

# 스마트 공급망 구축을 위한 지능형사물인터넷 영향요인에 관한 연구

조건식\* · 박철수\*\*

## A Study on the Influential Factors of Intelligence Internet of Things for Establishing Smart Supply Chains

Kun-Shik Cho\* · Cheol-Soo Park\*\*

### Abstract

Internet of Things (IoT) is a term that has been introduced in recent years, and it defines objects being able to connect and transfer data through the internet. Although some IoT-related products are currently available in the market, there are still some IoT problems that need to be overcome, such as the technology issues and lack of confidence and understanding of IoT. This study aims to analyze the influential factors in building successful IoT system for smart supply chain. This study develops the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the influential factors in IoT. This study finds that tangible factors (Technology, Value and Connectivity) are more important than the intangible factors (Operation and Intelligence). Finally, this study concludes that after enterprises build a good IoT connectivity system, it is essential to combine this with good IoT technology to create a successful IoT environment. The findings may help practitioners implement IoT in smart supply chains to deal with disruptions, risks and vulnerabilities in the post-pandemic era.

Keywords : Smart Supply Chain, AHP, Intelligence, IoT, Influential Factors

Received : 2024. 04. 20.    Revised : 2024. 04. 27.    Final Acceptance : 2024. 04. 30.

\* First Author, Distinguished Professor, Department of Business Administration, Halla University, e-mail : kunshik.cho@halla.ac.kr

\*\* Corresponding Author, Professor, Department of Business Administration, Halla University, 28, Halladaegil, Won Ju City, Gangwon Province, 26404, Korea, Tel : +82-33-760-1428, e-mail : cspark@halla.ac.kr

## 1. 서론

최근 맥킨지&컴퍼니는 향후 10년간 미래사회 변화에 큰 영향을 미칠 핵심 기술을 선정하고 발전 동향을 담은 'The top trends in tech' 보고서에서 차세대 프로세스 자동화 및 가상화, 연결의 미래, 분산 인프라, 인공지능의 응용 및 활용 부분의 기반 기술 중의 하나가 지능형 사물인터넷(Artificial Intelligence of Things: AIoT)이라고 하였다(Mckinsey, 2015). 사물인터넷(Internet of Things: IoT)은 인터넷을 사용하는 사물, 공간, 사람을 유기적으로 연결하고 데이터 기반으로 상황을 분석하고 예측하고 판단하여 지능화된 서비스를 제공하는 인프라 및 융합 기술 을 의미한다. AIoT는 사물인터넷인 IoT(Internet of Things)와 인공지능(Artificial Intelligence)이 결합한 단어로, 사물인터넷을 통해 수집된 데이터를 인공지능이 분석하는 융합 기술이다. AIoT라고 해서 단순히 인공지능 기술만 필요하다고 생각하기 쉬우나, AIoT를 통한 효율성과 자동화를 구현하기 위해서는 5G/6G, 빅데이터, 블록체인, 클라우드 등의 기술이 결합해야 한다(Hsu, 2016). AIoT는 정보 기술을 기반으로 연결성과 지능성을 확장하고 융합하는 과정에서 만들어지는 사물 지능 융합 기술이다(Wang, 2022). 이에 따라 AIoT는 4차 산업혁명을 촉발하는 신기술에서 보이는 공통적인 특징인 초연결성(Hyperconnectivity), 초지능성(Superintelligence), 초융합성(Hyperconvergence)의 성격을 가지고 있다(Asghari, 2019). "AIoT는 어떤 문제를 해결하거나 목표를 달성하기 위해 데이터를 수집하고 인공지능을 개발하여 사물에 탑재 또는 융합하고 활용하는데 필요한 기술과 역량 그리고 산업의 총체"라고 할 수 있다. 여기서 사물(事物)은 "물리적 사물, 디지털 사물 그리고 생물학적 존재를 총칭"한다(Perumal et al., 2015). 이후 사물인터넷은 유무선 네트워크로 연결된 모든 사물들의 통신 시스템으로 범주가 넓어졌으며 자동화를 통해 인간의 개입을 최소화하고, 사물 간의 정보교류 및 가공을 통해 인간에게 보다 나은 지능형 서비스를 제공하기 위한 기술로 점차 발전되어 왔다. 사물인터넷은 인터넷으로 연결된 모든 사물과 사물, 사물과 인프라, 사물과 인간이 소통할 수 있도록 하여 이전에는 우리가 경험하지 못했던 서비스와 제품을 제공하고 제공받을 수 있는 시대를 열어주고 있다(Omolara,

2022).

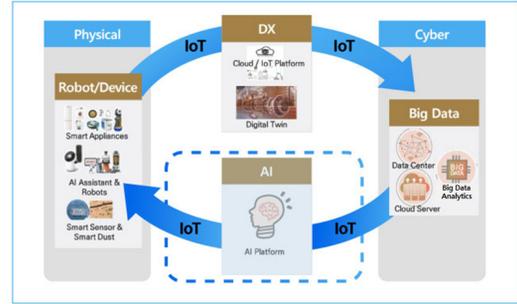
오늘날 사물인터넷의 급격한 발전과 함께 인터넷에 연결되는 사물의 개수가 급증하고 있으며 이러한 대규모의 사물들이 방대한 양의 데이터를 생성하고 있다. IDC(International Data Corporation)는 2025년에 약 416억 개의 사물인터넷 기기가 인터넷에 연결되어 약 79.4 제타바이트에 가까운 데이터를 생성할 것이라고 예측하고 있으며, IHS Markit은 2030년까지 연결된 사물인터넷 기기 수가 1,250억까지 증가할 것이라고 예측하고 있다. 따라서 산업 전반에 도입될 것으로 예상되는 IoT는 공급망 분야에서도 예외는 아닐 것으로 생각된다. 실제, 공급망 분야에 사물인터넷이 적용되면 효율적인 물류&유통관리가 가능해져 입고 및 출고 비용을 크게 절감할 수 있을 것으로 사료된다(Kouhizadeh et al., 2021). 이에 따라 사물인터넷 적용에 대해 공급망 업계들도 상당한 관심을 갖고 있으며 IoT를 물류&유통에 활용하는 방안을 적극 검토하고 실행하고자 하고 있다. 하지만 현재 각광받고 있는 AIoT를 도입하여 SCM의 효율성을 증대시키기 위한 연구 및 기업 사례는 많지 않다. SCM의 영역이 지속적으로 확장되고 있음에도 불구하고 글로벌 사업 확대 등으로 범위가 워낙 방대하여 실시간 정보 취합이 어렵고 보안 또한 취약한 실정이다. 본 연구에서는 AIoT 도입을 위해 SCM에 영향을 미치는 요인들에 대하여 연구하고자 한다. IoT와 SCM의 연관성을 분석한 연구 및 사례가 많지 않아 실증적인 분석에 어려움도 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 점차 발전하고 있는 지능형 사물인터넷을 활용하여 스마트SCM의 고도화 방안을 연구하고자 한다.

## 2. 문헌연구

### 2.1 지능형 사물인터넷

AIoT라 불리는 지능형 IoT는 효율적인 IoT 서비스의 운영을 위해 IoT 인프라와 인공지능 등이 융합한 기술이라고 할 수 있다. 즉, AI와 IoT의 통합과 응용을 의미한다. AI는 연구 개발을 통해 인간 지능을 시뮬레이션하고 확장하기 위한 이론, 방법, 기술 및 응용 시스템에 관한 기술 과학을 말한다(Thilakarathne, 2022). 인터넷을 기반으로 구축

된 IoT는 장치를 연결하는 것 이상의 단계이다. AI와 IoT가 결합하면 IoT에서 생성되고 수집되는 많은 양의 데이터가 터미널, 에지 또는 클라우드에 저장된다. 그런 다음 이러한 데이터는 기계학습을 통해 지능적으로 분석되기 때문에 모든 것을 디지털화하고 지능적으로 연결할 수 있다. 인공지능 기술은 사물인터넷 환경에서 생성되는 방대한 양의 데이터를 빠르게 분석하고 가공 및 추출하여 최적화된 결론을 제공하기 때문에 사물인터넷에서 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 사물인터넷 데이터 분석을 위한 기존 비즈니스 인텔리전스 도구에 비해 머신러닝이 더 높은 정확도로 더 빠른 예측을 할 수 있다. 지능형 사물인터넷의 장점은 다음과 같다(Wang, 2022). 첫째 다운타임 방지 이다. 많은 부문에서 장비 고장으로 인한 계획되지 않은 다운타임은 막대한 손실을 초래할 수 있다. 둘째는 운영 효율성 향상 이다. 빠르고 정확한 예측과 깊은 통찰력을 생성하는 기계 학습의 힘과 점점 더 다양한 작업을 자동화하는 인공지능의 능력은 운영 효율성을 개선한다. 셋째는 새롭고 향상된 제품 및 서비스 구현으로 인공지능과 결합된 사물인터넷은 완전히 새로운 제품 및 서비스의 기반을 형성하게 된다. 마지막으로 리스크 관리 강화를 위하여 사물인터넷과 인공지능을 결합하는 여러 애플리케이션은 자동화를 통해 조직이 다양한 위험을 예측하고 신속히 대응해 작업자 안전, 재정적 손실 및 사이버 위협 등과 같은 위험을 더 잘 관리할 수 있도록 지원해 준다. 이러한 지능형 IOT기술의 개념도는 <Figure 1>과 같다.



Source: [https://enterprise.kt.com/bt/P\\_BT\\_TL\\_VW\\_001.do?bbsId=925&bbsTp=A](https://enterprise.kt.com/bt/P_BT_TL_VW_001.do?bbsId=925&bbsTp=A).

<Figure 1> Intelligent IoT Technology Concept

AI, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅과 같은 기술의 반복(iteration)으로 IoT의 궁극적인 개발 목표는 “All Things Connected”이다. AI 기술은 사용자 경험과 제품 지능을 높이기 위해 스마트 단말기에서 수집된 데이터를 분석하고 처리하며, 이는 궁극적으로 우리의 라이프 스타일을 변화시킨다. 중국 공학 아카데미의 학자인 Wu et al.(2022)는 AIoT가 진정한 지능화가 되기 위해서는 <Table 1>처럼 단일장치 지능, 상호 연결된 지능 및 능동 지능의 세 가지 발전 단계를 거칠 것으로 예측하였다. AIoT는 단일장치 지능에서 상호 연결된 지능으로 진화하고 있으며 스마트 단말기 개발은 성숙기에 접어들고 있다.

## 2.2 스마트 공급망과 IoT

공급망 관리는 고객의 서비스 수준을 만족시키며

<Table 1> The Stages of Intelligence Development in AIoT

Stand-alone Intelligence	Interconnected Intelligence	Active Intelligence
Stand-alone devices accurately perceive, recognize, and understand the user's commands, and make correct decisions, execute, and provide feedback. There is no active linkage between devices, and the user is required to give instructions for the interaction between the two devices.	Interconnected and interlinked product matrix, using "one cloud/central console, multiple terminals/sensors" mode. Break through the "island dilemma" of stand-alone intelligence, and continuously upgrade and optimize the intelligent scene experience.	The intelligent system is ready to provide services according to user behavior preferences, user image, environment and other types of information, and is truly capable of automatic learning, self-adaptation and automatic service improvement, and can proactively provide the services users need without waiting for users to give instruction

Sources: 2021 Global AI+IoT Developers Ecosystem White Paper, Gartner

시스템 전반의 비용을 최소화시키는 것을 목적으로 하여 적절한 수량의 제품을 적절한 장소 및 시간에 유통하기 위해 공급망 내 일련의 제품과 정보의 흐름을 조정하는 것이다(Hussain et al., 2021; Kumar et al., 2021). 전통적인 공급망에서는 왜곡된 정보의 유통으로 기업 간 신뢰가 결여되어 공급망에서 발생하는 주요 정보를 공급망 단위가 아닌 개별 기업에서 관리하여 공급망 단위에서의 정보의 가시성 및 기업 간 협업 기회가 부족하였다(Wang, 2022). 따라서 공급망이 더욱 복잡해짐에 따라 기업은 스마트 컨테이너, 창고, 항구, 선박 및 제조와 같은 혁신을 통해 공급망 구조라고 하는 디지털 인프라와 물리적 수용력을 통합하는 세분화된 시스템을 만드는 데 투자하고 있다. 스마트 공급망 관리를 위해 이러한 시스템을 관리하고 실행 가능한 인텔리전스를 확보하는 것이 특히 4차 산업 환경하에서 필수적인 것이 되었다. 스마트 공급망이란 제품의 제조 및 운송 시 사용되는 기계와 제품 등의 사물에 각종 센서 및 RFID 태그 등을 부착하여 제품에 관련한 프로세스 데이터를 수집, 분석하여 의미 있는 정보를 운영과 의사결정에 사용하는 공급망 시스템을 말한다(Wu et al., 2022). 현재 디지털 기술의 진화와 2020년 코로나 위기 사태로 인해 기업은 공급망 관리를 혁신하고, 전통적인 공급망 워크플로를 새롭게 정비하여 프로세스 개선 사항과 AI, 블록체인과 같은 혁신적인 디지털 기술이 결합된 스마트 공급망을 구축하는 방안을 모색하고 있다. 이러한 스마트 공급망은 고립과 기능별 경계를 허물고 속도와 민첩성, 복원력을 높이며 완전한 투명성을 확보하게 될 것이다(Lund et al., 2020). 기업들은 디지털 기술을 기반으로 신뢰할 수 있는 개방형 생태계 하에서 스마트 공급망을 구축함으로써 실시간으로 정보를 공유하고 공동 협업의 의사결정을 통해 불확실한 환경 변화에 대응하려고 하는 것이다.

### 2.3 스마트 공급망을 위한 IoT 활용에 중요성

전통적인 공급망 관리 프로세스에는 재고 과잉, 재고 부족, 제품 배송 지연, 실시간 정보 전달 문제 등 여러 가지 문제가 있었다. 효과적이고 잘 정의된 공급망 관리 프로세스는 SCM 운영과 수익성을 대폭 향상시킨다. 공급망의 통합은 대응성 향상, 의사 결정, 비용

절감 및 서비스 수준 향상을 통해 달성할 수 있는 비즈니스 성과를 향상시키는 데 핵심적인 역할을 한다(Haddud et al., 2017; Shuhui et al., 2021). 민첩성, 협업 및 정보 공유는 공급망 통합의 주요 기능이다(Yan et al., 2014; Freije et al., 2021). 기술 발전으로 인해 기업들은 공급망 관리 프로세스에 최신의 기술을 채택하고 있다. 공급망 관점에서 IoT는 인간 상호 작용이 거의 없는 기계를 통해 의사 결정을 내릴 수 있게 해준다(Haddud et al., 2017). IoT의 등장으로 공급망 관리 프로세스가 개선되어 공급망 관리 프로세스가 스마트하게 발전되어지고 있다. IoT를 활용하면 개별 품목에 대한 가시성이 향상되어 고객이 원하는 요구나 공급업체의 가용성에 신속하게 대응할 수 있으며 완전한 배송을 보장하고 공급망의 지속 가능한 성과를 향상시킬 수 있다(Hussain et al., 2012). 많은 연구들에서 공급망에 IoT를 채택한 기업이 변화하는 경제 환경에서 더 큰 이익과 경쟁 우위를 달성하고 있으며, IoT가 활용되는 공급망 관리에서 볼 수 있는 다음과 같은 독특한 특징을 나타내고 있다(Abdel-Basset et al., 2018).

1. 계측설정화(Instrumented): IoT를 활용하여 SCM의 정보는 환경적인 데이터를 대량으로 수집하는 데 센서들을 사용하여 기계로 생성된다.
2. 상호연결화(Interconnected): 스마트 객체, 비즈니스 실체, 제품 그리고 자산은 모두 인터넷과 IT 시스템의 도움으로 서로 연결 되어 있다.
3. 지능화(Intelligent): 비즈니스 인텔리전스와 스마트 분석은 SCM 프로세스에 대한 의사결정을 최적화 한다.
4. 자동화(Automated): SCM의 전체 프로세스가 자동화되어 노동 집약적인 작업을 줄여 사용이 간편하고 작업 속도가 빠른 효율적이고 보다 더 나은 솔루션이 되었다.
5. 통합화(Integrated): IoT를 활용한 SCM은 통합된 체인 프로세스 집합이다. SCM 프로세스는 공동 의사결정 및 정보 공유를 위해 단계 간 협업을 통해 수행된다.
6. 혁신화(Innovative): SCM에 있어서 IoT는 현대 시대의 요구에 맞는 새로운 솔루션을 도입함으로써 변화와 가치를 창출한다.

〈Table 2〉 Research on IoT Technology Applications

IoT Components	Explanation
IoT Operating Environment	It has the ability to meet the demands of various hardware structures [Hahm et al., 2015; Haddud et al., 2017]
IoT processors	Processors used by the IoT devices have the ability to provide encryption, robust security and can support embedded devices and operating system [Haddud et al., 2017; Wang et al., 2015].
IoT security	The security technology is required to avoid physical and information tampering on IoT platform and devices [Haddud et al., 2017; Omolara et al., 2022] because trillion of equipments across the globe are connected that enhances the chance of information used [Kamble et al., 2018]
IoT analytics	New analytics techniques and algorithms are required as the IoT stores real time data which is voluminous [Mikusz et al., 2015]
IoT Device Management	The firms must have the ability to manage millions or thousands of interconnected devices [Perumal et al., 2015; Omolara et al., 2022]
IoT Ecosystems and Standards	Communicate and interoperate are the basic characteristics of IoT system, associated application program and standards are needed [Haddud et al., 2017; Vermesan and Friess, 2013]
Low energy IoT Networks	It was predicted that till 2025, the wireless IoT connectivity will be replaced with low-energy networks [Bulusu et al., 2000; Thilakarathne et al., 2022]
Low-Power, Wide-Area Network	It is expected that narrowband IoT which has the capacity to enable communication with high speed, higher battery life and nationwide coverage will dominate the IoT space [Raza et al., 2017].
Distributed Stream Processing	Platforms which are based on parallel computing architectures are needed for the support of distributed stream to analyze the real time data [Yu et al., 2022]
Platforms	Platforms which are based on IoT infrastructure must ensure effective device operations and management which includes data storing, analyzing, and sharing [Lucero, 2016; Jia et al., 2017]

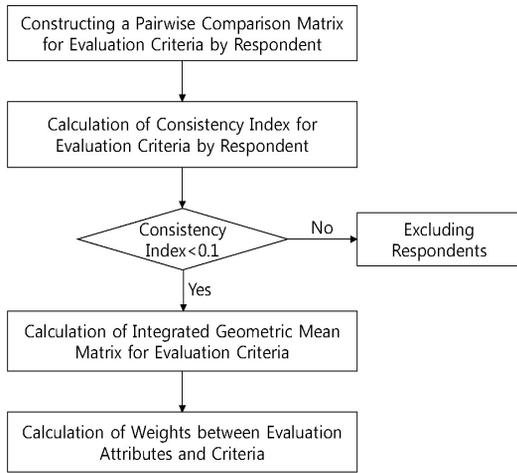
SCM에 있어서 IoT는 제조부터 창고, 운송, 물류에 이르기까지 SCM의 각 단계에서 프로세스를 혁신하였다. 모든 단계에서 IoT는 비즈니스 성장을 위한 자동화, 비용 효율성, 제품 및 상품의 추적 과 추적성, 개선되고 효율적인 재고 관리, 향상된 기계 성능, 가치적인 시장 동향 등의 서비스를 제공한다. 이러한 IoT 기반 SCM에 대한 연구는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 아직 제한적인 IoT 기반 SCM에 대한 연구가 이루어지고 있다. 기존 연구들의 문헌연구 결과를 보면 다음 〈Table 2〉에서 보여주고 있다.

### 3. 분석방법과 연구모형

#### 3.1 AHP(Analytic Hierarchy Process

AHP는 1970년대 초반 T. Saaty에 의하여 개발된 계층 분석적 의사결정 방법으로 의사결정이 계층구조를 구성하고 있는 요소 간의 쌍대비교(pairwise

comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 하나의 새로운 의사결정 방법론이다(Satty, 1977). AHP는 불확실한 상황이나 다양한 평가기준을 필요로 하는 곳에 쓰이는 의사결정 방법이다. AHP는 여러 개의 속성을 분류하여 쌍대 비교, 즉 절대평가가 아닌 상대평가를 통해 의사결정 과정에 참여하는 전문가들의 의사결정 판단자료를 일정한 논리를 통하여 체계적으로 획득 및 분석 가능할 수 있게 해줌으로써 복잡한 의사결정 문제에 대해 상대적 우선순위를 할 수 있도록 해주어, 평가 결과를 간단한 방법으로 이해할 수 있도록 해주는 기법이다. 특히 AHP는 정략적 요소는 물론 정성적인 요소까지 고려할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 일관성 지수(CI: Consistency Index)가 0.2보다 작게 나오면 의사결정자의 논리적 일관성을 인정할 수 있다고 보고 있으며, 0.1보다 작으면 의사결정자의 논리적 일관성이 매우 높은 수준으로 판단한다. AHP 분석 절차는 〈Figure 2〉와 같다.



<Figure 2> AHP Process

3.2 연구모형

IoT 기기는 다양한 환경과 상황에서 널리 채택되고 있다[Choi et al., 2018]. Jin et al.(2014)의 연구에서는 IoT가 여러 기기종 네트워크의 통합이며 서로 다른 네트워크 간의 보안 및 연결 문제를 해결해야 한다고 언급하고 있다. IoT의 목적은 컴퓨터 장치 내에서 인터넷을 통해 데이터를 수신, 저장 및 전송할 수 있는 플랫폼을 제공하는 것이다. AIoT라 불리는 지능형 IoT는 효율적인 IoT 서비스의 운영을 위해 IoT 인프라와 인공지능 등이 융합한 기술이라고 할 수 있다. 즉, AI와 IoT의 통합과 응용을 의미한다. AI와 IoT

가 결합하면 IoT에서 생성되고 수집되는 많은 양의 데이터가 터미널, 에지 또는 클라우드에 저장된다. 그런 다음 이러한 데이터는 기계학습을 통해 지능적으로 분석되기 때문에 모든 것을 디지털화하고 지능적으로 연결할 수 있다. 기술 수준에서 AI는 IoT가 인식 기능을 습득할 수 있도록 하고, IoT는 AI 알고리즘을 훈련하는 데이터를 제공한다. AIoT 가치 사슬은 센서 계층, 전송 계층, 플랫폼계층, 애플리케이션 및 서비스 계층의 네 가지 수준으로 나눌 수 있다. 센서 계층은 데이터와 정보를 수집하는 것으로 센서와 칩, 스마트 단말, IoT 스마트 단말에 적용된 운영체제 및 소프트웨어, 단말 장치를 지원하고 분석하는 AI 알고리즘/솔루션과 같은 기본 구성요소를 포함하고 있다.

IoT의 주요 요소로는 센싱 기술이 결합된 통신이 가능한 장비와, 수집되어진 다양한 데이터를 송·수신할 수 있는 네트워크, 그리고 수집되고 저장된 데이터를 통하여 의미 있는 결과를 찾아낼 수 있도록 도와주는 전반적인 서비스 인터페이스 플랫폼이 있다[Min, 2012; Kim, 2015]. 통신 가능 장비로는 RFID, 가속도·각속도·터치·센서를 부착한 모바일 기기, 시각·청각·촉각 센서를 부착한 지능형 로봇, 보안·안전 관리를 위한 가스·온/습도·생체 인식 센서, 위치인식을 위한 GPS 등이 있다. 이러한 센서들은 소재, 센서소자, 응용제품 분야로 기술 개발·활용이 되고 있으며, 이러한 센싱 기술 개발·활용을 통해 산업, 헬스, 보안, 유통 분야에 대한 활용도가 높을 것으로 예상된다.

<Table 3> Hierarchical Model of Influencing Main Factors for Establishing Smart SCM

Main variables	Operational Definition	References
Connectivity	A kind of ability that allows enterprises to have constant communication among IoT objects and IoT facilities by using IoT technology	Chang et al.(2014), Hsu and Lin(2016)
Intelligence	The degree of understanding from IoT machines when operators need to take information from them or give them an instruction to complete work	Chang et al.(2014), Wu et al.(2017)
Value	A subjective opinion of using IoT technology from users	Balaji and Roy(2017), Hsu and Lin(2016)
Technology	The mixture of several technologies such as semantic and security technologies, embedded system, and sensors have explained it as the network of software, sensors, databases, hardware, devices and systems, all these components are making the work easier for humanity	Khan et al.(2021), Wu et al.(2017)
Operation	A novel paradigm and connects the pervasive presence of various objects to the internet by using wireless technologies to reach desired goal	Hoffman and Novak (2015), Desingh (2021)

〈Table 4〉 Hierarchical Model of Influencing Sub-factors for Establishing Smart SCM

Main variables	Sub-variables	Descriptions	References
Connectivity	Compatibility	A function in IoT systems that can transmit and analyze different types of data between IoT devices and objects	Hsu and Lin(2016), Dias(2022)
	Standardization	A process that integrated operating interfaces for every user with any IoT devices	Balaji and Roy(2017)
	Easy of Use	Refers to whether IoT application requires some level of proficiency from its users or not	Abdel-Basset(2018), Shuhaiber and Mashal(2019)
	Security	The security technology is required to avoid physical and information tampering on IoT platform and devices	Haddud et al.(2017). Omolara et al.(2022)
	Reliability	The IoT applications as the extent to which these applications are provided and operated properly to present reliable functions that meet users' needs, expectations, and purposes	Asghari et al.(2019), Kim et al.(2019)
Intelligence	Artificial intelligence	An algorithm approach to enable intelligent communication in IoT networks	Kumari(2017), Wang et al.(2022)
	Cloud Computing	An invisible place to store and operate the vast amount of data continuously and connect to other IoT elements for end users	Lee and Lee(2015)
	Blockchain	The blockchain collects the data emitted from IoT devices, which are placed on goods during their journey	Kouhizadeh et al.(2021)
Value	Market demand	The demand of adopting IoT in the market	Balaji and Roy(2017), Hsu and Lin(2016)
	Convenience	People can save time and energy by using IoT devices or products during their work process	Chang et al.(2014), Balaji and Roy(2017)
	Performance	IoT can be used for real-time monitoring of business processes, equipment performance, energy consumption, and environmental conditions to boost operational efficiency	Dijkmana et al.(2015)
Technology	IT Infrastructure	Information perception, measurement, identification, acquisition, and transformation can be processed through IoT using intelligent devices and emerging technology	Wang et al.(2022), Xing et al.(2021)
	Data Management	The involvement of collecting, storing, processing, analyzing, and utilizing the vast amount of data generated by IoT devices	Lee and Lee(2015)
	Device	The firms must have the ability to manage millions or thousands of interconnected devices	Perumal et al.(2015), Omolara et al.(2022)
	Energy Consumption	The amount of power consumed per unit of time	Desingh(2021), Kamble et al.(2019), Kumar et al.(2022), Higginbotham(2020), Singh(2022)
Operation	Synchronization	A process that integrated operating interfaces for every user with any IoT devices	Balaji and Roy(2017), Lee and Lee(2015)
	Customer Experience Enhancement	IoT can produce real-time data of demand and supply of goods, generating tremendous value for customers.	Anshari et al.(2019)
	Cost	Include not only direct costs but also indirect costs such as installation costs	Lu and Chen(2022), Kumar et al.(2021), Raj et al.(2020), Kamble et al.(2019)

본 연구는 AIoT 도입이 공급사슬관리에 미치는 영향을 분석하기 위하여 IoT 기술로 인하여 공급망에 영향을 미치게 될 주요 요인들이 무엇인지 그리고 우선적으로 도입해야 할 부분은 무엇인지를 문헌연구와 전문가 인터뷰를 통해 <Table 3>과 <Table 4>에 제시하였다. IoT는 현재 4차산업시대의 응용분야이며 디지털 기술이 성숙해지면 일부 학자와 과학자들이 AIoT가 다양한 분야에 적용되어질 것이라고 언급하고 있다. 본 연구에서는 연결성, 인텔리전스, 가치, 기술, 운영 5개의 주요 영향요인을 제시하였다.

본 연구에서 연결성이란 기업이 IoT 기술을 활용해 IoT 사물과 IoT 기기 간 지속적인 통신을 할 수 있다는 의미다. 연결성을 구성하는 요소에는 호환성, 표준화, 사용의 용이성, 보안성, 신뢰성이 있다.

인텔리전스는 IoT 분야에 인공 지능의 도입이 자연스러운 흐름으로 인식되면서 AIoT가 새로운 산업으로 주목받고 있다. 기존의 연결형 IoT에 기계학습 알고리즘 기반의 데이터 분석을 통해 비즈니스 프로세스의 최적화로 생산성 향상을 추구하고 있기 때문이다. AIoT 기술에 클라우드 기술과 DX로의 비즈니스 트렌드가 반영되면서 물리적 공간과 가상공간의 연결로 디지털 트윈을 구현해내고 있으며, 모든 산업 영역에서 그 활용성과 효율성이 검증되고 있다. 앞으로 산업적으로 임베디드 AI 단말의 확대와 5G mMTC 기술의 상용화로 더 많은 IoT 단말이 5G 네트워크에 연결될 것이고, 보안 분야에서는 단말, 네트워크, 클라우드에 각각 AI 보안 알고리즘이 적용될 것이며 데이터 위변조 방지를 위한 블록체인 기술을 통해 보다 안전한 연결성을 보장받게 될 것이다. 가치는 기업이 IoT 비즈니스 모델을 구성하려고 할 때 중요한 구성 요소이다. IoT 가치란 시장 수요, 편의성, 성과 등 IoT 기술 활용에 대한 사용자의 의견을 의미한다. 실질적인 시장 수요가 IoT, 특히 ICT 산업에 강한 영향을 미치게 된다. 지능화를 구성하는 요소에는 인공지능, 클라우드 컴퓨팅, 블록체인이 있다.

IoT의 기술은 인터넷에 연결되어 서로 통신할 수 있는 물리적 장치의 네트워크를 의미한다. 이러한 장치들은 센서, 소프트웨어 및 기타 기술로 내장되어 있어 데이터를 수집하고 교환할 수 있다. IoT 기술의 주요 구성 요소는 데이터 수집을 위한 센서, 통신을 위한 Wi-Fi, 블루투스 및 셀룰러 네트워크와 같은 연결 기

술, 데이터 저장 및 처리를 위한 클라우드 컴퓨팅, 수집된 데이터에서 의미 있는 통찰력을 추출하기 위한 데이터 분석이다. 기술을 구성하는 요소에는 IT인프라, 데이터관리, 에너지소비, 장치들이 있다.

IoT 운영은 공급망 전반에 걸친 사물 인터넷 장치, 센서 및 기술을 통합하여 공급망 전반에 걸쳐 가시성, 효율성 및 응답성을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. IoT 운영 요소에는 동기화, 고객경험, 비용 세가지 요소로 구성하였다.

### 3.3 분석 절차

스마트 공급망 구축에 영향을 미치는 지능형 사물 인터넷 도입을 위한 중요요인은 상위 요인 4개, 하위 요인 18개를 계층 구조화 하였으며, 쌍대비교에 의한 설문조사를 실시하였다. 사물인터넷 분야에 종사하고 있는 한국 정보통신 R&D 진흥기관인 정보통신기술진흥센터(IITP)에 등록된 과제 평가위원 중 '사물인터넷' 분야 전문가 37명에게 구글 서베이로 설문 응답을 받았다. AHP분석에서 주어지는 일관성 비율(Consistency Ratio)이 0.1보다 큰 5개의 설문 응답지를 제외하고 32개 설문응답을 분석 평가하였다.

본 연구의 목적인 사물인터넷이 공급망 구축에 미치는 영향요인 분석이라는 목적을 달성하기 위한 상위 요인과 하위요인을 계층화 하여 분석하였다. AHP에서 다수의 평가결과를 종합하는 방법 중 하나인, 수치통합방법에서 각 평가자의 평가 결과를 기하평균한 후 이를 원소로 하는 단일 쌍대비교행렬을 구성하는 방법을 채택하였다. 각 개별 설문 시 일관성 지수(Consistency) 값이 0.1 미만이 되도록 설계하여 설문 응답의 채택률을 높였으며, 분석 프로그램은 Super Decision을 사용하였다.

## 4. 실증분석

### 4.1 상위요인 중요도 분석결과

본 연구에서는 AHP 설문지와 전문가 인터뷰를 통해 스마트 공급망 구축시 IoT가 영향을 미치는 모든 요소와 하위 요소의 순위를 분석하여 <Table 5>에 나타내었다. 이 순위는 영향 요인의 상대적 중요성을 서

〈Table 5〉 AHP Weights and the Ranking Levels of Main and Sub Factors

Main variables	Sub-variables	Local Weights	Global Weights
Connectivity 0.24	Compatibility	0.24	0.0576
	Standardization	0.29	0.0696
	Easy of Use	0.09	0.0216
	Security	0.22	0.0528
	Reliability	0.16	0.0384
Intelligence 0.11	Artificial intelligence	0.45	0.0495
	Cloud computing	0.28	0.0308
	Blockchain	0.26	0.0286
Value 0.21	Market demand	0.41	0.0861
	Convenience	0.28	0.0588
	Performance	0.31	0.0651
Technology 0.29	IT Infrastructure	0.28	0.0812
	Data Management	0.23	0.0667
	Device	0.25	0.0725
	Energy Consumption	0.24	0.0696
Operation 0.15	Synchronization	0.43	0.0645
	Customer value enhancement	0.21	0.0325
	Cost	0.36	0.0541

로 비교하여 나타냈으며, 이는 기업의 IoT 전문가 및 마케팅 관리자에게 명확한 가이드라인을 제공하게 될 것이다. 가장 중요한 것부터 가장 덜 중요한 것까지 주요 요소의 순위는 “기술”(w=0.29), “연결성”(w=0.24), “가치”(w=0.21), “운영”(w=0.15), “인텔리전스”(w=0.11) 순으로 나타내었다.

위의 AHP 결과를 바탕으로 볼 때, “기술”, “연결성” 및 “가치”의 주요 요소가 “운영” 및 “지능” 요소보다 상대적으로 더 중요하다고 나타났다. 본 연구의 전문가들이 무형의 요소(운영 및 인텔리전스)보다 유형의 요소(기술, 가치 및 연결성)를 더 중요하게 고려하고 있음을 나타낸 것이다.

유형적인 측면에서 기업이 IoT 시스템을 구축해야 한다면 먼저 기술적인 측면을 먼저 고려하는 것이 필수적이다. 둘째는 IoT의 호환성, 사용의 용이성, 보안, 신뢰성 등을 살펴보아야 한다. 셋째는 결과적으로 기업은 IoT 기술을 활용하여 IoT 사물과 시설 간 지속적인 통신을 해야 한다. 유형적 요소가 잘 확립된 후 기업은 IoT 시스템이 더욱 현실적이고 지능적으로 보이도록 무형적 요소의 기술을 고려해야 한다.

## 4.2 하위요인 중요도 분석결과

### 4.2.1 연결성(Connectivity)

본 연구에서는 IoT 사물과 IoT 장치 간의 통신을 하는 연결성에는 “호환성”, “표준화”, “사용 용이성”, “보안”, “신뢰성” 5가지 하위 요소로 구성 되었다. AHP 분석에 따르면 가장 중요한 것부터 가장 덜 중요한 것 순으로 이러한 하위 요소의 순위는 “표준화”(w=0.29), “호환성”(w=0.24), “보안”(w=0.22), “신뢰성”(w=0.16), “사용용이성”(w=0.09) 순으로 보여주고 있다. 결과는 다양한 IoT 기기와 품목 간에 변경 가능하고 호환 가능한 데이터를 변환하는 것이 IoT 연결의 가장 중요한 하위 요소임을 보여준 것이다. 성공적인 IoT 연결을 완료한 후에는 사용자를 위한 IoT 운영 인터페이스를 IoT 장치와 통합하고 IoT 장치와 개체 간에 다양한 유형의 데이터를 전송할 때 보안도 중요하다는 것을 보여 주고 있다.

### 4.2.2 인텔리전스(Intelligence)

인텔리전스란 운영자가 IoT 기계에서 정보를 가져

오거나 작업을 완료하기 위해 지시를 내리고자할때 IoT 기계구조를 이해하는 정도를 말한다. 본 연구에서 “인텔리전스”의 주요 요인으로는 “인공지능”, “클라우드 컴퓨팅”, “블록체인” 3가지를 하위요인으로 하였다. AHP 분석을 바탕으로 가장 중요한 하위 요소의 순위가 “인공 지능”(w=0.45), “클라우드 컴퓨팅”(w=0.28), “블록체인”(w=0.26) 순으로 나타났다. 결과는 IoT 네트워크에서 지능형 통신을 가능하게 하는 알고리즘 접근 방식을 구축하는 것이 IoT 인텔리전스의 가장 중요한 하위 요소임을 보여주고 있다. 지능형 통신을 가능하게 하는 알고리즘 접근 방식을 성공적으로 구축한 후에 대화형 방식을 사용하여 문제를 해결하고 고객과 서비스를 제공하며, 방대한 양의 데이터를 지속적으로 운영하고 최종 사용자를 위해 다른 IoT 요소를 연결하는 것을 고려해야 한다.

#### 4.2.3 가치(Value)

가치란 IoT 기술을 활용하는 사용자들의 주관적인 의견을 의미한다. 본 연구에서 “가치”의 주요 요인으로는 “시장수요”, “편의성”, “성과”의 3가지를 하위요인으로 설정하였다. AHP 분석에 따르면 가장 중요한 것부터 가장 덜 중요한 것 순으로 하위 요소의 순위는 ‘시장 수요’(w=0.41), ‘성과’(w=0.31), ‘편의성’(w=0.28)으로 보여 주고 있다. 그 결과, 시장에서의 IoT 도입에 대한 고객의 요구를 인지하는 것이 IoT 가치의 가장 중요한 하위 요소임을 보여준다. 시장에서 IoT 도입 수요를 확보한 후에는 직원들이 IoT 기기나 제품을 활용해 시간과 에너지를 절약하고 직원들이 IoT 환경에서 일할 수 있도록 하는 방안도 고려해야 한다.

#### 4.2.4 기술(Technology)

기술은 센서 계층, 전송 계층, 플랫폼계층, 애플리케이션 및 서비스 계층의 네 가지 수준으로 나눌 수 있다. 센서 계층은 데이터와 정보를 수집하는 것으로 센서와 칩, 스마트 단말, IoT 스마트 단말에 적용된 운영체제 및 소프트웨어, 단말 장치를 지원하고 분석하는 AI 알고리즘/솔루션과 같은 기본 구성요소를 포함하고 있다. 본 연구에서 “기술”의 주요 요인으로는 “IT 인프라”, “데이터관리”, “장치”, “에너지 소비” 4가지를

하위요인으로 설정하였다. AHP 분석에 따르면 가장 중요한 것부터 가장 덜 중요한 것 순으로 하위 요소의 순위는 ‘IT 인프라’(w=0.28), “장치”(w=0.25), “에너지 소비”(w=0.24), “데이터 관리”(w=0.23) 순으로 보여 주고 있다. 기술과 서비스 측면에서 현재와 앞으로의 추진방향을 예상하면 기술은 자율형 IoT 기술로, 서비스는 사람 개입이 최소화된 서비스로 발전할 것으로 예상된다.

#### 4.2.5 운영(Operation)

운영은 IoT 장치로 인해 직원과 최종 사용자(고객)가 느끼는 주관적인 감정을 말한다. 본 연구에서는 “운영”의 주요 요인으로는 “동기화”, “비용”, “고객가치 향상”의 세 가지 하위 요인으로 하였다. AHP 분석에 따르면 가장 중요한 것부터 가장 덜 중요한 것 순으로 하위 요소의 순위는 “동기화”(w=0.43), “비용”(w=0.36) 및 “고객가치 향상”(w=0.21)이다. 결과는 작업 정보를 클라우드에 저장하고 동기화하는 것이 보통의 IoT 운영의 가장 중요한 하위 요소임을 보여주고 있다. 작업 정보를 성공적으로 저장하고 동기화한 후에는 IoT 장비 또는 운영자의 작업을 조인하고 다양한 장소에서 IoT 장비 또는 운영자의 성능을 실시간으로 감독 운영하여 지불한 비용보다 우수한 성능이 발휘 되어 최종 사용자(고객)에게 가치를 향상시켜 주어야 한다.

### 5. 결론 및 시사점

사물인터넷은 다양한 종류의 센서들이 포함된 사물인터넷 장치 기술에서부터 시작되었다. 네트워크 계층에서 제공하는 여러 통신 기술을 통하여 사물인터넷 장치들은 서로 연결되어 상호작용하며, 사물인터넷 장치에서 발생하는 데이터들은 플랫폼 서버로 전달된다. 플랫폼 서버는 인공지능 및 빅데이터 기술을 활용하여 센서로부터 수집한 데이터를 수집, 분류, 분석하여 의미 있는 정보를 생성한다. 이론 가공되어 제공되는 정보들은 다양한 형태의 서비스로 이어져 사물인터넷 서비스 기술이 점점 지능화되고, 나아가 자율화 단계까지 진화하고 있다. 이러한 사물인터넷 서비스 기술의 진화에 따라 사물인터넷 장치의 지능화 및 자율화가 요구되어 디바이스 기술도 같이 발전하고 있다.

이러한 스마트 기술은 AI 기술, 알고리즘, 빅데이터 분석 등을 포함하여 사물에 인지적 인식을 제공하는 기술이 되어 다양한 분야에 적용되고 있다. 사물인터넷(IoT)을 비롯한 빅데이터, 블록체인, 인공지능은 전통적인 공급망 프로세스에 새로운 혁신을 가져올 수 있는 스마트 기술로 발전되어 가고 있다. 이러한 기술은 기업조직과 공급망의 모든 자원을 연결함으로써 인더스트리 4.0과 제조의 효율성과 경쟁력을 향상시키고 있다. 스마트 공급망은 디지털로 모든 것이 연결되는 기술적, 전략적 변화를 적극 수용하여 실시간 정보 공유 및 의사결정을 통한 공급 사슬 전체의 효율적 관리에 초점을 맞추고 있다는 점에서 기존의 공급망과는 차별화된다고 볼 수 있다. 특히, 최근 공급망을 둘러싼 불확실성이 급격히 증가함에 따라 공급망 가시성 확보와 리스크 관리가 매우 중요한 이슈로 등장하고 있다는 점에서 스마트 공급망 구축의 필요성이 더욱 증대되고 있다. 공급망 가시성 확보는 전체 공급망에서 발생하는 문제를 실시간으로 파악하는 것이 목표이며, 리스크 관리의 불확실한 경영 환경에서 문제가 발생하지 않도록 예방하는 활동과 문제 발생 시 이에 대한 유연한 대응이 목표다.

본 연구에서는 이러한 스마트 공급망 구축을 위해 핵심기술에 하나인 지능형 IOT 기술이 적용되어질 때 영향을 줄수있는 주요 요인들을 선정하고 주요요인들을 상위요인과 하위요인으로 계층화하여 상대적인 중요성을 측정하였다. 비록 기업이 IoT 개발은 비교적 새로운 개발과 설계에 해당되지만, 대부분의 기업은 전략적인 로드맵, 서비스 운영의 개선과 가시성, 새로운 비즈니스 모델, 제품 및 서비스 제공에 초점을 맞추고 있다. 이러한 모든 개선과 개발은 IoT 도입이 유형적인 요소와 무형적인 요소에 어떻게 영향을 받는지에 대한 보다 분명한 그림에 기반해야 한다. 본 연구에서는 IoT의 효과성을 두 가지지 유형적인 그리고 무형적인 차원으로 분류하였다. 먼저 유형적인 차원에는 “연결성”, “가치”, “기술” 요인이 포함되어 있고, 무형적인 차원에는 “인텔리전스”와 “운영” 요인이 포함되어 있다. AHP 분석 결과, 유형적인 차원이 무형적인 차원보다 더 중요하다는 것을 알 수 있었다. 왜냐하면 무형적인 차원의 구축은 유형적인 차원의 성공적인 실행에 기반을 두고 있기 때문이다.

본 연구를 통하여 스마트 공급망 구축시 IoT 효과

성을 향상시키기 위해 인터넷 연결성과 운영을 보다 신중하게 개선시키고 인터넷 연결성이 상당히 양호한 수준에 도달한 후에 이를 강화된 IoT 보안과 결합하여 IoT의 효과에 강력한 영향을 미치는 것이 중요하다고 말할 수 있다. 또한 장치 호환성과 표준화도 성공적인 인터넷 연결성을 구축하는 동안 강력히 고려해야 한다. 이 연구에서스마트 공급망 구축시 고려해야할 주요 발견점은 다음과 같다: (1) IoT 환경에서, 장치 호환성과 IoT 센서 네트워크를 개선하면 초기 단계에서 인터넷 연결성의 효과를 증가시킬 수 있다. 그러나 기업은 계속해서 장치 호환성과 센서 네트워크를 개선하여 우수한 인터넷 연결성의 궁극적인 목표에 도달해야 한다. (2) IoT 운영에 있어서 우수한 성능을 얻으려면 작업 정보의 동기화와 IoT 장비의 작동 조업을 구현하는 것이 스마트 공급망의 두 가지 주요 과제이다. (3) 스마트공급망의 IoT 지능을 향상시키는 것을 고려할 때, AI는 클라우드 컴퓨팅보다 중요하다. 왜냐하면 AI는 일반적으로 장치를 지능적으로 만들기 위해 복잡한 알고리즘을 구축하고, 클라우드 컴퓨팅은 주로 하드웨어 인프라에 기초하기 때문이다.

본 연구의 질문 조사와 전문가 인터뷰는 정보통신기술진흥센터(IITP)에 등록된 과제 평가위원 중 ‘사물인터넷’ 분야 전문가를 주로 대상으로 하였기 때문에, 이 연구의 한 가지 한계점이 있다. 앞으로 기업에 종사하는 전문가, 학계 전문가, 시스템통합 전문가 등 다양한 전문가들의 조사를 통해 본 연구에서 제시하는 모델을 업데이트하고 정제된 모델로 개발할 필요가 있다. 또한 서비스 산업, 의료 산업 또는 농업 산업, 유통산업 등 다른 산업들도 향후 연구에서 고려될 수 있다.

## References

- [1] Abdel-Basset, M., Manogaran, G., and Mohamed, M., “Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems”, *Future Generation Computer Systems*, Vol. 86, 2018, pp. 614-628. Available at <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.04.051>.

- [2] Anshari, M., Almunawar, M. N., Lim, S. A., and Al-Mudimigh, A., "Customer relationship management and big data enabled: Personalization & customization of services", *Applied Computing and Informatics*, Vol. 15, No. 2, 2019, pp. 94-101. Available at <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.05.004>.
- [3] Asghari, P. A. and Rahmani, M., and Javadi, H. H. S., "Internet of Things applications: A systematic review", *Comput. Network*, Vol. 148, 2019, pp. 241-261.
- [4] Balaji, M. S. and Roy, S. K., "Value co-creation with internet of things technology in the retail industry", *J. Mark. Manag.*, Vol. 33, No. 1-2, 2017, pp. 7-31.
- [5] Bulusu, N., Heidemann, J., and Estrin, D., "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices", *IEEE Personal Communications*, Vol. 7, No. 5, 2000, pp. 28-34.
- [6] Chang, Y., Dong, X., and Sun, W., "Influence of characteristics of the internet of things on consumer purchase intention", *Soc. Behav. Personal. Int. J.*, Vol. 42, 2014, pp. 321-330.
- [7] Desingh, V., "Internet of Things adoption barriers in the Indian healthcare supply chain: An ISM-fuzzy MICMAC approach", *The International Journal of Health Planning and Management*, Vol. 37, No. 1, 2021, pp. 318-351.
- [8] Dias, J. P., Restivo, A., and Ferreira, H. S., "Designing and constructing internet-of-Things systems: An overview of the ecosystem", *Internet of Things*, Vol. 19, 2022, Article 100529. Available at <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100529>.
- [9] Dijkmana, R. M., Sprenkelsa, B., Peeters, T., and Janssen, A., "Business models for the internet of things", *Int. J. Inf. Manag.*, Vol. 35, 2015, pp. 672-678.
- [10] Haddud, A., DeSouza, A., Khare, A., and Lee, H., "Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 28, No. 8, 2017, pp. 1055-1085.
- [11] Hahm, O., Baccelli, E., Petersen, H., and Tsiftes, N., "Operating systems for low-end devices in the internet of things: A survey", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 5, 2015, pp. 720-734.
- [12] Higginbotham, S., "The IoT's E-Waste Problem Isn't Inevitable", *IEEE Spectrum*, 2020, Available at <https://spectrum.ieee.org/the-iots-ewaste-problem-isnt-in-avoidable-home-scenarios>. In *Consumer Electronics (GCCE)*, 2015 IEEE 4th Global Conference.
- [13] Hoffman, D. L. and Novak, T., "Emergent Experience and the Connected Consumer in the Smart Home Assemblage and the Internet of Things", 2015, Available at <https://doi.org/10.2139/ssrn.2648786>, <https://ssrn.com/abstract=2648786or>.
- [14] Hsu, C. L. and Lin, C. C., "An empirical examination of consumer adoption of internet of things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives", *Comput. Hum. Behav.*, Vol. 62, 2016, pp. 516-527.
- [15] Hussain, M., Javed, W., Hakeem, O., Yousafzai, A., Younas, A., Awan, M. J., Nobanee, H., and Zain, A. M., "Blockchain-based IoT devices in supply chain management: A systematic literature review", *Sustainability*, Vol. 13, No. 24, 2021, p. 13646.
- [16] Jia, Y. J., Chen, Q. A., Wang, S., Rahmati, A., Fernandes, E., Mao, Z. M.,

- ... and University, S. J., "ContextIoT: Towards Providing Contextual Integrity to Appified IoT Platforms", In NDSS, 2017, Available at [http://www.ndss-symposium.org/wp-content/uploads/sites/25/2017/09/ndss2017\\_08-2\\_Jia\\_paper.pdf](http://www.ndss-symposium.org/wp-content/uploads/sites/25/2017/09/ndss2017_08-2_Jia_paper.pdf).
- [17] Kamble, S. S., Gunasekaran, A., and Sharma, R., "Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry", *Computers in Industry*, Vol. 101, 2018, pp. 107-119.
- [18] Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., and Joshi, S., "Modeling the internet of things adoption barriers in food retail supply chains", *Journal of Retailing and Consumer Services*, Vol. 48, 2019, pp. 154-168, Available at <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.020>.
- [19] Khan, M. A. and Salah, K., "IoT security: review, blockchain solutions, and open challenges", *Futur. Gener. Comput. Syst.*, Vol. 82, 2018, pp. 395-411.
- [20] Kim, D. et al., "Willingness to provide personal information: Perspective of privacy calculus in IoT services", *Comput. Hum. Behav.*, Vol. 92, 2019, pp. 273-281.
- [21] Kouhizadeh, M., Saberi, S., and Sarkis, J., "Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers", *International Journal of Production Economics*, Vol. 231, 2021, Article 107831, Available at <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>.
- [22] Kumar, A., Choudhary, S., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Rehman Khan, S. A., and Mishra, N., "Analysis of critical success factors for implementing Industry 4.0 integrated circular supply chain - moving towards sustainable operations", *Production Planning & Control*, 2021, pp. 1-15, Available at <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980905>.
- [23] Kumari, W. M. P., "Artificial intelligence meet internet of things", *Int. Res. J. Comput. Sci.*, Vol. 9, No. 4, 2017, pp. 51-55.
- [24] Lee, I. and Lee, K., "The internet of things (IoT): applications, investments, and challenges for enterprises", *Bus. Horiz.*, Vol. 58, No. 4, 2015, pp. 431-440.
- [25] Lu, Q., Chen, J., Song, H., and Zhou, X., "Effects of cloud computing assimilation on supply chain financing risks of SMEs", *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 35, No. 6, 2022, pp. 1719-1741, Available at <https://doi.org/10.1108/JEIM-11-2020-0461>.
- [26] Lucero, S., "IoT platforms: Enabling the Internet of Things", White paper, 2016 Available at <https://cdn.ihs.com/www/pdf/enabling-IOT.pdf>.
- [27] Lund, M. T., Aamaas, B., Stjern, C. W., Klimont, Z., Berntsen, T. K., and Samset, B. H., "Data collection - A continued role of Short-Lived Climate Forcers under the Shared Socioeconomic Pathways", *figshare, Dataset*, 2020, Available at <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11386455>.
- [28] Mckinsey, "The Internet of Things: Mapping the value beyond the hype", 2015 Available at [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking\\_the\\_potential\\_of\\_the\\_Internet\\_of\\_Things\\_Executive\\_summary.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business%20Functions/McKinsey%20Digital/Our%20Insights/The%20Internet%20of%20Things%20The%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/Unlocking_the_potential_of_the_Internet_of_Things_Executive_summary.ashx). Accessed on 23 June 2021.

- [29] Mikusz, M., Clinch, S., Jones, R., Harding, M., Winstanley, C., and Davies, N., "Repurposing web analytics to support the IoT", *Computer*, Vol. 48, No. 9, 2015, pp. 42-49.
- [30] Omolara, A. E., Alabdulatif, A., Abiodun, O. I., Alawida, M., Alabdulatif, A., and Arshad, H., "The internet of things security: A survey encompassing unexplored areas and new insights", *Computers & Security*, Vol. 112, 2022, Article 102494.
- [31] Perumal, T., Datta, S. K., and Bonnet, C., "IoT device management framework for smart", 2015, Available at Publication /vwLUAssets/EY\_-The\_internet\_of\_things\_in\_insurance/\$FILE/EY-theinternetof-things-in-insurance.pdf (accessed March 30, 2017).
- [32] Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M., "Low power wide area networks: An overview", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, No. 2, 2017, pp. 855-873.
- [33] Saaty, T. L., "A scaling method for priorities in hierarchical structures", *Journal of Mathematical Psychology*, Vol. 15, 1977, pp. 234-281.
- [34] Shuhaiber A. and Mashal, I., "Understanding users' acceptance of smart homes", *Technology in Society*, Vol. 58, 2019, p. 101110.
- [35] Singh, O., "Forecasting trends in the generation and management of hazardous waste", In *Hazardous Waste Management*, 2022, pp. 465-489.
- [36] Thilakarathne, N. N., Kagita, M. K., and Priyashan, W. D., "Green internet of things: The next generation energy efficient internet of things", In *Applied Information Processing Systems*, Springer, Singapore, 2022, pp. 391-402.
- [37] Vermesan, O. and Friess, P. (Eds.), "Internet of things: Converging technologies for smart environments and integrated ecosystems", River Publishers, 2013.
- [38] Wang, F., "Practical Research on Artificial Intelligence and Internet of Things in Smart Home", In *Innovative Computing*, Springer, Singapore, 2022, pp. 1793-1798.
- [39] Wang, J. X., Burke, H., and Zhang, A., "Overcoming barriers to circular product design", *International Journal of Production Economics*, Vol. 243, 2022, Article 108346.
- [40] Wang, Z., Liu, Y., Sun, Y., Li, Y., Zhang, D., and Yang, H., "An energy-efficient heterogeneous dual-core processor for Internet of Things", In *2015 IEEE international symposium on circuits and systems (ISCAS)*, IEEE, 2015, pp. 2301-2304.
- [41] Wu, J., Chen, J., and Dou, W., "The internet of things and interaction style: The effect of smart interaction on brand attachment", *J. Mark. Manag.*, Vol. 33, No. 1-2, 2017, pp. 61-75
- [42] Wu, L., Lu, W., Xue, F., Li, X., Zhao, R., and Tang, M., "Linking permissioned blockchain to Internet of Things (IoT)-BIM platform for off-site production management in modular construction", *Computers in Industry*, Vol. 135, 2022, Article 103573.
- [43] Xing, K., Cropley, D. H., Oppert, M. L., and Singh, C., "Readiness for digital innovation and industry 4.0 transformation: Studies on manufacturing industries in the city of Salisbury", In *Business Innovation with New ICT in the*

- Asia-Pacific: Case Studies, Springer, Singapore, 2021, pp. 155-176.
- [44] Yu, Zhang, et al., "Circular economy practices and industry 4.0 technologies: A strategic move of automobile industry", *Business Strategy and the Environment*, 2022, Available at <https://doi.org/10.1002/bse.2918>.

## ■ 저자소개



Kun-Shik Cho

Kun-Shik Cho works as a Distinguished Professor in the Department of Business Administration at Halla University. He received his M.A. and Ph.D. from Kyungnam

University. His current research interests encompass North Korean Business and Economy, Smart Supply Chain Management and more.



Chul-Soo Park

Chul-Soo Park works as a Professor in the Department of Business Administration at Halla University. He received his M.S. and Ph.D. from the Business College at

KAIST. His current research interests encompass North Korean Business and Economy, Entrepreneurship Management, Big Data Analysis in Accounting and Finance, AI Applications in Management, Intellectual Capital, and more.