

스마트그리드 기반의 실시간요금제 및 DR운영시스템 구현

논 문

59-11-6

A Development of Demand Response Operation System and Real-Time Pricing based on Smart Grid

고종민[†] · 송재주^{*} · 김영일^{**} · 정남준^{***} · 김상규[§]
(Jong-Min Ko · Jae-Ju Song · Young-Il Kim · Nam-Jun Jung · Sang-Keu Kim)

Abstract - A new intelligent power network (Smart Grid) that grafts some new technologies, such as the extension of the new and reproducible energy, electric motors, and electric storages, onto the regulation of green house gases according to the recent convention on climate changes has been actively promoted. As establishing such an intelligent power network, it is possible to implement a real-time rate system according to the change from the conventional single directional information transmission to the bidirectional information transmission. Such a real-time rate system can provide power during the chip rate hour by avoiding the high rate hour although customers use the same level of power through providing such real-time rate information including power generation costs. In this study, the establishment of an operating system that makes an effective use of the real-time rate system and its operation method are to be proposed.

Key Words : Real-time pricing, TOU(Time Of Use), CPP(Critical Peak Pricing), System marginal pricing, Demand response, Customer baseline load, Demand curtailment and shift

1. 서 론

초기 전력시장은 전력소비자들이 가능한 한 많은 전기를 사용하도록 장려하는 것에 초점을 맞추어 공급능력을 증설 하였으나, 경제발전과 산업의 대규모화로 인해 전체 부하가 급속하게 증가하고, 피크 사용량은 전력시스템 용량한계에 근접하게 되었으며, 광역정전 가능성 또한 현실로 나타날 수 있다. 이러한 전력 부족분을 해결하기 위해 발전설비를 추가 건설하기에는 CO₂ 배출문제 및 환경문제 등 사회적 반대요 인과 비용이 많이 들어 해결책이 될 수 없다. 그러나 최근 국내 전력시장은 기후변화협약에 따른 온실가스 배출규제 강화와 신·재생에너지 보급 확대, 전기자동차 및 전기저장 장치 등의 새로운 기술의 등장으로 전력산업의 외부 환경이 변화하면서 기존의 단방향 정보전송에서 실시간 양방향 정보전송이 가능해지고 있다[1].

이러한 인프라를 기반으로 공급을 증가시키기 위한 정책 보다는 Peak시 또는 전력계통의 안정화를 위해 수요를 억제 하는 방안에 초점을 맞추어야 하며, 그 방법은 여러 가지가 있겠으나 전력소비자 스스로 전력시장과 연동하여 수요를

조절하는 방법이 필요하다. 이러한 방법 중 하나가 수요반응 (Demand Response)이며, 이는 지능형 전력망(Smart Grid) 을 구성하는 핵심요소이다. 수요반응(Demand Response)은 에너지의 효율적인 사용을 위한 수요자원관리 분야에서 ISO 및 전력 Utility가 가장 선호하고 성공적으로 추진하고 있으며, 지능형 전력망 환경에서 활용도가 높은 프로그램이 다. 이 수요반응은 외부의 신호 즉, 수요절감량에 대한 인센 티브 또는 실시간요금신호 등을 전력소비자에게 실시간으로 제공하여 자발적으로 수요를 절감하는 프로그램이다[2].

이러한 요금제로는 현재 적용되고 있는 고정요금제나 주 택용 누진요금제, 계절별 요일에 따른 TOU(Time Of Use) 제도가 있으며, 시간대별로 요금단가의 차이를 두어 Peak시 또는 전기요금인 높은 경우의 에너지사용의 절제를 훨씬 효 과적으로 유도할 수 있는 실시간요금제로 분류할 수 있다. 이러한 실시간 요금제는 하루전 또는 당일 고지되는 것을 원칙으로 하며, 전력소비가 집중되는 특정한 기간대의 가격 이 그렇지 아닌 시간대보다 상승됨을 미리 예고함으로써, 자발적으로 전력소비를 이전하거나 절체하여 효율적인 에너 지의 사용을 유도한다. 이는 전력생산비용이 비싼 시간대를 피하고 싼 시간대를 이용하여 전기를 사용하여 수요절감량 에 따른 발전비용의 감소, 전력사업자의 구매비용 감소, 도 매시장 가격의 안정화, 전력소비자의 요금혜택 등의 효과가 발생하여 전력시장 참여자 모두 경제적 혜택이 가능해진다 [3].

본 논문의 2절에서는 스마트그리드환경에서의 실시간 요 금제(RTP)에 대해 기술하였으며, 3절에서는 실시간 요금제 설계 및 운영하기 위한 방안에 대해 기술하였으며, 4절에서

[†] 교신저자, 정회원 : 한국전력공사 전력연구원

E-mail : kojim@kepcoco.kr

^{*} 정 회원 : 한국전력공사 전력연구원

^{**} 정 회원 : 한국전력공사 전력연구원

^{***} 정 회원 : 한국전력공사 전력연구원

[§] 정 회원 : 한국전력공사

접수일자 : 2010년 7월 5일

최종완료 : 2010년 9월 28일

는 실시간 요금제를 운영하는 전력 Utility용, 전력소비자용 RTP-DR 운영시스템의 구축방법을 설명하고 결론에서 연구 결과와 향후 연구과제에 대해 제시하고자 한다.

2. 실시간요금제(Real Time Pricing) 개요

현재 운영중인 전력요금제도 중 대표적으로 고정요금제, 주택용 누진제, 계시별 요금제(TOU : Time Of Use)가 있다. 이 중 계시별 요금제는 통상 24시간을 기준으로 시간대별 평균 전력생산 및 수송비용을 반영하여 계절별, 시간대별로 각기 다른 차등요금을 적용하는 제도로써, 계절별로는 봄·가을, 여름, 겨울로 3개의 구간으로 나누고, 시간대별로는 3개의 시간대(경부하, 중간부하, 최대부하), 또는 3개의 시간대(심야, 주간, 저녁)로 구분하여 각기 다른 고정된 요금을 적용하고 있으며, 일반적으로 대규모 산업용 및 상업용 전력소비자를 대상으로 적용하고 있다.

계시별 요금제도는 사용전력량에 따른 주택용 누진적용 및 고압고객용 계절별·시간대별로 차등한 요금을 적용하고 있으며, 전력부하를 고려한 전력생산원가를 일부 반영하였으나, 24시간을 기준으로 3등분하여 고정적으로 적용하기 때문에 외부 환경요인(온도, 습도, 불쾌지수 등)에 따른 전력사용량의 변동이나 전력수급상황에 따라 실시간으로 변하는 전력시장가격(SMP : System Marginal Pricing)에 완전히 대응하기는 어렵다. 예를 들어 경부하시간대 동안에는 하나의 요금단가가 고정적으로 적용되기 때문에, 경부하의 각 시간대 동안 사용량이 같다면 전기요금은 어느 시간대든 동일할 것이며, 전력소비자들은 요금단가가 고정되어 있는 상황에서 전력시장가격의 높고 낮음과 고려치 않고 전력을 소비할 것이므로 전력시장가격을 반영하지 못할 것이다.

따라서 높은 수요 및 가격시간대의 부하를 삭감하고 낮은 수요 및 가격시간대에서 수요를 증가시키기 위해 전력의 수급상황에 따라 전력요금단가가 실시간으로 변동하는 요금제가 실시간요금제(RTP : Real Time Pricing)이다. 이 요금제는 전력생산 비용이 비싼 시간대는 전기요금단가가 올라가고 전력생산비용이 싼 시간대에는 전기요금단가가 하락하는 방법으로 설계된 요금제도이며, 하루 전(하루전 RTP) 혹은 한시간전(실시간 RTP)로 분류할 수 있다. 또한 피크요금제(CPP : Critical Peak Pricing)는 전력수요가 높은 시간대에 대하여 전력회사가 높은 전력가격을 사전에 결정하고 필요시 이를 시행하는 제도로써 전력수급비상이나 전력가격 급

등시 시행하는 요금제도가 있으나, 이는 아직까지 일반적이지 않으며, 국내의 요금을 인센티브로 대신하여 적용하는 수요관리형태와 비슷한 경우이다.

그림 1과 같이 계시별 요금제가 전력생산단가에 관계없이 전력량 당 요금단가로 고정되어 있는 반면, 실시간요금제는 전력시장가격(SMP)를 기반으로 하기 때문에 전력생산단가에 연동되어 요금단가가 시간대별로 변동하게 된다. 따라서 현행 계시별요금제에서는 다른 시간대로 전력사용을 전환해도 사용량이 같다면 똑같은 전기요금이 산출되지만, 실시간 요금제는 하루 전 익일의 24시간 단가를 실시간으로 제공하여 미리 가격이 높은 시간대 즉, 전력생산단가가 높은 시간대를 공지하므로 보다 싼 값으로 전력소비가 가능해진다.

또한 하루전 SMP를 기반으로 시간대별로 익일의 실시간 가격을 미리 알려주어 수요반응을 이끌어내고, 학습으로 첨두부하가 줄어든 수요패턴이 확립되면 소비자의 이익이 상실되는 문제점이 발생할 수 있다. 그러나 실시간 요금제는 24시간대의 SMP를 기반으로 산정되며, 산정시 수요예측을 반영하므로 전체 실시간 요금제를 사용하는 고객이 동일한 시간대에 동일한 패턴을 사용하지 않는다면 특정한 시간대의 요금이 낮아질 확률이 적다. 또한 특정한 시간대의 수요가 적어지고 수요이전에 의해 다른 시간대의 요금이 높아질 수 있으며, 이에 따라 소비자는 적절히 반응하여야 한다.

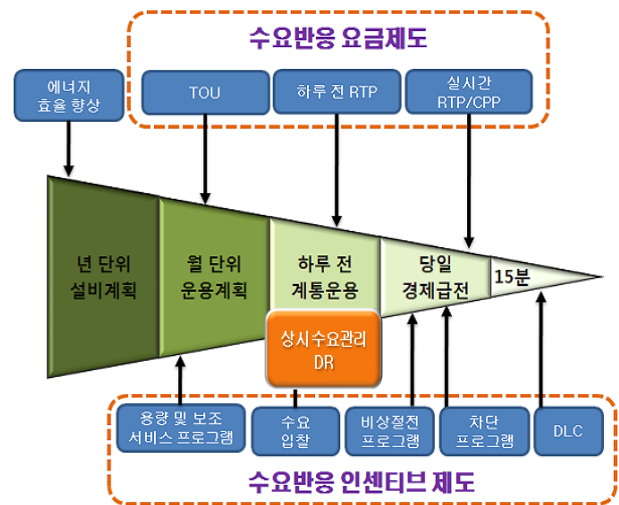


그림 2 실시간 요금제와 수요반응제도의 연관성

Fig. 2 Interrelationship of RTP and DR System

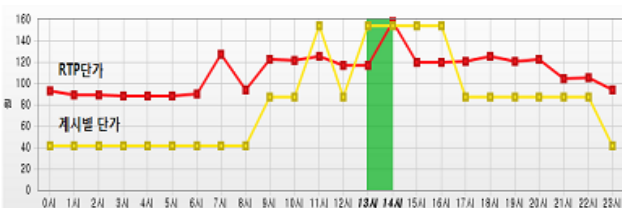


그림 1 계시별 및 실시간요금제 비교

Fig. 1 Time Of Use and Real Time Pricing comparisons

그림 2는 이러한 실시간 요금제는 전력가격 신호에 의한 전력소비자의 수요반응(DR)을 활용하는 요금제도로써 기존에 한국전력공사에서 시행하는 수요관리(인센티브 기반 DR)를 비교한 결과이다.

이는 스마트그리드에서는 인터넷, 모바일 등 전력IT 기술의 접목으로 실시간 양방향 정보전송이 가능해짐에 따라, 과거 전력가격 예측과 통보, 실시간 사용량 검침 및 요금계산 결과 전송 등이 해결됨에 따라 과거 실시간 요금제 도입의 가장 중요한 장애요인이 해결되어 국내 시범운영 실시(2010년 5월부터 시행)와 제주 실증단지 적용을 시행할 예정이다.

3. RTP-DR 운영시스템 설계 및 운영방안

일반적으로 국내 전력산업 구조에 따라 총 요금은 발전공급비용, 송전공급비용, 배전공급비용, 판매비용으로 나뉘어진다. 발전공급비용은 전력시장의 정산가격을 기준으로 부가하며 송전, 배전, 판매 등 기타 공급비용은 송전사업자, 배전사업자, 판매사업자의 공급비용을 기준으로 하며, 현재 전력사업의 구조상 한전이 독점으로 운영되고 있으므로 한전의 분야별 공급원가를 기준으로 설계하였다. 해외사례를 살펴보면 Bundled 와 Unbundled 요금으로 RTP를 구성하는데 Bundled 요금은 국내와 같은 전력사업 구조에서 많이 사용하는 요금으로 독점적 수직통합 전력회사가 있는 주에서 표준으로 하는 요금제도로써 각각의 가격요소(기본요금, 에너지 요금, 소비자 부가요금 등)와 비용요소(발전비용, 송전비용, 배전비용 등)가 1:1의 관계를 갖지 않고 전력사별로 적정비용을 산정하여 적용하며, 반면에 소매경쟁이 도입된 주들에서 사용하는 Unbundled 요금제도는 비용요소와 가격요소가 상호 관계를 갖고 있지 않아 소매회사가 소비자에게 공급하는 전력요금을 세분화하여 제공할 수 있다. 미국의 주요 전력사(Pacific Gas & Electric Company, Southern California Edison, Southern Company (Georgia Power), Southern Company (Gulf Power), Tennessee Valley Authority 등)는 Bundled 요금형태를 운영하고 있다.

또한 요금구조는 기본요금과 전력량 요금으로 나누어 산정한다. 기본요금은 고압고객(100kW 이상)의 경우 전력소비자의 매월 최대전력(kW)를 기준으로 산정되며, 전력량 요금은 시간별로 사용한 전력량을 해당 시간대 요금단가(RTP단가)를 곱하여 산정한다. 여기서 기본요금은 판매비용 및 배전비용과 송전비용을 할당하여 기본요금으로 반영하며, 총요금에서 기본요금 반영분을 제외한 요금은 전력량요금에 반영한다. 본 논문에서 설계한 실시간요금제는 현행 한전의 요금체계(비용분과 누진요금제도)와 국내 전력산업의 구조(도매전력시장구조)상 반드시 포함되어야 할 요소(기본요금구조)를 포함하여 설계되었다. 미국의 경우, Pacific Gas & Electric Company, Southern California Edison, Tennessee Valley Authority사에서는 최대수요에 의해 기본요금이 결정되는 구성을 대부분 적용하고 있다. 주택용의 경우는 사용량이 작은 것을 고려하여 기본요금을 없애고 사용량 요금으로만 구성하였으며, 하루 3단계의 차등요금이 적용된다.

전력량요금을 산정하기 위한 시간별 가치반영은 전력시장 가격(SMP)와 용량가격(CP)의 변화를 반영하여 적용한다. 여기서 시간별 CP는 가용발전기와 수급상황에 따른 신호이다. 요금분류는 한국전력공사의 분류기준에 따라 저압 주택용, 고압 주택용, 일반용, 산업용, 교육용, 농사용, 가로등, 심야로 분류한다. 여기에 용도별, 전압별 차등계수를 두어 실시간요금단가를 산정한다. 요금단가는 저압고객의 주택용인 경우 과거의 전력소비량에 따라 개별로 요금단가가 다르게 적용되며, 전력소비자가 인지하기 쉽도록 일별 상중하의 3단계로 구분한다. 대용량고객의 경우 각각의 계약종(주택용, 일반용, 교육용, 산업용)에 따라 4가지 유형 즉, 평일(근무

일), 휴일(일요일 및 법정 공휴일), 공휴일 다음일(월요일 등), 토요일로 구분하여 단가가 산정된다. 그림 4는 실시간요금설계에 필요한 요소와 산정절차이다.

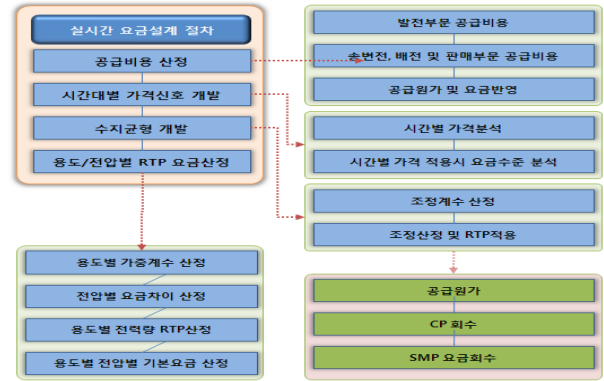


그림 3 Real Time Pricing 설계안
Fig. 3 Design of Real Time Pricing

그림 3은 실시간요금설계에 필요한 요소와 산정절차이다. 여기서 용도별 전압별 가중계수는 국내의 요금제는 용도별(가정용, 일반용, 교육용, 산업용 등)과 전압별 차등요금을 적용하고 있어 실시간요금제에도 이에 대한 적용이 필요하다. 본 실시간요금제 설계에서는 용도별로 판매수입, 판매전력량, 판매단가를 분석하여 가계계수를 산정하여 적용하고, 용도별도 전압별 판매단가의 차이를 분석하여 전압A와 전압 B로 차등가격을 적용한다.

실시간요금제에 따라 전력소비자의 수요반응 효과를 측정하기 위해서는 효율적인 고객기준부하(CBL : Customer Baseline Load)의 산출이 필요하다[4][5]. 본 시스템에서는 전년도 동월의 평균 부하패턴을 가지고 요일 특성별로 4가지의 고객기준부하를 적용하였다. 근무일(평일 부하패턴의 24시간 평균사용패턴), 토요일(토요일 부하패턴의 24시간 평균사용패턴), 휴일(일요일 및 휴일의 24시간 평균부하패턴), 월요일(일요일 및 휴일 다음날의 24시간 평균부하패턴)을 적용하였다.

여기에 현재 적용월의 수요반응 기대편익을 산출하기 위해서는 반응전 사용량(RTP단가 x 시간대별 CBL 사용량)에서 반응후 사용량(RTP단가 x 시간대별 적용월 전력사용량)을 제외하면 실시간요금에 따른 반응효과를 산출할 수 있다.

그림 4는 실시간 요금제의 일반적인 운영방식을 나타낸 것으로, 전날의 전력시장가격을 기준으로 다음날의 실시간 전기요금 단가를 산정하고, 전력소비자에게 실시간으로 공지하고 운영하게 된다.

실시간 요금단가는 0시부터 24시까지 한시간단위로 총 24개의 요금단가표로 이루어지게 되며, 실시간요금표는 매일 15:30분에 RTP-DR시스템에서 산출되어 고객용 RTP시스템에서 바로 확인할 수 있다. 이를 통해 전력소비자는 다음날의 전력사용관리계획을 수립하여 효과적으로 전력소비에 대응하여 전기요금을 절약할 수 있다.

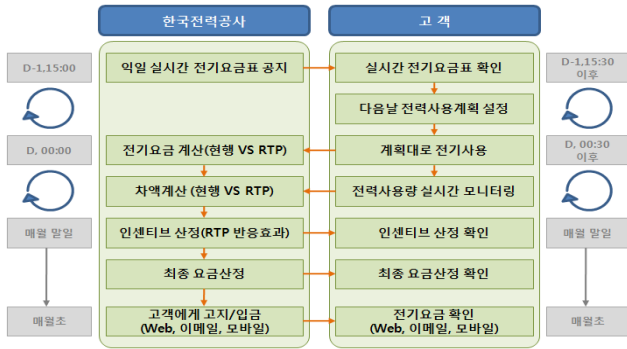


그림 4 실시간요금제 처리 절차
Fig. 4 Process procedure of Real Time Pricing

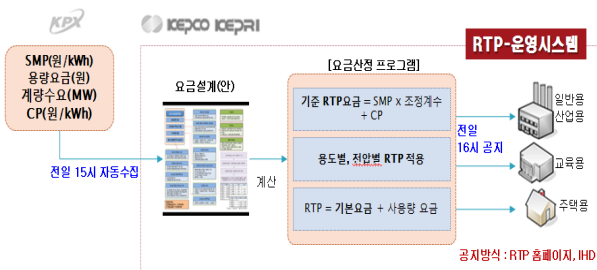


그림 5 실시간요금제 운영시스템의 운영 절차
Fig. 5 Operating processes of Real Time Pricing DR system

그림 5는 실시간요금제 운영시스템의 요금산정 절차 및 전력소비자에게 공지하는 운영절차를 나타낸다. 실시간요금을 계산하기 위해서는 전력거래소로부터 SMP, 용량요금, 계량수요를 15시에 자동 수집하여 요금설계에 따라 CP단가를 계산한다. RTP-DR 운영시스템에서는 요금산정 프로그램을 통해 저압 주택용, 일반용, 산업용, 교육용, 전업용 등의 RTP 단가를 산출하고 고객에게 고지한다. 공지방식은 WEB, IHD(In-Home Display)를 통해 고지한다.

본 실시간요금제 운영시스템의 경우 실시간 양방향 인프라를 적용하기 위해 대용량 전력소비자와 주택용 저압소비자를 구분하여 인프라를 적용하였다.

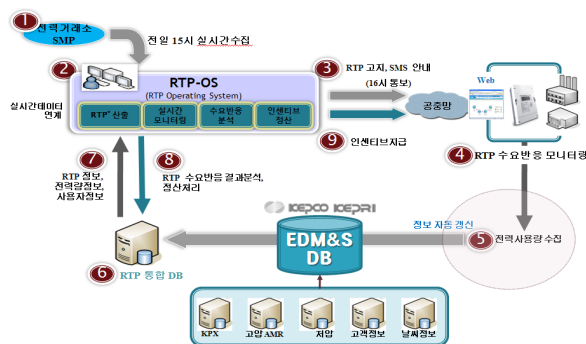


그림 6 대용량고객의 실시간요금제 운영시스템 인프라
Fig. 6 RTP-DR Infrastructure of high voltage consumer

그림 6에서 RTP-DR 운영시스템의 목적은 RTP 산출, 개별고객 및 통합 실시간 모니터링 및 분석, 수요반응 분석, 인센티브 정산등의 기능을 수행하며, 실시간 요금 고지 등 모든 기능을 담당한다. 대용량 고압고객의 경우는 현재 한국 전력공사에서 운영하는 원격자동검침시스템(AMR : Auto Meter Reading)을 적용하였으며, 향후 지능형 전력망 구현에 따라 AMI(Advanced Metering Infrastructure)를 포함할 수 있도록 구현하였다.

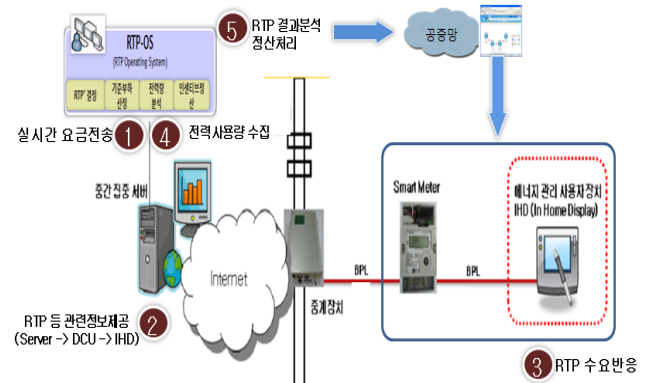


그림 7 저압용고객의 실시간요금제 운영시스템 인프라
Fig. 7 RTP-DR Infrastructure of residential consumer

그림 7은 저압 주택용은 각호에 에너지관리 사용자장치인 IHD(In-Home Display)와 스마트미터를 설치하고, 다수의 스마트미터의 데이터를 전송할 수 있는 DCU(Data Collection Unit)인 중계장치와 그들의 데이터를 관리하는 중간집중서버로 구성된다. 이 중간집중서버는 RTP-DR운영시스템에서 발생하는 실시간요금단가를 관리하여 전력소비자에게 제공하며, 전력소비자에서 발생한 실시간 데이터를 RTP-DR 운영시스템으로 전송하는 역할을 담당한다. 실시간 데이터는 15분 간격으로 RTP-DR 운영시스템에 중간서버를 통해 검침데이터 및 그에 대한 실시간요금데이터를 전송하고 전송받는다.

3. RTP-DR 운영시스템 기능 구현

RTP-DR 운영시스템은 크게 Utility용 DRT-DR운영시스템과 전력소비자용 RTP 운영시스템으로 구분된다.

그림 8의 Utility용 RTP_DR 운영시스템은 등록된 RTP 전체 전력소비자에 대한 정보와 요금정보, 그리고 전력사용량 Top 5를 관리한다. 그리고 전력소비자의 부하절감에 도움을 주고자 현재 날씨를 포함한다. 또한 계약종별로 각각의 실시간 단가를 조회할 수 있으며, RTP에 대한 수요반응 효과인 CO₂ 배출정보도 포함한다. 세부기능으로는 고객상세정보, 요금 및 사용량에 대한 통계정보, 수요반응전 및 반응후 효과와 정산정보, 실시간전기요금산출 기능 등을 포함하며, 필요한 요소에 대한 통합적인 데이터를 관리한다.



그림 8 Utility 및 전력소비자용 메인 화면
Fig. 8 Main screen of RTP-DR Operating System

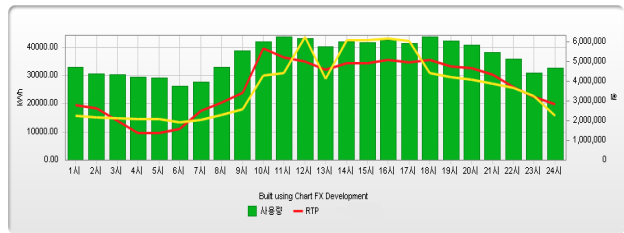


그림 9 실시간 전력사용량 및 요금 정보
Fig. 9 real time power consumption and rate information

그림 10은 제공하는 실시간 요금 및 사용량 정보를 나타내는 것으로 전체 참여 RTP 고객에 대한 사용량(kWh), 사용량(kWh)에 대한 TOU, 그리고 사용량(kWh)에 대한 RTP 단가를 곱한 RTP 요금으로 구성된다.

그림 10은 고압고객(일반용, 교육용, 산업용 등)의 실시간요금단가와 전력시장가격(SMP)을 비교한 그래프이다. 또한 저압고객 주택용의 실시간 요금단가와 전력시장가격(SMP) 그리고 주택용 실시간요금단가의 월평균단가를 비교한 그래프이다.

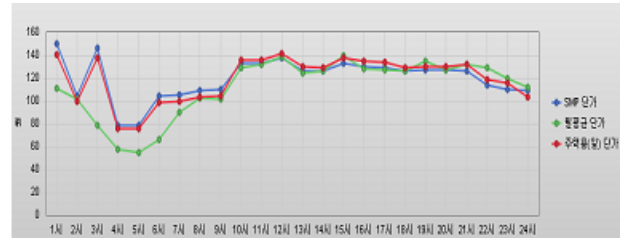
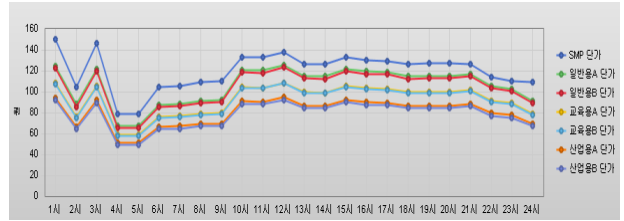


그림 10 실시간 요금 단가
Fig. 10 Real Time Pricing



RTP 요금계수 입력

2010년 07월 07일 RTP를 계산한 수치입니다.

시간대별 SMP · CP · 조정계수

시간	SMP	CP	조정계수
1	150.90	3.17	0.6897
2	104.99	3.29	0.6897
3	147.09	3.33	0.6897
4	78.43	3.35	0.6897
5	78.43	3.35	0.6897
6	104.30	3.32	0.6897
7	105.71	3.22	0.6897
8	105.31	3.08	0.6897
9	110.73	2.86	0.6897
10	133.76	11.33	0.6897
11	133.76	11.05	0.6897
12	137.95	12.86	0.6897
13	127.03	11.31	0.6897
14	127.03	10.88	0.6897
15	133.74	12.60	0.6897
16	130.21	12.65	0.6897
17	128.31	12.71	0.6897
18	127.03	10.99	0.6897
19	127.17	11.26	0.6897
20	127.39	11.25	0.6897
21	127.00	13.15	0.6897
22	114.53	11.48	0.6897
23	110.73	11.88	0.6897
24	105.54	2.95	0.6897

기준 RTP요금 가중계수 · 전압별 단가계수 · 기본단가

구분	가중계수	단가계수	기본단가
일반용A	1.1666	0.02	2,698.00
일반용B	1.1666	-2.20	2,043.00
교육용A	1.0079	0.16	1,945.00
교육용B	1.0079	-0.58	1,680.00
주택용	1.3173	0.00	0.00
산업용A	0.8685	1.05	3,795.00
산업용B	0.8685	-1.00	3,379.00

현재 원가의 환수

구분	원	단위
기본요금환수	12.25	원/kWh
발전원가	21.85	원/kWh
전력량요금환수	9.61	원/kWh

요금계산식

1. 기본 RTP 요금 = SMP + 조정계수 + CP
 2. 용도별, 전압별 RTP = 기본 RTP + 용도별 가중계수 + 용도 및 전압별 단가차이
 (용도별 RTP 요금 = 기본 RTP요금 + 용도별 가중계수 전압별 RTP요금 * 전압별 단가차이 적용)

그림 11 실시간요금단가 산정 화면
Fig. 11 Screen of Real Time Pricing calculation

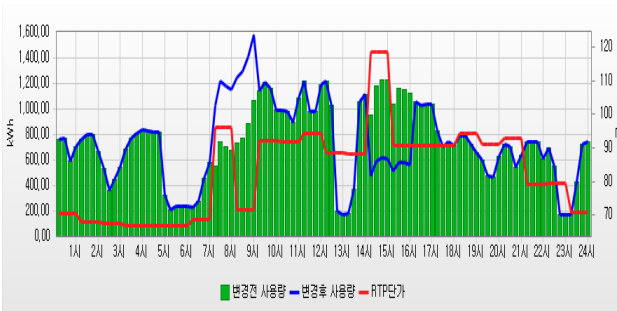
그림 11은 전력거래소로부터 실시간 전송받은 시간대별 SMP와 용량요금, 계량수요를 이용하여 CP 단가를 산출하고 조정계수를 구하는 절차를 제공한다. 기준 RTP요금은 SMP*조정계수+CP 단가로 산정되며, 기준 RTP요금에 용도별 가중계수와 전압별 단가차이를 적용하여 용도별·전압별 RTP 단가를 산출한다.

전력소비자용 RTP 운영시스템은 실시간 종합정보, 요금 및 사용량에 대한 실시간 모니터링, 실시간요금단가를 이용하여 부하이전시 단가차이에 따른 요금 절감을 시뮬레이션할 수 있는 부하이동 시뮬레이션, 월누적요금추이, 정산등의 기능을 수행한다.



그림 12 전력소비자용 RTP 운영시스템의 종합화면
 Fig. 12 Synthesis screen of consumer's RTP Operating System

그림 12의 전력소비자용 RTP 운영시스템 종합화면에는 월요금추이, 일요금추이, 시간대별 요금추이 그리고 실시간 단가를 모니터링하는 부분과 전력소비자가 실시간요금단가를 인지하기 쉽도록 고압고객의 6단계로 표시하고 저압용고객의 경우 3단계로 실시간요금단가의 단계를 표시하는 부분과 기존 한전 TOU 요금제와의 비교를 나타내는 부분으로 구성된다.



시간	부하이동 전 사용량(kWh)	부하이동 후 사용량(kWh)	부하이동 전 전가요금(₩)	부하이동 후 전가요금(₩)	전가요금 차이(₩)	사용량 차이(kWh)
01	2023.6	2023.6	199126.27	199126.27	0.00	0.00
02	2628.9	2628.9	206246.00	206246.00	0.00	0.00
03	1890.4	1890.4	157396.96	157396.96	0.00	0.00
04	3180.9	3180.9	207993.49	207993.49	0.00	0.00
05	2796.4	2796.4	186326.56	186326.56	0.00	0.00
06	919	919	61386.66	61386.66	0.00	0.00
07	1546.4	1546.4	100036.60	100036.60	0.00	0.00
08	4906	4906	419896.74	419896.74	0.00	0.00
09	3992.9	3992.9	362274.12	362274.12	0.00	0.00
10	4376.4	4376.4	412987.10	412987.10	0.00	0.00
11	5811.2	5811.2	521947.87	521947.87	0.00	0.00
12	2720.4	2720.4	239030.46	239030.46	0.00	0.00
13	3873.6	3873.6	347830.56	347830.56	0.00	0.00
14	4199.2	4199.2	377031.48	377031.48	0.00	0.00
15	5294	5294	472036.04	472036.04	0.00	0.00
16	2953.2	2953.2	279077.40	279077.40	0.00	0.00
17	2169.6	2169.6	197626.06	197626.06	0.00	0.00
18	2626.4	2626.4	241213.10	241213.10	0.00	0.00
19	3340.4	3340.4	324704.04	324704.04	0.00	0.00
20	1951.6	1951.6	129689.75	129689.75	0.00	0.00
21	2047.6	2047.6	146676.94	146676.94	0.00	0.00
22						
23						
24						

그림 13 부하이동 시뮬레이션
 Fig. 13 Load shift simulation

그림 13은 24시간 다른 실시간요금단가에서 최대부하시간대의 부하를 다른 부하대로 이동할 경우 전기요금의 어떻게 변하는 지를 보여주는 시뮬레이션 기능이다. 특정일의 14시부터 16시까지의 실시간요금단가가 다른 시간대보다 상대적으로 높을 경우, 낮은 시간대로 시간대의 전체부하에서 이동 가능한 수량을 선택하고 이동할 경우 그 결과에 따라 요금 변동 내역을 볼 수 있다. 전력소비자는 실시간으로 변하는 실시간 요금단가를 기준으로 부하운영계획을 수립하여 효율적으로 전력을 소비할 수 있으며, 그에 따라 요금 절약효과를 기대할 수 있다.

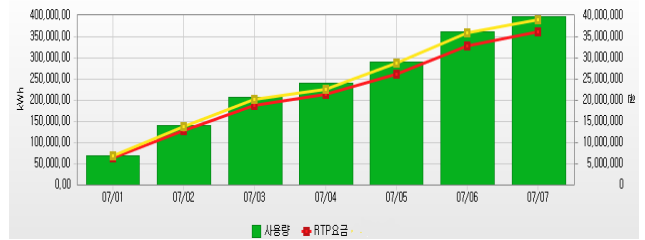
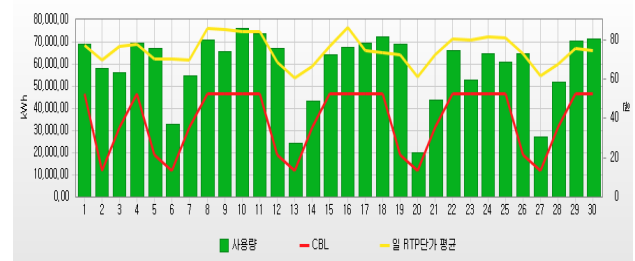


그림 14 월누적요금 추이
 Fig. 14 Month accumulation rate tendency

그림 14는 월누적요금추이를 나타낸 것으로, 전력사용량에 대한 실시간요금과 TOU 요금제에 대한 월누적추이를 모니터링할 수 있다.



CBL(kWh)	실 사용량(kWh)	기본요금(원)	반응전RTP요금(원)	반응후RTP요금(원)	RTP반응효과(원)
1,042,035.36	1,765,636.80	21,256,580.00	160,592,175.96	161,343,444.62	-767,268.66

그림 15 RTP 반응효과
 Fig. 15 RTP response effect

그림 15는 RTP 반응효과를 나타내는 그래프로서 반응전 RTP요금에서 반응후 RTP요금을 차감하여 산정한다. 반응전 RTP요금은 RTP제도에 참여하지 않았을 경우, 사용한 부하를 기준으로 적용월 RTP요금단가와 기본요금을 적용하여 산정한다. 반응후 RTP 요금은 매 시간별 RTP와 시간별 전력사용을 기준으로 산정한 사용량 요금과 기본요금을 적용하여 산정한다. 이때 반응전 RTP요금을 계산할 경우 사용한 부하란 고객기준부하(CBL)를 의미한다. 계산식은 다음과 같다.

- 반응후 RTP 요금 = 시간대별 RTP 단가 x 시간대별사용량
- 반응전 RTP 요금 = 시간대별 RTP 단가 x (적용월 시간대별 사용량/고객기준부하(CBL))

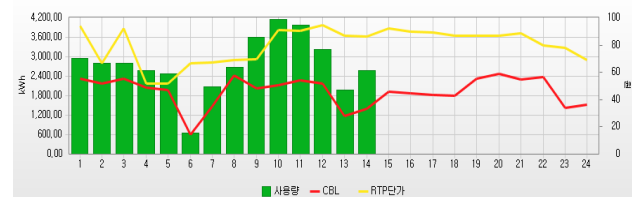


그림 16 고객기준부하
 Fig. 16 Customer Baseline Load

그림 16은 요금적용 기간에 해당하는 전년도 동월의 부하 사용 분석에 사용하는 것으로 요일 특성별 4가지의 부하패턴으로 산출된다.

- 근무일 : 평일 부하패턴의 24시간 평균 사용패턴
- 토요일 : 토요일 부하패턴의 24시간 평균 사용패턴
- 휴일 : 일요일 및 휴일의 24시간 평균 사용패턴
- 월요일 : 일요일 및 휴일 다음날의 24시간 평균 사용패턴

4. 결 론

본 논문에서는 지능형전력망 기반하에서 실시간요금제를 위한 RTP-DR 운영시스템을 제안, 구현하였다. 본 제안된 시스템은 Utility와 전력소비자간 실시간 양방향 정보전송 인프라를 기반으로 이루어지며, 실시간요금제의 경우 환경변화 및 Utility의 정책변화 등으로 언제나 설계안이 수정될 수 있다. 본 논문에서 제시한 실시간 요금제는 전력 소비자의 가격 반응성을 높여 효율적인 에너지이용을 제공할 뿐만 아니라 국가적인 측면에서도 발전비용을 낮추는 효과를 볼 수 있다. 또한 현행 고정요금제 방식에 비해 전력요금 변동성이 높아 사용계획을 수립하는데 어려움이 있지만 전력소비자의 경제적인 전기사용을 유도하여 전력공급자, 소비자, 국가적인 편익을 증가시킬 수 있는 스마트그리드 기반의 요금제도이다. 또한 기존의 전기요금은 발전비용을 적용하지 않은 요금체계로 정상적인 실시간요금제와 비교하여 비교적 낮은 요금으로 책정되어 있어 실시간요금제 시행시 전력소비자의 혼란을 야기할 수 있다. 그러나 이러한 문제점은 2009년에 시범사업의 실시를 통해 소비자반응과 경제적 효과, 문제점 등을 종합 분석하여 스마트그리드 도입시 적용하는 방안을 수립할 예정이다.

RTP-DR 운영시스템은 전력소비자에게 제공되는 실시간 요금단가에 따라 높은 시간대 단가의 부하를 줄이고, 낮은 시간대 단가의 부하를 늘림으로써 부하평준화와 전력계통의 안정화를 이룰 수 있다. 또한 기후변화협약에 따른 온실가스 배출규제 강화에 대한 적절한 방안임을 기대해본다.

향후 연구로는 이 논문에서 제안한 실시간 요금제를 지능형 전력망(Smart Grid) 환경에 맞게 재설계하고 그에 따른 Demand Response System을 확대 적용하여 제주 실증단지 내에서 시범운영함으로써 시스템을 통한 에너지 절감 및 이산화탄소 감소효과를 분석하고, RTP에 대한 고객의 반응도를 분석하여 전력소비자의 이득 창출과 국가적인 에너지 절감 목적에 맞는 최적 Economic DR시스템을 구현하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사에서 시행하는 “수요예측기반의 상시수요관리 통합 솔루션 개발”연구과제를 통해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 고종민, 진성일, 정남준, 유인협, 김선익, “AMI를 이용한 Consumer Portal 개발”, 대한전기학회, 2008, 제56

권, 11호, pp.1903-1909

- [2] 고종민,,양일권, 송재주,진성일, “상시수요응답(Day Ahead Demand Response) 운영에서의 CBL 활용방안 연구”, 대한전기학회, 2009, 제58권, 1호, pp.28-34
- [3] 한국전력공사 “지능형 전력망 추진을 위한 실시간 요금제 시범적용 연구” 중간보고서, May, 2010
- [4] Young-Min Wi, “Customer Baseline Load (CBL) Calculation using Exponential Smoothing Model with Weather Adjustment”,IEEE T&D Asia. 2009
- [5] Katie Coughlin, Mary Ann Piette, “Estimating Demand Response Load Impacts”, LBNL Reports, Jan. 2008

저 자 소 개



고 종 민 (高 鍾 旻)

1967년 11월 30일생
2006년 충남산업대정보통신공학과졸업(석사)
1993년 - 현재 한국전력공사 전력연구원
E-mail : kojim@kepcoco.kr



송 재 주 (宋 在 周)

1967년 5월 25일생
2004년 충북대 전자계산학과(석사)
1991년 - 현재 한국전력공사 전력연구원
E-mail : jjsong@kepcoco.kr



김 영 일 (金 榮 一)

1972년 11월 27일생
2000년 충남대 컴퓨터공학과 졸업(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : yikim@kepcoco.kr



정 남 준 (鄭 南 俊)

1966년 3월 8일생
1989년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업
2005년 충북대 전자계산학과(석사)
현재 한국전력공사 전력연구원 근무
E-mail : njjung@kepcoco.kr



김 상 규 (金 尙 圭)

1971년 4월 7일생
1995년 한국전력입사
현재 한국전력공사 근무
E-mail : kimzsgm@kepcoco.kr