

순간전압강하에 대한 저압전기기기의 운전특성에 관한 연구

이현철\*, 김재현\*\*, 정성원\*\*, 이근준\*\*\*  
 (주)그린넷파워\*, 순천대\*\*, 충북과학대\*\*\*

The study on characteristics of operating limit of electric machine under the effects of Sag

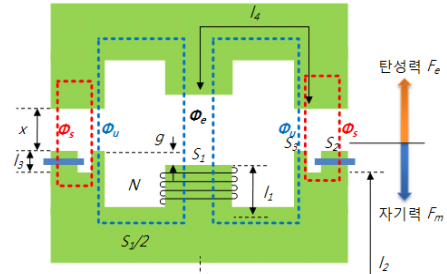
Hyun-Chul Lee\*, Jae-Hyeon Gim\*\*, Sung-Won\*\*, Geun-Joon Lee\*\*\*  
 GreenNetPower\*, Suncheon University\*\*, Chungkuk Provinaiial University of Science Technology\*\*\*

**Abstract** - For the supported high-technology, it is in need of estimation about power quality and reasonable price through machinism. The power system made much of precision digital industrial damage under sag. This study suggested electric machine under effects of power quality in the theory and test. A electric machine was simulated and experimented about sag. The test system made up IPC as voltage sag device. The test machine was magnetic contactor and PLC. The result, electric machines appeared to influence sag with CBEMA curve. It was make possible analysis of power system about a fault. This study was expected to method that investment and development of equipment on power market in the future.

기의 저압기기를 특성에 맞게 모델링과 실험을 통해 이론적, 실험적으로 전압강하에 대한 영향을 분석하였다.

2.2.1 전자접촉기의 시뮬레이션

전자접촉기는 다른 부하들에 연결되어 이들 부하에 전원을 공급 또는 차단하는 기능을 하고 있다. 전자접촉기의 기본적인 모델은 그림 1과 같고, 하단의 코일에는 여자 코일과 세이딩 코일로 이루어져있다[10].



<그림 1> 전자접촉기의 구조

그림 1의 전자접촉기의 전기, 자속, 기계 방정식을 이용하여 미분 방정식을 구할 수 있다.

$$\frac{d\psi_e}{dt} = \frac{1}{N}(e - r_e i_e) = \frac{1}{N} \left[ e - r_e \frac{(R_e + R_u)\psi_e - R_u \psi_s}{N} \right]$$

$$= -\frac{r_e (R_e + R_u)}{N^2} \psi_e + \frac{r_e R_u}{N^2} \psi_s + \frac{1}{N} e \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_s}{dt} = -2r_s i_s = -2r_s [-R_u \psi_e + (R_u + R_s) \psi_s] \quad (4)$$

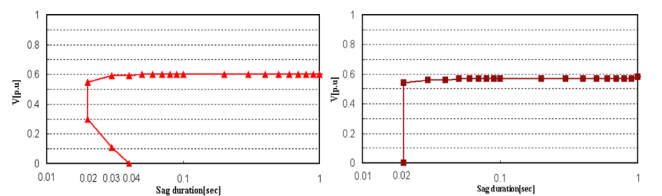
$$\frac{dx}{dt} = v \quad (5)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} (F_m + F_e + F_d + F_g)$$

$$= \frac{1}{m} \left[ -\frac{\psi_e^2}{4\mu_0} \left( \frac{2}{S_1} + \frac{1}{S_3} \right) - \frac{\psi_s^2}{4\mu_0} \left( \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3} \right) + \frac{\psi_e \psi_s}{2\mu_0 S_3} \right]$$

$$+ \frac{1}{m} [k_m (x_1 - x) + k_f (x_2 - x)] + \frac{D}{M} v \quad (6)$$

여기서,  $e$ : 인가전압,  $r_e, i_e$ : 여자코일의 저항과 전류,  $i_s$ : 세이딩 코일의 전류,  $M$ : 움직이는 철심의 무게,  $F_m, F_e, F_d, F_g$ : 자기력, 탄성력, 제동력, 중력,  $D$ : 댐핑계수이다. 식(3-6)을 수치해법으로 계산하여 해를 구하면 전자접촉기의 특성을 구할 수 있다[11]. 그림 2는 실험결과를 CBEMA곡선으로 모의실험을 위해 순간전압의 크기는 0.2[p.u], 기간이 0.03[s]인 상태에 대해 해석하였다.



(a) 위상30°

(b) 위상60°

1. 서 론

최근 산업의 발전으로 전기기기에 대한 수요가 늘어나면서 전력품질에 대한 관심이 높아지고 있다. 전력품질은 전력계통의 정격 전압과 정격주파수를 유지하는 것이며, 사용자 설비의 고장 혹은 오동작을 일으키는 전압, 전류, 주파수 탈조 등에 관련된 모든 전력문제라고 정의 할 수 있다. 전력 공급시스템은 단지 전압의 품질을 제어 할 수 있으므로 전력품질 영역에서 표준은 어떤 한도 내에서 공급전압을 계속 유지 하는 것이다. 교류 전력시스템은 정현파형의 크기와 주파수에서 동작되도록 설계된다. 크기, 주파수, 혹은 파형의 정격변화는 잠재적인 전력의 품질에 관한 문제가 된다. 발전기가 거의 완전한 정현파형의 전압을 공급 하더라도, 시스템의 임피던스를 통하여 흐르는 전류 때문에 다양한 외란이 전압에 나타난다[1-4]. 전력품질의 정도를 나타내는 평가지표로서는 일반적으로 주파수유지율, 전압유지율 및 정전횟수 등이 사용되어 왔으나, 최근에는 미소외란에 대하여 민감하게 영향을 받는 고도부하기기에 대한 대책마련의 일환으로서 순시전압저하, 순시전압상승, 고조파, 전압 불평형, 순간정전, 서지와 같은 미소 외란의 요소들이 고려되고 있다[5-7].

본 연구의 목적은 순간전압강하가 전기기기에 미치는 영향에 대한 특성을 모의와 실증실험으로 검증하기 위함이다.

2. 본 론

2.1 순간전압의 정량적 평가법

전압강하에너지  $E_{VS}$ 는 식(1)로 나타낼 수 있다[8-10].

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

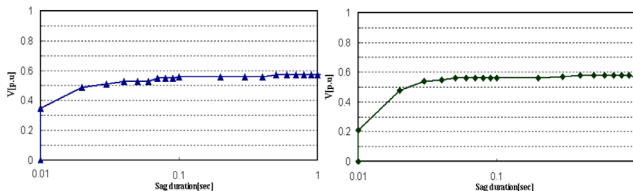
여기서,  $V(t)$ 는 이벤트 동안에 전압의 크기이고,  $V_{nom}$ 은 공칭 전압이다. 전압과 공칭전압은 동일하게 Volt(또는 kV, per unit)로 나타낼 수 있다. 계수 100은 적당한 수치의 결과로 전압강하 에너지 값으로 사용했다. 식(1)에 따른 전압강하에너지는 무차원 수이다. 전압 크기가 1/2사이클마다 갱신되는 1사이클 실효치 전압일 때 식(2)로 나타낼 수 있다.

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

여기서, 총합은 이벤트의 기간에 대한 것이다. 즉, 실효치 전압의 모든 값에 대한 값이다.

2.2 전압품질의 기기 실험

본 연구에서는 산업 현장에서 주로 사용되고 있는 전자 접촉



(c) 위상75° (d) 위상90°  
 <그림 2> 위상에 따른 전자접촉기의 CBEMA 곡선

순간전압강하의 위상이 점점 커짐에 따라 0.05[s] 이전에 전자접촉기의 안정영역이 점점 작아짐을 알 수가 있다. 그림 2의 (a)는 위상이 30° 인 경우로서 출력은 순간전압강하 발생 후 완만하게 감소하지만, 위상이 90° 인 경우는 전압의 최대값에서 급격하게 감소하는 결과를 나타낸다. 모의결과, 위상이 커짐에 따라 0.05[s] 이전에 전자접촉기의 안정영역이 작아짐을 알 수가 있다.

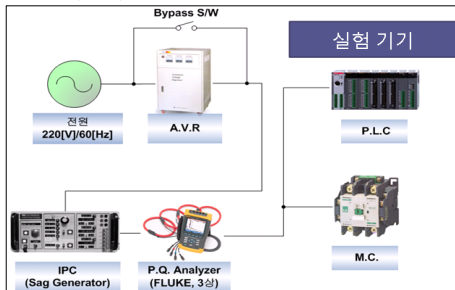
순간전압강하에 대한 저압기기의 운전특성을 설계에 반영하기 위해서는 컴퓨터 모의가 필요하며, 기기의 시뮬레이션에 사용된 변수는 표1과 같다.

<표 1> Contactor 모의실험을 위한 변수

변수	전기방정식	자속방정식	기계방정식
	$e, r_e, r_s$	$R_e, R_s, R_u$	$M$
	$i_e, i_s, \lambda_e, \lambda_s$	$\Phi_e, \Phi_s, \Phi_u$	$F_m, F_e, F_d, F_g$

### 2.3 전압품질에 대한 저압전기기기 실험

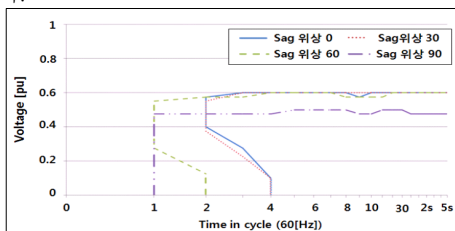
그림 3은 본 연구에 사용된 비선형 저압전기기기의 전압품질 부하시험 시스템을 나타낸 것이다[11-12]. 부하시험 시스템은 AVR, Sag발생기 그리고, PQ Meter로 구성하였다. 시스템에 공급하는 전원은 220[Vac], 60[Hz]이며, 상용전원을 순간전압강하가 발생 전까지 전기기기에 일정한 전압의 크기를 투입하기 위해 AVR을 사용하였다. Bypass S/W는 AVR의 단락 사고 또는 용량 초과 시 안정적인 계통의 전원을 Sag 발생기에 공급한다. Sag발생기는 PSL사의 IPC로서 Sag의 크기, 기간, 위상을 조정할 수 있게 공급하며, 전력품질분석기는 FLUKE사의 3상 PQ Meter로서 순간전압강하의 투입시 기기의 입·출력을 실시간으로 모니터링 및 분석한다.



<그림 3> 전력품질 부하시험 시스템

#### 2.3.1 전자접촉기의 실험실험

그림 4는 전자접촉기에 순간전압강하의 입력 위상을 0°, 30°, 60°, 90°로 하여 측정한 결과를 CBEMA곡선으로 나타내었다. 실험의 결과에서 순간전압강하 위상에 따라 영향이 미치는 범위가 변화하는 현상이 발생하였고 또한, 전력허용곡선에서 위상에 따라 서로 다르게 나타났으며, 샘플간의 전력허용곡선이 차이가 보이는 것은 제조상의 차이이며, 동적특성은 거의 비슷한 경향을 나타내었다.

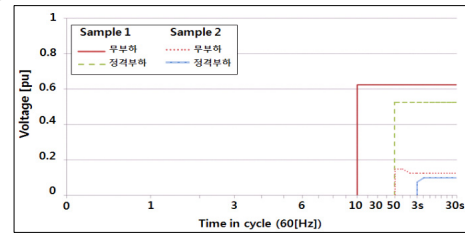


<그림 4> 전자접촉기의 CBEMA곡선

#### 2.3.2 PLC(Programmable Logic Cotrllers)

그림 5는 PLC의 동적특성을 전력허용곡선으로 나타낸 것으로

각 샘플에 부하의 변동에 따라 실험을 하였다. 실험결과 무부하일 경우에 정격부하일 경우 보다 상대적으로 순간전압강하에 대한 영향이 적게 나타났으며, 또한 샘플에 따라서 순간전압강하에 영향이 다르게 나타났다. 이러한 영향은 PLC의 구조와 회로의 설계에 따라 순간전압강하에 대한 동적특성이 변화하는 것으로 사료된다.



<그림 5> PLC의 전력허용곡선

### 3. 결 론

순간전압강하에 대한 컴퓨터 모의와 실험을 통하여 기기의 동적특성을 나타내었다. 모의과정에서 기기들의 많은 미결정상수들로 인해 모의의 정밀성을 검증하는 것은 한계가 있었다. 그러나 컴퓨터 모의와 실증실험의 결과 비슷한 경향을 나타내며, 모의와 시험간의 경향의 유사성이 큰 것으로 보아 올바른 제정수를 확보한다면, 모의는 향상될 것으로 보인다. 이러한 경향은 다른 종류의 전기기기(모터나 인버터)의 경우에도 적용될 수 있다고 사료된다. 동일기기에서도 제작소마다 상이한 특성정수가 있고 이에 대한 상수의 제시는 매우 미흡하기 때문에 컴퓨터 모의에 의한 순간전압강하의 영향을 정량화하기 위해서는 저압전기기기 설계시의 자료를 영향검토에 응용가능토록 하는 사회적 협의가 필요하겠다.

### 감사의 글

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

### [참 고 문 헌]

- [1] 서울대학교 “비선형 대전력 부하의 계통영향 평가 및 전기품질 분석에 대한 기초연구”, 12., 2004
- [2] 손신영, “우리나라의 전력품질 평가 및 향상방안에 관한 연구”, 건국대학교 산업대학원 석사논문, 1997.
- [3] “배전계통의 순간전압강하대책에 관한 연구”, 한국전력공사, 1986.10
- [4] IEEE Std 1250-1995, IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances, This standard short overview of power quality concerns.
- [5] 전자기기 적합성(EMC) “시험방법 및 측정방법-전압강하, 순간정전, 전압 변동에 대한 내성 시험”, KS C IEC 61000-4-11.
- [6] Christopher J. Melhorn, Mark F. McGranghan, “Interpretation and Analysis of Power Quality Measurements”, Textile, Fiber and Film Industry Technical Conference, 1995. IEEE 1995 Annual, May 1995, pp1-9.
- [7] 전자기기적합성(EMC) “일반기준 - 제2절 : 산업용 환경에서 사용하는 기기의 전자기기내성 기준”, KSCIEC61000-6-2.
- [8] IEEE recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment, IEEE std. 1346, 1998.
- [9] 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.
- [10] F. Corcoles, J. Pedra, J.P. Garrido and R. Baza, “Model for the dynamic study of AC contactors”, Int. Conf. On Electrical Machines (ICEM' 00), Espoo, Finland, Aug. 2000, pp.449-453
- [11] 이근준, 이상한, 김재현, 김경철, 이현철, 정성원, 이종배, “전압품질이 저압 전기기기 운전한계에 미치는 특성연구”, 산업자원부, 2007.
- [12] 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.