

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2018.26.2.039>

ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

데이터 기반 항공기 지상 이동 시간 예측 알고리즘 개발

김소윤*, 전대근*, 은연주*

A Development of Data-Driven Aircraft Taxi Time Prediction Algorithm

Soyeun Kim*, Daekeun Jeon*, Yeonju Eun*

ABSTRACT

Departure Manager (DMAN) is a tool to optimize the departure sequence and to suggest appropriate take-off time and off-block time of each departure aircraft to the air traffic controllers. To that end, Variable Taxi Time (VTT), which is time duration of the aircraft from the stand to the runway, should be estimated. In this paper, a study for development of VTT prediction algorithm based on machine learning techniques is presented. The factors affecting aircraft taxi speeds were identified through the analysis of historical traffic data on the airport surface. The prediction model suggested in this study consists of several sub-models that reflect different types of surface maneuvers based on the analysis result. The prediction performance of the proposed method was evaluated using the actual operational data.

Key Words : Air Traffic Management (항공 교통 관리), Departure Manager (출발 관리 시스템), Variable Taxi Time (지상 이동 시간), Machine Learning (기계학습법), Node-Link Model (노드링크 모델)

1. 서 론

항공교통량이 지속적으로 증가하면서 항공교통 흐름을 효율적으로 관리하기 위한 다양한 기법들이 개발되고 있다. 그 중 공항에서 출발 항공기가 원활하게 지상 이동 및 이륙할 수 있도록 출발 흐름을 제어하고 관리하는 출발 관리 시스템(DMAN, Departure Manager)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. DMAN은 출발 항공기의 최

적화된 이륙 순서 및 시각과 이를 가능하게 하는 주기장 출발 시각을 제공한다. 이러한 출발 스케줄링을 위해서는 지상 이동 시간(VTT, Variable Taxi Time)에 대한 예측이 필수적이다[1-2].

VTT에 영향을 미치는 요인으로는 이동 거리, 경로의 기하학적 특성 등 기본적인 사항 이외에 지상 이동 중인 타 항공기의 간섭, 앞서 이륙한 항공기와의 이륙 시간 간격(활주로 분리 간격) 유지 등이 있다. 이러한 다양한 요인을 고려하여 VTT를 예측하기 위한 방법 중 하나로, 항공기가 아무런 제한도 받지 않는다고 가정하였을 때의 VTT를 우선적으로 예측한 뒤 다른 항공기의 VTT를 고려했을 때 발생하는 지연 시간을 더해주는 방법이 있다[3].

Received : 18. May. 2018. Revised : 18. Jun. 2018.

Accepted : 30. Jun. 2018.

* 한국항공우주연구원 항공기체계부
연락처 E-mail : soyeun@kari.re.kr
대전광역시 유성구 과학로 169-84

본 논문에서는 이러한 방법에 필요한, 방해받지 않는(unimpeded) 항공기에 대한 VTT를 예측하는 방법을 제안하였다. 먼저 노드링크 모델(node-link model)을 이용하여 항적 데이터의 경로를 재구성하였으며[4], 출/도착, 직선/곡선 구간, 항공기 기종을 고려하여 각각에 대한 다항 회귀 모형(polynomial regression)을 구축하였다. 기존 연구[4]는 링크(link)별로 회귀 모형을 구축하였기 때문에 데이터가 부족한 링크 혹은 기종 등에 대해서는 낮은 예측 성능을 보였다. 반면 본 연구에서는 특정 링크에 한하지 않고 이동 구간의 전면적인 특성을 고려하여 예측 모형을 수립함으로써 데이터가 부족한 경우에도 비슷한 성질을 보이는 다른 구간의 데이터를 활용할 수 있게 하였다. 인천국제공항 항적 데이터를 이용하여 예측 모형을 구축하였으며, 예측 모형을 통해 항공기 지상 이동 속도를 구간별로 추정함으로써 항공기의 VTT를 예측하였다. 또한 실 항적 데이터를 이용하여 제안된 모형의 예측 성능을 검증하였다.

본 논문의 2장에서는 본 연구에서 기반을 두고 있는 DMAN의 전반적인 출발 스케줄링 개념에 대해 간략히 소개하였으며, 3장에서는 제안하고 있는 VTT 예측 알고리즘에 대하여 설명하였다. 4장에서는 실제 항적 데이터를 적용하여 제안된 알고리즘의 성능을 검증한 결과를 제시하고, 5장에서는 결론과 향후 연구에 대하여 논의하였다.

II. 출발관리기법 및 시스템

출발관리기법 및 시스템은 공항 지상 교통 및 이착륙의 원활한 흐름을 위한 출발 항공기들의 적절한 이륙 순서 및 시각을 산출하며, 이를 만족하기 위한 주기장 출발 시각을 조언 정보로 제공한다. 본 연구에서는 이러한 결과를 얻기 위한 스케줄링 과정으로 Fig. 1과 같은 3-step approach를 가정하였다[5]. 우선 항공사로부터 항공기별 게이트 출발 가능 시각(TOBT, Target Off-Block Time)을 입력받는다. 이러한 TOBT 시각과 활주로까지 이동하는데 소요되는 시간인 항공기 VTT를 고려하여 항공기별로 활주로에 도착하는 시각을 산출한다. 이를 바탕으로 활주로 분리 간격 등을 고려하여 항공기들의 적절한

이륙 순서 및 시각을 결정한다. 이렇게 결정된 목표 이륙 시각(TTOT, Target Take-Off Time)은 다시 항공기의 VTT를 더욱 정확하게 예측/결정하는 항공기 지상 이동 스케줄링 과정을 거쳐 목표하는 주기장 출발 시각(TSAT, Target Start-Up Approval Time)을 산출하는 데 활용된다[5]. 최종적으로는 항공교통관제사에게 TSAT 정보를 조언 정보로 제공함으로써 최적의 출발 스케줄링 결과를 준수할 수 있도록 한다.

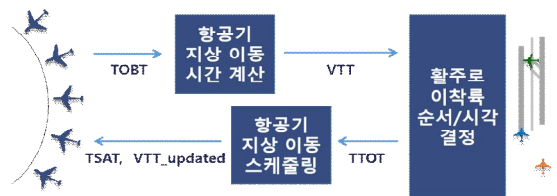


Fig 1. The Concept of Departure Manager

III. VTT 예측 알고리즘

3.1 지상 항적 데이터

제안된 예측 모형을 구축하고 검증하기 위하여 인천공항에서 획득한 1개월(2015년 4월)의 실 운용 지상 항적 데이터를 사용하였다. 지상 항적 데이터는 Airport Surveillance Detection Equipment (ASDE)로부터 획득하였는데, 여기에는 항공기의 편명, 기종, 출발/목적 공항, 이/착륙 시각, 시간에 따른 항공기의 위치 및 속도 정보 등이 포함되어 있다. 공항 지상을 이동하는 항공기는 종종 다른 항공기에 의하여 감속하거나 정지한다. 본 논문에서는 항공기의 지상 이동 중 타 항공기에 의해 방해받지 않는 경우의 VTT를 예측하고자 하므로, 이러한 항공기(unimpeded traffic)만을 추출하여 예측 모형을 수립하였다. 이때 간섭을 받지 않는다고 가정하는 조건은 해당 항공기가 지상을 이동하는 전 구간 동안 속력을 2m/s 이상으로 유지하는 것이다.

3.2 노드-링크 모델

논문에서 사용된 노드링크 모델이란 공항 지상 표면에서 항공기가 이동하는 영역을 노드와

링크를 이용하여 표현한 네트워크 모형이다. 노드란 공항 지상의 주요한 지점들을 의미하며, 노드와 노드를 연결하는 선을 링크라고 한다. 노드 및 링크는 용도나 특징에 따라 여러 종류로 나뉘며, 이를 색으로 구분하여 나타낸 인천공항의 노드링크 모델은 Fig. 2와 같다[6].

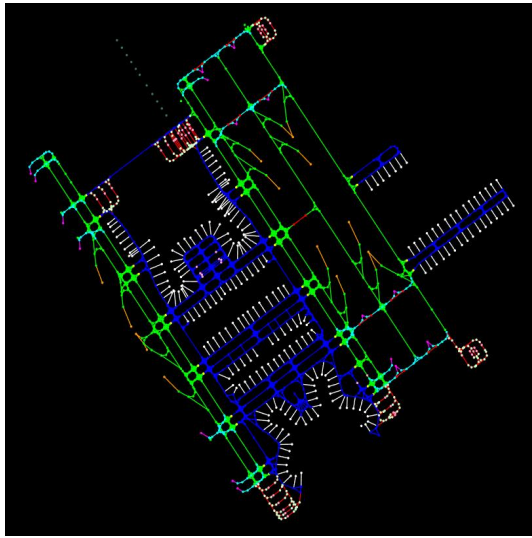


Fig 2. Node-Link Model of Incheon International Airport

3.3 VTT 예측 모형

본 논문에서 제안된 VTT 예측 알고리즘은 Fig. 3과 같이 학습 단계와 예측 단계로 구분된다. 학습 단계에서는 ASDE 항적 데이터와 노드링크 모델을 이용하여 항공기 지상 이동 속도/거리, 선회 시 선회각도 등을 추출한 후, 이러한 데이터의 관계를 가장 잘 표현하는 모형식을 다항 회귀 분석 기법을 통하여 구축한다. 예측 단계에서는 학습 단계에서 구축한 예측 모형에 항공기의 예상 경로와 기종을 입력 변수로 넣어 구간별 항공기의 평균 속도를 구하며, 이 속도 정보를 활용하여 최종적으로 항공기의 VTT를 예측한다. 이때 제안된 모형은 항공기의 속도에 영향을 미치는 요인으로 항공기 기종, 경로가 직선인지 곡선인지의 여부 등을 고려하였다. VTT는 통상 stand에서부터 활주로까지의 전체 지상 이동 시간을 의미하나, 본 예측 모형에서의 VTT는 항

공기가 pushback을 완료한 후 지상 이동(taxi)을 시작하는 시점부터 활주로에 정대(line-up)할 때까지 소요되는 시간으로 제한하였다.

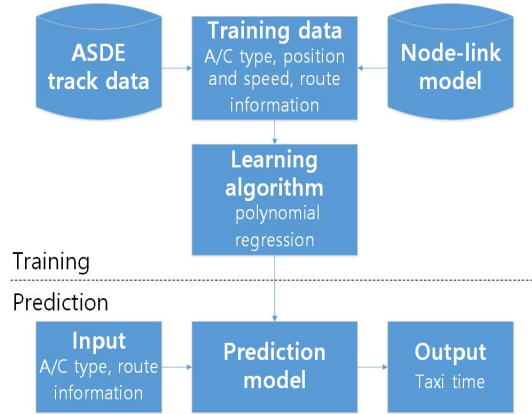


Fig 3. The Schematic Overview of Taxi Time Prediction Algorithm

3.3.1 학습 단계

Fig. 4는 임의의 항공기에 대한 ASDE 항적 데이터의 위치 정보를 노드링크 모델 상에 나타낸 것이다. 빨간색 점은 항공기의 실제 위치를 나타내며, 이를 노드링크 모델을 통해 재구성하였을 때의 경로는 노란색 점과 같다[7]. 실제 항공기의 지상 이동 속도는 직선 구간을 이동할 때와 곡선 구간을 이동할 때 달라진다. 이러한 특징에 착안하여 연속된 노드의 형태로 이루어진 항공기 이동 경로 중 일부를 Fig. 4와 같이 직선 구간(straight segment)과 곡선 구간(turn segment)으로 분류하는 선처리 과정을 거친다. Table. 1은 예측 모형에 대한 입출력 변수를 나타내며, 구간의 종류에 따라 각기 다른 입력 변수를 사용하는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 이전 구간의 평균 이동 속도가 현재 구간에서의 지상 이동 속도에 직접적인 영향을 끼친다는 점에 착안하였다. 따라서 이전 구간의 평균 이동 속도를 현재 구간에서의 이동 속도를 구하기 위한 입력 변수로 고려하였으며, 이 변수의 사용으로 항공기의 예상 이동 경로에 따라 구간별 평균 이동 속도를 연쇄적으로 구하게 된다.

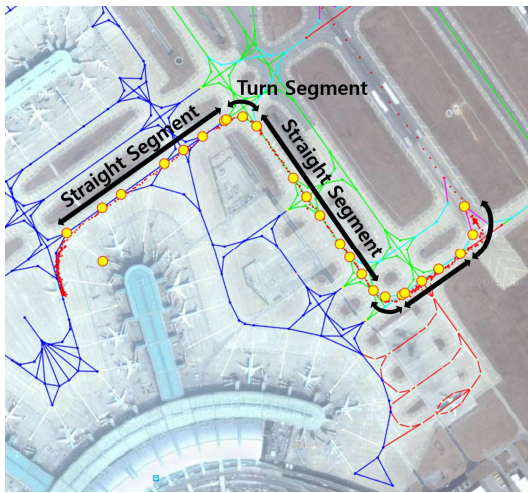


Fig 4. The Example of Matching ASDE Track Data with Node-Link Model

Table 1. Input and Output Variables of the Prediction Model

	직선 구간	곡선 구간
입력 변수	이전 구간의 평균 이동 속도(v_{i-1})	
	구간의 길이(d_i)	구간의 선회각(h_i)
출력 변수	구간의 평균 지상 이동 속도(v_i)	

출력 변수에 영향을 미치는 출발/도착 여부, 직선/곡선 구간 여부 및 항공기 등급은 각각에 대한 별도의 모형을 구축하는 것으로 통제하였다. 출발/도착 여부는 항공기가 인천 공항에서 이륙하는 출발 항공기인지, 인천공항 활주로에 착륙하는 도착 항공기인지를 의미한다. 항공기 등급이란 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서 제시한 후류요란 카테고리(WTC, Wake Turbulence Category)에 따라 Light (L), Medium (M), Heavy (H), Super Heavy 또는 Jumbo (J)의 네 가지로 분류된 등급을 의미한다[8]. 그러나 인천공항에서 운항하는 대부분의 항공기는 M등급 및 H등급의 항공기로, 본 연구에서는 해당 등급의 항공기만을 고려하였다.

주어진 입출력 변수의 관계를 가장 잘 표현하는 모형을 수립하기 위해서 다항 회귀 분석 모델을 사용하였다. 입력 변수를 X , 출력 변수를

Y 라고 할 때, 다항 회귀 모형식은 식(1)과 같이 표현된다.

$$Y = X^T \theta \quad (1)$$

여기서 Y , X , θ 는 식(2)와 같으며, 모형을 결정하는 계수(parameter)를 의미하는 θ 값은 식(3)과 같이 추정할 수 있다.

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_1(1) & x_1(2) & \cdots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \cdots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & \cdots & x_m(n) \end{bmatrix}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_m \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

3.3.2 예측 단계

항공기의 경로와 기종이 주어졌을 때, VTT를 예측하기 위해서는 학습 단계의 전처리과정을 동일하게 거쳐야 한다. 항공기의 예상 경로를 Fig. 4와 같이 직선/곡선 구간으로 분류한 후, 구간의 종류에 따라 Table. 1에 해당하는 입출력 변수를 산출한다. 출/도착, 직선/곡선 구간 및 항공기 등급을 고려하여 예측 모형을 선택한 후 입력 변수를 해당 예측 모형에 대입하면 i 번째 구간에 대한 평균 이동 속도 v_i 가 출력된다. i 번째 구간의 길이 d_i 를 추정된 이동 속도인 v_i 로 나눔으로써 구간별 이동 시간이 산출되며, 식(4)와 같이 모든 구간에 대한 이동 시간을 합하여 항공기의 VTT를 예측할 수 있다.

$$VTT = \sum_i d_i / v_i \quad (4)$$

IV. 결 과

제안된 방법을 ASDE 항적 데이터에 적용하여 인천공항에서 지상 이동하는 항공기에 대한 VTT 예측을 수행하였다. 앞서 설명한 바와 같이 지상 이동 구간의 속력이 2m/s 이상으로 유지된 unimpeded traffic만을 예측에 적용하였으며, 1개월(2015년 4월)의 ASDE 데이터 중 해당하는 출발 항공편은 1,197대, 도착 항공편은 4,143대로 확인되었다. 타 항공기의 간섭을 받지 않은 도착 항공편의 대수가 동일한 조건의 출발 항공편의 대수보다 3배 이상 많은 것을 알 수 있는데, 이는 출발 항공기와 도착 항공기에 대한 활주로 이착륙 분리 여부 및 지상 이동 우선권 등에서 기인하는 것으로 추정된다. 도착 항공기는 활주로 분리 기준으로 인하여 이전 공역에서 사전에 항공기간 분리 간격이 확보되어 공항에 착륙하며, 출발 항공기보다 지상 이동에 대한 우선권을 가지고 있으므로 다른 항공기의 간섭을 받을 확률이 상대적으로 낮기 때문이다. 이에 반해, 출발 항공기는 이륙 순서 및 활주로 분리 간격에 대한 세밀한 예측 및 계획 없이 지상 이동을 시작하며, 활주로에서의 이륙 분리 기준을 충족시키기 위하여 활주로 대기열(departure queue)을 형성하는 상황이 종종 발생한다.

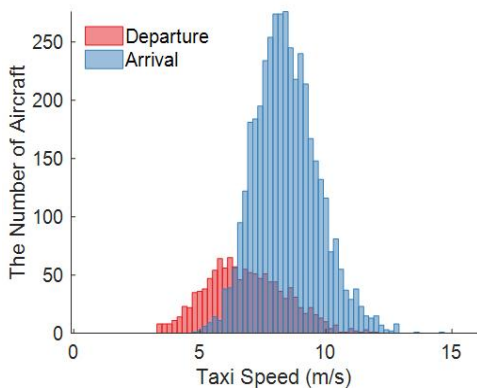


Fig 5. The Comparison of the Taxi Speed for Departures and Arrivals

Fig. 5는 인천공항 항적 데이터를 바탕으로 산출한 출발 및 도착 항공기에 대한 평균 지상

이동 속도의 분포를 나타내고 있다. 출발 항공기의 평균 지상 이동 속도는 6.83m/s인데 반해, 도착 항공기의 속도는 8.45m/s로 분석되었다. Table. 2는 동일 데이터를 바탕으로 산출한 ICAO WTC 등급에 따른 평균 지상 이동 속도를 의미한다. H등급 항공기는 M등급의 항공기보다 출/도착 모두 지상 이동 속도가 더 낮은 것을 확인할 수 있다.

Table 2. The Comparison of the Taxi Speed according to the ICAO Wake Turbulence Category

(unit: m/s)		
Dep/Arr WTC	Departure	Arrival
M	7.15	8.54
H	6.61	8.29

항공기의 지상 이동 속도는 출/도착 여부, 항공기의 WTC 등급뿐만 아니라 지상 이동 구간의 종류에 의해서도 영향을 받는다. Fig. 6은 출발 항공기가 공항 지상에서 직선 구간과 곡선 구간을 이동할 때의 속도를 보여주고 있다. Table. 3과 같이 직선 구간 이동 시의 속도는 7.83m/s 정도로, 곡선 구간의 평균 속도보다 3.06m/s 가량 높다. 마찬가지로 Fig. 7은 도착 항공기에 대한 구간별 속도 분포를 나타내며, 직선 구간과 곡선 구간의 평균 이동 속도가 다름을 알 수 있다. 도착 항공기의 경우에는 직선/곡선 구간 외에도 고속 탈출 유도로(rapid exit taxiway)¹⁾ 구간이 추가로 설정되었다. Table. 3에 나타난 바와 같이 고속 탈출 유도로에서의 평균 지상 이동 속도는 11.85m/s이며, Fig. 7에서 이 구간의 속도 분포 또한 다른 구간에서의 분포와 상이하므로 별도의 구간으로 분리하였다.

1) 고속 탈출 유도로란 활주로에 착륙한 항공기가 다른 유도로보다 높은 속도로 활주로를 이탈할 수 있도록 설정된 유도로이다.

Table 3. The Mean Taxi Speed according to the Segment Type of the Taxi Route

(unit: m/s)

Dep/Arr Segment	Departure	Arrival
Straight	7.83	8.42
Turn	4.77	6.66
Rapid Exit	-	11.85

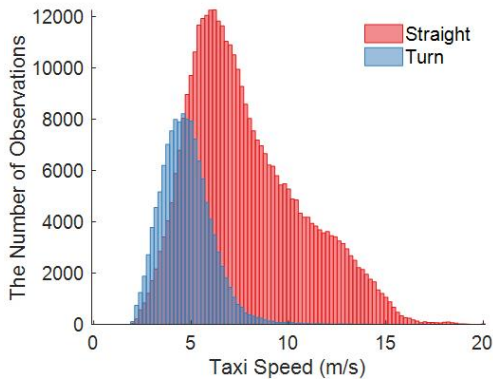


Fig 6. The Taxi Speed of the Straight and Turn Segment for Departures

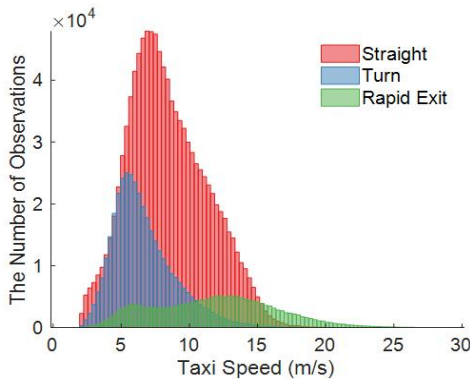


Fig 7. The Taxi Speed of the Straight, Turn and Rapid Exit Segment for Arrivals

이와 같이 다양한 요인들이 항공기의 지상 이동 속도에 영향을 미치며, 이러한 특성을 고려하여 Table. 4와 같이 예측 모형을 분류하였다. 출발 및 도착 항공기에 대하여 직선/곡선 구간 및 항공기 WTC 등급에 따라 회귀식의 계수 θ 가 달리 설정되었다. 추출된 항적 데이터를 이

러한 구분에 따라 분류한 뒤, Table. 1에 나타난 바와 같이 각 구간에 따른 입출력 변수를 추출하였다. 고속탈출 유도구간에 해당하는 입출력 변수는 곡선 구간에서의 변수와 동일하게 사용하였다. Table. 4에 나타난 바와 같이 총 10개의 예측 모형을 수립하고 추출된 데이터를 이용하여 각각의 예측 모형을 학습시켰다.

Table 4. The Classification of the Prediction Model Considering Control Variables

구분		M등급	H등급
출발 (Dep)	직선(St)	$\hat{\theta}_{Dep, St, M}$	$\hat{\theta}_{Dep, St, H}$
	곡선(Tn)	$\hat{\theta}_{Dep, Tn, M}$	$\hat{\theta}_{Dep, Tn, H}$
도착 (Arr)	직선(St)	$\hat{\theta}_{Arr, St, M}$	$\hat{\theta}_{Arr, St, H}$
	곡선(Tn)	$\hat{\theta}_{Arr, Tn, M}$	$\hat{\theta}_{Arr, Tn, H}$
	고속탈출 유도구(Rp)	$\hat{\theta}_{Arr, Rp, M}$	$\hat{\theta}_{Arr, Rp, H}$

Fig. 8은 Table. 1에 제시된 직선 구간의 입출력 변수에 따른 관측치와 이에 대한 다항 회귀 모형의 예시이다. 관측 데이터는 점으로 나타내었으며, 이러한 관측 데이터를 가장 잘 표현하는 모형식은 곡면으로 나타나 있다. 입력 변수 중 하나로 이전 구간의 평균 이동 속도 v_{i-1} 를 사용하였기 때문에 첫 번째 구간부터 연속적으로 다음 구간의 평균 이동 속도를 구한다. 이때 첫 번째 구간에서의 이동 속도를 예측할 때 필요한 입력 변수인 v_0 는 모든 항공기의 지상 이동 시작 속도에 대한 평균값을 사용하였다.

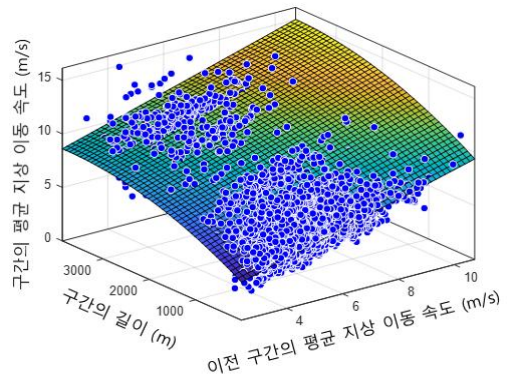


Fig 8. Sample Prediction Model

Table. 5에는 Fig. 4에서 제시된 경로의 VTT를 예측한 결과가 나타나 있다. 주어진 경로에 대하여 직선 및 곡선 구간으로 분류한 후, 노드링크 모델을 통하여 해당 구간에 대한 거리 및 선회각 정보를 구한다. 항공기 기종이 M등급이라고 가정하였을 때, 첫 번째 구간은 직선 구간이므로 해당 구간의 거리 정보와 초기 평균 지상 이동 속도인 v_0 를 예측 모형($\hat{\theta}_{Dep, St, M}$)에 대입하여 첫 번째 구간에 대한 평균 지상 이동 속도를 5.53m/s로 추정할 수 있다. 마찬가지로 두 번째 구간의 지상 이동 속도는 첫 번째 구간에서의 예측된 평균 속도와 두 번째 구간의 선회각을 예측 모형($\hat{\theta}_{Dep, Th, M}$)에 대입함으로써 얻을 수 있다. 이러한 과정은 경로의 구간이 끝날 때까지 반복된다. 식(4)를 통하여 구간별 평균 지상 이동 시간과 이에 따른 총 지상 이동 시간(VTT)을 산출할 수 있으며, 가정된 M 등급 항공기에 대해 Fig. 4에 주어진 경로의 VTT는 4분 2초이다.

Table 5. The Example of the Aircraft Taxi Time Prediction

구간	거리 (m)	선회각 (°)	평균 지상 이동 속도 (m/s)	평균 지상 이동 시간 (sec)
S	479.6	0	5.53	86.7
T	81.9	90	5.25	15.6
S	494.8	0	6.72	73.6
T	74.3	90	5.48	13.6
S	175.0	0	6.10	28.7
T	129.1	90	5.36	24.1
VTT				242.2

VTT 예측 성능을 검증하기 위하여 Monte Carlo 교차 검증을 수행하였다. 10세트의 테스트용 데이터를 수집하여 각 세트에 대한 예측 오차 결과를 평균한 값은 Table. 6과 같다. 출발 및 도착 항공편을 분류하여 예측 오차를 계산하였으며, 예측 오차는 VTT의 실제값과 예측값의 차이로 정의하였다. 출발 및 도착 항공기에 대한 평균 제곱근 오차(RMSE, Root Mean Square Error)는 각각 64초 및 59초이다. 출발 및 도착항공기 모두에 대하여 예측 오차의 절댓값이 1분 이내인 경우는 80% 이상, 2분 이내인 경우는 95% 이상이었다.

Table 6. Taxi Time Prediction Accuracy

	출발	도착
평균제곱근 오차(초)	63.9	59.4
±1분 이내 오차 비율(%)	81.3	85.0
±2분 이내 오차 비율(%)	96.5	96.7
±3분 이내 오차 비율(%)	98.5	99.6

V. 결 론

본 연구에서는 항공기 출발 관리에 요구되는 VTT 예측 알고리즘을 개발하였다. 예측하고자 하는 VTT는 타 항공기에 의한 간섭 없이 항공기가 공항 지상면을 이동할 때 소요되는 시간이며, 이를 위해 인천공항 ASDE 항적 데이터를 이용하여 다항 회귀 예측 모델을 수립하고 검증하였다. 예측 모형을 수립할 때 지상 이동 경로를 직선 및 곡선 구간으로 세분화하여 구간에 따른 입력 변수 설정을 달리 하였다. 또한 입력 변수로 이전 구간의 평균 이동 속도를 사용함으로써 첫 번째 구간부터 연속적으로 구간별 지상 이동 속도를 산출하였다. 이후 구간별 이동 거리를 예측 모형에서 추정된 구간별 지상 이동 속도로 나눔으로써 항공기의 VTT를 예측하였다.

향후에는 본 연구를 바탕으로 지상 이동 중인 항공기에 대한 잔여 VTT 예측을 연구할 예정이다. 이때 지상 항적 데이터를 실시간으로 수신하여 현재 항공기의 위치, 지상 이동 속도 등을 추가로 고려할 수 있고 이를 예측 모형에 대한 입력 변수로 반영함으로써 예측 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다. 또한 유도로 혼잡, 활주로 대기열 등과 같은 타 항공기와의 간섭을 고려한 예측 모델에 대해서도 연구할 예정이다.

후 기

본 논문은 2018 한국항공운항학회 춘계학술대회 발표 논문을 수정 보완한 논문임.

본 연구는 국토교통부 연구과제인 ‘항공기 출발 및 도착 통합 관리 기술 연구’에 의해 연구비 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Chester, G., "Kinematic Airport Surface Trajectory Model Development," The AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Reston, 2009.
- [2] Stefan, R., Jun, C., Jason, A., Paul, S., and Edmund, K., "Aircraft taxi time prediction: comparisons and insights," Applied Soft Computing, 2014, pp. 397~406.
- [3] Ioannis, S., and Hamsa, B., "A Queuing Model of the Airport Departure Process," Transportation Science, 2015.
- [4] Jeong, M., Hong, S., Eun, Y., and Jeon, D., "Aircraft Taxi Time Prediction based on Node-Link Model," The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Seoul, 2016.
- [5] Eun, Y., Jeon, D., Lee, H., Jung, Y., Zhifan, Z., Jeong, M., Kim, H., Oh, and E., Hong, S., "Optimization of Airport Surface Traffic : A Case-study of Incheon International Airport," The American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2017.
- [6] Jeong, M., Lee, J., Eun, Y., and Jeon, D., "Node-Link Model Generation of Incheon International Airport," The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Seoul, 2015.
- [7] Jeong, M., Eun, Y., Kim, H., and Jeon, D., "A Study on Taxi Route Extraction Based on a Node-Link Model for Aircraft Movements on Airport Surface," Journal of the Korean Society for Aeronautical and Aeronautics, Vol.25, No.3, 2017, pp. 51~60.
- [8] International Civil Aviation Organization, "Procedures for Air Navigation Services-Air Traffic Management," Doc 4444, ATM/501, 2015.