

전기로 High Current Cable 고장진단 알고리즘 개발

Developing a fault diagnosis algorithm on a high current cable of arc furnace

최성진, 장유진, 김상우
(Seong Jin Choi, Yu Jin Jang, Sang Woo Kim)

Abstract - In the steel industry, a steel melting electric arc furnace is used to produce both carbon and alloy steels. Steel scrap which is charged into the furnace is heated by means of electric arc between graphite electrodes and the scrap. In this melting process, current is supplied to the furnace through HCC(high current cable) which connect the furnace and transformer. Four HCCs are assigned to each phase in our system to divide the current. Since a sudden cable breaking result in the shutdown of melting process, an aging detection of HCC is very important for both an improvement of productivity and cost reduction. In this paper, the aging of the HCC is estimated by using the current ratio between four HCCs.

Key Words : Arc furnace, HCC, diagnosis, current ratio

1. 서론

철강산업에서 전기로를 이용하여 상당 부분의 철을 생산하고 있다. 전기로에서 철을 생산하는 방식은 원료로 들어온 고철과 흑연 전극봉 사이에 아크를 발생시켜 높은 온도로 철을 녹이는 것이다.[1] 이 흑연 전극봉에 높은 전류를 공급하기 위해 현재 High Current Cable(이하 HCC)을 사용하고 있는데 높은 생산성과 원가절감을 위해 이러한 케이블의 교체시기를 정확히 예측하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 HCC의 교체시기를 예측하기 위해 케이블의 열화여부를 판정할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

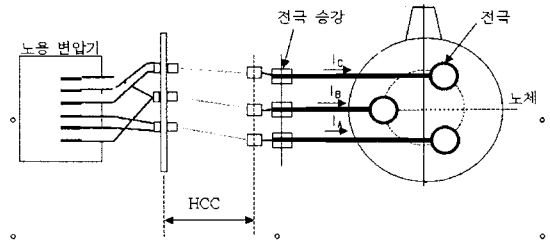


그림 1: 전기로의 구성

2. 시스템 구조

2.1 AC 아크 전기로

전기로는 철강공장에서 대전류를 인가하여 전기적 에너지를 열에너지로 변환하여 원료(고철)를 용해시키는 설비이다. 용해작업을 위해 그림 1과 같이 노용 변압기로부터 HCC 및 전극 Arm을 통해 전극봉으로 전류가 전달되면, 전극봉 말단부에서 아크가 발생되며, 이 아크열이 고철을 용해시키게 된다. 하지만 아크 발생을 위한 대전류는 아크로의 용량에 따라 수십 K Ampere에 이르므로 이러한 대전류를 송신하기 위한 케이블은 도체에 의한 발열을 억제하며 유연(flexible)하여야 하므로 수냉 케이블을 사용한다.

2.2 HCC 구조

HCC는 대전류를 송신하기 위한 수냉 케이블이며 구조는 그림 2와 같이 절연체 내부에 유연성 확보를 위한 여러 소선과 냉각을 위한 Water Hose로 제작되어진다. 그리고 이 케이블은 변압기 2차 버스와 전극봉 전단 2차 도체 양단에 접속된다. [2]

현재 이 케이블의 수명은 표 1과 같이 전기로 사양에 따라 상이하지만 통상 일반 전력케이블의 설계 예상수명이 30년인데 비해 HCC는 길게는 10년이며 대부분 1년 안팎이다. 따라서 대전류를 흘리기 위한 HCC의 교체시기 설정이 제품 생산성 향상 및 원가절감에 중요한 요소로 작용한다. 본 논문에서는 케이블 온도 및 전류변화를 이용하여 케이블의 열화정도를 분석하고자 한다.

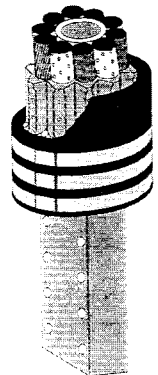


그림 2: HCC (high current cable)

저자 소개

- *浦項工科大学 鐵鋼學科 碩士課程
- **東國大學 情報通信工學科 助教授 · 工博
- ***浦項工科大学 電氣電子學科 部教授 · 工博

표 1: 전기로 HCC 설치현황

구분	POSCO			INI(포항)			
	STS1	STS2	STS3				
변압기 (MVA)	70	85	85	45/54	65	95	120
2차전류 (KA)	65	70	70	43	34	45	60
cablc (SQ)	3600	3600	3600	3200	3200	4800	4500
사용수명 (년)	0.8	1	0.8	5	5	8	10

2.3 전기로와 HCC의 연결 개요

변압기에서 전기로로 전달되는 전류의 양이 수십K ampere 에 달하므로 이를 분산하기 위해 그림 3과 같이 3상 전원의 각 상마다 4개의 케이블을 설치하여 전류를 공급하고 있다.

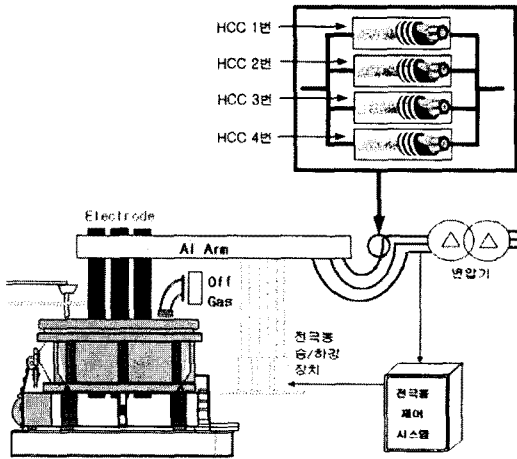


그림 3: 전기로와 HCC의 연결개요

3. 데이터 수집 시스템

HCC의 상태를 알아보기 위한 데이터 수집에 온도센서, 유량센서, 전류센서에서 나오는 정보가 사용된다. 현재 HCC에 연결된 센서와 데이터 표시장치 사이의 관계는 그림 4와 같다. HCC에 흐르는 전류의 양을 파악하기 위해 HCC 주변에 로고스키코일 전류센서를 사용하는데 이 전류센서에서 나오는 출력은 1~10V의 AC 전압이며 이 전압이 AC/DC Converter를 거쳐 4~20mA의 DC 전류로 데이터 수집 장치의 입력으로 들어가게 된다. 이 전류는 데이터 수집 장치내부에 설치되어있는 저항을 거치게 되고 이 저항 양단에 나타나는 전압을 디지털 신호로 변환하여 PC에서 수집하게 된다.

전압 수집용 장치로써 NI PCI-6220 M model을 사용하였으며 이 장치는 16 channel analog input을 16bit resolution으로 분해하는 기능이 있다. PC에서 NI PCI-6220으로부터 들어오는 데이터를 저장하기 위해 LabView tool을 사용하였으며 이를 위한 LabView Virtual Instrument의 구성도는 그림

5와 같다.

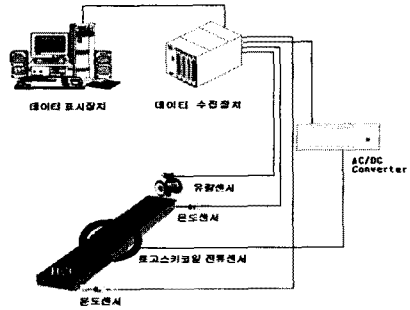


그림 4: Data 수집 System 구성도

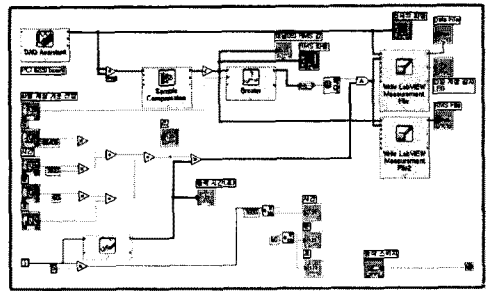


그림 5: LabView Virtual Instrument

4. 고장진단 알고리즘

4.1 HCC의 열화에 따른 cable의 상태변화
도체의 저항은 그 면적에 반비례한다. [3]

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

(ρ : 고유저항, A: 면적, l: 길이)

HCC의 단면적은 수백 가닥의 심선으로 이루어져 있는데 연속적인 운전조건에서 HCC 접합부의 심선이 그림 6과 같이 끊어지게 된다. 따라서 노후화된 케이블은 단면적이 감소하여 전체저항이 증가하게 되고 남아있는 다른 케이블에 과전류가 흐르게 된다.



그림 6: 열화되어 끊어진 HCC

4.2 열화 진단 알고리즘

HCC의 한 선로의 심선이 점차적으로 끊어지기 시작하면 4개의 선로에 흐르는 전류의 비가 변화된다. 이런 변화를 각 선로마다 비교를 하여 어떤 선로가 가장 노후화가 빠르게 진행되고 있으며 가장 먼저 끊어지는 선로가 어떤 선로가 될지 예측할 수 있다.

데이터 수집 장치에서 측정되는 전압값은 HCC에 흐르는 전류의 양과 선형적으로 비례하는 관계가 있다.

$$E_{ij} \propto I_{ij}$$

- E: 데이터 수집 장치에서 측정되는 전압값,
- I: HCC에 흐르는 전류,
- i: 상의 번호(i=1,2,3)
- j: 선로의 번호(j=1,2,3,4)

또한, 데이터 수집 장치에서 측정되는 각 선로들의 전압값 E_{ij} 들의 비를 $R_{i,j,k}$ 로 정의한다.

$$R_{i,j,k} \triangleq \frac{E_{i,i}}{E_{i,k}}$$

- R: 전압 값들의 비
- i: 상의 번호(i=1,2,3)
- j: 분자의 선로 번호(j=1,2,3,4)
- k: 분모의 선로 번호(k=1,2,3,4)

각 케이블의 전류비는 케이블의 손상 정도에 따라 달라진다. 예를 들어 $R_{3,2,1}$ 은 3번째 상의 1번과 2번 선로의 손상에 따라 값이 변한다. 만약 1번 선로가 손상되고 2번 선로가 손상되지 않았다면 이 값이 커질 것이며, 둘 다 손상이 있으면 손상 정도에 따라 이 비율이 달라진다. 따라서 4개 케이블의 상대적인 손상 정도를 파악하기 위하여 전기로 작업시 마다 고정된 i와 k에 대하여 $R_{i,j,k}$, $j=1,2,3,4, j \neq k$ 의 평균이 모두 증가할 때 i상의 k번째 선로가 4개의 선로중 가장 많은 손상을 받았다고 판단한다. 이러한 판단이 내려진 횟수를 세어 일정기간 동안의 상대적인 HCC의 손상을 판별한다.

각 상에 대한 HCC 손상 정도 파악을 위한 알고리즘의 pseudocode를 나타내면 다음과 같다.

```

Initialize i
Load  $E_{i,k}$ 
Load Index(전기로 작업의 시작과 끝에 관한 정보볼 제공)
For k=1: 4
  For j=1: 4
    If  $k \neq j$ 
       $R_{i,j,k} = E_{i,j} / E_{i,k}$ 
       $V += R_{i,j,k}$  (V 는  $R_{i,j,k}$ 의 열 벡터들로 구성됨)
    End For
  End For
count = 1
For i=1: 2: sizeof(index)

```

```

 $V_m(\text{count}, \text{all}) = \text{mean}(V(\text{index}(i), \text{all}) : V(\text{index}(i+1), \text{all}))$ 
count = count + 1
End For
For i = 2: count
  Decision =  $V_m(i, \text{all}) - V_m(i-1, \text{all})$ 
  If All Decisions of each line(k=1,2,3,4) > 0
    count_of_getting_worse_k (k=1,2,3,4) += 1
  End For

```

일정기간 동안의 작업 데이터에 대하여 위의 알고리즘을 적용하면 count_of_getting_worse_k 값의 상대적 크기를 통하여 HCC간의 상대적 노후 정도를 파악할 수 있다.

4.3 실험결과

POSCO Stainless 3제강 공장에서 05년 7월에 478시간 동안 데이터를 수집하였으며 본 논문에서 제안한 알고리즘을 3번째 상에 적용하여 표 2와 같은 결과를 얻었다.

표 2: 실험결과

Line	1	2	3	4
count_of_getting_worse_k	371	309	324	485

이를 통하여 4번 선로의 노후화가 다른 선로들에 비해 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 HCC에 흐르는 전류량의 비를 계산하여 케이블의 상대적인 열화정도를 파악할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 현재 제강 공장에서는 HCC가 열화됨에 따라 조업 중 증가하는 케이블의 온도로 교체시기를 예측하고 있다. 이러한 방법에 제안된 알고리즘을 추가로 적용하면 보다 향상된 케이블 교체시기 예측을 할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 南條敏夫, 川端純一, 山田隆光, 深谷智章, "아크로의 전력 유효 이용과 생산성 향상(2)", 工業加熱, 日本工業爐協會, Vol 34, No.3, 1997
- [2] High Current Cables, Flohe GmbH & Co. Catalogue No. 4. 1998
- [3] David Halliday and Robert Resnick, "Fundamentals of Physics", John Wiley & Sons, 1988.