

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.3.51>

IIBC 2014-3-7

## TETRA TRS에서 DMO 단말기의 전파도달범위 예측

### Radio Coverage Prediction of DMO Terminal in TETRA TRS

이순화\*, 김장복\*\*

Soon-Hwa Lee\*, Chang-Bock Kim\*\*

**요 약** TETRA(TErrestrial Trunked RAdio)는 디지털 TRS(Trunked Radio System)의 유럽 표준으로 재난통신에 특화된 서비스를 제공한다. 특히 TETRA에서 제공하는 DMO(Direct Mode Operation) 기능은 기지국 중계 없이 단말 기간 직접통신이 가능하여 기지국 전파가 도달되지 않는 음영지역에 효과적으로 활용된다. 하지만 사용자들이 DMO 기능을 보다 효과적으로 활용하기 위해서는 전파도달범위 예측 정보가 제공되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 국내에 보급되어 운용 중인 TETRA DMO 단말기의 링크버킷을 계산하고 이를 경로손실 모델에 적용시켜 지역 환경별 전파 도달 거리를 예측하였다.

**Abstract** TETRA(TErrestrial Trunked RAdio) provide specialized disaster radio communication services as a standard European for digital TRS(Trunked Radio System). Especially, DMO(Direct Mode Operation) feature is used effectively in the radio shadow areas which base station does not propagate radio signal because it can communicate directly with terminal to terminal without base station's relay function. However, to effectively used DMO feature, radio coverage prediction information should be provided to users. Therefore in this paper, we were calculated link budget of TETRA DMO terminals which were distributing and operating in the country and then predicted reaching distance about radio propagation to be applied with path loss model.

**Key Words** : TETRA, DMO, D2D, Radio Coverage, Path loss model, PPDR, TRS

## 1. 서 론

TETRA(TErrestrial Trunked RAdio)는 유럽전기통신협회(ETSI)에 의해 국제 표준화된 개방형 디지털 주파수공용통신(TRS : Trunked Radio System) 기술로서 기존의 셀룰러 시스템과는 달리 하나의 채널을 여러 이용자가 공동으로 이용할 수 있는 등, 주파수 효율을 극대화할 수 있다. TETRA는 재난안전 업무에 중점을 두고 개발되어 일반 셀룰러 서비스에서 제공하지 못하는

‘우선순위 접속, 비상 지령통화, 기지국 독립 운용’ 등의 특화된 기능을 제공한다.<sup>[1]</sup>

TETRA는 기지국 중계 통신인 TMO(Trunked Mode Operation)와 단말간 직접 통신인 DMO(Direct Mode Operation)가 있다.<sup>[2-4]</sup> TMO는 통신망 설비들을 이용하므로 원거리에 위치한 사용자와 통신 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 교환기나 기지국에 장애가 발생하거나 통화 폭주로 인해 기지국에 과부하가 발생할 경우에는 통신이 두절되는 한계도 있다. 따라서 이와 같은 경우에는 단말

\*정희원, 안전행정부 재난안전통신망구축기획단

\*\*정희원, 홍익대학교 전자전기공학부

접수일자 2014년 4월 23일, 수정완료 2014년 5월 22일

게재확정일자 2014년 6월 13일

Received: 23 April, 2014 / Revised: 22 May, 2014

Accepted: 13 June, 2014

\*\*Corresponding Author: hoffnung@hongik.ac.kr

Dept. of Electronic & Electrical Engineering, Hong-ik University, Korea

간 직접 통신을 하는 DMO를 효과적으로 활용할 수 있다.

사용자가 재난현장에서 DMO를 효과적으로 활용하기 위해서는 DMO 단말기의 전파도달범위를 정확히 예측할 수 있어야 한다. 즉 재난현장에 있는 지휘관이 유효한 작전반경을 설정하기 위해서는 무선통신 가능 범위에 대한 사전 정보가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 TETRA DMO 단말기의 전송 주파수, 출력, 감도, 이득 등을 예측하여 허용 가능한 최대 경로 손실치를 경로손실모델에 적용함으로써 DMO 통신 가능한 유효 반경 및 면적을 도출하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DMO의 기술적 특징을 중심으로 본 논문의 이론적인 배경들을 소개하고, III장에서 TETRA DMO 단말기의 링크버짓 계산 값을 Okumura-Hata 기반의 경로손실모델을 적용하여 전파도달범위 예측 값을 제시한 후, IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 이론적 배경

### 1. DMO 통신의 필요성

주파수공용통신은 높은 통신용량과 넓은 셀 커버리지의 지원을 위해 그림 1과 같이 TMO를 기본으로 하면서 DMO도 함께 지원한다. 그 이유는 다음과 같다.<sup>[1]</sup>

첫째, DMO는 단말간 직접통신 가능하기 때문에 교환기 및 기지국 장애 시에 임시 수단으로 유용하다. 둘째, 기지국이 최대 처리할 수 있는 부하의 임계치를 초과하는 등, TMO 통화량의 폭주시에 DMO를 활용하여 일부 트래픽을 분산시킬 수 있다. 셋째, DMO는 교환기와 기지국이 없이도 통신을 할 수 있으므로 막대한 구축 비용이 투자되어야 하는 지하, 터널, 산악, 해상 등 예상되는 지역에서 경제적인 망 구축이 가능하다.

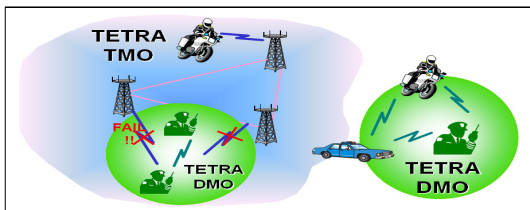


그림 1. TETRA DMO와 TMO의 개념도  
Fig. 1. Concept illustration of DMO and TMO in TETRA

### 2. DMO 채널 운용 구조

TETRA는 다중화방식으로 '1:4 TDMA' 방식을 사용하기 때문에 한 채널의 타임 슬롯(time slot)은 4개이다. 그림 2와 같이 일반적인 DMO의 타임 슬롯 운용 방식은 1번은 통화 트래픽용, 3번은 제어 신호용으로 사용하고 나머지 2, 4번 타임 슬롯은 보호대역 확보를 위해 'free'로 비워 둔다. 또한 통화용량을 2배로 늘리기 위해 2개의 'free' 타임 슬롯도 모두 사용하는 'Frequency Efficient Mode'도 있다.<sup>[4,5]</sup>

TETRA의 TMO와 DMO 통신방식을 위한 데이터링크 계층의 MAC(Media Access Control) 프로토콜은 Slotted-ALOHA 표준에 따르게 된다.<sup>[4,5]</sup>

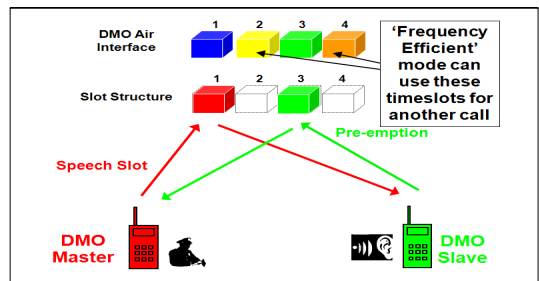


그림 2. DMO의 채널 운용 구조  
Fig. 2. Channels operating structure of DMO

## III. DMO 단말기의 전파도달범위 예측

### 1. 적용 방법론 및 절차

본 논문에서 적용한 방법론과 절차는 그림 3과 같이 TETRA DMO 단말기의 링크버짓 분석을 통해 링크에 대한 최대 허용손실인 MAPL(MAXimum Allowable Pathloss)를 구한 후 Okumura-Hata 경로손실모델을 이용하여 전파도달이 가능한 유효 반경을 도출하는 과정을 거친다.

전파도달범위를 예측함에 있어 몇 가지 주관적인 가정이 필요한데 그 내용은 다음과 같다. 첫째 송수신 DMO 단말기의 해발고도는 동일 높이로 설정한다. 물론 통신 환경에 따라 DMO 단말기를 운용하는 사용자 위치의 해발 고도는 상이할 수 있다. 다만 이러한 사항을 반영할 경우 매우 많은 경우의 수가 발생하기 때문에 예측의 범위를 줄일 필요성이 있다. 둘째 DMO 단말기의 출력과 송수신 주파수는 국내 실정에 맞게 적용한다. 즉

단말기의 출력은 1W(휴대용) 및 3W(차량 및 고정용)로 하고 반송파 주파수는 400MHz 및 800MHz를 적용한다. 셋째, DMO는 1:N 브로드캐스팅(broadcasting) 전송 기법 무전기 모드이므로 기본적으로 수신 채널의 가입자 용량은 무한대인 것으로 가정한다.

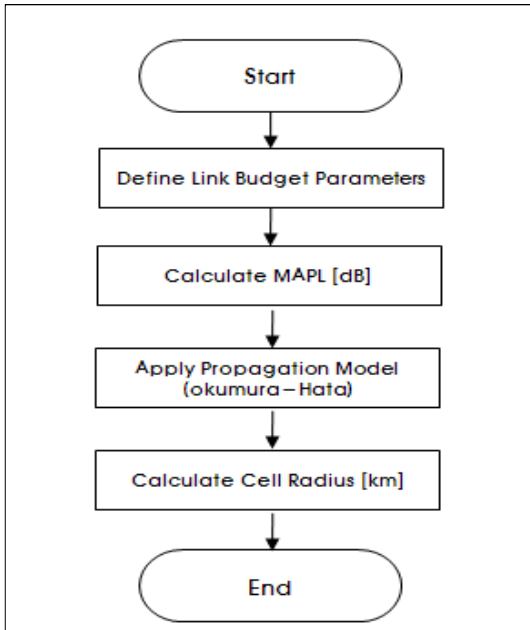


그림 3. 전파도달범위 예측의 방법론 및 절차  
 Fig. 3. Method & process of radio coverage prediction

## 2. DMO 단말기의 링크버짓 계산

표 1의 링크버짓 파라미터는 TETRA의 국제표준 기관인 ETSI의 기준에 따라 국내 재난기관들이 도입·운영 중인 단말기 유형에 맞는 링크버짓 파라미터의 정의이며 이를 통해 최종적으로 얻을 수 있는 MAPL은 식 (1)과 같이 산출한다.<sup>[6]</sup>

$$MAPL[dB] = P_{tx} - L_{tx} - L_{rx} + G_{tx} + G_{rx} - S_{rx} \quad (1)$$

위 식 1에 따라 단말기 유형별 조합에 따라 ‘휴대용(H)→휴대용(H)’, ‘휴대용(H)→차량·고정용(C)’, ‘차량·고정용(C)→휴대용(H)’, ‘차량·고정용(C)→차량·고정용(C)’에 해당하는 MAPL 결과 값은 표 2와 같다.

표 1. 링크버짓 파라미터

Table 1. Link budget parameters

Parameter		Value	
		H (휴대용)	C (차량·고정용)
$P_{tx}$	TX Power	30 dBm	35 dBm
$L_{tx}$	TX Cable and Filter Loss	0 dB	2 dB
$L_{rx}$	RX Cable and Body Loss	0.5 dB	2 dB
$G_{tx}$	TX Antenna Gain	-4 dB	2 dB
$G_{rx}$	RX Antenna Gain	-4 dB	2 dB
$S_{rx}$	RX Sensitivity	-103 dBm	-103 dBm

표 2. 링크버짓 파라미터

Table 2. Link Budget Parameters

Parameter	H→H	H→C	C→H	C→C
MAPL	124.5 dB	129 dB	133.5 dB	138 dB
$P_{tx}$	30 dBm	30 dBm	35 dBm	35 dBm
$L_{tx}$	0 dB	0 dB	2 dB	2 dB
$L_{rx}$	0.5 dB	2 dB	0.5 dB	2 dB
$G_{tx}$	-4 dB	-4 dB	2 dB	2 dB
$G_{rx}$	-4 dB	2 dB	-4 dB	2 dB
$S_{rx}$	-103 dBm	-103 dBm	-103 dBm	-103 dBm

## 3. 경로손실 모델 적용 및 전파도달 반경

본 논문에 적용하는 Okumura-Hata 경로손실 모델의 기본 식은 식 (2)와 같다. 인수인 A, B, C는 반송파 주파수 및 송수신 단말기의 안테나 높이에 의존하며 ‘d’는 송수신간 거리인 전파도달 반경을 의미한다.<sup>[7]</sup>

$$PL[dB] = A + B \log(d) + C \quad (2)$$

A인수의 세부 정의는 식 (3)과 같으며 ‘ $f_c$ ’는 반송파 주파수, ‘ $h_{tx}$ ’는 송신측 안테나 높이, ‘ $h_{rx}$ ’는 수신측 안테나 높이이며 ‘ $a(h_{rx})$ ’는 지역 환경을 고려하기 위한 조정 인수 이다.<sup>[7]</sup>

$$A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{tx} - a(h_{rx}) \quad (3)$$

시골(개활지), 교외, 도심의 ‘ $a(h_{rx})_1$ ’는 식 (4), 밀집도심의 ‘ $a(h_{rx})_2$ ’는 식 (5)와 같다. 단 식 (5)의 경우에는 국내의 TETRA 반송파 주파수가 400과 800MHz인 점을 반영한 식이다.<sup>[7]</sup>

$$a(h_{rx})_1 = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{rx} - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad (4)$$

$$a(h_{rx})_2 = 3.2 [\log(11.75 h_{rx})]^2 - 4.97 \quad (5)$$

B 인수는 지역 환경과 무관하게 공통으로 적용되며 세부 정의는 식 (6)과 같다.<sup>[7]</sup>

$$B = 44.9 - 6.55 \log h_{tx} \quad (6)$$

C 인수는 'a(h<sub>tx</sub>)'와 같이 지역 환경을 고려하기 위한 조정 인수로서 시골(개활지), 교외 지역의 경우에만 적용하며 도심 및 밀집도심은 적용하지 않는다. 교외는 식 (7), 시골은 식 (8), 도심 및 밀집도심은 식(9)와 같이 정의된다.<sup>[7]</sup>

$$C_{suburban} = -2 [\log(f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (7)$$

$$C_{rural} = -4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.98 \quad (8)$$

$$C_{urban} = C_{densurban} = 0 \quad (9)$$

위와 같은 과정을 통해 TETRA DMO 단말기의 전파 도달 거리를 구하기 위한 정의는 식(10)과 같다.

$$d[\text{km}] = 10^{\frac{MAPL - (A+C)}{B}} \quad (10)$$

본 논문에 적용한 경로손실모델 파라미터는 표 3과 같으며 지역 환경별 전파도달 반경인 'd' 산출 결과 값은 표 4와 같다.

표 3. 경로손실모델 파라미터

Table 3. Path loss Model Parameters

Parameter		Value	
		H (휴대용)	C (차량·고정용)
f <sub>c</sub>	Carrier Frequency	400, 800 MHz	
h <sub>tx</sub>	TX Antenna height	1.5m	2.5 m
h <sub>rx</sub>	RX Antenna height	1.5m	2.5 m

표 4. 400MHz 환경의 전파도달 반경

Table 4. Cell radius in 400MHz

Parameter	H→H	H→C	C→H	C→C
Dens urban	0.57 km	0.80 km	1.08 km	1.53 km
Urban	0.57 km	0.81 km	1.08 km	1.55 km
Suburban	0.87 km	1.24 km	1.67 km	2.40 km
Rural	2.20 km	3.12 km	4.35 km	6.25 km

표 5. 800MHz 환경의 전파도달 반경

Table 5. Cell radius in 800MHz

Parameter	H→H	H→C	C→H	C→C
Dens urban	0.38 km	0.53 km	0.70 km	1.00 km
Urban	0.38 km	0.54 km	0.70 km	1.03 km
Suburban	0.63 km	0.90 km	1.19 km	1.74 km
Rural	1.65 km	2.38 km	3.24 km	4.73 km

#### 4. 보정된 경로손실 모델 및 전파도달 반경

Okumura-Hata 경로손실모델의 적용을 통해 표 4 및 5와 같이 전파도달 반경을 구하였으나 다음과 같은 이유로 결과 값의 보정이 필요하다. Okumura-Hata는 송신측의 유효 안테나 높이인 'h<sub>tx</sub>'를 30~200m로 정의하였다. 그러나 TETRA DMO 기능은 기지국이 아닌 단말기이기 때문에 송신측 'h<sub>tx</sub>'는 휴대용 1.6m, 차량·고정용 2.5m로서 이는 Okumura-Hata 모델의 'h<sub>tx</sub>' 파라미터 유효 범위 내에 있지 못하다.

이런 경우에 경로손실모델을 경험치 값이 아닌 지역 환경별로 방대한 실측치 값을 수집하여 적용하는 방안도 있으나 이는 많은 시간과 노력이 필요하고 시스템 파라미터의 설정이 바뀔 때마다 측정을 반복하는 등 비효율적이다. 따라서 일반적으로는 Okumura-Hata와 같은 수식 기반의 경로손실 모델을 통해 예측한다. 그러나 지역적인 환경을 고려하는 경로손실 예측모델들은 Okumura-Hata 기반의 보정된 모델이기 때문에 'h<sub>tx</sub>' 파라미터 유효 범위가 30m 이상이라는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 식(11)과 같이 Okumura-Hata 경로손실 모델의 'h<sub>tx</sub>' 비유효 범위 오차를 보정하기 위한 마진(margin)인 'M<sub>rus</sub>' 추가 적용하여 전파도달 거리인 'd<sub>rus</sub>'를 정의한다.

$$d_{rus}[\text{km}] = 10^{\frac{(MAPL - M_{rus}) - (A+C)}{B}} \quad (11)$$

'M<sub>rus</sub>'는 Okumura-Hata 경로손실 모델의 예측 정확도에 해당하는 표준편차가 ±8 dB인 점을 고려하여 최대 성능 열화 값으로 간주할 수 있는 -8 dB를 적용하며 보정된 전파도달 반경의 결과 값은 표 6 및 7과 같다.<sup>[8]</sup>

표 6. 보정된 400MHz 환경의 전파도달 반경

Table 6. Revised cell radius in 400MHz

Parameter	H→H	H→C	C→H	C→C
Dens urban	0.37 km	0.52 km	0.70 km	0.99 km
Urban	0.37 km	0.53 km	0.70 km	1.00 km
Suburban	0.57 km	0.81 km	1.08 km	1.55 km
Rural	1.44 km	2.05 km	2.82 km	4.05 km

표 7. 보정된 800MHz 환경의 전파도달 반경

Table 7. Revised cell radius in 800MHz

Parameter	H→H	H→C	C→H	C→C
Dens urban	0.25 km	0.35 km	0.45 km	0.64 km
Urban	0.25 km	0.36 km	0.45 km	0.67 km
Suburban	0.41 km	0.59 km	0.77 km	1.12 km
Rural	1.08 km	1.56 km	2.09 km	3.06 km

### 5. 최종 전파도달 반경 범위 산출

지역 환경별 TETRA DMO 단말기의 최소값(보정후)과 최대값(보정전)에 대한 최종 산출 결과는 표 8 및 표 9와 같다. 이전 표 4~7과 상이한 점은 송수신간 양방향성을 고려했다는 점이다. 따라서 일방향인 'H→C'의 경우와 'C→H'는 양방향 'H↔C'로 통합하되 링크의 균형을 위해 전파도달 가능 범위는 최소값인 'H→C'의 결과를 반영한다.

표 8. 400MHz 환경에서 전파도달 반경에 대한 최종 산출 결과  
 Table 8. The final results about cell radius in 400MHz

Parameter	H↔H	H↔C	C↔C
Dens urban	0.37~0.57 km	0.52~0.80 km	0.99~1.53 km
Urban	0.37~0.57 km	0.53~0.81 km	1.00~1.55 km
Suburban	0.57~0.87 km	0.81~1.24 km	1.55~2.40 km
Rural	1.44~2.20 km	2.05~3.12 km	4.05~6.25 km

표 9. 800MHz 환경에서 전파도달 반경에 대한 최종 산출 결과  
 Table 9. The final results about cell radius in 800MHz

Parameter	H↔H	H↔C	C↔C
Dens urban	0.25~0.38 km	0.35~0.53 km	0.64~1.00 km
Urban	0.25~0.38 km	0.36~0.54 km	0.67~1.03 km
Suburban	0.41~0.63 km	0.59~0.90 km	1.12~1.74 km
Rural	1.08~1.65 km	1.56~2.38 km	3.06~4.73 km

### 6. 실측치와 비교를 통한 이론적 결과치의 검증

식 (11)의 마진을 적용하여 산출한 이론치의 타당성을 검증하기 위해서는 실측치와 큰 차이가 없음을 확인하여야 한다. 이를 위해 그림 4와 같이 실측치와 가장 큰

차이를 보일 것으로 예상되는 밀집도시 환경(서울 서초동 남부터미널 인근)에서 800MHz 휴대용 1W 단말기(모토로라 MTP850)를 활용하여 총 10개 지점을 선정하여 수신자의 주관적 품질 평가 방법으로 확인하였다. 그 결과 송신 반경 약 250m 지점까지는 매우 양호함을 확인하였고 송신 반경 약 260m에서 고층 건물이 장애물로 있는 ⑤번 지점(국제전자센터 바로 뒤편)에서도 다소 잡음과 왜곡이 발생하나 수신자가 송신자의 음성을 이해할 수 있는 수준인 것으로 확인 하였다. 다만 송신 반경 300m에서는 잡음과 왜곡으로 인해 부분적으로 송신자의 교신내용이 단절되어 수신자가 정확한 이해가 불가능한 경우가 발생하였다. 이러한 실측 결과는 표9의 'H→H(Dens urban)' 전파도달 가능 반경인 0.25~0.38 km에 포함되며 지역 환경에 따라 전파도달거리가 다소 차이가 있을 수 있으나 표8과 표9의 결과는 유효한 것으로 추정할 수 있다.

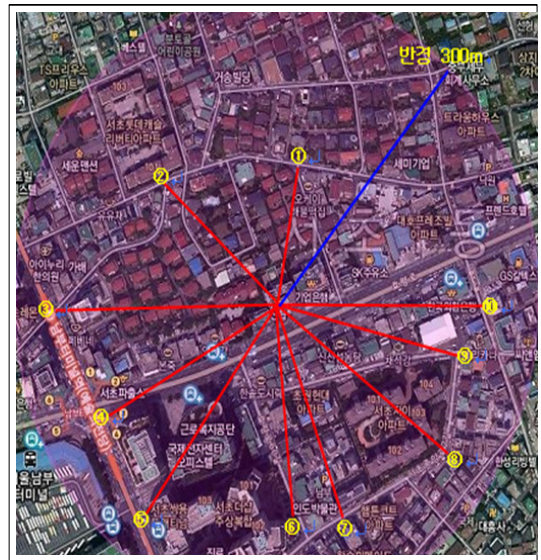


그림 4. 밀집도심에서 전파도달 반경의 실측 지점

Fig. 4. The actual point of cell radius in dens urban

## IV. 결론

본 논문을 통해 국내 TETRA DMO 단말기의 전파도달 가능범위는 400MHz의 경우 밀집도심 0.37~1.53 km, 도심 0.37~1.55 km, 교외 0.57~2.40 km, 시골(개활지) 1.44

~6.25 km이고 800MHz의 경우 밀집도심 0.25~1.00 km, 도심 0.25~1.03 km, 교외 0.41~1.74 km, 시골(개활지) 1.08~4.73 km인 것으로 예측할 수 있다.

본 연구 결과는 경찰, 소방 등 TETRA 시스템을 무선통신망으로 활용하고 있는 공공기관들이 자체 표준작전절차를 수립 시에 유효한 DMO 작전 반경 범위를 설정할 수 있는 기초근거로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 본 논문에서 ' $h_{\alpha}$ '의 비유호 범위 오차를 보정하기 위해 Okumura-Hata 경로손실 모델 예측 정확도의 최대 표준편차만큼을 마진으로 적용하였으나 보다 정확한 예측을 위해서는 실측치 통계 데이터를 수집하여 수정된 Okumura-Hata 경로손실 모델이 새롭게 개발되어야 할 것이다. 따라서 이를 향후 연구과제로 삼는다.

## References

- [1] S.H Lee and C.B Kim, "Algorithm of Channel Selection for DMO Communication in Tetra system", The Journal of Korea Navigation Institute, Vol 17, No 5, pp. 497-505, Oct 2013.
- [2] S.H Lee, C.B Kim, "Spectrum Requirement Estimation for Korean Wireless Communication Network of Public Protection and Disaster Relief Based on ITU-R M.2033 in TETRA-TRS", The Journal of Korea Information and Communication Society, Vol 37A, No 10, pp. 858-864, Oct. 2012.
- [3] S.H Lee, J.S Yoon, C.B Kim and S.G. Lim, "A Scheme of Relay Device Deployment for Rapid Formed the Ad hoc Backbone Network and Optimization of Communication Coverage in Disaster Scene", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol 11, No 6, pp. 31-39, Dec. 2011.
- [4] Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 3: Direct Mode Operation (DMO), ETSI TR 102 300-3 V.1.3.3, pp. 16-17, June. 2009.
- [5] Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Technical requirements for Direct Mode Operation (DMO); Part 1: General network design, ETS 300 396-1

V.1.2.0, Aug. 2011.

- [6] Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers' guide; Part 1 : Overview, technical description and radio aspects, ETR 300-1, May. 1997.
- [7] A.F. Molisch, Wireless Communication, 2nd Edition, John Wile & Sons, 2011.
- [8] Study of the Propagation Characteristics in Outdoor Environment for Wideband Mobile Channels above 3GHz, TTA Research Report, pp.13, Nov. 2005.

## 저자 소개

### 이 순 화(정회원)



- 2001년 : 서울과학기술대학교 매체공학(現 전자IT미디어공학과) 학사
- 2003년 : 홍익대학교 전자공학 석사
- 2009년 : 홍익대학교 전자공학 박사
- 2006년~2009년 : 소방방재청
- 2009년~2013년 : 행정안전부
- 2013년~현재 : 안전행정부

• 주관심분야 : 재난통신, 이동통신

### 김 장 복(정회원)



- 1974년 : 연세대학교 전자공학 학사
- 1976년 : 연세대학교 전자공학 석사
- 1983년 : 연세대학교 전자공학 박사
- 1979년~현재 : 홍익대학교 전자전기공학부 교수
- 주관심분야 : 디지털통신, 통신네트워크, 컴퓨터회로망