

도시철도 물류 시스템의 통합관제시스템 설계 및 수평이송장치 경로 생성 알고리즘 연구

황선우¹, 김주욱^{2†}, 김영민¹, 최준우³, 한수민³, 박상원³, 장경호⁴

¹아주대학교 시스템공학과

²한국철도기술연구원 첨단물류시스템연구실

³(주)노바 기업부설연구소

⁴서울교통공사 도시철도연구원

On the Path Generation Algorithm for AGV and Design of Integrated Control System for Urban Railway Logistics System

Sunwoo Hwang¹, Joouk Kim^{2†}, Youngmin Kim¹, Junwoo Choi³, Sumin Han³,

Sangwon Park³, Gyungho Jang⁴

¹Department of Systems Engineering, Ajou University /

²Advanced Logistics System Research Department, Korea Railroad Research Institute /

³Research Institute Global Nova / ⁴Research Institute, Seoul Metro

Due to the revitalization of the e-commerce market and the development of Internet communication technology, the demand for logistics is increasing worldwide. Due to the increase in logistics demand, the inflow of cargo trucks in large cities has increased, causing traffic congestion and air environment pollution. We presented an urban railway logistics system to solve these problems. The urban railway logistics system is a new concept including vertical/horizontal transport devices for logistics. In this study, a system for integrated control of the vertical/horizontal transportation device of the urban railway logistics system was proposed. In addition, route generation research for logistics automation was conducted by using the Automated Guided Vehicle as a horizontal transfer device. The integrated control system derived as a result of this study can contribute to the operational reliability and stability of the urban railway logistics system.

Keywords: Urban Railway Logistics System, Integrated Control System, Route Generation, Automated Guided Vehicle, Logistics Automation

논문접수일 : 2022.09.30.

심사완료일 : 2022.12.20.

게재확정일 : 2022.12.20.

이 논문은 국토교통과학기술진흥원의 고부가가치 융복합 물류 배송·인프라 혁신기술개발 사업의 지원을 받아 수행되었음. (21HCLP-C163194-01)

† Corresponding Author: jookim@krii.re.kr

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

이커머스 시장의 활성화 및 인터넷 통신 기술의 발전으로 인하여, 전세계적으로 물류에 대한 수요가 증가하고 있다. 물류 수요 증가로 인해, 대도시의 화물차 유입이 증가하였으며, 교통체증과 대기 환경오염을 유발하고 있다. 이러한 문제는 대도시에서 큰 사회적 비용을 일으키는 문제로 간주되고 있다. 이에 따라, 우리는 이러한 문제를 해결하기 위해 대도시에 적용할 수 있는 도시철도 물류 시스템을 제시하였다. 도시철도 물류 시스템은 수직/수평이송장치를 포함하고있는 신개념 물류 시스템이다. 도시철도 물류 시스템은 수직/수평이송장치를 서브 시스템으로 포함하고 있으며, 이외에, 화물열차, 운영시스템 등의 서브 시스템도 포함하고 있다. 도시철도 물류 시스템은 기존에 사용되고 있는 철도 인프라를 활용하는 신개념의 물류 시스템이다. 또한, 도시철도 물류 시스템은 시스템은 규모가 방대한 만큼 정밀한 시뮬레이션을 수행하기가 어렵다. 이러한 문제로 인하여, 시스템 운영상의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 동적 행위를 하는 서브 시스템과 컴포넌트들을 제어할 수 있는 통합관제시스템이 필요하다. 본 연구에서는 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치를 제어할 수 있는 통합관제시스템을 제안하였다.

1.2 관련 선행연구

본 절에서는 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치 통합관제시스템 설계를 위한 선행연구 분석을 수행하였다. 이용환 등은 AGV(Automated Guided Vehicle) 그리드 단위의 제어에 기반한 자동화 터미널의 AGV 시스템 운영 방안 연구를 수행하였다(Lee et al., 2003). 본 연구는 AGV의 생산성을 고려한 자동화 터미널의 구조를 제시하고, 운행의 유연성을 위해 그리드 기반의 제어 방식을 제안하였다. 최종적으로, 실제 현장과 유사한 작업을 할 수 있고, 운영규칙의 수정 개선이 용이한 시뮬레이션 환경을 개발하였다. 김정민 등은 퍼지와 비례 제어를 이용한 지게차 AGV의 주행제어 연구를 수행하였다(Kim et al., 2009). 본 논문은 팔레트를 하역, 운송해야 하는 지게차 AGV의 주행제어를 위해 팔레트와 지게차 AGV 사이의 거리 차와 각도 차를 바탕으로 퍼지 제어 및 비례 제어를 이용한 주행제어기를 설계하였다. 실험 결과, 시뮬레이션에 의해 생성된 경로와 실제 주행 경로의 최대 평균 오차가 87.77mm를 가지는 것으로 도출되었다. 우승범 등은 중량물 운송을 위한 AGV의 주행 제어 방법 연구를 수행하였다(Woo et al., 2010). 본 논문에서 제안한 주행 제어 방법의 실험은 팔레트 앞 4m 지점부터 직선 주행 후에 팔레트 하역 작업을 수행하도록 하였고, 총 10회 실험 후에 이들의 정밀도를 분석하였다. 실험 결과, 팔레트 하역 시 목표 지점에 대한 정지 정밀도의 최대 오차가 18.64mm 이내로 높은 정지 정밀도의 안정적인 주행 제어가 가능함을 확인할 수 있었다. 전해경 등은 이중 랜드마크 인식 기반 AGV 이동 제어 연구를 수행하였다(Jeon and Hong, 2012). 본 논문은 바닥에 유도라인을 매립하는 방식은 특수한 환경에 적합하지 않기 때문에, 적외선 센서 기반 AGV 이동 궤적 제어 방식을 제안했다. 본 논문에서 제안한 방식은 모의 차량에 적용하여 이에 대한 타당성을 검증하였으며, 실내 특수한 환경에서 적용한 결과, 오차 범위 내에서 작동함을 확인하였다. 탁한호 등은 무게중심법을 이용한 무인 운반차(AGV)의 운전제어 연구를 수행하였다(Tack and Kwon, 2014). 본 연구에서는 AGV 주행 흔들림 개선과 공장의 특성에 따라 자유롭게 변경이 가능한 PLC 연동형 AGV 전용 제어 시스템의 설계 방법을 제안하였다. 실험을 통하여 여러 가지 주행 성능을 분석한 결과, 제안된 AGV 시스템이 운영상에 효율적임을 알 수 있었다. 이주원 등은 PLC 내장형 무인 반송차(AGV) 제어기 설계 연구를 수행하였다(Lee and Lee, 2019). 본 연구에서는 소형화, 용이한 재구성을 만족시키기 위하여, PLC 내장형 AGV 제어기의 설계법을 제안하고, 그 성능을 평가하였다. 실험 결과, 속도제어 오차 0.021 m/s와 주행 자세 제어의 평균오차 2.1mm의 성능을 검증하였다. 또한, 이주원 등은 퍼지 추론 시스템에 기반한 AGV 주행 제어기 설계 연구를 수행했다(Lee and Lee, 2020). 본 논문에서는 주행 오차의 누적값과 속도값을 이용한 PD 제어기와 퍼지 제어기 설계법을 제안하고, 산업현장에서 사용되고 있는 AGV에 적용하여 성능을 평가하였다. 실험 결과, 직선주행과 곡선주행에 있어서, PD 제어기보다 10배 이상의 주행 안전성을 보였으며,

이 설계법을 엔코더리스형 AGV 제어에 사용하면 높은 주행 안전성을 나타낼 것이라는 결론을 도출하였다.

경로 생성과 관련된 선행연구에서, 정초희 등은 AR(Augmented Reality) 기반의 증강현실 도보 내비게이션 앱 개발에서 Dijkstra Algorithm 적용 연구를 수행 하였으며(Jeong and Lee, 2017), 최중해 등은 홀 센서와 Dijkstra Algorithm을 이용한 로봇의 실내 주행과 구현 연구에서 최단거리 알고리즘의 종류로, 경험 및 휴리스틱 추정값을 활용하는 A* 알고리즘과 모든 경로를 계산한 후 최단 경로를 선택하는 Dijkstra 알고리즘을 고려하였고, 무수히 많은 중간지점이 존재하기 때문에, Dijkstra 알고리즘을 활용하였다. 본 논문에서도 무수히 많은 경우의 수를 가진 중간지점 특성을 고려하여 Dijkstra 알고리즘을 선정하였다. 본 연구에서 활용하고자 하는 수평이송장치는 기존의 AGV를 화물운송 표준용기 및 화물열차 출입문의 물리적 형상에 맞게 개량한 기계장치로써, 관련된 선행연구는 제시한 주행 제어 설계 기법, 경로 인식 방안 등의 관점에서 검토되었다. 검토 결과, 본 연구에서 활용하고자 하는 수평이송장치는 물리적 환경, 특성에 맞게 새로운 개념으로 제시되는 기계장치이기 때문에, 경로 생성에 대한 직접적인 비교는 어려웠으며, 상용화하기 위해 제작되는 AGV 개발의 핵심 사항에 대한 사양을 확인하였다. 본 연구에서는 경로 생성에 Dijkstra Algorithm을 활용하였으며, 경로 인식 신뢰성이 높은 QR 방식의 경로 인식 방안을 채택하였다.

1.3 논문의 구성 및 흐름

본 논문은 1장 서론에서 통신 기술의 발전으로 인한 이커머스 시장의 활성화와 물류 시장의 수요 증가를 언급하며, 이에 따른 사회적 비용 문제에 대하여, 본 연구의 배경 및 필요성을 기술하였다. 또한, 본 논문에서 궁극적으로 개발하고자하는 수평이송장치의 주행 제어 설계 기법, 경로 인식 방안 등의 관점에서 관련 선행연구 분석을 수행하였다. 2장에서는 도시철도 물류 시스템에 대한 개념과 이를 구성하고 있는 수직/수평이송장치에 대한 핵심 기능을 도출하였다. 3장에서는 통합관제시스템의 구조화 및 기능 정의를 통하여, 통합관제시스템의 전반적인 개념을 설명하고, 통합관제시스템의 운용에 필요한 인터페이스 사항을 식별하였다. 도시철도 물류 시스템은 화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치의 화물 운송 기능이 핵심 기능으로 분류될 수 있다. 즉, 수평이송장치의 경로가 제대로 생성되지 않을 경우, 도시철도 물류 시스템의 화물 운송 기능이 성공적으로 구현될 수 없다. 따라서, 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘 연구는 핵심 기능으로 분류될 수 있다. 따라서, 4장에서는 수평이송장치 경로 생성 알고리즘의 핵심 요소인 수평이송장치의 이동 속도 예측, 선정 계획의 상세, 경로 계획의 상세 부분을 기술하였다. 마지막으로, 5장에서는 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치 통합관제시스템 설계와 수평이송장치 경로 생성 알고리즘 연구 수행 내용을 정리하였으며, 추후, 본 연구 내용이 가지는 의의를 기술하였다. 본 논문은 도시철도 물류 시스템의 운용상 필요한 수직/수평이송장치의 통합관제시스템의 설계와 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘 연구를 목적으로 수행되었다. <Figure 1>은 본 논문의 구성 및 전개 흐름을 도시한다.

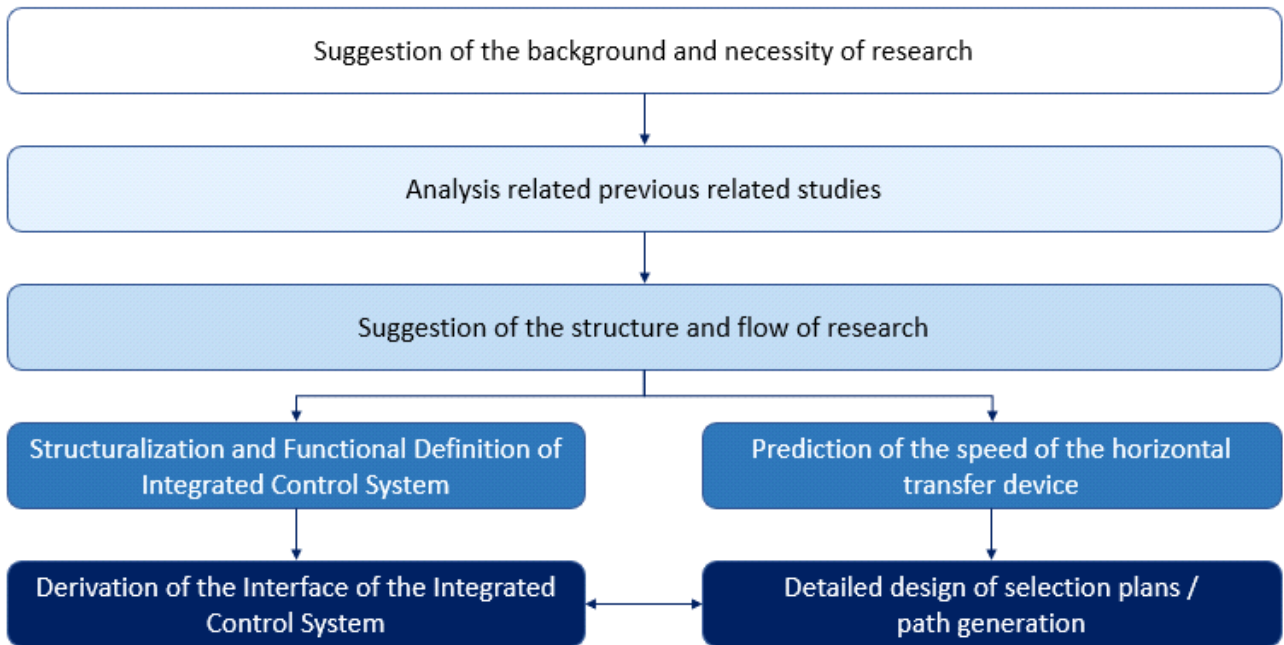


Figure 1 : Structure and flow of research

2. 도시철도 물류 시스템

2.1 수직/수평이송장치의 개념과 필요기능 정의

도시철도 물류 시스템은 수직/수평이송장치를 포함하는 신개념의 물류 시스템이다(Hwang et al., 2021). 또한, 수직/수평이송장치는 도시철도 물류 시스템에 있어서, 화물을 운송할 수 있는 핵심 시스템이다. 먼저, 도시철도 물류 시스템의 특성에 맞는 수직이송장치의 요구사항과 개념을 정리하였다. 수직이송장치의 주요기능은 12가지로 도출되었다. 수직이송장치는 다수의 화물이 담긴 화물운송 표준용기를 이송하는 수평이송장치를 수직으로 층간 이송하기 위한 수직 방향 작동이 가능해야 한다. 이를 위해, 발생하는 하중을 견딜 수 있는 설계가 적용된 구조적 안전성을 가져야 한다. 또한, 수직 이송을 위해 구동부 및 각 장치에 전력을 공급하는 기능을 갖춰야 하며, 수직이송장치의 장비와 기능들의 제어 기능이 있어야 한다. 이를 위해서는 원격 제어 외 실제 장비 제어가 가능한 장비제어 패널이 필요하다는 것을 도출하였다. 수평이송장치의 진입 순서, 목적지 정보, 수직이송장치의 상태 정보 등을 통신하기 위하여, 정보의 통신 기능을 가져야 한다. <Table 1>은 이에 대한 내용을 나타낸다.

Table 1. Function of vertical transfer device

No	Key function	Contents
1	Vertical drive function	<ul style="list-style-type: none"> - Vertical operation for vertical interlayer transfer of horizontal transport - Operates via power from the drive, maximum speed of 1.0 m/s
2	Cargo transfer function	<ul style="list-style-type: none"> - Transfer plate function for vertical interlayer transfer of horizontal transfer unit - Maximum speed of the drive for interlayer transfer is 1.0 m/s
3	Power control function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to supply power to the drive unit and each unit for vertical transfer - Ability to control the electrical energy connected to the power system for the operation of the device
4	Load support function	<ul style="list-style-type: none"> - Structural performance features designed to withstand loads generated by vertical interlayer transfer of horizontal transfer devices
5	Equipment control function	<ul style="list-style-type: none"> - Control functions of vertical transport devices and functions - Equipment control panel with actual equipment control in addition to remote control is required
6	Communication function	<ul style="list-style-type: none"> - Transmission and reception of information required to vertically transfer horizontal transfer devices between floors - Entry order, destination (floor) information, etc. of horizontal transport devices - Ability to transmit status information and receive relevant information from the vertical transport device
7	Recognition function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to locate mounting when transferring horizontal transport vertically between floors
8	Guideline function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to guide the boarding path for horizontal transport to be brought into the vertical transport
9	Horizontal Transfer Device Binding Function	<ul style="list-style-type: none"> - Function of securing the horizontal transport on the transport plate of the vertical transport device so that it does not deviate - Function of preventing the horizontal transfer device from being dislodged is binding upon boarding the horizontal transfer device, and the binding must be released upon disembarkation
10	Emergency stop function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to stop the vertical transfer device urgently with the emergency stop button located at the entrance of the unit if it is abnormal or if an emergency stop is required - Emergency stop buttons are located in the upper and lower entrances
11	Operation display function	<ul style="list-style-type: none"> - Function of displaying the operation of the device through a visual display(SCREEN) or indicator at the upper and lower input ports of the vertical transfer device
12	Connection function	<ul style="list-style-type: none"> - Function to facilitate smooth movement of horizontal transport device when entering and exiting vertical transport device - Automatic or fixed application to assist horizontal transfer device movement

수평이송장치의 주요기능은 12가지로 도출되었다. 수평이송장치는 목적지로의 이동 및 다수의 화물이 담긴 화물운송 표준용기를 이송하기 위한 수평 방향 작동이 가능해야 한다. 이는 구동부의 동력과 4개의 휠을 통한 전진, 후진 및 회전 기능이다. 또한, 수평 이송을 위해 구동부 및 각 장치에 전력을 공급하는 기능을 가져야 한다. 장치의 작동을 위해 자체 배터리에 충전된 전기 에너지를 제어하는 기능이 포함된다. 또한, 고중량의 하중을 견딜 수 있는 설계가 적용된 구조적 안전성을 가져야 한다. 수직이송장치와 마찬가지로, 원격 제어 외 실제 장비 제어가 가능한 장비 제어기능이 필요하다. 추가로, 수평이송장치의 상태 정보 송신 및 관련 정보 수신 기능 등 수평이송장치의 상태 정보 등을 통신하기 위하여, 정보의 통신 기능을 가져야 한다. <Table 2>는 이에 대한 내용을 나타낸다.

Table 2. Function of vertical transfer device

No	Key function	Contents
1	Vertical drive function	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontal operation for moving to a destination and carrying standard cargo containers containing multiple cargoes - Power of the drive and the ability to move forward, reverse and rotate through the four wheels
2	Cargo transfer function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to transport standard cargo containers containing multiple cargoes to the destination
3	Power control function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to supply power to the drive unit and each unit for horizontal transfer - Ability to control the electrical energy charged in its own battery for the operation of the unit
4	Load support function	<ul style="list-style-type: none"> - Structural performance features designed to withstand heavy loads to transport standard containers containing a large number of cargoes
5	Equipment control function	<ul style="list-style-type: none"> - Control functions of horizontal transport devices and functions - In addition to remote control, equipment control function that allows actual equipment control is required
6	Communication function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to transmit and receive information necessary to transport standard containers containing multiple cargoes - Ability to transmit status information and receive relevant information from the horizontal transport device
7	Recognition function	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontal transfer device carrying standard cargo containers containing a large number of cargoes is capable of recognizing guidelines on the floor to move to a designated destination
8	Rolltainer binding function	<ul style="list-style-type: none"> - Function of fastening and securing the standard container for freight transport containing 500 kg of cargo to the horizontal transport device so that it does not deviate during transport
9	Train binding function	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontal transfer on a rotary transfer plate or freight train of a vertical transfer device - Ability to hold the device so that it does not deviate - Function of preventing the horizontal transfer device from being dislodged is binding upon boarding the horizontal transfer device, and the binding must be released upon disembarkation
10	Emergency stop function	<ul style="list-style-type: none"> - Function of stopping the horizontal transfer device urgently with the emergency stop button located on the surface of the device when the operation of the horizontal transfer device is abnormal or emergency stop is required - Emergency stop buttons are located one per unit or per surface
11	Operation display function	<ul style="list-style-type: none"> - Ability to display relevant information through a display or indicator that visually displays the operation of the device during horizontal transfer of the horizontal transfer device
12	Lifting function	<ul style="list-style-type: none"> - Function of lifting the standard cargo container on the ground through its own lifting function to prevent movement problems due to the support of the container when transferring the standard cargo container of the horizontal transport device

도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치는 제한된 환경에 설치되어 기능을 수행해야 한다는 한계성이 존재하며, 개별 화물에 대한 이송이 아닌 화물과 장치의 결합체를 수직/수평으로 이송해야 한다는 특수성이 존재한다. 즉, 기능적으로 수직/수평 이송을 통한 화물을 이송한다는 점은 동일하지만, 그 외 장치에 요구되는 부가기능, 운영기술, 환경 적합성 설계 등이 다르기에, 관련 특허 조사 및 국내/외 사례 분석 결과를 바탕으로 도시철도 물류 시스템에서 제안하고자하는 수직/수평이송장치는 기존의 수직/수평이송장치와 차별성과 특수성을 가진다는 점을 도출하였다. 이에 대한 내용은 <Table 3>에 나타내었다.

Table 3. Deriving the specificity of vertical/horizontal transfer device development
for urban railway logistics system

Functional Specificity	Technical specificity	Environmental specificity
Raise and lower transfer must be possible	Control and control of the device's up and down transfer shall be possible	Must be installed in a space within a limited station
Vertical/horizontal transport device must be fixed when transported	Vertically/horizontally transport device must be capable of recognizing boarding and controlling the binding function	Should not be affected by vibrations generated by train transfers in stations
Weight of the cargo, the standard container for freight transport, and the vertical/horizontal transport device must be all covered	Device control linked to entry and boarding of vertical/horizontal transport devices shall be possible	Designed and installed to avoid structural strain on the installation environment
Multiple vertical/horizontal transfer devices must be transported in either ascending or descending direction	Information related to the location of the vertical/horizontal transfer device must be transmitted and received	Noise and vibration should be minimized when transporting vertical/horizontal transport devices
Position of the vertical/horizontal transport device to be transferred shall be recognized	Radio control and control through the control system shall be possible	Impact of operating the device should be minimized

3. 통합관제시스템 설계

3.1 통합관제시스템의 구조화 및 기능 정의

통합관제시스템은 수직/수평이송장치의 동작을 감지하고, 상황에 따라, 동작을 하계끔 제어하는 시스템이다. 4차 산업혁명으로 무인 통신 기반의 로봇을 활용하는 통합 시스템이 급증하고 있는 추세이다. 이러한 시점에서 통합관제시스템은 어떠한 목적에 맞게, 수행하는 로봇들을 제어하는 중요한 관제탑 역할을 수행한다. 통합관제시스템을 개발한 사례로써, 재난환경에서 자율탐색을 위한 ROS(Robot Operating System) 기반의 다중로봇 통합관제시스템이 제시된 바 있으며(Yang et al., 2019), 불안정한 통신 문제를 해소하기 위하여, 다중 ROS 코어 기반의 통합관제시스템을 제시하였다(Yang et al., 2021). 이러한 사례를 검토함으로써, 본 논문에서는 도시철도 물류 시스템의 특성에 맞는 새로운 개념의 수직/수평이송장치 통합관제시스템을 제시하였다.

본 논문에서는 S/W 구성항목에 대한 구조를 분류하여, 통합관제시스템 설계에 기준을 정의하였다. 통합관제시스템의 설계 기준은 다음과 같다. 1. 요구사항 분석활동에서 정의 및 산출되었던 산출물과 추가로 작성되거나 보충되는 자료를 바탕으로, 분할되어 구성된 시스템 요소들, 품질속성을 만족하는 아키텍처를 기술하였다. 2. 추가 연구개발 활동에서 수행하는 요구사항 분석 활동과 검증활동을 고려하여 수행하였다. 3. 분석결과에서 제시된 품질속성을 기반으로 시스템을 분할하여 아키텍처를 설계하였다. 4. 설계된 산출물을 기반으로 아키텍처 검증 활동을 수행하였다. 통합관제시스템의 S/W는 AMQP(Advanced Message Queuing Protocol) 처리기를 통하여, 기본적으로, 수직/수평이송장치와의 정보를 통신해야 한다. 또한, 운영시스템에 데이터를 전달하기 위해 운영시스템 API 처리기를 포함한다. 이에 대한 모니터링은 웹/앱 인터페이스 처리기를 통하여 명령을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 수평이송장치의 경로 생성과 그에 따른 통합관제시스템과의 데이터 통신을 주 목적으로 수행되었다. 수평이송장치와 데이터 통신을 수행하는 통합관제시스템의 개념을 <Figure 2>에 나타내었다.

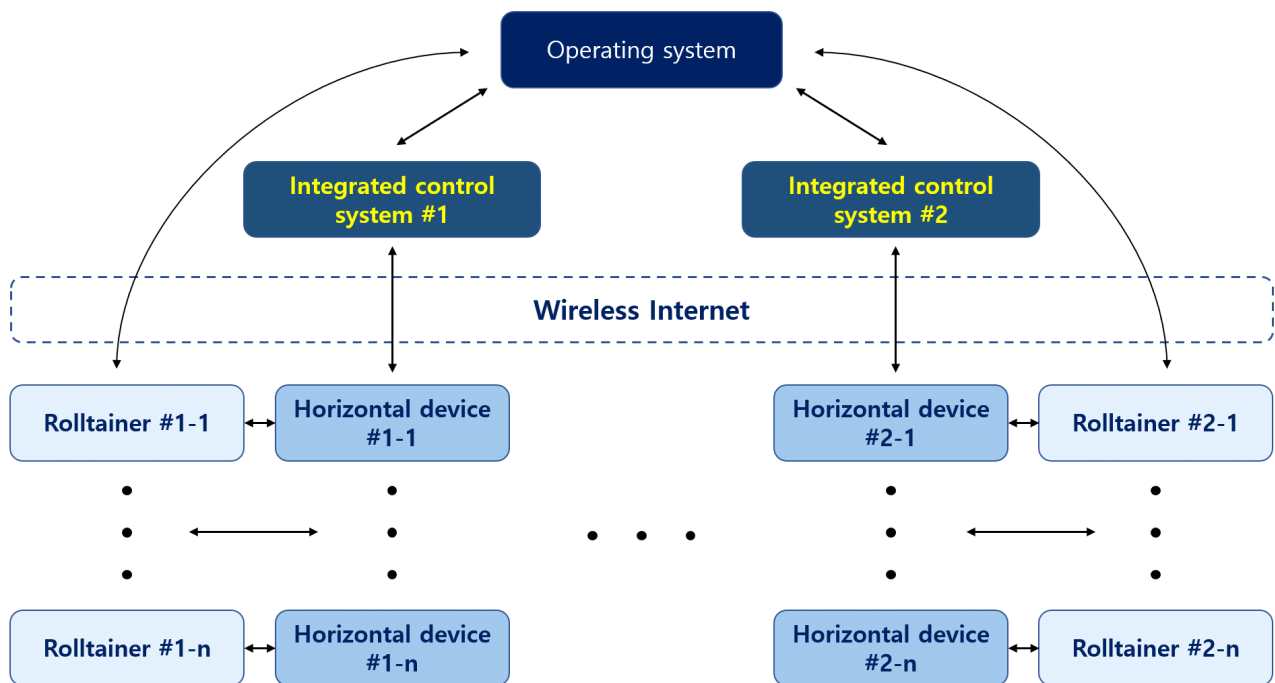


Figure 2. Configuration diagram of operating system and integrated control systems

도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치를 제어하기 위해서는 통합관제시스템이 필수적이다. 수직/수평이송장치 제어 메시지 생성 및 전송, 제어 S/W 원격조정 등 통합관제시스템은 원격을 통한 관제서버 데이터 상태 정보 모니터링 및 수직/수평이송장치를 제어할 수 있게끔 설계되어야 한다. <Table 4>는 통합관제시스템의 구조화와 요구사항 도출 결과이다. <Figure 3>은 구조화 및 요구사항 도출 결과에 따른 수평이송장치 관제 모니터링 및 제어 아키텍처를 나타낸다.

Table 4. Integrated control systems structure and requirements

Classification	Contents
Control Server Monitoring Handler	<ul style="list-style-type: none"> - Process periodic updates of data received by the control server - Updated data is visualized in the UI (User Interface)
Horizontal Transfer Device Control Message Handler	<ul style="list-style-type: none"> - Forward horizontal transfer device control messages through the control server - Run control of horizontal transfer device - Processing of real-time control messages through AMQP
Rolltainer Position/QR Recognizer	<ul style="list-style-type: none"> - Communicate information through location markers (QR codes)

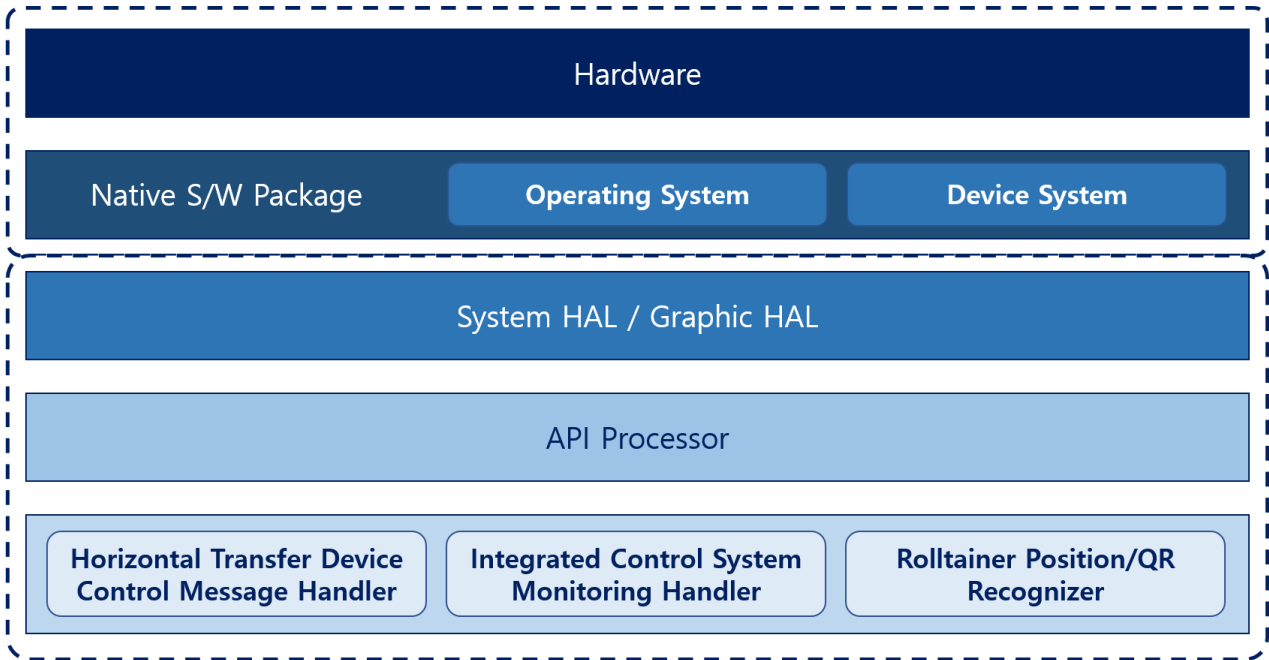


Figure 3. Vertical/horizontal transfer device control monitoring and architecture

3.2 통합관제시스템의 인터페이스 도출

통합관제시스템은 운영시스템에서 필요한 정보를 추출하여 서버에 전송하고, 모든 수직/수평이송장치의 데이터는 상태가 변경될 때마다 실시간으로 통신되어야 한다. 이를 수행하기 위해서는 AMQP 처리기, 운영시스템 API(Application Programming Interface) 처리기, 수직/수평이송장치 연결 처리기 및 상태 정보 처리기, 라우팅 처리기, 웹/앱 인터페이스 처리기 등으로 구성된다. AMQP 처리기는 통합관제시스템에서 수평/수직이송장치에 제어 메시지를 효율적으로 전달하기 전달체이다. 통합관제시스템과 수직/수평이송장치 간의 모든 데이터는 AMQP를 이용하여 통신한다. 중점적으로는 이동 중 변경되는 위치정보, 배터리 잔량 등을 실시간/양방향으로 통신이 가능해야 한다. 운영시스템 API 처리기는 이동준비가 완료된 화물운송 표준용기의 정보를 수신하고, 통합관제시스템에서 수평이송장치를 연결하는 과정을 처리한다. 이를 수행하기 위해서는 화물운송 표준용기의 정보(화물운송 표준용기 ID, 목적지, 차량번호)가 필요하다. 운영시스템 API 처리기는 이동 준비가 완료된 화물운송 표준용기의 정보를 수신할 수 있어야 하며, 해당 차량기지에 준비된 화물운송 표준용기의 정보만을 수신해야 한다. 예를 들어, 어떠한 차량기지에 대한 요청인지를 구분하여, 해당 차량기지의 준비된 화물운송 표준용기의 정보만을 수신해야 한다. 화물역사 내에서 관리해야할 모든 수직/수평이송장치에 대한 모니터링 및 제어 처리가 가능해야 한다. <Figure 4>는 통합관제시스템과 관련 시스템의 인터페이스 관계도를 나타낸다.

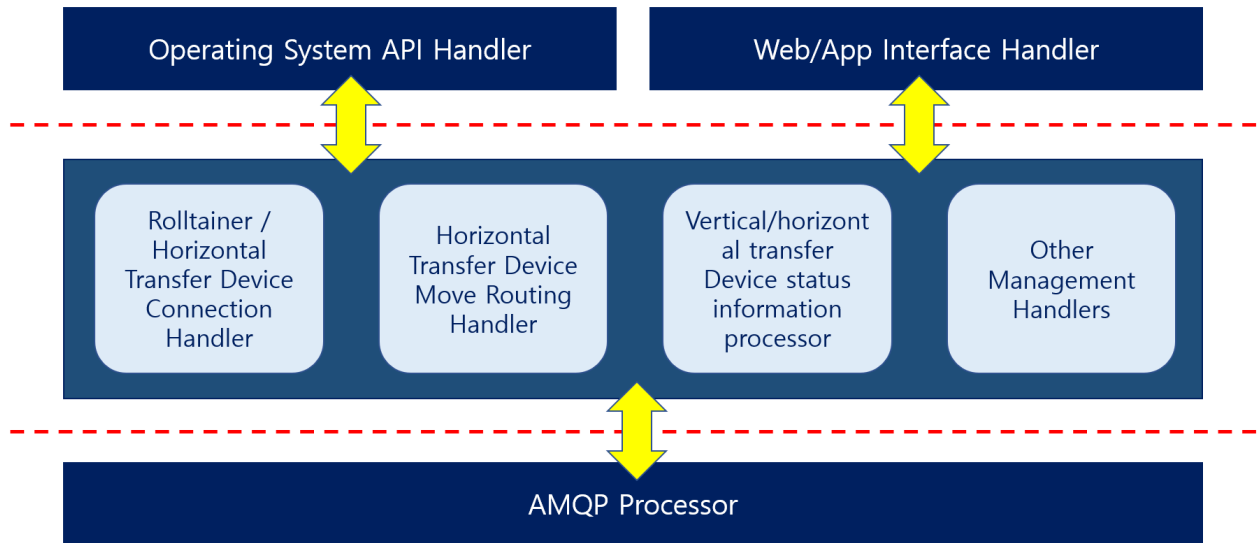


Figure 4. Configuring the integrated control systems interface

본 논문에서는 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치 통합관제시스템의 요구사항을 분석하고, 이에 대한 기능을 정의하였다. 또한, 설계에 필요한 부분을 정의하여, 성공적으로 통합제어시스템이 개발될 수 있도록, 정형화된 설계 기준을 제시하였다. 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치 통합관제시스템은 각각의 차량기지별, 화물역사별로 설치되어야 하며, 수직/수평이송장치의 상태 모니터링 및 제어 기능을 처리할 수 있어야 한다. 또한, 상태 모니터링에 대한 결과를 운영시스템 API를 통하여 운영시스템과 실시간으로 통신할 수 있어야 한다. 이를 수행하기 위하여, CPU: Intel CORE i5-11세대(11400F) 이상, Memory: 32GB 이상, 스토리지: 4TB(RAID 구성) 이상의 H/W 스펙이 필요하다고 판단된다.

4. 수평이송장치 경로 생성 알고리즘

도시철도 물류 시스템은 화물운송 표준용기와 체결된 수평이송장치의 화물 운송 기능이 핵심 기능으로 분류될 수 있다. 즉, 수평이송장치의 경로가 제대로 생성되지 않을 경우, 도시철도 물류 시스템의 화물 운송 기능이 성공적으로 구현될 수 없다. 따라서, 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘 연구는 핵심 기능으로 분류될 수 있다. 본 논문에서는 도시철도 물류 시스템의 화물 운송 기능 확보를 위하여, 서브 기능이라고 판단할 수 있는 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘 연구를 목적으로 수행되었다. 수평이송장치의 표준 용기 체결, 열차 탑승 및 하차, 표준 용기의 반환 및 충전 대기까지의 과정에서 발생하는 모든 이동은 경로 계획 알고리즘에서 정해진 경로 계획을 따른다. 경로 계획 알고리즘은 다음 <Figure 5> 및 <Figure 6>에 의해 설명되는 과정을 통해 화물의 적재 및 탑승 과정과 하차 과정에 필요한 계획을 도출하였다.

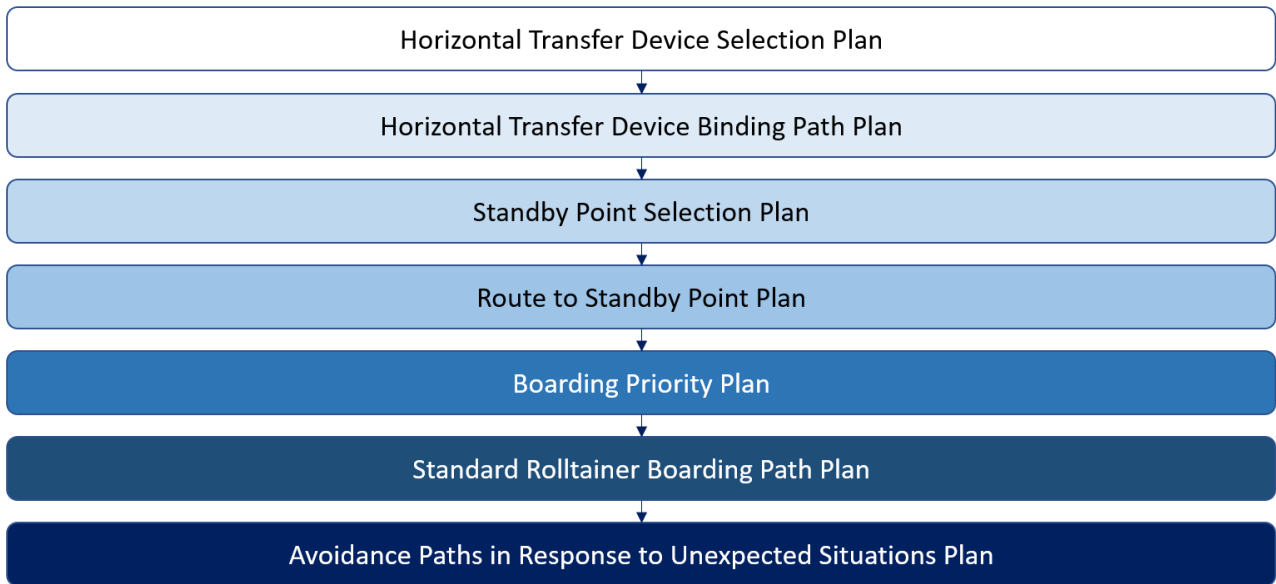


Figure 5. Flow of route planning used in the loading and boarding process

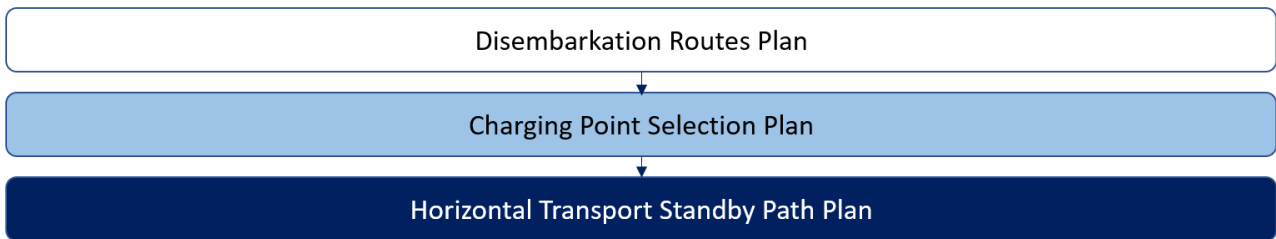


Figure 6. Flow of drop-off process route plan

적재, 탑승 및 하차 프로세스에서 수립되는 계획의 상세는 다음 <Table 5>와 같다.

Table 5. List of plans in the loading, boarding and unloading processes

Establishment Plan	Contents
Horizontal Transfer Device Selection Plan	- Plan to select horizontal transfer devices to be engaged when a new cargo container is introduced
Horizontal Transfer Device Binding Path Plan	- Path planning for horizontal transfer device movement in accordance with the tightening direction of cargo container
Standby Point Selection Plan	- Plan to select a point at which horizontal transfer devices engaged with a cargo container and loaded with cargo will wait in the vehicle base before boarding the train
Route to Standby Point Plan	- Route planning for moving horizontal transport to selected waiting points
Boarding Priority Plan	- Ranking plan to determine the order in which a train travels to the destination of a freight container arrives

Standard Rolltainer Boarding Path Plan	- Train boarding route plan to ensure that the train arrives at a fixed rank and to complete its boarding quickly
Avoidance Paths in Response to Unexpected Situations Plan	- Path planning to achieve the original goal in accordance with the changed circumstances, if various unexpected situations occur during the movement of the horizontal transfer device, do not follow the original travel plan
Disembarkation Routes Plan	- Planning the horizontal transfer device movement path after the train arrives and when getting off
Charging Point Selection Plan	- Plan to select the point at which the horizontal transfer device will stand by and be charged after the horizontal transfer device and the freight container are disengaged
Horizontal Transport Standby Path Plan	- Path planning for horizontal transport device to the selected low point

4.1. 수평이송장치의 이동 속도 예측

계획 과정에서는 차량의 속도 및 이동에 걸리는 시간이 중요 의사결정 요소로 활용된다. 이동 시간은 배경이 되는 차량기지 및 역사의 상태와 표준 용기에 실린 화물의 총무게 및 무게 중심 등에 따라 달라지므로, 이를 실제 이동 전에 예측할 필요가 있다. 본 경로 계획에서는 다음과 같은 과정을 통하여 차량의 이동에 걸리는 시간을 예측한다. 우선 각 수평이송장치가 표준 용기와 결합한 직후의 이동 시간과 지점별 이동 시간을 기록하여 수평이송장치의 이동 시간 감소 비율을 측정하고, 평균하여 지점의 이동 시간 감소 비율을 산출한다. 이후, 새로운 수평이송장치의 경로 계획을 수립할 때는 기존의 이동 시간 감소 비율을 통해 이동 시간을 추측하였다.

4.2. 선정 계획의 상세 설계

수평이송장치의 표준 용기 체결, 열차 탑승 및 하차, 표준 용기의 반환 및 충전 대기까지의 과정에서 발생하는 모든 이동은 경로 계획 알고리즘에서 정해진 경로 계획을 따르기에 무척 중요하다. 또한, 경로 계획을 세우기 위하여, 선정 계획의 상세 설계가 진행되어야 한다. 본 경로 계획 프로세스의 계획 알고리즘은 크게 우선순위 선정 알고리즘과 경로 생성 알고리즘으로 분류할 수 있다. 이 중, 선정 알고리즘은 다음 <Table 6>과 같은 요소를 고려하여 수행하였다. 선정 계획의 고려 요소의 수치를 0, 1 사이의 값으로 정규화하고, 이를 가중 합하는 과정을 거쳐 산출된 최종 평가치를 비교하는 과정을 통해서 이루어진다. 가중치는 고려 요소의 중요도를 고려하여 0과 1 사이의 값으로 정해지며, 해당 요소의 중요도를 고려해 정해진다.

Table 6. Requirements by algorithms

Algorithms	Requirements
Horizontal feed supplies, plan selection of algorithms	<ul style="list-style-type: none"> - Distance between horizontal transfer unit and standard container - Amount of battery remaining on the horizontal transfer device - Fragmentation level of space predicted when using the point - Distance traveled to the waiting point
Holding area for planning algorithm	<ul style="list-style-type: none"> - Fragmentation level of space predicted when using the point - Distance traveled to the waiting point
Train boarding priority planning algorithm	<ul style="list-style-type: none"> - Disembarkation priorities on the train - Distance traveled by horizontal transfer device - the speed of movement of the horizontal transfer device
Horizontal transfer device charging point selection planning algorithm	<ul style="list-style-type: none"> - Amount of battery remaining on the horizontal transfer device - Fragmentation level of space predicted when using the point - Distance traveled to that point

4.3. 경로 생성 계획의 상세 설계

경로 계획은 가중치 기반 변형 Dijkstra 알고리즘을 통하여 작성된다. 본 연구의 경로 계획 알고리즘의 원본인 Dijkstra 알고리즘은 효율적으로 모든 가능한 경로를 비교하는 알고리즘으로써, 본 연구의 차량기지 와 같은 공간에 적용되기에 적합한 알고리즘이다. 해당 알고리즘은 다음 <Table 7>과 같은 과정을 통해 작동한다. 해당 의사 코드는 배경이 되는 경로 네트워크가 Graph, 출발지는 Source의 형태로 전달하여, Source에서부터 모든 지점까지의 최단 경로 및 거리를 도출하는 알고리즘이다. 데익스트라 알고리즘은 기본적으로 모든 가능한 경로를 모두 검토한다. 이 과정에서 비효율적인 경로는 빠르게 목록에서 제거되고, 효율적인 경로만이 지속해서 재사용 되도록 하여, 경로의 검토 과정을 최대한 효율적으로 수행하도록 한다. 해당 알고리즘은 가능한 모든 경로를 검토한다는 특성상, 배경 경로 네트워크의 복잡도가 커지면 사용이 힘들어진다는 단점이 있으나, 본 연구의 배경은 일반적인 도로가 아닌, 한정된 차량기지의 사각 격자 형태이므로, 구동에 필요한 시간이 매우 짧아 실제 수평이송장치의 구동 시 적용이 가능하다.

Table 7. Process of Dijkstra algorithm

```

function Dijkstra(Graph, Source):
    dist[source] ← 0
    prev[source] ← undefined
    create vertex set Q
    for each vertex v in Graph:
        if v ≠ source:
            dist[v] ← INFINITY
            prev[v] ← UNDEFINED
        add v to Q

    while Q is not empty:
        u ← vertex in Q with min dist[u]
        remove u from Q
        for each neighbor v of u:
            alt ← dist[u] + length(u, v)
            if alt < dist[v]:
                dist[v] ← alt
                prev[v] ← u
    return dist[], prev[]

```

본 경로 계획 프로세스 중 경로 생성 알고리즘 알고리즘은 다음 <Table 8>과 같은 특성을 가진다.

Table 8. Characteristics of path generation algorithms

Path Generation Algorithm	Characteristics
Horizontal Transfer Device Binding Path Plan	- Consideration of the tightening direction of the horizontal transfer device and the standard transfer container
Standby Point Selection Plan	- General Path Planning
Standard Rolltainer Boarding Path Plan	- Compliance with boarding priorities - Multiple vehicles moving simultaneously - Multiple Path Overlapping Occurred - Time taken is critical
Avoidance Paths in Response to Unexpected Situations Plan	- Plans to respond to environmental changes caused by unpredictable and unexpected situations - Consider existing boarding priorities as far as much as possible
Disembarkation Routes Plan	- Planning of the drop-off route considering the delay in the vertical transfer unit - Time taken is critical
Horizontal Transport Standby Path Plan	- General Path Planning

해당 알고리즘 중, 열차 탑승 경로 계획을 제외한 나머지 계획은 차량의 경로 겹침의 발생이 매우 드물게 발생하는 계획으로, 기존의 경로 계획을 적용하는 것이 가능하여 변형하지 않은 원본 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 수행되었다. 반면 다수의 차량이 좁은 열차 탑승구를 통해 이동하므로 경로 겹침이 수시로 발생하며 탑승 우선순위를 반드시 지켜야 하는 열차 탑승 경로 계획과 이미 겹침이 발생하여 대응해야 하는 상황인 돌발 상황 대응 회피 경로 계획 알고리즘에는 변형된 Dijkstra 알고리즘을 적용한다. 변형된 Dijkstra 알고리즘은 다음 <Figure 7>과 같은 과정을 거쳐 동작한다. 해당 알고리즘에서는 충돌이 자주 발생할 것으로 예측되는 지점의 통과 비용을 일반적인 물리적 비용보다 더욱 비싸게 책정하는 방법을 통하여 꼭 해당 지점을 통과하여야 하는 차량이 아니라면 해당 지점을 피하는 경로를 택하도록 유도하는 방식이다. 비용의 변경은 해당 지점의 통과 횟수에 기반한 보정치를 곱하는 형태이다.

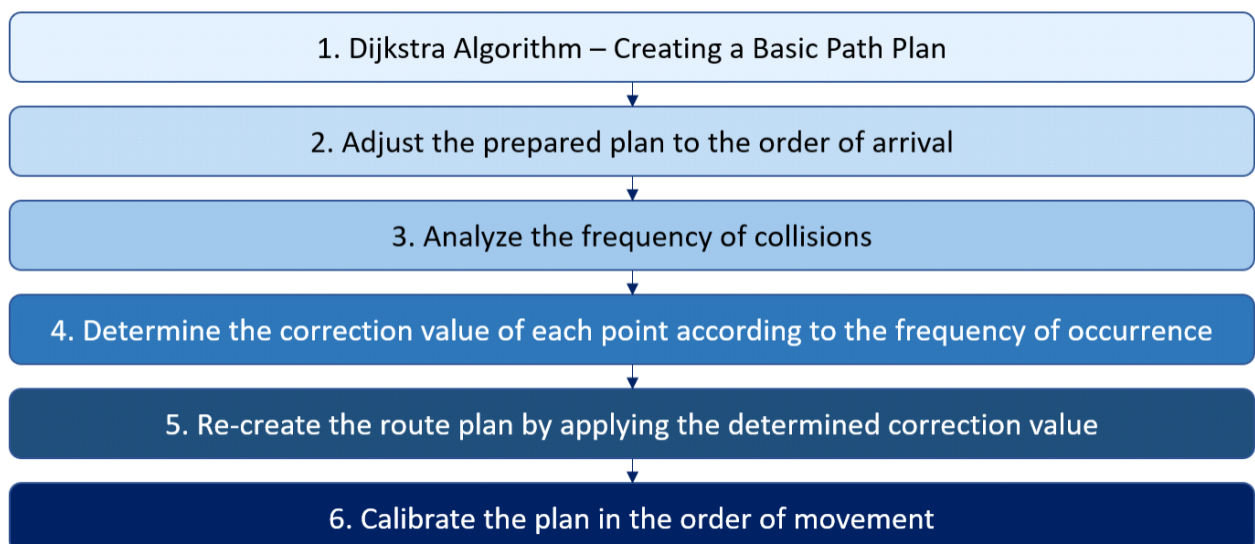


Figure 7 : Modified Dijkstra Algorithm

돌발 상황 대응 회피 경로 계획 알고리즘의 경우, 이미 충돌이 발생한 상황에서 이루어지므로, 남은 경로 계획을 분석하여 보정치를 재산정하되, 더욱더 강하게 바로잡도록 하여 더욱더 충돌 회피적인 경로 계획을 작성하도록 하였다. 해당 알고리즘은 시뮬레이터를 통해 구현되었으며, 이후 다양한 환경에서 검증을 거쳐 실제 관제 시스템에 탑재될 예정이다. 실제 구현 장면은 다음 <Figure 8>과 같다.

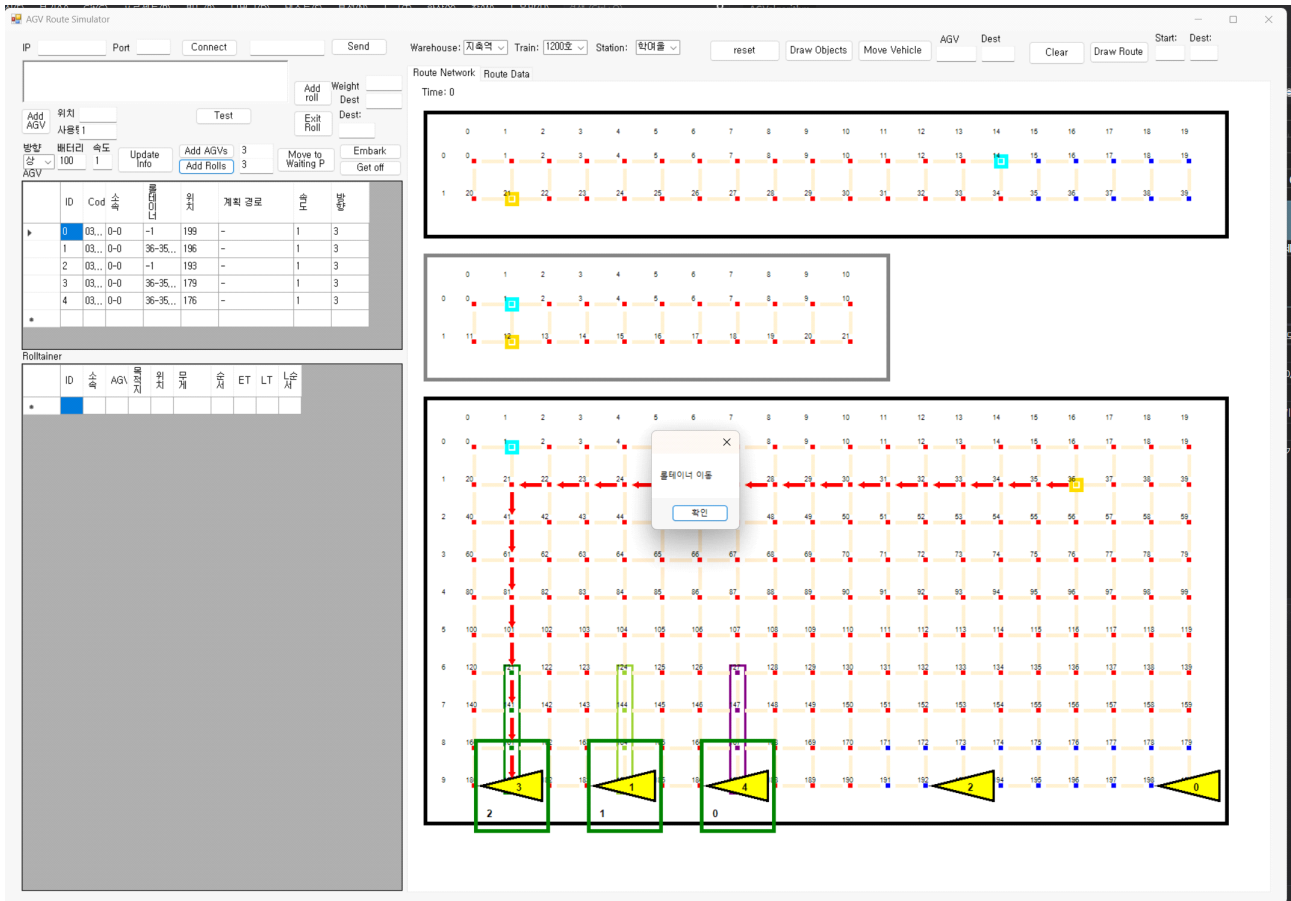


Figure 8. Implementation of algorithms through simulators

5. 결론

본 연구에서는 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치를 통합관제하는 시스템을 제안하였다. 도시철도 물류 시스템의 수직/수평이송장치를 제어하기 위해서는 통합관제시스템이 필수적이다. 본 연구에서 활용하고자 하는 수평이송장치는 기존의 AGV를 화물운송 표준용기 및 화물열차 출입문의 물리적 형상에 맞게 개량한 기계장치로써, 관련된 선행연구는 제시한 주행 제어 설계 기법, 경로 인식 방안 등의 관점에서 검토되었다. 검토 결과, 본 연구에서 활용하고자 하는 수평이송장치는 물리적 환경, 특성에 맞게 새로운 개념으로 제시되는 기계장치이기 때문에, 경로 생성에 대한 직접적인 비교는 어려웠으며, 상용화하기 위해 제작되는 AGV 개발의 핵심 사항에 대한 사안을 확인하였다. 본 연구에서는 기존의 사례와는 다르게, 경로 생성에 Dijkstra Algorithm을 활용하였으며, 경로 인식 신뢰성이 높은 QR 방식의 경로 인식 방안을 채택하였다.

수직/수평이송장치 제어 메시지 생성 및 전송, 제어 S/W 원격조정 등 통합관제시스템은 원격을 통한 관제서버 데이터 상태 정보 모니터링 및 수직/수평이송장치를 제어할 수 있게끔 설계되어야 한다. 이를 수행하기 위해서는 통합관제시스템은 AMQP 처리기, 운영시스템 API 처리기, 수직/수평이송장치 연결 처리기

및 상태 정보 처리기, 라우팅 처리기, 웹/앱 인터페이스 처리기 등으로 구성된다. 통합관제시스템과 수직/수평이송장치 간의 모든 데이터는 AMQP를 이용하여 통신한다. 중점적으로는 이동 중 변경되는 위치정보, 배터리 잔량 등을 실시간/양방향으로 통신이 가능해야 한다. 이를 수행하기 위해서는 화물운송 표준용기의 정보(화물운송 표준용기 ID, 목적지, 차량번호)가 필요하다. 본 논문에서는 도시철도 물류 시스템 운영에 필요한 수직/수평이송장치의 개념과 필요 기능을 정의하였고, 수평이송장치를 제어하기 위한 통합관제시스템에 대한 개념과 설계 기준, 기능을 정의하였다. 또한, 본 논문에서는 도시철도 물류 시스템의 화물운송 기능 확보를 위하여, 서브 기능이라고 판단할 수 있는 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘 연구를 목적으로 수행되었다. 이를 통해, 또한, 본 연구의 결과로 도출된 통합관제시스템 및 수평이송장치 경로 생성 알고리즘은 도시철도 물류 시스템의 효율적인 측면에서의 운용 목적에 기여될 수 있다.

본 논문은 도시철도 물류 시스템 물류 자동화의 핵심 구성요소로써, 수평이송장치의 경로 생성 알고리즘을 제시하였으나, 통합관제시스템과 수평이송장치 경로생성에 대한 통신 문제만을 다루고 있기에 경로생성 알고리즘 최적화에 대한 한계점을 가진다. 추후, 이를 보완하기 위한 향후 연구로써, 경로생성 알고리즘 자체의 성능을 평가하는 성능평가의 기준을 마련하여, 더욱 최적화된 경로생성 알고리즘 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- Choi J. H. and Choi B. J. (2019), "Indoor Moving and Implementation of a Mobile Robot Using Hall Sensor and Dijkstra Algorithm", IEMEK Journal of Embedded Systems and Applications (IEMEK J. Embed. Sys. Appl.), vol. 14, no. 3, 151-156.
- Hwang S. W., Kim H. S. and Kim J. U. (2021), "Improvement Interface Requirements through Operation Scenario Analysis of Urban Railway Logistics System", Journal of Logistics Science & Technology, vol. 2, no. 2, 38-51.
- Jeon H. G. and Hong Y. S. (2012), "A Moving Control of an Automatic Guided Vehicle Based on the Recognition of Double Landmarks", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences", vol. 37, no. 8, 721-730.
- Jung C. H. and Lee M. S. (2017), "Development of Augmented Reality Walking Navigation App using Dijkstra Algorithm", Journal of The Korea Society of Computer and Information (JKSCI), vol. 22, no. 2, 89-95.
- Kim J. M., Park J. J., Jeon T. R. and Kim S. S. (2009), "Fuzzy and Proportional Controls for Driving Control of Forklift AGV", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol. 19, no. 5, 699-705.
- Lee J. W. and Lee B. R. (2019), "Design of Automatic Guided Vehicle Controller with Built-in Programmable Logic Controller", The Journal of Korea Institute of Convergence Signal Processing, vol. 20, no. 3, 118-124.
- Lee J. W. and Lee B. R. (2020), "Design of the Driving Controller of Automatic Guided Vehicle based on Fuzzy Inference System", Journal of Korean Institute of Information Technology, vol 18, no. 6, 11-16.
- Lee Y. H., Park E. K., Park T. J., Ryu K. R. and Kim K. H. (2003), "AGV System Operating Scheme based on Grid Level Control in Automated Terminal", Journal of Korean Navigation and Port Research, vol. 27, no. 2, 223-231.
- Tack H. H. and Kwon S. G. (2014), "Driving Control of Automated Guided Vehicle Using Centroid of Gravity Method", Journal of the Korea Society Industrial Information System, vol. 19, no. 2, 59-66.
- Woo S. B., Jung K. H., Kim J. M., Park J. J. and Kim S. S. (2010), "Velocity Control Method of AGV for Heavy Material Transport", Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol. 20, no. 3, 394-399.
- Yang K. M., Han J. B., Sin H. S., Lee J. I., Lee S. J. (2019), "An Integrated Multi-robot Control System based on ROS for Autonomous Exploring Disaster Environment", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (J Inst Contr Robot Syst), vol. 25, no. 6, 534-540.
- Yang K. M., Suh J. H., Lee J. W., Noh J. H., Kim M. G., Seo K. H. (2021), "An Integrated Control System for Disaster Response Robot based on Multiple ROS Core considering Network Instability", Journal of the Korean Society for Precision Engineering (JKSPE), vol. 38, no. 10, 741-748.