

빅데이터 기반의 전력 에너지 서비스의 개발

이효섭, 이선정, 김진성, 최재필
(주)인코어드 테크놀로지스

요약 최신의 전력 계측 시스템은 IOT 기술을 비롯한 정보통신기술(ICT)을 에너지 영역에 접목함으로써 종래의 15분, 건물 별 측정 단위를 뛰어넘는 실시간, 기기별 모니터링에 도전하고 있다. 실시간, 기기별이라는 측정 단위의 급격한 변화를 통한 데이터 전송량의 폭발적인 증가는 종래의 데이터 시스템이 처리할 수 있는 한계를 보여주고 있다. 본 글에서는, 매우 세밀한 단위로 측정된 전력 계측 센서의 많은 양의 데이터를 실시간으로 수집하고 처리하기 위한 새로운 데이터 관리 구조를 제시하고 있다. 특히, 오픈소스 기술에 기반한 빅데이터 분석 기술과 상용 클라우드 플랫폼을 활용함으로써 현실에서 손쉽게 적용할 수 있는 방안을 제시한다. 해당 시스템을 통하여 수집된 초고해상도 전력 데이터는 종래와는 다른 새로운 차원의 서비스를 발굴할 수 있는 근간이 된다. 본 글에서는 기존의 전력 서비스에서 한발 더 나아가 새로운 서비스를 제안하고, 동시에 이에 대한 기술적인 방안을 제시한다.

1. 서론

최근 몇 년 동안의 정보통신기술의 전방위적 확산은 전력망에도 다양한 변화와 진보를 가져왔다. 특히 현대적 전력망에 최신의 통신 기술을 결합한 스마트그리드는 미래 에너지의 공급 및 소비를 위한 지속 가능하고, 안전하며, 경제적으로 진일보한 새로운 전력 패러다임으로서 그 가치를 인정받고 있다.

스마트그리드는 기본적으로 전력 인프라에 진보된 감지 기능과 통신, 그리고 제어 기능을 제공한다. 이를 통해 전력망의 전력 수요를 감독하고 전

력의 공급과 전달을 관리할 수 있으며, 더불어 실시간 쌍방향 통신 네트워크를 적용함으로써 에너지 효율과 안전성을 급격히 향상시킨다. 이는 신재생에너지 등의 분산 발전 확대, 에너지 소비의 효율화, 이에 따른 수요/공급의 최적화를 위한 안정적 그리드 운영의 근간을 마련한다.

이러한 스마트그리드의 장점들이 대중에게 폭넓게 받아들여지고 있는 반면 실제 전력 데이터와 통신망의 결합에서 파생된 수 많은 문제점들은 잘 알려진 바 없다. 특히 말단에서 무수히 많은 지능형 기기들을 통해서 들어오는 방대한 양의 데이터를 처리하는 것은 굉장히 큰 도전이다. 실시

간 기기별 전력 사용량은 개별 가정에서의 초당 20여건이 넘는 기기별 측정값의 전송을 의미한다. 수천만의 가정에서 그리고 수백만의 상업용 시설에서 실시간으로 전송되는 데이터를 수집하고 이에 기반한 정보 검색과 의사결정을 지원함은 기존의 클라이언트-서버 혹은 관계형 데이터베이스 시스템으로 지원하는데 명확한 한계가 있다. 더 나아가 전력 측정 장치는 물론 실내 환경 센서를 포함한 기기들의 기기들로부터 정보의 취합은 문제의 복잡도를 한층 더 높여준다.

스마트그리드의 다양한 데이터 기반 어플리케이션 및 서비스는 크기(Volume), 속도(Velocity), 다양성(Variety)이라는 빅데이터의 3V를 효율적으로 관리할 수 있는 시스템 위에서 구현되어야 한다. 예를 들어, 설비의 이상 탐지 및 수명 진단은 다년간 축적된 설비 데이터들 간의 상관관계 분석을 통한 운영 규칙의 추정이고, 또한 실시간 데이터와 추정된 운영 규칙간의 일치여부에 대한 판단이다. 수요반응(demand response)은 에너지 소비 행동 데이터 분석을 통한 에너지 소비 모형의 추정과 이를 통한 최적화 문제의 해결 과정이라 해석할 수 있다. 이러한 데이터 분석들은 과거의 고비용의 고성능 컴퓨터로조차 다루기 힘든 데이터에 기반하고 있다. 근래의 클라우드 컴퓨팅 기술은 가격 효율적이며 분산된 데이터 처리 기술에 기반하고 동시에 탄력적인 자원의 운영을 가능하게 함으로써 스마트그리드의 3V를 가장 효과적으로 지원할 수 있는 시스템으로 고려되고 있다.

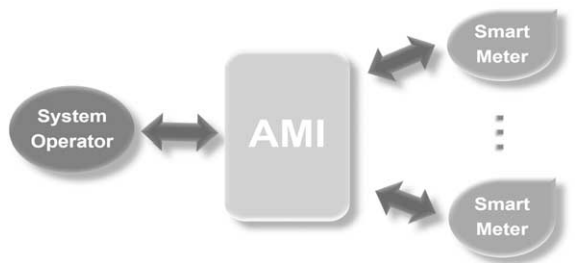
지난 몇 년동안의 스마트그리드 분야의 집중적인 연구개발은 수 많은 진보적 기술의 제안 및 구현을 가능하게 했다. 그러나 방대한 양의 전력 데이터를 효율적으로 처리하는 방법 그리고 이에 기반한 구체적인 서비스를 제시한 글들은 많지 않다. 따라서, 본 글에서는 스마트그리드의 전력 빅데이터 처리에 최적화된 구현가능한 데이터 시스템의 디자인을 제안한다. 제안되는 데이터 관리 구조는 현대적인 빅데이터 처리 기술들과 확장

가능한 공개 클라우드 플랫폼에 기반한다. 구체적으로는, IoT 기반 스마트미터와 결합된 공개 클라우드 위에서 구현된 Cassandra, Storm 등의 오픈 소스 기반의 분산 빅데이터 처리 시스템이다. 실시간 부하 감시나 에너지 수요 예측과 같은 다양한 서비스들은 해당 시스템 위에서 실현이 가능하다.

본 글의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 스마트그리드 시스템에 대한 간략한 설명과 빅데이터 시스템과에 대한 개념을 소개한다. 3장에서는, 우리가 제시하는 전력 빅데이터 관리 구조를 소개하고, 4장에서는 전력 빅데이터에 기반한 다양한 신규 서비스에 대한 소개와 기술적 사항에 설명한다. 마지막으로 5장에서 결론과 함께 본 글을 마무리한다.

2. 시스템 설명과 배경

그림 1은 스마트그리드에서의 전력 모니터링 데이터의 흐름에 대한 간략한 다이어그램이다. 스마트미터는 기존의 미터기보다 전력 소모량을 더 자세히, 더 짧은 주기로 확인할 수 있도록 하는 진보된 센서이다. 소비자들은 본인이 얼마나 많은 전력을 사용하고 있는지를 스마트미터를 이용해 확인할 수 있기 때문에, 본인의 사용량에 기반하여 적절히 소비를 조절할 수 있다. 이와 더불어 차세대 계측 기반구조(Advanced Metering Infrastructure, 이하 AMI)로 알려진 스마트미터의 통



[그림 1] 스마트미터 데이터 흐름

신 네트워크는 스마트미터로 하여금 원격배치, 기계 제어, 계측량을 위한 데이터 피드백을 가능하게 한다. AMI에서는 데이터의 전송 방식 및 보안에 대한 다양한 통신기준들이 고려되고 있다.

스마트미터와 AMI의 구축은 원격 부하 모니터링과 다양한 요금체계의 도입을 가능하게 한다. 예를 들어, 전력 회사들은 스마트미터에서 수집된 실시간 수요 모니터링 데이터에 기반하여 시간별 요금제(Time of Use, ToU)나 실시간 요금제와 같은 소비와 결합된 가격체도를 도입할 수 있고, 이를 통하여 더 낮고 합리적인 가격에 전력을 공급할 수 있다. 이는 모든 스마트미터들이 무선통신, 광통신, 유선통신과 같은 현대적 통신 기술을 통해서 서로 연결되어 있기 때문에 가능한 일이다.

결국에는 스마트그리드의 핵심적인 어플리케이션과 서비스는 스마트미터를 통해서 측정된 데이터의 분석을 위해 구성된 데이터 관리 시스템 위에서 구현이 가능하다. 그러나, 더 많은 스마트미터 혹은 사물인터넷(Internet of Things, IoT)기술과 결합된 더욱 저렴한 전력 측정 센서를 통한 물리적 측정 지점의 기하급수적으로 증가와 또한 비정상적인 사용량의 감지 등의 목적을 위한 실시간 측정 데이터의 수집은 엄청난 양의 측정 데이터를 만들어낸다. 즉, 물리적인 측정 포인트라는 공간 측면에서의 해상도와 실시간이라는 시간 측면에서의 정보 해상도의 증가는 시스템에 들어오는 데이터의 크기를 폭발적으로 증가시켰다. 더 나아가서는 날씨나 위치, 그리고 사용자 정보와 같은 보조 정보들이 데이터 분석을 위하여 통합됨으로써 데이터 관리 시스템 설계상의 난해함은 종래의 기술적 한계를 이미 뛰어 넘고 있다.

이러한 대용량 데이터를 성공적으로 관리하기 위해서 정보들은 최신의 빅데이터 기술과의 결합을 통하여 관리되어야 한다. 특별히, 스마트그리드의 강력한 어플리케이션 혹은 서비스를 지원하기 위해서 전략적으로 특화된 데이터 처리 방안이 명확해야 한다. 또한, 확장 가능하고 가격 대비

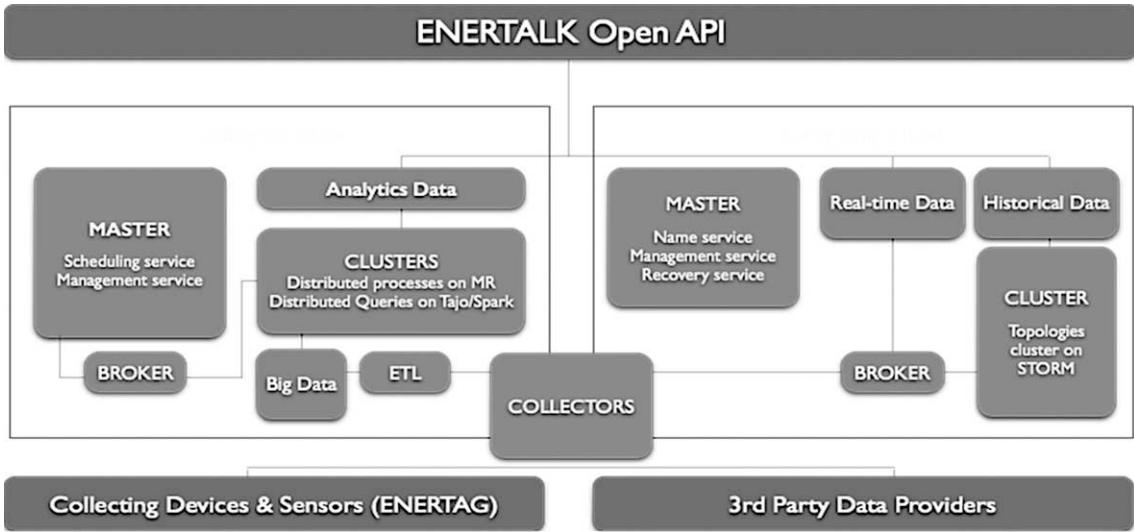
효과가 좋은 방법으로 데이터를 계산, 저장, 그리고 전송하기 위해서는 잘 설계된 클라우드 컴퓨팅 플랫폼은 필수적이다. 이어지는 장에서는, 확장 가능한 클라우드 기반의 전력 빅데이터 처리 플랫폼을 위한 데이터 관리 구조를 소개한다.

3. 데이터 관리 구조

이번 장에서는, 'EnerTalk'이라고 불리는 데이터 관리 플랫폼을 설명한다. 이 시스템은 파이프라인 구조로 구성된 셀 단위의 구성체로서 자유로운 확장성과 함께 높은 가용성을 보장한다. 구조를 디자인할 때에 가장 많이 고려되었던 사항은 어떻게 수천만대의 전력 계측 장치들을 확장 가능한 방법으로 또한 합리적인 가격으로 지원하는가였다. 우리는 Storm이나 Tajo, 그리고 Spark와 같은 빅데이터 처리에서 증명된 가장 최신의 기술을 채택하고, 그들의 조합을 시험하였다. EnerTalk은 데이터 통신, 저장, 그리고 분석을 위한 완전히 독립적인 플랫폼이다. **그림 2**는 각각 목적에 따라 요약과 분석을 위한 클라우드가 분리된 EnerTalk의 개념도이다. 다음 세부 장에서 각각의 자세한 부분을 설명한다.

3.1 컴퓨팅 클라우드

(주)인코어드 테크놀로지스에서 생산하는 EnerTag와 같은 스마트미터에서 수집된 모든 데이터들은 수집자(Collector)에게 보내진다. 수집자는 수신된 데이터를 미리 정해진 형태의 시스템 공통의 포맷으로 변환함으로써, 새로운 기기가 추가적으로 설치되더라도 데이터는 시스템의 표준화된 형태로 프로세싱된다. 데이터가 성공적으로 변형되면 데이터는 전달자(Broker)에 전달되고, 전달자는 어느 클러스터가 데이터를 처리할지 정한다. 구체적으로는, 전달자는 부하 균형과 부분오류용인(Partition Tolerance)을 지원하기 위해



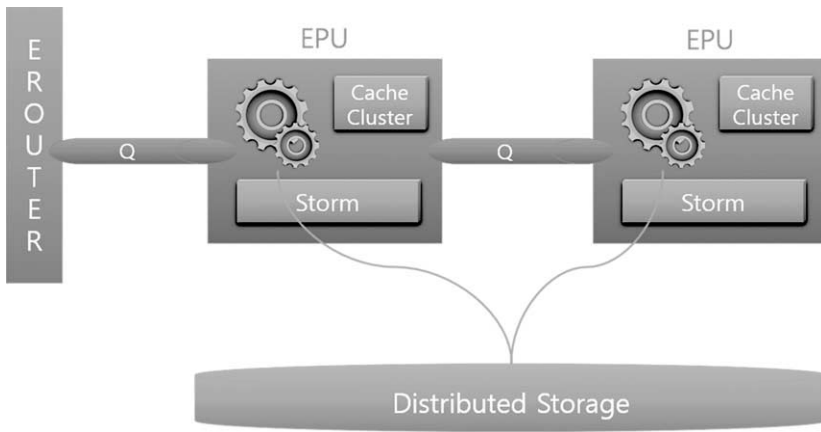
[그림 2] ENERTALK: 데이터 관리 분석 플랫폼

동적 라우팅 (Dynamic routing)에 기반하여 구축되었다.

클러스터는 대기열(Queue)을 매개로 다른 처리 단위와 느슨하게 연결되어 하나의 클러스터 (Cluster)를 구성한다. 처리 단위의 구성은 트윗터를 비롯한 스트리밍 데이터 처리로 잘 알려진 미들웨어 Storm에 의해서 관리된다. EnerTalk은 Open API (Application Programming Interface)를 제공함으로써 사용자 인터페이스나 추가

적인 분석을 위해 처리된 데이터에 접근하는 것이 가능하다.

클러스터는 Encored Processing Unit (이하 EPU) 라고 불리는 다수의 처리 단위로 이루어져 있다. 그림 3에 도식화되어 있듯이 EPU는 클러스터를 구성하는 가장 작은 구조체이다. 각 EPU는 자원과 기능 특성들을 표준화함으로써 시스템 구성에 있어 일관된 사양과 성능을 보장한다. 예를 들어, Solar라고 이름이 붙여진 EPU는 단위



[그림 3] 데이터 처리 단위 EPU(ENCORED PROCESSING UNIT)의 구성도

시간 동안의 사용량 통계를 만드는 데이터 취합 집단이고, 다른 Lunar라는 이름의 EPU는 전문가에 의해 설정되었거나 혹은 클라우드 분석에 의해 자동적으로 추출된 규칙에 따라 실시간으로 사건들을 포착해내는 기능을 수행한다.

CAP 이론에 의하면, 분산 시스템이 동시에 다음 3 가지를 보장하는 것은 불가능하다. 일관성 (consistency), 가용성 (availability), 그리

고 부분오류용인(partition tolerance). 위 세 가지 중에서, EnerTalk은 데이터 일관성에 대하여 느슨한 지원을 한다. 그러나, 일관성은 사실 시스템이 자동으로 일관성이 결여된 데이터를 찾아내어 자동으로 일관성을 유지시켜주는 자동복구시스템에 의해서 보완된다. 결과적으로, 자동복구시스템에 덕분에 클러스터 간의 데이터의 일관성 문제는 최대 15분 정도의 짧은 순간에만 존재한다. 게다가, 엄격한 일관성에 대한 제약을 제거함으로써 EPU간에 단순한 대기열만을 활용한 느슨한 연결을 가능하도록하여 가용성과 가성비는 급격히 증가한다.

3.2 분석 클라우드

분석 클라우드의 일차적인 역할은 수집자에 의해 수집된 원본 데이터(raw data)를 저장하고 관리하는 것이다. 데이터가 수집자에게 도달하면, 분석 클라우드는 빅데이터 저장공간에 맞도록 데이터 형식을 변경한다. 전형적인 데이터베이스 방법으로는 매 초마다 각 기기 수준에서 들어오는 실시간 측정 데이터를 지원할 수 없다. 평균적으로, 24개의 피더가 연결된 EnerTag 하나에서 들어오는 원본 데이터의 양은 하루에 100Mb이다. EnerTalk은 원본 데이터를 최소 2년 동안 유지하는데, 이는 하나의 기기당 약 70Gb의 누적 데이터를 만들어낸다. 데이터의 총 크기를 줄이기 위해서는 압축률은 최대화하면서 CPU사용량은 최소화 하는 압축 알고리즘의 연구가 필수적으로 동반되어야 한다.

분석 서비스 관리자는 고객의 분석 서비스 요구에 대응할 책임이 있다. 관리자는 분석 서비스를 균등하게 혹은 고객의 수요에 따라 수행한다. 관리자가 분석 서비스를 시행하기로 결정하고나면, 전달자(broker)에게 요청을 보내고, 전달자는 서비스 저장소에서 서비스를 시작한다. 분석을 위한 입력 데이터는, 빅데이터 저장공간에서 조회 가능한 원본 데이터와 컴퓨팅 클라우드의 분산 데이

터베이스에 저장된 과거 사용량 통계가 활용된다. 해당 입력 데이터를 가지고, 분석 알고리즘은 Map-Reduce 작업을 수행하고, 그 결과는 데이터의 성격에 따라 빅데이터 저장공간 혹은 컴퓨팅 클라우드의 저장소에 저장된다. 빅데이터 저장공간으로부터의 조회 및 실시간 데이터 포맷 변경은 Tajo와 Spark을 통하여 이루어진다.

현재 사용가능한 분석 서비스로는 수요예측(demand forecast), 연관규칙 마이닝(association rule mining), 그리고 비파괴 부하 모니터링(non-intrusive load monitoring)들이 있다. 분석 서비스 역시 컴퓨팅 클라우드 API처럼 공개적으로 발표될 것이다. 다음 장에서는 EnerTalk을 통해서 수집되고 분석된 데이터에 기반한 서비스를 자세히 설명한다.

4. 데이터 서비스

최신의 스마트미터 혹은 IoT기반의 전력 모니터링 기기들은 정확한 전력 계측치들을 요청된 시간 단위(예를 들면 매 초)로 수집하여 전송한다. 그러나, 단순히 더 많은 데이터가 더 많은 정보를 의미하는 것은 아니다. 우리는 제시된 데이터 관리 구조를 통한 다양한 데이터 분석의 가능성을 살피고 이에 기반한 실용적인 신규 서비스를 제시한다.

4.1 빌딩 에너지 관리

공장과 같은 생산 설비를 제외하고 가장 많은 전력 소비가 이루어지는 곳은 상업용 건물 분야이다. 상업용 건물은 냉난방을 비롯한 다수의 부하가 섞여 항상 운영되고 있으며 더욱이 다수의 소비자가 동시에 전력을 소비함으로써 소비 패턴을 분석하고 이에 기반한 최적의 제어를 이행하는데 난점이 있다. 하지만, 국가적 에너지 소비 절감을 위한 건물을 겨냥한 다양한 에너지 소비 규제 정책 및 전력 요금의 인상은 건물 관리인에

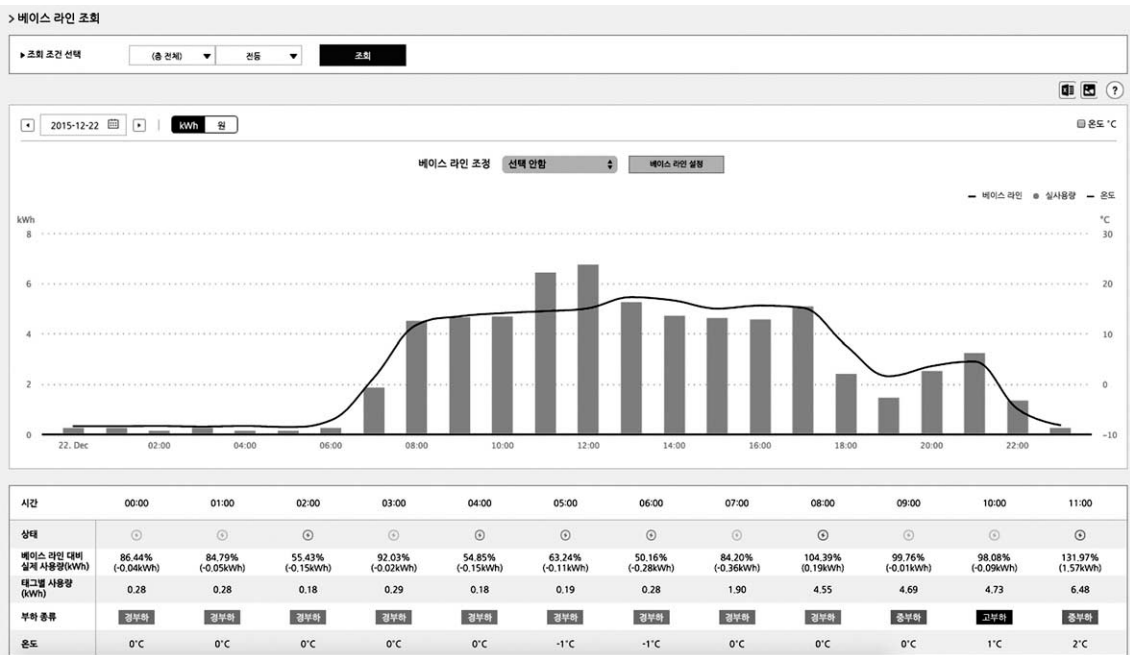


[그림 4] 빌딩 에너지 관리: 대쉬보드

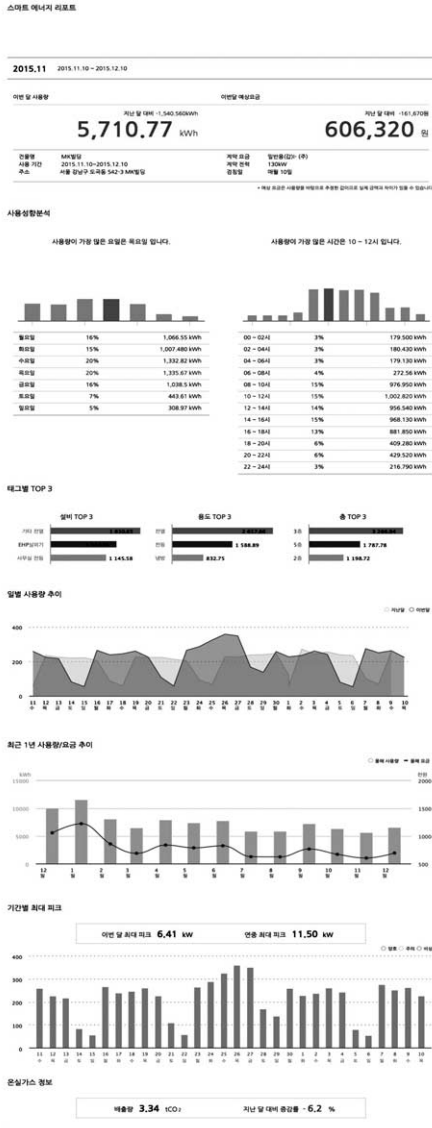
게 에너지의 효율적 소비라는 당면 과제를 제시하고 있다.

에너지의 효율적 소비는 현재 소비되는 에너지의 명확한 모니터링과 이에 기반한 전력 소비 예

측, 더불어 기기 간의 운영 규칙에 기반한 기기의 정상 운영 상태의 파악과 같은 분석에 기반하여야 한다. 이러한 정보들은 그림 4와 같은 실시간 에너지 대쉬보드, 그림 5의 소비 예측과의 비교를



[그림 5] 빌딩 에너지 관리: 베이스라인 분석



[그림 6] 빌딩 에너지 관리: 월간 리포트

통한 정상 상태 확인, 그림 6과 같은 월별 리포트를 통해 전달된다.

이러한 정밀한 데이터의 수집과 분석은 전통적인 빌딩 자동화 시스템(Building Automation System, BAS)으로의 최적 제어 정보 전달로 연결되어 기존 BAS에서 진일보한 새로운 BAS 시스템의 등장을 기대하게끔 한다.

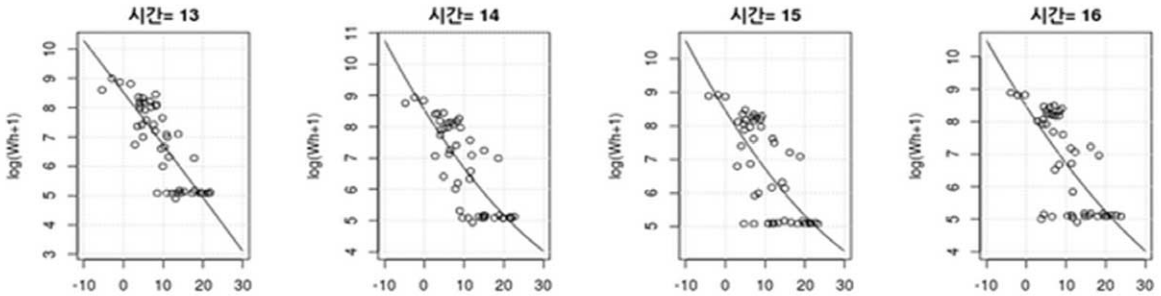
특별히, 이러한 빌딩 에너지 관리를 실현하기 위해서는 소비예측, 연관관계탐사, 최적제어분석 등의 기술적인 사항이 같이 구현되어야 한다. 따름의 장에서는 해당 내용에 대한 상세한 기술적 사항을 기술한다.

A. 전력 소비 예측

전력 소비에 대한 실시간 모니터링은 건물 운영자에게 유용한 정보를 제공한다. 특히, 과거 사용 부하 기록에 따른 사용자 행동의 분석은 건물의 에너지 소비에 대한 모델링을 가능하게 한다. 예를 들어, 빌딩의 전열과 전등 기기는 근무 시간동안 일정하게 사용되는데, 이와 같이 기기별로 상이하게 나타나는 전력 사용 패턴은 통계 방법을 통해 분석 가능하다.

더 복잡한 분석으로는, 기하급수적 가중 방법(exponentially weighted method), 비모수적 함수 추정 방법론(nonparametric functional method), 그리고 외부 환경 요소에 기반한 회귀 모형 등이 가능하다. 실제 전력 사용량 변동에 영향을 주는 요소는 시간을 포함하여 실내/실외 온도, 습도, 풍속, 체감온도, 미세먼지 정도, CO₂ 정도, 미세먼지, 황사, 오존량, 전염병 등이 있다. 이러한 환경적 요소 외에 모션 센서 또는 공기 중 CO₂ 센서를 이용한 집안에 거주하는 혹은 현재 실내에 있는 사람 숫자, 특정 구성원이 집에 머물고 있는지의 여부(e.g. 전기 과소비 구성원의 체류 여부), 집안에 달린 온도 등을 측정하는 센서(방, 부엌 등 여러 지점이 가능), 그 외에도 그 가정의 자동차의 위치 정보도 전기 소비량에 영향을 줄 수 있다. 이러한 소비에 영향을 끼칠 수 있는 모든 가능한 요소들의 데이터를 전기 소비량의 데이터 수집단위와 동일한 단위로 수집한다면 외부 환경 요소와 소비량간의 상관 관계를 추정할 수 있다.

전력 소비 예측 서비스는 사용량과 예측 요소 간의 관계를 설명할 수 있는 모델들 중에서 데이터에 대한 설명도가 가장 높은 모델을 선택하고, 해당 모델 계수를 데이터로부터 추출한다. 그림 7은



[그림 7] 사용량과 온도와의 관계 추정

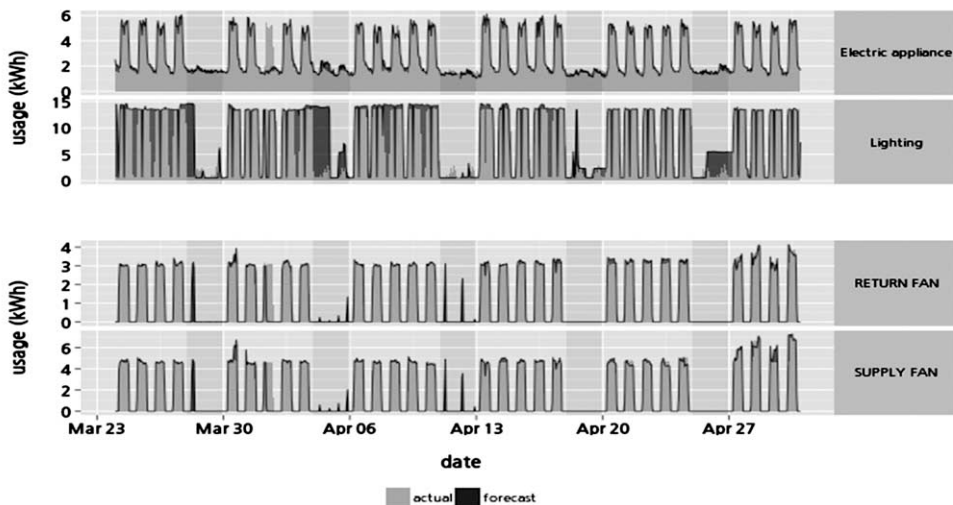
외부 온도와 사용량을 다항함수로 추정한 결과이다. 다항함수 이외에 B-Spline등을 추정에 사용할 수도 있다. 만약 예측 요소가 한 개 이상이라면 다항함수 혹은 B-Spline 함수 등을 이용하여 다차원 surface 추정을 할 수 있다.

분석 클라우드는 상술된 방법론에 기반한 수요 예측을 제공하고, 이 예측값과 실제 사용 값들을 실시간으로 비교함으로써 행동 이상이나 기기 결함을 가려낸다. 그림 8은 실제 수요량과 예측 수요량을 각각 빨간 색과 파란 색으로 표시하여 비교하는 것을 보여주고 있다. 전등(Lighting)의 경우, 4월 4일과 26일의 수요량이 예측값보다 더

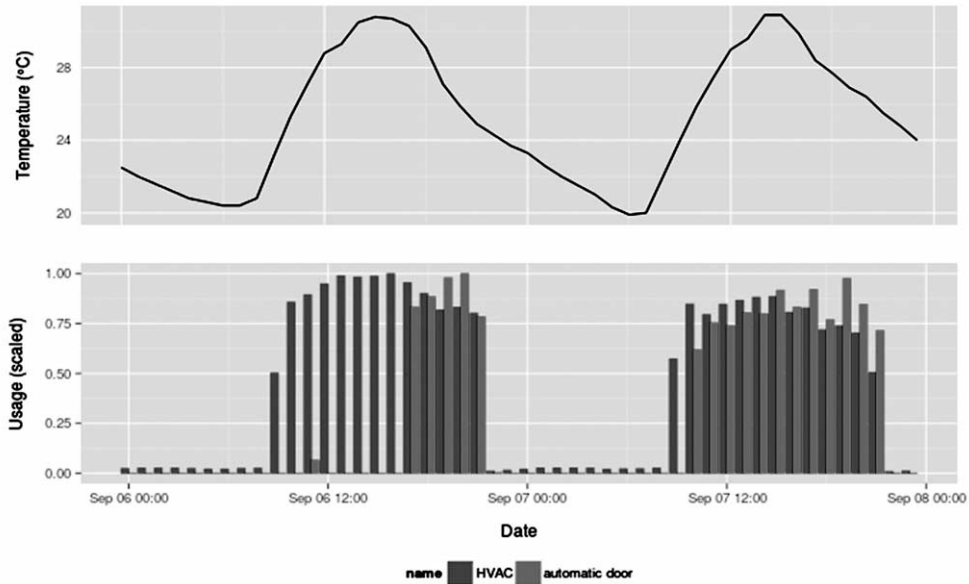
높아서 이상 사용량으로 구분하였다. 그림 8 하단의 그림 두 개는 외기온도와 공기 순환기를 연계하여 보여주고 있다. 예측량은 실제 수요량과 거의 일치하지만, 3월 28일이나 4월 29일과 같이 비정상적인 상승 또한 포착되고 있다.

B. 연관 관계 분석

기기의 사용자 패턴에 따른 비정상치를 판단할 때 기기 개별의 시계열적인 정보만을 활용할 수도 있으나 기기간의 상관관계를 파악한다면 기기의 복잡한 운영 규칙을 파악하고 이에 기반한 정상 운영 상태에 대한 더욱 정밀한 판단이 가능



[그림 8] 실제 수요와 예측 수요 간의 비교



[그림 9] 한 상점에서의 이틀간의 전력 사용량과 외기온도

하다.

예를 들면, 그림 9는 여름에 한 가게에서 이틀 동안의 시스템에어컨(난방, 환풍, 에어컨의 통합 시스템)과 자동문의 사용량을 보여주고 있다. 여기에서 전력 단위는 단순 표기를 위해 정규화 되었다. 이틀동안 외부의 최고온도는 거의 비슷하지만 첫 날에 비해 15% 가량의 더 많은 전력 사용량이 관측되었다. 이 경우 자동문의 전력 사용량을 고려함으로써 해당 현상을 이해할 수 있다. 즉, 자동문이 비활성화 되었을 때(열려 있을 때), 에어컨이 더 많은 전력을 소비한다. 결과적으로, 상점의 자동문이 열려있음으로써 냉방 전력 사용량이 증가하였고, 따라서 해당 상황에서는 냉방 기기의 이상보다는 자동문을 열고 운영하는 상태임을 확인할 수 있다.

비슷하게 전열이나 전등 기기들을 포함한 다양한 기기들의 전력사용량을 모니터링함으로써, 비정상적인 전력 사용 상황을 포착해낼 수도 있다. 이를 위해서는 기기 사이의 정상적인 사용 패턴을 우선적으로 이해해야 하는데, 연관관계 마이닝과 같은 알고리즘을 활용하여 그 특징을 포

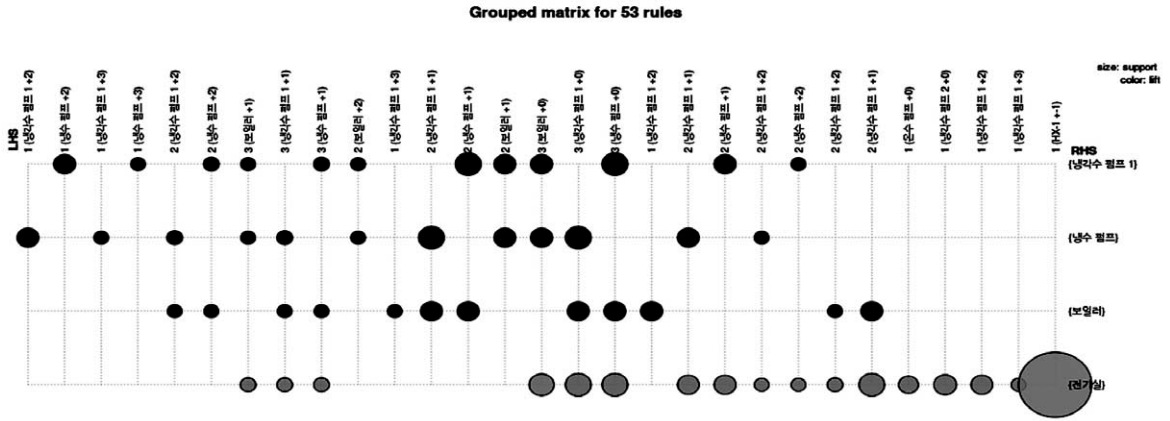
착해 낼 수 있다.

그림 10은 어느 건물의 공조 시설에 대한 연관 관계를 서술한 연관관계 마이닝 기법으로 추출한 결과이다. 가로축에 해당하는 기기들이 작동할 때 세로축에 해당하는 기기들이 작동할 경우에 대해 분석한 것으로 원의 크기가 크거나 색이 진할수록 작동할 확률이 큰 것을 의미한다.

4.2 가정 대상 에너지 서비스

가정의 에너지 소비량은 전체 전력 공급의 약 20~30%를 차지한다. 공장이나 대규모 건물의 사용량이 예측 가능한 기저 부하인데 반하여 가정의 부하는 외부 환경에 따른 변동폭이 큰 변동 부하가 다수 포함되어 있다. 따라서, 실제 예비력의 관점에서 있어서는 가정의 부하를 관리하는 것이 더 중요한 요소가 된다.

가정을 대상으로 한 스마트미터 혹은 IoT기반 서브미터의 활성화는 이에 따른 다양한 에너지 서비스를 가능하게 할 것이다. 특히, 가정의 부하 상태를 지속적으로 모니터링하고 이에 기반한 수



[그림 10] 건물의 기기별 연관관계

요반응 서비스를 이끌어낼 수 있다면 이는 전력 에너지의 효율적 공급이라는 스마트그리드의 목표 달성의 중요한 단초가 될 것이다.

A. 가정 대상 수요반응 서비스

기존의 수요반응 서비스는 전력 공급 업체에서 전력 사용 절감을 요청을 받은 경우에, 자동화된 수요 응답 (ADR) 클라이언트가 건물 관리자가 미리 입력한 스케줄에 따라 제어기(BAS)를 통해 전력 소비 기기들을 제어하는 것을 시도한다. 이러한 수요반응 서비스의 구현을 위해서는 건물 관리자가 건물의 총 사용량을 예측하고 이에 기반하여 절감 요청에 반응할 수 있는 일괄 규칙을 미리 입력해두어야 한다. 하지만 이러한 방식은 건물 내 입주자들의 개별 가전 기기에 대한 정보 없이 건물의 총 사용량에 기반한 전력 수요 예측을 활용하기 때문에 예측의 정확도가 매우 낮아 건물에 설치된 개별 건물 입주자들의 전력 사용 특징이 반영되지 못하여 개별 입주자들의 전력 사용에 큰 불편을 끼칠 수 있다. 더 나아가 전문 건물 관리인이 없는 개인 가구나 가정에서는 활용할 수 없다는 치명적인 단점이 있다.

스마트그리드에서 수집된 데이터에 기반한 효율적이며 정확한 수요 예측과 실시간 피드백은 전력 사용 절감이 요구되는 시간대 및 전력량을 고

려한 전력 사용 절감 요청이 가능해지고, 이를 통하여 효율적인 전력 수요반응 서비스의 구현이 가능하다. 특히 기존에 수집된 데이터에 기반하여 최소의 비용으로 주어진 전력 사용량 절감을 이행할 수 있는 가정 가입자의 정교한 대상자의 선정이 가능함으로써 전력 절감의 효율을 높일 수 있다. 더불어 전력 사용 절감에 대한 적절한 보상을 부여함으로써 가입자로 하여금 전력 사용 절감에 대한 적극적인 참여를 유도할 수 있다.

이러한 가정대상 수요반응 서비스는 그림 11의 예시 이미지와 같이 스마트폰과 결합하여 소비자에게 가장 적합한 시점에 절감 요청 메시지를 보내고 절감에 대한 실시간 피드백 및 추후 성공에 따른 보상을 한번에 관리할 수 있는 어플리케이션 서비스로 구현될 수 있다.

실제 전력 수요 관리 서버와 연동된 서비스 전체의 관점에서 보면, 전력 수요 관리 서버는 전력 사용 절감에 대한 요청 신호를 전력 공급 업체 서버(예를 들어, 한국 전력 공사)로부터 수신한다. 수요 관리 서버는, 상기 요청 신호를 수신함에 따라 가입자 정보를 이용하여 전력 사용 절감을 요청하고자 하는 가입자를 선정한다.

수요 관리 서버는, 전력 사용량, 전력 사용 예측량, 보상에 따른 절감의 확률 분포 등을 고려한 소정의 기준에 따라, 전력 사용 절감을 요청하고자



[그림 11] 가정용 수요반응 서비스 예시

하는 적어도 하나 이상의 가입자를 선정한다. 이때 전력 사용 절감 요청을 최소한의 비용으로 이행할 수 있을 것으로 예측되는 가입자 혹은 전력 사용 절감 요청에 대한 응답이 높을 것으로 예측되는 가입자를 선정할 수 있다.

서버는, 선정된 가입자의 통신 기기로 전력 사용 절감에 대한 안내 정보를 송신한다. 스마트미터의 실시간 부하 측정에 기반하여 해당 가입자의 안내 정보에 상응하도록 상기 선정된 가입자의 부하 기기에서 실제 전력 사용량이 감소하였는지 여부 및 절감 전력량을 확인할 수 있다. 안내 정보에 상응하도록 전력 사용량이 감소하였다고 판단되는 경우, 전력 사용량 절감에 상응하는 보상을 부여할 수 있다.

기존의 실험을 참고하면 이러한 전력 절감에 대한 안내 정보는 명확한 메시지와 같이 전달될 때 그 효과가 가장 극대화된다. 여기서 명확한 메시지란 ‘어느 기기를 어떻게 운영해주세요’와 같은 가전 기기 단위에서의 메시지를 의미한다. 물론 모든 가전기기에 스마트플러그 등의 모니터링 장치를 장착할 수도 있으나 다음 절에서 소개하는 기기별 소비량 분석 서비스를 통해서 전체 가정

의 전력 모니터링만을 가지고도 명확한 메시지의 전달이 가능하다. 따름의 절에서는 기기별 소비량 분석에 대해서 더욱 상세하게 기술하도록 한다.

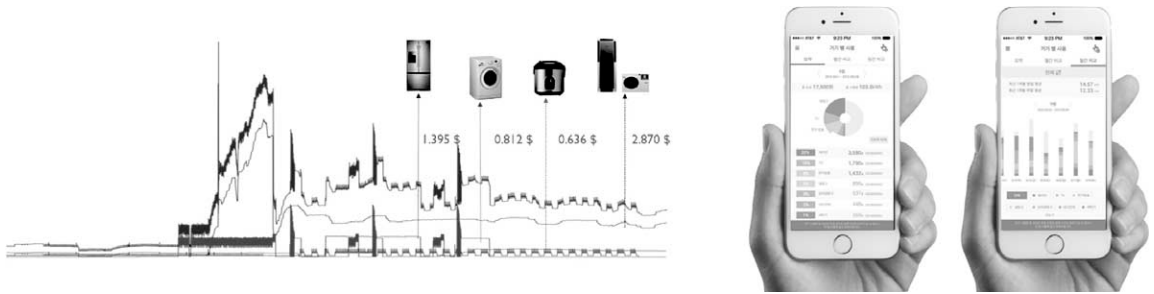
B. 기기별 소비량 분석 서비스

전통적으로 우리가 사용하는 15분 단위 전력 계측량은 15분 간의 전력 사용량의 평균값을 의미한다. 이러한 15분 사이의 정보를 오직 하나의 값으로 표현하는 경우에 실제 수요예측, 가전기기 노후, 고장진단 등 에너지 빅데이터 분석에 필요한 많은 정보를 잃게 된다. 그림 12는 단위 시간에 따른 동일 부하에 대한 계측된 정보를 의미한다. 그림과 같이 초단위 데이터에서 나타나는 수많은 정보들이 15분, 1시간 단위로 가면서 모두 사라지는 것을 확인할 수 있다.

가전기기의 전기 소비 시그니처를 기반으로 한 데이터 분석은 각 가전기기의 논리적 부품 단위 까지로의 분리를 가능하게 한다. 예를 들어 냉장고가 사용하는 전력은 크게 컴프레서, 성에제거기, 전등으로 분리된다. 각각은 개별의 전력 공급 장치를 가지고 있고 서로 상이한 전력 소비 시그니처를 보여준다. 이렇게 부품 단위로 분석된 데



[그림 12] 시간 단위별 부하의 변동 그래프



[그림 13] 기기 분리 기술에 기반한 서비스

이더는 소비 전력의 변화 추적과 결합하여 부품별 이상 징후 혹은 고장 진단의 기초 자료로 사용된다.

이렇게 분리된 가전 기기 정보는 그림 13과 같은 형태로 서비스가 가능하다. 이러한 가전기기별 사용량 정보는 지금까지 우리가 계량기에만 의존하여 각종 가전기기 등의 총합만에 기반한 서비스에서 벗어나 새로운 혁신을 가져올 수 있으리라 예상된다.

V. 결론

본 글에서, 우리는 스마트그리드의 가장 중요한

요소 중의 하나인 실시간 부하 모니터링에 대해 살펴보았다. 우리는 수천만개의 모니터링 기기에서 들어오는 방대한 양의 데이터를 확장 가능하고 효율적인 비용으로 관리할 수 있는 오픈 소스 기반의 클라우드 플랫폼을 제안하였다. 제안된 플랫폼 위에서 빌딩과 가정을 위한 새로운 전력 서비스를 제안하였고, 각각의 서비스를 구현하기 위한 기술적인 사항들에 대해서 자세히 살펴보았다. 본 글에서 제안된 방법이 스마트그리드 상의 다양하고 혁신적인 신규 서비스의 구현과 창발의 초석이 될 수 있길 바란다. 