



# 미군 스펙트럼 관리기술 발전동향

## I. 서론



박재돈  
국방과학연구소



이형주  
국방과학연구소



박종성  
국방과학연구소



채승호  
국방과학연구소



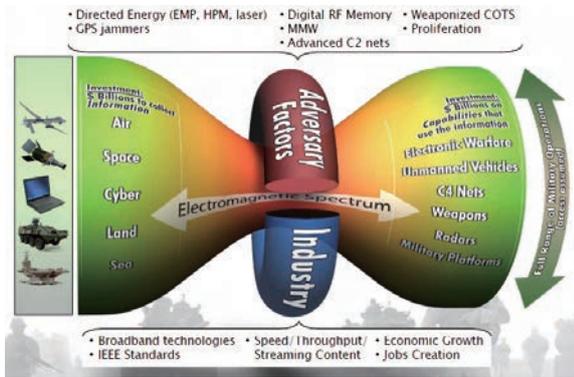
정대진  
국방과학연구소



백광훈  
국방과학연구소

현대의 군 작전 환경은 종래의 플랫폼 중심전(PCW, Platform Centric Warfare)에서 지상, 공중, 위성 및 해양에 이르기까지 모든 전장 환경 요소들의 네트워크화를 통한 정보 우위 확보 중심의 네트워크 중심전(NCW, Network Centric Warfare)으로 진화하고 있다. 이와 더불어, 무인기, 무인로봇, 센서 등과 같은 다양한 신규 스펙트럼 의존 무기체계들의 등장은 주파수 소요량을 폭발적으로 증가시키고 있다. NCW 기반의 군 작전 환경은 무기체계의 디지털화, 정보 수집량 증가, 합동/연합 작전의 수행 등으로 소요 데이터 용량의 증가를 가속화시키고 있으며, NCW 네트워크를 이용한 복합 무기체계의 증가 추세로 상호운용성이 강조되는 등 군 주파수 운용형태는 기존의 단순한 배타적 주파수 확보·운용의 개념에서 다층적, 다차원적 형태의 운용 개념으로 진화하고 있다.<sup>[1]</sup>

미군은 이라크 전쟁과 아프가니스탄 전쟁 경험을 통해 무선 네트워크의 확보가 군 작전 성공과 직결되는 NCW 환경에서 스펙트럼 관리의 중요성에 대해 크게 인식하게 되었다. 또한 NCW 환경에서 스펙트럼 관련 도메인, 조직 간의 운용 체계, 운용절차, 데이터베이스 등을 통합 관리·운용하는 스펙트럼 관리체계에 대한 개혁의 필요성을 인식하게 되었다. 그리



〈그림 1〉 미군 전자기 스펙트럼 운용 환경<sup>[3]</sup>

하여, 전자기 스펙트럼 작전(EMSO, Electromagnetic Spectrum Operations) 개념의 구체화를 통해, 미래 NCW 환경 하에서 스펙트럼 작전을 수행하기 위한 토대를 마련해 나가고 있다. 이러한 노력의 일환으로 2013년 미 국방부(DoD, Department of Defense)는 “DoD Electromagnetic Spectrum Strategy”에서 “언제, 어디서나 성공적인 임무 수행을 위해 요구되는 스펙트럼 접근을 가능하게 하겠다.”는 비전을 제시하였다. 또한 스펙트럼 규정 변화에 대한 신속한 대응, 그리고 다변화하는 스펙트럼 환경 적응을 위한 프레임워크를 꾸준히 제시해 오고 있다.<sup>[2]</sup>

이러한 과정 중 미 국방부는 변화된 스펙트럼 현실과 운용 현실을 인식하고 무기체계를 만드는 노력이 국가 안보에 매우 중요함을 깨닫게 되었다.<sup>[3]</sup> 〈그림 1〉과 같이 전자기 스펙트럼(EMS, Electromagnetic Spectrum)은 미군의 정보 수집·분석·공유, ISR(Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance)자산 제어 등과 같은 군 요구사항을 실현하는데 혁신적인 플랫폼을 제공한다. 마찬가지로 산업계에서도 EMS는 기술 혁신에 대한 핵심 플랫폼을 제공해 경제 성장과 일자리 창출의 엔진 역할을 한다. 또한 적군의 EMS를 이용한 공격, 스펙트럼 자원을 더 필요로 하는 새로운 무기체계의 등장 또한 군 스펙트럼 획득과 관리·운용 환경에 영향을 끼친다. 이렇게 경쟁이 치열하며 혼잡한 EMS 운용 환경에서 군 스펙트럼 사용을 보장하기 위한 스펙트럼 관리의 중요성은 더욱 강조되고 있다.

그리하여 본 논문에서는 미군의 스펙트럼 관리 개념,

관리체계 및 기술 동향을 살펴보려 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 진화되고 있는 미군 스펙트럼 관리 개념 및 관리 체계를 소개하고, 3장에서는 미군 스펙트럼 관리 체계에 포함된 기술들을 소개한다. 효율적인 군 스펙트럼 관리를 위한 스펙트럼 공유 기술, 스펙트럼 관리체계 간 데이터 교환 표준 포맷 및 전파모델에 관한 기술 동향을 소개한 후 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. 미군 스펙트럼 관리 개념 및 체계

본 장에서는 미군의 스펙트럼 관리 개념의 동향을 살펴보기 위해 현재 적용 중인 전자전(EW, Electronic Warfare)에서 진화된 CEMA(Cyber Electromagnetic Activities)에서의 스펙트럼 관리 개념과 EMBM(Electromagnetic Battle Management) 개념을 고찰하고자 한다. 또한 스펙트럼 관리체계인 GEMSIS(Global Electromagnetic Spectrum Information System)를 살펴본 후 스펙트럼 관리체계 로드맵을 간략히 살펴본다.

### 1. CEMA의 스펙트럼 관리

미군은 사이버공간과 EMS에 대한 증가하는 중요성을 해결하기 위해 전자전(EW) 교리를 2014년에 CEMA 교리로 혁신적으로 진화하였다.<sup>[4]</sup> CEMA는 사이버공간과 EMS에 대해 적군보다 우위를 확보하고 이를 유지하며 이용하는데 영향을 주는 활동들이며, 동시에 적군의 사용을 거부하고 경감시켜 임무명령시스템을 보호하는데 영향을 주는 활동들로 정의한다. CEMA의 구성요소는 EW, 사이버공간 작전(CO, Cyberspace Operations) 뿐만 아니라 스펙트럼 관리 작전(SMO, Spectrum Management Operations)을 포함하고 있다.

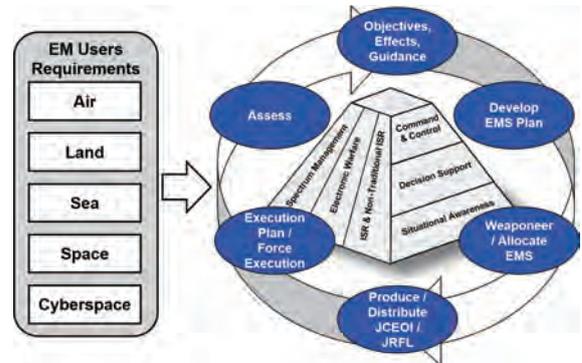
SMO는 전자기 스펙트럼 작전(EMSO)을 관리하기 위한 분야로 사이버공간 작전(CO) 및 EW의 실행을 가능하게 하고 지원한다. 즉, SMO는 군사 작전의 모든 단계 동안 EMS 작전 환경에서 작전에 대한 계획, 관리 및 수행을 가능케 하는 스펙트럼 관리, 주파수 지정, 호스트-국가 조정, 그리고 정책 등과 같은 관련된 기능을 모두 포함한다. SMO의 목표는 방공 레이더, 센서, 모든 종류의 유

인 및 무인 시스템 등을 비롯한 스펙트럼 의존 시스템들이 허용 할 수 없는 전자기 간섭을 야기하거나 영향을 미치지 않으면서 의도된 환경에서 해당 기능을 수행할 수 있게 하는 것이다. 즉, SMO는 NCW 전장 환경에서 무선 네트워크를 구현하기 위해 필요한 EMS 자원을 제공하는 것으로 CEMA 작전의 핵심 기능이다.

SMO의 구성요소 중 스펙트럼 관리(SM, Spectrum Management)는 전자기 환경 영향 평가 및 완화, 주파수 기록 및 데이터베이스 관리, 주파수의 간섭 제거, 주파수 간섭 해결, 주파수 할당 및 EW 조정으로 구성된다. 즉, 미군 스펙트럼 관리의 목적은 군의 작전 임무를 수행하는 사용자를 지원하기 위해 EMS에 대한 액세스를 보장하는 것이며, 스펙트럼 관리를 통해 전 세계적으로 운용 부대를 직접 지원하는 필수적이며 제한된 스펙트럼 자원을 할당하는 것이다. 결국 국가 안보의 책임을 수행하기 위해 EMS에 의존하는 군 스펙트럼 작전 환경에서 스펙트럼 관리 패러다임은 스펙트럼을 활용하는 네트워크를 포함한 전자 시스템이 허용 할 수 없는 간섭을 유발하거나 영향을 미치지 않고 의도된 환경에서 기능을 수행 할 수 있게 하는 것으로 진화하고 있다.

## 2. EMBM의 스펙트럼 관리

전자기 작전 환경(EMOE, Electromagnetic Operational Environment)은 끊임없이 변화해 왔으며, 미군은 2009년 공식적으로 Electronic Warfare Initial Capabilities Document에서 전술 부대를 위한 효과적이고 효율적인 EMS 자원 관리에 대한 요구, 즉, EMBM에 대한 요구사항을 서술하였다<sup>[5]</sup>. EMBM은 EMS를 통해서 정보 수집 활동, 작전 지휘 통제, 스펙트럼 관리 임무를 수행하는 합동 EMS 작전(JEMSO, Joint EMS Operations)에 대해 모든 도메인(지상, 해상, 공중, 우주 및 사이버)에서 통합 지원 할 수 있는 프레임워크를 제공하기 위해서 만들어졌으며, <그림 2>와 같이 피라미드 형태의 개념으로 표현될 수 있다. EMBM은 JTF(Joint Task Force)와 사단 이하의 전술 부대에 동적 전장 상황에서 JEMSO를 위한 연결성과 자동화 도모 및 전자기 방해 방지, 간섭/재밍 해소와 같은 새로운 스펙트럼 관리



<그림 2> EMBM에서의 JEMSO 동기화<sup>[5]</sup>

요구사항에 대해 신속한 해결을 위하여 설계되었다.

이러한 EMBM 스펙트럼 관리 개념은 초기에는 전술 부대의 스펙트럼 관리도구인 CJSMPT의 발전 개념으로 연구 및 구현되기 시작하였으며, EMBM 프레임워크로 진화한 후 GEMISIS로의 통합을 목표로 발전하였다. 그리하여 합동 작전 스펙트럼 관리 절차에 따라 통합된 RF 스펙트럼 계획 및 관리 기능을 지원하며, 그 이전까지 제각각이던 JEMSO의 작전 사이클을 <그림 2>처럼 다른 작전 사이클들과 동기화시키는 목표를 달성하였다. 또한 스펙트럼 관리를 통해 아군 통신시스템과 CREW(Counter Radio EW)의 간섭을 예측하고 충돌을 회피하여 위험을 완화시키는 유일한 임무 계획 기능을 제공한다. 미군은 이러한 EMBM 프레임워크를 스펙트럼 관리체계에 구현하기 위한 표준화된 EMS 데이터와 구조, 공용 인터페이스 및 프로토콜 상에서 구축 기술, 그리고 이동 RF 시스템에 대한 간섭 분석 기술 등에 대한 연구를 진행 중이다.

## 3. 미군 스펙트럼 관리체계

가. GEMISIS (Global Electromagnetic Spectrum Information System)

미군의 최신 스펙트럼 관리 체계는 DoD 산하 DISA (Defense Information Systems Agency)에서 제공하는 GEMISIS(Global Electromagnetic Spectrum Information System)이다.<sup>[6]</sup> GEMISIS는 기존의 사전 계획 하에 정적으로 운용되던 주파수 할당(assignment) 방식을 동적(dynamic)이고 즉각적으로 반응하는 능력을 강



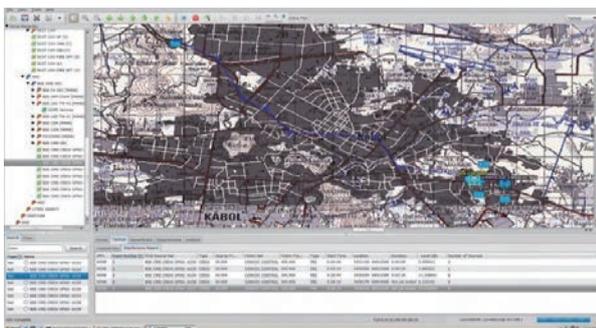
〈그림 3〉 ISD 웹기반 환경

화한 방식으로 진보시킨 연합 프로그램이다. GEMISIS는 사용하기 쉽고 효율적인 스펙트럼 관리 기능을 제공하며, GEMISIS 프로그램은 현재 다음과 같은 스펙트럼 서비스/기능을 제공한다.

- ISD (Integrated Spectrum Desktop)
- CJSMPPT (Coalition Joint Spectrum Management Planning Tool)
- JSDDR (Joint Spectrum Data Repository)
- Spectrum XXI
- HNSWDO (Host Nation Spectrum Worldwide Database Online)
- Stepstone

#### 나. ISD

ISD는 웹기반 스펙트럼 관리 기능에 접속하기 위한 공통 데스크탑 환경을 제공하며 스펙트럼 관리 툴의 통합 및 상호운용성을 제공한다. ISD는 웹기반 기능을 GEMISIS에 통합하고 이러한 기능에 접속하기 위한 단일 웹사이트를 제공한다. GEMISIS 기능을 사용하기 위한 단



〈그림 4〉 CJSMPPT 운용 환경

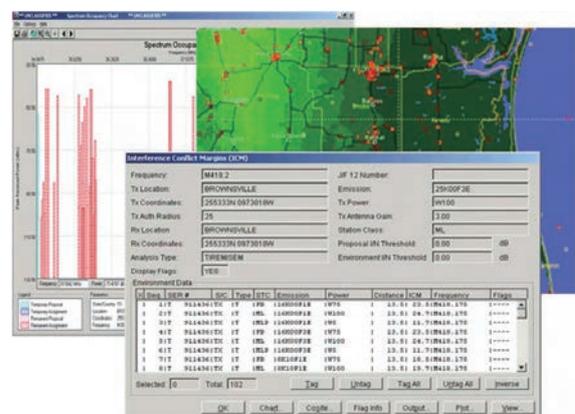
일 접속계정이 제공되고 위젯 기반 도구가 사용자를 지원한다.

#### 다. JSDDR

스펙트럼 관련 데이터를 수집, 표준화 및 배포하기 위하여 설립된 DSO(Defense Spectrum Organization)는 JSDDR에 대한 직접적인 온라인 데이터 접속을 제공하거나 맞춤형 보고서를 제공한다. JSDDR은 MCEB SSRF 데이터 표준과 호환되며 소스/웹 서비스를 지원하는 스펙트럼 관리 데이터의 종합 저장소이다. JSDDR은 주파수 할당, 스펙트럼 인증, 간섭 보고서, 상세한 장비특성 및 플랫폼 정보에 접속하도록 해준다. JSDDR은 국방부, 국내 및 국제 스펙트럼 관련 정보를 비밀 수준까지 포함하고 있다. JSDDR은 스펙트럼 데이터에 접속이 필요한 프로그램과 기기 간 데이터 교환을 허용한다.

#### 라. CJSMPPT

CJSMPPT는 모든 임무 계획 단계에서 스펙트럼 운용 지원을 제공한다. CJSMPPT는 특정한 임무나 연습을 위해 유닛, 플랫폼 및 장비 특성 데이터를 수집한다. 이는 전자기 환경을 보다 효율적으로 관리하기 위한 분석 및 시뮬레이션을 위해 사용된다. CJSMPPT는 관심지역에서 잠재적인 전자기 간섭을 식별하고 완화시키도록 스펙트럼 관리자에게 향상된 기능을 제공한다. CJSMPPT의 분석 기능을 통해 스펙트럼 관리자는 전장에서의 전자기 영향에 대해 더 잘 이해하고, 필요시 올바른 판단을 할 수 있을 것



〈그림 5〉 Spectrum XXI 운용 환경



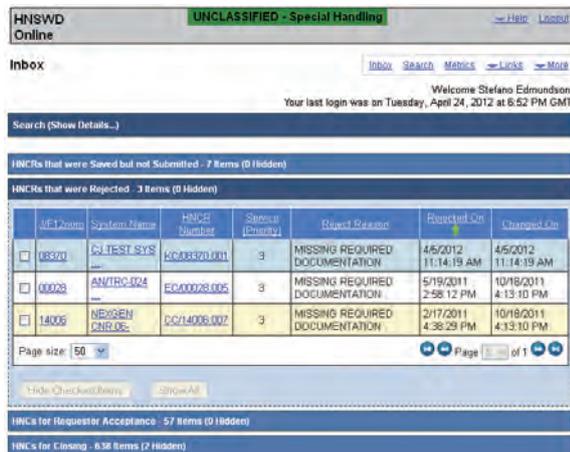
이다. CJSMPPT는 전술 스펙트럼 관리자에게 향상된 전자 기 스펙트럼 간섭방지 분석 기능을 제공한다.

### 마. Spectrum XXI

Spectrum XXI은 DoD의 무선 주파수 관리를 위한 공동 스펙트럼 관리 도구이다. Spectrum XXI은 주파수 관리자에게 스펙트럼 관리 자동화 요구사항을 해결하는 단일 정보 체계를 제공한다. Spectrum XXI은 DoD가 주파수 관리 워크플로우 기능, 무선 주파수 엔지니어링 분석, 데이터 검증, 규정 준수 확인 및 시각화 도구로 계획 및 운용하도록 지원한다. 외국 군사 판매 및 NATO(North Atlantic Treaty Organization)의 지원을 통해 Spectrum XXI은 동맹국에서도 많이 사용되고 있다. GEMISIS는 Spectrum XXI의 기능을 확장하고 애플리케이션 코드를 현저히 현대화하기 위하여 노력하고 있다.

### 바. HNSWDO

HNSWDO는 미군 주둔국의 무선 주파수 스펙트럼 의존 장비의 지원가능성에 대한 전세계 가시성을 제공함으로써 전투기 배치 및 통신을 용이하게 해주는 웹 애플리케이션이다. HNSWDO는 주둔국의 협조 요청 배포 및 주둔국의 지원가능성 의견의 작전지휘 제출을 자동화하여 프로세스 관리에 소요되는 시간을 줄인다. HNSWDO는 스펙트럼 관리자가 유사한 시스템의 무선 스펙트럼 이력



〈그림 6〉 HNSWDO 운용환경

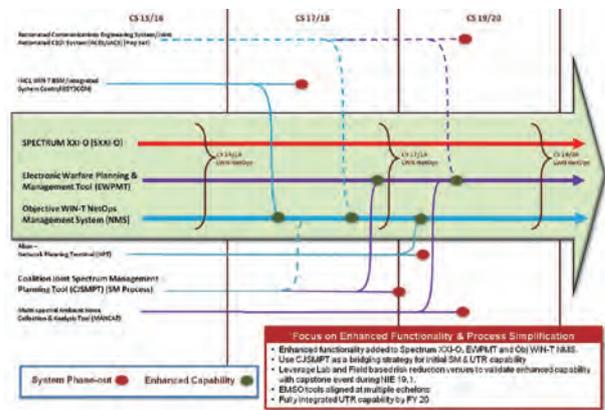
을 보고 지원성을 결정하도록 도와준다. 이는 주파수 대역에 대한 정보에 근거한 설계 의사 결정을 제공하며 잠재적으로 지원 불가능한 무선 시스템을 확보 할 위험을 줄여준다. HNSWDO는 스펙트럼 관리자에게 거의 실시간의 업데이트를 제공하며 프로세스 지연시간을 급격히 줄여준다.

### 사. Stepstone

Stepstone은 DoD의 장비 스펙트럼 인증 프로세스를 지원한다. Stepstone은 스펙트럼 인증 및 스펙트럼 지원능력 프러세스를 지원하는 스펙트럼 의존 장비에 대한 매개 변수 정보 데이터 확보를 위한 온라인 리소스이다. Stepstone은 장비 주파수 할당 신청서(DD 양식 1494)를 완성하기 위한 서비스 및 산업 메커니즘을 제공한다. 또한 데이터 품질, 협업 및 워크 플로우 기능 및 인증 프로세스 지표를 위한 적합성 검사를 제공한다.

## 4. EMSO 컨버전스 전략

〈그림 7〉는 미군의 2020년까지의 EMSO 컨버전스 전략을 보여준다. 개선된 기능과 절차 단순화를 목표로 예산 제약사항을 극복하고자 현재 다양한 스펙트럼 관리도구들이 SXXI-O (SPECTRUM XXI-O), EWPMT(Electronic Warfare Planning & Management Tool), Objective WIN-T NMS(NetOps Management System) 세 가지 도구로 SMO 성능이 수렴되고 있다. EW의 스펙트럼 관리 업무를 지원



〈그림 7〉 미군 EMSO 컨버전스 전략<sup>7)</sup>

하는 스펙트럼 작전(SMO)은 EWPMT로 진화하며, NOSC(Network Operations Security Center)의 스펙트럼 관리 임무를 지원하는 SMO는 Objective WIN-T NMS로 진화한다. CJSMPPT도 EWPMT와 NMS로 통합되어 2018년 이후에는 더 이상 추가 개발이 없을 계획이다.<sup>[7]</sup>

### Ⅲ. 미군 스펙트럼 관리 기술

#### 1. 스펙트럼 공유기술

가. DoD의 DSA(Dynamic Spectrum Access)

NCW에서의 스펙트럼 관리란, 실시간 변하는 동적 전장 환경에서 작전 및 임무 수행을 극대화하기 위해 다양한 주파수, 시간, 공간적 요소들을 활용하여 스펙트럼 자원을 효율적으로 사용하는 개념이다. DoD는 이러한 NCW를 구현가능하게 하는 두 가지 핵심 방안으로 동적 스펙트럼 접속(DSA, Dynamic Spectrum Access)과 동적 스펙트럼 관리(DSM, Dynamic Spectrum Management)로 규정하고 관련 연구를 수행하고 있다.

기존의 스펙트럼 할당 방법은 정적(static)인 방법으로 주 사용자 시스템이 사용하지 않을 때에도 유휴 주파수 대역의 비사용으로 인해 스펙트럼 사용 효율이 낮으므로, 동적으로 변하는 NCW에 직접적으로 적용하기에 한계를 가진다. 이러한 단점을 극복하기 위해, 최근 DSA 방법이

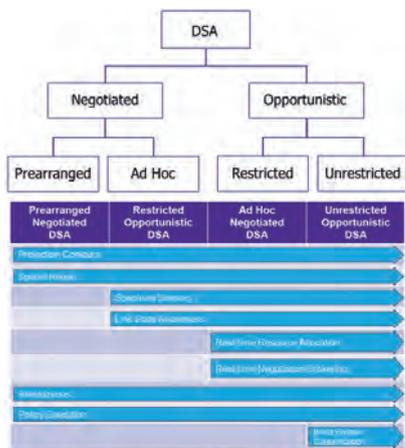
각광을 받게 되었는데, 이는 특정 지형 공간적 영역 안에서 스펙트럼 사용 히스토리 및 실시간 활용 여부에 관한 정보를 인지하여, 스펙트럼 을 주파수, 시간, 공간의 다차원적 활용을 통해 스펙트럼 자원의 이용률 및 사용 효율을 극대화시키는 개념이다. 이러한 DSA 기술은 상업적 영역에서 이미 IEEE 802.22<sup>[8]</sup>와 P1900.4<sup>[9]</sup>와 같은 표준화 활동이 활발히 이루어지고 있으며, 군 쪽에서도 미 국방부에서 DARPA XG program<sup>[10]</sup> 등을 통해 많은 관심을 기울이고 있다. DISA에서 바라보는 DSA는 크게 <그림 8>과 같이 구분된다.

DSA는 크게 주 사용자와의 협상에 의한 합의 여부에 따라 크게 Negotiated 형태와 Opportunistic 형태로 구분되고, Negotiated는 구성원들 사이의 사전 동의 여부에 따라 Prearranged와 Ad Hoc로 구분되며, Opportunistic은 알려지지 않은 다른 시스템과 스펙트럼 접속 공유 여부에 따라 Restricted와 Unrestricted로 구분된다.

각 방법에 대한 구체적인 설명은 다음과 같다.

- Prearranged Negotiated DSA: 다수의 라디오 및 네트워크 간 스펙트럼 공유에 관한 협상에 의한 사전 동의를 통한 스펙트럼 공유 프로토콜
- Ad hoc Negotiated DSA: 다수의 라디오 및 네트워크 간 스펙트럼 공유에 관한 사전 동의 없이 애드혹 기반 실시간 자동적 스펙트럼 공유 프로토콜
- Restricted Opportunistic DSA: 사전에 정해진 시스템 간 주사용자에 간섭을 일으키지 않는 범위에서 기회적 스펙트럼 공유 프로토콜
- Unrestricted Opportunistic DSA: 알려지지 않은 시스템을 포함하여 주사용자에 간섭을 일으키지 않는 범위에서 기회적 스펙트럼 공유 프로토콜

<그림 8>에서 보여주는 바와 같이 DSA 기술은 Prearranged Negotated DSA, Restricted Opportunistic DSA, Ad Hoc Negotiated DSA, 그리고 Unrestricted Opportunistic DSA 순으로 단계적으로 진화할 것으로 전망하고 있으며, 각 진화 단계마다 요소 기술 및 관련 스펙트럼 관리 정책들을 식별하고 있다.



<그림 8> DISA의 DSA 분류 및 기술 진화<sup>[11]</sup>

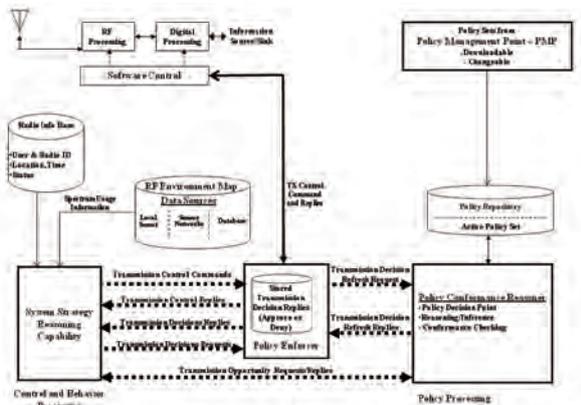


### 나. DoD의 정책기반 스펙트럼 관리 체계

#### ① 정책기반 DSA 라디오 시스템 구성 요소 및 기능

DoD는 현재 DSA 운용의 기초 단계로서, 정책기반 라디오를 활용한 정책기반 스펙트럼 관리체계 (PBSM, Policy-Based Spectrum Management)를 개발하고 있다. DSA 기술에 관한 표준화는 IEEE DySPAN-SC (Dynamic Spectrum Access Networks Standards Committee)에서 진행하고 있으며, DoD도 이에 적극적으로 참여하고 있다. DySPAN-SC는 1900이라는 표준 명칭으로 이루어진 1900.1-1900.7 까지 총 7개의 working group에서 DSA 기술과 관련한 개별 표준 개발을 진행하고 있다. 그중에서 특히 P1900.5는 정책기반 DSA 라디오 시스템을 위한 인지엔진 구조, 정책 언어 정의, 요구 사항 등을 제시하였다. <그림 9>은 P1900.5에서 정의하는 정책기반 DSA 무선통신 시스템의 구조로서, 총 4개의 주요 요소로 구성되어 있으며, 구체적인 구성 요소 및 구체적인 상호 기능은 다음과 같다.<sup>[16]</sup>

- PMP(Policy Management Point): 전파규칙 관련 정책 정보의 제공 및 관리, 신규 정책정보 제공
- SSRC(System Strategy Reasoning Capability): Radio Environment Map 정보 등을 이용한 기회적 접속 기회 확인 및 PCR에 전송 가능 여부에 대한 승인 요청
- PCR(Policy Conformance Reasoning): PMP로부터 전달된 기존 정책과 SSRC로부터 전달된 요구사항과의 합치 여부를 판단 (비교, 추론과정 시행, 변경



<그림 9> 1900.5 구조 개요<sup>[12]</sup>

정책의 적합성 검증, SSRC요구사항의 승인 또는 거부). 무선 통신 기기의 기능 제어를 위한 최종 판단 구성요소

- Policy Enforcer(PE): PCR 및 SSRC로부터 전달된 전송매체 변수들과 정책과의 합치여부 판단후 SSRC로 무선 전송 기능의 적용에 대한 승인 여부 전송

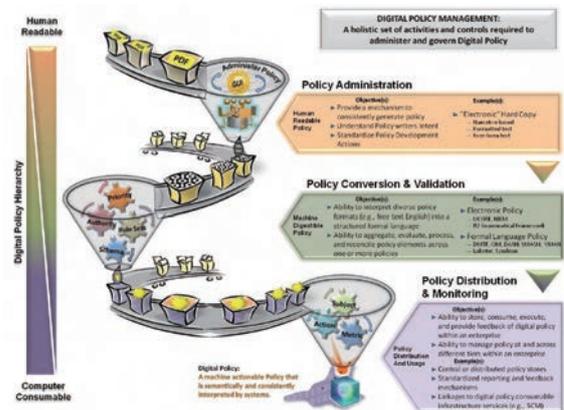
#### ② DoD의 PBSM(Policy-Based Spectrum Management)

DoD의 정책기반 스펙트럼 관리(PBSM) 구현을 위한 핵심 요소 기술은 크게 정책 기반 라디오 구현 기술과 이의 운용을 위한 정책수립 기술로 분류된다. 정책 기반 라디오 구현 기술은 광대역 무선통신기술 및 스펙트럼 센싱 기술을 들 수 있으며, 정책수립 기술은 주파수 공유 분석 또는 스펙트럼 운영 변형과 같은 기술을 들 수 있다.

주파수 관련 ITU 규정, 국내전파 규정, 군 전파규정 등과 같은 다양한 정책들을 무선기기에 적용하기 위해서는 기기가 이해할 수 있는 형태로의 변형이 필요하다. 미국 DoD는 이러한 형태의 정책을 '디지털 스펙트럼 정책'으로 명명하고 있으며, 규정의 기본 내용 요소는 허용주파수 대역, 지리적 조건, 시간 조건, 센싱 조건, 센싱 감도 기준값, 공유 가능 센싱 데이터, 접속규약 등을 들 수 있다.

<그림 10>는 PBSM을 이용한 DoD의 전술 스펙트럼 운용 개념을 보여주는 그림으로, 각 단계는 다음과 같이 구분된다.

- 1단계: 주파수 기기 사용 규정(정책) 수립
- 2단계: 전자장비를 활용한 전투계획 수립



<그림 10> DISA의 DSA 분류 및 기술 진화<sup>[13]</sup>

- 3단계: 작전 수행을 위한 디지털 스펙트럼 정책 수립 (장비에 적용 가능한 표준 언어 변환 수행)
- 4단계: 디지털 스펙트럼 정책을 작전 대상 무선 기기에 전송
- 5단계: 운용 결과 피드백을 통한 전투 계획 및 디지털 스펙트럼 정책 변경

## 2. 스펙트럼 관리 데이터 교환 포맷

본 절에서는 미군과 NATO에서 사용되는 스펙트럼 관리 도구들 간의 관리 데이터 교환 포맷인 SFAF, SSRF, SMADEF-XML에 대해 살펴보고자 한다. 스펙트럼 관리 데이터는 전투원들의 스펙트럼 접근에 대한 요구가 지속적으로 증가되고 있는 네트워크 중심전의 데이터 전략에 대한 핵심이며, 이 핵심 자원에 대한 표준 교환 포맷을 통해 스펙트럼 관리 도구들이 이 유한 자원을 더 효율적으로 관리할 수 있게 해줄 뿐만 아니라 스펙트럼 관리 도구들의 발전을 가능하게 한다. 또한 스펙트럼 관리 데이터에 접근이 필요하며 복잡한 네트워킹이 가능한 스펙트럼 장비들을 소유한 다양한 조직이나 시스템들, 또는 시스템들 간에 스펙트럼 관리 자원 데이터의 공유를 용이하게 해 준다.

### 가. SFAF(Standard Frequency Action Format)

SFAF는 미국의 MCEB(Military Communication - Electronics Board)에서 Pub 7으로 발표한 텍스트 기반의 스펙트럼 관리 데이터 포맷으로 미 국방부에서 주파수의 요청, 지정, 수정, 갱신, 검토 및 삭제에 사용되었다. 또한 FRRS(Frequency Resource Record System)이라는 중앙 데이터베이스에서 스펙트럼 관리 데이터를 입력하거나 ITU에 제출하기 위한 용도로 사용되었으며 현재, SPECTUM-XXI에서도 데이터 교환을 위해 사용하고 있다. 주파수 지정, 주파수 지정 레코드, 주파수 지정 요청, 메시지 양식, 데이터 항목(번호, 보안등급 등), 데이터 요소, 데이터 구성 등에 관련된 내용이 정의되어 있다.<sup>[14]</sup>

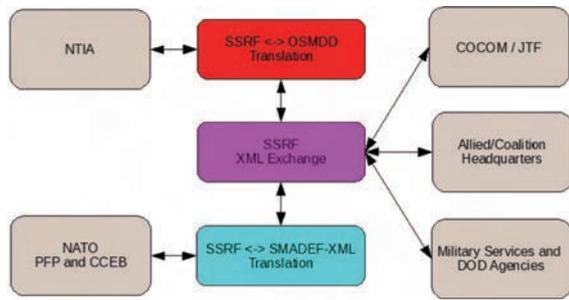
### 나. SSRF(Standard Spectrum Resource Format)

SSRF는 스펙트럼 관리와 관련된 데이터 교환을 위

한 운용개념 및 데이터 요소들을 정의한 DoD 승인 표준 포맷으로, NATO의 SMADEF-XML(Spectrum Management Allied Data Exchange Format - eXtensible Markup Language)을 기반으로 한다.<sup>[15]</sup> 이 표준 포맷의 초기 버전인 SSRF 1.2.4b 문서는 MCEB(Military Communication - Electronics Board)에서 Pub 8으로 2009년에 출간되었으며, MC4EB(Military Command, Control, Communications, and Computers Executive Board)에서 Pub 8 버전 3.1로 진화하였다. 기존 텍스트 형식의 데이터 교환 포맷에서 XML 형식의 포맷을 적용하였으며, EMS 관리와 관련된 주파수 할당 및 분배, 간섭 보고, 좌표, 부대, 안테나 등의 요소뿐만 아니라 EW 관련 요소들이 추가 정의되었다. 이를 통해 동적으로 스펙트럼 정보를 공유하게 하며, 미군의 네트워크 중심전 목표들을 충족시킨다. SSRF는 현재 미군 전술망 스펙트럼 관리 도구인 CJSMPPT의 진화(발전) 개념인 EMBM 프로젝트에서 개발 중이다. 한·미 연합작전 활용에 타당성 검증 및 스펙트럼 관리 상호운용성 확보를 위해 연합작전 스펙트럼 관리도구의 데이터 교환 기능으로 개발하여 한·미 스펙트럼 관리 도구 간 스펙트럼 관리 데이터를 성공적으로 교환하였다.<sup>[16]</sup>

### 다. SMADEF(Spectrum Management Allied Data Exchange Format)-XML

SMADEF는 NATO 주파수관리소위원회(FMSC, Frequency Management Subcommittee)에서 모든 NATO 국가의 스펙트럼 관리조직, NATO 사령부 및 다른 국가 간의 상호운용성을 확보하기 위해 개발한 표준 포맷으로 국가 및 국제 수준에서 스펙트럼 관리자, 국방부 및 NATO 본부에서 부대조직까지의 모든 요구사항을 충족시킬 수 있는 표준을 만드는 것을 목표로 했다. 주파수 할당, 스펙트럼 지원, JRFL 전파, 간섭 보고서 등 모든 스펙트럼 관리 비즈니스 절차를 지원할 수 있는 다목적 인터페이스는 물론 주파수 관리 정보를 저장하고 수정하여 필요한 기능을 향상시키는 일반화된 방법을 제공하는 것을 특징으로 한다.



〈그림 11〉 SSRF 인터페이스<sup>[15]</sup>

### 라. SSRF 인터페이스

미군은 전투부대의 요구사항 및 NTIA(National Telecommunications and Information Administration)와의 상호운용성을 보장하기 위해 SMADEF-XML을 기반으로 SSRF를 별도의 엔티티로 개발 및 유지·관리한다. NTIA의 경우 OSMDM(Office of Spectrum Management Data Dictionary)를 자체 표준으로 채택하고 있다. 또한 SMADEF-XML 및 OSMDM 사용자와의 SSRF 형식 데이터 교환은 XSLT(XML Stylesheet Language Translation)를 사용하는 자동화 된 번역기를 통해 〈그림 11〉과 같이 효율적인 데이터 교환을 가능도록 개발되고 있다.

### 3. 전파전파모델

무선통신에 있어서 가장 어려운 문제 중의 하나는 실측 실험을 들 수 있다. 실측실험은 장비특성, 날씨, 지역, 전파환경 등 다양한 환경에 따라 수많은 변수가 생성되어 각기 다른 실험 결과를 낳기 때문에 모든 상황에 따라 진행하기에 어려움이 있다. 따라서 이러한 실측실험을 대신하여 무선통신 시뮬레이션을 주로 사용하게 된다. 무선통신 시뮬레이션에서 실제 환경을 모사하기 위하여 수많은 주요 속성들에 알맞은 값을 입력하여 사용하게 되는데, 그중에서 전파전파모델(radio propagation model)은 특별히 더 신중히 선택하여야 한다. 무선 통신환경은 특성이 매우 빠르고 무작위로 변화하며, 주변 환경에 종속적이기 때문에 모델링이 굉장히 어렵다. 따라서 전파전파모델을 상황에 맞게 잘 선택해야 모델링을 이용한 시뮬레이션의 결과와 실측된 데이터와의 오차를 최소화시킬 수 있다. 이와 관련하여 미군에서 사용된 사례가 있는

전파전파모델을 나열하고 해당 모델들의 특성을 분석한다. 미육군은 2005년에 지역의 다양한 모폴로지를 크게 도심과 교외지역으로 구분하여 서로 다른 전파전파모델을 사용하는 방안을 제시하였다. 도심지역은 Okumura-Hata 모델을 사용하였으며, 교외지역은 TIREM(Terrain Integrated Rough Earth Model)을 사용하여 전파분석을 진행하였다. 또한, 미군의 CJSMPT에서 Rongley-Rice 모델을 사용하며, Spectrum XXI 에서는 앞서 언급된 TIREM과 UPM(Urban Propagation Model)을 사용하여 전파분석을 진행하였다.

#### 가. Okumura-Hata 모델

Okumura-Hata 모델은 미 육군이 도심지역의 전파분석을 위하여 사용해온 경험적(empirical) 전파전파모델로서, 단순히 상수값 보정만을 통하여 활용하였다. 다른 경험적 모델과 마찬가지로 빠른 속도와 지형표현의 상세 정보가 필요하지 않다는 장점이 있다.

Okumura-Hata 모델(Hata 모델)은 Okumura가 도쿄에서 수집한 데이터를 기반으로 제안한 모델을 개량한 버전으로 볼 수 있다<sup>[17-19]</sup>. 따라서 이 모델은 규모가 큰 건물이 없는 도시가 적용하기에 가장 이상적인 환경이 되며, 특정 도시에 적용하기 위해서는 전파값 측정 및 측정값에 기반한 상수 보정이 요구된다. 이 모델을 통해서 제공되는 주요 결과는 주파수(MHz), 송수신 안테나 높이(m) 및 사이의 거리(km)를 파라미터로 갖는 함수로서 기본전파손실(basic propagation loss/path loss)의 중간값을 나타낸다. 크게 열린 공간, 교외지역, 도심지역으로 모델이 나뉘어 있으나, 미군이 사용한 도심지역의 모델을 중점으로 다룬다. 도심지역의 Okumura-Hata모델은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$L = A + B \cdot \log(d).$$

위 식에서 A와 B항들은 주파수 및 안테나 높이에 의존적인 항들이며, d는 송수신 안테나 사이의 거리(km)를 의미한다. 각 항들은

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b)$$

로 표현되며,  $f_c$ ,  $h_b$ ,  $h_m$ 은 각각 주파수, 송신 안테나 높이, 수신 안테나 높이를 의미한다. 또한,  $a(h_m)$ 은 분석 대상이 되는 도시의 크기에 따라 다르게 분류된다. 중소형 도시(수신 안테나가 10m를 넘지 않는 기준)에 대해서는

$$a(h_m) = 0.8 + (1.1\log(f_c) - 0.7)h_m - 1.56\log(f_c)$$

으로 사용하고, 대형 도시에 대해서는

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29(\log(1.54h_m))^2 - 1.1, & (150\text{MHz} \leq f_c \leq 200\text{MHz}) \\ 3.2(\log(11.75h_m))^2 - 4.97, & (200\text{MHz} \leq f_c \leq 1500\text{MHz}) \end{cases}$$

으로 값을 사용한다.

#### 나. TIREM(Terrain Integrated Rough Earth Model)

TIREM은 경험적 전파전파모델로서 1980년대 미국 국방부에 의해서 불규칙한 지형 및 해수 상에서 지상과 공중 송수신기의 기본전파손실(경로손실)을 추정하기 위하여 개발되었으며, 대다수의 미국 국방부 스펙트럼 분석 도구에서 활용이 되어왔다.<sup>[20]</sup> 이 모델은 Tech Note 101을 기반으로 하여 발전을 하였으며 수년간에 걸쳐 Longley-Rice 모델의 부정확성을 보충하기 위한 방향으로 개선되어 왔다. 이 모델의 라이선스는 미국 메릴랜드에 위치한 Alion Science and Technology社가 소유하고 있다. 따라서 TIREM의 모듈이 실질적으로 어떤 작업을 수행하고 있는지 정확히 식별하기에는 어려움이 있다.

TIREM은 지형정보를 사용하기 위해서 DTED (Digital Terrain-Elevation Data) 형식의 데이터를 입력으로 받아 송수신 안테나 사이의 구 표면 상 최소 경로를 따라 이산의 지점들을 추출하여 지형 프로파일을 생성한다. 경로손실의 추정을 위하여 이론적인 기법과 경험적으로 도출된 수식들을 조합하는 방식을 사용한다.

미군의 Spectrum XXI에서는 교외지역을 TIREM을 사용하여 전파분석을 진행하며, TIREM가 육상로를 주로 고려한 기본전파손실을 추정하기 위하여 개발되었기 때문에 육상에서의 모델에 대한 설명을 진행한다. TIREM의 전체적인 알고리즘의 흐름은 <표 1>의 구조를 따른다. TIREM은 LOS 와 그렇지 않은 상태에 따라 다음과 같은 식으로 표현된다.

<표 1> TIREM 알고리즘

|      |                           |
|------|---------------------------|
| 1 :  | 파라미터 입력                   |
| 2 :  | 주요 파라미터 추출                |
| 3 :  | if LOS (Line-of-Sight) 성립 |
| 4 :  | LOSS 손실 계산                |
| 5 :  | else                      |
| 6 :  | 회절 손실 계산                  |
| 7 :  | 대류권산란 손실 계산               |
| 8 :  | 회절 손실 및 대류권 산란 손실 결합      |
| 9 :  | endif                     |
| 10 : | 모드 및 전체 경로손실 계산           |
| 11 : | 결과 출력                     |

$$L_{LOS} = L_{FS} + A_{LOS} + A_{ABSORB},$$

$$L_{BLOS} = \min(L_{FS} + A_{DIF} + A_{ABSORB}, L_{TRO} + A_{ABSORB})$$

위 식의  $L_{FS}$ ,  $A_{LOS}$ ,  $A_{ABSORB}$ ,  $L_{DIF}$ ,  $L_{TRO}$ 는 각각 자유공간 경로손실, 자유공간대비 LOS손실, 대기흡수손실, 회절손실, 대류권산란손실을 의미한다.

#### 다. Longley-Rice 모델

Longley-Rice 모델은 1960년대에 불규칙한 지형에서의 전파손실을 예측하기 위하여 개발되었으며, 수년간에 걸쳐 다듬어졌다.<sup>[21-22]</sup> 이 모델은 ITM(irregular terrain model)으로도 알려져 있으며, 미국의 텔레비전 방송의 주파수 계획을 위해서 만들어졌다.

Longley-Rice 모델은 총 두 가지의 모드로 전파손실을 예측한다. 전파경로에 따라서 지형이 파악 가능한 경우에는 point-to-point 모드로 예측을 진행하며, 경로에 대한 지형 정보가 없다면 area 모드로 예측을 진행한다. 이 모델은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$L_{cr} = L_{bf} + A_{cr}.$$

$L_{cr}$ ,  $L_{bf}$ ,  $A_{cr}$ 은 각각 기준손실값, 자유공간기본손실, 기준감쇄를 의미한다. 여기에서  $L_{bf}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$L_{bf} = 32.45 + 20\log(f_c) + 20\log(d).$$

$A_{cr}$ 은 LOS 거리, 회절(diffraction) 거리, 산란(scatter) 거리의 경우로 나뉘어서 지형, 거리, 안테나 높



이, 주파수, 기후 등의 추가적인 손실에 대한 파라미터를 계산하여 반영된다. 추가적으로, 지형 불규칙 파라미터를 측정하여 값을 보정하는데 사용한다.

$$A_{cr} = \begin{cases} \max(0, A_{LOS} + K_{LOS} d), & d \leq d_{LS} \\ A_{diff} + K_{diff} d, & d_{LS} \leq d \leq d_x \\ A_{sca} + K_{sca} d, & d \geq d_x \end{cases}$$

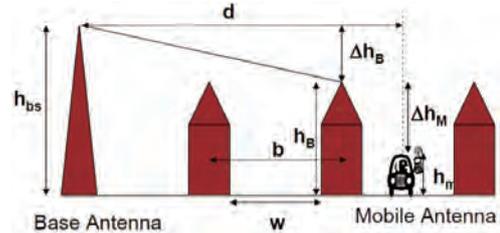
위 식에서  $A$ 와  $K$ 는 각 상황에 따라 간결하게 표현된 감쇄 및 수식 항이며,  $d_{LS}$ 와  $d_x$ 는 각각 LOS 상의 거리와 산란이 발생하는 거리를 의미한다.

### 라. UPM (Urban Propagation Model)

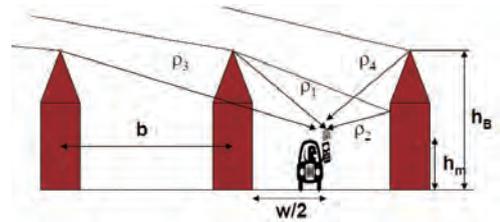
앞서 설명된 Okumura-Hata 및 TIREM 같은 경험적 모델들은 기본전파손실을 추정하는데 있어서 빌딩, 도로 등과 같은 도심의 환경에 의한 영향이 고려가 되지 않는다. 미국의 CJSMT의 개발 과정 중 미 육군의 CERDEC에서 도심의 전파전파모델을 분석하였고, 그 결과 간소화된 UPM을 개발하여 Phase II에 CJSMT에 통합하였다.<sup>[23]</sup>

UPM은 실질 도심의 환경 정보를 가진 데이터를 입력받아 기본전파손실을 추정하는 분석 모델로서, 모바일 대 모바일에 적용 가능성을 나타내며 계산복잡도 및 수행 속도를 최소화 시키는데 중점을 두었다. 위의 도심의 환경 정보는 미 육군의 TEC(Topographic Engineering Center)에서 개발한 UTP(Urban Technical Planner)로부터 데이터를 입력 받는다. UPM에서 활용하는 입력 파라미터는 <그림 12>에 표현되어 있다.

UPM은 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.



<그림 12> UPM의 입력 파라미터<sup>[23]</sup>



<그림 13>의 파라미터

$$L = L_{fs} + L_{msd} + L_{rts}$$

여기에서  $L_{fs}$ ,  $L_{msd}$ ,  $L_{rts}$ 는 각각 자유공간경로손실, 빌딩에 의한 다중회절에 의한 손실, 지붕-지면 방향 회절 손실을 의미한다. 자유공간경로손실은 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$L_{fs} = 32.43 + 20\log(d) + 20\log(f_c)$$

$L_{msd}$ 는  $q_c = \Delta h_b / \sqrt{b\lambda}$ 라는 팩터를 정의하여 송신안테나의 높이를 평균 지붕 높이보다 높은 것( $q_c > 1$ ), 평균 근처의 높이( $|q_c| \leq 1$ ), 그리고 평균 아래 높이( $|q_c| > 1$ )의 크게 세 가지 시나리오로 나누어 표현한다.

$$L_{msd} = \begin{cases} -20\log(Q(q_p)), & q_c > 1 \\ -20\log(Q_M(q_c)), & |q_c| \leq 1 \\ -10\log(Q_e^2), & |q_c| > 1 \end{cases}$$

<표 2> 전파전파모델 비교

|             | Okumura-hata                    | TIREM  | Longley-Rice   | UPM   |
|-------------|---------------------------------|--|--|---|
| 요구변수 목록     | 중심주파수, 송수신 안테나 높이, 송수신안테나 사이 거리 | 중심주파수, 송수신 안테나 높이, 송수신안테나 사이 거리, 편파, 기후환경(표면 반사, 습도), 지형환경(유전율, 도전율, 고도) | 중심주파수, 편파정보, 송수신 안테나 높이, 송수신안테나 사이 거리, 추정 지역불규칙정도, 총토 환경, 기후환경 | 중심주파수, 송수신 안테나 높이, 송수신 안테나 사이 거리, 도심 정보(빌딩 및 도로 세부정보) |
| 사용가능 주파수 범위 | 150 ~ 1500 MHz                  | 1 ~ 40,000 MHz   | 20 ~ 40,000 MHz (목표치)<br>20 ~ 10,000 MHz (실험데이터)               | -   |
| 거리 범위       | 1 ~ 20 km                       | 0 m 이상 (경로 상 3개 지점 이상)   | 1 ~ 2,000 km   | -   |
| 송신안테나 높이    | 30 ~ 200 m                      | 0 ~ 30,000 m   | 0.5 ~ 3,000 m  | -   |
| 수신안테나 높이    | 1 ~ 10 m                        | 0 ~ 30,000 m   | 0.5 ~ 3,000 m  | -   |

여기에서  $Q, Q_M, Q_e$ 는 각 상황에서의 필드감소팩터이다.  $L_{rts}$ 는 건물의 지붕에서 수신 안테나까지 생겨나는 네 가지의 회절요인을 나누어 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$L_{rts} = 10 \log \sum_{i=1}^4 \frac{A}{\rho_i} |D(\theta_i)|^2$$

위 식에서  $\theta_i$ 는 <그림 15>에서 각 반사 경로의 각을 의미하며, 그 외의 값들은 아래와 같이 표현된다.

$$A = \begin{cases} 1, & i=1 \\ |T|^2, & i=2 \\ |T|^2, & i=3 \\ 1, & i=4 \end{cases}, \rho_i = \begin{cases} \sqrt{\Delta h_m^2 + (0.5b)^2}, & i=1,4 \\ \sqrt{\Delta h_M^2 + (0.5b+w)^2}, & i=2 \\ \sqrt{\Delta h_M^2 + (1.5b)^2}, & i=3 \end{cases}$$

현재까지 미군에서 사용 중인 전파전파모델링에 대하여 개략적인 설명을 진행하였으며, 각 모델간의 비교사항을 <표 2>에 나타내었다.

#### IV. 결론

미군은 이라크 전쟁과 아프가니스탄 전쟁 경험을 통해 NCW와 연계된 작전수행 개념과 스펙트럼 관리의 중요성을 크게 인식하였다. 그리하여 미 국방부의 정책적인 지원을 배경으로 하여 효율적인 스펙트럼 작전 수행을 위한 노력을 기울여 왔으며, EMSO 개념 정립을 시작으로 하여 전자전과 사이버 공간의 작전 수행 개념을 연계한 CEMA 및 EMBM의 발전까지 이어져 왔다. 또한, 효율적인 스펙트럼 관리 개념의 구현을 위해, 다양한 관련 체계를 연동한 GEMISIS 체계를 운용함으로써 효과적인 스펙트럼 작전 수행을 위한 기능 및 서비스 제공을 도모하였다.

미군은 스펙트럼 관리체계 개발 및 개선을 위한 관련 기술 발전 및 적용에도 힘쓰고 있다. 스펙트럼 공유를 위하여 DSA 및 정책기반 스펙트럼 관리에 대한 요소 기술 및 정책들을 식별하고 있으며, 스펙트럼 관리 도구들 간의 데이터 교환을 위한 표준 포맷 개발을 진행해 왔다. 또한, 도심지 및 교외 환경에 활용 가능도록 다양한 전파전파모델을 개발하고 적용해 왔다.

미군은 체계적이고 과학적인 스펙트럼 관리·운용을 위한 다양한 스펙트럼 관리체계, 관리기술과 전파 분석 모델을 효율적으로 개발 및 적용하고 있다. 한국군의 경

우 전문적인 기술, 조직과 인력 문제, 스펙트럼 관리·운용의 중요성에 대한 인식 부족으로 기초적인 기술수준에 머물고 있는 것이 현실이다. 따라서 한국군은 기 발전된 미군의 스펙트럼 운용 및 관리 개념을 빠르게 흡수하여 우리 군에 맞는 형태로의 발전을 도모하고 그에 걸맞은 기술수준을 향상시켜야 한다.

단기적으로는 독자 기술 개발의 제한점을 고려하여 선진국의 스펙트럼 관련 기술발전 동향을 벤치마킹하여 우리군의 스펙트럼 작전환경에 부합하고, 장기적으로는 미래의 더욱 복잡해질 스펙트럼 환경을 고려하여 효율적이고 체계적인 스펙트럼 획득·관리·운용이 가능하도록 관련기관과 군의 긴밀한 협조 및 노력이 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] ADD, 국방 전파자원 특화연구실 (2단계) 기술현황분석보고서, 2015.
- [2] DoD, Electromagnetic Spectrum Strategy, 2013.
- [3] F. D. Moorefield, "Evolving Toward Revolutionary Spectrum Change" (<http://www.defenseinnovationmarketplace.mil>), 2014, 12.
- [4] U.S. Army, Cyber Electromagnetic Activities(FM 3-38), 2014.
- [5] J. Yniguez, "Electromagnetic Battle Management"(www.mil-oss.org)
- [6] Global Electromagnetic Spectrum Information System (GEMISIS), <http://www.disa.mil/Mission-Support/Spectrum/GEMISIS> (last access: 2013. 3. 13.)
- [7] M. Cullen, TECHNET 2014 (<http://www.afcea.org/events/augusta/14/documents/T3S2SpectrumManagement.pdf>)
- [8] IEEE 802.22 Working Group, "Draft standard for wireless regional area networks Part 22: Cognitive wireless RAN medium access control (MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands", 2009, 05.
- [9] IEEE P1900.4, Working Group, "IEEE standard for architecture building blocks enabling network device distributed decision making for optimized radio resource usage in heterogeneous wireless access networks", 2009, 02.



[10] F. Perichm, R. Foster, P. Tenhula, and M. McHenry, "Experimental Field Test Results on Feasibility of Declarative Management", IEEE DySPAN 2008.

[11] K. Zhang, D. Swain, and M. Lin, "Dynamic spectrum access enabled DoD Net-centric spectrum management", IEEE MILCOM 2007.

[12] L. Grande, M. Sherman, H. Zhu, M. M. Kokar, and J. Stine, "IEEE DySPAN 1900.5 Efforts to support spectrum access standardization", IEEE Military Communications Conference, 2013.

[13] D. Fritz, "DISA Perspective on Dynamic Spectrum Access and Policy-Based Spectrum Mngement", DOE IMC 2012 and spectrum technology workshop, [https://energy.gov/sites/prod/files/Wednesday\\_Cedars\\_1330\\_Fritz.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/Wednesday_Cedars_1330_Fritz.pdf)

[14] MCEB, "MCEB Pub 7, Standard Frequency Action Format (SFAF)," Dec. 2003.

[15] MCEB, "MCEB Pub 8 Version 1,2,4b, Standard Spectrum Resource Format (SSRF)," May 2009.

[16] "US, Korean Armies create spectrum management interoperability, increase situational understanding"( <http://www.cerdec.army.mil>)

[17] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Transactions on Vehicular Technology, VT-29, September, 1981.

[18] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile radio service," Review of the Electrical Communication Laboratory, 16, pp. 825-873, September-October, 1968.

[19] A. Neskovic, N. Neskovic and G. Paunovic, (2000). Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment, IEEE Communication Surveys.

[20] D. Eppink, and W. Kuebler, "TIREM/SEM HANDBOOK," Tech. Rep. ECAC-HDBK-93-076, 1994, Available online at <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA296913>.

[21] A. G. Longley, and P. L. Rice, "Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method-1968," ESSA Tech. Rep. ERL 79-ITS 67, I.S.

Government Printing Office, Washington, DC, July, 1968.

[22] P. L. Rice, "Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits," Volume I & II, National Bureau of Standards, Tech. Note 101.

[23] C. Chrysanthou, J. K. Breakall, L. Labowski, S. G. Bilen, and W. J. Glessner, "A Simplified Analytical Urban Propagation Model (UPM) for Use in CJSMP," MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference, Orlando, FL, USA, pp.1-7, 2007.



박재돈

- 2000년 2월 한양대학교 전기전자공학부 (학사)
- 2002년 2월 ICU 공학부 (석사)
- 2016년 2월 KAIST 전기 및 전자공학부 (박사)
- 2002년 1월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉

Free-space optical communications, 군 스펙트럼 분석



이형주

- 1996년 8월 한서대학교 전산정보학과 (학사)
- 2000년 2월 충남대학교 컴퓨터과학교육 (석사)
- 2011년 2월 충남대학교 전산학 (박사)
- 2011년 6월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉

군 통신, 군 스펙트럼 관리



**박종성**

- 1984년 3월 해군사관학교 전자공학 (학사)
- 1992년 8월 美 플로리다 공대원 전자공학 (석사)
- 2014년 1월 한국해양대학교 전파공학 (박사)
- 1995년 12월~1997년 1월 영국 BAe사 파견근무
- 2002년 1월~2004년 1월 국방부 연구개발관실 근무
- 2013년 1월~2014년 12월 해군 정보통신병과장 근무
- 2015년 3월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉  
안테나 및 전파 모델링



**채승호**

- 2010년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 (학사)
- 2012년 2월 KAIST 전기 및 전자공학부 (석사)
- 2016년 2월 KAIST 전기 및 전자공학부 (박사)
- 2016년 3월~9월 KAIST 박사후 과정
- 2016년 10월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉  
mmWave, 군 통신



**정대진**

- 2010년 3월 아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부 (학사)
- 2012년 2월 KAIST 전산학과 (석사)
- 2016년 8월 KAIST 전산학과 (박사)
- 2016년 10월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉  
컴퓨터 소프트웨어, 군 스펙트럼 분석



**백광훈**

- 1988년 2월 경북대학교 전자공학 (학사)
- 1990년 2월 경북대학교 전자공학 (석사)
- 1990년 2월~현재 국방과학연구소 재직 중

〈관심분야〉  
통신시스템 설계