지자기교란으로 인한 전력망 유도전류 모니터링 분석 연구

2014. 12.

RRA 국립전파연구원

제 출 문

본 보고서를 「지자기 교란으로 인한 전력망 유도전류 모니터링 분석 연구」과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 12. 31.

연 구 책 임 자 : 배차호(우주전파센터 관측팀)
연 구 원 : 박성환(우주전파센터 관측팀)
김영윤(우주전파센터 관측팀)
유충현(우주전파센터 관측팀)

요 약 문

태양흑점폭발로 인해 방출된 코로나물질은 2~4일 후 지구전역에 자기장 교란을 일으키고 지상에 설치된 장거리 송전선을 통해 지자기 유도전류(GIC : Geomagnetically Induced Current)를 발생시켜 변압기 손상이나 정전피해 등 전력망 장애를 줄 수 있다. 과거 이러한 피해는 고위도 국가인 캐나다, 영국, 미국 등에만 발생되었으나 최근 2003년 중위도 국가인 남아공에서 지자기 교란으로 인한 유도전류로 전력망 변압기 15기가 손상되는 피해가 발생되었다.

본 연구는 지자기의 급격한 변화가 우리나라 전력망에 미칠 수 있는 여러 가지 위험에 대비할 수 있도록 유도전류 발생 상황을 좀 더 빠르게 전력분야 관계자에게 알려주는 것을 목표로 유도전류 상시 모니터링 방안을 마련하였다.

이를 위해 제1장에서는 현재 운영되고 있는 유도전류 관측시스템에 대한 현황과 문제점을 기술하였다.

제2장에서는 전력망 유도전류 상시 모니터링에 필요한 초단위 유도전류 예상값을 산출하는 방안을 마련하였다. 초단위 유도전류 예상값 산출에 필요한 초단위 유도전류 상관계수를 산출하고, 유도전류 상관계수 산출에 필요한 지자기 데이터 교란 추출방안을 제시하였다.

제3장에서는 전력분야 수요자에게 유도전류 발생 정보를 언제 어디서든 받아 볼 수 있도록 기존 유도전류 관련 시스템을 개선하고 유도전류 집중 모니터링 방안을 제시하였다. 기존 유도전류 관측 시스템의 데이터 처리 지연시간을 줄여 실시간으로 발생되는 유도전류 정보를 전력분야 관계자에게 제공하는 것을 목표로 수행되었다. 기존 유도전류 시스템은 유도전류 관측 데이터를 수집하는 수집 PC의 전송 지연 문제와 데이터 처리 서버의 처리 지연 문제가 있어 유도전류 관측 및 예상값 데이터는 수분 내지 수십분 지

연하여 우주전파센터 홈페이지에 제공하였다. 이와 같은 문제점을 해결하고자 초단위 유도전류 상관계수와 지자기 관측기의 브로드 캐스팅 기능을 이용하였으며 유도전류 발생정보를 실시간으로 빠르게 유산출 및 제공하도록 시스템 구성을 개선하였다. 먼저 변전소 현장에 유도전류 발생정보를 실시간 모니터링하는 유도전류 상시 모니터링 상황판을 설치하여 변전소 근무자가 항상 유도전류 발생정보를 인지할 수 있도록 하였다. 또한 변전소 근무자가 항상 상황실에 근무하는 것이 아니기 때문에 언제 어디에 있든 유도전류 발생정보를 인식할 수 있도록 유도전류 발생 SMS 서비스를 제공하였다. 이와 더불어 전력분야 관계자가 유도전류 관련 데이터 현황 등을 지속적으로 모니터링 할 수 있도록 센터에서 운영하고 있는 수요자 맞춤형 홈페이지 서비스를 개편하였다.

제4장에서는 2000년부터 2005년까지 이천 관측소와 위도가 비슷한 일본 카키오카 지자기 관측소의 데이터를 이천 관측소의 데이터와 비교하여 과거 지자기 교란 사례를 분석하였다. 분석된 지자기 교란 사례를 이용하여 그 때의 이천지역 유도전류 예상값을 계산하였다.

제5장에서는 유도전류 예상값 산출의 핵심 데이터인 지자기 데이터의 안정성에 대한 평가를 할 수 있는 지자기 기준값 측정 결과를 기술하였다. 지자기 기준값은 2013년부터 2014년말까지 일주일 주기로 측정한 데이터를 축적하고 있다.

본 연구를 통해 지자기 폭풍으로 인한 국가 전력망 피해를 대비하기 위한 유도전류 상시 모니터링 체계를 갖추고자 하였다. 앞으로도 지속적으로 관련 연구를 병행하고 태양흑점 폭발 등으로 인한 전력망 피해를 최소화하는 방안을 개선하여 우주전파재난에 대비해야 할 것이다.

목 차

제1장 서론 ····· 1
제1절 연구의 배경 ····· 1
제2절 유도전류 측정시스템 운용 및 설치 ····· 2

제2장 초단위 유도전류 상관계수 산출 ····· 6
제1절 초단위 자자기 유도전류 일일 예상값 산출 ····· 6
제2절 지자기교란 데이터 추출 방안 ····· 18
제3절 초단위 유도전류 상관계수 산출 ····· 23

제3장 유도전류 집중모니터링 방안 마련 ····· 28
제1절 유도전류와 변압기 온도 상승 ····· 28
제2절 지자기 유도전류 집중모니터링 방안 ····· 36

제4장 과거 지자기 교란 사례 분석 ····· 51
제1절 이천/일본 데이터 비교및 지자기 교란 데이터 추출 ····· 51
제2절 과거 지자기 교란으로 인한 유도전류 예상값 산출 ····· 63

제5장 지자기 기준값 측정결과 분석 ····· 76
제1절 이천 지자기 기준값 측정 데이터 분석 ····· 76

제6장 결론 ····· 85

참고문헌 ····· 87

표 목 차

[표 2-1] 분평균 및 초단위 지자기 데이터 ····· 7
[표 2-2] 분평균 및 초단위 유도전류 데이터 ····· 8
[표 2-3] 초단위 유도전류 일일 예상값 산출 ····· 9
[표 2-4] 전력망 자체에서 발생된 전류 ····· 10
[표 2-5] 유도전류 산출 방법 비교 ····· 10
[표 2-6] 유도전류 산출 결과 비교 ····· 11
[표 2-7] 지자기 유도전류 일일 예상값 산출 결과 ····· 15
[표 2-8] 초단위 유도전류 상관계수 산출 결과 ····· 16
[표 2-9] 초단위와 분단위 유도전류 실측치의 패턴 ····· 17
[표 2-10] 분단위와 초단위 데이터 처리 수 ····· 18
[표 2-11] 유도전류 이벤트 일자에 임펄스 데이터 포함 여부 ····· 24
[표 2-12] 유도전류 관측 데이터에 임펄스 데이터 포함 사례(2012.11.13.) ····· 26
[표 3-1] 변압기 온도상승 한계레벨 관련 규격 ····· 29
[표 3-2] 절연물의 최고 허용 온도 ····· 30
[표 3-3] 한전 변압기 온도상승 허용한도 ····· 30
[표 4-1] 지자기 교란 이벤트 일자 ····· 52
[표 4-2] 이천/일본 지자기 교란 이벤트 그래프 ····· 52
[표 4-3] 이천지역 유도전류 예상값 최대치(2000년~2003년) ····· 63
[표 4-4] 이천지역 유도전류 예상값 계산 결과 그래프 ····· 64
[표 5-1] 지자기 기준값 측정 결과(2013.11 ~ 2014.11) ····· 80
[표 5-2] 지자기 기준값 최대값과 최소값 ····· 82

그 림 목 차

[그림 1-1] 유도전류 발생 원리 ····· 2
[그림 1-2] 유도전류 관측시스템 설치 현황 ····· 3
[그림 1-3] 유도전류 관측시스템 구성 ····· 4
[그림 1-4] 유도전류 관측시스템 구성도 ····· 4
[그림 2-1] 지자기와 유도전류와의 관계 ····· 6
[그림 2-2] 유도전류 예상값과 관측값 비교 ····· 7
[그림 2-3] 초단위 유도전류 상관계수 산출 순서도 ····· 8
[그림 2-4] 지자기 교란 데이터 추출 ····· 19
[그림 2-5] 지자기 교란 데이터 추출 구간 선정 방법 ····· 19
[그림 2-6] 지자기 교란 데이터 추출 구간 선정 결과 ····· 20
[그림 2-7] 지자기 교란 추출 순서도 ····· 21
[그림 2-8] 지자기 교란 이벤트 구간 추출 결과 ····· 22
[그림 2-9] 분단위 분석을 위한 순서도 ····· 23
[그림 2-10] 초단위 분석을 위한 순서도 ····· 24
[그림 2-11] 초단위 유도전류 예상값과 관측값 비교 ····· 27
[그림 3-1] 변압기의 자화 특성 ····· 31
[그림 3-2] 변압기의 자화 전류(포화상태) ····· 32
[그림 3-3] half-cycle saturation ····· 33
[그림 3-4] half-cycle saturation에 의한 자화전류 ····· 33
[그림 3-5] 400MVA, 550/16.5-kV bank 의 온도 특성 측정 결과 ····· 34
[그림 3-6] 유도전류와 탱크 온도 ····· 35
[그림 3-7] 변압기 온도수집장치 구성도 ····· 36
[그림 3-8] 국내 유도전류 관측소 ····· 37
[그림 3-9] 기존 유도전류 모니터링 시스템 구성도 ····· 38
[그림 3-10] 유도전류 관측시스템 상세 계통도(신가평 변전소) ····· 39
[그림 3-11] 변압기 중성점 센서 설치 ····· 39

[그림 3-12] 데이터 수집 PC ····· 39
[그림 3-13] 유도전류 집중 모니터링 시스템 구성도 ····· 41
[그림 3-14] 유도전류 상시 모니터링 상황판 구성도 ····· 43
[그림 3-15] 유도전류 상시 모니터링 상황판 구성 ····· 44
[그림 3-16] 유도전류 상시 모니터링 상황판 설치 및 표출 ····· 44
[그림 3-17] 초단위 유도전류 산출 개념도 ····· 45
[그림 3-18] 초단위 유도전류 상관계수 산출 순서도 ····· 46
[그림 3-19] 초단위 유도전류 예상값과 실측값 비교 ····· 47
[그림 3-20] SMS 및 모바일 앱 서비스 체계 ····· 48
[그림 3-21] 수요자 맞춤형 홈페이지 서비스 화면 예시 ····· 49
[그림 4-1] 이천과 일본 지자기 관측소 위치도 ····· 51
[그림 5-1] 지구자기장의 3요소 ····· 77
[그림 5-2] 이천 지자기 관측소 구성도 ····· 77
[그림 5-3] 이천 지자기 관측소 기준값측정을 위한 기준지점 ····· 78
[그림 5-4] D/I Meter ····· 79
[그림 5-5] 지자기 기준값 측정 방법 ····· 79
[그림 5-6] 지자기 기준값 측정데이터 시트 ····· 80
[그림 5-7] 지자기 기준값 수평(H) 성분(2013~2014) ····· 82
[그림 5-8] 지자기 기준값 편각(D) 성분(2013~2014) ····· 83
[그림 5-9] 지자기 기준값 수직(Z) 성분(2013~2014) ····· 83
[그림 5-10] 지자기 기준값 총 자기장(F) 성분(2013~2014) ····· 84

제1장 서 론

제1절 연구의 배경

1. 개요

태양폭발로 인한 우주기상의 변화는 지자기 교란 및 유도전류(GIC: Geomagnetically Induced Currents)의 형태로 지구에 영향을 준다. 태양폭발로 인해 방출된 태양풍 입자는 지구 자기권과 전리층에 커다란 변화를 초래하는 동시에 지구 자기장에도 큰 충격을 주는데, 이러 급격한 변화는 지상에 설치된 송전설비에 직류성분의 전류를 유도하여 초고압 변압기 손상 내지 전력망 정전피해를 초래할 수 있다.

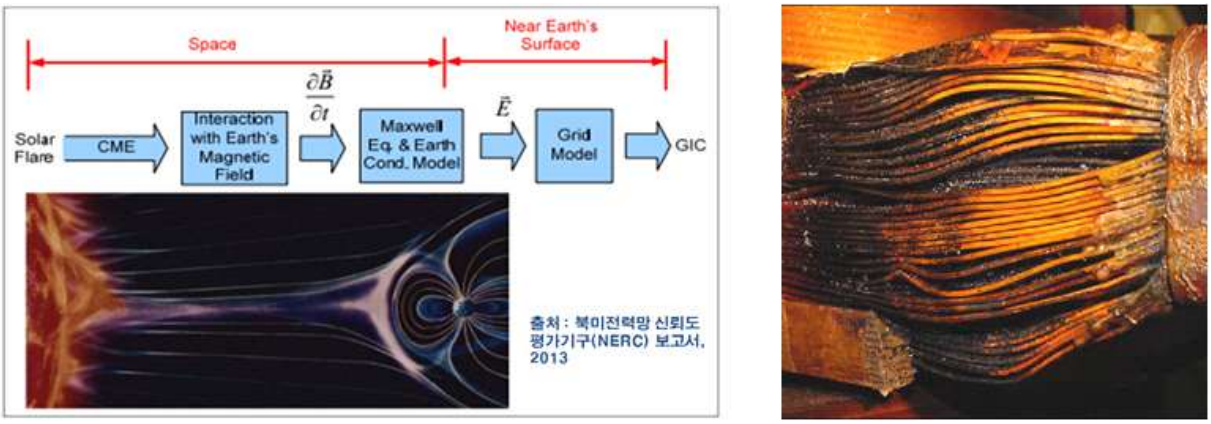
이에 따라 본 연구에서는 우주전파센터가 관측하고 있는 지자기 데이터와 유도전류 데이터간 상관관계를 분석하여 유도전류 예상값을 빠르게 계산할 수 있도록 초단위 상관계수를 산출하였고, 지자기 교란 유도 전류에 의해 국내 전력망의 피해를 최소화하기 위해 유도전류 집중 모니터링 방안을 마련하였다. 또한 과거 지자기 교란 사례 분석을 통해 유도전류 과거 예상값을 산출하였고, 정확한 유도전류 예상값 산출에 필요한 안정적인 지자기 데이터 확보를 위해 우주전파센터에서 보유하고 있는 이천 지자기 관측소의 기준값 측정을 매주 실시하고 그 결과를 분석하였다.

2. 유도전류와 전력망

태양흑점의 폭발로 인한 코로나 물질 방출은 지구 자기장의 시간적 변화를 일으키고 지상에서 직류성분의 전류를 유도시킨다. 패러데이의 유도전류 법칙에 따르면 공간적으로 이격된 대기 상공에서의 자기장의 시간적 변화는 지표면에서 전기장을 생성한다. 지상에 생성된 전기장은 전하를 발생시키며 송전선이나 송유관 등의 도체 구조물을 따라 흘러간다. 이렇게 유도된 전하는 전기장의 크기는 V/km (킬로미터당 전압)의 단위로

전력망에 직류 전압의 공급원 역할을 하게 된다. 이를 통해 지자기 유도 전류가 발생된다.

[그림 1-1]은 유도전류의 발생원리을 알려주는 것으로 우주공간에서의 지자기 변화는 지상에서 유도전기장을 생성하며 이에 따라 전류를 유도한다. 그림의 오른쪽은 실제 유도전류로 인해 변압기가 과열되어 피해가 발생한 사진이다.



[그림 1-1] 유도전류 발생 원리

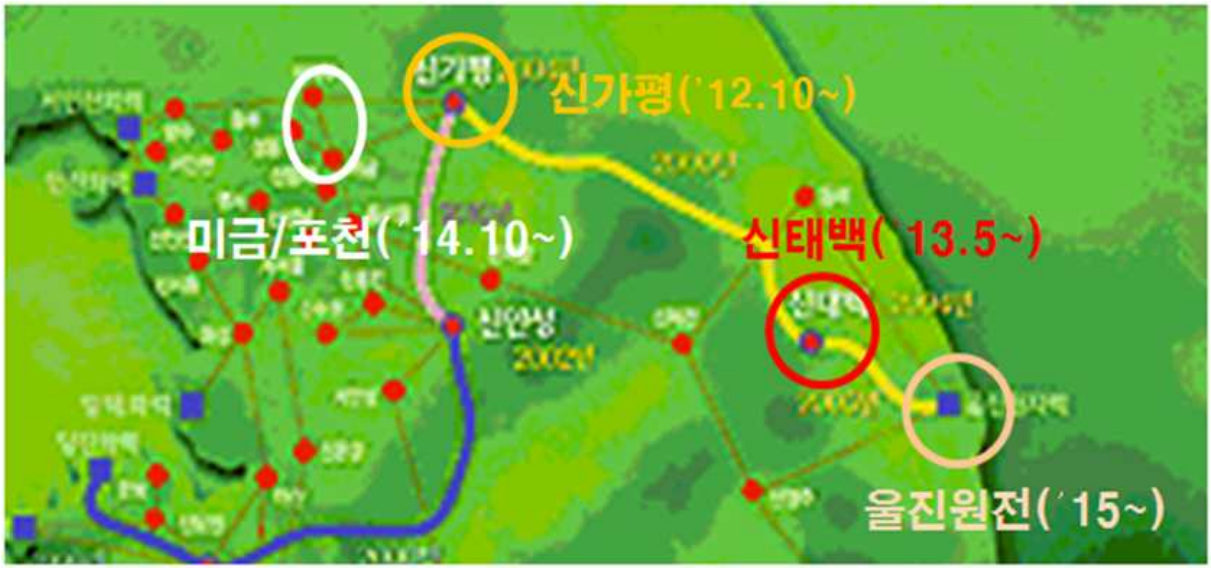
이러한 유도전류는 전력망의 변압기로 전류가 유입되고 변압기 권선 및 철심 온도를 상승시켜 변압기 냉각유의 온도를 상승하게 한다. 그 결과로 변압기가 과열되어 변압기에 심각한 피해를 초래 할 수 있다.

제2절 유도전류 측정시스템 운용 및 설치

1. 지자기 유도전류 관측 시스템 설치 운영

[그림 1-2]는 우주전파센터에서 국내 전력 송전설비에 설치한 유도전류 관측소를 나타내고 있다. 우주전파센터에서는 국내 최초로 2012년도 지자기 유도전류 측정을 위해서 신가평 변전소에 관측소를 10월에 설치하여 운영 중에 있고, 2013년 5월에 신태백과 2014년 10월에 신가평 변전소의 브릿지 변전소인 미금, 포천에 유도전류 관측소를 각각 추가 설치하여 지

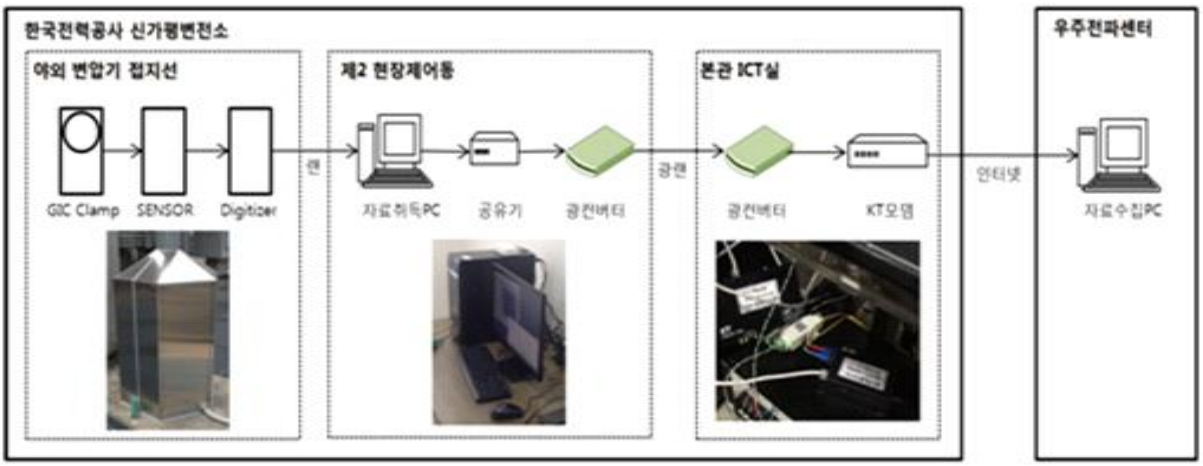
자기 유도전류를 관측하고 있다.



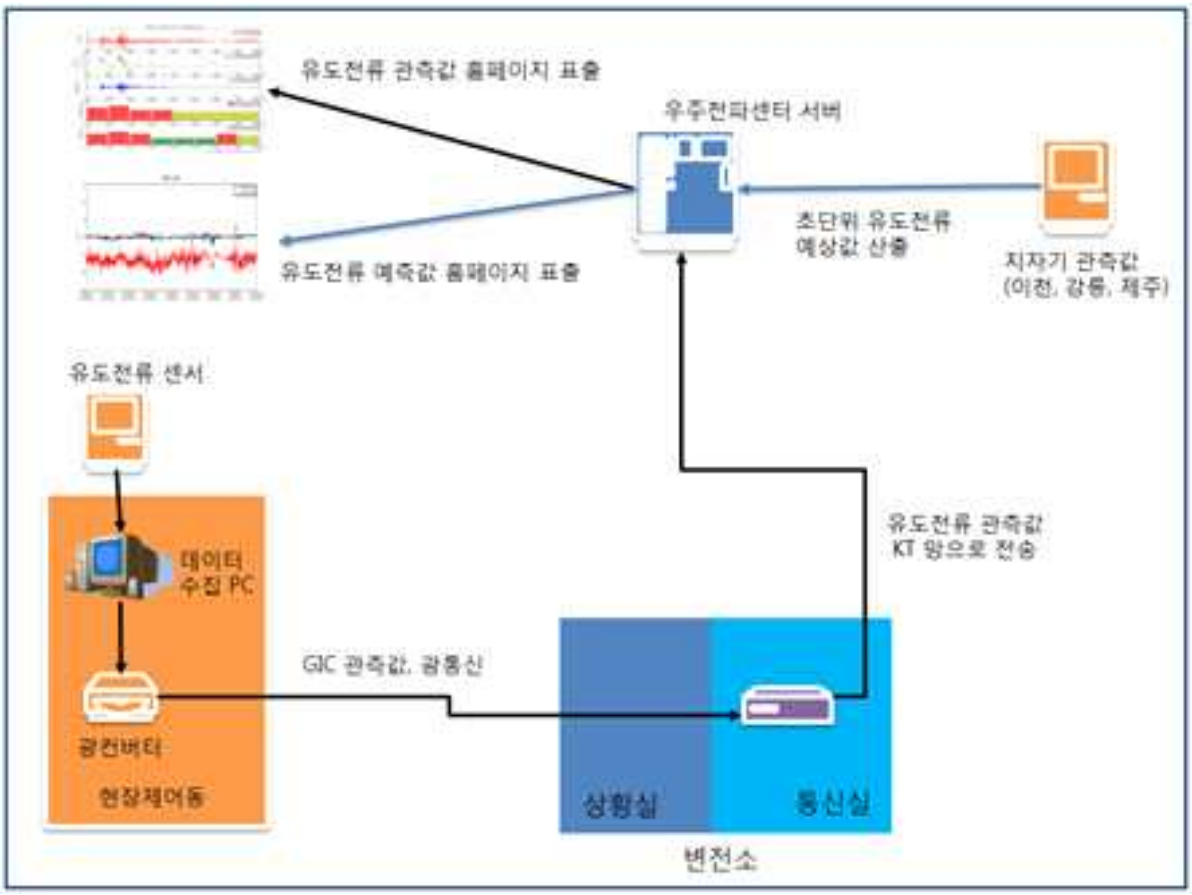
[그림 1-2] 유도전류 관측시스템 설치 현황

2. 지자기 유도전류 관측 시스템

우주전파센터에서 설치한 유도전류 관측시스템의 계통도는 [그림 1-3]과 같다. 변압기에 연결된 접지선에 Clamp형 전류센서를 연결하고 전류센서에서 전류량을 아날로그 형태로 실시간 측정하고 수집PC로 데이터를 전송하기 위해 A/D 변환기에서 디지털로 변환된 후 LAN을 이용하여 데이터를 수집한다. 관측된 데이터는 인터넷망을 이용하여 우주전파센터로 2분 간격으로 자동 전송되고, 전송된 데이터는 홈페이지 서버를 통해 10분 간격으로 실시간 관측된 데이터를 서비스하고 있다.



[그림 1-3] 유도전류 관측시스템 구성



[그림 1-4] 유도전류 관측시스템 구성도

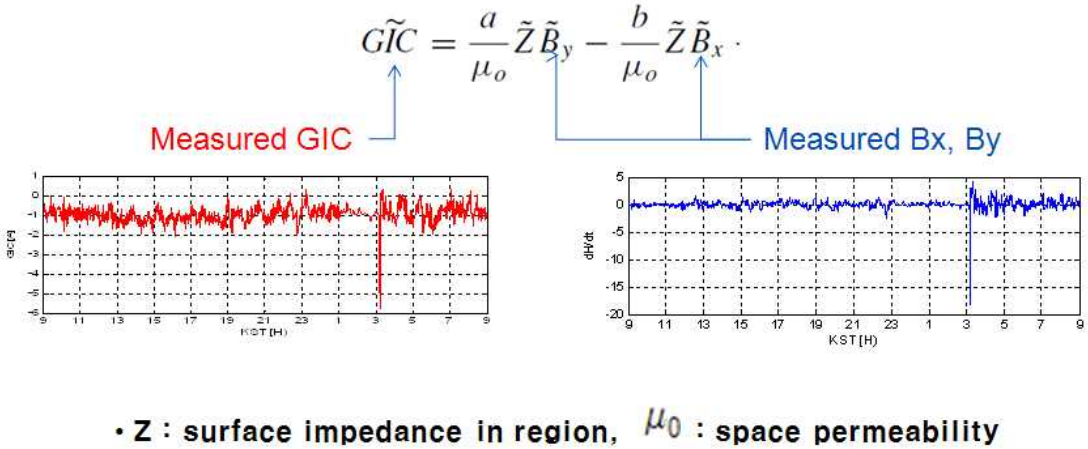
[그림 1-4]는 현재 우주전파센터에서 운영하고 있는 유도전류와 지자기 관측데이터 수집과 홈페이지 서비스에 대한 구성도를 나타낸다. 각 변전소

에서 유도전류 센서로부터 관측된 실시간 유도전류 데이터와 이천, 강릉 제주에서 관측되는 지자기 데이터는 외부 인터넷 망을 이용하여 제주에 있는 우주전파센터 유도전류 관련 서버로 모이게 된다. 이렇게 모인 관측데이터는 ‘13년에 개발된 데이터 처리 알고리즘으로 가공되어 관측값과 예측값이 홈페이지에 동시에 표출된다. 지자기 데이터는 예측값을 계산하는데 사용되고 또한 유도전류 센서에서 관측되는 유도전류 오류데이터를 확인할 수 있도록 해준다. 유도전류 예측값은 본 연구에서 산출한 초단위 유도전류 상관계수를 사용하여 실시간 표출되고 있다.

제2장 초단위 유도전류 상관계수 산출

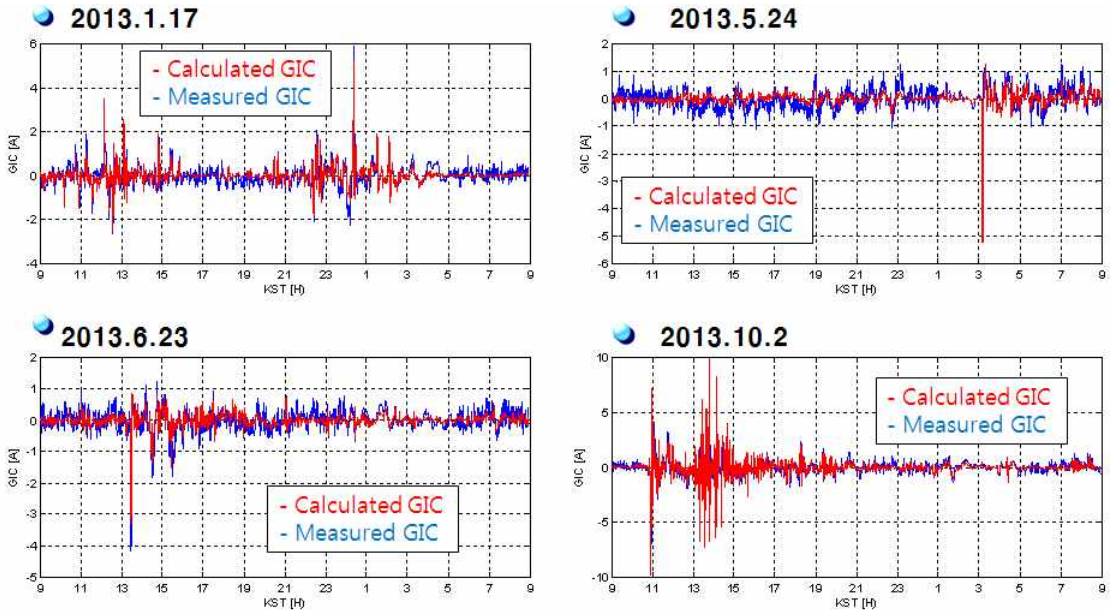
제1절 초단위 자자기 유도전류 일일 예상값 산출

유도전류 상관계수는 아래와 같은 지자기와 유도전류 관계식을 이용하여 상관계수(a, b)를 산출한다.



[그림 2-1] 지자기와 유도전류와의 관계

아래 그림은 이러한 관계식을 이용하여 2013년 신가평 변전소에서 관측된 데이터를 분석하여 분단위로 산출된 상관계수를 이용하여 유도전류 예상값을 도출한 것이다.

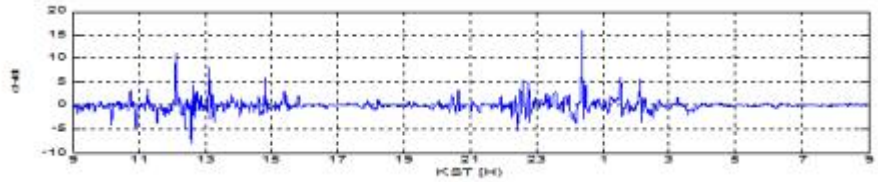
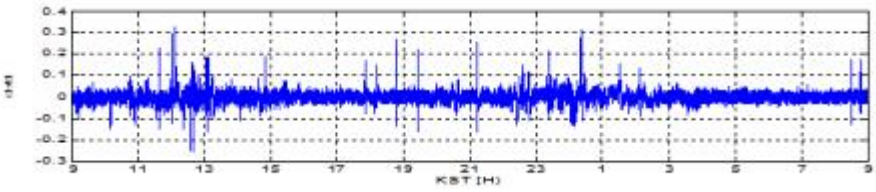


[그림 2-2] 유도전류 예상값과 관측값 비교

초단위 유도전류 상관계수를 산출하기 위해서는 분단위 유도전류 상관계수를 산출하는 것과 같이 초단위 지자기 데이터와 초단위 유도전류 데이터를 상호 비교해야 한다. 그러나 관측된 초단위 유도전류 데이터에는 다수의 임펄스 성분이 포함되어 초단위 관측데이터를 올바르게 분석하지 않으면 잘못된 유도전류 상관계수가 산출될 가능성이 높다.

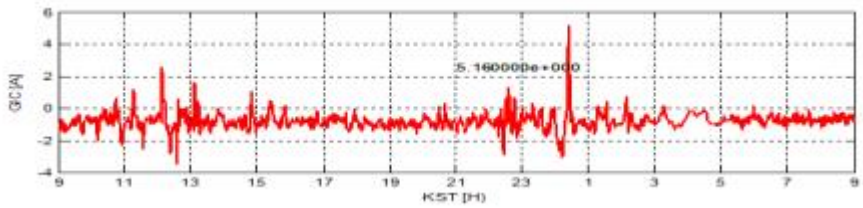
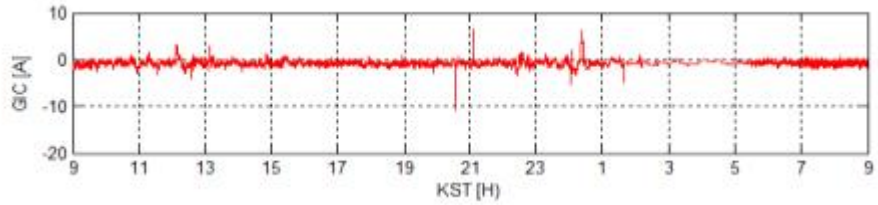
아래 표는 지자기 관측데이터의 초단위 미분값(dH/dt)에 관측 지자기 데이터를 미분하는 과정에서 수치상 임펄스 성분이 존재하는 것을 보여준다.

[표 2-1] 분평균 및 초단위 지자기 데이터

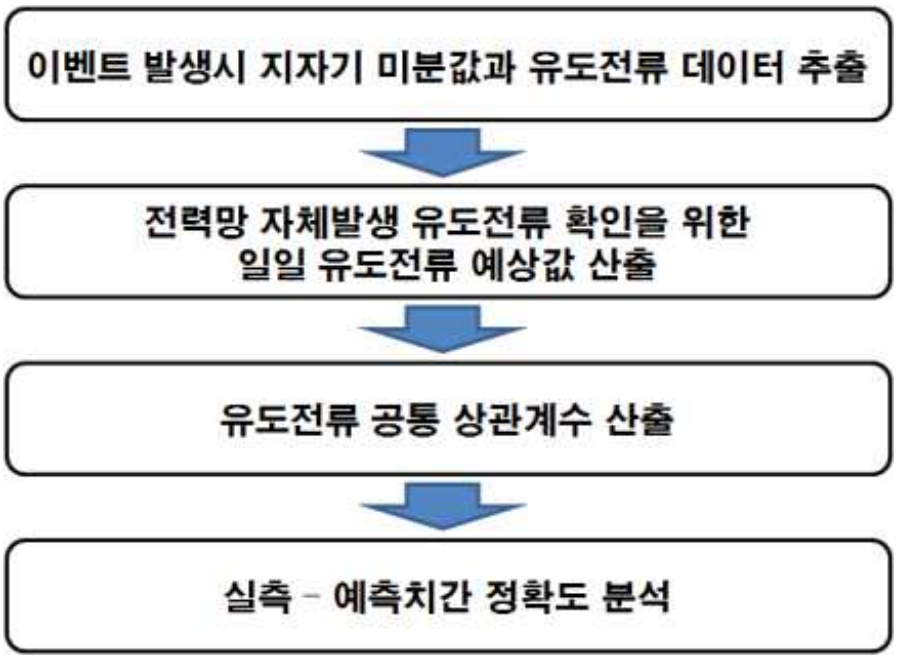
분평균	
초단위	

또한 유도전류는 아날로그 신호이나 디지털로 변환하는 과정에서 일부 임펄스 성분이 존재할 수 있으므로 이러한 오류값을 정확히 제거하는 방안이 필요하다.

[표 2-2] 분평균 및 초단위 유도전류 데이터

분평균	
초단위	

초단위 유도전류 상관계수를 산출하기 위해 아래 그림과 같은 순서로 상관계수를 산출하였다.



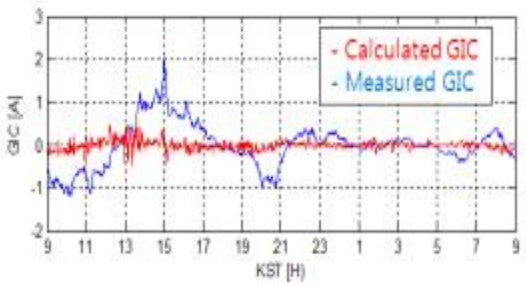
[그림 2-3] 초단위 유도전류 상관계수 산출 순서도

먼저 1단계로 지자기 이벤트 발생시 지자기 미분값과 유도전류 데이터를 추출한다. 2단계는 전력망에서 자체발생하는 유도전류를 확인하기 위해 일일 유도전류 예상값 산출한다. 그 다음 단계로 추출된 데이터를 이용하여 유도전류 공통 상관계수 산출한다. 마지막으로 공통 상관계수로 산출된 유도전류 예측치와 실제 측정된 관측치간의 정확도 분석을 수행하는 방식으로 상관계수를 산출하였다.

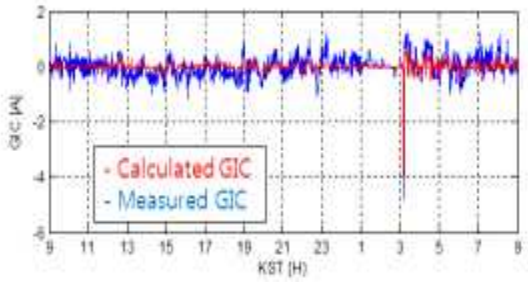
1. 초단위 전력망 유도전류 일일 예상값 산출 방법

2013년에 수행한 연구에서 분단위 전력망 유도전류 일일 예상 값 산출시 유도전류 실측치와 예상치간 데이터 매칭이 불가한 원인으로 지자기 변화와 무관한 유도전류가 발생되고 있음이 확인되었다. 이에 따라 전력망 초단위 유도전류 상관계수를 산출하기 위해 전력망 내부에서 발생된 이상 전류의 제외 처리가 필요하게 되었다. 따라서 전력망 내부에서 발생된 전류를 확인하기 위하여 지자기 데이터를 이용한 초단위 유도전류 일일 예상 값을 산출하였다.

[표 2-3] 초단위 유도전류 일일 예상값 산출



<나쁜 사례(패턴상이)>

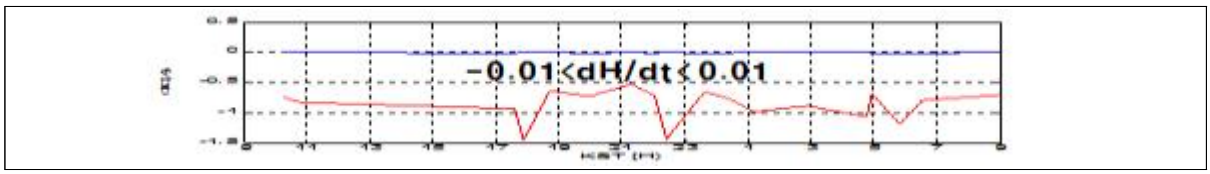


<좋은 사례>

[표 2-3]은 유도전류 일일 예상값과 실측값을 비교한 내용이다. 왼쪽 그림에서는 상관계수를 이용하여 계산한 유도전류 예상값과 실측값의 패턴이 일치하지 않는 날을 보여준다. 오른쪽 그림은 실측값과 예상값이 거의 일치하는 패턴을 보여주고 있다.

또한 [표 2-4]에서는 전력망 자체에서 발생된 유도전류가 지자기 교란이

없는 시점 (즉 dH/dT가 ㅣ0.01ㅣ이하인 시점)에 발생된 전류라고 가정한다면, 유도전류는 0 ~ -2A 범위에서 수시로 변하고 있음을 확인할 수 있다.

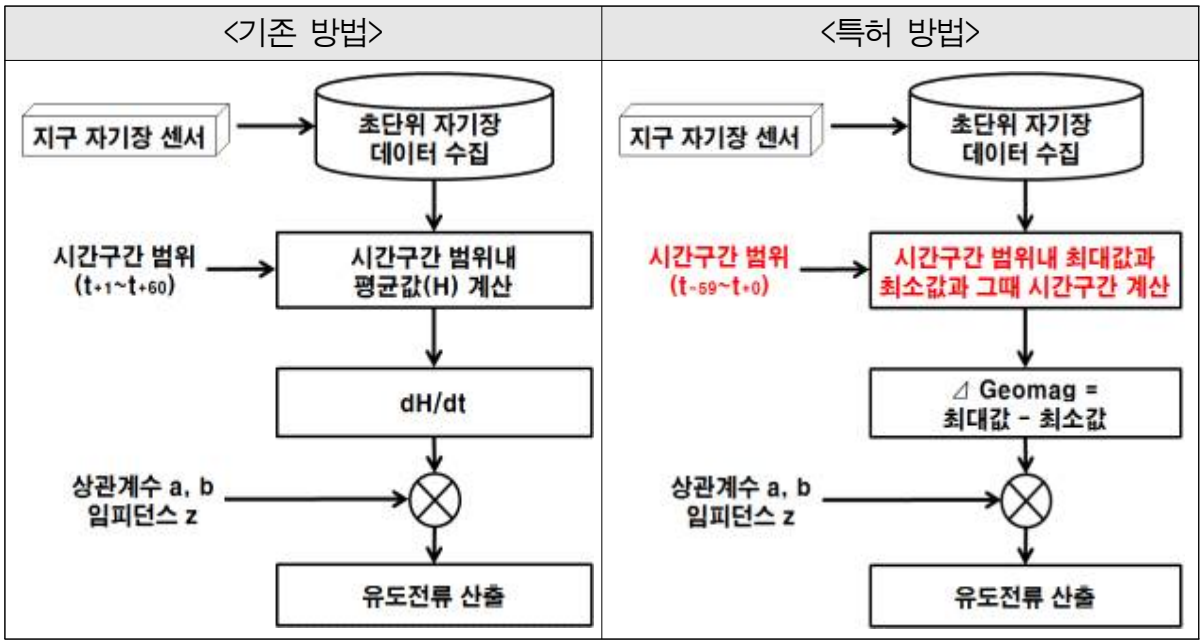


[표 2-4] 전력망 자체에서 발생된 전류

이에 대한 대책으로 데이터 매칭이 불가한 구간의 지자기와 유도전류 데이터를 제외하여 패턴이 상호 일치하는 좋은 사례의 데이터를 모아 유도전류를 계산하였다.

유도전류 예상값 산출을 정확히 하기 위해 새로 고안된 초단위 유도전류 산출방법은 '13년 특허로 등록되었으며, 이 방법은 기존 방법의 미분값 산출단계를 대신하여 1분 동안의 시간구간의 기울기로 자기장 변화값을 산출하도록 하였다.

[표 2-5] 유도전류 산출 방법 비교



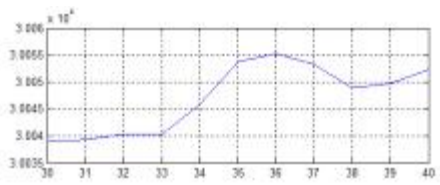
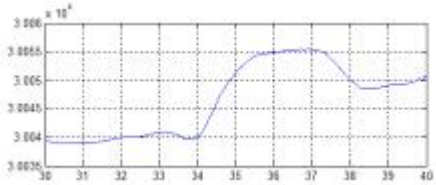
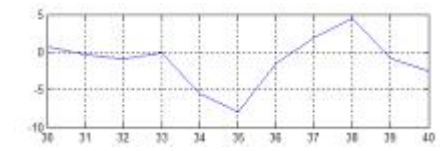
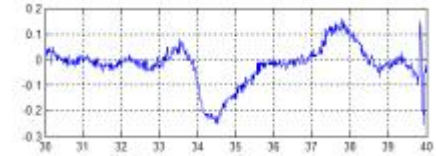
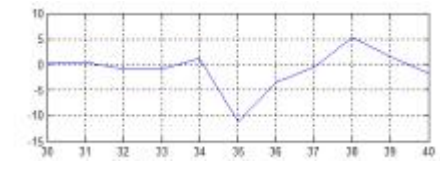
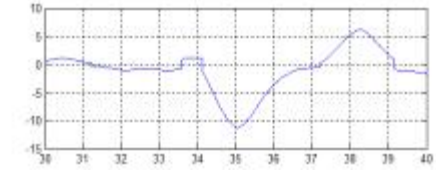
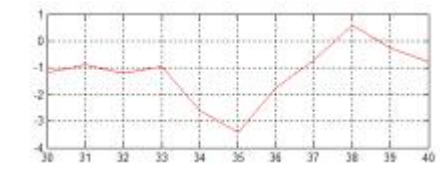
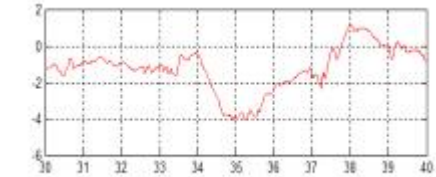
기존 산출 방법은 초단위 자기장 데이터를 1분 동안 평균하고 1분에 1개

의 데이터를 미분하여 미분값을 추출하는 방법이지만 신규 방법은 초단위 자기장 데이터를 지난 1분 동안의 시간구간 범위내에서 최대값과 최소값, 그리고 그때의 시간구간의 기울기를 이용하여 1분에 60개의 데이터를 추출한다. 기존 방법을 이용하여 초단위 자기장 관측 데이터를 1초 간격으로 미분할 경우, 초단위 데이터의 분석 한계가 있어 수치계산 과정에서 오류 값이 포함되게 된다. 우리 원이 특허받은 신규 방법은 미분식을 이용하지 않아 수치계산상 오류가 없으며 지자기의 변화량을 초단위로 산출이 가능하다. 다만, 처리해야 할 데이터량은 분단위보다 초단위가 60배 많게 된다.

2. 초단위 전력망 유도전류 일일 예상값 산출 결과

초단위 전력망 유도전류 일일 예상값 산출을 위해 2013.1.17. 03:30 ~ 03:40 UTC의 이벤트로 사례분석을 하였다.

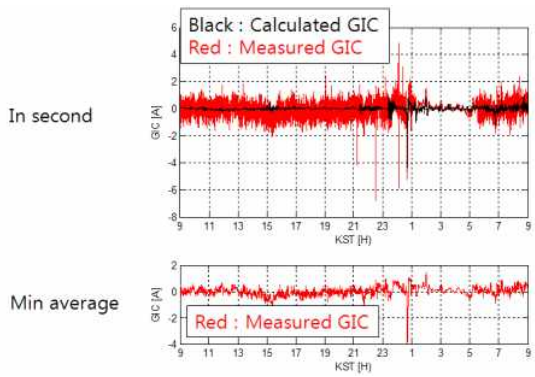
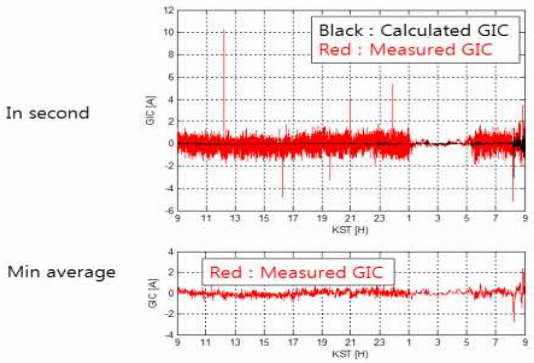
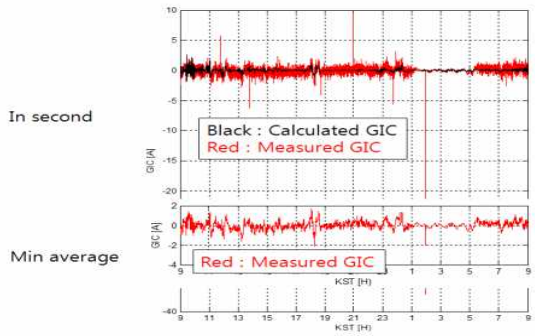
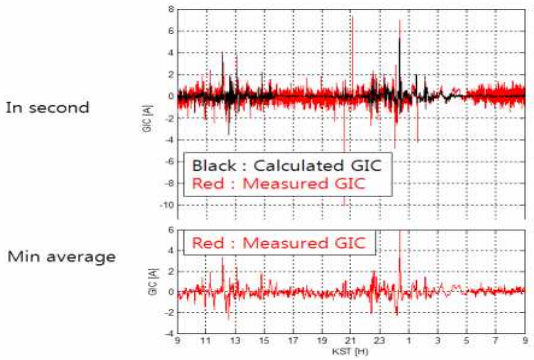
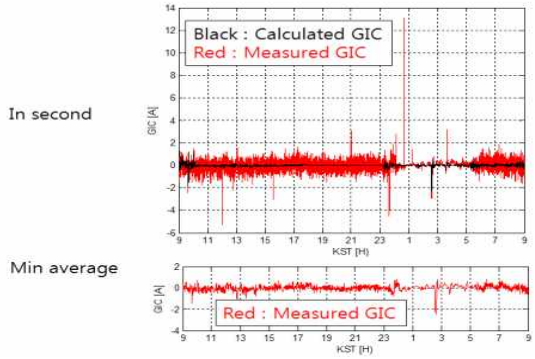
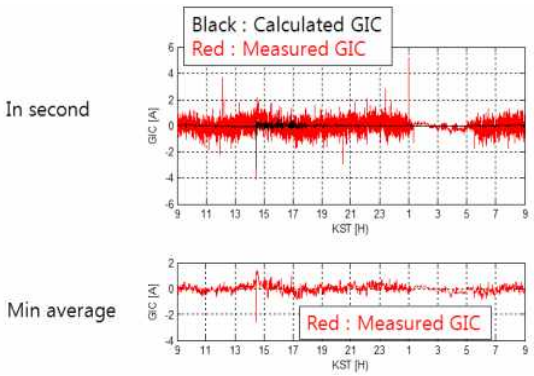
[표 2-6] 유도전류 산출 결과 비교

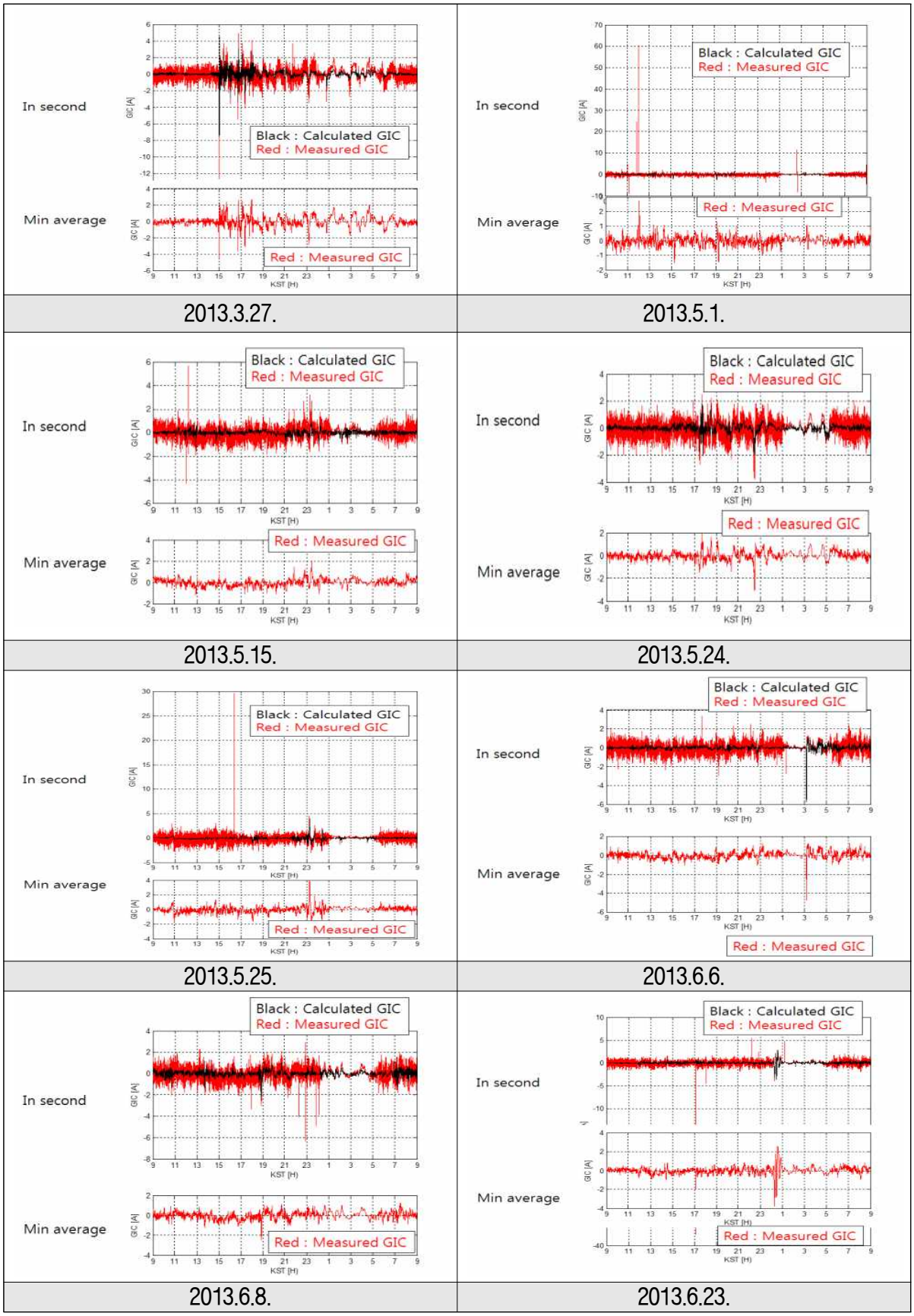
구분	분단위	초단위
지자기		
지자기 미분값		
신규 방법		
유도전류		

지자기 관측데이터의 미분값에서 초단위 데이터에 임펄스 성분이 포함되

고 있음을 확인할 수 있으며, 신규 방법으로 산출된 지자기 변화값 패턴이 초단위 유도전류 실측 패턴과 유사함을 확인할 수 있었다.

이를 기반으로 2012. 10월 ~ 2013. 10월까지 관측된 총 28일간 데이터가 추출되었고 아래와 같이 지자기 유도전류 일일 예상값을 산출하였다.

2012.10.31.	2012.11.12.
	
2012.11.13.	2013.1.17.
	
2013.1.19.	2013.3.15.
	
2013.3.17.	2013.3.18.



2013.3.27.

2013.5.1.

2013.5.15.

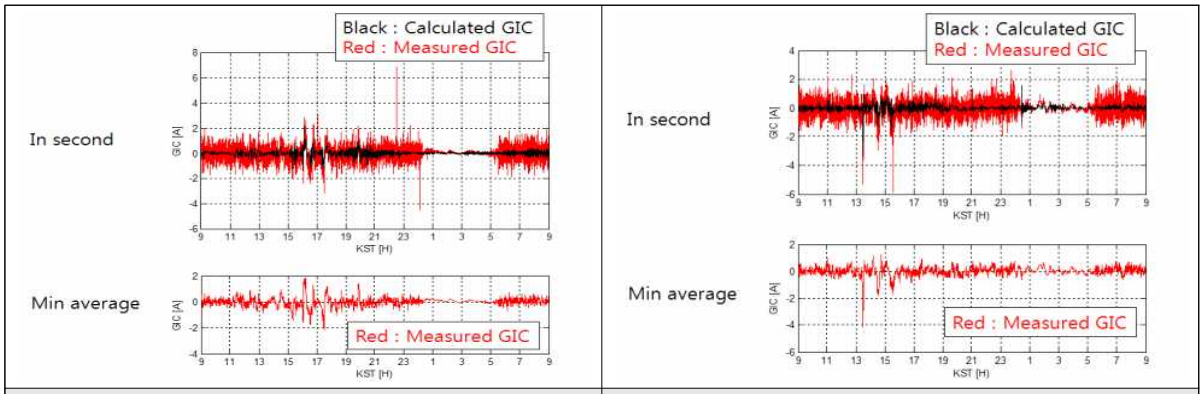
2013.5.24.

2013.5.25.

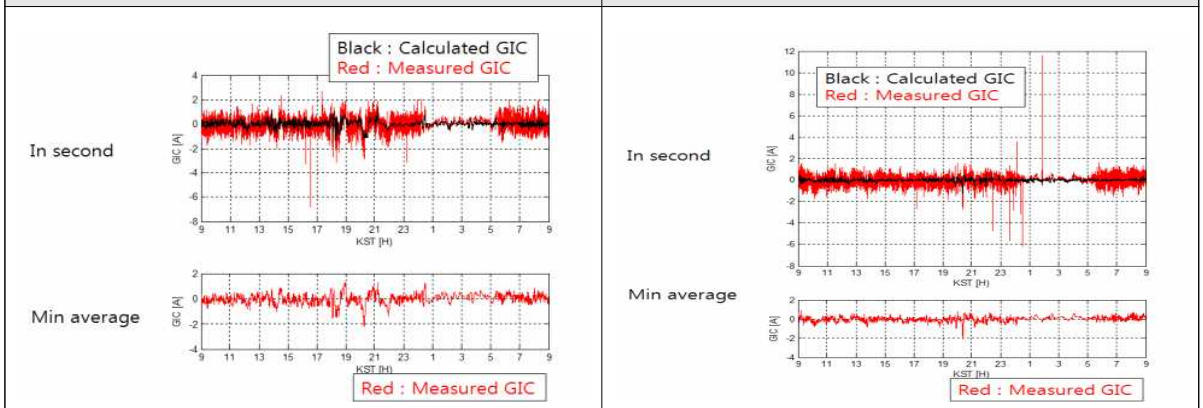
2013.6.6.

2013.6.8.

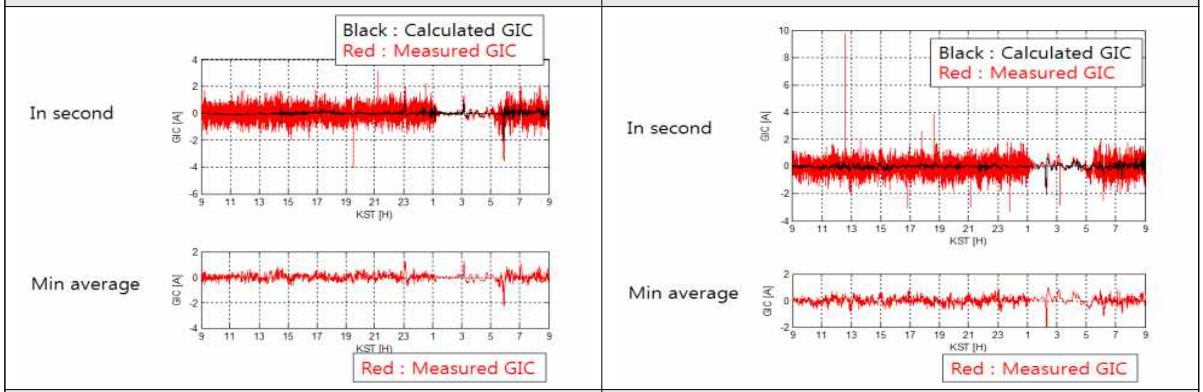
2013.6.23.



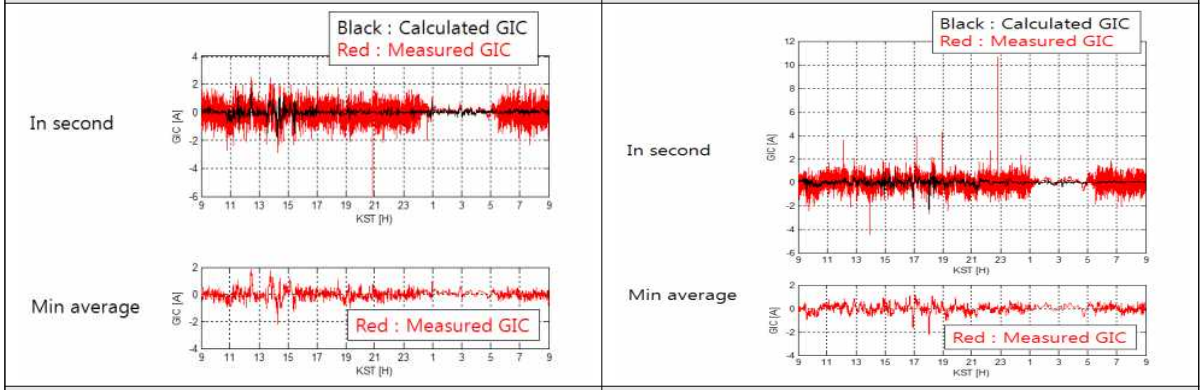
2013.6.29. 2013.6.30.



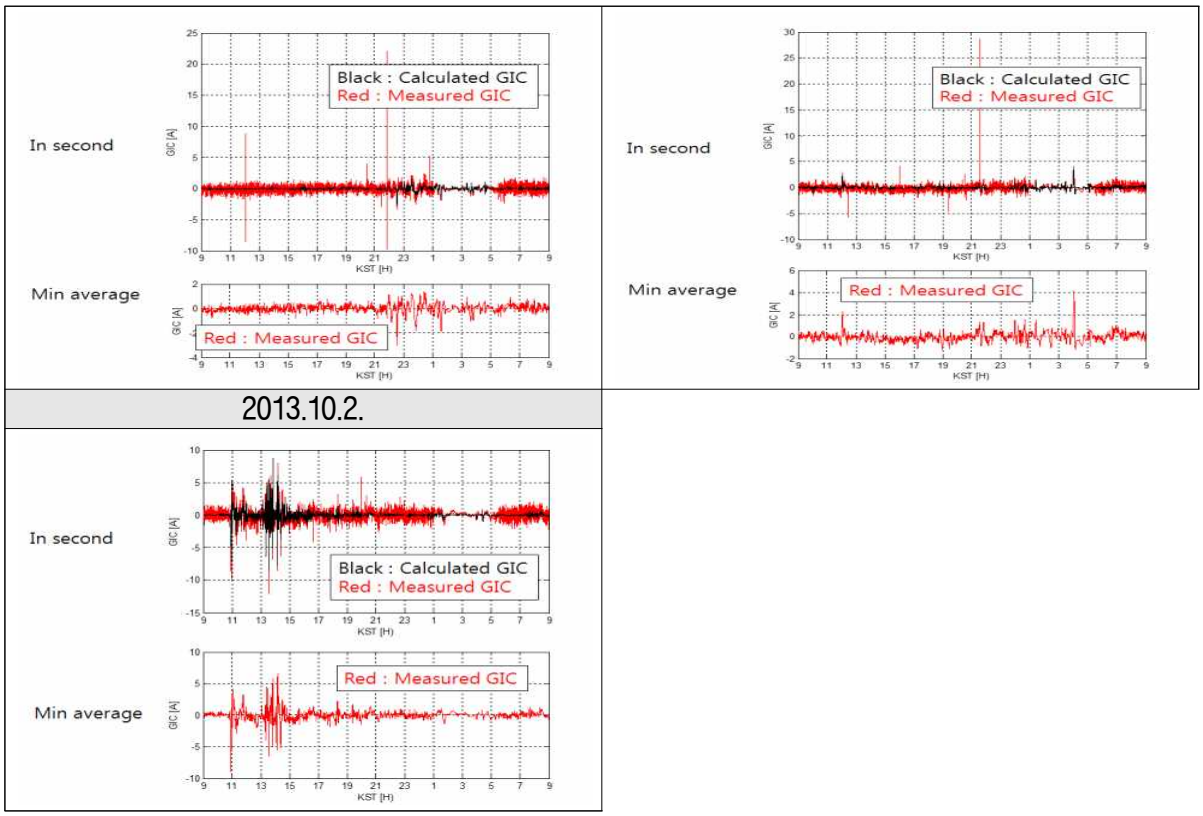
2013.7.9. 2013.7.12.



2013.7.13. 2013.7.15.



2013.7.18. 2013.8.21.



[표 2-7] 지자기 유도전류 일일 예상값 산출 결과

초단위 유도전류 실측 데이터에는 A/D 변환 과정에서 발생된 다수의 임펄스 성분이 포함되어 있으므로, 초단위가 아닌 분평균 유도전류 실측 데이터를 이용하여 유도전류 예상 초단위 데이터의 정확도 판단이 가능하다.

지자기 교란 이벤트라고 판단된 총 28일 중 3일 데이터(2013.5.16, 6.1, 6.27)에는 지자기 데이터에 동물의 출입으로 판단되는 임펄스 성분이 포함되어 있어 향후 상관계수 산출시 제외하는 것이 바람직한 것으로 분석되었다.

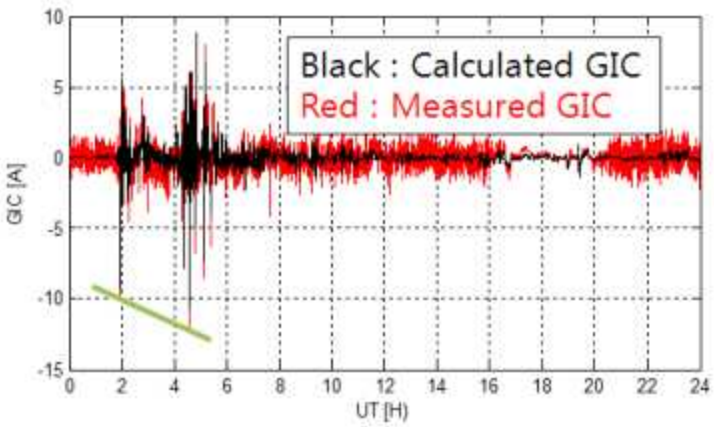
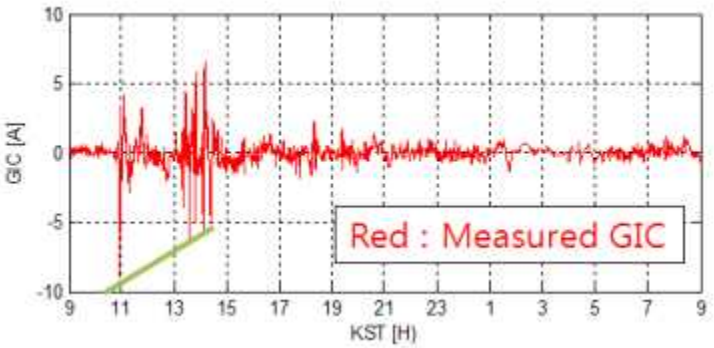
최종 24일 데이터의 일일 상관계수는 다음 표와 같고, 분단위 사례와 마찬가지로 상관계수가 특정한 값으로 수렴하지 않아 공통 상관계수 마련이 필요한 것으로 분석되었다.

[표 2-8] 초단위 유도전류 상관계수 산출 결과

일자	상관계수 a	상관계수 b	일자	상관계수 a	상관계수 b
20121031	2.38	-5.30	20130606	-0.14	-4.47
20121112	2.31	-3.11	20130608	-0.19	-4.16
20121113	0.71	-4.72	20130623	0.54	-4.26
20130117	3.44	-4.31	20130629	0.61	-3.99
20130119	0.28	-4.00	20130630	0.67	-4.47
20130315	0.76	-1.72	20130709	1.74	-4.82
20130317	-0.60	-2.50	20130712	0.52	-5.54
20130318	0.50	-4.15	20130713	-0.09	-5.06
20130327	-1.20	-4.55	20130715	-0.04	-4.95
20130501	-0.10	-4.89	20130718	0.23	-4.74
20130515	-0.62	-5.55	20130821	-0.73	-5.24
20130524	-0.72	-4.32	20131002	2.48	-7.25
20130525	-0.20	-4.59	-	-	-

초단위 유도전류 산출시 유도전류 초단위 실측치와 분단위 실측치의 패턴과 크기가 다소 상이한 문제(2013.10.2. 사례)가 발생하였다.

[표 2-9] 초단위와 분단위 유도전류 실측치의 패턴

초단위	
분단위	

초단위 유도전류 실측 데이터의 패턴과 크기가 분단위의 것과 다소 차이가 있더라도 초단위로 유도전류 예상값을 산출하기 위해서는 초단위 데이터를 기반으로 산출하는 것이 바람직하다고 판단된다. 하지만 유도전류 초단위 실측치의 데이터 수가 분단위의 데이터 수보다 60배 많아 다수 데이터 처리시 지연 문제가 발생하게 된다.

이렇게 자기장 데이터를 이용한 초단위 전력망 유도전류 일일 예상값을 산출하여 분단위 유도전류 실측값과 비교함으로써 지자기 교란과 무관한 유도전류 발생 확인이 가능하게 되었다.

[표 2-10] 분단위와 초단위 데이터 처리 수

구분	분단위	초단위
분석대상 데이터	유도전류, Bx, By	유도전류, Bx, By
1일 데이터 수	1,440개	86,400개
28일간 데이터 수	40,320개	2,419,200개

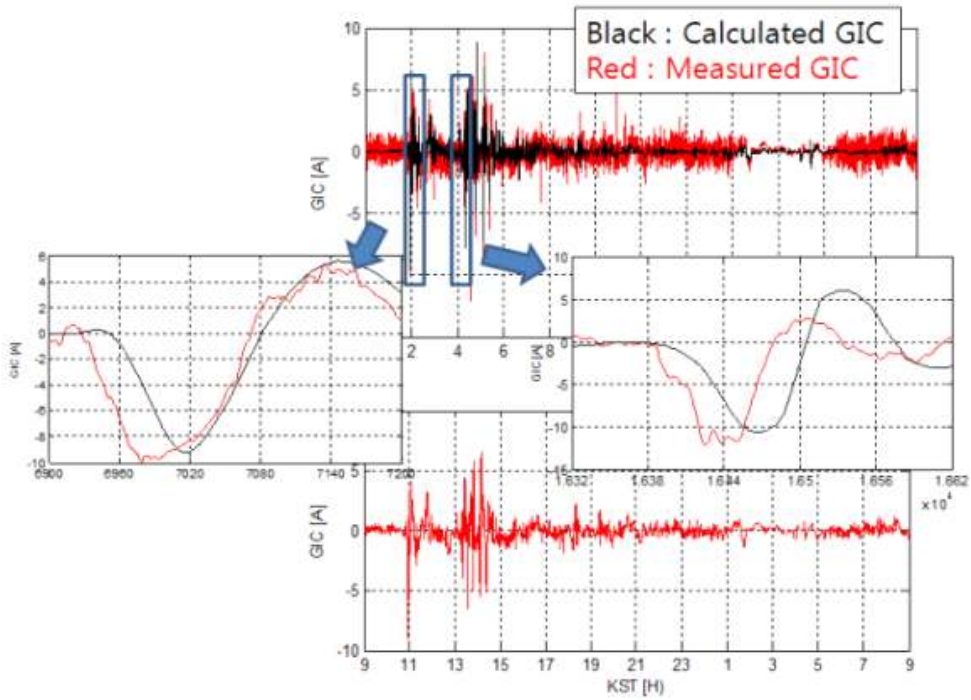
그러나 초단위 전력망 유도전류 상관계수 산출 시 필요한 데이터의 급증으로 인한 처리 지연 문제를 해결하기 위해 지자기 교란 구간의 데이터만을 추출하는 방안 마련이 필요하게 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 지자기 유도전류 공통 상관계수 산출의 기본 순서도에 '유도전류 이벤트 구간에서의 데이터 추출'을 추가하여 분석 대상 데이터 수를 줄여 좀더 빠르게 유도전류 데이터를 산출할 수 있도록 하였다.

제2절 지자기교란 데이터 추출 방안

초단위 유도전류 상관계수를 산출하기 위해 초단위 지자기 및 유도전류 데이터가 필요하지만 대량의 데이터로 인해 상관계수 산출이 불가하여 대량의 데이터에서 지자기 교란시의 데이터만을 추출하는 방안을 마련하여 초단위 상관계수를 산출하였다.

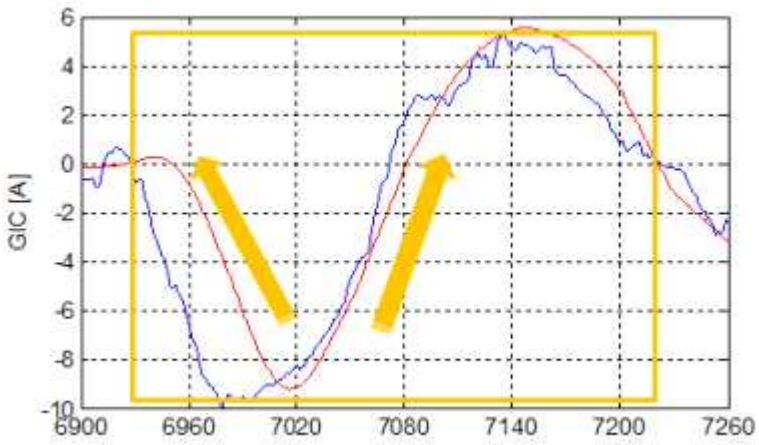
1. 기본 개념도

지자기 교란시의 지자기 데이터를 추출하기 위해 유도전류 실측 초데이터가 아닌 예상 초데이터를 이용하여 데이터 추출 구간을 선정하였다. 그 이유는 실측 초데이터에는 임펄스성 잡음이 포함되고 전력망 내부 전류성분도 일부 포함되어 있어 일정한 추출 구간 선정이 불가하기 때문이다.



[그림 2-4] 지자기 교란 데이터 추출

유도전류 예상 초단위 데이터의 피크를 기준으로 좌우로 이동한 후 0A가 되고 실측 초단위 데이터도 0A가 되는 지점을 지자기 교란 데이터 추출 구간으로 선정하였다.

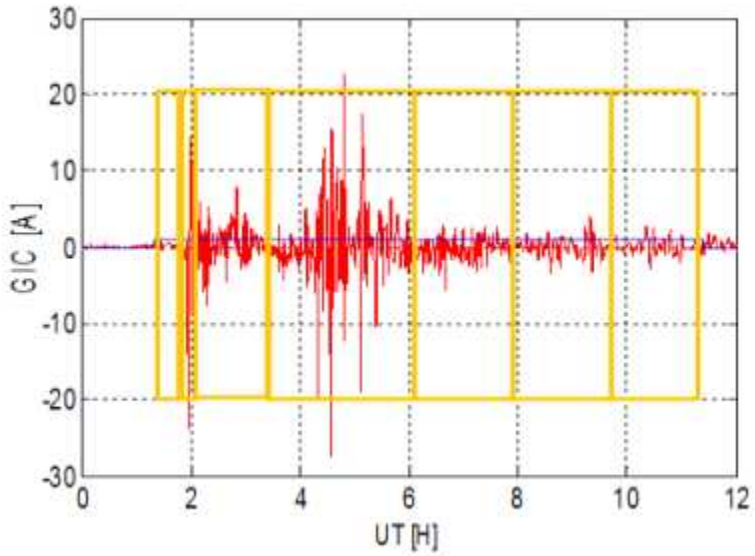


[그림 2-5] 지자기 교란 데이터 추출 구간 선정 방법

또한 지자기 교란이 여러 차례가 발생될 수 있으므로 데이터 추출 구간이 인접할 경우는 하나의 구간으로 선정하는 것이 바람직한 것으로 분석되

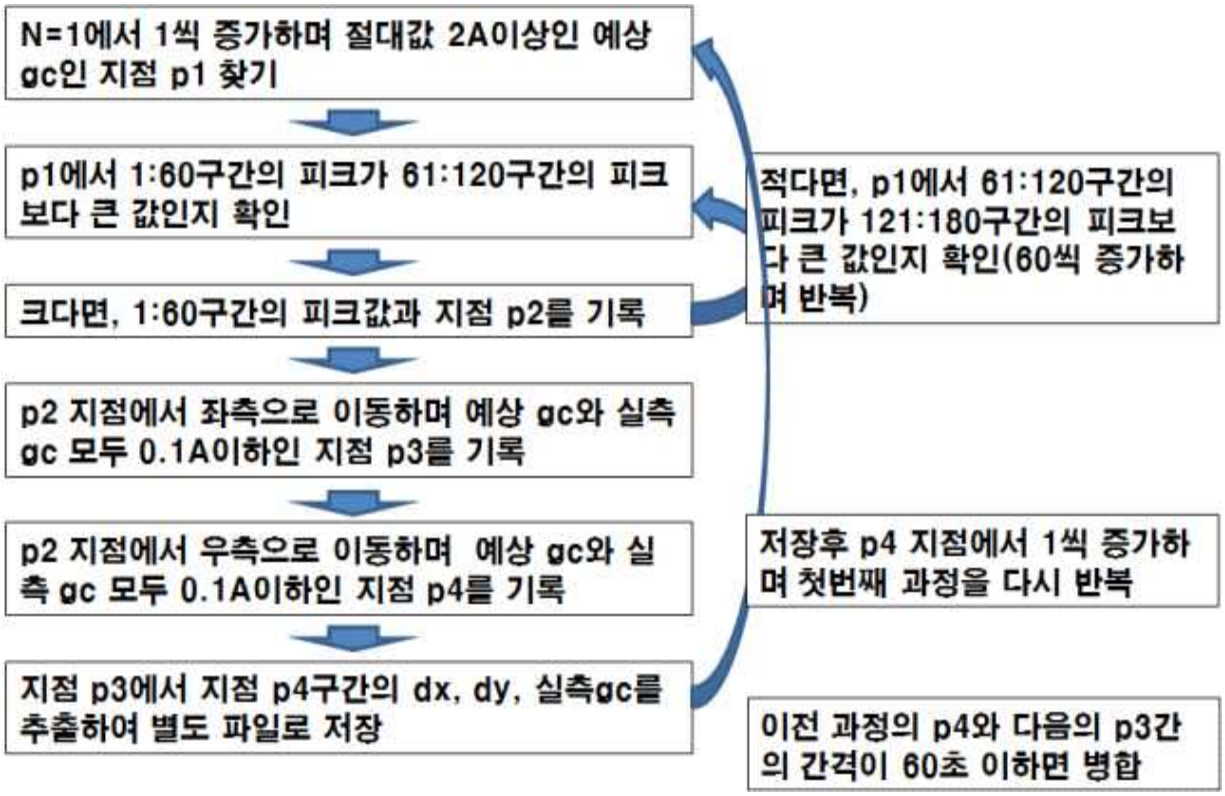
었다.

즉, 이전 추출 구간에서 0A로 종료되는 시점과 다음 추출 구간에서 0A로 시작되는 시점이 60초이내인 조건으로 설정하였다.



[그림 2-6] 지자기 교란 데이터 추출 구간 선정 결과

2. 지자기 데이터 추출 순서도



[그림 2-7] 지자기 교란 추출 순서도

① N=1에서 1씩 증가하며 절대값 2A이상인 예상 전류 지점 p1 찾기
- p1에서 1:60구간의 피크가 61:120구간의 피크보다 큰 값인지 확인 → 크다면, 1:60구간의 피크값과 지점 p2를 기록
  → 적다면, P1에서 61:120구간의 피크가 121:180구간의 피크보다 큰 값인지 확인(60씩 증가하며 반복)하여 큰 값이 되도록 p2 찾기
- 유도전류가 최대인 날의 상관계수를 이용하되 예상 전류의 구별이 용이하도록 예상 전류는 약 2.5배 크게 산출

⇒ 첫 번째 지자기 교란 구간의 피크점 찾기

② p2 지점에서 좌측으로 이동하며 예상 전류와 실측 전류 모두 0.1A이하(0A인 값과 가장 가까운 값 선정)인 지점 p3를 기록

⇒ 첫 번째 지자기 교란 구간의 시작 지점 찾기

③ p2 지점에서 우측으로 이동하며 예상 전류와 실측 전류 모두 0.1A이하인 지점 p4를 기록

⇒ 첫 번째 지자기 교란 구간의 종료 지점 찾기

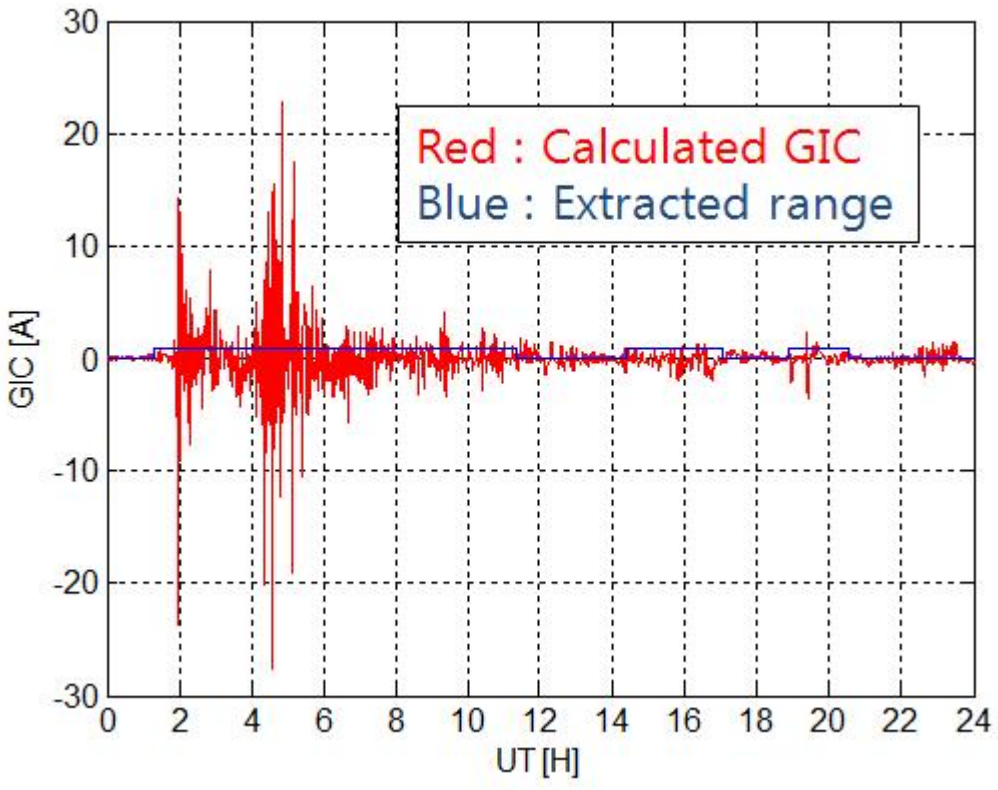
④ 지자기 교란 구간의 시작 지점 p3에서 종료 지점 p4까지의 실측 데이터인 dx, dy, 유도전류를 추출하여 별도 파일로 저장
⇒ 첫 번째 지자기 교란 구간의 데이터를 저장

⑤ 첫 번째 지자기 교란 구간의 종료 시점 p4에서 다시 1씩 증가하며 앞의 과정을 다시 반복
⇒ 2 ~ n번째 지자기 교란 구간을 찾기

⑥ 이전 구간의 종료 시점 p4와 그 다음 구간의 시작 시점 p3간의 간격이 60초 이하로 좁으면 하나의 데이터로 병합

3. 추출 결과 및 사례

지자기 교란 데이터 추출 순서대로 데이터를 추출한 결과 [그림 2-8]과 같이 지자기 교란이 발생된 지점을 기준으로 3차례 지자기 교란 이벤트 구간(01:30~11:30, 14:10~17:00, 18:50~20:10)이 추출되었다.



[그림 2-8] 지자기 교란 이벤트 구간 추출 결과

제3절 초단위 유도전류 상관계수 산출

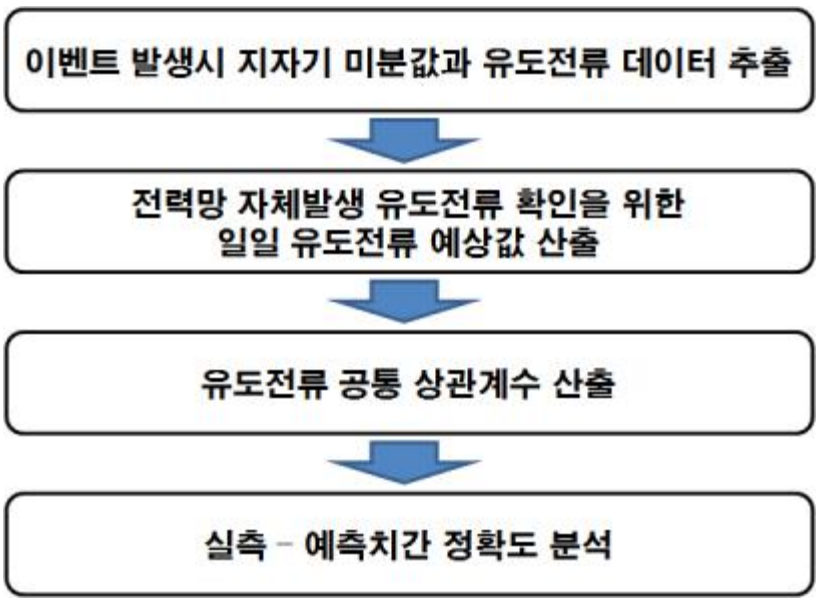
앞절에서 계산한 일일 유도전류 예상값과 지자기 교란 데이터 추출방안을 활용하여 '12. 10월 ~ '13. 10월까지 발생된 유도전류 이벤트 사례(총 28일)를 모아 우리나라 765kV 변압기에 적합한 공통의 지자기 유도전류 초단위 상관계수를 산출하였다.

1. 산출 방법

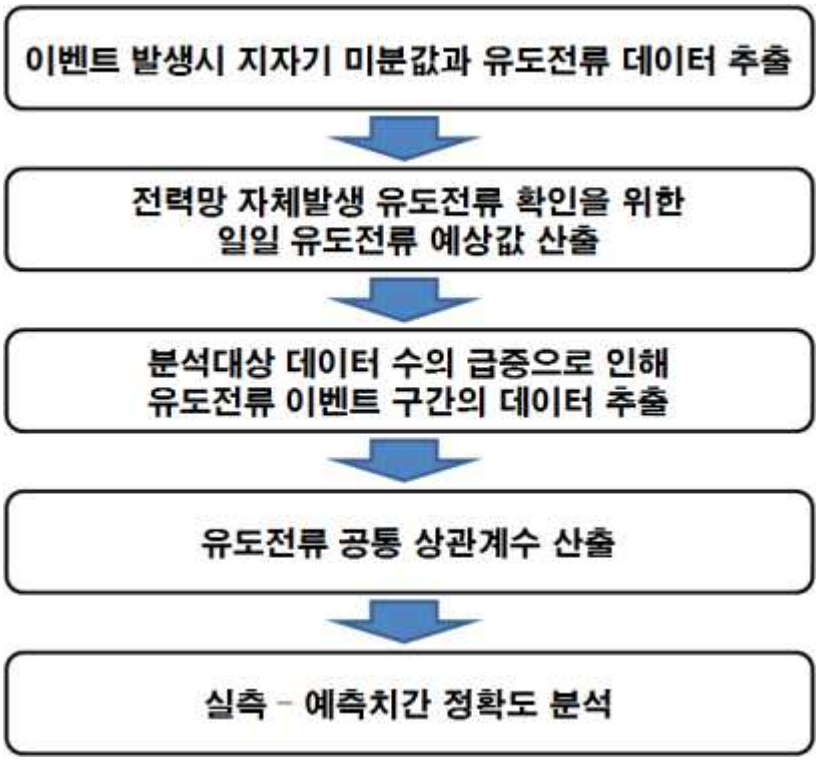
지자기 교란 분단위 데이터를 이용한 지자기 유도전류 공통 상관계수는 [그림 2-9]와 같은 순서로 계산하였으나, 지자기 교란 초단위 데이터를 이용하여 공통의 지자기 유도전류 상관계수를 산출하기 위해서는 데이터의 량이 많아 [그림 2-10]과 같은 순서로 재구성하여 산출하였다.

※ 분단위 데이터의 수 : 1일 1,440개 데이터 * 26일 = 37,440개

※ 초단위 데이터의 수 : 1일 86,400개 데이터 * 26일 = 2,246,400개



[그림 2-9] 분단위 분석을 위한 순서도



[그림 2-10] 초단위 분석을 위한 순서도

2. 임펄스 데이터 제거

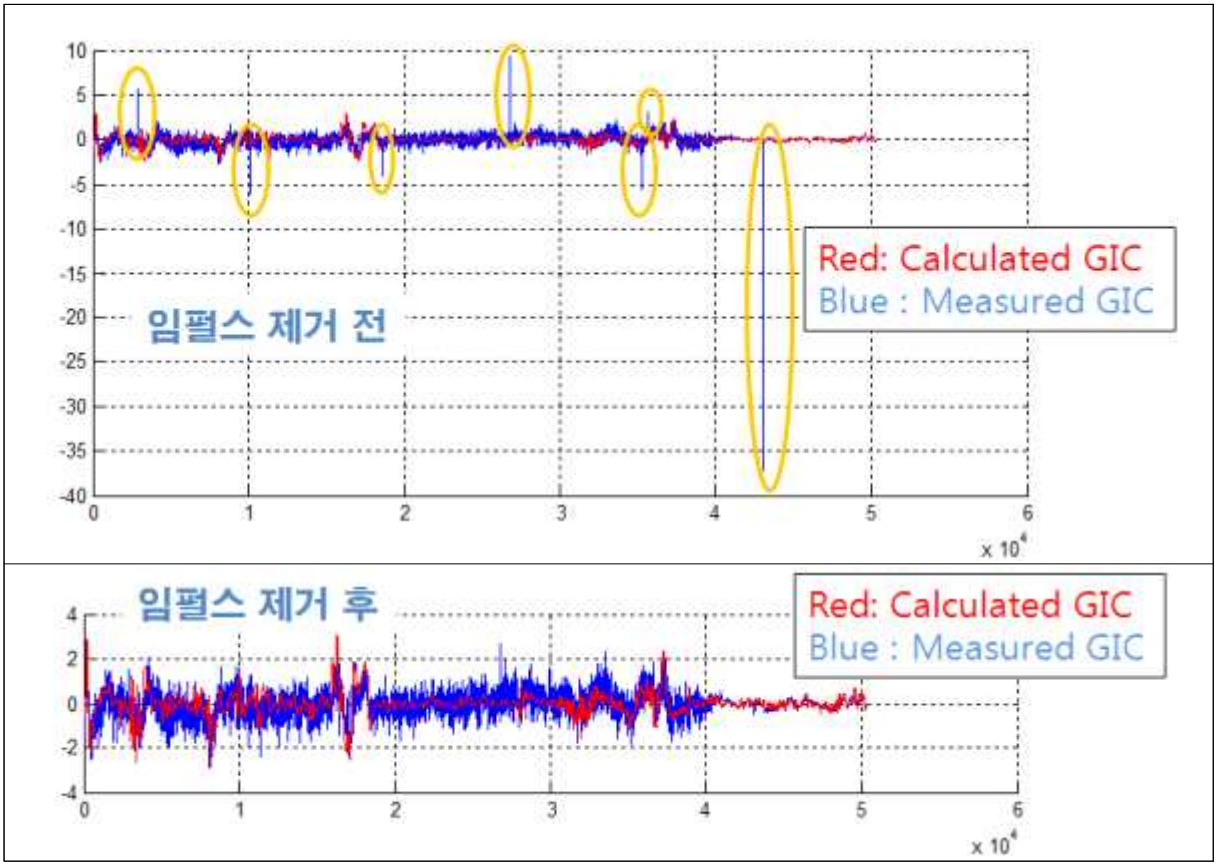
유도전류 이벤트 구간을 검색하여 지자기 교란 데이터를 추출하였으나 유도전류 관측데이터에 임펄스가 포함되어 있어 이를 제거하는 작업이 필요하게 되었다. 초단위 유도전류 관측 데이터에는 수집된 데이터의 A/D 변환 등으로 발생된 임펄스가 포함되어 있으며 통상적인 상승 및 하강 특성이 아닌 순간적인 임펄스 데이터가 존재할 수 있다.

[표 2-11] 유도전류 이벤트 일자에 임펄스 데이터 포함 여부

일시	초단위 유도전류 일일 최대치	임펄스 포함 여부	일시	초단위 유도전류 일일 최대치	임펄스 포함 여부
20121031	-6.79		20130606	-37	O
20121112	10.2		20130608	6.84	
20121113	-37	O	20130623	-5.88	O
20130117	-10	O	20130629	-6.81	

일시	초단위 유도전류 일일 최대치	임펄스 포함 여부	일시	초단위 유도전류 일일 최대치	임펄스 포함 여부
20130119	13.1	O	20130630	11.5	
20130315	5.05		20130709	-4.07	
20130317	-12.5		20130712	9.7	O
20130318	60		20130713	-5.94	
20130327	5.69		20130715	10	O
20130501	-3.76		20130718	22	
20130515	29		20130821	28	O
20130524	-5.29	O	20131002	-12.14	
20130525	-6.3		20131008	-6.9	

[표 2-11]에서 보는바와 같이 2013.5.16.일과 2013.6.27.일 지자기 관측 데이터에 임펄스 성분이 포함되어 있는 것으로 분석되었다. 이에 따라 2일의 데이터를 상관계수 산출 대상에서 제외하여 상관계수 산출대상이 총 28일에서 총 26일로 변경되었다.

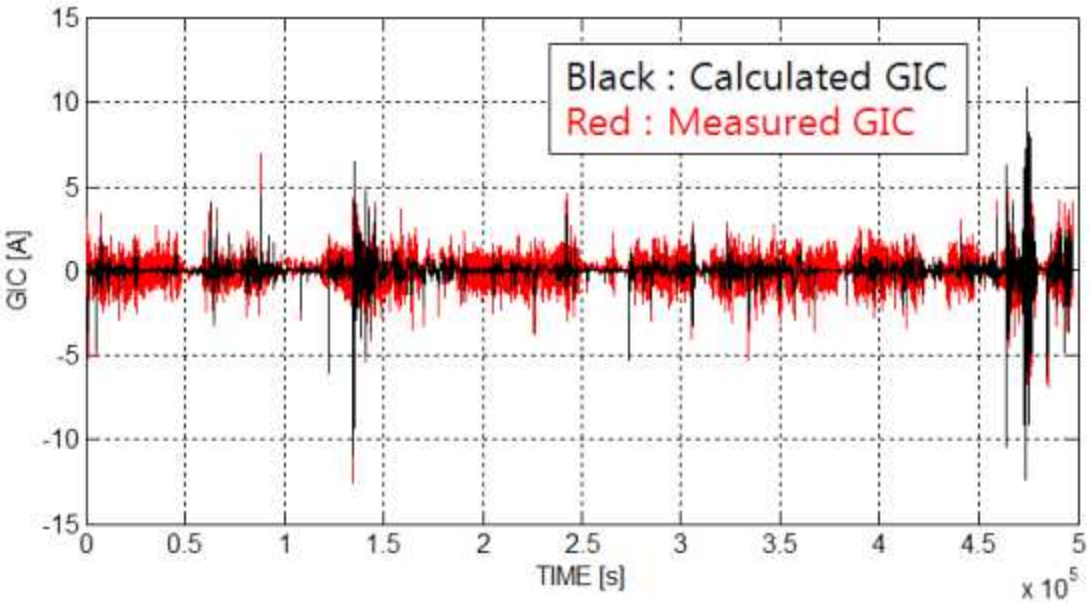


[표 2-12] 유도전류 관측 데이터에 임펄스 데이터 포함 사례(2012.11.13.)

3. 데이터 통합 후 지자기 유도전류 초단위 상관계수 산정결과

지자기 교란 통합 데이터를 이용한 지자기 유도전류 초단위 상관계수로 초단위 유도전류 예상치를 산출한 결과 초단위 유도전류 실측치와의 패턴이 일치되고 발생규모가 수렴하고 있음을 확인할 수 있었다.

이렇게 산출된 초단위 유도전류 상관계수는 변전소 현장에 설치한 상시모니터링 체계에 적용하였다. 즉 실시간 상시모니터링에 필요한 초단위 데이터를 산출하는데 활용하였다. 유도전류 예상값 이용시, 유도전류 실측 데이터의 수집 지연 현상 및 오류(임펄스) 정보 제거가 가능하게 되었다. 하지만 초단위 유도전류 실측치와 예측치간의 보다 정확도가 높은 유도전류 상관계수를 산출하기 위해 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.



[그림 2-11] 초단위 유도전류 예상값과 관측값 비교

제3장 유도전류 집중모니터링 방안 마련

태양흑점 폭발로 인해 방출된 태양풍 입자는 지구 자기권과 전리층에 커다란 변화를 초래하는 동시에 지구 자기장에도 큰 충격을 주는데, 이러한 급격한 지자기의 변화는 지상에 설치된 송전설비에 직류성분의 전류를 유도하여 초고압 변압기 손상 내지 전력망의 정전피해를 초래할 수 있다. 이러한 지자기 교란으로 인한 전력망 피해는 주로 자기적으로 고위도 국가인 캐나다, 미국 등에서 자주 일어났다. 2000년 이후 스웨덴에서는 '03년 10월 지자기 폭풍으로 인한 정전 피해가 20~50분 동안 발생하였다.

우리나라는 지자기 위도가 낮아 유도전류에 의한 피해는 보고된 바 없으나 우리나라와 같이 중위도 국가에 속하는 남아공에서는 '03년 지자기 폭풍으로 인한 유도전류에 의해 변압기 15기가 손상되는 피해를 입는 사건이 발생하였다. 이에 따라 우리나라도 지자기 유도전류 안전지대는 아닌 것으로 예상되고 지자기 유도전류로부터 발생할 수 있는 전력망 피해를 사전에 예방하고자 지자기 유도전류 집중모니터링 방안을 마련하였다.

지자기교란으로 인한 유도전류가 변압기에 미치는 영향 중 가장 위협적인 것으로 알려진 것은 변압기의 온도가 급격히 상승하는 것이다. 이에 따라 전력망 장애 판단에 필요한 변압기의 온도 상승 한계레벨 관련 규격 등을 조사하고 유도전류에 의한 변압기 온도 상승 사례 등을 조사하였다.

제1절 유도전류와 변압기 온도 상승

1. 변압기 온도 상승 한계레벨 관련 규격

변압기의 온도상승이란 변압기 각 부분의 측정온도와 기준 냉매 온도와의 차이를 말한다. 여기서 변압기 각 부분의 측정온도는 변압기의 등가 주위 온도를 말하며 변압기의 온도상승을 측정할 때의 기준이 되는 냉매 온

도를 기준 냉매 온도라 한다.

변압기의 온도상승은 여러 규격에서 규정하고 있으며 이의 한도 내에서 변압기가 운영되어야 함을 정하고 있다.

보통 온도상승의 한도는 변압기에서 사용하고 있는 절연물에 허용되는 최고온도에 의해 결정되는데 정격 용량에서 계속 운전하는 경우, 30년 정도의 수명을 기대할 수 있는 것을 전제로 하여 정하고 있다.

변압기 온도상승에 관한 한계레벨은 **JEC, IEC, ANSI** 등에서 규정하고 있는데 각 규격들은 변압기 형태와 절연물의 종류, 냉각 방식 등에 의해 온도 상승한도를 다르게 규정하고 있다.

아래 표는 각각의 규격에서 규정하고 있는 변압기 온도 상승 한도를 보여준다. 한전 변압기를 납품하고 있는 변압기 제조회사에서는 유입식 배전변압기는 JEC 규격을, 몰드 배전변압기는 IEC 규격을 적용하고 있다고 알려져 있다.

[표 3-1] 변압기 온도상승 한계레벨 관련 규격

구분	적용내용	절연구분	온도상승한도[deg]		
			JEC 2200	IEC 76	ANSI C 57.12
유입변압기	권선	Oil 자연순환	55	65	65
		Oil 강제순환	60	65	65
	절연유	외기 접촉	55	55	65
		외기 미접촉	50	55	65
몰드변압기	권선	A종 절연	55	60	-
		E종 절연	70	75	-
		B종 절연	75	80	80
		F종 절연	95	100	115
		H종 절연	120	125	‘150

[표 3-2] 절연물의 최고 허용 온도

구분	JEC 2200[℃]	ANSI C 57.12.80[℃]	IEC 85/BS 2757[℃]
A종 절연	105	105	105
E종 절연	120	-	120
B종 절연	130	150	130
F종 절연	155	185	155
H종 절연	180	220	180

한전 변압기는 유입 변압기로 탱크안에 주절연물인 Oil을 주입한 것으로 Oil은 A종 절연에 해당한다.

2. 한전 변압기 온도상승 허용 한도

한전 변압기는 유입변압기로 냉각방식에 따라 아래 표와 같이 온도상승 허용 한도를 규정하고 운영 중이다.

[ES 6120, 변전소 운영업무 기준서]

[표 3-3] 한전 변압기 온도상승 허용한도

구분	자연순환[deg]	강제순환[deg]
주위온도	40	40
권선 온도상승	55	65
절연유 온도상승	55	55

한전에서는 권선온도가 70℃이상 초과 예상시, 변압기 부하가 정격용량의 80% 이상 초과 예상시 보조 냉각장치 운영한다고 한다.

변압기 운전 시 발생하는 손실은 모두 열에너지로서 권선 및 철심의 표면에서 방사하여 변압기 온도를 높이고 절연물을 열화시켜 일반적인 변압

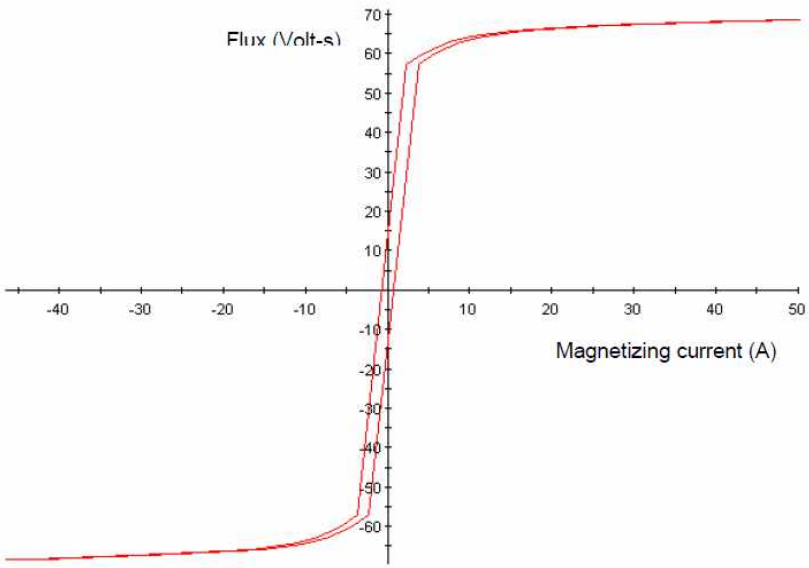
기 정규 기대 수명(30년)을 단축시키는 것으로 알려져 있다. 변압기 냉각 방식은 냉각매체(기름, 공기, 물) 및 순환방식(자연, 강제)의 조합에 따라 여러 가지가 있다.

한전에서는 주위온도와 변압기 상승온도가 95℃를 넘을 경우 절연물 및 절연유의 열화속도가 2배 이상 되므로 이 온도까지 변압기 온도가 상승되지 않도록 운전하고 있다.

3. 유도전류와 변압기 온도상승

지자기 폭풍에 의한 유도전류가 변압기에 미치는 영향중 가장 위협적인 것은 권선 등 변압기 각 부분들의 온도상승으로 알려져 있다.

변압기 코어의 flux-전류 특성은 [그림 3-1]과 같이 비선형적이다. 변압기는 일반적으로 정상 상태일 때 선형영역에서 동작하도록 설계된다.

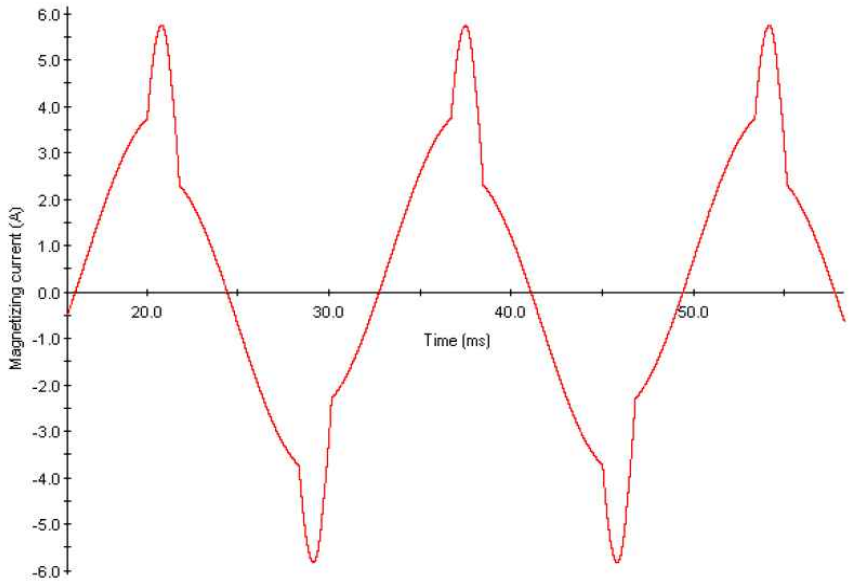


[그림 3-1] 변압기의 자화 특성

만약 변압기가 비선형 영역에서 동작하게 될 때 변압기의 최대 플럭스 밀도는 포화상태에 도달하게 되고 자화 전류는 더 이상 주기적인 사인파 형태가 되지 못하고 [그림 3-2]와 같이 비교적 큰 피크 전류가 나타나게 된다. 또한

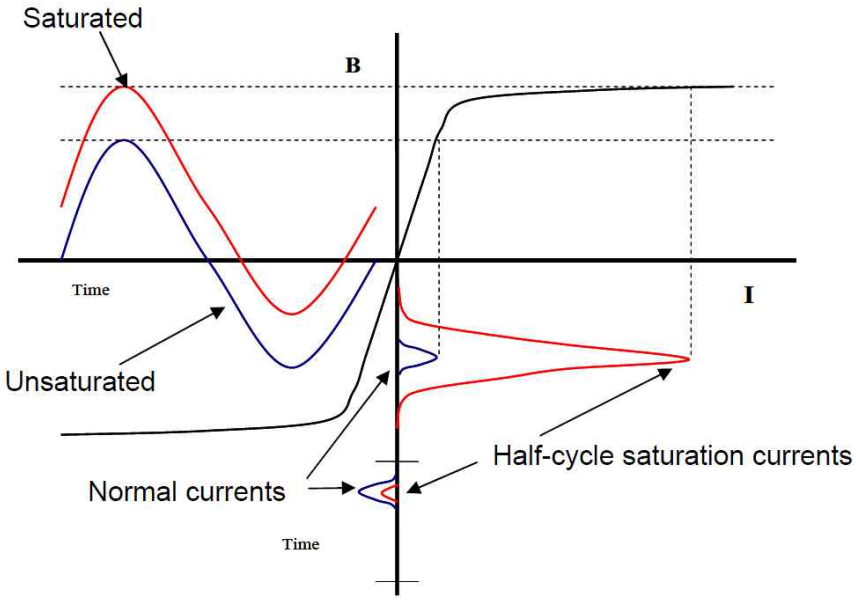
양과 음의 전류 피크에서 히스테리시스에 의한 전류 파형 왜곡 현상도 나타날 수 있다.

Hysteresis란 어떤 값이 주기적 또는 어떤 범위를 갖고 움직였을 때 출발지로 돌아오지 못하고 다른 값으로 멀어지는 현상. 자성체가 될 수 있는 금속체에 강한 자계를 걸고 나서 자계를 끊어도 자성력이 없던 초기 상태로 돌아가지 못하고 자성이 남아서 결국 자석이 되는 원리이다.



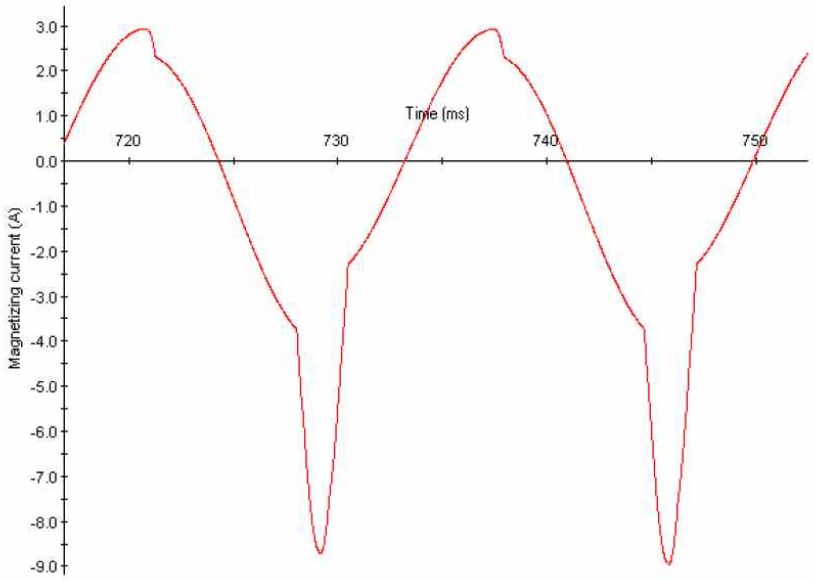
[그림 3-2] 변압기의 자화 전류(포화상태)

변압기가 정상상태에서 운용되고 있는 동안 변압기는 DC 전류에 강한 영향을 받게된다. 변압기의 DC 플럭스는 DC 전류의 크기에 따라 변동하고 DC 플럭스가 변압기의 AC 플럭스에 반주기 동안 더해지거나 빼져서 변압기의 동작점이 변동하게 되는 특성을 가진다. 이러한 현상을 half-cycle saturation 이라고 한다.



[그림 3-3] half-cycle saturation

이러한 현상으로 자화 전류가 더 이상 사인형태가 되지 못하고 또한 비대칭적인 형태를 갖게 되어 [그림 3-4]와 같이 비교적 큰 피크 전류가 발생하게 될 수도 있다.

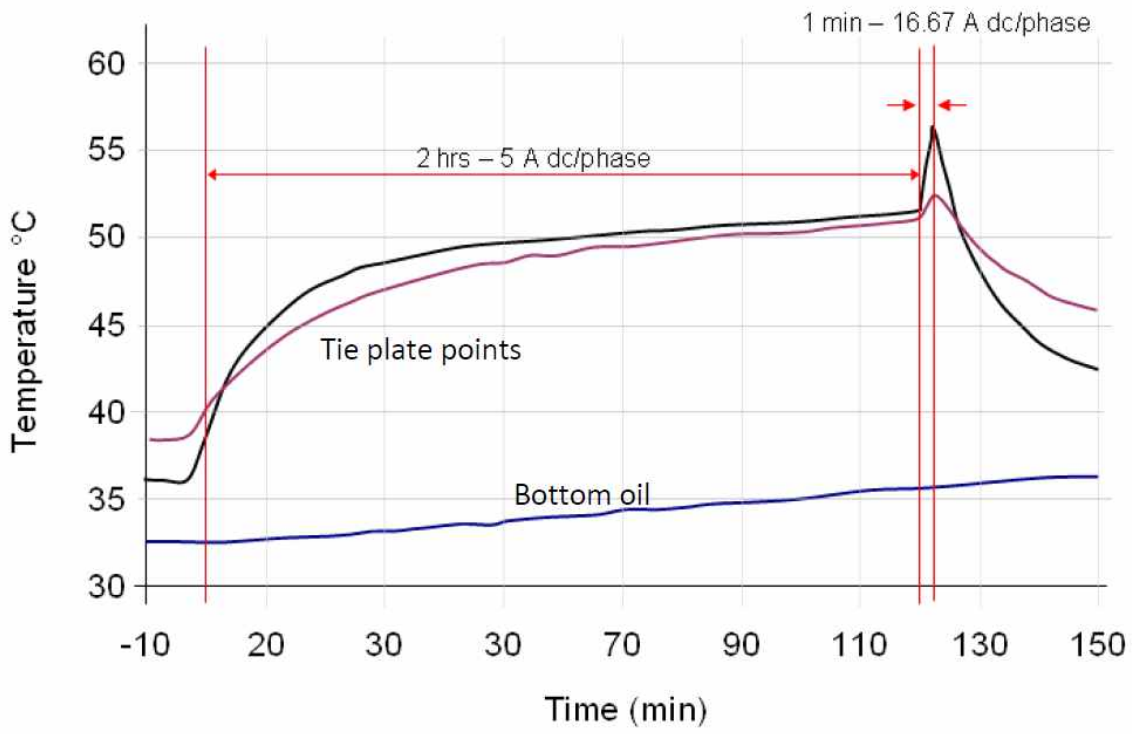


[그림 3-4] half-cycle saturation에 의한 자화전류

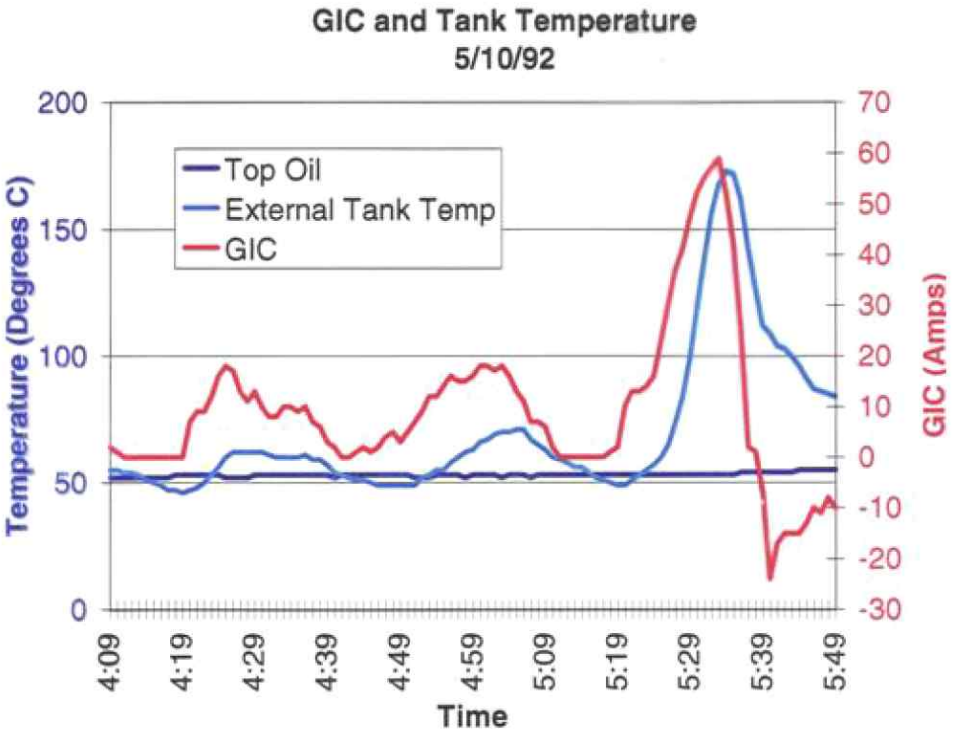
유도전류가 이러한 half-cycle saturation의 원인이 되었을 때 갑작스런 DC 플럭스가 변압기의 각 부분에 흐르게 되고 변압기 온도를 상승시키는 원인이 될 수 있다. 즉, 유도전류가 변압기의 수명을 단축시키는 역할을 할 수도 있고 고장의 원인이 될 수도 있다.

변압기의 구조를 알고 있다면 권선에 흐르는 유도전류에 따라 변압기 권선의 온도상승을 수학적으로 모델링 할 수 있고 특정 테스트를 수행함으로써 실제 유도전류와 변압기 온도상승과의 관계를 측정 할 수도 있다.

[그림 3-5]는 특정 상황에서 흐르는 전류와 온도와의 관계를 측정한 것이다. 2시간동안 5A의 전류를 흘리면 서서히 증가하던 탱크의 온도가 1분 간 16.67A를 흘려줬을 경우 탱크의 온도가 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다.



[그림 3-5] 400MVA, 550/16.5-kV bank 의 온도 특성 측정 결과



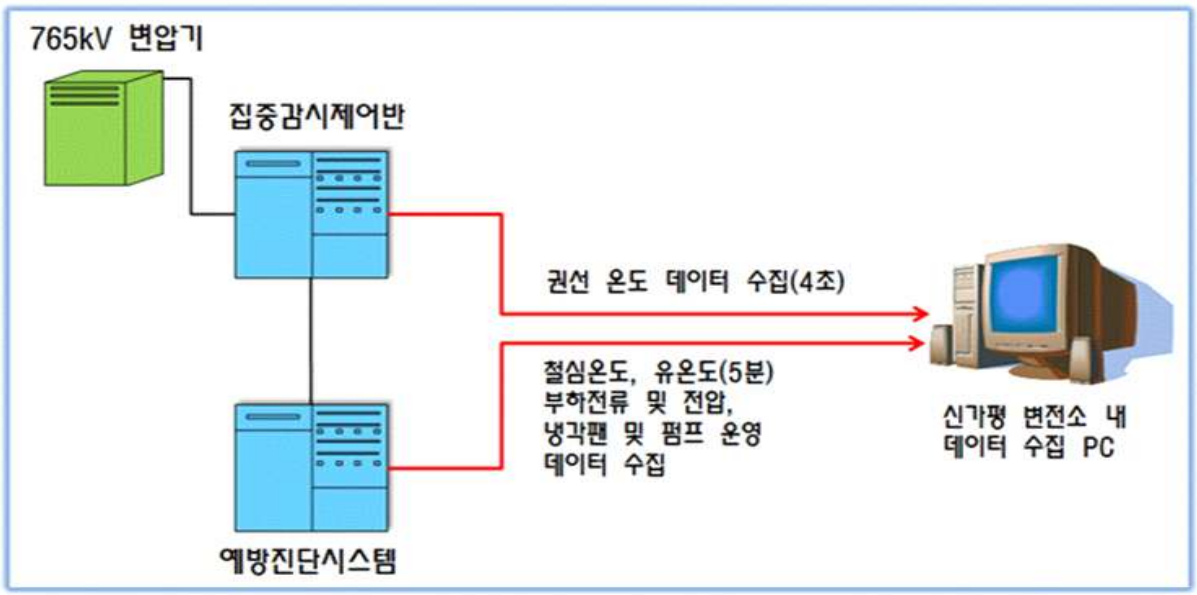
[그림 3-6] 유도전류와 탱크 온도

[그림 3-6]은 미국 앨러게니 파워 시스템사에서 1992년 10월 5일에 관측된 유도전류로 인한 온도상승 관측사례이다. 이 그림에서 보면 유도전류가 관측되고 몇분 뒤에 변압기 외부 탱크 온도가 유도전류의 경향과 같이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 지자기 폭풍 이벤트가 지속되는 동안 변압기의 중성점에 흐르는 유도전류는 대략 15분 동안 60[A]까지 발생했고, 탱크 외부의 온도도 지속적으로 상승했다. 이때 측정된 탱크의 최고 온도는 173℃였고, 유도전류의 최고값이 나타난 이후 약 1~2분 뒤에 나타났다. 이것은 유도전류가 크게 발생했을 때 변압기의 급작스런 온도상승으로 인해 변압기에 큰 위협이 될 수 있음을 시사하고 있다.

4. 변전소 변압기 온도수집장치 설치

이와 같이 GIC의 영향을 심각하게 받을 수 있는 북미 지역에서는 유도전류에 의한 변압기 영향에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 그러나 우리나라에서는 변압기 온도 영향에 대한 연구가 진행된 적이 없는 것으로

알려져 있다. 그래서 우주전파센터에서는 변압기 온도 정보를 수집하기 위해 [그림 3-7]과 같이 신가평 변전소에 온도 수집 장치를 설치하였다.



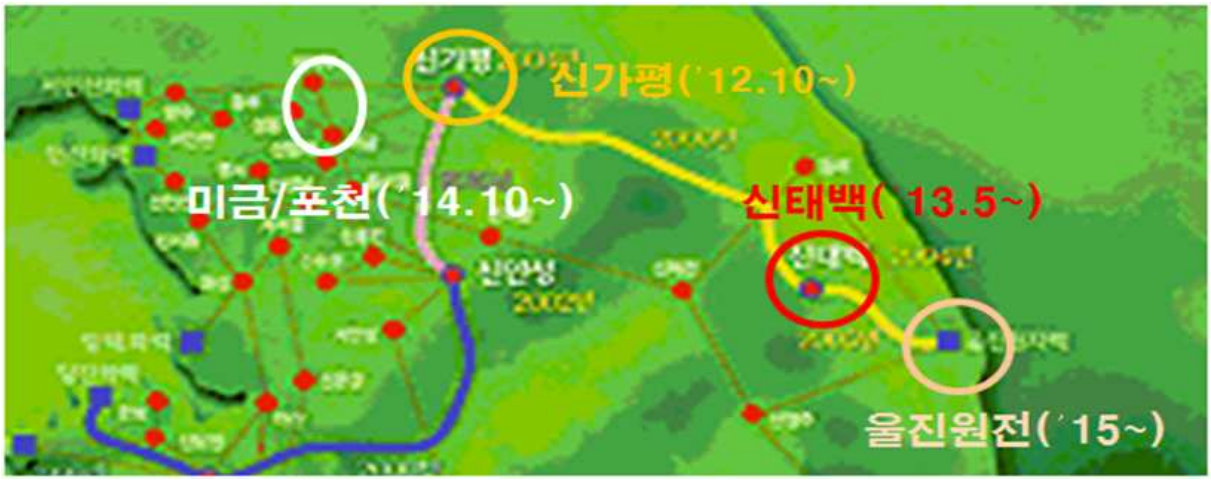
[그림 3-7] 변압기 온도수집장치 구성도

온도수집장치는 변전소 운영 시스템과 직접 연결해서 데이터를 수집하기 때문에 변전소 보안정책상 외부망과 연결할 수 없어서 오프라인으로 주기적으로 온도 데이터를 백업하는 형식으로 온도수집장치를 설치하였다.

온도수집장치는 변압기 권선온도, 철심온도, 오일온도, 부하전류와 전압 데이터 등을 수집한다.

제2절 지자기 유도전류 집중모니터링 방안

1. 국내 전력송전설비 계통 및 유도전류 관측소

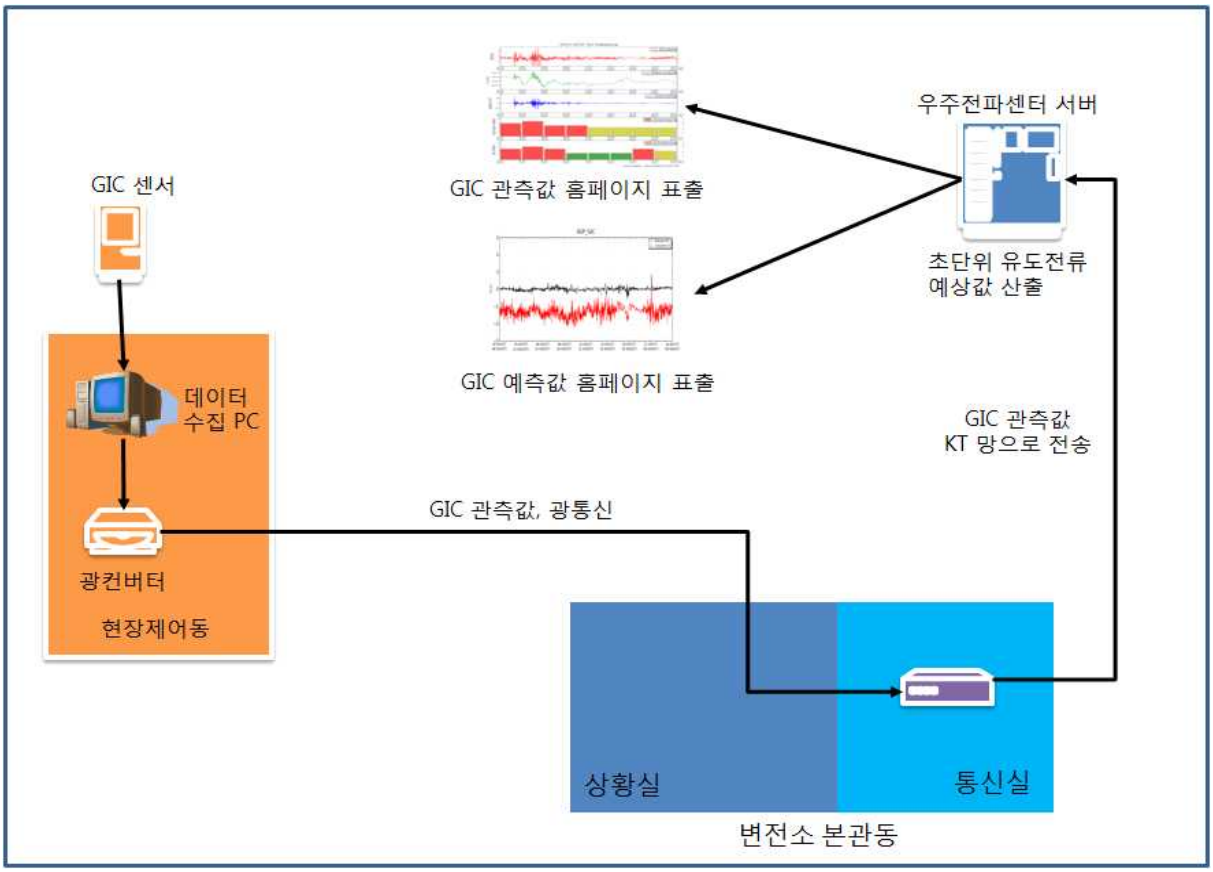


[그림 3-8] 국내 유도전류 관측소

우주전파센터에서는 2012년부터 신가평변전소(765kV)에 유도전류 관측소를 최초로 설치하고, 2013년에는 신태백 변전소(765kV)와 동제주 변전소(154kV)에 유도전류 관측소를 각각 설치하여 유도전류를 관측해왔다. 또한 금년에는 신가평변전소의 브릿지 변전소인 신미금, 신포천 변전소(345kV)에 각각 유도전류 관측소를 설치하여 유도전류를 관측하고 있다. 또한 2015년에는 신태백 변전소와 연결된 신한울 원자력발전소 변압기(765kV)에 유도전류 관측소를 추가 설치하여 수도권의 전력을 공급하는 765kV 전력라인에 대한 유도전류 모니터링 체제를 완성할 예정이다.

2. 유도전류 모니터링 시스템 현황

가. 현행 유도전류 모니터링 시스템



[그림 3-9] 기존 유도전류 모니터링 시스템 구성도

현재 유도전류 모니터링 시스템은 765kV 변전소인 신가평과 신태백, 154kV 변전소인 동제주 변전소에 각각 유도전류 관측소를 설치하고 유도전류 데이터를 수집하여 우주전파센터 홈페이지에 관측값과 예측값을 서비스하고 있다.

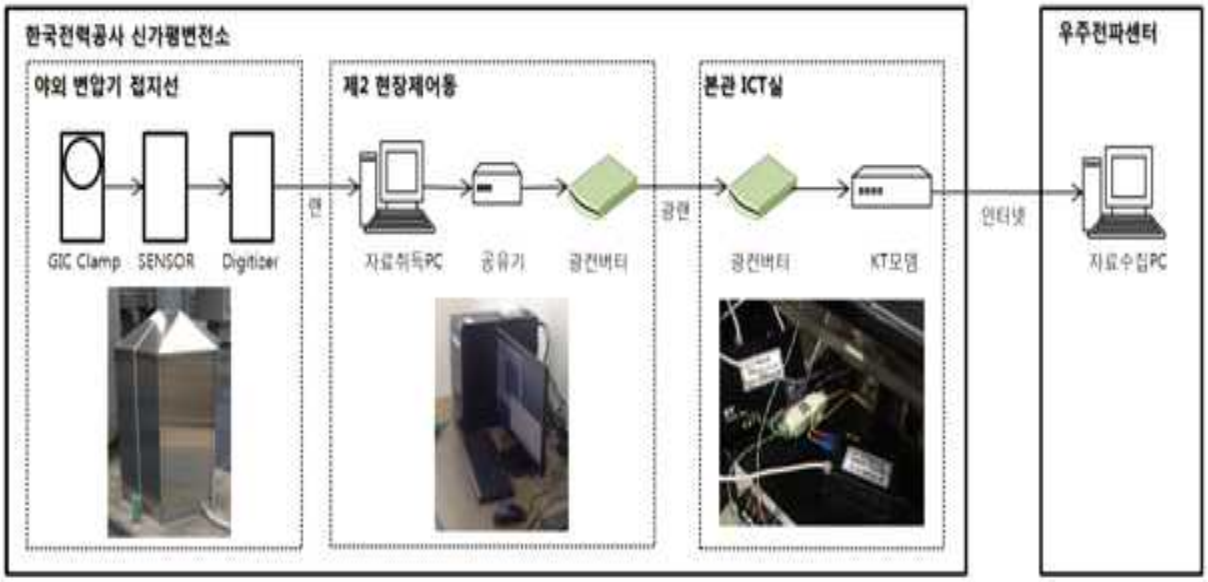
각각의 변전소 현장에서 관측되는 GIC 데이터는 인터넷망을 이용하여 우주전파센터 서버로 전송되고 관측값 및 예측값을 이미지 처리하여 홈페이지에 표출되고 있다.

우주전파센터 홈페이지는 유도전류 서버에서 데이터 처리 및 계산 등의 이유로 15분마다 관측된 정보가 갱신되므로 변전소 현장에서 변압기 운영자가 실시간으로 GIC 발생정보를 확인하기 어려운 점이 있다.

나. 지자기 유도전류 관측시스템

아래 그림은 한전 신가평 변전소에 설치된 유도전류 관측시스템 상세 계

통도와 실제 설치된 관측기 이다.



[그림 3-10] 유도전류 관측시스템 상세 계통도(신가평 변전소)

[그림 3-11] 변압기 중성점 센서 설치

[그림 3-12] 데이터 수집 PC

변전소 야외 변압기에 연결된 접지선에 Clamp형 전류센서를 연결하고 전류센서에서 전류량을 아날로그 형태로 초단위로 유도전류를 관측한다.

데이터 수집 PC로 데이터를 전송하기 위해 A/D 변환기에서 디지털 신호로 변환된 후 LAN을 이용하여 유도전류 데이터 수집하고, 관측된 유도전류

데이터는 인터넷망을 이용하여 우주전파센터 자료 수집 서버로 전송되게 된다.

이렇게 전송된 유도전류 데이터는 유도전류 데이터 처리 서버에서 유도전류 관측값과 예측값 등으로 처리되어 우주전파센터 홈페이지 등으로 서비스 되고 있다.

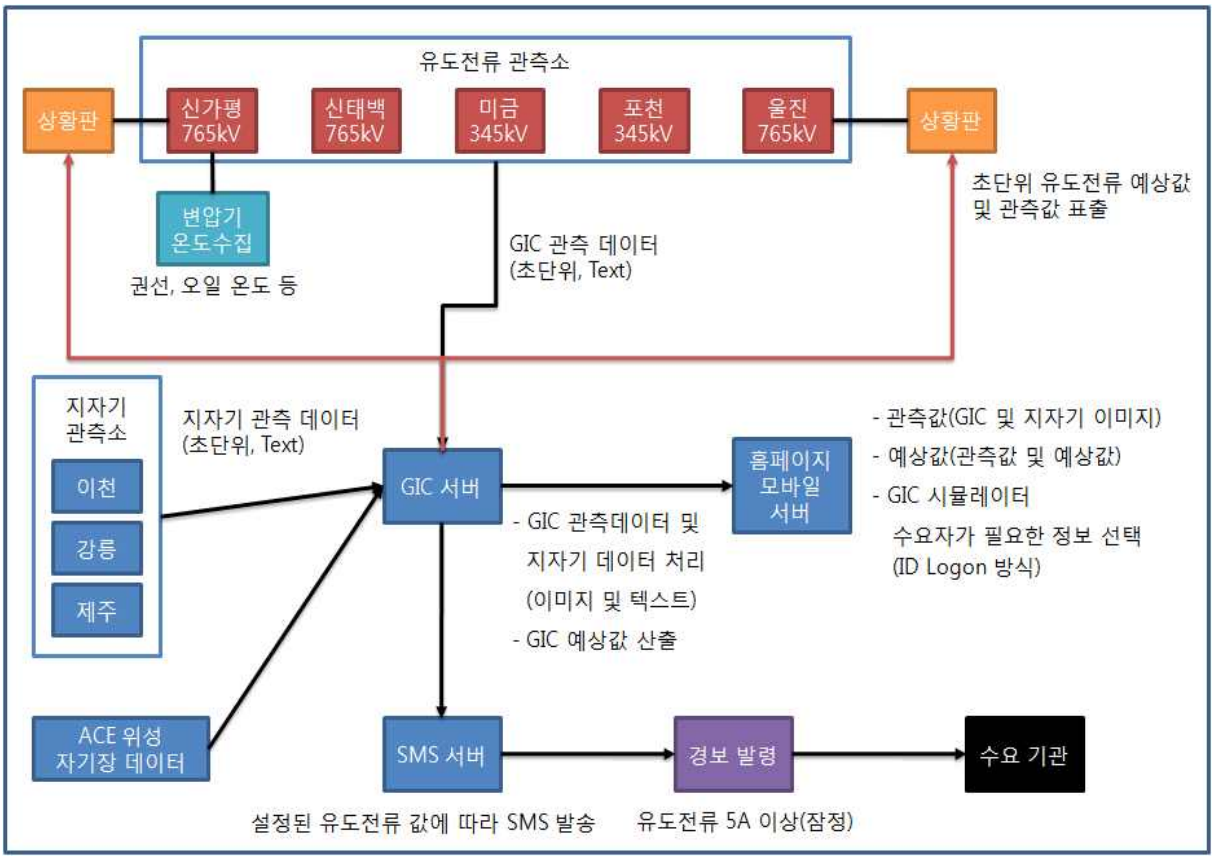
3. 지자기 유도전류 집중 모니터링 방안

가. 유도전류 집중 모니터링을 위한 유도전류 관련 서비스 확대

지자기 유도전류 집중 모니터링을 위해 신가평 변전소에 유도전류 발생 정보를 실시간 서비스 할 수 있도록 유도전류 모니터링 상황판을 설치하였다. 그리고 초단위 유도전류 상관계수를 이용한 유도전류 예상값을 제공하여 서비스를 확대 하였다. 또한 유도전류 경보 SMS 및 모바일 앱 서비스 제공하고 수요자 맞춤형 홈페이지 시스템을 개선하여 전력분야 수요자가 쉽고 편리하게 이용할 수 있도록 하였다. 앞으로 지자기 유도전류 예측기술을 지상뿐만 아니라 위성 데이터를 이용하여 고도화하여 정확한 유도전류 관련 서비스를 제공할 예정이다.

[그림 3-13]은 유도전류 집중 모니터링을 위한 시스템 계통도이다. 유도전류 관측데이터는 유도전류 관측소로부터 전송되는 데이터와 지자기 관측소에서 전송되는 데이터를 센터 유도전류 데이터 처리 서버에서 처리하여 이미지 및 텍스트로 저장하고 홈페이지 서버로 전송한다.

유도전류 예상값은 이천, 강릉, 제주에서 관측되고 있는 지자기 데이터를 이용하여 유도전류 데이터 처리 서버에서 산출하게 된다.



[그림 3-13] 유도전류 집중 모니터링 시스템 구성도

'14년에 개발된 초단위 유도전류 산출모델을 이용하여 유도전류 예상값과 관측값을 변전소 상황판 및 홈페이지 서버로 전송하여 실시간 유도전류 데이터를 표출하고 있다.

SMS 서비스는 현재 센터에서 운용중에 있는 SMS 서버와 연동하여 설정된 유도전류 값을 초과하는 유도전류 데이터가 발생하면 자동으로 등록된 수요자에게 문자를 발송한다. 현재 설정된 유도전류 크기는 1차로 5A 이상이며, 2차는 10A 이상이다.

'15년에는 한국수력원자력에서 보유하고 있는 한울발전소 765kV 변압기에 유도전류 관측기를 설치하고 '14년에 개발한 현황판 시스템을 발전소 상황실에 추가 설치 예정이다.

또한 ACE위성의 자기장 데이터와 지상 관측기의 지자기 데이터를 비교

분석하고, 지자기 변화에 따른 유도전기장을 분석하여 유도전류 예측기술의 정확도를 향상시키려고 준비 중이다. 지상 및 위성 지자기 데이터를 함께 이용하게 되면 현재 지상 지자기 데이터만을 이용하는 유도전류 산출기술 보다 선제적으로 신속하게 유도전류 발생여부 예측 가능할 것으로 기대된다.

나. 지자기 유도전류 상황판 설치

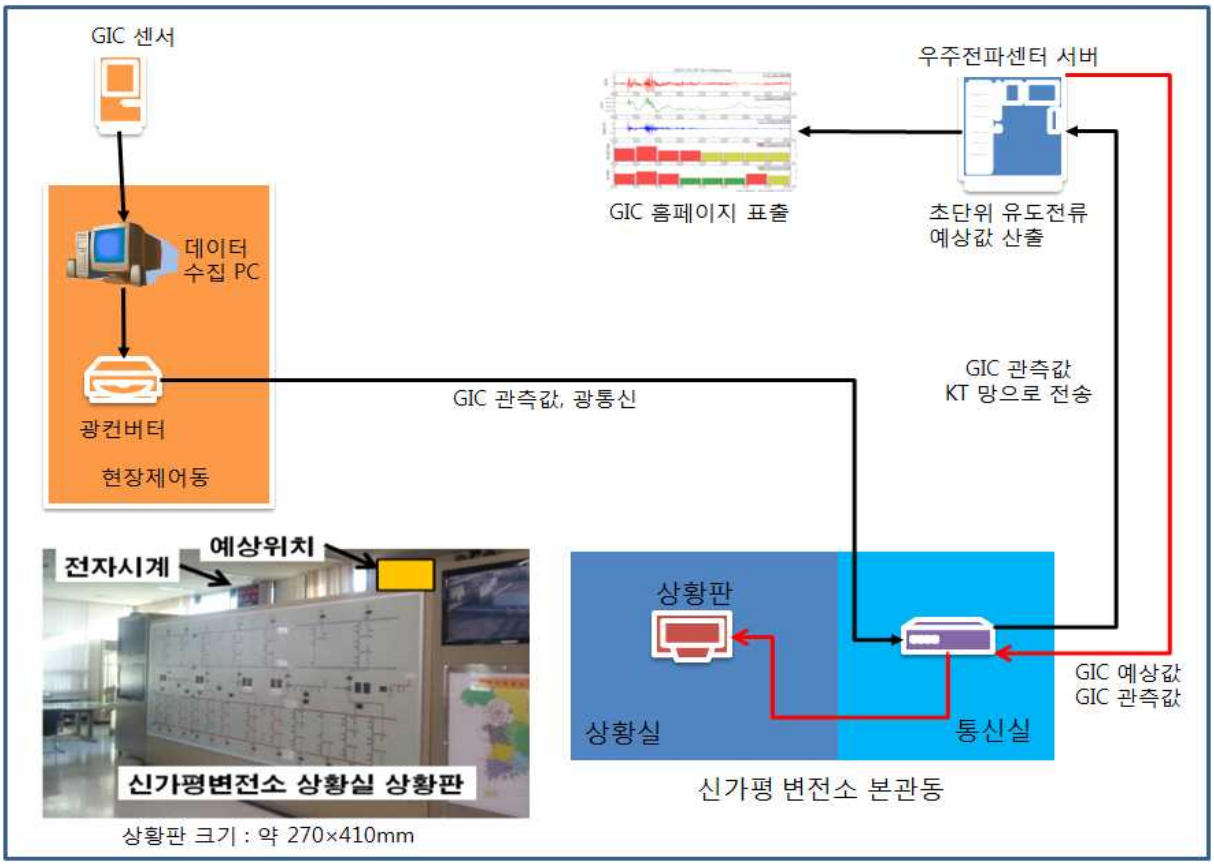
변전소 현장에서 관측되는 유도전류 데이터는 센터 홈페이지를 통해 15분마다 관측된 정보가 갱신되므로 실시간으로 유도전류 발생정보를 확인하기 어려운 점이 있다. 유도전류 데이터 수집 PC는 5분간 데이터를 수집(Gathering)한 후에 우주전파센터 서버로 데이터를 전송한다. 또한 홈페이지 서버는 산술계산 및 이미지 처리를 수행하며 서버 버퍼링을 고려하여 10분마다 갱신되고 있다.

이에 따라 변전소 현장에서 변압기 운영 담당자가 실시간으로 유도전류 발생정보를 확인할 수 있도록 유도전류 상황판을 개발하여 설치하였다.

상황판은 산업용 일체형 PC를 설치하고 지자기 교란 발생시 관련 정보 실시간 제공 및 알림 기능을 구현하여 경보상황을 상시 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

[그림 3-14]는 한전 신가평 변전소에 설치된 상시 모니터링 상황판 구성도이다. 상황판은 실제 한전 근무자가 근무하는 곳에서 항상 모니터링 할 수 있도록 변전소 상황실에 설치 하였다.

상황판으로 보내지는 데이터는 관측된 유도전류 데이터와 지자기 데이터를 이용하여 산출된 유도전류 예상값과 관측값이 함께 상황판으로 실시간으로 전송된다.

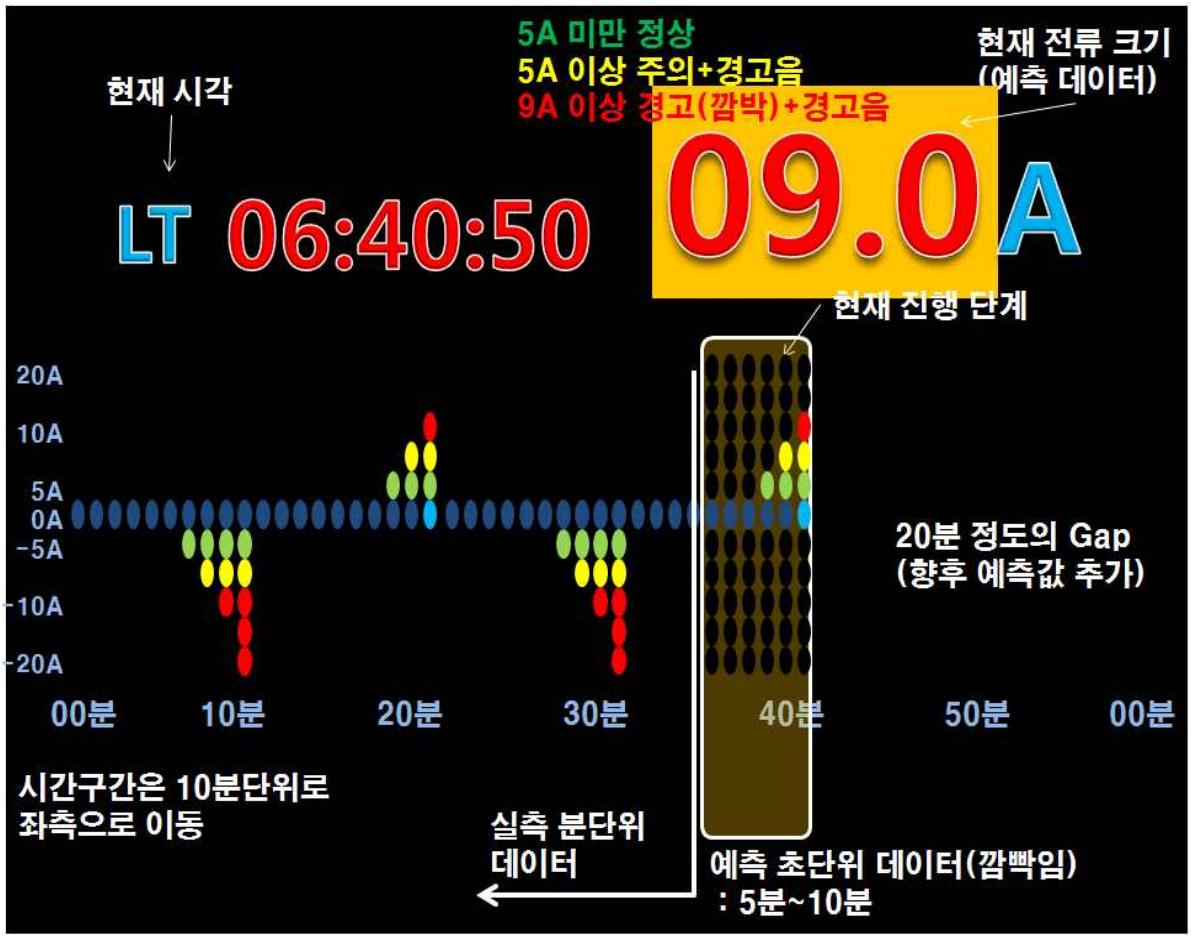


[그림 3-14] 유도전류 상시 모니터링 상황판 구성도

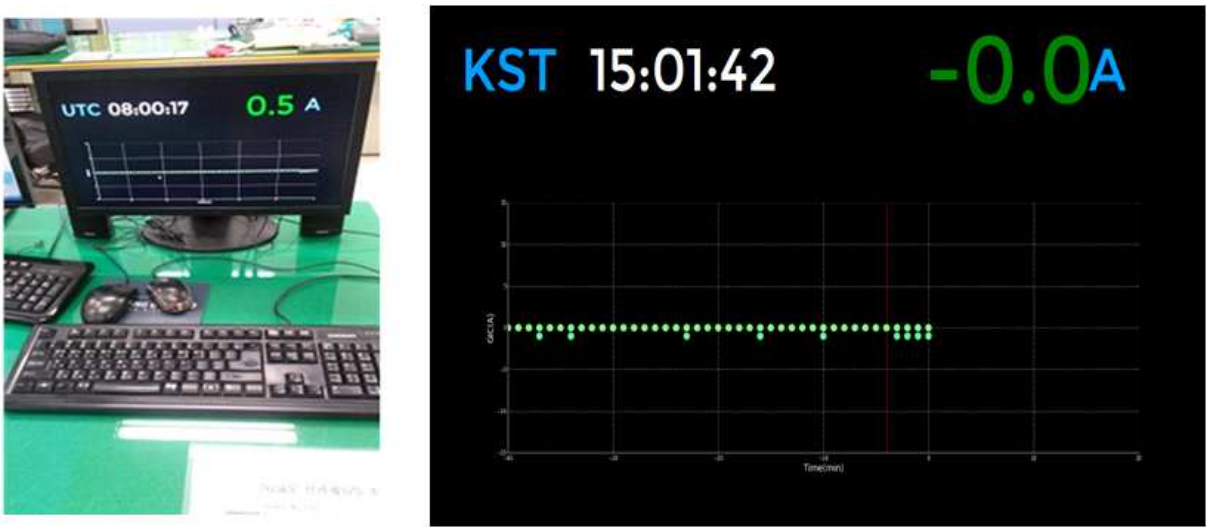
상황판은 변전소 현장에서 근무자가 쉽게 유도전류를 확인할 수 있도록 표출화편을 구성하였다.

상황판 상단에는 현재 지역 시간과 현재 전류의 크기 및 GIC 상태를 표시하고, 하단에는 과거 유도전류 관측값과 현재 및 예상값 그래프 표출한다.

상황판에서 현재 표출되는 데이터를 기준으로 과거 5분 이전 데이터는 센터 서버에 전송되는 분단위 실측 데이터로 표출하고 현재부터 과거 5분까지의 데이터는 초단위 유도전류 분석모델 결과를 이용하여 지자기 데이터로 계산한 데이터의 1분 동안 최고치를 표출하게 된다. 실시간으로 표출되는 데이터는초단위 유도전류 분석모델 결과를 이용하여 지자기 데이터로 계산한 1초 데이터이다.



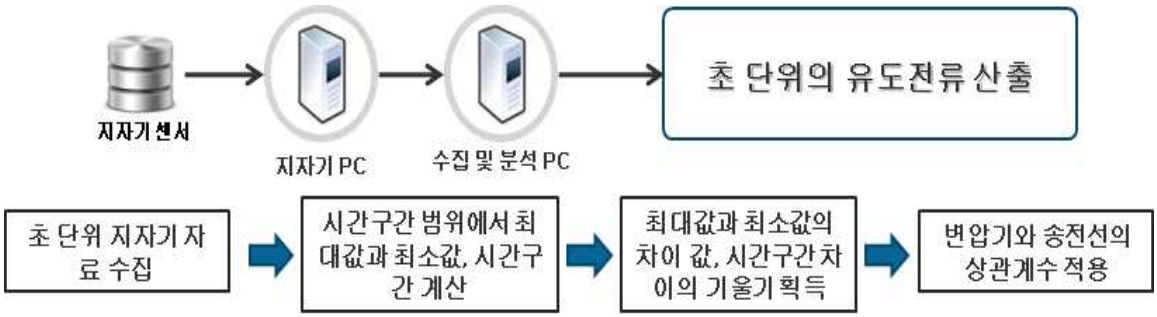
[그림 3-15] 유도전류 상시 모니터링 상황판 구성



[그림 3-16] 유도전류 상시 모니터링 상황판 설치 및 표출

다. 초단위 유도전류 상관계수를 이용한 유도전류 예상값 제공

현행 유도전류 관측시스템은 각 변전소에서 매초 유도전류를 관측하여 우주전파센터 서버로 관측데이터를 전송하고 1분 평균 데이터로 처리후 홈페이지에 표출하고 있다. 그런데 신가평 변전소에서 유도전류 데이터를 수집하는 데이터 수집 컴퓨터에서는 데이터 처리 서버의 부하량 등을 고려해서 관측된 데이터를 5분마다 전송한다. 그리고 데이터 처리 서버에서 유도전류 데이터와 지자기 데이터를 처리하고 가공하는데 시간지연이 발생한다. 이러한 데이터 전송 및 처리시 시간 지연이 발생문제로 홈페이지에 표출되는 유도전류 자료는 약 15분마다 갱신되고 있다. 따라서 전력분야 관계자나 변전소에 근무하는 근무자가 실시간 유도전류 관측정보를 홈페이지에서 바로 확인하는 것이 어려웠다. 그리고 지자기교란 발생시 여러 단계의 보고 절차로 때문에 유도전류에 인한 변압기 영향을 즉시 확인할 수가 없었다. 이러한 문제점 들을 개선하고자 초단위 유도전류 상관계수를 이용하여 유도전류 실시간 분석 모델을 개발하고 이를 유도전류 상시 모니터링 체계에 적용하여 전력분야 관계자들이 빠르게 유도전류 발생정보를 확인 할 수 있도록 유도전류 관련정보를 제공하였다.

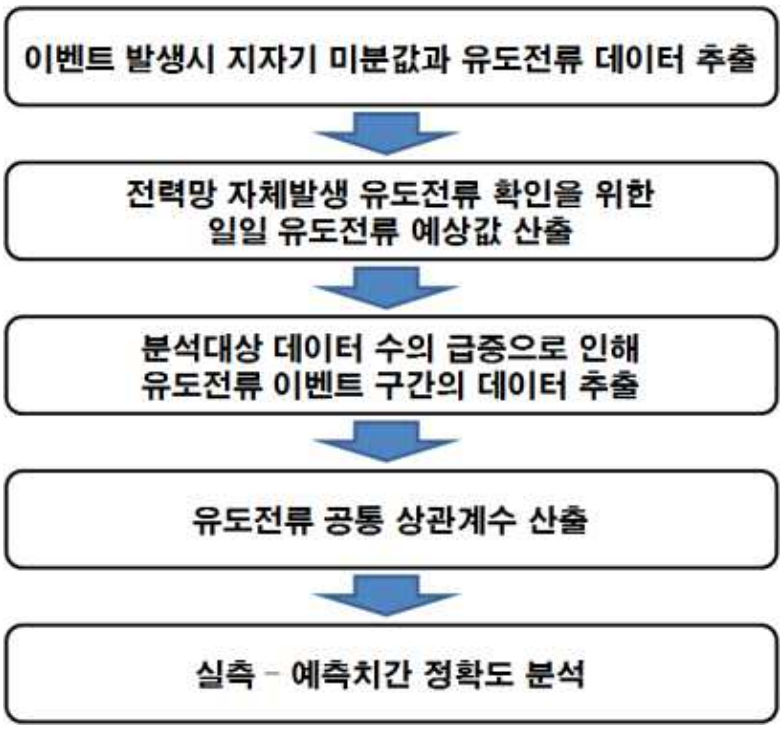


[그림 3-17] 초단위 유도전류 산출 개념도

[그림 3-17]은 초단위 유도전류 산출에 대한 개념도 이다. 지자기 센서로부터 수집된 초단위 지자기 데이터에서 1분동안의 시간구간 범위에서 지자기 최대값과 최소값, 그 때의 시간구간을 계산하게 된다. 그런 다음 최대값과 최소값의 차이 값과 시간구간 차이의 기울기를 계산한다. 이렇게 계산된 데이터를 이용해서 초단위 유도전류 상관계수를 적용하여 초단위 유도전류

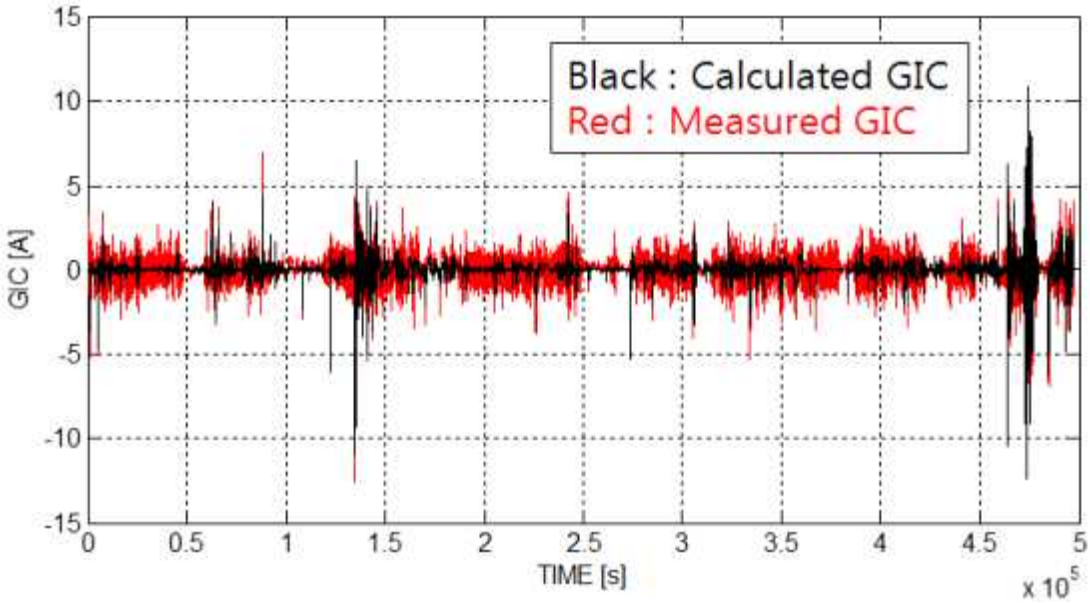
예상값을 산출하게 된다.

초단위 유도전류 상관계수 자동 산출을 위해 [그림 3-18]과 같은 순서로 상관계수를 산출하였다.



[그림 3-18] 초단위 유도전류 상관계수 산출 순서도

지자기 교란 통합 데이터를 이용하여 산출된 지자기 유도전류 초단위 상관계수를 이용해서 초단위 유도전류 예상치를 산출한 결과, [그림 3-19]와 같이 초단위 유도전류 실측치와의 패턴이 일치되고 발생규모가 수렴하고 있음을 확인할 수 있었다. 이렇게 산출된 초단위 유도전류 상관계수를 이용하여 변전소 현장에 설치하는 상시 모니터링 체계에 필요한 초단위 유도전류 데이터 산출하였다. 이러한 초단위 유도전류 예상값 이용시, 유도전류 실측 데이터의 수집 지연 현상 및 오류(임펄스) 정보 제거 가능하게 되었다.



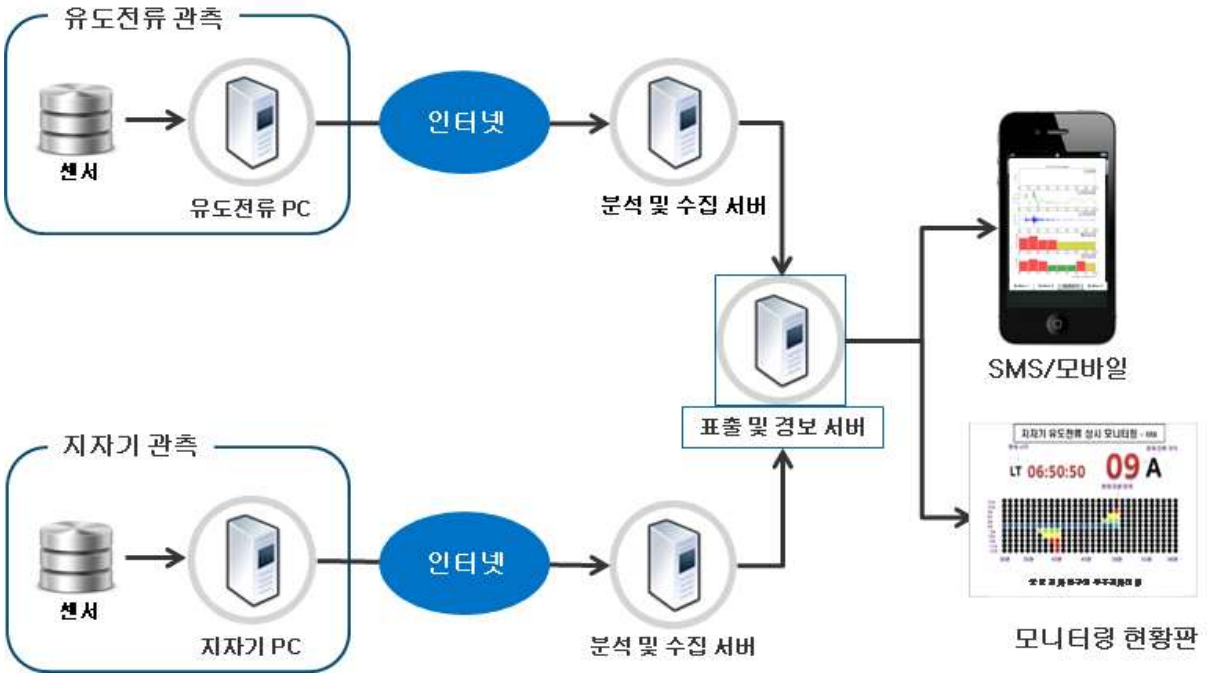
[그림 3-19] 초단위 유도전류 예상값과 실측값 비교

라. 유도전류 SMS 및 모바일 앱 서비스 실시

유도전류 SMS와 모바일 앱 서비스는 전력분야 관계자와 변전소 현장 근무자 들에게 지자기 교란에 의한 유도전류가 발생했을 경우 빠르게 유도전류 발생정보 인지할 수 있도록 제공하는 서비스이다.

지자기 교란에 의한 유도전류가 설정된 값(1차 메시지 발송은 유도전류 5A 이상 발생시, 2차 메시지 발송은 유도전류 10A 이상 발생시)을 초과했을 때 자동으로 등록된 사용자에게 문자 메시지를 발송한다. 이러한 SMS 서비스는 현재 센터에서 운용중에 있는 예경보용 SMS 서버와 연동하도록 개발했다. 또한 변전소 근무자가 외부에 있을 때에도 휴대폰으로 유도전류 실시간 데이터를 항상 확인할 수 있도록 모바일 앱 서비스 제공하였다.

이로써 전력분야 관계자와 변전소 현장 근무자 들이 언제, 어디에 있든 지자기 교란으로 인한 유도전류 발생 정보를 빠르게 인지할 수 있는 시스템을 갖추게 되었다.

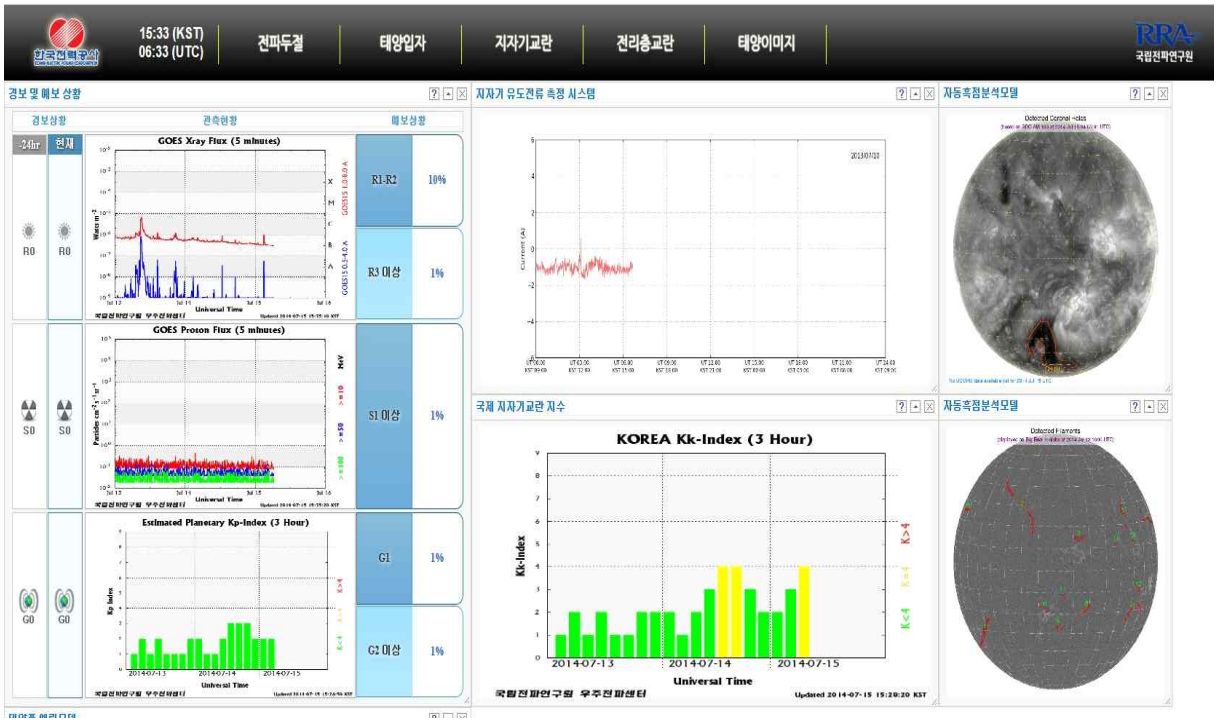


[그림 3-20] SMS 및 모바일 앱 서비스 체계

마. 수요자 맞춤형 홈페이지 시스템 개선

현재 우주전파센터 홈페이지에 개발되어 있는 수요자 맞춤형 홈페이지 서비스를 개편하여 사용자가 쉽게 유도전류 관련 데이터에 접근하고 상시 유도전류를 모니터링 할 수 있도록 제공하기 위해 수요자 맞춤형 홈페이지 시스템을 개선하였다.

개선 사항은 수요자가 원하는 정보를 쉽게 찾아 모니터링 할 수 있도록 홈페이지 서비스 메뉴 리뉴얼하는 것과 현재 지자기 유도전류 관측값만 수요자 맞춤형 홈페이지 화면에서 선택 할 수 있도록 되어 있어 유도전류 예상값 및 실시간 지자기 데이터 등도 선택할 수 있도록 개선하였다. 그리고 홈페이지에서 수요자가 사용자 등록을 하고 log on 하는 방식으로 홈페이지를 개편하여 데이터 접근성 및 보안성 강화하였다.



[그림 3-21] 수요자 맞춤형 홈페이지 서비스 화면 예시

바. 지자기 유도전류 예측기술 고도화

현재 우주전파센터에서는 지상 지자기 데이터(이천, 강릉, 제주)를 이용하여 유도전류 예상값을 산출하고 있다. 유도전류 예상값을 조금 더 빠르게 산출하여 수요자에게 제공할 수 있도록 NASA의 태양관측위성인 ACE 위성에서 관측하고 있는 자기장 데이터와 지상에서 관측되는 지자기 데이터를 비교 분석하고 지상에서 유도되는 전기장을 분석하여 유도전류 예측 기술 정확도 향상하고 더욱 빠르게 유도전류 예상값을 계산하여 제공할 예정이다. 지상 및 위성 지자기 데이터를 함께 이용하여 유도전류 예상값을 계산하게 되면 현재 지상 지자기 데이터만을 이용하는 유도전류 산출기술 보다 선제적으로 신속하게 유도전류 발생여부 예측이 가능할 것으로 기대된다.

주요 연구 내용으로는 ACE 위성 데이터와 지상(이천, 강릉, 제주) 데이터 비교 분석을 통해 위성 자기장 데이터와 지상 지자기 데이터와의 연관성을 분석할 예정이다. 또한 지상 및 위성 지자기 관측데이터의 변화에 따라 지

상에 유도되는 유도전기장 변화 분석하여 유도전기장의 변화에 따라 유도되는 유도전류 예상값을 산출할 예정이다. 그리고 유도전기장 예측값 정확도 산출 알고리즘을 개발하고 최종적으로 지상 및 위성데이터를 이용한 유도전류 통합 예측모델 개발할 계획이다.

우주전파센터는 앞으로 이러한 예측기술 고도화와 유도전류 관련 시스템 개발을 통해 강력한 지자기 교란으로 인한 국가 전력망 장애를 대비하여 관련 기관(한전)에 지자기 유도전류의 실시간 발생정보를 상시 모니터링 체계 형태로 제공함으로써 태양활동으로 인한 우주전파 재난에 신속히 대응할 것이다.

또한 유도전류 발생정보는 초고압 변압기의 온도상승 여부를 미리 인지할 수 있으므로 변전소 현장에서의 적극적인 대응이 가능해져 태양흑점 폭발로 인한 국가 전력망 보호가 가능해질 것으로 예상된다.

제4장 과거 지자기 교란 사례 분석

제1절 이천/일본 데이터 비교 및 지자기 교란 데이터 추출

유도전류 예상값을 산출하기 위해서는 안정적이고 정확한 지자기 관측데이터가 필요하다. 이에 따라서 2000년부터 2005년까지 과거 지자기 교란 사례를 분석하고 그 때의 유도전류 예상값을 산출하였다. 지자기 관측 데이터는 이천 관측소에서 관측한 데이터와 이천 지역과 위도가 비슷한 일본의 Kakioka 관측소에서 관측한 데이터를 비교 분석하였다.

[그림 4-1] 이천과 일본 지자기 관측소 위치도

이천과 일본 지자기 데이터에서 지자기 교란 데이터를 추출하기 위한 조건을 2개 관측소의 데이터 중에서 지자기 수평성분의 분평균 변화량이 동시에 70nT 이상일 경우로 설정하고 지자기 교란 데이터를 추출하였다.

분평균 변화량을 70nT 이상으로 설정한 이유는 지자기 데이터의 일변화량이 한반도에서는 약 50nT 정도 되기 때문이다.

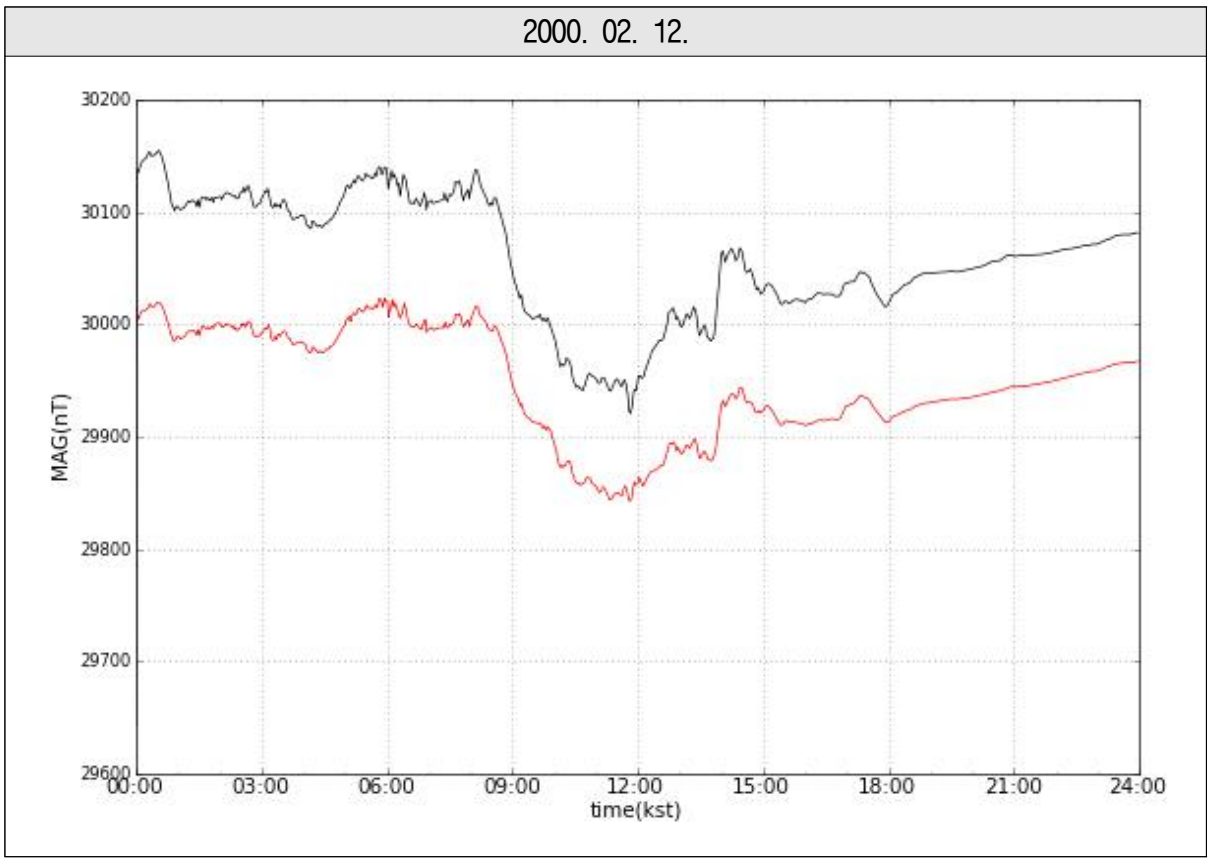
지자기 교란 이벤트는 [표 4-1]과 같이 총 24일로 추출되었고 이천과 일

본의 지자기 교란 그래프는 [표 4-2]와 같다.

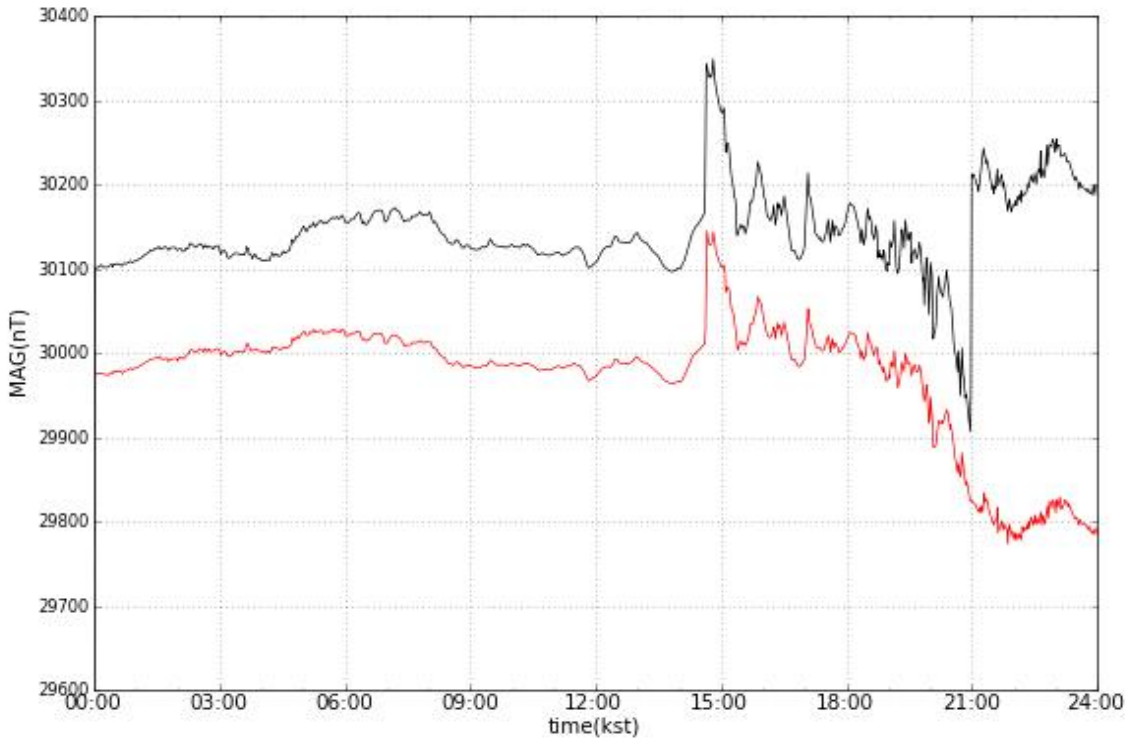
[표 4-1] 지자기 교란 이벤트 일자

지자기 교란 이벤트 일자			
00.02.12	00.09.30	01.04.12	03.09.17
00.07.15	00.10.05	01.04.13	03.10.14
00.07.16	00.10.14	01.11.06	03.10.31
00.08.12	00.11.06	02.04.20	03.11.20
00.09.17	01.03.20	03.05.29	
00.09.18	01.04.11	03.05.30	

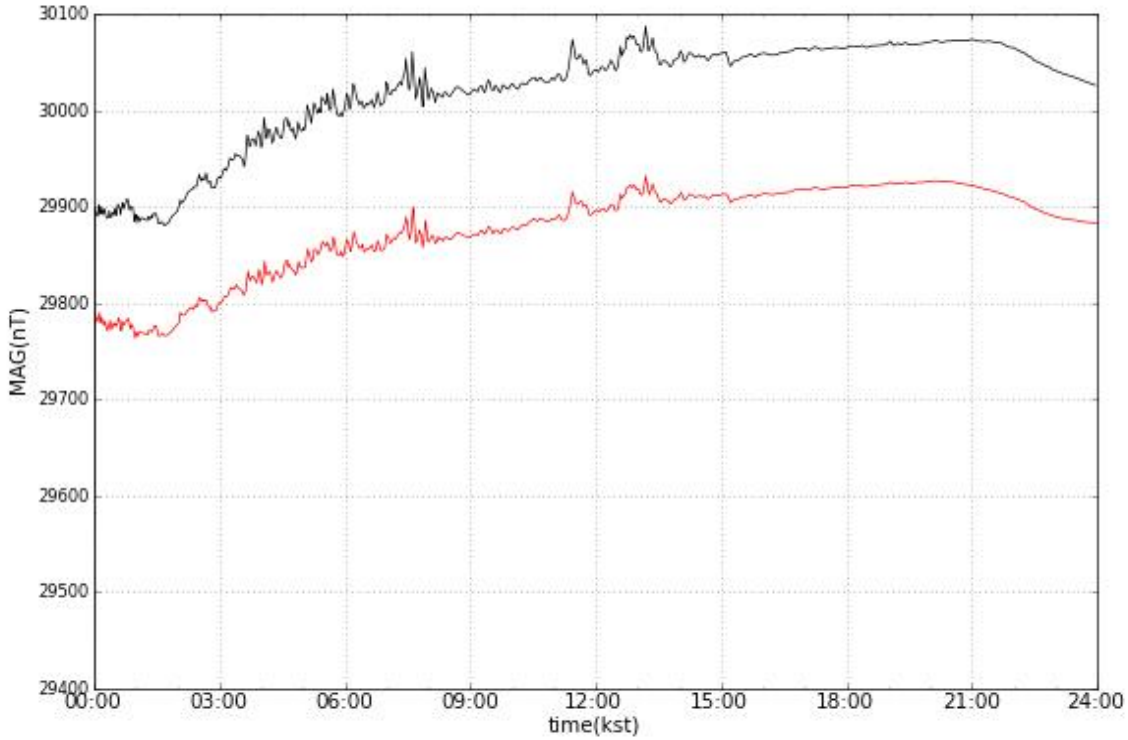
[표 4-2] 이천/일본 지자기 교란 이벤트 그래프



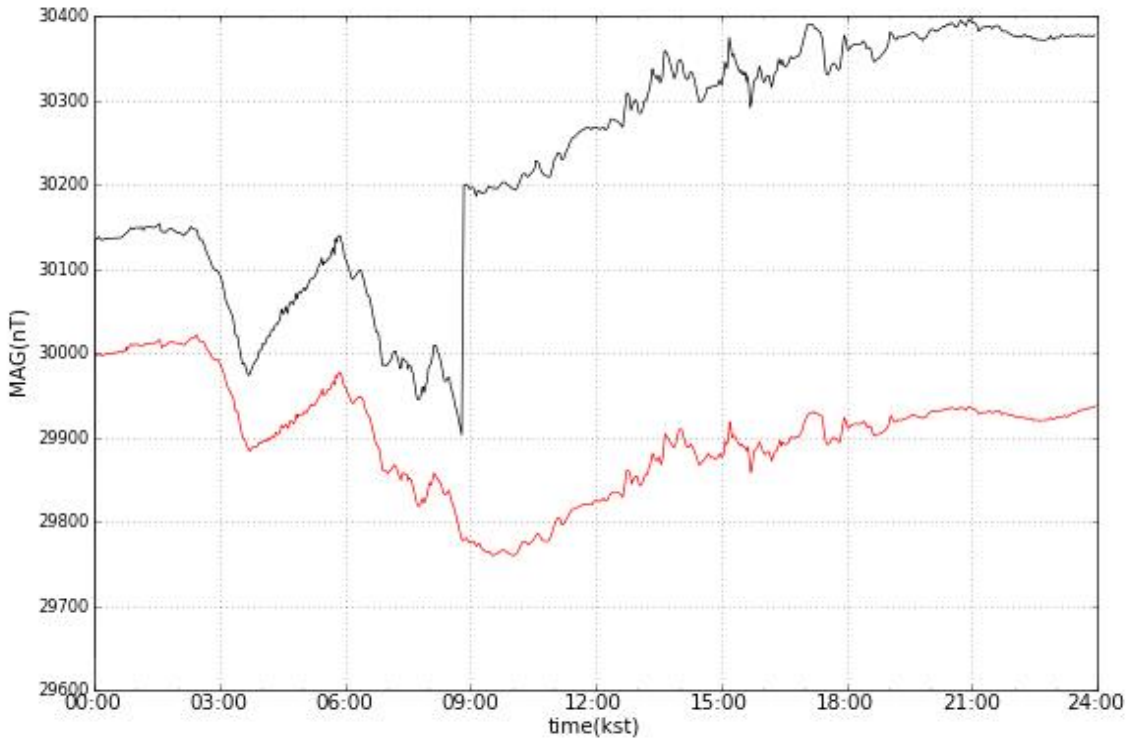
2000.07.15.



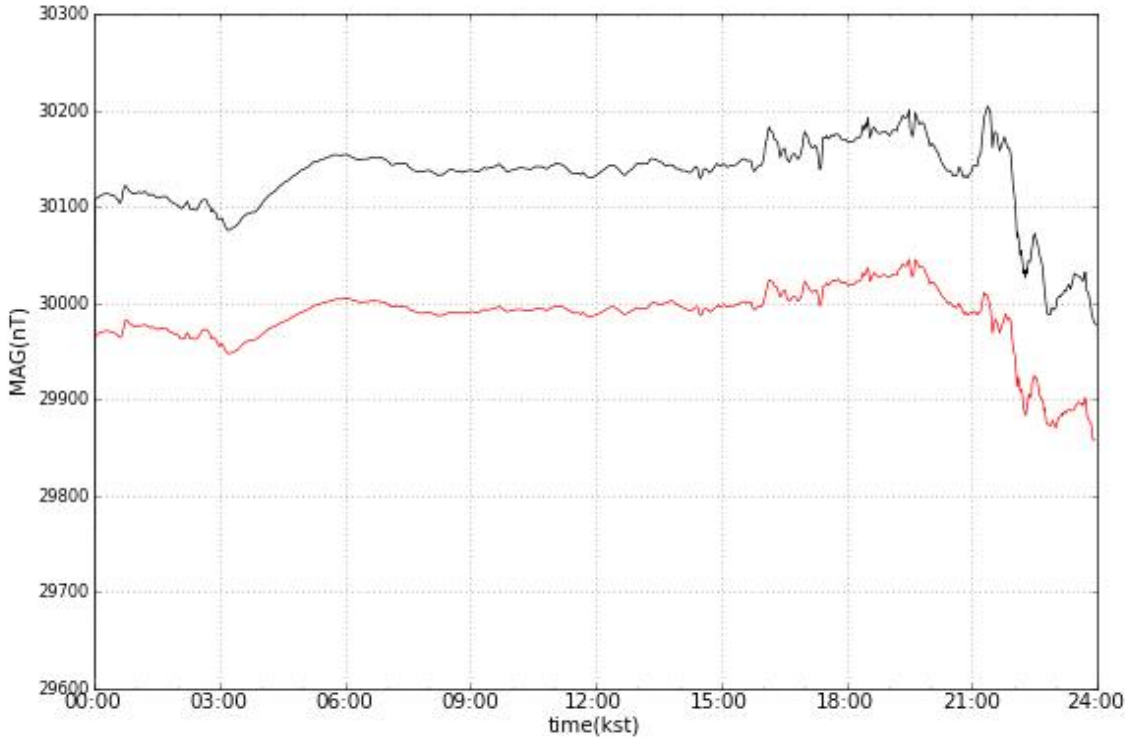
2000.07.16.



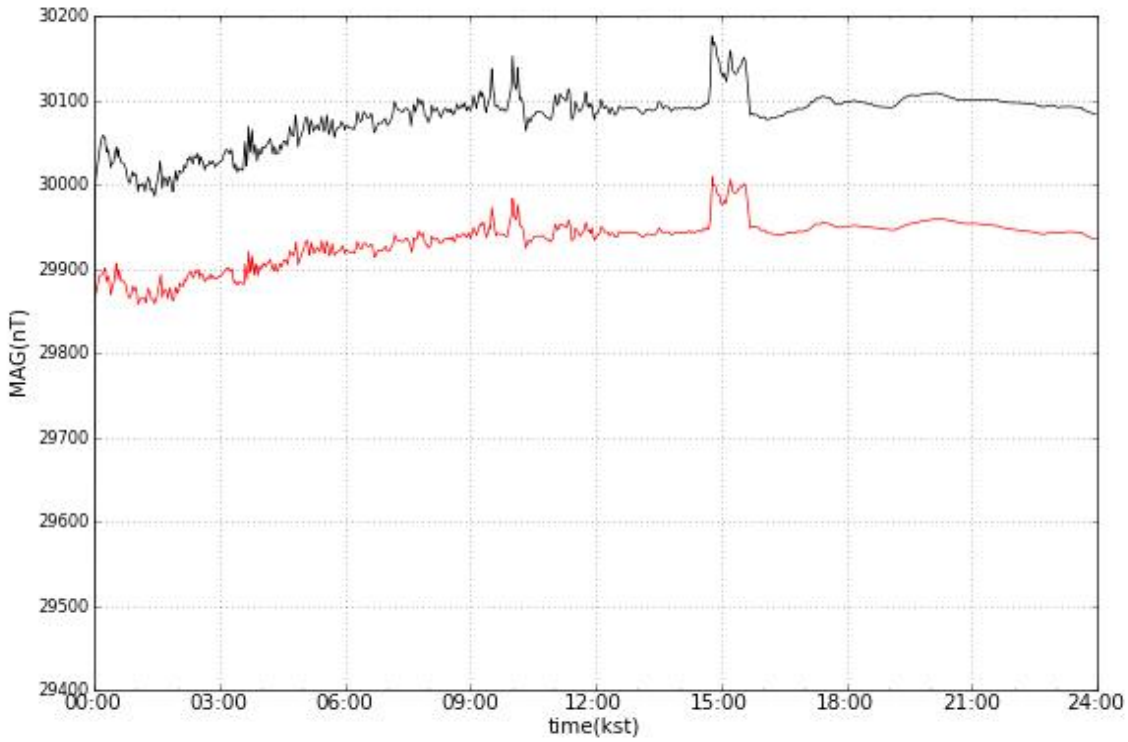
2000.08.12.



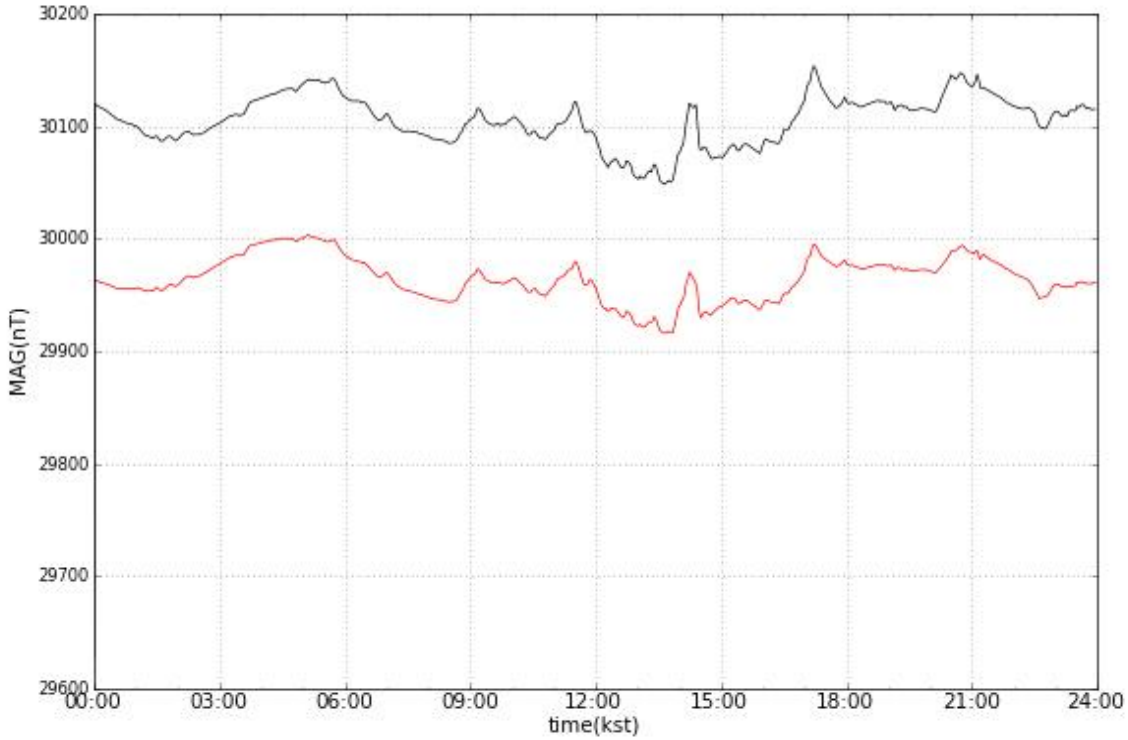
2000.09.17.



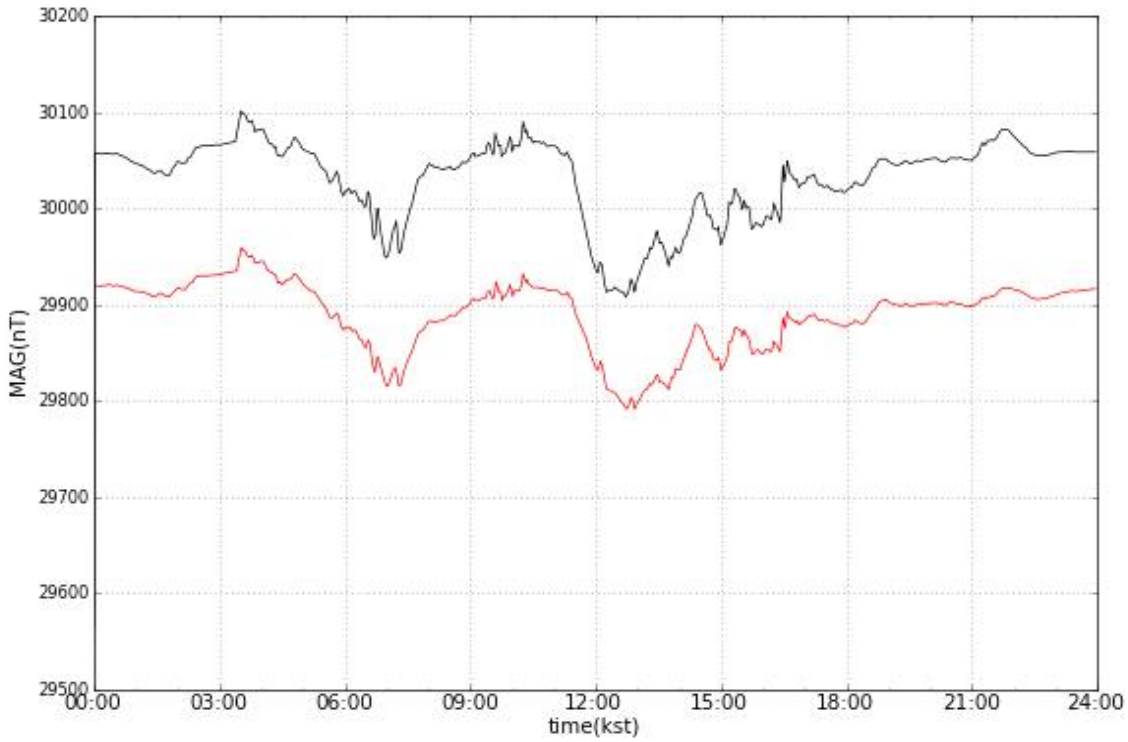
2000.09.18.



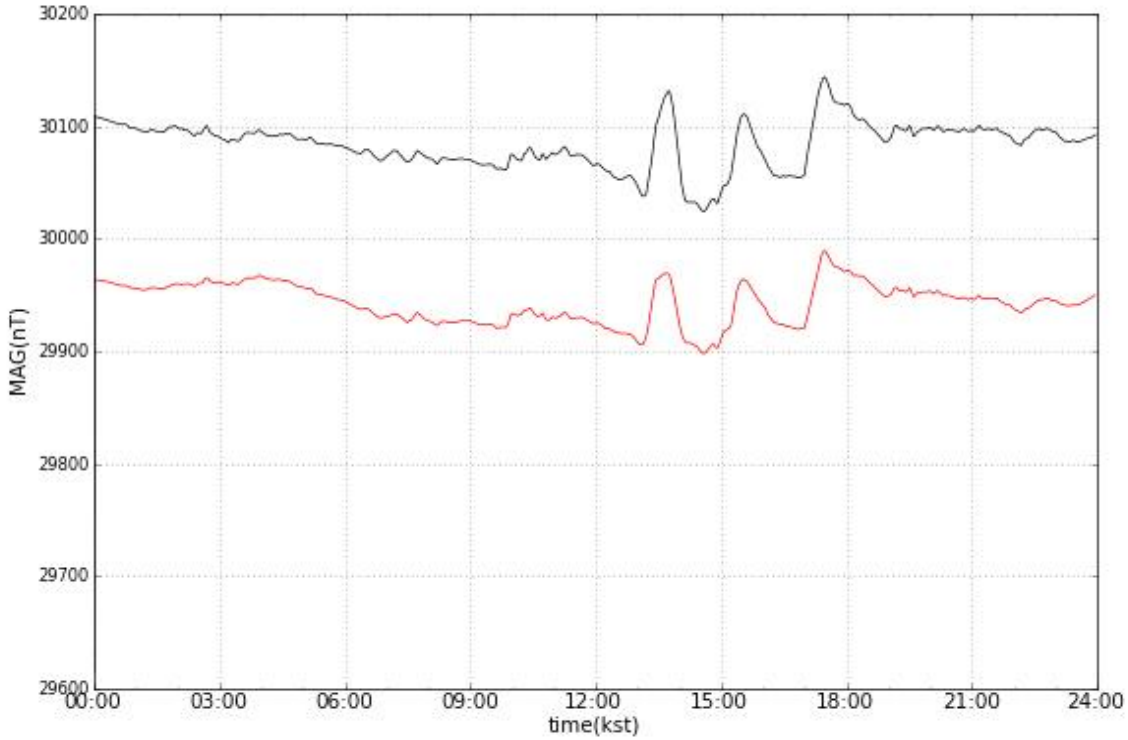
2000.09.30.



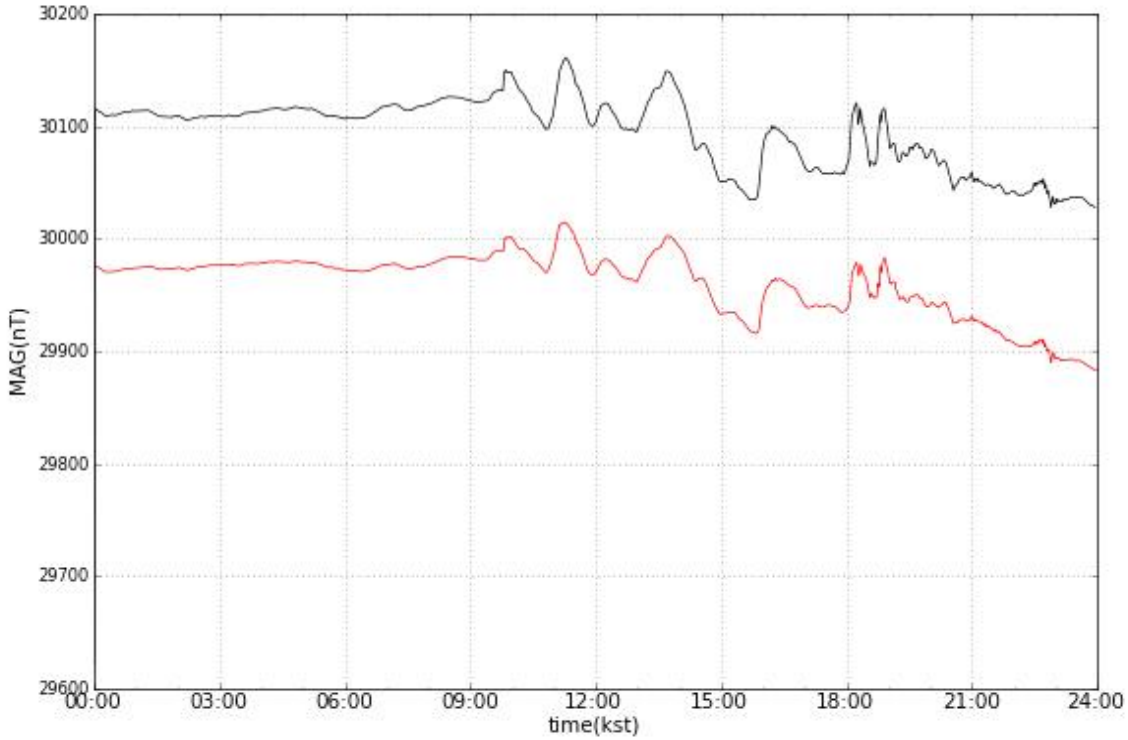
2000.10.05.



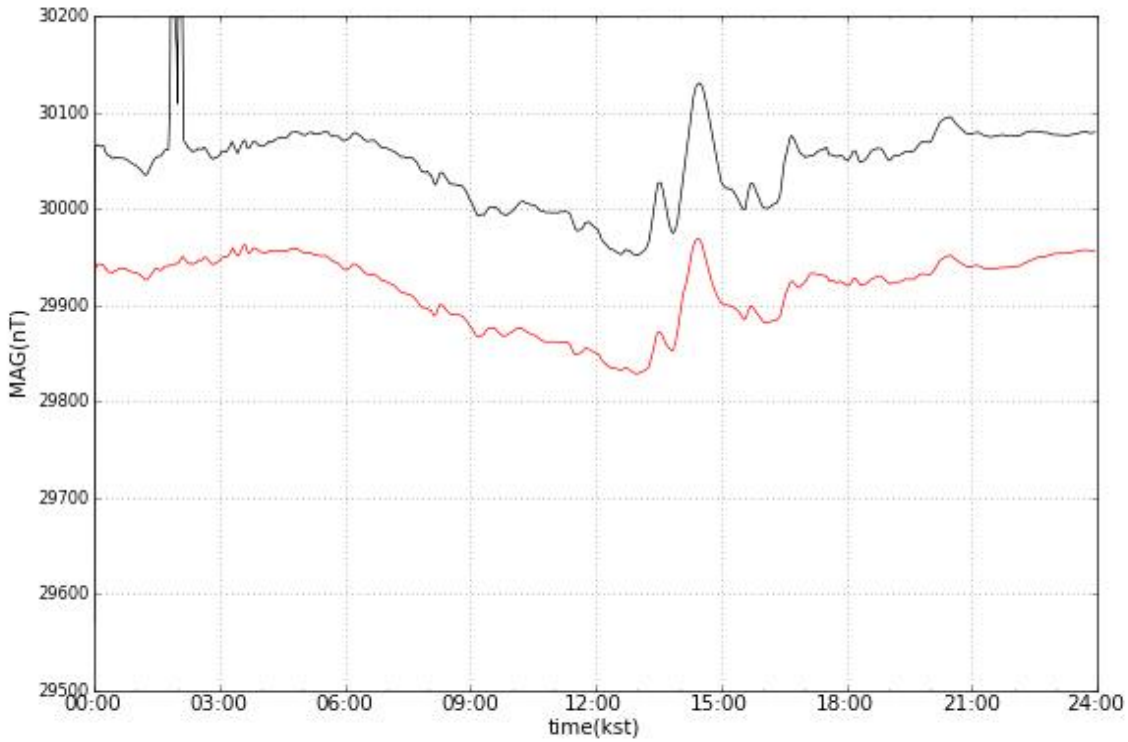
2000.10.14.



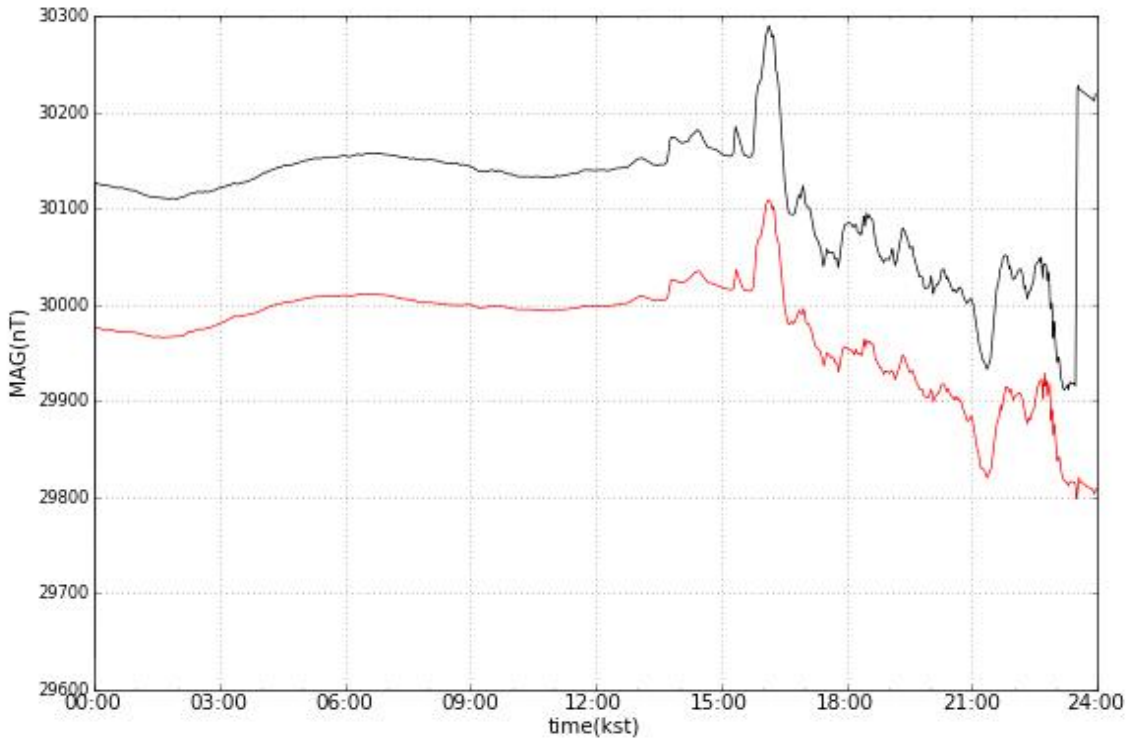
2000.11.06



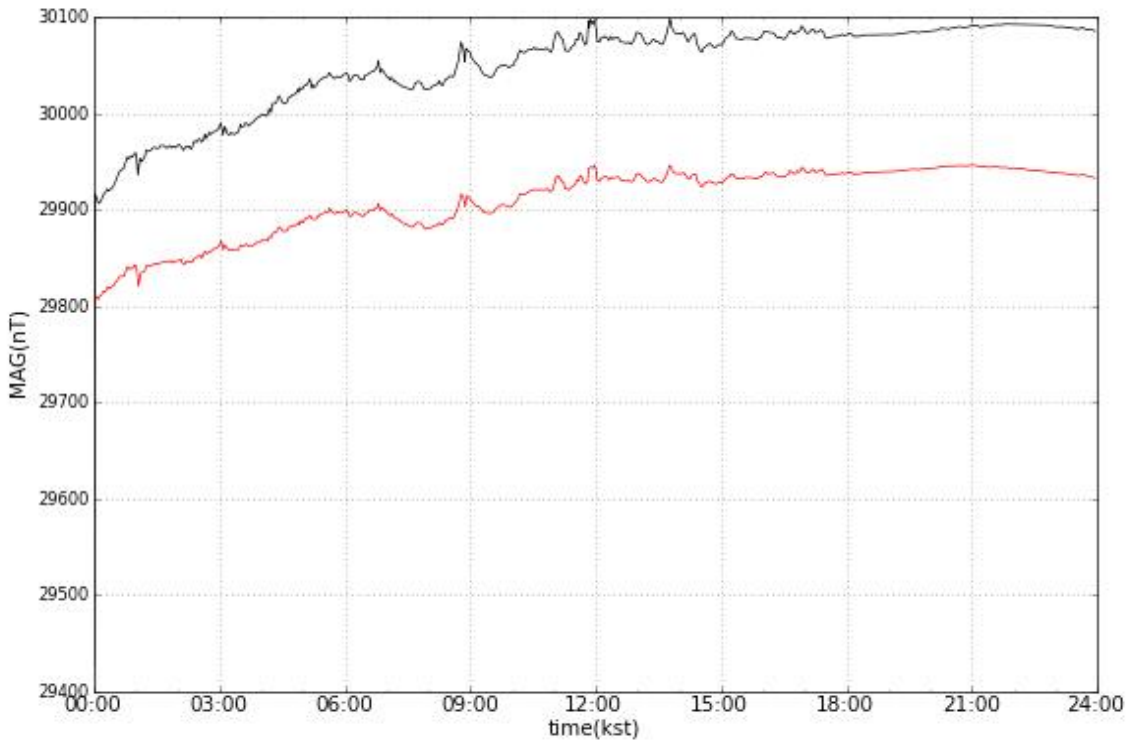
2001.03.20.



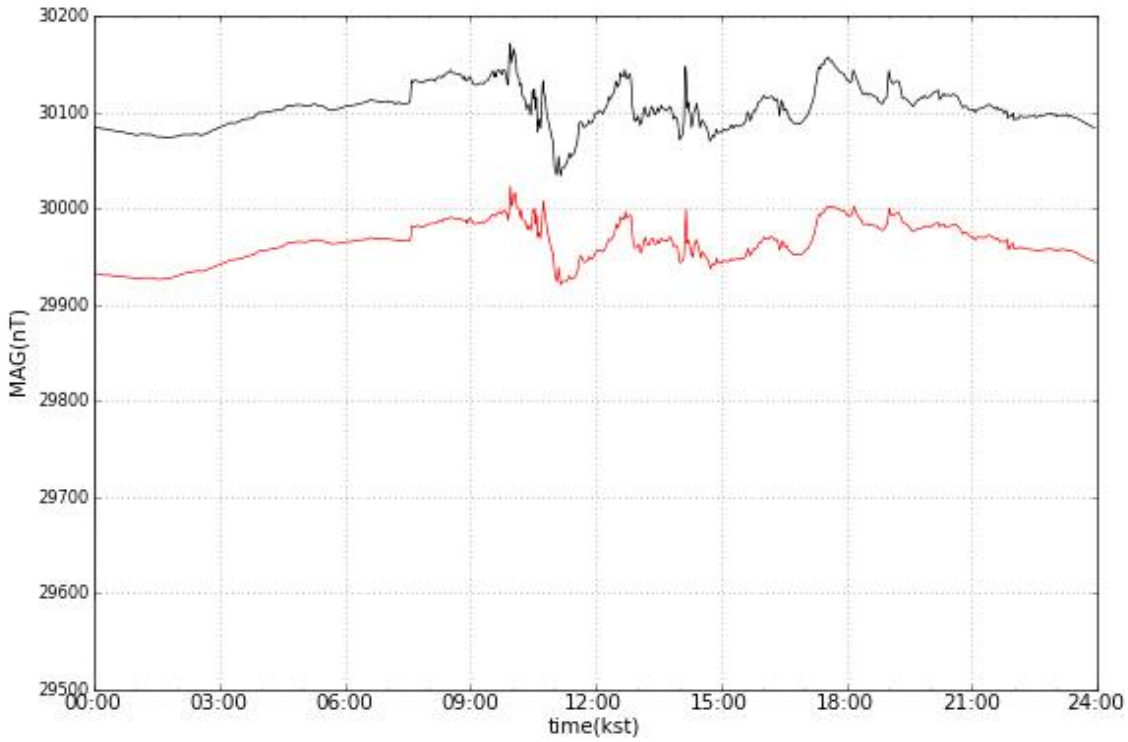
2001.04.11.



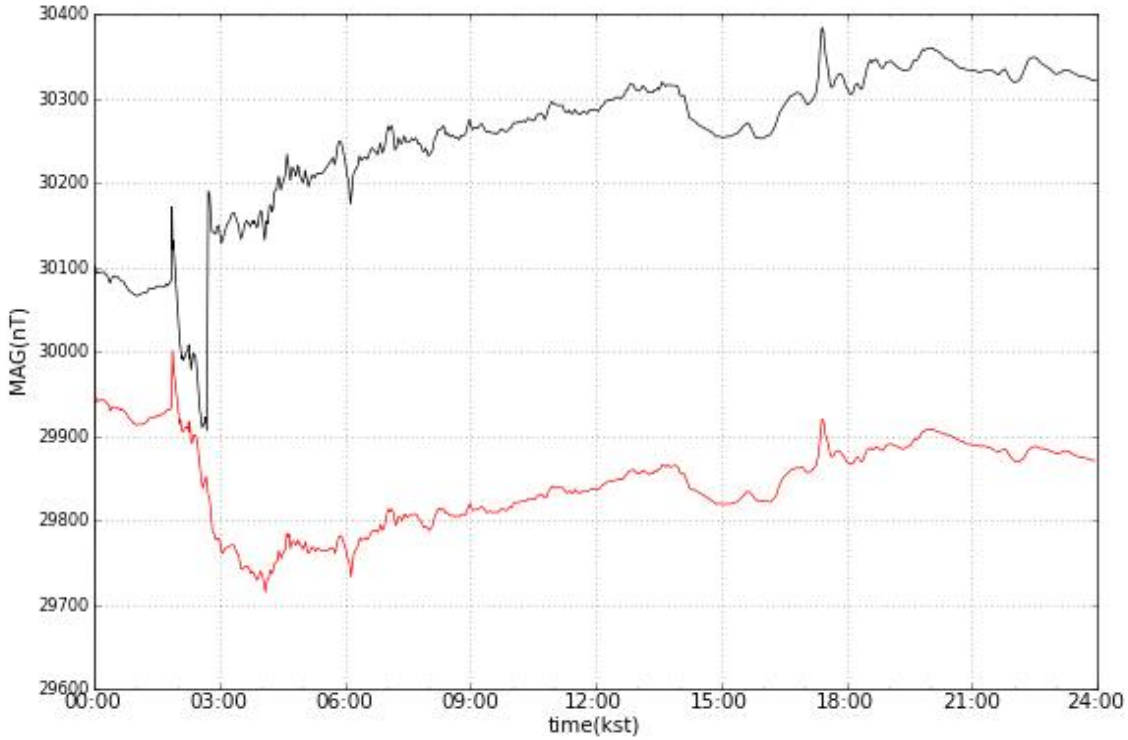
2001.04.12.



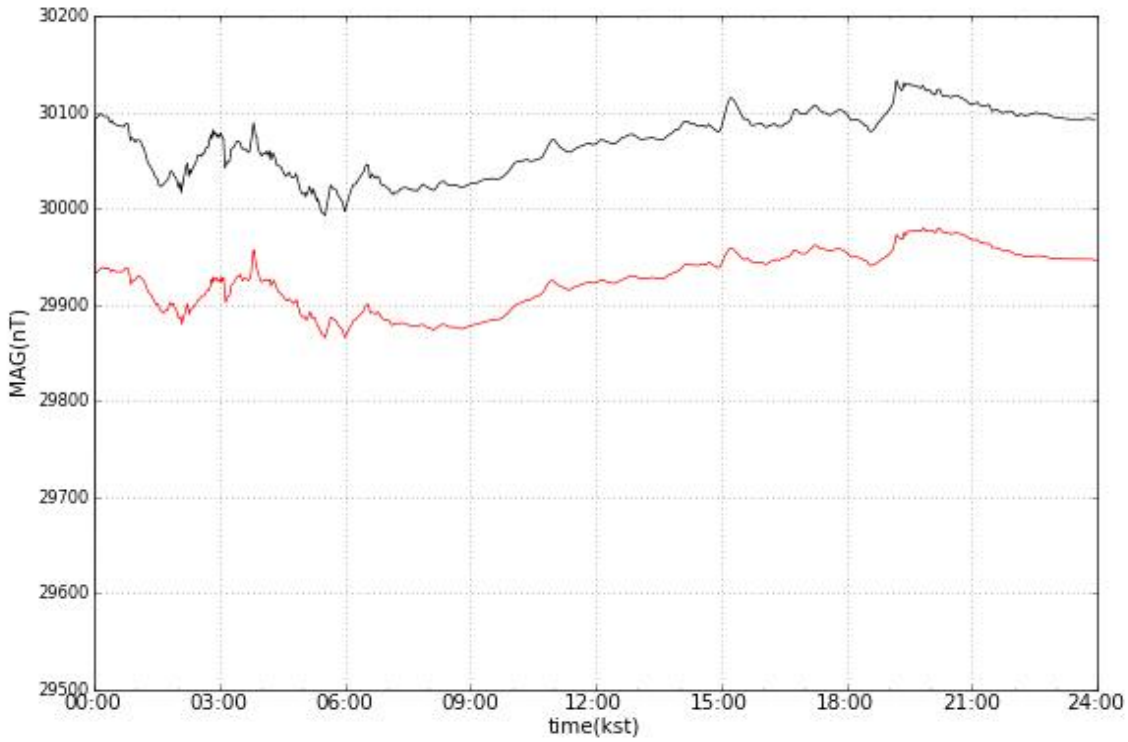
2001.04.13.



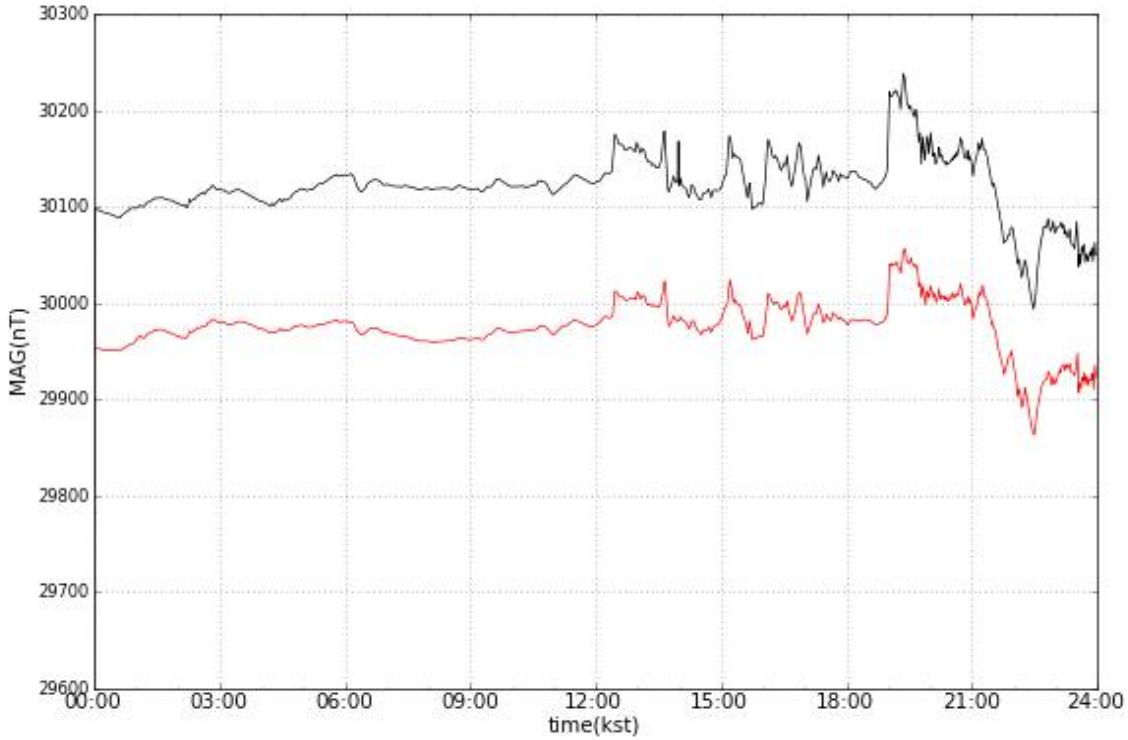
2001.11.06.



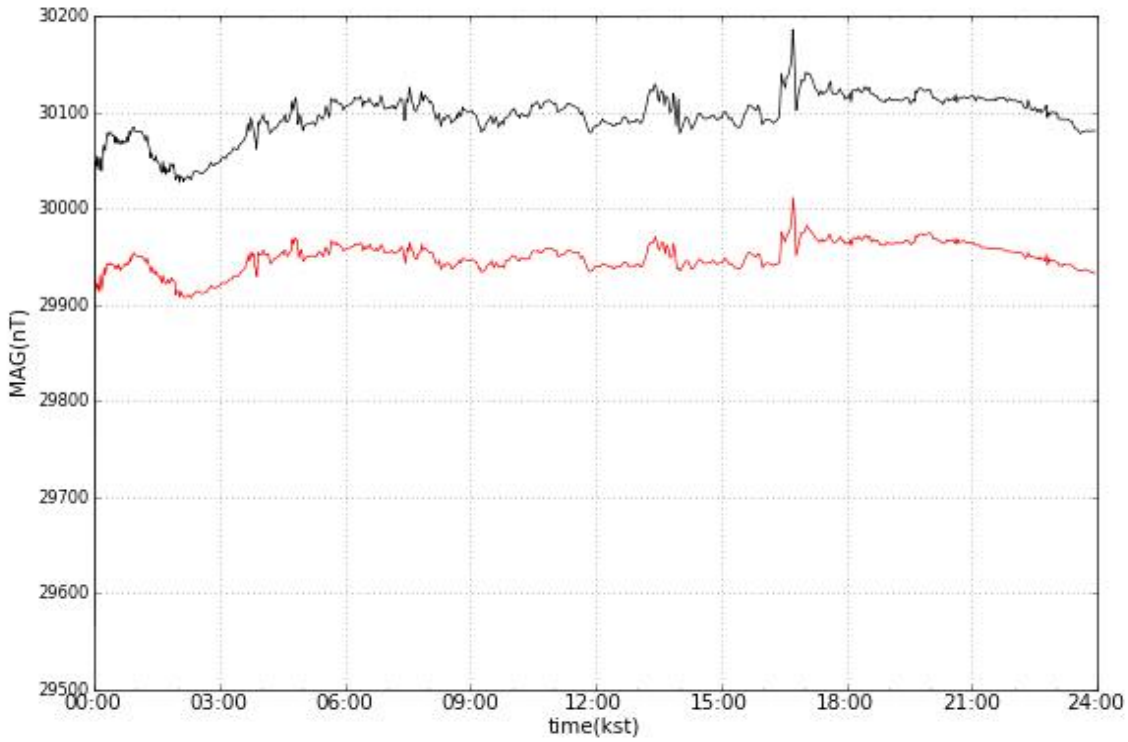
2002.04.20.



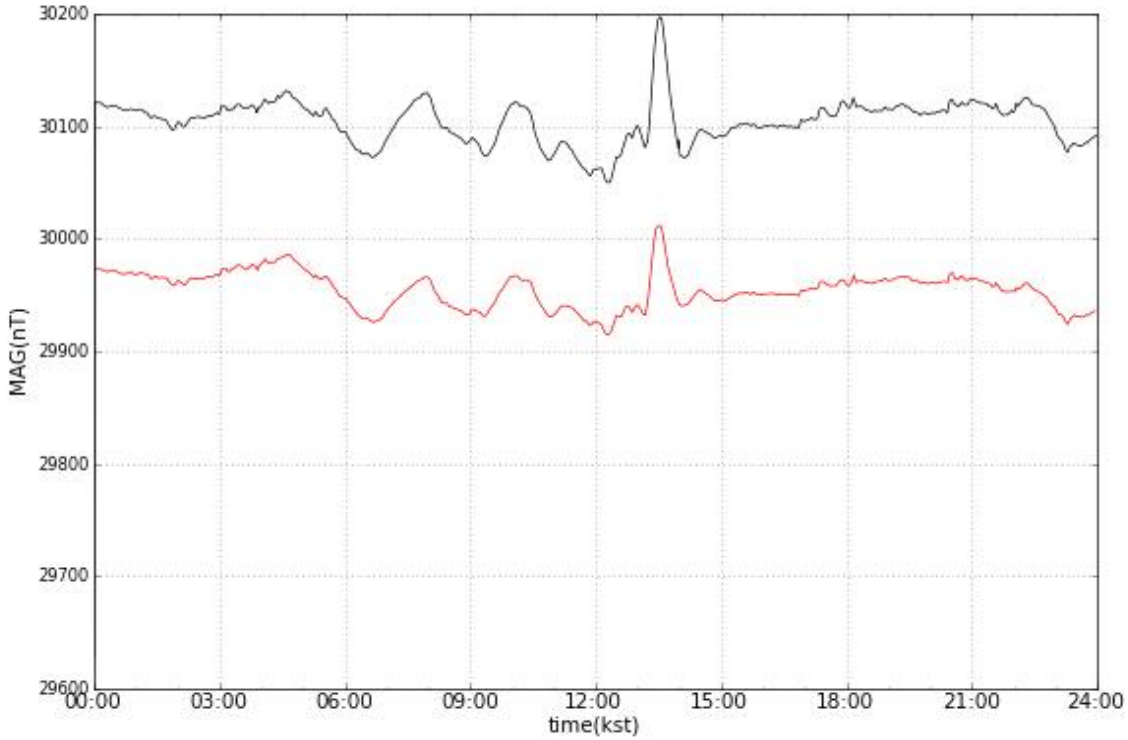
2003.05.29.



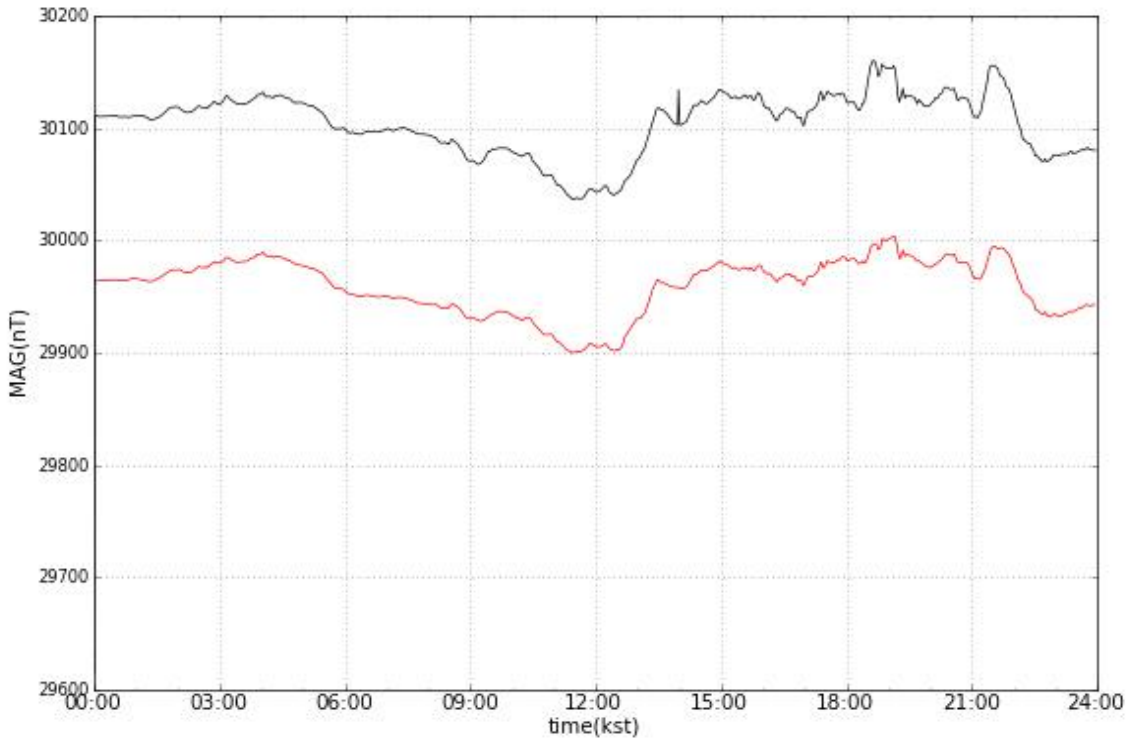
2003.05.30.



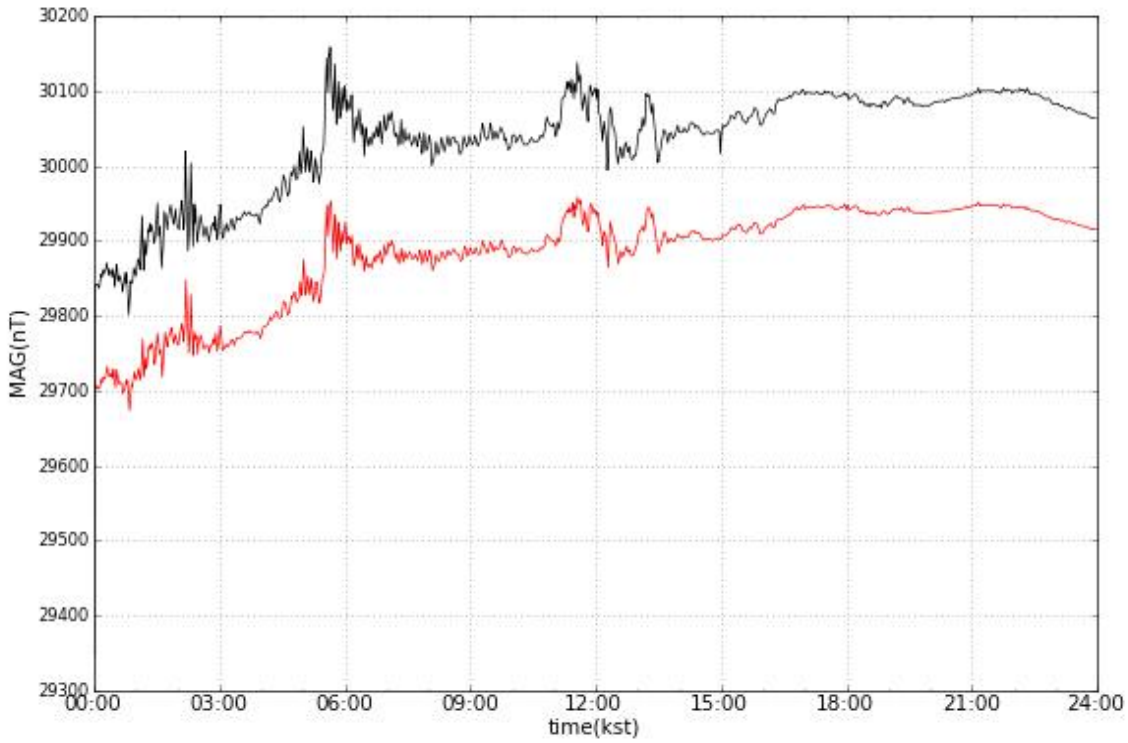
2003.09.17.

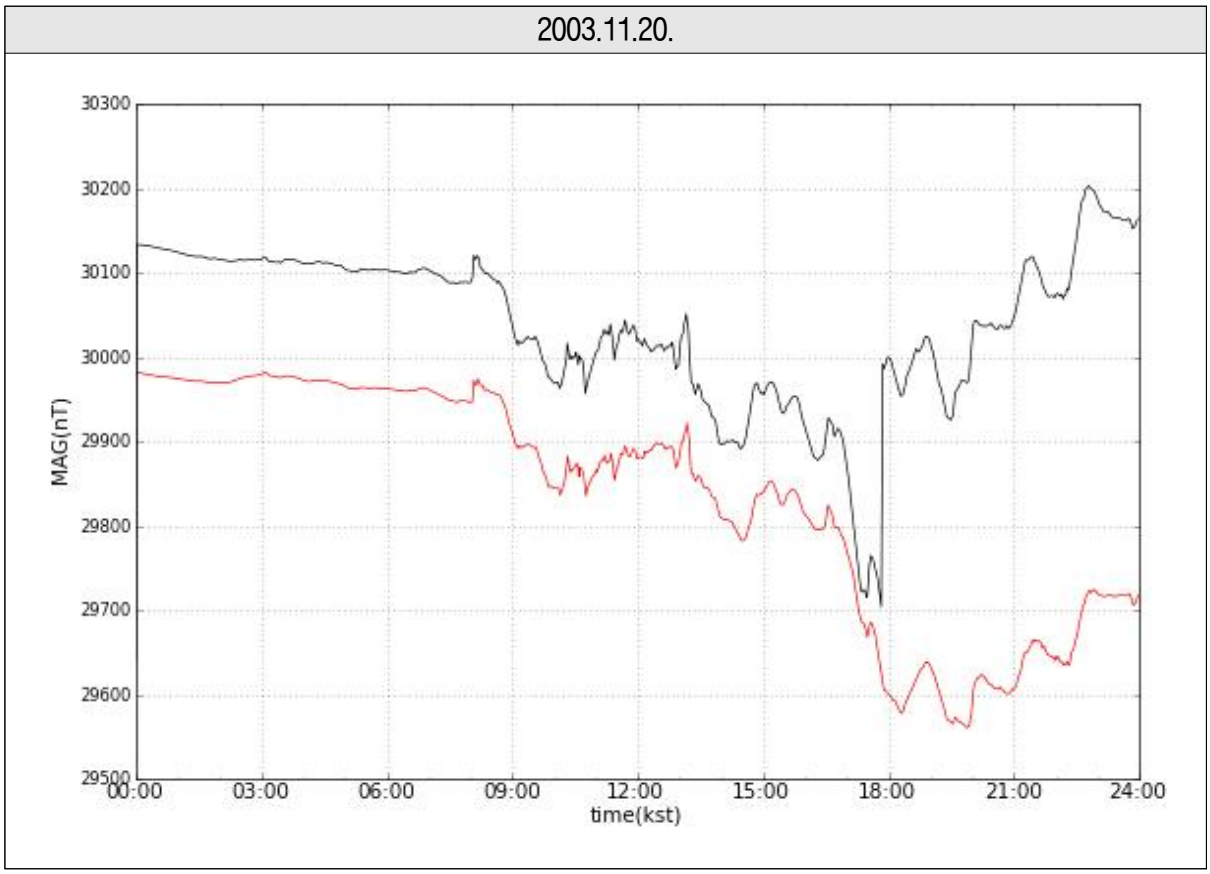


2003.10.14.



2003.10.31.





2004년과 2005년 이천과 일본 지자기 데이터에는 공통된 지자기 교란 이벤트가 검출되지 않아 분석대상에서 제외하였다.

제2절 과거 지자기 교란으로 인한 유도전류 예상값 산출

앞서 지자기 교란 이벤트로 추출된 일자의 이천 지자기 데이터와 지자기 유도전류 공통상관계수를 이용하여 이천지역 유도전류 예상값을 계산하여 [표 4-3]과 같이 정리하였다.

[표 4-3] 이천지역 유도전류 예상값 최대치(2000년~2003년)

일자	유도전류(A)	일자	유도전류(A)	일자	유도전류(A)
00.02.12	6.0	00.10.14	4.2	03.05.29	11.8
00.07.15	14.0	00.11.06	9.3	03.05.30	8.3
00.07.16	8.0	01.03.20	3.5	03.09.17	8.5
00.08.12	10.0	01.04.11	7.5	03.10.14	4.7

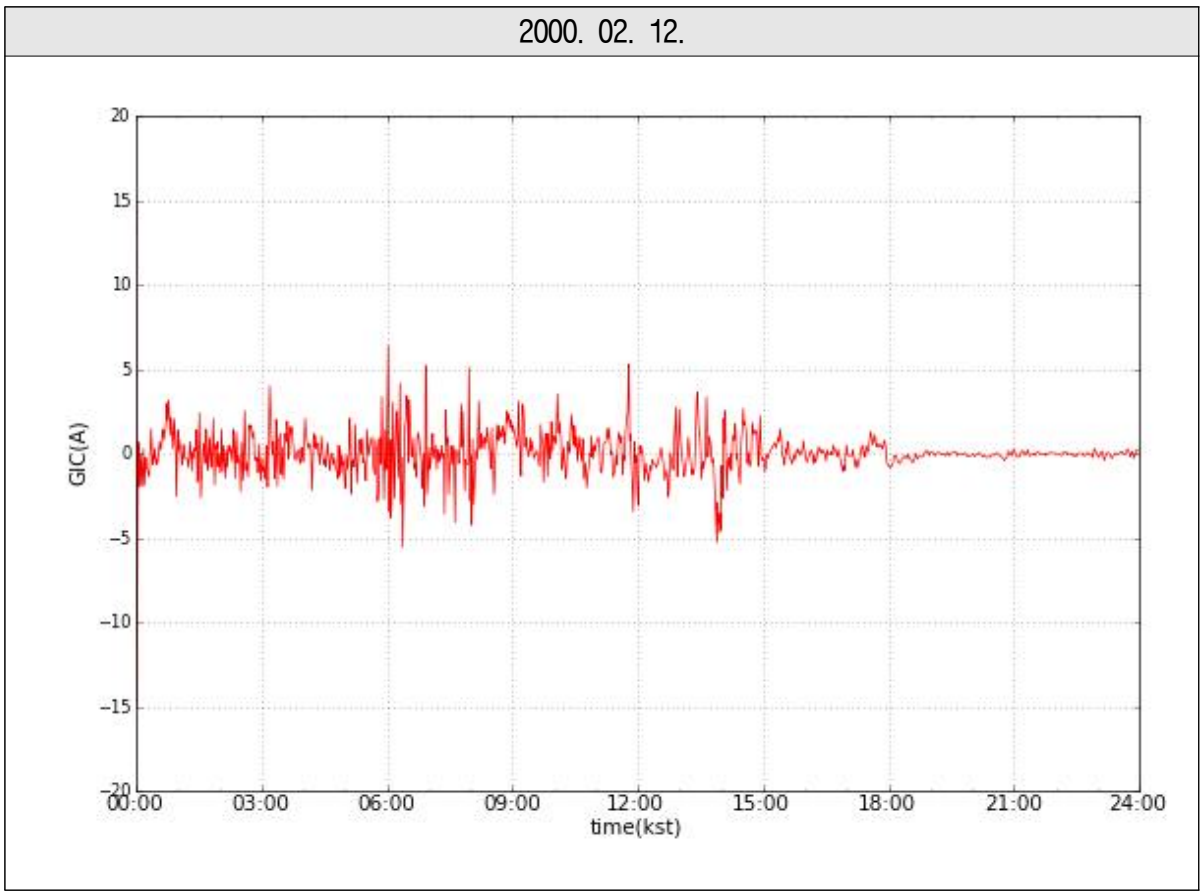
일자	유도전류(A)	일자	유도전류(A)	일자	유도전류(A)
00.09.17	10.5	01.04.12	7.4	03.10.31	14.8
00.09.18	14.0	01.04.13	10.0	03.11.20	13.2
00.09.30	5.1	01.11.06	7.2		
00.10.05	10.3	02.04.20	11.0		

유도전류 예상값을 지자기 교란 이벤트 기간 동안 유도전류 최대값을 나타낸다. 최대 15A 정도 유도전류가 발생했었던 것으로 계산된 날도 있었다.

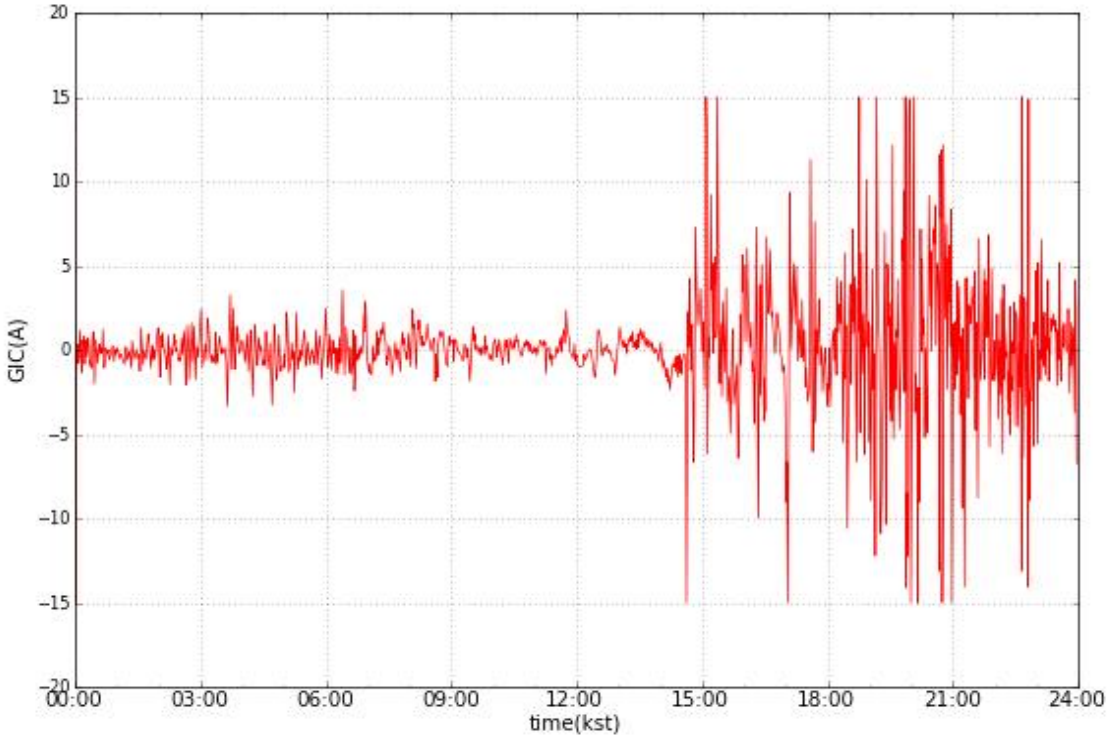
지자기 교란 데이터로 해당일의 유도전류를 추정한 계산값이기 때문에 지자기 데이터에 오류값이 관측되면 유도전류에도 이상값이 당연히 나타나게 된다. 대표적으로 유도전류 그래프 중에 2003년 10월 31일의 유도전류 추정값이 다른 유도전류 추정값과 다른 이유로 분석된다.

각각의 유도전류 예상값 결과는 [표 4-4]와 같다.

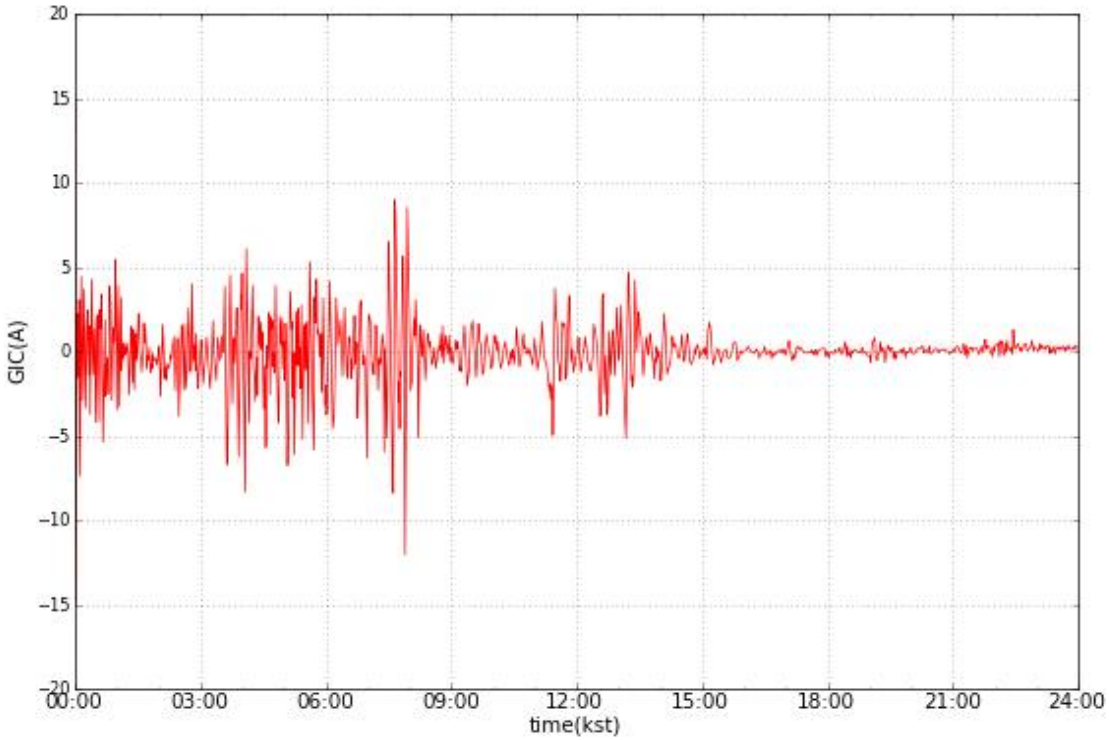
[표 4-4] 이천지역 유도전류 예상값 계산 결과 그래프



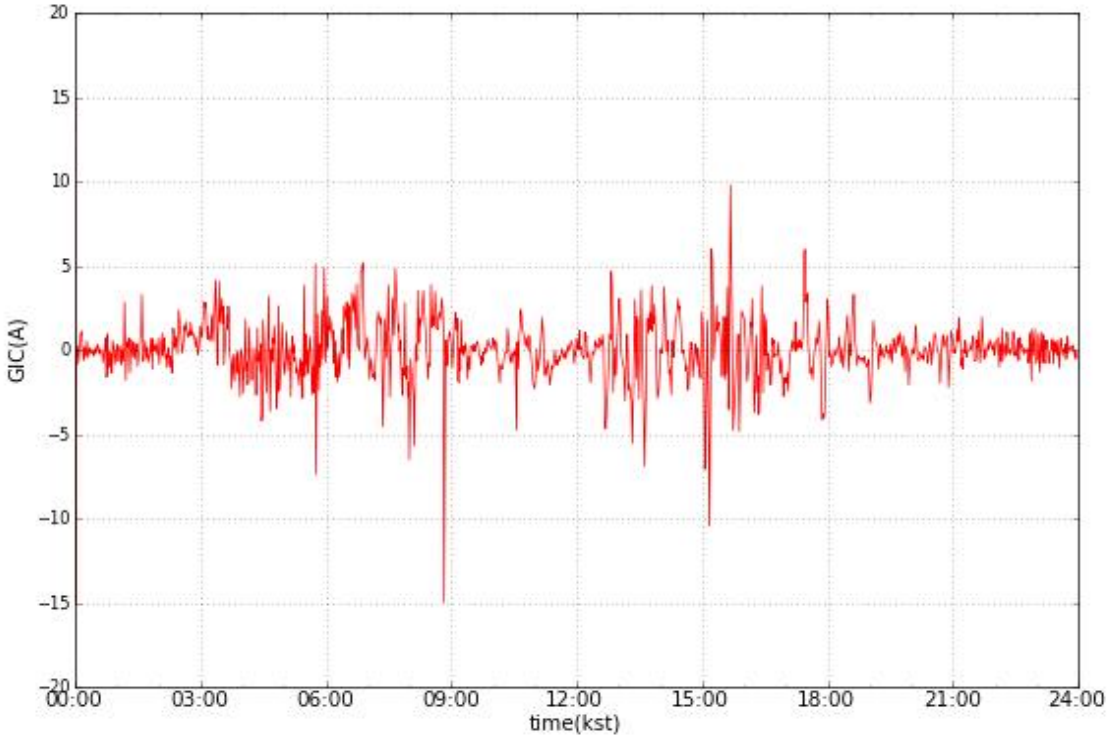
2000.07.15.



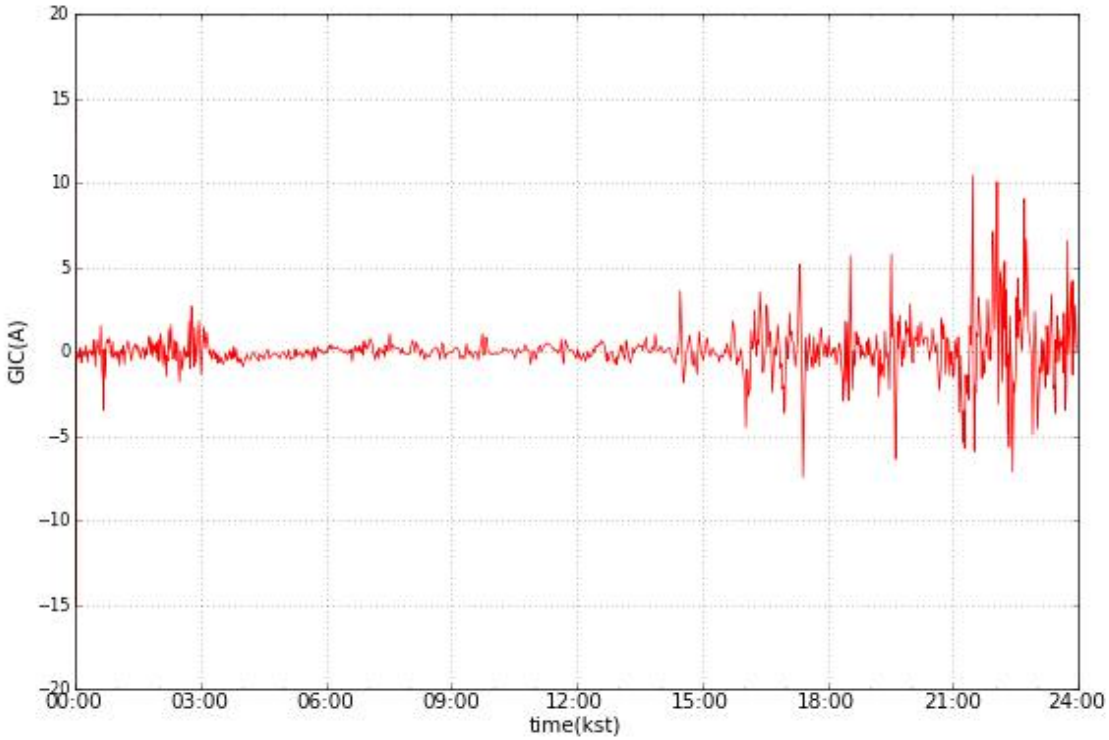
2000.07.16.



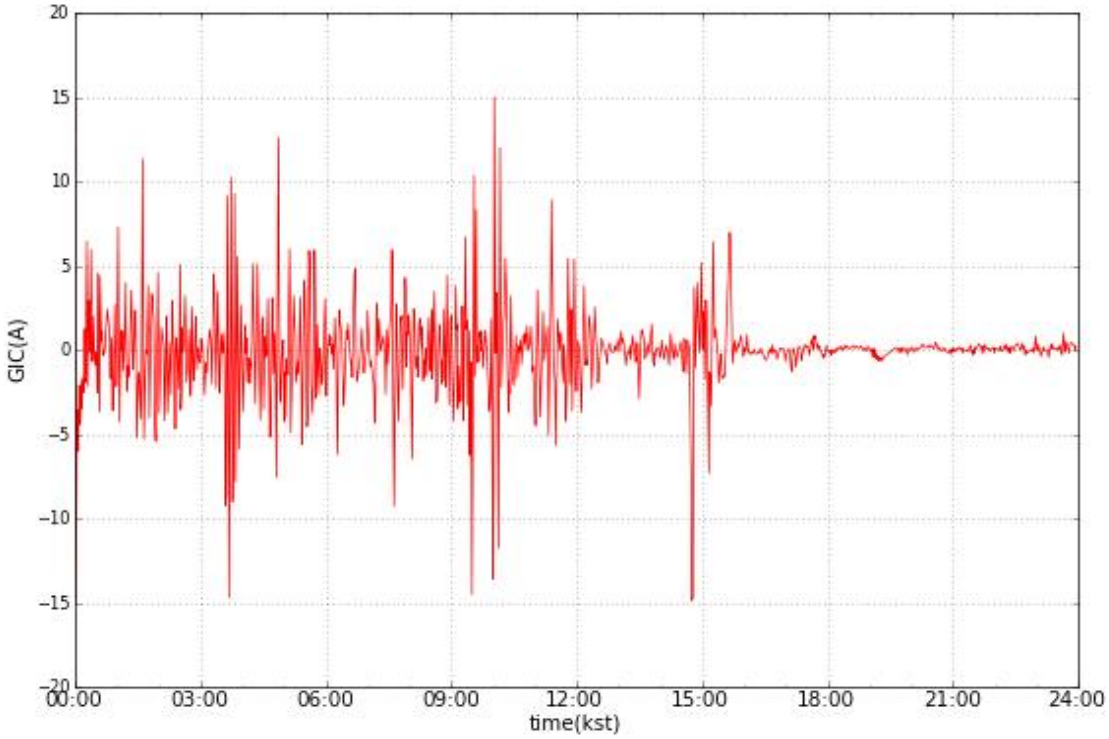
2000.08.12.



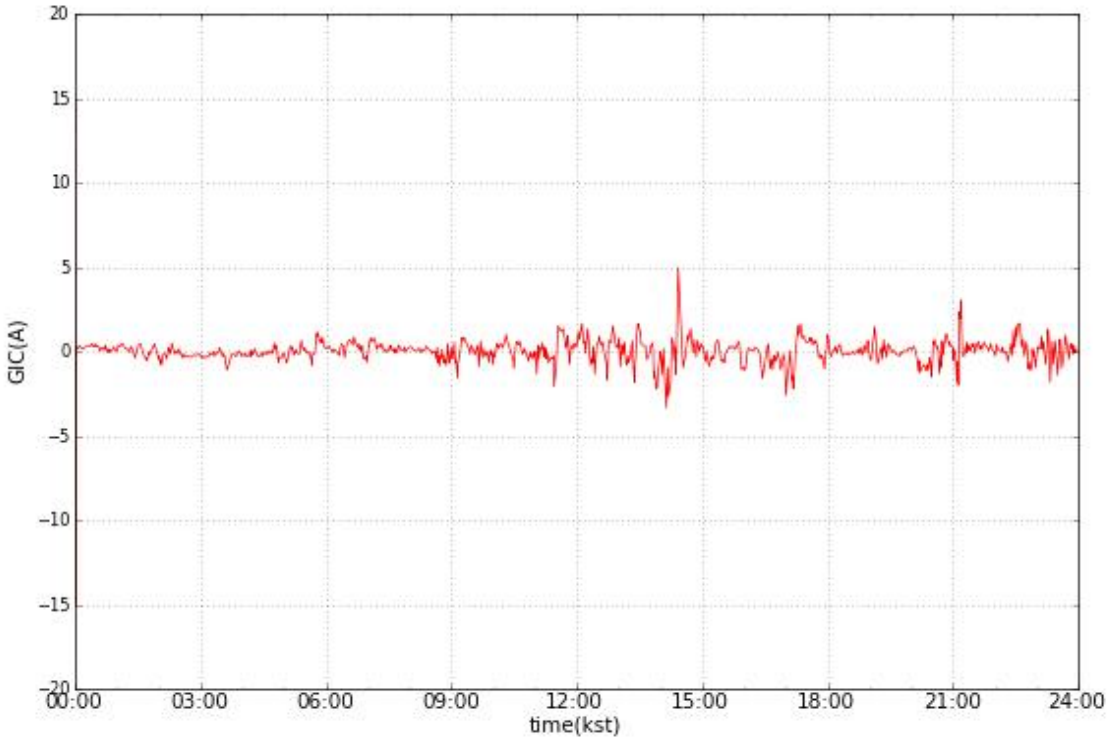
2000.09.17.



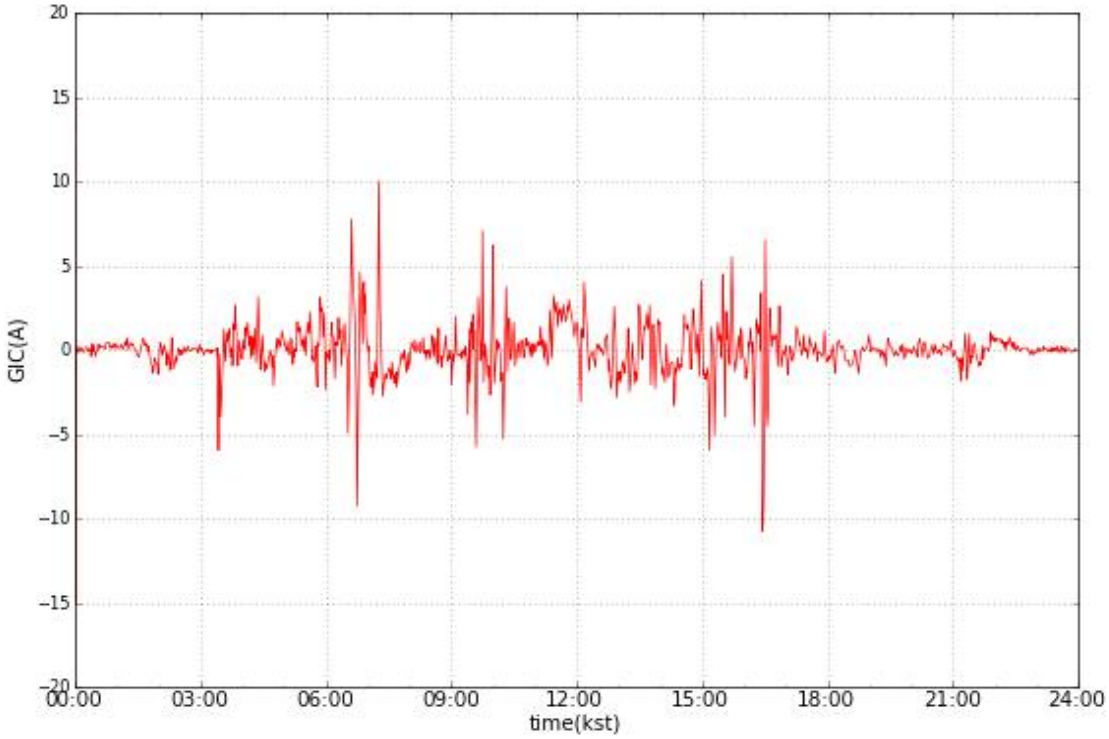
2000.09.18.



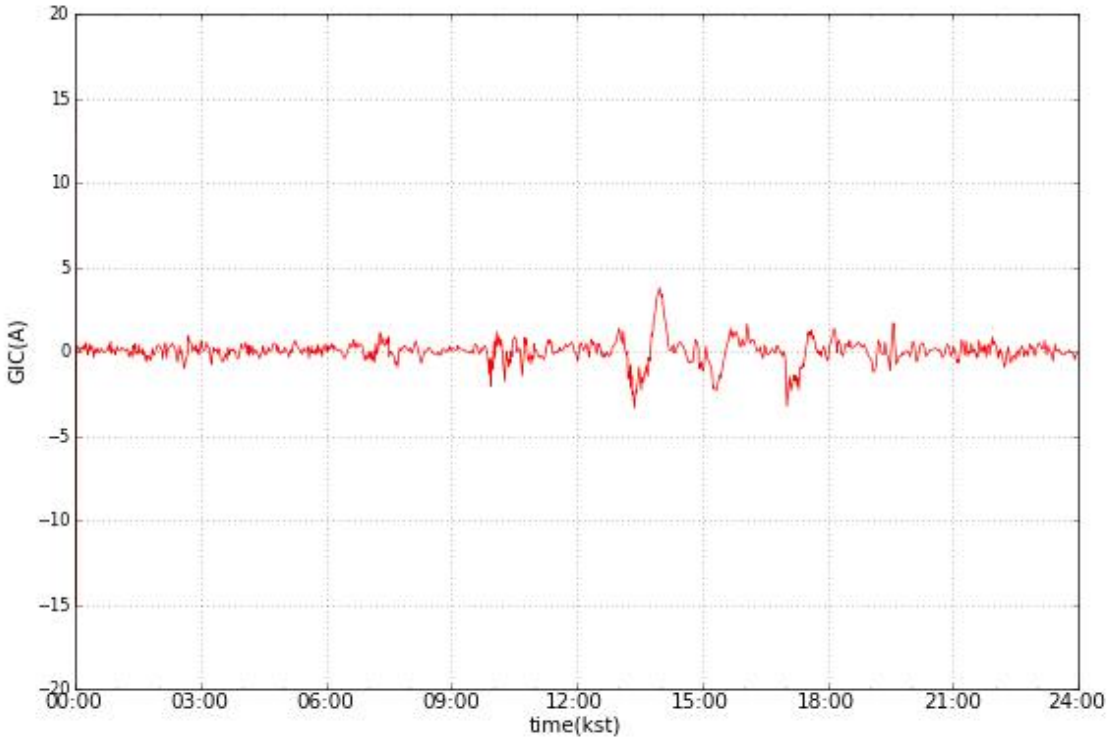
2000.09.30.



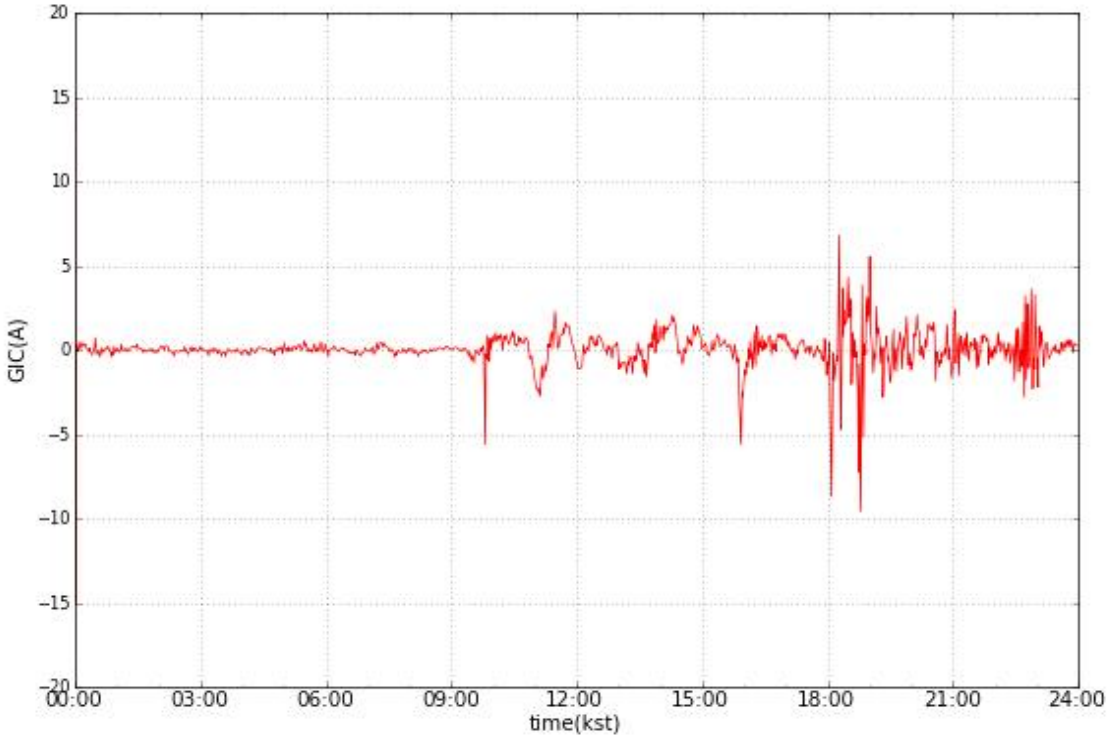
2000.10.05.



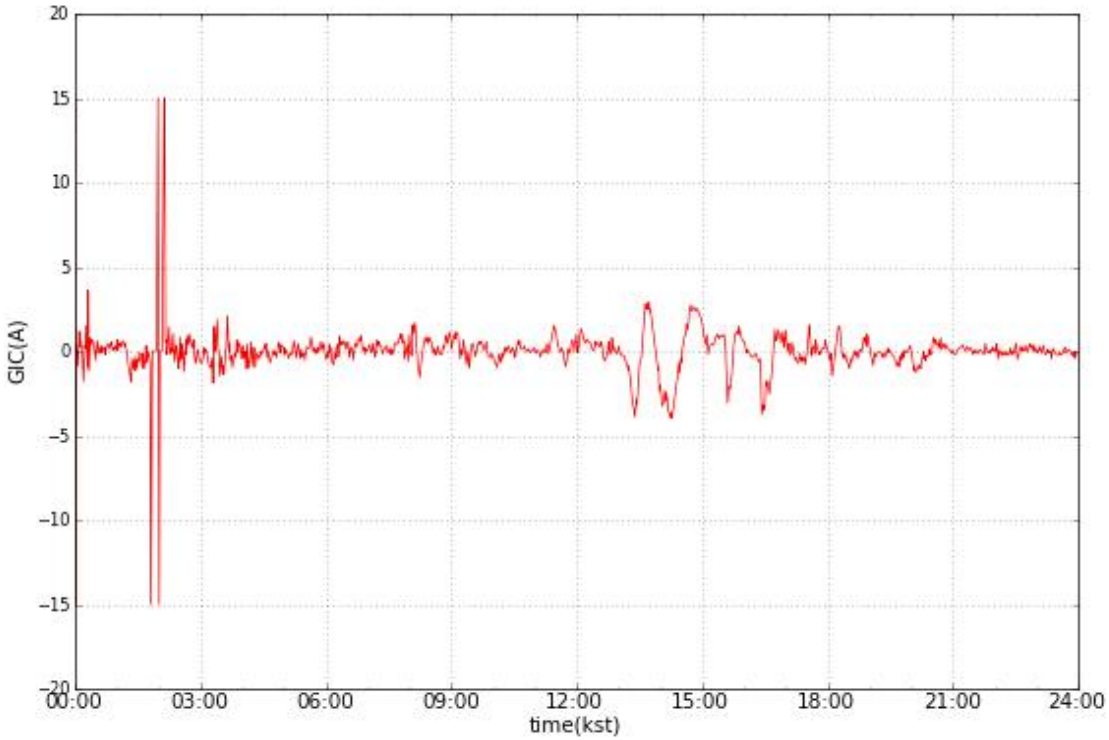
2000.10.14.



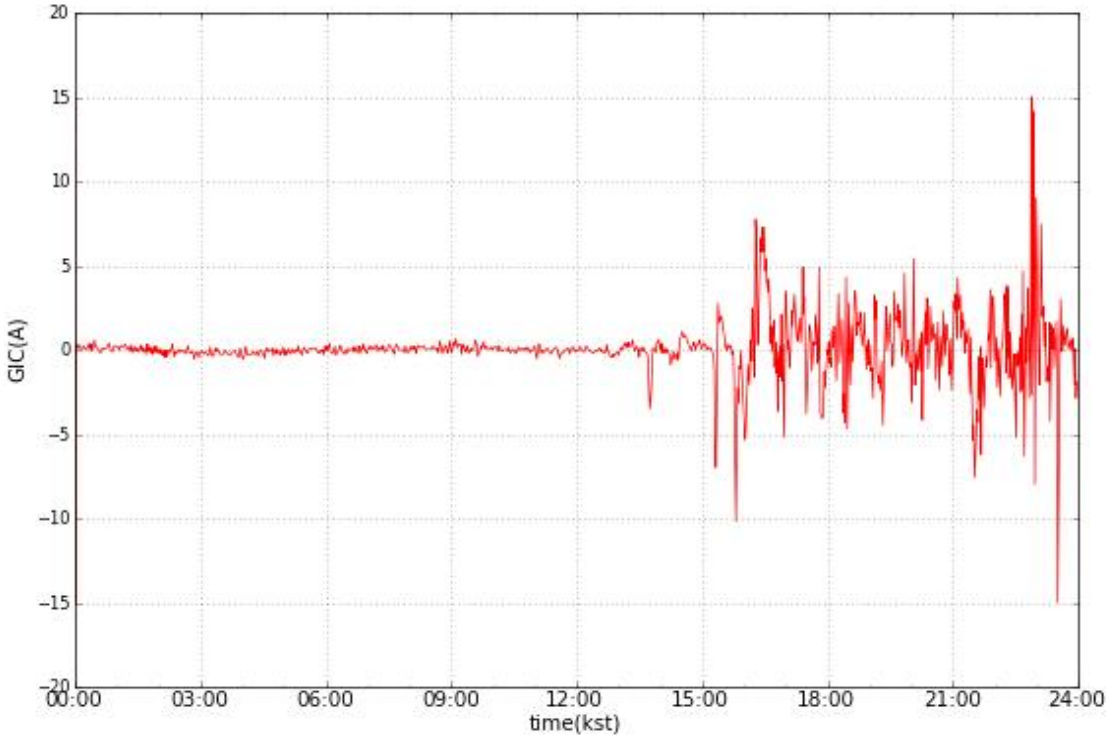
2000.11.06



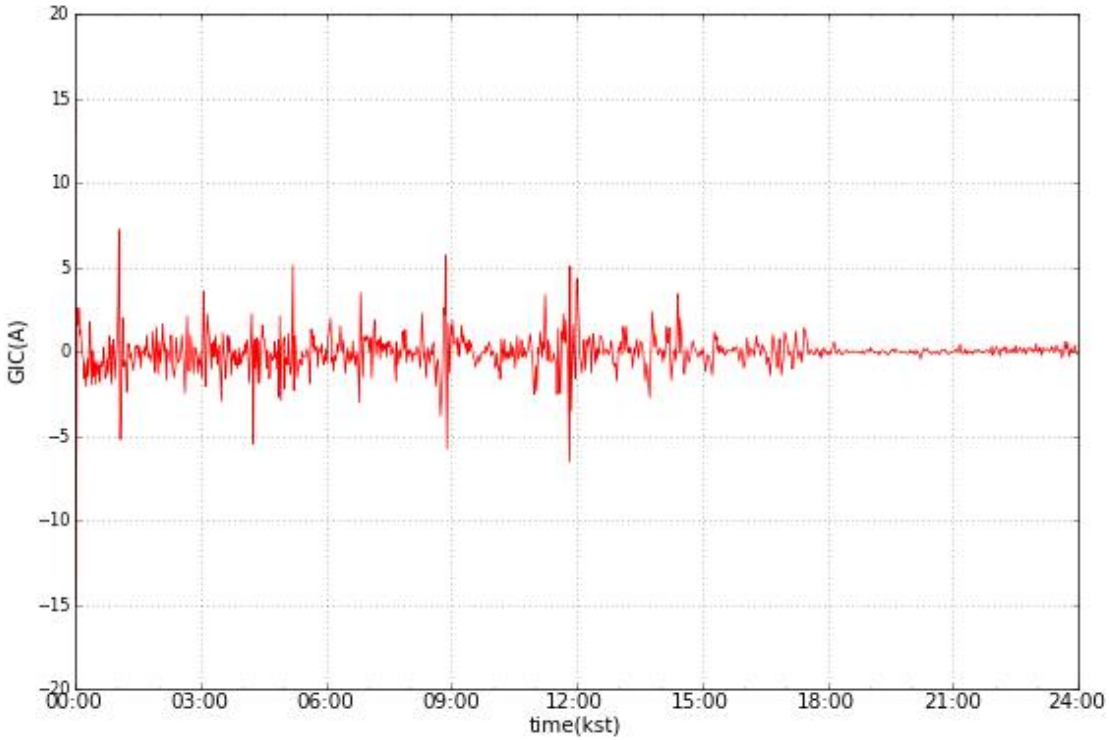
2001.03.20.



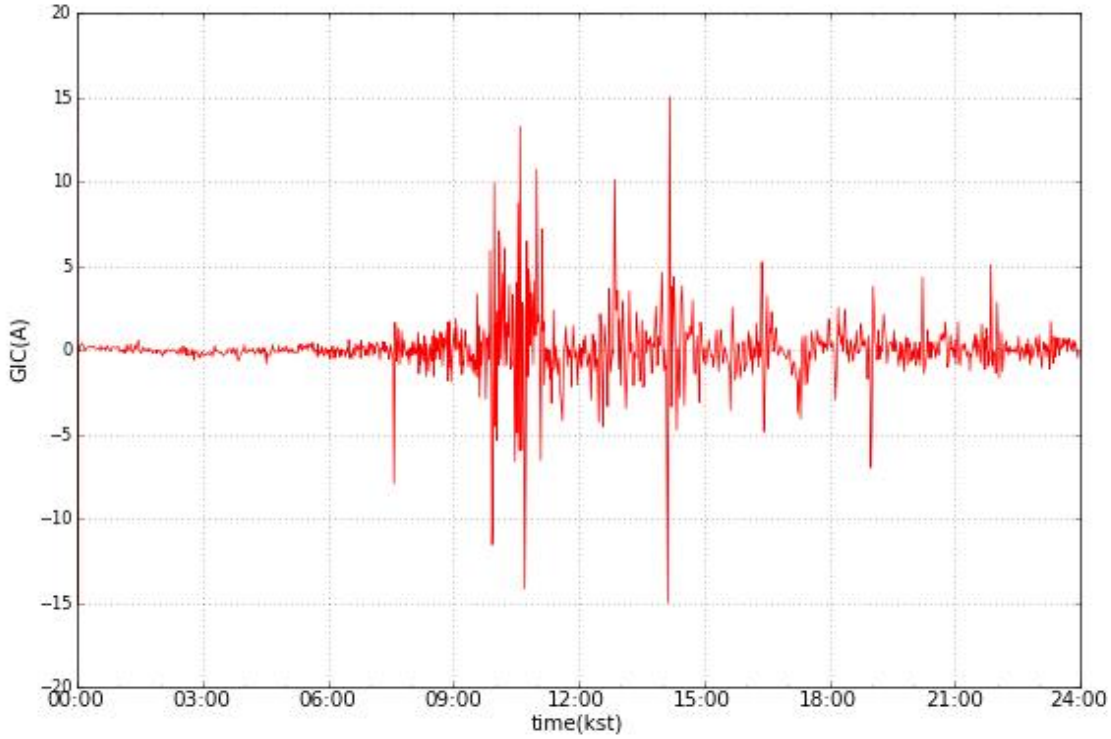
2001.04.11.



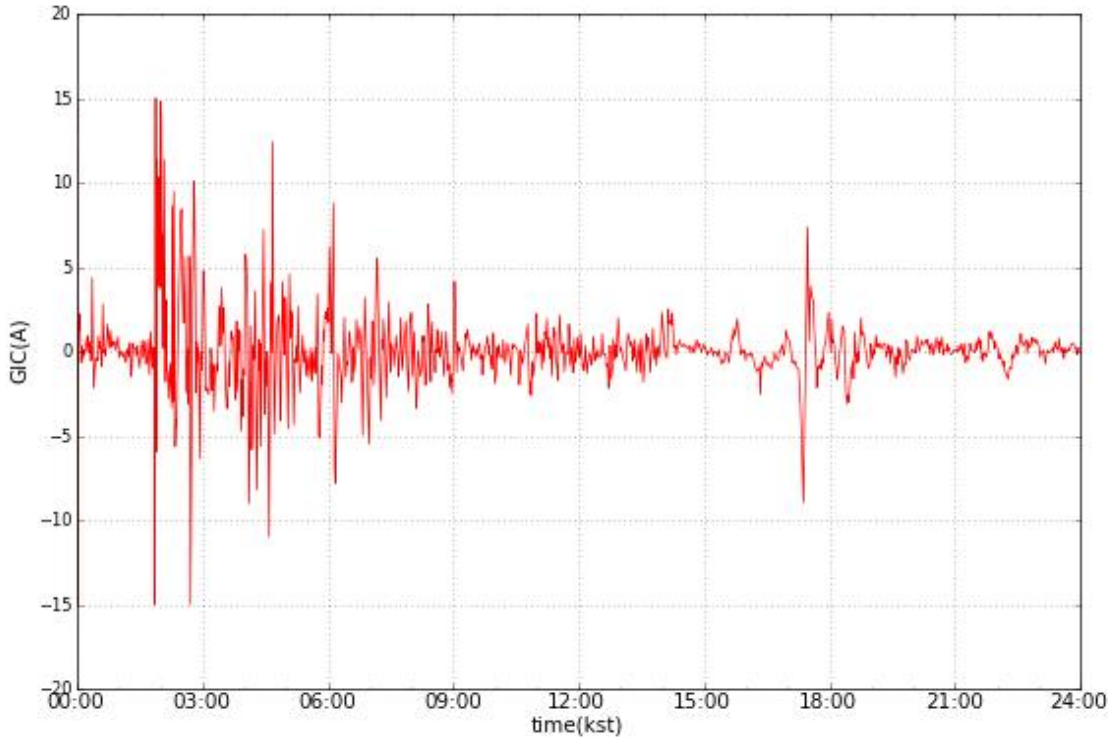
2001.04.12.



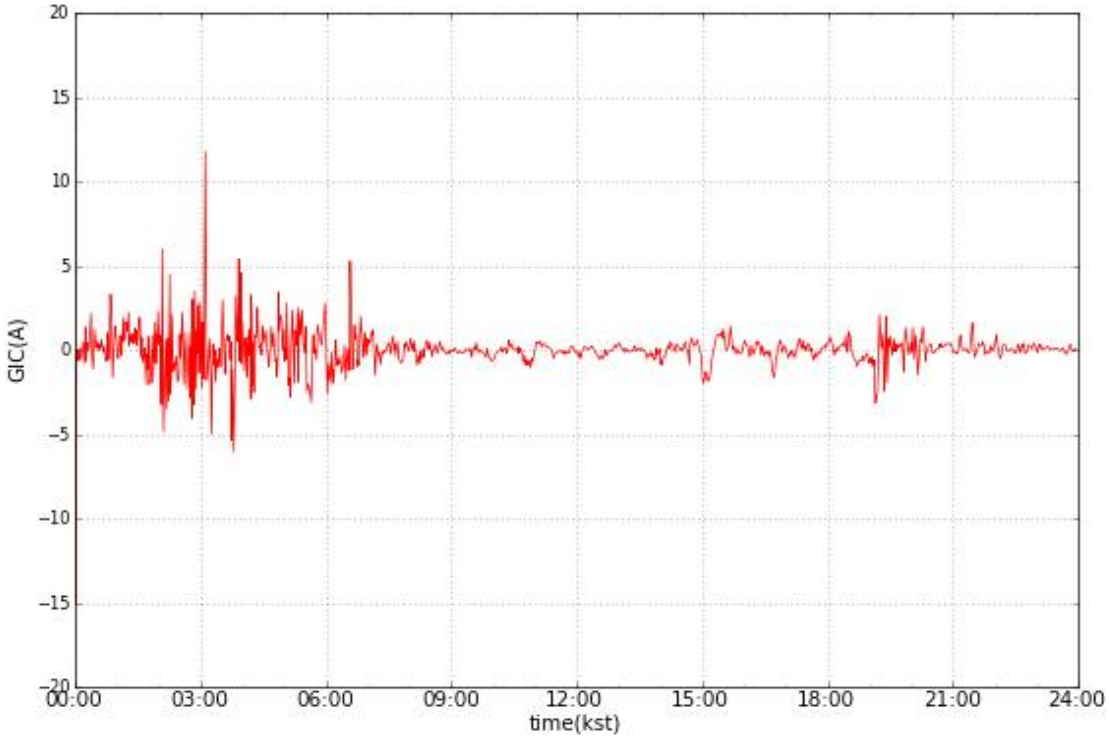
2001.04.13.



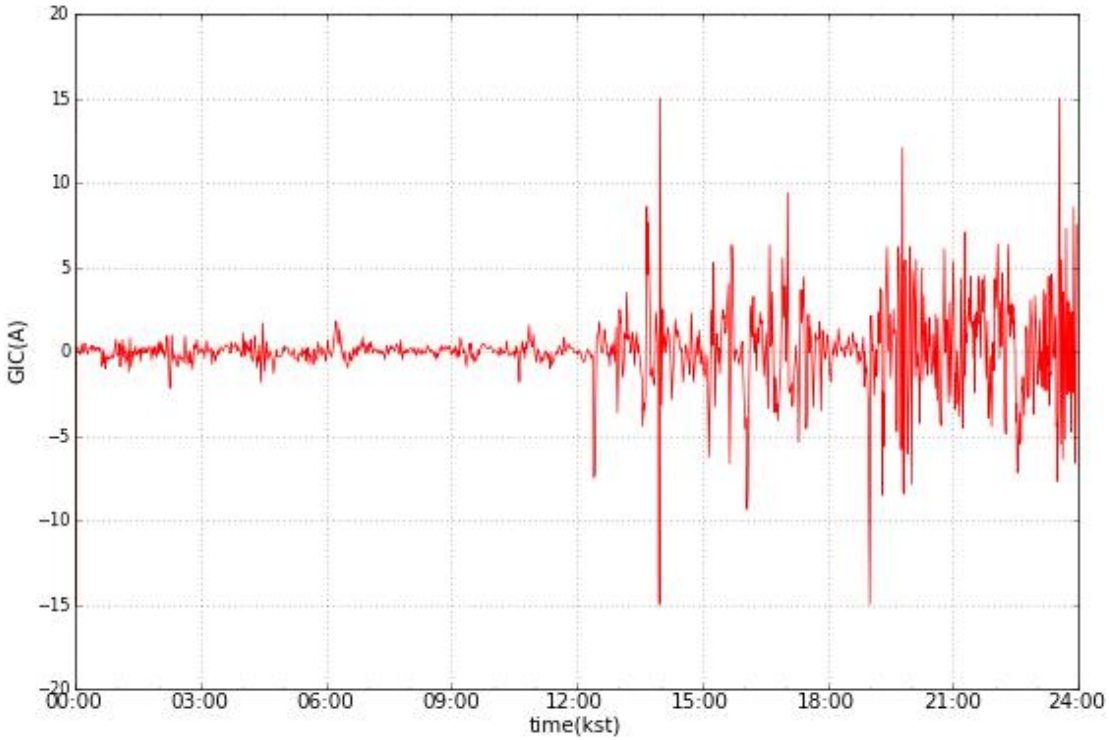
2001.11.06.



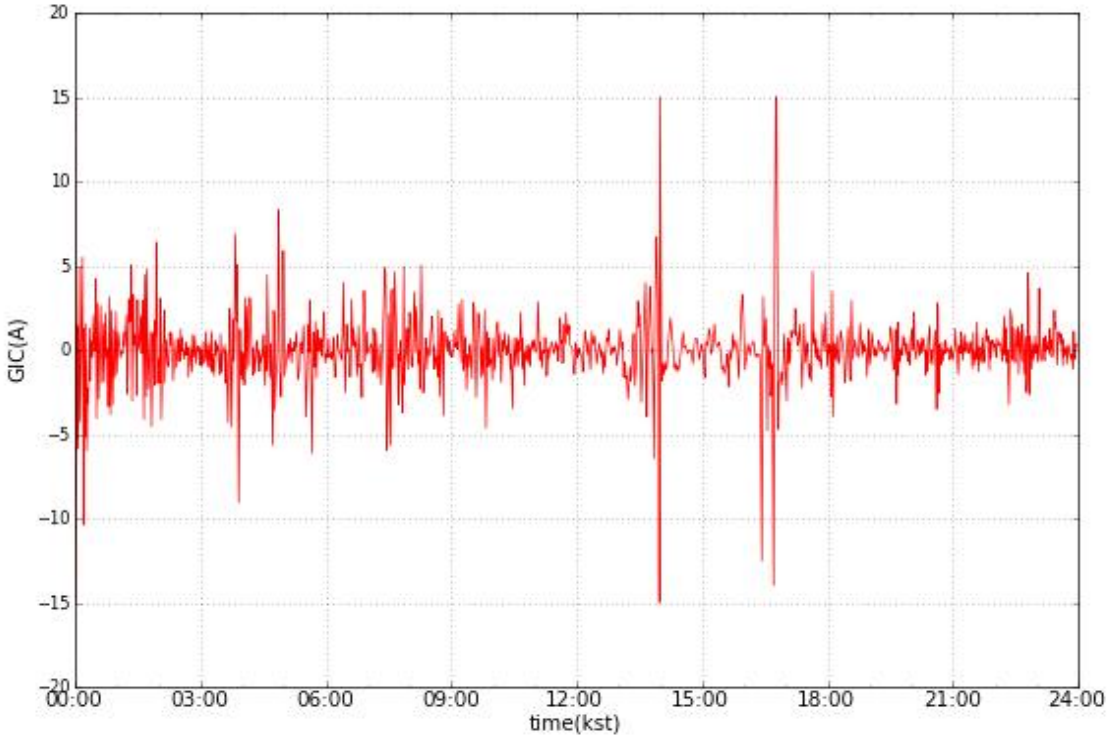
2002.04.20.



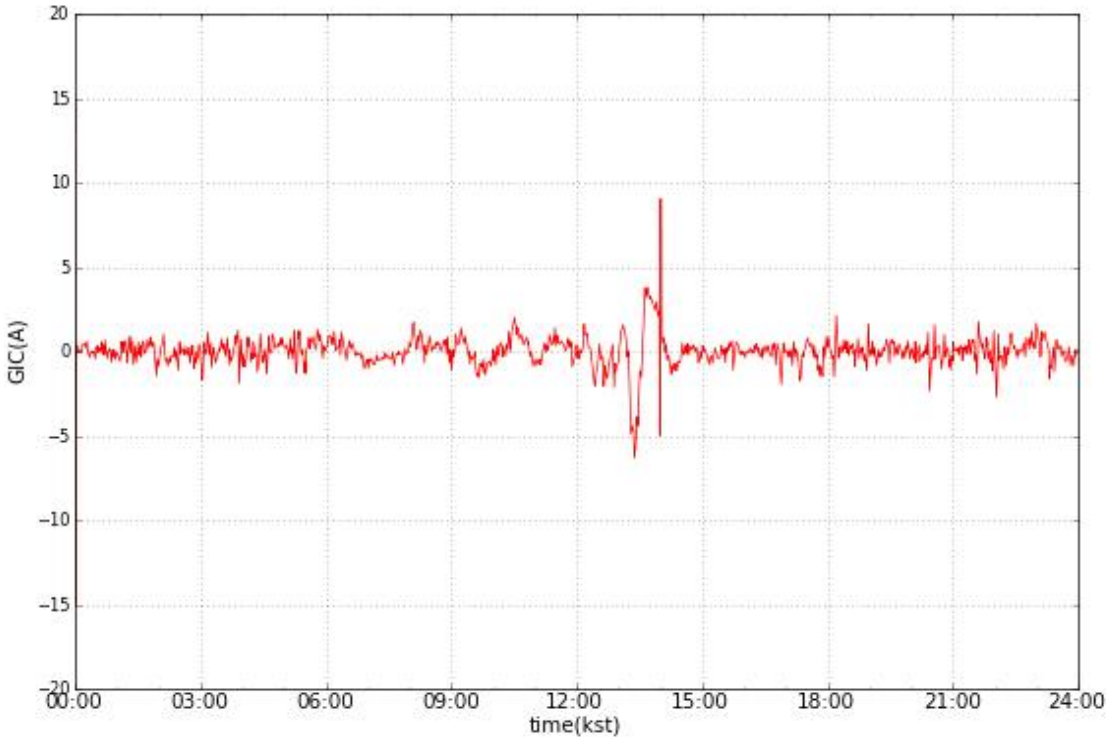
2003.05.29.



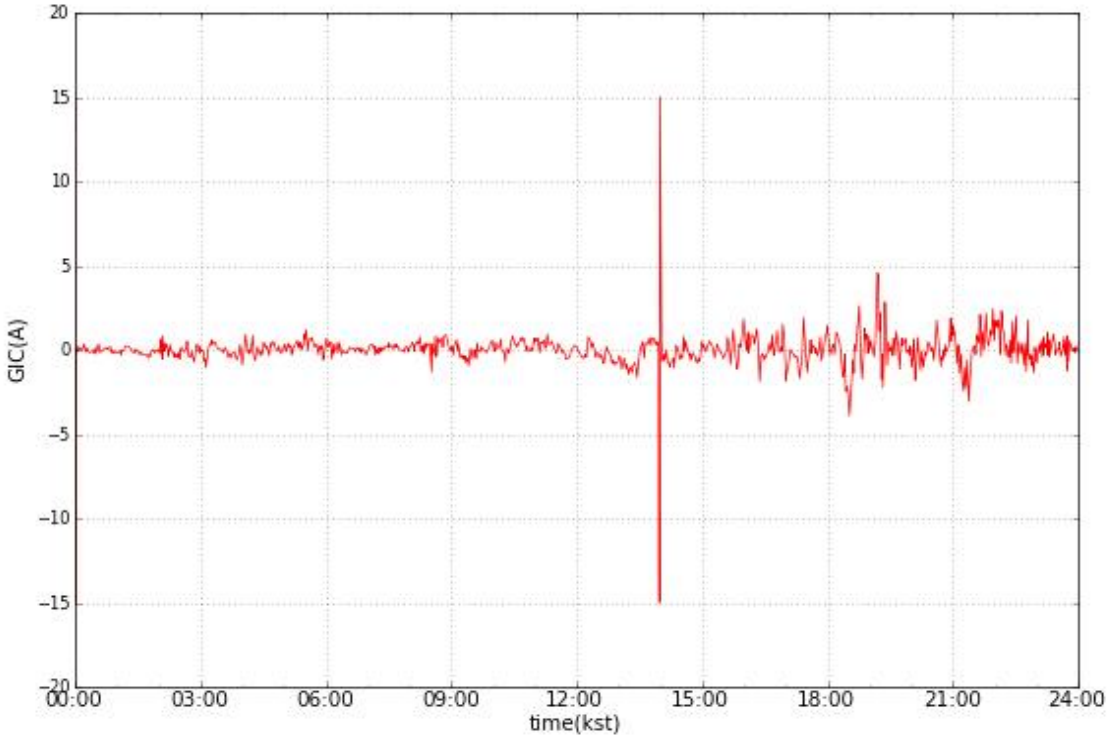
2003.05.30.



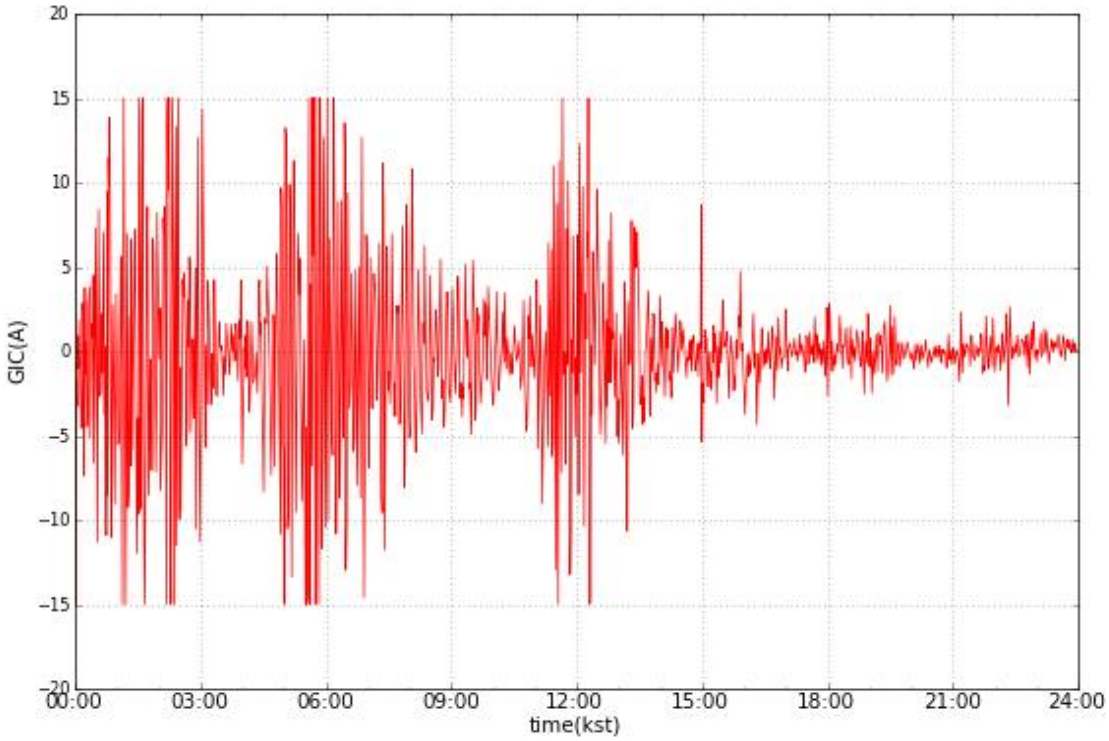
2003.09.17.



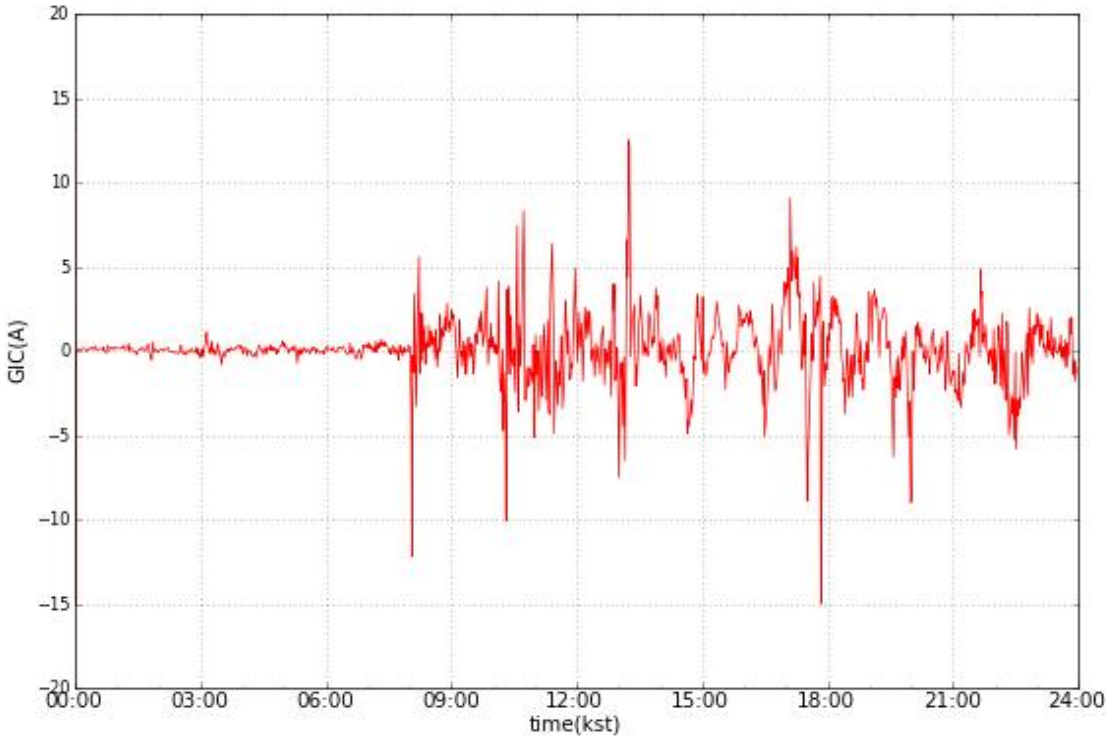
2003.10.14.



2003.10.31.



2003.11.20.

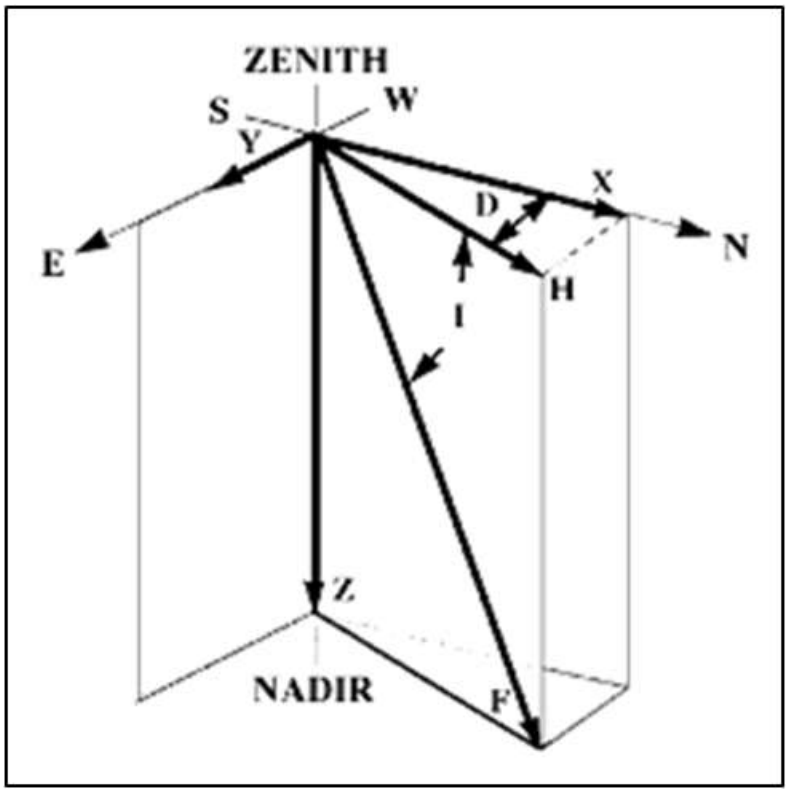

20
15
10
5
0
−5
−10
−15
−20
GIC(A)
00:00
03:00
06:00
09:00
12:00
15:00
18:00
21:00
24:00
time(kst)

제5장 지자기 기준값 측정결과 분석

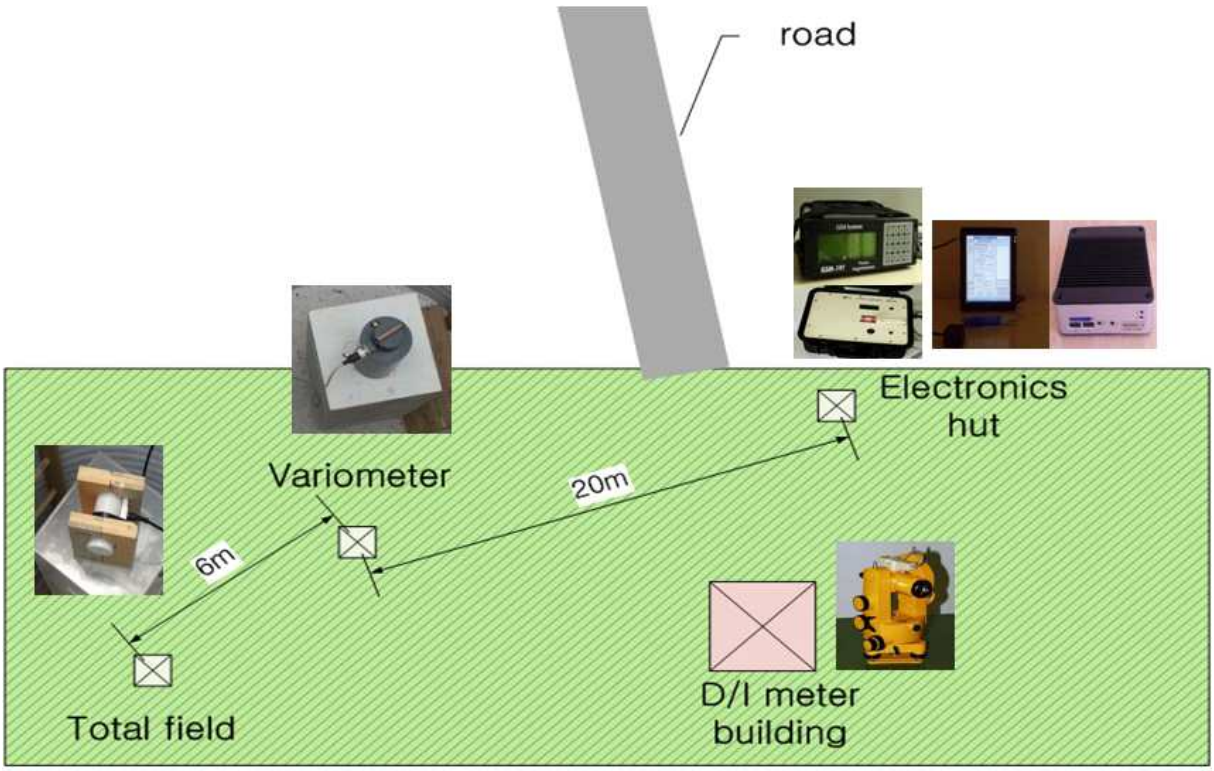
제1절 이천 지자기 기준값 측정 데이터 분석

지자기 기준값 측정은 한 지점에서 자기장 벡터의 세기와 방향을 직접 측정하는 것으로 볼 수 있다. 지자기 기준값을 측정하기 위해서는 좌표를 알고 있는 기준점과 D/I Meter, 그리고 지자기 관측값이 필요하다. D/I Meter로 측정하는 것은 지자기 3 요소 중 편각과 복각을 측정한다. 지자기 3요소는 일반적으로 총지구자기장, 편각, 복각을 나타낸다.

복각은 수평면을 기준으로 측정되고, 편각은 진북을 기준으로 측정한다. 인터마그넷에서 요구하고 있는 안정적인 지가기 기준값 변화량은 지자기 관측소 전체 데이터의 품질을 보증 할 수 있는 하나의 수단이 되므로 정밀하게 기준값을 측정하고 관리하는 것이 중요하다.



[그림 5-1] 지구자기장의 3요소



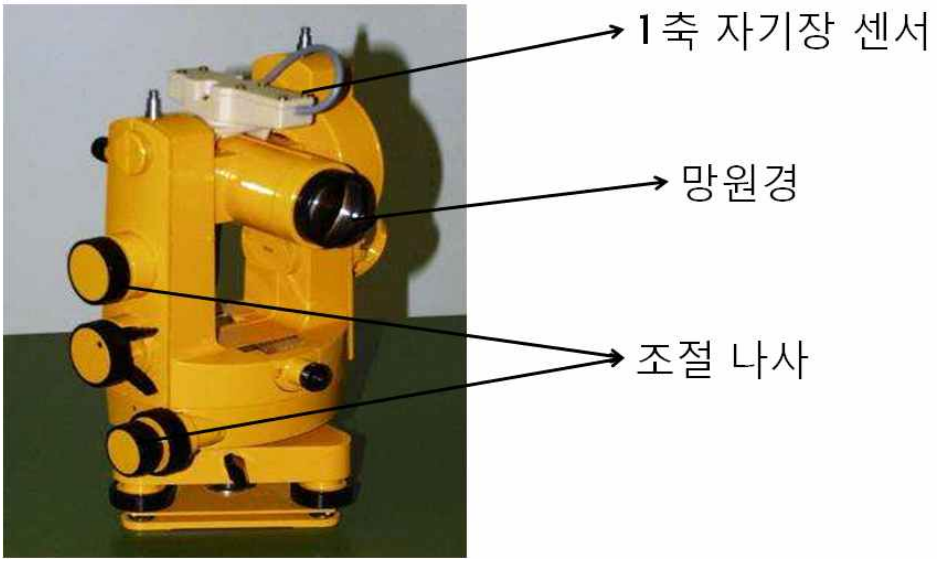
[그림 5-2] 이천 지자기 관측소 구성도

이천 지자기 관측소는 기존에 있던 지자기 관측장비가 노후되어 2013년에 교체 설치하였다. 이에 따라 인터마그넷에서 요구하는 지자기 데이터의 품질을 보증하기 위해 지자기 기준값을 2013년 하반기부터 측정해 오고 있다.

지자기 기준값 측정을 위해서는 편각과 복각을 측정할 수 있는 자력계가 달린 D/I Meter와 지자기 기준값 측정지점에서 정확한 방위각을 알고 있는 기준지점이 필요하다.

한국지질자원 연구원에서 2013년에 측정한 이천 관측소 기준지점의 방위각은 346도 14분 47초 이다. 이 방위각은 지자기 기준값을 계산할 때 중요한 파라미터로 사용된다.

[그림 5-3] 이천 지자기 관측소 기준값측정을 위한 기준지점



[그림 5-4] D/I Meter

지자기 기준값 측정은 기본적으로 정밀한 측량이 요구되므로 측정오차와 장비의 오차를 최대한 줄이기 위해 여러 번 측정을 수행해야 한다.

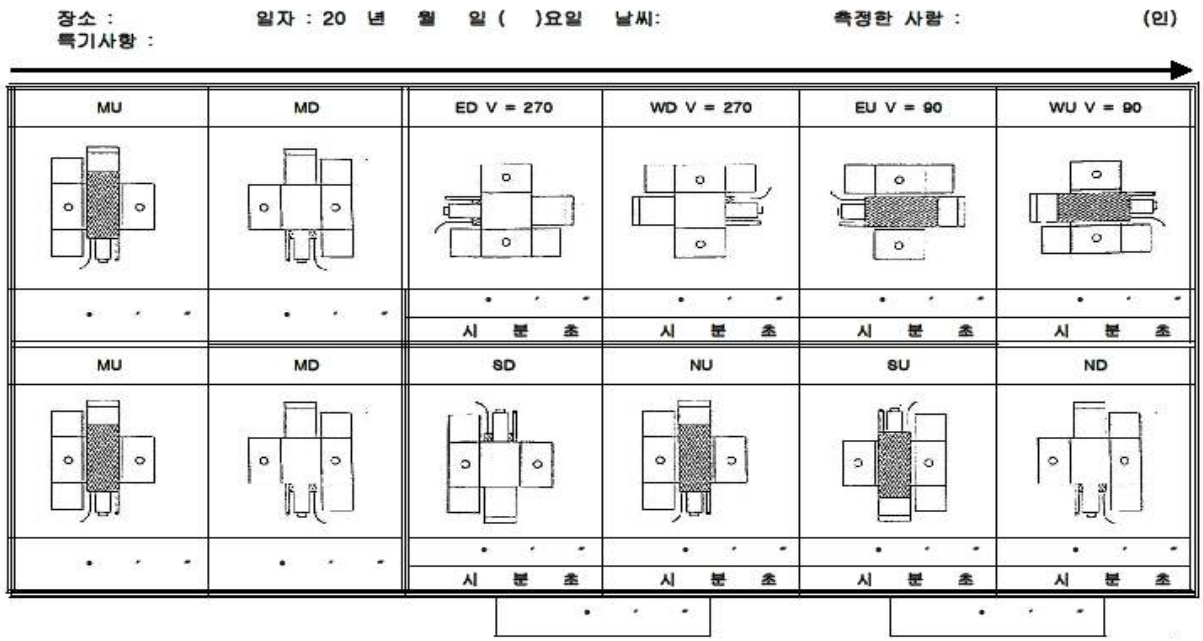
기본적으로 [그림 5-5]와 같은 순서로 측정을 수행하고 반복적으로 4회 이상 측정하여 지자기 기준값 데이터를 산출한다.

[그림 5-5] 지자기 기준값 측정 방법

또한 지자기 측정장비는 자성물체 등에 예민하게 반응하므로 측정자는 지자기 기준값 측정시 자성물체를 소지하고 있어서는 안된다.

이렇게 측정된 지자기 기준값을 [그림 5-6]과 같은 시트에 측정시간과 측

정값을 기입하여 지자기 기준값을 산출한다.



[그림 5-6] 지자기 기준값 측정데이터 시트

지자기 기준값은 매주 동일한 날, 동일한 시간대에 측정을 실시하고 데이터를 관리했다. 지자기 측정장비의 오류와 고장 등으로 측정을 실시하지 못한 날도 있었지만 2013년 하반기부터 지금까지 지자기 기준값 측정 데이터를 [표 5-1]과 같이 지속적으로 축적해 오고 있다.

[표 5-1] 지자기 기준값 측정 결과(2013.11 ~ 2014.11)

일 자	Base Line(H)	Base Line(D)	Base Line(Z)	Total F
20013. 11.19	30191.61	-4189.82	40637.99	50625.87
11.26	30195.09	-4195.21	40635.64	50626.07
12.03	30197.35	-4189.93	40633.9	50626.02
12.10	30193.29	-4191.39	40636.93	50626.02
12.17	30195.51	-4195.52	40635.6	50626.29
12.23	30192.07	-4192.95	40638.21	50626.33
12.30	30197.56	-4198.22	40634.37	50626.52
2014. 01.07	30195.6	-4193.96	40635.78	50626.48

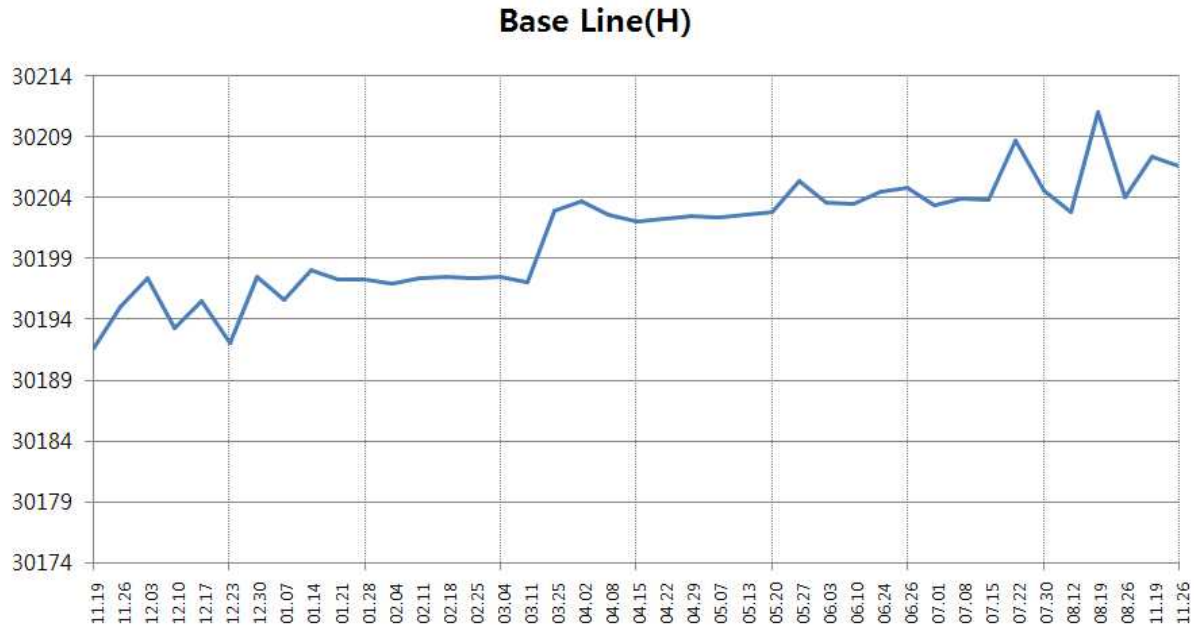
일 자	Base Line(H)	Base Line(D)	Base Line(Z)	Total F
01.14	30198.11	-4195.4	40633.64	50626.26
01.21	30197.3	-4194.59	40634.13	50626.17
01.28	30197.34	-4198.07	40634.8	50626.74
02.04	30196.94	-4193.95	40634.15	50625.97
02.11	30197.35	-4195.42	40634.69	50626.65
02.18	30197.55	-4197.89	40634.67	50626.76
02.25	30197.37	-4197.63	40634.39	50626.42
03.04	30197.53	-4198.88	40634.12	50626.30
03.11	30197.07	-4197.92	40634.98	50626.72
03.25	30202.90	-4131.87	40619.78	50618.00
04.02	30203.69	-4131.87	40619.78	50618.47
04.08	30202.57	-4132.70	40619.84	50617.85
04.15	30202.11	-4133.66	40619.19	50617.05
04.22	30202.34	-4135.87	40619.03	50617.06
04.29	30202.50	-4135.39	40619.39	50617.45
05.07	30202.38	-4134.64	40618.67	50616.80
05.13	30202.64	-4136.45	40617.44	50615.96
05.20	30202.89	-4136.42	40617.76	50616.37
05.27	30205.35	-4136.39	40617.61	50617.72
06.03	30203.57	-4141.69	40616.95	50616.13
06.10	30203.48	-4140.86	40615.57	50614.97
06.24	30204.47	-4140.33	40614.93	50615.04
06.26	30204.82	-4142.10	40613.71	50614.27
07.01	30203.44	-4139.44	40614.52	50614.10
07.08	30203.95	-4139.10	40613.82	50613.84
07.15	30203.86	-4136.24	40613.87	50613.83
07.22	30208.78	-4138.30	40610.43	50614.00
07.30	30204.59	-4137.51	40612.82	50613.42
08.12	30202.84	-4139.48	40614.65	50613.85

일 자	Base Line(H)	Base Line(D)	Base Line(Z)	Total F
08.19	30211.10	-4135.33	40609.27	50614.46
08.26	30204.05	-4137.07	40614.19	50614.20
11.19	30207.43	-4132.08	40617.07	50618.53
11.26	30206.57	-4132.58	40617.49	50618.35

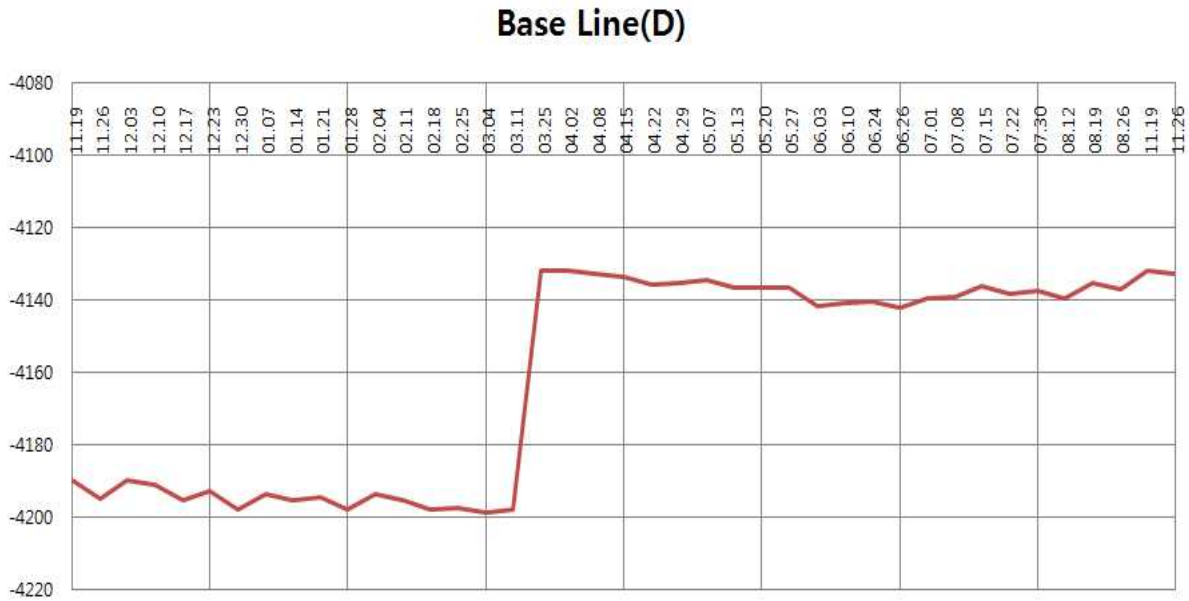
2014년 8월 말부터 관측기 업그레이드 때문에 지자기 기준값 측정을 실시하지 않고 2014년 11월부터 기준값 측정을 재개하였다.

[표 5-2] 지자기 기준값 최대값과 최소값

구분	Base Line(H)	Base Line(D)	Base Line(Z)	Total F
최대값	30211.10	-4131.87	40638.21	50626.76
최소값	30191.61	-4198.88	40609.27	50613.42
편차	19.49	67.01	28.94	13.33

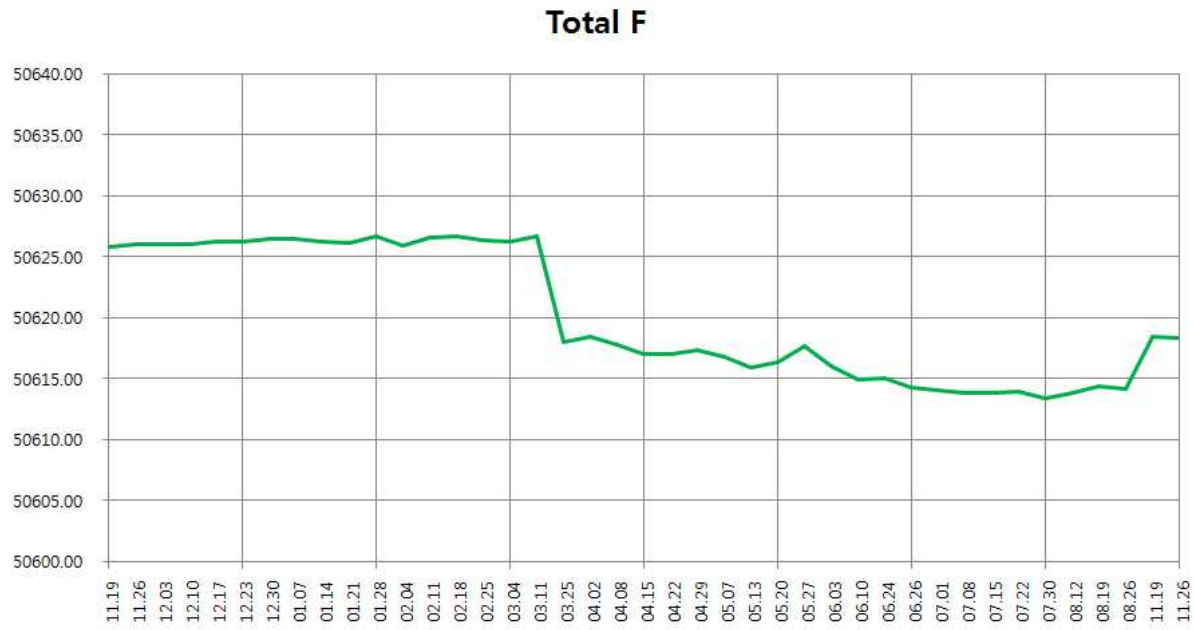


[그림 5-7] 지자기 기준값 수평(H) 성분(2013~2014)



[그림 5-8] 지자기 기준값 편각(D) 성분(2013~2014)

[그림 5-9] 지자기 기준값 수직(Z) 성분(2013~2014)



[그림 5-10] 지자기 기준값 총 자기장(F) 성분(2013~2014)

2014년 3월 이후에 지자기의 성분 별 변화량 경향이 갑작스럽게 바뀌었지만 그 이후 기준값 변화량이 비교적 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 그 때 지자기 관측기의 오류로 이를 바로잡는 과정에서 관측기의 보정값을 수정하면서 이런 현상이 발생하게 된 것으로 판단된다.

센터는 향후에도 지속적으로 지자기 기준값을 정밀하게 측정하고 지자기 데이터 관리를 계속 수행하여 안정적인 지자기 데이터 확보에 노력할 것이다.

제6장 결 론

본 연구를 통해 태양흑점 폭발에 따라 지자기의 급격한 변화로 인해 우리나라 전력망에 미칠 수 있는 여러 가지 위험에 대비할 수 있도록 유도전류 발생 상황을 좀 더 빠르게 전력분야 관계자에게 알려주는 유도전류 상시 모니터링 체계를 갖추게 되었다.

이러한 상시 모니터링 체계를 갖추기 위해서는 먼저 초단위 유도전류 상관계수를 이용하여 빠르게 유도전류 예상값을 산출하여야 한다. 이를 위해 지자기 관측데이터는 우주전파센터가 보유하고 있는 제주, 이천, 강릉의 지자기 관측소의 측정 데이터를 활용하였고, 유도전류 데이터는 신가평, 신태백 변전소에서 실제 관측한 데이터를 종합하여 비교·분석하였다. 초단위 유도전류 상관계수 산출은 과거 지자기 교란 사례로부터 초단위 일일 유도전류 예상값을 산출하는 단계 수행과 지자기 교란 이벤트를 정확하게 추출하는 방안 마련을 통해 실행되어야 한다.

우리나라는 지자기 위도가 낮아 유도전류에 의한 피해는 보고된 바가 없으나 우리나라와 같이 중위도 국가에 속하는 남아공에서는 '03년 지자기 폭풍으로 인한 유도전류에 의해 변압기 15기가 손상되는 피해를 입는 사건이 발생하였다. 이에 따라 우리나라도 지자기 유도전류 안전지대는 아닌 것으로 판단된다. 따라서 지자기 유도전류로부터 발생할 수 있는 전력망 피해를 사전에 예방하고자 지자기 유도전류 집중모니터링 방안을 마련하고 기존 유도전류 시스템의 구성을 개선하였다.

유도전류 집중모니터링 방안의 내용은 유도전류를 항상 모니터링 할 수 있도록 유도전류 상시모니터링 상황판을 설치하는 것과 유도전류 모니터링 상황판에 빠르게 유도전류 예상값을 전송하기 위해 마련된 초단위 유도전류 상관계수를 이용한 유도전류 예상값을 산출하는 것, 그리고 향후 유도전류와 변압기 온도와의 관계를 연구하기 위해 변압기 온도수집장치를 설치하는 것 등이 포함된다. 또한 유도전류 발생 정보를 전력분야 관계자가 언

제 어디서든 빠르게 인지할 수 있도록 유도전류 발생정보 SMS 서비스를 실시하였고, 모바일 앱도 개발하여 서비스 중이다.

마지막으로 유도전류 예상값의 기본 데이터로 사용되어지는 지자기 데이터의 신뢰성 확보를 위해 2013년부터 올해 까지 이천 지자기 관측소의 지자기 기준값을 측정한 결과를 정리하고 분석하였다.

본 연구를 통해 개발되고 개선된 유도전류 모니터링 시스템은 국내에서 지자기 폭풍으로 인해 발생되는 유도전류를 보다 빠르고 정확하게 산출하기 위한 노력으로 만들어졌으며, 향후 지속적으로 시스템을 업데이트하여 보강할 계획이고 정확한 유도전류 예상값 산출을 위한 관련 연구를 지속적으로 수행해야 할 것이다.

우리의 연구결과를 통해 국내 전력망의 유도전류 예상값을 보다 빠르게 산출함으로써 지자기 유도전류로부터 발생할 수 있는 전력망 피해를 사전에 예방하고 사회적 손실을 최소화 할 수 있게 되기를 기대한다.

[참고문헌]

[1] NERC(North American Electric Reliability corporation), “Effects of Geomagnetic Disturbances on the bulk Power system”, 2012.

[2] Royal Academy of Engineering, “Extreme spaceweather : impacts on engineered systems and infrastructure”, 2013.

[3] Chun-Ming Liu 등, “Calculation of geomagnetically induced currents in mid- to low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study”, AGU SPACE WEATHER, 2009.

[4] A. Pulkkinen 등, “Generation of 100-year geomagnetically induced current scenarios”, AGU SPACE WEATHER, 2012.

[5] Allan John McKay, “Geoelectric Fields and Geomagnetically Induced Currents in the United Kingdom”, University of Edinburgh, 2003.

[6] Alan W. P. Thomson 등, “Surface electric fields and geomagnetically induced currents in the Scottish Power grid during the 30 October 2003 geomagnetic storm”, AGU SPACE WEATHER, 2005.

[7] Chigomezyo M. Ngwira 등, “Improved modeling of geomagnetically induced currents in the South African power network”, AGU SPACE WEATHER, 2008.

[8] Chigomezyo M. Ngwira 등, “Limitations of the modeling of geomagnetically induced currents in the South African power network”, AGU SPACE WEATHER, 2009.

[9] M. Wik 등, “Calculation of geomagnetically induced currents in the 400 kV power grid in southern Sweden”, AGU SPACE WEATHER, 2008.

[10] J. Miquel Torta 등, “Geomagnetically induced currents in a power grid of northeastern Spain”, AGU SPACE WEATHER, 2012.

[11] Antti Pulkkinen 등, “Estimation of geomagnetically induced current levels from different input data”, AGU SPACE WEATHER, 2006.

[12] D.H.Boteler 등, “On calculating the electirc and magnetic fields produced in technoloGICal system at the Earth’s surface by a ”wide“ electrojet”, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 62, 1311-1315, 2000

[13] John G. Kappenman, “Storm sudden commencement events and the associated geomagnetically induced current risks to ground-based systems at low-latitude and midlatitude locations”, AGU SPACE WEATHER, 2003.

[14] Markus Eisel 등, “On the stability of magnetotelluric transfer funcion estimates and the reliability of their variances”, GEOPHY 저널, 144, 65-82, 2001.

[15] JL Gannon 등, “USGS Geomagnetism Program Electric Field Estimates”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

[16] Christopher Balch 등, “Relationship between SWPC Products and Geoelectric Fields”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

[17] Zahid Qayyum 등, “Geomagnetic Disturbances”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

[18] Nicole Homeier, “Geomagnetic Storm Risk and the Electric Grid”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

[19] Kenneth R. Fleischer, “Geomagnetic Disturbance Mitigation for Nuclear Generator Main Power Transformers”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

[20] Waggel, “Space Weather Workshop”, SPACE WEATHER WORKSHOP, 2013.

지자기교란으로 인한 전력망 유도전류 모니터링 분석 연구

국립전파연구원
NATIONAL RADIO RESEARCH AGENCY

520-350 전남 나주시 빛가람로 767
발 행 일 : 2014. 12.
발 행 인 : 최 영 진
발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원
전 화 : 061) 338-4416
인 쇄 : 리드릭
Tel. 02) 2269-1919

<비매품> ISBN : 979-11-5820-008-4

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.