

차세대 철도통합무선망을 위한 주파수 소요량 계산방법

Bandwidth Requirement Estimation Method for Future Wireless Railway Communication Systems

정민우 · 윤현구 · 박덕규 · 김경희 · 이숙진*

Minwoo Jeong · Hyungoo Yoon · Duk-kyu Park · Kyung-Hee Kim · Sukjin Lee

Abstract The Future Wireless Railway Communication System(FWRCS) has attracted attention for the various advantages of such a system like efficient management, precise periodicity of operation and speedy travel. Related to it, the area of bandwidth requirement estimation for the FWRCS is being researched actively because there is a great need for accurate bandwidth distribution. In this paper, sophisticated bandwidth requirement estimation method for FWRCS is proposed by modifying ITU-R M.1390. With this method, the expected frequency requirements for the present, for five years from now, and for 10 years from now can be calculated by applying the data gathered from the actual field.

Keywords : Bandwidth requirement estimation, ITU-R M.1390, Wireless railway communication system, Services for train operation

초 록 본 논문에서는 철도통신시스템을 위해 필요한 주파수 소요량을 계산하기 위한 방법을 제안한다. 철도통신시스템을 위한 주파수소요량 계산에 최적화된 방법을 유도하기 위하여, 먼저 기존의 일반 이동통신시스템의 주파수 소요량 측정에 사용되었던 방법인 ITU-R M.1390을 분석한 후, 차세대 철도통신시스템에서 요구하는 서비스들을 세분화하여 정의하고, 철도통신을 위해 수정된 주파수 소요량 프로세스를 제안한다. 그리고 실제 현장조사를 통해 습득된 장비정보들을 제안한 계산방법에 적용하여 현재, 5년 후, 10년 후 시점의 예상 주파수 소요량을 계산한다.

주요어 : 주파수 소요량 추정, 무선 철도통신 시스템, 철도통신 서비스

1. 서 론

철도가 국가교통의 핵심 인프라로 큰 비중을 차지하며 무선통신 기술의 완성도 또한 높아져 가면서 무선통신기반 열차제어가 이슈로 부각 되었고, 철도용 무선통신망을 효율적으로 구축하기 위한 방안들이 연구-검토 되고 있다[1]. 철도용 무선통신망 운용을 위해 필요한 주파수 소요량 산출에 관한 연구들이 이어졌고[2], 이를 위해서 기존의 이동통신용 주파수 소요량 산출 방법들을 철도통신에 적용하려는 연구[3] 들 또한 다방면으로 진행 중에 있다.

일반적으로 육상-이동서비스의 주파수 소요량 산출에는 ITU-R 권고안 M.1390[4]과 M.1768[5] 방법론이 주로 사용된다. M.1390은 IMT-2000 시스템의 주파수 소요량 산출이 산출을 위해 개발된 방법으로, 단일 무선접속 기술로 무선 데이터 트래픽을 처리하는 경우의 주파수 소요량 산출에 적합하고 평균 트래픽을 예측하여 소요량을 산출하므로 계산이 간단하다. 반면, M.1768은 IMT-Advanced 시스템의 주파

수 소요량 산출을 위해 제안된 방법론으로, 트래픽을 여러 무선접속기술로 처리하는 경우를 고려할 수 있으나 랜덤한 트래픽 특성을 확률적으로 모델링 하여 시스템 용량을 계산하기 때문에 그 과정이 비교적 복잡하고 트래픽의 특성예측이 어렵다는 단점이 있다. 특정 시스템의 주파수 소요량 산출을 위해서는 상기 두 가지 방법론의 특성을 이해하고 무선접속 기술과 서비스의 특성에 따라 적절한 방법을 선택적으로 적용해야 한다. 철도통합무선망은 단일 무선접속기술로 구현이 가능하므로 대략적인 주파수 소요량 계산을 위해 M.1390 방법을 적용할 수는 있지만, 철도통신 서비스의 특성이 일반적인 이동통신 서비스와 상이하므로 이를 고려하여 수정된 트래픽 예측이 필수적이다.

본 논문에서는 철도통합무선망의 주파수 소요량 산출을 위해 ITU-R M.1390에서 수정된 주파수 소요량 산출방법을 제안한다. 우선 2장에서는 일반적인 이동통신시스템의 주파수 소요량 산출에 사용되는 ITU-R M.1390을 분석하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 철도통합무선망의 주파수 소요량 산출 방법을 위해 고려해야 할 환경적 요소, 서비스 요소들에 대해 알아본다. 4장에서는 실제 철도현장에서 수집된 파라미터들을 제안한 주파수 소요량 산출방법에 적용하여 현재, 5년 후, 10년 후 시점의 철도통합 무선망의 주파수 소요량을 산출한다.

*Corresponding author.
Tel.: +82-42-860-1744, E-mail : sjlee@etri.re.kr
©The Korean Society for Railway 2013
<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.6.540>

2. 기존 일반 이동통신시스템의 주파수 소요량 산출방법

ITU-R M.1390 방법론에서는 사용자의 밀도와 이동성의 조합으로 구성된 환경요소(e), 음성통화, 문자메시지, 데이터통신 등으로 구분된 서비스요소(s)에 따른 개별 주파수 소요량과 가중치의 곱을 합하여 전체 주파수 소요량을 다음 식 (1)과 같이 계산한다.

$$F = \beta \sum \alpha_{es} F_{es} = \beta \sum \alpha_{es} \frac{T_{es}}{S_{es}} \quad (1)$$

위 식 (1)에서 β 는 조정팩터, α 는 가중치, T 는 셀당 트래픽, S 는 시스템 용량을 의미한다. 환경(e)과 서비스(s)에 따라 트래픽을 예측하고, 이를 서비스하기 위한 무선접속 기술의 시스템 용량으로 나누어 서비스-환경 별 주파수 소요량을 계산한다. 이후 마진과 가중치 조정을 통해 최종 주파수 소요량이 산출된다. 최종 주파수 소요량을 계산하기 위한 과정은 크게 지형 고려과정(Geography Consideration), 시장 및 트래픽 고려과정(Market & Traffic Consideration), 기술 및 시스템 고려과정(Technical and System Consideration), 주파수 결과 고려과정(Spectrum Results Consideration)의 네 가지 프로세스로 구분할 수 있다.

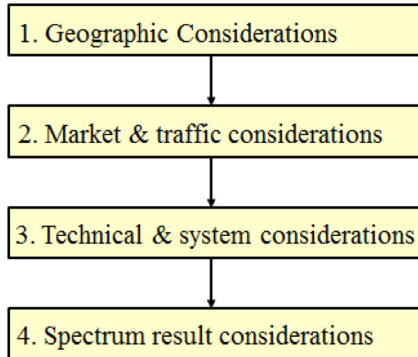


Fig. 1 Spectrum requirement calculation process of ITU-R M.1390

지형 고려과정에서는 환경타입을 사용자 밀도(밀집도심, 도심, 교외, 전원)와 이동성(실내, 보행자, 차량)의 조합에 따라 12가지로 분류된다. 직경과 셀 모양에 따라 셀 면적을 계산한 후에는 서비스가 상향링크, 하향링크 중 어디에 속하는지 고려되어야 한다.

시장 및 트래픽 고려과정에서는 서비스 타입이 IMT-2000의 경우 Speech, Simple message, Switched data, Medium multimedia, High multimedia, High interactive multimedia의 6가지로 분류된다. 앞서 언급한 셀 면적과 환경 별 인구 밀도(Population Density), 전체 인구에 대한 서비스 가입자의 비율인 서비스 보급률(Penetration Rate F)이 고려되어 셀당 가입자 수가 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Users/Celles} = \text{Population_Densityes} \times \text{Penetration_Rateses} \times \text{Cell_Areas} \quad (2)$$

그리고 트래픽이 가장 빈번한 시간의 서비스 접속 시도수인 최번시 호 시도수(Busy Hour Call Attempts), 최번시 유저가 서비스에 접속하는 평균시간인 호 지속시간(Call Duration), 서비스 접속시간 대비 실제 데이터를 송수신하는 시간비율인 활성화율(Activity Factor)과 같은 트래픽 파라미터들을 고려하여 사용자당 트래픽과 셀 당 발생트래픽이 아래 식 (3), (4)와 같이 계산된다.

$$\text{Traffic/Userses} = \text{Busy_Hour_Call_Attemptspses} \times \text{Call_Durationes} \times \text{Activity_Factores} \quad (3)$$

$$\text{Offered_Traffic/Celles} = \text{Traffic/Userses} \times \text{Users/Celles} \quad (4)$$

기술 및 시스템 고려과정에서는 식 (4)에서 도출한 셀 당 발생 트래픽을 처리할 수 있는 서비스 채널 수(Service Channels/Cell)를 구하기 위해 셀 당 발생 트래픽과 호 차단율을 열량 공식에 대입한다. 일반적으로, 회선 교환방식 데이터의 경우 열량 B 공식을 사용하고, 패킷 교환방식 데이터의 경우 열량 C 공식을 적용하여 더 엄격한 기준으로 요구 서비스 채널 수를 산출하게 된다. 사용자당 순수 전송속도를 제공할 수 있는 해당 서비스 채널의 전송속도(Service Channel Bit Rate)가 결정된다면, 해당 환경-서비스에서 발생하는 트래픽(Tes)는 다음 식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$T_{es} = \text{Service_Channels/Celles} \times \text{Service_Channel_Bit_Rateses} \quad (5)$$

이후, 주파수 효율, 코딩, 오버헤드 등의 요소들로 환경 및 서비스 별 시스템 용량(S_{es})을 계산한다면 주파수 결과 고려과정에서는 식 (6)과 같이 환경 및 서비스 별 주파수 소요량을 계산할 수 있다.

$$F_{es} = \frac{T_{es}}{S_{es}} \quad (6)$$

이와 같은 과정을 반복하여 상-하향링크, 환경 및 서비스 별로 구한 F_{es} 에 식 (1)과 같이 가중치 팩터(α)와 조정팩터(β)를 곱하여 해당 시스템의 최종 주파수 소요량을 구하게 된다. 가중치 팩터는 서비스 및 환경에 따라 최번시가 서로 상이하므로 이를 보정하기 위해 적용하는데, 트래픽이 최대가 되는 시나리오를 가정하기 위해서는 1로 설정한다. 조정팩터는 보호대역과 사업자 수 등에 따른 마진을 고려하기 위한 요소로서 보통의 경우 1로 설정된다. 이와 같은 과정을 거치는 권고안 M.1390 방법론은 일반 이동통신인 IMT-2000 시스템의 주파수 소요량 계산을 위해서 주로 사용되었다.

3. 철도통신을 위해 제안된 주파수 소요량 산출 프로세스

ITU-R M.1390 방법론을 바탕으로 수정된 철도통합 무

선망을 위한 주파수 소요량 산출방법론은 다음과 같다. 먼저, 지형 고려과정에서 환경타입은 일반적인 이동통신 환경과 다르게 철도서비스 환경을 역사 내부와 선로로 구분한다. 그리고 셀 모양은 타원형으로 놓고 지름을 고려하여 일차원적으로 셀 반경 내에 철도차량이 진입할 수 있는 최대치를 계산하였다. 시장 및 트래픽 고려단계에서는 서비스 타입을 철도통신에서 요구하는 음성통화, 데이터 통신, 영상의 3가지로 구분하고, 해당 서비스들을 Vital 서비스와 Non-Vital 서비스로 한번 더 세분화함으로써 최종 주파수 소요량 계산시 필수 요소와 비 필수 요소로의 구분을 용이하게 하였다. 셀 당 가입자 계산의 경우 철도 서비스에서 사용자는 열차, 설비, 역무원 등으로 역사 내와 선로 주변에서 명확히 그 수를 알 수 있으므로 통계적 요소가 반영된 인구밀도와 서비스 보급률을 산출하는 과정을 생략하였다. 그리고 특정 이벤트 시에만 데이터를 송수신하는 서비스들을 고려하여 Service Activity, Session Arrival Rate와 같은 파라미터들을 최면시 철도 운용상황에 부합하도록 적용하여 트래픽 발생량 산출 시 실제 발생량에 근접할 수 있도록 수정하였다.

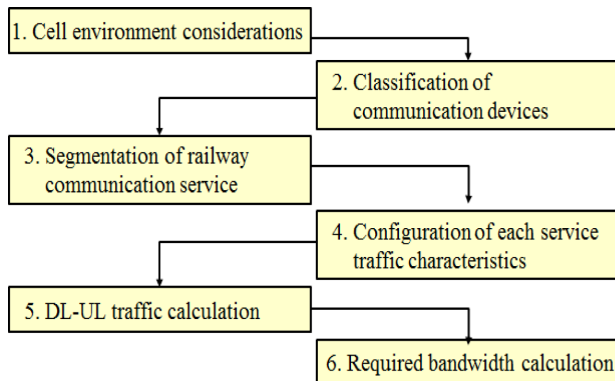


Fig. 2 Proposed spectrum requirement calculation process

3.1 제안된 주파수 소요량 산출 프로세스 적용을 위한 셀 환경

철도통신을 위한 주파수 대역폭 산출을 위해서는 단일 셀 내에서 발생하는 트래픽의 양을 구해야 하는데, 일반적으로 사용자가 가장 밀집한 장소에서 발생하는 트래픽 양을 예측해야 한다. 따라서 본 논문에서는 국내에서 가장 열차가 밀집한 장소인 서울역을 기준으로 하여 트래픽 양을 산출한다. 현재 서울역을 지나는 철도 노선은 일반열차 3개 노선과 지하철 3개 노선으로 구성되어 있는데, 지상과 지하의 무선환경은 각각 차단되어 있기 때문에 일반노선과 지하철노선에서는 동일한 주파수 대역을 간섭영향 없이 사용할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 일반 노선에 대한 주파수 소요량만을 고려한다.

열차의 제동거리 확보를 위해서 100km/h 이상의 속도로 운행하는 일반열차는 1400m, 저속으로 운행하는 광역도시철도는 600m를 열차 간 최소 거리로 하였고, 열차 제동거리가 5년 단위로 8.35%가 감소[6]하는 것을 다음 Table 1에

Table 1 Annual change in braking distance

Train class	Braking distance (m)		
	2012 (year)	2017	2022
Normal train	1400m	1283m	1166m
Urban metro	600m	550m	500m

Table 2 The number of trains within a cell(for one course)

Railway class	Number of trains		
	2012 (year)	2017	2022
Normal Train	2	2	2
Urban metro	0	4	5

Table 3 Annual change of the railroad line passing through Seoul station

Railway Class	The number of railway course		
	2012 (year)	2017	2022
Normal Train	3	3	4
Urban metro	0	1	1

나타내었다. 셀 직경이 2km인 서울역 내의 노선별 단방향 최대 열차 편성수를 Table 2에, 서울역을 지나는 노선의 수를 Table 3에 나타내었는데, 5년 후의 시점에 여의도와 서울역 간의 광역도시철도 신안산선 북선노선과 10년후의 시점에 수색-서울-신흥 간 일반열차 노선이 추가됨을 반영하였다.

Table 1, Table 2, Table 3과 10대의 대기 편성수, 상-하행선이 고려되어 식 (7)로 계산된 단일셀 내에 존재할 수 있는 최대 열차 편성수를 Table 4로 나타내었다.

$$\text{단일셀 내 최대 열차편성수} = \{(\text{열차수}_{\text{일반}}) \times (\text{노선수}_{\text{일반}}) + (\text{열차수}_{\text{광역}}) \times (\text{노선수}_{\text{광역}})\} \times 2 + \text{대기편성수} \quad (7)$$

철도 통합무선망의 주파수소요량을 산출하기 위해서는 기존의 이동통신 시스템의 주파수 소요량 산출방법에서와 같이 최면시 사용자 수를 고려해야 한다. 하지만 현재 확보 가능한 서울역 내 1일 열차운행 횟수, 철도 기반시설물 설치현황, 철도기반 시설물 발생 정보량과 같은 정보만으로는 최면시 트래픽을 산출할 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 서울역 운행정보를 이용하여 최면시(13~14시 사이) 동안 서울역 내 열차 운행 수(경부선 및 경인선 33회, 인천공항노선 22회)를 조사하였다. 식 (8)은 앞에서 언급한 최면시 열차운

Table 4 Annual change of maximum number of trains within a cell

Maximum train number within the cell		
2012	2017	2022
22	30	36

행 수, 1일 열차운행횟수(280회)와 1일 열차운행시간 (18시간)을 기반으로 하여 유추한 최번시 트래픽 산출비율 계산식을 나타낸다. 열차의 셀 진입시에만 시작되는 열차제어 전용단말 관련 서비스의 BHCA는 최번시 열차운행 수와 대응되며, 식 (8)에서 계산된 최번시 트래픽 산출비율은 4장에서 Session Arrival Rate를 구할 때 평상시에 비해 최번시 집중되는 트래픽을 고려하기 위한 요소로 사용된다.

$$\begin{aligned} \text{최번시 트래픽 산출비율} = \\ \text{BHCA}/(\text{1일 운행편성수}/\text{1일 운행시간}) = \quad (8) \\ 55/(280/18) = 3.53 \end{aligned}$$

3.2 차세대 철도통신에 사용되는 철도설비 분류

차세대 철도통신에 사용되는 철도설비는 크게 철도설비 모니터링 장치와 철도 안전설비로 분류할 수 있다. 먼저 철도설비 모니터링장치는 열차운행을 원활히 하기 위한 정보를 송수신하여 작동되는 장치들로 열차의 진출입 가부를 색과 모양으로 기관사에게 지시하는 신호기 장치, 열차의 운행선로를 변경시키는 선로 전환기 장치 외에 전자 감시장치, 중계장치, 유도장치, 입환 신호장치, 입환 표시장치 등을 지칭한다. 철도설비 모니터링장치는 열차의 운행과 직접 관련된 정보를 주고받으므로 열차 운행시에만 데이터를 송수신하고 열차가 지나지 않을 때에는 Idle 상태로 진입한다. 각 장치는 모두 안전한 열차운행을 위해 필수적인 Vital 설비이므로 안전동작을 보장하기 위해서 실시간 정보전송이 이루어져야 한다.

철도 안전설비는 열차 운행의 안전성 향상을 위해 다양한 방법으로 선로를 감시, 제어하는 장비이다. 차축 베어링의 온도를 감지하여 과열을 예방하는 차축 온도 감지장치, 고가차도와 낙석 또는 토사붕괴가 우려되는 지역의 선로에 지장

물 침입을 감지하는 지장물 감지장치, 차체 하부 부속품이 파손 또는 이탈되어 선로상의 시설물까지 파손되는 것을 방지하는 끌림물체 감지장치, 선로변의 급격한 기상조건의 악화로 인한 사고를 예방하는 기상 감지장치, 온도상승으로 인한 레일 이상위험을 감지하는 레일 온도 감지장치, 터널 내 작업자와 보수자의 안전을 위해 접근하는 열차의 유무를 감지하는 터널 경고장치, 동절기에 결빙으로 인한 선로전환기 오작동을 방지하는 분기기 히팅장치, 무인기계설의 외부출입자를 효율적으로 통제 및 관리하는 무인 기계설 원격 감시장치, 전국의 관측소로부터 수신된 지진정보를 사령실에서 수신하여 위험경보를 알리는 지진 감시장치 등이 철도 안전설비에 해당한다. 철도 안전설비는 철도 시설물의 안전한 동작을 위해 항상 정보를 수집하여 전송하므로 열차 통행의 유무와 상관없이 데이터 송수신 상태를 유지해야 한다. 현재 서울역 주변에는 철도 안전설비가 구성되어있지 않은 상태이지만 향후 차세대 철도통신시스템에서 운용될 예정이다.

3.3 차세대 철도통신 서비스 특성

본 절에서는 차세대 철도통신의 데이터 트래픽 예측을 위한 철도통신 서비스 요구사항에 대해 기술한다. 기본적으로 MODURBAN에서 제시한 철도통신 신뢰성과 유지보수를 위한 데이터 통신 시스템의 요구사항[7]에 차세대 철도통합무선망을 위한 서비스 요구사항[8]을 고려하여 상하향 링크별로 정리하였다.

3.3.1 하향링크 서비스 특성

차세대 철도통신 하향링크 서비스는 열차제어, 안전 및 범좌예방 체계 구축, 열차운행 및 유지관리, 철도 고객 서비스, 화물열차 이력 추적 및 정보관리, 철도건설목 정보전달 서비스로 구성되어 있다. 아래 Table 5는 하향링크 주파수

Table 5 Types and characteristics of downlink services

Services classification		Data rate (kbps)	Transmission period	Delay time	Priority
Service	Detail of service				
Train Control	Transmission of train speed control	12	Real-time	35~280ms	Vital
Video detection System	Safety support using platform video	500	Event of Train entering	0.5±0.1s	Vital
Operation & maintenance of train	Commander communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Station communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Portable communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Vehicle communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
Railway customer service	Vehicle passenger service	13.75	Real-time around the station	0.5±0.1s	Non-vital
Freight information on management	Tracking cargo movement path	14	Real-time around the station	0.5±0.1s	Non-Vital
	Real-time information confirmation in CY	14	CY-site limited	0.5±0.1s	Non-vital
Railroad crossings information system	Crossing control information system	14	Crossing adjacent region limited	0.5±0.1s	Vital
	Crossing observation system	2000	Crossing adjacent region limited	0.5±0.1s	Vital

소요량 산출에 필요한 항목인 전송률, 전송주기, 지연시간, 서비스 우선순위를 정리한 표이다.

열차제어 서비스는 관제에서 열차속도 제어명령을 실시간으로 전송하기 위해 데이터 전송률을 12kbps 실시간 전송으로 할당하였고, 첨단 영상 감지시스템을 활용한 안전 및 범죄예방 체계 구축서비스의 승강장 내 영상정보를 이용한 안전유지 서비스는 열차가 승강장에 진입하기 400m 전부터 승강장 영상정보를 수신해야 하므로 열차가 승강장에 접근할 시에만 2Mbps를 전송하는 것으로 할당하였다. 이후에 열차간격 제어명령이나 범죄예방과 같은 서비스를 제공할 수도 있으나, 본 논문에서는 고려하지 않는다.

열차 운행 및 유지관리 서비스는 철도 통합 무선망에서 필요한 음성서비스를 제공하기 위해 16kbps를, 차내 승객 서비스에 13.75kbps, 화물열차의 이력 추적 및 화물 속성정보 확인 서비스에는 각각 14kbps를 할당하였다. 건물목 제어 및 정보시스템 정보와 건물목 감시 시스템 영상정보에는 서울역 건물목의 위치가 서울역 중심으로부터 셀 반경 2km 내에 존재하므로 전송률 2Mbps를 할당하였다.

3.3.2 상향링크 서비스 특성

차세대 철도통신의 상향링크 서비스는 열차제어, 주행열차 시설 및 설비 모니터링, 안전 및 범죄예방체계 구축, 열차 운행 및 유지관리, 철도 고객 서비스, 화물열차 이력 추적 및 정보관리, 철도건널목 정보 전달 서비스로 구성되어 있다. 아래 Table 6는 상향링크 주파수 소요량 산출에 필요

한 항목인 전송률, 전송주기, 지연시간, 서비스 우선순위를 정리한 표이다.

먼저 열차제어를 위해 차상단말이 자신의 위치정보를 관제시스템으로 전달하는 열차위치 정보전송서비스에는 12kbps의 정보 송수신이 이루어진다. 주행중인 열차상태 모니터링 및 철도설비 실시간 모니터링 서비스는 열차의 상태정보와 선로 변 철도설비 정보를 관제시스템으로 전송하여 상황링크만 사용하는 서비스로서, 정보전송의 종류에 따라서 데이터 서비스에는 14kbps, 영상 서비스에는 2Mbps가 할당된다. 그 밖에 열차상태 정보 및 안전조치 이상장치에 이상 발생 시 열차운행 유지를 위한 음성서비스를 이용하여 관제 및 타 기관에 기관사가 직접 연락을 위한 열차/설비 상태정보 관계기관 전파서비스가 있지만, 가까운 시일 내 사용이 고려되지 않고 있으므로 트래픽 산출항목에서 제외하였다.

첨단 영상 감지시스템을 활용한 안전 및 범죄예방 체계 구축 서비스 중 상황링크 서비스는 역사 내 영상정보를 이용한 치안유지 서비스, 기관실 내 영상정보를 이용한 안전유지 서비스, 차량 내 영상정보를 이용한 안전유지 서비스, 사고발생 시 모든 관계기관에 전파하는 서비스와 유지보수 시스템 연계를 통한 범죄 예방서비스로 구성되어 있다. 차량 내 영상정보를 이용한 안전유지 서비스는 현재 사용되고 있지 않으나 높은 필요성으로 인해 가까운 시일 내 구현이 예상되는 서비스이므로 2017년 시점부터 트래픽 산출에 포함하였다. 그 밖에 역사 내 영상정보를 이용한 치안 유지 서비스는 역사 내에서 범죄 발생 시 범인 식별을 위한 영상

Table 6 Types and characteristics of uplink services

Services classification		Data rate (kbps)	Transmission period	Delay time	Priority
Service	Detail of service				
Train control	Transmission of train location	12	Real-time	35~280ms	Vital
Monitoring of running train status and railway device	Real-time train status monitoring	2000	Real-time	35~280ms	Vital
	Railway infra monitoring	14	Real-time	35~280ms	Vital
	Railway device monitoring	14	Real-time	35~280ms	Vital
	Railway safety device monitoring	14	Real-time	1s	Vital
Video detection system	Safety maintenance using video within the cab	2000	Event of response absence	0.5±0.1s	Vital
	Safety maintenance using video within the vehicle	0 (2012) 2000 (2017~)	Real-time	0.5±0.1s	Vital
	Propagation at the event of accident	2000	Event of accident	0.5±0.1s	Vital
Operation & maintenance of train	Commander communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Station communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Portable communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
	Vehicle communication	45.6	Traffic generation basis	0.5±0.1s	Vital
Railway customer service	Vehicle passenger service	13.75	Real-time around the station	0.5±0.1s	Non-vital
Freight information on management	Tracking cargo movement path	14	Real-time around the station	0.5±0.1s	Non-vital
	Real-time information confirmation in CY	14	CY-site limited	0.5±0.1s	Non-vital
Railroad crossings information system	Crossing control information system	14	Crossing adjacent region limited	0.5±0.1s	Vital

정보를 전송하는 서비스가 있지만, 현재 서울역에서는 22대의 CCTV(Closed Circuit Television)가 유선으로 연결되어 2Mbps의 영상을 전송하고 있으므로 해당 서비스는 무선 트래픽 산출과정에서 제외하였다.

4. 철도통신을 위한 주파수 소요량 산출 과정

4.1 트래픽 특성 및 파라미터

4.1.1 데이터 서비스 트래픽 특성 및 파라미터

데이터 서비스의 특성은 Session Arrival Rate, Service Activity와 Service Priority로 구분하여 설명한다. 이 때 Session Arrival Rate 파라미터는 초당 특정 서비스가 시작되는 횟수를, Service Activity는 전체 시간 중 해당 서비스가 제공되는 시간의 비율을, Service Priority는 해당 서비스의 제공여부가 승객들의 안전과 직접 연관되어 있는지 여부를 나타낸다. 아래 Table 7은 2012년의 하향링크 데이터 서비스 트래픽 특성 및 파라미터를 나타낸다.

열차제어 서비스는 실시간으로 제공되어야 하므로 트래픽 특성의 Session Arrival Rate와 Service Activity를 각각 1로 하였다. 열차가 쉘에 진입할 때에 서비스 세션이 시작되는 차내승객 서비스, 건널목제어 및 정보시스템, 건널목 감시 시스템의 Session Arrival Rate는 1일 총 열차운행횟수를 최번시 초당 열차운행횟수로 다음 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Session Arrival Rate}_{\text{건널목제어 및 정보시스템}} = \frac{\text{1일 열차운행횟수}}{\text{1일 열차운행시간}} \times \text{최번시 트래픽 산출비율} = \frac{280\text{회}}{18\text{시간}} \times 3.53 = 0.0153 \quad (9)$$

차내승객 서비스의 Service Activity는 역 내 승차대기 중인 열차가 머무는 시간(4분)동안 차내 승객 서비스 이벤트가 발생하는 간격(30초)을 고려한 수치이고, 건널목 제어 및 정보시스템 서비스의 Service Activity는 건널목 주변 1.5km 내에 열차가 120km/h의 속도로 18시간 동안 280회 진입할 때 데이터 전송이 수행되는 시간의 비율을 의미한다.

화물 이동경로 추적 서비스, 화물처리 실시간 확인서비스와 같은 정해진 속도로 주행하며 tag를 지날 때마다 정보를 송신하는 경우의 Session Arrival rate는 다음 식 (10)과 같이 초당 전송횟수를 구할 수 있다. 이는 역 내에서 열차가 30km/h의 속도로 진행 시 200m마다 설치되어 있는 tag로의

정보전송이 24초마다 1번씩 발생하는 것을 의미한다. 화물 열차의 경우 승객이 몰리는 최번시의 영향을 받지 않으므로 최번시 트래픽 산출 비율이 적용되지 않는다.

$$\text{Session Arrival Rate}_{\text{건널목제어 및 정보시스템}} =$$

$$\frac{1}{3600 \times \frac{0.2}{30}} = \frac{1}{24} = 0.0417 \quad (10)$$

데이터 서비스 중 차내 승객 서비스와 건널목 제어 및 정보 시스템의 Session Arrival Rate 수치는 5년 후, 10년 후에 노선 수와 운행열차 수가 증가함에 따라 증가하지만, 그 외 일반 열차편성 수 증가에 영향을 받지 않는 나머지 서비스 특성들은 현재 수치에서 변동이 없다.

아래 Table 8은 2012년의 상향링크 데이터서비스 트래픽 특성 및 파라미터를 나타낸다. 열차위치 정보전송 서비스는 5년단위로 감소하는 열차제동거리와 노선의 증가로 인한 열차편성수의 확대에 의하여 트래픽이 증가하는데, 트래픽이 실시간으로 제공되어야 하므로 Service Arrival Rate와 Service Activity는 각각 1로서 시간이 지나도 해당 특성은 변하지 않는다. 철도 기반시설 모니터링 서비스는 레일, 노반, 침목 기반시설의 상태를 순차적으로 체크하므로 Service Activity를 0.33으로 설정하였고, 철도 설비 모니터링 장치는 열차가 장치주변을 지날 때마다 정보의 송수신이 이루어 지므로 Session Arrival Rate는 1일 총 열차 운행횟수를 최번시 초당 열차운행횟수로 나타내었다. 그 중 신호기 장치의 경우 일반 열차 외에 전동차 운행수치가 더해져 계산되었다. 철도설비 모니터링 서비스의 Service Activity는 각 데이터가 해당 서비스의 전송물로 전달될 때 소요되는 시간을 계산한 값이다.

철도 안전설비 실시간 모니터링 서비스는 안전설비의 상태를 장치에서 관제센터로 주기적으로 전송하는데, 본 논문에서는 철도 안전설비 실시간 모니터링 주기를 200ms로 설정하여 초당 5회의 정보전송이 발생하게 된다.

4.1.2 음성 서비스 트래픽 특성 및 파라미터

철도통합무선망에서 고려되는 음성서비스는 크게 주행중인 열차설비의 상태를 관제시스템에 전파할 수 있는 기관사 음성 전용 단말, 철도 지령망 운용을 위한 철도 경찰 전용 단말, 역사 운영요원 단말, 열차에 탑승한 승무원 전용 단말, 작업자들을 위한 유지보수용 단말에 대한 서비스로 구성된다. LTE 망에서 패킷 전송을 통해 음성서비스를 제공하기 위한 VoIP기술과 VoLTE 기술을 적용 시, 기본적인 음

Table 7 Traffic characteristics and parameters of downlink data services (2012)

Service name	Data rate (kbps)	Session arrival rate	Service activity	Service priority
Train speed control	12.0	1.0000	1.0000	Vital
Service for passenger	13.8	0.0458	0.1250	Non-vital
Tracking cargo movement path	14.0	0.0417	0.0366	Non-vital
Real-time cargo handling information	14.0	0.0417	0.0366	Non-vital
Crossing control information	14.0	0.0153	0.1944	Vital

Table 8 Traffic characteristics and parameters of uplink data services (2012)

Service name	Data rate (kbps)	Session arrival rate	Service activity	Service priority
Transmission of train location	12.0	1.0000	1.0000	Vital
Railway infra monitoring	14.0	1.0000	0.3333	Vital
Service for passenger	13.8	0.0458	0.1250	Non-vital
Tracking cargo movement path	14.0	0.0417	0.0366	Non-vital
Real-time cargo handling information	14.0	0.0417	0.0366	Non-vital
Crossing control information	14.0	0.0153	0.1944	Vital
Electronic monitoring	14.0	0.0153	0.0269	Vital
Signal flag	14.0	0.0458	0.0017	Vital
Relay device	14.0	0.0153	0.0017	Vital
Induction device	14.0	0.0153	0.0017	Vital
Shunting signal	14.0	0.0153	0.0023	Vital
Shunting indication	14.0	0.0153	0.0017	Vital
Course indication	14.0	0.0153	0.0011	Vital
Railway switcher	14.0	0.0153	0.0017	Vital
Axle temp. detection	9.6	5.0000	0.1067	Vital
Obstacle detection	56.0	5.0000	0.0183	Vital
Drag detection	64.0	5.0000	0.0160	Vital
Weather monitoring	64.0	5.0000	0.0160	Vital
Rail temp. detection	64.0	5.0000	0.0160	Vital
Tunnel alarm	64.0	5.0000	0.0160	Vital
Line crossing detection	14.0	5.0000	0.0731	Vital
Track divergence device heating	14.0	5.0000	0.0731	Vital
Machine room monitoring	14.0	5.0000	0.0731	Vital
Safety switch	14.0	5.0000	0.0731	Vital
Earthquake monitoring	14.0	5.0000	0.0731	Vital

성소스 데이터 위에 무선접속 기술을 위한 헤더정보를 추가하여 전송해야 하는데, Table 9는 VoLTE 서비스에 사용하는 고음질 보코더 기술인 AMR-WB(Adaptive Multi Rate WideBand) 코덱의 데이터 전송률을 나타낸다. 본 논문에서는 철도통합무선망 음성통신이 VoLTE 사용시 합리적인 비율의 헤더가 추가되는 AMR-WB 45.6kbps 전송포맷의 사용을 가정한다.

연차별 단말기 수 증가를 고려한 철도통합무선망 음성서

Table 9 Source-Transmission datarate converting standard for VoLTE service

VoLTE Data rate converting standard	
Standard	AMR-WB
Source data rate (kbps)	23.85kbps
Packet Tx Period (ms)	20ms
Tx data rate (No encryption, kbps)	41.44kbps
Tx data rate (With Encryption, kbps)	45.60kbps

비스의 특성을 아래 Table 10에서 나타내고 있다. 호 차단율은 각 사용자에게 제공되는 음성서비스의 QoS(Quality of Service)를 의미하고, Voice Activity는 전체 통화시간 중에서 실제 음성이 상향 또는 하향으로 전송되는 시간의 비율을 뜻한다. 요구 채널 수는 셀 내 단말기들에 의해 발생하는 음성 트래픽 양(Erlang)을 특정 호 차단율 이상의 QoS로 처리하기 위한 최소 채널수로서 셀 내 단말기에서 발생하는 음성 트래픽 양과 호 차단율을 Erlang B Table[9]에 대입하여 구하였다. 해당 Table의 2017년, 2022년 항목에서는 철도노선 수의 증가가 고려되어 2012년에 비해 셀 내 단말기 수가 증가하였기 때문에 요구 채널 수, 즉 음성서비스 데이터량이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4.1.3 영상 서비스 트래픽 특성 및 파라미터

철도통합무선망의 하향링크 영상서비스는 안전한 열차운행을 돕는 승강장 내 영상정보와 건널목 감시정보를 제공하기 위한 서비스로서 Table 11에 그 종류와 특성이 나타나 있다. 승강장 내 영상정보 서비스의 Service Activity는 3노선상의 열차들이 교대로 데이터를 수신하도록 0.33으로 설정되었고, 건널목 감시시스템 서비스의 Session Arrival Rate

Table 10 Types and characteristics of uplink-downlink voice services

Service Name	Data rate (kbps)	Voice activity (Omni-direction)	Erlang/ User	Call blocking rate	2012		2017		2022	
					Number of UE	Num of required channel	Number of UE	Num of required channel	Number of UE	Num of required channel
Commander communication	45.6	0.38	0.20	0.001	22	13	30	15	36	17
Station communication	45.6	0.38	0.20	0.001	78	29	89	32	100	35
Portable communication	45.6	0.38	0.10	0.001	35	11	35	11	35	11
Vehicle communication	45.6	0.38	0.10	0.001	66	13	90	17	108	19
Railway police device	45.6	0.38	0.10	0.001	5	5	5	5	5	5

Table 11 Types and characteristics of downlink video services (2012)

Service name	Data rate (kbps)	Session arrival rate	Service activity	Service priority
Video in platform	500	1.0000	0.3333	Vital
Crossing observation	2,000	0.0153	0.1944	Vital

는 역 내로 진입하는 일반열차의 하루 운행 횟수를 초단위로 계산한 파라미터이기 때문에 노선수가 증가할수록 해당 수치가 증가하게 된다.

하향링크 영상서비스와는 달리 상향링크 영상서비스는 차량 내 영상정보를 관제시스템으로 전송하여 열차운행의 안전여부를 판단할 수 있도록 한다. 아래 Table 12는 현재 또는 향후 제공할 각 영상서비스의 종류와 특성을 나타내고 있다(현재 제공되고 있지 않은 서비스의 Session Arrival Rate

Table 12 Types and characteristics of uplink video services (2012)

Service name	Data rate (kbps)	Session arrival rate	Service activity	Service priority
Real-time train status monitoring	2,000	0.2500	0.2000	Vital
Safety video within the cab	2,000	0.2500	0.1000	Vital
Video in platform	2,000	0	1.0000	Non-vital
Safety video within the vehicle	2,000	0.2500	0.5000	Vital/ Non-vital
Propagation at the event of accident	2,000	0	1.0000	Vital

는 0으로 설정하였다).

주행중인 열차상태 실시간 모니터링 서비스에서는 기관사가 응답이 없을 경우 열차제어 전용단말이 열차 상태정보와 기관사 영상정보(4분할 화면, Session Arrival Rate=0.25)를 같이 송신한다. 이와 별도로, 현재 사용되고 있지 않은 차량 내 영상정보 서비스는 차후 구축되어 2017년부터 본격적으로 사용될 것으로 예상되며, 역사 내 영상정보의 경우 현재 서울역 내에 유선시스템으로 구축되어 있기 때문에 Session Arrival Rate를 0으로 하였다. 그리고 사고발생시 모든 관계기관에 전파 서비스는 열차상태 실시간 모니터링 서비스와 사령 무선통신 음성서비스로 대체 가능하기 때문에, 건물목 감시시스템 영상정보는 현재 유선으로 구축되어 있기 때문에 Session Arrival Rate를 0으로 설정하였다. 현재 시점에서 운용되지 않는 다양한 영상서비스들이 차후 필요에 따라 기타 서비스들의 제공이 시작될 것으로 보이며 그에 따라 Session Arrival Rate 수치가 조정되게 된다.

4.2 상-하향링크 트래픽 산출

철도통합무선망의 발생 트래픽양은 4.1절에서 다룬 각 서비스의 Data rate, Session Arrival Rate, Service Activity와 같은 트래픽 특성과 해당 서비스를 사용하는 단말기 수를 고려하여 식 (11)에 따라서 산출된다. 열차제어 전용 단말의 트래픽은 Table 7의 열차속도제어 명령 전송 서비스와 Table 8의 차내승객 서비스에 대한 데이터를 모두 포함한다. 그리고 기관사 음성전용 단말, 열차 승무원 단말, 역사 운영요원 단말, 유지보수자 단말, 철도경찰 단말 등 음성통신 사용자 수는 상기한 Table 10, 11, 12에서 Erlang Table을 이용하여 구한 요구채널 수를 사용한다.

$$\text{Data Traffic}_{\text{service}} = \text{Datarate}_{\text{service}} \times \text{단말기수}_{\text{service}} \times \text{Session Arrival Rate}_{\text{service}} \times \text{Service} \times \text{Acticity}_{\text{service}} \quad (10)$$

Table 13은 식 (9)에 따라 산출된 각 단말에서 발생하는 하향링크 데이터(2012년 기준)를 나타낸다. 화물열차 전용

Table 13 Generated downlink traffic output (2012)

UE Classification	Data traffic (kbps)	Service	Priority	
Train control	531.5	Data	Vital	
Train driver voice communication	225.3	Voice	Vital	
Platform video for train driver	3,666.7	Video	Vital	
Train crew	Voice	225.3	Voice	Non-vital
	Data	5.2	Data	Non-vital
Station crew	502.5	Voice	Non-vital	
Maintenance crew	190.6	Voice	Non-vital	
Freight train	0.3	Data	Non-vital	
Crossing device	6.0	Data	Vital	
Railway police	Voice	0	Video	Non-vital
	Data	86.6	Voice	Non-vital
Total	5439.9			

단말에서는 화물이동경로 추적, 화물처리 실시간 정보확인 과 같은 서비스를 제공하므로 해당 서비스로 인해 발생하는 트래픽이 모두 포함되어 있다. 건널목 장치단말 트래픽은 데이터 서비스인 건널목 제어 및 정보시스템 트래픽과 영상서비스인 건널목 감시시스템 트래픽을 포함한다. 중요도 구분 항목에서 Non-Vital로 구분된 서비스에는 Vital 트래픽과 Non-Vital 트래픽이 공존하므로 이를 Vital 비율에 따라 산출된 트래픽을 나누어 나타내었다.

다양한 철도 통합무선망 서비스 중 열차제어와 관련된 열차제어 전용 단말, 기관사 음성 전용단말, 기관사용 승강장 영상단말과 건널목 장치 단말에서 발생하는 트래픽은 모두 Vital로 구분하였다. 기관사 음성전용 단말기를 제외한 기타 음성단말 서비스의 경우 Non-Vital로 구분하였으나, 각 단말의 필요성에 따라 Vital 비율을 차등 적용하여 신속한 호 설정이 가능하도록 하였다. 5년 후 신설되는 신안산 노선, 10년 후 신설되는 수색-시흥 노선으로 인한 열차 편성수 증가는 2017년, 2022년 시점에 열차제어 전용 단말기, 기관사 음성전용 단말, 기관사용 승강장 영상 단말의 발생 트래픽 증가를 야기한다. 하지만 열차편성수 증가와 관련없는 서비스의 경우 현재 시점의 트래픽과 큰 차이가 없다.

Table 14는 각 단말에서 발생하는 상향링크 데이터(2012년 기준)를 나타낸다.

4.3 철도 주파수 소요량 산출

4.2절에서 단일 셀 내 단말 별 최대 트래픽 발생량이 산출된 이후에는 Table 15, 16과 같이 셀 당 상-하향 트래픽 총량을 데이터, 음성, 영상과 같은 서비스형태별로 구분하여 나타낼 수 있다. 그리고 연도별 단말기 수의 증가와 서비스 파라미터의 변화를 고려하면 2012년, 2017년, 2022년 시점의 트래픽 발생예상치를 도출할 수 있다. 현재 시점에서는 하

Table 14 Generated uplink traffic output (2012)

UE Classification	Data traffic (kbps)	Service	Priority	
Train control	733.3	Data	Vital	
Train driver voice communication	225.3	Voice	Vital	
Platform video for train driver	1,200.0	Video	Vital	
Train crew	Voice	225.3	Voice	Non-vital
	Video	5.2	Data	Non-vital
Station crew	502.5	Voice	Non-vital	
Maintenance crew	190.6	Voice	Non-vital	
Freight train	0.3	Data	Non-vital	
Crossing device	0.04159	Data	Vital	
Electronic monitoring	0.00574	Data	Vital	
Signal flag	0.04950	Data	Vital	
Relay device	0.00037	Data	Vital	
Induction device	0.00183	Data	Vital	
Shunting signal	0.00684	Data	Vital	
Shunting indication	0.01467	Data	Vital	
Course indication	0.02151	Data	Vital	
Railway switcher	0.02823	Data	Vital	
Earthquake monitoring	5.1	Data	Vital	
Axle temp. detection	5.1	Data	Vital	
Obstacle detection	5.1	Data	Vital	
Drag detection	10.2	Data	Vital	
Weather monitoring	5.1	Data	Vital	
Rail temp. detection	5.1	Data	Vital	
Tunnel alarm	30.7	Data	Vital	
Line crossing detection	5.1	Data	Vital	
Track divergence device heating	204.8	Data	Vital	
Machine room monitoring	10.2	Data	Vital	
Safety switch	81.9	Data	Vital	
Railway police	Video	0.0	Video	Non-vital
	Voice	86.6	Voice	Non-vital
video within the vehicle	0.0	Video	Vital	
CCTV around the station	0.0	Voice	Non-vital	
Total	3537.9			

향 트래픽이 상향 트래픽에 비해 많은 양을 차지하고 있지만, 시간이 지날수록 상향 영상정보 전송이 하향 영상정보 전송에 비해 크게 증가하면서 트래픽의 총량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

Table 17은 예상되는 통신시스템 별 주파수 효율을 나타낸 것이다. 정우기의 연구[11]에 따르면 4X4 MIMO를 사용할 경우 IMT-Advanced 통신시스템의 주파수 효율이 최대 17.1bps/Hz까지 증가하지만 이는 작은 범위의 hotspot의 경

Table 15 Change of downlink traffic amount

Classification		Amount of traffic (kbps/cell)		
		2012	2017	2022
Service	Data	542.9	744.0	897.9
	Voice	1,230.3	1,386.2	1,507.5
	Video	3,666.7	5,000.0	6,000.0
Total		5,439.9	7130.2	8405.4

Table 16 Change of uplink traffic amount

Classification		Amount of traffic (kbps/cell)		
		2012	2017	2022
Service	Data	1,107.6	1,457.1	1,740.5
	Voice	1,230.3	1,386.2	1,507.5
	Video	1,200.0	9,500.0	11,600.0
Total		3,537.9	12,343.4	14,848.0

Table 17 Expected changes of system spectral efficiency [10]

Spectral efficiency (bps/Hz)			
System	2012	2017	2022
3G (WCDMA)	0.49	1.10	1.10
4G (LTE/WiMAX)	1.46	1.56	2.32

Table 18 Downlink frequency requirement change of an integrated wireless network

Classification		Bandwidth requirement (MHz)		
		2012	2017	2022
Service	Data	0.37	0.48	0.39
	Voice	0.84	0.89	0.65
	Video	2.51	3.21	2.59
Total		3.73	4.57	3.62

Table 19 Uplink frequency requirement change of an integrated wireless network

Classification		Bandwidth requirement (MHz)		
		2012	2017	2022
Service	Data	0.76	0.93	0.75
	Voice	0.84	0.89	0.65
	Video	0.82	6.09	5.00
Total		2.42	7.91	6.40

우로서, 기본적으로 매크로 셀의 사용을 고려하고 있는 철도통신과는 상이한 환경이다. 또한, 고속환경에서는 64QAM 등의 높은 MCS(Modulation Coding Scheme)을 사용할 경우 불안정한 무선환경으로 인해 통신 안정성이 크게 저하될 수 있으므로 QPSK 등의 상대적으로 낮은 코딩을 사용함으로

Table 20 Total frequency requirement of the railway integrated wireless network

Bandwidth requirement (bps/Hz)			
Direction	2012	2017	2022
Downlink	3.73	4.57	3.62
Uplink	2.42	7.91	6.40
total	6.15	12.48	10.02

써 고속에서의 통신신뢰성 저하를 최소화 하는 것이 적절하다. LTE의 주파수 효율은 시간이 지날수록 증가함에 비해, WCDMA의 경우 일정수치에서 더 증가하지 않는 것은 WCDMA의 기술발전이 한계치에 근접하여 더 이상의 투자가 발생하지 않기 때문이라고 볼 수 있다. 상기 Table 15, 16의 상-하향링크 트래픽 발생량을 Table 17의 LTE 주파수 효율로 나누면 LTE로 철도통합무선망을 구축했을 때의 주파수 소요량이 산출된다. 상-하향 주파수 소요량과 서비스 별 주파수 소요량이 Table 18, 19에, 상-하향 주파수 소요량의 합계가 Table 20에 나타나있다. 2017년과 2022년 사이에 트래픽 총량이 크게 증가했음에도 주파수 소요량이 이에 비례하여 늘어나지 않은 것은 LTE기술의 발전으로 주파수 효율이 상승했기 때문으로 볼 수 있다.

5. 결 론

현재 시점에서 철도통합무선망의 운용을 위한 상-하향링크 데이터, 음성, 영상서비스를 제공에는 상향링크 2.42MHz, 하향링크 3.73MHz의 주파수 대역폭이 소요된다. 또한 철도통신망과 같이 많은 자본이 투입되는 대규모 통신망의 구축 시 장기적인 안목을 가지고 10년 이상을 고려하여 시스템을 설계해야 하는데, 2017년경 철도통신망의 주파수 소요량은 상향링크 7.91MHz, 하향링크 4.57MHz이고, 2022년경에는 상향링크 6.40MHz, 하향링크 3.62MHz 가량이 소요된다는 결론을 내릴 수 있었다.

차세대 철도통신망이 이슈로 떠오르면서 많은 관련연구들이 진행되고 있지만, 아직도 통신과 철도간의 융합부분은 블루오션에 해당하여 망 구성방법, 고속 이동성 지원, 철도 통신서비스 QoS 등 다양한 분야가 초기 연구과정에 머물고 있다. 활발한 연구가 지속되어 다양한 연구결과가 축적된다면 철도통신 또한 통신분야의 메인스트림 중 하나로 곧 자리잡을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 미래도시철도기술개발사업 연구비 지원(10PUR1-B056851-01)에 의하여 수행되었습니다.

References

[1] S. Lee, S. Kim (2013) A Study of Wireless Communication

- Network Constructing Policy Plan for an Efficient Railroad System Infrastructure, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(4), pp.262-271.
- [2] Z.H. Quan, D.K. Park, G.S. Park, M.S. Ryou, et al. (2009) Study on Radio Frequency to Secure Private Use in Railroad, *2009 Spring Conference of the Korean Society for Railway*, Gyeongju, pp. 2030-2037.
- [3] B.S. Yoon, M.W. Jung, S.J. Lee, K.H. Min, et al. (2011) Bandwidth estimation for radio based train control and communication system, *The 2011 International Conference on Wireless Networks*, Las Vegas, pp. 502-505.
- [4] ITU-R (1999) Recommendation ITU-R M.1390: Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements.
- [5] ITU-R (2006) Recommendation ITU-R M.1768: Methodology for calculation of spectrum requirements for the future development of the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000.
- [6] J.H. Back (2009) The Study on Train Separation Control of Train Control System For Conventional Line Speed Up, PhD Thesis, Chonbuk National University.
- [7] WP9 Partners (2009) Data communication system performance, Reliability, and Maintainability Requirements, Modur-ban.
- [8] Korea Communications Agency (2012) Research of railway private frequency band allocation for future railway integrated wireless network construction.
- [9] Achieved at www.sis.pitt.edu/~dtipper/2110/erlang-table.pdf
- [10] Real Wireless Ltd. (2011) 4G Capacity Gains Final Report-Appendices, Ofcom(UK).
- [11] W.-G. Chung (2007) Study on MCL method suitable to OFDM based systems for the 4th generation mobile communication, *PhD Thesis*, Yonsei University.

접수일(2013년 6월 13일), 수정일(2013년 8월 14일),
 게재확정일(2013년 11월 21일)

Minwoo Jeong: jmw2237@ust.ac.kr
 Department of Mobile communication & Digital broadcasting Engineering, University of Science & Technology, 217 Gajeongno, Yuseong-Gu, Daejeon 305-350, Korea

Hyungoo Yoon : hgyoon@mjc.ac.kr
 Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College, 356-1 Hongeun 2 dong, Seodaemun-Gu, Seoul 120-848, Korea

Duk-kyu Park : parkdk@mokwon.ac.kr
 Department of Information Communication Engineering, Mokwon University, 88 Doanbuk-ro, Seo-Gu, Daejeon 302-729, Korea

Kyung-Hee Kim : kimkh@krri.re.kr
 Radio-based Train Control Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo Bangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Sukjin Lee : sjlee@etri.re.kr
 Department of Wireless Access Control System Research, Electronics and Telecommunication Research Institute, 138 Gajeongno, Yuseong-Gu, Daejeon 305-350, Korea