

# 배전선로 고장징후 검출 파라메타 선정을 위한 데이터 취득 시스템의 개발과 시간변수의 적용기법

申政勳\* · 全明烈 · 柳明鎬  
한국전력공사 전력연구원

## Development of Data Acquisition System and Application of Time-Domain Parameters for detecting Fault Symptoms on Distribution Feeders

Jeong-Hoon Shin\* · Myeong-Ryeal Jeon · Myeong-Ho Yo  
Korea Electric Power Research Institute, KEPIU

### Abstract

Identification of incipient faults and various events on the distribution feeders is very important to develop the prediction method of fault symptom. In this paper, the configuration of data acquisition system to get the real field data is introduced. And the quantification of incipient faults is also discussed. Based on the acquired field data, how the time domain parameters of voltage and current signals are applied to this research is partly introduced.

### 1. 서론

사회전반에 걸친 첨단기술의 개발로 전기에너지 사용은 계속 증가하고 있으며 이에따라 전력기 및 송배전선로도 대형화되어 단한번의 사고가 미치는 영향은 실로 막대하다. 특히, 수용가와 직접연결된 배전선로의 경우 점차 선로극장의 증대뿐아니라 선로에 설치된 기기가 다양화, 복잡화되고 있어 선로에 있어서의 고장횟수 및 정전시간의 증가우려뿐 아니라 고장시에 미치는 영향이 상대적으로 증가되고 있는 실정이다. 따라서 배전선로의 신뢰성확보를 위해서는 선로에서 일어나는 제반현상 즉, 정상적 기기동작, 선로에서의 고장징후 현상, 그리고 고장에 이르는 과정을 진단하여 고장을 조기에 발견함으로써 배전선로에 대한 예방보전(predictive maintenance)조치가 취해져야만 한다. 아울러 최적의 설비운전을 가능하게 하기위해서도 고장예지 및 고장징후 검출의 필요성이 증대되며, 이를 통해 최상의 전력설비 유지보수책이 마련될 수 있을 것이다. 조사한 바에 의하면 미국의 경우, 우주선 폭발 및 해군함정 내에서의 사고등의 대형재해를 배경으로 하여 중대한 재해가 일어날 가능성이 있는 분야 및 조그만 사고가 전체시스템을 완전히 마비 또는 파괴시키는 특수분야에 대해 그 재해를 미리 감지할 수 있는 방법에 대한 연구를 시작하게 되었고 우주정거장 내에서의 전기고장 조기검출에 대한 연구와 미 해군 전투함정 내에서 전투상황시 함내 전기계통에서 일어날 수 있는 전기재해를 조기에 발견, 검출하는법에 대한 연구가 진행되었으며, 이기술은 최근 민간에 적용될 단계에 이르러 미국 전력회사에서도 이

러한 예방보전적 고장징후 검출(Incipient Fault Detection)에 눈을 돌리기 시작하였다. 이와 아울러 예자, 변압기, 차단기 등에 대한 예방보전적 연구가 조금씩 이어져 왔다.[1][2] 대부분의 경우 기기자체에 특수한 장치를 부착하는 형식의 것이어서 지속적이고 on-line의 감시가 불가능한 것이지만 최근에는 이러한 점을 보완한 변수를 연구하여 점차 지속적으로 원방 온라인 감시가 가능하도록 하는 방향으로 가고 있으며, 미국의 Texas A&M 대학등에서도 선로에서의 여러 가지 현상에 대해 전압, 전류 신호를 분석하여 그 특성을 파악, 구분한 연구가 활발히 진행되어 왔다.[1][2] 하지만 고장진단과 재해방지를 위한 예지기법에 대해 실 전력계통에 적용한 구체적인 연구와 그에 필요한 실 데이터는 현재 전무한 상태이다. 그러므로, 본 논문에서는 배전선로 고장예지를 위한 선로데이터의 취득과 분석 및 고장징후 검출 파라메타를 선정, 적용하는 방법등을 제시하고자 한다.

### 2. 선로 데이터의 취득

#### 2.1 표본선로의 선정

배전선로에서 자연열화적으로 발생되는 고장을 미리 예측, 진단하는 시스템을 구현하기 위해서는 선로 전체를 진단하고 고장징후 유무를 판단할 수 있는 변수의 개발이 중요하다. 이러한 고장검출 변수의 개발을 위해서는 고장발생 가능성이 높고 특수한 부하환경 및 주변여건의 특수성이 배제된 표본선로를 선정하여 양질의 데이터를 취득, 분석하여 고장검출 변수개발에 이용하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 신뢰성있는 자료(한전, 계통운용처, 94, 95년 계전기 보호동작상태 분석보고서)와 수차례의 현장 방문조사를 토대로 전체 보호계전기 동작건수 및 전력설비 불량으로 인한 계전기 동작건수를 우선적으로 검토하고 데이터 취득기기의 설치, 데이터의 전송, 효과적인 설비관리등을 고려하여 고장발생 빈도가 높은 feeder를 보유한 2개 변전소, 4개, 선로(D/L)를 선정하였다.(표1)

표 1. 선정된 선로  
Table 1. Selected distribution feeders

| 변 전 소 명 | 선 로 명            |
|---------|------------------|
| 공 주 S/S | 유구#2 D/L, 태봉 D/L |
| 오 산 S/S | 모의, 향남 D/L       |

## 2.2 데이터 취득 시스템(Data Acquisition System)의 구성

배전선로 고장정후 검출변수 개발에 중요한 기초자료가 되는 전압, 전류신호를 효과적으로 취득하기 위하여 선정된 표본 배전선로에 고속 아날로그 데이터 취득장치인 Racal Recorder(StorePlus VL)를 설치하고 이와 병행하여 병렬로 고정밀의 데이터 취득장치(DAU, digital data 취득)를 설치하여 선로의 고장정후 예지를 위해 필요한 데이터 취득시스템을 구성하였다. (그림1)

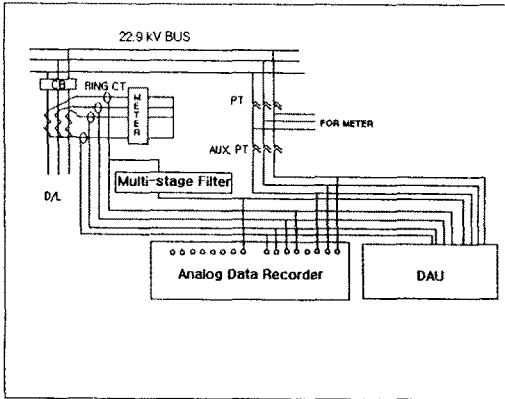


그림 1. 데이터 취득 시스템의 결선도  
Fig1. Connection of Data Acquisition System

### 2.2.1 Analog Data Recorder의 구성

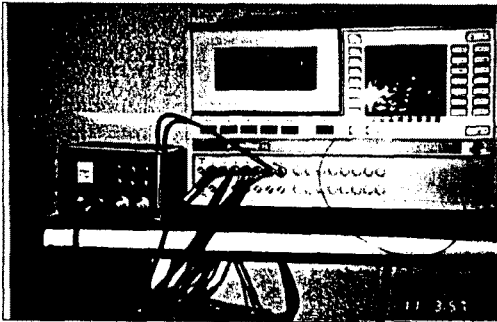


그림 2. 아날로그 레코더와 다단필터의 구성  
Fig 2. The configuration of analog recorder and multi-stage filter

총 16개 채널을 가진 아날로그 데이터 취득장치(Racal Recorder)는 공주변전소에 설치되어 유구#2 D/L과 태봉 D/L의 전압(A,B,C상, 동모선), 각 D/L의 전류(A,B,C,N) 그리고 다단필터(Multi-stage filter)를 거친 N상전류신호를 입력으로 하여 매일 05시, 17시 2회에 걸쳐 1분씩 측정, 저장되고 있으며 이는 배전선로의 전력설비가 하루 24시간 중에서도 이슬점이 형성되는 새벽시간과 완전히 건조되는 17시에 상반되는 환경특성에 따라 고장전전 현상의 변화 가능성이 있어, 측정시간대를 상기와 같이 결정하였다. 다단필터와 레코더의 구성은 그림2와 같다.

### 2.2.2 DAU의 구성

아날로그 데이터 취득장치와 병행하여 선로의 전압, 전류데이터를 취득, 데이터베이스화하여 고장이 진단되는 데이터의 추이와 특성분포를 분석하고자 제작, 설치된 DAU는 고속 Sampling rate(900KS/sec)를 가지며 2개선로의 각 상별 전압, 전류신호(16채널)를 동시에 취득하고 원거리 전송을 위한 통신기능 및 Local/Host측의 운용 S/W로 구성되어 있으며 전체적인 DAU의 구성은 그림3과 같다. 이는 최대 샘플속도 900KS/sec일 경우 각 채널당 주파수분석 한계를 56KHz까지 가능하도록 2board 시스템으로 구성하였다.

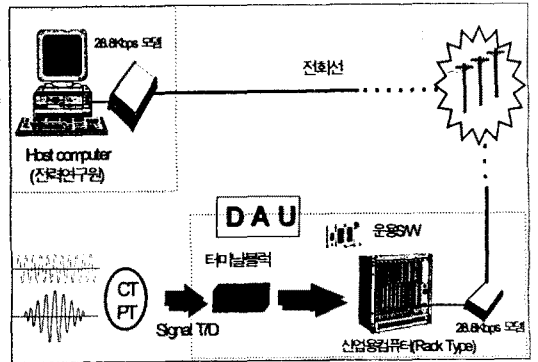


그림 3. DAU의 시스템 구성  
Fig 3. The configuration of DAU

양질의 데이터 취득을 위해 제작된 DAU는 고속의 샘플링속도를 가진 A/D board가 내장된 다기능입출력 카드 2set와 보다정밀한 데이터의 취득을 위하여 전류8개 입력채널 전단에 Tracking Holder기능이 내장된 Simultaneous Sampling Differential Amplifier 카드를 설치하고 24시간 계속 운전되는 점을 감안하여 산업용 컴퓨터를 이용하여 구성하였다.(그림4, 그림5)

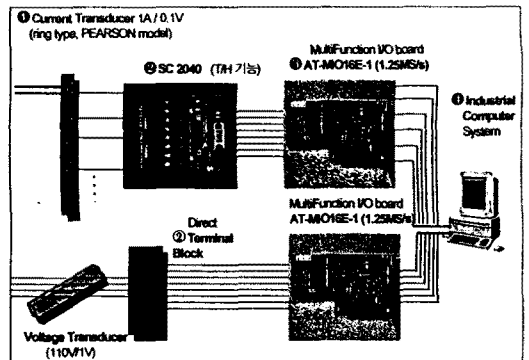


그림 4. DAU의 내부구성  
Fig 4. Internal configuration of DAU

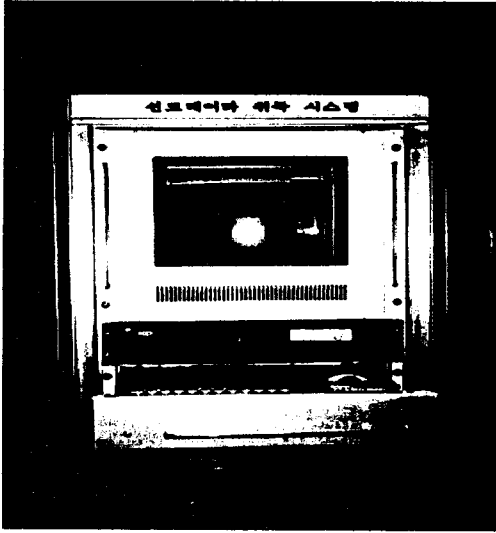


그림 5. DAU 전면  
Fig 5. The front of DAU

### 2.2.3 다단필터의 구성

지금까지의 고장예지 및 진단기술과 조사에 의하면 선로에서의 열화현상에는 대개 부분방전 및 아크나 스파크 현상이 수반되며 이는 대개 매우 높은 주파수대를 가진 신호임을 알 수 있다.[3][4] 본 연구에서는 선로에서 발생하는 고장을 미연에 방지하기 위하여 선로의 전압, 전류신호에 함유된 미세 고장징후 신호를 찾아내어 정량화하는데 그 목적이 있으므로 이 미세 고장징후 신호가 수 KHz이상의 주파수 대역을 가지며, 부하전류(전압)신호 혹은 기본주파수 신호에 비하여 매우 작은 크기를 가질 것이라는 데 착안하여 전류신호 입력채널 전단에 다단필터를 제작하여 장착하였다. 이 다단필터는 먼저 우월한 기본주파수 성분을 제거하기(60Hz)위해 Notch 필터를 1단으로 하고 1KHz이상의 고주파신호만을 순수히 얻기위하여 고주파통과 필터(high pass filter)를 2단으로 연결하며 다시 이 신호를 60dB(100배)만큼 증폭하기 위한 회로로 구성되어 있다.(그림 6)

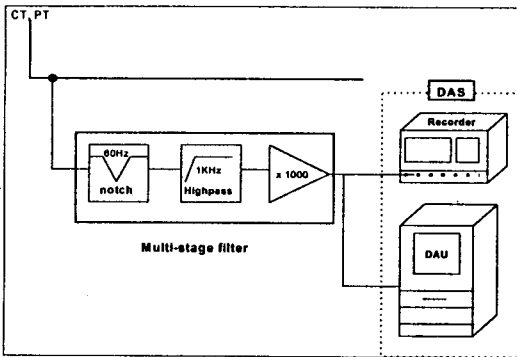


그림 6. 다단필터의 구성  
Fig 6. The configuration of Multi-stage filter

또 레코더 및 DAU의 입력을 이 다단필터를 거친 신호와 함께 원래의 신호도 동시에 저장할 수 있도록 함으로써 데이터의 비교분석이 가능할 수 있도록 구성하였다.

### 2.3 운용 S/W의 구성

고속으로 샘플링된 데이터를 주기적으로 취득, 자동저장하고 이를 원방에서 데이터를 수신, 제어하기 위해서는 로컬쪽의 DAU를 운용하기 위한 운용 소프트웨어와 호스트쪽에서 운용할 수 있는 소프트웨어가 필요하다. 본 연구에서는 미국 NI(National Instrument)사에서 개발한 LabVIEW 4.0 Graphical Language를 이용하여 로컬쪽에서 데이터를 자동저장하고 모뎀을 통하여 이를 호스트에서 수신받을 수 있는 운용소프트웨어를 개발하였다.(그림 7,8)

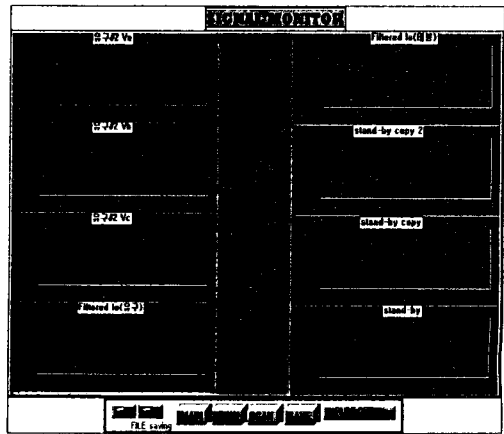


그림 7. 로컬 DAU에 설치된 운용 s/w  
Fig 7. Operating S/W installed in local DAU

로컬 DAU에 자동적으로 저장된 전압, 전류데이터를 원방에서 수신, 제어하기 위해 필요한 호스트측의 운용 소프트웨어는 28.8Kbps급 모뎀을 이용하여 LabVIEW상에서 원방시스템을 인식할 수 있는 통신프로토콜을 개발하고 인식된 시스템(Local DAU)의 파일들을 관리할 수 있도록 개발하였다.

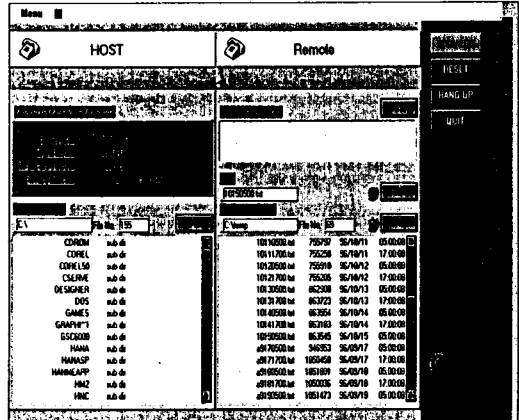


그림 8. 호스트측에 설치된 운용 s/w(데이터 수신)  
Fig 8. Operating S/W installed in host computer.

### 3. 고장예지 기법의 시간변수 적용방법

선로에서 일어나는 기기의 고장과 고장진전 현상에 의한 과도현상을 지문처럼 분석하고 구분할 수 있다면 선로 전체를 진단하고 고장징후를 판단하여 고장을 예지하는데 획기적인 일이 될 수 있다. 그 동안 고저항 지락 사고(High Impedance Fault)의 검출이나 다른 유사 현상으로 부터의 구분을 위하여 주로 고주파 등의 주파수변수에 의한 방법이 연구되었고 이를 적용하기에 이르렀지만 아직도 안정성(safety)과 민감성(sensitivity)을 만족시켜주는 신뢰성(reliability) 높은 방법은 구하지 못하고 있다. 본 연구에서는 주파수 변수에 추가적으로 시간변수를 이용하고 파형의 왜곡을 정량화하는 파고율(crest factor)과 파형율(form factor)을 이용하여 어떤 파형의 외형 즉, 최대치의 변화, 평균치의 변화 등의 과도현상을 순수 정현파의 값( $CF = \sqrt{2}$ ,  $FF = \pi / (2\sqrt{2})$ )과 비교하여 선로특유의 동작 및 고장을 진단하는 방법을 고장예지 기법에 적용해 본다.

$$C.F(\text{파고율}) = \text{최대치} / \text{실효치}$$

$$F.F(\text{파형율}) = \text{실효치} / \text{평균치}(\text{반주기})$$

최대치의 값을 더욱 민감하게 발견하기 위하여 위의 CF나 FF를 결합한 변수 Crest-form factor(CFF or Revised CF, RCF)도 이용할 수 있으며 이 CFF는 "최대치 대 반파평균치" 또는 "최대치 대 절대치의 평균"으로 정의할 수 있다. 순수정현파일 경우 이 값은 1.571( $\pi/2$ )을 갖게된다. [1][2] 본 연구에서는 이 CFF외에 하나의 변수를 더 추가하였다. 왜냐하면 파형이 왜곡없이 점진적으로 증가 또는 감소되는 신호를 CFF는 검출하지 못하기 때문이다. 즉, CFF는 파형의 왜곡에는 민감하지만 왜곡없는 크기의 변화에는 조금도 반응하지 않기 때문이다. 이러한 왜곡없는 크기의 변화는 스위칭 또는 장치의 동작시에 일어나는 전후현상이므로 고장과 일반현상 및 고장진전현상을 구분하기 위해서는 왜곡없이 크기만 변화하는 것도 민감하게 검출할 수 있는 변수가 필요하다. 이 변수는 CFF의 분포 즉, 평균치(average, AV)를 이용한다. 그러므로 우선, 배전선로의 현상 구분을 위해서는 다음의 4가지 변수를 이용한다.

Ic<sub>ff</sub> : 전류성분의 CFF

Vc<sub>ff</sub> : 전압성분의 CFF

Ia<sub>v</sub> : 전류성분의 AV

Va<sub>v</sub> : 전압성분의 AV

그림 9는 위의 4개변수를 이용하여 실제로 배전계통의 데이터에 적용한 것으로 데이터는 공주 변전소의 데이터를 취득한 것이다.(유구#2 D/L, 1996년6월27일~8월13일, 1일 2회씩(05:00, 17:00)의 데이터를 분석)

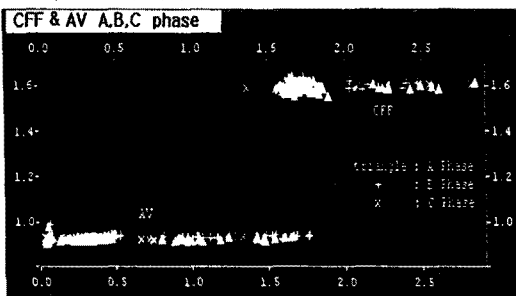


그림 9. 유구#2 D/L의 CFF-AV 분포추이  
Fig 9. CFF-AV plot at YuGoo#2 D/L

상기의 분포추이도는 약 45일간 배전선로에서 취득한 데이터를 각 상에 대해서 CFF 와 AV를 표시한 그림으로 위의 4변수를 동시에 이용하여 3상의 전압과 전류의 CFF와 AV를 X-Y좌표에 도시하여 CFF와 AV의 전체변화를 한 번에 알 수 있고, 현상 이전과 이후의 변화를 명확히 알 수 있다. 그리하여 전압과 전류의 AV와 CFF를 X-Y축에 나타내되 X축에 전류를 나타내고 Y축에는 전압을 나타내었다. 이 X-Y 분포도는 여러현상이 발생할 때 AV와 CFF의 형태와 진행방향이 정상상태와 비교하여 어떻게 진행되는지를 알 수 있으며, 다음과 같은 변화의 종류를 AV와 CFF도의 형태에 따라 구분하기로 한다.

| 구 분    | I(CFF또는 AV) | V(CFF또는 AV) |
|--------|-------------|-------------|
| 양방향기울기 | 증가          | 증가          |
| 부방향기울기 | 증가          | 감소          |
| 수직변화   | 변화없음        | 증가/감소       |
| 수평변화   | 감소/증가       | 변화없음        |

분포도에서 보면, CFF가 약간 양방향성 기울기를 가지는 것으로 나타나며 AV는 거의 수평변화 양상만 나타나고 있다. CFF는 순수정현파의 값 1.571보다 약간 상회하면서 나타나며 AV값도 0.6정도로 분포되고 있다. 동일기간 동안에 a상 선로에 2번의 현상예자 파손기록이 있었으나 앞서 말한 형태의 분포가 직접적으로 현상예자 고장(arc process)의 징후라고는 아직 단언할 수 없다. 왜냐하면, 선로에서 발생하는 자연열화적인 고장의 징후는 상당한 기간전부터 아주 서서히 진행되며 나타나기 때문에 보다 많은 데이터로 그 추이를 분석해야 되기 때문이다. 그러나 상기와 같은 이런 시간변수들의 적용은 주로 고장현상의 검출이나 이상현상과의 구분을 위한 방법으로 적용되어, CFF가 민감성을 강조하여 순간적인 현상과 파형의 왜곡을 검출하는데 효과를 보인 반면, 고장예측의 문제는 이와는 다른 면을 지니고 있다. 즉, 고장예측은 고장 데이터의 분석이 아닌 고장 진전현상의 판단이며 순간적인 고장검출이 아니라 전혀 고장여부를 모르는 상태에서 획득한 데이터의 분석이다. 그러므로 고장예측에서의 시간변수 이용은 다음방법과 같이 병행할 것을 제안한다.

1. CF의 계산 대상 주기를 1사이클이 아니라, 장기적인 시간이므로 1초단위로 또는 10초단위로 하여 그 대상 프레임을 가능한 넓힌다.
2. CF를 2차원적으로 구하는 방법은 공간해석에 가까우므로 장기적인 시간이 나타나는 시간해석(1차원적 방법)으로 구한다.
3. 양의 최대치(positive peak)와 음의 최대치(negative peak)도 고장예측의 한 변수가 될 수 있으므로 양의 최대치와 실효치를 비교한 양의 CF(cf+)와 음의 최대치와 실효치를 비교한 음의 CF(cf-)를 동시에 사용한다.

제안된 방법으로 그림 9에 적용한 환경과 동일한 데이터를 적용하여 cf+, cf- 값의 추이를 그림 10에 나타내었다. 본 논문에서는 앞으로의 데이터 분석을 위한 준비단계에 있으므로 고장예측을 위한 직접적인 방법은 제시하지 않는다.

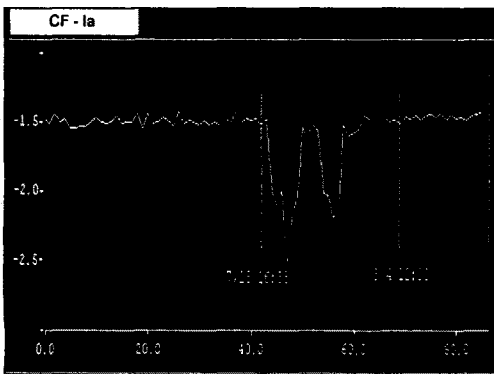
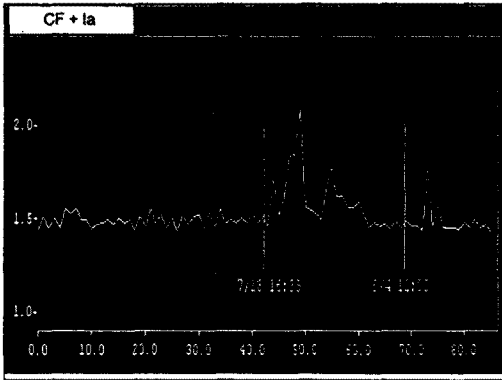


그림 10. cf+, cf- 추이도(유구#2 D/L의 a상전류)

Fig 10. A trend plot of cf+, cf-

#### 4. 결 론

본 논문에서는 배전선로의 고장징후를 예지할 수 있는 시스템 개발을 위해서 필요한 양질의 현장선로 데이터를 손실없이 취득할 수 있도록 하는 DAS(Data Acquisition System)를 개발하고 이를 이용하여 취득한 실 데이터를 중전의 주파수변수를 이용한 신호분석법에서 벗어나 신호파형의 왜곡을 정량화할 수 있는 몇 가지의 시간변수를 적용하여 고장예지 변수신정에 이용하고자 했다. 고장예측에 있어서는 고장징후 신호변화 경향(trend)의 발견과 분석, 그것의 결정이 가장 중요하다. 그러므로 매일 2회 1분간 모니터링되는 데이터에서 중요변수를 발견하고 결정하여 그것의 변화정도와 상황 즉, 경향을 파악해야 상태에 대한 예측이 가능하다. 그래서 계속적인 데이터를 연속적으로 연결하여 그 경향을 감시하는 것이 매우 중요하다. 또한, 배전선로의 선로보수 사항 및 고장발생 이력사항을 정확히 확보하여 고장발생 시점에서의 고장징후 신호를 찾는 것도 중요한 일이 아닐 수 없다. 아울러 향후에는 주파수변수, CF, FF, CFF, AV, CF+,CF-등 개발된 변수 모두를 통합하여 의사결정(decision-making)을 할 수 있는 불확실성 추론기법이 고장예지에 적용될 전망이다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] C. J. Kim and B. D. Russell, "Identification of Distribution disturbances by Crest Factor Analysis" ICEE'95 Taejon, 1995. 8
- [2] B. Don Russell, R. P. Chinchali, C. J. Kim "Behavior of low frequency spectra during arcing fault and switching events" IEEE Trans. PWRD-3, No. 4, pp.1485 - 1492, 1988.
- [3] "다중접지 배전선로 보호계전방식 개선연구" 한국전력공사 기술연구원 project Final Report 1987, 9
- [4] "Detection of Arcing Faults on Distribution Feeders" EPRI, Electrical Systems Division Final Report. Dec. 1982
- [5] C. J. Kim B. D. Russell, "High Impedance fault Detection system using an adaptive element model", IEE Proc-C, Vol.140, No2. pp.153-159,1993
- [6] R. P. Chinchali, B. D. Russell, " A Digital Signal Processing algorithm for detecting arcing faults on power distribution feeders", IEEE Trans. PWRD-4 No.1 pp.132-138, 1989