

‘Schmidt Model’을 통한 공역 섹터 수용량 산정에 관한 연구 (인천 ACC 북부섹터를 사례로)

이승준*, 백호중**

| | |
|-----|-------------------|
| I | 서론 |
| II | 기존연구 고찰 |
| III | 연구방법 |
| IV | 자료수집 및 기초분석 |
| V | 공역 수용량 산정 |
| VI | 공역 수용량 산정 결과 비교분석 |
| VII | 결론 및 추후연구 |

* 한국항공대학교 항공교통물류학과 박사과정

** 한국항공대학교 항공교통물류학과 (지도교수)

<논문요약>

공역의 효율적 운영과 항공교통흐름의 체계적 관리는, ‘공역이라는 물리적인 공간 안에서 항공기를 몇 대나 운용할 수 있는가?’라는 질문과 근본적으로 동일한 관점을 공유한다. 즉, 증가하는 항공교통수요를 현재 공역의 용량수준에서 어디까지 감당할 수 있는지 판단해야 한다는 점에서, 본 연구는 기존의 공역(Sector) 수용량 산정 방법들을 검토한다. 본 연구는 거시적 모형 중 널리 적용되고 있는 관제사의 업무량(Work Load) 기반 공역(Sector) 수용량 산정 모형인 Schmidt 모형을 공역(Sector) 수용량 산정 방법으로 선정하였다. 모형의 입력 변수로 분석대상 공역의 실제 항적데이터와 항공교통관제 음성데이터를 사용함으로써 모형의 현실성 반영을 기했다. 아울러, 본 연구의 분석결과를 과거 유사연구의 수용량 산정 결과와 비교·분석하여 향후 공역 수용량 연구에 대한 방향을 제시하였다.

※ 주제어 : Schmidt Model, 공역 섹터 수용량, 관제사 업무량, 거시적 분석

I. 서 론

세계 항공운송시장은 매 15년마다 두 배의 성장을 이루었으며, 이러한 성장률은 앞으로도 계속해서 유지될 것으로 전망되고 있다. 우리나라의 항공운송시장 규모 역시 꾸준한 성장세를 지속하고 있다. 우리나라의 항공교통량은 아태지역의 평균 증가율 5.6%를 초과하여 연평균 6.9%씩 증가하고 있다.¹⁾

우리나라도 항공교통량의 증가에 따른 공역 및 공항의 지연·혼잡이 가중됨에 따라 항공교통의 효과적 관리 및 공역의 효율적 활용을 위한 노력을 지속하고 있다. 그 일환으로 지난 2017년 대구에 항공교통본부를 신설하고 항공교통통제센터를 설립하였다. 이로써 우리나라는 항공교통량의 혼잡과 지연을 사전에 예측하는 한편, 항공교통흐름의 체계적인 관리가 가능해질 것으로 예상된다.

항공교통흐름관리(ATFM, Air Traffic Flow Management)는 계획된 공역의 수용량 대비 실제 항공교통량 수요를 예측하여 수요가 수용량을 초과할 것으로 예상되는 경우, 여러 기법을 통해 항공기의 흐름을 조절하고 관리하는 것이다. 공역 섹터 수용량²⁾ (이하 공역 수용량) 산정은 항공교통흐름관리의 핵심요소로서 수용량 산정결과를 그 나라의 항공교통의 흐름에 큰 영향을 미칠 수 있다.

공역 수용량은 ICAO의 ASBUs framework 중 PIA(Performance Improvement Area) 1의 RSEQ(Runway Sequencing) 및 PIA 3의 NOPS(Network Operations)와 FRTO(Free-Route Operation) 계획 이행을 위한 기본요소로서 다른 계획에 앞서 선행되어야 하는 과정이다 (ICAO, 2016).³⁾

ICAO는 「Air Traffic Service Planning Manual(Doc.9426, 1984)」에서 DORATASK 모델과 MBB 방법을 제시하고 있으나^[2], 방법에 대한 구체적인 내용이 명시되지 않아 적용이 쉽지 않으며, 현재의 항공교통환경 변화를 정확히 반영하지 못한다는 지적을 받고 있다.

공역 수용량에 가장 큰 영향을 주는 요소는 해당 관제사의 업무량이며, 이러한 이유에서 공역의 수용량은 관제사의 업무량을 기반으로 산정하는 것이 일반적이다. 공역 수용량 산정방법은 크게 거시적 방법과 미시적 방법으로 구분할 수 있으며, 두 방법 모두 관제사의 업무량 산정을 산정하고 그에 따른 공역 수용량을 산정하는 방법을 제시하고 있다.

미시적 방법은 시뮬레이션 모형(Fast-time Simulation)을 활용하는 방법으로, 공역 구조, 관제사의 행태, 공역 내 운항하는 개별항공기의 운항행태를 현실과 유사도록 구현하고, 관제사의 관제량이 임계치에 이르는 교통량을 공역의 용량으로 산정하는 방법이다. 미시적 방법은 개별 항공기의 운항을 미시적 수준으로 구현함으로써 다양한 상황에 대한 보다 현실적인 분석이 가능하나, 시뮬레이션 구축에 상대적으로 더 많은 시간과 비용이 소요되는 단점이 있다. 반면, 거시적 방법은 관제사의 업무량에 영향을 미치는 거시 변수들(항로의 길이, 교통량, 충돌 가능성 등)을 선정하고, 관제사의 업무량과 해당 변수간의 관계를 수학적 수식으로 규정함으로써 관

1) 국토교통부, 보도자료 『상반기 우리나라 하늘길 이용 항공기 39만 대…하루 평균 2,175대 꼴』 (2018.7.24.3)

2) 공역 섹터 수용량은 항공교통관제사가 주어진 시간동안 안전하게 관제할 수 있는 최대 통과 항공기의 수로 정의된다.

3) ICAO의 GANP와 ASBUs framework은 4개의 개선분야(Performance Improvement Area, PIA)로 구성되며, PIA1의 RSEQ(Runway Sequencing)는 활주로에서 항공기 이착륙 순서의 최적화, PIA3의 FRTO(Free Route Operations)는 항공로의 자유로운 선택과 운영의 최적화 그리고 NOPS는 ATFM 등 네트워크를 통한 항공교통흐름관리의 최적화에 관한 추진계획들(Modules)로 구성되어 있다. (ICAO Doc.9750, 2016)[1]

제사 업무량이 한계치에 도달하는 교통량을 공역의 용량으로 산정하는 방법이다. 거시적인 방법은 교통상황에 따른 업무량을 단순화함으로써 수용량을 빠르게 산정할 수 있다

본 연구에서는 거시적 분석 모형 중 하나인 Schmidt 모형을 분석모형으로 선정하고, 국내 인천지역관제센터(인천 ACC, Area Control Center) 내 북부섹터의 수용량을 산정하였다. 특히, 수용량 산정 결과의 현실성을 높이기 위해 모형의 입력변수로서, 실제 분석대상 공역의 관제 음성자료와 항적자료를 사용하였다. 더불어, 항공교통관제사 및 관련 전문가의 의견수렴을 통해 국내 관제 상황을 대표하기에 적합한 요인을 선별 및 통합함으로써 연구결과의 현실성 높이고자 하였다. 또한, 본 논문에서는 항적자료를 활용한 Schmidt 모형에 의한 수용량 산정과정, 관제음성자료 분석에 따른 모형 내부 적용값 변경 과정 및 분석결과에 대해 논의한다.

II. 기존연구 고찰

공역 수용량 산정 방법에 있어, 거시적 분석 방법은 공역의 형태, 항로의 특성, 항공기간 분리기준, 항공기 성능 등 항공교통흐름의 특성을 분석한 후, 산식을 이용하여 수용량을 산출하는 방법이다.

이러한 거시적 분석 방법은 인지관제량(Perceived) 기반과 측정관제량(Measured) 기반으로 수용량 산정방법을 구분할 수 있으며, 대표적인 산정방법으로는 <표 1>와 같다.

<표 1> 산정식에 의한 섹터 수용량 산정 방법

| 인지관제량 기반 수용량 산정방법 (Perceived Workload Based Estimates) | 측정관제량 기반 수용량 산정방법 (Measured Workload Based Estimates) |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Declared capacity • MACE Capacity • FAAOrder 7210.3W | <ul style="list-style-type: none"> • MBB Method • Task Time Methods • Welch capacity model • Schmidt workload model |

1. Declared Capacity

유럽의 일부 섹터 수용량 산정에 적용되는 방식으로 해당 섹터상황에 익숙한 관제사가 자신의 경험적 판단에 의해 수용량을 결정하는 방법이다.[3] 보통 수개월 단위로 그 동안의 관제경험을 토대로 주기적으로 산정한다. 즉, 침투시간에 통과하는 최대 항공기수를 관제사가 결정하며 이때의 관제량을 적정 관제량으로 산정하는 방식이다.

이러한 방법의 문제점은 섹터 수용량이 포화 관제량(Saturated Workload)보다 낮은 수준에서 산정될 가능성 있다는 점이다. 이는 관제량을 측정하는 지표를 활용한 수용량 산정이 아니기 때문에, declared capacity에 의해 산정된 수용량보다 실제로 더 많은 항공기를 처리할 수 있는 관제사의 여유능력이 있을 수 있다는 점이다. 또한, 항공기 혼합률, 교통 특성(상승, 하강, 순항별 항공기 대수)에 대한 지표가 수용량 산정에 직접적으로 활용되지 않는다는 점이 문제점으로 지적되어 실제로 적용에는 문제가 있는 것으로 인지되고 있는 산정방식이다.

2. MAlvern Capacity Estimate(MACE)

영국 Defense Evaluation Research Agency(DERA)에서 개발된 수용량 산정방식으로, 평가 지표(Rating scale)를 활용하여 관제량을 산정하는 방식이다. 관제 시뮬레이터를 활용하여 특정교통량(즉, 항로별 특정 교통량 패턴)에 대해 1시간 동안 관제를 수행하여 처리량(throughput)을 산정한 후, 실험에 참여한 관제사들에게 설문을 통해 관제 가능한 추가 항공기 수를 조사하여 최대 수용량(Absolute Capacity)을 산정하는 방식이다. 이보다 발전된 형태의 산정방법은 1시간 또는 단위시간(예, 10분, 15분 등)동안 유지가능 수용량(Sustained Capacity)을 설문조사하는 방법이다.[4]

MACE 방식은 많은 관제사들이 공감하는 수용량 산정방식으로, 절대용량을 산정하는데 적합한 것으로 보고되고 있다. MACE에 의한 적정 관제량(즉, 섹터 용량) 산정은 관제사의 주관적 판단에 의해 관제사 자신의 인지능력을 직접적으로 분석한다는 장점이 있는 반면, 단점으로는 i) 설문에 의해 보다 정확한 적정 관제량을 산정할 수 있다는 MACE의 기본가정은 객관성을 보장하기 어렵고, ii) (Declared capacity와 마찬가지로) 항공기 혼합률, 교통특성(즉, 상승, 하강, 순항별 항공기 대수) 및 항공로의 구조 등에 대한 고려가 이루어지지 않고 있으며, iii) 실제 상황에서의 관제사 workload는 관제 시뮬레이션 상황에서의 관제량에 비해 약 30% 가량 높은 것⁴⁾으로 알려져 있다는 점이다. MACE에서는 이러한 가상의 Simulation에 의한 가중치가 고려되지 않는다는 점이 단점으로 지적되고 있다.

3. FAA Order 7210.3W (Sector Complexity Measure)

미 연방항공청(FAA, Federal Aviation Administration)이 ARTCC(Air Route Traffic Control Centers)의 En-route Sector를 설정하기 위한 표준방법으로 제시된 방법으로, 관제사의 주관적인 판단에 의해 관제량을 평가하는 방식이다.[5] 구체적으로, 항공기 운항대수가 상위 10%되는 시간대에 운항하는 Flight function 유형별 항공기 운항대수를 분석하고, 각 (유형별 가중치)×(운항항공기 대수)의 총합으로 해당섹터 관제량(FAA Complexity Workload Factor)으로 산정하는 방식이다. 이때 function 유형별 가중치는 관제사들의 의견수렴을 통해 결정되며, <표 2>는 최종 적용된 function 유형별 가중치를 정리한 것이다. 해당섹터 관제량이 90이 되는 교통량을 섹터의 적정 수용량으로 설정하였다.

<표 2> Flight Fuction 유형별 가중치

| Flight function 유형 | 가중치 |
|--|-----|
| 출발 (Departure) | 5 |
| 도착 (Arrival) | 4 |
| 통과 (En-route) requiring control function | 4 |
| 비상상황 (Emergency) | 4 |
| 특별비행 (Special Flights) | 3 |
| 통과 (En-route) No control function | 2 |
| Coordination | 1 |

4) 이러한 차이는 시뮬레이터상의 관제량은 다른 관제사와의 대화, 전화와 같은 갑작스런 개입 등 실제상황에서 발생할 수 있는 상황을 고려하지 못하는 이유에서 기인한다.

FAA 산정방식은 공역의 복잡성과 항공기의 교통특성을 잘 반영하고 있다는 긍정적인 측면이 있는 반면, i) Flight function별 가중치 값과 90으로 설정된 Complexity Workload Factor에 대한 명확한 근거가 부족하고, ii) 섹터 내 항로의 변화에 대한 고려가 없는 교통량의 함수로 구성되어 있으며, iii) Flight function간 상호작용에 의한 영향이 고려되지 않고 있다는 것이 단점으로 지적되고 있다.

4. Messerschmitt-Bolkow-Blohm Method (MBB Method)

MBB 방법은 과거 25년 이상 꾸준히 적용되고 있는 ATC 섹터 수용량 산정방법으로 특히 유럽의 ACC 섹터 수용량 산정에 많이 적용되고 있다. 주어진 섹터를 아무런 제약 없이 단순 통과(conflict-free overflight)하는 항공기를 관제하는데 필요한 시간을 기본 MBB workload unit으로 설정하고, 섹터에 진입하는 각 항공기의 관제량을 관제요구량(즉, 난이도)에 따라 상대적인 가중치를 적용하여 모든 항공기의 workload합을 구하며, 그 합이 80 MBB workload Unit이 되는 교통량을 적정 관제량으로 산정하는 방식이다.[6]

MBB 방법은 관제요구량에 따른 교통의 복잡성(traffic complexity)을 관제자체에 소요되는 시간을 고려하여 분석하고 있으나, 실제로 항공기가 전체 섹터를 통과하는 시간은 고려하고 있지 않다. 일반적으로 긴 항로를 운항하는 통과항공기는 짧은 항로를 통과하는 항공기에 비해 상대적으로 많은 관제량을 요구하지만, MBB방법은 이러한 통과 시간에 대한 고려가 이루어지지 않은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하여 섹터 내 비행시간에 대한 고려를 한 수정 모형이 제안되기도 하였지만, 여전히 짧은 시간에 섹터를 통과하는 항공기의 관제량이 과소평가 될 가능성이 있는 것으로 보고되고 있다. 이 밖의 단점으로는 i) 80 workload unit에 대한 명확한 검증이 이루어지지 않았고, ii) ATC 시스템 변화에 대한 효과를 측정할 수 없으며, iii) 교통량의 복잡성(Traffic Complexity)은 고려되지만 항로의 복잡성(Route Complexity)은 고려되지 않고 있다. 일반적으로, 한 대의 항공기가 복잡한 구조의 항로를 비행할 때 요구되는 관제요구량은 단순한 구조의 항로를 비행할 때 보다 상대적으로 많으며, MBB workload unit는 이러한 항로의 복잡성이 고려되고 있지 않다.

Lyons and Shorthose(1993)는 MBB방법이 단일섹터의 수용량 산정보다는 연속적으로 연결된 복수의 섹터 수용량을 산정하는데 더 적합하다고 제안하면서, MBB방법이 적절히 적용되기 위해서는 현재의 관제절차 및 관제여건을 반영할 수 있도록 가중치를 재조정하는 작업이 필요하다고 언급하고 있다.

5. Task-Time Methods

영국과 유럽에서 가장 많이 사용되는 수용량 산정방식으로 기본적으로 다음의 4단계 과정을 거쳐 수행된다. i) 관제사의 업무(Task)의 종류를 규명하고, ii) 각 업무 당 소요시간을 관측하며, iii) 특정 교통 및 항로 패턴(pattern of traffic and routings)에서 발생하는 관제업무의 빈도수를 측정하여 관제에 소요되는 총 시간을 아래 식에 의해 계산하여, iv) Task-Time workload가 정해진 특정 임계치(단위: 시간)에 도달할 때의 교통량을 섹터의 수용량으로 산정한다.[7]

$$Task-Time\ workload = \sum_i n_i T_i \quad (\text{식 } 1)$$

여기서, n_i : 관제업무 i 의 횟수

T_i : 관제업무 i 의 소요시간

이러한 방법은 fast-time 시뮬레이션 모형중 하나인 RAMS (Reorganized ATC Mathematical Simulation)모형에 구현되고 있다.

6. Welch 모형

Welch(2012)에 의해 제안된 방법으로 관제사의 업무를 4가지(섹터 통과업무, 충돌방지 업무, 반복업무, 기본업무)로 구분하고, 다음 식에 의해 관제사의 업무량이 시간당 80%(48분)가 되는 항공기 대수를 적정 관제량으로 산정하였다.[8]

$$G_h = G_b + G_t + G_c + G_r \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, G_b : 기본업무(Background Workload)

G_t : 섹터통과업무(Transit workload)

G_c : 충돌방지업무(Collision workload)

G_r : 반복업무(Recurring workload)

7. Schmidt 모형

Schmidt(1976)는 공역 수용량 산정에 있어 관제사의 업무부하, 즉 발생빈도에 따라 공역 수용량을 결정하는 거시적 분석 방법을 제시하였다.[9] 이때 고려되는 관제업무는 교차항로에서 두 항공기 교차 시 예상되는 잠재적 충돌, 단일 항로에서 두 항공기 속도 차이에 의한 추월로 예상되는 잠재적 충돌, 그리고 일상관제 절차의 수행, 이렇게 3가지 종류의 사건에 대해 발생빈도를 계산하고, 각 사건별 업무 소요시간을 바탕으로 한 가중치와 곱한 후, 모두 더한 값을 CDI(Control Difficulty Index)라는 지표로써 정의하여 미국 Oakland ARTCC 고고도 섹터 수용량 산정에 적용하였다. 본 연구에 적용된 산정식으로 구체적인 수용량 산정방법은 “V장. 공역수용량 산정”에서 실증분석과 함께 다루도록 하겠다.

정완기(2014)는 Schmidt 모형을 활용하여 인천 ACC내 북부섹터 수용량을 산정하였는데, 사건 처리 시간 및 가중치 산정에 있어 인천지역관제센터 북부섹터(이하 북부섹터)의 관제사에 대한 직접 관찰이나 인터뷰의 어려움으로 북부섹터의 사건 처리시간과 그에 따른 가중치를 국토교통부 ‘항공교통흐름 관리 세부운영 지침’에서 인천 ACC 레이다 관제사의 업무량을 분석한 자료와 Schmidt 모형의 기초자료를 준용하였다.[10]

인천 ACC의 잠재적 충돌방지 업무시간은 Schmidt 모형의 충돌방지 업무시간에 비해 1/2 정도의 값으로 나타난다. 이러한 차이는 위에서 언급한 것과 같이 관제 시스템의 발전 정도와 관제환경에 따른 업무 처리시간의 차이로 볼 수 있다. ‘항공교통흐름 관리 세부운영 지침’에서 분석되지 않은 값 중 Point out과 Coordination의 처리시간은

Schmidt 모형을 참고하여 유사한 업무 형태를 갖고 있는 Hand off와 처리시간이 비례하도록 산정하였다. Pilot request와 Traffic structuring은 상대적으로 관제시스템의 발전이나 관제 환경의 영향을 적게 받기 때문에 Schmidt 모형의 값을 사용하였다.

이상의 다양한 형태의 기존 연구고찰이 시사하는 바는 다음과 같다. 영국의 MACE 방식과 FAA 방법은 항로 구조에 대한 고려가 이루어지지 않으며, 또한 현업 관제사의 의견 수렴에 따른 분석결과로 객관성을 담보하기 어렵다는 단점이 있다. MBB 방법은 교통특성(비행 시간 등) 및 항로 구조를 적절히 반영하지 못한다는 지적이 있으며, Task-Time 방법은 수용량 산정을 위한 산정식을 사용한다는 점에서 거시적 방법론의 형태를 띄고 있으나, 오히려 미시적인 방법에 가까운 방법으로 볼 수 있다.

Welch 모형과 Schmidt 모형 모두 관제사의 업무 부담과 공역 및 교통 특성 등을 두루 감안할 수 있다는 점에서 본 연구의 목적에 부합되는 방법론인 것으로 판단된다. 두 모형의 차이점은 Welch 모형은 순간 교통량 기반의 수용량 산정 방법인 반면, Schmidt 모형은 단위 시간 교통량 기반의 수용량 산정 방법이다. 본 연구에서는 동일한 공역을 대상으로 Schmidt 모형을 적용한 기존 연구결과와 및 지침과 비교 분석이라는 관점에서 Schmidt 모형을 활용하여 분석을 수행하였다.

III. 연구방법

본 연구에서는 거시적 분석 모형 가운데 폭넓게 적용되고 있는 Schmidt 모형을 분석 방법으로 선정하였으며, 다음의 단계별 과정을 거쳐 분석이 수행되었다.

- 단계 1 : AIP(Aeronautical Information Publication) 차트상의 항로 및 공역 정보, 항적 및 관제 음성자료 등 모형 입력자료 수집 및 기초분석
- 단계 2 : Schmidt 모형을 활용한 공역 수용량 산정
- 단계 3 : 동일한 공역을 대상으로 수행된 유사연구의 분석결과와 본 연구의 분석 결과를 비교, 분석⁵⁾

본 연구는 자료의 가용성(수집기한, 보안성, 신뢰도 등)을 고려하여, <표 3>과 같은 시간적, 공간적, 내용적 범위에서 수행되었다.

<표 3> 연구의 범위

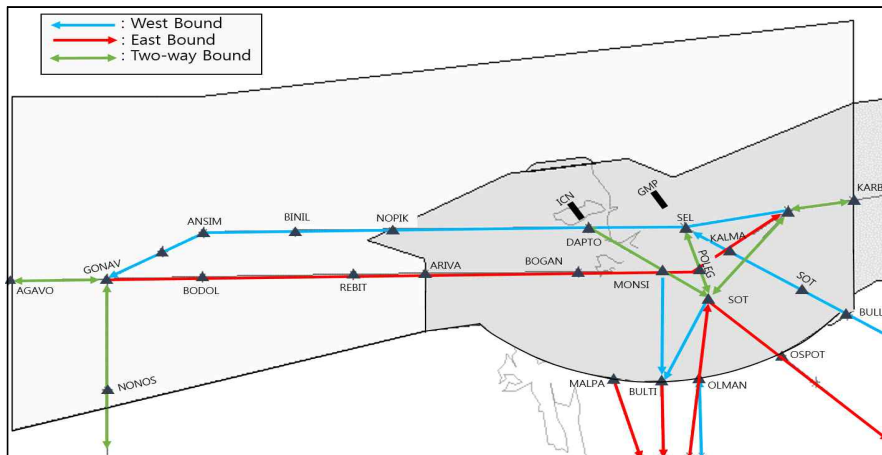
| 구분 | 세부내용 |
|--------|----------------------|
| 시간적 범위 | 2014년 5~8월 |
| 공간적 범위 | 인천지역관제센터(ACC) 북부섹터 |
| 내용적 범위 | 거시적 모형을 통한 공역 수용량 산정 |

5) 기존에 동일한 공역을 대상으로 같은 Schmidt 모형을 사용한 연구(정완기 외, 2014)와 차별화되는 점은, 관제사의 실제 음성자료를 수집, 분석하여 모형의 입력자료로 활용함으로써 모형의 현실성을 제고했다는 점이라 할 수 있겠다.

IV. 자료수집 및 기초분석

1. 항로, 절차 및 공항 자료

항로 및 절차는 항공정보간행물(AIP, Aeronautical Information Publication)의 내용에 준하여 ATS Route, En-Route Chart, 인천 국제공항의 SID, STAR 절차가 수집되었다. 수집된 항로 및 절차 자료는 항적자료 기초분석과 공간적 범위설정 등에 사용되었으며, <그림 1>은 북부섹터와 서울 TMA(Terminal Area)의 공간적 범위와 진출입 항로를 도식화한 것으로, 파랑색, 붉은색, 녹색 항로는 각각 항공기의 운항 방향이 서쪽, 동쪽, 양쪽으로 이루어지는 항로를 의미한다.



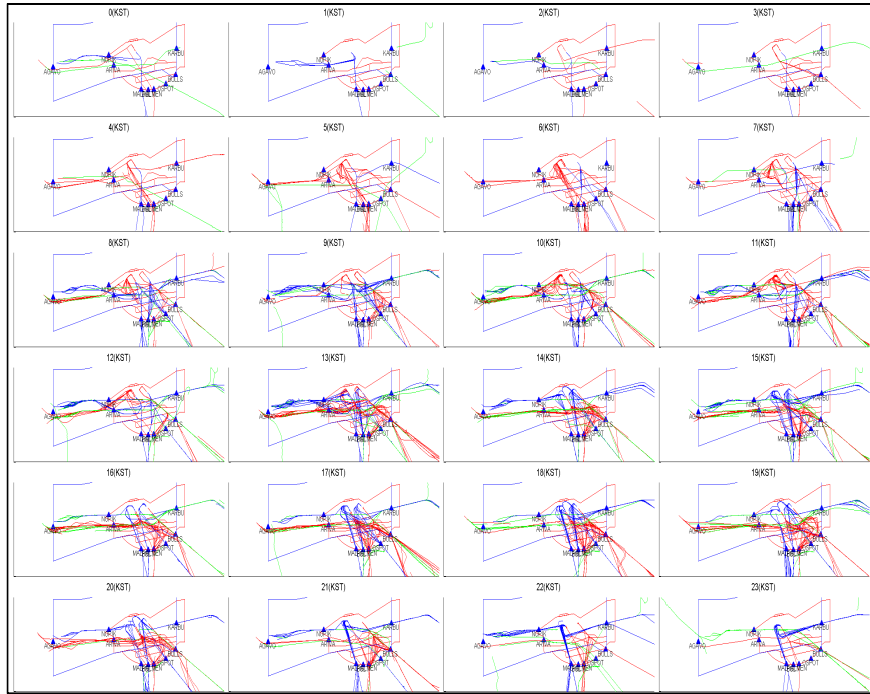
<그림 1> 북부섹터 주요 출·도착 항로 구분

2. 항적 및 비행계획 자료

분석을 위해 수집된 항공기 항적자료의 기간은 교통량이 가장 많은 달인 2014년 8월 1일부터 동년 8월 12일까지 총 13일에 해당한다. 수집된 항적 및 비행계획 관련 자료는 SDR 자료이며, 항공기 운항의 안전 상태와 관제사 기록내용에 관한 자료들로 나누어져있다. 수집된 SDR 자료 가운데, 항적 및 비행계획에 해당하는 자료를 대상으로 자료해석 작업과 필요정보 추출과정을 수행하였다.

비행계획 자료는 항공교통센터 관제시스템의 비행계획 내용으로, 기록시각(UTC)을 비롯하여, 비행계획 고유번호, 항공기 호출부호, 출·도착 공항, 기종, 비행경로 등의 정보를 포함한다.

이를 토대로 인천북부섹터의 항로상에서 운항한 항공기 현황을 분석하기 위해 운항궤적을 <그림 2>와 같이 시간대별로 시각화하였다. 시각화된 자료 및 항적자료 분석 결과로부터, 일반적으로 교통량이 가장 많았던 시간대는 11~12시 시간대인 것을 확인하고 해당 시간대를 기준으로 교통패턴 설정하고 분석을 수행하였다.



<그림 2> 북부섹터 시간대별 항적 전시

3. 관제음성 자료

실제관제 상황을 산정식에 반영하기 위하여 2014년 5월 12일 ~ 6월 10일 기간의 북부섹터 관제 음성자료를 수집하여 분석하였다.

관제 음성자료의 기초 분석은 다음의 순서에 따라 진행되었다. i) 실제 녹음된 관제내용을 듣고, 관제업무의 세분화된 유형(관제 이양, 고도 변경, 속도 변경, 교통 정보 제공, read back 등)에 따라, 관제 수행 횟수 및 수행 소요 시간을 기록하였으며, ii) 전,현직 관제사 및 관련 전문가와 자문을 통해 개별 유형 중 Schmidt 분석에 사용되는 일상관제 내용에 적합한 유형을 선별 및 통합(조종사 보고 수신에 대한 모니터링, 관제 이양 및 고도 변경 등)하였다. iii) 통계적 분석을 수행하여 선별된 유형에 대한 관제 소요시간 및 횟수 등에 대한 평균, 분산값 등을 산정하였다.

V. 공역 수용량 산정

Schmidt(1976)는 섹터 수용량과 직접적인 관련이 있는 관제업무 난이도 지표(CDI, Control Difficulty Index)를 각 요인들과의 관계 $CDI = f(E_r, E_o, E_c)$ ⁶⁾로 정의하였다. 이는 공역의 수용량이 일상관제(E_r ; routine) 및 잠재적 충돌(E_o ; overtake(추월의 경우), E_c ; cross(교차항로의 경우) 요인(횟수)에 영향을 받는 것으로 정의하였으며 항목별 세부정의 및 산정 과정은 다음과 같다.

1. 일상관제 수행횟수(E_r)

6) $f(E_r, E_o, E_c) = \text{weight}(E_r + E_o + E_c)$

일상적인 관제 절차의 수행으로, 공역 내 모든 항공기들에게 일상적으로 적용되는 관제 절차 수행에 따른 업무량이며, 해당 공역의 유형에 따라 달라진다. 사건 발생횟수는 관제 대상 항공기 수와 비례하며 관계식은 식 3와 같다.

$$E_r = k_i N_H \quad (\text{식 3})$$

위 식에서 E_r 는 시간당 i 유형 일상사건 평균 발생횟수(횟수/시간), k_i 는 항공기당 i 유형 일상사건 평균 발생횟수, N_H 는 시간당 공역을 통과하는 항공기 수를 의미한다. Schmidt(1976)는 미국 내 고고도 Sector 분석을 통해 항공기당 일상 관제 절차의 평균 수행 횟수를 <표 4>와 같이 도출하여, 이 결과를 4개의 다른 공역에서의 현장 조사를 통하여 재확인하였다.

<표 4> 평균 사건 발생횟수

| 사건(i) 유형 | 항공기당 평균 사건 수행횟수(k_i) |
|---------------------|--------------------------|
| Coordination | 0.4 |
| Pilot request | 0.1 |
| Traffic structuring | 6.0 |
| Hand off | 2.0 |
| Point out | 0.3 |

자료 : Schmidt, 1976.

기존 연구(정완기, 2014)에서는 일상관제 수행횟수(E_r)의 CDI 산출을 위해, 평균사건 발생 횟수(K_i), 시간(sec), 가중치(W)를 Schmidt Model(1976) 분석 결과로부터 준용한 반면, 본 연구에서는 북부섹터 관제 음성자료 수집이 가용한 2014년 5월 12일 ~ 6월 10일 기간 중 일일 교통량이 가장 높은 복수의 날짜를 선정하고, 항적자료를 통해 일일 관제시간 중 교통량이 많은 오전, 오후 각 2시간(총 4시간)을 분석하여, 평균사건의 발생 횟수 및 시간 값을 보다 현실적으로 반영하였다.

구체적으로, 기존 일상관제 유형(Hand-off, Point out, Coordination, Pilot request, Traffic structuring) 중 Point out, Coordination은 섹터에 따라서 관련 업무가 발생하지 않거나, 협약 등에 따라 별도의 업무인력을 통해 수행하고 있기 때문에 관제녹음자료 분석에서 고려하지 않았으며, 나머지 유형들은 전부 일상관제(Normal traffic Structuring)유형으로 통합하여 분석하였다. 이는 1) 실제 관제상황에서 발생하는 유형이 Schmidt 모형에서 모호하게 정의하고 있는 유형에 비해 다양하고 복합적으로 나타나며, 2) 실제 모형에서 유형별 차이가 관제 유형별 가중치에서 발생하지만 각 가중치가 관제 수행 시간에 비례하여 결정되기 때문이다. 이러한 특성 때문에, 하나의 유형 및 통합된 시간에 관한 가중치를 적용했을 때의 결과가 개별 유형을 나누어 계산한 결과와 동일하게 나타나게 된다. 업무유형의 선별 및 통합 후 일상관제 수행횟수(E_r) 분석 결과(예시)는 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 북부셔터 일상관제 수행횟수(Er) 분석 결과

| 구분 | 교통량 | 총 관제 수행횟수 | 평균 관제 수행횟수 | 총 관제 수행시간 | 평균 관제 수행시간 | 가중치 | Er | CDI |
|-----|-----|-----------|------------|-----------|------------|------|-----|-------|
| 9시 | 36대 | 107회 | 2.97회 | 751초 | 7.02초 | 0.27 | 107 | 28.79 |
| 10시 | 40대 | 175회 | 4.38회 | 1357초 | 7.75초 | 0.30 | 175 | 52.02 |
| 16시 | 46대 | 86회 | 1.87회 | 540초 | 6.28초 | 0.24 | 86 | 20.70 |
| 17시 | 41대 | 126회 | 3.07회 | 954초 | 7.57초 | 0.29 | 126 | 36.57 |

본 연구에서 일상관제 수행횟수(Er)는, FOIS 자료를 추가적으로 고려하여, 인천공항 교통흐름 방향(South & North flow)별로 각 일별 교통량과 관제업무 난이도 지표(CDI)간 회귀분석을 통하여 산출하였으며, 이때 사용한 회귀분석 식은 <표 6>과 같다.

<표 6> 일상관제 회귀분석 결과

| 구 분 | South flow | North flow |
|------|--------------|--------------|
| 결정계수 | 0.96 | 0.93 |
| 회귀식 | CDI=1.13*교통량 | CDI=0.80*교통량 |

위 표에서처럼 교통흐름에 따라 South flow일 때가 North flow일 때보다 CDI가 다소 높으며, 교통량과 CDI간 정비례 관계가 있는 것을 확인할 수 있다.

2014년 중 교통량이 가장 많은 달인 8월의 임의날짜⁷⁾에 대해 교통량이 가장 많았던 시간대인 11~12시 시간대를 선정하여 교통패턴을 측정된 결과 South flow였다. 이때 교통량은 25대였으며, 수용량 산정을 위한 일상관제 수행횟수(Er)를 반영한 CDI를 계산하기 위해 표 6에서 South flow 회귀식을 적용하면 다음과 같다.

$$CDI(E_r) = 1.13 * 25(\text{대/시간}) = 28.25$$

2. 추월로 인한 잠재적 충돌횟수(Eo)

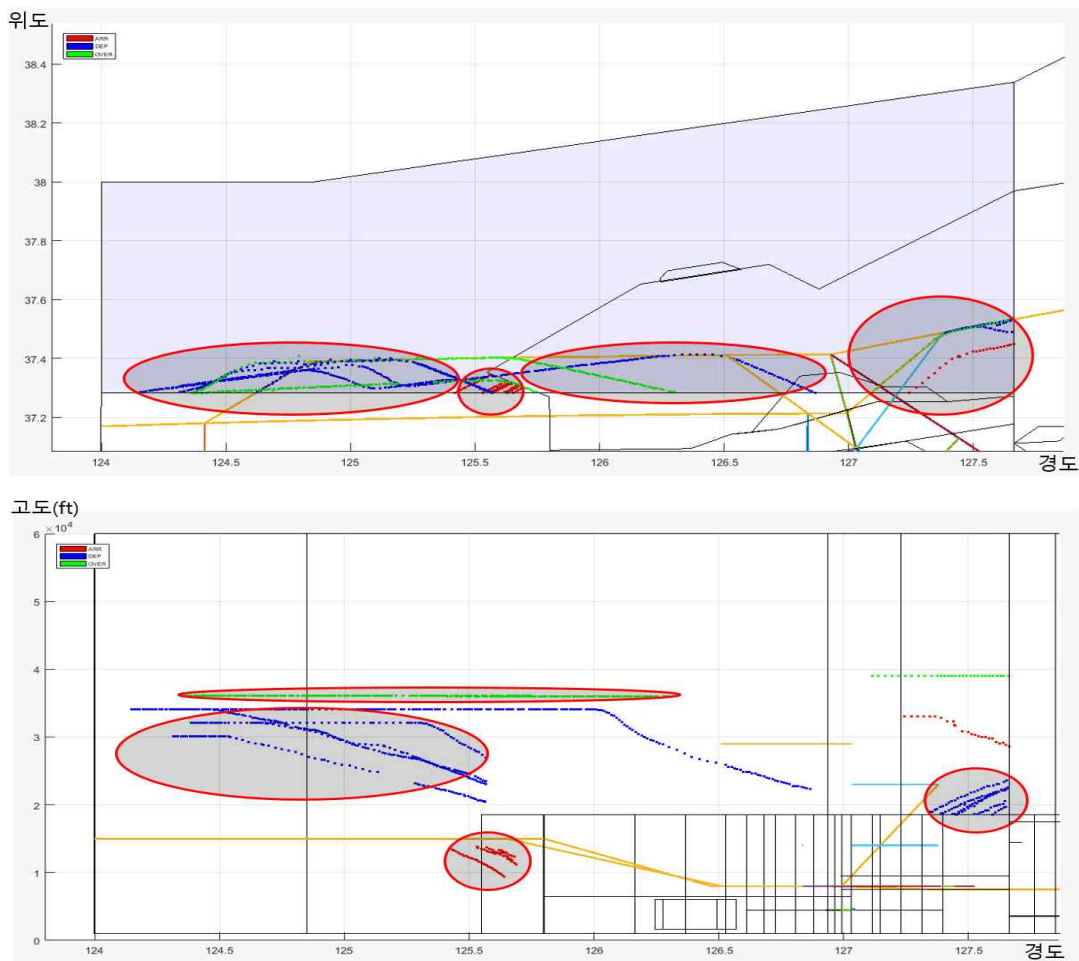
수평 항공로 혹은 전이항공로에서 항공기간 추월로 발생하는 예상 충돌 횟수는 항공기의 속도를 몇 개의 범주로 구분한 후 각 속도 범주 간 크기 차이에 따라 다음과 같이 계산된다.

7) 자료 수집의 한계로, 8월 중 총 13일(1일~12일, 15일)을 대상으로 해당 일 중 교통량이 가장 많았던 8월 8일을 선정하고 해당 일의 첨두시간대인 11~12시 시간대(해당 시간대는 다른 날에서도 유사하게 나타남)를 분석하였다.

$$E_o = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(l+2X)f_i}{V_i} \cdot \sum_{k=i+1}^n \frac{f_k}{V_k} |V_i - V_k| \quad (\text{식 4})$$

위 식에서 E_o 는 시간당 평균 추월 충돌횟수(횟수/시간), n 은 속도 범주 개수, l 은 항공로의 길이(NM), $f_{i(\text{또는}k)}$ 는 i 번째(또는 k 번째) 속도 범주로 운항하는 항공기 흐름률(대/시간), $V_{i(\text{또는}k)}$ 는 i 번째(또는 k 번째) 속도 범주의 평균 항공기 속도(Knots)를 의미하며, 가능한 속도 범주의 쌍별로 계산을 수행한 후 이를 모두 합하여 잠재적 추월에 의한 충돌 총 횟수를 구하는데, 이 과정을 수평항공로에서 각각의 비행고도와 전이항공로 각각의 비행경로에 대해 동일하게 수행한다.

앞서 언급하였듯이, 2014년 중 교통량이 25대로 가장 많았던 8월 8일 11~12시 시간대를 선정하여, 추월로 인한 잠재적 충돌횟수(E_o) 계산에 필요한 변수들을 그림 3과 같이 항적자료로부터 도출하였다.



<그림 3> 인천북부섹터 항적 패턴 (위 : 조감도, 아래 : 측면도)

이를 활용하여 섹터 내 항공로를 산정식 계산을 위해 구간별로 나누고, 해당 구간을 이용한 항공기들을 그룹화 하여 계산한 잠재적 충돌횟수(E_o) 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 추월에 의한 잠재적 충돌횟수 분석결과

| 구간 | REBIT -BELTU | ENKAS -KARBU | NOPIK -AGAVO | GOGET -AGAVO | AGAVO -BELTU | REBIT -BOGAN | GUKDO -BELTU | 합계 |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| 항공기 | AC1 | AC8 | AC14 | AC18 | AC1 | AC14 | AC18 | |
| | AC2 | AC9 | AC15 | AC19 | AC2 | AC15 | AC19 | |
| | AC3 | AC10 | AC16 | | AC3 | AC16 | | |
| | AC4 | AC11 | AC17 | | AC4 | AC20 | | |
| | AC5 | AC12 | | | AC5 | AC17 | | |
| | AC6 | AC13 | | | AC6 | | | |
| | AC7 | | | | AC7 | | | |
| CDI(E _o) | 0.1265 | 0.0811 | 0.5265 | 0.0129 | 1.7954 | 0.1153 | 0.0049 | 2.6626 |

위 표에서 추월로 인한 잠재적 충돌횟수에 대한 CDI 값을 측정이 가능한 구간별로 나누어 구하였고, 이를 합산한 결과 CDI(E_o)는 약 2.7이다.

3. 교차항로에서의 잠재적 충돌횟수(E_c)

교차항로에서 항공기간 잠재적 충돌이 발생하는 사건의 경우로써, 이 경우 함수는 항공기의 흐름률(flow rate)과 속도, 항공기 간 최소 분리기준, 교차 항로로 간 교차각, 그리고 잠재적 충돌이 발생할 수 있는 비행고도의 수로 나타낼 수 있으며, 관계식은 다음과 같다.

$$E_c = \sum_i \frac{2f_{i1}f_{i2}X(V_{i1}^2 + V_{i2}^2 - 2V_{i1}V_{i2}\cos\alpha)^{1/2}}{V_{i1}V_{i2}\sin\alpha} \quad (\text{식 5})$$

위 식에서 E_c는 시간당 평균 교차 충돌횟수(횟수/시간), f_{i1}, f_{i2}은 각 항로로 1, 2의 비행고도 i에서의 항공기 흐름률(대/시간), X는 최소 항공기 분리 운영치(Nm)를 의미하며, V_{i1}, V_{i2}은 각 항로로 1, 2의 비행고도 i에서의 평균 항공기 속도(Knots), α는 항로로 간 교차각, 그리고 Σ는 충돌이 발생할 수 있는 모든 비행고도를 합한 것을 의미한다.

교차항로 중 하나가 전이항로일 경우, 전이하는 항공기와 다른 항로에서 비행하는 항공기에 대한 추가적인 영향을 평가하여야 하며, 전이 항공기는 실질적으로 교차하는 비행고도에 있는 항공기뿐만 아니라 수직분리 기준을 고려하여 실제 비행고도의 상·하에 있는 항공기와의 충돌도 고려하여야 한다. 이러한 이유로 일반적으로 관제사는 전이 항공기의 경우 동시에 하나 이상의 고도를 점유하는 것으로 판단하고 관련된 고도를 “Block”하여 항공기 분리를 제공한다. 즉, “Blocked”된 고도에 동시에 많은 항공기가 수평 비행을 하고 있다고 여기는 것과 같다. 이때의 충돌횟수는 전이항로에 영향을 받는 각각의 비행고도에서 예상되는 교차 충돌횟수를 합하는 것과 같다. 비행고도의 수는 상승·강하각 및 수직 분리기준에 의해 영향을 받는다.

추월로 인한 잠재적 충돌횟수(Er) 계산과 마찬가지로, 교차항로에서의 잠재적 충돌횟수도 구간을 세분화하여 분석하여야 하는데, 교차항로에서의 잠재적 충돌 횟수는 교차항로를 비행하는 항공기가 서로 같은 고도를 비행할 경우(순항 항공기의 경우)에만⁸⁾ 계산이 되며, 해당 고도를 비행한 항공기 흐름률이 항적으로부터 나와야 한다. 본 연구의 분석 대상(북부섹터) 범위(시간적, 공간적) 내에서 교차항로에서 동고도를 비행하는 항적은 없었다.

4. Control Difficulty Index (CDI)

Schmidt 모형에서 고려하는 관제업무를 다시 정리하면 다음의 세 가지의 사건으로 분류한다.

- 교차되는 항로에서의 항공기간 잠재적 충돌
- 항로 상에서 항공기 추월로 인한 잠재적 충돌
- 일상적인 관제절차

여기에서, 충돌이란 항공기 간 물리적 충돌을 의미하지 않고 항공기 간 최소분리기준을 위반하는 것을 의미한다. 이러한 사건들의 발생횟수를 계산하고, 이를 각 사건별 업무 소요시간을 바탕으로 한 가중치와 곱한 후, 모두 더한 값을 관제업무 난이도 지표(CDI, Control Difficulty Index)로 표현하며 다음의 식과 같다.

$$CDI = \sum_i W_i E_i \quad (\text{식 } 6)$$

위 식에서 W_i 는 사건 i (교차, 추월, 일상관제)에 대해 업무 소요시간에 기초한 사건 i 의 가중치(W), 그리고 E_i 는 단위기준 시간당 사건 i 의 예측 발생횟수를 의미하며, 이러한 발생횟수는 섹터의 기하학적 요소(섹터의 크기, 항로구조) 및 교통운영변수(교통량, 운항고도 및 속도) 등에 영향을 받는다.

사건마다 처리하는 데 요구되는 시간이 다르기 때문에 상대적인 가중치(W)가 필요하며, Schmidt 모형에서 산출된 사건별 소요 시간과 가중치(W)는 다음 표와 같다.

<표 8> 사건 처리시간 및 가중치

| 사건(i) 유형 | 시간(sec) | 가중치(W) | |
|----------------------------|---------------------|--------|------|
| Crossing conflict(E_c) | 60 | 2.28 | |
| Overtake conflict(E_o) | 60 | 2.28 | |
| 일상관제 (E_r) | Coordination | 6 | 0.23 |
| | Pilot request | 5 | 0.19 |
| | Traffic structuring | 5 | 0.19 |
| | Hand off | 6 | 0.23 |
| | Point out | 12 | 0.46 |

자료 : Schmidt, 1976.

8) 상승 및 하강 항공기의 경우 기존문헌에서와 마찬가지로 상승 및 하강을 위해 통과한 모든 고도를 각 항공기가 점유한 것으로 보고 계산한다. (E_o 및 E_c , 동일 방법 적용)

이러한 가중치(W)는 공역의 수용량에서 관제사의 업무량, 즉 CDI 값이 100이 되도록 하고, 실제 현장에서 측정된 업무를 수행하는 데 걸린 시간을 기반으로 정하며, 처리 시간은 사건을 인지하고 그에 대한 조치를 결정하고 이행하는 데 필요한 모든 시간을 포함한다.

본 연구에서는 일상관제 업무 시간을 관제 음성자료를 직접 분석하여 산출함으로써, <표 8>의 일상관제(Er)의 가중치(W)가 아닌 실제 관제시간에 따른 가중치(W)를 산출하여 적용하였다.

북부섹터 공역 수용량 산정을 위해 잠재적 충돌 상황과 일상관제 수행횟수에 대한 개별 CDI값을 산출한 결과 잠재적 충돌 상황(Eo+Ec)의 경우 2.7, 일상관제(Er) 수행횟수의 경우 28.2로 인천북부섹터의 workload를 CDI로 표현하면 다음과 같다.

$$CDI = E_o + E_c + E_r = 2.7 + 0 + 28.25 = 31$$

위 CDI 값은 인천북부섹터의 관제사들이 시간당 25대의 항공기를 관제하는 workload가 약 31%라는 것을 의미한다.

5. 최대 수용량 (Maximum Capacity) 산출

계산된 CDI 값은 최대 수용량 기준에서 관제사의 업무량을 100이라고 했을 때 N_0 에서의 관제사 업무부하(%)를 의미한다. 항공교통수요가 변하더라도 섹터의 항공로별 사용빈도와 항공로에서의 고도별 사용빈도, 항공기의 평균속도가 일정하다고 가정하면, CDI 값이 100이 되는 섹터 수용량 N_0 는 사건별 발생횟수와 교통 수준 간의 비례관계를 통하여 계산할 수 있으며, (식 4) 및 (식 5)에 나타난 충돌사건 발생횟수는 교통 수준의 제곱($f \cdot f$)에 비례하고, (식 3)에 나타난 일상사건 발생횟수는 교통 수준(N_H)에 비례함을 고려하면, (식 6)을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$W_c E_c' (N_c / N_0)^2 + \bar{k} N_c = 100 \quad (\text{식 7})$$

위 식에서 N_0 는 CDI 계산에 사용된 특정 교통수요(시간당 항공기 대수), N_c 는 공역 수용량(시간당 항공기 대수), E_c' 는 교통 수요에서의 예상되는 총 잠재적 충돌횟수, W_c 는 충돌사건의 가중치, 그리고 \bar{k} 는 항공기당 가중된 일상적 사건의 발생횟수를 의미하며, \bar{k} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{k} = \sum_{i=1}^n W_i k_i \quad (\text{식 8})$$

(식 10)에서 W_i 는 일상적인 사건 i 의 가중치, k_i 는 일상적 사건 i 의 항공기당 평균 발생횟수를 의미한다. Schmidt Model의 개별 분석결과를 통해 산출한 북부섹터의 수용량은 <표 9>과 같다.

<표 9> Schmidt Model을 활용한 공역 수용량 산출 결과(단위 : 대/시간)

| 구 분 | North flow | South flow |
|------|------------|------------|
| 북부섹터 | - | 68 |

분석일 기준 북부섹터의 경우 SDR traffic flow 분석에서 North flow가 없기 때문에 산출할 수 없었다.

VI. 공역 수용량 산정 결과 비교분석

앞 장에서는 실제 관제 녹음자료와 항적을 분석하여 반영한 북부섹터의 공역 수용량을 Schmidt 모형을 이용하여 산정하였으며, 본 장에서는 기존 연구결과와 비교분석을 하고자 한다. 본 연구를 포함하여 과거 북부섹터 공역 수용량 산출값을 비교해보면 <표 10>과 같다.

<표 10> 공역 수용량 산출 결과 비교(단위 : 대/시간)

| 구 분 | Unknown flow | North flow | South flow |
|--|--------------|------------|------------|
| 정완기(2014), Schmidt 모형 | 60 | - | - |
| 국토부 항공교통흐름관리 세부운영지침(2015), Doratask [11] | 42 | - | - |
| 본 연구 | - | - | 68 |

본 연구에서는 일상관제 수행 관련하여 실제 관제상황에서 Point out, Coordination 등의 업무 일부는 국내 관제 실정에서 사전 협약 또는 별도의 인력을 통해 처리되기 때문에 기존 Schmidt(1976) 모형에서의 구조(유형)을 그대로 따르는 것은 현실성이 떨어진 분석이라 판단하여, 실제 관제음성 자료를 분석하여 반영하였다. 또한 기존의 일상관제 항목들의 가중치가 시간에 비례하여 정의되어졌음을 발견하고, 관제음성 분석 결과 전부를 하나의 유형으로 재정 의하여 시간당 관제 수행 횟수를 구하였다.

<표 10>에서 정리 되었듯이, 북부섹터 수용량을 산정한 결과가 다수임에도 불구하고, 측정 기준, 즉 교통 흐름 및 편중에 따라 그 결과가 다양하고 상호 비교가 불가함을 알 수 있다. 하지만, 본 연구가 과거 분석 결과와 어떤 차이가 있는지 유의미한 비교를 위해 기존 연구들의 일상관제 유형(Coordination, Pilot request, Traffic structuring, Hand off, Pint out) 들을 본 연구와 같이 하나의 유형(event)으로 통합된 것으로 가정하여 비교분석 하였으며, 그 결과는 <표 11>과 같다.

<표 11> 사건 처리시간 및 일상관제(Er) 수행횟수 비교

| 구 분 | Schmidt | 정완기 | 본 연구 |
|----------------------------|---------|------|------|
| 대당 평균 관제 교신시간(sec) | 5.38 | 4.81 | 7.69 |
| 가중치 | 0.20 | 0.18 | 0.29 |
| 대당 평균 관제 교신회수(회/대) | 8.8 | 8.8 | 3.89 |
| 관제교신 1회당 관제 교신시간(sec/회) | 0.61 | 0.55 | 1.98 |

* 잠재적 충돌(Ec, Eo) 값은 선행연구 및 본 연구 공히 비슷한 수준으로 분석되어 비교분석 대상에서 제외하였음.

위 표에서 알 수 있듯이, 본 연구의 수용량 산정 결과가 타 연구에 비해 많은 차이가 나는 결정적인 이유는 기존 연구들에서 가정값으로 활용하던 관제사의 관제업무 횟수 및 시간 요인을 실제 관제음성녹음자료를 통해 현실화 한 것에서 발생하였는데, 즉, 과거 연구와 동일한 수준으로 준용하거나 가정에 의한 값을 사용한 기존 연구의 관제유형별 수행횟수와 소요시간과, 실제 관제음성녹음자료를 분석하여 설정한 관제유형별 수행횟수 및 소요시간의 차이가 상당한 것으로 분석되었다.

예를 들어, 정완기(2014) 연구의 항공기당 평균 관제업무 수행횟수는 약 8.8회, 개별 관제업무의 평균 소요시간은 4.81초(시간에 따른 가중치 0.18)였으며, 본 연구는 각각 약 3.89회, 7.69초(시간에 따른 가중치 0.29)이다. 따라서, 본 연구의 관제수행횟수가 기존 대비 반 정도인 것에 비해 실제 소요되는 시간에서는 약 2.49초 증가로 시간에 따른 가중치 측면에서는 0.1밖에 차이가 안 나기 때문에 수용량을 산정하는 지표인 CDI(총 수행횟수 * 가중치)측면에서 차이가 발생한다.

아울러, <표 10>의 국토교통부 항공교통흐름관리 세부운영지침(2015)에서 명시한 수용량 또한 2017년 제2항공교통센터가 들어서면서 새롭게 개정되었는데, 인천북부섹터가 과거 1개 섹터에서 북부/남부 2개 섹터로 세분화되어 이에따른 수용량이 고시가 되었다. 따라서, 새로이 고시된 수용량과 비교 검증할 추가적인 연구가 필요하다.

VII. 결론 및 추후연구

1. 결론

본 연구에서는 공역 수용량을 산정하기 위해서 거시적 공역 수용량 분석 방법 중 하나인 Schmidt 모형을 선정하고, 인천북부섹터의 수용량을 산출하여 기존의 연구결과와 비교 분석하였다. 특히, 국내 공역 및 관제 실정이 가능한 반영된 수용량을 도출하기 위해 다음과 같은 노력을 기울였다는 점에서 기여하는 바가 있다.

- 1) 2014년 관제 음성자료를 수집하여, 모형의 일상관제와 관련된 항목들을 위한 계산에 적용

하였다.

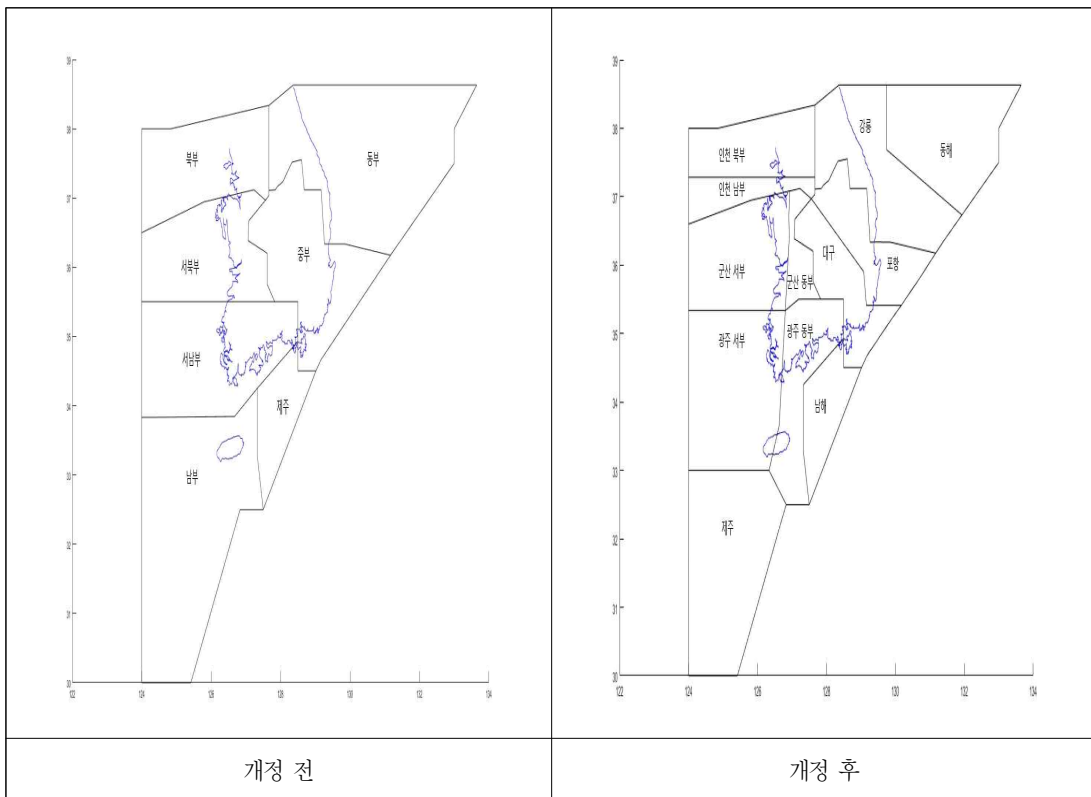
- 2) 항적자료 분석을 통해 연중 가장 교통량이 많은 달(8월)의 교통량이 많은 시간대(11 ~ 12시)를 기준으로, 인천 북부섹터의 항로구조 및 교통흐름 패턴(인천공항 활주로 운영 방향에 따라 North/South flow로 구분하여)을 모형 상에 반영하였다.
- 3) 기존에 수행된 연구와 비교를 통해, 모형과 고려 변수의 차이가 야기하는 연구 결과의 차이를 실증적으로 확인해보고, 향후 보완점을 제시하였다.

본 연구결과는 특히 관제사의 관제량 분석을 통해 보다 현실적이며 객관적인 섹터 수용량을 산정하고자 하는 노력으로, 향후 섹터 수용량 결정을 위한 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 향후 연구과제

항공교통 공역 수용량은 공역과 항로의 기하학적 구조와 항공교통 수요에 따라 수시로 변화하기 때문에, 정확한 수용량 산정을 위해 최신 데이터를 수집하고 교통수요를 반영하여 보완할 필요가 있다. 이를 통해 인천 FIR 내 전 공역의 섹터별 수용량을 산정하여 전체 수용량을 분석이 이루어져야 한다. <그림 4>는 최근 제2항공교통센터의 운영에 따라 세분화된 인천 FIR 섹터구조의 변화를 보여주고 있다, 이러한 구조변화 이후의 교통량 및 관제량등의 상황을 반영한 수용량 산정연구가 필요하다.

<그림 4> 인천 FIR 비교



특히, 시간대, 교통패턴(South/North Flow 또는 기타 방향), 출발·도착·통과 항공기들의 조합 등에 따라 같은 수의 항공기라 할지라도 관제사의 업무 부담이 달라질 수 있다는 점을 주목해봐야 한다. 상황에 따라 공역 수용량은 복수의 값을 가질 수 있다는 점에서, 향후에는 상황별로 관제사의 업무부담이 고려된 수용량을 제시할 수 있어야 운용상 의미 있는 지표로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

아울러, 증가하는 항공교통 수요에 제한된 공역 여건에서 수용량 극대화를 위해, 본 연구에 추가적으로 수용량 증대를 위한 방안 모색(공역, 항로의 기하학적 구조 변경 등) 연구도 수행되어야 할 것이다.

■ 참고문헌

1. ICAO Doc 9750, "Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems", 2016
2. ICAO Doc 9426, 『Air Traffic Services Planning Manual』, 1984
3. Eurocontrol, "Pessimistic Sector Capacity Estimation", 2003
4. Peter J. Goillau and Chris J. Kelly, "MALvern CapacityEstimate (MACE) - a proposed cognitive measure for complex systems", Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics, Volume 1: TransportationSystems, Ashgate Publishers: Aldershot, pp.219-215, 1997
5. FAA Order FO 7210.3W, " Facility Operation and Administration", 2010
6. Kota and Yoichi, "A Simulation Modeling Study For Free Routing Airspace in Japan", 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, 2018
7. Majumdar, A., "A Framework For Modelling The Capacity Of Europe's Airspace Using A Model Of Air Traffic Controller Workload", University of London, London, 2003.
8. Welch, Andrews, and Martin, " Macroscopic Workload Model For Estimating En Route Sector Capacity", 7th ATM Seminar, 2007
9. David K. Schmidt, "On Modeling ATC Work Load and Sector Capacity", 『Journal of Aircraft』, 13(7), 1976, pp. 531-537.
10. 정완기, 안미진, 이금진, "거시적 관제사 업무량 모형을 통한 공역 섹터 수용량 추정에 관한 연구", 『교통연구』, 21(1), 2014, pp. 87-100.
11. 국토교통부 항공교통센터, "항공교통흐름관리 세부운영지침", 2015