

Simulation Analysis for Improving the Logistics Flow in an Chemical Storage System

Gi-Hwan Lee · Jae-Young Jo · Gyu-Tae Chae · Seong-Yong Jang[†]

Department of Industrial Engineering, Seoul National University of Science and Technology

석유화학 창고 시스템 내 물류 흐름 개선을 위한 시뮬레이션 분석

이지환 · 조재영 · 채규태 · 장성용[†]

서울과학기술대학교 산업공학과

In this study, to improve the logistics flow of existing given chemical logistics warehouse, four logistics flow alternatives were proposed to minimize truck interference by building simulation model. The simulation model for chemical storage warehouse was built to evaluate system performance. Among the four new improved alternatives based on the basic model, the model with the same truck's pathways and locations of facilities identified an increase in the number of interferences but a decrease in daily working hours as the number of resources in a particular facility increases. Therefore, the three groups were classified as 'efficiency', 'complementary', and 'safety' based on the daily working hours, and the ratio of trucks entering two types of logistics warehouse was set in consideration of future market fluctuations. For each of the six types, the optimal number of resources was selected as the number of resources in the facilities with the least number of interferences in the basic model and the evaluation measures and characteristics set in this study were compared and analyzed. As a result, the Alternative 4 model operating the underground roadway produced interference between 17.0% and 36.4% of the basic model, with 113.3% of the interior loadspace.

Keywords : Large Logistics Warehouse, Traffic, Simulation, Chemical Storage System, Logistic Flow

1. 서 론

물류창고는 적재 및 하역, 보관, 스케줄링, 라우팅(routing) 등 다양한 프로세스들이 결합된 복잡한 환경으로, 안전과 효율적인 운영이 성공적인 관리를 위하여 매우 중요하다[11, 18]. 대형 석유화학 물류창고에는 다량의 석유화학 제품들이 보관되어 있기 때문에 사고가 발생하면 대형 사고로 확대될 가능성이 매우 크다. 실제로 1984년, 멕시코시티(Mexico City)에 한 LPG 저장 시설의 폭발이 약

500명의 사상자와 약 7000명의 부상자를 발생시키며, 주변 시설이 완전히 파괴되는 사건으로 확대되었다[15]. Darbra et al.[7]은 화학물질과 관련된 사고들 중 도미노 효과를 일으킨 가장 빈번한 요소로 제품 저장 장소(35%)와 관련된 문제를 선정하였다.

이에 제품 저장 장소에서의 사고와 사고의 피해를 줄이고자 하는 많은 연구가 진행되었다. Jung et al.[13]은 정량적 위험분석과 MINLP(Mixed integer nonlinear programming)을 이용하여 시설의 안전한 장소를 선택할 수 있는 방법론을 제시하였다. Xu[19]는 혼합 정수 계획법을 이용하여 석유화학 제품을 안전하게 배치할 수 있는 최적의 방안을 결정하기 위한 알고리즘을 제시하였다. Bernechea and Arnaldos[6]는 제품 저장 장소의 설계를 최적화하고

위험물질의 질량을 고려하여 최적의 저장 탱크 수를 계산하여 위험을 최소화하고자 하였다. Lira-Flores et al.[9]은 혼합 정수 선형 계획법을 이용하여 실제 저장 시설에 적합한 수학적 접근법을 제시하였으며, 이 접근법이 선박, 건물, 공정 시설 등 실제 30여개의 저장시설과 25개의 시나리오에서 적합하게 작동되는지 확인하였다. 이와 같이 제품 저장 장소에서의 사고를 줄이고자 하는 연구는 대체적으로 제품이나 시설의 배치를 중심으로 이루어지고 있다. Koster et al.[8]은 네덜란드를 거점으로 둔 78개의 물류 창고에서 발생하는 사고에 대한 연구를 진행하였으며, 차량의 흐름이 안전 문제에 가장 큰 기여를 하는 요소로 평가하였다. 대형 석유화학 물류창고에서 석유화학 제품을 적재하기 위하여 창고로 들어온 트럭들이 창고 내부의 이동경로를 따라서 이동하며 차량과 관련된 사고가 발생하면 매우 큰 사고로 연결될 가능성이 매우 크기 때문에 안전하게 차량의 흐름을 관리하는 것이 매우 중요하다.

최근에는 물류창고가 어떠한 제품의 이동을 위한 임시 저장소의 역할을 수행하는 것이 대부분이다[3]. 따라서 물류창고 내에서의 물품 하역 및 적재 작업이 빈번해져, 물류창고를 효율적 및 안전적으로 운영하기 위하여 물류를 관리하는 것이 매우 중요하다. 대형 석유화학 물류창고에서는 창고 내부로 트럭들이 물품을 적재하기 위해서 들어오므로, 차량의 흐름을 관리하는 것이 매우 중요하며, 차량의 흐름을 관리함으로써 물류의 흐름을 관리할 수 있다. 물류창고 내의 트럭들이 이동하는 경로가 물류창고 내에 물류 흐름을 관리하는 매우 중요한 요소이다[3].

대형 석유화학 물류창고 내 이미 설치된 트럭들의 이동경로를 변경하는 것은 많은 시간과 비용이 필요할 뿐만 아니라 물류창고의 운영이 일시적으로 중단되는 등 많은 문제점이 발생할 수 있다. 또한 일정 기간이 지나면 시장 동향과 기업 전략의 변화 등 여러 요인에 따라 기존 설계가 맞지 않는 상황이 발생할 수 있다[20]. 따라서 물류창고 설계 당시에 트럭들의 이동경로 및 시장동향을 고려해야 하나 각 시장동향에서 어떠한 이동경로가 좋은 방안인지 예측하는 것은 매우 어려운 일이다.

시뮬레이션은 아직 존재하지 않는 시스템을 미리 구축하여 실험을 진행할 수 있기 때문에 실제 시스템의 작동을 관찰할 수 있는 차선책으로 여겨진다[3, 16]. 새로운 시스템을 구축하기 전에 여러 대안들의 성능 평가 및 비교, 요인들 간의 관계 분석을 수행하여 가장 우수한 시스템을 선정하는 도구로 시뮬레이션이 사용된다[1].

이미 시뮬레이션은 다양한 물류흐름 및 차량 흐름의 개선 연구에 사용되고 있다. Gu et al.[10]은 시뮬레이션을 이용하여 소셜 커머스(Social commerce)의 물류 시스템의 개선방안을 제시하였으며, Suraraksa et al.[17]은 시뮬레

이션을 활용하여 국방수송물류에서 민과 군의 통합 운영 방안 체계를 수립하였다. Laruea et al.[14]은 철도 건널목에서의 교통 혼잡을 감소하는 방안을 제시하였으며, Astarita et al.[2]은 교차로에서 각 시나리오별 안전성을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 사용하였다.

Baek and Shin[4]은 사우디에 건설된 대형 석유화학 물류창고에 대한 기본모형을 제시하였으며, 트럭이 창고 내부로 들어오고 나가는 것을 통제하는 게이트웨이의 수를 결정하는 연구를 진행하였다. Baek[5]은 대형 석유화학 물류창고의 성능을 높이기 위하여 창고 내부에서 포크리프트나 트롤리 등의 운반 차량의 최적의 수를 결정하는 연구를 진행하였다. Baek and Ko[3]는 차량의 이동 경로에 따른 물류흐름에 대한 연구를 진행하였으며, 기본모형과 3가지 대안을 제시하여 각 모형 간의 성능을 비교하였으나 기본모형이 전반적으로 우수한 모형으로 선정되었다.

본 연구에서는 석유화학 물류창고에서 차량의 이동 경로에 대한 4가지 대안들을 제시하며, 시뮬레이션을 이용하여 제시한 4가지 대안들과 Baek and Ko[3]가 제시한 모형들 중 대체로 우수한 성능을 가진 기본모형에 대해 각 시설의 자원 수에 따라 대형 석유화학 물류창고가 안전하고 효율적으로 운영되고 있는지에 대하여 성능을 비교 분석한다.

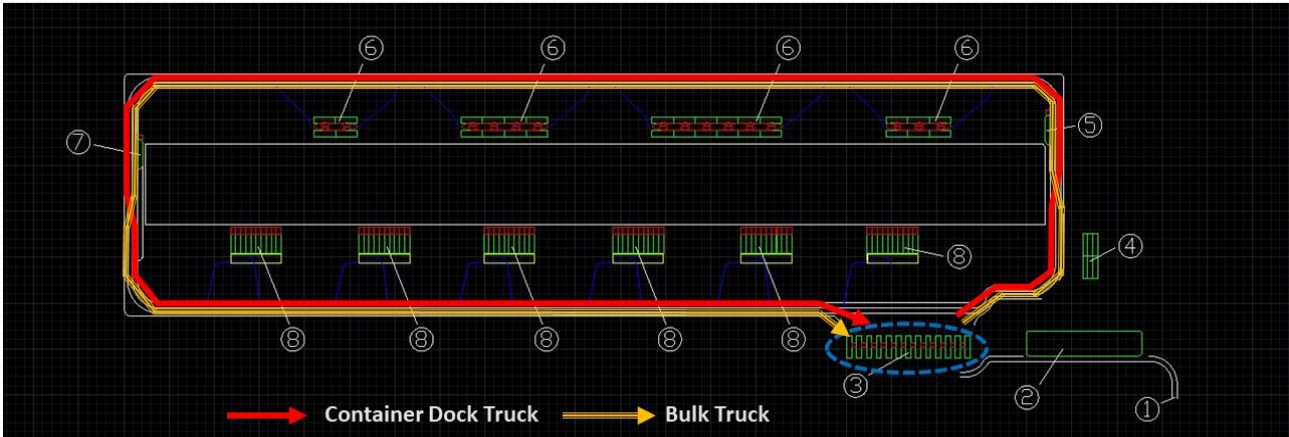
본 연구에서는 'Arena 16.0'을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 'AutoCad'를 이용하여 대형 석유화학 물류창고 내 시설간의 간격, 차량의 이동 경로 길이 등을 설계하고 본 연구에서 중요하다고 여기는 창고 내 적재 면적과 같은 척도들을 수치적으로 확인하였다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 설계 및 가정

2.1.1 기본 모형 내 물류창고에서의 차량 흐름

먼저, 기본 모형은 서론에서 밝힌 바와 같이 Baek and Ko[3]의 논문에서 발췌하였다. <Figure 1>은 기본모형이며, 창고 내에 트럭의 경로와 주요 시설들을 나타냈다. <Figure 1>에서 ①은 트럭의 도착지점을 나타내고 ②는 트럭이 창고 안으로 들어오기 전에 대기하는 장소를 나타낸다. ③은 트럭이 창고로 들어오기 전에 검문을 받거나 트럭이 창고를 빠져나가기 위해서 거치는 게이트웨이를 나타내고 ④는 시벌크(sea bulk) 트럭이 벌크 제품을 적재하기 전에 라이너(liner)를 준비하는 곳이다. ⑤는 시벌크 트럭과 탱크벌크(tank bulk) 트럭의 무게를 측정하는 곳이며, 이후에 ⑥에서 벌크 제품을 트럭에 적재하고



<Figure 1> Truck Flows in Basic Model

벌크 제품이 얼마나 적재되었는지 측정하기 위해 ⑦에서 다시 무게를 측정한다. ⑧은 제품을 컨테이너 도크(container dock) 트럭에 적재하는 곳이다.

<Figure 1>에서 트럭의 흐름은 다음과 같다.

- 트럭이 도착하면(①) 대기 장소(②)에 대기한 후, 게이트웨이(③)를 통해서 물류창고 내부로 들어온다.(단, 게이트웨이(③)에서 트럭에게 서비스를 제공할 수 있으면 트럭은 대기 장소(②)를 거치지 않는다.)
- 물류창고 내부로 진입하는 모든 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 우측 도로로 진입하여 시계 반대 방향으로 이동하면서 각 트럭이 받아야 하는 각 시설의 서비스를 받은 뒤, 게이트웨이(③)를 통하여 나간다.
- 시벌크 트럭은 라이너 준비 작업(④)을 걸치고 무게검사장(⑤)에 진입하나 탱크 벌크 트럭은 게이트웨이(③) 통과 후 바로 무게검사장(⑤)으로 진입하여, 트럭의 무게를 측정한다.
- 벌크 트럭은 무게검사장(⑤) 이후, 벌크 적재장(⑥)에서 제품을 적재 받고 무게검사장(⑦)을 거쳐서 게이트웨이(③)를 통해서 창고 외부로 빠져나간다.
- 컨테이너 도크 트럭은 게이트웨이(③) 통과 후 도크 적재 장소(⑧)에서 제품 적재 후, 게이트웨이(③)를 통해서 창고 외부로 빠져나간다.

2.1.2 시뮬레이션을 위한 가정

본 연구에서 설정한 가정들은 Baek and Ko[3]가 기본 모형을 시뮬레이션을 실시하는데 사용한 가정들을 사용하였으며, 몇몇 가정들을 추가하여 설정하거나 기존 가정들을 일부 수정하여 사용하였다. 시뮬레이션에서 사용된 가정은 다음과 같다.

- 1) 창고의 진입하는 차량의 종류는 컨테이너 도크 트럭, 시벌크 트럭, 탱크벌크 트럭이다. 매일 평균 239대의 컨테이너 도크 트럭이 들어오고, 155대의 벌크 트럭이

들어온다. 이때, 벌크 트럭은 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭으로 분류할 수 있으며, 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭의 비율은 70:30이다. 본 연구에서는 창고를 건설한 후 시장 상황에 맞게 변경하는 것은 불가능하기 때문에 수요가 늘어날 경우를 대비하기 위하여 위에서 언급한 차량수의 50%를 증가하여 실험을 실시하고자 한다.

- 2) 1)에서 언급한 컨테이너 도크 트럭과 벌크 트럭의 비율은 대략 60.7:39.3이나, 시장 변화에 따라서 들어오는 차량의 비율이 변경되어질 수 있기 때문에 컨테이너 도크 트럭과 벌크 트럭의 비율이 80:20인 상황도 실험을 실시하고자 한다. 즉, 본 연구에서는 트럭의 비율이 60.7:39.3, 80:20인 상황에 대해서 실험을 실시한다.
- 3) 컨테이너 도크 트럭은 루즈백용 제품을 적재하는 트럭과 팔렛용 제품을 적재하는 트럭으로 분류할 수 있으며, 각 트럭의 비율은 15:85이다. 루즈백용 제품은 트럭에 적재하기 위해 평균 60분이 소요되며 팔렛용 제품은 평균 50분이 소요된다.
- 4) 시벌크 트럭은 라이너 준비 작업을 반드시 거쳐야 하며, 평균 15분이 소요된다. 탱크벌크 트럭은 라이너 준비 작업을 하지 않는다.
- 5) 벌크 트럭은 적재한 제품의 양을 측정하기 위하여 제품을 적재하기 전과 적재한 후에 무게 검사를 실시하며, 평균적으로 2분이 소요된다.
- 6) 벌크 제품은 트럭에 적재하기 위하여 총 평균 50분이 소요되며, 이 중 약 5분은 사람에게 의해서 이루어지는 작업이며, 나머지 약 45분은 전적으로 기계에 의존하여 작업이 진행된다.
- 7) 창고 내부에서 트럭에게 허용된 최대 속도는 20km/h이며, 차량 간 안전거리는 최소 5m이다. Harwood et al.[12]에 따르면 대형 트럭이 20mile/h(32.2km/h)로

운행 중일 때, 브레이크 반응을 내리는 거리는 73.3ft (22.3m)라고 한다. 트럭들이 물류창고 내부에서 운전한다는 점을 감안하여 차량은 원활한 제동을 위하여 멈추고자 하는 지점의 20m 이전 지점에서 속도를 줄이기 시작하여 멈춘다.

- 8) 컨테이너 도크 트럭이 적재 서비스를 받기 위하여 후진하거나 서비스 완료 후 서비스 작업장을 빠져나갈 때, 다른 트럭에게 영향을 주는 지연시간은 20초이다.
- 9) 시뮬레이션 기간은 30일이며 반복 횟수는 73회이다.
- 10) 벌크 적재장(⑥)의 각 자원 수는 <Figure 1>에 기입된 벌크 적재장 왼쪽부터 4, 8, 12, 6으로 고정한다.
- 11) 게이트웨이에서는 들어오는 트럭들에게 서비스 받을 도크 또는 벌크 적재 장소의 지점을 공지하며, 각 트럭들은 그 지점으로 이동하여 적재작업을 수행한다.
- 12) 대형 석유화학 물류창고의 작업시간은 오전 6시~오후 6시이나, 오후 6시 이전에 게이트웨이를 통과한 트럭까지 작업을 마친다.
- 13) 대형 석유화학 물류창고는 당일 들어오는 트럭들에게 작업할 수 있는 충분한 제품의 물량을 보유하고 있다. 즉, 재고 부족으로 인하여 발생하는 추가적인 문제는 없다.

2.1.3 성능평가 척도

(1) 간섭 횟수

간섭은 임의의 트럭의 이동이 다른 트럭의 이동에 의해서 감속하거나 정지하는 경우이다. 임의의 트럭이 특정 서비스를 받기 위해서 그 시설에 정지하거나 대기 줄에서 정지하는 경우는 간섭으로 보지 않는다. 대형 석유화학 물류창고에서는 차량으로 인한 사고가 발생할 경우 큰 사고로 이어질 가능성이 매우 크므로 다른 트럭에 의해서 발생하는 간섭 횟수를 최소화하는 것이 매우 중요

하다. 따라서 본 연구에서는 간섭 횟수를 가장 중요한 척도로 판단하였으며, 간섭 횟수는 30일 동안 발생하는 총 간섭 횟수로 나타냈다.

(2) 업무 시간

작업장의 작업은 저녁 6시 이전에 게이트웨이로 들어온 트럭까지 진행한다. 각 시설의 작업자의 수가 매우 적다면 일일 업무 시간은 클 것이다. 게이트웨이 작업자의 수가 적다면 가정1)에서 설정한 물류창고의 들어올 트럭의 수만큼 작업을 진행할 수 없는 경우도 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 가정1)에서 설정한 트럭의 수를 보장할 수 있도록 게이트웨이의 작업자 수를 설정하였으며, 30일 동안 발생한 평균 일일 업무 시간을 나타냈다.

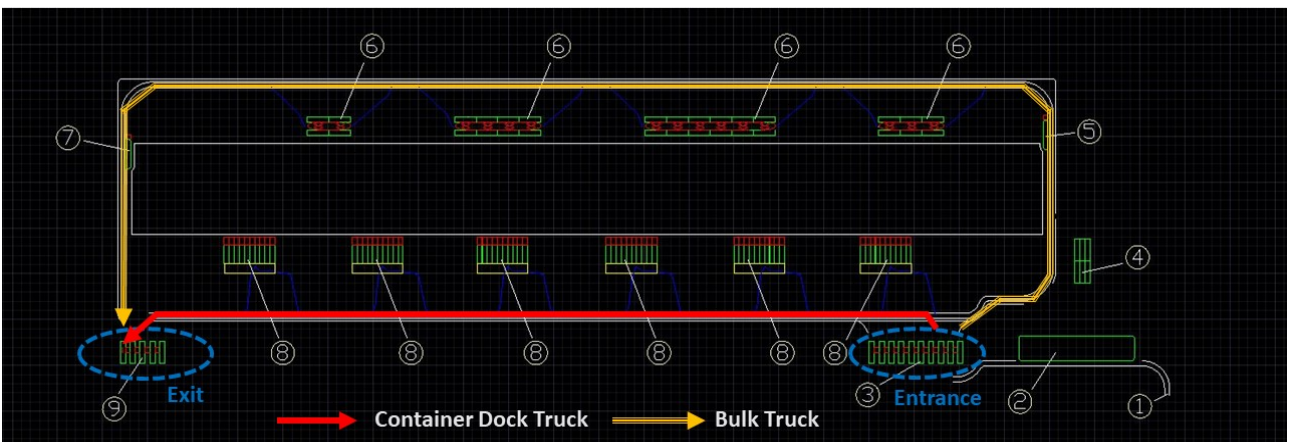
(3) 창고 내부 적재 공간

동일한 크기의 창고를 건설하여도 창고 내부를 어떻게 활용하는가에 따라서 내부 적재 가능한 공간은 상이하게 나타난다. 창고의 본 목적은 물건을 임시 보관하는데 있기 때문에, 창고를 운영하는 입장에서는 창고 내부 적재 공간이 큰 것을 선호할 것이다. 본 연구에서는 'AutoCad'를 사용하여 창고 내부 적재 공간을 m² 단위로 표현하였다. 안전거리를 고려하여 시설 및 도로에서 2m, 5m의 간격을 두어 창고 내부 적재 공간으로 설정하였으며, <Figure 1>에서 중앙의 직사각형과 같이 표현하였다.

2.2 제시한 대안 모형

2.2.1 대안 1 모형

대안 1 모형은 <Figure 2>와 같으며, 차량의 흐름은 다음과 같다.



<Figure 2> Truck Flows in Alternative 1 Model

- 기본 모형과 마찬가지로 시벌크 트럭, 탱크벌크 트럭, 컨테이너 도크 트럭이 도착하면(①) 대기 장소(②)에 대기한 후, 게이트웨이(③)를 통해서 물류창고 내부로 들어온다(단, 게이트웨이(③)에서 트럭에게 서비스를 제공할 수 있으면 트럭은 대기 장소(②)를 거치지 않는다).
- 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 우측 외곽 도로로 진입하여 시계 반대 방향으로 이동하면서 각 트럭이 받아야 하는 각 시설의 서비스를 받은 뒤, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 컨테이너 도크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 좌측 외곽 도로로 진입하여 도크 적재 장소(⑧)에서 제품을 적재 후, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 대안 1 모형은 게이트웨이(⑨)를 추가적으로 설치하여, 두 개의 게이트웨이의 출입 업무를 분담한다. 즉, 기존의 존재하였던 게이트웨이(③)는 트럭들이 창고 내부로 들어오는 것만을 통제하며, 새로 추가된 게이트웨이(⑨)는 트럭들이 창고 밖으로 나가는 것을 통제한다.
- 따라서 벌크 트럭과 도크 트럭의 이동경로가 분리되어서 벌크 트럭과 도크 트럭 사이에서 발생할 수 있는 간섭의 가능성이 제거된다. 기본 모형에서 사용하였던 2차선 도로에서 1차선 도로로 축소하여 운영할 수 있으며, 도로 축소에 따라서 창고 내부 적재 공간은 소폭 상승한다.

2.2.2 대안 2 모형

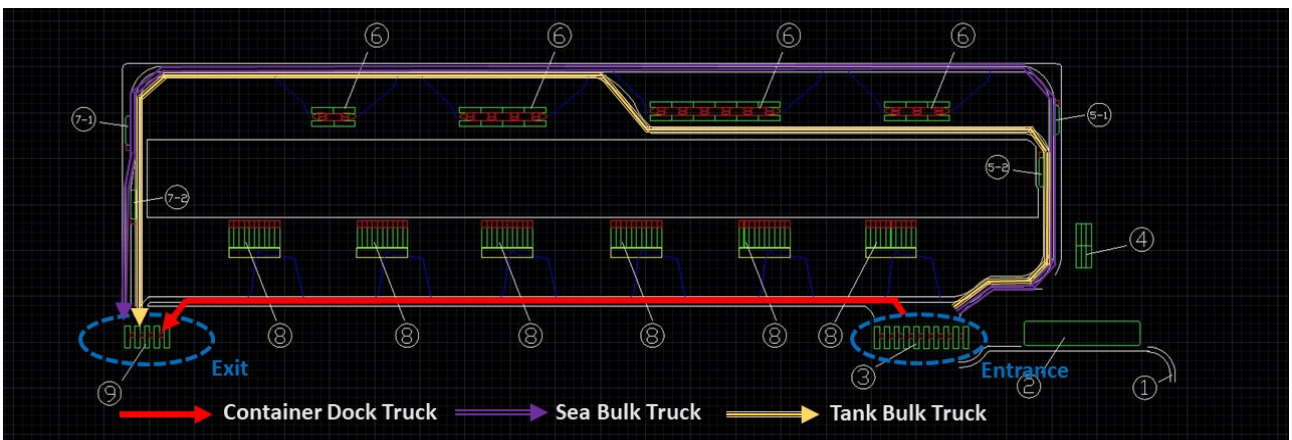
대안 2 모형은 <Figure 3>과 같으며, 차량의 흐름은 다음과 같다.

- 컨테이너 도크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 좌측 외곽 도로로 진입하여 도크 제품을 적재 후, 게

- 이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 시벌크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 우측 외곽 도로로 진입하여 라이너 준비 작업(④)을 거치고 무게검사장(⑤-①)에 진입하여 트럭의 무게를 잰다.
- 시벌크 트럭은 무게검사장(⑤-①)에서 나온 뒤, 우측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 무게검사장(⑦-①)에서 트럭의 무게를 잰 후, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 탱크벌크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 우측 외곽 도로로 진입하여 무게검사장(⑤-②)에서 트럭의 무게를 잰다.
- 탱크벌크 트럭은 무게검사장(⑤-②)에서 나온 뒤, 좌측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 무게검사장(⑦-②)에서 트럭의 무게를 잰 후, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.

대안 2 모형은 대안 1 모형과 같이 벌크 트럭과 도크 트럭의 동선을 분리하였으며, 추가적으로 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭의 무게검사장을 분리한 모형이다. 따라서 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭의 이동경로가 분리되어 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭 사이에서 발생할 수 있는 간섭의 가능성이 제거된다. 그러나 이동경로의 분리로 인하여 추가적인 도로가 필요하기 때문에 창고 내부 적재 공간은 대안 1 모형에 비해 감소하며, 추가적인 무게검사장을 운영한다는 점에서 추가적인 설치 및 운영비용이 발생한다.

시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭에 할당되는 벌크 적재 장소의 자원 수는 4:6(좌측 두 개의 벌크 적재장의 자원 수 : 우측 두 개의 벌크 적재장의 자원 수)이나 물류창고 내부로 들어오는 탱크벌크(좌측 두 개의 벌크 적재장으로 진입)와 시벌크 트럭(우측 두 개의 벌크 적재장으로 진입)의 비율은 3:7이다.



<Figure 3> Truck Flows in Alternative 2 Model

2.2.3 대안 3 모형

대안 3 모형은 <Figure 4>와 같으며, 차량의 흐름은 다음과 같다.

- 대안 3 모형은 대안 2 모형과 매우 유사한 모형이다. 컨테이너 도크 트럭의 흐름은 대안 2 모형과 동일하며, 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭이 첫 번째 무게검사장(⑤-①, ⑤-②)까지 이동하여 작업 받는 과정은 대안 2 모형과 동일하다.
- 시벌크 트럭은 무게검사장(⑤-①)에서 무게 검사를 받은 뒤, 물류창고의 외곽 도로를 이용하여 좌측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 각 벌크 적재 작업장의 할당된 무게검사장(⑦-③, ⑦-④)에서 트럭의 무게를 잰 후, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 탱크벌크 트럭은 무게검사장(⑤-②)에서 무게검사를 받은 뒤, 물류창고의 외곽 도로를 이용하여 우측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 각 벌크 적재 작업장의 할당된 무게검사장(⑦-①, ⑦-②)에서 트럭의 무게를 잰 후, 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.

대안 3 모형은 대안 2 모형과 거의 유사하다. 다만, 대안 2 모형에서는 벌크 트럭이 제품을 적재 받은 후, 할당되는 무게검사장이 시벌크와 탱크벌크 전용으로 2개였지만 대안 3 모형에서는 무게검사장이 각 벌크 적재 장소에서 서비스를 받은 트럭 전용으로 운영되어, 총 4개이다. 기존 앞의 모형들에서는 벌크 트럭이 제품을 적재한 후, 무게검사장으로 이동하는 과정에서 서로 간섭이 발생할 가능성이 존재한다. 대안 3 모형은 각 벌크 적재 장소 별 무게검사장을 운영하여 제품을 적재한 벌크 트럭 사이에서 발생하는 간섭의 가능성을 최소화하고자 한다. 따라서 많은 추가적인 도로가 발생하여 내부 적재 가

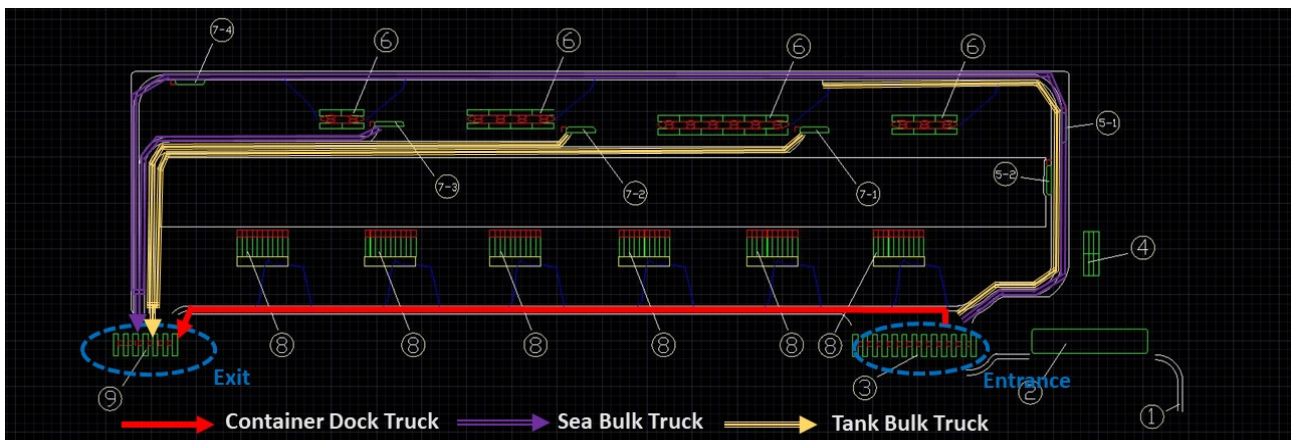
능 공간이 상대적으로 매우 작으며, 추가적인 무게검사장을 운영하는데 추가적인 설치 및 운영, 관리 비용이 발생한다.

시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭에 할당되는 벌크 적재 장소의 자원 수는 4:6(좌측 두 개의 벌크 적재장의 자원 수 : 우측 두 개의 벌크 적재장의 자원 수)이나 물류창고 내부로 들어오는 시벌크 트럭(좌측 두 개의 벌크 적재장으로 진입)과 탱크벌크(우측 두 개의 벌크 적재장으로 진입)의 비율은 7:3이다. 따라서 상대적으로 우측 두 개의 벌크 적재 작업장에 비해서 좌측 두 개의 벌크 적재 작업장으로 작업이 몰리게 되며, 좌측 두 개의 벌크 적재 작업장의 작업자들이 업무 분배에 대한 불만을 제기할 가능성이 매우 큰 모형이다.

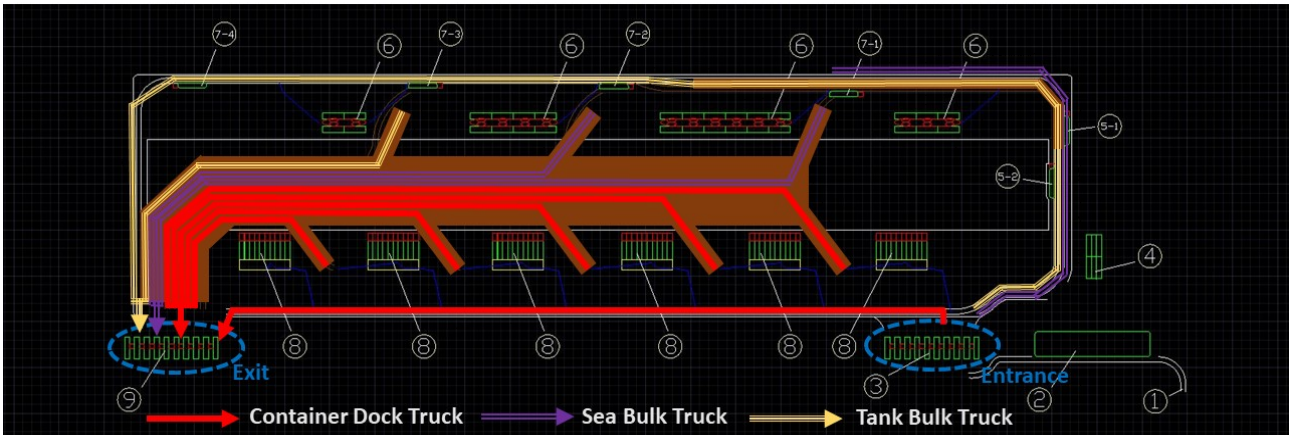
2.2.4 대안 4 모형

대안 4 모형은 <Figure 5>와 같으며, 차량의 흐름은 다음과 같다.

- 대안 4 모형은 대안 3 모형과 매우 유사하나, 대안 3 모형과 달리 지하 도로를 사용한다.
- 컨테이너 도크 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 좌측 도로로 진입하여 도크 적재 장소(⑧)에서 제품을 적재 후 지하 도로를 이용하여 이동하여 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 시벌크 트럭은 무게검사장(⑤-①)에서 나온 뒤, 우측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 무게검사장(⑦-①, ⑦-②)에서 트럭의 무게를 잰 후, 지하 도로를 이용하여 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.
- 탱크벌크 트럭은 무게검사장(⑤-②)에서 나온 뒤 일부 지하 도로를 지나쳐 지상도로로 통하여 좌측 두 개의 벌크 적재 장소(⑥)에서 제품을 적재한 후, 무게검사장(⑦-③, ⑦-④)에서 트럭의 무게를 잰 후, 지하 도로를 이용하여 게이트웨이(⑨)를 통하여 나간다.



<Figure 4> Truck Flows in Alternative 3 Model



<Figure 5> Truck Flows in Alternative 4 Model

대안 4 모형은 지하 도로를 사용한다는 특징을 갖는다. 기존 앞에서의 모형들에서는 도크 트럭은 도크 적재장(⑧)에서 제품을 적재한 후, 하나의 차선을 이용하여 물류창고로 나가기 때문에 도크 트럭들 사이에서 간섭이 발생할 가능성이 매우 크다. 대안 4 모형에서는 도크 트럭이 제품을 적재한 후, 각 지점에 할당되어 있는 지하 도로를 통하여 이동하도록 설계되어 도크 트럭들 사이에서 발생하는 간섭의 가능성이 최소화된다.

대안 4 모형은 지하 도로를 이용하여 탱크벌크 트럭이 적재 작업장으로 이동하기 때문에 시벌크 트럭과 탱크벌크 트럭에 할당되는 벌크 적재 장소의 자원 수가 6:4로, 대안 3 모형에서 발생할 수 있었던 작업자들의 업무 분배에 대한 불만이 감소된다. 지상에 있었던 많은 도로들이 지하 도로로 전환됨에 따라 상당한 적재 가능 공간을 확보할 수 있으나 지하 도로 건설에 따른 추가적인 설치 비용이 발생한다.

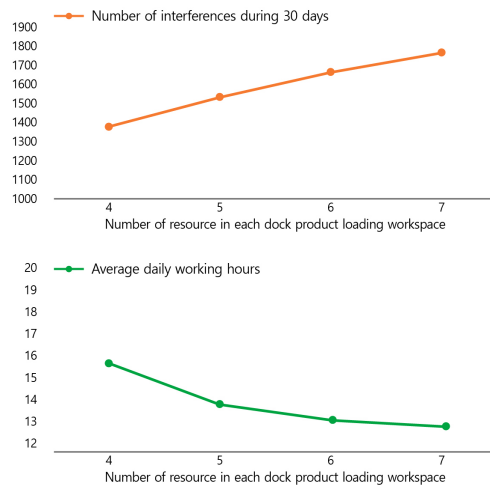
2.3 시뮬레이션 분석

2.3.1 최적의 자원 수 결정

동일한 자원 수에 따라서 각 대안 모형들에서의 성능이 어떻게 변화하는지를 확인하고자 기본 모형을 이용하여 최적의 자원 수를 탐색하였다.

<Figure 6>과 같이, 기본 모형에서 각 도크 작업장의 자원 수를 증가시키면 업무 시간은 감소하나 간섭 횟수가 증가한다. 시설의 자원 수가 증가하여 업무 처리가 빨라지기 때문에 업무 시간은 감소하며, 각 시점 때, 도로에서 주행하고 있는 트럭의 수는 증가하기 때문에 간섭 횟수는 증가한다.

자원 수가 증가할 경우, 두 평가 척도의 변화 양상이 다르므로 본 연구에서는 업무 시간을 기준으로 다음과 같이 3가지 그룹으로 분류하였다.



<Figure 6> Changes in the Two Evaluation Scales with Changes in the Number of Resources

- i) 효율성 그룹(업무 시간이 14시간 이하)
- ii) 상호보완 그룹(업무 시간이 14시간~16시간)
- iii) 안전성 그룹(업무 시간이 16시간 이상)

위에서 분류한 3가지 그룹에서 가장 작은 평균 간섭 횟수를 갖는 자원 수들을 각 그룹의 대표로 선정하였으며, 각 자원의 수는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Optimal Number of Resources

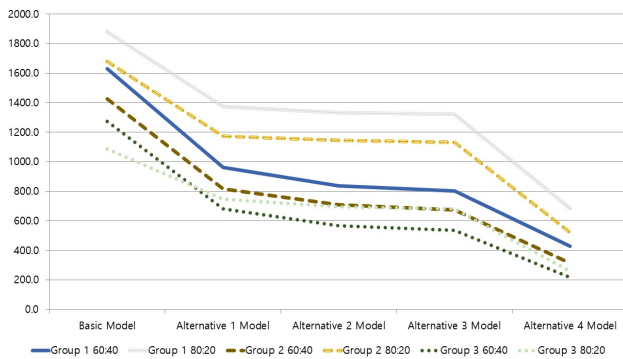
(Number of Resource)	dock truck : bulk truck	Gateway	Liner	Each dock
Group 1	60.7:39.3	6	4	6
	80:20	6	3	7
Group 2	60.7:39.3	6	3	5
	80:20	6	3	6
Group 3	60.7:39.3	6	3	4
	80:20	7	3	4

<Table 2> Interference Ratio of Each Alternative Model to the Basic Model

	Group 1		Group 2		Group 3	
	dock truck : bulk truck	60.7 : 39.3	80 : 20	60.7 : 39.3	80 : 20	60.7 : 39.3
Basic Model	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Alternative 1 Model	58.9%	72.9%	57.3%	69.8%	53.4%	68.9%
Alternative 2 Model	51.3%	70.8%	49.8%	68.1%	44.6%	63.8%
Alternative 3 Model	49.2%	70.2%	47.2%	67.3%	42.1%	62.6%
Alternative 4 Model	26.3%	36.4%	22.1%	31.1%	17.0%	23.9%

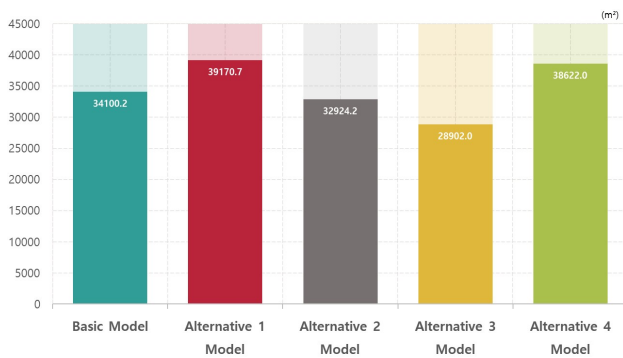
2.3.2 대안 모형들 간의 성능 비교 분석

<Figure 7>은 각 그룹 및 유형별 대안 모형들 간의 간섭횟수를 나타내며, <Table 2>는 각 대안 모형에서 발생한 간섭횟수를 기본모형에서 발생한 간섭횟수로 나눈 값이다. 즉, <Table 2>는 각 대안 모형이 기본모형 대비 간섭횟수가 얼마나 나타나는지를 확인할 수 있다.



<Figure 7> Number of Interferences by Model

<Figure 7>과 같이 기본모형에서 간섭이 가장 많이 발생한다. 대안 4 모형의 간섭 횟수는 기본모형과 다른 대안 모형들에 비해 매우 작게 나타났으며, 기본모형에서 나타난 간섭 횟수의 17.0%~36.4% 수준으로 나타났다.



<Figure 8> Storable Space in Logistics Warehouse

<Figure 8>과 같이 물류창고 내부 적재 가능 공간 면에서는 대안 1 모형이 가장 우수하며, 창고 내부 적재 가능 공간은 기본 모형의 내부 적재 가능 공간의 114.9% 수준이다. 대안 2, 3 모형은 간섭을 줄이기 위해 추가적으로 도로를 설치하였기 때문에 기본 모형보다 내부 적재 가능 공간이 감소하였다. 대안 2, 3 모형의 창고 내부 적재 가능 공간은 기본 모형의 각 96.6%, 84.8% 수준이다.

간섭 횟수에서 가장 우수한 성능을 보였던 대안 4 모형은 기본 모형에 비해 적은 지상도로를 사용하기 때문에 보다 큰 내부 적재 가능 공간을 보유하고 있으며, 기본 모형의 113.3% 수준이다. 대안 4 모형의 내부 적재 가능 공간은 대안 1 모형의 98.6% 수준으로 대안 4 모형은 상대적으로 우수한 적재 공간을 보유한다.

2.4 간섭 횟수에 대한 개체 간 효과 검정

간섭 횟수의 발생 정도는 트럭의 도착 비율, 대안의 종류, 위에서 분류한 3가지 그룹의 유형에 따라서 유의한 차이가 있는지에 대하여 확인하고자 SPSS를 사용하여, 개체 간 효과 검정을 실시하였으며, 그 결과는 <Figure 9>와 같다.

<Figure 9>와 같이 간섭 횟수에 대하여 트럭의 도착 비율, 대안의 종류, 위에서 분류한 3가지 그룹의 유형에 대한 유의확률이 0.000이므로 간섭 횟수의 발생 정도는 앞에서 언급한 각 요인에 따라서 유의한 차이가 있으며, 각 요인의 상호작용 효과에 대한 유의 확률도 0.000이므로 통계적으로 유의한 차이가 있다.

<Figure 9>와 같이 간섭 횟수에 대하여 트럭의 도착 비율, 대안의 종류, 위에서 분류한 3가지 그룹의 유형에 대한 에타값이 0.722, 0.952, 0.838로 나타난다. 따라서 각 요인은 대체로 간섭 횟수에 정도에 많은 영향을 끼치며, 그 중 대안의 종류가 간섭 횟수의 발생 정도에 가장 큰 영향력을 행사한다고 해석할 수 있다.

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable Number of interference

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^b
Corrected Model	379782806 ^a	29	13095958.84	2182.984	.000	.967	63306.533	1.000
Intercept	1879750588	1	1879750588	313338.283	.000	.993	313338.283	1.000
Truck arrival ratio	33266494.20	1	33266494.20	5545.239	.000	.722	5545.239	1.000
Model type	252599295.1	4	63149823.77	10526.533	.000	.952	42106.134	1.000
Type by ending time	66247395.44	2	33123697.72	5521.436	.000	.838	11042.872	1.000
Truck arrival ratio * Model type	6943830.044	4	1735957.511	289.369	.000	.352	1157.477	1.000
Truck arrival ratio * Type by ending time	15111661.87	2	7555830.935	1259.492	.000	.542	2518.984	1.000
Model type * Type by ending time	5430366.519	8	678795.815	113.149	.000	.298	905.195	1.000
Truck arrival ratio * Model type * Type by ending time	183763.154	8	22970.394	3.829	.000	.014	30.632	.990
Error	12778102.68	2130	5999.109					
Total	2272311497	2160						
Corrected Total	392560909.0	2159						

a. R Squared = .967 (Adjusted R Squared = .967)

b. Computed using alpha = .05

〈Figure 9〉 Tests of Between-Subject Effect

3. 결론

대형 석유화학 물류창고에는 다량의 석유화학 제품들이 보관되어 있으며, 석유화학 제품을 적재하기 위하여 물류창고로 들어온 트럭들이 창고 내부의 이동경로를 따라서 이동하기 때문에 차량과 관련된 사고가 발생하면 매우 큰 사고로 연결될 가능성이 매우 크므로 안전적으로 차량의 흐름을 관리하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 트럭 간의 간섭을 최소화할 수 있는 각 시설의 자원 수를 설정하고 대형 석유화학 물류창고에서 트럭들의 이동경로를 설계하여 4가지 대안 모형을 제시하였다. 본 연구에서는 본 연구에서 제안한 4가지 대안 모형의 성능을 평가하기 위하여 Baek and Ko[3]가 제안한 모형들 중 전반적으로 우수한 성능을 보유한 기본 모형을 사용하였다. 작업 종료시간을 기준으로 ‘안전성’, ‘상호보완’, ‘효율성’으로 3그룹을 분류하고 물류창고 내부로 진입하는 도크 트럭과 벌크 트럭의 비율을 60.7 : 39.3, 80 : 20인 상황에서 가장 작은 평균 간섭 횟수를 갖는 자원 수들을 각 그룹의 대표로 선정하여 비교 분석하였다.

대안 4 모형이 가장 적은 간섭이 발생하였으며, 기본 모형의 17.0%~36.4% 수준의 간섭이 발생하였다. 지하 도로를 사용하여 지상에 설치되어 있는 도로들을 많이 축소하여 대안 4 모형은 기본 모형의 113.3% 수준의 창고 내

부 적재 공간을 보유한다. 이는 본 연구의 선행 연구인 Beak and Ko[3]가 제시한 모형 중 전반적으로 우수한 성능을 선보인 기본 모형에 대비하여 3가지 평가 척도 부분에서 모두 우수한 성능을 나타낸다.

대안 4 모형은 가장 적은 간섭이 발생하며, 우수한 내부 적재 가능 공간을 보유할 수 있다는 점에서 매우 우수한 모형이나 지하 도로를 사용하기 때문에 많은 초기 설치비용이 발생하며, 다수의 무게감사장을 운영하기 때문에 기본 모형에서 발생하지 않았던 추가적인 운영 및 관리 비용이 발생할 것이다. 따라서 본 연구는 각 대안 모형들에서 추가적으로 발생하는 비용들을 평가하지 못하였다는 다소 아쉬운 부분이 있다. 이러한 부분들은 향후 추가적으로 다루어지길 기대한다.

References

- [1] Altiok, T. and Melamed, B., Simulation Modeling and Analysis with Arena, Elsevier, 2011, p. 2.
- [2] Astarita, V., Festa, D.C., Giofre, V.P., and Guido, G., Surrogate safety measures from traffic simulation models a comparison of different models for intersection safety evaluation, *Transportation Research Procedia*, 2019, Vol. 37, pp. 219-226.
- [3] Baek, J.-K. and Ko, H.-H., A simulation for warehouse

- considering traffic, *Journal of the Korea Society for Simulation*, 2013, Vol. 22, No. 4, pp. 119-128.
- [4] Baek, J.-K. and Shin, H.-J., A simulation for warehouse traffic using ARENA, *The Korean Society of Management Consulting*, 2009, Vol. 9, No. 3, pp. 95-108.
- [5] Baek, J.-K., A study on the number of transport vehicles inside the warehouse using ARENA, *Journal of Information Technology and Architecture*, 2015, Vol. 12, No. 4, pp. 619-627.
- [6] Bernechea, E.J. and Viger, J.A., Design optimization of hazardous substance storage facilities to minimize project risk, *Safety Science*, 2013, Vol. 51, No. 1, pp. 49-62.
- [7] Darbra, R.M., Palacios, A., and Casal, J., Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences, *Journal of Hazardous Materials*, 2010, Vol. 183, No. 1-3, pp. 565-573.
- [8] de Koster, R.B.M., Stam, D., and Balk, B.M., Accidents happen : the influence of safety-specific transformational leadership, safety consciousness, and hazard reducing systems on warehouse accidents, *Journal of Operations Management*, 2011, Vol. 29, No. 7-8, pp. 753-765.
- [9] de Lira-Flores, J.A., Gutierrez-Antonio, C., and Vazquez-Roman, R., A MILP approach for optimal storage vessels layout based on the quantitative risk analysis methodology, *Process Safety and Environmental Protection*, 2018, Vol. 120, pp. 1-13.
- [10] Gu, S.-H., Noh, S.-M., and Jang, S.-Y., A study on improvement of the logistic system in social commerce using simulation, *The Korea Society For Simulation*, 2013, Vol. 22, No. 3, pp. 25-33.
- [11] Halawa, F., Dauod, H., Lee, I.-G., Li, Y., and Yoon, S.-W., Introduction of a real time location system to enhance the warehouse safety and operational efficiency, *International Journal of Production Economics*, 2020, Vol. 224, pp. 107541.
- [12] Harwood, D.W., Glauz, W.D., and Mason, J.M.J., Stopping sight distance design for large trucks, *Transportation Research Record*, 1989, No. 1208, pp. 36-46.
- [13] Jung, S., Ng, D., Diza-Ovalle, C., Vazquez-Roman, R., and Mannan, M.S., New approach to optimizing the facility siting and layout for fire and explosion scenarios, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2011, Vol. 50, No. 7, pp. 3928-3937.
- [14] Laruea, G.S., Miskab, M., Qianb, G., Wullemsa, C., Rodwella, D., Chungc, E., and Rakotonirainy, A., Can road user delays at urban railway level crossings be reduced? Evaluation of potential treatments through traffic simulation, *Case Studies on Transport Policy*, Available online May, 2020.
- [15] Pietersen, C.M., Analysis of the LPG-disaster in mexico city, *Journal of Hazardous Materials*, 1988, Vol. 20, pp. 85-107.
- [16] Rossetti, M.D., *Simulation Modeling and ARENA*, John Wiley and Sons, 2016, p. 1.
- [17] Suraraksa, J., Gong, I.-T., Kim, J.-W., Seo, H.-S., and Shin, K.-S., Development of the military-3PL integrated operation strategy for national defense transportation using simulation, *The Journal of Society for e-Business Studies*, 2019, Vol. 24, No. 3, pp. 111-128.
- [18] Vrysagotis, V. and Kontis, P.A., Warehouse layout problems : types of problems and solution algorithms, *Journal of Computations and Modelling*, 2011, Vol. 1, No. 1, pp. 131-152,
- [19] Xu, G. and Papageorgiou, L.G., A Construction-based approach to process plant layout using mixed-integer optimization, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 2007, Vol. 46, No. 1, pp. 351-358.
- [20] Yener, F. and Yazgan, H.R., Optimal warehouse design : Literature review and case study application, *Computers and Industrial Engineering*, 2019, Vol. 129, pp. 1-13.

ORCID

Gi-Hwan Lee | <http://orcid.org/0000-0002-1913-8494>

Jae-Young Jo | <http://orcid.org/0000-0001-8626-8670>

GyuTae Chae | <http://orcid.org/0000-0001-9741-0812>

Seong-Yong Jang | <http://orcid.org/0000-0001-8135-5070>