

# 전압변동 측면에서 본 아크로 부하가 전력계통에 미치는 영향 검토

(Analysis of effects of the arc-furnace on the power system from the viewpoint of voltage regulation.)

박현택\* · 김재철\* · 박경호\* · 임상국\*\*

(Hyun-Taek Park · Jae-chul Kim · Kyoung-Ho Park · Sang-Gug Im)

송실대학교\*, 에너지관리공단\*\*

## Abstract

Arc-furnace is one of the large loads in the electric power system. When the arc-furnace operates, it may cause a bus voltage fluctuation in the power system, because it consumes a lot of reactive power. In this paper, we simulated this phenomenon by using a PSAF program with on-site measured arc-furnace load. The simulated results show that the fluctuation of bus voltage adjacent the arc-furnace was varied from 4.3%~7.8% the normal voltage because of reactive power consumption by arc-furnace. Therefore, we expect this study will come into use as the basic information on the probability of the demand control

## 1. 서 론

국내 전력수요는 지속적으로 성장하여 2015년에는 최대부하기준 6,775만[kW]로 증가 될 것으로 예측되나 이러한 전력수요에 대한 전원의 최적공급에 대해 자금의 투입 여력, 전원입지 확보, 지구온난화가스 억제 및 환경 규제문제 등으로 전력공급 측면에서 어려움에 직면하고 있다.

깊이 있게 조사된 바 없다. 또한 아크로, 유도가열장치 등은 대전력을 사용하면서 주변모선의 전압변동과 고조파를 발생시켜 전력계통에 큰 영향을 주고 있으며 이에 대한 체계적인 분석이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 모의 제철소 계통도를 구성하고, 실측된 아크로의 부하패턴을 입력하여 아크로가 전압변동 측면에서 계통에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 제철소 전력계통 모의

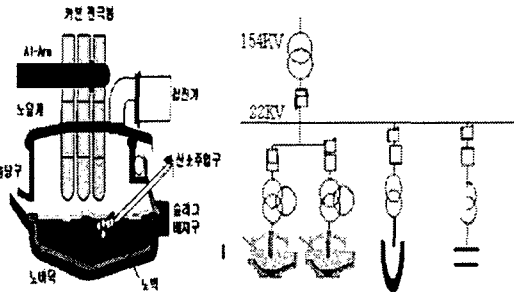


그림 1. 전기로의 구성과 설비의 전력계통도  
Fig. 1. Configuration of arc-furnace and power system model

특히 전력소비의 49.3% 이상을 차지하는 산업부문의 경우 전력수요관리 목적에서 정확한 수요예측과 기초정보제공자료 확보의 중요성이 부각되고 있다[1]. 산업 부문 중 철강·금속업종에서 널리 사용하고 있는 전기로는 단위 전력사용량이 커서 국내 전력부하의 최대치에 영향이 크나 이에 대한 정확한 전력소비실태에 대하여

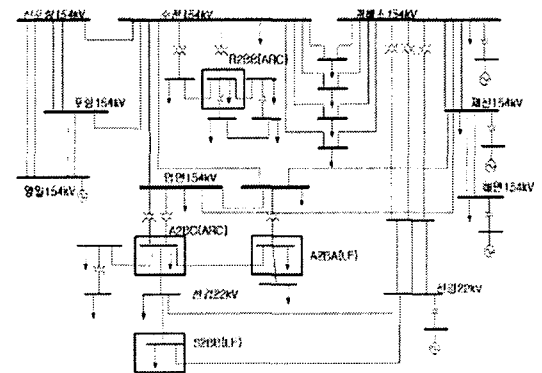


그림 2. 축약한 모의 전력계통도  
Fig. 2. Reduced power system

아크로 운영시 전압변동의 전력계통에 미치는 영향을 분석하기 위하여 아래와 같이 모의 전력계통도를 구성

하였다. 따라서 본 논문에서는 모의계통을 154[kV] 수전 및 배전계통을 갖춘 대형 일관제철소를 대상으로 하였으며, 또한 본 논문에서의 주요 관심인 아크로가 있는 수전지역과 압연지역을 계통 축약을 하지 않고 나머지 지역은 154[kV] 모선으로 축약시킨 모의 계통도를 이용하여 시물레이션을 하였다.

### 2.2. 모의 전력계통 구성 현황

표 1에서 한전 공급 선로(utility connection)의 경우 기준(swing) 발전기로 구성하여 시물레이션을 실시하였다. 또한 동기전동기(synchronous motor)의 경우 부하 및 발전기 처리로 하여 계통 구성을 간략화 하였다.

표 1. 모의 전력계통 구성 현황  
Table 1. Configuration of power system

계통 구성	축약전 개수	축약후 개수	비고
모선	134	31	.
한전 공급 선로	3	1	기준발전기
발전기	20	4	.
동기 전동기	16	.	부하, 발전기
부하	46	22	.
가공선로	8	6	.
케이블	69	22	.
고정 탭 변압기	48	7	.
전압 조정 변압기	21	8	.

부하의 경우는 아크로가 있는 주변 모선(수전지역 모선, 압연지역 모선) 확대해석 하였으며 그 외 모선(154kV)의 경우는 계통축약을 함으로서 시물레이션을 간략화 하였다. 일반적으로 가공선로는 한전에서 전력을 공급받는 선로에 대부분 구성되어 있고, 케이블은 제철소 내의 선로에 대부분 구성되어 있다.

### 2.3. 모의 계통 축약

부하축약은 아크로가 있는 주변을 제외하고는 154[kV] 모선으로 축약(합산)을 하여 계산을 하였으며, 발전기 축약시 발전기 데이터는 유효전력(P), 전압(kV), 최대 무효전력(Qmax), 최소 무효 전력(Qmin)이 필요하다. 즉 위의 4가지 입력데이터와 발전기 내부 데이터가 필요하다. 따라서 발전기 축약 시는 발전 용량이 가장 큰 발전기의 내부데이터에 축약하는 모선에 같이 달려있는 발전기의 유효전력(P), 전압(kV), 최대 무효전력(Qmax), 최소 무효 전력(Qmin)값을 합산하여 계통 축약을 하였다.

### 2.4. 전기 아크로 부하 패턴

일반적으로 전기 아크로는 고철의 장입 방법에 따라 소비패턴이 달라진다. 일반적으로 2회 장입 또는 3회 장입을 하고 있으며 비철 금속 업종의 경우는 연속식에 가까운 운전 패턴을 보이고 있었다. 장입 횟수에 따른 패턴을 정형화하기 위해 그림 3과 같은 2회 용해주기와 그림 4와 같은 3회 용해주기로 구분된다[2].

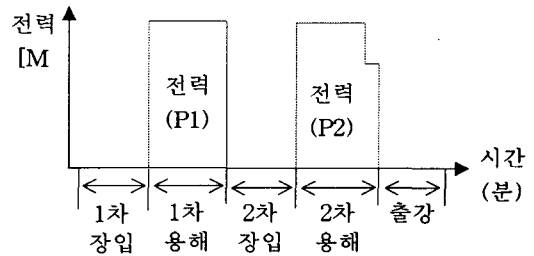


그림 3. 2회 용해 주기를 갖는 형태  
Fig 3. Pattern of two times melting period

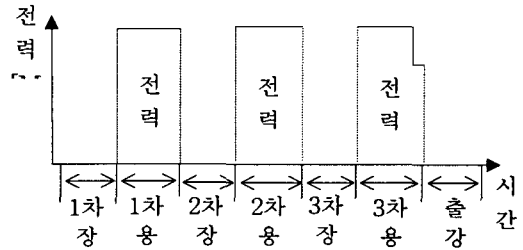


그림 4. 3회 용해 주기를 갖는 형태  
Fig 3. Pattern of three times melting period

### 2.5. 전기 아크로 입력 부하 패턴

아크로 사용업체에서 진단을 한 데이터를 이용하여 두 지역의 아크로 부하패턴을 각각 조사 후 이중 가장 평균적인 부하패턴을 각 지역별로 도출하였다. 여기서 평균적인 부하데이터 산출은 아크로의 부하특성상 사용 부하의 평균값은 불가능하다. 따라서 여러 가지 부하패턴 중에 가장 유사한 패턴이 많이 나온 부하패턴을 이용하여 대표 부하패턴으로 가정하고 시물레이션을 실시하였다. [5]

부하 입력데이터는 앞에서 아크로 모델링에서 언급한 바와 같이 수전지역의 아크로 부하패턴 그림 5과 압연지역의 아크로 부하패턴 그림 6의 부하패턴을 이용하여 모의 부하패턴으로 시물레이션을 실시 하였다. 즉 일반적인 제철 수용가의 부하패턴은 최대부하가 겹치는 것을 피하기 위하여 부하를 이동하여 조업을 한다. 따라서 수전단 지역의 아크로 동작 후 11분 후에 압연지역 아크로의 가동을 시키는 모의 상황을 구성하여 시물레이션을 실시하였다.

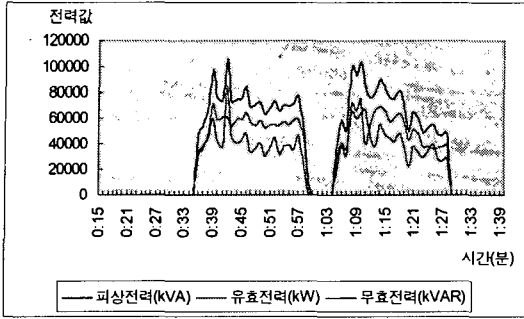


그림 5. 수전단(R) 지역 아크로 부하패턴  
Fig 5. Load Pattern of receive(R) area

이와 같은 조합으로 64가지의 경우를(두개 부하의 한 주기) 이용하여 그림 7과 같이 그래프를 나타내었다. 또한 그림에서 진단 시 1분 평균 데이터를 진단했기 때문에 가로축의 시간은 아크로가 장입을 시작한 순간부터 1분 단위의 시간이다.

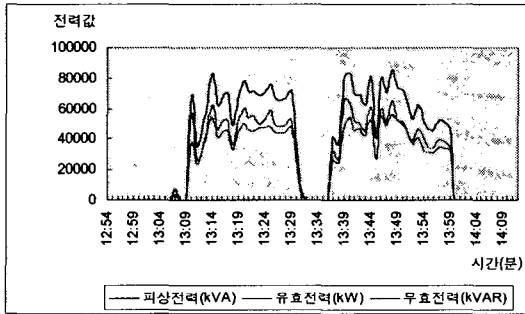


그림 6. 압연지역(A) 아크로 부하패턴  
Fig 6. Load Pattern of Rolling(A) area

여기서 본 연구에서 관심사항인 아크로의 부하패턴만 실측한 자료를 이용하여 시뮬레이션을 실시하고 정련로(Ladle Furnace)의 경우 아크로 보다 계통에 미치는 영향이 적기 때문에 평균값으로 부하값을 고정시키고 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 아크로가 중첩되어 최대 부하가 되는 단일 경우도 시뮬레이션을 하였다.

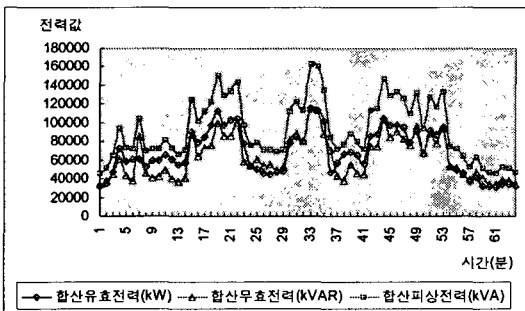


그림 7. 시뮬레이션 입력데이터  
Fig 7. Input data of simulation

## 2.6. 전기 아크로 운전에 따른 모의 계통 시뮬레이션

그림 7 에 나온 각 케이스(64가지) 부하를 모의 전력계통에 적용 시뮬레이션 하였다. 일반적으로 소비전력이 적은 경우 모선 전압이 높아지고 소비전력이 많으면 모선의 전압이 떨어진다. 또한 부하 말단 일수록 전압의 흔들림이 많이 나타난다. 아래의 그래프는 각 케이스별 모선에 나타난 전압을 그래프로 나타낸 것이다. 아크로 부하와 민감하지 않은 모선은 제외하고 아크로 부하의 변동에 민감한 모선의 전압변동을 그래프로 나타내었다.

그림 8, 그림 9 시뮬레이션 결과를 보면 부하의 무효전력 소모량에 의하여 전압변동이 심하게 영향을 받는 것을 알 수 있다.

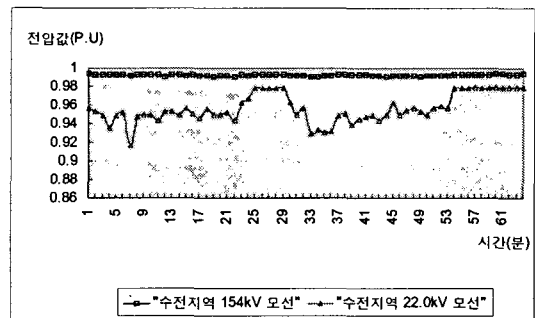


그림 8. 아크로 운영시 수전지역 모선전압 변동  
Fig 8. Voltage regulation as electric arc-furnace operating (receive area)

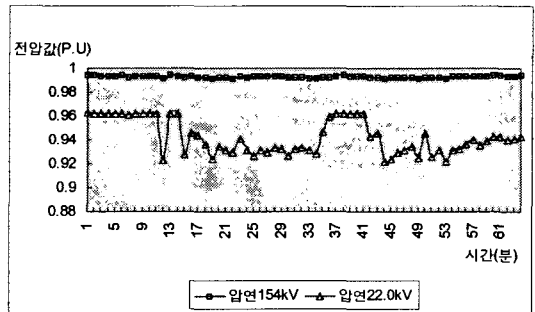


그림 9. 아크로 운영시 압연지역 모선전압 변동  
Fig 9. Voltage regulation as electric arc-furnace operating (rolling area)

## 3. 결 론

본 논문에서는 전기 아크로의 가동에 따른 운전 형태별 주변 모선의 전압변동을 시뮬레이션 하였다. 주변 모선의 전압변동을 분석하기 위하여 모의 전력계통을 구성하였고, 전기 아크로의 실측된 부하패턴을 입력데이터로 사용하였다. 또한 아크로에 최대 부하가 상태가 되면 전

압이 최대 수전지역 모선은 6.5%, 압연 지역 모선은 4.3%까지 변동을 하는 것을 알 수 있다. 그림 7에서 보면 최대부하시의 무효전력값이 가장 높았던 시점에 수전지역의 말단 모선이 6.5%까지 전압강하가 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 두 지역의 아크로 부하가 중첩되어 최대부하가 되는 경우 7.8%의 전압변동이 나타났다. 본 연구 자료를 바탕으로 아크로의 수요관리 가능성 검토에 대한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 에너지 관리공단의 지원에 의하여 수행된 과제임

#### 참 고 문 헌

- (1) 에너지경제연구원, 2002년도 에너지총조사 보고서, 산업자원부, 2003.6
- (2) 한국철강협회, 2000년도 철강생산능력, 2001.3
- (3) "PSAF for Windows User's Guide and Reference Manual" CYME International Inc. March 2001.
- (4) 공업로협회, 2002 열처리로 & 공업로총람, 2002.9
- (5) 산업용전기로 진단 및 전력계통에 미치는 영향 분석 보고서, 에너지 관리공단
- (6) "Power system Analysis", Milwaukee School of Engineering Hadi Saadat
- (7) "Power system Analysis", Marcel Dekker Inc, J.C.Das