

## 시뮬레이션을 이용한 공항 보안검색 시스템 개선으로 이용객 서비스 수준제고 방안 연구

최상균\*, 이철웅\*\*

### A study for improving passenger service level at the airport security checks by using simulation

Sanggyun Choi\*, Chulung Lee\*\*

#### 요약

본 연구에서는 공항 보안검색 프로세스를 분석하여 시뮬레이션 모델링 하며, 실제의 보안검색과 비교하여 시뮬레이션을 검증한다. 검증된 시뮬레이션을 활용해 현재 보안검색에서 소요되는 시간을 확인 하며, 이를 토대로 보안검색에서의 문제점을 해소하기위한 대안을 제시한다. 대안으로는 이용객의 동선을 고려한 사항과 보안검색 시스템에 관한 대안으로 모두 4가지의 케이스를 실험하여 결과를 도출한다. 도출된 결과로 보안검색 소요시간이 크게 20.8% 감소하는 것으로 확인 할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션은 새로운 보안검색 시스템의 도입 등 보안검색에서의 의사결정 지원도구로서 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

▶ Keywords : 항공보안, 공항, 공항보안검색, 이용객서비스

#### Abstract

In this study, airport security check process is analyzed to modeling a simulation. Simulation is compared with real security system to verify. Utilizing verified simulation, spends time in the current security check is calculated and suggests alternatives. Considering the movement of passengers and security check system of all four cases the results yielded by the experiment. The results show that security check time decreased significantly to 20.8%. The simulation was developed in this study: including the introduction of a new security system at security check can

• 제1저자 : 최상균 • 교신저자 : 이철웅

• 투고일 : 2011. 11. 18, 심사일 : 2011. 12. 7, 게재확정일 : 2012. 6. 25.

\* 고려대학교 산업경영공학과 (Dept. of Industrial Management Engineering, Korea University)

\*\* 고려대학교 기술경영전문대학원 (Graduate School of Management of Technology, Korea University)

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2009-0076365)

be used as a decision support tool is expected.

- ▶ Keywords : Airport security check, Airport screening, Passenger service

## I. 서론

현재 국내의 공항은 아시아의 대표적인 허브 공항으로 발전하기 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 향후 2020년에는 연간 1억 명 이상의 승객이 공항을 이용할 수 있을 것이라 예측된다. 공항의 이용객이 증가 할수록 공항 보안검색의 중요성 역시 강조되고 있다. 공항의 보안검색은 이용객을 보호하고 공항시설의 안전을 유지하며 테러의 위협에 대비하기 위해 안전하고 완벽하게 이루어 져야한다. 그렇기 때문에 공항에서의 보안검색 강도는 높아졌고 절차 또한 까다로워 졌으며, 이로 인해 보안검색 소요시간 역시 증가하였다. 또한 국내의 공항은 중앙집중식 보안검색을 실시하고 있다. 이는 승객 수요 증가에 공간적인 한계로 인해 적절히 대응하지 못하는 단점을 지니고 있다. 이러한 보안검색으로 인해 매년 보안검색 소요시간은 증가하고 있으며, 전체적인 출입국 시간 증가에 하나의 원인으로 부각되었다. 현재 국내의 공항에서는 보안검색 소요시간의 단축을 위하여 출국장의 일정부분을 개방, 이용객이 보안 검색장 내부를 확인함으로써 사전에 혼잡도가 덜한 보안 검색장으로의 이동을 유도하고 있다. 하지만 그 효과는 미미하다고 할 수 있으며 국내 공항에 위치한 4곳의 보안 검색장은 시간대별로 승객의 분포가 크게는 49%의 차이를 보이고 있다.(그림 1) 이는 특정 보안 검색장으로 승객이 몰리는 것으로 보안 검색장 운영의 비효율성 및 보안검색 소요시간을 증가시키는 요인으로 인식되고 있다. 하지만 현재 보안검색에 관한 연구는 충분하지 않기에 보안검색의 효율성 제고 및 승객의 서비스 향상을 목적으로 본 연구에서는 공항 보안검색 프로세스에 대한 정의 및 이를 통해 시뮬레이션을 개발하여 실제의 공항 보안검색에서의 소요시간을 산정하였다. 개발되어진 시뮬레이션을 활용하는 방안으로 승객의 이동 및 보안검색 프로세스 개선에 대한 대안을 제시하여 이를 실험함으로써 보안검색 소요시간 감소의 정도를 측정하였다. 이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구에 대한 사항을 다루며, 3장에서는 공항 보안검색의 정책 및 과정에 대해 조사, 분석을 통해 각 모듈별 시뮬레이션 모델을 제시한다. 또한 이를 실제의 보안검색 소요시간과 비교하여 시뮬레이션의

타당성을 검증하였다. 4장에서는 현재의 보안검색 소요시간을 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 보안검색 소요시간을 감소 할 수 있는 대안을 승객의 이동과 보안검색 프로세스에 대해 각각 제시하였다. 이를 시뮬레이션을 활용해 결과를 도출하였다. 5장에서는 시뮬레이션의 결과에 대해 고찰하며 결론을 맺는다.

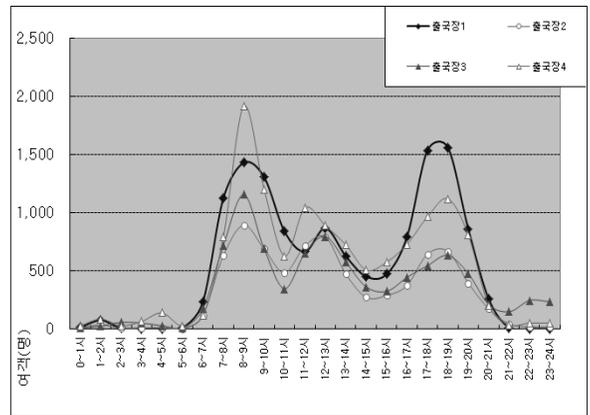


그림 1. 시간대별 출국장 이용객 분포  
Fig. 1. Timely Passenger Distribution In Arrival Terminal

## II. 관련연구

본 논문에서는 공항보안검색의 운영 및 보안 검색에서의 효율성을 증가 시킬 수 있는 방안에 대한 문헌 조사를 실시하였다. 먼저 Frederickson and Laporte (2002)는 2001년 미국의 9.11 사건 후 공항에서의 보안검색의 중요성이 대두되는 것과 함께 보안검색에서의 문제점을 도출하였으며, 그 중 보안검색 인력의 훈련과 시스템을 강화하는 것이 공항을 대상으로 하는 테러의 위협을 줄일 수 있다는 대안을 제시하였다. [1] Babu and Ratta (2006)는 보안검색의 중요성과 더불어 강화된 절차 등에 의해 모든 승객 및 수화물에 대한 검색이 오히려 보안검색 수준을 저하 시킬수 있다는 것 과 이에 대안으로 각 위협에 대해 승객을 그룹화 하여 보안검색을

달리하는 모델을 제시하였으며 이러한 방법이 승객 및 공항의 안전과 서비스에 대해 좋은 결과를 가져 올 수 있다는 결론을 도출하였다.[2] Manataki and Zografos (2010)는 System Dynamics Model을 사용하여 시뮬레이션 모델을 제시하였으며, 공항 터미널의 효율을 측정하였다. Athena 공항을 예로서 공항터미널에서의 각각의 시설(체크인 카운터, 보안검색)의 상관관계를 분석하였으며, 이를 통해 공항 운영에서의 의사결정 지원도구로서 사용이 가능 할 것으로 예측하였다.[3] Olapiriyakul and Das (2007)는 공항의 보안검색은 두 가지의 절차를 가진 시스템으로 정의 하였다. 각각의 시스템은 먼저 승객이 X-ray 검색대를 통과하는 것으로 정의 하였으며, 만약 이 과정에서 다른 특이사항이 발생 했을 경우 수 검색을 실시하는 과정을 다음의 검색 시스템으로 정의 하였다.[4] 보안검색에서 첫 번째 X-ray 검색 단계를 적절히 조정함으로써 보안검색 전체의 효율을 높일 수 있다고 설명하였으며, 대기행렬을 사용하여 SAOC(Speed and Accuracy Operating Characteristic) Curve를 제시하였다. 제안된 SAOC Curve를 통해 승객의 도착률에 따른 최적의 첫 번째 보안검색의 검색인원과 검색시간을 결정 할 수 있으며 이를 통해 보안검색 소요시간 및 비용을 감소시킬 수 있다고 설명 하였다. 이와 유사하게 Leone and Liu (2010)는 보안검색에서 Paced System을 제안하였다. 첫 번째 보안검색에서의 검색시간을 제한하여 정해진 시간 내에 검색을 마치고 이를 두 번째의 보안검색과 관련하여 전체 보안검색의 소요시간을 측정하는 방법을 제안하였다. 이에 대해 각각의 시나리오를 작성하여 실험 하였으며, Paced System의 경우 최대 40% 까지 보안검색 소요시간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다.[5] 하지만 이는 검색하는 시간에 대해 상한선을 정해 놓으므로 검색요원은 시간 내에 검색을 마쳐야 하며 이로 인해 충분한 보안검색이 이루어지지 않을 수 있는 단점을 가지고 있다. 이와는 다르게 본 연구에서는 보안검색 수준을 유지 할 수 있는 것을 전제로 보안검색 프로세스 개선에 대한 방안을 제시하였으며, 이는 4장에서 다루었다.

### III. 시뮬레이션 모델

#### 1. 공항 보안검색 프로세스 및 정책

공항 보안검색은 항공 안전 및 보안에 관한 법률에 따르며 항공기를 이용하는 승객들의 안전을 위해 불법행위 행위에 사용할 수 있는 무기 또는 폭발물 등 위험성 있는 물건을 탐지

수색하기 위한 행위로 정의 하고 있다. 따라서 공항에서 이루어지는 보안검색은 출국하는 승객들의 신체 및 수하물 검색을 통하여 항공기 안전운항에 지장을 줄 수 있는 위해 물품을 적발하는 행위로 설명할 수 있다. 이러한 공항에서의 보안검색은 승객이 공항에 도착하면서부터 이루어지지만 이는 사전에 공항에 위험을 줄 수 있는 인원에 대한 감시 및 확인을 의미하며 일반 승객은 보안검색장 내에서 이루어지는 검색을 의미한다. 최초 승객은 항공기 출발시간 기준으로 약 2시간 ~ 3 시간 전에 공항에 도착하며, 각 항공기 체크인 카운터에서 탑승수속을 마친 후 보안 검색장으로 이동하여 보안검색 및 출국심사를 수행 한 후 보안검색 완료 지역(Sterile Area)으로 이동하게 된다. 공항에서 승객의 이동에 관한 프로세스는 다음과 같으며 이를 <그림 2>로 나타내었다.

- (1) 승객이 공항에 도착하여 각 항공사별 체크인 업무 수행
- (2) 공항의 보안 검색장 중 한곳으로 이동하여 보안검색 절차 수행
- (3) a. 휴대 수하물에 관하여 컨베이어 x-ray 검색  
b. 승객은 문형 x-ray 검색대 통과
- (4) a. 의심되는 휴대 수하물에 대해 ETD(폭발물 탐지) 검사를 시행  
b. 의심되는 승객에 관하여 축소검사 또는 전신스캐너 등 시행
- (5) 모든 보안검색을 마친 승객은 휴대수하물을 수령
- (6) 승객은 출국심사로 이동

본 연구에서는 위의 프로세스를 바탕으로 시뮬레이션을 모델링 하며, 연구의 목적인 보안검색 효율성을 평가하기 위해 보안검색 소요시간을 기준으로 하였다. 보안검색 소요시간은 승객이 보안 검색장에 입장부터 대기시간을 포함하여 보안검색을 마친 후 휴대수하물을 수령하는데 까지 걸리는 시간을 보안검색 소요시간이라 정의 하였다. 시뮬레이션 모델링에 관한 사항은 다음 장에서 설명한다.

#### 2. 시뮬레이션 모델

본 연구에서는 공항 보안 검색 시스템의 효율성을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 개발된 시뮬레이션 모델은 <그림 3>과 같이 불확실한 사건 생성을 위한 Probabilities and Distribution 모듈, 보안 검색대(검색요원) 일정 계획 생성을 위한 Security Manpower Schedule 모듈, 그리고 생성된 일정에 맞게 조정되는 Controller 모듈, 생성된 일정 계획을 평가하기 위한

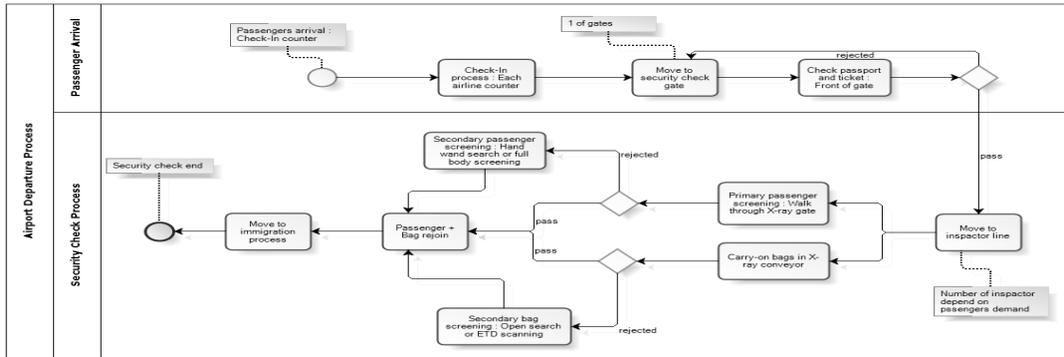


그림 2. 공항에서 승객 이동 프로세스  
Fig 2. Passenger Process in Airport

Simulation 모듈로 구성된다. 시뮬레이션 모듈에서는 보안 검색 프로세스를 각 단계별로 구성하여 나타낸다. 구성된 시뮬레이션 프로세스는 다음과 같은 4단계로 실행된다.

- (1) Probabilities and Distribution 모듈에 대한 입력 값으로 실제 공항의 승객의 도착률을 기반 시간대별 보안 검색장별 승객의 수요가 입력된다.
- (2) Security Manpower Schedule 모듈에서는 시간대별 필요로 하는 보안검색 인력이 도출되며 이를 활용하여 Controller 모듈에서는 각 보안 검색장별 보안 검색대의 수 및 검색 시간을 결정하게 된다.
- (3) Simulation 모듈에서는 (1)과 (2)에서 입력된 데이터를 바탕으로 각 보안 검색장별 시간대별 이벤트가 발생된다.
- (4) 발생된 이벤트를 바탕으로 시뮬레이션 하여 각 승객별 보안검색 소요시간이 도출되며 24시간의 결과 값으로 보안검색 소요시간의 최소, 최대, 평균값이 출력된다.

먼저, 시간대별 승객 도착률의 경우 국내 공항에서 공지하고 있는 승객 예고제의 데이터를 활용하였다. 승객 예고제는 각 항공사별 예약된 승객을 바탕으로 시간대별 공항을 이용하는 승객의 수요를 예측하여 온라인상에 공지하며, 이를 시뮬레이션에서 활용하기위해 각 시간대별 승객의 수요에 대해 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다고 가정하였다. 보안 검색 시간의 경우 지수분포(Exponential Distribution)를 따른다고 할 수 있지만 실제의 보안검색에서는 ETD (폭발물 탐지)검사, 전신 스캐너 검사 등은 특정 장소로 이동하여 수행함으로 이는 뒤의 승객에게 영향을 미치지 않기에 최소 15초, 최대 35초, 평균 22초를 만족하는 삼각분포(Triangular Distribution)을 따른다고 가정하였다. 다음으로 시간대별 운영되는 보안검색대의 수를 결정하는 것은 Seo (2012)의 연구를 참고하여 다음과 같은 식을 통해 도출된다고 가정하였다.[6]

<기호>

- $L_q$  : 보안 검색장 내 존재하는 대기 승객 수에 대한 기댓값
- $\lambda$  : 이용객의 도착률
- $\mu$  : 시스템에 n명의 승객이 존재할 때, 보안검색시간 (서비스 시간)
- $s$  : 서버의 수(검색대의 수)
- $\rho$  : 승객 도착률과 검색시간의 비
- $P_0$  : 보안 검색장 대기행렬에 승객이 존재할 확률
- $W$  : 대기 시간을 포함한 보안검색 소요시간
- $W_q$  : 보안검색 대기시간

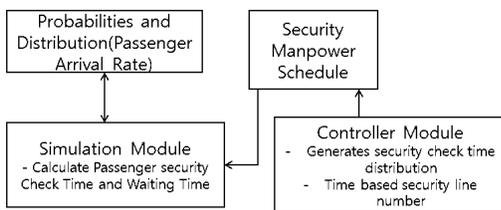


그림 3. 시뮬레이션 모듈 구조  
Fig 3. Simulation Module Structure

본 연구에서 개발된 시뮬레이션에서는 시간대별 승객 도착률, 보안검색 시간, 시간대별 보안검색대의 수와 같은 입력 데이터를 필요로 하며 각 입력 데이터는 다음과 같은 절차를 통해 얻어진 자료를 활용하여 시뮬레이션에서 활용 하였다.

T-Test(동질성검증)	대응차				t	자유도	유의확률(양측)	
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95% 신뢰구간				
				하한				상한
실제측정 - 시뮬레이션측정	-0.62222	4.83495	0.72075	-2.07480	0.8303	-0.863	44	0.393

표 1. 동질성 테스트 결과  
Table 1. Homogeneity Test Results

<결정변수>

$REQ_{dt}$  : 시간대별 필요 보안검색대 수

$$Minimize REQ_{dt} \tag{1}$$

$$Prob(W > 0.25) \leq 0.05 \tag{2}$$

$$REQ_{dt} \geq 0 \tag{3}$$

식 [1]~[3]은 시간대별 필요한 보안검색대를 결정하는 모형을 나타내며 목적식은 시간대별 요구되는 보안검색대의 수를 최소화 하는 것으로 식 [1]과 같다. 효율적인 보안검색대의 운영을 위해서는 보안검색대의 수를 최소화 하는 것도 중요하지만, 승객이 보안검색을 받기위해 대기하는 시간을 만족시켜야 하기에 식 [2]를 통해 95%승객이 대기시간 포함 보안검색을 15분 이내에 마쳐야 한다는 제약식이 추가되었다. 식 [3]의 경우 변수의 부호 제약식을 나타낸다. 위와 같은 입력데이터를 바탕으로 Simulation 모듈에서는 다음과 같은 식을 통해 결과 값인 보안검색 소요시간을 도출한다.

$$L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2} \tag{4}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \tag{5}$$

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \tag{6}$$

식 [4]에서는 보안검색 장 내에서 대기하는 승객에 대한 기댓값을 계산할 수 있으며 이를 통해 식 [5]에서는 보안 검색장에 입장을 한 후 검색을 하기 전까지의 대기시간에 대한 것을 나타내며 최종적으로 식 [6]을 통해 보안검색 소요시간이 도출된다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션은 앞에서 설명

한 데이터를 입력하여 실험하였으며 시뮬레이션에서의 보안 검색 소요시간과 실제의 보안검색 소요시간을 비교함으로써 시뮬레이션에 대한 타당성을 검증하였으며 이는 다음 장에서 다루었다.

### 3. 시뮬레이션 검증

앞에서 개발된 시뮬레이션을 통해 현재의 보안검색 소요시간을 측정하기에 앞서 실제의 공항보안검색과 비교하여 시뮬레이션의 타당성을 다음과 같이 검증하였다. 국내의 공항을 직접 방문하여 보안검색에서 소요되는 시간을 측정하여 결과 값을 도출하였으며 이를 같은 조건하에서 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과와 비교하였다. 실제의 보안검색 소요시간의 측정은 승객이 보안 검색장에 도달 하였을 때부터 모든 검색을 마치고 승객의 휴대 수하물을 수령하였을 때까지의 시간을 측정하였으며, 수집된 데이터 중 45개의 데이터를 무작위로 추출하여 이를 시뮬레이션의 결과와 비교하였다. 각각의 데이터는 표본수가 30 이상이므로 표본이 정규성을 띄고 있으며, 정규 분포를 따른다고 가정 할 수 있다. 이를 모수적 검정을 사용하여 분석하였으며, 그 결과 t 값은 -0.863으로 이는 채택영역사이에 존재하는 값으로 실제의 보안검색의 소요시간과 시뮬레이션 상에서 얻어지는 값의 차이가 없음을 확인 할 수 있었다.<표 1>

## IV. 시뮬레이션 실험

본 연구에서는 공항 보안검색의 효율성 측정을 위해 시뮬레이션 모형을 개발하였으며, 개발된 시뮬레이션 모형은 다음과 같은 공항 보안검색 운영에 대한 평가에 활용 할 수 있을 것으로 생각한다. 첫째, 공항 보안 검색장 설계(개발)에서 검색대의 수 또는 각 resource의 수준을 설정하는데 시뮬레이션을 활용할 수 있으며, 둘째, 새로 개발된 시설에 대해 효율성을 측정하는데 사용 될 수 있다. 셋째, 보안 검색 기술의 발

Unit (minute)		Check time			Wait time			Total time		
Case	gate	average	min	max	average	min	max	average	min	max
Current	A	0.4175	0.2531	0.6870	8.2668	0	38.9311	8.6843	0.2531	39.6181
	B	0.4192	0.2615	0.6814	4.7425	0	20.0253	5.1617	0.2615	20.7067
	C	0.4177	0.2553	0.6613	3.5696	0	17.7854	3.9873	0.2553	18.4467
	D	0.4170	0.2554	0.6739	7.2528	0	32.3345	7.6698	0.2554	33.0084
	average	0.4178	0.2563	0.6759	5.9579	0	27.2691	6.3757	0.2563	27.9450

표 2. 현재 보안검색 소요시간  
Table 2. Current Security Check Time

전에 따라 도입되는 새로운 기술(전신 스캐너 등), 다양한 보안검색 프로세스에 대한 타당성을 검증하는 도구로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션을 활용하여 국내 공항의 보안검색 시스템을 평가하기 위해 보안검색 소요시간을 측정하였으며 효율성을 평가하는 척도로 보안검색 소요시간을 활용하였다. 현재의 보안검색 소요시간을 통해 문제점을 도출하며, 개선 방안을 제시하여 이를 시뮬레이션을 통해 실험한다.

1. 현재의 보안검색 소요시간

본 연구에서 개발된 시뮬레이션을 활용하여 국내의 공항을 대상으로 현재 보안검색 소요시간을 측정 하였다. 국내 공항의 보안검색 프로세스의 경우 현재 승객이 공항에 도착하여 각 항공사별 체크인 카운터에서 발권 업무를 마친 후 모두 4곳의 보안 검색장 중 가장 가까운 검색장으로 이동한다. 보안 검색장에 입장한 승객은 대기 한 후 먼저 X-ray검색을 수행한다. X-ray검색 단계에서 이상 징후가 발견된 승객에 관해서는 추가로 수 검색 단계 또는 전신 스캐너 등의 검색을 받는다. 위의 보안검색 시스템을 바탕으로 시뮬레이션을 통해 측정된 현재의 보안검색 시스템의 보안 검색장별 평균 소요시간은 <표 2>와 같다. 시뮬레이션을 통해 산출한 현재의 보안검색 시스템에서의 평균 소요시간은 약 6.37분이며, 출국장별로 크게 약 5분의 차이가 있는 것으로 확인되었다. 이는 시간대별 출국장을 이용하는 승객의 편차와 단체 여행객 등 짧은 시간 안에 다수의 승객이 동일한 보안 검색장을 통과하기 때문인 것으로 생각 할 수 있다. 또한 <그림 1>에서 확인할 수 있듯이 공항에서는 peak time이 존재한다. 공항에서의 peak time은 오전 7시 ~ 10시 오후 5시 ~ 7시라 할 수 있으며 한 곳의 보안 검색장에 많게는 약 2,000명의 승객이 몰리는 경우가 있다. 국내 공항은 4곳의 보안 검색장이 존재하며 양쪽 끝의 보안 검색장에 국적 항공사의 체크인 카운터가 있기에 peak time에는 양쪽 끝의 보안 검색장에 승객이 몰리게 된다. 이로 인해 위와 같은 보안검색 소요시간의 차이가

나타나는 것으로 생각 할 수 있다. 이러한 게이트별 이용객의 편차는 보안검색 소요시간을 증가시키는 요인이 되며, 보안 검색대 운영에서 효율성을 떨어뜨리는 원인으로 생각 할 수 있다. 본 연구에서는 개발된 시뮬레이션을 활용해 이러한 보안 검색장별 이용객의 편차를 해소하여 보안검색 소요시간을 감소시킬 수 있는 대안을 제시 하였으며 이는 다음 장에서 자세히 설명한다.

2. 보안검색 개선사항 제안

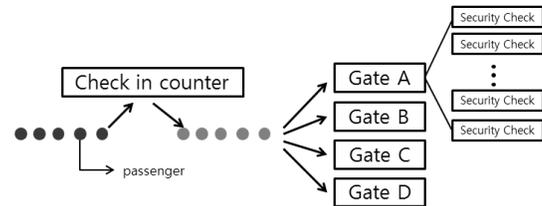


그림 4. 승객 이동에 대한 개선 방안  
Fig 4. Improvement for Passengers Movement

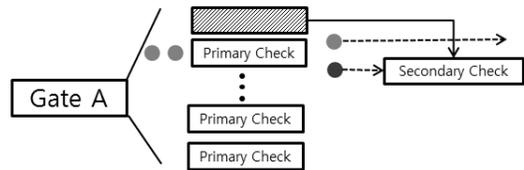


그림 5. 보안검색 프로세스에 대한 개선 방안  
Fig 5. Improvement for Security Check Process

시뮬레이션을 통해 실험한 현재의 보안검색 평균 소요시간은 약 6.37분이며 보안 검색장별로 크게 5분의 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 현재의 보안검색 시스템에 대한 대안을 설정하여 이를 시뮬레이션을 통해 실험함으로써 보안 검색 소요시간의 감소 정도를 확인한다. 이에 앞서 보안검색 시스템에 대해 크게 두 가지 단계로 나누어

각각에 대한 대안을 제시 한다. 첫 번째 단계는 승객이 체크인 카운터에서 보안 검색장(Gate)까지 이동하는 경로에 관한 것으로 현재 승객은 체크인 카운터에서 가장 가까운 보안 검색장(Gate)으로 이동하게 된다. 이 경우 peak time에서는 특정 보안 검색장으로 몰리게 되며 보안검색 소요시간이 크게 증가하는 문제점을 가지고 있다. 이는 국내의 공항의 경우 양 쪽 끝에 국적 항공사를 배치함으로 외국 항공사에 비해 상대적으로 많은 승객이 peak time에 해당 항공사 체크인 카운터를 이용하기에 인접한 보안검색장의 혼잡도를 증가시키는 요인이 된다. 이를 해소하기 위해 각 보안 검색장별 모니터링 시스템이 존재한다는 가정 하에 승객은 체크인 업무를 마친 후 대기인원이 가장 적은 보안 검색장으로 이동하게 되며 특정 보안 검색장에 몰리는 승객의 분포를 해소 할 수 있는 대안으로 설정하였다. 이에 관한 사항은 다음 장에 자세히 다루었다. 두 번째 단계는 승객의 보안검색 프로세스에 관한 것으로 현재는 승객이 X-ray검색대를 통과한 후 이상이 있을 경우 해당 검색대에서 추가로 수 검색을 진행한다. 이는 뒤에 있는 승객에게 영향을 미쳐 대기시간을 증가시키게 된다. 이를 개선하기 위한 방안으로 검색대의 검색절차를 달리하여 Primary 검색과 Secondary 검색으로 구분하였다. Primary 검색의 경우 단순히 X-ray검색대를 통과하는 것으로 이상이 없는 승객에 대해서는 보안검색을 모두 마친 것으로 간주한다. 만약 Primary 검색에서 이상이 발견된 승객의 경우 추가 검색에 대해서는 Secondary 검색으로 이동하여 수행하는 것으로 프로세스에 대한 대안을 제시 하였다. 앞에서 보안검색에 대해 크게 두 가지 단계로 나누었으며, 각 단계에 대해 대안을 제시하였다. 이를 배치시켜 모두 4가지의 Case를 생성하였으며, 각각의 Case에 대해 시뮬레이션을 통해 보안검색 소요시간을 산정하여 이를 비교함으로 각 대안에 대한 평가를 한다. 각 Case에 대한 사항은 다음 장에서 설명하였다.

### 3. 시뮬레이션 케이스

보안검색 시스템 효율성을 평가하기위해 현재 보안검색을

표 3. Case에 대한 요약  
Table 3. Summary of Case

Case 1.	기존의 보안검색 시스템 적용
Case 2.	승객은 대기인원이 가장 적은 보안 검색장으로 이동하며 기존의 보안검색을 수행
Case 3.	승객은 가까운 보안 검색장으로 이동하며 두 단계로 구분된 보안 검색을 수행
Case 4.	승객은 대기인원이 가장 적은 보안 검색장으로 이동하며 두 단계로 구분된 보안 검색을 수행

측정 하였으며, 이를 개선하기위해 보안검색 시스템을 크게 두 가지로 나누어 각각 새로운 대안을 제시하여 모두 4가지의 Case를 생성하였으며 각각에 대한 자세한 사항은 다음과 같다. Case 1의 경우 대조군으로 현재의 보안검색 시스템에 대한 시뮬레이션이다. Case 2의 경우 각 보안 검색장별 승객의 분산을 통해 전체적인 보안검색 소요시간을 감소시키는 대안으로 기존과 달리 승객은 체크인 업무를 마친 후 모니터링 시스템을 통해 대기인원이 가장 적은 보안 검색장으로 이동하게 된다. 단 공항의 특성을 고려하여 가장 가까운 보안 검색장이 아닌 다른 검색장으로 이동할 때에는 추가로 시간이 할당되어 이를 보안검색 소요시간에 추가된다고 가정하였다. 추가로 소요되는 시간은 각 보안 검색장 사이의 거리를 고려하여 산정하였다. 인접한 보안 검색장 사이의 거리는 약 160m이며 이는 성인 기준 걷는 속도인 4km/h를 적용하였을 때 약 2.39분이 소요된다. 이와 함께 승객이 두 검색장 사이를 이동할 때는 5.78분, 세 검색장 사이를 이동하는 것은 8.17분이 각각 추가적으로 소요된다고 가정하였다.〈그림 4〉 Case 3의 경우 검색대의 성격을 달리하여 각각 Primary, Secondary 검색으로 구분하였다. Primary 검색의 경우 단순한 X-ray 검색으로 승객이 검색대를 통과 하였을 때 특별한 사항이 없을 경우 보안 검색을 마친 것으로 간주하여 승객은 출국심사로 이동하게 된다. 하지만 X-ray검색에서 이상이 있을 경우 승객은 추가 검색을 받게 되는데 이를 Secondary검색이라 하며 특정 검색대로 이동하여 추가 검색을 받게 된다. 이 경우 추가 검색으로 인해 소요되는 시간이 뒤의 승객에게 영향을 미치지 않기에 전체적인 소요시간의 감소를 기대 할 수 있다. 이에 따라 보안검색대는 시간대별로 최소 2곳 이상이 운영된다고 가정하였다. 즉 기존의 1~4곳의 검색대가 운영되는 시간에서는 1곳의 Secondary 검색대를 포함하여 Primary검색대는 1~3곳이 운영되며 기존의 5~8곳의 검색대가 운영되는 시간에서는 2곳의 Secondary 검색대와 3~6곳의 검색대가 운영된다고 가정하였다. 또한 검색에 소요되는 시간의 경우 Primary검색대는 최소 15초, 최대 22초, 평균 17초의 삼각분포를 따른다고 하였으며 Secondary 검색대의 경우 최소 30초, 최대 35초, 평균 32초를 만족하는 삼각분포를 따른다고 가정하였다. Case 4의 경우 Case 2와 Case 3의 대안을 통해 승객은 체크인을 마친 후 대기인원이 가장 적은 보안 검색장으로 이동하여 Primary, Secondary검색으로 나누어진 보안검색을 받는다고 가정하였다. 각 Case에 대한 요약은 〈표 3〉과 같으며 시뮬레이션 결과에 대한 사항은 다음 장에서 다룬다.

표 4. 시뮬레이션 결과  
Table 4. Simulation Results

Unit (minute)		Check time			Wait time			Total time		
Case	gate	average	min	max	average	min	max	average	min	max
Case 1 current	A	0.4175	0.2531	0.6870	8.2668	0	38.9311	8.6843	0.2531	39.6181
	B	0.4192	0.2615	0.6814	4.7425	0	20.0253	5.1617	0.2615	20.7067
	C	0.4177	0.2553	0.6613	3.5696	0	17.7854	3.9873	0.2553	18.4467
	D	0.4170	0.2554	0.6739	7.2528	0	32.3345	7.6698	0.2554	33.0084
	average	0.4178	0.2563	0.6759	5.9579	0	27.2691	6.3757	0.2563	27.9450
Case 2	A	0.4125	0.2515	0.6864	5.7596	0	21.4578	6.1721	0.2515	22.1442
	B	0.4201	0.2615	0.6848	5.7257	0	21.2268	6.1458	0.2615	21.9116
	C	0.4159	0.2553	0.6652	5.7369	0	21.0331	6.1528	0.2553	21.6983
	D	0.4178	0.2525	0.6737	5.7500	0	21.8356	6.1678	0.2525	22.5093
	average	0.4166	0.2552	0.6775	5.7431	0	21.3883	6.1596	0.2552	22.0659
Case 3	A	0.3180	0.2531	0.6660	6.8758	0	35.5052	7.1938	0.2531	36.1712
	B	0.3157	0.2615	0.6972	4.3252	0	18.2631	4.6409	0.2615	18.9603
	C	0.3124	0.2553	0.6824	3.2555	0	16.2203	3.5679	0.2553	16.9027
	D	0.3203	0.2554	0.6489	6.6146	0	29.4891	6.9349	0.2554	30.1380
	average	0.3166	0.2563	0.6736	5.2678	0	24.8694	5.5844	0.2563	25.5430
Case 4	A	0.3125	0.2566	0.6698	4.9827	0	20.4458	5.2952	0.2566	21.1156
	B	0.3168	0.2497	0.6748	4.8826	0	20.6425	5.1994	0.2497	21.3173
	C	0.3096	0.2526	0.6621	4.9810	0	20.1159	5.2906	0.2526	20.7780
	D	0.3165	0.2564	0.6589	4.9927	0	20.9638	5.3092	0.2564	21.6227
	average	0.3139	0.2538	0.6664	4.9598	0	20.5420	5.2736	0.2538	21.2084

#### 4. 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 모두 4가지의 Case에 대해 개발된 시뮬레이션을 통해 보안검색 소요시간을 측정하여 각 Case에 대한 평가를 하였다. Case 1의 경우 현재의 보안검색 소요시간으로 4.1장에서 다루었으며 평균 소요시간의 경우 6.37분이 걸리는 것을 확인할 수 있었다. 보안검색 시스템 개선에 대한 Case 2~4의 경우 소요시간의 감소정도는 Case 4>Case 3>Case 2의 순서로 큰 것으로 나타났다. Case 2의 경우 승객의 이동과 관련하여 체크인을 마친 승객은 대기인원이 가장 적은 보안검색장으로 이동한다는 가정 하에 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 보안검색 소요시간에서 평균 3.5%가 감소하였다. 다른 Case에 비해 소요시간의 감소가 크지 않은 것은 승객이 가장 가까운 보안 검색장이 아닌 곳으로 이동할 경우 추가되는 시간이 반영된 결과로 생각된다. 반면에 최대 대기시간의 경우 평균 약 6분의 감소가 있는 것을 확인할 수 있으며 모든 보안 검색장에서 최대 대기시간이 21분 내에 분포하였다. 이는 peak time에서 최대대기시간이 감소한 결과로 생각할 수 있다. Case 3의 경우 보안검색 프로세스를 기존과 비교하여 Primary, Secondary 검색으로 나누어 보안검색을 실시함으로써 추가검색을 하는 승객의 경우 이동하여 특정 검색대에서 검색하는 방안에 대한 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 보안검색

소요시간의 경우 평균 14.2% 감소하였다. 보안검색 시간은 평균 0.31분으로 현재의 보안검색 시간과 비교해서 감소의 정도는 크지 않다고 할 수 있지만 전체적인 보안 검색 소요시간에서는 평균 0.79분이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 추가 검색을 하는 동안 뒤따르는 승객의 대기시간에 영향을 미치지 않으므로 전체적인 소요시간이 감소한 결과로 생각할 수 있으며 추가 검색으로 인해 발생하는 병목현상이 전체적인 보안검색 소요시간 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 분석할 수 있다. 하지만 검색대의 운영에 있어 각 보안 검색장별로 항상 최소 2곳 이상의 검색대가 운영이 되어 함으로 승객이 적은 시간의 경우 기존에 1곳만 운영되는 것에 비해 검색인력이 추가로 배치되어야 한다는 단점이 있을 수 있다. Case 4의 경우 Case 3의 보안검색 프로세스와 함께 승객이 대기인원이 적은 보안검색장으로 이동한다는 가정 하에 시뮬레이션 한 결과이다. 이 경우 보안검색 소요시간이 평균 20.8% 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 전체적인 소요시간의 감소로 승객의 서비스 수준의 향상 및 보안검색 운영에 있어 효율적인 방안으로 생각된다. 특히 최대 대기시간의 경우 평균 6.72분이 감소한 것을 확인할 수 있었는데 이는 승객이 큰 폭으로 증가하는 peak time에서 대기시간이 감소한 것으로 승객 수의 증가에 대비해서 이를 해소 할 수 있는 방안이라 생각된다.

## V. 결론

현재 국내의 공항은 세계적인 허브공항으로 발전하기 위해 많은 노력을 하고 있으며 이에 따라 승객의 수요도 매년 증가하고 있다. 증가하는 승객의 수요와 관련 공항 보안검색장의 공간적인 한계와 보안검색의 강화로 검색에 소요되는 시간이 증가하고 있으며, 향후 승객의 서비스 수준을 저하 시킬 수 있는 원인으로 인식되고 있다.

이에 본 연구에서는 공항 보안검색에 대해 정의하였으며, 각 보안검색 프로세스에 관해 분석하였다. 이를 통해 시뮬레이션을 모델링 하였으며, 실제의 보안검색과 비교하여 시뮬레이션의 타당성을 검증하였다. 검증된 시뮬레이션을 통해 현재 국내 공항의 보안검색 소요 시간을 측정하였으며, 개선 방안을 제시하여 이를 시뮬레이션을 통해 평가하였다. 모두 4가지 Case로 시뮬레이션 하였으며, 현재의 보안검색에 대한 Case 1과 비교하여 Case 2~4의 시뮬레이션 결과에서 보안검색 소요시간의 감소를 확인 할 수 있었다. 특히 Case 4의 경우 평균 보안검색 소요시간이 20.8% 감소하였으며 승객 수요의 증가에 대비 할 수 있는 대안으로 평가 할 수 있다. 단 Case 2와 Case 4에서 승객이 대기인원이 적은 보안 검색장으로 이동하는 것과 관련하여 실제의 경우에는 경로 선택에 있어 승객이 결정하는 부분이므로 실험의 결과 값과는 차이가 있을 것으로 생각되며, 이는 추가로 연구가 필요한 부분이라 생각된다. 향후의 연구과제로 위와 같이 승객의 동선을 분석하여 승객에게 각 검색장의 혼잡도를 알려 주었을 때 검색장 선택의 경향이 어떻게 변하는지에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서 개발된 시뮬레이션을 통해 향후 새로운 보안검색 프로세스에 대한 평가 및 보안 검색대 운영의 예측 등 공항 보안검색에 있어 이를 평가하는 도구로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## Reference

[1] H. G. Frederickson, and T. R. LaPorte, "Airport Security, High Reliability, and the Problem of Rationality", *Public Administration Review*, vol. 62, pp. 33-43, Dec 2002

[2] L. Vellara, and B. Lazar, and B. Rajan, "Passenger grouping under constant threat probability in an airport security system", *European Journal of Operational Research*, vol. 168, pp. 633-644, Jan 2006

[3] I. E. Manataki, and K. G. Zografos, "Assessing airport terminal performance using a system dynamics model", *Journal of Air Transport Management*, vol. 16, pp. 86-93, Mar 2010

[4] S. Olapiriyakul, and S. Das, "Design and analysis of a two-stage security, screening and inspection system", *Journal of Air Transport Management*, vol. 13, pp. 67-74, Mar 2007

[5] K. Leone, and R. Liu, "Improving airport security screening check point operations in the us via paced system design", *Journal of Air Transport Management*, pp. 1-6, Mar 2010

[6] S. W. Seo, and S. G. Choi, and C. U. Lee, "Security Manpower Scheduling for Smart Airports", *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Vol. 114, 2012

[7] G. D. N. Konstantina, and M. Fred, "Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment", *Journal of Air Transport Management*, vol. 12, pp. 213-219, Sep 2006

[8] M. S. Fayez, and A. Kaylani, and D. Cope, and N. Rychlik, and M. Mollaghasemi, "Managing airport operations using simulation", *Journal of Simulation*", vol. 2, pp. 41-52, mar 2008

[9] P. G. Cosmetatos, "Some Practical Considerations on Multi-Server Queues with Multiple Poisson Arrivals", *Omega*, vol. 6, pp. 443-448, Jun 1978

[10] S. G. Choi, and C. U. Lee, "improving passenger service level at the airport security checks by using simulation", *IT-Convergence Service & Applications for Future Environments*, Jul 2011

[11] <http://www.airport.kr>

[12] D. J. Ko, C. U. Lee, "A dispatching policy for stochastic scheduling simulation considering machine breakdowns", *Journal of The Korea*

Society of Computer and Information, vol. 15, no.8, pp. 181~192, Aug 2010

- [13] jsKIM, "Simulation of optimized production technology system to verify the supply chain management's effectiveness", Journal of The Korea Society of Computer and Information, vol. 6, no.1, pp. 95~102, Mar 2001

### 저 자 소 개



#### 최 상 군

2010: 한양대학교 분자생명과학과 졸업  
현 재: 고려대학교 산업경영공학과  
관심분야: 항공/해운 교통물류  
Email : cho2sg@korea.ac.kr



#### 이 철 응

1992: 서울대학교 산업공학과 졸업  
1994: 서울대학교  
산업공학과 공학석사  
2000: Pennsylvania State  
University 공학박사  
2005: National University of  
Singapore  
Assistant Professor  
현 재: 고려대학교  
기술경영전문대학원 교수  
관심분야: 항공/해운 교통물류,  
물류시스템설계 및 제어,  
e-Marketplace  
Email : leecu@korea.ac.kr