

# 공항 수하물 처리시스템의 균형적인 흐름제어 기법 연구

김준범\*, 김국화\*, 채준재<sup>o</sup>

## A Fair Flow Control For Baggage Handling System in Airport

Junbeom Kim\*, Gukhwa Kim\*, Junjae Chae<sup>o</sup>

### 요약

BHS는 공항 내 가장 복잡한 시스템중 하나이며, 높은 시스템 확장비용을 고려했을 때 효율적인 운영 시스템이 요구된다. 비효율적인 BHS 운영 시스템은 병목현상을 발생시켜 시스템 능력을 하락시키는 동시에 체크인시설의 불균형을 야기한다. 따라서 본 연구의 목적은 BHS 합류부의 병목현상을 제어함으로써 BHS와 체크인 구역의 효율성을 향상시키는 것에 있다. 데이터 네트워크에 사용하는 흐름제어 개념을 차용하여 새로운 로직을 제안하였으며, 시뮬레이션을 기반으로 컨베이어의 병목현상이 고객 대기열에 미치는 영향을 분석하였다.

**Key Words** : Baggage Handling System, Conveyor Network, Data Network, Flow Control, Network Balancing

### ABSTRACT

The baggage handling system (BHS) is one of the most complex system in the airport. A highly economical operating system is required to ensure its performance in consideration of its enormous cost on the extension. Furthermore, the inefficient operation deteriorates not only the system performance but the imbalance among the check-in counters because of a bottleneck on the conveyors downstream. The objective of this research is to improve the performance of both the BHS and the check-in area by efficiently controlling the flow in the merging area on the conveyors. Thus, we suggest a control logic of which the concept is borrowed from data networks. The simulation is used to analyze impacts of the conveyors bottleneck on the check-in area and optimize some parameters used in the suggested logic. We also discuss some observations from the simulation results into several aspects of performance measures.

### I. 서론

공항 내 시설은 Fig.1에서처럼 크게 공항 이용객에 초점을 맞춘 ‘랜드 사이드 (land-side)’와 항공기 이·착륙에 관련된 ‘에어 사이드 (air-side)’로 구분할 수 있다. 공항은 이용객 편의와 원활한 항공사 업무를 위해 적절한 규모와 능력을 갖춘 시설을 보유함으로써 국제 항공기구들로부터 높은 평가를 받을 수 있으며,

대형항공사들의 허브공항으로써의 역할을 수행할 수 있다.<sup>[1]</sup>

2014년 국제항공운송협회와 국제공항협회는 최적 여객 시설의 공급을 목적으로 공항의 서비스품질평가 개정안의 초안을 발표했다.<sup>[2]</sup> 주요 평가항목은 고객 대기행렬의 ‘최대 대기시간’과 ‘여객 1인 당 자유공간의 제공’으로 구성되었다. 관련 평가항목에 가장 큰 영향을 미치는 곳 중 하나로는 체크인 지역 (check-in

\* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2016-H8601-16-1010)

♦ First Author : Korea Aerospace University School of Air Transport, Transportation and Logistics, rlawnsqja@kau.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Korea Aerospace University School of Air Transport, Transportation and Logistics, jchae@kau.ac.kr, 정회원

\* Korea Aerospace University School of Air Transport, Transportation and Logistics, sjjky27@kau.kr

논문번호 : KICS2016-08-177, Received August 1, 2016; Revised October 5, 2016; Accepted October 5, 2016

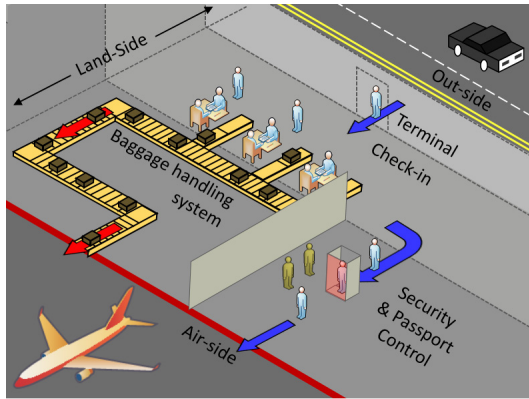


그림 1. 공항 시설 구분  
Fig. 1. Airport facilities

area)이 있다. 해당 지역은 체크인카운터와 BHS로 구성되어 있으며, 출국 여객에게 탑승수속과 수하물 탁송 서비스를 제공한다.<sup>11,3,41</sup>

국내·외 국제공항들은 높은 서비스품질평가 점수를 획득하기 위해 체크인카운터, BHS 등의 체크인시설 확장 투자를 진행하고 있다. 하지만 공항시설의 확충에 따른 유희시설의 증가는 경제적으로 비효율적일 수 있다. 최근 서비스품질과 경제성 간의 트레이드오프 (trade-off) 문제를 해결하기 위해 SBD (Self Bag Drop), RFID 연계 등 IoT 기술을 접목시킨 연구가 진행되었다.<sup>14-61</sup> 그러나 현재까지는 체크인시설의 균형적인 효율성 확보에 대해 시스템 운영 로직 측면에서의 접근은 거의 이뤄지지 않은 상황이다.

본 연구의 목적은 운영 로직의 변경을 통해 보유한 시스템의 성능을 향상시키는 것이다. 이는 설비확장에 따른 비용 및 유희시설 발생 문제를 감소시킬 수 있다. 새로운 운영 로직은 데이터 네트워크 흐름제어 (data network flow control)의 개념을 차용하였으며, 체크인시설을 하나의 데이터 네트워크로써 고려하였다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 BHS 내에서 발생하는 병목현상에 따른 비효율적인 수하물의 흐름이, BHS 외부로 전이되어 체크인카운터 고객 대기행렬에 미치는 영향에 대해 연구했으며, 이를 제어할 수 있는 새로운 운영로직을 제안한다.

## II. BHS 네트워크 흐름제어

### 2.1 BHS 컨베이어 네트워크

BHS는 공항 내 최첨단 운영 시스템 중 하나이다.<sup>17,81</sup> BHS는 수하물 처리 운영비용을 절감시키기 위해 개발된 설비로써, 주요 업무는 수하물을 체크인 시

설로부터 랜드 사이드의 출발 게이트까지 이송하는 것이다.<sup>191</sup> BHS는 MHS (Material Handling System, 자동 물류 운용 시스템)의 일종으로 컨베이어 시스템이 핵심적인 역할을 수행한다. BHS는 Fig. 2와 같이 중량 (scale), 라벨 (label), 인입 (induction), 컬렉션 (collection), 미터링, 캐러셀 등 다양한 종류의 컨베이어가 연결되어 네트워크를 구성하고 있다. BHS의 전반적인 성능은 인입 컨베이어와 컬렉션 컨베이어가 합류하는 지점에서 결정된다.<sup>1101</sup> 하지만 고객 도착분포 및 수하물 보유량, 탑승수속 서비스 프로세스의 차이 등 설비 외적 동적 환경 (dynamic environment)으로 인해 합류지점의 최적 제어가 어려운 상황이다. 비효율적인 제어로 인해 발생하는 가장 큰 문제는 Fig. 3에서와 같이 피크시간대합류지점의 병목현상으로 인해 인입 컨베이어 간 처리량의 불균형이 발생하는 것이다. 위와 같은 문제는 네트워크 내에서 흔히 발생한다. BHS의 경우 컨베이어 네트워크상의 불균형문제 (imbalance problem)가 심화되면, 병목현상의 영향이 컨베이어 외부의 고객 대기행렬로 전이 (cascade)되어 서비스 품질을 저하시킬 수 있다. 따라서 불균형문제가 발생하는 시점에 이를 조절할 수 있는 효과적인 운영 로직이 필요하다.

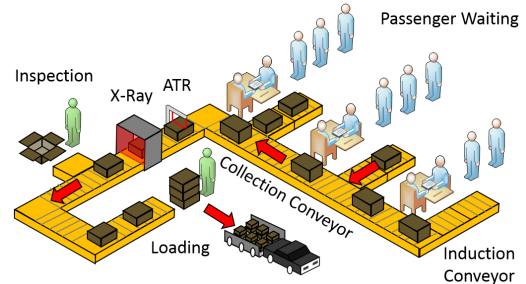


그림 2. BHS 및 체크인 프로세스 구조  
Fig. 2. BHS and check-in process scheme

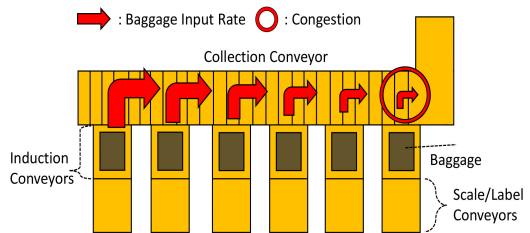


그림 3. 컨베이어 간 인입률 차이  
Fig. 3. Differences of input rate among induction conveyors

### 2.2 데이터 네트워크 흐름제어

피크시간에는 대부분의 네트워크 시스템에 있어서 버퍼의 최대 처리량 (optimal throughput)을 넘는 부하가 발생한다. Fig. 4-5는 세션 간 데이터 네트워크 인입률의 차이를 보여주는 그림으로 피크시간대 버퍼 과부하 (buffer overflow)와 재송신으로 네트워크의 처리량 감소를 보여준다.<sup>[6]</sup> AB 세션의 인입률은 CD 세션에 비해 10배 빠르기 때문에 더 높은 확률로 네트워크 진입이 가능하다. AB 세션의 처리량은 중앙 버퍼 (central buffer)의 용량 (unity)에 가까운 1.0의 값을 지니게 되며, CD 세션의 처리량은 10분의 1 수준인 0.1에 그치게 된다. 만약 네트워크로 진입하는 트래픽 (traffic)의 흐름을 제어하지 않는다면, 등급 (class)이 낮은 특정 노드의 버퍼들은 낮은 인입률로 인해 급방 과부하 상태가 될 수 있다. 과부하된 버퍼는 더 이상 추가적인 패킷을 보유할 수 없게 되고, 이는 Fig. 5에서처럼 네트워크 처리량의 감소를 야기할 수 있다.<sup>[6]</sup> 흐름제어 (flow control)는 이처럼 다수의 이용자들이 존재하는 네트워크상에서, 수신자

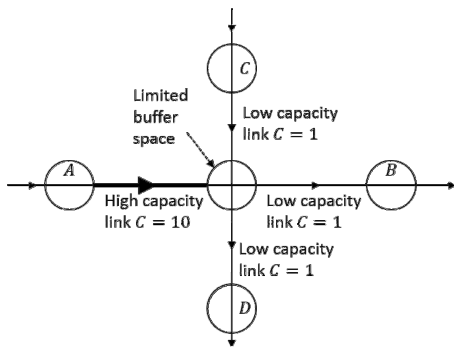


그림 4. 높은 용량의 트래픽으로 인한 버퍼 과부하 예시  
Fig. 4. Example of buffer overflow caused by high traffic volume(Bertsekas & Gallager, 1992, p497)

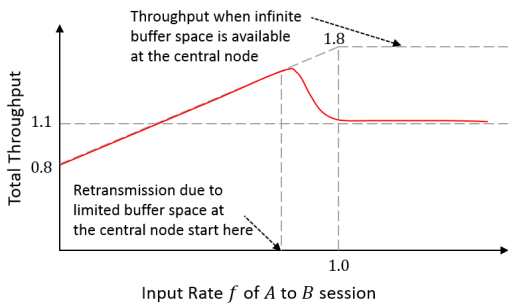


그림 5. 버퍼 과부하로 인한 처리량의 감소  
Fig. 5. Throughput degradation caused by buffer overflow (Bertsekas & Gallager, 1992, p497)

(receiver)의 최대 처리용량을 초과하는 너무 빠른 송신자 (fast transmitter)의 패킷 전송을 일정시간 인위적으로 제어하는 것을 의미한다.<sup>[6,11]</sup> 이를 통해 네트워크로 진입하는 이용자들의 처리시간의 차이를 감소시키고 안정적인 서비스를 제공할 수 있다.

### 2.3 BHS 네트워크 흐름제어

본 연구에서는 체크인 지역 내에서 발생하는 불균형문제를 해결하기 위해 데이터 네트워크의 흐름제어 기법을 도입하였다. 실제 체크인시설 프로세스는 데이터 네트워크의 세션과 유사하다. Fig. 6은 데이터 네트워크에서 총  $N$ 개의 노드가 존재한다고 가정했을 때,  $k$ (단,  $0 \leq k \leq N-1$ )의 링크를 방문하는 세션은 오직  $k$ 등급 (class) 이하에 패킷보다 크거나 같은 버퍼가 존재할 때만 네트워크로 진입할 수 있다는 것을 의미한다.<sup>[12,13]</sup> BHS의 수하물 위탁 및 전송 프로세스는 Fig. 6 데이터 네트워크의 처리방식과 유사한 윈도우-레저베이션 (window reservation)<sup>[14]</sup>이라는 운영로직에 의해 수행된다. 윈도우-레저베이션 로직은 Fig. 7에서처럼 수하물의 균형적인 투입을 위해 인입 시점에 가상의 윈도우를 미리 예약하는 프로세스를 의미한다.

물리적인 BHS 컬렉션 컨베이어는 총  $N$  개의 윈도우로 분할되고, 각 윈도우는 오직 한 개의 수하물만을

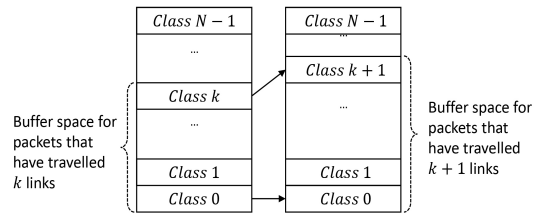


그림 6. 버퍼 등급에 따른 노드 메모리의 구성  
Fig. 6. Organization of node memory in buffer classes (Bertsekas & Gallager, 1992, p499)

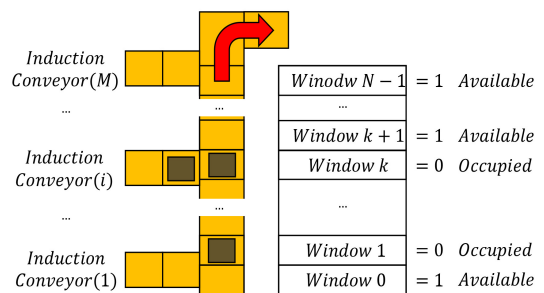


그림 7. 윈도우 레저베이션의 구성  
Fig. 7. Organization of window reservation

소유할 수 있다. 예를 들어 Fig. 7에서처럼  $i$ 번째 인입 컨베이어에 수하물이 도착할 경우, 해당 수하물은 컬렉션 컨베이어로 진입하기 위해서 미리 윈도우를 탐색하게 된다. 수하물은 현재 위치한 인입 컨베이어와 가장 가까운 컬렉션 컨베이어 윈도우의 등급보다 낮은 등급의 윈도우만을 점유할 수 있다. 즉,  $M$ 번 인입 컨베이어에 도착한 수하물이 탐색 및 점유할 수 있는 윈도우는 총  $N$ 개이며, 1번 인입 컨베이어에 도착한 수하물의 경우 오직 1개의 윈도우만을 탐색할 수 있다. 윈도우의 상태는 수하물에 의해 점유되었다면 0의 값, 비어있다면 1의 값을 갖는다. 결과적으로 인입 컨베이어에 도착한 수하물은 자신보다 낮은 단계의 윈도우 중 가장 가깝고, 인입 가능한 곳에 가상의 공간을 점유한다.

### III. 본 론

#### 3.1 문제 정의

본 연구에서의 문제는 BHS 합류지점에서 발생한 병목현상이 체크인카운터로 전이되고, 이로 인해 발생하는 고객 대기행렬의 불균형을 의미한다. 체크인카운터의 병목현상은 고객도착간격이 체크인카운터의 탑승수속 소요시간보다 빠른 경우, BHS의 병목현상은 인입 컨베이어에서 컬렉션 컨베이어의 처리량을 초과하는 수하물이 인입되었을 때 발생한다. 불균형문제의 경우 위의 두 가지 병목현상이 복합적으로 작용하여 발생한다. Fig. 8은 피크시간대 체크인시설의 모습을 표현한 것이다. 피크시간대에는 짧은 시간동안 많은 고객들이 체크인시설을 방문하게 된다. 이로 인해 체크인카운터의 작업능률 (utilization)은 평시대비 급격

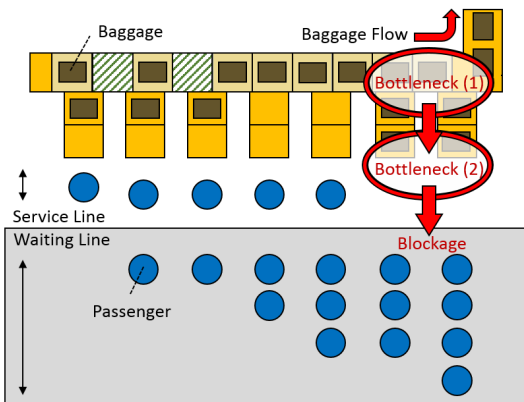


그림 8. BHS 내 병목현상  
Fig. 8. Bottlenecks in BHS

하게 증가하며, 다수의 인입컨베이어에서 컬렉션 컨베이어로 전송되는 수하물들은 합류지점에서 첫 번째 병목현상을 발생시킨다.

Fig. 9는 첫 번째 병목현상으로 인해 합류지점에서 가까운 인입 컨베이어부터 컬렉션 컨베이어로 진입하기 위한 지연 (delay)이 증가하는 모습을 보여준다. 이로 인해 인입 컨베이어에 장시간 머무는 수하물이 발생하게 되며, 컨베이어의 여유용량이 모두 소모된다. 인입 컨베이어의 여유용량이 없을 경우 체크인 카운터는 더 이상 고객을 받을 수 없게 되는데, 이 현상이 두 번째 병목현상을 악화시킨다.

인입 컨베이어 내 수하물 대기시간의 증가는 자연스럽게 처리량의 차이를 발생시킨다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 개별 인입 컨베이어의 인입 지연과 처리량은 정반대의 관계를 갖는다. 지연시간이 길수록 처리량은 감소하며, 지연시간이 짧을수록 처리량이 증가한

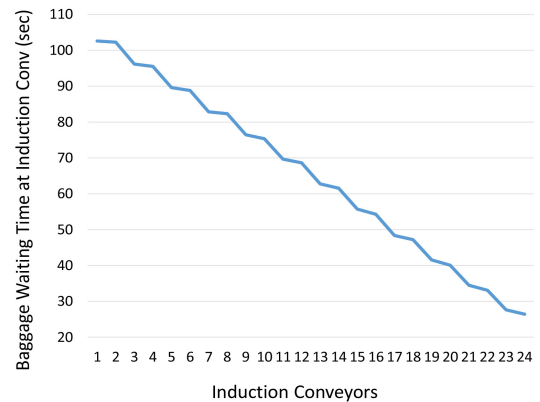


그림 9. 인입 컨베이어 간 수하물 대기시간의 차이  
Fig. 9. Baggage waiting time differences among induction conveyors

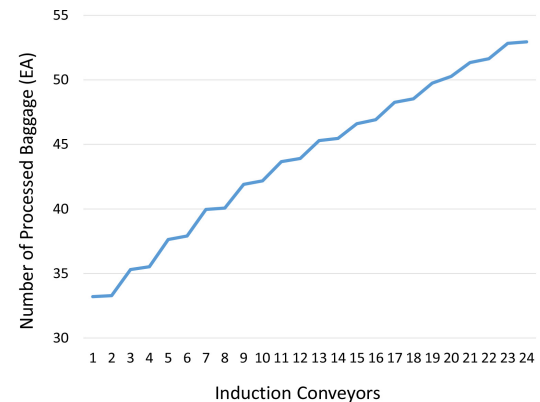


그림 10. 인입 컨베이어 간 수하물 처리량 차이  
Fig. 10. The number of processed baggage differences among induction conveyors

다. 이는 합류지점에 가까운 인입 컨베이어일수록 병목현상의 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다. 합류 지점에서 발생한 병목현상으로 인해

해당 지점에서 가까운 체크인카운터의 인입 컨베이어(;버퍼)일수록 더욱 빠르게 과부하되고, 더 이상 고객 서비스를 제공할 수 없게 된다. 결과적으로 해당 체크인 카운터의 고객 대기행렬은 지속적으로 증가한다.

본 연구에서 주목한 점은 BHS 설비 내에서 발생한 수하물의 물류적인 흐름문제가 단순히 시스템 처리량의 불균형을 발생시킬 뿐 아니라 탑승수속 고객 대기 시간이라는 서비스 측면에도 영향을 미칠 수 있다는 것이다. 현재까지 공항의 체크인지역과 관련된 연구들은 설비측면의 효율성과 인적자원 측면의 서비스 항목을 별개로 고려하는 경우가 대부분이다. 하지만 BHS와 체크인 프로세스에 관한 연구를 진행할 경우 두 시스템이 상호간에 미치는 영향을 파악할 필요성이 있다.

### 3.2 콜 블로킹 윈도우 레저베이션

본 연구에서는 불균형문제를 해결하기 위해 데이터 네트워크 흐름제어 기법 중 하나인 콜 블로킹의 개념을 차용했다. 콜 블로킹은 특정 세션의 네트워크 진입을 인위적으로 막는 프로세스이다. 일반적으로 진입할 수 있는 세션의 최대/최소 전송률, 우선순위, 허용범위 등의 기준을 근거로 진입 여부를 미리 결정한다. 본 연구에서 사용한 콜 블로킹 윈도우 레저베이션 로직은 Fig. 11에서처럼 특정 체크인카운터 고객 대기행렬의 길이가 미리 설정한 임계값(threshold)을 넘을 경우, 해당 체크인카운터보다 등급이 낮은 체크인카운터들의 인입 컨베이어의 윈도우-레저베이션 프로세스를 제한비율(block rate)에 따라 일정시간 동안 지연시키

는 것이다. 이는 합류지점에서 먼 곳에 위치한 인입 컨베이어일수록 컬렉션 컨베이어로의 인입률(input rate)이 높으며, 반대의 경우 인입률이 낮은 문제를 해결하기 위함이다.

고려해야 할 첫 번째 사항은 제안하는 로직의 경우 피크시간대에만 수행되기 때문에 적절한 임계값을 설정하는 것이다. 너무 높은 임계값을 가질 경우 병목현상으로 낮아진 높은 등급의 인입률을 개선할 수 없다. 현실에서 임계값의 기준으로 선택할 수 있는 파라미터는 굉장히 적다. 왜냐하면 설정할 수 있는 요소의 대부분은 인적요소로써 임의성이 크고, 정보에 대한 폐쇄성이 높기 때문이다. 따라서 본 연구에서 사용하는 임계값의 기준 파라미터는 항공사 별 대기행렬의 고객 수로 설정했으며, 임계값을 넘는 시점부터 제안하는 로직을 적용하는 것을 원칙으로 삼았다.

두 번째는 낮은 등급을 갖는 인입컨베이어에서 수하물의 인입을 얼마나 지연시킬 것인가에 대한 문제이다. 너무 낮은 수치의 지연은 낮은 등급 인입 컨베이어의 수하물 인입을 충분하게 제한하지 못하게 될 것이며, 너무 높은 수치의 지연은 시스템의 전반적인 처리량을 과도하게 감소시킬 수 있다. 본 실험에서는 인입의 지연시간을 1개의 수하물을 보유한 고객의 탑승수속 평균처리시간과 해당 인입 컨베이어의 평균 수하물 인입 지연시간의 차이를 기준으로 특정 제한 비율을 곱한 값으로 설정했다. 결과적으로 콜 블로킹 윈도우 레저베이션 로직의 프로세스는 Fig. 12의 흐름도(flow chart)를 따라 수행된다. 인입 컨베이어에 도착한 수하물은 고객 대기행렬 센서(passenger queue sensor)의 정보를 받아 현재 대기하고 있는 고객의 수가 임계값을 초과한지 검사한다. 만약 임계값을 초과했을 경우 콜 블로킹 오퍼레이션을 수행하는데, 이를 통해 낮은 등급 인입 컨베이어들의 윈도우 레저베이션 프로세스를 지연시간만큼 연기시킨다. 콜 블로킹 프로세스 이후 수하물의 흐름은 일반적인 윈도우 레저베이션 프로세스와 동일하게 수행된다.

## IV. 실험

### 4.1 시험환경

본 연구는 3D 시뮬레이션 Automod®을 통해 수행되었으며, 피크시간 1시간 동안의 체크인시설 프로세스를 대상으로 한다. 시뮬레이션 모델에 사용된 파라미터들은 크게 BHS 레이아웃 측면과 인적 서비스 프로세스 측면으로 구분할 수 있다.

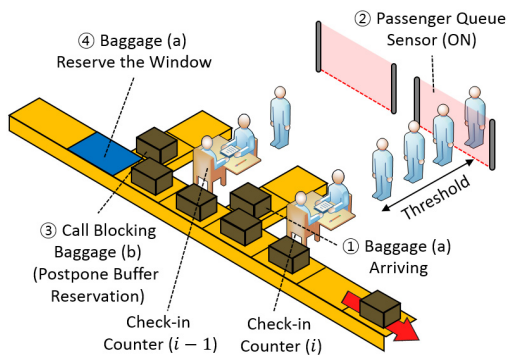


그림 11. 콜 블로킹 윈도우 레저베이션의 개념  
Fig. 11. Concept of call blocking window reservation



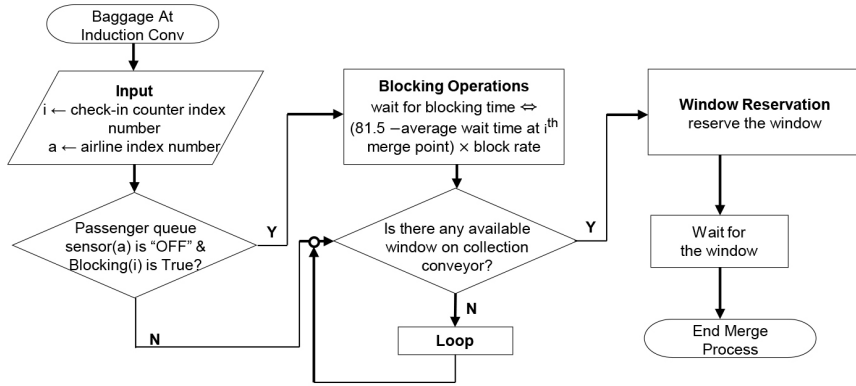


그림 12. 콜 블로킹 윈도우 레저베이션 플로우차트  
Fig. 12. Call blocking window reservation process flow chart

BHS 레이아웃은 Table 1에서처럼 국내 G 국제공항 출발 터미널 중 한 곳의 형태를 참조하였다. 레이아웃은 크게 컨베이어와 ATR(Automatic Tag Reader), X-ray 등의 장비부분으로 구분할 수 있지만, 본 연구에서는 컨베이어 시스템과 고객 서비스품질 간의 관계만을 고려했기 때문에 장비부분의 영향은 제외했다.

일반적으로 G 국제공항처럼 중·소규모의 공항들은 다수의 컬렉션 컨베이어 라인을 보유하지 못한다. 이러한 상황에 다수의 항공사들이 취항할 경우 한 개의 컬렉션 컨베이어 라인을 공유하는 경우가 발생한다. 따라서 본 실험에서도 현실반영 및 결과해석의 편의를 위해 총 24개의 체크인카운터 및 인입 컨베이어를 Table 2에서와 같이 가상의 3개 항공사에 8개씩 균등하게 분할했다.

서비스 프로세스 측면의 파라미터는 IATA의 ADRM (Airport Development Reference Manual)<sup>[15]</sup>을 참조하였으며, Table 3과 같이 고객 도착분포, 고객 당 수하물 보유량, 탑승 수속 처리시간으로 구분할 수 있다.

표 1. G 국제공항 BHS 레이아웃 및 설비능력  
Table 1. BHS layout of G international airport and machine requirement

Item	Description			EA
	Length (mm)	Width (mm)	Speed (m/min)	
Scale/Label	1,200	600	18	24
Induction	1,600	600	30	24
Collection	47,000	1,000	30	1
Window reservation size	1,700 mm			
Throughput (Optimal)	1,058 Bags/hr			
Travel time (Ideal)	Min 315.4 sec Max 404.7 sec			

표 2. BHS 라인을 공유하는 항공사 체크인카운터 배정  
Table 2. Check-in counter assignment for airlines sharing a BHS line

	Airline (1)	Airline (2)	Airline (3)
Number of CiC (Class)	8 (24-17) High	8 (16-9) ↔	8 (1-8) Low

표 3. 체크인카운터 서비스 프로세스 파라미터  
Table 3. Parameters for service process in check-in counter

Item	Distribution	Expectation
Arrival Distribution	Exponential	1,058 Person/hr (IAT: 3.40 sec/P)
Baggage per Person	Discrete	1 Bag: 50% 2 Bags: 50%
Check-in Process Time	Triangular	1 Bag: 68-95 sec 2 Bags: 88-130 sec

#### 4.2 시나리오 및 평가항목 설정

콜 블로킹 로직의 성능을 분석하기에 앞서 먼저 목적별 최적 기준을 탐색하였다. 목적은 크게 시스템 평가항목에서의 평가와 불균형문제 해소 수준에 있으며, 임계값과 제한비율의 수치변화에 따른 평가항목의 변화를 시뮬레이션을 통해 분석했다. 시뮬레이션 분석의 범위는 임계값을 1부터 40까지 1씩, 제한비율을 0.1부터 2.5까지 0.1씩 증가시켰으며, 각각 200번의 시뮬레이션이 반복 수행되었다. 결과분석 표에서 As-Is는 기존 운영 로직의 결과를, To-Be는 콜 블로킹을 적용시킨 새로운 운영 로직의 결과를 의미한다.

평가항목으로는 시스템 및 불균형문제 개선효과를 측정했다. 시스템 평가항목은 BHS 설비능력측면과 서비스품질 측면으로 Table 4.와 같이 구분했다. 설비능력측면은 ‘시스템 처리량’과 ‘수하물 1개 당 처리시

간'으로, 서비스품질 측면은 항공사별 '최대 고객 대기시간'과 '최대 대기인원 수'로 설정하였다. 최대 대기인원 수 항목은 1인 당 자유공간확보의 측정값으로 대체될 수 있기 때문에 고려하였다. 불균형문제에 대한 평가항목은 항공사 간 고객 대기행렬의 차이가 얼마만큼 완화되었는지에 대한 것이다. 이는 병목현상으로 인해 발생하는 설비 내부의 비효율적인 흐름이 고객 대기행렬에 미치는 영향을 의미한다. 제안하는 로직을 통한 개선정도는 Table 5의 균형평가점수 (balancing measure)를 통해 측정하였으며, 균형평가점수는 낮을수록 불균형문제가 더 적게 발생한다는 것을 의미한다.

표 4. 시스템 평가항목  
Table 4. System performance measures

Classification	Item
Hardware performances	Average baggage throughput of BHS
	Average travel time per baggage
Service performances	Max passenger waiting time among airlines
	Max passenger in queue among airlines

표 5. 불균형문제 평가항목  
Table 5. Performance measures for imbalance problem

	Item
Balancing measures	$\max(\text{Pas waiting time in queue}) - \min(\text{Pas waiting time in queue})$
	$\max(\text{Pas in queue}) - \min(\text{Pas in queue})$

### 4.3 시나리오 결과분석

#### 4.3.1 하드웨어 성능

시스템 처리량 (throughput)은 BHS 성능의 가장 중요한 요인 중 하나이다. Fig. 13는 임계값과 제한비율 변경에 따른 시스템 처리량의 차이를 보여준다. 제한비율이 증가할 경우 임계값이 낮을수록 처리량이 낮아지는데, 이는 콜 블로킹 로직을 불필요하게 일찍 적용시켜 시스템의 전반적인 처리량에 악영향을 미치기 때문이다. 그러나 Fig. 13에서처럼 적절한 수준의 임계값, 제한비율의 증가는 시스템 처리량을 유지시킨다. 이는 BHS 시스템의 정상상태 (steady state)와 관계가 깊다. 시뮬레이션은 고객이 전혀 없는 상태에서부터 시작되기 때문에, 처리량이 일정 수준에 도달하기 전까지는 시스템이 원활하게 가동된다. 콜 블로킹 윈도우 레저베이션의 임계값을 시스템이 정상상태에

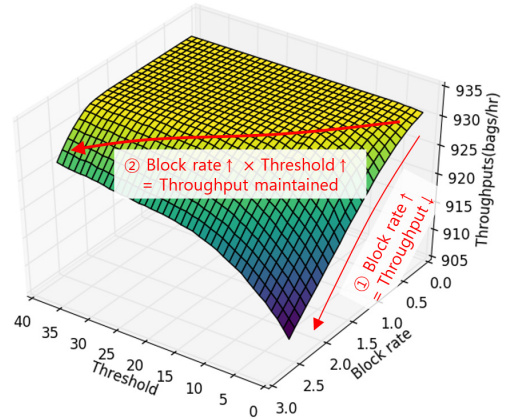


그림 13. 콜 블로킹 로직에 따른 시스템 처리량 변화  
Fig. 13. Throughput changes of suggested call blocking logic

도달하기 이전시점의 임계값으로 설정할 경우 시스템 처리량이 감소할 수 있다.

수하물 평균 처리시간 (average travel time)은 시스템 성능을 결정짓는 또 하나의 요인이다. 수하물 처리시간이 길어질수록 항공기 지연이 발생할 확률이 높아지며, 공항 서비스품질 평가에 악영향을 미칠 수 있다. Fig. 14는 임계값과 제한비율 변경에 따른 수하물 평균 처리시간의 차이를 보여준다. 임계값이 낮을 경우 제한비율이 증가함에 따라 수하물 평균 처리시간이 증가한다.

하지만 임계값과 제한비율이 증가함에 따라 일정수준 증가 후 감소하는 오목 (concave)한 형태를 나타낸다. 이는 낮은 등급의 인입 컨베이어일수록 평균 처리

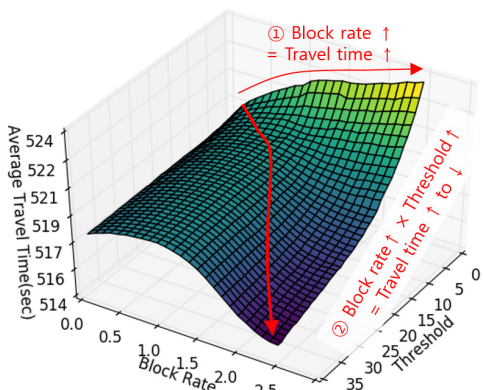


그림 14. 콜 블로킹 로직에 따른 수하물 평균 처리시간 변화  
Fig. 14. Travel time changes of suggested call blocking logic

시간이 길고, 높은 등급일수록 평균 처리시간이 짧은 것과 관계가 있다. 낮은 수치의 제한비율에서 임계값이 증가하더라도 평균 처리시간이 일정수준 증가하는 이유는 콜 블로킹 제한비율이 비효율적으로 사용되었기 때문이다. 다시 말하자면 콜 블로킹 로직이 높은 등급의 인입을 효과적으로 제어하지 못하고 처리시간만을 증가시켰기 때문이다. 결과적으로 콜 블로킹을 통해 낮은 수준의 제한비율 수치만큼 낮은 등급의 인입률을 낮추더라도 수하물 처리시간에는 큰 효과가 없음을 의미한다.

4.3.2 서비스 품질

항공사별 최대 고객 대기시간 (passenger waiting time, PWT) 및 대기인원 수 (passenger in queue, PiQ)는 공항의 서비스 품질을 결정짓는 중요한 요인 중 하나이다. 체크인 프로세스에서의 고객 서비스가 빨라질수록 공항 이용객들은 더 많은 공항시설을 이용할 수 있을 것이며, 항공사의 안정적인 여객 서비스를 보장할 수 있게 된다. Fig.15-16는 임계값과 제한비율 변경에 따른 최대 고객 대기시간 및 대기인원 수의 변화를 보여준다. 최대 고객 대기시간 및 인원은 제한비율이 높아질수록 감소하다 다시 증가하는 볼록한 (convex) 형태를 보인다. 이는 병목현상의 영향으로 최대 대기시간을 가졌던 항공사 (1)의 대기행렬이 콜 블로킹 로직에 의해 인입이 원활해지지만, 이로 인해 병목현상의 영향이 항공사 (2)로 전이되기 때문이다. 이러한 현상은 임계값이 높아짐에 따라 일정부분 완화되는 모습을 보인다.

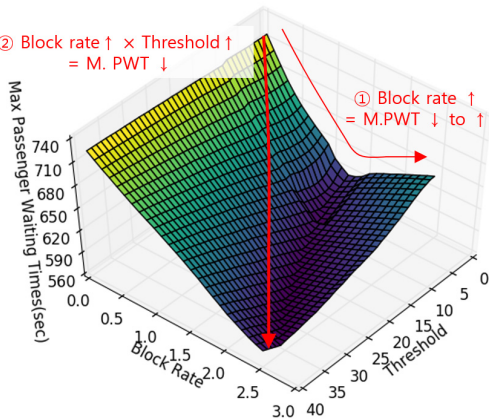


그림 15. 콜 블로킹 로직에 따른 최대 고객 대기시간 (M.PWT) 변화  
Fig. 15. Max PWT changes of suggested call blocking logic

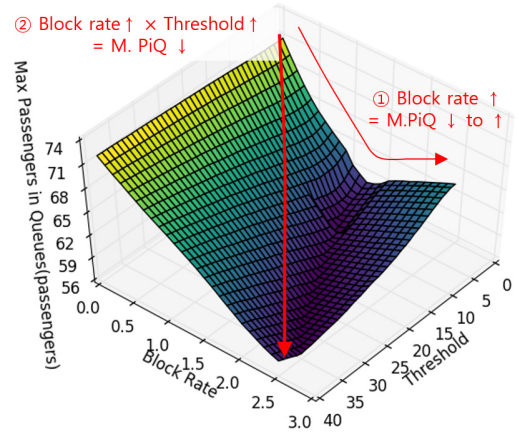


그림 16. 콜 블로킹 로직에 따른 최대 대기인원 수 (M.PiQ)의 변화  
Fig. 16. The number of PiQ changes of suggested call blocking logic

4.3.3 불균형문제

불균형 문제는 BHS 시스템 병목현상의 전이로 인한 항공사 간 고객 서비스의 차이를 의미하며, 이는 항공사 및 고객 불만족을 야기할 수 있다. Fig. 17-18은 콜 블로킹 로직 적용을 통해 감소하는 항공사 간 고객 대기시간의 차이, 대기인원 수의 차이를 보여준다. 제한비율이 높아질수록 항공사 간 불균형문제가 완화되는 모습을 볼 수 있다. 하지만 제한비율이 일정수치를 넘어서는 시점부터는 다시 항공사 간 불균형 문제가 심화되는 모습을 보인다. 이는 합류지점에 가까운 항공사 (1)의 체크인카운터들이 콜 블로킹 로직에 의해 BHS 병목현상의 영향을 덜 받게 되지만, 이

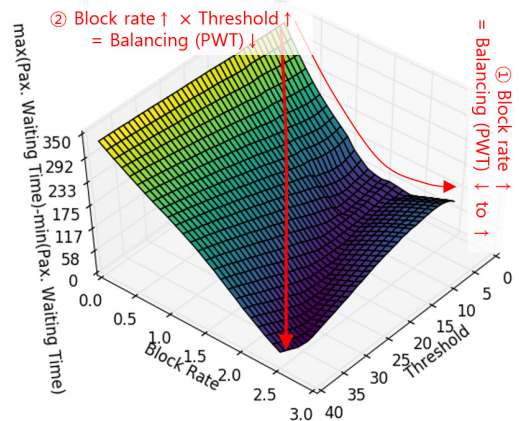


그림 17. 콜 블로킹 로직에 따른 항공사 간 고객 대기시간 차이 변화  
Fig. 17. Difference of PWT among 3 airlines by suggested call blocking logic



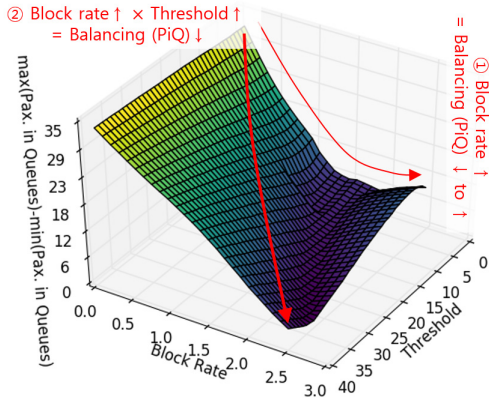


그림 18. 콜 블로킹 로직에 따른 항공사 간 대기인원 차이 변화  
 Fig. 18. Difference of the number of PiQ among 3 airlines by suggested call blocking logic

영향이 항공사 (2)로 전이되기 때문이다. 이러한 현상은 임계값이 높아질수록 감소하게 되는데, 이는 앞서 밝힌 시스템 정상상태와 관련이 있다.

4.3.4 결과 분석

본 연구는 시뮬레이션 분석을 통해 콜 블로킹 로직의 효과를 측정하였다. 실험 목적은 임계값과 제한비율의 변화에 따른 평가항목 비교를 통해 효과적인 콜 블로킹 로직을 제한하는 것이다. 앞서 밝힌 평가항목들은 상호 간 우선순위가 정해져있지 않기 때문에, 본 연구에서는 각각에 대한 제한을 도출하였다. 제안은 하드웨어, 서비스품질 그리고 불균형 문제의 세 가지로 구성된다.

표 6. 하드웨어 콜 블로킹 최적안 효과  
 Table 6. Effects of call blocking logic (hardware system)

Classification	As-Is	To-Be	Improvement	
Troughput	931.3	931.3	0.0%	
Travel time	517.6	517.8	0.0%	
PWT	Air(1)	735.7	615.5	+16.3%
	Air(2)	535.6	555.6	-3.7%
	Air(3)	382.6	484.2	-26.6%
Balancing measure (PWT)	353.1	131.3	+62.8%	
Max waiting time	735.7	615.5	+16.3%	
PiQ	Air(1)	73.2	61.3	+16.3%
	Air(2)	53.0	55.0	-3.8%
	Air(3)	37.9	47.9	-26.4%
Balancing measure (PiQ)	35.3	13.4	+62.0%	
Max pas in queues	73.2	61.3	+16.3%	

하드웨어의 효과적인 운영안은 BHS의 성능 유지에 중점을 둔 방안이다. 이를 만족하는 가장 좋은 콜 블로킹 시나리오는 임계값과 제한비율을 각각 33, 1.6으로 설정하는 것이며 그 결과는 Table 6.과 같다. 이 경우 시스템 능력을 유지하면서 고객 대기열의 최대 대기시간 (M.PWT)과 대기인원 수 (M.PiQ)를 16.3% 감소시켰다. 또한 항공사 간 고객 대기시간과 대기인원 수의 차이인 균형평가점수 (balancing measure)를 약 62% 향상시켰다.

서비스품질 제안은 최대 대기시간 및 대기인원 감소에 중점을 둔 방안이다. 이를 만족하는 가장 좋은 콜 블로킹 시나리오는 임계값과 제한비율을 각각 28, 2.1로 설정하는 것이며, 그 결과는 Table 7.과 같다. 서비스품질을 위한 콜 블로킹 로직의 경우 고객 최대

표 7. 서비스품질 콜 블로킹 적용 효과  
 Table 7. Effects of call blocking logic (level of service)

Classification	As-Is	To-Be	Improvement	
Troughput	931.3	928.4	-0.3%	
Travel time	517.6	516.4	+0.2%	
PWT	Air(1)	735.7	561.95	+23.6%
	Air(2)	535.6	566.63	-5.7%
	Air(3)	382.6	543.33	-42.0%
Balancing measure (PWT)	353.1	23.3	+93.4%	
Max waiting time	735.7	566.63	+23.0%	
PiQ	Air(1)	73.2	56.0	+23.5%
	Air(2)	53.0	56.0	-5.7%
	Air(3)	37.9	53.7	-41.7%
Balancing measure (PiQ)	35.3	2.3	+93.5%	
Max pas in queues	73.2	56.0	+23.5%	

표 8. 불균형문제 콜 블로킹 최적안 효과  
 Table 8. Effects of call blocking logic (imbalance problem)

Classification	As-Is	To-Be	Improvement	
Troughput	931.3	931.3	0.0%	
Travel time	517.6	517.8	0.0%	
PWT	Air(1)	735.7	615.5	+16.3%
	Air(2)	535.6	555.6	-3.7%
	Air(3)	382.6	484.2	-26.6%
Balancing measure (PWT)	353.1	131.3	+62.8%	
Max waiting time	735.7	615.5	+16.3%	
PiQ	Air(1)	73.2	61.3	+16.3%
	Air(2)	53.0	55.0	-3.8%
	Air(3)	37.9	47.9	-26.4%
Balancing measure (PiQ)	35.3	0.941	+97.3%	
Max pas in queues	73.2	56.5	+22.8%	

대기시간과 대기인원 수를 23% 감소시켰으며, 균형평가점수를 약 93% 향상시켰다.

불균형문제를 위한 제안은 BHS 병목현상의 전이를 감소시키고, 고객 대기행렬에서 발생하는 차이를 줄이는데 목적이 있다. 이를 최소화 하는 가장 좋은 콜 블로킹 시나리오는 임계값과 제한비율을 각각 33, 2.5로 설정하는 것이며, 그 결과는 Table 8.과 같다. 이 경우 시스템 처리량에 0.8%, 평균 대기시간에 약 22%의 손해를 입혔다. 하지만 고객 대기열 최대 대기시간과 대기인원 수를 16%, 균형평가점수를 약 97% 향상시켰다.

### V. 결 론

본 연구의 목적은 공항 내 체크인지역 시설의 효율적인 운영을 위해 새로운 데이터·통신 기반 수하물 인입 로직을 제공하고, 이에 대한 효과를 시뮬레이션을 통해 분석하는 것에 있다. 본 연구에서 주목한 문제는 공항 BHS 시설 내에서 발생한 비효율적인 수하물의 흐름이 고객 대기행렬로 파급되어 항공사 간 불균형 문제를 발생시킬 수 있다는 점이다. 이를 해결하기 위해 데이터 네트워크 흐름제어 기법 중 하나인 콜 블로킹 로직의 개념을 적용하였으며, 실험을 통해 제안하는 로직이 시스템 및 고객 대기행렬에 미치는 영향을 분석하였다. 결과적으로 제안하는 새로운 콜 블로킹 윈도우-레저베이션 로직은 공항 서비스품질평가 항목 들인 ‘고객 최대 대기시간’과 ‘1인 당 자유공간의 확보에 긍정적인 영향을 미치고, 항공사 간 고객 대기열의 차이를 획기적으로 줄일 수 있음을 확인하였다. 공항 BHS 시설은 MHS 시설의 일종으로 제안하는 로직은 일반적인 MHS의 인입 프로세스에도 적용시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### References

[1] C. L. Lee and S. A. LA, "Airport service quality and customer satisfaction model," *J. Aviation Management Soc. Korea*, vol. 13, no. 5, pp. 95-118, Oct. 2015.

[2] IATA, *New level of service concept*(2014), Retrieved Jul, 30, 2016, from <https://www.iata.org>

[3] J. H. Lee and M. S. Kim, "A study on the service factors that effect the airline customer satisfaction ground process factors, in-human

factors, in flight entertainment factors," *J. Tourism Sci.*, vol. 35, no. 6, pp. 343-358, Aug. 2011.

[4] Y. S. Chang and H. S. Lee, "Study of RFID enabled air baggage handling process," *IE Interfaces*, vol. 20, no. 3, pp. 298-308, Sept. 2007.

[5] K. S. Lee, M. S. Jie, and W. H. Choi, "Self bag drop simulation development of systems for airport baggage handling system," *J. Advanced Navig. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 107~115, Apr. 2016.

[6] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data network*, 2nd Ed., Prentice Hall, 1992.

[7] Y. Zeinaly, B. Schutter, and H. Hellendoorn, "An integrated model predictive scheme for baggage handling systems : routing, line balancing and empty cart management," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 23, no. 4, pp. 1536-1545, Jul. 2015.

[8] A. Tarau, B. Schutter, and H. Hellendoorn, "Model-based control for route choice in automated baggage handling systems," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 40, no. 3, pp. 341-351, May 2010.

[9] A. Abdelghany, K. Abdelghany, and R. Narasimhan, "Scheduling baggage- handling facilities in congested airports," *J. Air Transport Management*, vol. 12, no. 2, pp. 76-81, Mar. 2006.

[10] G. Kim, J. Kim, and J. Chae, "Balancing the baggage handling performance of a check-in area shared by multiple airlines," *J. Air Transport Management*, vol. 58, pp. 31-49, Jan. 2017.

[11] K. S. Lee, D. H. Cho, and B. C. Chung, "Resource allocation method for improving energy efficiency and receiver fairness in wireless network," *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 826-832, Jun. 2015.

[12] K. M. Cho, J. M. Lee, C. H. Yun, Y. K. Lim, and C. G. Kang, "Optimization of resource allocation for inter-channel load balancing with frequency reuse in ASO-TDMA-based

VHF-Band Multi-Hop data communication system,” *J. KICS*, vol. 40, no. 7, pp. 1457-1467, Aug. 2015.

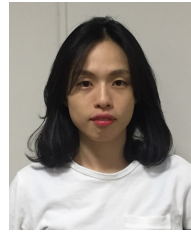
- [13] J. S. Park, “Load-aware cell selection method for efficient use of network resources,” *J. KICS*, vol. 40, no. 12, pp. 2443-2449, Jan. 2016.
- [14] B. Doshi and H. Heffes, “Performance of an in-call buffer-window reservation /allocation scheme for long file transfers,” *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 9, no. 7, pp. 1013-1023, Sept. 1991.
- [15] IATA, *Airport Development Reference Manual*, 9th Ed., IATA 2004.

**김 준 범 (Junbeom Kim)**



2015년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 졸업  
2015년~현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정  
<관심분야> 최적화, 기계학습

**김 국 화 (Gukhwa Kim)**



2015년 2월 : 한국항공대학교 항공교통물류우주법학부 졸업  
2015년~현재 : 한국항공대학교 항공교통물류학과 석사과정  
<관심분야> 스케줄링, 네트워크

**채 준 재 (Junjae Chae)**



1995년 2월 : 아주대학교 산업공학과 학사  
1999년 8월 : Texas A&M University, Industrial Engineering 석사  
2003년 12월 : Texas A&M University, Industrial Engineering 박사

2004년 8월~2007년 2월 : 삼성전자, 생산기술연구소, 책임연구원  
2007년 3월~현재 : 한국항공대학교, 항공교통물류학부, 부교수  
<관심분야> 생산 및 물류 시스템 분석, 설계, 최적화. 시뮬레이션.