

# 항공교통관리에서 시간에 민감한 항공운송을 위한 동적 항로탐색 알고리즘

## A Dynamic Route Search Algorithm for Time-Sensitive Air Cargo in Air Traffic Management

조태환\*, 김강희\*, 최상방\*

Tae-Hwan Cho\*, Kang-Hee Kim\*, and Sang-Bang Choi\*

### 요 약

항공교통관리란 항공교통흐름을 안전하고 신속하며, 질서 있게 소통시키는 것이다. 효율적인 항공교통관리를 위해서는 비행계획 및 비행정보를 이용하여 항공기의 경로 및 거리를 최대한 신속하고 정확하게 탐색하는 능력이 필요하다. 특히 시간에 민감한 항공운송에 있어서 효율적인 항공교통흐름 관리는 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 웨이포인트 및 항로를 네트워크화 하여 최적의 항로를 동적으로 탐색할 수 있는 동적 항로탐색 알고리즘을 제안한다. 기존의 방식은 정적 알고리즘인 다익스트라 알고리즘을 이용하는 방법으로 일부의 항로가 기상 등의 이유로 폐쇄되었을 때 전체 항로를 다시 계산하는 문제점이 있었다. 동적 항로탐색 알고리즘은 항로의 가중치가 변경되었을 때, 해당 항로와 관련이 있는 부분만 재계산하기 때문에 기존의 방법에 비해 신속하고 정확하게 최적의 항로를 찾을 수 있다. 성능비교 결과, 동적 항로탐색 알고리즘이 기존의 방법에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다.

### Abstract

Air Traffic Management(ATM) is to control air traffic flow quickly and safely. For efficient ATM, the ability which calculate optimal route using flight plan and flight information is required. Especially for the time-sensitive air cargo, it is essential. In this paper, therefore, we present a dynamic route search algorithm which calculate optimal route dynamically. The conventional method using Dijkstra algorithm has a problem that recalculate the entire route when some airways are closed. However, the proposed algorithm recalculates only affected waypoints, so it finds optimal route quickly and accurately. Comparisons with the conventional method and the proposed algorithm show that the proposed algorithm provides better.

Key words : Air cargo, Time-sensitive, Dynamic routing, Dijkstra, Air Traffic Management

### I. 서 론

2000년대 초반 국제 유가의 변동은 세계 항공 시

장에도 심각한 영향을 끼쳐, 항공 수요의 급감과 운  
영비용의 증가를 가져왔으나 2009년 하반기 세계 항  
공 물류 및 승객 수송의 회복으로 다시 반등을 보이

\* 인하대학교 전자공학과(Electronic Eng. Inha University)

· 제1저자 (First Author) : 조태환

· 투고일자 : 2012년 9월 28일

· 심사(수정)일자 : 2012년 9월 28일 (수정일자 : 2012년 10월 22일)

· 게재일자 : 2012년 10월 30일

고 있으며, 장기적으로 지속적인 항공기 수요의 증가가 이어질 것으로 예상된다. 또한 이러한 수요는 아시아, 아프리카 등의 신흥시장의 성장에 힘입어 더욱 가속화될 것으로 기대된다[1].

이렇게 늘어나는 여객 수요를 감당하기 위해 효율적인 항공교통관리는 필수적이다. 항공교통관리란 항공기를 안전하게 목적지까지 유도하여 착륙시키는 것 뿐만 아니라 공역관리, 항공교통업무, 항공교통흐름 관리 등을 포함하는 개념이다[2]. 최근의 항공교통관리는 효율적인 관제로 항공기의 사고를 줄이는 것 외에도 효율적인 항공기 운항으로 항공기 연료소모와 항공기 이착륙 지연시간을 줄이는 항공교통흐름 관리에 많이 집중되고 있다.

이러한 항공교통흐름 관리는 전 국가공역 내의 항공교통량과 운영상황을 종합적으로 파악하여 특정 공역 및 공항의 교통량의 밀도를 사전에 파악하고, 항공기 이륙시간을 조정하는 등 여러 수단을 활용하여 항공교통흐름을 관리하는 것을 의미한다. 즉, 항공교통량이 항공교통관제 시스템의 적정 수용량을 초과하거나, 초과할 것으로 예상되는 시간 대의 지역을 통과 또는 도착, 출발하는 항공교통의 흐름을 가장 적절한 수준으로 유지하기 위한 것이다. 이렇게 항공교통흐름을 안전하고 신속하며, 질서 있게 소통시키는 것이 항공교통흐름 관리의 주된 목적이다.

따라서 본 논문에서는 효율적인 항공교통관리를 위하여 비행계획 및 비행정보를 이용하여 항공기의 경로 및 거리를 최대한 신속하고 정확하게 탐색하는 동적 항로탐색 알고리즘을 제안한다. 특히 이런 항로탐색 알고리즘은 시간에 민감한 항공운송에 있어서 더욱 중요하다[3]. 시간에 민감한 항공운송을 위한 동적 항로탐색 알고리즘은 먼저 모든 항로를 네트워크화 한다. 그러면 각 웨이포인트는 노드로, 각 항로는 노드 간의 링크로 네트워크화 된다. 그리고 거리계산 알고리즘과 최단경로 설정 알고리즘을 통해 시간에 민감한 항공운송을 위한 최적의 항로가 결정된다. 이 과정에서 실시간 기상정보 및 NOTAM 정보 등을 활용한 동적 항로탐색이 지속적으로 이루어진다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련 연구로 동적 항로탐색 알고리즘을 위한 기본적

인 이론에 대해 설명하고, 3장에서는 제안된 동적 항로탐색 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 분석을, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 성과와 앞으로의 연구 과제를 제시하며 본 논문을 마무리한다.

## II. 관련연구

### 2-1 거리계산 알고리즘

거리계산에 주로 사용되는 방법은 Great circle method, Vincenty's formula, Lambert projection 등 크게 3가지가 있다[4-6]. Great circle method는 지구를 완전한 구로 가정하고 거리를 계산하는 방법이고, Vincenty's formula는 지구를 타원으로 가정하고 거리를 계산하는 방법이다. 이에 반해 Lambert projection은 지구를 한 개의 평판으로 가정하고 계산하는 방법이다. 각 방법은 시뮬레이션 결과 모두 실제거리와 유사한 계산결과를 보였다. 그러나 Great circle method는 지구를 완전한 구로 가정하였기 때문에 다른 두 방법에 비해 오차가 비교적 컸다.

### 2-2 WGS-84 좌표계

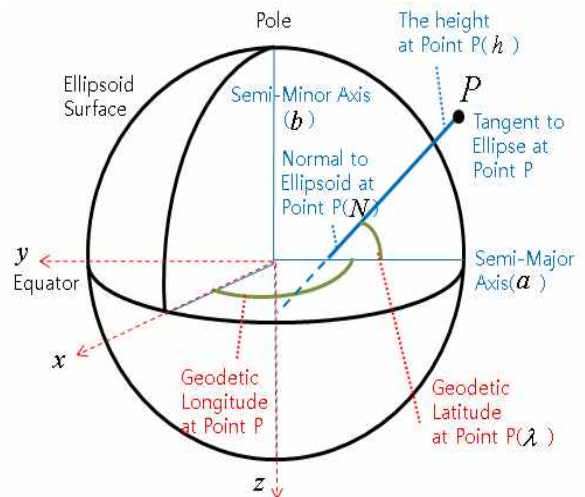


그림 1. WGS-84 좌표계  
Fig. 1. WGS-84 coordinate system

WGS-84는 World Geodetic System 1984의 약어로,

지도, 차트, 측지 목적으로 미국 국방성에서 개발한 지구 중심좌표계이다. 세계측지체계로 불리는 지심 좌표체계는 지구에 대한 기본적인 기준모형과 기하학적인 모양을 나타내고 지구를 중심력에 의해 모형화된다. 현재까지 사용된 WGS 좌표체계는 WGS-60, WGS-66, WGS-72, WGS-84 등이 있으며, WGS-84 좌표계는 1986년 이후 사용되는 것으로 WGS-72 좌표를 보완, 대체한 좌표체계이다[7]. 그림 1은 WGS-84 좌표계를 나타내며, 표 1은 WGS-84의 파라미터 값이다.

표 1. WGS-84 파라미터  
Table 1. WGS-84 parameters

파라미터 값	내 용
$a = 6378137 \text{ m}$	타원체의 반장축
$f = 1/298.257$	타원체의 평탄도
$\omega_E = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rads}^{-1}$	지구의 각속도
$\mu = 3986005 \times 10^8 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$	지구의 중력상수

2-3 최단거리 선정 알고리즘

최단거리 선정에 가장 많이 사용되는 알고리즘은 다익스트라 알고리즘이다. 그러나 다익스트라 알고리즘은 네트워크 토폴로지 중 일부 링크의 가중치만 바뀌어도 다시 처음부터 모든 최단경로를 계산하기 때문에 최단거리 계산 시간이 많이 소요된다[8]. 항공 네트워크를 예로 들면, 악기상으로 인해 일부 항로가 폐쇄가 되거나 항공 수용량 포화로 인해 해당 항로를 이용할 수 없는 경우 목적지까지의 항로를 다시 계산해야 하는데 이 때, 다익스트라 알고리즘은 기존의 항로 정보를 사용하지 않고 모든 항로를 고려한 계산을 처음부터 수행하기 때문에 매우 비효율적이다. 다익스트라 알고리즘은 네트워크의 링크가 하나만 다른 가중치로 변경되더라도 새롭게 계산을 하는 정적 알고리즘이기 때문이다.

이런 정적 알고리즘의 문제점을 극복하려는 노력으로, 지난 몇 년 간 다양한 동적 알고리즘에 연구되었다. 라말링감 (Ramalingam)과 램스 (Reps)는 링크의 삭제와 추가가 가능한 알고리즘을 제안하였고[9], 프

리지오니 (Frigioni) 등은 링크의 삭제, 추가 뿐만 아니라 가중치 변경에도 사용 가능한 알고리즘을 제안하였다[10]. 나바예스 (Narvaez) 등은 볼 스트링에 기초를 둔 알고리즘을 제시했는데, 이 알고리즘은 문자열의 길이가 증가 또는 감소되었을 때, 영향을 받은 볼이 최적의 위치에 자신을 재배열하는 방법을 통해 가장 경제적인 방법으로 최단경로를 계산하게 된다 [11]. 이런 동적 알고리즘을 항공 네트워크에 활용하면 항로탐색에 소요되는 시간을 최소화할 수 있다.

III. 동적 항로탐색 알고리즘

3-1 항로의 네트워크화

동적 항로탐색 알고리즘을 적용하기 위해서 항로의 네트워크화는 필수적이다. 항로를 네트워크화하기 위해서 각 웨이포인트는 네트워크의 노드로, 항로는 각 노드간의 링크로 표현한다. 그림 2는 네트워크화된 웨이포인트 및 항로를 나타낸다. 각 웨이포인트는 편의상 알파벳으로 표현하였고, 각 항로는 가중치를 가지고 있다. 이 가중치는 노드간의 거리, 기상, NOTAM 등 실시간 비행정보에 의해 달라진다. 또한 굵은 선은 각 웨이포인트로 갈 수 있는 최적의 경로를 나타낸 것이며, 노드 안의 숫자는 출발지부터 해당 노드까지의 가중치를 모두 합한 값이다. 즉 이 값이 최소화되는 항로를 선택해야만 하는 것이다.

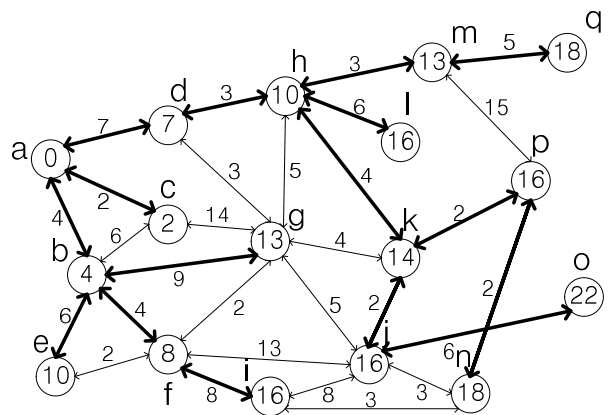


그림 2. 항로의 네트워크화  
Fig. 2. Networked airways

예를 들어 그림 2에서 노드 a가 출발지, 노드 m이 도착지라고 가정하면 최적의 항로는  $a \rightarrow d \rightarrow h \rightarrow m$ 이 될 것이다. 만약 노드 d와 노드 h 사이의 항로가 악기상으로 폐쇄되었다면, 동적 항로탐색 알고리즘은 해당 항로의 가중치를  $\infty$ 로 변경하고, 최적의 항로를 다시 계산할 것이다. 이 때 최적의 항로는  $a \rightarrow d \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow m$ 이 될 것이다.

3-2 Vincenty' s inverse formula

본 논문에서 제안하는 동적 항로탐색 알고리즘에는 Vincenty's formula를 사용하였다. 특히, Vincenty's formula를 적용하는 방법에는 두 가지가 있는데 Vincenty's inverse formula와 Vincenty's direct formula가 그것이다. Vincenty's inverse formula는 두 지점의 위도와 경도가 주어졌을 때 두 지점의 방위각과 거리를 얻을 수 있는 방법이고, Vincenty's direct formula는 초기 위치에서의 위도와 경도, 두 번째 위치로의 거리와 방위각이 주어졌을 때 두 번째 위치의 위도와 경도를 얻을 수 있는 방법이다. 동적 항로탐색 알고리즘에서는 두 지점 사이의 거리를 얻어야 하므로 Vincenty's inverse formula를 적용한다. Vincenty's inverse formula의 주요 수식은 참고문헌 [5]에 자세하게 나타나 있다.

3-3 P-DSPT 알고리즘

본 논문에서 제안하는 동적 항로탐색 알고리즘에는 P-DSPT (Precise-Dynamic Shortest Path Tree) 알고리즘을 사용한다. P-DSPT 알고리즘은 DSPT (Dynamic Shortest Path Tree) 알고리즘을 보완한 알고리즘으로 DSPT 알고리즘 보다 신뢰성 있는 최단경로를 설정할 수 있다[12]. P-DSPT 알고리즘의 의사코드는 그림 3과 같다. 여기서 들어오는 링크 (Incoming links)는 변경된 가중치의 영향을 받은 노드의 자식 노드들로 들어오는 링크이며, 내부 노드 (Inner nodes)는 변경된 가중치를 갖는 링크의 자식 노드들을 의미한다. 마찬가지로 링크는 항로를, 노드는 웨이포인트를 네트워크 토폴로지에 맞게 변경한 용어로 이해하면 된다.  $des(e)$ 는 목적지 노드,  $D(i)$ 는 거리를 의미한다.

전체적인 알고리즘의 흐름을 살펴보면, 먼저 Step 1에서 다익스트라 알고리즘을 이용해 얻은 전체적인 최적 경로를 확인한다. 이 부분이 P-DSPT 알고리즘의 주요 특징이며, 기존의 최적 경로를 활용하여 새로운 최적 경로를 계산한다는 것을 알 수 있다. Step 2, 3, 4를 거치면서 새로 계산해야 하는 부분을 설정하고, Step 5, 6에서 새로운 최적 경로를 얻게 된다. 마지막으로 Step 7의 들어오는 링크의 확인과정을 거치면서 최적의 항로를 찾아낸다.

P-DSPT 알고리즘은 최초 1회 수행시 다익스트라 알고리즘을 사용하지만 실시간 기상, NOTAM, 항공 수용량 등에 의해 항로의 가중치가 변경되면 해당 노드를 찾아 그 노드의 자식 노드들만 새롭게 계산하기 때문에 항로를 재계산하는 시간을 단축할 수 있게 된다. 만약 이 과정에서 정적 알고리즘인 다익스트라 알고리즘을 사용하게 되면 항로의 가중치가 변경될 때마다 전체 노드들을 다시 계산하게 되어 많은 계산 시간이 소요된다.

```

// P-DSPT Algorithm
Begin

Step 1 :  $G=(V, E) \rightarrow SPT$  // using Dijkstra algorithm
Step 2 : initialization  $des(e)$  are updated following the sequence of DFS from node  $e$  in  $SPT$ 
Step 3 :  $min\_inc = MIN\{D(i) + w(e) - D(j)\}$ 
Step 4 : for  $Q = \phi$  do
            $\{e, min\_inc\} \leftarrow Extract(Q)$ ,  $P(j) = i$ 
           endfor
           // all descendants of  $e$  updated
Step 5 : Remove edges from  $Q$  which have end nodes belonging to  $des(e)$ 
           update the old information in  $Q$ 
Step 6 : Obtain a Temporary  $SPT$ 
Step 7 : while( $des(e)$ )
            $\{des(e), min\_inc\} \leftarrow Extract(M)$ 
           if  $\forall v$  has incoming links between  $des(e)$ , then
               if  $D(i)$  from incoming link  $> D(j)$  from inner nodes, then
                    $D(i) := D(j)$ 
               endif
           endif
End
    
```

그림 3. P-DSPT 의사코드  
Fig. 3. The pseudocode of P-DSPT

3-3 BADA 모델

BADA (Base of Aircraft Data) 모델은 Eurocontrol에서 작성한 항공기의 성능정보를 나타낸 일종의 데이터베이스이다.[13]. 여기에는 항공기의 최고 속도, 고도별 속도, 상승률, 하강률, 무게, 연료 소모량 등에 대한 정보가 있으며, 거의 모든 항공기에 대한 정보가 기종 별로 작성되어 있다. 따라서 출발지에서 목적지 까지의 항로를 계산한 후 BADA 모델을 적용하여 항공기별 연료소모량, 도착예상시간 등을 계산할 수 있다. BADA에는 6종류의 파일이 있지만 본 논문에서는 표 2에 있는 Operation Performance Files (OPF), Airline Procedures Files (APF), Performance Table Files (PTF)를 사용하였다. OPF 파일은 운용 성능 파라미터로써 아스키 형태로 된 파일이다. APF 파일은 특정 항공기의 상승, 순항과 하강 상황에 따른 요구되는 속도 절차를 나열하며, 역시 아스키 파일로 구성된다. PTF 파일은 비행고도 별로 각각의 항공기 기종별 순항, 상승, 하강 동작에 관한 파일이며, 마찬가지로 아스키 형태로 된 파일이다. 참고문헌 [13]에 각 항공기별 예시가 자세히 나타나 있다.

표 2. BADA 분류  
Table 2. Classification of the BADA.

파 일	내 용
Operation Performance Files (OPF)	기종별 성능 요소
Airline Procedures Files (APF)	기종별 속도 요소
Performance Table Files (PTF)	기종별 연료소비 요소

3-4 동적 항로탐색 알고리즘 절차

동적 항로탐색 알고리즘 절차는 그림 4와 같다. 먼저 루트 정보를 읽어서 각 지점의 위경도 좌표를 산출한다. 루트 정보에 위도와 경도, 루트명이 나타나 있다. 최적 항로를 찾기 위해 각 웨이포인트 간 거리와 항로의 가중치를 계산한다. 이 때 가중치는 노드 간의 거리, 기상, NOTAM, 항공 수용량 등에 영향을

받으며, 거리는 Vincenty's inverse formula로 계산한다. 이후 P-DSPT 알고리즘을 이용하여 최단경로를 계산하고, BADA 모델을 이용하여 기종 별 연료소모량 및 예상도착시간을 계산하면 된다.

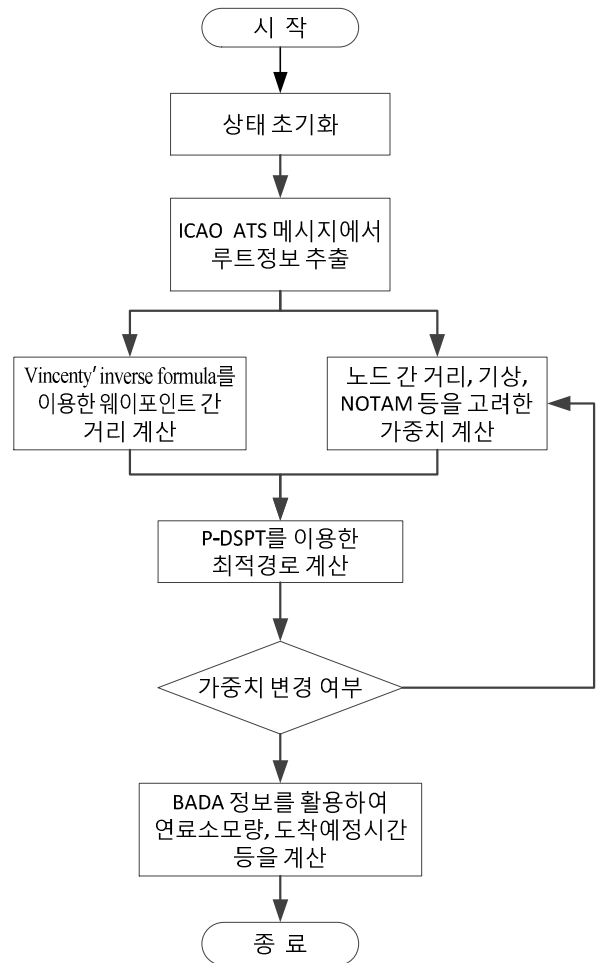


그림 4. 동적 항로탐색 알고리즘 절차  
Fig. 4. The procedure of dynamic route search algorithm

IV. 성능 분석

시뮬레이션은 두 가지의 상황을 가정하여 수행하였다. 첫 번째는 국제 공항에서 국내 공항으로 들어오는 경우, 두 번째는 국내 공항에서 국제 공항으로 나가는 경우이다. 각각의 경우에 대하여 기존의 항로탐색 알고리즘과 본 논문에서 제안한 동적 항로탐색 알고리즘의 성능을 비교하였다. 두 경우 모두 항공기의 기종은 B747로, 고도는 FL300으로 가정하였다. 성

능 분석의 기준은 최적의 항로를 설정하는데 걸리는 시간이며, 웨이포인트의 개수와 가중치가 수정된 항로의 개수를 달리하여 시뮬레이션 하였다.

4-1 시나리오 1

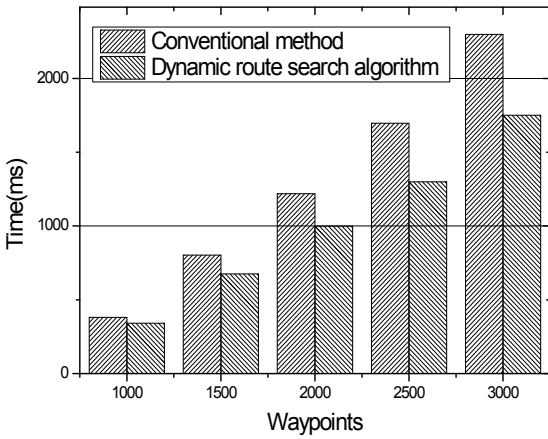


그림 5. 수정된 항로가 1개인 경우 시뮬레이션 결과  
Fig. 5. Simulation result when one link has changed

우에 대한 시뮬레이션 결과이다.

시나리오 1의 시뮬레이션 결과, 본 논문에서 제안한 동적 항로탐색 알고리즘의 기존의 알고리즘에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다.

4-2 시나리오 2

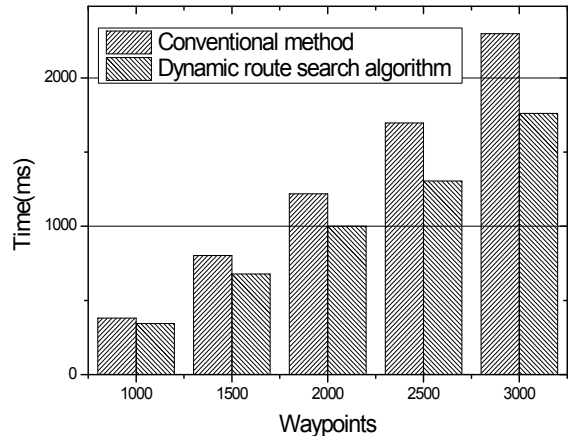


그림 7. 수정된 항로가 1개인 경우 시뮬레이션 결과  
Fig. 7. Simulation result when one link has changed

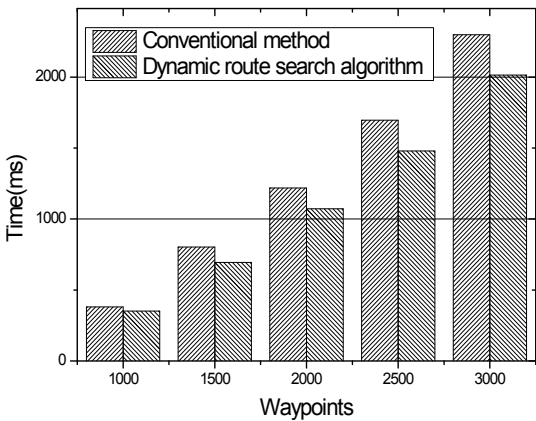


그림 6. 수정된 항로가 2개인 경우 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. Simulation result when two link has changed

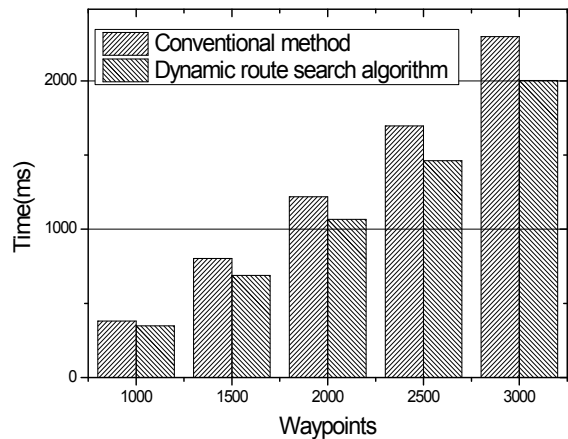


그림 8. 수정된 항로가 2개인 경우 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. Simulation result when two link has changed

시나리오 1에서는 항공기가 국제 공항에서 국내 공항으로 들어오는 경우를 가정하였다. 여기서 임의의 항로의 가중치를 변경하게 되면 항로가 재탐색 되는데, 기존의 항로탐색 알고리즘과 본 논문에서 제안한 동적 항로탐색 알고리즘을 각각 적용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 5는 가중치가 수정된 항로가 1개인 경우, 그림 6은 가중치가 수정된 항로가 2개인 경

시나리오 2에서는 항공기가 국내 공항에서 국제 공항으로 나가는 경우를 가정하였다. 마찬가지로 임의의 항로의 가중치를 변경하게 되면 항로가 재탐색 되는데, 기존의 항로탐색 알고리즘과 본 논문에서 제안한 동적 항로탐색 알고리즘을 각각 적용하여 시뮬레이션 하였다. 시나리오 1과 마찬가지로 그림 7은

가중치가 수정된 항로가 1개인 경우, 그림 8은 가중치가 수정된 항로가 2개인 경우에 대한 시뮬레이션 결과이다.

시나리오 2의 시뮬레이션 결과, 시나리오 1과 마찬가지로 본 논문에서 제안한 동적 항로탐색 알고리즘의 기존의 알고리즘에 비해 성능이 우수한 것으로 나타났다.

## V. 결 론

최근 지속적인 국제항공 수요 증가와 더불어 인천 공항은 동북아 거점공항으로서 허브역할을 하고 있다. 또한 중국과의 활발한 교류와 국제화물의 증가에 따른 항공교통량은 국내 유일의 항로관제업무를 제공하는 인천 항로교통관제소 최대 수용량을 초과시키는 상황을 빈번히 발생시키고 있다. 이와 같은 시점에서 항공교통흐름 관리는 매우 중요한 이슈 중 하나이며, 기상정보, NOTAM 등의 실시간 비행정보를 활용해 동적으로 항로를 탐색하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 특히 시간에 민감한 운송에 있어서 이런 항공교통흐름 관리는 절대적인 요소이다.

따라서 본 논문에서는 항로를 네트워크화하고, Vincenty's inverse formula, P-DSPT 동적 알고리즘 및 BADA 모델을 활용하여 항로의 가중치가 변경되었을 때 신속하고 정확하게 항로를 재탐색할 수 있는 동적 항로탐색 알고리즘을 제안하였다. 또한 기존의 알고리즘과 비교하여 성능을 분석하여 성능을 검증하였다. 향후에는 여러 동적 알고리즘을 적용하여 항로탐색 알고리즘의 성능을 평가하고, 동적 알고리즘 외에 정적 알고리즘과 동적 알고리즘의 장점을 결합한 하이브리드 알고리즘의 적용을 고려해야 한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 항공선진화사업의 연구비 지원(과제번호 #07 항공-항행-03)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 장태진, “세계 민간 항공기 시장 동향과 전망”, 한국항공우주연구원 항공우주산업기술향 제8권, 제1호, pp. 12-22, 2010. 7.
- [2] Boeing Commercial Airplane Group, “Air Traffic Management” *NEXTOR report*, 1997.
- [3] F. Azadian, A. E. Murat and R. B. Chimmam, “Dynamic routing of time-sensitive air cargo using real-time information”, *Transportation Research Part E*, vol. 48, pp.355-372, 2012.
- [4] V. Nastro and U. Tancredi, “Great Circle Navigation with Vectorial Methods”, *The Journal of navigation*, vol. 63, no. 3, pp. 557-564, 2010.
- [5] C. M. Thomas and W. E. Featherstone, “Validation of Vincenty's formulas for the geodesic using a new fourth-order extension of Kivioja's formula”, *Journal of Surveying Engineering*, vol. 131, no. 1, pp. 20-26, 2005.
- [6] R. T. Williams, “Lambert and Mercator Map Projections in Geology and Geophysics”, *Computers & Geosciences*, vol. 21, no. 3, pp. 353-364, 1995.
- [7] D. Yuan, X. M. Cui and S. Y. Wang, “The Coordinate Transformation Method and Accuracy Analysis in GPS Measurement”, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 12, part. A, pp. 232-237, 2012.
- [8] P. F. E. Chan and Y. Yang, “Shortest Path Tree Computation in Dynamic Graphs”, *IEEE Trans. on computers*, vol.58, no.4, pp. 541-557, 2009.
- [9] G. Ramalingam and T. W. Reps, “An Incremental Algorithm for a Generalization of the Shortest-Path Problem,” *J. Algorithms*, vol. 21, no. 2, pp. 267-305, 1996.
- [10] D. Frigioni, A. Marchetti-Spaccamela, and U. Nanni, “Fully Dynamic Algorithms for Maintaining Shortest Paths Trees,” *J. Algorithms*, vol. 34, no. 2, pp. 251-281, 2000.
- [11] P. Narvaez, K. Siu, and H. Tzeng, “New dynamic SPT algorithm based on a ball-and-string model”, *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 9, no. 6, pp. 706-718, 2001.
- [12] 조태환, 김지원, 김병조, 윤완오, 최상방, “동적 라우팅 알고리즘의 신뢰성 향상을 위한 최단 경로 설정 알고리즘”, *정보과학회논문지*, 정보통신 제 38권, 제 6호, pp.450-459, 2011.

[13] Eurocontrol, "Base of Aircraft Data (BADA) Aircraft Performance Modelling Report", *EEC Technical/Scientific Report*, 2009.

조 태 환 (趙泰奐)



2001년 2월 : 인하대학교 항공우주 공학과(공학사)  
2009년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 통합과정  
관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 차세대 항행시스템, 항공교통관제시스템

김 강 희 (金剛熙)



2011년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2011년 3월~현재 : 인하대학교 전자공학과 석사과정  
관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터 아키텍처, 항공교통관제시스템

최 상 방 (崔相昉)



1981년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 : University of washington (공학석사)  
1990년 : University of washington (공학박사)  
1991년~현재 : 인하대학교 전자 공학과 교수

관심분야 : 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선통신, 병렬 및 분산처리 시스템