과 같다. 지금까지 살펴본 IEC 국제규격의 플리커 관리절차에 기초하여 국내 배전계통에 적합한 새로운 플리커 관리기준을 다음과 같이 제안하고자 한다.

**표 8** 국내 배전계통 플리커 관리 기준  
**Table 8** Flicker Management Standard based on IEC

구 분	허용 기준치	비 고
예측계산시	2.5% 이하	최대전압 강하율로 표시
실 측 시	0.92 이하	P <sub>st</sub> 로 1주일 측정치 중 95%에 해당하는 누적 확률 분포 값

### 3. 결 론

전압의 시간적 변동으로 인해 발생하는 플리커는 인간의 생체심리학적 인지능력과 관련하며, 인간의 눈은 매우 작은 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에서 민감하게 반응한다. 이러한 플리커는 시각적 불편감과 함께 지속적인 경우 회전기와 같은 기기들에 악영향을 주며, 전자장비, 전구, CRT 장비, UPS 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작의 원인이 되기 때문에 효과적으로 관리가 필요하다.

현재 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 진행되고 있어, 본 논문에서는 국내 플리커 관리기준을 검토하고 IEC 61000-3-7 국제규격에 기초하여 국내 배전계통에 적합한 플리커 전달계수를 선정하고 플리커 관리기준을 제시하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kwan-II Oh, et al., “전압플리커 저감과 역률 보상 기능을 갖는 배전용 STATCOM의 실계통연계 운전결과 분석”, 대한전기학회 하계 학술대회, pp. 245~248, 2000
- [2] Yeong-Han Chun, et al., “전력시장 체제 하에서의 플리커 및 고조파 규제 방안과 현황”, 대한전기학회 하계 학술대회, pp. 47~49, 2002
- [3] Seung-Bock Jung, et al., “전력계통의 전력품질 외란을 고려한 플리커 평가에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회 춘계 학술대회, pp. 376~379, 2006
- [4] IEC 61000-3-7, “Limits-Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems”, IEC, 2003
- [5] 한국전력공사, “배전계통 플리커 관리기준 제정 및 순간전압강하 관리방안 수립”, pp. 114~118, 2010

## 저 자 소 개

#### 강 문 호 (姜 汶 昊)



1994년 울산대학교 전기공학과 졸업.  
1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 선임연구원.

Tel : 042-865-5952

E-mail : mhkang@kepco.co.kr

#### 이 흥 호 (李 興 浩)



1973년 서울대 공업교육과(전기전공) 졸업. 1977년 동 대학원 공업교육과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 1979년 ~ 현재 충남대학교 전기공학과 교수.

Tel : 042-821-5656

Fax : 042-821-8895

E-mail : hhlee@cnu.ac.kr