

# ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치의 시스템 운영 안전성 확보를 위한 연구

박재민\* · 김영민\*  
\*아주대학교 시스템공학과

## The Development of the System Operation Safety of Unmanned Parcel Storage System with ICT and Cold Chain Technology

Jae-Min Park\* · Young-Min Kim\*

\*Department of Systems Engineering, AJOU University

### Abstract

The development of technology related to the Fourth Industrial Revolution and the growth of the online market due to pandemic are continuing the growth of the logistics market for product delivery. If it is difficult to deliver the product directly to the customer during delivery, storage and delivery using the unmanned courier box are being carried out. However, existing storage boxes are not actively used due to lack of usability even though they have the advantage of storing goods and delivering non-face-to-face. In addition, existing courier boxes are not prepared for cold chain transportation. The unmanned delivery storage device with ICT cold chain technology should be developed to prepare for the transition to non-face-to-face society, to improve logistics efficiency and meet user's requirements. Also, it is necessary to consider the measures to reduce the safety problems that may occur during the use and maintenance of the automatic system. This study conducted a model-based analysis for the development of unmanned delivery storage devices with ICT cold chain technology, and conducted a study to derive the system development specifications that meet the requirements and secure safety and apply them to the development process.

**Keywords :** Model-based Systems Engineering, Safety Analysis, ICT Cold-Chain, Parcel Storage

### 1. 서론

4차 산업혁명 관련 기술의 발전은 물류 기술의 발전에도 많은 영향을 미치고 있다. 또한 코로나19로 인한 팬데믹으로 비대면 사회로의 전환이 가속화되었으며, 이로 인해 온라인 시장의 성장이 가속화되고 있다[1-2]. 모바일 쇼핑액도 지속적으로 증가하고 있으며, 온라인 쇼핑 거래 중 73.9%를 차지하고 있다[3]. 온라인과 모바일 시장의 거래액 증가로 상품을 배송하기 위한 물류 운송서비스 시장도 함께 성장하고 있다[4]. 고객에게 주문 받은 상품을 전달하기 위해 택배사를 통한 배송 서비스를 이용해야 한

다[5]. 팬데믹으로 인한 비대면 사회로의 전환과 고객에게 직접 배송이 어려운 경우에는 택배 보관함을 통한 배송도 이뤄지고 있다[6]. 최근에는 신선 및 냉동식품과 같은 저온 배송이 필요한 화물들도 운송되고 있으며, 이들을 배송하기 위해 콜드체인 배송 시스템이 이용되고 있다[7]. 콜드체인 관련 시장은 지속적으로 성장할 것으로 예상되지만[8] 신선 식품의 상태를 유지하기 위한 배송 시스템과 관련된 기술은 부족한 실정이다. 콜드체인 화물의 안정적인 운송과 화물의 상태 유지를 위해서는 실시간 관리를 위한 ICT 기술의 접목이 필요하다[9-10]. 물류 기업들은 신선식품을 목적지까지 온전하게 유지시킬 수 있는 콜

†본 연구는 산업통상자원부/한국산업기술평가관리원의 지원에 의하여 수행되었음(20014664).

†Corresponding Author : Young-min Kim, Systems Engineering, AJOU University, 206, World cup-ro, Suwon-si, Gyeonggi-do, E-mail: pretty0m@ajou.ac.kr

Received August 19, 2022; Revision September 13, 2022; Accepted September 15, 2022

드체인 보관 및 관리 기술을 위해 노력하고 있다[11-12]. 최근 배송의 효율성 향상을 위한 택배 보관장치 관련 기술들이 개발되고 있지만[13] 개별 택배 물품 보관을 위한 연구에 집중되어 있다[14]. IoT 기술을 접목한 택배물품 보관장치에 대한 연구도[15] 수행되었지만 보안성에 집중되어 있었다. 택배 보관함과 관련된 연구 사례들은 대부분 기능 구현에 집중되어 있었으며, 콜드체인 상품의 보관을 위한 기술을 고려한 연구는 부족한 실정이다.

연구의 대상인 ICT 콜드체인 기술이 접목된 무인 택배물품 보관장치는 대부분의 작동을 장치 스스로 수행해야 하기 때문에 기존의 택배 보관함과는 다르게 정밀한 시스템 사양 구축이 필요하다. 또한 기존의 택배 보관함은 사용자들에게 활용되지 못하는 문제를 가지고 있어[16] 시스템 분석을 통한 사용성을 충족하는 성능 요구사항 도출과 화물의 온전한 배송과 자동화 시스템의 안정적인 작동을 위한 안전성이 확보된 장치 개발을 위한 연구가 필요하다.

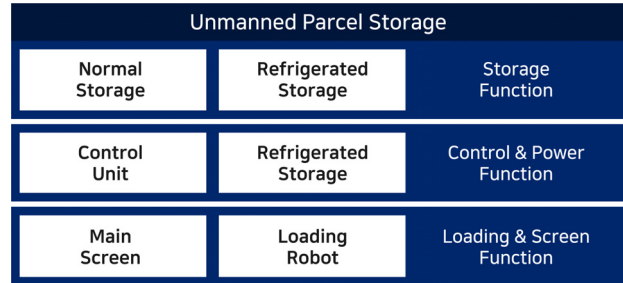
## 2. 문제의 정의

### 2.1 ICT 콜드체인 기반 무인 택배물품 보관장치

ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치는 실내와 실외 환경에 설치되어 택배 물품을 보관하고 전달하는 장치이다. 기존 보관함과의 기능적 차별점은 투입된 화물을 내부의 로봇을 이용하여 자동으로 적재한다는 것이며, 적재 과정에서 화물의 높이를 반영한 능동형 적재가 가능하여 적재 효율성 향상이 가능하다는 점이다. 또한 일반 보관함과 다르게 콜드체인 기술을 적용하여 저온 상품의 보관이 가능하다는 차별점을 가지고 있으며, 이는 택배 운송 중 고객에게 원활한 전달이 되지 않을 경우 발생할 수 있는 상품의 손상을 최소화하고 온전한 상태의 상품을 고객에게 전달할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 개발 중인 무인 택배물품 보관장치는 ICT 기능이 적용되어 장치 내부의 화물 정보를 플랫폼에 전송하고 관리자와 택배 기업, 사용자가 화물의 정보를 실시간으로 확인할 수 있도록 하는 다양한 기능을 수행하는 장치이다.

기존에 사용되고 있는 택배 보관함은 투입된 물품의 보관을 위한 기능만이 적용되어 있으며, 택배 보관함의 사용성 개선을 위한 보관 시스템 개발에 대한 연구가 수행되었으나 물품 보관을 위한 시스템 개념에 집중되어 있었다[17]. IoT 기능이 적용된 스마트 택배함에 대한 연구도 수행되었으나 화물의 인식과 송장 정보 확인에 집중되어 있었다[18]. 본 연구의 대상인 ICT 콜드체인 기술이 적용

된 무인 택배물품 보관장치는 기존의 장치들과 차별화되는 기능들이 적용되며, 시스템 개발과 구현을 위해 관련 시스템에 대한 분석과 정의를 수행해야 한다. 연구의 대상인 무인 택배물품 보관장치는 [Figure 1]과 같은 요구 기능들이 성능을 충족하도록 설계되어 개발되어야 한다.



[Figure 1] Functional Composition of Unmanned Parcel Storage System

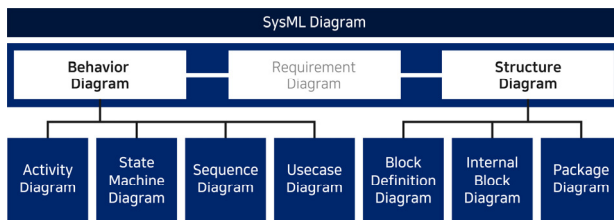
또한 <Table 1>과 같이 연구의 대상인 ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치는 기존의 장치와는 구분되는 다양한 기능들로 구성된다. 기존의 택배 보관함이 보관만을 위한 기능을 위해 개발되었다면 연구의 대상인 무인 택배물품 보관장치는 물품의 보관 효율성 향상과 상태 유지 확보를 위한 기능들이 적용되어 복잡한 시스템 기능들로 구성되며, 이에 대한 식별과 정의가 수행되어야 한다. 각기 다른 역할을 수행하는 시스템들을 하나의 목적으로 작동하는 시스템으로 구축하기 위해 대상 시스템에 대한 모델 기반 시스템 공학(Model Based Systems Engineering) 관점의 접근과 분석[19]을 기반으로 하는 연구가 수행되어야 한다.

<Table 1> Technical differences between existing and research target devices.

Function	Normal parcel box	Unmanned parcel storage
Normal Storage	O	O
Cold parcel storage	X	O
Parcel monitoring	X	O
Parcel checking	X	O
Automatic load	X	O
Customized load	X	O
Noncontact use	X	O
Application use	X	O
Online Reserve	X	O
ICT Platform	X	O

## 2.2 모델 기반 시스템 분석

4차 산업혁명과 기술의 발전으로 시스템의 복잡도가 증가하고 있으며, 목표 달성을 위한 대형 시스템들이 증가하고 있어 안전과 관련된 모든 과정이 설계 초기부터 폐기에 이르는 전 수명주기 과정에 반영되어야 한다[20]. 모델 기반 시스템 공학 관점의 분석은 시스템의 복잡성에 대응하고 시스템 운영에 영향을 미칠 수 있는 요소를 정의할 수 있도록 지원하여 시스템의 필수적인 측면을 고려한 결과 도출이 가능하도록 하는 시스템 공학 기법이다[21]. 특히 시스템 운영과 안전성은 직접적으로 연결되는 부분으로 안전 문제가 발생할 수 있는 시스템을 대상으로 시스템 공학과 모델 기반 관점을 적용한 연구들도 수행되었으며[22], 모델 기반 분석에 활용되는 SysML (Systems Modeling Language)은 시스템을 다양한 관점으로 분석하고 시각화하여 시스템 개발과 구축에 효율적인 지원이 가능한 방법이다[23].



[Figure 2] Systems Modeling Language(SysML)

SysML은 [Figure 2]와 같이 시스템 개발과 구축을 효율적으로 지원하기 위해 개발되었으며[24], 모델 기반 분석은 시스템의 명확한 정의를 위해 구조적(Structure) 관점과 거동적(Behavior) 관점을 기반으로 대상 시스템을 분석하며, SysML을 통해 결과를 도출하는 것이 가능하다. ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치와 같이 기존 기술과 차별화되고 유사한 구성의 시스템이 존재하지 않는 시스템의 작동을 위해 시스템 공학 관점의 모델 기반 분석과 SysML을 적용하는 것이 적합하다[25].

## 2.3 시스템 안전성 향상을 위한 연구

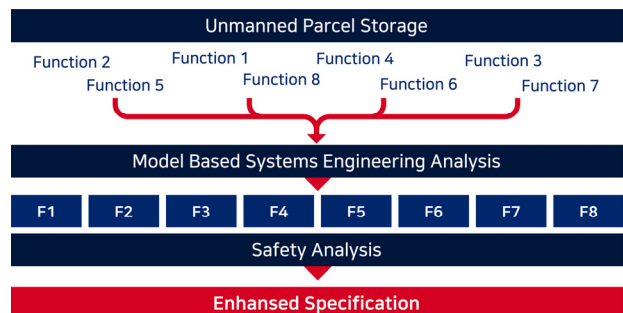
시스템 구축과 개발을 위해 모델 기반 접근을 적용한 관련 연구들이 선행되었다. 시스템 모델 기반 성능시험 및 안전기준 요구사항과 관리체계 구축에 관한 연구가 수행되었지만[26] 시스템을 대상으로 하는 체계 구축을 위한 구조적 접근과 전산 지원 도구의 필요성과 추적성에 집중되어 있었다. 모델 기반 안전 중요 시스템 공학에 대한 안전 구축, 요구사항 사용 및 모델 개발과 설계를 검증하는

연구가 수행되었으나 프로세스에 집중되어 있었다[27]. 모델기반 시스템 엔지니어링을 기반으로 안전 및 신뢰성 분석 통합에 대한 연구도 수행되어 [28], 모델 기반 분석이 시스템 개발에 적합하다는 결론을 도출하였으나 방법론에 집중되어 있다는 한계를 가지고 있었다. 시스템 개발을 위해 SysML과 안전 분석을 통합하는 연구도 수행되었으나[29] SysML 프로세스에 집중되어 있었다.

시스템의 안전성 향상을 위한 관련 선행 연구들은 모델 기반 시스템 공학적 분석을 통해 시스템을 개발하고 안전성을 확보하기 위한 연구를 수행했다. 하지만 대상 시스템 모델에 집중하기보다는 관련 연구와 방법론에 대한 분석과 개선 방안에 집중되어 있었다. 본 연구의 대상은 기존에 존재하지 않던 시스템으로 시스템 개발을 위해서는 보다 상세한 시스템 분석과 운영 과정에서 발생할 수 있는 위험 사항을 사전에 식별하고 사양에 반영하여 안전성을 확보하는 연구가 수행되어야 한다.

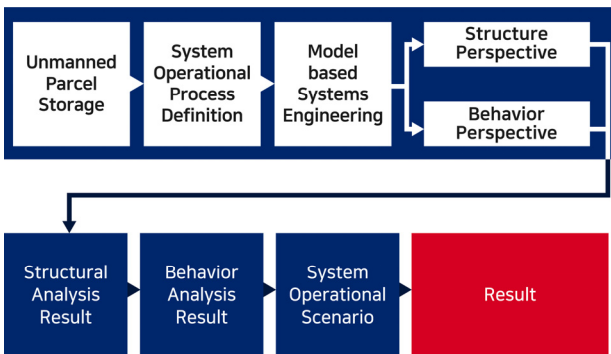
## 2.4 연구의 범위 및 접근 방법

본 연구는 개발 중인 ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치를 대상으로 시스템의 운영 안전성 확보를 위한 연구를 수행했다. 새로운 개념으로 개발되는 시스템을 기반으로 모델 기반 공학 관점의 분석과 안전성 분석을 수행하여 요구사항을 강화하고 안전성이 확보된 시스템으로 개발될 수 있도록 결과를 제안했다. 새롭게 개발되는 무인 택배물품 보관장치는 기존의 보관함들과 다르게 ICT 기술과 저온 보관을 위한 콜드체인 기술이 적용된다. 또한 온라인 플랫폼을 통한 장치의 관리와 관제 기술이 적용되어 단순한 보관함인 아닌 복합 기능을 가진 첨단 기술 적용 장치로 볼 수 있다. 이를 위해 개발 시스템은 각기 다른 기능을 수행하는 하부 시스템들로 구성되어 있으며, 시스템 간의 유기적 연동이 필요하다. 이를 위해 개발 시스템에 대한 기능 파악과 관련 사양의 명확화를 위한 분석이 선행되어야 한다.



[Figure 3] Necessity of applying the research method.

이를 위해 본 연구는 [Figure 3]과 같이 대상 시스템의 식별된 기능을 기반으로 시스템에 대한 모델 기반 프로세스 분석과 구조적, 거동적 관점의 분석을 수행하고 시스템의 복잡성에 대한 정의와 제어가 가능하도록 구성 요소를 식별하여 결과를 도출하는 과정을 수행했다. 이를 통해 시스템에 대한 이해를 높이고 연구의 결과를 기반으로 안전성 분석을 수행하여 위험 요인을 제거하는 강화된 시스템 사양을 도출하여 제안했다. 연구의 결과를 통해 시스템의 목표 기능을 충족 및 확대하고 안전성이 확보된 시스템으로 구성되는데 도움이 되고자 했다.



[Figure 4] Objective and perspective

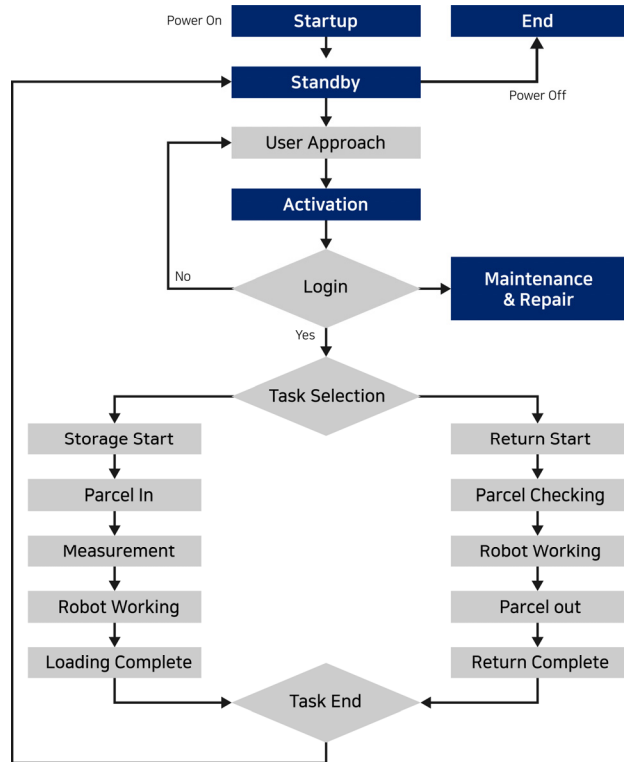
본 논문의 구성은 [Figure 4]와 같으며, 1장에서 연구의 배경과 기술 개발의 필요성에 대해 정의했다. 2장에서는 모델 기반 분석과 안전성 관련 선행연구들을 분석하였으며, 문제의 정의와 연구의 범위 및 방법을 구축했다. 3장에서는 모델 기반 분석을 수행한 결과를 도출하였으며, 안전성 분석을 수행하여 관련 결과를 도출했다. 4장에서는 연구의 결과를 정리하여 제안했다.

### 3. 모델 기반 시스템 분석 및 안전성 분석

#### 3.1 무인 택배물품 보관장치 프로세스 분석

ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치는 다양한 사용자와 관리자에 의해 이용되며, 사용자는 일반 고객 사용자와 택배 운송 작업자로 구분할 수 있다. 관리자는 현장 관리와 유지 보수를 위한 관리자로 구분할 수 있으며, 각 관리자의 수행 역할이 다르게 구분된다. 연구의 대상 시스템에 대한 분석과 정의를 위해 사용자와 장치를 고려한 프로세스 분석을 수행하였으며, 도출된 프로세스는 물품 보관을 위해 작동하는 장치의 관점을 중심으로 분석했다. 장치의 운영과 관련하여 물품의 보관과 전달 그리고 장치의 기능 유지를 위한 유지보수와 관련된 사항을

고려한 구성 결과를 [Figure 5]와 같이 정의했다. 장치를 중심으로 사용과 관련된 사항을 분류한 각 단계에 대한 정의는 <Table 2>와 같다.



[Figure 5] Operational process and definition

<Table 2> Operational process analysis and definition

No	Step	Function
1	Startup	The power source of the apparatus is connected and the state performing the operation preparation.
2	Standby	Standing by after the operation is ready.
3	Activation	The state where the apparatus performs the keeping and transmission function of parcel.
4	Maintenance and Repair	Operational standby state for maintenance of the device.
5	End	The power source of the apparatus is released and operation is terminated.

ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치는 시동, 대기, 작동, 유지보수, 종료의 프로세스로 구성되며, 시동과 종료는 장치의 작동과 종료를 위해 수행되는 단계이기 때문에 실제 장치의 주요 작동과 관련된 프로세스는 대기, 작동, 유지보수 단계이다. 이중 유지보수 단계의 경우 장치에 문제가 발생하거나 내부의 택배 물품의 회수가 필요한 경우에만 수행되는 과정으로 연구의 대상 장

치가 주로 수행하게 되는 과정은 대기와 작동 단계이다. 연구를 통해 장치의 작동과 관련된 사용자와 작동 수행 프로세스를 정의하였으며, 이를 통해 시스템에 대한 정의와 분석에 활용 가능한 결과를 도출했다. 정의된 프로세스를 기반으로 시스템 모델을 중심으로 하는 분석 과정을 수행했다.

### 3.2 모델 기반 관점의 시스템 분석

ICT 콜드체인 기반의 무인 택배물품 보관장치의 운영 프로세스 분석을 통해 장치의 작동과 운영 관련 사항을 정의했다. 이를 기반으로 시스템 공학의 모델 기반 관점의 분석을 수행하였으며, 개발 시스템을 대상으로 하는 구조와 작동 기능을 정의했다. 구조적 관점의 분석을 통해 시스템의 전체 구성과 하부 시스템에 대한 정의를 수행하였으며, 거동적 관점의 분석을 통해 장치의 기능 정의와 작동 순서에 대한 식별과 구분 과정을 수행했다. 구조적 관점에서 시스템을 분석하여 Block definition diagram으로 도출한 결과는 [Figure 6]과 같으며, 장치의 작동과 기능 구현을 위해 시스템을 구성하는 서브시스템들에 대해 정의하여 서브시스템을 표시부, 제어부, 결제부, 보관부, 냉장부, 출입부, 로봇부, 전력부, 외장부의 총 9가지로 구분했다. 정의된 서브시스템들은 해당하는 기능의 수행과 물품의 보관과 전달이라는 시스템의 목적 달성을 위해 연동되어 작동되는 구조로 구성했다.

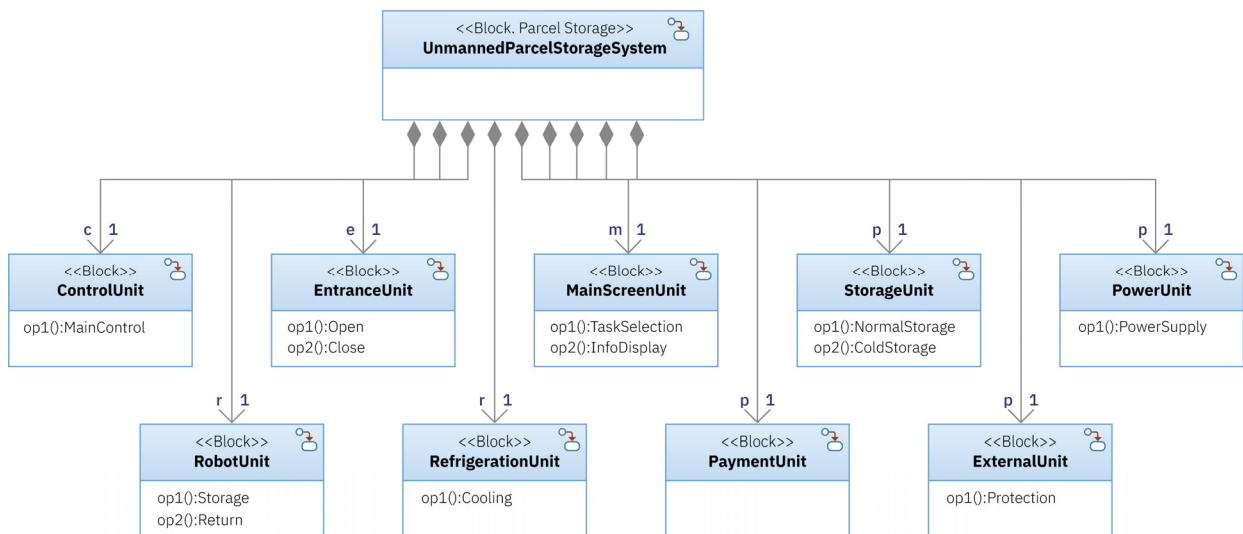
도출된 결과를 통해 장치 간의 관계와 인터페이스를 식별하고 전체 시스템 작동을 위해 필요한 세부 사항들에 대해 파악했다. 전용 온라인 플랫폼에 의해 운영되는 ICR 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치는 장치의 작동과 관련하여 다양한 기능을 수행한다. 이를 위해

모델 기반 분석의 거동적 관점으로 장치의 기능 분석을 수행하였으며, <Table 3>과 같이 구조적 관점을 통해 도출된 결과를 기반으로 시스템과 서브시스템의 기능을 정의하였으며, [Figure 7]과 같이 Activity diagram을 통해 장치의 작동을 위한 사항과 과정을 정의했다.

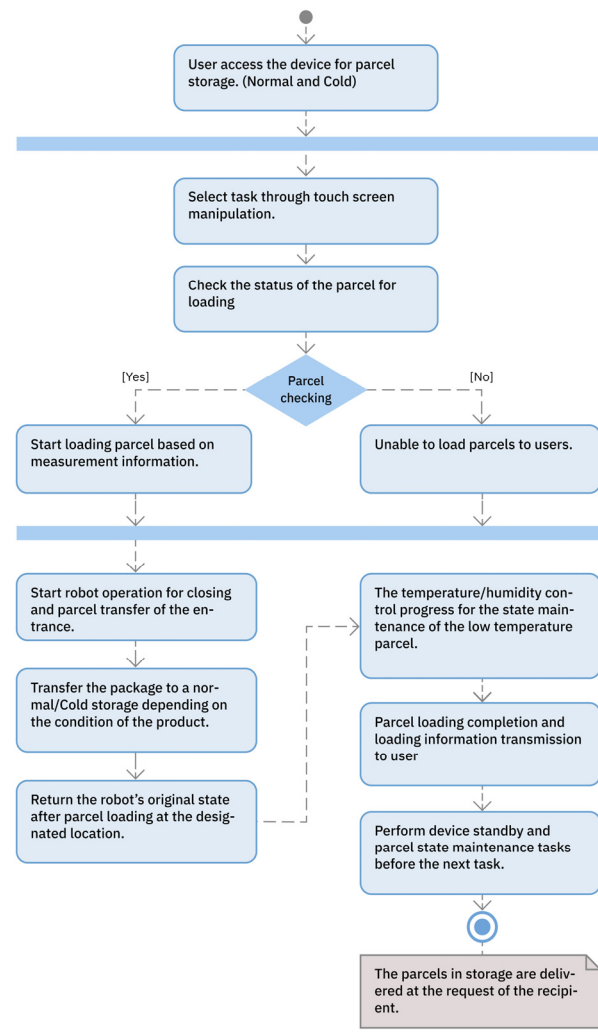
<Table 3> Function definition of unmanned parcel storage system

Level	Division	Function
System	Unmanned parcel storage system	Storage of normal and cold parcel (Realtime parcel checking)
Sub System	Control unit	Device control and information transmission and reception
	Robot unit	Parcel transfer and loading
	Entrance unit	parcel access passage
	Refrigeration unit	Refrigeration function performance.
	Main screen unit	Device Operation and Information Confirmation
	Payment unit	Cost payment
	Storage unit	Storage of normal and cold parcel
	External unit	Parcel and device protection.
	Power unit	Power supply

모델 기반 관점 분석을 통해 시스템을 대상으로 하는 프로세스와 시스템의 구조와 관계 구성, 작동을 위한 기능 수행 과정에 대해 정의하였으며, 이를 기반으로 시스템에 대한 안전성 확보를 위한 분석과 연구를 수행했다.



[Figure 6] Block definition diagram



[Figure 7] Activity diagram

### 3.3 모델 기반 시스템 안전성 분석

모델 기반 관점의 분석과 장치 기반의 프로세스 정의를 통해 시스템의 구성과 운영 사항에 대해 정의했다. 연구를 통해 도출된 결과를 기반으로 시스템의 안전성 향상을 위한 안전성 분석을 수행하였으며, 개발 중인 시스템의 운영과 관련된 예비 위험 분석에 적합한 PHA(Preliminary Hazard analysis)를 적용하여 결과를 도출했다. PHA는 시스템, 프로세스의 작동과 관련된 위험과 잠재적 위험을 식별하고 분류할 수 있는 시스템 안전 분석 방법이다 [30-31]. PHA의 적용을 통해 위험원을 분석하고 정의하여 식별된 위험 요소를 제거 또는 감소시키기 위한 안전 대안을 도출하여 제안했다. 대상 시스템은 물품의 온전한 보관이라는 목표 달성을 위해 개별적인 기능을 수행하는 서브시스템들이 구성되어 있으며, 유기적으로 연결되어 있다. 또한 대부분의 작업을 자동화 장치로 수행하기 때문에 안정적인 운영을 위해서는 안전성과 관련된 분석과 결

과가 필수적으로 시스템 개발에 적용되어야 한다. 이를 위해 연구의 분석 결과를 기반으로 안전성 분석을 수행하였으며, PHA의 분석 기준을 통해 Task, Hazard, Cause, Effect 관련 사항을 도출하고 식별된 위험을 저감시킬 수 있는 Preventive action 사항을 도출했다. PHA를 활용한 안전성 분석을 위한 PHA Worksheet를 기반으로 도출된 결과는 <Table 4>와 같다.

### 3.4 안전성 분석 결과를 통한 시스템 개발

ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치에 대한 안전성 분석 결과를 기반으로 개발 중인 시스템에 적용하기 위한 제안 사항을 도출했다. 모델 기반 분석을 기반으로 정의된 사항의 Task를 기반으로 하는 Hazard와 Preventive action 방안을 도출하였으며, 문제가 발생할 수 있는 대상 시스템을 함께 정의하여 위험 저감 방안을 적용할 수 있도록 했다. 안전성 분석 결과의 저감 방안을 기반으로 개발 중인 시스템에 이를 대응하는 기능과 방법을 시스템 사양에 반영하기 위한 정의 결과를 도출하였으며, 실제 시스템 개발에 적용했다. 분석 결과 대상 시스템은 물품의 적재를 위한 대부분의 과정을 내부에 위치한 자동화 장치인 로봇이 수행하기 때문에 로봇으로 인한 위험 발생 관련 사항이 확인되었으며, 화물 출입구와 저온 보관함에서도 문제를 발생시킬 수 있는 위험원을 식별했다. 정의된 각 위험 상황은 대부분 화물의 손상과 장치의 내부 손상으로 이어질 수 있어 반드시 이에 대한 대책이 반영되어야 한다. 또한 유지보수 과정 중 발생하는 위험 상황은 심각한 경우 작업 중인 작업자에게 상해를 입힐 수 있어 이에 대한 대비 방안이 시스템에 적용되어야 한다.

연구를 통해 제안된 안전 관련 제안 사항은 식별된 위험원을 제거할 수 있도록 관련 해결 방안을 <Table 5>와 같이 제안하였으며, 개발 중인 시스템의 사양에 이를 반영했다. 위험에 따른 원인과 결과를 파악하여 이를 개선한 시스템 사양은 [Figure 8]을 통해 확인할 수 있다.

Analysis Result		
Previous		Enhanced Specification
Entrance Unit	Height only	1. Additional application of weight sensor 2. Add a horizontal measurement laser sensor
Robot Unit	None	1. Add system stop sequences when abnormal occurs 2. Emergency stop button application (In & Out)
Refrigerator Unit	Total : 7	1. Apply individual temperature sensors to refrigerated storage racks (Total : 14)
Storage Unit	None	1. Apply individual temperature sensors to storage rack (Total : 7)
External Unit	None	1. Applying parcel shelf (New Design application) 2. Structure enhancement (Max weight : 50kg)

[Figure 8] System specification enhancement result

<Table 4> Safety analysis result and preventive action

Task	Hazard	Cause	Effect	Preventive action	Subsystem
Storage Start	Damage to the parcel rack.	Lack of load support.	User injury or device damage.	Structural reinforcement for load support of the parcel support.	External unit
Parcel in	Closed door during parcel input.	Parcel entrance sensor malfunction.	Parcel and device damage.	Apply parcel entry detection sensor.	Entrance unit
Measurement	Parcel size measurement error.	The cargo loading box designation or the input not righting for the size.	Parcel loading work is not possible or parcel damage is done during parcel loading.	Application of sensor reinforcement and alternative systems to correspond to errors for parcel measurement.	Entrance unit
Robot working	Robot malfunction occurred during loading.	Robot sensor malfunction or failure.	Damage to parcel and internal devices.	Add emergency stop function and reinforce sensor function in robot malfunction.	Robot unit
Loading complete	The low temperature goods is in thrown in the general storage rack.	User's information input mistake.	Damage to parcel and internal devices.	Secondary parcel confirmation through temperature sensor application is required.	Storage unit
Loading complete	Refrigeration function problem.	The malfunction caused by the failure of the cooling maintenance device.	Damage to refrigerated storage products.	It informs in the refrigeration system problem occurrence the emergency and it refrigerates the normality, the goods transfer.	Refrigerator unit
Maintenance & Repair	Operation during device repair.	Device recognition error.	Worker injury or device damage.	Set up a working political sequence during work and apply an emergency stop button.	Robot unit

<Table 5> Design reflection based on preventive action

Object	Preventive action	Design reflection
External unit	Structural reinforcement for load support of the parcel support.	Applying a design structure to support parcel and improve user convenience.
Entrance unit	Apply parcel entry detection sensor.	Applying the door operation prevention function through the cargo entry detection sensor addition and weight sensing.
	Application of sensor reinforcement and alternative systems to correspond to errors for parcel measurement.	Sensor reinforcement application for parcel height and external measurement.
Robot unit	Add emergency stop function and reinforce sensor function in robot malfunction.	Add a sequence that immediately stops the loading process and sends system notifications if a problem occurs or is predicted during loading operations.
	Set up a working political sequence during work and apply an emergency stop button.	Applying emergency stop buttons and applying robot-side power cut-off during device repair.
Storage unit	Secondary parcel confirmation through temperature sensor application is required.	Adding checks for miss loaded parcel through secondary temperature measurements in a normal or refrigerated storage rack.
Refrigerator unit	It informs in the refrigeration system problem occurrence the emergency and it refrigerates the normality, the goods transfer.	Application of the monitoring and abnormality notification function to refrigerated storage box.

## 4. 결론

본 연구는 ICT 콜드체인 기술이 적용된 무인 택배물품 보관장치의 시스템 운영 안전성 확보를 위한 연구를 수행하여 관련 결과를 도출하고 개발 중인 시스템의 사양에 적용하는 연구를 수행했다. 대상 시스템의 정확한 분석과 이해를 위해 모델 기반 분석의 관점을 적용하여 시스템의 운영 프로세스 정의와 구조 정의 및 기능 식별 결과를 도출했다. 또한 도출된 결과를 기반으로 하는 위험원 저감 방안을 개발 중인 시스템에 제안하여 적용하는 결과를 도출했다. 연구의 대상 시스템은 일반적인 물품을 보관하는 보관함이 아닌 ICT와 콜드체인, 그리고 능동형 자동 적재기술이 적용된 첨단 보관함 장치이다. 장치의 작동과 목표 달성을 위한 시스템의 기능 구현과 목표사양 성능의 충족도 중요하지만 운영 중 발생하는 위험원으로 인한 장치 작동 불가 상태와 사고를 방지하기 위한 안전성 확보 방안에 대한 고려도 중요하다.

이를 위해 본 연구는 제안하는 안전성 분석의 결과를 시스템 개발에 적용하여 보다 안전한 시스템이 구축되는데 기여하고자 했다. 추후 대상 시스템의 개발 고도화에 따른 상세 연구를 수행하여 안전과 관련된 추가 정의 사항과 시스템 사양을 기반으로 보다 상세한 안전성 분석 연구를 수행하여 시스템의 목표를 달성하면서도 안정적인 운영이 가능한 안전한 시스템으로 구축될 수 있도록 기여하는 연구를 지속적으로 진행하고자 한다.

## 5. References

- [1] E. S. Soegoto, E. Eliana(2018), "E-commerce and business social media today." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 012034.
- [2] M. Nicola, Z. Alsafi, C. Sohrabi, A. Kerwan, A. Al-Jabir, C. Losifidis, R. Agha(2020), "The socio-economic implication of the coronavirus pandemic(COVID-19): A review." International Journal of Surgery, 78:185-193.
- [3] Statistics Korea(2021), Annual online shopping trends in 2021.
- [4] A. D. Adeitan, C. Aigbavboa, E. E. O. Agbenyeku (2019), "Global logistics in the era of Industry 4.0." In Proceedings of the Future Technologies Conference, Springer, Cham, 652-660.
- [5] K. R. Ahn, C. K. Park(2016), "A study on the e-document development of parcel service for reliable delivery." Society for E-Business Studies, 21(2):47-59.
- [6] S. W. Pyo, T. M. Part, H. C. Shin, M. H. Jang, H. J. Kim, J. H. Lee, H. C. Yoo(2018), "Arduino-based courier storage system development for one-person households." The Korean Association of Computer Education, 125-128.
- [7] K. H. Han(2019), "A study on safety enhancement of frozen food delivery service in Korea." The Korean-Japanese Journal of Economics and Management Studies(KJEMS), 31-54.
- [8] H. Allen, M. Anita, K. Angela, L. Suzanne, K. Stefan(2009), "Activity, ICT, and material infrastructure in complex multi-organisational settings: An assessment of innovation potential for pharmaceutical cold chain transport and handling." BLED 2009 Proceedings, 1-20.
- [9] C. T. Chih(2018), "Cold chain logistics management." International Conference on Electronic Business (ICEB), 1-9.
- [10] I. S. Hee, S. K. Jang(2019), "A study on the solution design of fresh-taxed service using IOT technology." Korea Institute of Cultural Product & Design, 147-154.
- [11] Y. H. Choi(2020), "A study on the freshness of agricultural products distribution." The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), 6(3):377.
- [12] C. L. Hyung(2012), "The present status of unmanned courier market and development direction of unmanned postal stores." Korea Information Society Development Institute, 1-16.
- [13] E. G. Jang, H. M. Jung, Y. S. Jung, M. S. Kim et al. (2020), "Smart unmanned courier locker." Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference, 28(1):125-126.
- [14] C. H. Park, H. T. Kang, C. S. Kang(2017), "Development of an IoT-Based unmanned home-delivery box system." Journal of Information Technology Services, 16(2):129-138.
- [15] H. J. Kim, J. B. Chung(2022), "A study on the perceived value and intention to use of smart locker." Chungnam University Management and Economics Research Institute, 43(1):115-134.
- [16] S. Y. Hwang, Y. I. Kwon, J. H. Mun, J. H. Park,



- J. H. Seo, H. S. An, H. K. Im, C. W. Han(2018), "Unmanned delivery storage box." The Korean Institute of Electrical Engineers, 105-106.
- [17] J. Z. Ooi, C. C. Tan(2021), "Smart modular parcel locker system using Internet of Things(IoT)." 2021 IEEE 11th International Conference on System Engineering and Technology(ICSET), 66-71.
- [18] J. Y. Kim, B. S. Ham, C. H. Cho, B. S. Lee(2010), "A study on the application of systems engineer for systems of system." The Korean Society of Systems Engineering, 6(1):15-23.
- [19] K. Yasunori et al. (2020), "Defining requirements on technology systems assessment from life cycle perspectives: Cases on recycling of photovoltaic and secondary batteries." International Journal of Automation Technology, 14(6):890-908.
- [20] H. S. Yang, J. D. Jang, J. H. Sang, W. Choi, H. J. Lee, S. Y. Lee(2017), "A study on requirements development process using model based systems engineering approach." The Korean Society of Systems Engineering, 13(1):51-56.
- [21] C. Ncube, S. L. Lim(2018), "On systems of systems engineering: A requirements engineering perspective and research agenda." 2018 IEEE 26th International Requirements Engineering Conference(RE), 112-123.
- [22] G. Thiers, L. McGinnis(2011), "Logistics systems modeling and simulation." Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference(WSC), 1531-1541.
- [23] S. Friedenthal, A. Moore, R. Steiner(2007), OMG systems modeling language tutorial. INCOSE.
- [24] J. Fahl et al. (2021), "Proposing a specification structure for complex products in model-based systems engineering (MBSE)." Proceedings of the Design Society, 2481-2490.
- [25] G. Biggs, T. Juknevičius, A. Armonas, K. Post(2018), "Integrating safety and reliability analysis into MBSE: Overview of the new proposed OMG standard." IncoSE International Symposium, 1322-1336.
- [26] A. Y. Jeppu, Y. Jeppu(2021), "Learning model-based safety-critical system engineering: The fun way." In Smart sensors measurements and instrumentation. Springer, Singapore, pp. 221-241.
- [27] F. Belmonte, E. Soubiran(2012), "A model-based approach for safety analysis." Springer, International Conference on Computer Safety, Reliability and Security, 50-63.
- [28] F. Mhenni, N. Nguyen, J. Y. Choley(2021), "SafeSysE: A safety analysis integration in systems engineering approach." IEEE Systems Journal, 12(1):161-172.
- [29] Flaus, J. M.(2013), Risk analysis: socio-technical and industrial systems. John Wiley & Sons." Socio-technical and Industrial Systems, 151-178.
- [30] N. Hyatt(2018), Guidelines for process hazards analysis (PHA, HAZOP) hazards identification, and risk analysis. CRC Press.

## 저자 소개



### 박재민

현 아주대학교 시스템공학과 박사과정.  
관심분야 : 시스템 안전설계, 요구사항 관리,  
모델기반 시스템공학, Modeling & Simulation 등.  
주소: 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아주  
대학교 성호관 244호



### 김영민

현 아주대학교 시스템공학과 교수.  
관심분야 : 자율주행자동차 안전 시스템 구축,  
첨단 자율 운송 시스템, 첨단 교통시스템 및  
스마트시티, 스마트물류체계 구축 등.  
주소: 경기도 수원시 영통구 월드컵로 206 아  
주대학교 성호관 243호