

**제철소 연주 전기설비 설계의 모델화**

조 양행\*, 손 재현\*, 박 규홍\* \*  
 \*영동전문대학 전기과, \*\*대림대학 전기공학과

**Power System Analysis Model for C.C Facility of Steel Plant**

Cho Yang Haeng\*, Son Jae Hyun\*, Park Kyu Hong\* \*  
 \*Yeong Dong College, \*\*Dae Lim College

**Abstract** - Every engineering discipline has, in recent year, felt the impact of computer-aided analysis and design. Normally the studies of power system analysis by computer are load flow, short circuit and harmonic calculation, the amount the voltage deviates from motor starting, reliability and system stability. These studies are very important from the operating and planning points of power system. This paper presents analysis of load flow, short circuit current calculation, the effect for voltage deviation of induction motor starting and harmonic distortion in power system of continuous casting(C. C) plant. The resulting analysis is applied the configuration and design engineering of power system.

**1. 서 론**

오늘날 산업사회의 기술이 고도로 성장할수록 안정적이면서도 신뢰성이 높은 양질의 전력을 필요로 한다. 전력 품질은 크게 공급신뢰성과 전압의 질로 평가된다. 전력의 공급신뢰성에 영향을 주는 요인으로는 전력공급이 일시적으로 중단되거나 외란 등으로 인해 전압이 순간적으로 허용 범위를 벗어나는 것들이며 전압의 질을 떨어뜨리는 요인으로는 고조파문제, 전압 불평형, 전압의 순간급변화, 썬치의 발생등을 들 수 있고 이 요인들은 부하에 악영향을 미치게 된다. 대형공장의 전력시스템을 엔지니어링하는 데는 여러 가지 조건들을 고려하지 않으면 안되므로, 지금까지는 외국사에서 중요 기본도면과 자료를 도입하는 사례가 많았다. 이러한 면에서 전력계통에 대하여 전기부분의 기술확립과 기존자료를 데이터 베이스화 함으로써 금후 국내의 프로젝트에 활용될 수 있도록 하기 위하여 엔지니어링의 모델화를 만들어 Guideline을 세우고자 하는 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 우선 제철설비중 연 주설비(C.C Facility)에 대하여 엔지니어링의 모델화를 만들어 Guideline을 정립하고 금후 다른 철강 단위 공장에도 유사하게 적용될 수 있는 기반을 구축하고자 한다[1].

**2. 기초자료 조사**

**2.1 기존설비자료 및 현장조사**

**2.2.1 기존설비 자료 조사**

기존설비의 자료조사는 현재 운전중인 P 및 K제철소의 연주설비에 대하여 각종 전력시스템의 구성과 자료를 조사한다(이하 P 및 K 시스템이라 한다). 수전방식에는 2회선 수전방식을 채택하고 있으나, 공장측 모선 차단기(Bus Tie CB)는 Normal Open 운전하고 있다. 즉 사용회선 별로 해당공장의 부하만을 공급하고, 어느 회선 고장시에는 모선의 차단기를 투입시켜 양쪽 부하에

전력을 공급하도록 하는 시스템으로 구성되어 있다. 공장측의 주변압기 2차측 모선은 단일 모선방식을 채용하고 있다. 계통전압은 절연계급, 전력손실, 전압변동 등에 대해 다양한 조건을 고려하여 결정 된 것으로 볼 수 있다.

변압기의 결선과 계통접지는 주변전소측은 저항접지방식을 채용하고 있으며, 역률개선 장치는 P전력시스템에서는 사용하지 않고 있으나 K시스템에서는 3개의 Bank가 운영되고 있다. 모터의 기동은 기동전류, 역률 등에 따라 시스템전압의 변화에 큰 영향을 미치고 있어, 이를 고려하여 용량에 따라 직입, Y- $\Delta$ , 리액터 기동 등이 사용되고 있다. 고조파 보상설비는 P 및 K시스템에서는 설치되어 있지 않다. 보호시스템에 관해서는 수전선로의 보호는 P시스템에서는 과전류방식이 사용되고, K시스템에서는 Pilot Wire 계전방식(17Ry)이 사용되고 있다.

**2.2.2 시스템 현장 조사**

**1) 부하조사**

전력 계통의 설비계획을 추진하는데 있어 가장 중요한 업무가 부하용량을 결정하는 일이다. 전력계통의 모든 기기는 부하의 내용에 따라 결정되는 것이며 설비계획의 기초가 되는 것으로 가급적 정확한 내용을 파악해야 한다. 본 연구는 P 및 K 제철소에 실공장이 있으므로 거의 정확하게 소요전력 값을 산정 할 수 있어 생산량과 그에 따른 부하전력 값을 조사하여 데이터로 이용한다[2].

**2) 고조파의 발생조사**

종래에는 고조파를 발생시키는 설비도 작고 용량도 작았으므로 고조파의 발생레벨도 낮아서 문제가 되지 않았으나 근년에는 고조파 발생 설비가 증대하고 대용량화 하기 때문에 고조파 장애가 큰 문제로 대두되고 있다[3]. 또한 공장신설, 증설시점에서 장애가 예상되는 경우 당초부터 교류 필터를 설치하게 되었다. 고조파 발생설비가 많은 경우 개별설비의 고조파 발생량을 계산하여 전 전력시스템에서 총 외형률을 계산하는 것은 많은 오차를 갖게 된다. 고조파 계산은 부하의 상태에 따라 값이 아주 다양하게 변하므로 기술 계산에 의한 방법보다는 실제 부하가 있는 현장실측이 가장 확실한 방법이다. 주변전소 공급 변압기 후단(3.3(KV)) 측정결과 합 외형률은 1.08[%]이다. 이 값은 일반적인 제한기준인 3[%]보다 작은 값으로 고조파에 대한 문제는 없는 것으로 판단되며 고조파필터 등의 설치 문제는 검토할 필요가 없다.

**2.2 모델 시스템 선정**

본 연구에서는 기존 자료의 분석을 통하여 기본 계통구성과 계통전압, 부하용량 등을 결정한다. 연주공장의 용량과 전력 시스템의 기본 구성 등은 P시스템의 No.3연주공장을 주 대상으로 선정하고 부하용량은 No.4 연주공장을 참고한다. 본 모델 시스템에서는 1,819(천 Ton/Year)의 설비에 대한 전력 계통을 구성하는 것으로

로 한다. 수전방식은 그림 1과 같은 예비선 수전방식으로 한다.

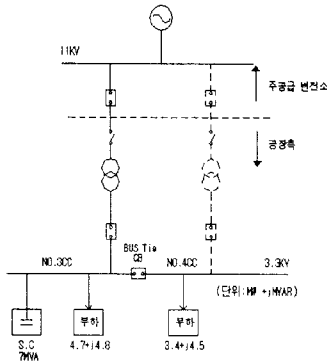


그림 1 모델 시스템  
Fig.1 Model System

그림 1에서 각각의 부하는 해당 상용선에서 공급되고 Bus Tie CB는 Open 상태로 운전한다. 만약 어느 부하쪽의 상용선로나 주변압기 등의 고장이 일어나면 Bus Tie CB를 통하여 전원을 공급받는 방식으로 한다.

### 3. System Study

#### 3.1 조류계산

##### 3.1.1 계통도와 시뮬레이션

전력계통의 운용과 확장계획 등에서 우선적으로 검토해야 하는 것은 계통내 각 수요 지점에 있어서 규정된 전압치 및 필요로 하는 유효, 무효전력을 공급하기 위하여 발전기 출력 및 모선전압의 계산, 송·배전선에 흐르는 전력조류 (Power Flow) 등의 계산을 행한다. 본 계산에서는 실 데이터를 적용하기 위해 P시스템 설비인 No.3 CC 설비의 부하 데이터 값을 이용하여 계산한다. 그림 1과 같은 기본계통구성에서 모선 12개와 선로 11개로 축약하였으며, 본 연주 설비의 조류계산은 다음과 같이 3가지에 대하여 계산 분석한다.

- ① Case 1 : 그림 1에서 수전 변압기를 통해 No.3, 4의 연주설비에 부하를 공급하는 경우이다. 즉, No.4 CC 쪽의 수전 선로가 고장난 경우 No.3 CC에서 양쪽 부하에 전력을 공급할 수 있는 경우이다.
- ② Case 2 : 그림 1에서 No.3CC 만 부하를 공급하는 경우이다.
- ③ Case 3 : Case 1에서 모선에 역률개선용 콘덴서(SC)를 7(MVA)정도 설치하는 경우이다.

##### 3.1.2 계산결과

조류계산에 대한 각 Case 별 계산 결과 분석은 다음과 같다.

- ① Case 1  
수전전력은  $8.1+j9.5$  [MW+jMVAR]이며 이때 역률은 64.9%이다. 모선전압은 0.997~0.973[PU] 값으로 정상적인 모선전압을 보이고 있다. 이 경우는 부하역률이 매우 좋지 않으며 부하역률은 최소 90% 이상을 유지하도록 역률 보상용콘덴서(SC) 설치가 필요하다.
- ② Case 2  
수전전력은  $4.7+j4.97$  [MW+jMVAR]이며 역률은 68.7%이고, 모선전압은 0.998~0.983[PU] 값으로 정상적인 모선전압을 보이고 있다. 이 경우에도 부하역률이 90% 이하이므로 역률 보상용콘덴서의 설치가 요망된다.
- ③ Case 3

수전전력은  $8.1+j2.5$  [MW+jMVAR]이며 역률은 95.5%이고, 모선전압은 0.996~0.973[PU] 값으로 정상적인 모선전압을 보이고 있다. 이 경우 모선에 7(MVA)정도의 역률 보상용콘덴서를 설치하여 역률이 64.9%에서 95.5%로 개선됨을 알 수 있었다.

### 3.2 고장계산

#### 3.2.1 고장전류

고장계산은 전력계통내의 단락 또는 지락사고시 고장점과 각 지점의 고장전류 및 전압분포를 구하는 것으로서 계산결과를 근거로 차단기의 차단용량, 전력기의 기계적강도, 보호계전기의 정정 및 통신선의 유도전압 등을 선정 또는 검토하는데 필수적인 계산이다. 이 고장전류의 실효값(rms)은 계통전압을 E(실효치), 고장점에서 본 계통 등가임피던스를 Z라 하면  $I = E/Z$  로서 구한다. 전류 I의 크기는 시간에 따라 변하며, 이 값은 계통 시정수 X/R 비에 따라 다르다. 특히, 차단기의 용량 선정에 필요한 고장전류 크기 값은  $1/2$  Cycle (Momentary Current)과 약 3~5 Cycle (Interrupting Current)구간에 대한 고장전류를 구해야 한다.

- Momentary ( First-Cycle) Fault Current

$$I_{asym} = \frac{E_{pu}}{Z_{pu}} \times I_{base} \times K \dots \dots (1)$$

- Interrupting Fault Current

$$I_{sc} = \frac{E_{pu}}{Z_{pu}} \times I_{base} \times MK \dots \dots (2)$$

본 논문에는 현재의 제철소 전력계통을 기준으로 현장에서 입수된 자료(One Line Diagram, 기기정수 등)와 참고자료에 의해 Impedance Map을 작성, 이를 토대로 계통내 각 지점의 단락고장전류를 계산한다.

#### 3.2.2 고장계산 시뮬레이션

모델시스템에 대한 고장계산을 위한 전체계통도는 그림 1과 같이 11[KV] 주공급 변전소는 154[KV] 변전소에서 수전하는 것으로 한다. 3.3[KV]에 연결된 주요 유도전동기는 22대를 모델링하여 적용하며, 440[V] 모선에 대해서도 계산한다.

기준용량(10MVA Base)으로 변환된 임피던스의 계산입력 데이터는 전원계통에 대해서 1.144[%]가 적용되었으며 상세 입력데이터는 생략한다. 계산 Case로는 다음과 같이 3가지에 대하여 계산해본다.

- ① Case 1 : No.3 CC만 정상운전시의 Momentary 및 Interrupting 전류계산
- ② Case 2 : BUS Tie CB를 투입하는 경우의 Momentary 및 Interrupting 전류계산
- ③ Case 3 : 만약 2회선 수전하여 No.3 CC와 No.4 CC가 병렬 운전하는 경우의 Momentary 및 Interrupting 전류계산

#### 3.2.3 계산결과

- 1) Case 1  
전원공급 변전소의 단락전류가 46.9[KA]로 상당히 큰 값을 나타낸다. 공장의 주 공급 모선인 3.3(KV)모선은 28.2[KA]이며, Momentary Current 계산결과는 3.3[KV]모선에서 48.1[KA]로 내부 유도전동기의 고장전류 기여분이 상당히 큰 것을 알 수 있다.
- 2) Case 2  
3.3[KV] Bus Tie를 투입시키는 경우 3.3(KV)모선의 고장전류는 40.69[KA]나 증가하게 된다. 즉 3.3[KV] 유도전동기의 고장전류 기여분이 상당히 큰 것임을 알 수 있다. 공장내 440[V]모선도 변압기용량이 2(MVA) 후단이라면 40.3[KA] 정도이다.
- 3) Case 3  
2회선 수전하여 No.3, No.4 공장이 병렬운전 한다면 3.3[KV] 모선의 고장전류가 58.45[KA]까지 늘어남

다. 3.3[KV]모선에서의 Momentary Fault Current 는 78.1[KA]정도로 커짐을 알 수 있었다.

### 3.3 전압변동 계산

일반공장의 수배전설비의 수전점과 각 계통내의 모선전압은 부하의 변동, 사고, 계통변환 때문에 항상 전압변동이 일어나고 있다. 전압변동에는 상시전력의 공급에 따라 생기고 있지만 그다지 심하게 변동하지 않은 정상적 전압강하 이외에는 단시간이지만 변동이 심한 과도적 전압강하가 있다. 유도전동기의 기동, 전기차, 압연기(Mill)의 운전 등으로 인한 순시전압강하가 다른 기기에 미치는 영향에는 유도전동기의 스톱, 전동의 갑박임, 전자점촉기의 개로 등이 있다.

#### 3.3.1 모델시스템

모델시스템에서 유도전동기 기동시의 전압변동을 계산하기 위한 계통도는 그림 1에서 사용된 계통도를 그림 2와 같이 축약하여 3.3[KV]와 440[V]모선에서 유도전동기 기동시의 전압강하를 계산하였다.

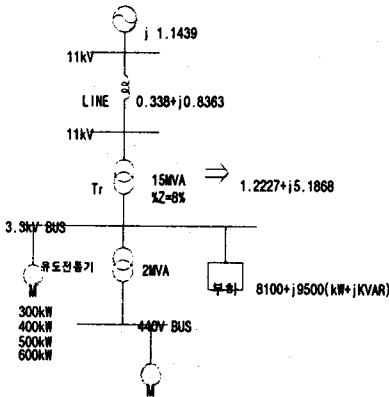


그림 2 전압변동계산 모델시스템  
Fig. 2 Model System for Voltage Drop Cal.

그림 2에서 3.3[KV]모선에서 유도전동기의 용량이 300[KW], 400[KW], 500[KW], 600[KW]에 대하여 계산하며, 440[V] 모선에서는 300[H] (220[KW])전동기의 기동시 전압강하를 계산한다.

#### 3.3.2 계산 결과

300[KW] 기동시 3.3[KV] 모선에서 약 1.38[%]의 전압강하가 예상된다. 400[KW] 기동시에는 약 1.83[%], 500[KW] 기동시에는 약 2.28[%], 600[KW] 기동시에는 2.72[%] 정도가 예상된다. 본 모델시스템에서 주 변압기 용량이 15[MVA]이고, 3.3[KV] 모선의 고장용량이 137[MVA] 정도로 용량이 대단히 큰 계통이다. 이러한 계통 조건에서 3.3[KV] 모선에 큰 유도전동기를 기동하여도 전압강하가 크게 일어나지 않는다. 이러한 전압강하는 계통운영에는 별다른 문제가 없을 것이다. 440[V] 모선에서 220[KW] 기동시 약 5.2[%]의 전압변동이 예상되지만 시동시 모선 전압강하는 5~10[%]정도까지 허용되므로 역시 문제가 없었다.

### 3.4 고조파 검토

최근 전력전자분야의 급속한 기술혁신에 따른 Power Transistor나 싸이리스터를 이용한 전력제어 기술이 다양화되고 그 응용범위는 저압의 소용량 가전기로부터

초고압의 직·교류 변환장치에 이르기까지 다양하게 활용되고 있다. 제철소와 같은 큰 설비에서는 대용량의 싸이리스터 응용기기가 많이 설치되어 있으므로 이로부터 발생되는 고조파는 타기에 악영향을 미치게 된다. 따라서 고조파 검토(Harmonic Study)에서는 각 고조파 발생원으로부터 유출하는 고조파전류가 전력계통상에 어떻게 분포하는가를 해석하여 고조파전류가 제어치 보다 많을 경우 이를 제어 혹은 저감대책을 수립하기 위한 것이다.

#### 3.4.1 고조파 발생원 및 제한규격

전력계통의 전압 및 전류 파형의 찌그러짐에 대한 원인이 되는 고조파 발생원은 싸이리스터 응용기기 외에 회전기, 변압기, 전기로와 용접기 등이 있으며 중요 발생원은 싸이리스터 응용기기가 대부분이다. 전력계통에 있어서 이들 각종 기기의 장해를 방지하기 위해서는 고조파 관리를 실시할 필요가 있으며, 관리기준은 전압의형을 기준으로 하여 고조파 검토가 행해지고 있다. 전압의형을  $D_F$ 는 다음에 표시한 식 (3)로 정의되고 있다.

$$D_F = \sqrt{\sum V_n^2} / V_1 \times 100(\%) \dots (3)$$

단,  $V_1$  : 기본파 전압  
 $V_n$  : 제 n조파 전압

#### 3.4.2 모델시스템 고조파 계산

본 논문에서는 고조파 계산 방법과 절차에 대해 그림 1에서 3.3[KV]모선에 대하여 현장에서 실측한 자료를 전류원으로 하여 컴퓨터에 의해 데이터 베이스화 하였다. 이 데이터는 향후 계통 변경이나 전원 고장용량 변화시 유사 설비에도 적용할 수 있는 자료가 되도록 하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 제철설비 중 연주설비에 대하여 엔지니어링의 모델화를 만들어 Guidelines을 정립하고 향후 다른 철강 단위공장에도 유사하게 적용될 수 있도록 기반을 구축하였다.

본 연구는 다음과 같다.

- ① 기존설비의 자료와 현장 측정자료 등을 이용하여 기본계통을 결정하고, 결정된 기본계통을 기초자료로 하여 다양한 전력계통해석을 하였다.
- ② 전력계통내의 단락 또는 지락사고시 고장결과 및 전압분포를 구하였으며, 이를 이용하여 차단기의 차단용량 등의 선정기준으로 응용하였다.
- ③ 유도전동기 시동시 순시전압강하가 해당모선과 타모선에서의 허용범위 내에 있는지를 검토 분석하였다.
- ④ 고조파 검토에서는 고조파 발생원으로부터 유출하는 고조파전류가 전력계통상에 어떻게 분포하는가를 해석하여 분석방법과 저감대책 등을 제시하였다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] RIST, "연주설비 전력계통 ENG'G Model화 용역 보고서", 2000. 9.
- [2] 포스코개발(주), "광양제철소 전력계통 분석보고서", 1996. 8.
- [3] Robert G. Ellis, "Harmonic Analysis of Industrial Power System", IEEE Trans on Industry, Vol.32, No. 2, pp417-421, March/April 1996.