

석유 창고 시스템 내 물류흐름 개선 전략 수립을 위한 시뮬레이션 분석

이지환*, 채규태*, 조재영*, 장성용*
*서울과학기술대학교 산업공학과
e-mail:jawuro56@gmail.com

Simulation Analysis for the Improvement Strategy of Logistics Flow in a Oil Storage System

Gi-Hwan Lee*, Gyu-Tae Chae*, Jae-Young Jo*, Seong-Yong Jang*

*Dept of Industrial Engineering,

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

요약

본 연구에서는 차량의 간섭을 최소화할 수 있는 대규모 창고를 설계하기 위해 여러 대안을 생성하고 시뮬레이션 기법을 이용해 비교 분석하였다. 동일한 동선과 설비 위치를 가진 모델에서 자원의 수가 증가하면 평균 작업 종료시간은 감소하나, 평균 간섭 횟수는 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 평균 작업 종료 시간을 기준으로 '효율성', '상호보완', '안전성'으로 3그룹을 분류하였으며, 각 그룹에서 가장 작은 평균 간섭 횟수를 갖는 자원 수들을 각 그룹에 대표로 선정하여 본 연구에서 정한 평가자표와 특징을 비교 분석하였다. 그 결과 지하도로를 운영하는 대안 3 모델이 평균 간섭 횟수 면에서 기본 모델에 17.01% ~ 36.44% 수준으로 가장 우수한 것으로 나타났으며, 내부 적재 공간도 가장 우수한 모델의 98.60% 수준이라는 점에서 비교적 우수하다.

1. 서론

대규모 석유 창고 내 효율적 운영을 위해서는 많은 중요 요소들이 존재한다. 본 연구에서는 석유 창고 내 효율 및 안전성을 최대화하는 것이다. 창고 내 효율의 최대화를 위해서 가장 중요한 요소는 원활한 물류 흐름이다.[1] 창고 내 다른 차량의 움직임에 따른 물류 흐름 속에서 차량 간 간섭이 발생하여 지연이 발생하므로 창고의 효율이 낮아지고, 사고의 위험성이 높아진다.

차량 간 간섭을 최소화하는 방법으로 차량 동선의 결정뿐만 아니라 차량의 흐름에 영향을 주는 시설의 자원 수, 차량을 창고 내부로 출입하게 하는 게이트웨이 수의 결정이 중요하다.[2]

입고와 출고가 빈번하며 물류 흐름은 상호 연관 관계를 가지기 때문에 단순하게 예측할 수 없다. 이와 같은 복잡한 문제를 해결하기 위해 좋은 해법 중 하나는 시뮬레이션이다.

이에 본 연구는 '트래픽을 고려한 창고 시스템 시뮬레이션[1]'에서 제시된 기본모델과 본 연구팀이 제시한 3가지 대안들을 'Arena 16.0'을 사용하여 각 모델을 구현하고 비교분석을 실시하였으며, 'AutoCad'를 활용하여 창고 내 시설 간 거리를 정량적인 수치로 설정하였고, 창고 내 적재 면적을 직접 구하였다.

본 연구는 1장 서론에 이어서 2장에서는 시뮬레이션에 사용된 설계를 살펴보고 3장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 마지막으로 4장에서는 본 연구에 결론을 다루었다.

2. 시뮬레이션 가정 및 설계

2.1 시뮬레이션을 위한 가정

본 연구는 백종관, 고효현이 실시한 '트래픽을 고려한 창고 시스템 시뮬레이션[1]'에서 사용한 가정들을 기반으로 추가적인 모델을 제시하여 기존 연구에서의 모델들과 비교 분석하였다. 본 연구에서 대상이 되는 창고는 사우디에 건설하는 석유회사의 대형 창고이며, 시뮬레이션에서 사용된 가정은 다음과 같다.

- ① 창고의 진입하는 차량의 종류는 컨테이너 도크 트럭, 씨벌크 트럭, 탱크벌크 트럭이다. 매일 평균 239대의 컨테이너 도크 트럭이 들어오고, 155대의 벌크 트럭이 들어온다. 이 때, 벌크 트럭은 씨벌크 트럭과 탱크벌크 트럭으로 분류할 수 있으며, 씨벌크 트럭과 탱크벌크 트럭의 비율은 70:30이다. 본 연구에서는 창고를 건설한 후 시장 상황에 맞게 변경하는 것은 불가능하기 때문에 수요가 늘어 생산량이 늘었을 경우를 미리 대비하기 위하여 위에서 언급한 차량 수의 50%를 증가하여 실험을 실시하고자 한다.
- ② ①에서 언급한 컨테이너 도크 트럭과 벌크 트럭의 비율은 60:40이나, 시장 변화에 따라서 들어오는 차량의 비율이 변경되어질 수 있기 때문에 컨테이너 도크 트럭과 벌크 트럭의 비율이 80:20인 상황도 실험을 실시하고자 한다.
- ③ 컨테이너 도크 트럭은 루즈백용 제품을 적재하는 트럭과 팔렛용 제품을 적재하는 트럭으로 분류할 수 있으며, 각 비율은 15:85이다. 루즈백용 제품은 트럭에 적재하기 위해

60분이 소요되며 팔렛용, 제품은 50분이 소요된다.

- ④ 벌크 제품은 트럭에 적재하기 위하여 총 50분이 소요되며, 이 중 5분은 사람이 의해서 이루어지는 작업이며, 나머지 45분은 전적으로 기계에 의존하여 작업이 진행된다.
- ⑤ 씨벌크 트럭은 라이너 준비 작업을 거쳐야 하며, 15분 소요된다. 탱크벌크 트럭은 라이너 준비 작업을 하지 않는다.
- ⑥ 벌크 트럭은 적재한 제품의 양을 측정하기 위하여 적재 전과 적재 후에 무게 검사를 실시하며, 2분이 소요된다.
- ⑦ 차량의 도착 시간은 포아송 분포를 따르며, 적재 후 무게 검사 시간은 평균에 대칭된 대수정규분포를 사용하며, 그 이외에 작업 시간은 정규분포를 사용한다. 벌크 적재 작업에서 전적으로 기계에 의존하는 작업은 표준편차를 평균의 1%로 설정하였으며, 그 이외에 작업은 10%로 설정한다.
- ⑧ 창고 내부에서 차량에 최대 시속은 20km/h이며, 차량 간 안전거리 5m이며, 차량은 20m 지점에서 속도를 줄이기 시작하여 멈춘다.
- ⑨ 컨테이너 도크 트럭이 적재 서비스를 받기 위하여 후진하거나 서비스 완료 후 서비스 작업장을 빠져나갈 때, 다른 트럭에게 영향을 주는 지연시간은 20초이다.
- ⑩ 시뮬레이션 기간은 30일이며 반복횟수는 73회이다.
- ⑪ 벌크 적재장의 자원 수는 [그림 1]에 기입된 벌크 적재장 왼쪽부터 4, 8, 12, 6으로 고정한다.
- ⑫ 게이트웨이에서는 들어오는 트럭들에게 서비스 받을 도크 또는 벌크 적재 장소의 지점을 공지한다.

2.2 창고에서의 차량 흐름

[그림 1]은 창고의 기본 모형이며, 창고의 동선을 시뮬레이션하기 위해 창고 내 트럭의 동선과 주요 지점을 나타냈다. [그림 1]에서 ①은 차량의 도착지점을 나타내고 ②는 차량이 창고 안으로 들어오기 전에 대기하는 장소를 나타낸다. ③은 창고로 들어오기 전에 검문을 받는 게이트웨이를 나타내고 ④는 씨벌크 트럭이 벌크 제품을 적재하기 전에 라이너를 준비하는 곳이다. ⑤는 씨벌크 트럭과 탱크벌크 트럭의 무게를 측정하는 곳이며, 이후에 ⑥에서 벌크 제품을 트럭에 적재하고 벌크 제품이 얼마나 적재되었는지 측정하기 위해 ⑦에서 다시 무게를 측정한다. ⑧은 제품을 컨테이너 도크 트럭에 적재하는 곳이다. [그림 1]에서 차량의 흐름은 다음과 같다.

- 트럭이 도착하면(①) 대기 장소(②)에 대기한 후, 게이트웨이(③)를 통해서 창고 내부로 들어온다.
- 모든 트럭은 게이트웨이(③) 진입 후 창고 우측 도로로 진입하여 한 바퀴 돌고 게이트웨이(③)를 통하여 나간다.
- 씨벌크 트럭은 라이너 준비 작업(④)을 걸치고 무게검사장(⑤)에 진입하나 탱크 벌크 트럭은 게이트웨이(③) 통과 후 바로 무게검사장(⑤)으로 진입한다.
- 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 적재장(⑧)에서 제품 적재 후, 게이트웨이(③)를 통해서 창고 외부로 빠져나간다.

2.3 성능평가 척도

(1) 간섭 횟수

간섭은 임의의 트럭이 다른 트럭 때문에 감속하거나 정지하는 경우이며, 트럭이 서비스를 받기 위해 정지하는 경우로 보지 않는다. 석유 창고를 안전하게 운영하기 위해서 창고 내 차량 간섭 횟수를 최소화해야 하기 때문에 간섭 횟수는 가장 중요한 척도이며, 간섭 횟수는 30일 동안 발생하는 수로 나타났다.

(2) 업무 종료 시간

작업장의 작업은 저녁 6시 이전에 게이트웨이에 들어온 트럭까지 진행하며, 작업자의 수가 적다면 업무 종료시간은 클 것이다. 본 연구에서 사용한 단위는 하루 평균 종료시간이다.

(3) 창고 내부 적재 공간

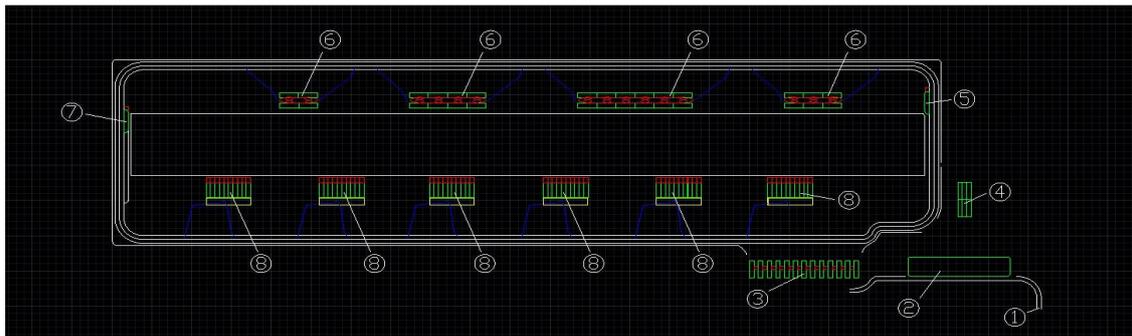
동일한 크기에 창고를 건설하여도 창고 내부를 어떻게 활용하는가에 따라서 내부 적재 공간은 상이하게 나타난다. 창고의 본 목적은 물건을 임시 보관하는 데 있기 때문에, 창고를 운영하는 입장에서는 창고 내부 적재 공간이 큰 것을 선호할 것이다.

2.4 제시한 모델에서의 차량 흐름

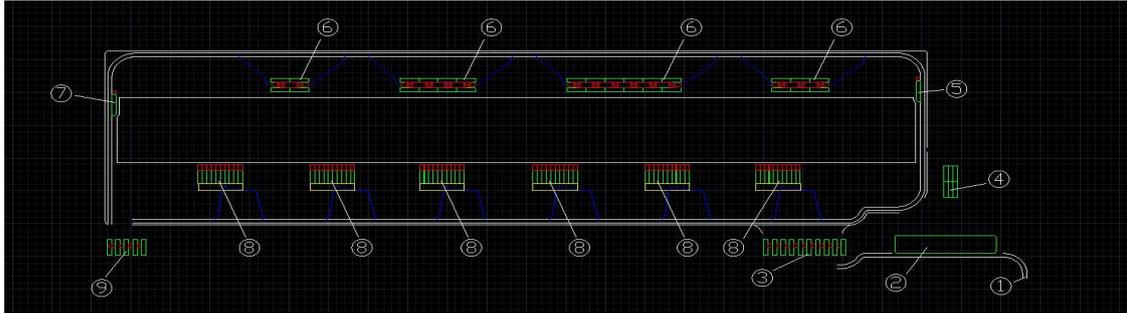
(1) 대안 1 모델

대안 1 모델은 [그림 2]이며, 기본 모델과 흐름은 거의 유사하다. 다만, 출구전용 게이트웨이(⑨)가 추가적으로 설치되었다.

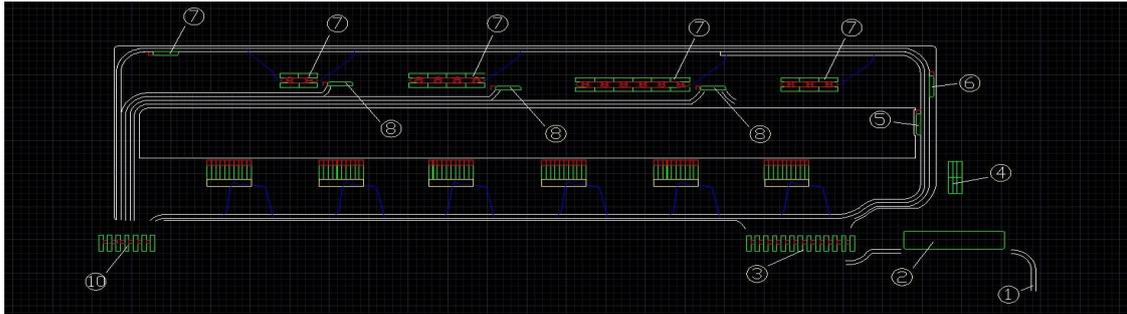
- 벌크 트럭은 기본 모델과 동일하게 입구 전용 게이트웨이(③)를 통과한 후, 우측으로 이동하여 각 시설의 서비스를 받은 후, 출구 전용 게이트웨이(⑨)로 나간다.



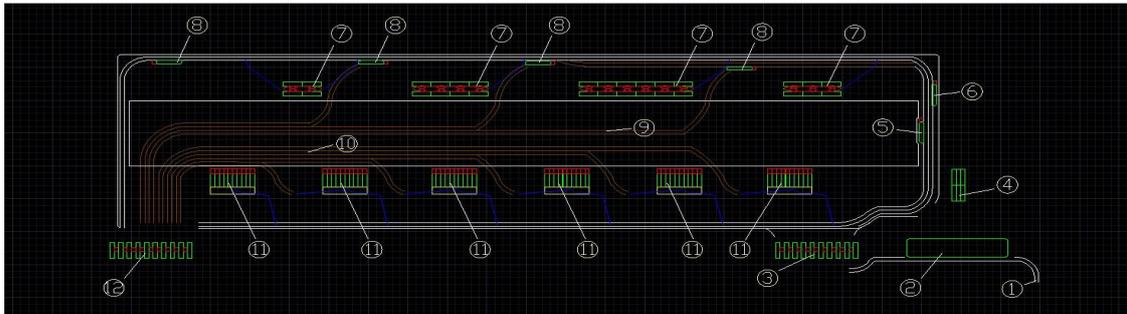
[그림 1] 기본 모델내의 차량 흐름



[그림 2] 대안 1 모델내의 차량 흐름



[그림 3] 대안 2 모델내의 차량 흐름



[그림 4] 대안 3 모델내의 차량 흐름

- 컨테이너 도크 트럭은 입구 전용 게이트웨이(③)로 진입 후, 왼쪽으로 이동하여 도크 적재 장소(⑧)에서 적재 후, 출구 전용 게이트웨이(⑨)를 통해서 창고 외부로 빠져나간다.

(2) 대안 2 모델

대안 2 모델은 [그림 3]과 같으며, 대안 1 모델과 흐름은 거의 유사하나 간섭 횡수를 줄이고자 벌크 트럭이 이동하는 동선 2개로 분할하고 적재 후, 개별적인 무게 검사를 받을 수 있도록 설정하였으며, 내부에 설치된 전용차선을 통해서 밖으로 나간다.

- 컨테이너 도크 트럭은 대안 1 모델과 흐름이 동일하다.
- 씨벌크 트럭은 라이너 준비 작업(④) 후, 무게검사장(⑤)에서 작업을 받은 후, 2차선을 이용하여 좌측 2개의 벌크 적재장을 사용하며, 도크 트럭은 창고 진입 후 바로 무게검사장(⑤)에서 작업을 받은 후, 1차선을 이용하여 우측 2개의 벌크 적재장을 사용한다.
- 벌크 트럭은 벌크 적재장(⑦)에서 작업 받은 뒤에 앞에 설치된 고유의 무게검사장(⑧)에서 무게 검사 뒤, 출구 전용 게이트웨이(⑩)를 거쳐 나간다.

(3) 대안 3 모델

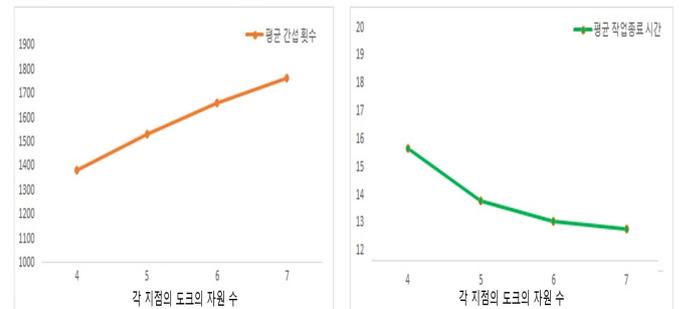
대안 3 모델은 [그림 4]과 같으며, 대안 2 모델과 흐름은 거의 유사하나 도크 및 벌크 적재 작업 이후에 지상 도로가 아닌 지하

도로를 사용하여 게이트웨이로 도달한 후 밖으로 나간다.

- 컨테이너 도크 트럭은 도크 적재 장소(⑪)에서 제품 적재 후, 지하 도로(⑩)를 사용하여 출구 전용 게이트웨이(⑫)로 나간다.
- 벌크 트럭은 무게 검사(⑧) 이후 지하 도로(⑨)를 사용하여 출구 전용 게이트웨이(⑫)로 나간다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

3.1 자원 수 결정



[그림 5] 기본 모델에서 도크 자원 수 변화에 따른 평균 간섭횟수 및 평균 작업 종료시간 변화

동일한 모델인 경우, [그림 5]와 같이 각 시설의 자원 수가 증가하면 평균 작업 종료 시간이 감소하나, 전체 작업 시간 중에 트럭들이 도로에 있는 시간의 비율이 증가하여 도로에서 트럭들이 물려있을 가능성이 증가하여 평균 간섭 횟수가 증가한다.

자원 수가 증가할 경우, 두 평가 지표에 변화 양상이 다르므로, 본 연구에서는 아래와 같은 조건으로 3가지 그룹을 설정하였다.

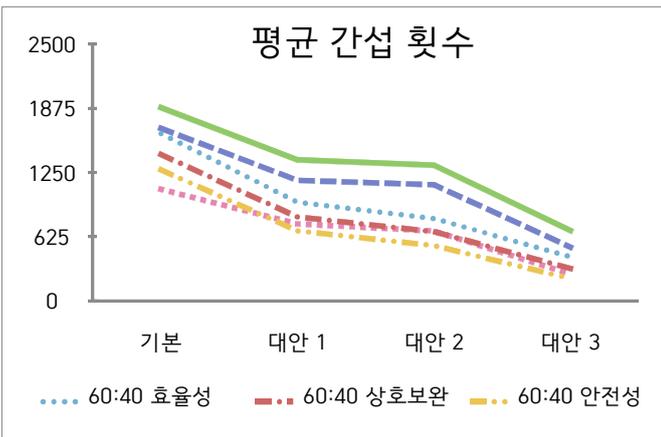
- i) 효율성 그룹(평균 작업 종료 시간이 14시간 이하)
- ii) 상호보완 그룹(평균 작업 종료 시간이 14~16시간)
- iii) 안전성 그룹(평균 작업 종료 시간이 16시간 이하)

위에서 분류한 3가지 그룹에서 가장 작은 평균 간섭 횟수를 갖는 자원 수들을 각 그룹에 대표로 선정하여, 3.2에서 나타냈다.

3.2 시뮬레이션 결과

[표 1] 대안 및 유형별 간섭 횟수

도크:벌크	그룹	모델별 간섭 횟수			
		기본	대안 1	대안 2	대안 3
60:40	효율성	1628.25	959.56	800.64	427.67
60:40	상호보완	1424.26	815.56	672.32	314.85
60:40	안전성	1274.43	680.77	536.26	216.79
80:20	효율성	1880.56	1371.82	1319.58	685.33
80:20	상호보완	1678.80	1172.42	1129.37	522.73
80:20	안전성	1085.10	748.11	678.97	259.84



[그림 6] 대안 및 유형별 간섭 횟수

[표 1], [그림 6]과 같이 모든 유형에서 대안 3이 가장 낮은 평균 간섭횟수를 나타냈으며, 기본 모델에 비해서 평균 간섭 횟수가 17.01% ~ 36.44%로 나타났다.

대안 간 창고 내부 적재 공간



[그림 6] 대안 간 창고 내부 적재 공간

평균 간섭 횟수에서 가장 우수한 성능을 보였던 대안 3은 내부 상대적으로 우수한 적재 공간을 확보하고 있으며, 가장 우수한

내부 적재 공간을 가지고 있는 대안 1에 98.60%에 해당하는 면적이다.

3.3 각 대안의 특징

(1) 대안 1 모델

대안 1 모델은 기본 모델에서 게이트웨이를 추가하여 트럭의 출입을 분리한 모델이다. 지상의 1차선 도로만을 사용하고 있어서 적재 면적에서 가장 우위를 점하며, 설치비용도 비교적 낮다.

(2) 대안 2 모델

대안 2 모델은 대안 1 모델과 거의 유사하며, 복수의 무게검사장을 운영하여 간섭을 줄이고자 하는 모델이다. 이러한 의도 때문에 벌크 적재 후 무게 검사 작업 이후에 서로 독립적인 지상 도로를 설치하였기 때문에 적재 면적이 가장 좁으며, 추가적인 무게 검사장 설치 및 운영비용이 발생할 것이다. 이때, 벌크 작업장의 자원 수는 4:6(좌측 2개:우측 2개)이나 이에 할당되는 트럭의 비율이 7:3이므로 좌측 2개의 벌크 작업자들이 상대적으로 많은 일을 하기에 불만이 야기될 수 있는 모델이다.

(3) 대안 3 모델

대안 3 모델은 대안 2 모델과 같이 복수의 무게검사장을 운영하나 벌크 및 도크 제품 적재 후, 각 고유의 지하 도로를 사용하여 창고 외부로 나가는 모델이다. 따라서 적재 면적이 상대적으로 우수하나 지하 도로를 설치해야 한다는 점에서 많은 비용이 발생할 것으로 예측된다.

4. 결론

본 연구에서는 차량의 간섭을 최소화할 수 있는 대규모 창고를 설계하기 위해 여러 대안들을 생성하고 시뮬레이션 기법을 이용해 비교 분석하였다.

본 연구에서는 작업 종료시간을 기준으로 ‘안전성’, ‘상호보완’, ‘효율성’으로 3그룹을 분류하고 각 그룹에서 가장 작은 평균 간섭 횟수를 갖는 자원 수들을 각 그룹에 대표로 선정하여 본 연구에서 정한 평가 지표와 특징을 비교 분석하였다.

가장 우수한 모델은 대안 3 모델이나, 지하 도로를 설치한다는 점에서 많은 비용이 발생할 것으로 예측되어지며, 창고를 설치하는 입장에서 창고 설치비용과 운영 및 관리 비용은 중요하므로 추가적으로 경제성 평가가 필요할 것이다.

5. 인용자료

- [1] 백종관, 고효현 "트래픽을 고려한 창고 시스템 시뮬레이션", 한국시뮬레이션학회 논문지 22(4), pp. 119-128, 12월, 2013년
- [2] 백종관, 신현준, "ARENA를 이용한 창고 시스템 시뮬레이션", 경영컨설팅연구, 제9권, 제1호, pp. 95-108, 2009년
- [3] 백종관, "시뮬레이션을 이용한 창고 내부의 운반 차량 수 결정", Journal of Information Technology and Architecture Vol. 12. No. 4, pp. 619-627, December 2015년