

차세대 전기에너지공급시스템(FRIENDS)에 의한 최적 전압관리방안에 관한 연구

노대석*

Optimal Voltage Management Based on the Flexible, Reliable, Intelligent and Energy-conservative Distribution System (FRIENDS)

Daeseok Rho*

요 약 본 논문에서는 세계적인 추세에 있는 전력산업의 규제완화와 지구규모적인 환경문제, 전기의존도의 증가, 수용가의 다양한 요구 등 배전계통을 둘러싼 환경변화에 대응할 수 있는 차세대 전기에너지공급시스템의(FRIENDS)의 기본개념과 운용모형을 제안하여, 기존계통에의 도입적용에 대한 구체적인 실현형태를 제시한다. 특히, 배전계통의 목표관리로 수행되고 있는 수용가 전압의 전압관리 측면에서 FRIENDS의 운용모델과 기존의 전압관리 운용방안을 비교·평가하는 수법을 제시하여, FRIENDS의 운용효과를 정량적으로 평가한다. 여기서, 차세대 배전계통은 유연하게 계통구성을 변화시킬 수 있고, 수용가에 멀티메뉴 서비스를 제공할 수 있으며, 각종 설비의 고효율운전을 가능하게 하는 고유연·고신뢰·고효율 전기에너지유통시스템을 말한다.

Abstract In recent years, better quality in power electric services is being required with the development of information industries and the improvement of living standards. Also, the small scaled dispersed storage and generation (DSG) systems are being interconnected with the distribution systems and customers by the influence of the recent issues such as deregulation and global environmental problems in power system. Under these circumstances, it is very important to maintain the customer voltages within allowable limits for the distribution system which is located at the most sensitive part in the power system. To overcome these problems, this paper shows the basic concepts of FRIENDS which is considered as one of the power delivery system in the near future and also presents an evaluation method on the impacts of customer voltages by operation models of FRIENDS. The FRIENDS can change the system configuration in a flexible manner by using the static switches and offer the different power qualities in power services through the power quality control centers which play the most important role in FRIENDS. Numerical examples are shown in order to indicate the efficiency of the proposed method.

Key Words : 차세대 배전계통, FRIENDS, 배전계통, 분산형전원, 전력품질, 전압관리, 전압조정

1. 서 론

최근, 정보·통신산업의 발전 및 생활수준의 향상에 따라 일상생활의 전기 의존도 및 양질의 전력공급에 대한 수용가측의 요구가 증가하고 있으며, 또한 전력사업의 규제완화 및 지구규모의 환경문제 등에 대한 영향으로 소규모 분산형 전원(분산형 전력저장시스템 포함)이 배전계통을 중심으로 많은 수용가에 접속될 것이 예상되고 있다. 또한, 수용가와 밀접한 관계에 있는 배전계

통은 전력계통 가운데에서도 사회변화에 가장 민감한 부분에 위치하고 있으므로, 현시대의 동향을 정확히 파악하고 요점에 부응하는 설비형성과 기술개발을 하는 것이 중요하다. 따라서 배전계통은 전력의 안정적인 공급이라는 기본적인 역할뿐만 아니라, 수용가의 다양한 요구에 대응하지 않으면 안 되는 어려운 상황에 처해있다. 그러나, 현재의 배전계통 설비구성과 운용수법으로서는 끊임없이 변화하는 상황에 대처하여, 각종 문제점을 해결하기에는 한계점을 가지고 있는 실정이다.

이러한 배경에서, 본 연구에서는 유연하게 계통구성을 변화시킬 수 있고, 수용가에 멀티메뉴 서비스를 제공할 수 있으며, 각종 설비의 고효율운전을 가능하게 하는 고유연·고신뢰·고효율 전기에너지 유통시스템

*한국기술교육대학교 정보기술공학부
Tel : 041-560-1167

(FRIENDS)의 기본개념과 이의 실제적응을 위한 구체적인 실현형태, 운용모형을 제안한다. 또한, 배전계통의 전압관리 측면에서 FRIENDS의 운용방안과 기존의 전압관리 운용방안을 비교·평가하는 수법을 제시하여, FRIENDS의 운용효과를 모델계통을 통하여 정량적으로 평가한다.

2. FRIENDS의 기본개념 및 실현형태

2.1 FRIENDS의 기본개념^{[1]-[5]}

세계적인 추세에 있는 전력산업의 규제완화의 영향으로 배전계통에 도입이 예상되는 여러 장치와 분산형 전원 등을 이용하여, 유연하게 계통구성을 바꾸면서, 높은 신뢰성의 전력을 효율적으로 수송할 수 있고, 또한 규제완화 후에 수송가로부터의 여러 요구사항에 신속하게 대응할 수 있는 새로운 전기에너지 유통시스템(FRIENDS)이 일본을 중심으로 활발하게 연구·개발되고 있다. 이 새로운 시스템은 국내 및 세계 각국에서 연구개발 되어 온 배전시스템의 자동화, 근대화화에 관한 과제를 통합하고, 더욱이 배전시스템에 고유연성, 고신뢰성을 가지게 한 새로운 개념의 시스템이다.

이 시스템의 특징적인 점은, 그림 1과 같이 수용가 가까운 곳에 현재의 고압배전선의 한 구간에 해당하는 것으로서, 복수의 고압배전선에서 공급가능한 “전력개질센터(Power Quality Control Center)”를 설치하는 것이다. 이것은 지역적인 전력공급관리센터의 역할을 수행하는 것으로, 이 센터 내에서는 그림 2와 같이 다양한 품질의 전력을 만들 수 있을 뿐만 아니라, 정지형 개폐기에 의해 다른 전력개질센터와의 유연한 접속변경이 가능하다. 물론, 고신뢰화, 에너지이용 합리화, 부하평준화

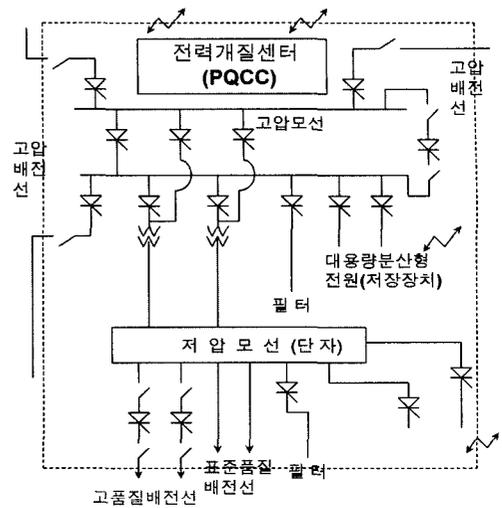


그림 2. 전력개질센터의 구성도

등의 목적으로 분산형전원과 전력저장장치도 설치된다. 한편, 전력개질센터는 센터자체의 제어와 담당지역의 각종 고객정보서비스를 위한 정보처리 및 정보교환센터의 역할도 수행한다. 개질센터내의 개폐기와 장치의 조작·수용가측 제어 등은 각 지사에 설치되어 있는 제어용계산기와 배전용변전소나 전력개질센터, 수용가의 소규모 계산기의 연계에 의하여 글로벌한 관점에서 이루어진다. 물론, 동시에 이들 계산기의 연계에 의한 보호·제어도 이루어지며, 이들의 용도에 이용되는 데이터는 운용·보수·맵핑·요금계산 등 전력유통시스템의 관리·운용·제어를 통합한 데이터베이스로서 일원적인 관리가 이루어져야 한다.

2.2 기존 배전계통과 FRIENDS의 운용특성

배전계통을 둘러싼 환경변화에 따른 기존 배전계통의 운용측면에서 요구되고 있는 특성은 다음과 같다.

○ 기존의 배전계통에 있어서, 수용가 전압을 콘트롤할 수 있는 요소로서는 배전용변전소(154kV/22.9kV)내의 주변압기(M.Tr)의 조정과 고압선로 상의 주상변압기(100kVA이하)의 탭 조정만이다. 따라서 광범위한 공급지역의 수용가를 만족스럽게 제어하기에는 현재의 계통구성으로는 어려운 실정이다. 더구나 분산형전원이 불특정다수로 무질서하게 도입되는 경우, 수용가 전압에 대한 콘트롤은 더욱더 어렵다. 따라서 지역적인 전력공급방식과 분산자율적인 제어방식이 요구된다.

○ 배전계통의 손실은 약 2%정도로 추정되고 있으며, 기존 배전계통의 구성방식(3분할 3연계)과 기계식 개폐기(정격전류 차단 : 200회 내외)에 의한 운용방법으로

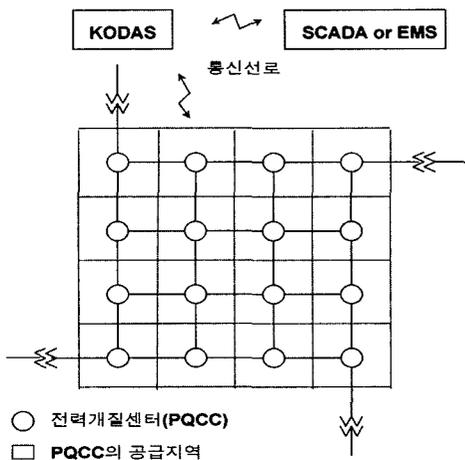


그림 1. FRIENDS의 기본구성도

서는 손실을 더욱더 저감시키기에는 한계성이 있다. 따라서 정지형 개폐기의 개발과 유연한 계통구성 방안이 중요하다.

○ 현재, 연구되고 있는 배전자동화에 의하여 정전시간(신뢰성)을 어느 정도 단축할 수 있으나, 운용지역 전체를 대상으로 하기 때문에, 각 수용가의 개별특성(요구도)을 만족할 수 없다. 따라서 수용가 특성에 따른 다양한 요구를 만족시키기 위하여, 멀티메뉴 서비스 기능(정전시간, 전압레벨, 주파수 등)을 가진 계통구성이 필요하다.

○ 부하관리 기능을 가진 분산형 전력저장시스템이 배전계통에 도입되는 경우, 전체 계통의 최적운용(경제성관점 : 전원베스트믹스)을 위해, 상호간의 적절한 협조운용이 요구된다. 현 계통구성으로서는 개별적인 최적운용은 가능하지만, 상호간의 종합적인 최적운용이 어렵기 때문에, 유연하게 계통구성을 변화시킬 수 있고, 종합적인 관리가 가능한 장소가 필요하다.

상기와 같이 기존 배전계통에서 요구되고 있는 여러 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로서, 새로운 개념인 FRIENDS를 도입·운용하면 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

○ FRIENDS는 일정한 간격의 선로구간에 전력개질센터로 구성되고, 그 내부에 설치된 정지형 개폐기에 의하여 계통구성을 유연하게 바꿀 수 있기 때문에, 시시각각 변화하는 선로조류를 파악하여 선로손실을 최소

로 하는 계통을 유연하게 구성할 수 있다.

○ FRIENDS의 전력개질센터내에 설치된 분산형전원과 전력저장시스템의 적절한 운용에 의하여, 수용가의 요구도에 따른 멀티메뉴 서비스의 기능이 가능하다.

○ FRIENDS의 전력개질센터는 일정구간마다 설치되며 기능적으로 미니변전소의 역할을 가지므로 분산적인 계통운용 및 제어가 가능한 계통구성 방식이다. 따라서 기존 계통의 배전용변전소가 담당하는 광범위한 공급지역에 따른 여러 문제점(수용가의 요구조건, 전압문제 등)을 해결할 수 있다. 즉, 전력개질센터의 개입에 의해, 고압측의 최적운용을 위한 유연한 계통구성이 가능하고, 또한 자기가 담당하는 저압측의 공급지역을 최적으로 운용함으로써, 고압측과 저압측의 계통운용을 협조적이고 분산적으로 수행할 수 있다.

○ FRIENDS의 전력개질센터는 상호간의 협조운용이 가능하므로, 각 센터내의 분산형전원 및 전력저장시스템을 적절하게 운용하여, 상호간의 최적 협조운용이 가능하며, 계통 전체의 부하관리에도 최적으로 기여할 수 있다.

2.3 FRIENDS의 실현형태 및 기술적 과제

FRIENDS는 전력회사의 지사(영업소) 및 배전용변전소, 고압배전선로, 전력개질센터, 수용가(일반가정과 사무실, 공장) 등으로 구성되고, 각 부분의 역할 및 구체적인 실현형태는 그림 3과 같다. 이와 같이, 다양한 기능을 실현하기 위한 FRIENDS의 기술적인 과제는 다

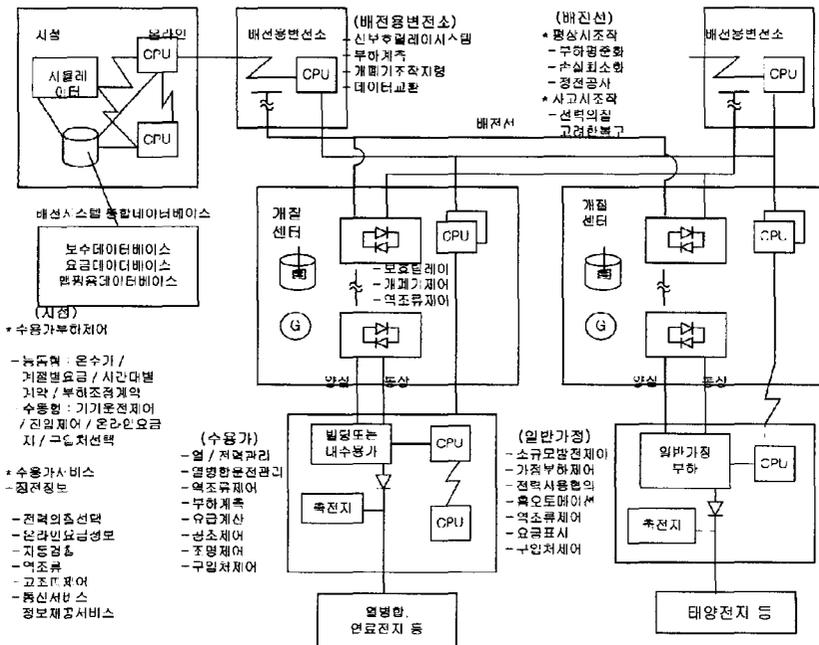


그림 3. FRIENDS의 구체적인 실현형태

음과 같다.

- 새로운 전력유통 네트워크 방식과 정지형 구간개폐기의 개발
- 새로운 보호릴레이시스템 및 고기능 통신방식의 개발
- 전력품질과 부하평준화, 손실최소화를 고려한 사고 시 복구수법과 평상시 시스템구성 결정수법
- 배전통합 데이터베이스의 구축방법 및 기존시스템과의 원활한 이행방식
- 부하관리(Demand Side Management) 방식과 온라인 요금제
- 최적구입처 선택기준과 그 효과 및 최적 전력공급 가격 결정방식
- 분산형전원(전력저장장치 포함)의 최적 경제운영 방식과 전원의 베스트믹스
- 열병합의 열·전력관리와 열저장·전력저장을 고려한 최적 경제운영

3. FRIENDS와 기존 배전계통의 전압조정 방안

배전계통의 전압분포는 배전용변전소의 송출전압과 고·저압선로의 전압강하, 고압선로의 전압조정장치, 고압선로의 구성, 수용가의 부하특성 등 여러 가지 요인에 의해 결정된다. 이 가운데 가장 큰 영향을 끼치는 요소가 배전용변전소의 송출전압 조정으로, 이것이 적절하게 조정되지 못하면 다른 요인을 아무리 잘 조정해도 수용가의 전압을 적정하게 유지시키는 것이 곤란하다. 현재 송출전압의 조정방식으로 프로그램 방식과 LDC 방식이 주로 사용되고 있다. 전자는 각 시간대별로 타임스위치의 지정에 의해 송출전압을 단계적으로 조정하는 것으로, 간단한 조작으로 여러 송출전압을 얻을 수

있지만, 부하변동의 폭이 큰 경우 적절한 전압강하의 보상이 어렵게 되는 결점이 있다. 반면, 후자는 미리 정해진 전압조정 요소(등가 임피던스와 부하중심점 전압)에 의하여, 시간에 따라 변화하는 고압선로의 전압강하를 보상하면서 송출전압을 조정하는 것으로 유사한 부하변동 특성을 가진 고압선로들로 구성된 뱅크(Bank)에 효과가 크다는 한계성을 가지고 있지만, 프로그램 방식보다 급격한 부하변동에도 유연하게 대응할 수 있어서, 폭 넓게 사용되고 있다.

3.1 기존 배전계통의 전압조정방안

일반적으로 배전용변전소의 송출전압은 그림 4와 같이 부하시 탭절환변압기(LRT : Load-Ratio Transformer)에 의하여 5~6개의 고압선로를 일괄하여 조정하고 있다. 그러나, 각각 다른 부하특성을 가진 고압선로를 동시에 고려하여 전압조정을 한다는 것은 어렵고, 배전계통내에 분산형전원(분산형 전력저장시스템 포함)이 도입·운영되는 경우에는 더욱더 복잡하다. 여기서는 기존의 최적 전압조정방안으로서 분산형전원(DSG)의 운용 특성을 고려하기 위하여, 분산형전원의 운용에 의하여 가장 가혹한 조건이 되는 고압선로를 선택하여, 해당 고압선로의 수용가 전압을 허용범위(규정전압) 이내로 유지시켜, 다른 고압선로의 수용가전압도 적정범위내로 유지시키는 개념을 이용한다[6]~[8].

(1) 최적 전압보상

송출전압의 결정문제는 그림 5와 같이 선택한 가장 가혹한 조건의 피더의 직하 및 말단의 수용가전압(최대, 최소 전압점)을 가능한 표준전압의 근방에 유지시키도록 최적 전압보상율을 구하는 것이다. 이 문제는 등가적으로 LRT직하의 수용가전압과 규정전압의 상한치·하한치와의 차의 제곱을 최소화시키는 문제로 다음식과

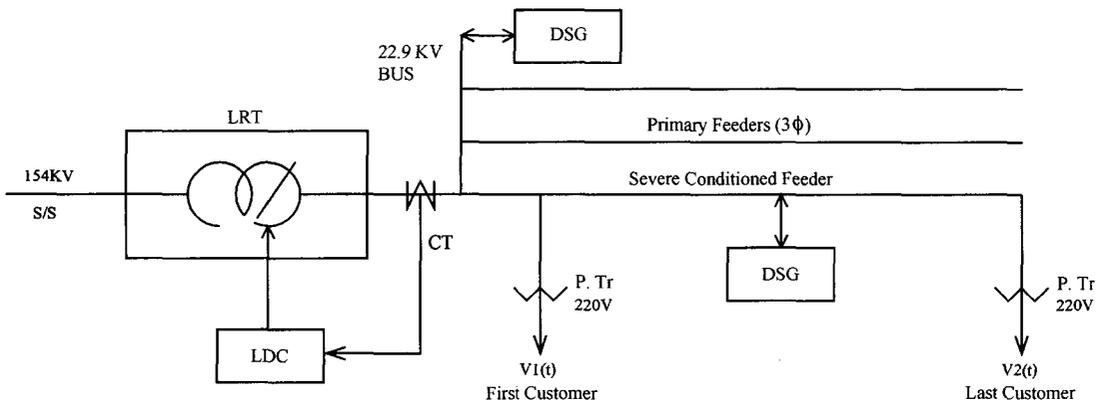


그림 4. 기존 배전계통의 전압조정 개념도

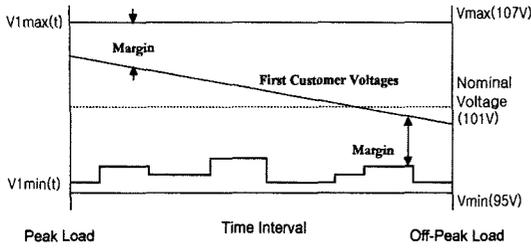


그림 5. 최적 전압보상율의 개념

같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Min } J(t) = \{V1_{\max}(t) - V1(t) \cdot X_{mtr}/R_{mtr}\}^2 + \{V1(t) \cdot X_{mtr}/R_{mtr} - V1_{\min}(t)\}^2 \quad (1)$$

$$\text{Subj. to } V1_{\max}(t) = V_{\max} \quad (2)$$

$$V1_{\min}(t) = V_{\min} \cdot V1(t)/V2(t) \quad (3)$$

여기서, t : 시간대

V1(t), V2(t) : LRT 직하 및 말단의 수용가전압

V1_{max}(t), V1_{min}(t) : LRT 직하로 환산된 규정전압의 상하한치

V_{max}, V_{min} : 규정전압의 상한치(233V) 및 하한치(207V)

R_{mtr}, R_{mtr} : LRT의 전압보상율 및 최적 전압보상율

여기에서는 상기 문제의 간략화와 계산의 오차를 피하기 위하여, LRT 직하와 말단의 수용가전압이 고압선로의 전압강하에 의하여 비례적으로 변화한다는 사실에 주목하여, 말단의 수용가전압의 변동특성을 등가적으로 LRT 직하의 값으로 환산함. 즉, 식 (2)와 (3)은 LRT 직하점에서 바라본 새로운 규정전압의 상하한치를 나타낸 것으로, 상한치는 전압변동에 관계없이 일정하지만, 하한치는 직하에서 말단까지의 전압강하에 의하여, 시간과 함께 변화하는 특성을 가지고 있다. 따라서, 상기 문제에 대한 최소화조건(dJ/dX_{mtr}=0)에 의하여, 각 시간대의 최적 전압보상율은 다음식과 같이 구해진다.

$$X_{mtr} = R_{mtr} \cdot \{V1_{\max}(t) - V1_{\min}(t)\}^2 / 2V1(t) \quad (4)$$

(2) 최적 전압조정요소

배전용변전소의 이상적인 최적 송출전압과 총 부하전류와의 상관관계는 시간과 함께 변화하는 비선형적인 상관관계 특성을 가지고 있다^{16),17)}. 그러나 LDC의 전압조정 요소는 한번 정해지면 일정기간 같은 값으로 운용되기 때문에, 최적 송출전압은 식 (5)와 같이 근사식으로 나타낼 수 있다. 따라서, 전압조정 요소의 결정문제

는 이상적인 최적 송출전압분포의 편차를 최소화하도록 식 (5)의 계수를 구하는 문제로 되어 최소자승법에 의해 식 (6)과 같이 정식화할 수 있다.

$$V_{opt}(t) = V_{ce} + Z_{eq} \cdot I_{to}'(t) \quad (5)$$

$$\text{Min } q = \sum_{t=1}^T \{V_{opt}(t) - (V_{ce} + Z_{eq} \cdot I_{to}'(t))\}^2 \quad (6)$$

여기서, T : 전체 시간대

V_{opt}(t) : X_{mtr}에 의한 최적 송출전압

V_{ce}, Z_{eq} : 부하중심점의 전압과 등가임피던스

I_{to}'(t) : 분산형전원을 포함한 총 부하전류

(I_{to}'(t) = I_{to}(t) ± I_{dsg}(t))

I_{to}(t), I_{dsg}(t) : LRT의 총 부하전류 및 분산형전원의 전류(도입용량)

상기의 식 (6)을 최소화(∂q/∂Z_{eq} + ∂q/∂V_{ce}=0)하여, 전체 고찰기간의 최적 전압조정요소(Z_{eq}, V_{ce})를 구하면 다음식과 같다.

$$Z_{eq} = \left\{ \sum_{t=1}^T I_{to}'(t) \cdot \sum_{t=1}^T V_{op}(t) - T \cdot \sum_{t=1}^T I_{to}'(t) \cdot V_{op}(t) \right\} / \left\{ \sum_{t=1}^T (I_{to}'(t))^2 - T \cdot \sum_{t=1}^T I_{to}'(t) \right\} \quad (7)$$

$$V_{ce} = \left\{ \sum_{t=1}^T I_{to}'(t) \cdot V_{op}(t) - Z_{eq} \cdot \sum_{t=1}^T (I_{to}'(t)) \right\} \quad (8)$$

3.2 FRIENDS의 전압조정방안

FRIENDS는 앞에서 언급한 바와 같이, 전력유통의 중간적인 장치인 전력개질센터를 고압선로 중간에 일정간격으로 설치하여, 적절하게 정지형개폐기를 ON/OFF 제어함으로써, 전력개질센터 간의 전력유통을 협조시켜, 고압선로의 전압분포를 최적으로 유지시키는 것이 가능하다. 또한, 전력개질센터 내부에 설치된 분산형전원의 적절한 운용에 의하여, 각각의 전력개질센터가 담당하는 지역의 수용가의 부하변동을 억제시켜, 저압측의 전압분포도 합리적으로 유지시키는 것이 가능하다.

이와 같이 전력개질센터의 적절한 운용에 의하여, 고압선로와 저압선로의 양측의 전압을 협조적으로 조정하여, 수용가의 전압분포특성을 개선시키는 것이 가능하다. 전력개질센터 내의 분산형전원의 운용방식으로서 전력개질센터의 부하를 완전히 평균화시키는 것으로서 경

제성을 우선으로 하는 운용방법과 전력개질센터 내부의 1, 2차측 전압을 일정하게 유지시키는 전압안정화 운용방법이 고려될 수 있다.

○ 부하평준화 운용방식(FRIENDS I) : 분산형전원(분산형 전력저장장치 포함)의 유효전력운전에 의하여, 전력개질센터내의 부하변동을 항상 일정하게 유지시켜, 배전용변전소의 송출전압(고압측의 전압분포)의 조정을 단조롭게 하여, 수용가의 전압분포 개선을 목표로 한다.

○ 전압안정화 운용방식(FRIENDS II) : 분산형전원의 무효전력운전에 의하여, 저압측만의 부하변동에 대하여, 전력개질센터 내부의 2차측 모선전압을 일정하게 유지시키도록 한다. 이것에 의해 고압측의 전압분포 및 계통구성의 변화에 대한 영향을 최소화시켜, 이상적인 수용가전압을 달성시키는 것을 목표로 한다.

4. 시뮬레이션 예

4.1 평가지표 정의

배전계통 내의 분산형전원의 도입·운용에 의한 수용가전압의 양부는 각 수용가 전압이 표준전압에 어느 정도 가깝게 유지되는 가를 산정함으로써, 평가할 수 있다. 즉, 평가지표(PI : Performance Index)는 전체 고찰 시간대에 대하여, 전체 대상노드의 수용가 전압과 표준전압과의 편차에 대한 제곱의 합으로써, 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$PI = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \{V1(t, k) - V_{std}\}^2 + \{V_{std} - V2(t, k)\}^2$$

(9) 그림 6. 모델 배전계통

여기서, T, K : 전체 고찰기간 및 노드의 총수

V_{std} : 표준전압 (220V)

$V1(t, k), V2(t, k)$: 각 노드직하 및 말단의 수용가전압

상기의 평가지표는 배전계통에 있어서 전체 수용가의 전압분포특성의 수준을 평가하는 것으로, 지표의 값이 작으면 작을수록 수용가 전압특성이 양호한 것을 나타낸다. 따라서 각각의 전압조정 수법에 의한 평가지표 값을 비교함으로써, 그 수법자체의 좋고 나쁨도 평가할 수 있다.

4.2 모델계통

여기서는 다음과 같은 모델계통과 시뮬레이션 조건을 상정하여, 기존 배전계통과 FRIENDS의 운용효과를 비교·평가하였다.

○ 모델계통과 고압선로의 구간데이터는 그림 6과 표 1

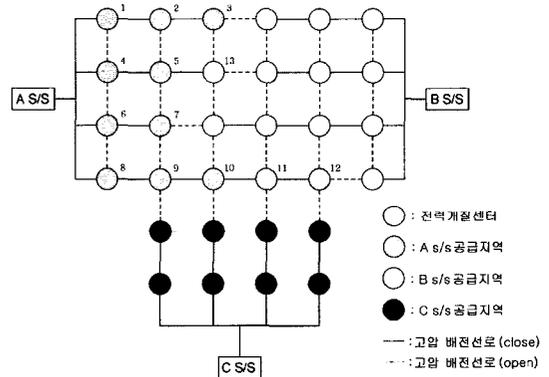


표 1. 고압배전선로 구간데이터

Feeder Number	Section Number	Node Number		Impedance		Length (km)	Pole Tr. Tap	Load(%)
		From	To	R(Ω/km)	X(Ω/km)			
1	1	0	1	0.182	0.391	2.0	22900/230	5%
	2	1	2	0.182	0.391	2.0	22900/230	10%
	3	2	3	0.182	0.391	5.0	22900/230	10%
2	4	0	4	0.182	0.391	5.0	22900/230	15%
	5	4	5	0.304	0.440	10.0	22900/230	10%
3	6	0	6	0.182	0.391	4.0	22900/230	15%
	7	6	7	0.182	0.391	4.0	22900/230	10%
4	8	0	8	0.182	0.391	3.0	22900/230	5%
	9	8	9	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%
	10	9	10	0.182	0.391	5.0	22900/230	5%
	11	10	11	0.304	0.440	10.0	21400/230	5%
	12	11	12	0.304	0.440	5.0	21400/230	5%

과 같으며, ○는 기존 배전계통에서는 부하를 집중시킨 노드를, FRIENDS에서는 전력개질센터를 나타낸다.

○ 배전용변전소의 주변압기(M.Tr)의 일부하 패턴은 그림 7과 같이 45MVA의 피크부하를 기준으로 100%~20%의 부하변동 특성을 가진다. 기존 배전계통에서의 분산형 전력저장장치의 운용패턴은 피크부하(1~8시간대)에 방전을, 오프 피크부하(17~24시간대)에 충전하도록 한다. 또한, 분산형 전력저장장치의 설치 위치는 3번, 5번, 7번 노드로 하고, 설치용량은 각각 3MVA(총 9MVA)로 한다.

○ 주상변압기의 탭 변경점은 피크부하시의 전압강하가 5%이상인 지점을 기준으로 선정하며, 1차측은 14,400V, 13,800V, 13,200V, 12,600V, 12,000 V의 5가지 탭을 사용하며, 2차측은 115V(230V)를 기준으로 한다.

○ 저압선로에 있어서, 주상변압기와 인입선, 저압선로의 최대 전압강하는 각각 4V, 4V, 8V로 상정하고, 부하전류의 크기에 따라 비례적으로 변화한다.

○ 계산의 간략화를 위하여, 배전계통의 부하는 평등 부하분포로 가정하며, 고압선로의 구간별 전압강하는 다음 식을 이용하여 산정한다.

$$\Delta V = K \cdot (I_s + I_r) \cdot Z \cdot L \quad (10)$$

여기서, ΔV : 고압선로의 각 구간의 전압강하(Ω),

K : 전압방식의 계수(K=1, 삼상4선식),

I_s, I_r : 구간 유입 · 유출전류(A),

Z : 전선1조당 등가임피던스(Ω/km),

L : 경간(km)

4.3 시뮬레이션 결과

그림 6과 표 1의 22.9kV 모델계통을 대상으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

○ 기존 배전계통과 FRIENDS의 운용수법에 의한 수용가의 전압특성을 비교한 결과는 그림 8과 같고, 그때의 전압조정장치의 정정치(LDC의 R, X값)와 평가지표의 값은 표 2와 같다.

○ 기존 배전계통의 최적 운용방식(종래수법)에 의한 수용가전압의 분포특성은 그림 8과 같이, 분산형전원의

표 2. 각 수법의 계산결과 비교

내역	기존수법	FRIENDS I (부하평준화)	FRIENDS II (전압안정화)
Zeq Vce	3.45 20,062V	좌향과 동일치	임의 값
$\sum PI(t)$	20,895.9	18,160.4	5,458.6

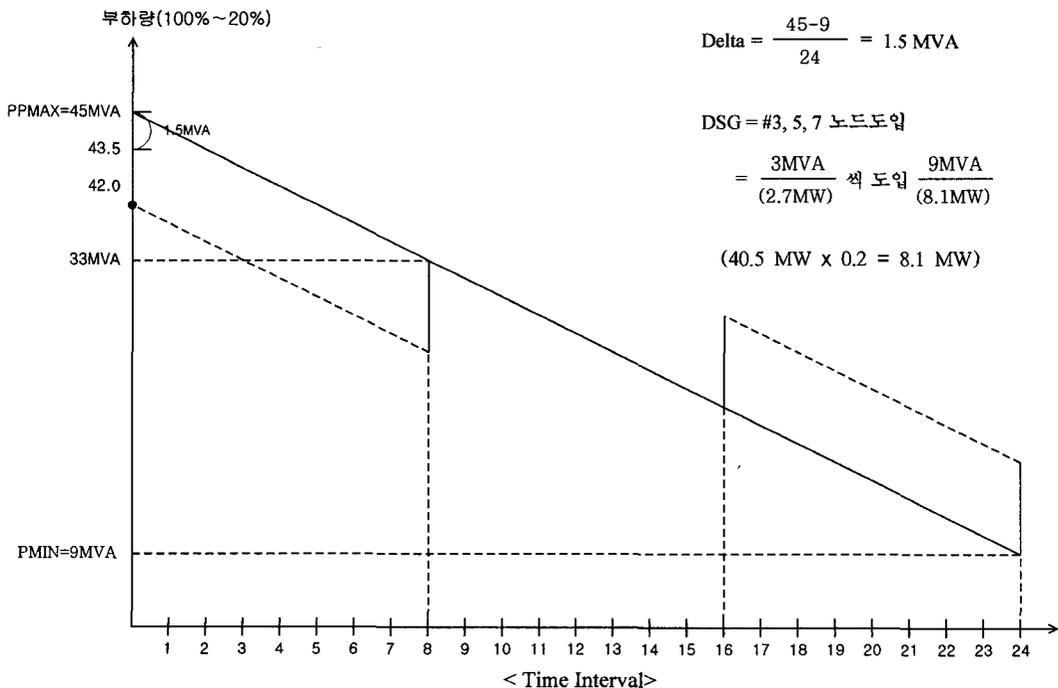


그림 7. 주변압기(M.TR)의 부하곡선

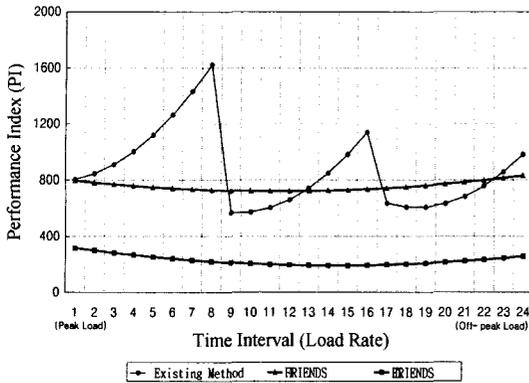


그림 8. 각 수법의 평가지표 비교

운용패턴에 의존성이 강한 것을 알 수 있다. 즉, 기존의 배전계통에서는 불특정 다수의 분산형전원이 도입·운용되면, 협조적인 제어가 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 9과 같이 종래수법에서는 수용가 전압이 허용전압을 벗어나는 경우가 종종 발생되고 있음을 알 수 있다.

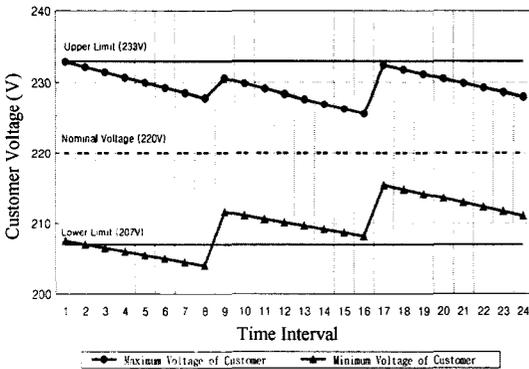


그림 9. 기존계통에 의한 수용가전압 특성

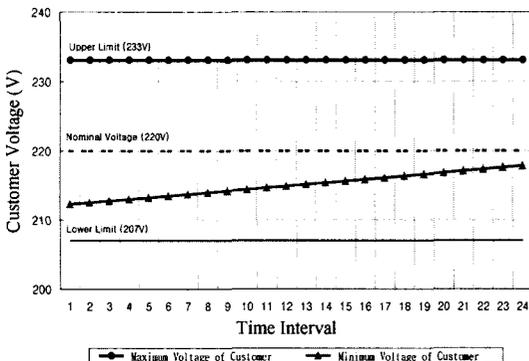


그림 10. FRIENDS I에 의한 수용가전압 특성

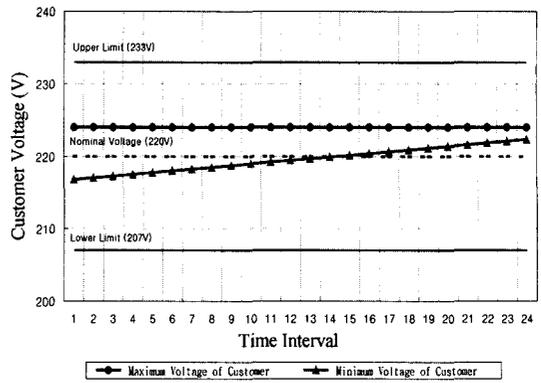


그림 11. FRIENDS II에 의한 수용가전압 특성

○ FRIENDS 운용방식(부하평준화와 전압안정화 방식)에서는 그림 10과 그림 11에서 나타난 바와 같이, 각 전력개질센터에서 협조적으로 고·저압측의 전압이 제어되고, 합리적으로 유지됨으로서, 필연적으로 전압 특성이 양호하게 되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 일본을 중심으로 활발하게 연구되고 있는 차세대 배전계통의 하나인 FRIENDS의 기본개념과 우리나라의 실계통에 대한 적용방안(구체적인 실현 형태)을 제안하였으며, 제안된 FRIENDS의 운용모델을 제시하여, 수용가 전압에의 영향에 대한 정량적인 평가를 수행하였으며, 기존 배전계통의 전압조정수법과의 비교평가에 의한 제안모델에 대한 유효성을 확인하였다. 모델계통에 의한 시뮬레이션 결과에서, 종래수법에 의한 수용가 전압은 허용전압을 벗어나는 경우가 종종 발생되고 있음을 알 수 있었으나, FRIENDS 운용방식(부하평준화와 전압안정화 방식)에서는 각 전력개질센터의 협조적인 운용에 의하여 수용가의 전압특성이 양호함을 확인할 수 있었다.

앞으로는 구체적인 전력개질센터의 규모와 구성방법, 운용방법에 대한 검토를 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] Koichi Nara and Hasegawa Jun, "A New Flexible, Reliable and Intelligent Electrical Energy Delivery System", 일본전기학회지B, 117권, 1호, 1997년1월
- [2] Daeseok Rho, Hiroyuki Kita and Hasegawa Jun, "Basic Studies on the Impacts of Customer Voltages by the Operation of FRIENDS", 일본전기학회 전국대

회 No.1486, 1997년3월

- [3] Daeseok Rho, Eungsang Kim, Jaeun Kim and Jun Hasegawa : "Basic Studies on the Impacts of Customer Voltages by the Operation of the Flexible Reliable and Intelligent Energy Distribution Systems", IASTED, 262-101, October 27-30, 1997, Orland, Florida
- [4] "전력계통기술의 새로운 조류", 1997년 6월호, 일본전기학회지, 117권 6호
- [5] 노대석, 김재연, 김응상, 김지원 : "차세대배전계통 개발에 관한 기초연구", '98 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술발표회, p145 - p150
- [6] Daeseok Rho, Hiroyuki Kita, Ken-ichi Nishiya and Jun Hasegawa : "A Study on the Optimal Voltage Regulation Methods in Power Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", Proceedings of 1995 International Conference on Energy Management and Power Delivery EMPD'95, DPO-II S26.2, pp.702~707, Singapore (1995)
- [7] Daeseok Rho, Horiyuki Kita, Kenichi Nishiya and Hasegawa Jun, "Voltage Regulation Methods Based on an Extended Approach and Neural Networks for Distribution System interconnected with DSG systems", 일본전기학회지B, 117권 3호, 1997년3월
- [8] Daeseok Rho, E.S. Kim, J.E. Kim, H.Y. Kim, Hiroyuki Kita and Jun Hasegawa : "Voltage Regulation Method Based on Artificial Neural Networks for Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", ISAP'97, July 6-10, 1997, Seoul, Korea