

# Merge Control using Reserve Ahead Point in Baggage Handling System

Minhee Kim · Hyunwoo Shin · Junjae Chae<sup>†</sup>

School of Air Transport, Transportation and Logistics, Korea Aerospace University

## 수하물시스템의 사전할당지점을 이용한 병합제어

김민희 · 신현우 · 채준재<sup>†</sup>

한국항공대학교 항공교통물류학과

A baggage handling system (BHS) in airport is an unified system for moving the passengers' baggage in designated time. Input baggage from the check-in counter travels to the baggage claim area or cargo handling terminal through this system. In particular, entryway BHS consists of conveyors, X-ray and sorters such as tilt-tray to send the baggage to departing airplane and it could have various problems for handling certain amount of baggage in restricted time such as baggage jamming at certain merge point. This causes systemic error such as delay of the time, omissions of the baggage and even breakdown of the equipment and inefficiency. Also the increasing maximum time of the baggage passing through the BHS could delay the flight schedule and finally decrease the service level. Thus, the algorithm for controlling the flow of the merge is essential to the system. The window reservation algorithm is the one of the most frequently used methods to control the merge configuration. Above all, the reserve location, so called reserve ahead point, that allocates the window is important for the performance of the algorithm. We propose the modified window reservation algorithm and the best reserve locations by changing the reserve ahead point in the induction conveyors. The effect of various reserve ahead points such as the capacity and utility of the system were analyzed and the most effective reserve ahead point combination was found. The total baggage processing time and the utilization of the tilt-tray are properly considered when choosing the optimal Reserve ahead point combination. In the layout of this study, the configuration of four conveyors merged into one tilt-tray is studied and simulation analysis is done by AutoMod®, 3D simulation software. Through the simulation, the window reservation algorithm is effectively operated with the best combination of reserve ahead point which reduces the maximum baggage travel time.

**Keywords** : BHS, Merge control, conveyers, Window reservation algorithm

### 1. 서 론

수하물 시스템(BHS : Baggage Handling System)은, 공항 내에서 여객을 이용하는 승객들의 위탁 수하물을 수

하물 터미널에서 해당 여객기의 수하물 선적지역 혹은 수하물 찾는 곳(Baggage claim area) 등의 지정된 장소로 이동시키기 위해 사용되는 통합적인 물류 설비 시스템 중 하나이다. BHS를 사용하면 한정된 부지 안에서 많은 수의 수하물을 단시간에 처리 할 수 있기 때문에 최근 국내외의 많은 공항들이 효율적인 수하물 처리 시스템을 구축하고 있는 추세이며, 그에 따른 시스템 내의 설비 기술 역시 빠르게 성장하고 있다. 따라서 적절한 시스템 통제

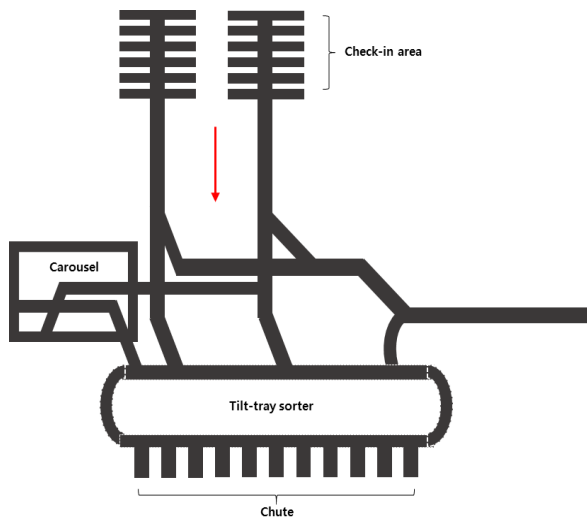
Received 18 April 2017; Finally Revised 9 June 2017;  
Accepted 12 June 2017

<sup>†</sup> Corresponding Author : jchae@kau.ac.kr

기술의 필요성 역시 강조되고 있다.

BHS 내에는 수하물의 단순한 이동뿐만 아니라 X-ray 등의 보안 관련 관리, 출/도착지 항공기 별 수하물 분류 및 통제 등의 복잡한 업무들이 포함되어 있다. 이러한 일련의 과정들이 상호 충돌 없이 수행 될 때 적절한 공항 수하물 관리가 이루어진다고 볼 수 있다[8].

BHS는 컨베이어 시스템, 고속 화물 전송 시스템(DCV), 틸트 트레이(Tilt tray), 수하물 캐로우셀(Baggage carousel) 등의 다수의 하드웨어 설비로 이루어져 있다. 컨베이어 시스템은 독립적인 방향성을 가지고 있는 컨베이어들이 상호 작용을 통해 수하물을 지정된 장소까지 운반시킨다. 틸트 트레이는 고정된 레일을 따라 한 방향으로 이동하는 분류기들이 슈트(Chute)에 도달하면 기울어져 수하물을 분류시킨다[10]. <Figure 1>은 시스템 도입부인 체크 인 카운터, 캐로우셀, 틸트 트레이와 슈트 등으로 구성된 보편적인 수하물 처리 시스템의 레이아웃이다[12].



<Figure 1> Baggage Handling System Example

여러 개의 컨베이어에서 각각 이동하는 수하물의 흐름이 틸트 트레이에 합쳐지는 형태는 일반 물류 시스템뿐만 아니라 BHS에서 흔하게 발견 할 수 있는 수하물 흐름의 병합 형태이다. 이 병합 형태에서 시스템 설계상의 오류, 예상치 못한 사고 등으로 발생하는 수하물의 지연과 시스템 상의 비효율은 지정된 시간 내에 수하물을 운반하지 못하게 하는 주요 원인이라 할 수 있다. 실제로 덴버 국제공항에서는 BHS 내의 고속 화물 전송 시스템(DCV)의 통제 시스템을 제대로 구축하지 못하여 공항 개장이 약 16개월 간 미루어진 선례가 있고[2] 인천공항에서는 BHS의 수하물 자동 인식 기능에 문제가 발생하면서 자동 분류가 이루어 져야 할 정상적인 수하물들이 시스템에 인식되지 못하여 지정된 선적 시간 내에 항공

기에 도달하지 못한 지연 사고가 있었다. 또한 고속운송 라인 모터제어장치의 고장으로 5,200여 개의 수하물이 운송 지연 되는 사고도 발생하였다[5]. 따라서 이러한 예에서 비롯해 볼 때, 시스템의 적절한 관리를 통해 효율성을 증대시키는 것은 수하물 처리 시스템뿐만 아니라 공항의 전반적인 운영에 있어 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

수하물 처리 시스템의 효율성을 측정하는 여러 척도에는 컨베이어나 화물 분류기와 같은 물류 설비의 구성, 수하물의 시스템 통과 시간, 총 투입량, 시스템 내 수하물의 양, 대기 및 지연시간, 병합에 대한 효과, 투입 및 방출 간의 상관관계, 시물레이션에 투입되는 수하물의 크기 등이 있다[10].

특히 수하물 최대 통과 시간은 BHS의 효율성 및 통제 척도에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다. 수하물은 일련의 순서로 투입되지만 설비의 구성이나 병합에서 일어날 수 있는 관리상의 문제로 방출되는 순서와 통과 시간은 서로 다르다. 이때 각각의 수하물이 BHS 내에 인입되어 방출되기까지의 시간 중 가장 긴 통과시간이 바로 최대 통과 시간을 의미한다. 항공기로 운반되는 화물의 특성상 평균 수하물 처리 시간이 적절하더라도 이 최대 통과 시간이 길면 지연된 수하물로 인하여 전체적인 운송 스케줄에 오류가 생길 수 있다. 이는 수하물 운송 지연으로 인한 항공기 스케줄상의 문제, 나아가 공항 및 항공사 서비스 품질의 하락 등을 야기한다. 따라서 BHS 내 병합 형태의 수하물 흐름을 효과적으로 제어할 수 있는 알고리즘을 적용하는 것이 최대 통과시간을 감소시키고 동시에 시스템의 효율성을 높이는 데에 필수적이라고 할 수 있다.

지금까지 수하물 및 물류 시스템의 효율성 및 효과를 높이기 위해 여러 가지 알고리즘을 바탕으로 한 연구들이 수행되어 왔다. Abdelghany et al.[1]은 액티비티 선택 선 알고리즘(ASA : Activity Selection Algorithm)을 적용하여 정해진 BHS 시설 내 혼잡도를 고려하여 적절한 운용 용량을 산출하였다.

Han and Zhou[4]는 동적계획법(Dynamic programming)과 라그랑지안 알고리즘(Lagrangian relaxation-based algorithm)을 사용하여 병합 지점에서 일어나는 화물의 대기 행렬과 set-up cost를 감소시켰다. 이때 set-up cost란 화물의 re-sequencing job이 병합되는 컨베이어에서 일어나는 것을 의미한다. Han and Zhou[4]의 병합 형태에 기초하여 Ko et al.[9]은 M개의 컨베이어가 한 개의 컨베이어로 병합되는 형태를 M-to-1 시스템이라 가정하고 이러한 시스템 내에서 set-up cost를 감소시키기 위해 혼합 정수 선형 프로그래밍(MILP : Mixed Integer Linear Program)과 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)을 제시하였다.

현재에는 BHS의 효율성과 효과성을 높이기 위하여 주로 가장 효과적이라고 일컬어지는 윈도우 레저베이션 알고리즘(Window reservation algorithm)을 기반으로 한 연구들이 이루어지고 있다. Johnstone et al.[6]은 BHS의 두 개의 컨베이어가 하나의 컨베이어로 병합되는 흐름 내에서 발생하는 병목 현상을 해결하기 위하여 선입선처리 알고리즘(FIFO : First In First Out)기반 하에서 수하물 크기를 조정하여 최적해를 찾는 Fixed window FIFO algorithm을 제시하였다.

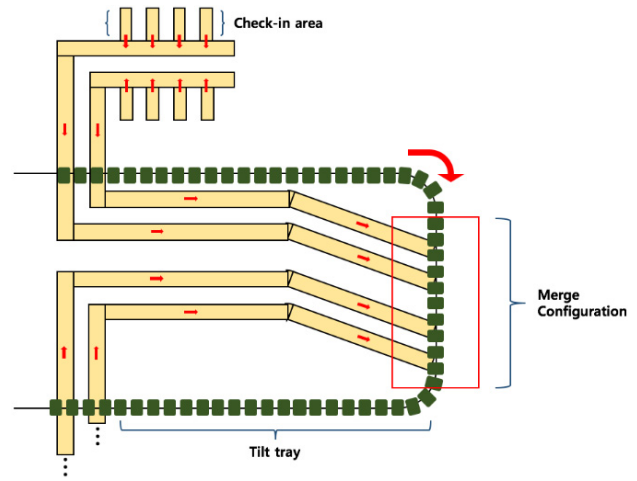
Kim et al.[7]은 다수의 여행사가 공유하는 체크인 카운터 구역에서의 컨베이어 병합 흐름에서 윈도우 알고리즘(Window algorithm)의 새로운 형태인 재분배 알고리즘(Re-allocation algorithm)을 개발하여 병목 현상을 해결하였으며 서비스 레벨을 향상시켰다.

Liu and Liu[13]은 틸트 트레이가 존재하는 물류 설비의 분류 기능에 초점을 맞추어 동적 모듈 모델링(Dynamic module modeling)을 사용하여 3D 시뮬레이션 프로그램인 AutoMod®로 시뮬레이션 하였다. 또한 시설의 비용 절감을 위하여 프로그램을 통한 시뮬레이션 실험이 필수적임을 제시하였다.

본 연구에서는 병합이 발생하는 수하물 처리 시스템에서 사전할당지점의 위치 선정을 통해 화물 처리시간을 단축하여 시스템 전체의 효율성을 높이는 것을 목적으로 하였다. 따라서 BHS 내에서 다수의 컨베이어가 한 개의 틸트 트레이에 병합되는 형태를 분석하여 실험하였다. 또한 이 병합 지점에서 발생하는 대기 시간과 통제 알고리즘의 비효율로 인해 발생할 수 있는 최대 통과시간의 증가를 억제하고 시스템을 효율적으로 관리하기 위하여 윈도우 레저베이션 알고리즘을 적용할 때 각각의 사전할당지점을 선택하여 전체 효율을 높이는 방법을 제시하였다. 또한 적용된 알고리즘의 효과를 분석하기 위해 시뮬레이션을 이용하였고 이를 통해 각각의 유효성에 대한 검증은 하였다.

## 2. 시뮬레이션 모델

연구에서 사용한 BHS 레이아웃은 <Figure 2>와 같으며 T국 Q공항의 실험용 레이아웃을 바탕으로 하였다. 다수의 체크인 카운터로부터 시스템에 진입된 수하물들은 좌측 네 개, 우측 네 개의 컨베이어 라인을 따라 틸트 트레이와 연결되는 병합 지점에 도달한다. 이 지점에서 틸트 트레이에 옮겨진 후 레일을 따라 운반되어 지정된 슈트에서 분류되어 시스템을 빠져나가게 된다. 본 논문에서는 레이아웃의 간결성을 위하여 우측 4개의 컨베이어 병합 지점의 통제를 예로 들도록 한다.



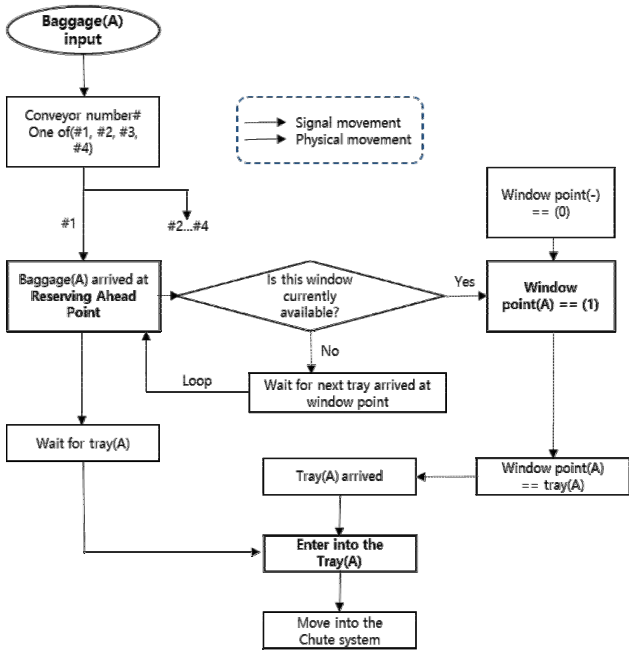
<Figure 2> BHS Layout

### 2.1 윈도우 레저베이션 알고리즘

윈도우 레저베이션 알고리즘(Window reservation algorithm)은 화물 흐름의 병합이 일어나는 형태의 시스템에서 주로 사용된다. 틸트 트레이와 같이 화물이 병합되어지는 구간에 윈도우(Window)라는 가상의 공간을 부여한 뒤 일정 지점에 화물이 도달하면 해당하는 화물을 대기하고 있던 윈도우에 할당시킨다[7]. 윈도우 알고리즘을 적용하면 할당이 누락되는 윈도우 없이 모든 화물을 처리할 수 있기 때문에 틸트 트레이와 같은 독립적으로 움직이는 분류기의 통제에 있어 매우 효과적이라 할 수 있다.

화물이 윈도우를 선점하는 과정에서 여러 가지 변수를 달리 하여 가장 효율적인 통제 방법을 제안하는 연구들이 지금까지 진행되어 왔다. 본 연구에서는 수하물이 윈도우에 할당되는 지점을 일괄적으로 하지 않고 효율성을 목적으로 그 할당지점을 변경해가며 위치적으로 이전보다 조금 앞선 할당을 한다는 데에서 Reserve ahead point로 지칭하고, 이 지점의 변화가 알고리즘 전체의 효율성에 어떠한 영향을 미치는 가를 실험하였다. 효율성의 척도는 전체 수하물 처리 용량, 틸트 트레이 이용률, 수하물 최대 통과 시간(Maximum Baggage Travel Time : Maxtime) 등을 사용하였다. 화물 처리 시스템의 특성 상 최소 수하물 통과 시간은 전체 시스템의 효율성과 관련이 없기 때문에 본 연구에서는 사용하지 않았다[3]. <Figure 3>은 본 연구에서 사용된 윈도우 레저베이션 알고리즘의 순서도이다.

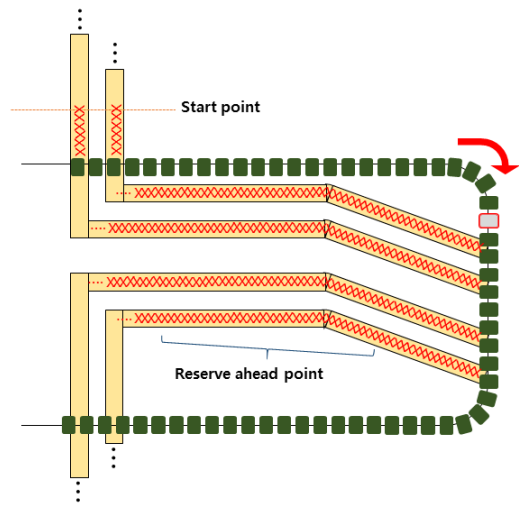
이는 화물이 4개의 컨베이어 라인 중 하나에 진입되어 Reserve ahead point로 도착하고 그 지점에서 틸트 트레이를 예약하여 화물이 해당 틸트 트레이를 타는 흐름을 나타내었다.



<Figure 3> Flow Chart for the Algorithm

### 2.2 Reserve Ahead Point

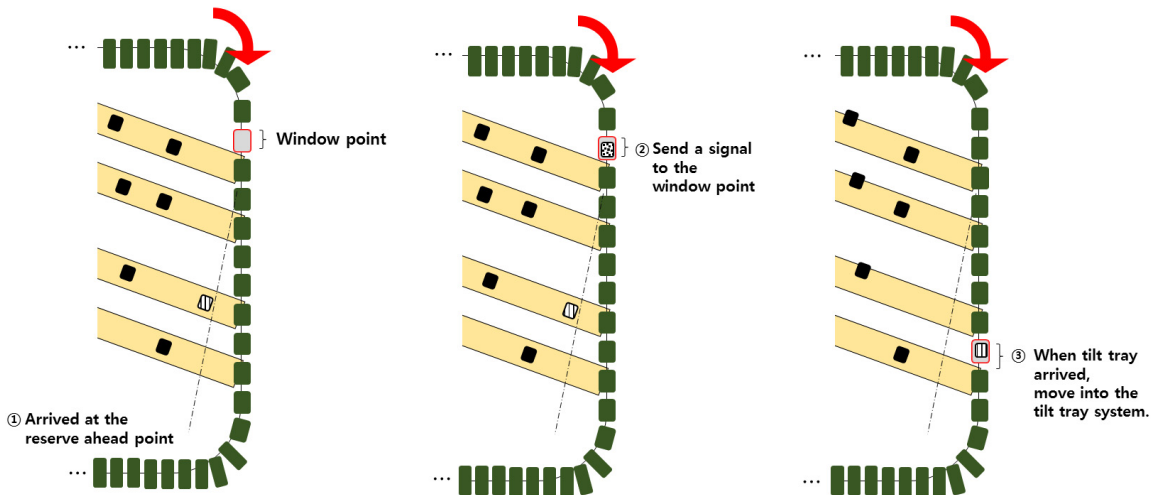
각 컨베이어를 통해 운반되는 수하물들은 지정된 Reserve ahead point에 도달한다. 그 순간 수하물의 정보는 정보입력장치를 통하여 틸트 트레이가 병합 구간을 통과하는 시작점에 위치한 window point에 입력되어 가상의 공간을 부여받게 된다. 정보가 입력된 수하물은 해당하는 윈도우를 가진 트레이가 도착할 때까지 짧게 대기한다. 예약된 트레이가 도착하면 수하물은 트레이에 옮겨져 레일을 따라 운반되어 다음 분류 과정으로 넘어간다. 본 연구에서 사용된 Reserve ahead point의 범위는 <Figure 4>에 나타



<Figure 4> Reserve ahead Point

나 있다. <Figure 5>는 특정한 Reserve ahead point를 예시로 하여 윈도우 레저베이션 알고리즘이 작동하는 순서를 보여준다. 3번째 컨베이어로 이동 중이던 수하물 A가 지정된 Reserve ahead point에 도착하면, 그 순간 시계방향으로 진행하던 틸트 트레이 중 윈도우 지점을 통과하던 트레이가 예약된다. 해당 트레이는 다른 수하물을 태우지 않고, 3번째 컨베이어와 병합되는 구간에서 예약된 수하물 A를 태우게 된다.

네 개의 컨베이어에 위치한 Reserve ahead point 최적의 조합을 찾음으로써 수하물이 윈도우를 부여 받고 트레이에 탑승하는 대기시간을 감소시킬 수 있다. 이는 수하물이 시스템 전체를 통과하는 시간을 줄여준다. 또한 윈도우 할당 과정에서 누락이 발생하지 않아 틸트 트레이의 이용률을 최대로 유지시킬 수 있다. 이는 시스템 전체의 효율성을 증대시키는 데 큰 역할을 한다.



<Figure 5> Process of Window Allocation

Reserve ahead point의 시작 지점은 BHS에서 X-ray와 같은 수하물 보안 검사 등의 모든 인적 요소가 종료되는 지점이며 종료 지점은 수하물이 틸트 트레이에 병합되는 컨베이어의 말단 지점으로 선정하였다. 또한 BHS의 수하물 최소 간격을 고려하여 Reserve ahead point의 간격은 0.5m로 설정하였다.

실험에 사용된 Reserve ahead point의 위치는 틸트 트레이와의 병합 지점에서 가장 가까운 지점부터 순서대로 번호를 부여한다.

### 3. 실험 및 분석

#### 3.1 실험 환경

본 연구는 Applied Material 사의 3D 시뮬레이션 프로그램인 AutoMod®을 이용하여 실험하였다. 실험의 조건 중 최대 통과시간이 중요한 요소로 작용하는 시간당 여객수가 상승하는 시간적 구간(Peak Time)을 기준으로 구성하였고 이 상태를 위해 시뮬레이션 당 90분의 예비시간(Warm-up Time)을, 그리고 매회 6시간씩 10회의 실험을 하였다. 실험 마다 발생하는 수하물의 컨베이어 넘버와 분류 목적지는 무작위한 확률로 생성된다.

#### 3.2 실험을 위한 기본 가정

실험을 위한 기본 제원은 T국의 Q공항의 실험 설계도를 바탕으로 하였으나 시스템의 확장성과 기술 향상을 고려하여 몇 가지의 제원은 변경하였다. 실험의 가정 사항은 다음과 같다.

1. 수하물의 투입량은 성수기 공항의 포화도와 용량의 최대치를 고려하여 0.5초마다 하나의 수하물을 생성하여 투입하였다.
2. 수하물 크기가 일정한 점을 고려하여 수하물 사이의 간격은 실제 최소 간격보다 긴 80cm로 설정하였다.
3. 수하물이 트레이에 탑승하면서 생기는 지연 시간은 존재하지 않는다.
4. 수하물 처리 시스템에 인입된 수하물이 80개의 슈트를 통해 분류 및 처리되는 확률은 각각 동일하다.
5. 수하물이 체크 인 카운터를 통해 인입되어 네 개의 컨베이어로 나누어 운반되는 확률은 동일하다. 따라서 병합 구간에서의 네 개의 컨베이어의 위치 외에 컨베이어 간 용량의 불균형을 야기하는 요소는 없다.
6. 시스템에 투입되는 수하물들은 생성 당시 컨베이어 넘버와 분류 장소가 모두 지정되어 시스템에 인입된다. 따라서 모든 수하물은 지정된 목적지를 가지고 있으며 이는 실험 중간에 임의로 변경되지 않는다.

Q공항의 제원과 실험 제원의 변경사항은 다음과 같다.

1. 수하물의 크기는 수하물 최장 크기(1.5m)를 고려하여 평균 크기인 약 70cm×50cm로 일정하게 설정하였다.
2. 컨베이어의 너비는 4feet로 설정하였다. X-ray 나 보안 검사 등의 인적요소작업이 완료된 지점부터 시작하는 시스템의 길이는 150m로 설정하였다.
3. 실험 제에 따른 컨베이어 시스템의 속도는 1m/sec이며 틸트 트레이의 진행 속도는 2m/sec이다. 그러나 현재 물류 설비 기술 상향도를 고려하여 병합 구간에서 컨베이어의 속도를 2m/sec으로 조정하였다.

<Table 1> Comparison of Q Airport and Experimental Assumption

	Q Airport	Assumption
Number of merge conveyor	2	4
Width of conveyor	105cm	4 feet(122cm)
Verocity of merge conveyor	Dynamic	2m/s
Length of previous system(X-ray etc)	86m	150m
Stopping space	70cm	80cm

위 표의 수정사항은 해당 실험에 영향을 미치지 않는 범위에서 AutoMod®의 기본 설정을 반영하여 수정하였다. 실험을 위하여 병합 구간 내 컨베이어 2개를 추가 배치하였으며, 수하물이 윈도우 할당을 위하여 대기하였을 때의 공간을 확보하고 시뮬레이션의 가독성을 높이는 방향으로 실험 제원을 수정하였다.

#### Notation

- $T_{max}$  수하물 최대 통과 시간(Maxtime)
- $R_{num}$  Reserve ahead point 위치 번호
- $R_{num}^*$  Optimal Reserve ahead point
- $Q_{total}$  전체 수하물 처리 용량
- $U_{tilt}$  틸트 트레이 이용률(Utilization factor)

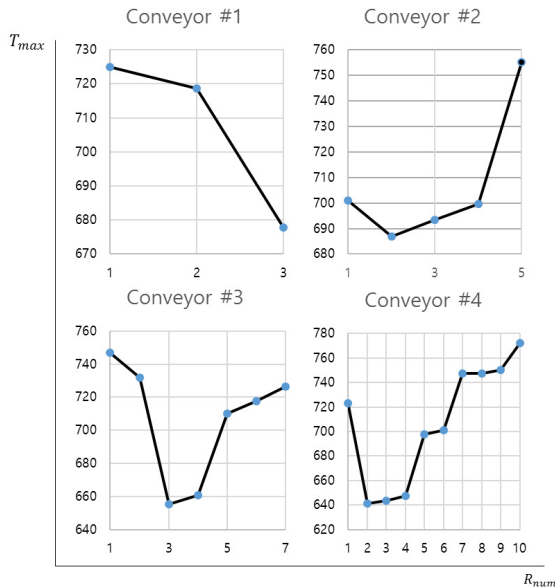
시뮬레이션을 통하여 각 컨베이어의 모든 Reserve ahead point 적용 경우에 대하여 전체 수하물 처리 용량( $Q_{total}$ ), 수하물 최대 통과 시간( $T_{max}$ ), Reserve ahead point 위치 번호( $R_{num}$ ), 틸트 트레이 이용률( $U_{tilt}$ )을 산출하였다. 컨베이어의 너비 및 속도, 틸트 트레이의 속도, 수하물 크기와 간격 등은 위에서 가정한 것과 같다.

본 실험에서는 모든 Reserve ahead point에 대한 의사 결정변수값을 도출하였으며 그 중 각 컨베이어 라인 별로 결과값에 가장 영향력이 높은 Reserve ahead point를 선정하였다. 또한 선정된  $R_{num}$ 를 바탕으로 가장 효율적인 결과값이 나오는 Reserve ahead point 조합( $R_{num}^*$ )을 발견하였다.



### 3.2 실험 결과

Reserve ahead point를 변화시키며 조합한 전체 결과 수는 1,050개이며, 이 중 의미 있는 값들 찾기 위하여 Reserve ahead point에 관련된 의사결정변수들을 바탕으로 주 효과도 검정을 실시하였다. 검정을 위한 요인 정보는 각 컨베이어 라인 별 Reserve ahead point이다.



<Figure 6> Effects of various Reserve ahead Points

<Figure 6>은 주 효과도 분석에 따른 가장 영향력이 높은 몇 개의 Reserve ahead point에 대하여 Maxtime을 제시한 그래프이다. 분석 결과 1번 컨베이어는 tilt 트레이와의 병합 지점과 가장 가깝기 때문에 세 번째 Reserve ahead point를 초과하여 window 할당을 진행할 경우 컨베이어의 말단에 도달하였을 때 트레이는 이미 통과해 버린 상태가 된다. 2번 컨베이어 역시 다섯 번째 Reserve ahead point를 초과 하는 경우에서 트레이 탑승이 불가능을 확인할 수 있었다. 따라서 Maxtime에 대한 주 효과도 분석은 각각 1번 컨베이어가 1~3번째, 2번 컨베이어가 1~5번째, 3번 컨베이어가 1~7번째, 4번 컨베이어가 1~10번째 Reserve ahead point를 이용하였을 때의 결과를 사용하였다. 결과값의 악화 추세로 10번째를 초과하는 결과값은 그래프에서 생략하였다.

높은 영향력을 가지는 Reserve ahead point의 도출에 대한 판단은 각 위치별 Maxtime의 최대값과 최소값의 평균인 725.2초를 기준으로 임의로 사용하였다. 분석 결과 1번 컨베이어는 3번째 Reserve ahead point를 사용하였을 때가 가장 긍정적인 결과값을 도출하는 것으로 나타났다. 2번 컨베이어의 경우 2~3번째 위치가 확인되었으며, 3번

컨베이어는 3~4번째 위치, 4번 컨베이어는 2~4번째 위치가 유의한 값을 나타냄을 확인할 수 있었다. 따라서 주 효과도 분석을 통해 총 18개의  $R_{num}$  조합을 도출하였다.

<Table 2>는 전체 수하물 처리 용량( $Q_{total}$ )에 관한 것이다. BHS에서 전체 수하물 처리 용량은 매우 중요한 척도 중 하나이기 때문에 본 실험에서 실시한 주 효과도 검정이 의미가 있는지를  $Q_{total}$ 의 변화에 따라 판단하였다. 이에 따르면 전체 1,050개의  $Q_{total}$ 에 비해 주 효과도 검정을 실시한 18개 집단의 평균과 표준편차 등이 더 안정적인 값으로 나타났음을 알 수 있다.

<Table 2> Total throughput of the BHS

	$Q_{total}$ for overall output	$Q_{total}$ for Main effect analysis
Mean	30328.6086	30329.9444
Standard Error	1.0539344	4.48415673
Median	30331	30332
Mode	30339	30348
Standard Deviation	34.1513778	19.0246658
Sample Variance	1166.31661	361.937908
Kurtosis	9.9235759	-0.30345575
Skewness	-1.75466853	-0.69417207
Range	377	64
Minimum	30041	30289
Maximum	30418	30353
Sum	31845039	545939
Count	1050	18

주 효과도 분석으로 가장 높은 연관성을 보이는 Reserve ahead point에 대하여 최적의 조합 한 개( $R_{num}^*$ )를 선정하였다.  $R_{num}^*$ 을 판단하는 기준은 수하물 최대 통과 시간, 전체 수하물 처리 용량, tilt 트레이 이용률이다. 선정된  $R_{num}^*$ 은 (3-2-3-4)이며,  $R_{num}^*$ 을 판단하기 위한 기준의 수치 해석은 다음과 같다.

먼저, 주 효과 분석의 결과인 18개의 집단에 대한 tilt 트레이 이용률( $U_{tilt}$ )의 정보는 <Table 3>과 같다. 1,050개의 전체 집단과 18개의 집단에 대한 tilt 트레이 이용률을 비교 및 분석하였다. 표에 따르면, 전체 tilt 트레이 이용률의 평균이 0.994115이고 18개 집단의 tilt 트레이 이용률이 0.99392111로 서로 다르지 않아 선정된 18개 집단의 이용률 값이 유의미함을 알 수 있다. 또한 전체 집단의 최소최대값에 비하여 18개 집단의 최소최대값의 차가 더욱 안정적으로 나타남을 알 수 있다.  $R_{num}^*$ 의 평균은 0.9939로 tilt 트레이로의 탑승이 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있다.

<Table 3> Utilization of Tilt Tray

	$U_{tilt}$ of 18 combinations	$U_{tilt}$ of total data(1050)
Mean	0.99392111	0.994115
Standard Error	4.7069E-06	2.34E-05
Median	0.99392	0.994319
Mode	0.99393	0.994405
Standard Deviation	1.9967E-10	0.000758
Sample Variance	3.9869E-10	5.74E-07
Kurtosis	-0.43367132	44.93293
Skewness	0.22762634	-5.88036
Range	7E-05	0.009487
Minimum	0.99389	0.985018
Maximum	0.99396	0.994505
Sum	17.89058	1043.821
Count	18	1050
$(R_{num^*}) U_{tilt}$		0.99392111

<Table 4> Average throughput of  $Q_{total}$

Average $Q_{total}$	
Mean	30329.9444
Standard Error	4.48415673
Median	30332
Mode	30348
Standard Deviation	19.0246658
Sample Variance	361.937908
Kurtosis	-0.30345575
Skewness	-0.69417207
Range	64
Minimum	30289
Maximum	30353
Sum	545939
Count	18
$(R_{num^*}) Q_{total}$	30352

<Table 4>에 의하면 실험을 통해 제시된 optimal 값인  $R_{num^*}$ 의 평균( $(R_{num^*}) Q_{total}$ )은 30,352개로 18개 집단의 평균인 약 30,323개 보다 높은 수치를 보이고 있으며, 따라서 해당 값의 Reserve ahead point를 사용할 때에 시스템의 처리량이 높아짐을 확인 할 수 있다. 또한 표준편차 값을 고려해 보았을 때 해당 조합이 보다 많은 수의 수하물을 처리할 수 있음을 보여주고 있다.

18개의  $R_{num}$  조합 집단에 대한  $T_{max}$ 은 <Table 5>와 같다. 해당하는 결과값은 5번의 시뮬레이션에서 도출된 각  $T_{max}$ 의 최대값을 사용하여 산출하였다.  $R_{num^*}$ 의  $T_{max}$ 는 약 507초로 18개의 집단 중 가장 낮음을 알 수 있다. 따라서 산

출된  $R_{num^*}$ 은 본 연구의 목표인 Reserve ahead point 변화에 따른 Maxtime 감소를 통한 BHS 효율성 증대에 적합하다고 볼 수 있다.

<Table 5> Combination of Candidate Reserve Point and Maxtime

Candidates of $R_{num}$ combination	Maximum of $T_{max}$
3-2-3-2	527.1620
3-3-3-2	522.3996
3-4-3-2	536.4557
3-2-4-2	523.4354
3-3-4-2	524.5107
3-4-4-2	528.507
3-2-3-3	517.3531
3-3-3-3	518.3128
3-4-3-3	514.5856
3-2-4-3	531.2477
3-3-4-3	517.5596
3-4-4-3	518.1983
3-3-3-4	511.2396
3-4-3-4	526.3473
3-2-4-4	528.7508
3-3-4-4	529.2643
3-4-4-4	507.9116
3-2-3-4	507.1576

#### 4. 결 론

BHS는 공항 내에서 수하물의 효율적인 처리를 위해 사용하는 물류 설비 시스템으로, 그 규모가 매우 크고 시스템 내 크고 작은 작업들의 상호 작용이 일어나기 때문에 시스템을 효과적으로 통제하는 알고리즘이 매우 중요하다. 본 논문에서는 병합이 일어나는 전형적인 형태의 BHS 레이아웃에서 Reserve ahead point를 적용한 윈도우 레저베이션 알고리즘을 바탕으로 보다 효율적인 통제 방법을 제시하였다. 이 연구는 기존 실험용 레이아웃에서 공항의 확장성을 고려하여 병합 규모를 늘려 실험하였으며, 윈도우를 할당하는 지점인 Reserve ahead point 위치의 변화에 대한 모든 경우의 실험값을 고려하여 결과를 도출하였다.

또한 주 효과도 분석을 통하여 네 개의 컨베이어에서 각각 가장 결과에 밀접한 영향을 미치는 Reserve ahead point들을 도출하였다. 이 위치들을 조합한 값으로 처리용량, 대기 시간 등의 의사결정변수 결과를 평가해 최적의 Reserve ahead point 조합을 찾아내었다. 결과적으로 BHS의 통제 및 관리에 있어 컨베이어 순서대로 (3-2-3-4)의 Reserve ahead point 값을 적용하여 윈도우 레저베이션

선 알고리즘을 수행하면 Maxtime을 감소시키면서 처리 용량은 유지되는 효율적인 관리를 시행할 수 있음을 제시하였다.

이전에 진행된 연구들은 주로 BHS의 효율적 통제를 위해 다양한 알고리즘을 적용하는 데 초점을 맞추었다. 또한 윈도우 레저베이션 알고리즘 논문들의 경우 여러 가지 변수를 변화시켜 실험을 진행하였지만 가장 중요하다고 여겨지는 윈도우 예약 위치를 고려한 연구는 많지 않다. 이 연구를 통하면 윈도우 레저베이션 알고리즘을 적용할 시 가장 알맞은 예약 위치를 예측 및 적용할 수 있으므로 BHS 관리에 있어 효율적인 방향으로 접근할 수 있다. 본 논문에서는 설비의 확장성과 기술의 성장을 고려하여 실험하였으나 BHS는 매우 정교한 시스템으로서 컨베이어와 분류 기기 등과 같은 기계 설비의 속도, 너비, 각도 등에 따라 그 통제 결과가 달라질 수 있다[14]. 따라서 다양한 설비 레이아웃에서 유동적으로 적용될 수 있는 알고리즘 개발과 관련된 추후 연구가 필요하다.

## Acknowledgement

This research was supported by the MSIP(Ministry of Science, ICT and Future Planning), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2017-2014-0-00678) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion).

## References

- [1] Abdelghany, A., Abdelghany, K., and Narasimhan, R., Scheduling baggage-handling facilities in congested airports, *J. Air Transp. Manag.*, 2006, Vol. 12, No. 2, pp. 76-81.
- [2] De Neufville, R., The baggage system at Denver : prospects and lessons, *J. Air Transp. Manag.*, 1994, Vol. 1, No. 4, pp. 229-236.
- [3] Ha, Y. and Chae, J., Dwell Point Policies for Shuttles on Shuttle-Based Storage/Retrieval(SBS/RS) System, *J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng.*, 2016, Vol. 39, No. 3, pp. 30-38.
- [4] Han, Y.H. and Zhou, C., Dynamic sequencing of jobs on conveyor systems for minimizing changeovers, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2010, Vol. 49, No. 9-12, pp. 1251-1259.
- [5] Ji, H.-K., System disruption only after 8-month of great BHS rebellion in Incheon Airport, *Maiel Business News Korea(MBN)*, 2016.
- [6] Johnstone, M., Creighton, D., and Nahavandi, S., Simulation-based baggage handling system merge analysis, *Simul. Model. Pract. Theory*, 2015, Vol. 53, pp. 45-59.
- [7] Kim, G., Kim, J., and Chae, J., Balancing the baggage handling performance of a check-in area shared by multiple airlines, *J. Air Transp. Manag.*, 2017, Vol. 58, pp. 31-49.
- [8] Kim, J., Kim, G., and Chae, J., A Fair Flow Control For Baggage Handling System in Airport, *The Journal of the KICS*, 2016, Vol. 41, No. 10, pp. 1317-1327.
- [9] Ko, S.S., Han, Y.H., and Choi, J.Y., Paint batching problem on M-to-1 conveyor systems, *Comput. Oper. Res.*, 2016, Vol. 74, pp. 118-126.
- [10] Le, V.T., Zhang, J., Johnstone, M., Nahavandi, S., and Creighton, D., A Generalised Data Analysis Approach for Baggage Handling Systems Simulation, *IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern.*, 2012, pp. 1681-1687.
- [11] Lenior, O.N.M., Airport baggage handling-Where do human factors fit in the challenges that airports put on a baggage system?, in *Work*, 2012, Vol. 41, No. SUPPL.1, pp. 5899-5904.
- [12] Lin, J.T. and Huang, E., Airport baggage handling system simulation modeling using SysML, *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, 2015, pp. 1-10.
- [13] Liu, Y. and Liu, Y., Simulation Modeling for Tilt-Tray-Automatic-Sorting System Based on AutoMod, *2014 Seventh Int. Symp. Comput. Intell. Des.*, 2014, pp. 245-248.
- [14] Thomas, R.G., van Baar, C.E., and van der Stee, M. J., Baggage handling postures and the design of conveyors, *Appl. Ergon.*, 1995, Vol. 26, No. 2, pp. 123-127.

## ORCID

- Minhee Kim | <http://orcid.org/0000-0002-5609-2747>  
 Hyunwoo Shin | <http://orcid.org/0000-0002-3986-2199>  
 Junjae Chae | <http://orcid.org/0000-0002-2657-047X>