

차세대 디지털 적산전력계에 기반한 배전원격관리시스템 설계 및 프로그램 개발

論 文

54A-4-5

Distribution Remote Management System Design and Program Development Based on ADWHM(Advanced Digital Watt-Hour Meter)

高 鈞 錫[†] · 河 福 男^{*}
(Yun-Seok Ko · Bok-Nam Ha)

Abstract - This paper proposes a DRMS(Distribution Remote Management System) which can enhance highly the economics of automatic metering system and the power quality supplied to the electric customer improving the efficiency of the meter reading, voltage management and load management work by realizing the remote meter reading, the remote voltage management and the remote load management based on the ADWHM(Advanced Digital Watt Hour Meter). The DRMS is designed so that the voltage management and load management work in remote site can be processed by collecting the voltage pattern and current pattern as well as watt hour data from all ADWHMs one time every month regularly or from special ADWHMs several time irregularly. A new on-line voltage and load management strategy based on the ADWHM is designed by analyzing the existing voltage management and load management process. Also, DRMS is designed so that watt-hour data, voltage pattern data, load pattern data and power factor data can be collected selectively according to the selection of user to assist effectively the methodology. Remote management program and database of the DRMS are implemented based on Visual C++, MFC and database library of MS. Also, DRMS is designed so as to communicate with the ADWHM using RS232C-TCP/IP converter and ADSL. The effectiveness of the remote metering function is proven by collecting and analyzing the data after ADWHMs installed in any site. The developed strategy and program also is verified through the simulation of voltage management and load management.

Key Words : ADWHM(Advanced Digital Watt-Hour Meter), DRMS, Voltage Management, Load Management

1. 서 론

전력회사에서는 일반 수용가들에 고품질의 전력공급은 물론 고품질 서비스를 제공하기 위해서 내부적으로 정전관리, 손실관리, 부하관리, 전압관리등의 관리목표 달성과 자동검침의 실현을 위해 노력하고 있다. 정전관리 측면에서 배전선로들은 정전구간 최소화를 위해 다분할 다연계 구조로 설계된다. 선로 인출구에 차단기가 그리고 선로상 또는 선로간에 부하 개폐기들이 설치된다. 이들은 개폐기 조작을 통해 사고나 작업시 정전구간을 분리하고 부하용통을 시도함으로써 정전구간을 최소화한다[1]. 손실관리 측면에서 선로 신설시나 일정 주기별로 시뮬레이션을 통해 이들 개폐기들 중의 한 지점을 새로운 부하 절분점으로 결정, 선로를 재구성함으로써 선로손실을 최소화할 수 있도록 한다[2]. 다음, 전압관리 측면에서 특정한 시기에 일반 수용가 전압 측정개소를 선정하여 전압을 측정, 전압의 적정율을 개선하기 위한 노력을 기울인다. 실제로 수용가 부하는 계절별로 상당한 변화를 보이기 때문에 주변압기에 장착된 ULTC의 정정치와 주상변압기의 탭위치를 관리하

여 수용가에 공급되는 전압을 허용범위내에서 유지할 수 있도록 전압관리 노력을 기울인다[3-6]. 끝으로, 부하관리[7,8]에서 저압부하관리의 경우 수용가 부하에 대한 직접적인 부하제어가 불가능하기 때문에 변압기 단위로 부하관리를 실시, 수용가 신설시 수용가능성 검토 및 변압기 과부하를 판정하여 부하이설 및 변압기 교체 등을 통해 과부하로 인한 정전문제를 해소하기 위한 노력을 기울이고 있다. 그러나 실제 전압관리는 사업소별로 담당자가 주수이내에 전압측정개소를 선정하고 실측업무를 담당해야 하는데, 선로구성이 자주 바뀌고 부하변화가 심하기 때문에 정확한 측정개소를 결정하는 것은 매우 어렵다. 또한, 사업소별로 수백개소에 전압기록계기를 설치하고 수거하는 문제는 장거리 선로의 경우 수십 Km에 이르고 교통체증, 수용가의 외출등으로 엄청난 시간비용과 노력을 요구하며 정확성을 보장하기 어렵다. 저압부하관리의 경우 배전 변압기가 110만대 이상으로 개별 변압기들에 대한 부하실측이 불가능해 대표적인 변압기 개소들에 대해 원격에서 부하를 실측, 상관계수의 실효성을 높이고 있다. 그러나 타 변압기들에 대한 과부하 확인을 위해서는 현장에 출동해야 하기 때문에 비효율성은 물론 여름철 과부하로 인한 변압기의 소손, 정전 문제가 발생하고 있다. 또한 저압 수용가에 대한 자동검침의 경우는 경제성 문제로 실현에 어려움을 겪고 있다[9-11].

따라서 본 연구에서는 ADWHM[12]에 기반하여 원격에서 배전 전압관리 및 부하관리를 실현함으로써 자동검침 시스템의 경제성을 제고하고 일반 전기 수용가에 대한 공급전력의 품질을 획기적으로 개선할 수 있는 배전 원격관리시스템

[†] 교신전자 正會員 : 남서울大學 電子情報通信工學部 副教授 · 工博
E-mail : ysko@nsu.ac.kr

^{*} 正會員 : 韓國電力公社 電力研究院 責任研究員
接受日字 : 2004年 12月 10日
最終完了 : 2005年 2月 21日

(DRMS : Distribution Remote Management System)을 설계한다. 그리고 기존 전압관리 및 부하관리 기법을 분석하여 DRMS를 이용한 원격 전압관리와 부하관리전략을 제안한다. DRMS의 원격관리 프로그램과 데이터베이스는 윈도우즈 XP 환경하에서 Visual C++, MFC 그리고 MS사의 자체 데이터베이스 라이브러리인 DAO를 기반으로 설계된다. 또한 DRMS는 ADSL과 RS232C-TCP/IP 컨버터를 통해 ADWHM과 통신할 수 있도록 설계한다. 끝으로, 하나의 측정개소에 ADWHM을 설치한 후, PC 컴퓨터상에서 개발된 원격관리 기능을 통해 전압 및 부하데이터를 수집하여 원격검침의 유효성을 확인하며 전압관리 및 부하관리 기능의 시뮬레이션을 통해, 구현된 전략의 유효성을 검증한다.

2. 배전 전압관리 기법 분석

전압관리는 여름철(7~8월경) 및 가을철에 실시되는데, 그림 1과 같이 주변압기 송출지점, 5% 전압강하 및 말단지점 배전변압기 직하와 말단 등을 전압관리를 위한 측정개소로 선정한다. 기록계기 설치작업의 효율성을 제고하기 위해 주변압기 송출지점 변압기 P₀의 직하전압은 주변압기 PT전압으로 하며 이때, V_{P0,2(t)}는 생략된다.

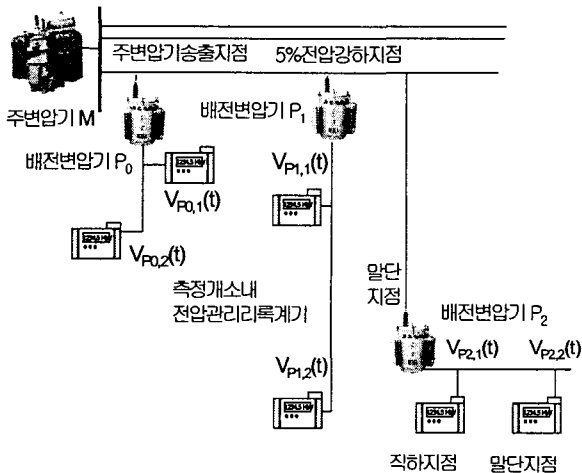


그림 1 전압관리 측정개소 및 구성

Fig. 1 The measuring point and configuration for voltage management

다음, 3일간 30분 주기로 전압 평균치를 기록한 후, 220±13[V]범위를 초과하는 부적정 개소를 확인, 적정 전압유지율(적정측정개소/전체측정개소)을 계산한다. 그리고 실측 데이터를 바탕으로 부적정 개소에 대해 변압기 탭을 변경한 후 ULTC 부하중심점 정정 및 전압보강공사를 실시하여 전압 적정율 개선을 시도한다[3-6].

2.1 배전변압기 고정탭 결정

배전변압기의 고정탭은 변압기 직하전압과 말단전압이 상한 및 하한 경계전압을 벗어나지 않는 범위내에서 평가함수 식 (1)을 최소화하는 min(Q_k)를 얻는 문제이다.

$$Q_k = \sum_{t=0}^{end} \{ (V_{max} - V_{\Pi,1}(t)) \cdot \frac{V_{\Pi,cTap}}{V_{kTap}} \}^2 + (V_{\Pi,1}(t) \cdot \frac{V_{\Pi,cTap}}{V_{kTap}} - V_{\Pi,min})^2 \} \quad (1)$$

여기서, V_{max} : 정격 상한 경계전압

V_{kTap} : 변압기의 k번탭 전압

V_{Pi,cTap} : 변압기 P_i의 기존 탭 전압

V_{pi,min} : 변압기 P_i의 1차측 환산 하한 경계전압

2.2 주변압기 고정탭 결정

주변압기 M의 최적 송출전압 V_{opt(k)}를 얻기 위한 고정탭 결정은 주변압기 직하 배전 변압기 P₀의 최고탭 maxTap에서 V_{P0,1(t)}가 상한전압보다 낮고 말단 변압기 P₂의 최저탭 minTap에서 V_{P2,2(t)}가 하한전압보다 높도록 하면서 정격전압 분포에 가깝도록 상한 및 하한 경계전압과의 편차식 (2)를 최소화하는 문제이다.

$$Q_k = \sum_{t=0}^{end} \{ (V_{max} - V_{M,1,kTap}(t)) \}^2 + (V_{M,kTap,1}(t) - V_{M,1,min,kTap}(t)) \}^2 \quad (2)$$

여기서, V_{max} : 저압측 상한전압

V_{M,1,kTap(t)} : 주변압기 M의 kTap 환산 송출전압

V_{M,1,min,kTap} : 주변압기 M의 kTap 환산 하한전압

2.3 ULTC 정정치 결정

일반적으로 ULTC를 이용한 전압강하 보상법은 부하 중심점과 그 유지전압을 결정한 다음 ULTC가 ±10%(17탭)의 전압보상능력 이용하여 부하중심점 전압을 일정하게 유지하게 하는 방법이다. 만약, 최적송출전압을 V_{opt(k)}, 뱅크부하전류를 I(k), 실측 데이터 수를 n이라 하면 실측 값과 부하중심점 계수에 의한 값과의 편차는 최소자승법에 기반하여 식 (3)으로 표시할 수 있다. 식 (3)에서 Z는 부하중심점 임피던스, V_o는 부하중심점 유지전압이다.

$$Q = \sum_{k=0}^n [V_{opt}(k) - (V_o + Z \cdot I(k))]^2 \quad (3)$$

이때 식 (1)을 최소로 하는 V_o와 Z는 각각 ∂Q/∂Z=0, ∂Q/∂V_o=0를 통해 식 (4), 식(5)로 얻는다.

$$Z = \frac{\sum_{k=1}^n V_{opt}(k) \sum_{k=1}^n I(k) - n \sum_{k=1}^n I(k) V_{opt}(k)}{(\sum_{k=1}^n I(k))^2 - n \sum_{k=1}^n (I(k))^2} \quad (4)$$

$$V_o = \frac{\sum_{k=1}^n I(k) \sum_{k=1}^n V_{opt}(k) - Z \sum_{k=1}^n (I(k))^2}{\sum_{k=1}^n I(k)} \quad (5)$$

3. 배전 부하관리 기법 분석

일반적으로 부하관리는 수용가 부하에 대한 직접제어가 불가능하기 때문에 변압기 단위로 이루어진다. 고압부하의 경우 수용가 계약전력, 수용률, 사용전력량 데이터를 이용하여 최대 부하를 추정하고, 저압부하의 경우는 월별 사용전력량에, 표본 변압기들에 대한 실측결과로부터 얻어지는 부하 상관계수를 적용하여 변압기 최대전류 및 최대부하를 추정한 후, 1기(6개월) 후의 부하 $kP_{w,5}$ 또는 2기(1년) 후의 부하 $kP_{w,6}$ 를 예측, 변압기 용량 P로 나누어 얻어진 변압기 이용률($kP_{w,i}/P$)을 활용하여 변압기 부하를 관리하게 된다[7,8].

3.1 주상변압기 상관계수 결정

신뢰범위 95[%]에서 오차가 20[%] 이내가 되도록 농어촌, 변화가, 주택가에 대해 대, 중대, 중소, 소부하별로 24개 표본 변압기를 선정, 10분주기로 사용전력량 데이터 W_k 와 최대부하전류 데이터 I_k 를 취득한 후, $\pm 3\sigma$ 영역 데이터를 제거한 신뢰도 범위 99.7[%]의 데이터들에 대해서 최소 자승법을 활용하여 부하상관식을 산출한다. 이때 상관계수는 1차 및 2차식으로 얻어지는데, 1차식의 경우 실측 데이터와 상관계수에 의해서 얻어지는 값 사이의 편차는 식 (6)으로 표시될 수 있다.

$$Q = \sum_{k=0}^n [I_k - (aW_k + b)]^2 \tag{6}$$

식 (6)을 최소로 하는 a와 b는 $QG/\partial a = 0, \partial Q/\partial b = 0$ 를 통해서 식 (7)와 (8)과 같이 얻을 수 있다.

$$a = \frac{\sum_{k=1}^n I_k \sum_{k=1}^n W_k - n \sum_{k=1}^n W_k I_k}{(\sum_{k=1}^n W_k)^2 - n \sum_{k=1}^n W_k^2} \tag{7}$$

$$b = \frac{\sum_{k=1}^n W_k \sum_{k=1}^n I_k - a \sum_{k=1}^n I_k^2}{\sum_{k=1}^n W_k} \tag{8}$$

3.2 최대부하계산

최대부하는 앞에서 구해진 상관계수를 월별 사용전력량에 적용하여 110[V]로 환산된 등가전류를 기준으로 식 (9)와 같이 얻어진다. 이때 상관계수는 지역별(변화가, 주택가, 농어촌), 계절별, 전력량별로 다르게 적용된다.

$$P = \left(\sum_{i=1,3} ((aW + b) \times \frac{W_{i\phi}}{W} \times 115 \times 10^{-3}) \right) \times D [kVA] \tag{9}$$

여기서, a,b는 주상변압기 상관계수, W는 배전 단위의 전동 사용량(kWh), $W_{1\phi}, W_{3\phi}$ 는 단상 및 3상 사용전력량(kWh), D는 전류감소율, $(K^2 - K + 1)$ 그리고 K는 단상구성율을 표시한다.

3.3 부하예측

배전 변압기에 대한 1, 2기후의 부하예측은 분기단위로 구해지는 변압기 부하의 호당 i기 전동부하 $kP_{w,i}$ 와 부하증가율을 기반으로 식 (10), (11)과 같이 얻는다.

$$kP_{w,5} = kP_{w,4} \times \left\{ 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{kP_{wC,4}}{kP_{wC,3}} - 1 \right) \right\} \times \frac{N_{w,4}}{N_{w,3}} \tag{10}$$

$$kP_{w,6} = kP_{w,4} \times \left\{ 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{kP_{wC,2}}{kP_{wC,0}} - 1 \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{kP_{wC,4}}{kP_{wC,2}} - 1 \right) \right\} \tag{11}$$

여기서, $kP_{w,i}$: 기수 i의 주상변압기의 전동부하[kVA]

$N_{w,i}$: 기수 i의 주상변압기의 수용호수

4. 배전 원격관리 전략 설계

4.1 배전 원격관리 시스템 구성

DRMS(Distribution Remote Management System)는 ADWHM으로부터 사용 전력량 데이터, 전압관리, 부하관리 데이터를 수집함으로써 원격 검침, 원격 전압관리, 원격 부하관리를 통합적으로 지원할 수 있도록 설계된다. DRMS는 전력회사 사업소내에 설치되는 배전 원격관리 노드로 인터넷을 통해 수용가내에 설치되는 디바이스 서버와 통신하여 차세대 디지털 적산전력계로부터 데이터를 수집하게 된다.

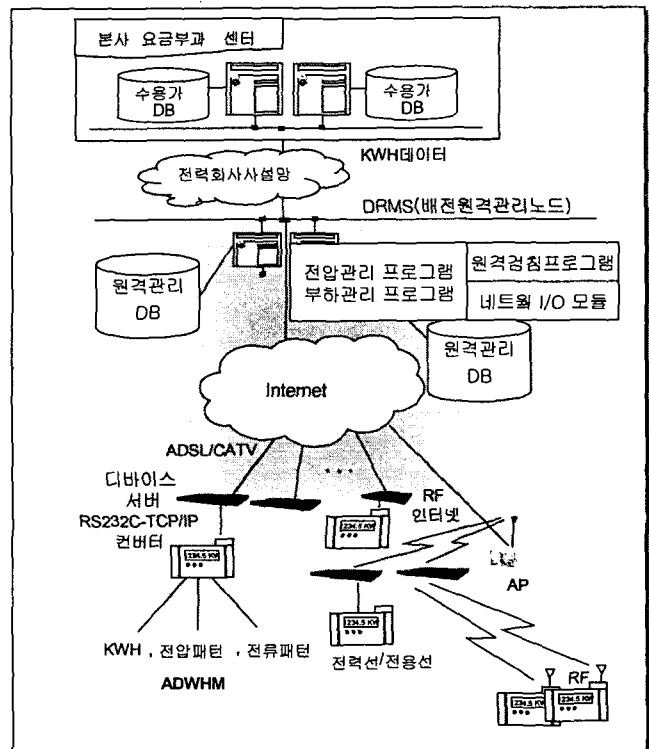


그림 2. 배전원격관리 시스템 구성도

Fig. 2 DRMS configuration

그림 2는 DRMS의 구성도를 보이는데 이중화된 구조로 구성되며 특히 디바이스 서버는 게이트웨이의 역할을 한다. 이때 DRMS는 원격관리 DB로부터 수용가 IP 어드레스를 검색, 네트워크 I/O모듈을 이용하여 대응하는 디바이스 서버에 데이터 수집을 요청, ADWHM으로부터 사용 전력량, 전압관리 데이터 그리고 부하관리 데이터를 수집할 수 있도록 한다. 이때 배전원격관리를 위한 통신망으로는 ADSL, CATV 또는 무선인터넷 망 중에서 보급률이 가장높은 ADSL 망을 지원 가능하도록 한다. DRMS는 구축된 원격관리 DB를 기반으로 전압 및 부하관리 프로그램을 실행시켜, 원격전압관리 및 원격부하관리를 실행할 수 있도록 설계한다.

4.1 ADWHM 사양

이러한 문제를 해소하기 위해 기존 검침기능외에 전압관리와 부하관리 데이터 기록기능을 가지는 ADWHM에 대한 기능을 보인다[12].

표 1. ADWHM의 설계사양

Table 1. Specifications for ADWHM

상선 식	공급 전압	기능		통신 방식
1P 2W	220V 30A	kWH	사용전력량 기록	RS232 C/TCP /IP
		전압관리	3일간 15분주기 평균전압 기록	
		부하관리	3일간 15분주기 평균부하 기록	
		역률관리	역률기록	

4.2 원격관리 데이터베이스 설계

원격관리 데이터베이스는 관계형 모델로 설계되며 크게 수용가, 주상변압기(PTr), 원격관리데이터(RM), 적산전력계(WHM) 그리고 주변압기 데이터 파일로 구성된다. 배전관리 프로그램은 ADWHM으로부터 데이터를 수집, 원격 데이터베이스에 저장한다.

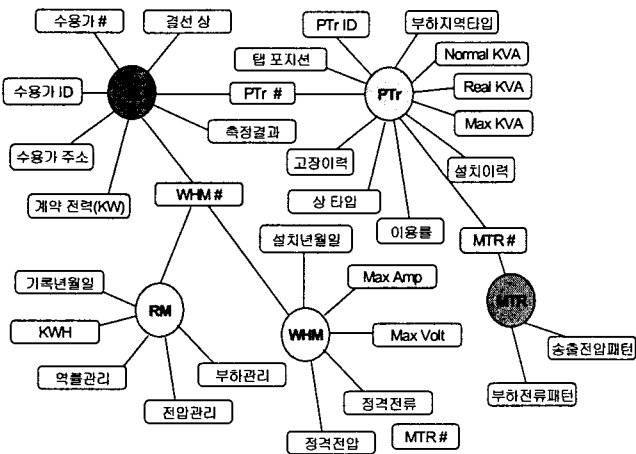


그림 3 원격관리 데이터베이스 구조
Fig. 3 Database structure for remote management

수용가 파일에서 결선 상은 수용가 부하가 배전변압기의 어느 상에 연결되어 있는 지를 나타낸다. PTr에서 Max KVA는 PTr#를 이용하여 관찰 수용가들로부터 RM의 시간대별 부하관리 데이터를 합산하여 계산되는 주상변압기의 최대부하를 표시한다. 그리고 RM과 WHM에서 WHM#는 데이터 소속관계를 확인하기 위한 공통필드이다. 그리고 끝으로 주변압기 데이터 파일은 전압관리를 위해 요구되는 데이터로써 특히 부하전류는 변전소로부터 제공받도록 한다 그림 3은 배전 데이터 원격관리를 위해 본 연구에서 설계된 데이터베이스의 구조를 보인다.

4.3 원격관리 데이터수집 및 처리전략

기존의 원격 데이터수집 전략과 본 연구에서 제안되는 전압관리, 부하관리를 포함하는 배전 원격관리 전략을 표 1에 보인다. 따라서 DRMS의 서버는 표 1의 전략에 따라 매월 1회씩 수용가 DB로 수용가 정보를 검색, ADWHM들로부터 데이터를 수집하여 원격관리 업무를 수행하게 된다.

표 2 배전 원격관리 전략

Table 2 Distribution remote management strategy

관리 항목	현행(OFF-LINE)		원격관리(ON-LINE)	
	측정개소	측정	측정개소	측정
전압 관리	MTr 송출직하지점 5% 변대직하지점 5% 변대말단지점 말단 변대직하지점 말단 변대말단지점	1년 2회 3일	MTr 송출 변대직하지점 MTr 송출 변대말단지점 외 모든 수용가 지점	매월 3일
부하 관리	지역,계절,부하크기 별 2 4 개 소 변 압 기 직하지점(신뢰도 95% 이내,오차 20%내)	필요 시 2년 1회 1개월	상관 계수 결정 지역,계절,부하크 기별96개소변압기 직하지점(신뢰도 95%,오차 10%내)	2년 1회 1개월 매월 또는 수시 3일
			이용 률 감시	

4.3.1 원격 전압관리 처리절차

만약 전 수용가에 대해 매월 전압을 측정하여 전압적정유지율을 계산할 수 있다면 일반 수용가에 대한 전압품질을 개선할 수 있다. 따라서 표 2에 보인바와 같이 기존의 주변압기 전압 송출지점, 5%지점과 말단지점의 변대직하와 말단 개념에 벗어나 모든 수용가를 전압측정개소로 한다. 또한 측정빈도도 매월 1회씩 이루어지도록 함으로써 연간 전압 적정유지율의 정확성과 일반수용가에 대한 전압품질을 대폭 개선할 수 있도록 설계한다. 그림 4는 배전전압관리 처리전략을 보이는데, 모든 부적정 개소에 대해 주상변압기 최적점 및 ULTC 최적 정정치를 결정함으로써 적정 전압이 공급될 수 있도록 한다.

4.3.2 원격 부하관리 처리절차

부하관리처리절차는 주상변압기 상관계수 계산 프로세스, 월별 과부하 변압기 보고 프로세스 그리고 변압기 이용률 보고 프로세스로 구성한다.

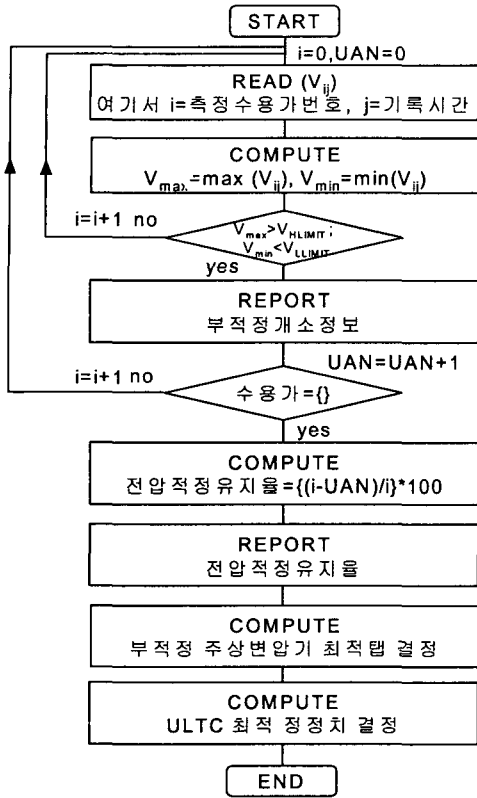


그림 4 원격 전압관리 프로세스
Fig. 4 Remote voltage management process

주상변압기 상관계수 프로세스는 부하의 변화추세를 충분히 반영할 수 있도록 2년주기로 실시하며 신뢰도 95[%]내에서 오차가 10[%]내로 유지될 수 있도록 모집단의 규모를 96개소로 한다. 그리고 이들 표본 변압기들에 대해서 1개월간의 수용가 전류부하패턴 I_{ijk} 와 사용전력량 Wh_{ij} 를 검침한 후, 그림 6에 보인바와 같이, T_{ik} 를 계산한다. 그리고 이들을 기반으로 정규분포곡선에서 99.7[%]의 신뢰도에 속하는 변압기 최대부하전류 IT_i 와 사용전력량 데이터 Wh_{Ti} 만을 포함하는 데이터 세트를 결정한다. 다음, 식 (7)과 (8)을 이용하여 변압기 상관계수를 계산, 상관계수의 정확성을 제고할 수 있도록 한다. 월별 검침에 의한 과부하 보고 프로세스는 그림 5에 보인 바와 같다.

단계 1] 변압기 DB로부터 주상변압기 정보를 검색하여 변압기별 수용가 리스트를 작성한다. 다음 i 번째 주상변압기에 속하는 각 수용가의 I_{ijk} , P_{ij} 를 검색한다. 여기서 I_{ijk} 는 i 번째 변대에 속하는 j 번째 수용가의 k 시간대 전류부하평균치를 나타낸다. 반면에 Wh_{ij} 는 i 번째 변대의 j 번째 수용가의 한달간 사용전력량을 표시한다.

단계 2] T_i 의 시간대별 부하전류패턴을 계산한다. 시간대별 부하전류패턴 T_{ik} 는 그림 10에 보인 바와같이 변압기 i 에 속하는 모든 수용가의 동일시간대 부하전류를 합하여 산정하게 되는데, i 번째 변압기의 k 시간대 부하로서 $T_{ik} = \sum_{j=1}^n I_{ijk} (k=1,2, \dots, m)$ 로 표시된다.

단계 3] T_{ik} 로부터 T_i 의 최대부하전류 I_{Ti} 를 계산한 후 최대 부하P를 계산한다. 이때 बैं크 최대부하 $P_i = I_{Ti} \times 220 \times$

10^3 [kVA]이며, 변압기 용량으로 나누어 변압기 T_i 의 이용률을 계산, 매월 과부하 변압기를 보고한다.

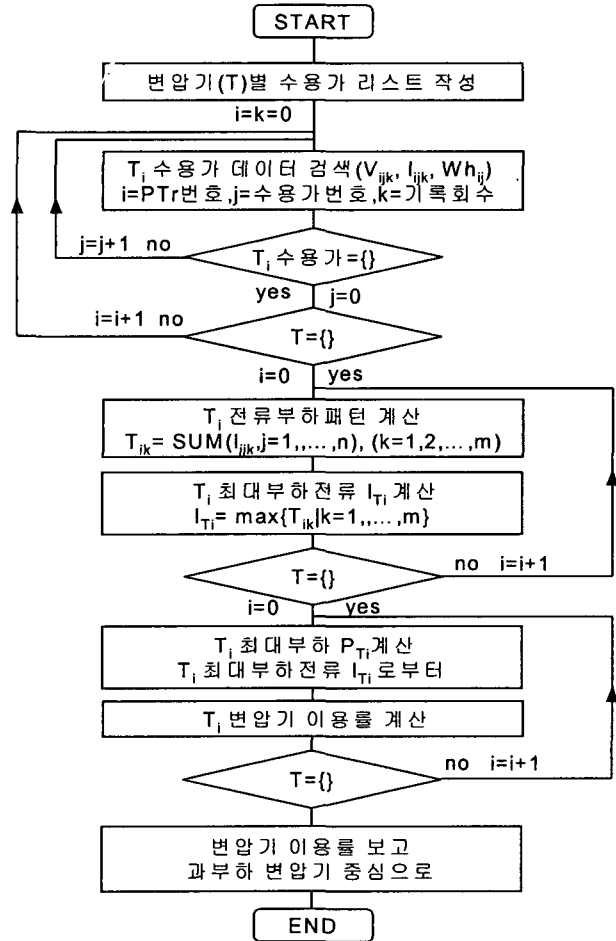


그림 5 월별 과부하 변압기 보고 프로세스
Fig. 5 Overload transformer report process each a month

끝으로, 변압기 이용률 보고 프로세스는 DB로부터 변압기 세트 T 의 변압기들에 대해서 각각 소속한 수용가 리스트를 작성한다. 그리고 각각의 변압기 T_i 에 대해 각 수용가들의 사용전력량 Wh_{ij} 를 더해서 T_i 에 대한 사용전력량 TWh_i 를 계산한다. 다음 식 (7)을 이용하여 बैं크 최대부하 kP_{wi} 를 계산한 다음 식 (8)과 (9)를 통해 부하 예측치를 계산한 후, 변압기 이용율을 계산한다. 그리고 변압기 이용률이 높은 순으로 변압기별 이용률을 보고한다.

5. 실험 고찰

본 연구에서는 배전원격관리 시스템을 설계하고 그 방법론을 제시하였다. 따라서 먼저 실험 시스템을 구성한 후 하나의 포인트에 대한 원격검침 기능을 검증한 후 원격검침 기능을 기반으로 하는 원격관리전략의 유효성을 시뮬레이션 한다. 실험 시스템은 22.9KV로부터 하나의 주상 변압기에 의해 220V 라인에 연결된 1개의 ADWHM과 디바이스 서버, 연결된 인터넷 망 그리고 PC기반 DRMS로 구성된다.

5.1 원격검침 성능 실험

원격검침 프로그램은 개별 ID를 입력한 상태에서 DB 검색버튼을 입력하면 해당 수용가에 대한 ADWHM을 자동 검침하는 반면에 입력하지 않은 상태에서 DB 검색버튼을 입력하면 모든 수용가에 대한 ADWHM에 대해 순차적으로 자동 검침을 실행하게 된다. 그리고 검색정보는 전압, 전류, 역률, 사용 전력량 그리고 전체중에서 선택된 정보가 검침되도록 데이터 프로토콜을 결정한다. 그림 6은 설계, 구현된 원격관리 시스템의 원격검침 MMI를 보인다.

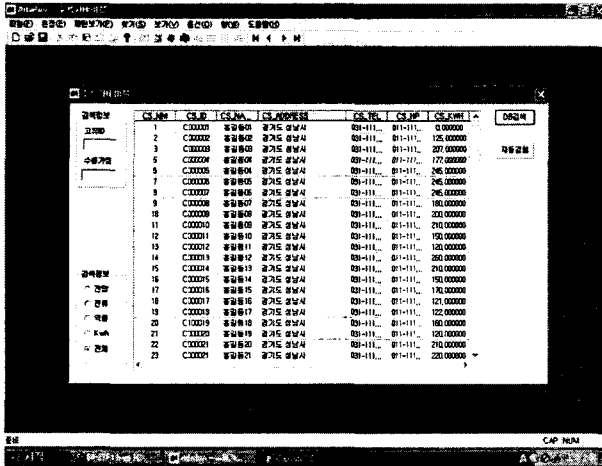


그림 6 DRMS의 자동검침 MMI
Fig. 6 MMI for automatic meter reading of DRMS

먼저 검색정보를 “전체”로 설정한 후 DB검색버튼을 눌러 원격검침 프로그램을 구동, ADWHM으로부터 전압, 전류 부하패턴 데이터를 수집하여 원격관리DB에 저장하도록 하였다.

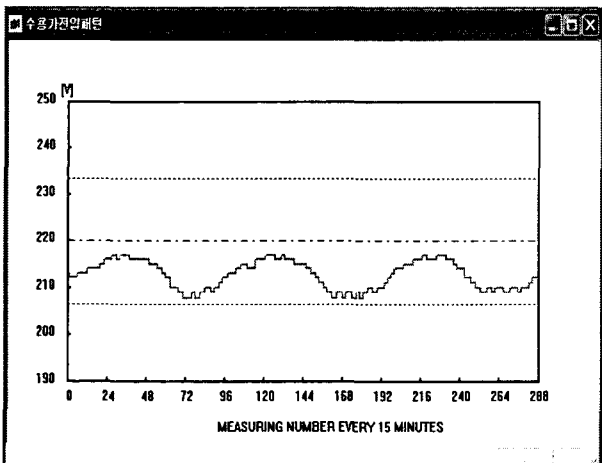


그림 7 DRMS의 전압관리 패턴 데이터
Fig. 7 Voltage management pattern data of DRMS

그림 8은 원격검침 기능에 의해서 얻어진 측정개소에 대한 전압관리 패턴을 보이는데, 허용전압 하한치 207V보다 낮은 전압이 공급되어 부정적 개소임을 확인할 수 있다. 그림 8은 ADWHM으로부터 DB에 저장된 부하전류 패턴을 보인다.

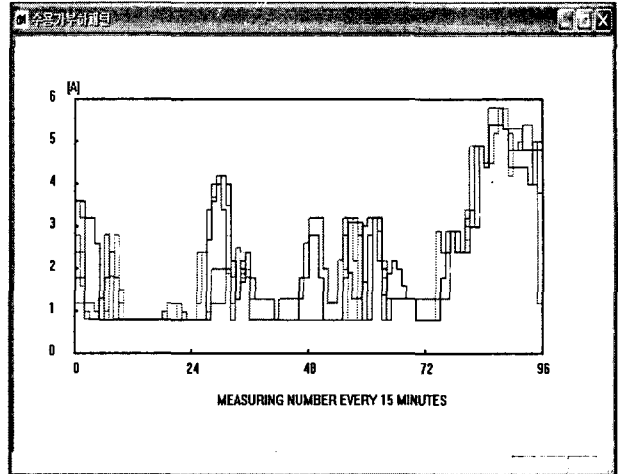


그림 8 DRMS의 부하전류 패턴 데이터
Fig. 8 Load Current pattern data of DRMS

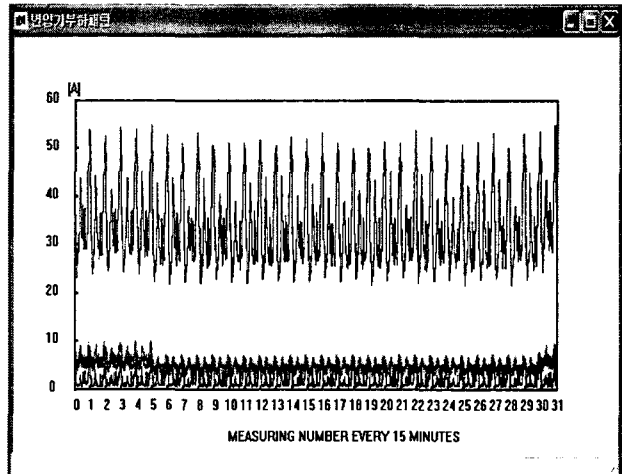


그림 9 DRMS의 배전변압기 부하관리 패턴 데이터
Fig. 9 Load management pattern of distribution transformer

그림 9는 주변압기 부하패턴을 보이는데, 주변압기에 연결된 총 12 수용가 중 하나의 패턴만이 실측되었기 때문에 나머지 수용가들에 대해서는 가상적 부하패턴들이 설정되었다. 이 부하패턴을 통해서 변압기 최대부하가 계산된다.

5.2 원격관리 전략 평가

5.2.1 전압관리 프로그램 성능 평가

전압관리 프로그램은 실측대상 수용가가 그림 11에 보인바와 같이 과부하이거나 주상변압기 탭의 부적정 위치로 인해서 부족전압 개소임을 보여준다. DRMS 전압관리 프로그램은 배전변압기 탭 변경을 통한 부정적 전압 해소를 위한 노력으로 주변압기 및 배전변압기 고정탭을 각각 5번탭과 4번탭으로 결정하였다. 그림 10은 보상되기 전 전압패턴과 3번탭을 5번탭으로 변경한 후의 전압패턴을 보인다. 그림에서 보상된 후 직하전압과 말단 전압이 모두 $220 \pm 13 [V]$ 허용범위내에 있음을 확인할 수 있다. 또한 보상후의 직하전압과 말단전압을 ULTC 정정치 산정을 위한 최대 과부하선로의 직하전압과

말단전압으로, 그리고 ULTC 동작위치와 주변압기 부하전류를 기존 변전소의 부하패턴과 유사한 패턴으로 입력한 상태에서 최적 전압 보상을 위해 ULTC 정정치는 부하중심점 전압 $V_0=0.58[V]$ 그리고 임피던스 $Z=0.26, [\Omega]$ 로 결정되었다. 이때 ULTC 보상후의 결과를 시뮬레이션 한 결과는 그림 11에 보인다. 전압이 정격전압에 가깝도록 분포되어있음을 확인할 수 있다.

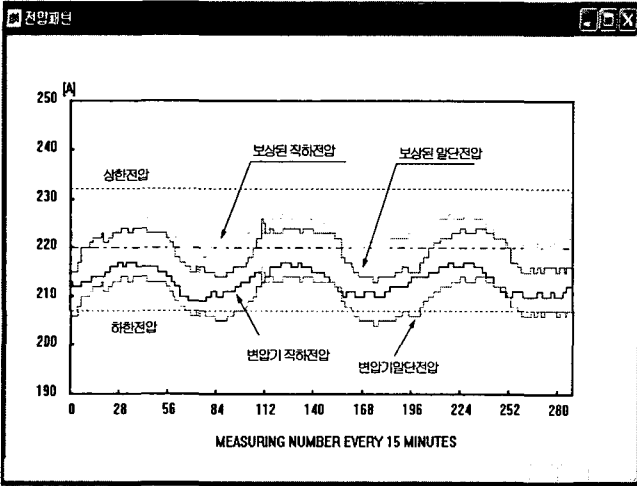


그림 10 배전변압기 탭 변경전후의 직하전압과 말단 전압 패턴
Fig. 10 Voltage pattern before and after transformer tap hanging

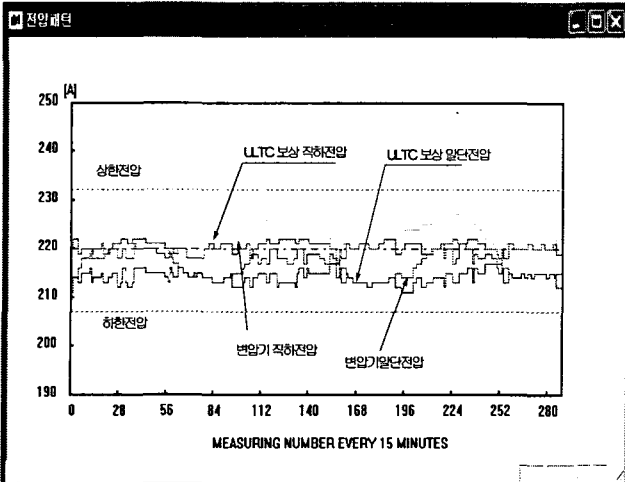


그림 11 ULTC 보상후의 직하전압과 말단 전압 패턴
Fig. 11 Voltage pattern before and after ULTC ompensation

5.2.2 부하관리 프로그램 성능 평가

먼저 대표적으로 변화가 중 부하지역에 대한 변압기 상관계수를 모의, 결정한다. 가상적으로 DB에 96개의 변압기 전류 데이터 I_k 와 사용 전력량 데이터 W_k 를 입력한 후 상관계수 결정 기능에 의해서 다음 상관계수를 얻었다. 1차인 경우 $a=0.038549$, $b=12.08734$, 그리고 2차인 경우 $a=-0.00000435$, $b=0.083965$, $c=-106.4998471$ 이 제시되었다.

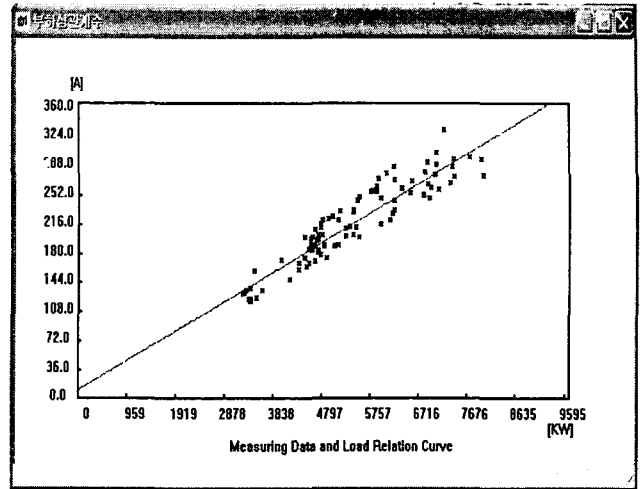


그림 12 샘플링 데이터와 부하상관함수
Fig 12 Sampling data and load relation function

그림 12는 가상 실측데이터와 그로부터 얻어진 1차 상관계수를 적용한 곡선을 보이는데 부하상관계수가 정확하게 결정되었음을 보인다. 다음은 부하관리 프로그램의 변압기 이용률 보고 기능을 검증한다.

표 3. 변압기 정보 데이터

Table 3. Distribution transformer Information data

PT#	설비 용량	최대 부하	수용가 호수(5)	부하/호수(1)	부하/호수(2)	부하/호수(3)	부하/호수(4)	변압기 이용률
1	20	22.81	7	3.0/2	5.4/3	10.0/5	13.2/6	1.14
2	30	20.36	10	3.2/2	8.5/5	11.4/6	16.8/8	0.68
3	50	44.87	25	21.0/15	25.5/17	32.0/20	39.6/22	0.90
4	50	41.37	22	15.0/10	27.0/15	31.9/17	36.1/19	0.83
5	70	67.67	37	37.5/25	55.0/30	59.7/35	62.4/35	0.97

표 3은 변압기 보고 기능 검증을 위한 5대의 변압기와 수용가들에 대한 데이터를 보인다. 부하는 변압기 부하를 호수는 변압기 수용가 호수를 나타내며 (j)는 j를 표시한다. 그리고 각각의 변압기들에 대해서 앞에서 얻어진 1차 부하 상관계수를 적용하여 탭 등가전류를 구한다음 최대부하를 구하였으며 또한, 이를 기반으로 1년후의 부하를 예측, 변압기 이용률을 구하였으며, 그 결과는 표 3에 보인다.

이상과 같이 실험을 통해 1개 측정개소에 대한 실측결과를 통해 원격검침의 유효성을 확인하였으며, 전압관리 및 부하관리 기능 시뮬레이션을 통해 제안된 전략이 원격검침은 물론 원격 전압관리 및 원격 부하관리를 위해 효과적으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 논문에서는 차세대 디지털 적산전력계(ADWHM)에 기반하여 자동검침, 원격전압관리, 원격부하관리를 통합, 실현할 수 있는 배전 원격관리 시스템(DRMS)을 설계하고 그 방법론을 제안하였다. 배전 원격관리 시스템은 정기적으로 매월 1회 관할지역내의 모든 ADWHM들로부터 또는 비정기적으로 개

별적으로 지정된 ADWHM들로부터 수용가의 사용 전력량은 물론 전압관리 데이터와 부하관리 데이터를 제공받아 원격에서 전압관리 업무와 부하관리 업무를 수행할 수 있도록 설계하였다. 기존 전압관리와 부하관리 업무를 분석하여 ADWHM에 적합한 새로운 전압, 부하관리 전략을 설계하였으며, 이 방법론을 효과적으로 지원하기 위해 사용자의 선택에 따라 사용 전력량, 전압패턴 데이터, 부하패턴 데이터 그리고 역률이 선택적으로 수집될 수 있도록 하였다. 원격관리 프로그램과 데이터베이스는 윈도우즈 XP 환경하에서 Visual C++, MFC기반으로 설계, 구현되었으며, RS232C-TCP/IP 컨버터 그리고 ADSL을 통해 ADWHM과 통신할 수 있도록 설계하였다. 끝으로 PC 컴퓨터상에서 개발된 원격관리 기능을 통해 ADWHM으로부터 데이터를 수집, 그 결과를 분석, 그 유용성을 확인하였으며, 원격전압관리 및 부하관리 모의 시뮬레이션을 통해, 설계, 구현된 원격관리프로그램과 전략의 정확성을 검증, 추후 제안된 전략이 수용가에 공급되는 전력품질을 개선하고 전압관리와 부하관리의 효율성 그리고 원격검침의 경제성을 크게 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호: R05-2002-000-00239-0)지원으로 수행되었음

참 고 문 헌

[1] Taylor T. and D. Lubkeman, "Implementation of Heuristic Search Strategies for Distribution Feeder Reconfiguration," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp 239-246, January 1990.

[2] Jung, Kyung-Hee.Ho-Young Kim, Yun-Seok. Ko, "Network Reconfiguration Algorithm for Automated Distribution Systems based on Artificial Intelligence Approach," IEEE PWRD WM-93 Feb. 1993.

[3] 배전전압 관리개선을 위한 전압조정장치의 최적운영연구, 한전연구소보, 1985.

[4] 전압관리 기법의 효율화 방안에 관한 연구, 한전연구보고서, 1988.

[5] H. Kim and D. Rho,"A Study on the Optimal Operation Method of Voltage Regulator at Distribution Substation", 1989 IFAC Symposium on Power Plant Control, pp 145-149, 1989.

[6] 고윤석, 김호용, 이기서 외 1,,"인공신경회로망의 LDC변수 동적이동능력을 이용한 실시간 ULTC 제어전략", 한국통신학회논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 541-551, 1996년 2월.

[7] 박창호, 조성수, 김재철외 2인,"부하관리 개선을 위한 부하 상관계수 산정에 관한 연구, 대한전기학회 하계학술대회논문집", pp. 1267-1269, 1999년도 7월.

[8] 박창호, 한용희, 김준오, 조성수, "배전변압기의 전동부하 추정을 위한 상관계수 산정 및 신뢰성 검증, 대한전기학회 하계학술대회 논문집", pp.1073-1075, 1999년도 7월.

[9] S.Mak and D.Radford,"Design Considerations for Implementation of Large Scale Automatic Meter Reading", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.10 No.1, pp 97-103, Jan. 1995.

[10] Cameron L. Smallwood,"Power Quality Issues Reading to Ppower Line Carrier Automated Meter Reading", Proceedings of the 2001 Rural Electric Power Conference, B1-1-8, April 2001.

[11] Newbury J. Miller W, "Multiprotocol Routing for Automatic Remote Meter Reading using Power Line", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 16 No.1, pp 1-5, Janu. 2001.

[12] 고윤석, 윤상문, 서성진, 강태규, "차세대 디지털 적산전력계 개발", 대한전기학회논문지, Vol. 21, No. 2, pp. 541-551, 2004년 8월.

저 자 소 개



고 윤 석(高 鈞 錫)

1984년 2월 광운대 공대 전기공학과 졸업.
1986년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 2월 광운대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 3월~1996년 3월 한국전기연구소 선임연구원. 1996년 4월~1997년 3월 포스코 경영연구소 연구위원. 1997년 3월~현재 남서울대학교 전자정보통신공학부 부교수.



하 복 남(河 福 男)

1958년 1월 10일 생. 1986년 한밭대 전기공학과 졸업. 1994년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사) 1978년~86년 한전 대전전력관리처, 1987년~88년 한전 광주전력관리처, 1989년~현재 한전 전력연구원 근무, 전력계통연구실 배전연구센터 책임연구원.
Tel : (042)865-5902
E-mail : bnha@kepri.re.kr