

공항트래픽 특성을 고려한 AeroMACS 시스템의 주파수 소요량 산출

신 홍 기*, 김 형 중*, 윤 현 구**, 최 용 훈°

Calculation of Spectrum Requirements of AeroMACS System Considering Airport Traffic Characteristics

Hong-Gi Shin*, Hyung-Jung Kim*, Hyungoo Yoon**, Yong-Hoon Choi°

요 약

본 논문은 다양한 공항 통신 서비스 제공을 위해 AeroMACS(Aeronautical Mobile Airport Communication System)를 사용하는 공항에서 필요한 주파수 소요량을 산출한다. 주파수 소요량을 정확히 산출하기 위해서는 피크 시간대의 트래픽 요구량을 파악해야 하며, 이를 위해서는 공항에서 발생하는 패킷 트래픽에 대한 통계 자료가 필요하다. 본 논문에서는 SESAR(Single European Sky Air traffic management Research)에서 수행한 데이터 트래픽 모델과 시나리오를 일부 수정하여 사용하였으며, M/G/1 큐잉 모델을 이용하여 AeroMACS의 주파수 소요량을 산출하였다. 주파수 소요량 산출시 트래픽의 우선순위를 고려하였고, 공항내의 구역, 섹터의 크기/개수, 주파수 효율을 변화시켜가며 주파수 소요량을 산출하였다. AeroMACS를 인천공항에 적용했을 때, 평균 트래픽 기준으로 GROUND 지역에서 섹터당 2.39 Mhz의 주파수 대역폭이 필요하고, 공항 전체에서 22.30 Mhz 주파수 대역폭이 필요함을 확인하였다.

Key Words : AeroMACS, spectrum requirement, airport traffic model, ITU-R M.1768-1, service categories

ABSTRACT

This paper calculates the required spectrum requirements for providing various airport communication services at airports using aeronautical mobile airport communication system (AeroMACS). In order to accurately calculate the frequency requirements, the traffic demand at peak time must be given in advance, and statistical data on the packet traffic at the airport are needed. In this paper, airport traffic is generated based on the traffic model and scenarios performed by single European sky air traffic management research (SESAR) and the spectrum requirement for AeroMACS is calculated using M/G/1 queuing model. The spectrum requirements were calculated by considering the priority of the traffic, different operational areas of an airport, the size of an airport, the size of cell or sector, and spectral efficiency. When AeroMACS is applied to Incheon international airport, it has been shown that a bandwidth of 2.39 Mhz per sector is required in the GROUND region and 22.30 Mhz bandwidth is required in the entire airport based on the average traffic.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음 [2017-0-00109, 전파자원 선순환을 위한 주파수 분석기술 개발]

※ 본 연구는 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2016R1D1A1B03934507)

※ 이 논문은 2018년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음

• First Author : (ORCID:0000-0002-9349-1675)Kwangwoon University, ghdl95@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-1460-0520)Kwangwoon University, yhchoi@kw.ac.kr, 중신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI), acekim@etri.re.kr, 정회원

** Myongji College, hgyoon@mjc.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201810-307-B-RE, Received October 2, 2018; Revised November 15, 2018; Accepted November 15, 2018

I. 서 론

지속적인 항공 수요의 증가로 인하여 ICAO(International Civil Aviation Organization)를 중심으로 효율적인 항공교통 흐름을 위해 위성기반의 차세대 항행시스템인 CNS(Communications, Navigation, Surveillance) / ATM(Air Traffic Management) 사업을 추진하였으나, VHF(Very High Frequency) 대역에 통신 혼잡과 이로 인한 항공교통 체증이 해소되지 않자, 기존 VHF 25 kHz의 채널 대역폭을 3개의 8.33 kHz 채널로 분할하고, 음성중심의 통신에서 데이터 중심의 통신으로 전환하였다^[1]. 2007년에는 국제전기통신연합(International Telecommunication Union: ITU) 세계전파통신대회(World Radiocommunication Conferences: WRC)에서 L-밴드(960-1164 MHz) 및 C-밴드(5000-5150 MHz)를 새로운 항공통신 주파수 대역으로 할당하고, 이 중 C-밴드는 지상기반, 고용량의 공항 지상 데이터 통신에 이용하는 방향으로 기술 개발이 진행되어 ICAO에서 2015년 항공이동통신시스템(Aeronautical Mobile Airport Communication System: AeroMACS)에 대한 기술 표준화^[2-5]를 완료하였다. AeroMACS 시스템은 고속 항공 데이터 처리를 위한 IEEE 802.16e-2009 기반의 무선 이동통신 시스템으로, 고속 데이터의 광대역 전송이 가능하다. AeroMACS 시스템의 다중접속방식은 직교주파수분할다중접속(Orthogonal Frequency Division Multiple Access: OFDMA)이며, 듀플렉스 방식은 시분할 듀플렉스(Time Division Duplex: TDD), 변조 방식은 채널 환경에 따라 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM을 사용한다. 이외의 AeroMACS 시스템 특징, 주파수 계획, 네트워크 참조모델, 망 구축 시 고려 사항에 대해서는 참고문헌 ^[6]에 기술되어 있다.

미국 및 유럽에서는 2020년경부터 시험운용을 거쳐 본격적인 AeroMACS 서비스를 계획하고 있다. 원활한 AeroMACS 시스템의 운용을 위해서는 정확한 주파수 소요량 산출이 우선적으로 필요하다. 전통적인 주파수 소요량 산출방법은 시장조사 또는 트래픽 모델을 기반으로 트래픽 요구량을 예측하고, 이를 주파수 소요량으로 환산하는 방식이다. 대표적인 주파수 소요량 산출 방법인 권고안 ITU-R M.1390 ^[7]에 제시된 방법론은 M/M/c 큐잉 모델을 기반으로 한 Erlang-B 공식에 따라서 시스템 용량을 계산하고, 주파수 효율을 반영하여 주파수 소요량을 계산하므로 회선 교환망에 적합한 방식이다. 또 다른 방법론인 ITU-R M.1768-1(이하 M.1768) ^[8]에 제시된 방법론

은 M/G/1 큐잉 모델을 기반으로 트래픽 우선순위에 따른 주파수 소요량을 계산하므로 패킷 교환망에 적합하다.

본 논문에서는 패킷의 우선순위에 따른 차등적인 서비스를 고려하여 주파수 소요량을 산출할 수 있는 M.1768을 기반으로 AeroMACS 시스템의 주파수 소요량을 산출하였다. M.1768에서 제시한 20개의 서비스 범주(SC: Service Category)를 AeroMACS 시스템에 적용하기 위해 ICAO에서 제시하는 4가지 서비스 클래스인 NET(Network Management), ATC(Air Traffic Control), AOC(Aeronautical Operational Control) 및 VC(Ground Vehicle)로 수정하였고, 시스템 용량 산출에 필요한 패킷의 우선순위는 서비스 클래스의 우선순위에 따라 NET, ATC, AOC, VC 패킷 순서대로 우선순위가 높게 사용하였다. AeroMACS 트래픽은 SESAR에서 수행한 데이터 트래픽 모델과 시나리오를 일부 수정하여 사용하였으며, 처리되는 항공기의 수에 따라 분류되는 공항의 규모, 공항내의 구역(RAMP, GROUND, TOWER), 셀/섹터의 크기, 주파수 효율 등을 변화시켜가며 주파수 소요량을 산출하였다. 주파수 소요량 산출 결과, 비교적 많은 양의 데이터 트래픽이 발생하는 GROUND (Taxiway 및 Parking area) 구역에서 가장 높은 주파수 소요량이 필요하며, RAMP 및 TOWER 구역에서는 상대적으로 낮은 주파수 소요량이 필요함을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 주파수 소요량 산출에 필요한 AeroMACS의 특징과 공항의 데이터 트래픽 모델에 대해서 설명한다. 3장에서 주파수 소요량 산출 방법에 대해서 설명하고, 4장에서는 3장에서 소개한 방법을 이용하여 다양한 입력 트래픽, 공항내의 구역, 주파수 효율에 따른 주파수 소요량 산출 결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서 본 연구의 결론을 맺는다.

II. AeroMACS

AeroMACS란 Mobile WiMAX 표준에 바탕을 둔 공항내의 고정, 이동 통신 시스템이다. 단말은 항공기와 지상 차량이며, 기지국은 활주로(Runway)를 관장하는 TOWER 구역, 유도로(Taxiway)와 항공기 주차 구역(Parking area)을 관장하는 GROUND 구역, 게이트를 관장하는 RAMP 구역을 서비스 할 수 있도록 적절한 위치에 설치한다. 단말과 기지국을 포함한 AeroMACS의 전반적인 네트워크 구조는 참고문헌 [3], [6]에 상세히 기술되어 있다. AeroMACS가 사용

되는 기간은 항공기가 활주로에 착륙하여 속도를 50 노트 (92.6km/h) 이하로 낮춘 시점부터 지상 체류 후, 다시 활주로를 이륙하여 속도를 50노트 이상으로 높이기 전까지이다. 항공기가 공항에 도착하면 출발하기 전까지 정해진 일련의 절차를 따라 다양한 공항통신 서비스를 사용하게 되는데, 항공기가 체류하고 있는 공항내의 위치에 따라 통신 운용을 관장하는 구역이 TOWER, GROUND, RAMP로 구분된다. 각 구역에서 제공되는 통신 서비스의 범주는 우선순위가 높은 순서대로 정렬하면, 통신선 연결 및 관리 (NET), 항공 트래픽 제어(ATC), 항공 운항 제어 (AOC), 지상 차량 서비스(VC)로 분류된다. 각 서비스 범주는 세부 서비스들을 포함하고 있으며, 각 세부 서비스들은 서로 다른 QoS(Quality of Service) 요구사항을 가진다. 항공기의 착륙부터 지상 체류 후 이륙까지의 모든 항공 통신 서비스를 표 1로 정리하였다³⁾. 표 1의 가로 방향은 시간의 흐름에 따라, 세로 방향은 서비스의 우선순위에 따라 정렬하였다. 여기서 시간의 흐름은 항공기가 착륙하여 속도를 50노트 이하로 낮춘 시점부터, 지상 체류 후 이륙을 위해 속도를 50노트 이상으로 높이기 이전까지를 나타낸다.

표 1에서 보듯이 출발 단계의 RAMP 구역에서 가장 많은 서비스들이 이루어진다. 각 서비스에 대한 상세 설명은 EUROCAE 문헌 [3]을 참고할 수 있다. SESAR [9]에서도 비슷한 분류를 수행한 바 있으며, 표 1과의 차이는 서비스 범주에 VC가 추가되어 있으며 세부 서비스 이름과 분류에 약간의 차이가 존재한다. 참고문헌 [3]과 [9]의 가장 큰 차이는 세부 서비스가 수행되는 구역인데, 참고문헌 [9]에서는 가장 많은 양의 트래픽을 유발하는 EFFU (Electronics Flight Folder Update)와 FOQA (Flight Operational Quality Assurance)가 도착 단계에서 수행되는 것으로 분류하였다. EFFU 서비스는 도착 단계의 GROUND 구역에서 수행되고, FOQA 서비스는 도착 단계의 RAMP 구역에서 수행되며, 이들은 전체 트래픽의 약 87% 정도의 비중을 차지한다. 본 논문은 참고문헌 [9]의 분류 방식을 따라 실험을 수행하였다.

AeroMACS의 트래픽 모델과 서비스 시나리오별 트래픽 요구량에 대한 폭 넓은 연구는 SESAR¹⁹⁾에서 수행하였다. 각 서비스별 트래픽은 공항내의 구역, 발생 주기, 항공기의 구역별 체류 시간, 단위 시간당 항공기 출/도착 횟수, 평균 항공기의 수 등을 감안하여 시뮬레이션을 통해 발생시켰다. 고려하는 서비스 시나리오는 총 32개이며, 각각의 시나리오는 공항의 규모 (시간당 운용 항공기 1대, 10대, 15대, 20대, 25대, 50

표 1. AeroMACS 서비스
Table 1. AeroMACS Services

Phase	Location	Services		
		NET	ATC	AOC
ARR.	TOWER	NETKEEP	ACM	OOOI, AUTOLAND-REG
	GROUND		SURV, ACL, D-SIG, D-TAXI	EFFU, FLT-JOURNAL, TECHLOG, CREW-TIME
	RAMP		ACM	OOOI, FOQA, FLTLOG, CABINLOG, ETS-REPORT, REFUEL, AOCDLL,
DEPT.	RAMP	NETCONN, NETKEEP	DLL, COTRAC, D-OTIS, D-SIGMET, DCL, FLIPCY, FLIPINT, D-RVR, D-SIG, D-FLUP, PPD, D-TAXI	LOADSHT, E-CHARTS, UPLIB, SWCONF, SWLOAD25, SWLOAD, BRFCDD, ACLOG, TECHLOG, AIRWORTH, WXTEXT, PASSENGER, CREW-RPS, CREW-BUL, CREW-REG, FLTPLAN, NOTAM, EFF, WXGRAPH, CREW-L, HANDLING, CATERING, BAGGAGE, NOTOC, LOADDOC, PREFLT-INS, DOOR, FLOWCON, EFFU, TAKEOFF-CALC, OOOI
	GROUND		SURV, ACL, ACM	
	TOWER		ACM	WXRT, OOOI

대, 100대, 200대의 8가지로 분류), 공항내의 구역 (TOWER, GROUND, RAMP로 분류), 단계 (ARRIVAL, DEPARTURE으로 분류)로 구분하여 구성하였다. 단계는 운용되는 항공기들의 출발·도착단계 비율을 의미한다. ARRIVAL 단계는 1:2의 이착륙 비율을 가지고, DEPARTURE 단계는 2:1의 비율로 한

공기가 운용하는 시나리오이다. 본 논문에서 사용한 서비스 시나리오 및 트래픽 부하는 4장에서 설명한다.

III. 주파수 소요량 산출 방안

AeroMACS의 주파수 소요량 산출은 평균 지연 요구사항이 서로 다른 4 종류의 서비스 범주(NET, ATC, AOC, VC)들을 모두 만족시킬 수 있는 시스템 용량을 계산하고, 전파환경에 맞는 주파수 효율을 이용하여 주파수 소요량으로 환산한다.

현재는 AeroMACS 시스템이 상용화되어 있지 않아 적용할 수 있는 트래픽 모델이나 실측 데이터가 존재하지 않는다. 따라서 본 논문에서는 일반적인 환경으로, AeroMACS 패킷의 도착시간이 서로 독립이고, 지수 분포를 가지며, 패킷의 길이는 임의 분포(arbitrary distribution)를 갖는다고 가정하였다. 또한, 패킷의 처리가 단일 큐 내에서 FCFS(First Come First Serve)로 이뤄지며, 비선점 우선순위(non-preemptive priority)로 서비스된다고 가정하여, M/G/1 대기행렬 모델을 이용하여 시스템 용량을 산출하였다. 참고문헌 [8], [12]에 M/G/1 모델의 일반적인 분석방법이 제시되어 있으며, M/G/1 모델을 이용하여 시스템 용량을 산출하기 위해서는 아래와 같은 입력 파라미터들이 결정되어야 한다.

- 각 SC n에 대해 셀당 서비스 환경별로 인가되는 트래픽 부하 T_n (bit/(s·cell)).
- 각 SC n에 대한 평균 패킷 사이즈 s_n (bits/packet) 과 2차 모멘트 $s_n^{(2)}$ (bits/packet).
- 각 SC n에 대한 요구되는 평균 지연 D_n .
- 총 N개의 SC들에 대한 우선순위, $n = 1, 2, \dots, N$. 숫자가 낮을수록 우선순위가 높음.

SC n의 IP 패킷 도착률 λ_n (packets/(s·cell))은 식 (1)와 같다.

$$\lambda_n = \frac{T_n}{s_n} \tag{1}$$

모든 SC들에 대한 총 패킷 도착률 λ 은 식 (2)와 같다.

$$\lambda = \sum_{n=1}^N \lambda_n \tag{2}$$

SC n이 요구하는 평균 지연을 만족시킬 수 있는 시스템 용량 C_n 을 계산하고, 이중 가장 큰 값을 전체 시스템의 용량으로 정한다. 전체 시스템 용량은 식 (3)로부터 얻을 수 있다.

$$C = \max(C_1, C_2, \dots, C_N) \tag{3}$$

SC n의 IP 패킷의 평균 지연 D_n 은 평균 대기 시간과 평균 서비스 시간의 합이다. 대기행렬이 FCFS(First Come First Serve)이며, 서버가 비선점 우선순위 서비스를 사용하는 경우, D_n 을 Cobham 공식^[13]으로 알려진 식 (4)와 같이 계산할 수 있다^[8].

$$D_n(C_n) = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i s_i^{(2)}}{2 \left(C_n - \sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(C_n - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right)} + \frac{s_n}{C_n} \tag{4}$$

SC n의 서비스 품질 요구사항 $D_n = D_n(C_n)$ 을 만족하는 시스템 용량 C_n 은 식 (3)를 통해 구할 수 있으며, 식 (5)의 3차방정식의 해가 된다.

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0 \tag{5}$$

여기서 계수 a_n, b_n, c_n, d_n 은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} a_n &= 2D_n \\ b_n &= -2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \right) \\ c_n &= 2 \left(D_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) + s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) \right) - \sum_{i=1}^N \lambda_i s_i^{(2)} \\ d_n &= -2s_n \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i \right) \end{aligned} \tag{6}$$

식 (5)를 통해 얻을 수 있는 3차방정식의 세 개의 해 중, 시스템의 용량이 총 패킷 도착률 보다 큰 값을 가져야만 유한한 시간 내에 패킷 처리가 가능하므로, 식 (7)을 만족하는 해를 택한다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i < C_n \tag{7}$$

식 (3)을 통해 얻어진 시스템 용량을 기반으로 주파수 소요량 F 를 도출할 수 있으며, 주파수 효율 η

(bit/(s·Hz·cell))에 따라 식 (8)로 계산된다.

$$F = \frac{C}{\eta} \quad (8)$$

여기서, C 는 상향링크와 하향링크 용량의 합이다. 본 논문에서는 트래픽이 거의 발생하지 않는 NET와 VC 서비스 범주를 제외하고, ATC와 AOC 두 가지 서비스 범주를 가지고 실험하였다. 인가되는 입력 트래픽은 SESAR 문서^[9]를 이용하였다.

IV. 주파수 소모량 산출 결과

4.1 산출 시나리오

본 논문에서는 대한민국의 인천국제공항에 AeroMACS 도입 시 필요한 주파수 소모량을 예측하기 위하여, SESAR^[9]의 연구 결과 중 인천국제공항과 가장 유사한 시나리오를 선택하였다. 인천 공항의 가장 혼잡한 시간대의 평균 항공기 운용 수는 58.77 대이며, 이는 SESAR의 트래픽 시뮬레이션 중 평균 50대의 항공기를 운용하는 시나리오와 유사하다. 따라서 본 논문에서는 참고문헌 [9]의 32가지 시나리오 중, 평균 50대의 항공기를 가정한 6개의 시나리오에 따른 트래픽 부하 (offered load)를 산출에 적용시켰고 이를 표 2에 정리하였다. 표 2에서 보듯이 트래픽 부하는 공항내의 구역, 항공기의 이착륙 단계, 서비스 범주, 트래픽 전송 방향 (UL/DL)에 따라 다른 값을 사용하였다. SESAR^[9] 연구에 따르면, 트래픽은 항공기의 출/도착율을 기반으로 통계적으로 발생시켰으며, 서비스 동작시간을 고려하지 않아 시간에 따른 트래픽 부하의 변동 폭이 매우 크다. 평균 50대의 항공기를 가정한 시나리오는 ARRIVAL 단계에서는 도착 항공기의 대수를 33.27대로 출발 항공기의 대수를 16.73 대로 가정해 트래픽 부하를 산출한 결과이다. DEPARTURE 단계에서는 도착 항공기 14.23대, 출발 항공기 35.77대로 가정한 뒤 트래픽 부하를 산출한 결과이다.

본 논문에서는 시시각각 변화하는 트래픽 부하를 감안하여, 평균, 백분위의 95%, 최대치를 각각 트래픽 부하로 사용하였다.

표 2의 트래픽 부하이외에도 M/G/1 큐잉 모델을 이용하여 시스템 용량을 산출하기 위해서는 평균 패킷 길이와 패킷 길이의 2차 모멘트가 필요하다. 이를 위해, 공항내의 구역, 항공기의 이착륙 단계, 서비스 범주, 트래픽 전송 방향(UL/DL) 별로 평균 패킷 길이

표 2. 평균 50대의 항공기가 운행될 때의 트래픽 부하
Table 2. Offered load when an average of 50 aircraft are operated

RE	Offered load	SC	DL Traffic Volume (kbit/s)		UL Traffic Volume (kbit/s)	
			ARR.	DEPT.	ARR.	DEPT.
TOWER	Average load	ATC	1.08	0.88	0.03	0.02
		AOC	0	0	279.18	596.1
	95 percentile load	ATC	2.45	1.9	0	0
		AOC	0	0	960	1560
	100 percentile load	ATC	4.4	3.7	3.02	2.02
		AOC	0	0	1680.94	2280
RAMP	Average load	ATC	0.43	0.78	0.28	1.15
		AOC	0.51	0.39	9.84	0.09
	95 percentile load	ATC	1.03	2.22	1.01	10.72
		AOC	0	0	38.95	0
	100 percentile load	ATC	33.14	34.18	23.62	32.54
		AOC	64	96	257.2	18.81
GROUND	Average load	ATC	2.02	2.01	0.16	0.14
		AOC	350.45	178.92	20754.6	10975.6
	95 percentile load	ATC	4.35	4.35	1.49	1.06
		AOC	16	1.52	80000	40
	100 percentile load	ATC	6.9	7.33	4.13	4.46
		AOC	24000	16000	1600000	880000

와 패킷 길이의 2차 모멘트를 산출하였다. SESAR에서는 메시지 길이와 동일한 패킷 길이를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으나, 실제로는 EFFU나 FOQA와 같이 메시지 길이가 매우 큰 서비스의 경우 적절한 패킷으로의 세그먼트이션이 발생하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 TCP (Transmission Control Protocol)에서 일반적으로 사용하는 세그먼트의 길이인 536 Bytes (헤더 제외)를 이용하여, SESAR 트래픽 모델의 평균 패킷 길이를 표 3과 같이 재산출하였으며, 패킷 길이의 표준편차를 이용하여, 2차 모멘트를 표 4와 같이 추정하였다.

참고문헌 [3], [9]에서 각 서비스의 종류 별 요구되는 지연시간을 제시하였다. 본 논문은 각 서비스 별 요구 지연시간 중 가장 작은 지연시간을 입력 파라미터로 사용하였으며, ATC 서비스 범주의 경우 평균

표 3. 공항내의 구역, 서비스 범주, 전송 방향에 따른 평균 패킷 길이

Table 3. Average packet length according to area, service category, transmission direction in airport

RE		TOWER		RAMP		GROUND	
SC		ATC	AOC	ATC	AOC	ATC	AOC
ARR.	DL (kbit)	0.034	0	0.282	0.522	0.034	0.086
	UL (kbit)	0.123	0.522	0.241	0.299	0.149	0.523
DERT.	DL (kbit)	0.034	0	0.307	0.523	0.035	0.086
	UL (kbit)	0.123	0.523	0.234	0.501	0.149	0.523

표 4. 공항내의 구역, 서비스 범주, 전송 방향에 따른 패킷 길이의 2차 모멘트

Table 4. Second moment of packet length according to area, service category, transmission direction in airport

RE		TOWER		RAMP		GROUND	
SC		ATC	AOC	ATC	AOC	ATC	AOC
ARR.	DL (kbit)	1.175	0	120.673	279.678	1.198	7.563
	UL (kbit)	15.504	279.742	91.604	104.958	23.430	280.562
DEPT.	DL (kbit)	1.175	0	135.802	280.504	1.389	7.563
	UL (kbit)	15.504	280.290	89.518	262.911	23.423	280.562

1.2초, AOC 서비스 범주의 경우 평균 3.0초를 사용하였다. 참고문헌 [6]은 AeroMACS의 셀 크기를 지정할 때, 공항 규모, 구역별 최대 셀 반지름과 커버리지 영역에 따른 주파수 효율을 제시하고 있다. 본 논문에서는 참고문헌 [6]에서 제시한 것과 같이 RAMP 구역의 셀의 최대 반지름은 0.95km, TOWER 및 GROUND 구역에서의 셀의 최대 반지름은 2.5km로 설정하였다.

최대 주파수 효율 산출 시 하향 링크는 64QAM, 상향 링크는 16QAM를 사용하였고, 셀 커버리지에 따른 주파수 효율은 표 5, 6과 같이 설정하였다. 이는 시간당 50대 이상을 운용하는 공항을 기준으로 산정한 값이다.

본 논문에서 제안한 주파수 소요량 산출에 필요한 서비스별 평균 패킷 길이, 패킷 길이의 2차 모멘트, 평균 패킷 지연, 주파수 효율을 참고문헌 [3], [6], [10]에 근거하여 설정하였다. 인기된 입력 트래픽의 경우 SESAR에서 제공한 평균 50대의 항공기가 운용되는 시나리오를 사용하였다. 트래픽은 공항 전체에 고르게 분포되었다고 가정하였다. 공항내의 상세 환경은 고려

표 5. RAMP 구역에서 커버리지에 따른 주파수 효율

Table 5. Spectral efficiency according to coverage in RAMP

	Percentage of Maximum Coverage Area (%)	Spectral Efficiency (bps/Hz)
UL	≤ 25	3
	≤ 37.5	2
	≤ 50	1.5
	≤ 70	1
DL	≤ 100	0.5
	≤ 22.5	4.5
	≤ 37.5	4
	≤ 45	3
	≤ 67.5	2
	≤ 90	1.5
	≤ 100	1

표 6. TOWER 및 GROUND 구역에서 커버리지에 따른 주파수 효율

Table 6. Spectral efficiency according to coverage in TOWER and GROUND

	Percentage of Maximum Coverage Area (%)	Spectral Efficiency (bps/Hz)
UL	≤ 15	3
	≤ 27.5	2
	≤ 40	1.5
	≤ 62.5	1
	≤ 100	0.5
DL	≤ 7.5	4.5
	≤ 10	4
	≤ 17.5	3
	≤ 32.5	2
	≤ 47.5	1.5
	≤ 77.5	1
	≤ 100	0.5

하지 않았으므로, 활주로 개수 및 방향, 게이트의 개수, 모양이나 배치 등은 고려하지 않았다.

소요량 산출은 두 가지 형태로 진행하였다. 첫 번째는 단계별로 ATC, AOC 서비스에서 요구하는 구역별 주파수 소요량을 섹터 개수에 따라 산출하였고, 그림 1~6에 나타내었다. 그림 1~6에서 Average, 95%, MAX는 실험에 사용한 입력 트래픽 부하를 의미한다. 참고로, 95%와 MAX는 시시각각 변화하는 트래픽 부하의 백분위 수에 해당한다. 주파수 소요량은 하향/상향별 발생 트래픽의 주파수 소요량을 모두 합산한 값

이다. 그림 1~3은 ARRIVAL 단계에 대한 실험결과이고, 그림 4~6은 DEPARTURE 단계에 대한 실험결과를 나타낸다.

두 번째는 단계별로 인천공항에서 입력 트래픽에 따른 주파수 소요량을 산출한 것이다. 본 실험에서는 인천공항의 RAMP, TOWER, GROUND 구역별 전체 섹터 개수와 셀 반지름을 표 7과 같이 제안했다. 이는 실제 인천 공항의 크기, 활주로 길이 및 게이트 구성을 감안해 중첩 셀을 배치했다. GROUND는 넓은 지역에서 발생하는 트래픽을 커버해야하므로 주파수 효율 감소를 고려해 셀을 세분화했다. 구역별 셀 반지름과 참고문헌 [6]에 따른 주파수 효율을 적용하여 인천공항의 실험 환경을 표 8로 정리했다. 표 9는 ARRIVAL 단계에 대한 주파수 소요량 실험결과를 나타내고, 표 10은 DEPARTURE 단계에 대한 주파수 소요량 결과를 나타낸다.

표 7. 실험 환경에서 제안한 인천국제공항의 섹터 배치
Table 7. Proposed sector planning of Incheon International Airport in experimental conditions

Radio Environment	RAMP	TOWER	GROUND
# of sectors	3	1	3
# of sectors/site	2	1	3
Total # of sectors	6	1	9
Cell radius [km]	0.7	2.5	1.44

표 8. 인천국제공항을 가정한 실험 환경
Table 8. Experimental environment assuming Incheon International Airport

Radio Environment	RAMP	TOWER	GROUND	
# of sectors	6	1	9	
radius (km)	0.7	2.5	1.44	
Percentage of Maximum Coverage Area (%)	73.7	100	57.7	
Spectrum Efficiency (bps/Hz)	UL	0.5	0.5	1.0
	DL	1.5	0.5	1.0

4.2 산출 결과

그림 1은 ARRIVAL 단계에서 GROUND 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average 트래픽 부하를 인가한 경우는 41.4 Mhz, 백분위의 95%의 트래픽 부하를 인가한 경우는 156.6 Mhz, 그리고 최대 트래픽 부하를 인가한 경우 (MAX)는 약 3 GHz의 주파수 요구량이 산출되었다. 이는

AeroMACS가 할당받은 주파수 대역을 초과하는 결과이다. GROUND 구역에서 상당히 큰 주파수 소요량이 산출된 이유는 전체 트래픽의 90% 이상을 차지하고 있는 EFFU 서비스가 포함되었기 때문이다. EFFU는 매우 중요한 서비스이지만, 서비스 발생 빈도가 매우 낮고 (대략 28일에 1회 발생) 서비스 발생 시, 1.6GB 정도의 트래픽을 발생시킨다. 따라서 EFFU 서비스는 항공기 도착 시 매번 유도로(taxiway)에서 수행하는 것 보다는 정기적으로 parking area에서 수행하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

그림 2는 ARRIVAL 단계에서 RAMP 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average는 0.07 Mhz, 95%는 0.15 Mhz, 그리고 Max는 0.79 Mhz 가량의 주파수 요구량이 산출되었다. 최대 트래픽을 취하더라도 AeroMACS의 한 개의 채널(5Mhz)로 수용할 수 있는 결과이다. 이는 참고문헌 [9]의 평균 50대의 항공기를 가정한 RAMP 지역 시나리오가 항공기의 AOC 서비스에 대한 트래픽 부하를 제외했기 때문이다.

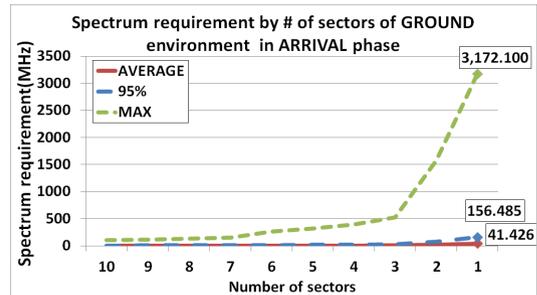


그림 1. ARRIVAL 단계에서 섹터 수에 따른 GROUND 영역의 주파수 소요량
Fig. 1. Spectrum requirement of GROUND area according to the number of sectors in ARRIVAL phase

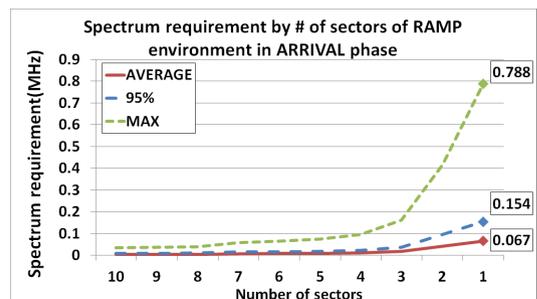


그림 2. ARRIVAL 단계에서 섹터 수에 따른 RAMP 영역의 주파수 소요량
Fig. 2. Spectrum requirement of RAMP area according to the number of sectors in ARRIVAL phase

그림 3은 ARRIVAL 단계에서 TOWER 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average는 0.7 Mhz, 95%는 2 Mhz, 그리고 Max는 3.5 Mhz 가량의 주파수 요구량이 산출되었다. 이는 최대 트래픽을 인가해도 1개의 채널로 운용할 수 있는 결과이다.

그림 4는 DEPARTURE 단계에서 GROUND 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average는 22 Mhz, 95%는 0.19 Mhz, 그리고 Max는 1.7 GHz의 가량의 주파수 요구량이 산출되었다. Average가 95%보다 많은 주파수를 요구하는 이유는 사용한 트래픽 부하가 서비스의 동작시간을 고려하지 않기 때문이다. GROUND 구역의 전체 트래픽 부하 중 99%를 차지하는 서비스인 EFFU, FOQA, FLTJOURNAL의 발생에 따라 트래픽 부하가 큰 시점이 발생해 Average의 입력 트래픽 부하가 95%의 입력 트래픽 보다 커진 것이다.

그림 5는 DEPARTURE 단계에서 RAMP 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전

체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average는 0.04 Mhz, 95%는 0.1 Mhz, 그리고 Max는 0.35 Mhz 가량의 주파수 요구량이 산출되었다. 항공기의 ATC와 지상 차량 서비스의 ATC, AOC만을 고려한 트래픽 부하를 입력으로 사용해 다른 구역보다 낮은 주파수 요구량이 산출됐다.

그림 6은 DEPARTURE 단계에서 TOWER 구역의 섹터 개수에 따른 주파수 소요량 그래프이다. 공항 전체에서 발생한 트래픽을 1개의 섹터에 할당했을 경우 Average는 1.33 Mhz, 95%는 3.22 Mhz, 그리고 Max는 4.64 Mhz 가량의 주파수 요구량이 산출되었다. SESAR^[9]는 TOWER 구역에 SURV 서비스를 포함해 트래픽 부하를 산출했다. EUROCAE 문헌 [3]을 참고해 주파수 소요량을 산출할 경우, SURV 서비스가 TOWER 구역에서 제외되므로 주파수 소요량이 감소할 것으로 예측된다.

표 9는 ARRIVAL 단계에서 인천공항에 셀을 배치했을 때의 주파수 소요량을 나타내었다. 평균 트래픽 기준으로 GROUND 구역에서 섹터당 최대 2.39 Mhz의 채널이 필요한 것으로 계산되었고, 주파수 재사용을

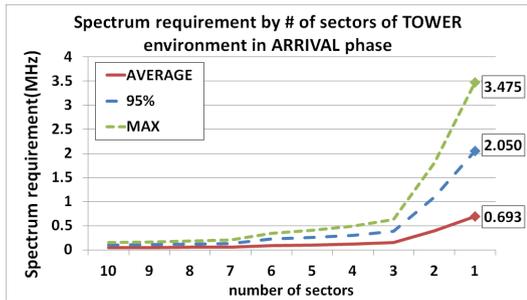


그림 3. ARRIVAL 단계에서 섹터 수에 따른 TOWER 영역의 주파수 소요량

Fig. 3. Spectrum requirement of TOWER area according to the number of sectors in ARRIVAL phase

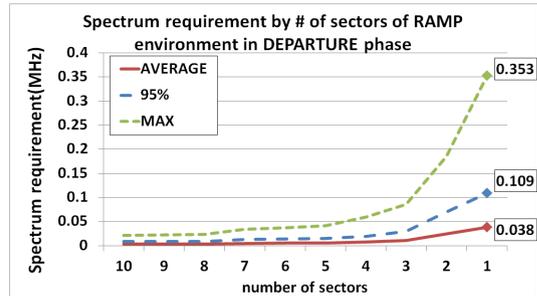


그림 5. DEPARTURE 단계에서 섹터 수에 따른 RAMP 영역의 주파수 소요량

Fig. 5. Spectrum requirement of RAMP area according to the number of sectors in DEPARTURE phase

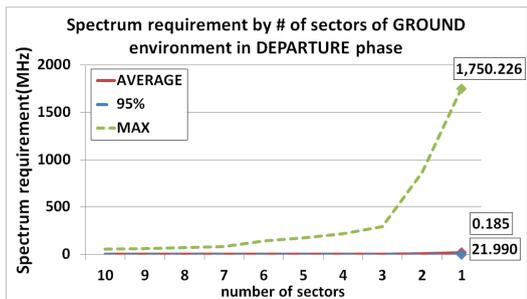


그림 4. DEPARTURE 단계에서 섹터 수에 따른 GROUND 영역의 주파수 소요량

Fig. 4. Spectrum requirement of GROUND area according to the number of sectors in DEPARTURE phase

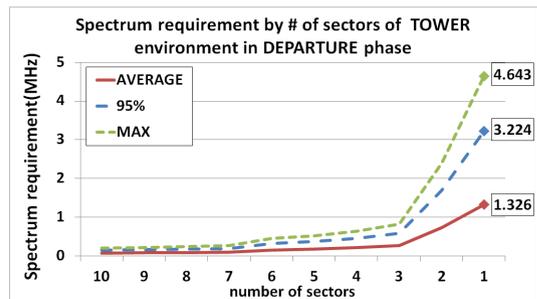


그림 6. DEPARTURE 단계에서 섹터 수에 따른 TOWER 영역의 주파수 소요량

Fig. 6. Spectrum requirement of TOWER area according to the number of sectors in DEPARTURE phase

표 9. ARRIVAL 단계에서 인천국제공항의 주파수 소요량 시뮬레이션 결과 (단위: MHz)
Table 9. Simulation results for Incheon International Airport in ARRIVAL phase[MHz]

Radio Environment	Offered load		
	Average load	95% load	Maximum load
TOWER	0.69295	2.04953	3.47494
RAMP	0.02332	0.04895	0.18355
GROUND	2.38548	8.77351	176.31792

가정하지 않을 경우에 공항 전체에서 22.30 Mhz (RAMP: 0.023 Mhz/sector × 6, TOWER: 0.69 Mhz/sector × 1, GROUND: 2.39 Mhz/sector × 9)의 주파수가 필요한 것으로 나타났다. 현재의 실험에서는 EFFU를 도착 시 GROUND에서 수행한 것으로 가정하여 실험하였다. 만일, EFFU 서비스를 별도의 parking area에서 수행한다면, 주파수 자원을 좀더 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

표 10은 DEPARTURE 단계에서 인천공항에 셀을 배치했을 때의 주파수 소요량을 나타내었다. 평균 트래픽 기준으로 섹터 당 가장 큰 주파수 소요량은 TOWER 구역의 1.33 Mhz로 계산되었다. 표 9와 비교했을 때, 도착 항공기가 출발 항공기보다 GROUND 구역에서 트래픽 부하가 큰 서비스들이 발생하는 것과 TOWER 구역에서 트래픽 부하가 작은 서비스들이 발생하는 것을 알 수 있다.

본 실험에서는 두 가지의 서비스 범주인 ATC와 AOC만을 고려하였으나, 공항통신 서비스 범주에는 NET과 VC도 존재한다. NET은 우선순위가 가장 높은 서비스 범주이지만, 발생하는 트래픽 부하가 매우 낮으며, VC는 우선순위가 가장 낮은 서비스 범주이며, 트래픽 부하는 AOC에 비해 매우 낮은 편이다. 따라서 이들 두 가지의 서비스 범주는 주파수 소요량 산출에 사용하지 않았다. 또한, 본 논문에서는 인가되는 트래픽 부하 (offered load)를 평균 부하, 백분위의

표 10. DEPARTURE 단계에서 인천국제공항의 주파수 소요량 시뮬레이션 결과 (단위: MHz)
Table 10. Simulation results for Incheon International Airport in DEPARTURE phase [MHz]

Radio Environment	Offered load		
	Average load	95% load	Maximum load
TOWER	1.32605	3.22428	4.64307
RAMP	0.01393	0.03902	0.09505
GROUND	1.30182	0.02487	97.32487

95% 부하, 최대 부하로 구분하여 실험하였지만, 일반적인 시스템 용량 산출은 피크 1시간 (peak hour) 동안의 평균 트래픽 부하를 기반으로 하는 것이 일반적이다.

V. 결 론

본 논문에서는 AeroMACS 통신 기술을 사용하는 공항에서 다양한 공항 통신 서비스 제공에 필요한 주파수 소요량을 산출하였다. 주파수 소요량을 정확히 산출하기 위해서는 피크 시간대의 트래픽 요구량을 파악해야 하며, 이를 위해서는 공항에서 발생하는 패킷 트래픽에 대한 통계 자료가 필요하다. 본 논문에서는 유럽의 SESAR에서 수행한 트래픽 모델과 시나리오를 기반으로 공항 트래픽을 적용하였으며, M/G/1 큐잉 모델을 이용하여 AeroMACS의 주파수 소요량을 산출하였다. 주파수 소요량 산출시 트래픽의 우선순위를 고려하였고, 공항내의 구역, 섹터의 크기, 주파수 효율을 변화시켜가며 주파수 소요량을 산출하였다. 인천공항을 대상으로 실험한 결과는 평균 트래픽을 기준으로 섹터당 2.39 Mhz가 필요하고, 이는 AeroMACS가 할당받은 주파수 대역폭보다 적은 것을 확인했다. SESAR의 트래픽 모델의 공항 트래픽은 제한적인 시나리오를 제공하기 때문에 다양한 시나리오에 대한 주파수 소요량을 산출할 수 있도록 트래픽 모델을 만들 예정이다.

References

- [1] MOLIT, *The next-generation airport communication systems building operation plan study report*(2015), Retrieved Sep., 20, 2017, from <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRK0201600016315>
- [2] EUROCAE, EUROCAE ED-223, *Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for the Aeronautical Mobile Airport Communication System*, EUROCAE, Oct. 2013.
- [3] EUROCAE, EUROCAE ED-227, *Minimum Aviation System Performance Standards (MASPS) AeroMACS*, EUROCAE, Sep. 2016.
- [4] SARPS, *ACP WG-S/6 13th-14th, Proposed Aeronautical Mobile Airport Communications*

System (AeroMACS) SARP, FINAL DRAFT AeroMACS, SARPS, Nov. 2014.

- [5] WiMAX Forum Conformance Statements, *WiMAX Forum Mobile Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) Proforma WMF-T24-001-R010v09* (2012), Retrieved Apr. 16, 2015, from http://wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/04/WMF-T24-001-R010v09_PICS.pdf
- [6] WiMAX forum, *AeroMACS Delivering Next Generation Communications to the Airport Surface*(2015), Retrieved Oct. 30, 2015, from http://files.wimaxforum.org/Document/Download/AeroMACS-Delivering_Next_Generation_Communications_to_the_Airport_Surface.
- [7] ITU, ITU-R Rec. M.1390, *Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements*, ITU, Jan. 1999.
- [8] ITU, ITU-R Rec. M.1768-1, *Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications*, ITU, Apr. 2013.
- [9] SESAR, *Study and characterization of the traffic model in the airport*, SESAR, May 2011.
- [10] SESAR, *Study and characterization of the traffic model in the airport - appendices*, SESAR, May 2011.
- [11] K.Y. Son and Y.O. Park, "Technology trends on AeroMACS system," *ETRI Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 11-20, Apr. 2012.
- [12] L. Kleinrock, *Queueing Systems, vol. 1: Theory*, John Wiley & Sons, 1976.
- [13] A. Cobham, "Priority assignments in waiting line problems," *J. Operations Res. Soc. Am.*, vol. 2, pp. 70-76, Feb. 1954.

신 흥 기 (Hong-Gi Shin)



2017년 2월 : 경기과학기술대학교 컴퓨터모바일융합과 전문학사

2017년 8월 : 국가평생교육진흥원 학점은행제 컴퓨터공학 학사

2017년 9월~현재 : 광운대학교 로봇학과 석사과정

<관심분야> 통신 네트워크, 머신러닝, 실내 측위

김 형 중 (Hyung-Jung Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업

1995년 8월 : 한양대학교 전자공학과 석사

2010년 8월 : 충북대학교 전파통신공학과 박사

1995년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야> 스펙트럼공학, 디지털RF, 이동통신

윤 현 구 (Hyungoo Yoon)



1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2002년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2002년~2004년 : (주)현대시스템 선임연구원

2004년~현재 : 명지전문대학 전자공학과 교수

<관심분야> 통신시스템, 무선자원관리, 간섭회피방안

최 용 훈 (Yong-Hoon Choi)



1995년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 공학사

1997년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 공학석사

2001년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 공학박사

2001년 4월~2002년 3월 : (미)

매릴랜드 주립대 Postdoctoral Research Associate

2002년 6월~2005년 8월 : LG전자 책임연구원

2005년 9월~현재 : 광운대학교 로봇학부 교수

<관심분야> 통신 네트워크, 머신 러닝