

## 論文

## 항공교통관제사의 항공기 합류순서결정에 대한 확률적 예측모형 개발

김민지\*, 홍성권\*, 이금진\*\*

## Probabilistic Model for Air Traffic Controller Sequencing Strategy

Minji Kim\*, Sungkwon Hong\* and Keumjin Lee\*\*

## ABSTRACT

Arrival management is a tool which provides efficient flow of traffic and reduces ATC workload by determining aircraft's sequence and schedules while they are in cruise phase. As a decision support tool, arrival management should advise on air traffic control service based on the understanding of human factor of its user, air traffic controller. This paper proposed a prediction model for air traffic controller sequencing strategy by analyzing the historical trajectory data. Statistical analysis is used to find how air traffic controller decides the sequence of aircraft based on the speed difference and the airspace entering time difference of aircraft. Logistic regression was applied for the proposed model and its performance was demonstrated through the comparison of the real operational data.

**Key Words** : Air Traffic Management(항공교통관리), Arrival Management(도착관리기법), Sequencing Strategy(순서결정기법), Air Traffic Controller(항공교통관제사), Logistic Regression(로지스틱 회귀모형)

## 1. 서 론

대도시 주변 공역의 항공교통량이 지속적으로 증가함에 따라 항공기의 과도한 지연 등 다양한 문제점들이 발생하고 있으며 이러한 문제점들을 해소하기 위한 노력으로 차세대 항공교통관리 기법들이 개발되고 있다[1-4]. 특히 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있는 도착관리기법(Arrival Management)은 특정 공항으로 도착하는 항공기들의 착륙순서와 시간을 항로색터 단계에서부터 최적으로 조정함으로써 항공기들이 보다 안전하고 효율적인 운항을 할 수 있도록 한다 [3-7].

도착관리기법은 도착예정시간(ETA; Estimated Time of Arrival) 예측, 도착순서 결정(sequencing), 그리고 계획도착시간(STA; Scheduled Time of Arrival) 계산의 세 단계의 구성요소로 이루어진다. 먼저, 항공기 위치 및 고도에 대한 실시간 감시(surveillance)정보와 비행계획서상의 운항정보 등을 바탕으로 동일 공항으로 접근하는 항공기의 ETA를 계산한다. ETA가 계산되면 이를 기반으로 동일한 지점으로 도착하는 항공기들에 대한 도착 순서를 결정하는데, 도착순서 결정 시 최적화 등 다양한 수학적 기법이 사용된다[4-7]. 최종적으로 결정된 순서와 예측된 ETA를 통해 각 항공기가 특정 지점에 정해진 분리기준에 따라 도착하기 위한 STA가 계산된다. 관제사는 이러한 단계를 통해 계산된 정보를 Fig. 1과 같은 화면을 통해 전달받게 되며, 항공기가 더욱 효율적이고 안전한 운항을 할 수 있도록 조언을 제공하게 된다[8].

2014년 08월 20일 접수 ~ 2014년 09월 21일 심사완료  
논문심사일 (2014.09.14, 1차)

\* 한국항공대학교 대학원 항공교통물류학과

\*\* 한국항공대학교 항공교통물류학과 조교수

연락처, E-mail : carmel11@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1



Fig. 1 Example of arrival management system user interface (From [8])

하지만 도착관리기법과 같은 의사결정지원도구의 경우, 실질적인 운영주체의 행동 방식이 고려되지 않은 조언을 제공하게 되면 운영주체의 인지적(cognitive) 저항이 발생할 수 있으며, 이로 인해 오히려 비효율적인 결과를 초래할 수 있다. 한 예로 최근에 이루어진 연구에서는, 동일한 조언에 대해서 관제사에 따라 매우 다른 형태의 관제지시를 수행하는 것을 보였으며, 이는 관제사들의 행동 방식이 의사결정을 지원하는데 있어 고려되어야 함을 보여준다[9]. 실제로 일반적인 도착관리기법은 서로 다른 항로에서 하나의 항로로 합류되는 항공기의 순서를 결정할 때, ETA를 기준으로 먼저 도착하는 항공기에게 우선권을 부여하는 FCFS(First Come First Served) 알고리즘을 사용한다. 하지만 실제 관제사는 정밀한 ETA를 계산하여 합류지점(Merging Fix)에서의 순서를 결정하는 도착관리기법과는 달리, 항공기의 현재 속도, 비행할 거리, 주변 공역의 상황 등을 통해 경험적으로 순서를 결정한다. 이러한 이유로 인해 도착관리기법에 의한 순서결정과 실제 관제사가 판단한 순서결정에는 차이가 발생할 수 있으며 이는 운영상의 비효율을 초래할 수 있다. 관제사의 의사결정 방식을 반영한 도착관리기법을 개발하기 위해서는 실제 관제사의 관제 방식에 대한 분석이 선행되어야 하며, 이에 따른 예측 모형의 개발이 필요하다.

본 논문에서는 합류하는 지점(Merging Fix)으로 접근하는 항공기의 순서에 대한 관제사의 결정을 예측하는 모형을 제안하였다. 제안된 모형에는 로지스틱 회귀모형이 사용되었으며 실제 항적자료를 통해 구축된 회귀모형의 성능에 대한 평가 또한 수행하였다.

## 2. 연구 대상

### 2.1 대상 공역

Fig. 1에는 인천 FIR(Flight Information Region)과 인천 FIR을 구성하는 각 섹터, 그리고 인천공항과 인천공항으로 도착하는 항공기들이 비행하는 대표적인 항로가 나타나 있다. 그림에 나타난 바와 같이 인천공항으로 도착하는 항로는 방향에 따라 다양하게 구성되어 있으며, 몇 개의 항로는 합류 지점(Merging Fix)을 통해 도중에 합류되어 하나의 항로로 이루어지게 된다. 이와 같이 서로 다른 항로를 통해 비행을 하는 항공기가 하나의 항로로 합류되는 경우, 관제사는 각 항공기의 상태정보(위치, 속도 등)와 주변 공역의 상황 등을 고려하여 두 항공기 중 어떤 항공기에게 우선순위를 부여할 것인지를 결정하게 된다. 또한 결정된 순서에 따라 비행하게 하기위해서 항공기에게 속도나 방향을 변경하도록 지시하기도 한다.

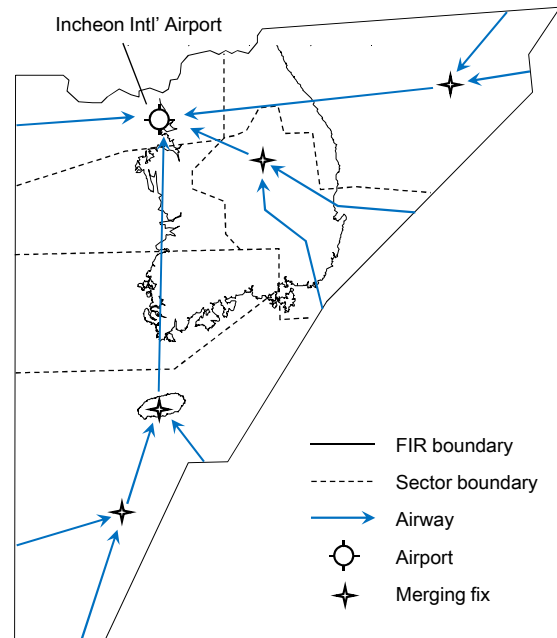


Fig. 1 Incheon Flight Information Region and airway to Incheon International Airport

본 연구의 목적은 관제사가 항공기의 순서결정을 하는데 있어 영향을 미치는 요인을 분석하고, 이를 통해 관제사의 순서결정을 예측하는 모형을 구축하는데 있다. 따라서 Fig. 1에 나타나는 다양한 합류 경로(Merging Route) 중, 동일한 관제사에 의해 관제가 이루어지며 운항빈도가

충분한 경로를 선정하여 연구를 수행하였으며, 이는 Fig. 2에 더욱 자세히 나타나 있다.

Fig. 2에 나타나있는 대상 공역은 A582와 G585항로를 통해 인천공항으로 도착하는 경로이다. 각 항공기는 그림에 나타나있는 진입지점(Entry Fix)을 통해 인천 FIR에 진입한 후, 각각의 항로를 통해 약 138NM(Nautical Mile)을 비행한 후 하나의 경로로 합류하게 되며 관제사는 각 항로상의 특정 지점에서 두 항공기간의 순서를 결정한다. 본 연구에서는 관제사가 두 항공기의 순서를 결정하는 위치를 진입지점으로 선정하였으며, 이는 추후 연구가 필요하다.

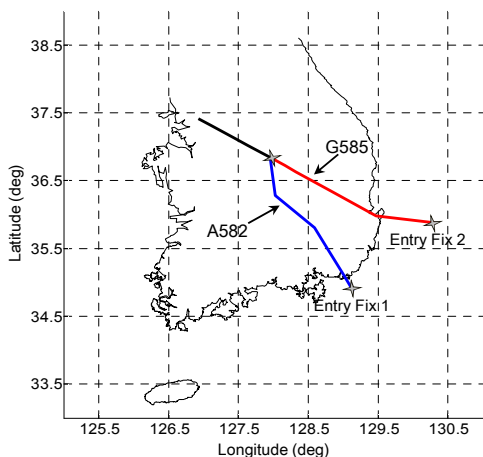


Fig. 2 Selected merging route for arrival traffic into Incheon International Airport

## 2.2 순서결정 대상 항공기

본 논문에서는, 서로 다른 항로(A582와 G585)를 비행하며 Merging Fix를 통해 합류 시 관제사에 의한 순서결정이 개입되었다고 판단되는 항공기 쌍들을 실험대상으로 수집하였다. 2012년 10월 한 달간의 항적자료를 사용하였으며, 한 항공기가 서로 다른 두 대의 항공기와 순서결정에 개입된 경우, 두 개의 항공기 쌍에 중복해서 나타날 수 있다.

관제사에 의한 순서결정의 개입 여부는 두 항공기의 Merging Fix에서의 분리간격을 통해 판단하였다. 2.1절에서 설정된 항로구간(Fig. 2)에서의 두 항공기간 최소분리간격은 10NM로 설정되어 있으므로, 최소분리간격의 두 배, 즉 20NM 미만으로 분리되어 Merging Fix를 통과한 항공기 쌍을 대상 항공기로 판단하였다. 본 연구에서는 관제사의 순서결정 개입 여부를 합류하는 두 항공기의 Merging Fix에서의 분리간격을 통해 판단하였으나, 관제사의 순서결정 여부가 더욱 정밀

하게 판단되기 위해서는 보다 다양한 종류의 정보가 고려되어야 하며 이는 추후 연구에서 더욱 심도 있게 다루어져야 한다.

## 3. 순서결정 예측모형

### 3.1 로지스틱 회귀모형

본 연구에서는 항공교통관제사의 순서결정을 예측하는 모형으로서 로지스틱 회귀모형을 사용하였다. 로지스틱 회귀모형은 주어진 상황에서 특정 대상이 어떠한 선택을 할지를 확률적으로 예측하는 모형으로서, 특히 여러 변수가 각 선택에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있다 [10]. 두 개의 선택에 대한 종속변수를  $y$ 라고 하고, 각 선택은  $y$ 가 0과 1일 때로 정의된다고 하자.  $k$ 개의 독립변수가 주어졌을 때, 로지스틱 회귀모형을 통해 계산된  $y$ 가 1일 확률은 다음과 같다.

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-g(X)}} \quad (1)$$

여기서  $g(X) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$ ;  $X = [x_1 x_2 \dots x_k]$ 는 주어진 독립변수이며,  $B = [\beta_0 \beta_1 \dots \beta_k]$ 는 수집된 자료로부터 추정되어야 할 계수 행렬이다. 또한  $y$ 가 0일 확률은  $1 - P(X)$ 로 나타내어진다.

본 연구에서 제안하는 예측모형은 관제사가 합류하는 두 항공기 중 어떤 항공기에게 우선권을 부여하는지가 각각의 선택이 된다. 본 논문에서는 A582항로를 기준 항로로 설정하였으므로, A582항로를 운항하는 항공기( $AC_A$ )가 G585항로를 운항하는 항공기( $AC_G$ )보다 Merging Fix를 먼저 통과한 경우에 종속변수를 1, 반대의 경우에 종속변수를 0으로 정의하였다. 또한 순서결정 예측모형의 독립변수로서는 합류하는 두 항공기의 진입속도와 진입시간의 차이를 사용하였다. 참고로 본 논문에서 각 항공기의 진입시점은 항공기가 인천 FIR에 진입하는 시점, 즉 항공기가 Fig. 2에 나타나 있는 Entry Fix에 도달한 시점으로 설정하였다.

Fig. 2의 대상 공역에서  $AC_A$ 와  $AC_G$ 의 진입시간 및 진입속도 차이가 주어졌을 때, 종속변수가 1, 즉  $AC_A$ 가 Merging Fix를 먼저 통과할 확률은 다음과 같다.

$$P(X) = \frac{1}{1 + e^{-g(X)}} \quad (2)$$

여기서  $g(X) = \beta_0 + \beta_1 TD + \beta_2 SD$ ;  $B = [\beta_0 \ \beta_1 \ \beta_2]$ 는 바이어스 및 각 변수에 대한 계수 행렬,  $TD$ 는  $AC_A$ 와  $AC_G$ 의 Entry Fix에서의 진입시간차(sec)이며  $SD$ 는  $AC_A$ 와  $AC_G$ 의 Entry Fix에서의 진입 속도차(knot)이다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이, 본 논문에서는 A582항로를 기준으로 하였으므로,  $TD$ 와  $SD$ 는 각각  $AC_A$ 의 진입시간 및 속도를 기준으로 계산하였다. 본 연구에서는 독립변수로서 항공기의 진입시간 및 진입속도의 차이만을 고려했으나, 관제사의 순서결정에 영향을 미치는 요인으로서 주변 공역의 혼잡도 등 여러 종류의 변수가 포함될 수 있으며, 이는 추후 연구가 필요하다.

### 3.2 독립변수와 순서결정 간의 관계

본 절에서는 순서결정 예측모형을 구축하기에 앞서, 실험을 위하여 추출한 330개의 항공기 쌍을 이용하여 각 독립변수와 순서결정간의 관계를 살펴보았다. Fig. 3은  $TD$ 와  $SD$ 에 따른 관제사의 순서결정을 도식화 한 것이다. 그래프의 x-축과 y-축은 각각  $SD$  및  $TD$ 를 나타내며  $AC_A$ 가 Merging Fix를 먼저 통과할 경우( $P_{AG}$ )를 O, 반대의 경우( $P_{GA}$ )를 X로 표시하였다. 앞 절에서 설명된 바와 같이,  $TD$ 는  $AC_A$ 의 진입시간이  $AC_G$ 보다 빠를 때 양의 값을 가지며 반대의 경우에 음의 값을 갖는다. 마찬가지로,  $SD$ 는  $AC_A$ 의 진입속도가  $AC_G$ 보다 클 때 양의 값을 가지며 반대의 경우에 음의 값을 갖는다.

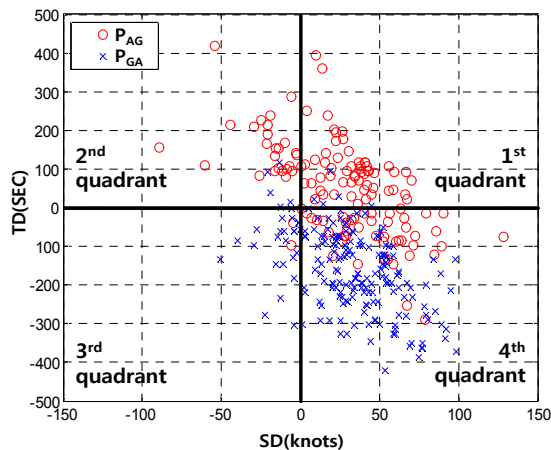


Fig. 3 TD-SD graph for sequencing pair

Fig. 3에서 볼 수 있듯이, 항공기의 순서는 각 항공기의 Entry Fix에서의 진입시간 및 속도에 따라서 확률적으로 결정되는 것을 알 수 있다. 여기에서 그래프가 전체적으로 오른쪽으로 치우친 것

은 각 항로 별 운항특성의 차이로 인하여 Entry Fix에서 A582를 비행하는 항공기, 즉,  $AC_A$ 의 속도가  $AC_G$ 에 비하여 대체적으로 빠르기 때문이다.

Table 1에는 Fig. 3의 결과를 각 변수의 부호에 따라 사분면으로 나누었을 때, 각 구간에서의  $P_{AG}$  및  $P_{GA}$ 의 개수 및 비율을 나타낸다. 이와 같이 나누어진 사분면을 통해서 각 변수, 즉, Entry Fix에서의 속도 및 시간 차이에 따라서 관제사의 순서결정이 어떻게 영향을 받는지 확인할 수 있다.

Table 1. Characteristic of each quadrant of TD-SD graph

Quad.	TD	SD	$P_{AG}$ (%)	$P_{GA}$ (%)
1	+	+	92.1 (58/63)	7.9 (5/63)
2	+	-	78.9 (30/38)	21.1 (8/38)
3	-	-	7.7 (2/26)	92.3 (24/26)
4	-	+	22.2 (45/203)	77.8 (158/203)

예를 들어 1사분면과 2사분면의 두 경우 모두  $AC_G$ 의 진입 시간이 더욱 느리지만, 2사분면의 경우  $AC_G$ 의 진입 속도가 더욱 높고, 1사분면의 경우  $AC_A$ 의 진입 속도가 더욱 높다. 이 경우  $P_{AG}$ 의 비율이 2사분면에 비하여 1사분면에서 높아질 것으로 예상될 수 있는데, 이는 실제로 Table 4에서 증가하였음을 확인할 수 있다. 3사분면과 4사분면에 대해서도 비슷한 분석이 가능하다.

### 4. 실험 결과

본 장에서는 과거 항적자료를 통하여 제안된 순서결정 예측모형을 구축하고 그 성능을 검증하였다. 예측모형의 구축에는 1개월분의 항적 자료가 사용되었으며, 2.2절에서 설명된 기준에 따라 총 300개의 항공기 쌍이 선정되었다. 선정된 항공기 쌍 데이터를 통해 식 (2)의 계수 행렬  $B$ 를 추정하였으며, 구축된 예측모형은 다음과 같다.

$$\hat{P}(X) = \frac{1}{1 + e^{-\hat{g}(X)}} \quad (3)$$

여기서  $\hat{g}(X) = -0.7161 + 0.0170 TD + 0.0418 SD$ 이고,  $\hat{P}(X)$ 는  $TD$ 와  $SD$ 가 주어졌을 때,  $AC_A$ 가 Merging Fix를 먼저 통과할 예측 확률이다. 또한 계수행렬의 추정에는 최대우도추정법이 사용되었다[10].

#### 4.1 독립변수의 유의성 검정

Table 2에는 각 변수의 추정된 계수와 표준오차, 그리고 Wald test에 의한 통계량이 나타나 있다. Wald test는 각 독립변수의 유의성에 대한 검정으로서, 검정에 사용되는 통계량  $W$ 는 다음과 같이 계산된다[11].

$$W = \frac{\hat{\beta}}{SE(\hat{\beta})} \quad (4)$$

여기서  $\hat{\beta}$ 은 추정된 계수,  $SE(\hat{\beta})$ 는 추정된 계수에 대한 표준오차이며 계산된 통계량  $W$ 는 해당된 독립변수의 계수가 0이라는 귀무가설 하에서 표준정규분포를 따른다. Table 2의 다섯 번째 열에는 각 계수에 대해서 귀무가설에 따른 가설검정의 p-value가 나타나 있다. p-value를 통해 볼 수 있듯이,  $TD$ 와  $SD$ 변수는 유의수준  $\alpha=0.01$  하에서 모두 유의함을 볼 수 있다.

Table 2. Logistic regression model of air traffic controller sequencing strategy

Variable	Coeff.	Std. Err.	$W$	p-val
Bias	-0.7161	0.2258	-3.1714	<0.01
$TD$	0.0170	0.0019	8.9474	<0.01
$SD$	0.0418	0.0071	5.8873	<0.01

일반적으로 로지스틱 회귀모형의 각 계수는 해당 변수가 선택에 어떠한 영향을 미치는지를 나타낸다. Table 2에서 볼 수 있듯이  $TD$ 와  $SD$ 에 해당하는 계수는 각각 0.0170, 0.0418로, 두 변수 모두 관제사가  $AC_A$ 를  $AC_G$ 에 우선하여 순서를 결정하는데 양의 방향의 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 이는 실제로,  $AC_A$ 가  $AC_G$ 보다 진입시간이 빠르거나( $TD>0$ ) 진입속도가 클 때( $SD>0$ ),  $AC_A$ 의 우선순위가 높아지는 것을 구축된 예측모형이 반영하고 있음을 의미한다.

또한 각 변수의 계수는 해당 변수가 한 단위 증가할 때 관제사가  $AC_A$ 를  $AC_G$ 에 우선하여 순서를 결정하는데 미치는 영향의 정도를 나타낸다. 따라서  $TD$ 와  $SD$ 변수에 해당하는 계수를 통해 관제사가 합류하는 두 항공기의 순서를 결정하는 데 있어서, Entry Fix에서의 속도 차이를 Merging Fix에서의 시간 차이로 어떻게 환산하는지를 살펴볼 수 있다.

식 (2)의  $g(X)$ 를  $TD$ 와  $SD$ 에 대해 미분하면

다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$dg(X) = \beta_1 dTD + \beta_2 dSD \quad (5)$$

따라서  $SD$ 가 한 단위 증가하였을 때  $\hat{P}(X)$ 가 일정하게 하기 위한  $TD$ 의 변화량은 식 (5)을 0으로 할 때의  $dTD/dSD$  값으로써 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\frac{dTD}{dSD} = -\frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (6)$$

$\beta_1$ 과  $\beta_2$ 는 각각 0.0170, 0.0418이므로,  $SD$ 의 한 단위 변화량에 대한  $TD$ 의 변화량은 -2.4588이다. 즉  $AC_A$ 의 진입 속도가 1knot 빠를 때, 관제사는  $AC_A$ 가  $AC_G$ 보다 Merging Fix에 2.4588초 먼저 도착한다고 판단하여 순서를 결정한다고 볼 수 있다.

실제로, 두 항공기가 진입 시점부터 합류 시점까지 138NM의 거리를 평균 비행속도(410 knot)로 동일한 속도를 유지하며 비행한다고 가정하였을 때,  $AC_A$ 의 속도가 1knot 증가하였을 경우,  $AC_A$ 는 평균 비행속도로 비행한  $AC_G$ 에 비해 Merging Fix에 2.9478초 먼저 도착하게 된다. 따라서, 관제사는 실제 항공기의 궤적을 상당히 정밀하게 예측하여 순서를 결정한다고 볼 수 있다.

#### 4.2 예측모형의 적합도 검증

예측모형의 적합도는 다양한 방법을 통해 검증될 수 있다. 본 논문에서는 예측모형의 적합도를 검증하기 위한 방법으로 Classification table[11]을 이용하였다. 또한, ETA를 기반으로 순서결정을 예측하는 방법과의 비교를 통해 본 논문에서 활용한 예측모형의 성능을 검증하였다.

Classification table은 예측모형을 통해 계산된 확률을 통해 선택을 예측하고, 그 예측의 참 거짓을 교차분석한 표이다. Classification table의 경우 정해진 한계점(threshold)을 기준하여 예측 결과를 이분하기 때문에 예측 결과를 확률로 나타내는 로지스틱 회귀모형의 적합도를 정확히 검증하는 데는 한계가 있다. 하지만 본 연구에서 제안된 예측모형의 경우 도착관리기법과 같은 의사결정 지원도구에 사용되기 위해서는 특정 항공기 쌍에 대해 관제사의 순서결정을 분류하는 것이 중요하기 때문에 이와 같은 방법을 사용하여 모형을 검증하였다.

Classification table에는 모형의 구축에 사용된 30개의 항공기 쌍과 독립적인 총 30개의 항공기 쌍이 사용되었다. Table 3는 30개의 항공기 쌍을 구축된 예측모형을 통해 분류한 결과가 나타나 있다. 관제사의 순서결정에 대한 예측은 식 (3)의 예측모형의 결과가  $\hat{P}(X) > 1 - \hat{P}(X)$ 인 경우  $P_{AG}$ 반대의 경우에  $P_{GA}$ 로 분류하였다.

**Table 3. Classification table based on estimated logistic regression model**

Classified		Observed		
		$P_{AG}$	$P_{GA}$	Total
Predicted	$P_{AG}$	7	2	9
	$P_{GA}$	3	18	21
Total		10	20	30

Table 3의 classification table을 통해서, 식 (3)의 예측모형은  $P_{AG}$ 의 경우 70.0%(7/10),  $P_{GA}$ 의 경우 90.0%(18/20)로 총 83.3%(25/30)의 항공기 쌍에 대해 관제사의 순서결정을 올바르게 예측하였다.

Table 4에는 Table 3에서 사용한 것과 동일한 30개의 항공기 쌍에 대하여 ETA를 기반으로 순서결정을 예측한 결과가 나타나 있다. 본 논문에서 ETA는 총 비행거리를 Entry fix에서의 속도로 나누어 계산하였으며, 계산된 ETA가 빠른 항공기에게 우선순위가 부여되도록 순서결정을 예측하였다. 추후 연구에서는 더욱 정밀한 ETA 계산을 통한 순서결정 예측방법과의 비교검증이 이루어져야 할 것이다.

**Table 4. Classification table based on ETA**

Classified		Observed		
		$P_{AG}$	$P_{GA}$	Total
Predicted	$P_{AG}$	6	3	9
	$P_{GA}$	4	17	21
Total		10	20	30

Table 4의 classification table을 통해서, ETA를 기반으로 한 관제사의 순서결정 예측은  $P_{AG}$ 의 경우 60.0%(6/10),  $P_{GA}$ 의 경우 85.0%(17/20)로 총 76.7%(23/30)의 항공기 쌍에 대해 관제사의 순서결정을 올바르게 예측하였음을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 예측모형이 ETA를 기반으로 한 예측모형에 비하여 약 6.6% 더욱

정밀하게 관제사의 순서결정을 예측하였음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

지속적으로 증가하는 항공교통량을 효율적으로 관리하기 위해서 자동화된 의사결정지원도구의 개발과 활용이 더욱 중요해지고 있다. 하지만 의사결정지원도구가 효과적으로 사용되기 위해서는 이를 사용하는 주체인 항공교통관제사의 행동방식이 먼저 이해되고 예측되어야 한다.

본 논문에서는 항공교통관제사의 행동방식을 반영한 도착관리기법 개발을 위한 관제사의 순서결정 예측모형을 개발하였다. 예측모형에는 로지스틱 회귀모형이 사용되었으며, 관제사의 순서결정을 예측하기 위한 변수로서 합류하는 두 항공기의 진입시간과 진입속도의 차이를 사용하였다. 또한 실제 과거 항적자료를 통해 모형을 구축한 후, 각 변수의 유의성과 모형의 적합도를 검정하였다.

추후 연구에서는 관제사의 순서 결정에 영향을 미치는 요인으로서 주변 공역의 혼잡도, 항공기의 기종, 날씨, 관제기관의 운영절차 등 다양한 정보들을 탐구해 보아야 할 것이다. 또한 예측모형으로서 로지스틱 회귀모형 이외에 인공 신경망 분석 등 다양한 방법의 적용을 고려해 보아야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 “항공교통 관제절차 예측모형 개발”과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) Erzberger, H., 1995, "Design Principles and Algorithms for Automated Air Traffic Management", Mission Systems Panel of AGARD and the Consultant and Exchange Program of AGARD.
- 2) Swieringa, K., Murdoch, J. L., Baxley, B. and Hubbs, C., 2011, "Evaluation of an Airborne Spacing Concept, On-board Spacing Tool, and Pilot Interface", AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference.
- 3) Klooster, J. K., Amo A. D. and Manzi, P.,

2009, "Controlled Time-of-Arrival Flight Trials", Eighth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar.

4) Erzberger, H. and Tobias, L., 1986, "A Time-Based Concept for Terminal-Area Traffic Management", NASA Technical Memorandum.

5) Davis, T. J., Krzeczowski, K. J. and Bergh, C., 1994, "The Final Approach Spacing Tool," 13th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace.

6) Hu, X. B. and Chen, W. H., 2005, "Genetic algorithm based on receding horizon control for arrival sequencing and scheduling", Engineering Applications of Artificial Intelligence.

7) Eun, Y. J., Hwang, I. S. and Bang, H. C., 2010, "Optimal Arrival Flight Sequencing and Scheduling Using Discrete Airborne Delays", IEEE Transactions on intelligent Transportation systems, Vol.11, No.2.

8) Eurocontrol, 2010, "AMAN Status Review 2010", 2010.

9) Mercer, J., Bienert, N., Gomez, A., Hunt, S., Kraut, J., Martin, L., Morey, S., Green, S. M., Prévôt, T. and Wu, M. G., 2013, "The Impact of Trajectory Prediction Uncertainty on Air Traffic Controller Performance and Acceptability", AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference.

10) Train, K. E., Discrete Choice Methods with Simulation, 2003, Cambridge, New York.

11) Hosmer, D. W., Lemeshow, S., Applied Logistic Regression, 2000, John Wiley & Sons, Inc, New York.