

공항에서의 항공교통 지체현상 분석*

김 병 중**

Analysis of Air Traffic Delays at an Airpor*

B. J. Kim**

목 차

I. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

1.2 연구의 목적 및 내용

II. 문헌연구 및 지체 분석 방법론

2.1 항공기 지체 현상 분석 방법

2.2 여객 지체 현상 분석 방법

III. 실 증 연 구

3.1 항공기 운항 지체 분석

3.2 여객 지체 현상 분석

IV. 결 론

Abstract

Benefit-cost analysis is one of key elements of feasibility study on a large scale investment for transportation infrastructure improvements. Benefit-cost analysis requires measuring expected benefits after the investment is completed. Reduction of delays is the major source for the benefit among other measurable benefits.

Measurement methods for delays reduction have been reviewed and two methods were recommended for passenger delay and aircraft operation delay. Using these method, the effects of Cheju International Airport Improvement Projects were evaluated.

* 이 논문은 1999년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

** 한국항공대학교 항공교통학과 조교수

I. 서 론

1.1 연구의 배경 및 필요성

소득수준의 향상과 높아지는 시간가치로 인하여 항공교통수요는 꾸준히 늘어나고 있어 이를 충족시키기 위한 인프라 확충이 절실히 요구되고 있다. 항공교통 인프라 확충은 소규모 부수 공사, 여객청사 확장, 활주로 추가, 항행안전시설 현대화, 신공항개발 등 다양한 형태로 이루어는데, 그 투자규모는 수십억원부터 신공항 개발인 경우에는 수천억원(무안 신공항 사업비 : 2,000억원) 또는 수조원(인천국제공항 사업비 : 7조원)에 이른다.

이러한 대형 투자 사업은 구상 시부터 투자의 낭비를 예방하기 위하여 투자의 타당성을 면밀히 검증하는 과정을 거치는데, 타당성 검토는 일반적으로 비용-편익 분석을 통하여 이루어진다. 비용-편익분석은 투자사업에 소요되는 비용과 그 타자 사업을 통하여 얻을 수 있는 편익을 비교하는 것으로, 비용은 속성상 화폐단위로 추정되나 편익은 화폐단위로 측정되는 편익과 그렇지 않은 편익으로 구분된다. <표 1>은 공항투자 사업 유형별로 기대하는 편익을 제시한 것이다. 이러한 편익은 다시 물리적 단위로 측정되는 계량화가 가능한 편익과 정성적으로만 기술되는 편익으로 구분된다.[FAA 1999]

투자사업은 항공교통 인프라의 용량을 증대시키며 이는 미래의 수요를 처리하면서 경험하는 지체를 감소시키므로 지체의 감소는 공항투자사업 편익 중 가장 핵심적인 요소라 할 수 있다. 지체 감소는 우선 물리적인 단위로 측정된 후에 단위 변환 과정을 거쳐 화폐단위로 바뀌며, 이로서 비용과 편익이 모두 화폐단위로 산정되어 비교가 가능하게 된다. 따라서 체계적이고 합리적인 지체 추정 방법론을 적용하는 것이 무엇보다 필요하다.

1.2 연구의 목적 및 내용

지체의 감소 추정에는 시뮬레이션을 활용하는 것이 가장 좋은 방법으로 알려져 있으나, 시뮬레이션은 복잡한 입력자료를 요구하며, 분석 과정 및 결과 해석을 통하여 분석결과를 얻어내는 데까지 짧게는 3개월부터 길게는 1년이 걸리는 등의 단점으로 인하여 투자의 타당성 검토 단계보다는 설계 단계에서 활용하는 것이 일반적이다. 즉, 시뮬레이션보다는 분석결과와 정확성이 다소 떨어지나, 보다 단순한 과정을 통하여 타당성 검토를 수행하는데 적용될 수 있는 지체분석 방법론을 검토하고, 선정된 지체분석 방법론을 실제 공항 확장 계획에 적용함으로써, 방법론의 적용성과 유효성을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

연구 목적을 달성하기 위하여 본 연구는 문헌연구를 통하여 공항에서의 지체 현상에 대한 이해를 넓히고, 기 제시된 지체 분석 방법론을 검토한 후 가장 적절한 방법론을 제시하며, 이 방법론을 활용한 실증 연구로 구성된다.

II. 문헌연구 및 지체 분석 방법론

공항에서의 지체현상은 여객이 경험하는 지체현상과 항공기가 경험하는 지체현상이 있으며 이의 분석에는 전술한 바와 같이 시뮬레이션과 대기행렬 모형 등 두 가지 접근방법이 있으며, 본 연구에서는 대기행렬 모형에 활용에 대해서 살펴본다. 대기행렬 모형에는 결정형 대기행렬 모형과 확률형 대기행렬 모형이 있는데, 확률형 모형이 실제 현상에 존재하는 확률적인 사건들을 표현하는 장점이 있으나, 모형이 제시하는 지체시간 관계식은 시스템이 안정 상태(Steady State)에 들어선 후의 대기 시간을 표현하는 것이다. 공항에서의 대기 행렬은 안정 상태가 아닌 진행 상태(Transient State)에서의 대기 행렬이므로 시간대별 도착수의 변동이 심한 공항에서의 지체시간 측정은 다소 단순화된 모형이라는 단점에도 불구하고 진행상태에서의 지체시간 추정이 가능한

결정형 대기행렬 모형이 적합하다 할 수 있다.

<표 1-1> 공항투자사업의 편익 요소

사업 지역	사업 내용	기대할 수 있는 편익 요소
항공기 이동지역	활주로, 유도로, 계류장 및 홀딩 패드(holding pad) 전부 또는 일부의 신설/증설	<ul style="list-style-type: none"> - 항공기, 승객 및 화물의 지체시간 감소 - 타 교통수단 수요의 흡수 - 예비 자원/시간 절약 <ul style="list-style-type: none"> · 공항 시설/장비/인력의 보다 효율적인 활용 · 승객의 정시성(출발시간 및 목적지 도착시간) 보장 - 효율적 교통흐름: 항공기의 접근 및 지상 이동 단축 - 최신 대형 항공기의 취항 가능 <ul style="list-style-type: none"> · 항공기 운영비용 및 승객의 여행 시간 감소 - 기존 시설의 개선으로 최신의 안전 및 보안 표준을 충족시킴 - 항공 안전 증대 - 소음 피해 감소 - 항공기 배기 가스 감소
	활주로, 유도로, 계류장 및 홀딩 패드(holding pad) 전부 또는 일부의 보수	<ul style="list-style-type: none"> - 시설 유지보수비의 감소 - 시설의 기능 상실로 인한 용량 감소 방지
	항공기이동지역 장비 구입/설치 - 항행안전시설 - 계설장비 - 시설복구장비 등	<ul style="list-style-type: none"> - 평상시 운항 상태에서의 항공기, 승객 및 화물의 지체시간 감소 - 여유시간 절약 <ul style="list-style-type: none"> · 공항 시설/장비/인력의 보다 효율적인 활용이 가능 · 승객의 정시성(출발시간 및 목적지 도착시간) 보장 - 항공 안전 증대 - 시설 유지보수비의 감소
	항공기이동지역 안전/보안/설계 표준 충족 사업 - 항공동화/표지판 설치 - 착륙대 확장 - 접근표면 장애물 제거 - 소방/구조 장비 구입	<ul style="list-style-type: none"> - 국내항공법 및 국제 기준이 정하는 표준을 충족하기 위한 공항 정비 사업은 우선적이고 강제적으로 시행해야 함. 편익/비용분석의 대상은 아니나, 건설교통부/기획예산처가 인정하는 적정비용으로 추진되어야함.
	항공기이동지역 환경 개선 사업 - 항공 소음 감소 대책 사업 - 연료 및 오폐수 처리 시설 개선 사업 등	<ul style="list-style-type: none"> - 국내항공법, 국내 환경관련법 및 국제 기준이 정하는 표준을 충족하기 위한 공항 정비 사업은 우선적이고 강제적으로 시행해야 함. 편익/비용분석의 대상은 아니나, 건설교통부/기획예산처가 인정하는 적정비용으로 추진되어야함.

<표 1-2 > 공항투자사업의 편익 요소

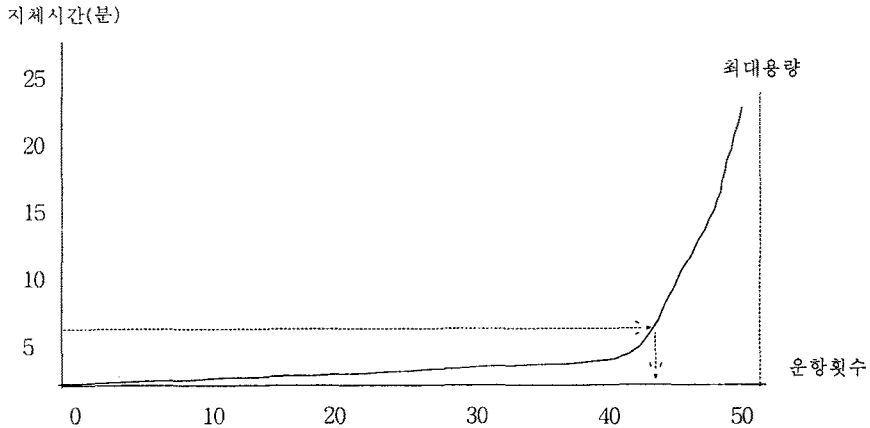
사업 지역	사업 내용	기대할 수 있는 편익 요소
정사지역	청사건물 용량증대사업	<ul style="list-style-type: none"> - 항공기, 승객, 화물 및 방문객 지체 감소 - 타 교통수단 수요의 흡수 - 승객 일정에 포함된 예비시간 절약 - 승객 이동 거리 단축 - 승객 안락함 향상 - 청사 유지보수비 절감
	수화물 처리시스템 개선사업	<ul style="list-style-type: none"> - 승객 및 화물 지체 감소 - 수화물 처리 신속화 - 시스템 유지보수비 감소
	보안/검색 개선 사업 - 승객, 수화물, 항공화물 검색 시스템 강화 - 담장 및 출입구 보안 강화	<ul style="list-style-type: none"> - 국내항공법 및 국제 기준이 정하는 표준을 충족하기 위한 공항 정비 사업으로 우선적이고 강제적으로 시행해야함. 편익/비용분석의 대상은 아니나, 건설교통부/기획예산처가 인정하는 적정비용으로 추진되어야함.
	청사간 이동 교통시스템 개선 사업 - 버스 - 철로	<ul style="list-style-type: none"> - 환승을 위한 이동의 신속화로 인한 항공기, 승객, 화물의 지체 감소 - 승객의 안락함 증대 - 시설의 유지보수비 감소
랜드사이드	공항 접근교통시설 개선 사업 - 공항접근도로 개선 - 승객 승하차 시설 개선 - 대중교통시설 개선	<ul style="list-style-type: none"> - 승객, 화물, 항공기 및 공항 종사자의 공항 접근 시간 단축 - 타 교통수단 수요의 흡수 - 접근 시간 예측성 증대로 인한 예비시간 절약 - 접근교통시설의 유지보수비 감소 - 교통안전 증대 - 차량 배기가스 감소

자료원: FAA, "FAA Airport Benefit-Cost Analysis Guidance", 1999. 12

2.1 항공기 지체 현상 분석 방법

지체시간과 운항횟수와의 일반적인 관계는 <그림 1>에 나타나 있다. 그림에서 최대용량이란 항공기들이 이/착륙 운항을 대기하고 있다가 안전을 위한 관제규정을 범하지 않으면서 주어지는 운항 허가에 즉각적으로 반응하는 것을 가정하여 계산되는 용량을 의미한다. 최대용량은 비교적 간단한 수학적 모형에 의한 계산으로 공항의 수용력을 가늠할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 실제 운항에 있어서는 항공기가 이/착륙 허가에 즉각적으로 반응할 수 없으며, 이/착륙 항공기의 활주로 도착시간은 확률적이기 때문에 운항가능 시점에 미처 도착하기 못하여 활주로 이용률을 감소시키는 경우와 짧은 시간대에 많은 항공기가 운항허가를 요청해 순서를 기다려야하는 경우가 생겨 최대용량을 다 활용하지는 못한다. 특히 항공기의 운항요청 시점과 실제운항 시점 간의 차이를 지체시간(delays)이라 하며 지체시간은 시간당 운항요청횟수(demand)가 많을수록 늘어난다. 즉, 운항 수요가 낮을 때에는 지체가 거의 없으며, 또 수요가 늘어나도 지체의 증가폭은 미미하다. 그러나 수요가

용량에 접근하면 지체는 급격히 증가하기 시작하며, 약간의 수요 증가도 매우 큰 폭의 지체증가를 초래한다.



<그림 1> 용량/수요/지체의 관계

최대용량 계산을 위한 모형연구로는 Blunstein (1960), Harris(1972) 등이 있었으며 보다 근대에는 활주로 상의 운항뿐만 아니라 착륙을 위한 접근과정까지를 고려한 최대용량 계산을 위한 용량 평가 모형연구로 Janic and Tosic(1982)과 김병중(1994)가 있었다. 항공기 지체현상을 해석하기 위한 대기행렬 모형연구의 예는 Airborne Instrument Laboratory (1963), Hockday and Kanafani(1974) Newell(1979)이 있었다. 다음의 식은 항공기의 평균 지체시간을 계산하기 위한 관계식으로는 확률형 대기행렬 모형을 이용하여 공항에서의 지체시간(w, 대당 지체시간)을 추정하고자 한 것이다. (Horonjeff and McKelvey, 1993, Ashford and Wright, 1992).

Bowen and Pearcey 모형

$$W = \frac{\rho}{2\mu(1-\rho)}$$

ρ = 시간당 도착수

μ = 시간당 처리수

Pollaczec and Khinchin 모형

$$W = \frac{\rho(1+C_b^2)}{2\mu(1-\rho)}$$

ρ = 시간당 도착수

μ = 시간당 처리수

C_b = 대당 처리시간의 변동계수

Airborne Instrument Laboratory 모형

$$W = \frac{\lambda_a(\sigma_a^2 + 1/\mu_a^2)}{2(1-\lambda_a/\mu_a)}$$

λ_a = 시간당 도착수

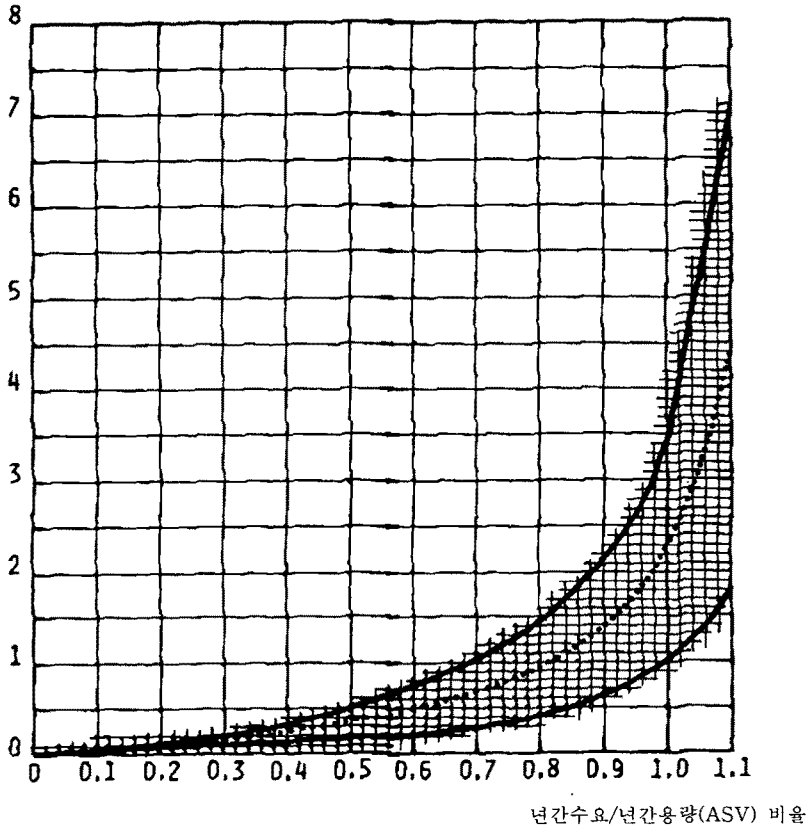
σ_a = 대당 처리시간의 표준편차

μ_a = 시간당 처리수

FAA는 미국 내 여러 공항에서의 지체에 대한 실측데이터를 기반으로 운항빈도와 지체관계를 밝혔는데, 이

그래프를 활용하여도 항공기의 지체시간을 추정할 수 있다.(FAA, 1983) <그림 2>는 FAA가 제시한 연간수요/년간용량 비율과 운항당 평균 지체시간과의 관계를 나타내는 것이고, 정기적 항공 운항 위주로 운영되는 공항은 그래프의 상단의 곡선을 활용하여야 한다. 그림에서 ASV(Annual Service Volume)는 공항의 시간당 용량, 운영 시간대, 공항의 기상 조건등을 고려하여 계산하는 연간용량을 의미한다. 이 방법은 단순하면서도 실측데이터를 활용한 것이므로 신뢰할 수 있으므로 타당성 검토 단계에서의 활용할 수 있는 분석 방법이다.

대당 평균 지체 시간 (분)

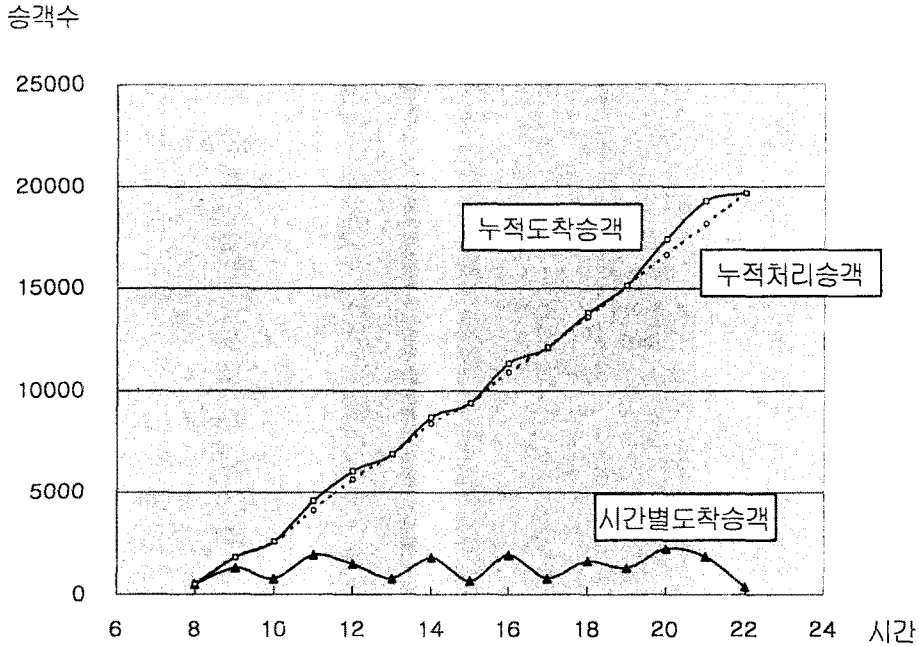


<그림 2> 연간수요/년간용량 비율과 대당 지체시간

2.2 여객 지체 현상 분석 방법

여객청사에서 이용객이 경험하는 지체의 대표적인 예는 체크인 카운터에서의 지체이다. 여객청사에서의 체크인 처리능력은 카운터당 처리능력에 카운터 수를 곱하면 알 수 있고 이런 처리능력을 유지할 때 이용객이 하루 동안 경험하는 총 지체시간은 결정형 대기행렬 모형을 이용하여 아래와 같이 추정할 수 있다.

- 시간대별 도착 비율에 근거하여 시간대별 누적 도착 승객수 산출
- 시간당 처리용량을 감안하여 누적 처리 승객수 산출. 도착승객이 처리능력을 초과하면, 초과하는 승객수는 해당 시간대에 처리되지 않고 다음 시간대로 넘어감
- 누적 도착 승객수 곡선과 누적 처리 승객수 곡선이 일치하지 않는 부분의 면적이 총 지체 시간이 되며, 단위는 man-hour이다.
- <그림 3> 시간대 별 도착수, 누적 도착수, 누적 처리 수를 보여주고 있으며, 두 누적 곡선의 차이 면적을 계산하여 총 지체시간을 구한다.



<그림 3> 시간대별 누적 도착 승객수 및 처리수

III. 실증연구

본 연구에서 제시된 지체시간 분석 방법론을 실제 공항 투자 계획의 타당성 검토에 활용하여 방법론의 적용 가능성을 살펴보고자 한다.

제2차 공항개발 중장기 계획 (건설교통부, 1999.12)에 의하면, 제주국제공항은 현재 첨두시간대에 여객청사의 혼잡하며, 항공기 이착륙 용량은 2007을 전후하여 부족할 것으로 예상된다. 여객청사와 항공기이동지역의 용량 부족을 해결하기 위하여 여객청사 확장, 고속탈출유도로 신설, 항행안전시설 개선 및 확충을 계획하고 있다. 국내선 청사 체크-인 카운터 55대는 103대로 늘여 시간당 처리용량이 1512명에서 2832명으로 증가시키고, 시간당 이착륙 회수를 42회에서 52회로, 연간용량을 142,220회에서 177,320회로 증가시킬 예정이다.

3.1 항공기 운항 지체 분석

수요예측에 의하면 이착륙 회수는 2004년 약 74,000회에서 2007년 약 92,000회, 2010년, 114,000회, 2020년 152,000회로 증가할 것으로 예상되었다. (건설교통부, 1999) 공항개발 중장기 계획에 포함된 용량 증대 사업 전후의 연도별 연간수요/연간용량 비율을 계산 한 후 <그림 2>에서 평균 대당 지체시간을 밝히고 이를 연간 지체감소 효과로 환산한 것이 <표 2>이다.

공항 투자를 통하여 항공기 운항 용량을 늘리는 것의 효과는 2010년부터 두드러지며 2020년엔 매 운항마다 지체 절감 효과가 평균 4분에 달하는 것으로 분석되었다.

<표 2> 제주공항 투자 사업의 운항 지체 감소 효과

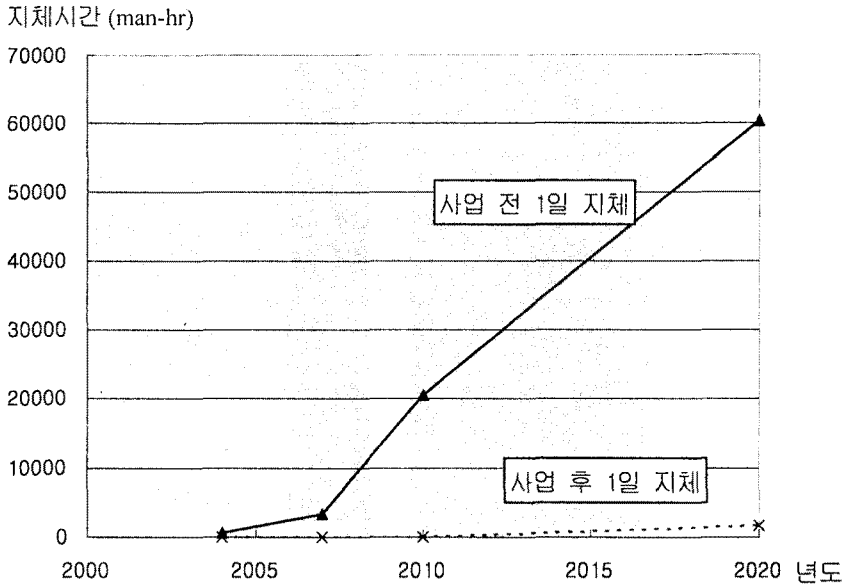
연도		2004	2007	2010	2020
년간 운항수요 (회)		74,037	91,717	114,567	151,861
사업 전	ASV (회)	142,220			
	수요/ASV	0.52	0.645	0.805	1.07
	대당 지체 (분)	0.55	0.85	1.45	5.8
사업 후	ASV (회)	177,320			
	수요/ASV	0.42	0.52	0.645	0.855
	대당 지체 (분)	0.35	0.55	0.85	1.75
년간 지체 감소 효과 (opr-hr)		246	458	1,145	2,531

3.2 여객 지체 현상 분석

제주공항을 출발하여 타 지역으로 떠나는 승객의 수는 2004년 약 5백만명, 2007년 약 7백만명, 2010년 약 9백만명 그리고 2020년에는 1천1백만명이 넘어설 것으로 예측되었다. 결정형 대기행렬 모형을 이용해 여객청사 확장 사업 전후의 연도별 지체시간을 추정하였으며, 그 결과는 <표 3> 및 <그림 4>에 나타난다. 특기할 사항은 여객청사의 확장 없이는 2010년경부터 하루동안의 출발승객을 다 처리 못하여 되돌아가야 하는 승객도 발생하게 된다.

<표 3> 제주공항 여객청사 확장 사업의 출발 승객 지체 감소 효과

연도	2004	2007	2010	2020
년간 국내선 출발승객 (1000명)	5,282.5	7,171.0	8,894.5	11,345.0
평균일 국내선출발승객 (명)	15,960	19,646	24,368	31,082
사업전 1일 지체 (man-hr)	611.0	3,329.0	20,445.0	60,309.0
사업후 1일 지체 (man-hr)	0.0	0.0	0.0	1700.0
년간 지체 감소 효과 (1000 man-hr)	223.0	1,215.1	7,462.4	21,392.3
사업전 업무종료후 미처리 승객수 (명)	0	0	2,959	9,075



<그림 4> 제주공항 여객청사 확장 사업의 출발 승객 지체 감소 효과

승객지체분석은 분석대상년도의 평균일 매 시간마다의 도착승객수와 처리승객수를 고려하여 결정형 대기행렬 모형이 제시하는 계산절차에 따라 계산되는데, 인레로 <표 4>는 2007년 평균일 승객 지체시간 계산과정을 보여준다.

<표 4> 2007년 평균일 승객 지체 분석

시간	시간별 도착비율	시간별 도착승객수	누적 도착 비율	누적 도착 승객수	사업시행전			사업시행후		
					누적처리	미처리	지체시간	누적처리	미처리	지체시간
7:00 ~ 8:00	3	530	0	530	530	0	0	530	0	0
8:00 ~ 9:00	7	1297	0	1827	1827	0	0	1827	0	0
9:00 ~ 10:00	4	805	0	2633	2633	0	0	2633	0	0
10:00 ~ 11:00	10	1945	0	4578	4145	433	217	4578	0	0
11:00 ~ 12:00	8	1493	0	6071	5657	414	424	6071	0	0
12:00 ~ 13:00	4	805	0	6876	6876	0	121	6876	0	0
13:00 ~ 14:00	9	1827	0	8703	8388	315	158	8703	0	0
14:00 ~ 15:00	4	688	0	9391	9391	0	55	9391	0	0
15:00 ~ 16:00	10	1945	1	11336	10903	433	217	11336	0	0
16:00 ~ 17:00	4	786	1	12122	12122	0	129	12122	0	0
17:00 ~ 18:00	9	1690	1	13811	13634	177	89	13811	0	0
18:00 ~ 19:00	7	1316	1	15127	15127	0	80	15127	0	0
19:00 ~ 20:00	12	2259	1	17387	16639	748	374	17387	0	0
20:00 ~ 21:00	10	1866	1	19253	18151	1102	925	19253	0	0
21:00 ~ 22:00	2	393	1	19646	19646	0	543	19646	0	0
총지체시간					33295 man-hr			0 man-hr		

년간 출발승객수 : 7171000명

평균일 출발승객수 : 19646명

IV. 결론

대형 투자 사업의 타당성 검토는 일반적으로 비용-편익 분석을 통하여 이루어진다. 비용-편익분석은 투자사업에 소요되는 비용과 그 투자 사업을 통하여 얻을 수 있는 편익을 비교하는 것으로, 비용은 속성상 화폐단위로 추정되나 편익은 화폐단위로 측정되는 편익과 그렇지 않은 편익으로 구분된다. 투자사업은 항공교통 인프라의 용량을 증대시키며 이는 미래의 수요를 처리하면서 경험하는 지체를 감소시키므로 지체의 감소는 공항투자사업 편익 중 가장 핵심적인 요소라 할 수 있다.

본 연구는 문헌조사를 통하여 여객청사에서의 이용객 지체시간과 항공기이동지역에서의 항공기 운항 지체시간을 추정하는 방법론을 제시하였다. 제시된 방법론을 이용하여 제주국제공항의 투자사업 시행 전후의 지체시간을 추정하였는데, 분석대상 연도로 삼은 2004년, 2007년, 2010년, 2020년도 별로 투자사업의 결과로 이용객 지체시간이 223 man-hour, 1,215 man-hour, 7,462 man-hour 그리고 21,393 man-hour가 절약이 가능하다고 분석되었다. 또한 운항 지체시간은 246 operation-hour, 458 operation-hour, 1,145 operation-hour 그리고 2,531 operation-hour가 줄어들 것이라고 분석되었다.

■ 참고 문헌

1. 건설교통부, 제2차 공항개발중장기 계획, 1999.12.
2. 김병중, "터미널 구역의 수용능력 계산 모형", 대한교통학회지 제 12권 제 3호, pp.15~27, 1994.
3. Ashford N. and Wright, P. H., Airport engineering, 3rd Edition, Wiley & Sons, Inc., 1992.
4. Blunstein, A., "An Analytical Investigation of Airport Capacity", Cornell Aeronautical Laboratory, Report TA-1358-6-1, 1960.
5. Airborne Instrument Laboratory, Inc., "Airport Capacity: A Handbook for Analysing Airport Design and to Determine Practical Movement Rates and Airport Operating Costs", 1963.
6. Harris, R.M., "Models for Runway Capacity Analysis", MITRE Technical Report No.4102, 1972.
7. Hockaday, S.L.M., ad Kanafani, A.K., "Developments in Airport Capacity Analysis", Transportation Research, Vol. 8, pp.181~180, 1974.
8. Horonjeff, R. and McKelvey, F.X., Planning and Design of Airports, 4th Edition, McGraw-Hill, Inc., 1993.
9. FAA, Advisory Circular 150-5060-5: Airport Capacity and Delay, 1983.9.
10. FAA, "FAA Benefit-Cost Analysis Guidance", 1999.
11. Janic, M. and Tosic, V., "Terminla Airspace Capacity Model", Transportation Research Vol.16A, No.4, pp.253-260, 1982.
12. Mumayiz, S.A., " Overview of Airport Terminal Simulation Models", Transportation Research Record, No.1273, pp.11~20. 1990.
13. Newell, C.F., "Airport Capacity and Delays", Transportation Science, Vol.13, NO.3, pp.201~241, 1979.다.