

여객-화물 복합열차의 화물 배치방법에 관한 연구

최용훈*, 신상훈¹, 한기평¹

¹한국전자통신연구원 물류프로세스연구팀

A Study on the Baggage Allocation Method of Passenger-Baggage Hybrid Train

Yong Hoon Choi*, Sang Hoon Shin¹, Gee Pyeong Han¹

¹Logistics Process Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute

요약 본 논문은 제한된 철도 수송능력 환경에서 여객과 화물을 동시에 수송하기 위한 복합화물열차의 화물 배치를 위한 방법 중, 라운드 컨베이어 시스템과 세로형 순환식 시스템, 가로형 순환식 시스템을 각각 P 택배사의 지역간 운송 화물량을 기준으로 부산에서 대구, 대전, 오송을 거쳐 서울에 도착함을 가정하여 각각 도착역별로 상하차 시간을 계산하였다. 그 결과 가로형 순환식 시스템은 화물 적재 가능량도 적었으며 상하차 시간도 434초로 가장 많이 소요되었고 세로형 순환식 시스템이 상차 시간이 다소 많이 소요되었지만, 총 소요시간에서는 408초로 가장 우수한 특성을 보였다. 각각 시스템별로 상하차 시간을 비교함으로써 향후 복합화물열차 제작시에 유용한 방법을 제시하고 복합화물열차의 화물 운송 효율을 증진하고자 한다.

Abstract Three baggage allocation methods of passenger-baggage hybrid train in restricted railway transportation capacity including round conveyor system, vertical circulation system, and horizontal circulation system are presented. Loading/Unloading time is calculated based on the volume transported from Busan to Seoul via Daegu, Daejeon, and Osong with the parcel company P's logistics data. The horizontal circulation system shows less baggage volume capacity to be allocated and the maximum loading/unloading time with 434 secs. The vertical circulation system presents more loading time, but it shows best result with 408 secs. Loading/Unloading times are compared for each system and useful method is presented to improve transportation efficiency of the train.

Key Words : Baggage allocation method, Loading/Unloading time, Round conveyor system, Vertical circulation system, Horizontal circulation system

1. 서론

국내 화물운송은 트럭을 이용한 육로 수송이 전체의 94%를 차지하고 있으며, 이로 인한 탄소 배출 증가로 급속한 환경오염이 사회 문제가 되고 있다.

철도를 이용한 운송은 트럭운송에 비해 탄소 배출이 13.4배 적으며 고효율 친환경 교통수단으로 알려져 있다. 또한 초고속철도의 도입으로 화물운송은 당일 배송 체제 구축이 가능하고 그 필요성이 대두된다[1,2,3,4].

그러나 철도운송은 선로의 제한으로 승객과 화물이 경쟁적 상호관계를 형성하며 이를 극복할 수 있는 새로운 개념의 열차가 요구되고, 여가활동이 활발해짐에 따라 여행용품과 레저용품을 동반한 승객의 화물을 적절히 처리하고자 승객과 화물을 동시에 운송 가능한 복합화물 열차가 필요하다[5,6,7],[9,10].

본 논문에서는 한국철도공사에서 새로 개발 예정인 복합화물열차의 화물 운송을 위한 방법의 일환으로, 제한된 시간에 가장 많은 화물을 상하차가 가능한 시스템

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 『고속화물열차 및 여객/ 화물 복합열차 기술개발』 연구 중, 4세부 인 「복합화물열차 물류 시스템 기술개발」 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다(과제번호 : 13RTRP-B067947-01).

*Corresponding Author : Yong Hoon Choi(ETRI)

Tel: +82-42-860-6614 email: ychoi@etri.re.kr

Received April 2, 2015

Revised April 17, 2015

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

(방법)에 대해서 간접적인 시뮬레이션을 사용하여 고찰하고자 한다. 복합화물열차의 개념은 여객과 화물을 동시에 수송 가능한 2층 구조의 초고속열차를 의미한다. 이 열차 구조에서 아래층은 화물을 적재하기 위한 공간이며 각 화물은 ULD(Unit Load Device)에 체결되어 적절한 열차 내부위치에 자동화된 이송 및 적재 장치에 상하차 된다[8]. 이 때, ULD는 열차가 거점역 정차 시간 이내에 상하역이 가능하도록 화물을 배치해야 하며, 이를 위한 방안으로 적재 배치 최적화 기법이 필요하다. 따라서 기존에 화물 적재 방법인 라운드 컨베이어 방식, 순환 방식을 제한된 화물칸에 적용하여 최적의 방법을 비교 분석을 실시하고자 한다. 이를 위하여 복합화물열차의 개념과 화물칸의 형태와 구성 그리고 각각의 적재방식의 특징을 분석하여 향후 제작될 복합화물열차의 효율적인 화물 적재 방법을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 복합열차의 개념

본 논문에서 가정하는 복합화물열차란 화물과 여객을 동시에 수송할 수 있는 복층으로 구성된 열차이며 ‘복합수송객차’의 명칭으로 복층형태로 형성되는 객차로써 상층은 여객부로 사용되고, 하층은 화물부로 사용되는 것으로 하층의 화물부에 있어서 탈부착이 가능한 베어링 또는 롤러 형태의 화물이송장치를 포함하는 것을 특징으로 여객이 화물과 분리될 수 있도록 분리벽을 포함하는 구조를 기본적으로 채택하였으며, 그에 대한 개념도는 Fig. 1과 같다.

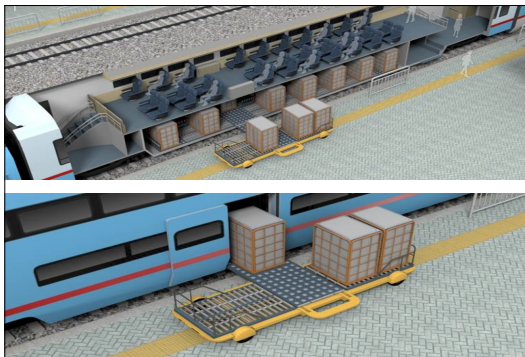


Fig. 1. Concept of Passenger-Baggage Hybrid Train

2.2 운송대상화물의 정의

복합화물열차의 운송대상 화물을 예측하기 위하여 2013년 KTX 특송 자료를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다.

주요 화물은 서류, 보정기, 컴퓨터 부품 등 크기는 작으나 고가인 공산품, 식품류가 전체 물량의 50%가 넘게 차지하고 있으나 지역별로 조금씩 종류에 대한 비율에 차이가 있다.

본 논문에서는 KTX 특송 화물의 종류와 정차역간 분포를 분석하였으나 KTX 특송의 단점인 보안 취약, Door to Door 직접 서비스가 어렵기에 이를 화물 물량의 근거로 추정하는 것은 바람직하지 않음으로 P택배사 택배 물량을 추정하여 실험 데이터로 활용 하고자 한다.

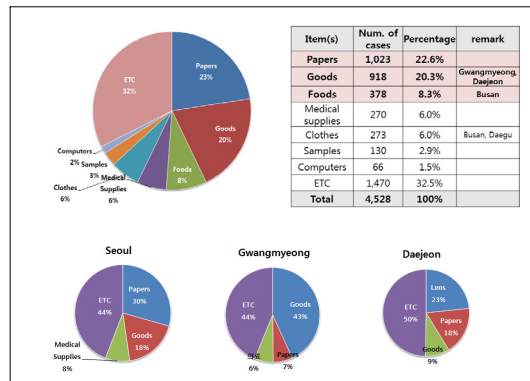


Fig. 2. Analysis of KTX Express Data

2.3 화물 적재시스템

복합화물열차의 1층 화물적재공간은 기본 적재 단위인 ULD(Unit Load Device)를 적재할 수 있도록 제안되었다. 복합열차의 설계도면과 단면도를 Fig.3과 Fig. 4에 제시하였으며 화물적재 공간의 크기는 11,547mm×3,100mm×1,900mm이다.

화물적재 기본단위인 ULD는 화물열차 크기를 고려하여 가로, 세로, 높이를 각각 800mm×1,100mm×1,300mm 으로 제작하며, 우체국에서 사용하는 택배/소포 ULD와 호환이 가능하도록 제안하였다 제시된 ULD에는 최대 200kg의 화물을 실을 수 있으며 ULD의 무게는 100kg으로 총 중량이 300kg이다.

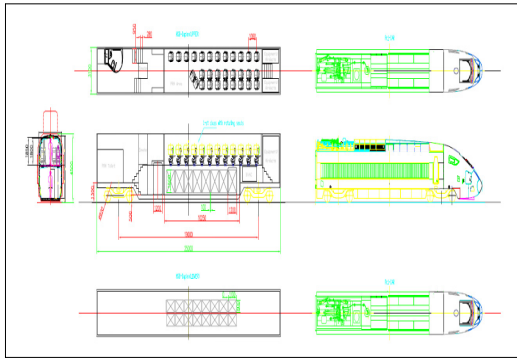


Fig. 3. Design of Passenger-Baggage Hybrid Train

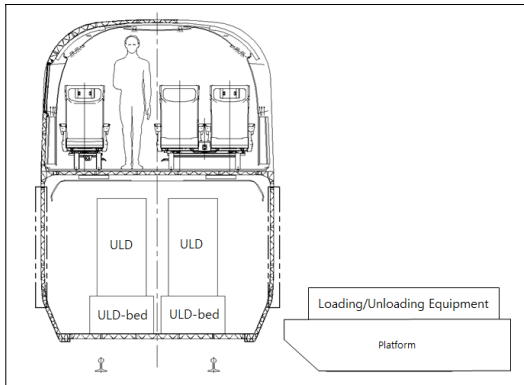


Fig. 4. Intersection of Passenger-Baggage Hybrid Train

열차내부 화물칸은 ULD를 2열 8칸으로 총 16개가 적재 가능하도록 구성되어 있으며, 열차 정차시분내에 많은 물량을 상/하차하기 위하여 ULD를 화물칸의 지정된 장소로 운반하는 모듈형 ULD-BED를 Fig. 5에서 나타내었고 화물의 안전을 위한 적재 공간에서 고정할 수 있는 체결 장치로 구성된다.

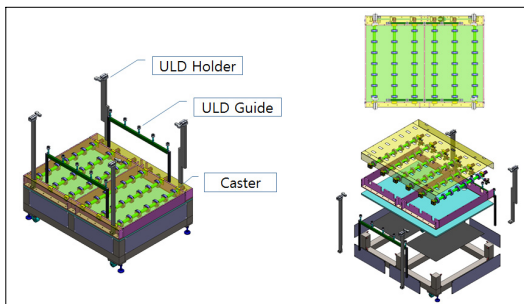


Fig. 5. An Example of ULD-Bed Structure

3. 실험 및 고찰

복합화물열차 내부의 ULD-BED에 각 ULD를 최적 배치하고자 라운드 컨베이어 방식, 가로형 순환방식 및 세로형 순환방식에 대한 상/하차 시간을 시뮬레이션하여 그 결과를 비교하였다.

3.1 화물량의 배분

적재방법의 효율적 방법을 시뮬레이션을 통해 제시하기 위하여 기준이 되는 화물 운송량은 P택배사의 일일 지역별 택배량을 조사하여 이를 기준으로 정차역간 운송량을 추정하였다. 2011년도 P택배사 자료를 기준으로 살펴보면 택배 물량은 Fig. 6과 같다. 서울 및 수도권 지역에서 발생하는 물량이 전체 물량의 59%를 차지하고 있다. 반면 부산 11%, 대구 7%, 광주 6% 등 지방에서 발생하는 물량은 평균 약 8%정도로 나타났다.

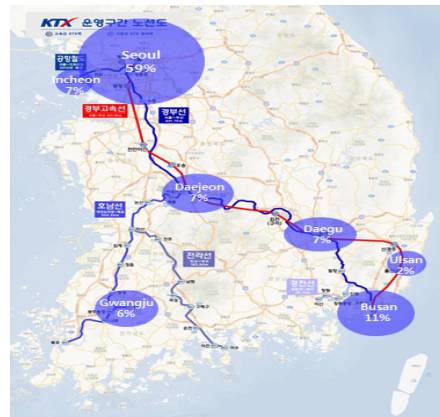


Fig. 6. Percentage of Express Volume for Major City

Table 1은 위에서 예시한 P택배사의 지역간 물량을 일단위로 조사한 것이며 이를 근간으로 부산에서 서울로 상행하는 복합화물열차 운송역간 화물량으로 추정하여 관찰하고자 한다.

Table 1. ULD Volume between Departure and Arrival Station (Unit : Pallet/Day)

Arrivals/Departures	Daegu	Daejeon	Osong	Seoul	Total
Busan	33	19	14	233	299
Daegu	-	15	10	184	209
Daejeon	-	-	22	239	261
Osong	-	-	-	84	84
Total	33	34	46	740	853

3.2 배치시스템의 구조와 특징

복합화물열차 화물칸에 적재배치를 위해서 여러 가지 형태의 배치 방법이 제시하였다. 이중 ULD-BED의 구조적인 방식에 따라 크게 두가지 컨베이어 형태로 구성되는 라운드 컨베이어 시스템과 캐스터 방식으로 움직이는 순환식 시스템이 제안되었으며 순환식 시스템은 ULD의 배치 상태에 따라 가로형과 세로형으로 구분하여 제안하였다.

라운드형의 컨베이어 시스템은 Fig. 7과 같이 컨베이어 벨트가 환형으로 구성되어 있다. 특정 ULD를 움직이기 위해서는 적재되어 있는 전체 ULD를 움직여야 하는 특징을 가지고 있다. 이러한 시스템은 일반적으로 택배사들이 사용하는 소포구분기 형식과 비슷하며, 공항에서 수화물 처리방식과 유사한 형태를 취하고 있다.

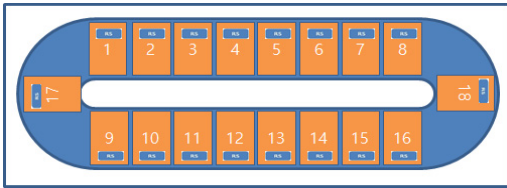


Fig. 7. Round Conveyor System

순환식 시스템은 컨베이어 형태의 시스템과 달리 바둑판 형식처럼 ULD를 위치시킬 수 있는 칸 형태로 구성되고, Fig. 5에서와 같이 캐스터 또는 롤러 형태로 된 ULD-BED를 사용하여 ULD를 움직일 수 있다. ULD가 화물출입구에서 적재 될 때는 전후방향으로 이동을 하고, 화물칸 진입후 특정한 위치까지 이동은 좌우방향으로 이동을 하게 된다. 순환식 시스템은 전후이동에서 좌우이동으로, 또는 좌우이동에서 전후이동으로 방향전환을 위한 지연시간이 발생할 수 있는 특징이 있다. 하지만 라운드 컨베이어 시스템과 달리 특정 ULD를 움직이기 위해서 모든 ULD가 움직이지 않아도 되는 장점이 있다. ULD 배치 형태에 따라 세로형(Fig. 8)과 가로형(Fig. 9)으로 구분하여 제안하였다.



Fig. 8. Vertical Circulation System

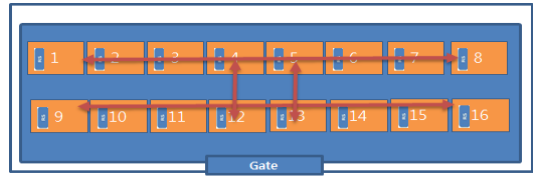


Fig. 9. Horizontal Circulation System

3.3 실험방법

ULD 적재 개수는 배치방식에 따라 공간의 제한으로 라운드 컨베이어 시스템은 Fig. 7에서와 같이 18개를 배치하고 세로형 순환식 시스템은 Fig. 8에서 보여주듯 18개, 가로형 순환식 시스템은 Fig. 9에서 보여주듯 16개를 배치 가능한 것으로 가정하여 효율성을 조사하였다. 시뮬레이션 절차를 위한 수행 알고리즘은 다음과 같다.

(단계 0) : 전처리 단계

- 배치형태에 따라 최대로 적재 가능하도록 ULD를 배치하여 최대적재수를 산출
- ULD의 이동 동선에 따라 방향 전환시 지연이 발생할 수 있는 위치를 산출

(단계 1) 배치형태별 물량배치

- 각 역에서 상/하차하는 물량에 대해 계산
- 열차내 적재할 수 있는 ULD개수를 바탕으로 환산지수를 산출
- 환산지수를 물량에 적용, ULD개수를 산출

(단계 2) 상하차 시간 산출

- 단계 1에서 산출되는 각 역의 ULD 개수를 바탕으로 화물칸에 배치시킴
- 배치될 때 목적지가 먼 순서대로 열차의 안쪽부터 차례대로 배치함
- ULD의 이동거리 및 방향 전환시 발생하는 지연 시간을 계산하여 상하차 시간을 산출

화물 상하차 시간을 조사하기 위한 공통적인 조건은 아래와 같이 가정하였다.

- 컨베이어벨트의 속도는 152mm/s(30fpm)로 가정
- 방향전환을 위한 지연시간은 3초로 가정
- 출입구에서 이송장치까지의 이동거리는 ULD가 2개의 거리로 가정

역간 화물량은 P택배사 이동물량을 기준으로 적재 가능한 ULD 18개를 비율로 할당함을 가정하여 Table 2에

라운드 컨베이어 시스템과 세로형 순환식 시스템 ULD 적재개수를 역간 비교하였다.

Table 2. Num. of ULD Loading Capacity between Round Conveyor & Vertical Circulation System

Arrivals/ Depart.	Daegu	Daejeon	Osong	Seoul	Total	Stops Total
Busan	1	1	1	6	9	9
Daegu	-	1	1	4	6	14
Daejeon	-	-	1	5	6	18
Osong	-	-	-	2	2	17

- 배치방식중 가로형 순환식 시스템은 적재 가능한 ULD 16개를 같은 비율로 할당함을 가정

Table 3. Num. of ULD Loading Capacity of Horizontal Circulation System

Arrivals/ Depart.	Daegu	Daejeon	Osong	Seoul	Total	Stops Total
Busan	1	1	1	4	7	7
Daegu	-	1	1	4	6	12
Daejeon	-	-	1	5	6	16
Osong	-	-	-	2	2	15

또한 복합열차의 상하차시 배치 시간을 계산하기 위하여 다음과 같은 계산식으로 각각의 시스템에 적용하였다.

- 인덱스 설명

- i, j : 화물칸 위치 인덱스
- f : 플랫폼 위치 인덱스
- i^0 : 출입구 앞의 화물칸 위치 인덱스
- n : 화물의 양(ULD 개수)
- d_{ij} : i 위치에서 j 위치까지 거리
- v : 모터의 속도
- p : 방향전환을 위한 지연시간
- lt : 화물 상차시간
- lu : 화물 하차시간
- tt : 상하차에 걸리는 총 시간

$$tt = lt + lu, \quad lt = \left(\frac{d_{fi^0}}{v} + p + \frac{d_{i^0(i^0+1)}}{v} \right) \times n,$$

$$lu = \left(\frac{d_{ji^0}}{v} + p + \frac{d_{i^0f}}{v} \right) \times n$$

Case 1) 라운드 컨베이어 시스템

Fig. 10은 부산역에서의 물량적재 결과를 예시로 표현한 그림이다. 부산에서 출발하여 서울, 오송, 대전, 대구물량의 상차결과로 입구에서 ULD를 2개씩 상차후 우

측으로 2칸씩 이동하여 적재를 실시하였다. ULD 상차에 걸린 시간은 126초이다.

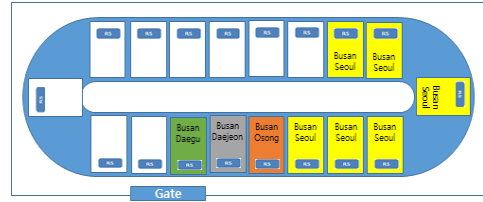


Fig. 10. Round System Loading

같은 방법으로 대구, 대전, 오송, 서울역에서의 물량에 대한 상하차 시간을 파악하여 Table 4와 같은 결과를 도출하였다.

Table 4. Results of Round Conveyor System's Allocation

Station	Loading		Unloading		Total
	Units	Time(s)	Units	Time(s)	
Busan	9	126	-	-	126
Daegu	6	88	1	14	102
Daejeon	6	143	2	14	157
Osong	2	17	3	42	59

Case 2) 세로배치 순환식 시스템

세로배치 순환식 시스템의 경우 최대 20개의 ULD가 적재가 가능하지만, 유지보수를 위한 2개의 공간을 빈 공간으로 할당하여 18개의 ULD를 적재하는 것을 바탕으로 물량산출을 18개의 ULD를 적재하는 라운드형 컨베이어의 물량으로 실험하였다.

Fig. 11는 세로형 순환식 시스템을 사용하여 부산에서 ULD 적재를 실시하는 것에 대한 예시이다.

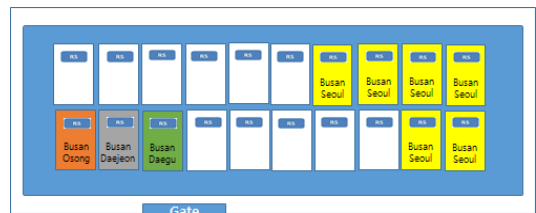


Fig. 11. Vertical Circulation System Loading

세로형 순환식 시스템의 경우 출입구에서 전후 이동한 후 좌우로 이동하기 위해서 지연시간이 발생한다.

따라서 전후/좌우이동의 방향전환을 최소화하는 것을 목적으로 하고 목적지가 먼 ULD가 목적지가 가까운 ULD 보다 순환식 시스템의 가장자리 쪽으로 배치하는 실험을 진행하여 Table 5와 같은 결과를 도출하였다.

Table 5. Results of Vertical Circulation System's Allocation

Station	Loading		Unloading		Total
	Units	Time(s)	Units	Time(s)	
Busan	9	140	-	-	140
Daegu	6	93	1	14	107
Daejeon	6	111	2	14	125
Osong	2	14	3	22	36

Case 3) 가로배치 순환식 시스템

가로형 시스템은 세로형 시스템에 유지관리를 위한 통로를 확보하기 위한 구조이다. 세로형 순환식 시스템에 비하여 ULD의 최대 적재수가 적어지는 단점을 가지고 있다. Fig. 12는 가로배치 순환식 시스템에 ULD를 적재하는 예시를 나타낸 것이다.

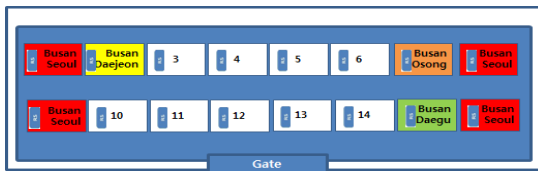


Fig. 12. Horizontal Circulation System Loading

가로배치 순환식 시스템의 경우 상하차시에 세로형 순환식 시스템과 동일한 움직임으로 진행하게 된다. 따라서 Table 6과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 6. Results of Horizontal Circulation System's Allocation

Station	Loading		Unloading		Total
	Units	Time(s)	Units	Time(s)	
Busan	7	57	-	-	57
Daegu	6	62	1	33	95
Daejeon	6	42	2	40	82
Osong	2	66	3	105	171

3.4 고찰

화물을 배치 방식에 있어서 라운드 컨베이어 시스템이 상차시간이 가장 길었고, 반면 다른 시스템에 비해 하차시간은 가장 짧았다. 하지만 전체적으로 라운드 컨베

이어 시스템의 상하차 시간은 434초가 소요되어, 같은 물량을 상하차하는 세로배치 순환식 시스템의 408초 보다 26초 더 소요되었다. 또한 ULD 개수 15개로 2개 적은 가로형 순환식시스템의 경우는 405초가 소요되었으며 같은 비율로 증가한다고 가정하며 약 459초로 이는 세로형 순환식 시스템 보다 51초 이상, 라운드 컨베이어 시스템보다는 25초 이상 소요됨을 알 수 있었다 이상과 같은 실험결과를 비교하여 Fig. 13에 나타내었다.

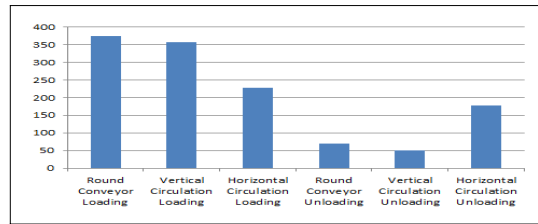


Fig. 13. Loading/Unloading Time Comparison among 3 Methods

그러나 순환식 시스템간의 상하차 시간을 비교해 보면 동일한 물량을 비교할 수는 없었지만 두 방식 물량의 비율을 고려하여 만차상태에 대한 비교를 실시하였다. 세로형 순환식 시스템이 가로형 순환식 시스템에 비하여 상차시 시간이 더 소요가 되었으나 하차시에는 시간이 더 적게 소요되며 상하차 시간을 17개 ULD로 보정하여 비교한 결과 세로형 순환식 시스템배치 방식이 유리함을 볼 수 있었다. 그 결과를 비교하면 Table 7과 같다.

Table 7. Results of Comparison for Circulation System's Loading/Unloading Time

Station	Loading		Unloading	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Busan	140	57	-	-
Daegu	93	62	14	33
Daejeon	111	42	14	40
Osong	14	66	22	105
Total	358	227	50	178
Corrected Comparison	358	257	50	202

Fig. 14는 Table 7의 결과를 가로형과 세로형 순환식 시스템의 정차역별 승하차 시간을 비교한 결과를 나타내었다.

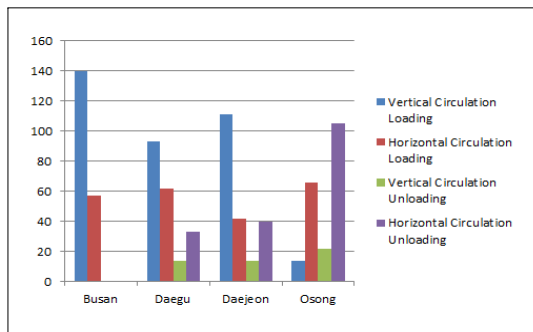


Fig. 14. Comparison of Loading/Unloading Time between Horizontal/Vertical Circulation Systems

4. 결론

본 논문에서는 복합화물열차의 ULD 화물 배치방법에 대해 시뮬레이션을 통해 상하차 시간을 비교 하였다. 그 결과 가로형 순환식 방식이 적재 용량의 부족과 총 시간면에서도 비효율적으로 판단된다. 반면, 세로형 순환식 시스템은 적재 용량과 상하차 시간면에서 우수한 특성을 보였다. 그러나 상차 시간만을 비교하면 가로형이 우수하며 하차시간은 세로형이 월등히 우수함을 알 수 있다. 세로형의 상차시간이 보다 높은 것은 화물칸에서 이동하는 화물의 양이 가로형보다 많기 때문이다. 또한 가로형의 하차시간이 세로형보다 높은 것은 적재공간의 부족으로 인해 멀리 보내지는 화물순으로 정렬을 위해 내려졌다가 다시 실어지는 화물이 발생하는 특성으로 인해 높은 것으로 보인다. 본 논문에서는 적재형태를 일정한 크기의 ULD로 제한하였으나 추후에는 ULD 크기에 따른 적재 효율 및 적재 형태에 따른 효율 등 많은 추가 연구를 진행할 계획이다

References

[1] Lee, Y. et al., "A Study on the Feasibility of Introducing High-Speed Freight Rail System", Korean Society of Railway Spring Meeting Paper, KSR2012S258, 2012
 [2] Kim, J. et al., "A Study on DMT Transport System for Rail Logistics", Korean Society of Railway Spring Meeting Paper, 2009
 [3] Noh, J., "A Numerical Study on Aerodynamic Characteristics in Tunnel for High Speed Combi

Train-HSB", Journal of Fluid Machinery, Vol. 17. no. 5, pp. 54-59, 2014.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2014.17.5.054>

[4] Park, J. et al., "Cargo Train Express(CTX) Transportation System Development Project", Construction Transportation Research Planning Project Report, 2012
 [5] Shin, S. et al., "A Case Study for Freight Loading Design on Combined Freight Train", Korean Society of Railway Spring Meeting Paper, KSR2014S234, 2014.
 [6] Yum, B. et al., "A Fundamental Study on Baggage Transport Service Model using Passenger/Baggage Mixed Train", Korean Society of Railway Spring Meeting Paper, KSR2014S078, 2014.
 [7] Yum, B. et al., "A Study on Baggage Transport optimal Service Model using High-Speed Passenger/Baggage Mixed Train", Korean Society of Railway Fall Meeting Paper, KSR2014A035, 2014.
 [8] Yum, B. et al., "Mixed Transportation Train", Patent No., 1020120114744, 2012
 [9] Lee, S. et al., "A Study on the Optimization of Stowage Planning for Container Terminal Considered by Hatch", IE Interfaces, Vol.19, No. 4, pp.270-280, 2006.
 [10] Lee, H. et al., "Design of Hy-SoBex Logistics System for Real-time Logistics Processing of Combined Freight Train", Korean Society of Railway Spring Meeting Paper. KSR2014S234, 2014.

최 용 훈(Yong-Hoon Choi)

[정회원]



- 1999년 12월 : 아이오와 주립대 산업공학과 (공학석사)
- 2003년 5월 : 아이오와 주립대 산업공학과 (공학박사)
- 2003년 8월 ~ 2004년 8월 : 현대자동차 생산기술개발팀 과장
- 2004년 9월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 물류프로세스연구팀 팀장

<관심분야>

정보통신, 공정모니터링, 물류자동화

신 상 훈(Sang-Hoon Shin)

[정회원]



- 2009년 8월 : 부산대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2009년 8월 ~ 2010년 8월 : 리얼타임비주얼 개발팀 대리
- 2010년 9월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 물류프로세스연구팀 선임연구원

<관심분야>

MOT, 공장자동화, 물류정보시스템

한 기 평(Gee-Pyeong Han)

[정회원]



- 1991년 8월 : 성균관대학교 물리학과(이학석사)
- 1999년 2월 : 성균관대학교 물리학과(이학박사)
- 1991년 8월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 물류프로세스연구팀 책임연구원

<관심분야>

정보경영, 정보통신