

# 건물에너지 데이터 수집을 위한 영상 기반 환경 정보 측정 시스템 기술

강정훈, 채철승, 김형구, 권대길, 최효섭, 이건희, 박은애  
Keti (전자부품연구원)

e-mail : budge@keti.re.kr, kwontg@keti.re.kr, hschoi@keti.re.kr, kheelee@keti.re.kr,  
uaepark@keti.re.kr, ccs7006@keti.re.kr, goo4168@keti.re.kr

## Image based Environmental information measuring system technology for building energy data collection

JeongHoon Kang, DaeGil Gwon, HyoSeob Choi, KeonHee Lee, Eun Ae Park, Chulseoung Chae,  
HyeongGoo Kim  
Keti (Korea Electronics Technology Institute)

### 요약

기계 학습 기술을 이용하여 자동화된 데이터 수집 시스템을 적용하면, 기존 아날로그 측정기의 수치를 자동으로 인식 및 저장할 수 있으며, 재실 여부 등의 건물에서 발생하는 에너지 관련 현상을 데이터베이스로 구축하고, 이 데이터를 기반으로 효과적인 건물의 에너지 운전 방안을 제시할 수 있다. 본 내용은 기계 학습을 이용한 소프트웨어 기술이 건물 에너지 모니터링 시스템에 적용되는 장점에 대해 소개하고 적용에 따른 예상 효과를 기술한다.

### 1. 서론

에너지 관리를 위한 에너지 환경 데이터 수집 방법은 스마트 그리드 기술이 보급되면서, 전력량계 및 다양한 계측기에 무선 네트워크 기능을 추가하여 자동으로 측정데이터를 수집하는 IoT 기술 중심으로 적용되어 왔다. 이런 IoT 시스템 기술은 개발 초기에는 설치가 빠르게 확산될 수 있을 것이라 예상했으나 느린 속도로 시장이 형성되고 있어서, 오히려 스마트 미터의 경우 정부 주도로 강제적 보급정책을 추진하고 있는 상황이다.[1] 신축 건물을 건축할 때는 비교적 쉽게 IoT 또는 스마트 미터 설치가 가능하지만, 기축 건물에 있는 기존 설치된 미터는 직접 설치를 해제하여 철거하고, 새로운 IoT 또는 스마트 미터로 대체하는 작업은 여러 행정적인 문제를 해결해야 추진이 가능하다. 이런 이유로, 입주자들은 설치공사에 따르는 단전, 정전을 대부분 거부하여 데이터 수집 기술을 현장에 적용하기에 많은 어려움이 존재한다.

제안하는 IoT 건물 에너지 정보 수집 시스템은, 새로운 IoT 또는 스마트 미터로 대체할 필요 없이 간편히 카메라 IoT 기기만 설치하면 된다. 근래 저가의 카메라 IoT 기기들이 공개되고 있으며, 오픈소스 하드웨어를 활용하여 카메라와 네트워크, 데이터 처리를 낮은 비용으로 구현할 수 있다. 또한 기존 유선 측정 시스템에 비해 설치와 유지관리 업무를 최소화 할 수 있으며, 비전 IoT 와 서버 구간의 무선 메쉬 네트워크 소프트웨어를 적용하여, 설치 공사 없이 넓은 공간에 대규모 네트워크를 신속하게 설치할 수 있는

장점이 있다. 시스템 구성은 카메라, 이미지 저장, 이미지 전처리, 전송 네트워크 모듈로 구성된다. 입력 이미지에서 숫자와 문자를 인식하여 문자로 변화하는 시각 지능 기술은 클라우드 인공지능 API를 이용한다.

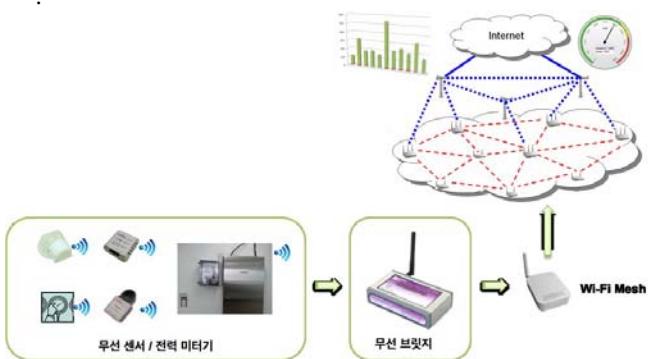
기계 학습을 적용한 IoT 건물 에너지 모니터링 시스템의 주요 기능은 현장에 설치하는 IoT 네트워크 카메라와 클라우드 인공지능 기능을 통합하여, 현장에서 촬영하고 전송한 이미지를 클라우드에서 자동인식하여 미터 계측 수치를 디지털로 변환하고 데이터베이스에 저장하고 수집하는 것이다. 또 비전 IoT 카메라 모듈은 주기적인 시간 간격으로 계측 숫자 디스플레이를 촬영하여 이미지 데이터를 수집하는데, 이는 전처리를 수행하여 다음 단계에서 문자 인식 및 학습 성능을 높일 수 있도록 입력 데이터 품질을 향상 시킨다.

### 2. IoT 기반 건물 에너지 데이터 수집 시스템

건물 에너지 모니터링 시스템은 무선 메쉬네트워크 기반의 IoT 센서를 이용하여 데이터를 수집하여 에너지 상황 빅데이터 저장 시스템을 구축하고, 이를 기반으로 상위 고속 시계열 데이터 접근, 연동 기술을 연계하여 다양한 분석 기능을 제공한다. 상위 분석 부분에서는 유사 데이터의 분류, 분석을 담당하는 데이터마이닝 기술과 그 결과를 이용한 에너지 리포팅 부분으로 구성한다. 이런 에너지 빅데이터 규모를 관리자 또는 전문가들이 수동으로 분석, 정리하는 것은 한계가 있다. 따라서 복잡한 데이터 처리의 어려움을

해결하고, 에너지 빅데이터 분석을 자동으로 실행하는 서비스로 구현되어야 한다.

무선 메쉬 IoT 기술은 에너지 측정 센서로 전력량계, 온도, 습도, 최대수요 기기, 냉난방 공조기 설비 등의 감지 정보를 수집할 수 있도록 구성되며, 와이파이 메쉬와 무선센서 네트워크 기술을 기반으로 구성한다. 기존의 유선 측정 시스템에 비해 설치와 유지관리 업무를 최소화할 수 있는 기능이 특징이다. 센서와 서버 구간은 저전력 무선 센서네트워크와 와이파이 메쉬 네트워크의 두 가지 네트워크 기술이 통합 적용되며, 메쉬 네트워크 구성 기능을 이용하여 다양한 이기종 센서 정보를 통합할 수 있다. IoT 센서들은 메쉬 네트워크 기능을 이용하여 데이터를 공유, 통합, 제공한다.



<그림 1> IoT 기반 건물 에너지 모니터링 시스템

IoT에서 수집된 에너지 측정 정보를 저장하는 시스템은 분산 빅데이터 소프트웨어를 적용하여 빅데이터 처리가 가능하도록 구현한다. IoT 시스템의 데이터 저장 기능은 하둡 시스템 기반으로 구현하여, 하둡 파일시스템에 데이터를 저장한다[2]. 또한 분산 데이터 관리를 위한 주키퍼(Zookeeper) 소프트웨어를 이용하여 빠른 액세스 속도를 제공한다[3]. 대용량 빌딩 IoT 데이터의 읽기, 쓰기 기능과 고속 검색을 지원한다. 해당 데이터 처리 시스템은 1,000 개 이상의 클러스터 노드를 지원하며 데이터 분산 컬럼 기반(distributed column oriented) 노에스큐엘(NoSQL) 데이터베이스 기능을 제공한다.

다양한 센서 데이터를 수집하기 위해서는 무선 메쉬 네트워크 적용이 효율적으로 사용될 수 있다. 메쉬 네트워크는 각각의 네트워크 노드가 네트워크에 대해 데이터를 전달하는 기능을 제공하여 전송을 협업하는 네트워크 기술이다. 각 메쉬 네트워크 노드는 자신이 데이터를 전송해야 할 데이터를 경로가 결정된 주변 메쉬 네트워크 노드에게 전송하고, 다른 단계 노드는 자신의 경로 설정에 따라 주변 메쉬 네트워크 노드에게 데이터를 전송한다. 이런 단계를 반복하여 최종적으로 목적지 서버로 데이터를 전송하는 방식이다.

무선메쉬 기술은 에너지 측정 센서로 전력량계, 온도, 습도, 최대수요 기기, 냉난방 공조기 설비 등의 정보를 수집할 수 있도록 구성된다. 센서와 서버 구간은 저전력 무선 센서네트워크와 와이파이 메쉬 네

트워크의 두 가지 네트워크 기술을 통합 적용하며, 메쉬 네트워크 구성 기능을 이용하여 다양한 이기종 센서 정보를 통합할 수 있다[4]. 추가로 세밀한 에너지 측정 정보가 필요한 경우는 아래 그림처럼 IoT 측정 센서를 건물 설비에 간편하게 설치하고 메쉬 네트워크를 통해 데이터를 수집할 수 있다.

### 3. 영상 기계학습 기반의 건물 에너지 데이터 수집

현장에 설치된 비전 IoT 카메라는 계측장비 앞에 설치되어 주기적으로 계측기의 디스플레이 부분을 촬영한다. 촬영 이미지는 비전 IoT로컬머신에 원본이 저장되고, 해당 이미지를 전처리하여 계측 수치부분을 인공지능 클라우드 서버로 전송한다. 인공지능 서버에서는 시각지능을 이용하여 이미지에서 문자와 숫자를 추출하여 비전 IoT 기기에 회신하고, 회신된 데이터는 에너지 관리 서버의 데이터베이스에 저장한다.



<그림 2> 오픈소스 하드웨어 기반 카메라 모듈 시스템

인공지능 문자 인식 성능을 높이기 위해서는 입력 데이터의 학습과 모델생성이 효율적으로 실행 되도록 데이터 전처리가 중요하다. 측정 데이터를 자동으로 인식하고 지능적인 처리를 제공하기 위해서는, 전송된 전력량계 사진에서 전력량이 표기된 부분을 추출하고, 추출된 부분을 인식률을 높일 수 있도록 전처리한 뒤 인공지능 기법을 이용하여 숫자를 인식한다. 이때 숫자를 인식하는 방법에 구글에서 제공한 구글 비전 API(Google Vision API)를 클라우드 서비스로 연계하여 인식하였다[5]. 그러나 다양한 전력량계에 적용한 경우, 전력량계 제작 연도에 따른 글씨체 변화로 인해 숫자를 인식할 수 없는 경우도 발생하였다. 문제를 해결하기 위해 다양한 종류의 전력량계 숫자도 읽을 수 있도록 글씨체를 학습하는 DNN(Deep Neural Network), k-NN(k-Nearest Neighbors) 모델을 구글 비전 API와 통합하여 성능을 높일 수 있으며, 학습된 모델의 정확도를 높이기 위해서는 많은 데이터가 필요하므로 자동으로 저장된 이미지 데이터를 학습하고, 학습한 모델을 저장하여 사용하는 방법을 적용할 수 있다[6].

전체적인 데이터 처리는 3 가지 부분으로 나누어진다. 1. 전력량계 사진에서 전력량이 표기된 부분을 추출한다. 2. 추출된 이미지를 컴퓨터가 학습 및 인식 성능을 높이기 위해 전처리를 수행한다. 3. 전처리 이미지를 학습한 뒤 모델을 저장한다.

전체 사진에서 전력량이 표기된 부분만 추출하는

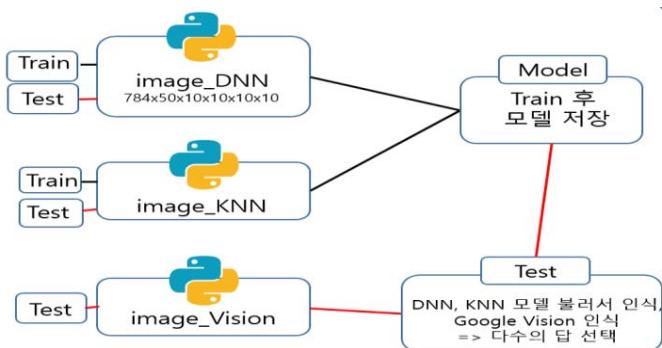
방식으로는 두 가지 방식이 있다. 카메라를 전력량계 주변에 고정할 수 있다면, 항상 같은 구도의 사진이 촬영되기 때문에 전력량이 표기된 부분의 좌표도 일정할 것이다. 이를 이용하여 고정된 좌표로 이미지를 잘라 추출하는 방법이 있다. 다른 방법은 이미지를 가공하여 윤곽선을 보여주고 윤곽선의 높이와 넓이 비율이 전력량이 표기된 부분과 유사한 여러 개의 윤곽선을 검색한다. 검색된 윤곽선을 넓이와 위치 순서로 정렬한 뒤, 전력량 표기 부분의 특징에 맞는 윤곽선을 선택하여 아래 그림과 같이 추출할 수 있다.



<그림 3> 윤곽선, 명도 전처리 및 인식 성능 차이

이렇게 추출된 이미지의 학습 및 인식률을 높이기 위해 전처리하는 과정도 두 가지로 진행한다. 숫자를 인식하는 방법이 구글 비전 API를 이용한 OCR(Optical Character Reader) 방식과, 픽셀 데이터를 직접 뉴런 기계학습에 입력하는 방식 두 가지 단계로 숫자를 인식하기 때문이다.

구글 비전 API로 인식할 때, 인식 성능을 높이기 위해서는 가장 밝은 밝기인 255에서부터 150까지 자동으로 밝기 조정을 하면서 인식 결과가 4 자리의 숫자로 출력되는 경우에 밝기 조정을 멈춘다. 픽셀 기반 기계학습 방법에선 픽셀을 0과 255로 이진화하여 전처리할 때, 임계값을 고정된 값으로 설정하지 않고 전체 픽셀 중 상위 범위의 픽셀을 기준으로 가장 인식이 잘되는 임계값 범위를 자동으로 연산하여 기준을 결정할 수 있다.



<그림 4> 계측기 숫자 인식 소프트웨어 동작 흐름

영상 전처리는 DNN과 k-NN 모델로 처리하는데, DNN의 경우  $28 \times 28$  사이즈의 이미지가 784 픽셀의 뉴런으로 입력되면, 0~9 사이 하나의 값으로 출력된다. 전력량의 경우 4 자리 숫자이므로 하나의 전력량을 읽기 위해서 4 번 입력을 수행해야 한다. k-NN의 경우 손 글씨 데이터 5,000장을 학습시킨 모델에 k

를 5로 설정하였다. IoT 모듈에 촬영된 새로운 전력량 이미지가 전송되면, 구글 비전 API와 저장된 DNN, k-NN 모델을 이용하여 각각의 방법으로 전력량 수치를 인식 결과를 이용하여, 네 자리 숫자 중 각 자리 수마다 모델들의 답이 가장 많이 겹치는 다수의 답을 최종 결과로 도출한다. 만약 3 가지 방법이 각기 다른 답을 제시한다면, 구글 비전 API의 회신 수치를 우선 선택한다. 구해진 결과는 이미지파일 저장 시간과 함께 OpenTSDB로 자동 저장 한다[7].

수행한 실험의 정확도는 96%였고, 이보다 높은 정확도를 얻기 위해선, 대량의 데이터와 숫자의 특징을 구별할 수 있는 전처리 과정이 필요하다. 성능 개선을 위해서는 어느 정도의 데이터가 수집 되었을 때, 모델을 학습하여 갱신하는 것이 적절할지 확인하고, 자동으로 학습 내용에 대한 기준을 업데이트하는 소프트웨어 개발이 필요하다.

영상 기계학습 소프트웨어 기술을 이용하면, 카메라 기반 비전 인식 기술은 건물의 재실자 수, 재실밀도를 인식할 수 있고 이는 에너지 절감을 위한 주요 정보로 활용될 수 있으며, 재실 밀도가 높은 경우, 재실자가 없는 경우로 구별하여 에너지 소비의 절감 판단 기준을 명확하게 도출할 수 있다. 재실 여부를 판단하기 위해서는 해당 공간에 재실자가 없는 상황을 먼저 학습하여, 정확하게 공간에 재실자가 없음을 판단할 수 있도록 하여 건물 에너지 낭비를 줄일 수 있다.

사람을 감지할 수 있는 인식모델을 학습하여 공간에 사람이 몇 명 존재하는지를 자동으로 수집할 수 있으며, 해당 인식 시스템은 IoT 카메라 시스템에 내장되어 카메라가 촬영하는 공간에서 재실자수와 공간에 존재하는 다른 종류의 IoT 수집 정보들을 통합하여 데이터베이스를 구축한다. 아래 테스트 그림은 IoT 카메라를 이용하여 재실자를 인식하고 실시간으로 트래킹하는 테스트한 결과이다. 기본 기능으로 재실 여부를 판단할 수 있으며 몇 명의 재실자가 있는지 카운트하는 기능이 추가될 수 있다.

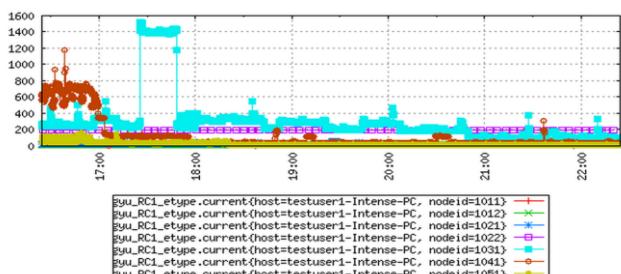


<그림 5> 건물 구역별 재실자 인식 기술

지속적으로 건물에서 다양한 IoT 측정정보와 재실자 정보를 수집하면, 초기 감지, 재실자 수 카운트하는 단계의 정보 수집, 저장하는 시스템에서 재실밀도를 추정하고 건물 내부의 재실 밀도가 증가할지, 감소할지 예측할 수 있는 지능적인 예측을 제공하는 시스템으로 발전할 수 있다. 이런 예측 기술은 수집 데이터 규모가 빅데이터 수준으로 매우 증가해야 하며, 다양한 조건에 대한 정보를 포함하고 있어야 한다.

#### 4. IoT 빅데이터 기반 건물 에너지 고속검색 기술

IoT 카메라 시스템에서 계측기의 숫자를 인식하거나, 재실자 수를 세어서 회신하면, 해당 데이터는 에너지 측정 정보를 분산 빅데이터 소프트웨어에 저장한다. 데이터 저장에 사용되는 빅데이터 데이터베이스는 지속적인 데이터의 수집, 추가 확장이 가능하고 고속 데이터 처리 기능이 필요하다. 고속 기능은 효율적인 에너지 서비스를 위해서는 다양한 데이터를 연계, 비교하여 에너지 소비 특징을 추출해야 하기 때문이다. 고속 시스템을 구현하고 고속 접근 속도를 높이기 위해 시계열 데이터 처리 기능을 제공하는 시계열 데이터베이스(Time-series Database)를 사용 한다. IoT를 통해 수신되는 전력 미터기 6 개의 실시간 데이터 그래프를 표출하였다. 7 시간동안의 데이터는 총 151,200 개 데이터 포인트로 데이터 접근 시간이 1초 이내에 완료되었다. 기존의 관계형 데이터베이스를 사용할 때 보다 20 배~50 배까지 접근 속도가 빠르다. 이런 원본 데이터를 수집, 저장하고 처리하기 위한 기능 뿐 아니라, 이후 처리 단계인 전처리 과정에서는 데이터 요약, 압축에 사용되는 데이터를 데이터베이스로부터 접근하여 처리하고 포맷을 변환하여 다음 단계 데이터로 준비한다. 또한 수집한 에너지 데이터 정보들의 시간 동기를 맞추고, 수집되지 않은 데이터를 보관하여 데이터 충실도를 높이는데, 고속 빅데이터 소프트웨어 기술이 활용된다[8].



<그림 6> 건물 에너지 데이터 고속처리 데이터베이스

다양한 정보를 통합 전처리하면 새로운 레벨의 데이터로 구성할 수 있으며, 일정 기준을 넘어서는 건물의 상황을 조건별로 검색할 수 있다. 해당 데이터 검색과 통계는 기존 일반적인 건물 에너지 환경 센서 측정값뿐만 아니라 영상 기반 재실자 확인, 아날로그 계측기의 문자 인식 데이터가 통합되어 상위 수준의 에너지 소비 형태를 분석할 수 있으며, 건물 에너지의 전반적인 소비 트렌트를 이해하는데 활용된다.

IoT 영상 기계학습 기반 계측 숫자 인식과 재실자 인식은 에너지 소비 데이터 수집과 통계 작업에 많은 편의성을 제공하기 때문에, 신규 건물, 공장보다는 기축 건축물에 활용에 많은 장점을 갖고 있다. 또한, 에너지 분석 진행 방법으로는 단기간 데이터를 수집하여 신속하게 건물의 소비 패턴을 확인, 분석하는 시스템에 활용할 수 있으며, 건축 정보 기반의 에너지 자동제어 결과에 대한 적합성 확인을 위한 현장정보 수집방법으로 활용될 수 있다.

#### 5. 결론 및 향후 방향

영상 기계학습 기반 IoT 모니터링 시스템은 기존 건물 IoT 시스템을 기반으로 하면서, 추가적인 영상 인식 정보를 설치공사 없이 제공할 수 있다. 기존 센서 시스템과 비교하여 측정 정확도가 매우 높으며, 측정, 수집 시스템 설치 시간을 줄일 수 있어서 단기간에 세밀한 에너지 소비 정보를 분석할 수 있기 때문에 건물과 공장 등의 에너지 소비 형태를 분석하고 절감 방법을 찾아낼 수 있는 진단 시스템으로 활용이 가능하다.

현재 에너지 절감 기술은 진단과 데이터 수집 서비스의 구축에 6개월 이상의 많은 시간을 사용하고, 설치 작업도 여러 가지 불편한 절차를 거쳐야하기 때문에, 사용자 입장에서는 시간과 비용 면에서 확실한 편익을 찾기 어려운 상황이다. 비전 IoT 시스템을 이용하여 빠른 설치로 절감 분석을 제공하고 신속한 시간 안에 에너지 절감 비용과 투자비용 회수에 대한 연산 수치를 제시하며, 이후 장기적으로 건물 자동제어에서 발생하는 이익을 정확하게 계산하여, 에너지 관리 시스템의 상품성과 경제성을 높일 수 있는 주요 기술로 활용될 것으로 기대된다.

#### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 산업통상자부 및 한국 산업기술평가관리원 산업 핵심 기술 개발 사업의 일환으로 수행하였음.  
(20182010600410 건물에너지 효율 향상을 위한 IoT 기기간 연동 지능형 공조제어시스템)

#### 참고문헌

- [1] 박훤일, 우리나라 스마트그리드 사업의 활성화를 위한 조건, 경희법학 48권 2호, 2013
- [2] Hadoop <http://hadoop.apache.org>
- [3] HBase <http://hbase.apache.org>
- [4] Deokwoo Jung, Andreas Savvides, “Estimating building consumption breakdowns using on/off state sensing and incremental sub-meter deployment”, ACM, SenSys2010
- [5] Google Cloud Vision API Library, <https://cloud.google.com/vision/docs>
- [6] k-NN, <https://opencv-python.readthedocs.io/en/latest/doc/29.matchDigits>
- [7] OpenTSDB open source project, <http://opentsdb.net>
- [8] Deokwoo Jung, Varun Badrinath Krishna, William G. Temple, David K. Y. Yau, “Data-Driven Evaluation of Building Demand Response Capacity”, IEEE SmartGridComm 2014