

# 지속 가능성을 위한 냉동·냉장 물류센터 관리 시스템 프레임워크

## A Framework of Cold-chain Logistics Center Management System for Sustainability

김시구<sup>1</sup>, 이화섭<sup>1</sup>, 류광열<sup>1,\*</sup>, 박영태<sup>2</sup>, 김동윤<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 산업공학과, <sup>2</sup>동의대학교 무역학과,

<sup>3</sup>동의대학교 창조무역해양경영융합연구소

<sup>1</sup>{siku.kim, lscall, [kyryu](mailto:kyryu@pu.ac.kr)}@pu.ac.kr, <sup>2</sup>gregory@deu.ac.kr, <sup>3</sup>dongyun@deu.ac.kr

### Abstract

최근 4차 산업혁명이 부상하면서 핵심 요소 기술인 인공지능(Artificial Intelligence: AI), 사물인터넷(Internet of Things: IoT), 빅데이터 등을 기반으로 한 ‘물류 4.0’시대가 도래하고 있다. 또한 글로벌 물류 경쟁 환경의 발전에 따라 물류 고도화 시스템 개발의 필요성이 증가하고 있다. 그러나 국내 냉동·냉장 물류센터는 현재 단순보관 기능만을 수행하고 있으며, 지속가능한 물류센터 운영을 위해서 이를 해결할 방안이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 냉동·냉장 물류센터의 경쟁력 제고와 효율적인 운영을 위해 Long Short-Term Memory (LSTM) 을 통해 수요를 예측하고, 인공지능 기술을 기반으로 스마트물류센터 내에서 수집된 데이터를 수집·분석하여 의미 있는 정보를 추출·활용하기 위한 데이터 분석 체계 설계를 제안한다. 또한 효율적인 물류 작업을 위한 자원 재분배(Resource Allocation) 문제를 해결하기 위한 시스템 프레임워크를 제안한다. 제안된 시스템은 냉동·냉장 물류센터의 효과적 운영을 지원하며, 지속가능한 콜드체인 네트워크 구축 및 관리시스템 구축에 활용이 될 것으로 예상된다.

**Keywords:** Cold-chain, Sustainability, AI, 물류 4.0

### 1. 서론

글로벌 물류 경쟁 환경의 발전에 따라 물류 고도화 시스템 개발의 필요성이 증가하고 있으며, 이는 기존 물류 시스템의 변화를 요구하고 있다. 그동안 건화물을 보관하는 일반창고에 대해서는 다양한 연구가 진행되어져 왔고, 다양한 업체에서 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 위치기반 기술 등 최신 시설 도입과 운영 시스템 구축을 통한 운영 효율 개선과 차별화된 고객 서비스 제공을 통해 경쟁력을 높여 왔다 [1-3]. 하지만 냉동·냉장 창고는 그 중요성 및 운영에 대한 관심이 부족한 현실이다. 특히 냉동·냉장창고는 작업환경이 열악하며 보관품의 잦은 파손, 신선도 저하, 선입선출의 어려움으로 인한 장기 저장품 발생 등 일반 상온창고에 비하여 여러 중요한 특징이 있기 때문에 차별화된 연구가 요구된다 [4]. 보다 우수한 품질의 제품에 대한 고객의 요구를 충족시키기 위해서는 콜드체인 물류 시스템을 개선할 필요가 있다. 특히 최근 코로나-19 (COVID-19)와 독감 백신의 중요성이 강조되면서 바이오 의약품의 콜드체인 또한 중요성이 대두되고 있다 [5]. 현재 국내에서 보관, 운송 및 하역을 다루는 기술이나 물류기기 개발 부재와 관련된 전문 기술 개발 투자 및 연구가 부족한 상황이다 [6]. 따라서 글로벌 물류환경의 변화에 따라 스마트물류를 가능하게 하는 물류시스템 개발이 필요하다고 판단되며 기존의 물류네트워크와 ICT, IoT 시스템을 활용한다면, 국내 물류 환경의 개선 및 혁신은 큰 시너지 효과를 낼

것으로 기대할 수 있다 [7]. 또한 국내 물류 산업 역시 새로운 성장 동력을 찾을 수 있을 것이다. 본 논문에서는 냉동·냉장 물류센터의 경쟁력 제고와 효율적인 운영을 위해 LSTM을 통해 물류 수요를 예측하고, 인공지능 기술을 기반으로 스마트물류센터 내에서 수집된 데이터를 수집·분석하여 의미 있는 정보를 추출·활용하기 위한 데이터 분석 체계 설계를 제안한다. 또한 효율적인 물류작업을 위한 자원 재분배(Resource Allocation) 문제를 해결하기 위한 시스템 프레임워크를 제안한다. 제안된 스마트 물류센터 운영기술은 항만물류를 중심으로 물류 비즈니스에 실질적으로 접목할 수 있는 융합기술의 개발과 적용을 목적으로 하며 국내 물류 산업의 국제 경쟁력을 강화시켜 동아시아의 물류 허브로서 역할을 기대할 수 있으며 이를 통하여 연관된 국가 산업의 발전을 기대할 수 있을 것이다.

## 2. 관련 연구

### 2-1. 콜드체인시스템

콜드체인(Cold-chain)은 농·축·수산물을 비롯한 식료품, 화훼류, 의약품, 가공식품 등 온도 민감성 제품의 생산, 저장, 운송, 판매, 배송, 소비에 이르기까지 유통 전 과정에 걸쳐 해당 품목마다 적정 온도관리를 하여 물품의 품질과 안전을 보장하는 저온 유통시스템을 말한다. 즉 신선물류는 신선제품의 생산에서 소비까지 제품 전주기(Product Life-Cycle)에서 적정보관 온도가 유지되어야 한다는 뜻이다. 냉동·냉장창고는 일반적으로 수산물이나 육류 제품을 신선하게 보관하기 위한 목적으로 냉동 및 냉장설비를 갖춘 창고로서 냉동창고는  $-18^{\circ}\text{C}$ , 냉장창고는  $10^{\circ}\text{C}$  이하의 저온을 유지하는 창고를 의미한다 [4]. 유지온도를 기준으로 국내의 냉장창고는 4개의 급수로 분류되는데  $-20^{\circ}\text{C}$ 이하(F급),  $-10^{\circ}\text{C}$ ~ $-20^{\circ}\text{C}$ (C3급),  $-2^{\circ}\text{C}$ ~ $-10^{\circ}\text{C}$ (C2급),  $+10^{\circ}\text{C}$ ~ $-2^{\circ}\text{C}$ (C1급)로 구분하고 있다 [8]. 신선식품의 유통 중 많은 부분을 차지하는 저장, 보관이라는

역할을 담당하기 때문에 냉동·냉장창고의 관리 및 수요에 대한 관심은 날로 커지고 있다 [9-11]. 일반적인 상품과 달리 콜드체인 물류가 적용되는 농·수·축산물 및 의약품 등은 온도와 습도에 대한 지속적인 관리가 필요한 상품특성을 갖는다 [12]. 또한 식품을 포함한 콜드체인 상품의 경우 일반 제품과는 달리 주로 유통기한이 존재하며 일정 기간이 지난 후에는 그 상품의 가치가 완전히 소멸해 버리는 문제점이 있다. 이러한 콜드체인의 특성으로 인해 냉동·냉장창고의 운영 현황 및 개선 방안에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다 [13-15]. 냉동·냉장창고는 상온창고에 비하여 온도 및 습도 유지와 같은 여러 중요한 특징이 있기 때문에 차별화된 연구가 필요하다. 특히 실시간으로 수집되는 의미 있는 데이터를 신속하게 추출하고 활용하기 위한 방안이 필요한 실정이다.

### 2-2. 스마트 물류

4차 산업혁명은 인공지능(AI), 사물 인터넷(IoT), 빅데이터, 모바일 등 첨단 정보통신기술(ICT)의 융합으로 이루어지는 차세대 산업혁명이다. 4차 산업혁명은 초연결성, 초지능성, 예측가능성 등의 특성으로 단순한 생산방식의 변화가 아닌 제품기획부터 연구개발은 물론 공급망 관리(Supply Chain Management; SCM), 고객관리, 유통 등 기업의 경영 전반에 영향을 주고 있다[16]. 기술 발전이 가속화되면서 4차 산업혁명의 범위는 점차 넓어져 스마트공장을 중심으로 스마트 그리드, 스마트 빌딩, 스마트 모빌리티, 스마트 제품, 스마트 물류 등 다양한 산업에 영향을 미치고 있다 [17-19].

물류란 생산자로부터 소비자에 이르기까지의 재화의 흐름을 말하는 것으로 하역, 운송, 보관, 포장, 판매의 모든 활동을 포함하고 있다. 스마트 물류는 스마트 기기와 솔루션을 통해 고객이 원하는 제품 및 정보를 신속하게 제공하는 것은 물론 고객이 원하는 정보를 보기 편하고 섬세하게 제공해야 한다는

점에서 전통적 물류보다 진보한 물류라고 할 수 있다 [20]. 스마트 물류(Smart Logistics)는 ICT 기술, 센서, 정보 및 제어기술을 활용해 운송, 보관, 분류 및 반출과 같은 하역과, 시설 및 장비 그리고 시스템 등 물류 전 분야에 효율성, 유연성, 지속가능성을 향상하고 이를 통해 물류비 절감을 목표로 하는 물류로 정의할 수 있다[7]. 물류 분야의 경우 스마트 기술의 활용도가 높음에도 불구하고 적용 사례 연구가 많지 않을뿐더러 구체적인 활용 방법 및 기술 도입을 위한 연구가 부족한 상황이다. 국내의 경우 기존 물류센터는 보관 위주의 창고기능에서 ICT를 접목한 스마트 물류관리 시스템으로 전환이 필요한 상황이다.

### 3. 냉동·냉장 물류센터 관리 시스템

#### 3-1. 통합관리시스템 프레임워크

Fig. 1은 본 연구에서 제안한 콜드체인 통합관리 시스템의 연계 구조를 나타낸다. 콜드체인 각 단계별 센서에서 데이터 수집이 완료되면 물류와 매칭되어 있는 데이터를 추출하여야 한다. 데이터를 추출하기 위해서는 설비마다 정의된 기본 키를 활용해 DB에 접속한다. 콜드체인 통합관리 시스템에서 인터넷과 웹 브라우저를 통해 웹 페이지를 열람하고 조작하는 웹 기반 인터페이스(Web User Interface: WUI)를 통해 분석 결과에 대한 리포트를 제공 받을 수 있다. DB에 있는 정보를 분석모듈로 불러들일 때는 개방형 표준 포맷인 JSON(JavaScript Object Notation) 형태로 파싱(Parsing)하여 데이터 교환 형식을 변경한 후 사용한다. 분석 결과는 text, 그래프, 또는 png 등 다양한 형태로 제공된다.

Fig. 2는 본 연구에서 제안하는 LSTM을 사용한 수요예측 모델의 프레임워크이다. Data Pre-processing Module에서는 데이터 전처리를 수행하고, Training Data, Validation Data, Test Data로 데이터를 분할한다. Training Module에서 Training Data는 예측 모델 학습에 사용되며 Validation Data는

모델의 적절한 구조를 선택하는 데 사용된다. 마지막 Forecasting Module에서는 제안된 방법의 실행 가능성을 입증하기 위해 모델의 유효성을 확인한다.

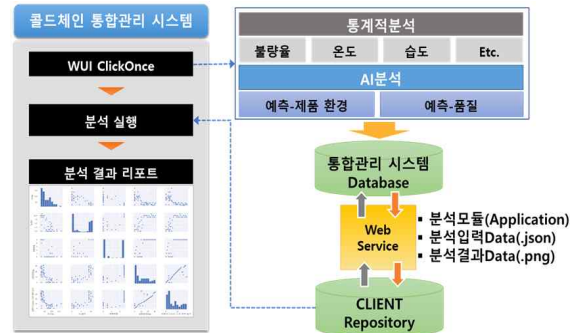


Fig. 1 분석모듈과 통합관리 시스템 연계 구조

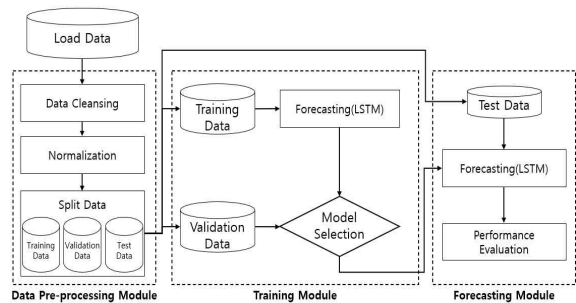


Fig. 2 LSTM 수요예측 프레임워크

#### 3-2. 부패 가능한 제품의 로트(Lot) 크기 결정 문제

식품과 같은 부패 가능한 제품을 전달하는 콜드 체인 시스템은 고객의 수요를 고려하여 원자재의 재고량 및 제품의 생산량을 결정한다. 식품과 같은 온도 민감성 제품을 고객에게 전달할 때 가장 중요하게 고려되는 품질요소는 신선도이다. 따라서 신선도가 높은 제품을 전달하기 위해서 냉동·냉장 물류센터는 원자재 저장, 전처리 혹은 완제품 생산을 위한 전달 등의 의사결정을 해야 한다. 예를 들어, 우유제품의 경우는 원유의 구매 및 보관량과 우유의 생산량은 고객의 수요에 따라 결정된다. 하지만 예상치 못한 수요의 하락과 같은 이벤트가 발생하면 냉동·냉장 물류 센터는 원자재 혹은 반제품이 부패하기 전에 원유를 고체우유, 탈지분유 및

치즈 생산을 위해서 냉동, 농축, 응고 등의 전처리를 해야 한다.

Fig. 3은 Stock Up and Import (SUI) 모델의 개념도이다 [21]. SUI 모델은 다수의 냉동·냉장 물류센터에서 원자재 적재량, 전처리 및 완제품 생산량 결정 모델을 의미한다.  $M_i$  는 원재료 공급업체이다.  $I_i$  는 원재료를 신선한 상태로 냉동·냉장 보관할 수 있는 물류센터를 의미한다.  $Pr_i$  는 원자재의 신선도가 떨어지거나 다른 형태의 제품으로 생산하기 위한 전처리 공정이다.  $C_i$  는 완제품을 전달받기 위한 고객이다. SUI 모델의 수행 절차는 다음과 같다.

1.  $I_i$  는  $C_i$  의 수요를 예측한다.
2.  $I_i$  는 예측된 수요를 바탕으로  $M_i$  에게 원자재를 전달 받는다.
3. 예측된 수요에 따라 원자재를 반제품 생산 후 냉동·냉장 보관을 한다.
4. 실제 수요와 예측 수요의 차이가 발생할 경우  $I_i$  는  $Pr_i$  에게 반제품을 전달한다.
5.  $Pr_i$  는 반제품을 다른 형태로 가공 및 보관하고  $I_i$  는 완제품을 고객에게 전달한다.

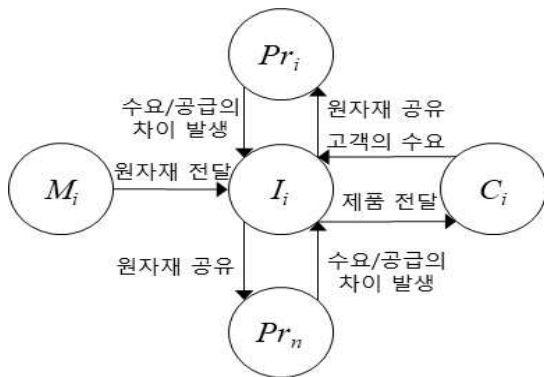


Fig. 3 SUI 모델의 개념도

### 3-3. 부패 가능 제품의 수요 예측

본 연구에서는 National Agricultural Statistics Service [22] 에서 제공하는 영국의 원유제품 및 원유가공품의 수요 및 생산에 대한 데이터를 활용하여 부패 가능 제품의 수요를 예측한다. SUI 모델로 적용하자면

원유제품은  $I_i$  가  $C_i$  에게 전달하는 완제품이며 원유가공품은  $I_i$  가  $Pr_i$  에게 전달하여 생산한 가공품으로 가정한다.

Table 1은 본 연구에서 사용한 원유제품의 데이터 세트의 요약이다. 기간은 1995년 1월부터 2021년 2월까지이다. 원유제품 데이터 중 초기 원유 저장량 (A) 은 이전 월에서 이월된 원자재의 양을 의미한다. 원유 구매량 (B) 은 해당 월에 추가적으로 구매한 원자재의 양을 의미한다. 원유 수입량 (C)은 해외에서 수입한 원자재의 양이다. 총 원유 제공량은 해당 월에 보유하고 있는 총 원자재의 양으로서 A+B+C를 의미한다. 농장 사용량은 원유를 농장에서 사용하는 양이며 유제품 생산량은 원자재를 가공하여 유제품을 생산한 양이다. 유제품 수요량을 실제 고객이 유제품을 구매한 양이다.

Table 2는 원유가공품 데이터세트의 요약이다. 원유 구매량, 원유 수입량과 총 원유 제공량은 원유제품 데이터세트인 Table 1과 같다. 총 원유 제공량에서 유제품 생산량을 제외한 원유를 사용하여 원유가공품을 생산한다. 원유가공품 수요량은 고객이 실제로 원유가공품을 구매한 양이다.

Table 1. 원유제품 데이터세트 요약

데이터	범위 (백만파운드)
초기 원유 저장량 (A)	3,628 - 19,298
원유 구매량 (B)	11,997 - 19,315
원유 수입량 (C)	96 - 899
총 원유 제공량 (A+B+C)	16,479 - 38,497
농장 사용량	74 - 132
유제품 생산량	12,104 - 19,402
유제품 수요량	11,856 - 20,755

Table 2. 원유가공품 데이터세트 요약

데이터	범위 (백만파운드)
초기 원유가공품 저장량	2,880 - 12,331
원유가공품 수입량	202 - 818
원유가공품 생산량	11,686 - 31,737
원유가공품 수요량	11,513 - 15,945

본 기능의 목적은 원유제품의 수요량을 예측하여 유제품 생산량 및 원유 구매량, 원유 수입량을 조절하는 기능을 제안한다. 유제품 수요량 예측을 위해서는 LSTM을 통해 해당 월의 수요량을 예측했다. Fig. 4는 유제품 수요량의 변화에 대한 시계열 그래프이다. X 축은 개월, Y 축은 수요량을 의미한다. 원유제품의 데이터세트는 총 314개이며 LSTM 학습을 위해서는 300개월의 데이터를 사용하였고 추후 14개월의 수요를 예측하였다.

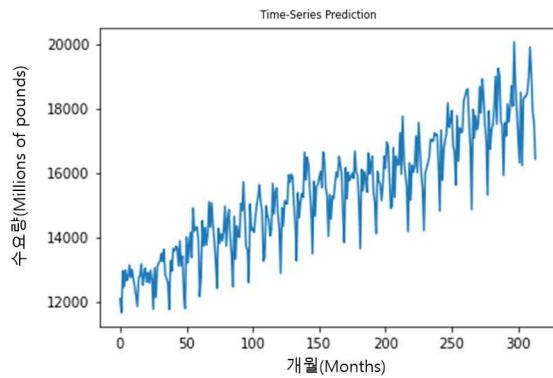
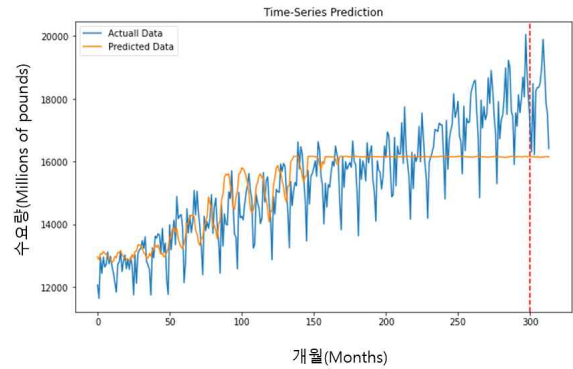


Fig. 4 유제품 수요량 변화

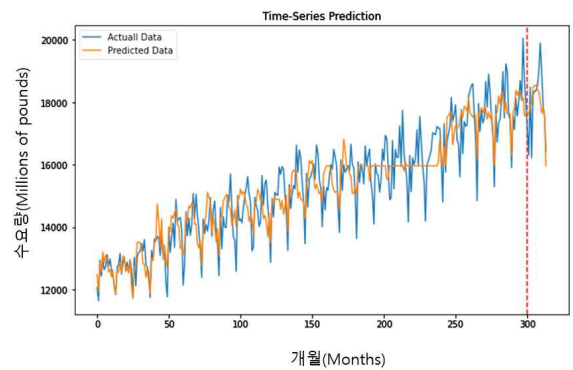
본 수요예측을 위한 LSTM모델은 6개의 입력데이터, 1개의 출력데이터, 2개의 히든스테이트, 1개의 레이어로 설계하였다. 활성화함수는 Rectified linear unit (ReLU)를 사용하였으며 학습률은 0.001로 설정하였다. Fig. 5는 에포크의 숫자가 상승됨에 따라 수요예측 모델의 예측 결과값의 변화를 나타낸다. 각각의 그림은 에포크를 100, 1,000, 그리고 10,000으로 설정했을 때의 결과 값이며 빨간색 점선 오른쪽이 모델의 예측 범위이다.

Fig. 5에서 볼 수 있듯이 에포크가 상승함에 따라 실제 수요 데이터에 적합되는 것으로 보이며 1,000 에포크 이상의 높은 에포크 설정 시 수요 데이터를 예측하는 데 더 효과적일 것으로 예상된다. 각 100, 1,000, 10,000 에포크 별 검증로스는 0.19256, 0.00691, 그리고 0.00493이다.

(에포크 = 100)



(에포크 = 1,000)



(에포크 = 10,000)

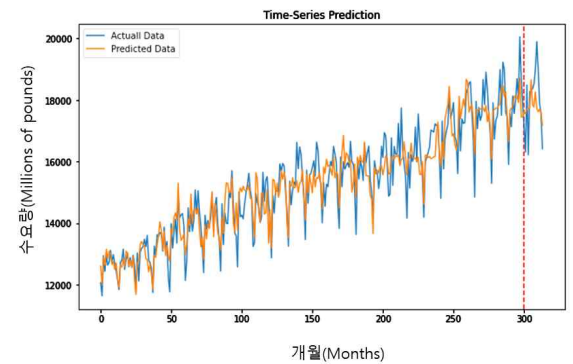


Fig. 5 유제품 수요 예측 결과 변화

Fig. 6은 원유가공품의 수요 예측 결과이다. 에포크는 10,000으로 설정하였으며 모델의 설계는 유제품 수요 예측 모델과 같다. 유제품과 원유가공품의 수요를 예측하게 되면  $M_i$  에게 원유 구매량, 원유 수입량을 조절할 수 있는 유동적 로트 사이징 전략을 취할 수 있다. 따라서 최적 원유 구매량 및 수입량을 정의하는 추가적인 연구가 필요하다.

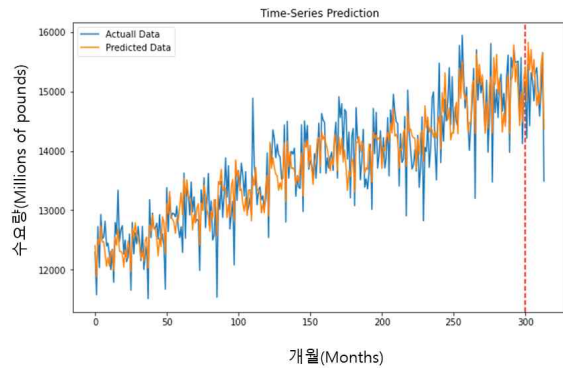


Fig. 6 원유가공품 수요 예측 결과

## 5. 결론

콜드체인 물류의 경쟁력 제고와 효율적인 운영을 위해서는 콜드체인 전주기에 걸친 데이터를 수집·분석하여 의미 있는 정보를 추출·활용하기 위한 데이터 분석 체계 개발이 요구된다. 또한 온도에 민감한 콜드체인 제품의 특징으로 인해 고객의 수요를 고려하여 원자재의 재고량 및 제품의 생산량을 결정할 필요가 있다. 하지만 현재 국내 냉동·냉장 창고의 경우 데이터 연동의 부재로 인해 시간과 자원의 낭비가 지속되고 있다.

본 연구는 스마트 물류센터 통합 관리 시스템 구조를 제안하고, LSTM을 통해 물류 수요를 예측하고, 인공지능 기술을 기반으로 스마트물류센터 내에서 수집된 데이터를 수집·분석하여 콜드체인 제품 수요 예측 및 활용 가능성을 확인할 수 있다는 점에서 의의가 있다.

추후 다양한 물류관리 시스템과의 연동 및 스마트 물류센터와의 연계를 통해 수요예측 정보와 의사결정 결과를 현장에서 확인 할 수 있는 환경을 지원하는 연구로 확장이 가능할 것으로 예상된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

“이 논문은 2019년 대한민국 교육부와

한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019S1A5A2A03052217)”

## REFERENCES

- [1] Tejesh, B. S. S., and Neeraja, S. J. A. E. J. (2018). “Warehouse inventory management system using IoT and open source framework”, Alexandria engineering journal, Vol. 57(4), pp. 3817-3823.
- [2] Tripathy, R. P., Mishra, M. R., and Dash, S. R. (2020), “Next Generation Warehouse through disruptive IoT Blockchain”, In 2020 International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA), IEEE, pp. 1-6.
- [3] 박영태. (2015), “국내외 물류산업의 사물인터넷(IoT) 현황과 발전방향에 관한 연구”, 경영과 정보연구, Vol.34(3), pp. 141-160.
- [4] 선일석. (2008), “국내 냉장냉동 창고 현황 조사”, 유통과학연구, Vol. 6(2), pp. 5-21.
- [5] 송세웅, 신창훈. (2020), “국내 콜드체인 의약품 운송의 개선방안: 온도관리 포장 관련 적격성 평가와 제도 개선을 중심으로”, 한국물류학회지, Vol.30(3), pp. 71-87.
- [6] 한국무역협회. (2017), “무역업계의 4차 산업혁명 대응 현황 조사”, Trade Brief, Vol.1(27), pp. 1-2.
- [7] 민연주, 정승주, 장소영. (2017), “물류 4.0시대 융복합 물류사업 발굴 및 지원 방안”, 한국교통연구원, 기본연구보고서, pp. 1- 312.
- [8] 김홍섭, 상옥비. (2019). “인천항 콜드체인 물류체계 활성화 방안에 관한 연구”, 한국항만경제학회지, Vol.35(3), pp. 19-40.
- [9] 김호균, 배창옥, 이철규, 정홍진. (2007), “냉동냉장창고업의 구조고도화 방안”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1286-1290.

- [10] 선일석. (2012), “규모 및 업체수에 따른 냉장냉동 창고의 변화 분석”, 물류학회지, Vol. 22(2), pp. 133-154.
- [11] 김현수, 정해준. (2013). “콜드체인 공급사슬 이력추적 관리모델”, 한국 SCM 학회지, Vol. 13(2), pp. 87-97.
- [12] 고대식, 송석일. (2016), “콜드체인 프레임워크를 위한 컴포넌트 설계”, 한국정보기술학회 하계종합학술발표논문집, pp. 39-43.
- [13] 김호균, 배창옥, 이철규, 정홍진. (2007), “냉동냉장 창고업의 구조고도화 방안”, 대한산업공학회 추계학술대회 논문집, pp. 1286-1290.
- [14] 조규성, 김호균. (2009), “냉동냉장창고 현황 및 운영개선에 관한 연구”, Korea International Commercial Review, Vol, 24(4), pp. 51-72.
- [15] 이재학. (2009), “경기지역 냉동냉장창고업의 경쟁우위 결정요인에 관한 연구”, 한국 SCM 학회지, Vol. 9(2), pp. 135-145.
- [16] 박정현, 오재균, 김동명, 여기태. (2019), “4차 산업혁명시대의 스마트 유통물류센터 구축방향에 관한 연구”, 디지털융복합연구, Vol. 17(2), pp. 59-71.
- [17] Uckelmann. D. (2008). “A definition approach to smart logistics“, International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 273-284.
- [18] Chen, S. Y., Song, S. F., Li, L. X., and Shen, J. (2009), “Survey on smart grid technology“, Power system technology, Vol. 33(8), pp. 1-7.
- [19] Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., and Yin, B. (2017), “Smart factory of industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges”, IEEE Access, Vol. 6, pp. 6505-6519.
- [20] 박병주. (2012). “스마트 물류로의 진화“, 경남발전, pp. 96-111.
- [21] 이화섭, 신문수, 류광열, 조용주, 박유진. (2015). “복수 재고시스템의 부패 가능한 제품 적재량 정보 최적화”, 정보기술아키텍처 연구, Vol. 12(4), pp. 629-637.
- [22] United State Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, Milk production report , [https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays\\_Reports/reports/mkpr1220.pdf](https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/mkpr1220.pdf)