

# 무선 채널 모델을 고려한 실 환경에서 기지국 위치 선정에 대한 연구

명 성 희\*, 유 지 상\*, 최 준 성\*, 강 홍 구\*, 김 수 진<sup>o</sup>

## A Study on Base Station Placement Selection in Real-World Environment Considering a Wireless Channel Model

Sunghee Myung\*, Jisang You\*, Joonsung Choi\*, Hongku Kang\*, Sujin Kim<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 준 산악지형에서 VANET(Vehicular Ad-hoc NETwork) 운용 시 실 환경에 적합한 전파 모델 기반 최적 기지국 배치에 관한 기법을 제안한다. 제안 기법은 많은 시험을 통해 획득한 실측 데이터와 지형정보가 반영된 전파모델들을 적용한 모의실험 데이터 간 유사도를 분석하여 실 환경에 가장 적합한 전파 모델을 도출한 후, 이를 활용하여 준 산악지형에서의 최적 기지국 위치를 식별한다. 본 논문에서는 단말기 이동 경로에 따른 실측 경로 감쇄 값 및 다양한 전파 모델을 적용한 경로 감쇄 값에 따른 통신 가능 거리 성능을 비교 분석하여 최적의 기지국 위치 선정이 가능한 적합한 전파 모델을 선정한다. 또한, 실측 값 분석을 통해 도출된 기지국 위치와 제안 방식을 통해 식별된 기지국 위치가 동일함을 보임으로써 제안 기법의 타당성을 검증한다. 이를 통해 제안 기법은 다양한 준 산악지형에서의 VANET 구성 시 작업 효율성을 개선하는 모의실험만으로 최적 기지국 위치 식별에 활용 가능하다.

**Key Words** : VANET, Wireless Channel Model, Base Station Placement, Communication Coverage

### ABSTRACT

In this paper, we propose an optimal base station placement method based on real-world appropriate propagation model when operating VANET(Vehicular Ad-hoc NETwork) in mountain areas. The proposed method analyses the similarity between the measurement data obtained through many field tests and the simulation data applying the propagation models reflecting the topographic information. Utilizing this result, we identify the optimal placement of the base station in mountain areas. In this paper, an appropriate propagation model for choosing the best placement of base station is selected by comparing and analyzing the communication coverage performance between the actual path loss value according to the mobile station's moving path and the path loss value applying various propagation models. In addition, the validity of the proposed method is verified by showing that the location of the base station derived through the analysis of the measured value and the location of the base station identified through the proposed method are the same. According to this, the proposed method can be used to identify the optimal base station placement only through a simulation that improves work efficiency when configuring VANET in various mountain areas.

♦ First Author : Agency for Defense Development, l.sh.myung@gmail.com, 정회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Agency for Defense Development, sjkim12@add.re.kr, 정회원

\* Agency for Defense Development, jsyou@add.re.kr; jchoi@add.re.kr, 정회원; hkkang@add.re.kr, 정회원

논문번호 : 202104-081-A-RN, Received April 13, 2021; Revised June 18, 2021; Accepted June 25, 2021

## I. 서 론

상용 VANET 시스템은 다수의 기지국 및 셀룰러 네트워크 활용이 가능함에 비해<sup>[1,2]</sup>, 자원 및 운용지역이 제한되는 군용 VANET 시스템에서는 제한된 자원을 기반으로 야전환경에서 최적 성능을 내기 위해 기지국(BS; Base Station) 위치 식별이 무엇보다 중요하다.

현재까지 연구된 BS 위치 식별 기법은 수학적 모델을 기반으로 최적 위치를 추정하였으며 최적화 문제를 수학적으로 해결하는 것에 초점이 맞춰져있었다.<sup>[3-6]</sup> [3,5]는 무선 네트워크 환경에서의 에너지 측면 최적화를 위한 BS 위치 식별에 관한 연구로 노드 간의 채널은 Hata 전파 모델 등 단순 수학적 모델을 가정하였다. [6]에서는 이종 셀룰러 네트워크에서 시스템 Throughput 성능 측면에서의 최적 BS 배치에 관한 알고리즘을 제안하고 분석을 수행하였으나 채널환경은 단순 Hata 모델을 가정하였다. 최근에는 지상 기지국뿐만 아니라 모바일 기지국이 탑재된 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 최적 위치 식별에 관한 연구도 수행되었으나 채널환경은 단순 LoS 모델을 가정하였다.<sup>[4]</sup>

기존 논문들은 실 환경 반영에는 한계가 존재하여 통신 성능 정확도가 떨어지거나, 기존 통신망 시설이 구축되지 않은 환경에서는 성능 예측이 어려운 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 실 환경을 고려한 무선 채널 모델 기반 최적 BS 위치 선정 기법을 제안한다.

본 논문은 많은 실측 실험들을 통해 획득한 실측 데이터와 지형 정보를 반영한 전파 모델을 적용한 모의실험 데이터 간 유사도를 분석한다. 이를 통해 실 환경에 적합하여 최적의 기지국 위치 선정이 가능한 전파 모델을 도출하고 이를 활용하여 준 산악지형에서의 최적 BS 위치 식별 기법을 제안한다. 제안 방법은 기존의 준 산악지형에서의 실 실험을 통한 BS 위치 선정이 아닌, 작업 효율성을 개선하는 모의실험만으로 최적 BS 식별이 가능하다. 실측하여 획득한 BS 위치와 제안 기법으로 유도된 최적 BS 위치 비교를 통해 제안 기법의 정확도를 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델을 기술하고, 3장에서는 실 준 산악지형에서 전파 모델을 활용한 모의실험 값과 실측값과의 유사도 분석을 통해 제안기법에 적용되는 채널 모델의 정확도를 검증한다. 또한, 4장에서는 검증된 전파 모델 기반 최적 BS 위치 식별 기법을 제안하고 성능을 검증하며

마지막으로 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 시스템은 기간망(Backbone Network) 없이 차량 간 무선 통신을 가능케 하는 소규모 VANET 지상무인체계를 고려하며 다양한 트래픽 전송이 가능한 IP(Internet Protocol) 기반 시스템이다.

본 시스템에서의 무선 노드는 이동 가능한 차량에 탑재되어있는 BS 1대, 무인 또는 유인으로 이동 가능한 차량에 탑재되어있는 단말기(MS; Mobile Station) 1대이다. 무선 링크 품질에 따라 상향 링크의 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨을 5가지로 분류하여 적용한다.

표 1의 MPR(Modulation Product code Rate)이란, MCS 레벨의 변조도와 부호화율을 곱한 값이다. 또한, MCS 레벨에 대응하는 BER(Bit Error Rate) 곡선을 적용하여 네 지역에 대한 실 시험 및 모의실험을 수행한다. 실 시험을 토대로 한 경험적 SNR(Signal to Noise Ratio) 값을 모의실험 MCS 단계 가변 시 활용한다.



그림 1. 시스템 개념도  
Fig. 1. Conceptual Diagram of the System

표 1. MCS 레벨  
Table 1. MCS Levels

MCS Level	Modulation (Order)	Code Rate	MPR
1	QPSK(2)	1/2	1
2	16QAM(4)	1/2	2
3	64QAM(6)	1/2	3
4	64QAM(6)	2/3	4
5	64QAM(6)	7/8	5.25

## III. 성능분석 모델 정확도 검증

### 3.1. 운용 시나리오

그림 2~5는 실 환경 실험 및 모의실험 시나리오를 식별한 것이다. 그림 2에는 준 산악지형인 A 지역에서 BS, MS 위치, MS 기동 궤적 및 등고선을 식별하

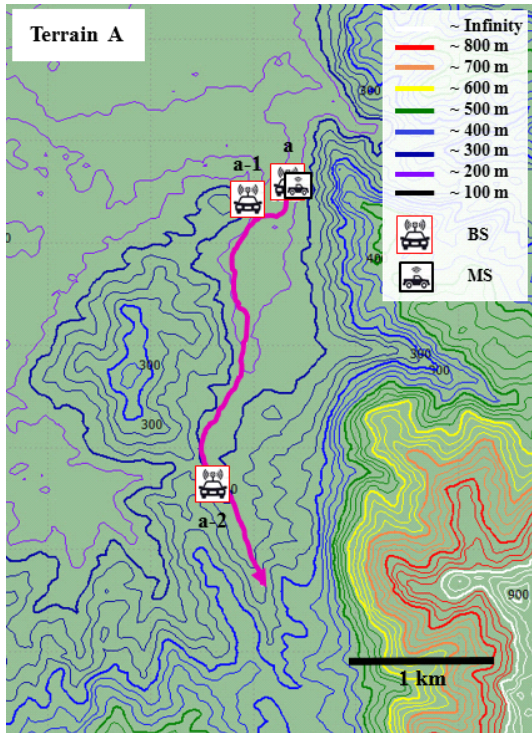


그림 2. A 지역에서의 BS 위치, MS 기동 시작점 및 궤적  
Fig. 2. Location of BS, Starting Point of MS, and Trajectory of MS at Terrain A

였다. MS는 협곡을 따라 기동하며 기동 시 크고 작은 언덕을 지난다. MS의 기동로는 약 2~6m 높이의 울창한 나무 및 수풀로 둘러싸여 있다. BS가 a에 고정 위치 시, MS는 동일 위치에서 출발하며 궤적을 따라 기동한다. BS가 a-1, a-2에 고정 위치하는 시나리오에서도 MS의 기동궤적은 그림 2에 식별된 기동궤적과 동일하다.

그림 3은 험준한 산악 지형인 B 지역에서의 BS, MS 위치, MS 기동 궤적 및 등고선을 식별한 것이다. MS는 험준한 산의 협곡을 따라 기동한다. 이때 기동로 옆에는 약 1~3m 높이의 나무 및 수풀이 간헐적으로 존재한다. 그림 3에서 MS는 BS와 204m 이격된 위치에서 기동을 시작하며 식별한 궤적에 따라 기동한다.

그림 4는 완만한 준 산악 지형인 C 지역에서의 BS, MS 위치, MS 기동 궤적 및 등고선을 식별한 것이다. MS는 준 산악지형 내 기동로를 따라 기동한다. 이때 기동로 옆에는 약 2~3m 높이의 나무 및 수풀이 존재한다. 그림 4에서 MS는 BS와 동일한 위치에서 기동을 시작한다.

그림 5는 준 산악 지형인 D 지역에서의 BS, MS

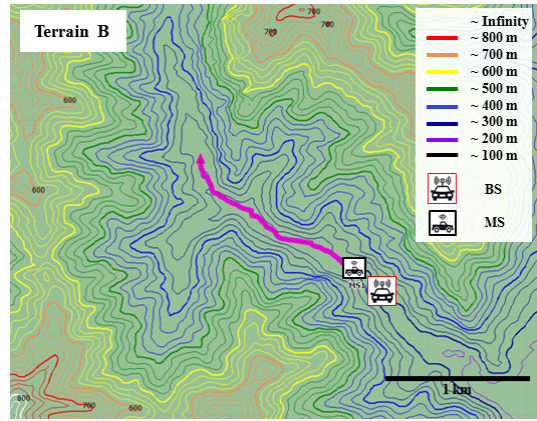


그림 3. B 지역에서의 BS 위치, MS 기동 시작점 및 궤적  
Fig. 3. Location of BS, Starting Point of MS, and Trajectory of MS at Terrain B

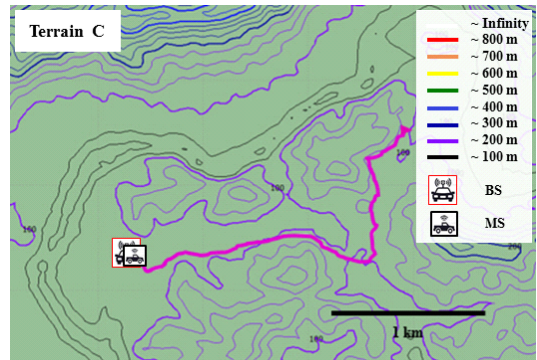


그림 4. C 지역에서의 BS 위치, MS 기동 시작점 및 궤적  
Fig. 4. Location of BS, Starting Point of MS, and Trajectory of MS at Terrain C

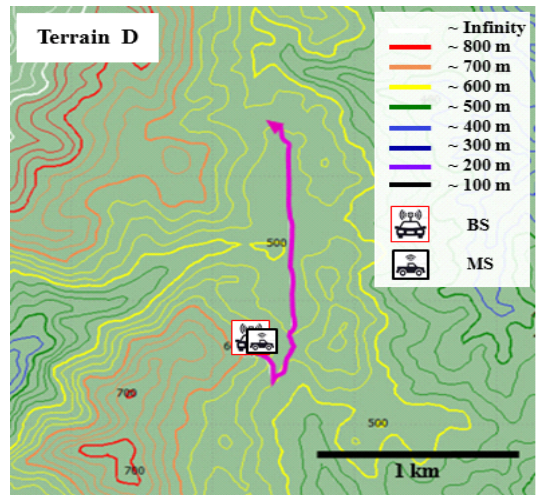


그림 5. D 지역에서의 BS 위치, MS 기동 시작점 및 궤적  
Fig. 5. Location of BS, Starting Point of MS, and Trajectory of MS at Terrain D

위치, MS 기동 궤적 및 등고선을 식별한 것이다. 이 때, MS는 준 산악지형 내 기동로를 따라 기동한다. 기동로 옆에는 약 1m 이하 높이의 수풀이 존재하며 MS는 BS와 동일한 위치에서 기동을 시작한다.

### 3.2 정확도 검증

성능분석 모델(전파 모델)의 정확도를 검증하기 위하여 네 지역에 대해 실측 및 모의실험을 수행하였다. 모의실험 시 OPNET 16.0 TMM(Terrain Modeling Module)을 사용하였으며 DTED (Digital Terrain Elevation Data)를 기반으로 실 지형 정보를 반영하였다.

TIREM 및 Longley-Rice(LR)와 같은 전파 모델들은 OPNET 등의 상용 시뮬레이터를 활용하여 모의실험이 가능하다. OPNET 시뮬레이터는 미 국방성(DoD; Department of Defense)의 표준 M&S(Modeling and Simulation) 수단으로써 사물인터넷(IoT; Internet of Things) 분야를 포함한 여러 분야의 유무선 네트워크 설계 및 성능 분석에 활용되고 있다.<sup>[7-10]</sup>

DoD의 공식 무선 채널 모델인 TIREM은 지형에 따른 정교한 경로 손실 및 음영 손실을 모의할 수 있다고 알려져 있다. OPNET에서는 TIREM 전파 모델을 TIREM 3 및 TIREM 4로 식별하고 있으며 TIREM 3는 DoD의 표준 전파 모델이며, TIREM 4는 신속한 경로 감쇄 값 계산이 가능한 TIREM 3의 최적화 버전 전파 모델이다.

TIREM, LR 모델 모두 LoS와 NLoS를 고려한다. 또한, 전파 모델 중 개념적으로 간단한 모델인 FS-LoS는 열린 공간에서의 신호 전파를 가정한다.

표 2에 식별한 것과 같이 모의실험 시 MS는 5m/s로 실 시험과 동일한 궤적을 따라 등속도로 움직인다. 실측치 및 모의실험 값은 10m 이동 시 마다 동일하게 샘플링했다. 실 시험은 등속 기동이 어려우므로 해당 위치에 데이터가 존재하지 않을 경우 이와 가장 근소한 차이를 보이는 위치에 해당하는 값으로 샘플링을 수행했다.

표 2. 모의실험 매개변수  
Table 2. Simulation Parameters

Parameters	Values
Speed(m/s)	5
Maximum Transmit Power(dBm)	39
Frequency Bandwidth(MHz)	4

BS 및 MS의 안테나는 BS 및 MS의 상부에 위치하며 최대 송신 출력 값(39dBm)을 갖는다. 시험 시 최대 송신 출력 값은 ±1dBm 이내 변동 가능하다. 모의실험 시 안테나 방사 패턴은 실 패턴 결과를 기반으로 반영하였다. 또한, 송신 신호 채널 대역폭은 표 2에서 식별한 바와 같이 보호대역을 포함하여 4MHz이다.

또한, 실 측정 시 경로 감쇄 값에 대한 수식은 아래와 같다.  $PL_M$ 은 측정된 경로 감쇄 값(Measured Path Loss)으로써 통신 영역 판단을 위한 통신 가부 여부를 결정한다. BS의 최대 송신 출력 값 39dBm에서 측정된 RSSI 값인  $RSSI_M$ (dBm)을 감한 값이며 수식 (1)과 같다.

$$PL_M = 39 - RSSI_M \quad (1)$$

그림 6은 BS가 a위치에 고정, MS는 a위치에서 출발 후 궤적을 따라 기동함에 따른  $PL_M$  실측값과 OPNET 시뮬레이터의 다양한 경로 감쇄 모델을 적용한 경로 감쇄 값을 비교 분석한 그래프이다. 적색 점선은  $PL_M$ 의 MCS 3 기준 Cutoff Loss 값인 134.61dBm이며 이 값보다 큰 값에서는 통신이 불가하다고 판단한다.

그림 6의 FS-LoS 전파 모델은 전파가 전파 가시선을 넘어가게 되면 경로 감쇄 값을 계산하지 못하므로 그래프 상 이동 거리 중 일부에만 값이 존재한다. TIREM 3, TIREM 4 및 LR 전파 모델을 사용하여 모의실험을 수행한 결과는 실 시험 경로 감쇄 경향과 유

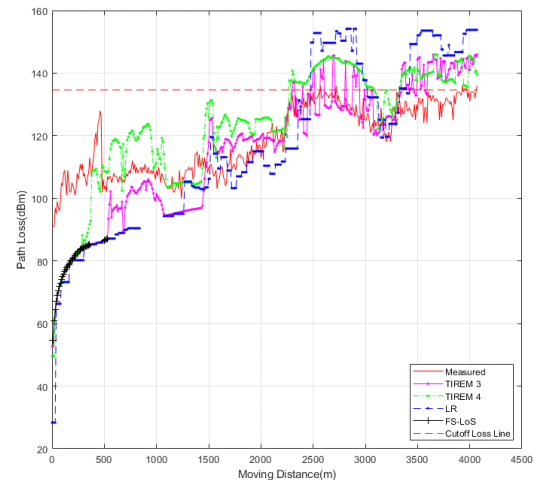


그림 6. A 지역에서 이동 거리에 따른 경로 감쇄 그래프  
Fig. 6. Path Loss Graph of Moving Distance at Terrain A

사항을 알 수 있다.

B 지역에서는 MS가 BS와 204m 이격된 거리에서 기동을 시작한다. B 지역에서 MS가 기동함에 따른 경로 감쇄 그래프는 그림 7과 같다. 그림 7에서도 그림 6에서와 같이 FS-LoS 모델은 전파가 전파 가시선을 넘어가면 경로 감쇄 값을 계산하지 못한다는 것을 알 수 있다. 또한, 실 시험의 경로 감쇄 양상에 비해 TIREM 3, TIREM 4, LR 전파 모델의 경로 감쇄 값의 변화 폭이 크다는 것을 확인할 수 있다. 그러나  $PL_M$  값이 Cutoff Loss Line을 넘는 위치에서 FS-LoS 모델을 제외한 모든 모델이 수십 미터 내로 Cutoff Loss 값 이상이 된다. 이 모델들과 실측과의 정확도 비교는 그림 10 및 그림 11에 도시하였고 이

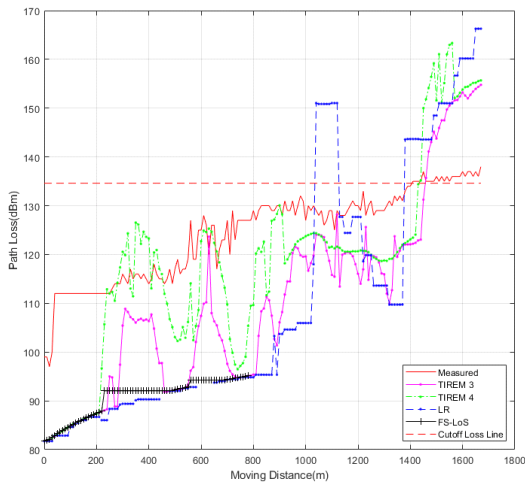


그림 7. B 지역에서 이동 거리에 따른 경로 감쇄 그래프  
Fig. 7. Path Loss Graph of Moving Distance at Terrain B

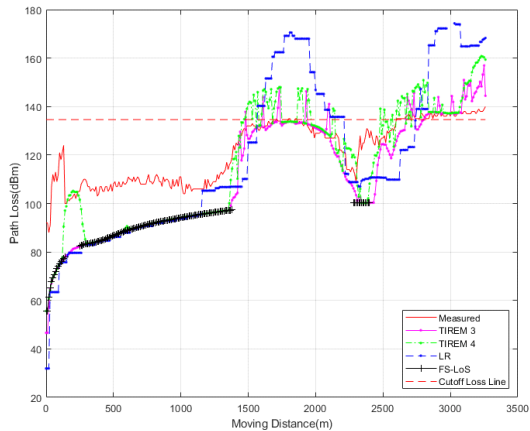


그림 8. C 지역에서 이동 거리에 따른 경로 감쇄 그래프  
Fig. 8. Path Loss Graph of Moving Distance at Terrain C

를 통해 실 지형에 적합한 전파 모델을 도출할 수 있다.

C 지역에서 MS가 이동함에 따른 경로 감쇄 그래프는 그림 8과 같다. FS-LoS 전파 모델은 그림 6-9에서 알 수 있듯 BS와 MS 간 서로 전파가시선 상에 위치할 때에만 경로 감쇄 값을 계산하므로 실 준 산악지형에 적합하지 않은 전파 모델이라고 판단 가능하다. TIREM 3, TIREM 4 및 LR 전파 모델 모두 측정된 경로 감쇄의 양상과 유사한 경향을 보이거나 LR 전파 모델이 TIREM 3 및 TIREM 4 전파 모델보다 변화 폭이 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 6~9에서 모두 확인 가능하다.

D 지역에서 MS가 이동함에 따른 경로 감쇄 그래프는 그림 9와 같다. 그림 9의 FS-LoS 그래프는 그림 6~8과는 다르게 일부 지역을 제외하고는 MS가 이동하는 동안의 경로 감쇄 값이 식별된다. 이는 D 지역 내 특정 지역을 제외하면 BS와 MS가 서로 전파 가시선 상에 위치하기 때문이다.

또한 BS와 MS가 서로 전파 가시선 상에 위치했을 때 TIREM 3 및 TIREM 4의 경로 감쇄 값이 FS-LoS와 유사함을 확인할 수 있다. 이는 BS와 MS가 전파 가시선 상에 위치할 경우 TIREM 3 및 TIREM 4 경로 감쇄 값 계산 방식이 FS-LoS 경로 감쇄 값 계산 방식을 따른다는 점을 유추할 수 있는 부분이다.

그림 10은 실측치와 모의실험 간 유사도를 비교한 것이다. 10m 이동 시 마다 데이터 샘플링 후 Overlay 하여 통신 가능 여부 식별 후 비교하였다.

그림 10에서는 TIREM 3 전파 모델은 최저 82.678%~최대 100.0%의 유사도를 보였으며 A, C, D 지역에서 실측치와 가장 유사한 전파 모델임을 확인

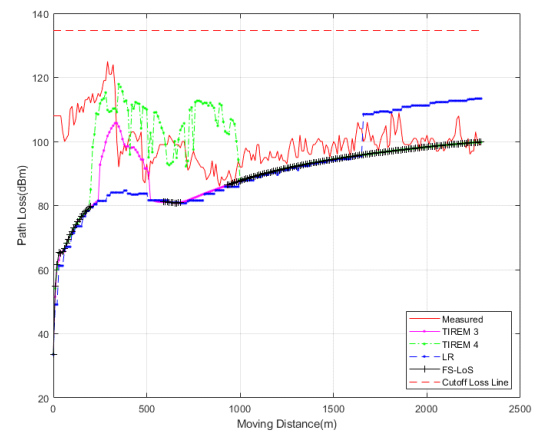


그림 9. D 지역에서 이동 거리에 따른 경로 감쇄 그래프  
Fig. 9. Path Loss Graph of Moving Distance at Terrain D

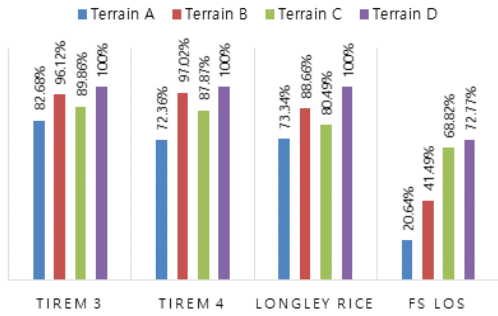


그림 10. 실측치 대비 시뮬레이션 값 유사도 비교(%)  
Fig. 10. Similarity Comparison Between Measurement and Simulation Value(%)

하였다. TIREM 4 전파 모델은 최저 72.358%~최대 100.0%의 유사도를 보였으며 B, D 지역에서 실측치와 가장 유사한 전파 모델임을 확인하였다. LR 전파 모델은 최저 73.342%~최대 100.0%의 유사도를 보였으며 D 지역에서 실측치와 가장 유사한 전파 모델임을 확인하였다. FS-LoS 전파 모델은 지역에 따라 최저 20.639%~최대 72.767% 유사도를 보였으며 모든 지역에서 실측치와 가장 큰 차이를 보였다.

그림 10을 토대로 실측치와 유사도가 가장 높은 TIREM 3 전파 모델이 준 산악지형에 가장 적합함을 확인할 수 있다. 표 3은 최초 통신 단절 시 BS, MS 간 실측 이격거리와 모의실험에서의 이격거리를 비교한 것이다.

표 3에서 식별한 바와 같이 최초 통신 단절 거리 측면에서 TIREM 3 전파 모델은 C, D 지역에서, TIREM 4 전파 모델은 B, D 지역에서, LR 전파 모델은 A, D 지역에서 실측치와 가장 유사함을 확인할 수 있다. FS-LoS 전파 모델은 준 산악지형에서 최초 통신 단절 시 이격거리를 도출해내는 데 적합하지 않은 모델임을 알 수 있다.

표 3. 최초 통신 단절 시 실측치와 모의실험 값 간 이격거리 비교

Table 3. Comparison of Separation Distance at Initial Communication Disconnection(DICD) Between Measurement and Simulation Value

DICD (km)	Measurement	TIREM 3	TIREM 4	LR	FS-LoS
Terrain A	2.075	1.970	1.933	2.125	0.307
Terrain B	1.540	1.598	1.584	1.202	0.419
Terrain C	1.421	1.421	1.294	1.365	0.143
Terrain D	-	-	-	-	0.173

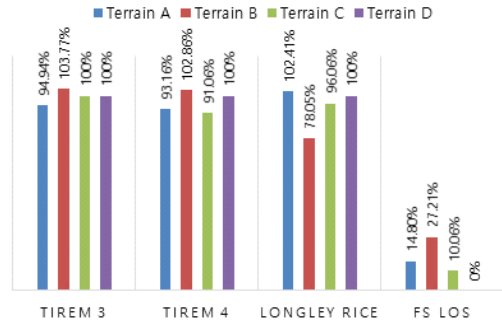


그림 11. 실측치 대비 통신 단절 이격거리 비교(%)  
Fig. 11. Separation Distance at Initial Communication Disconnection Comparison Between Measurement and Simulation Value(%)

그림 11은 표 3의 모의실험 결과 값을 실측치 대비 이격거리(%)로 정리한 그래프이다. TIREM 3의 내 지역 평균 오차범위는  $\pm 2.208\%$ , TIREM 4는  $\pm 4.66\%$ , LR은  $\pm 7.075\%$ , FS-LoS는  $\pm 86.983\%$ 이다. 이를 통해 TIREM 3가 실측과 가장 유사한 전파 모델임을 확인할 수 있다.

#### IV. BS 위치 제시 방법 및 실험

상기 결과를 기반으로 A 지역 내 BS 후보 위치를 세군데 선정 후 실측 및 모의실험을 수행하였다. 모의 실험 시 전파 모델은 3장에서 식별한 TIREM 3와 비교를 위한 LR 전파 모델을 선정하였다. 이를 활용해 해당 지역 통신 영역이 가장 넓어지는 최적 BS 위치를 도출하는 모의실험을 수행하고 실측 결과와 비교하였다. 최적 BS 위치를 선정하는 방법에 대한 절차는 그림 12의 순서도와 같으며 이를 통해 TIREM 3 전파 모델을 활용한 신뢰성 있는 최적 BS 위치 선정이 가능함을 보일 것이다.

먼저, BS 후보 위치 선정을 위해 MS 기동 궤적 고려와 동시에 BS, MS 간 LoS가 최대한 확보될 수 있는 위치를 실 지도에서 선택한다. 주로 실제 기동로 인근, 장애물이 없고 고도가 높은 지역이 이에 해당한다. 이를 활용해 A 지역에서 BS 후보 위치 a, a-1, a-2를 선정했다.

OPNET 활용 시, 각각의 A지역 BS 후보 위치 a, a-1, a-2의 실 좌표에 노드를 위치시키고 MS 노드는 그림 2에서 식별한 궤적에 따라 실 좌표 기반 등속 기동하도록 설정한다. 2초(10m 이동) 마다 경로 감쇄 값을 출력하여 Cutoff Loss 값과의 비교를 통해 통신 가능 여부, 즉, 통신 통달 거리를 판단한다.

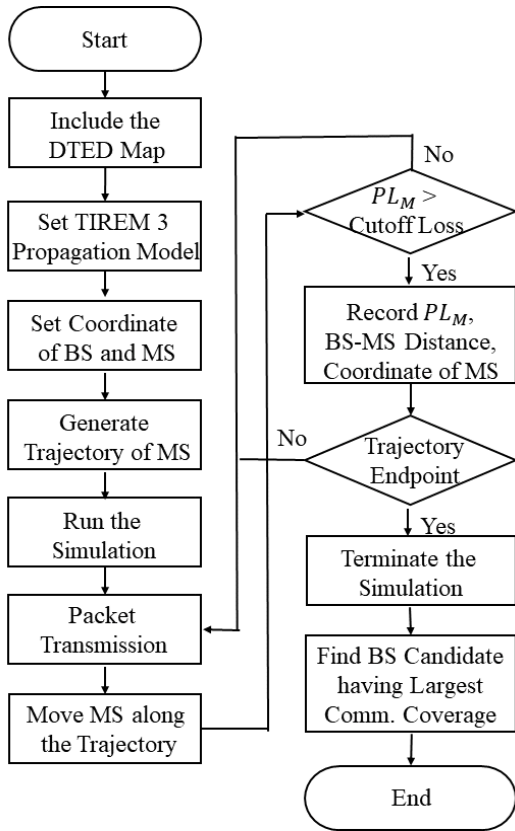


그림 12. BS 위치 제시 방법 순서도  
Fig. 12. Flowchart of Proposed BS Placement Method

이때, 경로 감쇄 값이 최초로 Cutoff Loss 값을 넘어설 때까지를 통신 영역으로 판단한다. 이 값을 기반으로 통신 영역이 최대가 되는 BS 위치를 최적 BS 위치로 판단한다. 상기 방식을 활용한 결과는 그림 13과 같다.

그림 13에서와 같이 실측치 및 TIREM 3를 활용하여 모의실험 한 결과를 분석하면, 가장 넓은 통신 통달 거리 성능을 보이는 위치는 a-1로, 실측치 3.078km, 모의실험치 3.198km임을 알 수 있다. 즉, BS를 a-1 지점에 위치시키고 실측치, BS와 MS 간 3.078km 거리까지 서로 통신 단절 현상 없이 통신이 가능하며 최대 통신 커버리지 성능을 보임을 확인할 수 있다. 또한, 모의실험 수행 시에도 후보 위치들 중 a-1 위치가 통신 커버리지 성능이 가장 뛰어남을 알 수 있으며, 실측값과는 0.12km 오차가 존재한다.

그림 14에서는 추가적으로 그림 13에서의 BS 후보 위치 a-1, a-2에서도 TIREM 3, LR 전파 모델을 사용하여 분석한 결과가 유의미한지 여부를 검증하기 위해 BS 위치 a, a-1 및 a-2에서 실 시험 값과의 유사도

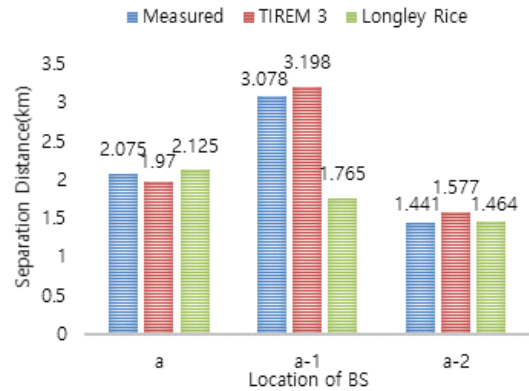


그림 13. A 지역에서 실측치 및 모의실험 통신 단절 이격 거리 비교  
Fig. 13. Comparison of Separation Distance at Initial Communication Disconnection Between Measurement and Simulation Value at Terrain A

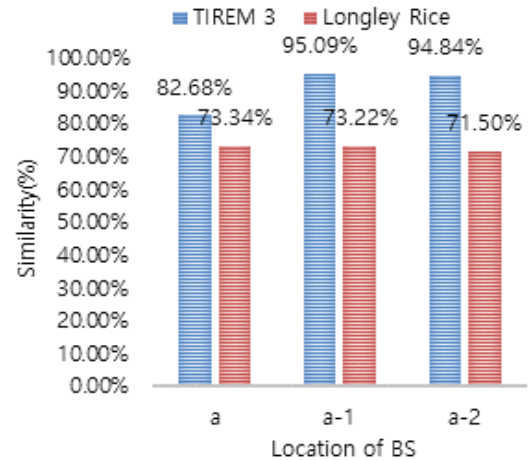


그림 14. a, a-1, a-2 BS 위치에서 실측치 대비 유사도 비교(%)  
Fig. 14. Similarity Comparison Between Measurement and Simulation Value at BS Location a, a-1, a-2(%)

를 실 좌표 기반 비교 및 분석하였다. 그 결과, TIREM 3는 82.68%~95.09%의 유사도를, LR은 71.50%~73.34%의 유사도를 보였다. BS의 위치에 따른 실측과의 유사도는 TIREM 3가 LR보다 9.34%~23.34% 더 높음을 알 수 있다.

그림 15에 따르면, TIREM 3를 활용할 시 실측치와 ±3.90%~9.44% 이내의 오차 범위를 보이나, LR을 활용할 시 실측치와 ±1.60%~42.66% 이내의 오차 범위를 보인다. 따라서, 그림 13 및 그림 15를 토대로 3.2 정확도 검증에서 도출한 TIREM 3 모델을 활용한 모의실험으로 최대의 통신 커버리지 성능을 보이는 최적의 BS 위치 제시가 가능함을 재검증할 수

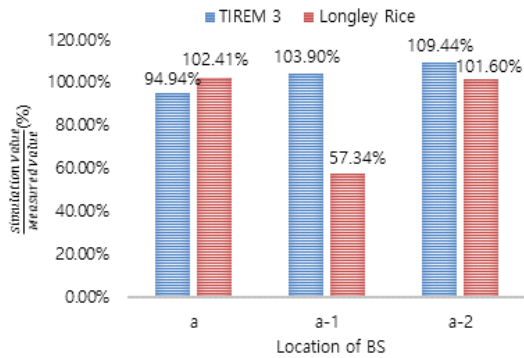


그림 15. a, a-1, a-2 BS 위치에서 실측치 대비 이격거리 비교(%)  
 Fig. 15. Separation Distance Comparison Between Measurement and Simulation Value at BS Location a, a-1, a-2(%)

있다.

### V. 결론

본 논문에서는 다양한 준 산악지형에서의 실측 결과를 다양한 경로 감쇄 모델들을 활용한 모의실험 결과와 비교 분석하였다. 이를 통해, 준 산악지형 실 환경에 가장 적합하여 실 시험을 수행하지 않더라도 실 시험 시 최적 기지국 위치 도출 결과와 동일한 위치 선정이 가능한 경로 감쇄 모델을 식별하였다. 이를 기반으로 최적 BS 위치 도출 기법을 제안하였다. 실측치와 모의실험 값을 비교 분석한 결과, 다양한 준 산악지형에 적합한 경로 감쇄 모델은 TIREM 3이며 이를 통해 도출된 최적 BS 위치와 실측 시 도출된 최적의 BS 위치가 동일함을 확인하여 제안 기법의 타당성을 검증하였다.

특정 지역에서 VANET 구성 시, 제안 기법을 활용하면, 실 지형 및 적합한 채널이 반영된 신뢰성 있는 최적 BS 위치 도출이 가능하다. 이를 적용하면 준 산악지형 지역에서 실제 차량을 기동하며 실 시험을 수행하지 않더라도 모의실험만을 통해 신뢰성 있는 최적 BS 위치 식별이 가능할 것으로 판단된다.

### References

[1] Y. H. Shim and Y. H. Kim, "Data dissemination in LTE-D2D based vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 602-612, 2015.  
 [2] J. Lee, G. Choi and J. So, "Q-learning based

downlink MIMO-NOMA scheme for vehicle networks," *J. KICS*, vol. 44, no. 8, pp. 1493-1503, 2019.  
 [3] H.-B. Jeon, T. Jung, and C.-B. Chae, "Energy-efficient clustering algorithm for uav-bss with low-complexity," *J. KICS*, vol. 44, no. 10, pp. 1856-1859, 2019.  
 [4] M. Huang, L. Huang, S. Zhong, and P. Zhang, "UAV-Mounted mobile base station placement via sparse recovery," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 71775-71781, 2020.  
 [5] F. Erden, C. K. Anjinappa, E. Ozturk, and I. Guvenc, "Outdoor mmWave base station placement: A multi-armed bandit learning approach." arXiv preprint arXiv:2003.03494, 2020.  
 [6] S. Lee, S. Lee, K. Kim, and Y. H. Kim, "Base station placement algorithm for large-scale LTE heterogeneous networks," *PloS one*, vol. 10, no. e0139190, 2015.  
 [7] M. Chen, Y. Miao, and I. Humar, *OPNET IoT Simulation*, Springer Nature, 2019.  
 [8] T. Al-Khraishi, "Performance evaluation and enhancement of VLAN via wireless networks using OPNET modeler," *IJWMN*, vol. 12, 2020.  
 [9] T. T. Nguyen, T. Kim, and T. Kim, "A distributed TDMA scheduling algorithm using topological ordering for wireless sensor networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 145316-145331, 2020.  
 [10] S. W. Nourildean, A. M. Salih, and K. M. Othman, "AODV, DSR and OLSR routing protocols investigation on virtual local area network," *Materials Today: Proceedings*, Feb. 2021.



**명 성 희 (Sunghee Myung)**



2016년 2월 : 가톨릭대학교 정보통신전자공학부 학사  
2018년 2월 : 한국과학기술원 조천식녹색고통대학원 공학 석사  
2019년 3월~2021년 4월 : 국방과학연구소 연구원

<관심분야> 무선통신, IoT, Network Resource Management

**강 흥 구 (Hongku Kang)**



1998년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 학사  
2000년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사  
2004년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학 박사  
2004년 2월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> 무선통신, 통신신호처리, OFDMA, 무인로봇

**유 지 상 (Jisang You)**



2005년 2월 : 광주과학기술원 석사  
2020년 8월 : 한국과학기술원 박사  
2005년 2월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> 무선통신(모뎀/네트워크)

**김 수 진 (Sujin Kim)**



2008년 2월 : 한국과학기술원 석사  
2012년 8월 : 한국과학기술원 박사  
2012년 10월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> 정보통신, 무선통신, 모뎀/네트워크

**최 준 성 (Joonsung Choi)**



1992년 2월 : 성균관대학교 석사  
2011년 2월 : 충남대학교 박사  
1992년 3월~현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> 정보통신, 임무통제