

A study on the Application of a Monitoring System for Gas Insulated Switchgear

金正培*·金旼秀**·宋元杓***·金德秀§·全燦席§§·吉暻碩§§§

(Jung-Bae Kim, Min-Soo Kim, Won-Pyo Song, Duk-Su Kim, Chan-Seok Jeon, Kyung-Seok Kil)

Abstract - In this paper, it was reported the developed results of the monitoring unit for 72.5kV GIS which it is one part of the monitoring system for the substation that Korea Railway Company is promoting. In order to monitor the operational status of GIS, four parameters were chosen: the number of times of the circuit breaker switching, tightness of the gas-sealed units (circuit breaker / disconnecting switch / earthing switch), the number of times of the lightning arrester operating and the leakage current of the lightning arrester. We constructed the monitoring system that can be judged the operating condition of the GIS from the signal of the suitable sensor for the purpose. Therefore, it is possible to on line monitoring for the condition of the GIS without efforts of the periodic inspection.

Key Words : GIS, monitoring system, GDT, LA leakage current, sensor unit

1. 서 론

최근 들어와서 고품질의 전력 공급을 위하여 송배전 선로 상의 고장 발생시 고장의 신속한 인지, 정전 시간 단축 및 정전 구역 축소를 통한 공급 신뢰도 향상과 독립운영계통(IPP) 시스템, 분산전원 시스템 구조의 세계적 추세와 정보통신 기술의 향상에 따라, 사고 예방 및 진단기능이 부착된 전력기기의 국내·외 수요가 급속히 증가하고 있다. 현재 한전 및 기타 수요자 층에서 도입을 추진하고 있는 “변전기기 예방진단 시스템”은 고성능 센서와 신호해석 기술로 이상징후를 상시 감시, 급속한 이상 진행시 경고를 발하여 불시정전을 방지하며, 진단기준치에 따른 유지보수 계획수립, 이상원인 및 이상위치를 판단하여 사고의 재발방지와 신속한 사고복구를 목적으로 하고 있다. 이와 더불어 양질의 전력공급과 무인 원격 시스템 운영에 따른 폭넓은 수요자의 요구에 대처하기 위해 저가격대의 지능형 진단 시스템이, 또한 기 설치된 전력기기의 사고 예방, 수명 예측 및 경제적인 보수계획 수립을 위한 범용 감시/진단 시스템 개발이 요구되어지고 있다[1].

일반적으로 변전소용 전력기기는 크게 GIS(Gas Insulated Switchgear : 가스절연개폐장치) 및 변압기로 구성되어지며, GIS에는 차단기, 단로기, 접지개폐기, 피뢰기 등 각각의 목

적에 부합되는 기능을 갖는 장치로 구성되어 진다. 이들 전력기기의 운전상태 및 이력은 전력기기에 부착되어 있는 계기로 표시되고 있어 각 변전소 내에 상주하는 점검원이 주기적으로 현장을 순시하면서 기록하고 있다. 예를 들어 GIS의 경우에 있어서 차단부의 동작횟수는 차단기의 조작기에 부착되어 있는 기계적 동작 카운터에 의해 차단기의 개폐동작 횟수가 기록되고 있으며, GIS의 각 부위(차단기, 단로기, 접지개폐기, 피뢰기 등)의 가스충진 상태는 GIS 1Bay당 설치되는 Local Control Panel 내부에 부착된 GD(Gas Density) Monitor라고 칭하는 온도보상기능이 첨가된 압력계이저로 표시된다. 기존 GD는 1차/2차 경보용 접점을 구비하고 있어, 만의 하나 발생되는 가스 누기를 원격지에 알리는 기능을 갖고 있지만, 점진적으로 진행되는 가스누기의 초기시점에서는 확인하는데 곤란함이 있다. 이와 같이 압력누기가 발생되는 초기시점과 점검원의 순시시점이 일치하지 않으면, GIS 내부사고로 이어지는 원인을 초기에 막을 수 없으며, 또한 내부사고에 의한 순간적인 압력상승이 기록되지 않아 기존 시스템으로는 고장지점 확인에 도움을 주지 못한다. 피뢰기의 운전상태에 대해서는 동작카운터 및 누설전류 표시판이 피뢰기 외함에 설치되어 있어, 피뢰기 누설동작 횟수 및 피뢰기의 열화에 따라 흐르는 누설전류 확인을 점검원 순시에 의존하고 있다. 변압기의 경우도 마찬가지로, 기존 변압기에 설치되어 있는 유전계/유온(권선온도 포함)계/방출안전장치의 접점에 의해 변압기의 운전상태를 확인하고 있으나, 이는 전적으로 점검원의 순시에 의존하고 있다.

상기와 같이 이제까지는 전력기기의 일부 운전상태를 외부에 설치된 장치에 의해 확인이 가능했으나, 이것은 전적으로 점검원의 순시에 의존하고 있기 때문에, 변전소 무인화가 이루어진 곳에서는 주기적으로 점검원을 파견하여 기록해야 하는 수고가 필요하다. 이러한 배경에 따라, 현재 철도청 전철화사업의 일환으로서 1단계로 진행중인 변전소인 경부선

* 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 責任研究員

** 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 研究員

*** 正 會 員 : (株)曉星 重工業研究所 首席研究員

§ 正 會 員 : (株)曉星 重工業PG 任員

§§ 正 會 員 : 鐵道廳 建設本部 電氣計劃科

§§§ 正 會 員 : 韓國海洋大 工大 電氣工學科 助教授

接受日字 : 2001年 6月 29日

最終完了 : 2001年 11月 9日

및 중북선 일부구간의 변전소는 무인화를 고려하고 있어, 선설초기인 현 시점에서 변전소에 설치되는 전력기기, 즉 GIS 및 변압기에 대해 감시시스템을 적용하여 좀더 인텔리гент화한 변전소 운영을 구현하는 사업이 진행되고 있다.

본 연구에서는 철도청 변전소(66kV)용 감시시스템에 대해 전체적으로 간략하게 설명한후, 중점적으로 GIS 감시시스템에 대한 감시항목(CB 개폐 동작횟수, 가스기밀, 피뢰기 동작횟수 및 전누설전류) 및 센서 적용 기술과 관련해서 개발된 센서 유니트에 대하여 집중적으로 보고하도록 한다. 먼저 1장에는 본 논문의 서론부를, 2장에는 변전소 감시시스템구성에 대해, 3장에는 감시시스템 설계 및 특성시험을, 4장에는 본논문의 결론부를 서술한다.

2. 변전소 감시시스템 구성

현재 적용을 추진중인 철도청 변전소용 감시 시스템의 구성을 그림 1에 나타내고 있다. 지능형 감시 시스템은 고성능 센서와 신호해석 기술, 그리고 광통신기술 및 S/W기술을 이용하여 변전기기의 열화특성이 포함된 운전상태를 온라인으로 상시 감시하는 시스템으로, 개발을 위해서는 ① 변전기기의 이상내역을 검출하는 센서 적용기술(변전기기 상태의 디지털화), ② 각 유니트별 변전기기로부터 신호를 취합하는 데이터 취득장치(Data Acquisition System : DAS) 설계기술, ③ 변전기기의 상태를 표시하는 모니터링 시스템 기술, ④ 변전기기 가격의 5% 이내를 지향하는 시스템의 저가격화 기술을 들 수 있으며, 이것을 제품화하기 위해서는 그림 1에 나타낸 바와 같이 크게 1) 변전기기의 센서 적용 기술 2) 데이터 취득장치 설계기술 3) 네트워크 및 모니터링 시스템 기술이 필요하다. 현재까지는 국내 IT산업의 신기술 발전에 따라 3) 항목에 대해서는 국내 전력기기 메이커뿐만이 아니라, 일부 디지털 판넬업체에서 시제품 개발이 완료된 상태이고, 1), 2) 항목에 대해서도 지난 몇년간 연구개발을 수행해 제품으로 출하가 가능한 상태이다.

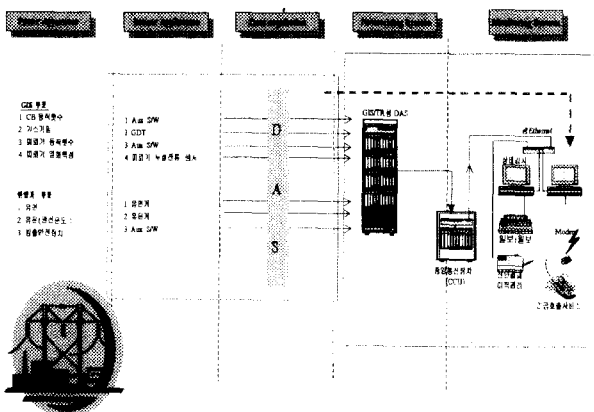


그림 1 변전소 감시시스템 Layout
Fig. 1 The Layout of the monitoring system of substation

한편, 감시 시스템보다 한단계 상위 기술인 감시/진단 시스템에 대해서는 상기의 감시시스템에 변전기기의 운전상태를 정확히 진단할 수 있는 진단기준치가 포함된 진단알고리

즘이 내장된 상태로 이 분야에 대해서는 아직 국내에서 충분한 검토가 없어 시스템 구현이 곤란한 상태이다. 이에 비해, 일본의 Hitachi, Mistubishi, Toshiba[2], Fuji, Nissin등에서 센서 기술, 분석기술, 전체 시스템 구축 기술분야에 폭넓게 참여하고 있으며, 일부 변전소에 대해서는 현재 납품되어 운전 중에 있고, 유럽의 Alstom[3], Siemens 및 ABB[4]에서도 생산실적이 있으며, 영국의 DMS(Diagnostic Monitoring System) 진단설비회사가 부분방전 진단제품을 선보이고 있다.

본 논문에서는 변전소의 전력기기중 GIS에 대한 감시시스템을 집중적으로 서술하고, 특히 상기의 1) 변전기기의 센서 적용기술 2) 데이터 취득장치 설계기술에 대한 개발결과를 소개하도록 한다.

본 연구에서 GIS의 운전 상태를 감시하기 위해 대상으로 한 파라미터는 차단기의 개폐 동작횟수, 가스밀폐부(차단기/단로기/접지개폐기)의 가스기밀, 피뢰기의 동작횟수 및 열화상태로써 이외에도 GIS의 운전상태를 감시할 필요가 있는 항목으로는 부분방전, 고장점 표정, 차단기 동작특성 등이 언급되고 있으나, 기술적 곤란을 포함한 여러가지 이유에서 상기의 4가지항목을 철도청 변전소용 GIS의 감시항목으로 채택했다. 상기의 감시항목을 원격지에서 감시할 수 있도록 각 부위별로 적합한 센서를 부착하여 얻어진 값들로부터 GIS의 운전 상태를 판단하는 감시 시스템을 그림 2에 나타내고 있다.

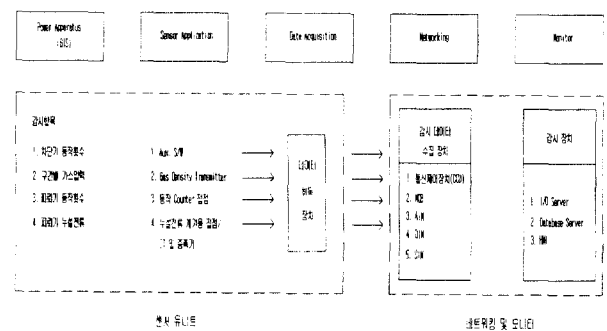


그림 2 72.5kV GIS 감시 시스템 Layout
Fig. 2 The Layout of the monitoring system for 72.5kV GIS

GIS용 감시 시스템은 크게 ①센서 유니트, ②네트워크 및 모니터 부분으로 구성되며, 네트워크 및 모니터 부분은 기존 시스템에서 입출력 단자부와 표시부만 추가로 부과되는 기술이므로 본 논문에서는 센서 유니트에 대해서만 다루고자 한다. 센서 유니트는 감시항목의 증가에 따라 기능이 추가될 수 있지만 상기의 네 가지 진단 항목에 대해 ④차단기의 개폐 동작횟수는 차단기의 보조접점의 기계적 접점 동작 신

호를 이용하고, ⑥가스기밀은 온도 보상 기능이 내장된 GD T(Gas Density Transmitter)를 이용하며, ③피뢰기의 동작 횟수는 피뢰기 동작 카운터내 보조접점의 기계적 접점 동작 신호를 이용하고, ④피뢰기의 전누설전류는 피뢰기의 접지선에 고성능 변류기 및 신호처리부를 부착시켜 전누설전류를 측정한다. 이들 센서로부터의 전기적 신호는 GIS 1 Bay별로 설치되어 있는 Local Control Panel 내부의 데이터 취득 장치로 전송하게 한다. 이러한 센서 유니트를 그림 3에 나타내고 있다.

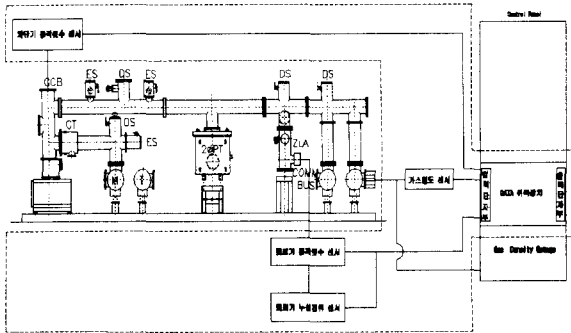


그림 3 72.5kV GIS용 감시 시스템 센서 유니트
Fig. 3 The sensor unit of the monitoring system for 72.5kV GIS

3. 감시 유니트 설계 및 특성시험

3.1 차단기 개폐 동작횟수 감시

차단기의 부품 교체 및 수명을 간접적으로 예측할 수 있는 차단기 동작횟수에 대해서는 조작부에 설치되어 있는 보조접점 "a", "b"를 이용하여 차단기 동작시 기계적으로 구동되는 보조접점에 전원을 인가하여 연결/단선에 따른 신호변동을 원격지에 보내도록 하여 원격지에서 이 신호를 이용하여 차단기의 동작횟수를 나타내도록 하였다

3.2 가스기밀 감시

GIS의 절연 매질인 SF₆ 가스는 동일 가스압에서 절연 성능이 가장 우수하여 현재 각광을 받고 있지만, 만의 하나 가스 누기 발생 시에는 곧바로 절연사고로 직결될 수 있으며, 환경문제로 대기유출이 금지되어 있기 때문에, GIS의 차단 성능 및 절연 유지에 중요한 요소인 가스기밀을 상시 감시함으로써 누기상의 이상유무를 판단할 필요가 있다. 이 방법으로는 GIS의 SF₆ 가스 구획별로 GDT(Gas Density Transmitter)라고 칭하는 가스 밀도 센서를 Local Control Panel의 가스 밸브 후단에 설치하여 상시 On line으로 가스기밀 상태를 디지털 신호로 원격지로 보내도록 하는 방법이 적용되었다.

GDT에는 온도 보상 기능이 내장되어 있으며, 가스 충전 상태에 따라 입력 DC 전원을 인가하면 출력으로 DC 4~20 mA의 선형적인 특성을 가진 신호를 원격지로 송부한다. 센서는 각 가스 구획별로 설치되어지는데 대략적으로 GIS

1Bay당 5~10개 정도로 설치되며, GDT의 전원은 Local Control Panel 내부에 설치되어 있는 데이터 취득장치가 담당하게 된다.

GDT에 대해서는 몇몇 유럽의 메이커에서 제품을 선보이고 있으나, 당 연구개발에서는 독일업체인 A사와 스위스업체인 B사 제품에 대해 각기 특성시험을 실시하여 최종적으로 독일업체인 A사를 최종 선택하였다. 표 1은 각제품의 사양을 보여주고 있다.

표 1 GDT 사양 비교

Table 1 The comparison with the specification of the GDT

항목	A 사	B 사
Device	Electronic	Electronic
Principle	Piezoresistive	Strain Gauge
Accuracy	±3%	±3%
출력신호	4 ~ 20 mA	4 ~ 20 mA
Measuring Range	-760 mmHg ~ 10.55 kg/cm ² .G	0 ~ 9.45 bar
Supply Voltage	10 ~ 30 V DC	10 ~ 34 V DC
Working Temperature	-40 ~ 80 °C (-40 ~ 176 F)	-25 ~ 85 °C
Storage Temperature	-40 ~ 80 °C (-40 ~ 176 F)	-25 ~ 85 °C
Operating Temperature	-40 ~ 60 °C (-40 ~ 140 F)	-25 ~ 75 °C

GDT는 일정 용기안에 있는 가스밀도를 측정하기 때문에 온도에 따른 변동이 없어, 가스기밀상태를 원할하게 감시할 수가 있다. 그러나 현재 국내 GIS에는 GD Monitor라고 하는 20℃ 가스압력(kg/cm²·G)으로 표시되는 게이지가 부착되어 있어, 이것과의 상관관계를 확인할 환산식이 필요하다. 그림 4는 GDT의 출력신호와 가스밀도와의 선형성을 보여주고 있으며, GDT의 가스밀도 값으로부터 20℃ 가스압으로의 환산식은 식 (2)와 같다.

GDT의 밀도 범위 R[g/l]과 출력값인 전류 I_{out}[mA]로부터 전류 밀도 ρ[g/l]를 계산한다.

$$\rho = \frac{I_{out} - 4mA}{16mA} \cdot R \tag{1}$$

식 (1)에서 계산된 전류밀도를 식 (2)에 대입해서 20℃ 가스압 P_{SF6} [kg/cm²·G]이 계산되며, 이식을 Bier(Beatly/Bridgman) 방정식이라 한다.[5]

$$P_{SF6} = 1.0197(A\rho + B\rho^2 + C\rho^3) \tag{2}$$

여기서, A = 0.16686

$$B = -3.2715 \times 10^{-4}$$

$$C = 1.4665 \times 10^{-7}$$

그림 5는 GDT 출력신호와 가스압력(GD)과의 관계에 대한 시험결과를 보여주고 있다. No.1~No.5는 시험에 의해 GDT에서 측정되었다. 5회의 측정이 시행되었고, 이들값들은 GD에서 임의의 압력값(이론값)과 크기와 경향면에서 잘 일치하고 있음을 알았다. 특히 가스의 운전전압인 $3\sim 7\text{kg/cm}^2 \cdot \text{G}$ 에서 잘 일치하고 있으므로, 이 방식으로 가스기밀에 대한 진단알고리즘 작성이 가능하리라 사려된다.

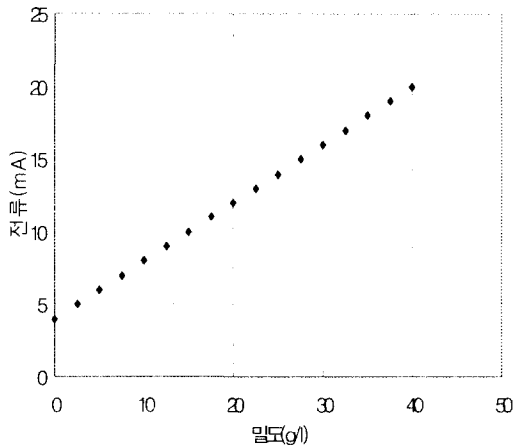


그림 4 GDT센서의 Density Linear 특성
Fig. 4 The characteristics of the density linearity in GDT

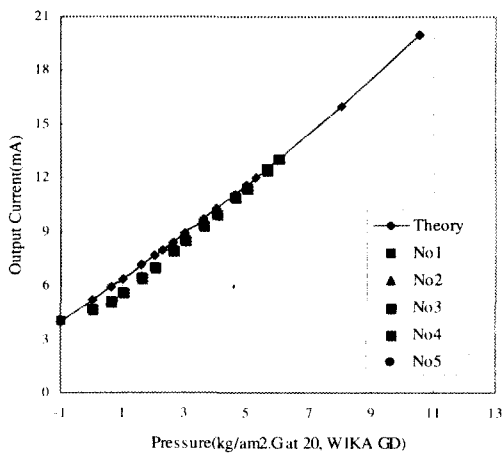


그림 5 GDT와 GD의 상관관계
Fig. 5 The relationship between the results of the GDT and the results of the GD

3.3 피뢰기 열화 감시

피뢰기는 과전압 제한장치로서 작용하는 주된 책무이외에 절연체로서 작용하게 된다. 이 절연특성은 피뢰기의 수명과 전력계통의 신뢰성 있는 운전에 매우 필수적이다. 피뢰기 절연특성의 열화 혹은 파괴의 가능성을 예지하는 여러가지 진단방법이 피뢰기의 도입이후 언급되어져 왔다. 진단방법은 사고표시기와 완벽한 피뢰기 사고를 표시하는 절환기로부터 저항분 누설전류와 피뢰기의 전력손실의 미세한 변화

를 측정할 수 있는 기기로까지 나열된다. SiC블럭과 직렬 스파크 갭을 갖는 구형 피뢰기에 대해, 일상 운전 중에 피뢰기 단자로부터의 측정으로는 신뢰성 있는 진단이 불가능하다. 이들 형태의 피뢰기에 있어서 운전상태를 확인하기 위한 가장 정확한 방법은 그것들을 휴대용 고전압 시험장치를 이용한 전류등급측정과 스파크 오버시험을 하기 위해 고전압 시험실로 가지고 오는 것이다. 이것은 피뢰기가 계통에서 분리되어야 한다는 것을 의미한다. 그러나, 이렇게 해도 완벽한 진단은 가능하지 않는다. 그러나, 갭없는 메탈 옥사이드 피뢰기에 대해서는 상황이 완전히 다르다. 이것은 피뢰기 블록을 통해 흐르는 연속 누설전류를 피뢰기 집지단에서 측정할 수 있기 때문이며, 그리고 이 전류는 피뢰기 동작상태를 잘 나타내주는 표시기가 될 수 있다는 것을 보여준다.

3.3.1 일반적인 피뢰기의 열화 진단방법

● 사고 표시기

사고 표시기는 선로로부터 피뢰기를 분리시키지 않고, 사고난 피뢰기의 명백한 시각적 표시를 제공한다. 동작원리는 일반적으로 피뢰기 전류의 크기와 인가시간 혹은 비선형 저항 블록의 온도에 기반을 두고 있다.

● 절환기

중전압 피뢰기에 곧잘 사용되는 절환기는, 피뢰기를 계통으로부터 분리시켜 사고난 피뢰기의 시각적 표시(확인)가 가능케 해준다. 전형적인 동작원리는 사고전류에 의해 트리거된 폭발성의 장비를 이용하는 것이지만, 그렇다고 절환기가 고장전류를 소멸시키기 위해 집어넣는 것은 아니다. 이 장비의 이점은, 선로는 피뢰기가 분리된후 정상 동작상태로 남을 수 있다는 것이다.

● 썬지 카운터

어떤 크기 이상의, 혹은 전류크기와 인가시간의 합이 어느 이상인 임펄스 전류에서 썬지 카운터는 동작한다. 방전 사이의 간격이 매우 짧다면(50ms 이하), 썬지 카운터는 매 전류 임펄스마다 카운터하지 못할 것이다. 몇몇 카운터는 일정크기 이상의 전류가 필요하며, 메탈 옥사이드 피뢰기를 통하여 흐르는 단임펄스 전류를 카운트하지 못할 수도 있다.

● 모니터링 스파크 갭

모니터링 스파크갭은 피뢰기를 통해 흐르는 방전전류의 크기와 시간의 값을 표시하거나 추정하는데 사용되어진다. 갭에 나타난 표시를 정확히 해독하기 위해서는 특별한 경험이 필요하다. 몇몇 스파크갭은 운전중에 피뢰기와 같이 on line에서 수행되어지지만, 다른 형태는 피뢰기가 off line인것을 요구한다. 스파크갭은 피뢰기의 실제상태에 대해 직접 정보를 주지는 않지만, 동작 지속여부에 대한 결정을 도와줄 것이다.

● 온도측정

피뢰기 온도의 원거리 측정은 열 영상법을 수단으로 수행되어질 수 있다. 저항과 하우징 표면사이의 온도차가 실질적 값이기 때문에, 이 측정은 단지 피뢰기의 상태를 나타낸다.

메탈 옥사이드 저항체 온도의 직접측정은 피뢰기상태의

정확한 표시를 구현하지만, 공장 제작시부터 특수한 트랜듀서가 장착된 피뢰기가 요구되어 진다. 따라서, 이방법은 일반적으로 특수 피뢰기 적용에만 사용되어 진다.

● 누설전류 측정

메탈 옥사이드 피뢰기 절연상태의 어떠한 열화도 인가된 전압과 온도하에서는 저항분 누설전류와 전력손실을 증가시키는 원인이 될 것이다. 따라서, 값없는 메탈 옥사이드 피뢰기의 상태를 결정하는 주된 진단 방법은 누설전류의 측정에 기초를 두고 있다.

측정방법은 두가지 그룹으로 나눌 수 있다. 피뢰기가 계통과 연결되어 평소운전시 인가전압이 걸려있는 on line 측정과 피뢰기가 계통과 분리되어 현장이나 시험실의 별도의 전압원을 인가하여 시험하는 off line 측정이 그것이다. off line 측정은 특별한 목적에 적합한 전압원 즉 이동용 직류/교류 전압 발생기와 같이 구성된다. 높은 정확도는 off line 방법을 사용함으로써 얻어질 수 있지만, 충분히 높은 시험전압이 사용되는 것이 요구되어 진다. 주된 단점은 장비가격과 계통으로부터 피뢰기를 분리해야할 필요가 있다는 사실이다.

상시운전전압하의 on line에서 수행된 측정이 가장 일반적인 방법이다. 실질적이고 안전상의 이유로, 누설전류는 대개 피뢰기의 접지 끝단에서만 측정되어진다. 접지연결부로부터는 누설전류를 측정하기 위해서는, 피뢰기는 절연된 베이스나 접지 터미널과 같이 장착되어야 한다. on line 누설전류 측정은 휴대용 혹은 영구적으로 장착된 장비를 이용한 정기적 점검의 기반에서 수행되어지지만, 중요부위에 설치되어 피뢰기의 지속적인 모니터링 또한 사용되어 진다. 휴대용 장비는 clip-on 혹은 영구적으로 설치된 CT에 의해 피뢰기의 접지 터미널에 연결되어진다. 원거리 측정은 변전기기를 감독하는 컴퓨터화된 시스템에 의해 제공되어진다.

메탈 옥사이드 저항체로 구성되는 피뢰기의 교류 누설전류 특징으로, 교류 누설전류는 거의 대다수를 차지하는 용량성부분과 현저하게 적은 저항성부분으로 나뉘어져 있다. 피뢰기 접지 터미널에서 측정된 용량성 누설전류는 비선형 메탈 옥사이드 저항체, Surface 캐패시턴스와 혹은 과전되었다면 Grading 캐패시터까지 포함된 유전율에 의해 기인된다. 저항소자의 특정 캐패시턴스는 일반적으로 60에서 150 pF · kV/cm² (정격전압)이고, 이로 인하여 일반 운전조건하에서 약 0.2에서 3mA의 용량성 누설전류 피크치를 갖는다.

따라서, 전체 누설전류중 열화에 의해 증가되는 성분은 저항분 누설전류이다. 주어진 전압과 온도하에서, 누설전류의 저항분 성분은 비선형 메탈 옥사이드 저항체의 전압-전류 특성은 감도 좋게 선형적으로 변화한다. 따라서, 저항분 전류는 운전상태하에서 메탈 옥사이드 피뢰기의 상태변화를 진단 표시해주는 수단으로 사용되어 질 수 있으며, 저항분 누설전류를 포함한 전체 누설전류 또한 피뢰기의 상태변화를 확인할 수 있는 수단으로 사용되어 질 수 있다.

3.3.2 누설전류의 측정

● 전 누설전류 측정

저항분 누설전류는 용량분 누설전류의 단지 일부분이므로, 전 누설전류는 주로 용량분 누설전류에 의해 좌우된다.

게다가, 용량분과 저항분 전류는 90도 위상차를 갖고있다. 따라서 전누설전류의 상당한 변화를 알 수 있기까지에는, 비선형 메탈 옥사이드 저항체의 저항분 전류의 상당한 증가가 필요하다. 추가로, 용량성 전류는 표류 캐패시턴스에 좌우되기 때문에, 전 누설전류는 설치시에 유용하다. 전누설전류의 on line 측정은, 써지 카운터나 휴대장치에 내장된 전누설전류의 r.m.s, 평균 혹은 피크치를 나타내는 일반적인 mA-메타를 수단으로 폭넓게 사용되고 있다.

● 저항분 누설전류

누설전류의 저항분은 여러 방법에 의해 측정될 수 있으나, 본 연구에서는 전압신호를 참고로 이용하는 방법을 적용했다.

참고신호인 전압을 90° shift 시켜 용량성 전류와 위상차를 동일하게 한후 상호 크기를 조절, 차동증폭기를 사용하여 용량성 전류를 제거한다. 이로서, 전누설전류에는 저항분 누설전류만 남게된다.

그림 6은 개발된 휴대용 저항분 누설전류 측정장치의 외관을 보여주고 있으며, 그림 7은 상기 장비를 이용하여 얻은 저항분 누설전류 파형예를 보여주고 있다. 288kV 신폴 LA에 대해 전압신호로 용량성전류치를 상쇄시킨후 남은 저항분 누설전류를 보여주고 있다.

운전중의 측정에 있어서 이 방법의 제약은, 참고전압이 필요하다는 것이다. PT의 2차측 혹은 붓싱의 캐패시티브 탭과의 주기적인 연결이 필요하고 값은 얻기 위해서는 완벽하게 구성되어야 한다.

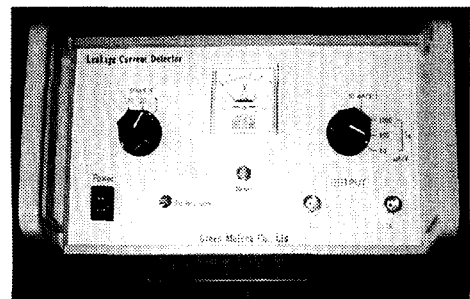


그림 6 휴대용 저항분 누설전류 측정장치
Fig. 6 The portable measuring equipment for resistive leakage current

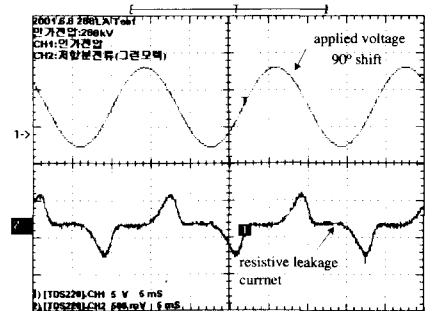


그림 7 저항분 누설전류 파형 예
Fig. 7 The example signal of the resistive leakage

3.3.3 72.5kV GIS용 피뢰기의 열화특성 감시용으로서의 적용

철도청 전력계통의 경우 차량과 선로의 불안정한 연결로 선로상에 썬지전압 발생이 빈번한 계통상의 특성으로 인하여, 피뢰기에 대한 집중적 감시가 필요하다

피뢰기의 열화상태 감시를 위한 파라메타로 먼저 고려한 항목인 피뢰기의 동작횟수에 대해서는 기존의 피뢰기 동작 카운터 장치(그림 8)내부에 보조접점을 내장시키 동작 발생 시 접점이 연결/단선 되어지게 하였다. 그래서 데이터 취득 장치내에 별도의 내부 회로를 구성한 후 피뢰기 동작 카운터의 접점과 연결하여 피뢰기의 동작에 따른 신호 변동유원격지에 보내도록 되어 있는데 이 방법은 차단기 개폐 동작횟수에 대한 감시 방법과 유사한 것이다.

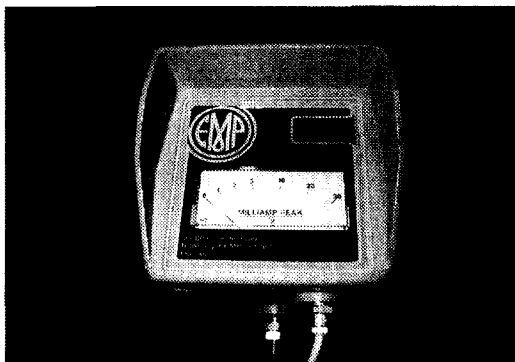


그림 8 피뢰기 Surge Counter
Fig. 8 LA Surge Counter with auxiliary contacts

겉없는 메탈옥사이드 피뢰기의 열화 상태를 감시/진단하는 방법[8]으로는, 앞서 설명한 것처럼 모니터링 스파크 gap, 온도측정, 누설전류 측정등이 발표되고 있으며, 이중 누설전류 측정이 가장 우수하게 피뢰기의 열화 상태를 on line으로 감시/진단 할 수 있는 방법으로 알려져 있다. 교류 누설전류는, 거의 대다수를 차지하는 용량성부분과 현저하게 작은 저항성부분으로 나뉘어져 있다. 열화된 피뢰기에 최대운전 전압(Uc)이 인가되었을 때, 메탈옥사이드 저항체의 누설전류에 대한 전형적인 시험실 측정예를 그림 9에서 보여주고 있다. 피뢰기의 열화가 진행되면, 용량성 부분은 거의 증가하지 않고, 저항분 누설전류량만 증가하기 때문에, 감도높게 피뢰기 열화 상태를 감시하기 위해서는 직접 저항분 누설전류 측정으로 확인하거나, 저항분 크기에 비례하여 증가되는 전누설전류 측정으로 확인되어진다.

72.5kV GIS용 피뢰기는 SF₆ 가스가 내장된 탱크형 피뢰기로 이 피뢰기에 대한 열화특성을 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 변화를 이용하여 감시하고자 한다. 앞서 설명한 바와 같이 피뢰기 소자의 열화에 따른 누설전류량 측정은 크게 1) 전누설전류, 2) 저항분 누설전류량, 3) 고조파 누설전류량 측정 방식등이 제안되고 있는데, on line 시스템 구축시에 2)는 측정회로가 복잡하고, 3)은 측정 데이터 해석이 복잡하다는 어려움을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 손쉽게 측정이 가능하면서도, 피뢰기의 열화상태를 잘 나타내고 있는 전 누설전류측정으로 피뢰기 열화특성을 감시하였다.

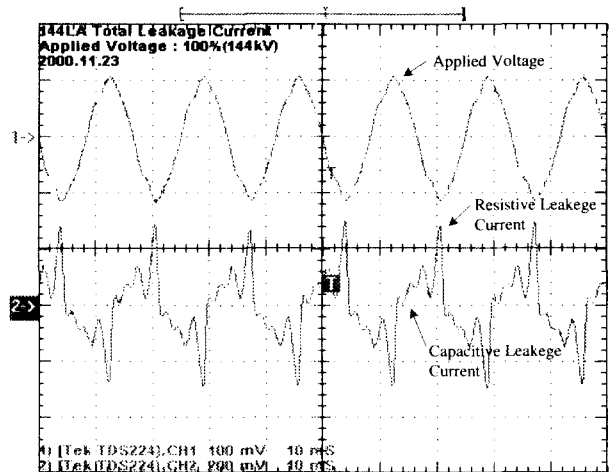


그림 9 시험실에서 측정한 열화가 진행된 피뢰기의 전형적인 누설전류

Fig. 9 The general leakage current signal of the aged LA in the laboratory

피뢰기 전 누설전류에 대해서는 피뢰기 접지선에 별도의 미소 전류 측정용 변류기(CT, 그림 10의 윗부분 장치)를 장착시켜 누설전류를 전압으로 개측한다. 미소전류 측정용 변류기에 의해 측정된 신호는 CT 후단부(그림 10의 아래부분 장치)에 설치되어진 내부의 회로에 의해 신호 처리되어 실 누설전류값에 비례하여 DC 4~20mA로 환산되어 출력된다.

CT 후단부에는 신호출력용 단자, 전원용 단자 및 점검용 단자가 있어서, 현장 설치 후 GIS 운전중 이상 발생시, 피뢰기나 CT의 점검이 가능하게끔 하였다. 철도청에서 건설중인 변전소는 모두 옥내용 변전소이지만, 온도규격 20℃~45℃를 만족하기 위해 CT 후단부에 들어가는 전자소자들은 모두 미국 Military 규격에 만족하는 제품을 사용하였다.

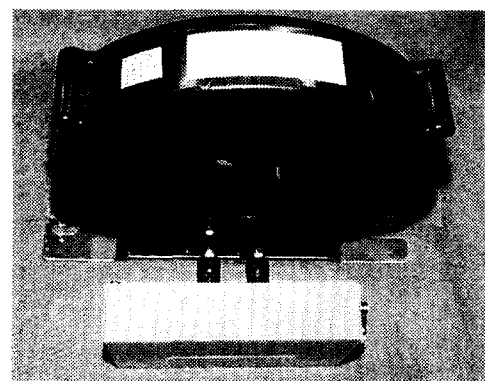


그림 10 피뢰기 누설전류측정장치
Fig. 10 The measuring equipment for leakage current of the LA

• CT 특성시험

국내에서 제작되고 있는 CT를 사용하기 위해 CT 특성시험을 할 필요가 있다. 먼저 1차측 미소전류에 대한 출력전

압의 안전성과, 파괴기에 일시적으로 과전류가 흐르기 때문에 이것을 모의한 과전류 통전후의 특성을 파악했다. 간이 합성 시험설비를 이용해서 임펄스 전류 인가시험과 단락전류(10kA 20회) 통전시험을 그림 11과 같은 회로에 CT를 설치, 실시해서 시험 전, 후의 CT 특성을 파악했다. CT 특성 시험에 사용된 제품은 C사(ZCT 80)과 D사(SZR-080)의 제품을 사용했다.

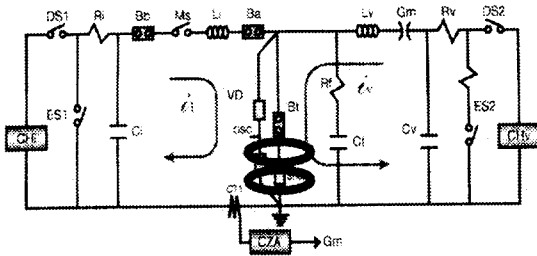
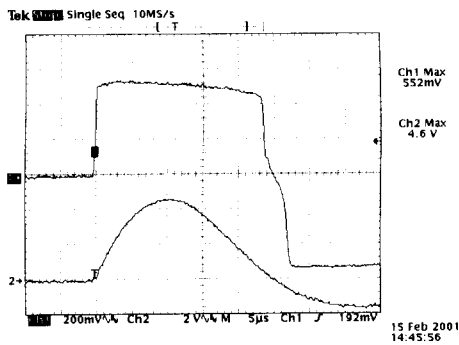
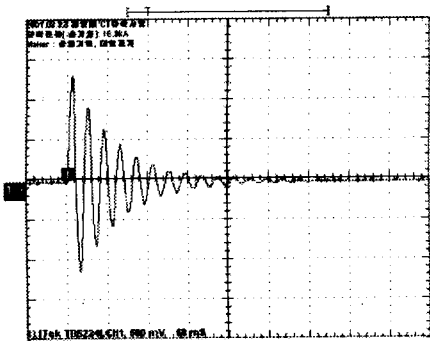


그림 11 L-C 공진합성 시험설비 회로도
Fig. 11 L-C resonance synthetic test equipment circuit

인가된 시험 파형을 그림 12에서 보여주고 있다.



(a)

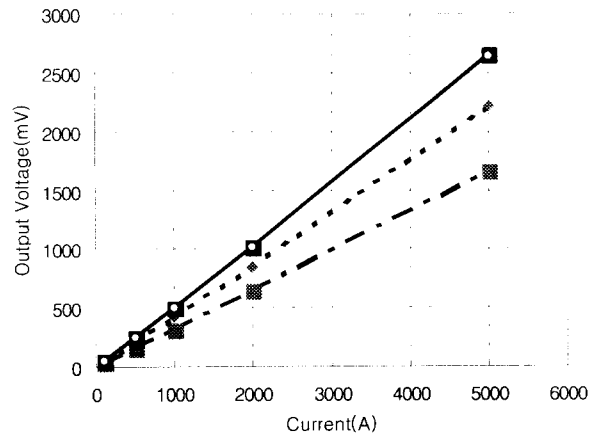


(b)

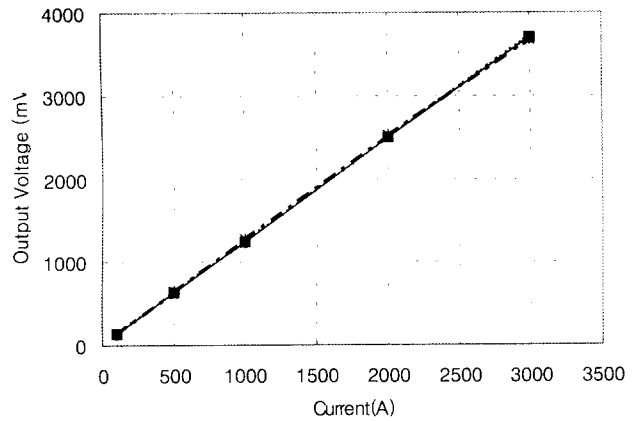
그림 12 인가 시험전류 파형에
Fig. 12 The wave of the applied short-circuit current

C사 CT의 경우는 여러차례의 임펄스전류/단락전류 인가 시험후 특성변화가 있음을 그림 13(a)에서 보여주고 있다. 이것은 외부에너지에 영향을 받기쉬운 니켈코아의 특성이 그 원인이다. 그러나 이와 같이 변화하기 쉬운 니켈코아에

외부찌지전류에 대한 보호기능을 부착한 D사의 제품은 외부찌지전류 인가후에도 특성변화가 없음을 그림 13(b)에서 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서는 특성변화가 없는 D사 제품의 CT를 적용하였다.



(a) C사
(a) In the case of maker C



(b) D사
(b) In the case of maker D

그림 13 임펄스/단락전류 인가전후의 D사 CT 특성시험결과 (실선:임펄스전류인가전, 파선:임펄스전류인가후, 일점쇄선:단락전류인가후)

Fig. 13 The test results of maker C and maker D after applying the surge current

(— before impulse current, - - - after impulse current, - · - · after short circuit current)

3.4 데이터 취득장치

데이터 취득장치는 각 센서의 전원부 및 센서로부터 얻은 신호처리, 그리고 원격지로 신호를 전송하는 기능을 가지고 있다. GIS IBay당 설치되는 Local Control Panel에 하나씩 설치되는 데이터 취득장치는 센서로부터의 신호 입력부, 신호 출력부, 가스밀도 변환기(GDT) 전원부 및 CT 후단부 전원부로 구성된다.

3.5 GIS 감시 유니트 조립

감시 Unit/A 도면에 따라 총조립된 상태를 그림14에서 보여주고 있다.



(a) 조립완료된 센서 유니트(LCP 내부)
(a) Assembled sensor unit (the internal part of LCP)



(b) 조립완료된 센서 유니트(피뢰기 케이스 내부)
(b) Assembled sensor unit (the internal part of the LA case)

그림 14 72.5kV GIS 센서 유니트 조립 사진
Fig. 14 The photograph of the sensor unit for 72.5kV GIS

4. 결 론

본 논문에서는 철도청에서 적용을 추진하고 있는 변전소 감시 시스템중 72.5kV GIS용 감시 유니트의 구성 및 항목에 대해 개발한 내용을 정리 보고하였다.

감시항목들에 대해서는 GIS의 운전상태를 나타내는 파라미터중 중요하게 판단되는 차단기의 개폐 동작횟수, 가스밀폐부(차단기/단로기/접지개폐기)의 가스기밀, 피뢰기의 동작횟수 및 전누설전류를 원격지에서 감시할 수 있도록 각 부위별로 적합한 센서를 부착하여 얻어진 값들로부터 GIS의 운전 상태를 판단하는 감시 시스템을 구성하였다.

먼저, 차단기의 개폐 동작횟수는 차단기 보조접점의 기계

적 점접 동작 신호를 이용하였고, 가스밀도는 온도 보상 기능이 내장된 센서인 GDT를 이용하였으며, 피뢰기의 동작횟수는 피뢰기 동작 카운터의 보조접점의 기계적 점접 동작 신호를 이용하였고, 피뢰기의 전누설전류는 피뢰기의 접지선에 고성능 변류기 및 신호처리부를 적용하였다. 이들 센서로부터의 전기적 신호는 GIS 1Bay별로 설치되어 있는 Local Control Panel 내부에 있는 데이터 취득장치로 전송하게 하였다. 그래서, 1 Bay별 데이터 취득장치에서 취득된 신호들은 각 변전소 제어실에 설치되어 있는 디지털 패널에서 통신모듈로 변환된 뒤, 주변전소의 SCADA 시스템에 연결되어 각 변전소별 GIS의 운전 상태 감시가 가능하게끔 되었다. 본 연구의 주요성과를 나열하면 다음과 같다

- 1) 국내 최초로 초고압 GIS용 감시 시스템을 국내 순수기술로 개발하여 설치함으로써, 철도청에서 추구하는 변전소 무인화 정책에 부응하여 디지털 변전소 운영이 가능하게 되었다.
- 2) 가스기밀에 대해서는 GDT센서를 적용하여 원격지에서도 가스누기를 감시할 수 있게 되었다. 또한 온도보상문제와 기존 GD와의 상이값 등을 보상회로와 환산식을 통해 해결하였다.
- 3) 피뢰기 누설전류의 상시 감시가 가능케한 CT 및 후단부를 국내기술에 의해 최초로 상용화에 성공하여 실 변전소에 적용하게 되었다. 추가로 저항분 누설전류 측정장치도 개발하여 기존 철도청 변전소에 설치되어 있는 GIS에도 적용 가능하게 하였다.
- 4) GIS 1Bay당 설치되는 데이터 취득장치 역시 개발되어, 각 센서의 전원공급 및 신호처리 분야를 담당한다.

이에 따라, 기존에 정기적으로 수행했던 GIS의 운전 상태 점검/순시 작업에 소요되는 수고가 필요없이 On line으로 원격지에서 상시 감시가 가능하게 되었다. 이러한 상시 감시를 통해 만의 하나 발생하는 GIS의 운전 이상, 예를 들어, GIS 각 가스구획별 누기 및 피뢰기의 열화 정도를 조기에 확인/경보 등이 가능하여 신뢰성 높은 GIS 운전이 가능하게 됨으로써 전체 철도청 전력계통의 안전운영이 가능하게 되었다.

향후, 감시항목에 있어서 절연특성(부분방전), 고장점 위치확인, 동작특성 등의 몇 개 항목을 추가적으로 연구해 GIS의 감시뿐만 아니라 진단까지 가능한 알고리즘의 개발을 위해 연구에 박차를 가할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김정배 외, "초고압 가스절연개폐장치의 스마트 진단 시스템 개발", 전기산업신기술세미나논문집, pp.169 pp.177, 2000년 11월.
- [2] T. Sakakibara, H. maehara, S. Maruyama, A. kobayashi, S. Kuninori, "Reliability verification of system applying a microprocessor in a high voltage gas insulated substation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 4, 1105-1113, 1998
- [3] Endre Mikes, "State of the art high voltage

switchgear ; Availability, reliability, Functionality and condition based maintenance aspects of circuit breakers with spring mechanism”, CLDEM, 1996

- [4] V. Rees, M. Burgard, G. Krutmann, B. Feuchter, “Advanced digital control and monitoring of gas insulated switchgear (GIS)”, CIGRE 2000, session paper 23/39 08
- [5] Catalogue of WIKA Gas Density Measurement, PM 02.31 ~ PE85.04, 2000
- [6] Asle Schel, “Diagnostic techniques for surge arresters with main reference to on-line measurement of resistive leakage current of metal-oxide arresters”, CIGRE 2000, session paper P1-05

저 자 소 개



김 정 배 (金正培)

1966년 10월 12일 생. 1989년 한양대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 일본 규슈대학 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991~현재 효성 중공업연구소 창원분소 책임연구원,

Tel : 055 268-9917, Fax : 055-268-9928
E mail : hico-jbkim@hyosung.com



김 민 수 (金旻秀)

1971년 1월 24일 생. 1997년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 효성 중공업연구소 창원분소 연구원

Tel : 055-268-9917, Fax : 055-268-9928
E-mail : mskim57@hyosung.com



송 원 표 (宋元杓)

1958년 9월 23일 생.
1981년 서울대 원자핵공학과 졸업
1991년 경남대 전기공학과 졸업
1985년~현재 효성중공업 연구소
수석연구원

Tel : 055-268-9916, Fax : 055-268-9928
E mail : wpsong@hyosung.com



김 덕 수 (金德秀)

1951년 12월 2일 생.
1974년 부산대학교 전기공학과 졸업
1976~현재 효성중공업 차단기담당
임원

Tel : 055-268 2009, Fax :
E mail : hico-dskim4@hyosung.com



전 찬 석(全燦席)

1962년 10월 10일생. 1983년 철도전문대학 전기과 졸업. 1998년 서울산업대학교 전기공학과 졸업(학사). 2001년 연세대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994.6~1995.5 서울지방철도청. 1995.4~1996.4 교통공무원교육원 강사, 1995.5~현재 철도청근무

Tel : 042-481-8829, Fax : 042-481-8832
E-mail : juncs@mail.korail.go.kr



길 경 석(吉曠碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~현재 한국해양대학교 공과대학 전기공학과 조교수

Tel : 051-410-4414,
Fax : 051-403-1127
E-mail : kilgs@kmaritime.ac.kr