

A Dynamic Characteristics on Non-linear Voltage Electric Equipment under Voltage Sag

李賢哲* · 鄭盛元** · 金在顯*** · 李根準†

(Hyun-Chul Lee · Jae-Hyeon Gim · Sung-Won Jeong · Geun-Joon Lee)

Abstract - In this study, a transition of power quality was characterized by non-linear voltage electric equipments under voltage sag. The test was inputted voltage sag to IPC(Sag Generator) from AVR, and then to equipments by IPC which adjust voltage magnitude and duration. The load test which non-linear voltage electric equipments used PLC, Magnetic Contactor, SMPS, HID Lamp. The test result was different from each other according to a manufacturing companys, models, and equipments. PLC was greatly described to be stabilized voltage sag in case of no load then rated load. Magnetic Contactor was made a difference to phase angles on voltage sag, which was 0°, 30°, 60°, 90°. HPD Lamp was described to be stabilized the sodium lamp, and to be unstabilized the metal haled lamp. The test result was showed CBEMA curve that stand for evaluated responsiveness of voltage sag. This study was tested description to dynamic characteristics on non-linear voltage electric equipment under voltage sag. There was hoped that power system designed the essential particulars.

Key Words : Power Quality, Voltage Sag, CEBMA curve

1. 서 론

최근 전력설비는 전력전자 소자의 광범위한 응용으로 복잡화, 첨단화, 자동화, 고정밀화 되고 있는 추세로 산업용 부하에 컴퓨터, PLC 등의 마이크로프로세서를 기반으로 하는 제어장치의 사용과 외란에 민감한 전력전자기기들이 늘어남에 따라 안정적이면서도 신뢰성을 갖춘 고품질의 전력에 대한 수용가들의 관심 및 요구가 증가하고 있다[1-3]. 더구나 전력시장화가 지속적으로 진행되면서 전력설비에 대한 투자가 병행되지 않음으로써 대 소 정전에 의한 전력품질 저하에 대한 우려가 높아지고 있으며, 특히 우리나라의 경우 디지털반도체 산업 및 프로세스 산업이 차지하는 비중이 높아 순간정전에 의한 수용가의 피해가 사회의 커다란 문제로 대두되고 있다[2].

이러한 전력의 공급 신뢰성에 영향을 주는 요인으로 전력 공급이 일시적으로 중단되거나, 외란으로 인하여 전압이 순간적으로 기기에 저하된 전력을 공급하는 것으로서, 전기설비에서 전력품질이란 장치가 전압의 파형을 변화시키고 전압과 전류사이 위상이 바뀌는 정도를 말한다[1-5]. 전력품질이 안정적인 전력이 공급되는 것이 이상적이지만 전압품질에 영향을 미치는 요소들이 존재한다. 이러한 요소들은 외란으로 인한 전압의 질을 떨어뜨리는 것으로서 순간전압저

하, 순간전압상승, 고조파, 전압 불평형, 플리커, 서지 등을 들 수 있다[4-8]. 이러한 요소들은 전원의 장애로 저압전기 기기에 악영향을 주는 것으로 지적되고 있다. 전압의 질에 악영향을 주는 요인들 중 가장 관심의 대상이 되는 요소로는 순간전압강하이다. 순간전압강하는 기기의 재가동이나 생산품 불량률 증가를 유발하여 다양한 전력품질 문제 중에서 수용가에 가장 큰 손실을 야기하기 때문이다[8-12].

본 논문은 순간전압강하에 대한 비선형 저압전기기기의 동적특성에 대한 연구이다. 비선형 부하기기들은 제조사나 모델에 따라 표준과 다소 다를 수 있으므로 안정성을 보장하기 위해서 부하기기의 동적특성에 대해 연구하였다. 비선형 부하기기는 PLC, 전자점촉기, PC-Power Supply(SMPS), 고압방전램프이고, 순간전압저하에 대한 기기의 동적특성은 전력허용곡선(CEBMA)을 이용하였다.

2. 이론적 배경

2.1 IEEE 표준 1159과 전력허용곡선

IEEE Std 1159-1995에서 전압의 RMS변동에 대해 정의하고 있다. 표 1은 전압 RMS값의 변동을 IEEE 표준으로서 순간전압강하(Voltage Sag), 순간전압상승(Voltage Swell), 순간정전, 영구정전을 크기와 지속시간에 따라 분류하고 있다[1]. 그림 1은 전력허용곡선과 IEEE 1159의 표준을 사용하여 순간전압강하에 대한 허용기준을 나타내었다[10]. 전력허용곡선은 전력의 만족도를 가장 잘 표현한 곡선으로서 세로축은 전압의 변동크기, 가로축은 전압의 변동기간을 로그 눈금으로 나타낸 것이다. 그림 1에서 허용 가능한 전력의 범위는 과전압은 위쪽곡선한계까지, 저전압은 아래쪽 곡선의 한계까지이다.

* 正 會 員 : (주)그린넷 파워 연구원 · 工 碩
 ** 正 會 員 : 順天大學校 工大 電氣工學科 博士課程
 *** 正 會 員 : 順天大學校 工大 電氣制御工學科 副教授
 † 교신저자, 正會員 : 忠北科學大學校 電氣科 教授
 E-mail : gjlee@citech.ac.kr

接受日字 : 2007年 11月 27日
 最終完了 : 2008年 1月 8日

표 1 전압 RMS값의 변동

Table 1 Variable value of Voltage RMS

종류	시간	크기	
Instantaneous	Sag	0.5~30cycle	0.1~0.9pu
	Swell	0.5~30cycle	1.1~1.8pu
Momentary	Interruption	0.5cycle~3s	<0.1pu
	Sag	30cycle~3s	0.1~0.9pu
Temporary	Swell	30cycle~3s	1.1~1.8pu
	Interruption	3s~1min	<0.1pu
	Sag	3s~1min	0.1~0.9pu
	Swell	3s~1min	1.1~1.8pu

전력허용곡선 상에서 일반적으로 순간적인 저전압 사건
의 영향이 주로 관측되기 때문에 전압강하에 상대적으로 관
심이 집중되고 있으며, 본 논문에서도 저전압 부분을 중점으
로 다루고 있다.

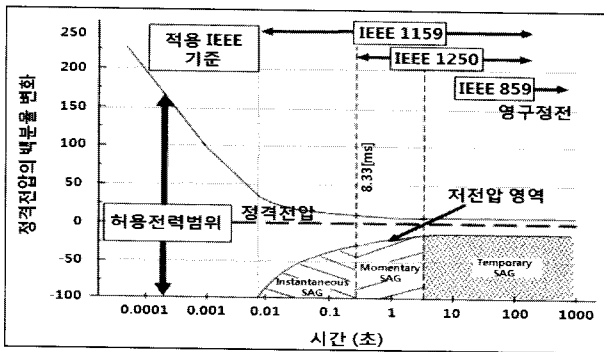


그림 1 전력허용곡선과 IEEE 1159 Sag 기간
Fig. 1 CBEMA curve and IEEE 1159 Sag Duration

2.2 순간전압강하의 정량적 평가기법[13-14]

2.2.1 Voltage-sag energy의 정의

전압강하에너지 E_{VS} 는 다음의 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$E_{VS} = \int_0^T \left[1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}} \right)^2 \right] dt \times 100 \quad (1)$$

여기서, $V(t)$ 는 이벤트 동안에 전압의 크기이고, V_{nom} 은
공칭 전압이다. 전압과 공칭전압은 동일하게 Volt(또는 kV,
per unit)로 나타낼 수 있다. 계수 100은 적당한 수치의 결
과로 전압강하에너지 값으로 사용했다. 식(1)에 따른 전압강
하에너지는 무차원수(dimensionless number)이다. 전압 크기
가 1/2사이클마다 갱신되는 1사이클 실효치 전압일 때 식(1)
는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$E_{VS} = \frac{50}{f_0} \sum_{k=1}^N \left[1 - \left(\frac{U_{rms(1/2)(k)}}{V_{nom}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

여기서, 총합은 이벤트의 기간에 대한 것이다.(즉, 실효치
전압의 모든 값에 대한 값)

2.2.2 Voltage-sag energy의 해석

공칭 전압 V_{nom} 에 유효전력 P_0 를 가진 임피던스 부하를
고려해보면 전압이 sag 발생기간 동안 V만큼 떨어졌을 때
의 송전전력의 감소는 식 (3)과 같다.

$$\Delta P = P_0 \left[1 - \left(\frac{V}{V_{nom}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

식 (3)을 기간 T로 적분하면 식 (4)와 같은 에너지의 변

화량으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta E = \int_0^T \Delta P dt = P_0 \int_0^T \left[1 - \left(\frac{V(t)}{V_{nom}} \right)^2 \right] dt \quad (4)$$

식 (4)를 식 (1)과 비교하면 기준값에 대한 부하의 정격전
력으로 표현된 임피던스 부하는 에너지 변화량과 비례한다.

2.2.3 전압품질 저압 전기기기 시험조건

순간정전 전압의 크기와 지속시간에 대한 저압 전기기기
에 대한 영향 한계의 시험조건은 다음과 같다.

- ① 공칭 주파수 조건
- ② 공칭전압
- ③ 순간정전전압(Dips or Sag)
 - 반주기 RMS 값 측정
 - 공칭전압의 90[%] 보다 낮은 RMS값.
- ④ 순간정전기간
 - 공칭전압에 1[%]보다 작은 RMS값을 갖는 주기.
- ⑤ 불평형전압
 - $V_{unvba\%} = \frac{\text{낮은전압}[RMS]}{\text{높은전압}[RMS]}$ (5)
- ⑥ 고조파전압

$$THD_U = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}{U_1}} \quad (6)$$

U_1 =기본파 전압, U_h =n차 고조파 전압의 실효치,
 h =고조파 차수

3. 실험 시스템 및 시험부하

3.1 실험시스템

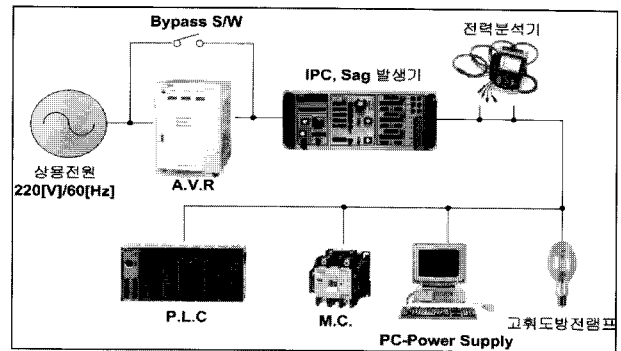


그림 2 전력품질 부하시험 시스템
Fig. 2 Power Quality Load test System

그림 2는 본 연구에 사용된 비선형 저압전기기기의 전압
품질시험 시스템이다[11-12]. 실험 시스템은 AVR(Auto
Voltage Relay), Sag발생기(IPC), 전력품질분석기(PQ
Meter), 전기기기(PLC, 전자접촉기, SMPS, 고압방전램프)로
구성하였다. 시스템에 공급하는 상용전원은 220[Vac],
60[Hz]이며, 상용전원을 Sag발생 전까지 저압전기기에 일
정한 전압의 크기를 투입하기 위해 AVR을 사용하였다.
Bypass S/W는 AVR의 단락 사고 또는 용량 초과 시 안정
적인 계통의 전원을 Sag 발생기에 공급하기 위함이다. Sag
발생기는 PSL사의 IPC로서 Sag의 크기, 기간, 위상을 조정
할 수 있게 공급하는 기능을 가지고 있으며, 전력품질분석기

는 FLUKE사의 3상 PQ Meter로서 IPC에서 sag 투입 시 실험기기에 입력과 출력되는 전력품질을 실시간으로 모니터링 및 분석하는 기능을 가지고 있다. 이 시스템으로 비선형 부하의 순간전압강하에 대한 영향을 시험하였다.

3.2 부하시험 종류

표 2는 sag의 실험의 시험기기 종류와 확인방법을 요약한 것이다. 실험의 종류로는 현재 디지털 프로세서 제어장치로 광범위하게 사용되고 있는 전기기기로 PLC와 PC-Power Supply, 소규모 프로세서의 제어장치로 사용되는 전자접촉기, 그리고 비선형 아크특성으로 sag에 민감한 고압방전램프(나트륨, 수은, 메탈헬라이드램프)를 이용하여 sag의 영향에 대해 실험하였다.

표 2 시험부하 요약

Table 2 Summary of equipment tests

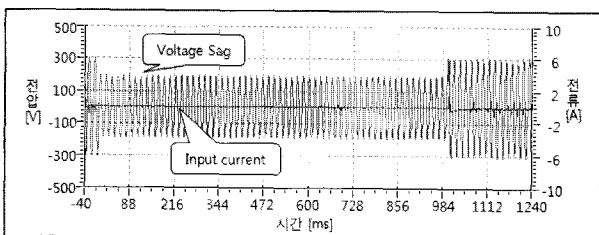
종류	시험 항목	Sag에 대한 확인
PLC	정격부하 / 무부하	출력파형
전자접촉기	0°, 30°, 60°, 90°	출력파형
PC-Power Supply	160[W] / 200[W]	출력파형 & 재부팅
고압방전램프	나트륨 램프	파형과 재점등
	수은 램프	
	메탈헬라이드 램프	

실험항목으로, PLC와 PC-Power Supply는 주변장치에 안정된 전원을 공급을 목적으로 하는 기기로 부하의 변화에 따른 sag의 영향에 대한 실험이며, 전자접촉기는 코일과 전기자에 흐르는 자속으로 기기가 동작하므로 sag의 위상에 따른 변화에 대한 실험이다. 그리고 고압방전램프는 아크특성에 대한 설명으로서 고압방전램프를 대표하는 세 가지의 램프를 이용하여 실험하였다. 본 실험에서 출력파형 계측은 IPC와 전력품질분석기를 이용하였다. 또한, sag에 대한 각 기기의 특성은 그림 1에서 제시한 IEEE 1159 국제 규격과 전력허용곡선을 이용하였다[1].

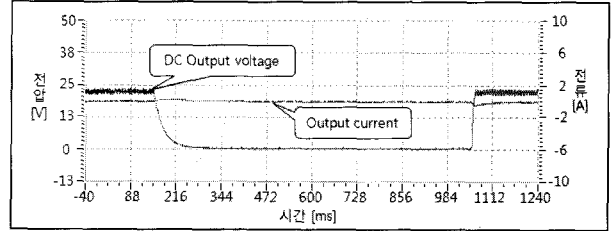
4. Sag 실험 결과

4.1 PLC의 실험결과

일반적으로 sag에 대한 PLC의 성능 평가 기준이 마련되어 있지는 않으나, 정격출력이 95~105[%]의 범위에 있을 때 정상적으로 동작한다는 규정이 있다. 이 규정을 이용하여 sag가 PLC에 미치는 영향을 계측하였다. 그림 3은 PLC의 sag에 대한 실험 파형중의 하나이다.



(a) Sag전압파형 및 전류파형
(a) Sag waveform voltage and current



(b) 출력전압과 출력전류 파형
(b) Output voltage and current waveform

그림 3 PLC의 입력 및 출력파형(샘플 1)

Fig. 3 Sample1 of PLC input and output waveform

그림 3의 (a)는 sag전압 및 전류를 PLC에 크기는 0.6[pu], 기간은 60[cycle]인 것이고, (b)는 PLC의 출력전압과 전류파형을 측정된 것이다. 측정된 파형으로 동작 상태를 판별하였다.

표 3은 PLC의 실험결과로 제조사와 부하의 유무에 따라 sag의 영향을 받는 범위를 나타낸 것이다.

표 3 PLC에 미치는 sag의 영향

Table 3 Effect of voltage sag in PLC

	Sample 1		Sample 2	
	무부하	정격부하	무부하	정격부하
기간[sec]	0.17~30	0.8~30	0.8~30	3~30
크기[pu]	0.625이하	0.525이하	0.075이하	0.15이하

그림 4는 PLC의 동적특성을 전력허용곡선으로 나타낸 것이다. 그림 4의 (a)는 제조사 별 무부하, (b)는 정격부하일 경우로서, 제조사에 따라 전력허용곡선이 서로 다르게 나타났다. 실험결과는 무부하일 경우에 정격부하일 경우 보다 상대적으로 sag에 대한 영향이 적게 나타났다. 이러한 영향은 PLC의 구조와 회로의 설계에 따라 순간전압강하에 대한 동적특성이 변화하는 것으로 사료된다.

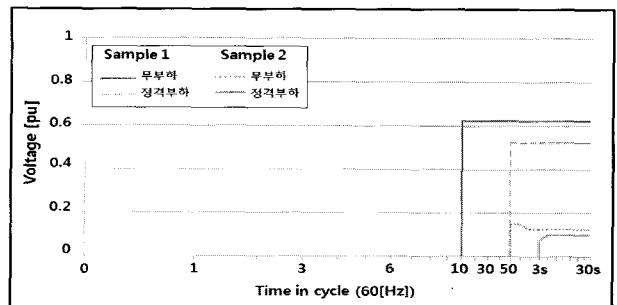


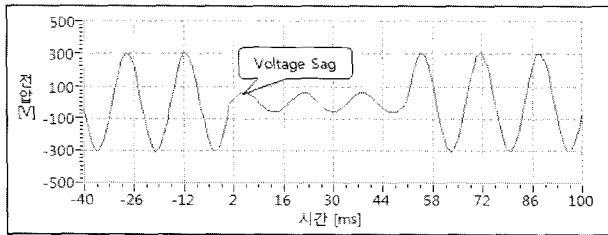
그림 4 PLC의 전력허용곡선
Fig. 4 CEBMA curve of PLC

4.2 전자접촉기의 실험결과

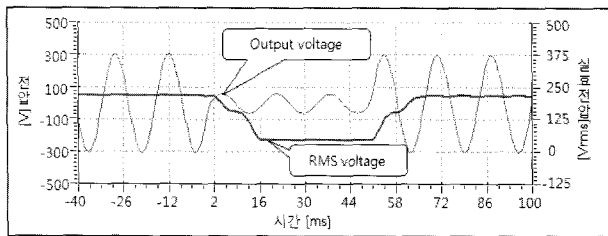
전자접촉기(M.C.:Magnetic Contactor)의 전원전압은 정격이 85~110[%]의 범위에 있을 때 정상적으로 동작한다. 그림 5, 6, 7, 8은 전자접촉기에 sag전압의 크기를 0.2[pu], 기간은 3[cycle]로 한 것이다.

그림 5는 sag시의 위상각이 0°인 파형을 나타낸 것이다.

그림 5의 (b)에서 전자접촉기에 출력전압 나타나는 것으로 sag에 의한 영향이 나타나지 않았다.



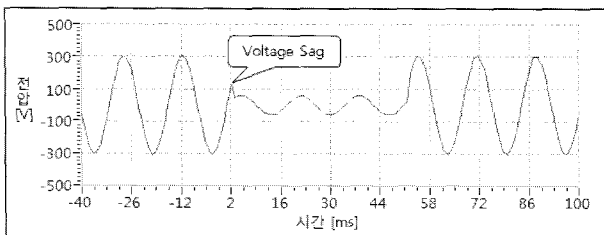
(a) Sag 입력전압파형
(a) Sag input voltage waveform



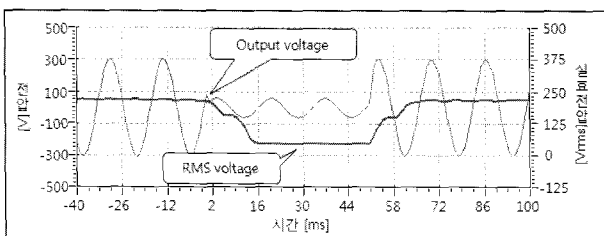
(b) 출력전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)파형
(b) Output and RMS voltage waveform

그림 5 전자접촉기의 Sag입력 및 출력전압(위상각:0°)
Fig. 5 M.C. input and output voltage(Phase angle:0°)

그림 6은 전자접촉기에 위상을 30°로 하여 sag를 입력한 파형이다. 그림 6의 (b)에서 전자접촉기에 출력전압 나타나는 것으로 sag에 의한 영향이 나타나지 않았다.



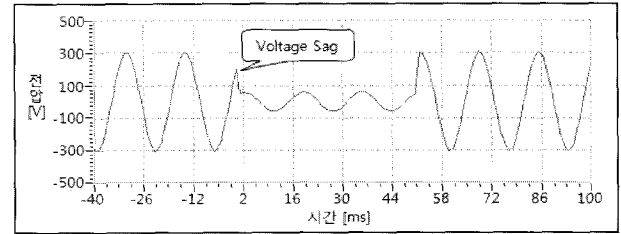
(a) Sag 입력전압파형
(a) Sag input voltage waveform



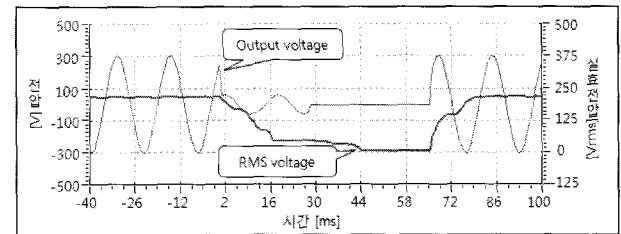
(b) 출력전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)파형
(b) Output and RMS voltage waveform

그림 6 전자접촉기의 Sag입력 및 출력전압(위상각:30°)
Fig. 6 M.C. input and output voltage(Phase angle:30°)

그림 7은 전자접촉기에 위상을 60°로 하여 sag를 입력한 파형이다. 그림 7의 (b)에서 전자접촉기의 출력전압은 0[V]되어 sag에 의한 영향이 나타나는 것을 보였다.



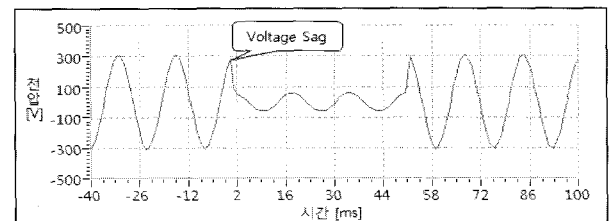
(a) Sag 입력전압파형
(a) Sag input voltage waveform



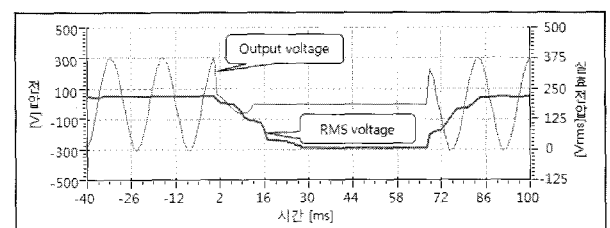
(b) 출력전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)파형
(b) Output and RMS voltage waveform

그림 7 전자접촉기의 Sag입력 및 출력전압(위상각:60°)
Fig. 7 M.C. input and output voltage(Phase angle:60°)

그림 8은 전자접촉기에 위상을 90°로 하여 sag를 입력한 파형이다. 그림 8의 (b)에서 전자접촉기에 전압은 0[V]가 출력되어 sag에 의한 영향이 나타나는 것을 보였다.



(a) Sag 입력전압파형
(a) Sag input voltage waveform



(b) 출력전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)파형
(b) Output and RMS voltage waveform

그림 8 전자접촉기의 Sag입력 및 출력전압(위상각:90°)
Fig. 8 M.C. input and output voltage(Phase angle:90°)

전자접촉기는 같은 sag의 크기와 기간에서 그림 5와 그림 6에서는 sag의 영향을 받지 않았지만, 그림 7과 그림 8에서는 sag의 영향을 받는 것으로 나타났다.

이러한 그림의 출력파형 이용하여 전자접촉기의 동작 상태를 판별하였으며, 그 동작에 대한 결과는 표 4에 sag의 영향에 대한 전자접촉기의 범위를 나타내었다.

표 4 Sag에 영향을 받는 전자접촉기 범위

Table 4 Effect of voltage sag in Magnetic Contactor

위상각 0°		위상각 30°	
기간[sec]	크기[pu]	기간[sec]	크기[pu]
0.02	-	0.02	-
0.03	0.4~0.575	0.03	0.375~0.55
0.05	0.275~0.6	0.05	0.225~0.6
0.07	0.1~0.6	0.07	0.1~0.6
0.08이상	0.6이하	0.08이상	0.6이하
위상각 60°		위상각 90°	
기간[sec]	크기[pu]	기간[sec]	크기[pu]
0.02	0.275~0.55	0.02이상	0.5이하
0.03	0.575~0.125		
0.05이상	0.575이하		

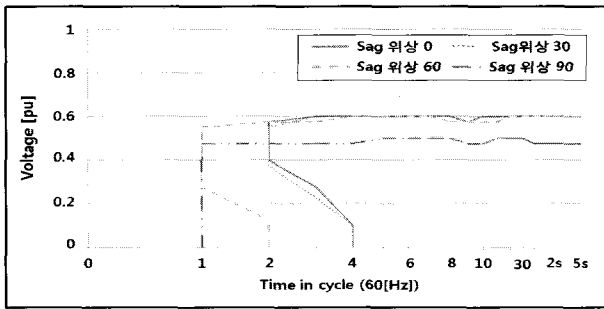


그림 9 전자접촉기의 전력허용곡선(샘플 1)

Fig. 9 CBEMA Curve of Magnetic Contactor(Sample 1)

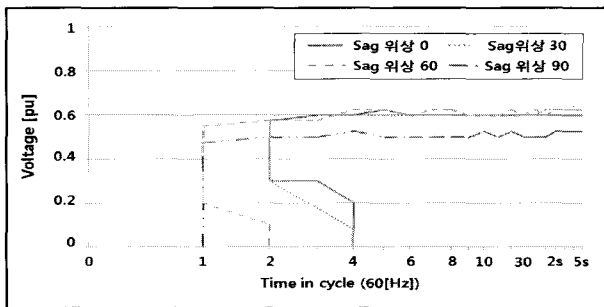


그림 10 전자접촉기의 전력허용곡선(샘플 2)

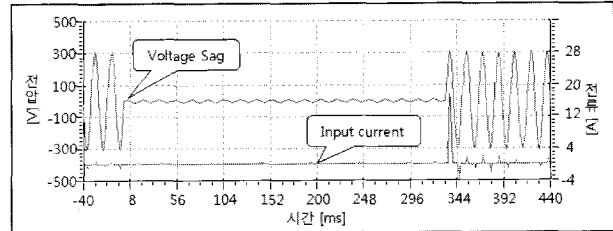
Fig. 10 CBEMA Curve of Magnetic Contactor(Sample 2)

그림 9와 10은 전자접촉기의 sag실험에 대한 결과로서, sag의 위상각을 0°, 30°, 60°, 90°로 투입하여 전력허용곡선으로 나타내었다. 위상각이 0°, 30°, 60°일 경우는 크기가 0.6[pu]에서 sag의 영향이 나타났지만 그 보다 낮은 크기의 약 0.4[pu]에서는 sag의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 위상각이 90°인 경우에는 다른 위상보다 낮은 0.5[pu]에서 sag의 영향이 나타났으며, 크기에 따라 sag의 영향이 나타나고 나타나지 않는 현상이 없었다. 실험결과는 sag의 위상에 따라 영향이 미치는 범위가 변화하는 현상이 발생하였고 또한, 전력허용곡선에서 위상에 따라 서로 다르게 나타났다. 실험의 결과 샘플 1과 샘플 2의 전력허용곡선이 약간의 차이가 보이는 것은 제조상의 차이이며, 동적특성은 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 이러한 경향으로 나타나는 것은 sag의 위상에 따라 전자접촉기의 코일과 전기자에 작용하는 자속의 영향이며, 전력시스템 설계 시 고려해야 될 사항이라고 사료된다.

4.3 PC-Power Supply(SMPS)의 실험결과

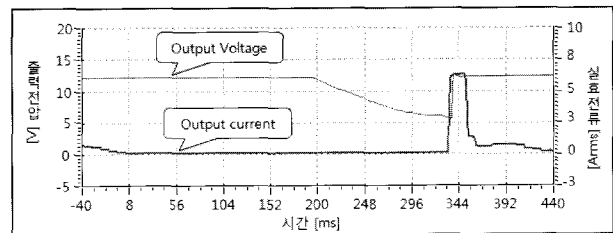
SMPS(Switch Mode Power Supply)의 정격출력은 95~105[%]의 범위에 있을 때 정상적으로 동작한다.

그림 11은 SMPS에 sag실험 파형중의 하나를 나타낸 것이다. 그림 11의 (a)는 SMPS에 sag전압의 크기는 0.025[pu], 기간은 20[cycle]으로 입력한 전압과 전류파형이고, (b)는 SMPS에 출력되는 전압 및 전류이다.



(a) Sag 전압과 전류파형

(a) Sag waveform of Voltage and Current



(b) 출력 및 전류파형

(b) Output Voltage and Current wave form

그림 11 SMPS의 Sag입력 및 출력파형

Fig. 11 SMPS input sag and output voltage waveform

SMPS의 Sag에 대한 영향평가는 두 가지의 방법으로 하였다. 첫 번째 방법은 PC-Power Supply에 연결되어 있는 주변장치(모니터, Hard-Disk, CD-ROM)의 동작과 정지 상태에 따른 평가이고, 두 번째 방법은 측정되는 파형으로 평가이다. 두 가지의 평가방법을 이용하여 SMPS에 대한 sag의 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5 Sag에 영향을 받는 SMPS의 범위

Table 5 Effect of voltage sag in SMPS

	정격 200[W]	정격 160[W]
기간[sec]	0.18 이상	0.15 이상
크기[pu]	0.55 이하	0.325 이하

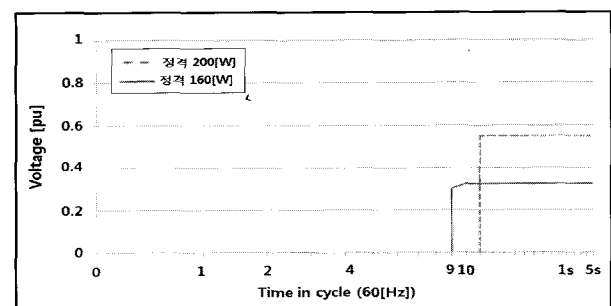


그림 12 SMPS의 전력허용곡선

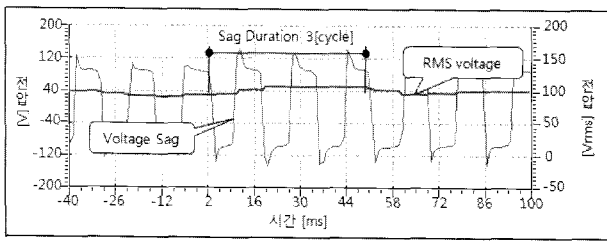
Fig. 12 CBEMA Curve of SMPS

그림 12는 SMPS의 전력허용곡선을 나타낸 것으로 점선은 정격이 200[W]일 경우이고, 실선은 정격이 160[W]인 경우이다. 그림 12에서 상대적으로 점선인 경우(정격 200[W])에 기간에 따른 sag의 영향이 적은 것을 보였으나, 실선인 경우(정격 160[W])에 크기에 따른 영향이 적은 것으로 나타났다. SMPS의 실험결과에서 정격이 클수록 sag의 기간에는 영향이 적지만, 크기에는 영향이 크게 된다고 사료된다.

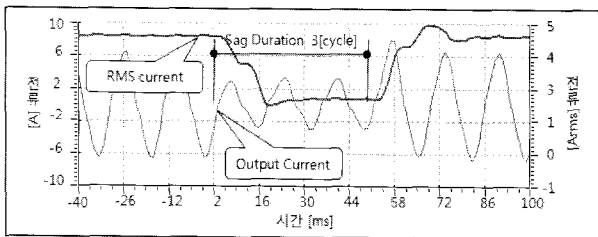
4.4 고압방전램프의 실험결과

고압방전램프는 전원전압은 정격이 92~106[%]의 범위에 있을 때 정상적으로 동작한다. 그림 13, 14, 15는 고압방전램프의 sag실험으로 측정된 파형중 하나로 크기는 0.675[pu], 기간은 3[cycle]이다.

그림 13에서 (a)는 출력전압과 실효전압을 나타낸 것으로 sag시에 전압이 상승하였으며, (b)는 출력전류와 실효전류를 나타낸 것으로 sag시에 전류가 감소하였고, sag후에는 다시 파형이 복귀되는 파형으로 나타났다. 이러한 파형은 안정기의 전류의 값의 감소에 의해 전압의 값이 상승하는 것으로 전류가 감소하게 되면 램프의 밝기가 약해지면서 안정기에 정격출력으로 전압이 증가됨으로 나타났다.



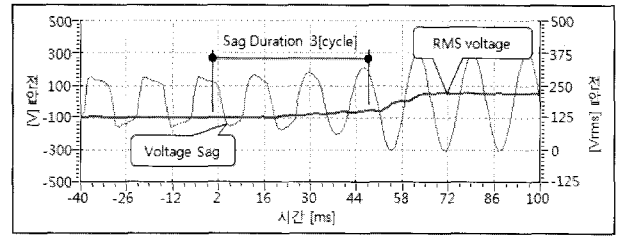
(a) 출력 전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)
(a) Output and RMS voltage waveform



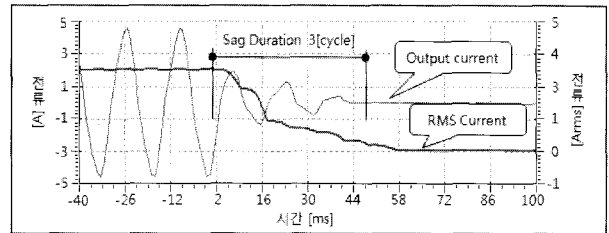
(b) 출력 전류(App)와 실효전류(Arms)파형
(b) Output and RMS current waveform

그림 13 고압나트륨램프의 출력전압 및 전류파형
Fig. 13 High-pressure Sodium lamp output voltage and current waveform

그림 14에서 (a)는 출력전압과 실효전압을 나타낸 것으로 sag시에 전압이 상승하여 sag후에는 입력전압인 220[V]로 나타났으며, (b)는 출력전류와 실효전류를 나타낸 것으로 sag시에 전류가 점점 감소하다가 sag후에는 0[A]로 나타났다. 이러한 파형은 안정기의 전류의 값의 감소에 의해 전압의 값이 상승하는 것으로 전류가 0[A]가 되면 램프가 동작을 정지하여 안정기에 흐르는 전압이 출력되는 것으로 보이는 것으로 사료된다.



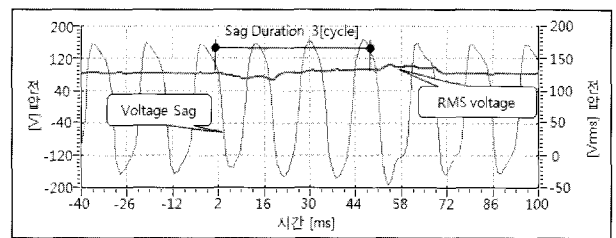
(a) 출력 전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)
(a) Output and RMS voltage waveform



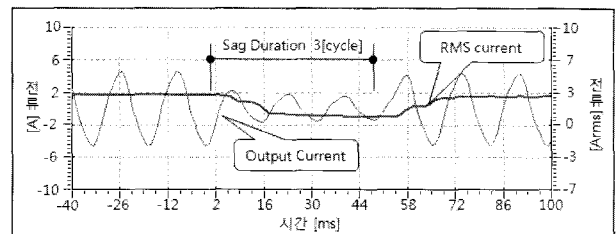
(b) 출력 전류(App)와 실효전류(Arms)파형
(b) Output and RMS current waveform

그림 14 고압수은램프의 출력전압 및 전류파형
Fig. 14 High-pressure Mercury lamp output voltage and current waveform

그림 15에서 (a)는 출력전압과 실효전압을 나타낸 것으로 sag시에 전압이 상승하였으며, (b)는 출력전류와 실효전류를 나타낸 것으로 sag시에 전류가 감소하였고, sag후에는 다시 파형이 복귀되었다.



(a) 출력 전압(Vpp)과 실효전압(Vrms)
(a) Output and RMS voltage waveform



(b) 출력 전류(App)와 실효전류(Arms)파형
(b) Output and RMS current waveform

그림 15 메탈헤라이드램프의 출력전압 및 전류파형
Fig. 15 Metal halide lamp output voltage and current waveform

고압방전램프의 Sag에 대한 영향평가는 두 가지의 방법으로 첫 번째 방법은 고압방전램프의 동작과 정지 상태에 따른 평가이고, 두 번째 방법은 출력전압과 전류의 파형을 측정하여 평가하는 것이다. 그림 13, 14, 15는 두 번째의 방법으로 평가하는 방법으로서, 측정된 값 중에 한 예를 나타낸 것이다. 이와 같은 방법을 이용하여 고압방전램프에 대한 sag의 결과를 표 6에 나타내었다.

표 6 Sag에 영향을 받는 고압방전램프의 범위
Table 6 Effect of voltage sag in High-Pressure Discharge Lamp

고압나트륨		고압수은	
기간[sec]	크기[pu]	기간[sec]	크기[pu]
0.02~5	0.7이하	0.02	0.525이하
		0.03	0.625이하
		0.05	0.7이하
		0.07~5	0.75이하
메탈헬라이드			
기간[sec]	크기[pu]	기간[sec]	크기[pu]
0.02	-	0.15	0.7이하
0.03	0.475이하	0.15~0.5	0.725이하
0.05	0.575이하	0.5~5	0.75이하
0.07	0.625이하		

그림 16은 고압 방전램프의 전력허용곡선으로, 실선은 고압나트륨램프, 점선은 고압수은램프, 파선은 메탈헬라이드램프를 나타낸 것이다.

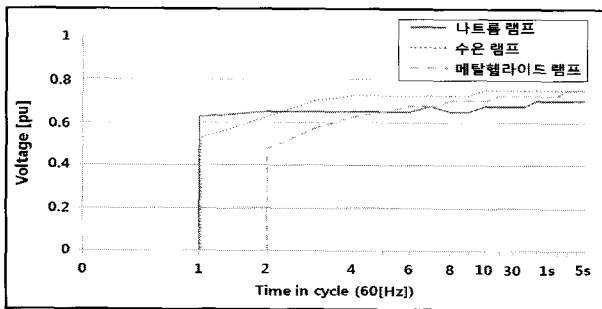


그림 16 고압방전램프의 전력허용곡선
Fig. 16 CBEMA Curve of High-Pressure Discharge Lamp

고압방전램프의 전력허용곡선에서 sag의 기간에 따라 나트륨램프가 크기의 변동이 가장 작게 나타났으며, 메탈헬라이드램프가 크기의 변동이 크게 나타났다. 이것은 나트륨램프가 다른 램프보다 순간전압강하에 대한 영향이 적어 전압 품질에 강한 내성력을 가지고 있다고 사료된다.

5. 결 론

순간전압강하가 발생하였을 경우에 비선형 저압전기기기인 PLC, 전자접촉기, SMPS, 고압방전램프가 어떠한 영향을 미치는지 계측하고, 부하의 동작에 대한 한계전압과 시간에 대한 동적특성을 전력허용곡선을 이용하여 나타내었다. 그 결과 전압품질이 비선형 부하기기에 의해 미치는 영향은 전압에 대한 민감성에 따라 변동하였다. 따라서 전기기기의

전압 민감성에 대해 많은 논의가 필요하다고 생각되어지며, 본 연구에서 나타낸 부하기기의 전력허용곡선을 고려하여 전원 시스템의 설계 및 운영에서 활용이 가능할 것이다.

감사의 글

이 연구는 2007년도 산업자원부의 전력산업연구개발사업 전력선행기술에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김지홍, 이상동, 김명찬, 이현원, 이준엽, "전력품질과 동적 순간전압강하 보상기의 적용", 전기저널, Dec.2000, pp32-39.
- [2] 이은용, 임수생, "전력품질에 대한 분석과 개선대책", 전기저널, Sep.2001, pp34-42.
- [3] 원충연, "전원과 전력전자 시스템의 전력품질개선", 조명·전기설비학회지, 제14권, 제3호, 2000년 6월, pp68-74.
- [4] IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE Std. 1159-1995, Nov. 1995.
- [5] IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances, IEEE Std. 1250-1995, June 1995.
- [6] IEEE Standard Terms for Reporting and Analyzing Outage Occurrences and Outage States of Electrical Transmission Facilities, IEEE Std. 859-1987, Feb.1988.
- [7] Electromagnetic compatibility (EMC), ICE 61000-4-11.
- [8] Specification for Semiconductor Processing Equipment Voltage Sag Immunity, SEMI F47-0200.
- [9] Christopher J. Melhorn, Mark F. McGranhan, "Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements", Textile, Fiber and Film Industry Technical Conference, 1995. IEEE 1995 Annual, May 1995, pp1-9.
- [10] Geun-Joon Lee, Mihaela M. Albu, Gerald Thomas Heydt, "A Power Quality Index Based on Equipment Sensitivity, Cost, and Network Vulnerability", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19, No.3, July 2004, pp1504-1510.
- [11] Dong-Jun Won, Seon-Ju Ahn, Il-Yop Chung, Joong-Moon Kim, Seung-II Moon, "A New Definition of Voltage Sag Duration considering The Voltage Tolerance Curve", IEEE Conf., 2003. Vol. 3. pp5.
- [12] 이근준, 이현철, 정성원, 김재현 "순간전압강하에 대한 저압기기의 응답특성 실험결과", 대한전기학회 전력기술부문 추계학술대회, 2007, pp40-42.
- [13] IEEE recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment, IEEE std. 1346, 1998.

- [14] Bollen, M.H.J. Sabin, D.D. Thallam, R.S., "Voltage-sag indices - recent developments in IEEE PI564 task force", Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, 2003. CIGRE/PES 2003. CIGRE/IEEE PES International Symposium 8-10, Oct. 2003, pp34-41.
- [15] J.Pedra, F. Corecoles, L. Sainz, "Study of AC contactors during voltage sags", Harmonics and Quality of Power, 10th International Conf., Vol. 2, 2002, pp565-570.



이근준 (李根準)

1981년 울산공대 전기공학과 졸업. 1985년 서울대학교 대학원 전기공학과(석사) 1996년 울산대 전기공학과(박) 1976-1998년 한전전력연구원 선임연구원. 1988-1989년 미국 University of Texas at Arlington Energy System Research Center 연구원, 2001-2002년 미국 Arizona State University PSERC 교환교수. IEEE Senior Member, 발송배전 기술사. 현재 충북과학대학 전기과 교수.
Tel : 043-730-6321
E-mail : gjlee@citech.ac.kr

저 자 소 개



이현철 (李賢哲)

1979년 12월 13일생. 2002년 원광대 대전 기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~2005년 (주)네스랩 연구원, 2007년~현재 (주)그린넷파워 연구원
Tel : 043-731-7448
Fax : 043-731-7433
E-mail : oneye@naver.com



김재현 (金在顯)

1956년 1월 25일생, 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1989년 University of Texas at Arlington 졸업(석사). 1993년 동 대학교 졸업(박사). 현재 국립 순천대학교 전기제어공학과 부교수.
Tel : 061-750-3545
Fax : 061-750-3508
E-mail : jhg@sunchon.ac.kr



정성원 (鄭盛元)

1975년 11월 26일생, 2002년 순천대 전기 제어공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2005년~현재 동 대학원 박사과정
Tel : 061-750-3545
Fax : 061-750-3508
E-mail : ww180@sunchon.ac.kr