

# 고저항 지락사고 검출을 위한 신호처리 방법에 관한 연구

이성환\*, 우천희\*\*, 강신준\*, 우광방\*, 이진\*\*, 김상철\*\*

\*연세대학교 전기공학과, \*\*현대중전기(주) 기술연구소

## A Study On The Methods Of Signal Processing For High Impedance Fault Detection

°Sungwan Lee\*, Chunhee Woo\*\*, Sinjun Kang\*, Kwangbang Woo\*, Jin Lee\*, Sangchul Kim\*\*

\*Dep. of Electrical Eng. Yonsei Univ., \*\*Hyundai Electrical Engineering Co. LTD R&D Center

### ABSTRACT

This paper presents several techniques of power spectrum estimation for high impedance fault detection. High impedance faults are those faults with current too low to be reliably cleared by conventional overcurrent protection. So power spectrum estimation is required. AR and MA techniques require optimal order for good performance of power spectrum estimation because these techniques are unstable for order selection. ARMA and Extended techniques are stable for order selection and have very sharp response. So ARMA and Extended Prony techniques are suitable for our purpose.

### 1. 서론

고저항 지락사고는 다중접지 배전선로에서의 부하불균형 때문에 야기되는 중성선 전류와 고장전류의 구분이 곤란할 정도로 고장전류의 크기가 작고 고장을 빨리 제거하지 못한 경우에는 화재의 위험, 인명손실의 위험등이 있어 고저항 지락사고 검출에 대한 연구가 많이 수행되어 왔다. 고저항 지락사고를 검출하기 위해서는 중성선 전류를 측정해야 하는데 그 크기가 매우 작으므로 중성선 전류 파형을 해석해서 중성선 전류의 어떤 성질이 고저항 지락시 가장 민감하게 영향을 받는가를 알아야 한다[2][4]. 이를 위해 패턴인식에 사용되는 spectrum estimation의 여러가지 방법과 system identification에 사용되는 AR, ARMA등의 system parameter estimation을 적용한 연구가 있었으며, 본 연구에서는 고저항 지락사고 검출을 위한 전류파형 해석에 있어 Power Spectrum Estimation의 여러 기법들의 알고리즘을 구현해 보고 각 기법들을 서로 비교, 분석하였다.

### 2. 각 모델에 따른 Power Spectrum Estimation

실제에서 경험하는, 많은 통계적인 불연속 시간프로세서는 합리적 전달함수 모델에 의해 잘 근사되어질 수 있다. 이 모델에

서, 입력  $\{n_n\}$ 과 출력  $\{x_n\}$ 은 선형 데이터 모델이다.

$$x_n = \sum_{l=0}^q b_l n_{n-l} - \sum_{k=1}^p a_k x_{n-k} \quad (2.1)$$

이 가장 일반적인 선형 모델을 ARMA 모델이라 한다. 이 모델은 전달함수를 갖는 선형 필터를 포함한다.

식 (2.1)의 ARMA 프로세스에 대한 입력  $n_n$ 과 출력  $x_n$ 사이의 시스템 함수  $H(z)$ 는 식 (2.2)와 같이 표현된다.

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (2.2)$$

$$\text{여기서, } A(z) = \sum_{m=0}^p a_m z^{-m} \quad (2.3)$$

$$B(z) = \sum_{m=0}^q b_m z^{-m} \quad (2.4)$$

선형 필터의 출력 파워  $P_x(z)$ 와 입력 파워  $P_n(z)$ 와의 관계는 다음 식(2.5)와 같다.

$$P_x(z) = H(z)H^*(1/z^*)P_n(z) = \frac{B(z)B^*(1/z^*)}{A(z)A^*(1/z^*)} P_n(z) \quad (2.5)$$

식 (2.5)는 일반적으로,  $-1/(2\Delta t) \leq f \leq 1/(2\Delta t)$ 일 때  $z = \exp(j2\pi f \Delta t)$ 와 같은 단위 원을 따라 평가된다. 구동 절차는 변위  $\sigma^2$ 와 제로 평균의 화이트-노이즈 절차로 추측된다. 그래서, 노이즈의 Power Spectrum Density는  $\sigma^2 \Delta t$ 이다.

ARMA 출력 프로세스의 Power Spectrum Density는 식(2.6)과 같다.

$$\rho_{ARMA}(f) = \rho_x(f) = \sigma^2 \Delta t |\beta(f)/\alpha(f)|^2 \quad (2.6)$$

여기서,  $\alpha(f) = A(\exp[j2\pi f \Delta t])$ ,  $\beta(f) = B(\exp[j2\pi f \Delta t])$

그리고, 식(2.1)에서 파라미터  $a_k$ 가 0이라고 하면

$$x_n = \sum_{l=0}^q b_l n_{n-l} \quad (2.7)$$

이고, 이 모델을 MA(Moving Average)라 한다.

$$\rho_{MA}(f) = \sigma^2 \Delta t |\beta(f)|^2 \quad (2.8)$$

마찬가지로 식(2.1)에서 파라미터  $b_1$ 가 0이라 하면

$$x_n = \sum_{k=0}^p a_k x_{n-k} + n_n \quad (2.9)$$

이고, 이 모델을  $x_n$ 이 에러  $n_n$ 을 갖는 선형회귀이기 때문에 AR(Autoregressive)이라고 불린다. 이 모델의 현재값은 가중치를 준 과거값의 합에 노이즈항을 합한 값으로 표현된다.

$$\rho_{AR}(f) = \frac{\sigma^2 \Delta t}{|\alpha(f)|^2} \quad (2.10)$$

그림 2.1은 AR 프로세서의 블럭다이어그램을 나타내고 있다.

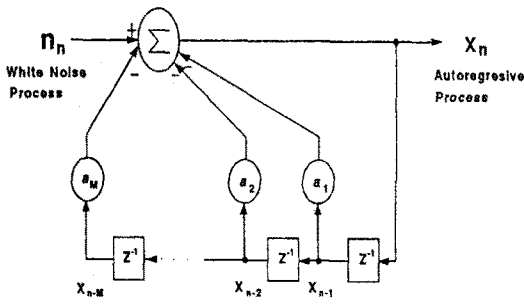


그림 2.1 AR 프로세서의 블럭다이어그램

AR모델에 대한 파라미터의 평가는 선형 방정식으로 결과 되어지기 때문에, ARMA와 MA파라미터 평가 방법보다 계산적인 이점을 갖는다. 위에서 설명한 AR과 ARMA Power Spectrum Estimation방법에 Least Square Minimization개념을 첨가시킨 Prony Power Spectrum Estimation과 Extended Prony Power Spectrum Estimation방법이 있다. 그림 2.2와 그림 2.3은 ARMA와 Prony Power Spectrum Estimation의 알고리즘을 나타내었다.

### 3. Power Spectrum Estimation을 이용한 진류파형 분석

Power Spectrum Estimation을 이용한 진류파형 분석을 위해 각각 크기가 다른 2가지의 기본 주파수 성분파형을 합성시킨 고장진류를 이용하였다. AR, ARMA, MA, Prony, Extended Prony방법을 이용한 Power Spectrum Estimation 통해 진류파형 분석을 수행하였다.

(1) 차수를 5로 고정시켰을 때의 각 기법별 파형분석

그림 3.1의 파형을 입력시켰을 때 기본 주파수(60Hz) 성분의 파위가 우세하기 때문에 다른 노이즈 성분에 비해 뚜렷이 구분될 수 있는 스펙트럼을 구해야 한다. 위의 그림에서 볼 수 있는바와 같이 차수가 비교적 작을 때 ARMA, Prony, Extended Prony기법이 다른 기법에 비해 안정되고 정확한 스펙트럼을 보여주고 있다.

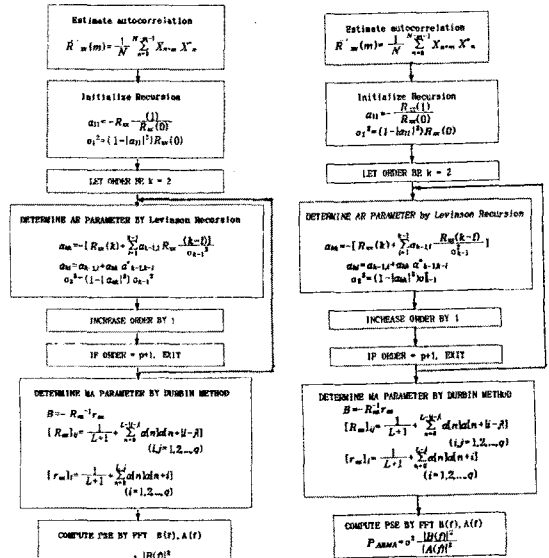
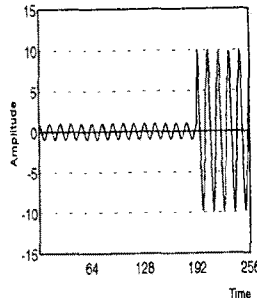
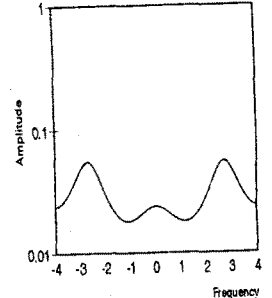


그림 2.2 ARMA PSD 알고리즘 흐름도

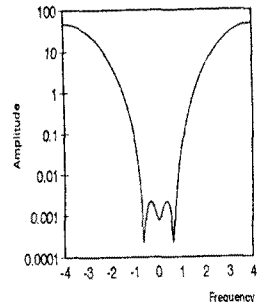
그림 2.3 Extended Prony PSD 알고리즘 흐름도



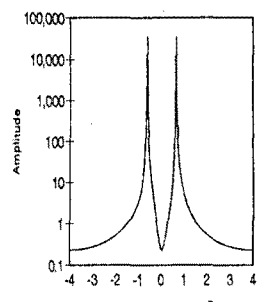
(a) 입력 파형



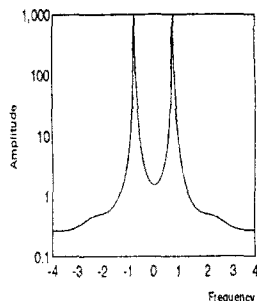
(b) AR기법을 이용한 pse 결과파형



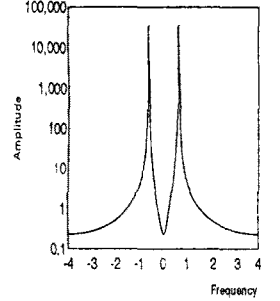
(c) MA기법을 이용한 pse 결과파형



(d) ARMA기법을 이용한 pse 결과파형



(e) Prony기법을 이용한 pse 결과파형



(f) Extended Prony 기법을 이용한 pse 결과파형

그림 3.1 차수 5일 때 각 기법별 PSE 결과 파형

(2) 차수를 5로 고정시킨 AR과 Prony기법의 prediction 오차 파워 비교

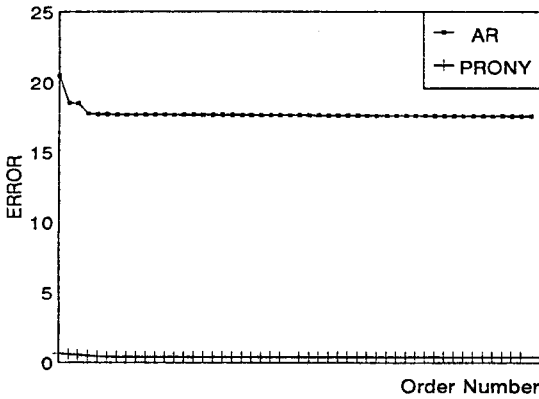
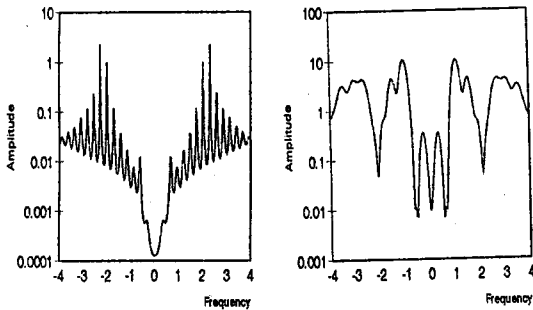


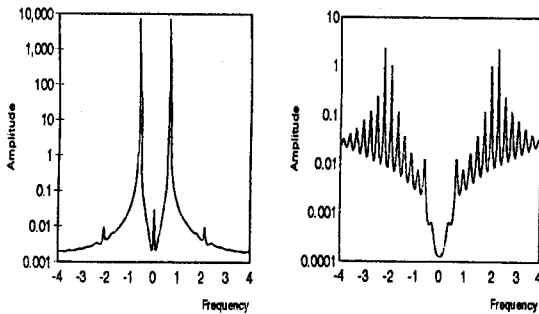
그림 3.2 AR기법과 Extended Prony기법의 prediction 오차 비교

위의 그림에서 보는 바와 같이 AR기법에 비해 Prony기법이 prediction 오차에 있어 아주 작은 값을 나타내주고 있다. 즉, 같은 AR모델을 이용한 두 기법에서도 Prony기법이 보다 안정된 방법임을 보여주고 있다.

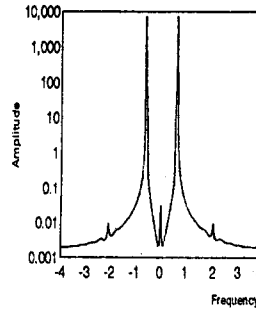
(3) 차수를 30으로 고정시켰을 때 각 기법별 파형분석



(a) AR기법을 이용한 pse 결과파형 (b) MA기법을 이용한 pse 결과파형



(c) ARMA기법을 이용한 pse 결과파형 (d) Prony기법을 이용한 pse 결과파형



(e) Extended Prony 기법을 이용한 pse 결과파형

그림 3.3 차수 30일 때 각 기법별 PSE 결과 파형

(1)의 경우에서 보다 차수를 크게 변경시켰을 때 AR과 MA의 경우 불필요한 노이즈 파형의 스펙트럼까지 구해진다. 즉, 차수가 작을 때는 우세한 파형도 스펙트럼이 정확하지 않았으나 차수를 증가시킨 후의 파형에는 불필요한 파형까지 섞임을 알 수 있다. 그리고 Prony의 경우도 ARMA와 Extended Prony에 비해 차수에 민감함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

고저항 지락사고와 같이 고장전류가 작은 경우의 고장 검출을 위해서는 고장전류의 보다 정확한 파형분석을 통해 파형의 특성을 알아내어야 한다. 이를 위해 power spectrum estimation 기법을 이용한다. 그러므로, 이러한 기법들의 각각의 특성을 이용해 가장 적합하고 우수한 기법을 적용해야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 이러한 필요성에 의해 가상의 고장전류 데이터를 이용해 각 기법들의 특성을 살펴보았다. 파형을 분석한 그림에서 보는 바와 같이 MA기법은 정확한 전류파형의 특성을 나타내기에는 부족하고 AR과 Prony기법의 경우도 출력 노이즈가 첨가될 경우에는 정확한 결과를 얻기 어렵다. 이러한 경우 차수를 증가시키거나 ARMA 모델로 확장시켜 보다 나은 결과를 얻을 수 있는데 그림에서 보는 바와 같이 AR과 Prony기법은 차수에 비교적 민감하기 때문에 최적한 차수값을 적용하지 않게되면 잡음 파형까지 섞일 수 있다. 그러므로 차수값에 안정한 특성을 지닌 ARMA 또는 Extended Prony기법이 가장 적합하다. 그러나 이 방법도 실시간 고장검출에 있어 문제점을 안고 있으므로 실시간 고장검출을 위한 연구가 계속 되어야 한다.

#### 6. 참고문헌

- [1] Steven M. Kay and Stanley Lawrence Mapple, J.R., "Spectrum Analysis-A Modern Perspective", Proc. IEEE, VOL. 69, NO. 11, NOV. 1981.
- [2] 이기원, "주파수 해석을 통한 고저항 지락사고 검출", 서울대학교 전기공학과 석사학위 논문, 1987.
- [3] Larry Mapple, "A New Autoregressive Spectrum Analysis Algorithm", IEEE Trans. VOL. ASSP-28, NO. 4, AUG. 1980.
- [4] Mike Aucoin, "Status of High Impedance Fault Detection", IEEE Trans. on Power Apparatus and System", VOL. PAS-104, NO. 3, March 1985.