

스펙트르분석에 의한 전해로상래진단방법

김남혁, 김금주

알루미늄전해공정에서 발생하는 이상상태를 제때에 진단하여 그에 대한 대책을 신속히 세우는것은 생산성을 높이고 전해로의 수명을 연장하는데서 중요한 문제로 된다.

선행연구[2]에서는 전해공정에서 나타나는 이상상태를 진단하기 위하여 인공지능적수법을 리용한 전문가진단방법, 수리통계적수법을 리용한 회귀분석모형과 상관분석모형을 비롯한 진단방법들이 제안되었으며 로전압에 대한 스펙트르분석에 기초한 진단방법도 제안되었다. 이 방법은 전류가 안정되었을 때에 리용하는 방법이며 현장조건에서는 대체로 계열전류가 안정상태에 있지 않다. 즉 로전압은 계열전류에 따라 변하는 량이므로 그에 대한 스펙트르분석을 진행하면 그 결과에는 계열전류의 영향이 반영되게 된다.

본문에서는 계열전류의 영향을 고려하는 경사저항을 고찰하며 그에 대한 분석을 통하여 로의 상태를 진단하는 방법을 제안하였다.

1. 로저항시계열자료의 수집

전해로의 운영에서 로전압은 계열전류의 변화에 영향을 받으며 계열전류는 수시로 변화된다.

리론적으로 고찰한다면 로전기저항은 계열전류에 따라 변하지 않는 량이므로 로저항을 리용하여 로상태를 판단하는것은 계열전류의 변화가 생산에 간섭하는것을 배제할수 있다.

그러나 전해계열에서는 계열전류의 파동이 로전기저항의 파동을 일으키는 현상을 자주 보게 된다.

이러한 현상을 일으키는 가능한 원인은 다음과 같다.

- ① 로전압과 계열전류의 측정오차가 비교적 크거나 두 값이 동시에 측정되지 못한 경우
- ② 실제분극기전력과 설정분극기전력의 편차가 비교적 큰 경우

1) 경사저항의 계산

전해로에서의 전압강하는 분극기전력, 양극모선에서의 전압강하, 양극전도봉에서의 전압강하, 탄소양극에서 전압강하, 양극과 전해질계면에서의 전압강하, 전해질에서의 전압강하, 음극(액상알루미늄)에서의 전압강하 등으로 이루어진다.

$$U = E + U_{\text{양}} + U_{\text{전해질}} + U_{\text{음}} + U_{\text{기타}} \quad (1)$$

식 (1)에서 보면 분극기전력을 제외한 로의 전압강하와 계열전류사이에 음의 법칙이 성립한다는것을 알수 있다.

그러므로 알루미늄전해로에서 경사저항을 다음과 같이 정의한다.

$$R = (U - E) / I \quad (2)$$

여기서 U 는 전해로전압, E 는 분극기전력, I 는 계렬전류이다. 그리고 분극기전력 E 는 변하는 값이다.

분극기전력은 1.6~1.8V정도이며 전류변화 등 여러가지 요인에 의하여 변한다.

또한 여러가지 실험통계자료에 의하면 자소양극전해로에서

$$E = 1.8 - 0.2 / 100 \times I \quad (3)$$

로 된다.

2) 로저항시계렬자료생성

로저항시계렬자료는 실시간적으로 측정되는 전압과 전류의 쌍에 의하여 얻어진다.

로저항을 정확히 계산하기 위하여 전압과 전류의 측정동기를 정확히 맞추는것이 매우 중요하다.

그러나 전압과 전류의 동시측정은 리상적으로 불가능하며 그로 인하여 저항렬에는 잡음이 존재하게 된다.

또한 실시간적으로 얻어지는 전압과 전류에도 백색잡음이 존재하게 되며 이것도 저항계산에서 오차를 가져온다.

이 잡음을 제거하기 위하여 전압과 전류의 이동평균을 이용한다.

$$\bar{U}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} U_{t-i} \quad (4)$$

$$\bar{I}_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} I_{t-i} \quad (5)$$

여기서 \bar{U}_t , \bar{I}_t 는 t 시각의 평균전압, 평균전류, U_{t-i} , I_{t-i} 는 t 시각으로부터 i 시각전의 전압, 전류의 순시값이다.

n 을 너무 크게 정하면 신호의 과도적특성이 강해지고 고조파는 없어지며 너무 작게 정하면 잡음이 존재하게 된다.

전압시계렬자료 $\{U_t : t=1, \dots, N\}$ 과 전류시계렬자료 $\{I_t : t=1, \dots, N\}$ 으로부터 식 (2)에 따라 저항시계렬자료 $\{R_t : t=1, \dots, N\}$ 을 얻는다.

2. 로저항시계렬자료에 대한 스펙트르해석

1) 전력스펙트르밀도함수의 추정

스펙트르분석[1]에서는 시간영역에서의 신호를 매개 주파수에서의 스펙트르로 변환하므로 신호의 해석뿐만아니라 체계의 해석에서도 편리하다.

스펙트르분석에서는 전력스펙트르밀도함수 $S(f)$ 를 추정하는것이 기본이며 다음과 같이 정의한다.

$$S(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|X_T(f)|^2] \quad (6)$$

여기서 $X_T(f)$ 는 길이가 T 인 신호 $x(t)$ 의 푸리에변환이다.

FFT에 의하여 얻은 전력스펙트르밀도는 그대로는 분산(편차)이 크며 안정한 추정량으로 되지 못한다.

주파수평활법을 리용하여 스펙트르밀도함수를 다음과 같이 추정한다.

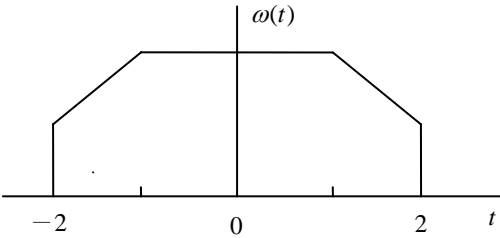


그림. 창문함수

주어진 전체 자료계열에 적당히 령자료를 첨부하여 2의 제곱만 한 길이를 가지는 계열로 만든다.

FFT를 실시하여 전력스펙트르밀도함수를 구한다.

스펙트르창문함수에 의한 주파수평활을 진행하고 최종적인 전력스펙트르밀도함수를 추정한다. 이때 평활화를 위하여 길이가 5인 창문함수를 리용한다.(그림)

2) 전력스펙트르밀도함수에 대한 분석

전력스펙트르밀도함수에 대한 분석을 진행하기 위하여 지난 시기에 구축된 자료들로부터 다음과 같은 자료를 얻어내었다.(표 1)

표 1. 분석에 리용한 시계열자료내용

번호	자료내용	자료개수/조
1	양극효과 30min전에 대한 자료	100
2	전해질회리때의 20min간에 대한 자료	20
3	양극조각탈락때의 20min간에 대한 자료	20
4	정상일 때의 자료	100

로상태가 정상일 때와 양극효과전일 때 그에 대한 전력스펙트르밀도함수를 추정하여 분석을 진행한 결과 양극효과와 관련되는 주파수구간 $[f_{\text{양}1}(i), f_{\text{양}2}(i)]$ 를 구한다. 여기서 $f_{\text{양}1}(i), f_{\text{양}2}(i)$ 는 i 번째 자료에 대하여 얻어진 주파수값이다.

이렇게 얻어진 $[f_{\text{양}1}(i), f_{\text{양}2}(i)]$ 들의 평균을 취하여 최종적인 양극효과판정구간 $[f_{\text{양}1}, f_{\text{양}2}]$ 를 구한다.

또한 이 구간에서 매 자료에 대하여 전력스펙트르밀도함수의 적분값 즉

$$T_{\text{양}}(i) = \int_{f_{\text{양}1}}^{f_{\text{양}2}} S(f) df$$

를 구하고 그것의 최소값을 $T_{\text{양}}$ 으로 한다.

$$T_{\text{양}} = \min_i T_{\text{양}}(i)$$

마찬가지방법으로 전해질회리와 관련한 파라메터 $[f_{\text{회}1}, f_{\text{회}2}]$ 와 $T_{\text{회}}$ 를 구한다.

또한 양극탈락과 관련한 파라메터 $[f_{\text{탈}1}, f_{\text{탈}2}]$ 와 $T_{\text{탈}}$ 을 구한다.

이렇게 결정한 매개 상태의 파라메터를 상태진단에서 리용한다. 즉 얻어진 시계열자료에 대하여 푸리에변환을 진행하고 전력스펙트르밀도함수를 추정한 후 해당 상태판정구간의 적분값을 구하여 그것이 상태파라메터보다 크면 해당 상태로 판정한다.

3. 실험 평가

론문에서 제안한 스펙트르분석에 의한 로상태진단방법의 성능을 검증하기 위하여 4d 동안 계렬전류의 안정상태를 고려하면서 결과를 분석하였다.

먼저 양극효과예보정확도에 대한 분석을 진행하였다.

로상태는 계렬전류의 상태에 따라 직접적인 영향을 미치므로 전류상태를 정상, 중간, 비정상인 3개의 구간으로 나누고 매 구간에서의 진단정확도를 고찰하였다.

진단정확도를 선행연구[2]와의 비교속에서 고찰하였다.(표 2)

표 2. 전류변화정도에 따르는 양극효과예보정확도 비교

전류 상태	평균전류/kA	양극 효과수	정확히 예보한 수		틀리게 예보한 수	
			선행방법	제안한 방법	선행방법	제안한 방법
정상	90~110	132	114	121	16	17
중간	70~90	93	57	79	38	21
비정상	50~70	119	못함	76	못함	29

실험결과로부터 계렬전류가 정상일 때에는 선행방법과 논문에서 제안한 방법 두가지가 다 효과성이 좋았다.

그러나 전류가 낮을 때에는 선행방법에서는 예보오차율이 커지며 전류가 비정상상태일 때에는 양극효과를 전혀 예측하지 못하는 결함이 나타났다.

론문에서 제안한 방법에서는 전류가 낮은 조건에서도 비교적 높은 정확도를 가지고 양극효과를 예보한다.

또한 틀리게 예보한 수를 놓고 고찰해보더라도 논문에서 제안한 방법이 우월하다는 것을 쉽게 알수 있다.

다음으로 전해질회리와 양극탈락에 대한 진단의 정확도를 평가하였다.

전해질회리와 양극탈락은 자주 일어나는 현상이 아니므로 전체 전해계렬에 대하여 실험을 진행하였다.(표 3)(선행연구에서는 이에 대하여 전혀 예측하지 못함)

표 3. 전해질회리와 양극탈락에 대한 진단정확도

전류상태/KA	전해질회리 회수	진단한 회수	양극탈락 회수	진단한 회수
90~110	47	43	39	31
70~90	38	29	32	24

실험결과로부터 논문에서 제안한 방법이 전류상태변화의 영향을 받지 않으면서도 이상상태들을 정확히 진단할수 있는 방법이라는것을 알수 있다.

맺 는 말

론문에서는 전해로의 저항시계렬자료에 대한 스펙트르분석을 진행하여 전해과정에 발생하는 이상상태들을 진단할수 있는 방법을 제기하고 그것을 실현하였다.

참 고 문 헌

- [1] 유강혁, 김정희; 선형시계열해석, 김일성종합대학출판사, 367~375, 주체106(2017).
- [2] 利业翔 等; 现代铝电解, 冶金工业出版社, 450~480, 2008.

주체107(2018)년 2월 5일 원고접수

Furnace State Diagnosis Method with Spectrum Analysis

Kim Nam Hyok, Kim Kum Ju

In this paper we defined a slope resistance and proposed a calculation method to represent the statue of furnace in aluminum furnace series, and acquired the time series of furnace resistance and proposed a method to diagnose the furnace state by analyzing the spectrum for it.

Key words: diagnosis, spectrum analysis, time series, furnace