

## 2 GHz 인접 대역에서 지상망과 비지상망 간 공존을 위한 이격거리 완화 가능성 분석

### Analysis of Isolation Distance Relaxation for TN/NTN Coexistence in the Adjacent 2 GHz Band

조 승 우 · 이 원 철\*

Seung-Woo Jo · Won-Cheol Lee\*

#### 요 약

본 논문은 지상망(TN, terrestrial network)과 비지상망(NTN, non-terrestrial network)이 인접한 주파수 대역에서 공존할 때, TN 클러스터와 NTN 단말 간 이격거리에 따른 NTN 단말의 throughput loss를 정량적으로 평가하였다. Throughput loss 5 %를 간섭 기준으로 설정하고, 이를 만족하는 최소 이격거리를 평균값과 하위 5 % 기준으로 각각 도출하였다. 그 결과, 평균값 기준 최소 이격거리는 약 0.197 km, 하위 5 % 기준 최소 이격거리는 약 1.036 km로, 3GPP에서 제안한 1.5 km 이격거리 대비 각각 약 1.3 km, 0.5 km 완화된 값을 확인할 수 있었다.

#### Abstract

This study quantitatively evaluates the throughput loss of a non-terrestrial network (NTN) user equipment (UE) as a function of its isolation distance from a terrestrial network (TN) cluster when the TN and NTN operate in adjacent frequency bands. A 5 % throughput loss was defined as the interference threshold, and the minimum isolation distance required to satisfy this criterion was derived based on both the average and the 5th-percentile throughput loss values. The results indicate that the minimum isolation distance is approximately 0.197 km for the average case and 1.036 km for the 5th-percentile case, corresponding to a relaxation of about 1.3 km and 0.5 km, respectively, compared with the 1.5 km isolation distance recommended by 3GPP.

Key words: Non-Terrestrial Network (NTN), Coexistence, Interference Analysis

#### I. 서 론

지상망(TN, terrestrial network)에서 데이터 수요가 급증

함에 따라, 이를 지원하기 위한 광역 커버리지 기술에 대한 연구가 지속적으로 확대되고 있다. 이에 통신 시스템 표준화 기구인 3GPP(3rd generation partnership project)는

「이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부) 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성사업(IITP-2025-RS-2022-00156360)과 2025년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(P0017123, 2025년 데이터분석기반의전자제조전문인력양성사업)을 받아 수행된 연구임.」  
송실대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Soongsil University)

\*송실대학교 전자정보공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

· Manuscript received June 20, 2025 ; Revised July 28, 2025 ; Accepted September 9, 2025. (ID No. 20250620-009S)

· Corresponding Author: Won-Cheol Lee (e-mail: wlee@ssu.ac.kr)

위성과 같은 비행체를 활용하는 비지상망(NTN, non-terrestrial network) 연구를 통해 표준화를 진행하고 있다. NTN의 주파수 대역으로는 기존 TN 대역인 n1과 인접한 n256 대역이 고려되었으며, 이에 따라 TN과 NTN 간의 상호 간섭 문제가 제기되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 3GPP는 TN과 NTN이 공존한 다양한 시나리오를 기반으로 간섭 영향을 분석하고, NTN 시스템의 무선 성능 요구사항을 정의하기 위한 공존 시뮬레이션을 수행하였다<sup>[1]</sup>. 표 1은 n1 대역과 n256 대역을 보여준다.

3GPP는 NTN이 TN이 도달하지 못하는 지역을 보완하며, 단말은 TN과 NTN에서 복합적으로 운용할 수 있다는 가정에 기반한다. 즉 단말은 TN과 NTN 중 더 높은 수신 신호를 제공하는 링크에 연결되는 동적 선택 구조를 가정한다. TN 기지국이 NTN 단말에 미치는 하향 링크 간섭 시나리오에서는, TN 클러스터 edge와 NTN 단말 사이에 어떠한 단말도 존재하지 않는 1.5 km의 이격거리를 둔 단순화된 조건을 가정한다. 이는 단말이 TN 링크에 연결되는 것을 방지하고, NTN 링크에 연결된 단말이 TN 기지국으로부터 간섭을 받지 않도록 보호함으로써 시나리오의 복잡도를 낮추기 위해 제안된 조건이다. 하지만 이 시나리오를 기반으로 평가된 NTN 단말의 요구사항은 실제 환경을 고려한 결과라고 보기에는 어렵다. 실제 환경에서는 단말이 연속적이거나 비정형적으로 배치되므로 1.5 km의 이격거리 내에서도 TN과 NTN 단말이 혼재하는 공존 환경이 발생할 수 있기 때문이다. 또한 실제 환경에서 1.5 km의 이격거리 내 단말의 사용을 제한할 경우, 서비스 커버리지와 사용자 이용성 측면에서 실질적인 제약이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 하향 링크 간섭 환경에서 TN 클러스터와 NTN 단말 간 이격거리 변화가 NTN 단말의 성능에 미

치는 영향을 분석하고, 간섭 기준치 throughput loss 5%를 만족하는 최소 이격거리를 도출하였다. 여기서 간섭 기준치는 3GPP 기준을 사용했다<sup>[1]</sup>. 또한 본 연구 결과의 타당성을 높이기 위해, 3GPP에서 가정한 1.5 km 이격거리 조건하에 시나리오 및 파라미터를 동일하게 구성하고, 기존 3GPP 결과와 자체 시뮬레이션 결과의 비교를 통해 정확성과 유사성을 검증하였다.

## II. TN/NTN 간 간섭 시뮬레이션 개요

### 2-1 간섭 시나리오 및 파라미터

그림 1은 TN 기지국들이 NTN 단말에 간섭을 미치는 상황에서 TN 클러스터와 NTN 단말의 배치 시나리오를 보여준다. TN 클러스터는 1 cell 3 sectors 구조로 총 19개의 cell로 구성되어 있다. 1개의 TN 클러스터가 NTN 빔 내부에 위치하는 상황을 가정했으며, NTN 단말은 TN 클러스터 외부에 배치한다. 이때 NTN 단말과 TN 클러스터의 이격거리를 0~1.5 km까지 0.1 km씩 증가시키며 간섭 분석을 진행한다. 여기서 1.5 km라는 이격거리는 도심 환경에서 TN 기지국 간 거리(ISD, inter site distance)를 750 m로 가정했을 때 그 두 배에 해당하는 거리로 3GPP에서 제안한 값이다<sup>[1]</sup>.

표 2는 단말의 파라미터를, 표 3 및 표 4는 각각 TN 기지국과 NTN 위성의 파라미터를 나타내며 3GPP 표준을 기반으로 모델링한다<sup>[1],[3]</sup>.

표 1. n1 TN 대역 및 n256 NTN 대역  
Table 1. n1 TN band and n256 NTN band.

Parameters	Value	
	TN	NTN
Frequency band	n1	n256
Uplink (MHz)	1,920~1,980	1,980~2,010
Downlink (MHz)	2,110~2,170	2,170~2,200
Duplex mode	FDD	

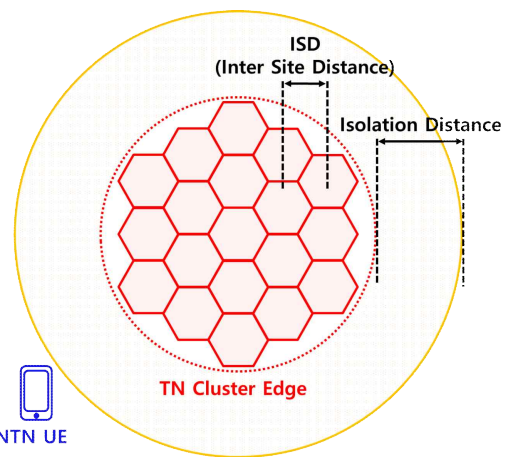


그림 1. TN 클러스터와 NTN 단말의 배치 시나리오  
Fig. 1. Deployment scenario of TN cluster and NTN UE.

표 2. TN/NTN 공용 단말 파라미터  
Table 2. Parameters of TN/NTN common UE.

Parameters	Value
Antenna type	Omni-directional antenna
Antenna gain (dBi)	0
Antenna height (m)	1.5
Noise figure (dB)	9
Number of active UE	1
ACS (dB)	33
Environment	100 % outdoor

표 3. TN 기지국 파라미터  
Table 3. TN base station system parameters.

Parameters	Value
TN base station	
Scenario	Macro urban
Channel Bandwidth (MHz)	10
Antenna height (m)	25
Base station horizontal coverage range (°)	120
Base station vertical coverage range (°)	90 ~ 120
Base station mechanical downtilt (°)	10
Inter site distance (m)	750
ACLR (dB)	45
Path loss model	3GPP TR.38.901
Frequency reuse	1
TN base station array antenna	
Element gain (dBi)	6.4
3 dB beamwidth of element (H/V) (°)	90° for H, 65° for V
Front to back ratio (H/V) (dB)	30 for both H/V
Antenna array configuration (row×column)	8×8 elements
Radiating element spacing (H/V) (m)	0.5 for H, 0.7 for V
Array ohmic loss (dB)	2
Conducted power per antenna element (dBm)	25

### 2-2 간섭 시뮬레이션 방법

간섭을 평가하기 위해서 Monte carlo 방식을 사용하는 SEAMCAT(spectrum engineering advanced monte carlo analysis tool)을 사용했다. TN 클러스터와 NTN 단말 간 이

표 4. NTN 위성 파라미터  
Table 4. NTN satellite system parameters.

Parameters	Value
Satellite orbit	GEO
Satellite altitude (km)	35,786
Satellite EIRP density (dBW/MHz)	59
Channel bandwidth (MHz)	10
Satellite max TX power (dBm)	47.71
Satellite max TX gain (dBi)	51
3dB beamwidth (°)	0.4011
Satellite beam diameter (km)	250
Path loss model	Free space path loss
Frequency reuse	1

격거리에 따라 0 km부터 1.5 km까지 총 16개의 시나리오를 구성한다. 한 시나리오당 10,000회의 시뮬레이션을 수행하며, 각 시나리오는 TN 기지국으로부터 간섭이 존재하는 경우와 간섭이 존재하지 않는 경우로 구분하여 throughput을 산출한다. Throughput은 수신 단말의 SINR을 기반으로 계산되며, 계산식은 식 (1)과 같다<sup>[4]</sup>.

$$Throughput(SINR)[bps/Hz] = \begin{cases} 0 & , SINR \\ \alpha \cdot S(SINR) & , SINR_{MIN} \leq SINR < SINR_{MAX} \\ \alpha \cdot S(SINR_{MAX}) & , SINR \geq SINR_{MAX} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 감쇠 계수를 의미하며 하향 링크에서는 0.6을 곱해 계산한다<sup>[4]</sup>.  $SINR_{MAX}$ 와  $SINR_{MIN}$ 은 각 30 dB와 -10 dB의 값을 갖는 상한 및 하한 임계값을 의미하고,  $S$ 는 shannon bound 공식을 뜻하며 계산식은 식 (2)와 같다<sup>[4]</sup>.

$$S(SINR)[bps/Hz] = \log_2(1 + SINR) \quad (2)$$

이후 인접 채널 간섭이 발생한 throughput과 인접 채널 간섭이 발생하지 않은 throughput을 통해 평균 및 하위 5% throughput loss를 도출한다. 보다 엄격한 평가를 위해 평균 값 외에도 하위 5% 수준의 throughput loss를 함께 산출하며, 시나리오별로 도출된 평균 및 하위 5% throughput loss 결과를 바탕으로, 간섭 기준 throughput loss 5%를 만족하는 최소 이격거리를 산출한다. 이때 throughput loss 5%에 가장 가까운 두 이격거리 간 선형 보간을 통해 결과를 도출한다. 그림 2는 간섭 기준을 만족하는 최소 이격거리 도

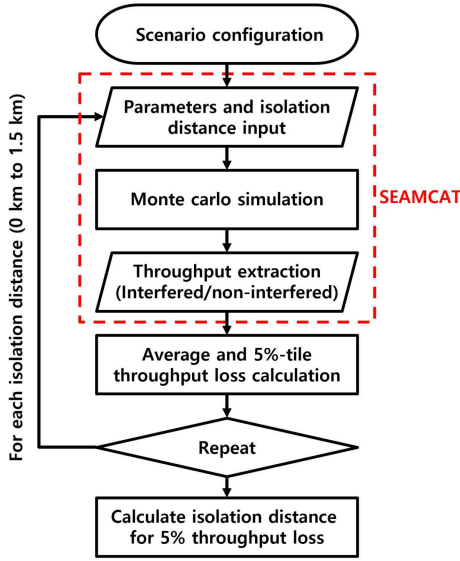


그림 2. 최소 이격거리 도출을 위한 순서도  
Fig. 2. Flowchart for deriving the minimum isolation distance.

출을 위한 순서도를 나타낸다.

또한 본 연구의 결과에 대한 정합성과 유사성 검증을 위해 기존 3GPP에서 수행한 시뮬레이션 결과와의 비교를 진행한다. 3GPP에서는 NTN 단말의 ACS(adjacent channel selectivity)를 제안하기 위해 TN 기지국이 NTN 단말에 간섭을 유발하는 시나리오를 가정하여 회원사별로 시뮬레이션을 진행하였다. TN 클러스터와 NTN 단말 간 이격거리를 1.5 km로 가정하였으며, ACIR(adjacent channel interference ratio)에 따른 throughput loss를 분석하였다. 이를 통해 throughput loss 5%에 해당하는 ACIR을 도출하고, 해당 ACIR과 TN 기지국의 ACLR(adjacent channel leakage ratio)를 기반으로 NTN 단말에 요구되는 ACS를 산출하였다. ACIR과 ACS 및 ACLR의 관계는 식 (3)으로 표현된다.

$$ACIR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \left( \frac{1}{10^{\frac{ACLR_{dB}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{ACS_{dB}}{10}}} \right)^{-1} \right) \quad (3)$$

여기서 ACS는 피간섭원 수신단에서 수신하는 in band 전력 대비 out of band에서 수신되는 전력의 비율로 수신기의 필터 성능을 의미하고, ACLR은 간섭원 송신단에서

송출하는 in band 전력 대비 out of band로 누설되는 전력의 비율을 의미한다. 이 시뮬레이션은 NTN과 TN에서의 공통된 단말 사용을 고려하여, 제안된 NTN 단말의 ACS가 기존 TN 단말의 ACS를 만족할 수 있는지 검토하는 과정이기도 하다.

자체 시뮬레이션은 3GPP 시뮬레이션과 동일한 파라미터 및 시나리오를 가정하여 진행한다. 3GPP는 간섭 영향을 보수적으로 반영하여, 최악의 환경에서도 수신 품질을 보장하기 위해 하위 5% throughput loss 결과를 바탕으로 NTN 단말의 ACS를 제안한다. 이에 하위 5% throughput loss를 기준으로, 자체 시뮬레이션 결과와 3GPP 시뮬레이션 결과를 비교하여 정합성 및 유사성을 검증한다.

### III. 시뮬레이션 결과

그림 3은 하나의 NTN 단말이 19개의 TN 기지국으로부터 간섭을 받는 상황에서 TN 클러스터와 NTN 단말의 이격거리별 NTN 단말의 throughput loss 결과를 나타낸다. 이격거리가 증가함에 따라 throughput loss가 감소하는 경향을 보이며, 평균값과 하위 5% 값에 따라 상이한 결과가 도출되었다. 평균 throughput loss의 경우, 간섭 기준인 5%를 만족하는 최소 이격거리는 0.197 km로, 3GPP에서 제안한 이격거리(1.5 km) 대비 약 1.3 km 완화된 값이다. 하위 5% throughput loss 기준 최소 이격거리는 1.036 km로, 3GPP가 제안한 이격거리 대비 약 500 m 감소한 결과를 보여준다.

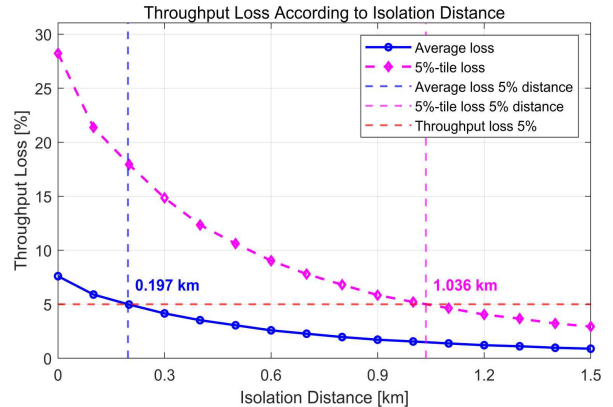


그림 3. 이격거리에 따른 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. Simulation results according to isolation distance.

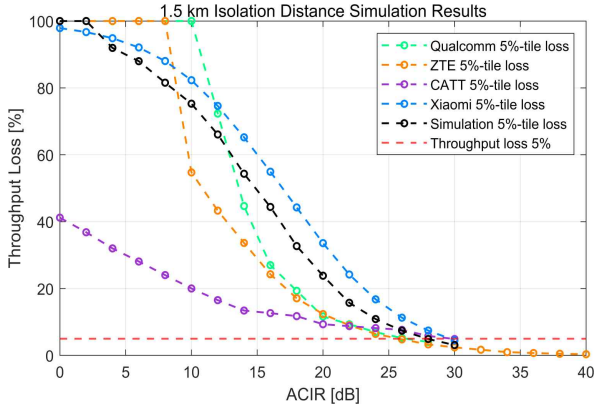


그림 4. ACIR별 하위 5 % throughput loss 결과  
Fig. 4. 5 %-tile throughput loss results according to ACIR.

앞선 결과에서 제안한 최소 이격거리에 대한 신뢰도를 높이기 위해, 1.5 km의 이격거리를 가정하여 3GPP 회원사 결과와 자체 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 그림 4는 3GPP 회원사와 자체 시뮬레이션을 통한 ACIR별 하위 5 % throughput loss 결과를 나타내며, ACIR이 30 dB에 가까워질수록 throughput loss 5 %에 수렴하는 걸 볼 수 있다. 표 4는 3GPP 회원사별 throughput loss 5 %에 해당하는 ACIR 및 ACS 결과와 각 결과들의 평균을 나타낸다. 표 5의 평균 값과 표 6의 자체 시뮬레이션 결과를 비교했을 때 ACIR의 경우 0.03 dB 정도의 차이로 유사한 값을 보여준다. 이와 동시에 3GPP 평균 및 자체 시뮬레이션 결과에서 NTN 단말 ACS는 각 27.99, 28.01 dB로 1.5 km의 이격거리에서 TN 단말 ACS 기준(33 dB)을 만족하는 것을 볼 수 있다.

3GPP는 NTN 단말이 TN과 NTN을 복합적으로 운용할 수 있다는 가정을 기반으로 하기 때문에 NTN 단말의

표 5. 3GPP 회원사별 하위 5 % ACIR 및 ACS 결과  
Table 5. 5 %-tile ACIR and ACS results by 3GPP companies.

Throughput loss 5 % ACIR/ACS		
Source	5 %-tile ACIR (dB)	5 %-tile ACS (dB)
Qualcomm	26.34	26.4
ZTE	25.77	25.82
CATT	29.8	29.94
Xiaomi	29.66	29.79
Average	27.89	27.99

표 6. 자체 시뮬레이션 하위 5 % ACIR 및 ACS 결과  
Table 6. 5 %-tile ACIR and ACS results from simulation.

Throughput loss 5 % ACIR/ACS		
Source	5 %-tile ACIR (dB)	5 %-tile ACS (dB)
Simulation	27.92	28.01

ACS를 27.99 dB가 아닌 33 dB로 제안하였다. 이는 NTN 단말의 ACS를 33 dB로 가정할 경우, 3GPP에서 제안한 1.5 km의 이격거리보다 더 짧은 거리에서도 간섭 기준치를 만족할 수 있음을 시사한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 2 GHz 인접 대역에서의 TN과 NTN 간 하향 링크 간섭 상황에서 간섭 분석을 진행했다. TN 클러스터와 NTN 단말 간의 이격거리를 변수로 설정하여, 간섭 기준인 throughput loss 5 %를 만족하는 최소 이격거리를 도출하였다. 그 결과, 평균값과 하위 5 % 기준 모두 3GPP가 제안한 이격거리보다 완화된 수준임을 확인하였다. 그러나 여전히 공존을 위해 일정 수준의 이격거리가 요구되므로 개선을 위한 연구가 진행될 필요가 있다. 후속 연구에서는 서브캐리어 간의 정교한 필터링을 통해 인접 채널 간섭을 줄일 수 있는 FBMC(filter bank multi carrier) 방식을 도입하여 이격거리 완화에 대한 가능성을 검토하고자 한다.

#### References

- [1] 3GPP, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks(NTN): Non-terrestrial networks(NTN) related RF and co-existence(release 18)," 3GPP TR 38.863, v18.5.0, Mar. 2025.
- [2] 3GPP, "Solutions for NR to support non-terrestrial networks(release 16)," 3GPP TR 38.821, v16.2.0, Mar. 2023.
- [3] 3GPP, "Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz(release 17)," 3GPP TR 38.901, v17.1.0, Dec. 2023.
- [4] 3GPP, "Study on new radio access technology: Radio frequency(RF) and co-existence aspects(release 14)," 3GPP TR 38.803, v14.4.0, Jun. 2024.

조 승 우 [숭실대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0009-0002-0998-2904>



2024년 2월: 숭실대학교 글로벌미래교육원 정보통신공학과 (공학사)  
2024년 2월~현재: 숭실대학교 전자정보공학부 정보통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] 위성통신, 간섭분석, 이동통신, 주파수 공동사용 등

이 원 철 [숭실대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-6250-9342>



1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1994년 5월: 미국 Polytechnic Institute of New York University, Electrical Engineering (공학박사)  
1995년 9월~현재: 숭실대학교 전자정보공학과 교수  
2021년 2월~2025년 1월: 숭실대학교 연구산학부총장  
2024년 11월~현재: 공공안전통신망 재난안전통신 산업위원회 위원장  
2015년 1월~2022년 12월: 한국전자과학회 이사  
2020년 2월~2021년 12월: 과학기술정보통신부 ICT 규제샌드박스 실증특례 연구반 연구반장  
2020년 9월~2020년 12월: 2021년도 ICT R&D 사업 전파·위성 분야 신규과제 발굴 기획위원회 위원  
[주 관심분야] Cognitive Radio, TV White Space, 주파수 공동사용, 간섭분석, 디지털 필터설계 등