

## 강화학습을 기반으로 하는 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상에 대한 연구

김영곤\* · 허걸\* · 유가은\* · 임현서\* · 최종인\* · 구기동\*\* · 엄재식\*\* · 전영신\*\*

\*서울대학교 차세대융합기술연구원, \*\*한국지역난방공사 미래개발원

(2018년 5월 16일 접수, 2018년 5월 30일 수정, 2018년 6월 4일 채택)

### A Study on the Improvement of Heat Energy Efficiency for Utilities of Heat Consumer Plants based on Reinforcement Learning

Young-Gon Kim\* · Keol Heo\* · Ga-Eun You\* · Hyun-Seo Lim\* · Jung-In Choi\*

Ki-Dong Ku\*\* · Jae-Sik Eom\*\* · Young-Shin Jeon\*\*

\*Advanced Institutes of Convergence Technology(AICT) Seoul National University,

\*\*Korea District Heating Corp.

(Received 16 May 2018 Revised 30 May 2018, Accepted 4 June 2018)

#### 요 약

이 논문은 강화학습[1]기반으로 지역난방 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상을 시도하는 연구를 소개하며, 한 예시로서 모델을 특정하지 않는 강화학습 알고리즘인 딥큐러닝(deep Q learning)[2]을 활용하는 학습 네트워크(DQN)[3]를 구성하는 일반적인 방법을 제시한다. 또한 복수의 열에너지 기계실에 설치된 IoT 센서로부터 유입되는 방대한양의 데이터 처리에 있어 에너지 분야에 특화된 빅데이터 플랫폼[4] 시스템과 열수요 통합관리시스템에 대하여 소개 한다.

**주요어** : 빅데이터, 빅데이터 시스템, 에너지, 지역난방, 강화학습

**Abstract** - This paper introduces a study to improve the thermal efficiency of the district heating user control facility based on reinforcement learning. As an example, it is proposed a general method of constructing a deep Q learning network(DQN) using deep Q learning, which is a reinforcement learning algorithm that does not specify a model. In addition, it is also introduced the big data platform system and the integrated heat management system which are specialized in energy field applied in processing huge amount of data processing from IoT sensor installed in many thermal energy control facilities.

**Key words** : big data, big data system, energy, district heating, reinforcement learning

## 1. 서 론

에너지 산업에서 생산성 증대는 장기간 취급되어온 공통적인 문제로서, 이를 해결하기 위해 에너지 효율 개선, 생산 및 유지비용 감소에 대한 연구가 지속되고

있다. 이와 더불어 최근의 디지털화되어 수집 및 활용될 수 있는 빅데이터 규모와 종류가 반도체 기술의 비약적인 발전에 따른 컴퓨팅 기술의 고도화로 더욱 증가되고 있다. 이에 따라, Audio, Image, Video 등 기존에 접근과 활용이 용이했던 멀티미디어 빅데이터에 대한 것뿐만 아니라 에너지, 의료, 바이오 분야 등에서 빅데이터에 대한 수집, 저장, 처리 및 분석이 활발히 이루어지고 있다. 한국지역난방공사가 난방수를 공

<sup>†</sup>To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-31-888-9512 E-mail: hyper1003@snu.ac.kr

급하는 수천 개의 열사용자 기계실에서 발생하는 난방 관련 열에너지에 대한 빅데이터도 물론 예외가 아니며 지역난방의 경우, 열사용자 기계실에 있는 설비의 열효율을 향상시키는 문제가 동일한 맥락에서 중요한 연구목표가 되고 있다.

본 논문에서는 먼저 건물 단지 지역난방내의 개별 세대, 기계실 그리고 열생산 시설과 주변 환경으로부터 실시간으로 수집되는 빅데이터를 저장, 관리, 목적에 부합한 처리, 분석이 가능하도록 최적구축된 오픈소스 프레임워크인 하둡[5]을 활용한 빅데이터 플랫폼 기반의 빅데이터 시스템을 소개한다. 이 시스템을 이용하면 에너지 빅데이터의 한 분류가 되는 열에너지 빅데이터에 대한 특성을 반영 하는 것이 신속하고 안정적으로 수행되게 된다. 또한 열사용자 기계실 형태인 실증 현장에서 수집되는 빅데이터를 활용하는 방법에 대하여 알아보고, 빅데이터 플랫폼 상에서 통계적으로 분석되어 각 기계실의 설비 상태가 효과적으로 모니터링 되도록 하며, 운전변수를 상황에 맞추어 변경함으로써 열효율이 증대되도록 설비를 제어할 수 있고, 설비의 고장 진단, 이상예측 등을 수행하는 직관적인 화면구성과 쉬운 사용자인터페이스(UI)로 구현된 웹서비스 기반의 열수요 통합관리시스템에 관하여 소개한다. 마지막으로 강화학습을 기반으로 하여 지역난방 열사용자 기계실 설비의 열효율<sup>1)</sup> 향상을 시도하는 연구의 한 예시로서 모델을 특정하지 않는 강화학습 알고리즘인 딥큐러닝(deep Q learning)을 활용한 학습 네트워크(DQN)를 열사용자 설비에 적용한 구성 방법을 제시한다.

## 2. 동기 및 배경

지역난방 열사용자에 대한 서비스 질 개선과 사용자 및 사업자의 에너지 효율개선은 국가적 차원에서의 에너지 절감에 기여할 수 있는 중요한 연구목표이다. 지역난방시스템은 타 난방방식과 비교하여 에너지절감 및 환경개선에 기여하는 바가 크고, 이를 위하여 국내 지역난방사업자는 지역난방 열 생산설비 및 열 수송설비 분야에 그간 많은 연구개발 및 개선을 통하여 설비의 효율적인 운영은 선진국 수준에 도달해 있다고 판

단되는 반면, 지역난방 열사용자 분야는 설비 운영관리 주체가 비전문가인 사용자 관리사무소에서 관리함으로써, 비효율적 설비관리 및 운영으로 지역난방 시스템의 전체 효율이 저감되고 있는 것으로 파악되고 있다. 좀 더 상세히 설명하면 지역난방을 이용하는 개별 단지에는 대개 많은 수의 세대가 속해있으며, 단지의 중앙 기계실은 지역의 열 생산시설로부터 수송관을 통해 난방열을 1차로 공급받은 후, 내부 배관 등 설비를 통해 각 세대로 2차 공급한다. 이 과정에서 난방이용 주체인 개별 세대의 열수요(heat demand)와 외기 환경 등 여러 변수가 고려 될 때, 열손실이 감소하고 열전달이 효율적으로 진행될 수 있다. 그러나 기존의 기계실 설비가 대다수의 개별 단지의 비전문 인력에 의해 임의적으로 수동 제어됨으로써, 열효율 저하와 이에 따른 에너지 및 비용 낭비 등의 문제가 만성적으로 발생해오고 있다.

이러한 난제 중에서 열에너지 효율을 극대화하는 방안 중 하나로 한국지역난방공사가 공급중인 130만 지역난방 사용자 및 5,800개소에 이르는 열사용자 기계실로부터 실시간으로 유입되는 막대한 량의 데이터를 가공하여 사용자시설의 에너지 이용효율 증대 및 사용자에게 유익한 정보를 제공하는 방법의 연구 결과인 에너지 빅데이터를 수용하는 빅데이터 시스템[6]과 사용자시설의 운영정보 취득과 사용자에게 제공하기 위한 유용한 정보의 가공으로 열사용자 기계실 및 세대의 열사용 현황을 모니터링하고, 사용자 기계실내 설비이상 및 고장감시, 효율진단과 개선이 가능하도록 하는 지역난방을 위한 빅데이터 플랫폼 기반의 열수요 통합관리시스템[7]을 활용하여 기계학습 방식 중 하나인 강화학습으로 열에너지 기계실 제어부에 대한 보다 적극적인 학습 적용 및 운영을 수행 하게 되면 열에너지 효율 개선에 보다 적극적으로 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

## 3. 강화학습을 기반으로 하는 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상 방안

이 장에서는 먼저 에너지 빅데이터를 수용하는 빅데이터시스템과 지역난방을 위한 열수요 통합관리시스

1) 본 연구에서 열효율 향상의 대상은 기계실의 난방 및 급탕 열교환기로서, 엑서지(exergy) 효율 계산 방법을 그 기준으로 삼는다.

템을 고찰한 후 딥큐러닝(deep Q learning)을 활용한 학습 네트워크(DQN)으로 구성하여 제시한 강화학습 기반 열효율 향상방안을 소개한다.

### 3-1. 에너지 빅데이터를 수용하는 빅데이터 시스템의 소개

에너지 빅데이터 시스템의 서버 클러스터는 Fig.1.(a)에서와 같이 10개의 노드(Node)를 활용하였으며, 2개의 매니지노드(Manage Node), 6개의 데이터노드(Data Node), 2개의 엣지노드 (Edge Node)로 구성되었다. 복수의 서버용 컴퓨터가 한 개의 동일한 시스템으로 동작하도록 가상으로 결속된 서버 클러스터에서, 노드는 각각의 단위 컴퓨터를 지칭한다. 일반적으로 분산 처리 형태의 서버 시스템[3]은 주어진 작업을 처리하기 위해 명령을 내리고 타 노드를 제어하는 마스터 노드와 받은 제어신호와 명령을 수행하여 데이터를 처리하는 슬레이브 노드로 구성된다. Fig.1.(b)에서와 같이 오픈소스 프레임워크인 하둡이 기반이 되어 설계된 빅데이터 시스템을 위한 서버 클러스터에는 마스터 기능을 수행하여 각 노드의 컴퓨팅 자원과 상태를 관리하

는 매니지노드, 슬레이브를 대체하여 데이터를 저장하고 처리하는 데이터노드 이외에 엣지노드가 포함되었다. 엣지노드는 빅데이터 시스템과 외부 네트워크 간 인터페이스 역할을 한다.

에너지 빅데이터 시스템에서는 계속적으로 방대한 규모로 수집되는 다종 데이터의 정밀한 계산과 그 결과에 기반을 두는 제어신호의 순간적 생성이 실행되어야 하므로, 빅데이터 처리에 있어 인 메모리 컴퓨팅 환경에서 실시간 고속 스트리밍을 안정된 상태로 지원하는 스파크[8]를 적용하여 맵리듀스를 대체 하였다. Fig.2.(a)에서와 같이 IoT 모듈을 활용하여 수집된 현장 데이터는 데이터 수집처리 및 실시간 분산 스트리밍 단계를 통해 빅데이터 시스템으로 유입되어 설계된 스키마에 따라 데이터베이스[9]에 적재되며, Fig.2.(b)의 데이터 처리과정을 거쳐 외부 데이터 또한 수용이 가능하다. 또한 데이터의 수집원에 관계없이 정형 및 비정형 형태의 데이터에 대한 취급이 모두 가능하다.

이 장에서는 먼저 실시간으로 수집되는 에너지 빅데이터를 수용하는 하둡 기반의 빅데이터 시스템을 살펴 보았다. 이로써 실시간성과 반복성을 띠는 에너지 빅

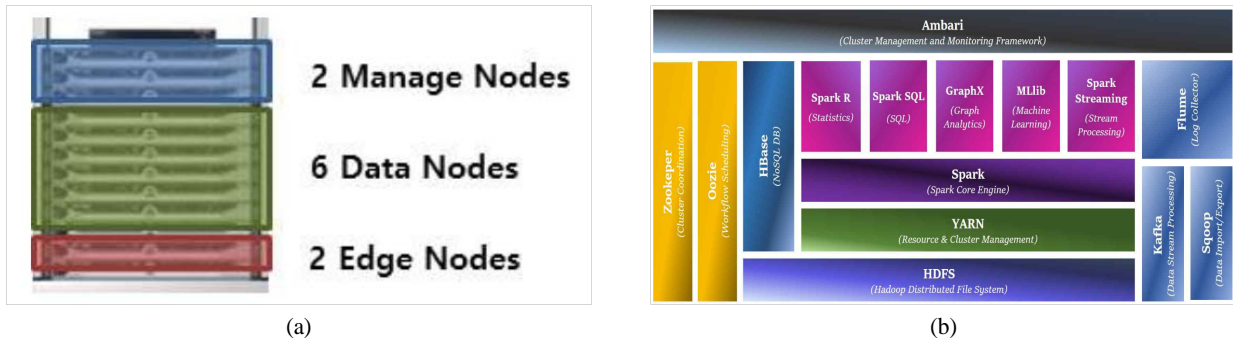


Fig. 1. (a)Big Data Server Cluster Configuration and (b)Framework Diagram

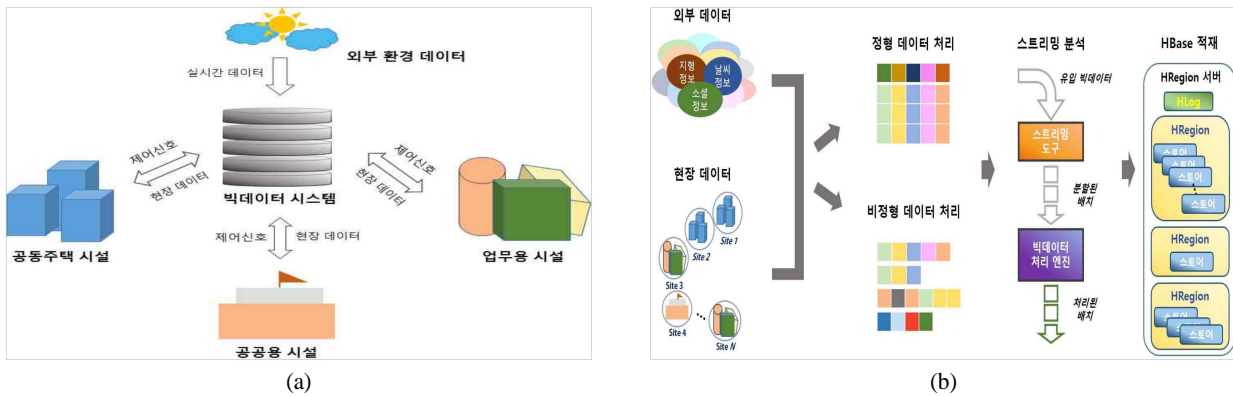


Fig. 2. (a)Data collection and (b)local data processing diagram for big data systems

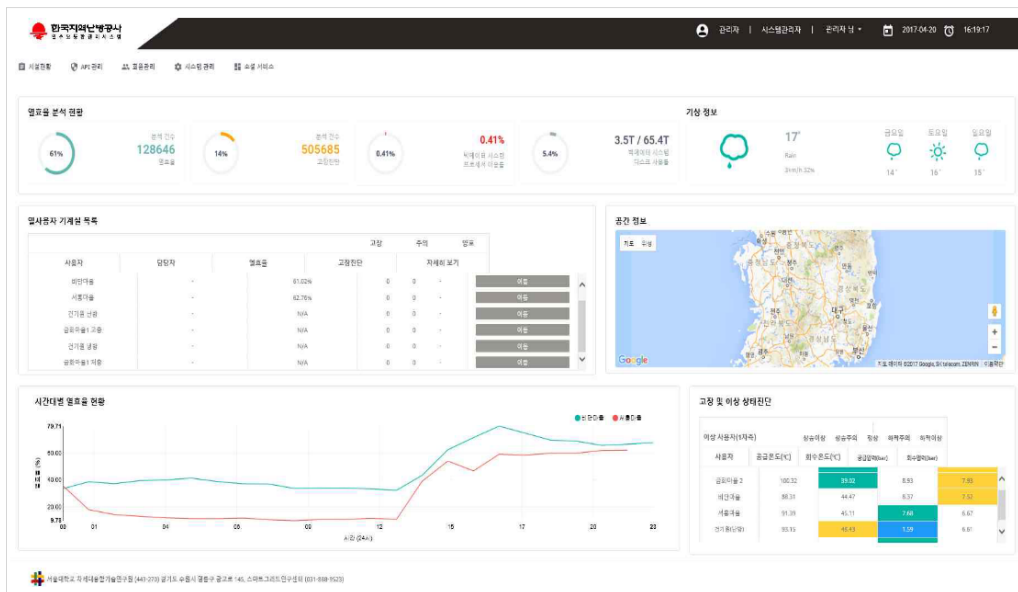
데이터의 특성에 맞춘 빅데이터 처리 및 분석이 가능해짐으로서 에너지 영역에서 방대한 현장 데이터의 확보 및 안정적인 고속 computing이 가능하게 되어 다음 장에서 설명할 열수요 통합관리시스템상의 모니터링, 설비의 고장진단. 예측, 효율운전 권고 등등의 알고리즘을 고속, 안정적으로 구현 할 수 있게 된다.

**3-2. 지역난방을 위한 열수요 통합관리시스템의 소개**

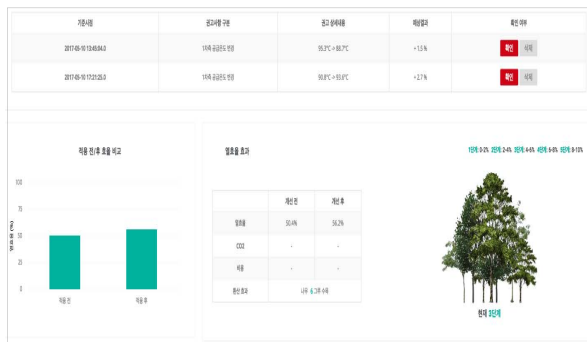
열수요 통합관리시스템은 오픈소스 프레임워크인 하둡을 활용하는 빅데이터 플랫폼을 기반으로 하여, 건물 단지의 지역난방을 위해 개별 세대, 기계실 그리고 열 생산시설과 주변 환경으로부터 실시간으로 수집되는 빅데이터를 활용한다. 이 빅데이터는 빅데이터 플랫폼[10][11] 상에서 통계적으로 분석되어 각 기계실

의 설비 상태가 효과적으로 모니터링 되도록 하고, 열효율이 증대되도록 운전변수를 상황에 맞추어 변경하여 설비를 제어할 수 있게 해준다. 이러한 기능을 Fig.3.의 웹서비스 기반의 사용자 인터페이스(UI)를 제공하는 열수요 통합관리시스템에서 설비의 고장 진단과 이상 예측 결과 등과 함께 시각화하여 직관적으로 나타내준다. Fig.3.의 우상단에서는 열효율 분석현황을 분석건수 별로 퍼센트(%)로 표시, 좌상단에는 열효율과 밀접한 상관관계를 가지는 기상정보를 표출, 좌중단에서는 통합관리시스템 사용자가 편리하게 전체 기계실의 열효율, 고장상태를 모니터링 할 수 있도록 하고 있으며 좌하단에서는 시간대별 정보를 차트로 나타내어 활용성을 향상시킨다.

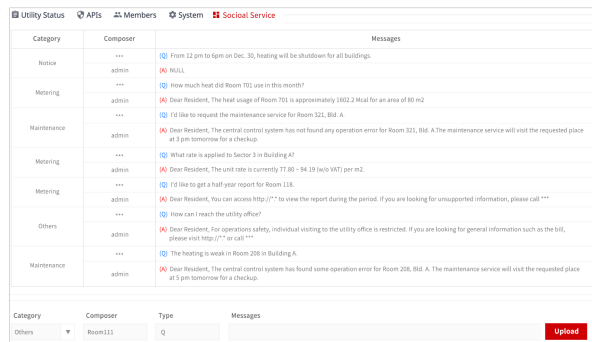
이로써 지역 열생산시설 관리자는 해당 지역의 기계



**Fig. 3.** Heat Demand Integrated Management System UI Main Page



(a)



(b)

**Fig. 4.** (a)Operation advice and Fault diagnosis and (b)Social Service Board

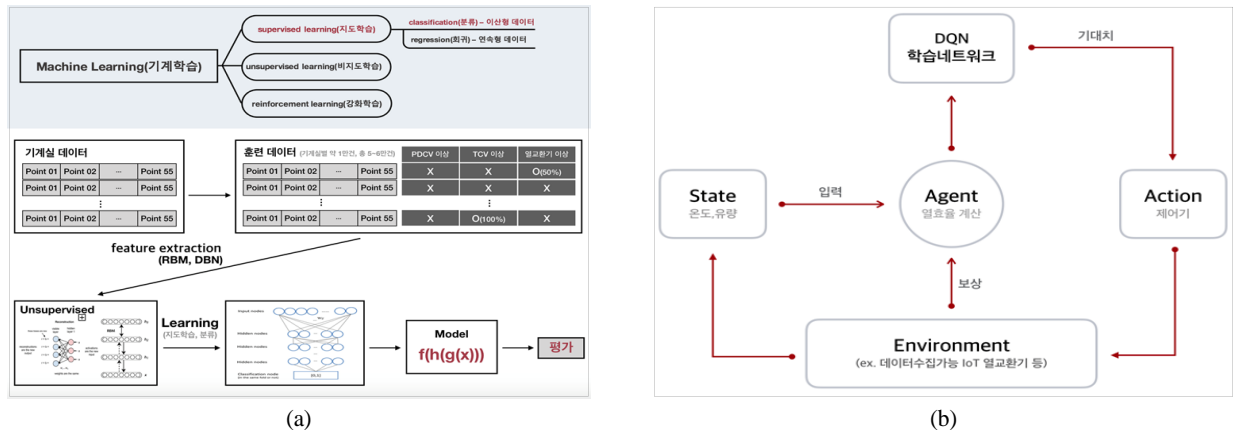


Fig. 5. (a)Machine learning processing and (b)reinforcement learning for heat energy efficiency

실 설비의 현황, 열효율 분석 결과, 고장 및 이상 여부 등을 전체적 또는 상세하게 점검해볼 수 있으며, 개별 단지의 기계실 관리자는 해당 기계실의 상황을 실시간으로 확인할 수 있다. 통계 분석 서비스를 이용하면, 각 기계실에서는 관리자가 현재의 열효율을 확인하고 빅데이터 분석을 활용하는 개선 알고리즘을 적용한 서비스인 Fig.4.(a)와 같은 운전 권고 시뮬레이션을 통해 열효율이 증대되는 운전 변경을 실행할 수 있다. 이외로 API 관리, 회원관리, 시스템 관리, 소셜서비스 기능 또한 사용자 분류에 맞추어 제공한다. API 관리는 3<sup>rd</sup> party 에너지사업자 등이 빅데이터 플랫폼 및 열수요 통합관리시스템을 활용하여 또 다른 서비스를 개발할 수 있도록 선정된 표준 API를 제공한다. Fig.4.(b)의 소셜서비스는 기계실 관리자 및 세대 사용자가 활발하게 이용할 것으로 예상되는 서비스 기능이며, 소셜 네트워크(SNS)와의 연동, 단지별 커뮤니티 서비스 및 사업자의 정보 공지 서비스 등을 포함한다.

재하는 입력을 변수로 하여 보상치가 커지는 방향으로 출력을 맞추어가는 기계학습의 한 형태이다. Fig.5.(b)에서와 같이 데이터 측정이 가능하도록 구비된 열교환기 등 일부 기계실 설비(ex. 데이터수집가능 IoT 열교환기 등)를 환경(environment)으로 전제하고, 제어(action) 신호를 생성하며 설비를 운전하는 주체로서 에이전트(agent)를 정의한다. 또한 운전 상태와 제어 신호를 각각 상황(state), 행동(action)으로 대체하고, 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상을 목적으로 하는 학습네트워크(DQN) 함수에 대한 근사화를 통하여 그 출력인 기대치를 생성한다. 이 기대치 값은 제어기(action)의 입력으로 사용되고 이에 수반하는 환경의 변화가 상황을 변화시키며, 이 상황이 새로운 입력으로의 수집 되고 환경의 변화에 따른 에이전트로의 적절한 보상을 통한 반복 수행으로 최적의 학습네트워크에 의한 Q함수<sup>2)</sup>를 생성하게 되어 최적의 효율 운전을 가능하게 하는 정책을 추론할 수 있는 예를 제시한다.

### 3-3. 딥큐러닝(deep Q learning)을 활용한 학습 네트워크(DQN)

일반적인 기계학습(machine learning)은 Fig.5.(a)와 같이 지도학습(supervised learning), 비지도학습(unsupervised learning), 강화학습(reinforcement learning)으로 구분되며, 비지도학습을 통한 특징추출 수행 후 지도학습을 수행하여 결과 값을 예측하는 모델 산출과 평가 후 반복수행하는 구조로 진행된다. 강화학습(reinforcement learning)은 일반적으로 반복적인 시행착오(trial-and-error)를 거치며, 목적 함수에 대해 순서가 존

## 4. 결론

본 논문에서는 먼저, 실증사이트에서 수집되는 방대한 양의 열에너지 관련 빅데이터의 수집 및 저장 그리고 처리에 있어 신속, 안정성을 제공하는 빅데이터 시스템과 빅데이터 플랫폼 상에서 통계적으로 분석되어 각 기계실의 설비 상태가 모니터링 되고, 열효율이 증대되도록 운전변수를 상황에 맞추어 변경하며 설비를 제어할 수 있게 해주는 웹서비스 기반의 사용자 인터페이스(UI)인 열수요 통합관리시스템을 소개하였다.

2) 기대값 예측 함수, 가우시안 확률분포 평균 0, 분산 1일 때 정규화된 꼬리 확률 적분값을 보다 쉽게 구하는 함수

그리고 비정형적인 열에너지 관련 데이터 셋으로 이루어진 엄청난 양의 빅데이터 정보를 위의 빅데이터 시스템을 활용하여, 기계학습 분야 중 딥큐러닝을 활용한 학습네트워크(DQN)로 구성된 강화학습 기반 기계학습 예를 제시하고, 이를 통해 열사용자 기계실 설비의 열효율향상을 목적으로 하는 큐(Q)함수에 대한 근사화와 실제 제어기 입력으로 사용하여 효율적인 최적운전이 가능하도록 하는 강화학습을 기반으로 하는 열사용자 기계실 설비의 열효율 향상 방안에 대하여 알아보았다.

마지막으로 덕내 온도 응답속도가 느린 난방 열에너지의 특성과 열사용자 난방기계실 설비에 대한 연구 목적 직접제어의 현실적인 어려움을 고려하여, 시뮬레이션 또는 연구실내 테스트베드 구축 등의 방안으로 학습네트워크(DQN)를 적용한 효율개선 효과에 대한 연구를 계속 진행할 계획이다.

## References

1. K. Kwon., 2018, Multi Behavior Learning of Lamp Robot based on Q-learning, Journal of Digital Contents Society 19(1), pp. 35-41
2. Ki. Kim., 2018, Natural Behavior Learning Based on Deep Reinforcement Learning for Autonomous Navigation of Mobile Robots, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, 24(3), pp. 256-262
3. Y. Kong., 2017, Dynamic Obstacle Avoidance and Optimal Path Finding Algorithm for Mobile Robot Using Q-learning, Journal of Korean Institute of Information Technology, 15(9), pp. 57-62
4. Apache Kafka, <https://kafka.apache.org/>
5. Apache Hadoop. <https://hadoop.apache.org/>
6. M. Song., 2017, Development of Big Data System for Energy Big Data, Journal of Korean Institute of Information Technology, 24(1), pp. 24-3
7. M. Song., Development of Heat Demand Management System for District Heating based on Big Data Platform, Journal of Korean Institute of Information Technology, pp. 31-33
8. Apache Spark. <https://spark.apache.org/>
9. Apache Spark SQL, <http://spark.apache.org/sql/>

10. Apache Flume, <https://flume.apache.org/>

11. Apache Sqoop, <https://sqoop.apache.org/>

## 5. 부 록

본 연구는 2015, 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20152010103160) (No. 20171210201170)