

# 무선망 설계/최적화 시뮬레이션 툴의 다양한 신뢰도 향상 기법

## Various Techniques for Improving of the Reliability of the Wireless Network Design/Optimization Simulation Tool

전현철, 류재현, 박상진, 박주열, 김정철

SK 텔레콤 Access 기술연구원

Hyun-Cheol Jeon, Jae-Hyun Ryu, Sang-Jin Park, Joo-Yeoul Park, Jung-Chul Kim

SK Telecom Device & Access Network R&D Center

**Abstract :** There are various analysis functions(including prediction of path loss, analyzing of capacity and coverage, etc.) of simulation tool to design and optimize the mobile communication network. Its reliability absolutely effects the performance of mobile communication network. Especially as the wireless network highly advancing focused on data service, it more needs to research and develop on the standard establishment of reliability of the simulation tool. Also it is important the systematic research how to improve the reliability of simulation tool. In this paper, to give the concrete process and skill about how to improve reliability, we define the kinds of reliability at first. And then we explain the comparison results between real field measurement data and theoretic simulation data.

**Keywords:** Wireless Network, Simulation Tool, Reliability improvement

### I. 서론

기존의 이동 통신망을 최적화하고 데이터 서비스 중심의 고도화된 미래 망을 설계하기 위한 시뮬레이션 툴의 활용은 필수 불가결한 상황이다. 이러한 시뮬레이션 툴은 개개 망의 특징을 잘 반영해 설계되고 구현되어야 한다. 시뮬레이션 툴이 보유한 다양한 분석 기능 중 전파예측, 수신레벨 예측, 그리고 Pilot Ec/Io 분석 등은 대부분의 망 설계/최적화 시 활용되는 기본적인면서도 공통적인 필수 분석 기능 항목이다.

이와 같은 무선망 분석 툴의 분석 정확도는 이를 활용해 설계하거나 최적화 한 무선망의 성능에 절대적인 영향을 미친다. 하지만 이렇듯 중요한 시뮬레이션 툴의 분석 기능에 대한 신뢰도 향상 방법이나 절차(혹은 기법)에 대한 연구는 국내외를 막론하고 매우 드물며 있다 해도 전파예측모델의 보정 기법 연구에 초점을 맞추고 있는 실정이다.

본 논문에서는 우선 무선망 분석 툴에서의 신뢰도란 어떤 것인지에 대한 명확한 정의를 내리고 전파예측모델의 보정 기법에 대해 기술한다. 또한 전파감쇄 모델의 보정 기법 이외에도 전파감쇄예측의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 기술에 대해 설명한다. 수신레벨 예측 기능의 신뢰도를 향상시키기 위해서는 실측과 예측 비교를 통한 두 값들의 편차 원인을 파악하고 이를 보완하는 방법을 기술한다. Ec/Io 역시 실·예측 비교를 통한 신뢰도 향상 기법을 언급한다. 마지막으로 본 논문에서 제안된 신뢰도 향상 기법을 통해 분석의 신뢰도가 높아진 시뮬레이션 툴을 무선망에서 어디에 어떻게 활용할 수 있는지를 현장 활용측면에서 나열하고 결론을 맺는다.

### II. 본론

#### 1. 무선망 분석 시뮬레이션 툴의 개요

무선망의 전파환경을 분석하기 위한 시뮬레이션 툴은 분류 기준에 의해 다양하게 나뉘어진다. 예를 들어 분석하는 Radio link의 개수에 따라 Link level simulator와 System level simulator로 구분할 수 있으며, 분석 기법의 다이내믹함 여부

에 따라 Static simulator와 Dynamic simulator로 구분되어 진다.

단순한 하나의 Radio link의 성능을 평가하는 시스템이 Link level simulator이며, 특정 망에서 다수의 Radio link를 생성시키고 분석 시 Link level simulator의 예측 결과를 참고표(Look-up table)로 삼아 시스템 용량 등의 결과를 도출하는 시스템이 System level simulator이다.[1] CDMA2000 1X 망을 대상으로 시뮬레이션 할 경우 하나의 Radio link의 성능을 평가하는 Link level 시뮬레이션에서는 Frame/Bit Error Rate(FER/BER) vs. Signal to Interference Ratio(SIR) 혹은 목표 FER/BER별 이를 달성하기 위해 필요한 Energy 관계 등의 결과를 도출해낼 수 있다. 이에 반해 다수의 Link를 생성해 이들을 서로 유기적으로 동작시키고 이동통신 가입자를 정해진 규칙에 의해 분포시켜 Traffic load 등의 영향을 분석함으로써 시스템의 용량 등을 파악할 수 있는 것이 System level 시뮬레이션이다. 하지만 이러한 구분은 어디까지나 편의를 위한 것으로 명확한 구분을 하기에는 모호한 점이 많다. 현재 국내의 이동통신 서비스 업체가 개발한 전파환경 분석 시뮬레이션 툴은 이 두 가지 기법이 혼용된 것이 대부분이다. [2]

분석 내용의 다이내믹함 즉 시간 개념 유무 및 가입자 이동성 여부에 따라서도 시뮬레이션 툴을 분류할 수 있다. Static simulator는 주로 어떤 순간(Snap-shot)의 무선망 분석결과를 통계 처리해 무선망의 전반적인 상황을 파악하는데 활용한다. 다시 말해 관심 지역의 최번시 상황을 가정해 그에 대한 분석을 행하고 그 결과를 바탕으로 무선망 설계/최적화를 수행한다. 이는 최번시 상황이 대부분의 무선망에서는 최대 용량이 소요되는 순간 즉 시스템 측면에서 최악의 상황이므로 이를 견뎌낼 수 있도록 망 설계를 하기 때문이다. 이에 반해 Dynamic simulator는 시가변(Time variable) 개념과 가입자 이동성이 가미되어지며 이로 인해 시간추이에 따른 무선망 상태(예를 들면 가입자 이동에 따른 섹터 Throughput 예측) 파악에 효과적이다. 과거의 단순한 음성 위주의 CDMA 시스템에서는 Static simulator로 충분한 무선망 설계/최적화 작업이

가능했으나 패킷 서비스가 제공되는 현재의 데이터 망에서는 Static simulator와 Dynamic simulator를 병행한 작업이 신뢰도 측면에서 유리하다.[2]

국내의 이동통신 서비스 업체는 자사 고유의 시뮬레이션 툴을 개발해왔으며 이를 무선망 설계/최적화에 적극 활용하고 있다. 본 논문에서는 신뢰도 향상 기법 적용에 대해 SKT의 무선망 분석 툴인 CellPLAN<sup>®</sup>을 중심으로 설명하고 이를 일반적인 시뮬레이션 툴로 확대 적용한다.

### 2. 무선망 분석 시뮬레이션 툴의 신뢰도

Static 시뮬레이션 툴의 신뢰도는 일반적으로 현장에서의 실측 데이터와 시뮬레이션을 통한 예측 결과와의 표준편차로 정의되며, 본 논문에서는 이를 실질 신뢰도(Essential Reliability)라 명명한다. 전파감쇄예측에서 신뢰도를 판단하는 기준 즉 실-예측간의 허용 표준편차 범위는 Cost-231WI 모델인 경우  $\pm 6\text{dB}$  내외, Hata- Okumura 모델인 경우  $\pm 8\text{dB}$  내외로 삼는 것이 일반적이다.[4],[5]

전파감쇄예측을 제외한 다른 기본 분석 기능(수신레벨, Ec/Io)에 대한 신뢰도 판단 기준은 아직도 정립되지 않은 미개척 분야이다. 그 이유는 대부분의 무선망 분석 시뮬레이션 툴이 전파감쇄예측 결과를 바탕으로 다른 분석 결과를 도출해내기 때문에 전파감쇄예측의 정확도가 곧 시뮬레이션 툴의 신뢰도라는 통념상에서도 찾을 수 있겠지만 그보다는 수많은 무선망 환경의 변수를 시뮬레이션 툴에서 충분히 고려하는데 있어 발생하는 기술적인 한계로 보는 것이 타당하다. 특히 현재의 무선망은 데이터 서비스 중심으로 진화해 가고 있기 때문에 시뮬레이션을 통한 무선망 분석은 더욱 더 난해해지고 있다.

실질 신뢰도와 병행해 고려할 수 있는 것이 체감 신뢰도(Sensory Reliability)이다. 체감 신뢰도란 시뮬레이션 툴 사용자가 어떤 분석 기능을 원했을 경우 그 기능이 특정 시뮬레이션 툴에 구현되어 있느냐 없느냐에 따라 다르게 느낄 수 있는 사용자 위주의 주관적 신뢰도이다. 체감 신뢰도를 높이기 위해 사용자 요구 기능을 구현하는 데는 툴 본래의 목적에 맞는지, 꼭 필요한 기능인지, 대체 기능은 없는지 등에 대한 면밀한 검토가 이루어진 후 기능추가나 보완을 수행해야 한다. 그렇지 않을 경우 전반적인 툴의 성능을 저하시키는 원인이 된다.

### 3. 신뢰도 향상 기법

#### 3.1 전파예측모델 신뢰도 향상

전파예측모델을 보정하는 기법은 크게 두 가지로 나뉜다. 예측값을 실측 데이터의 기울기, X절편, Y절편에 맞추는데 주력하는 Linear 방식과 Linear 방식을 기본으로 하고 여기에 새로운 보정 기법을 추가하는 것이 Non-linear 방식이다. CellPLAN<sup>®</sup>에는 두 가지 보정 기법이 모두 구현되어 있다. Non-linear 방식은 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 바탕으로 구현되었다. 유전자 알고리즘은 진화연산 알고리즘이라고도 하며 실세계의 문제를 풀기 위해 잠재적인 해들을 컴퓨터상에서 코딩된 개체로 나타내고, 여러 개의 개체들을 모아 개체군을 형성한 뒤 세대를 거듭하면서 이들의 유전 정보를 서

로 교환하거나 새로운 유전 정보를 부여하면서 적자 생존의 법칙에 따라 모의 진화를 시킴으로써 주어진 문제에 대한 최적의 해를 찾는 계산 모델이다. 유전자 알고리즘을 기본으로 Non-linear한 방식을 구현할 경우 전파모델 내의 계수 set이 새롭게 변화하는 것을 의미하므로 변경 가능한 계수들인지, 변경된다면 어떤 범위 내에서 가능한지를 명확히 해야 한다. 그림 1.은 이 두 가지 보정 기법의 성능을 서울 강남 논현기지국의 실-예측 결과를 바탕으로 비교한 것이다.

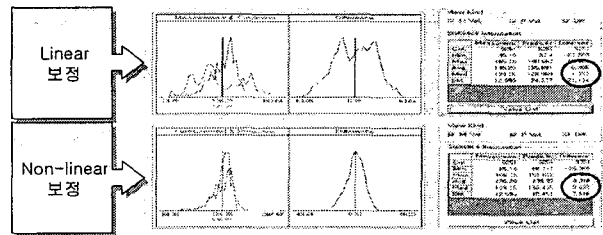


그림 1. Linear/Non-linear 보정 기법의 성능 비교

전파예측모델의 보정에도 한계가 있다. 이를 보완해 시뮬레이션 툴의 전파예측 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방법이 지역별 Morphology 데이터 구축이지만 비용문제가 만만치 않다. 이러한 문제점을 완화시킬 수 있는 방법이 Multi-breaking 기술이다. Multi-breaking 기법이란 Morphology 데이터를 구축하지 못할 경우 이를 대신해 특정 반경별로 기지국(섹터)에 전파감쇄에 대한 타당한 보정 계수를 적용해주는 방식이다. 그림 2는 이러한 Multi-breaking 기법 적용이 필요한 환경의 예로서 전북 김제에 있는 성산 기지국에 대한 실사 사진 및 이를 시뮬레이션 툴에서 분석하는 화면이다. 전북 김제에 대한 Morphology 데이터가 없으므로 정확한 전파감쇄예측을 위해서는 기지국 앞에 있는 수풀에 의한 영향을 고려해야 한다. 이를 위해 성산 기지국의 전파예측모델을 반경 100m 단위로 세분화하고 100~300m 범위에서는 숲에 의한 손실 15dB를 추가한다.



그림 2. Multi-breaking 기법 적용이 필요한 환경

제안한 Multi-breaking 기법이 적용된다면 표 1.과 같이 분석 반경이 3km 일 경우 실측과 예측의 표준편차는 2.0dB 정도 개선된다.

표 1. Multi-breaking 기법이 신뢰도에 미치는 영향

주파수 (MHz)	No Multi-breaking [dB]	Multi-breaking [dB]	차이 [dB]
896	9.43	7.35	2.08
2137	10.65	8.38	2.27

### 3.2 수신레벨 예측 신뢰도 향상

수신레벨 예측의 신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 부분은 전파예측모델이다. 이에 못지않게 안테나 특성이나 전력 변동이 수신레벨 예측에 큰 영향을 줄 것으로 예상되었지만 실제 예측 결과를 분석해보니 안테나 특성이나 전력의 변동성은 수신레벨을 일정한 패턴을 가지고 변화하게 만들기 때문에 신뢰도 저하에 큰 영향을 주지는 못했다. 그림 3.에서 전북 김제 성산 기지국에서 안테나 Tilt 각도 변화에 따른 수신레벨 실측 결과와 그에 준하는 예측 결과를 보여준다.

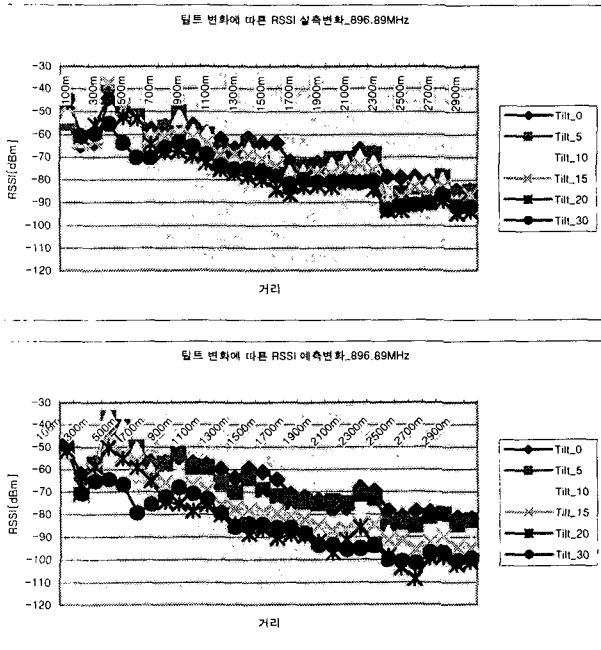


그림 3. 안테나 Tilt 각도에 따른 RSSI 변화 (위: 실측 결과, 아래: 예측 결과)

이 외에도 실측 주파수 변경, 안테나 높이 변경, 기지국 전력 변경 등을 통해 수신레벨 신뢰도에 영향을 미치는 정도를 분석해봤지만 전파예측모델과는 달리 큰 영향력은 없었다. 다만 수신레벨 예측 기능에 관련된 신뢰도를 크게 향상시키려면 동일 안테나가 Tilt 별로 방사패턴에 차이가 난다는 점 (특히 전기적 Tilt를 주는 안테나)을 감안해 각 Tilt별로 안테나 정보를 정확히 DB화 시키는 작업이 필요하다.

결론적으로 수신레벨 예측 기능의 신뢰도를 향상시키는 효율적인 방법은 Non-linear 전파모델보정과 Multi-breaking 기법 적용을 병행하고 순수 전파모델예측과 달리 주변 환경변화에 더 많은 영향을 받는 수신레벨 표준편차의 범위를 전파모델 표준편차의 범위보다 2dB 정도 넓게 가져가는 것이다.

### 3.3 Ec/Io 분석 신뢰도 향상

실 예측 분석 결과 Ec/Io 분석 기능의 신뢰도에 가장 큰 영향을 주는 요소는 전파예측모델과 기지국(중계기)의 위치, 형상, 전력에 대한 정보인 Cell DB였다. 앞서 살펴봤던 Non-linear 방식의 보정 기법과 Multi-breaking 기법을 적용하면 전파예측모델의 신뢰도 향상을 통한 Ec/Io 정확도 개선에는 큰 부리가 없다. 다만 Cell DB의 중요성은 인식하고 있지만 어

느 정도의 영향을 미치는지에 대한 정량적인 분석 결과는 없었다. 이의 정량적 분석을 위해 전북 김제시에 있는 SKT의 기지국 섹터 42개 중 약 30%에 해당하는 12개 섹터에 대해 안테나 Tilt와 방위각을 10도씩 틀리게 입력한 후 이를 실제 Cell DB를 활용해 시뮬레이션한 결과와 비교해 보았다. 부정확한 Cell DB를 활용한 시뮬레이션과 올바른 Cell DB를 활용한 시뮬레이션 결과를 비교해보니 SKT의 Ec/Io 표준 허용오차 1~3 dB를 초과한 4.094dB를 나타내었다. 그림 4는 이와 같은 결과를 설명해준다.

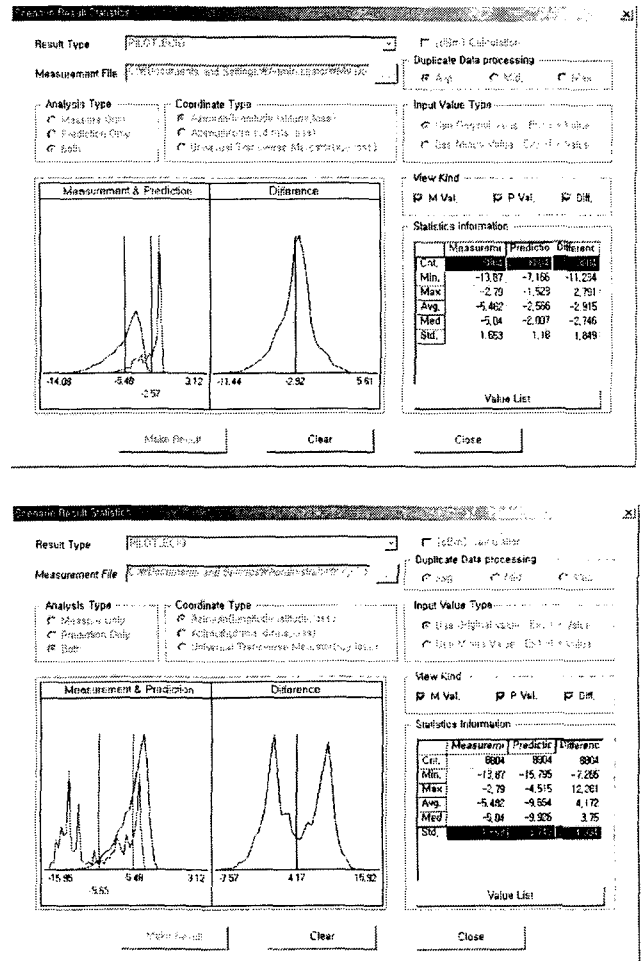


그림 4. Cell DB의 정확도가 시뮬레이션 틀의 신뢰도에 미치는 영향 (위: 정확한 Cell DB, 아래: 부정확한 Cell DB)

결국 Ec/Io 분석은 개별 기지국(중계기)간의 상대적인 상호 간섭 및 영향에 의한 결과이므로 분석 결과의 정확도에 의심이 갈 경우 전파모델보다는 기반 정보(예: Cell DB)의 오류일 확률이 더 높다.

앞서 설명한 과정을 통해 신뢰도가 향상된 시뮬레이션 틀은 무선망에서 다음과 같은 용도로 활용되어 질 수 있다.

- (1) 초기 망 설계
  - 기지국(중계기) 위치 선정
  - 초기망 투자 물량 산출
- (2) 기지국(중계기) 신설/이설/제거
  - 기지국(중계기) 신설/이설/제거에 따른 side effect 분석
- (3) 최적화/엔지니어링 작업

- 무선망 엔지니어링 기준 수립
- 고객 불만 발생 지역에 대한 최적화 업무
- 인빌딩 서비스를 위한 엔지니어링 작업
- 기지국 적정 power, overhead 전력 비율 결정
- 기지국(중계기) 안테나 방향, 기울기 결정
- (4) 용량 관련 분석
  - Traffic load 증감에 따른 시스템 용량 분석
  - Traffic load 증가에 따른 FA 증설 시기 판단
- (5) 신규 시스템에서의 효율적인 망 설계 기법 제안
  - WCDMA 시스템에서 계층 셀 도입 여부 판단
  - 위성 DMB에서 GF(Gap Filler) 치국 위치 선정
- (6) 기타
  - 주변 환경 변화(예를 들어 기지국 주변에 건물 신축 혹은 기존 건물 철거 등)에 따른 무선망 상태 변화 예측
  - 기지국 섹터 증감에 따른 영향 분석

### III. 결론

본 논문에서는 무선망 분석을 위한 시뮬레이션 툴의 신뢰도에 대한 정의가 무엇인지 명확히 했다. 또한 대부분의 시뮬레이션 툴의 기본 분석 기능인 전파예측, 수신레벨 예측, Ec/Io 분석의 3가지 항목을 신뢰도 향상을 위해 중 점적으로 다루었다. 이를 위해 일정 지역에서 방대한 실측 데이터를 측정/수집했고 이를 시뮬레이션 결과와 비교/분석하였다.

이러한 각종 분석 및 성능비교를 통해 전파예측모델을 보정하는 방법 중 Non-linear 방식이 Linear 방식보다 보정 능력이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 전파예측모델 이외에도 Cell DB의 정확도가 무선망 분석 결과의 신뢰도에 결정적인 역할을 한다는 점을 정량적으로 표현하였다. 그리고 체감 신뢰도에 대한 중요성도 언급했다.

본 논문에서 제안한 기법을 통해 신뢰도가 향상된 시뮬레이션 툴을 활용한다면 엔지니어는 현장에서의 업무를 과학적/효율적으로 수행할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] Lin Ma and Zhigang Rong, "Capacity Simulations and Analysis for cdma2000 Packet Data Services," VTC 2000, pp.1620- 1626, 2000.
- [2] 전현철, "시뮬레이션 툴을 활용한 무선망 최적화/엔지니어링 작업 프로세스," 2004년 한국정보통신설비학회 하계학술대회, pp.169-172, 2004.
- [3] 전현철 외 6인, "무선망 분석 시뮬레이션 툴의 신뢰도 향상 기법," 2005년 한국정보통신설비학회 하계학술대회, pp.431-435, 2005.
- [4] 이형수, 이혁재, "Macrocell에서 지형정보를 이용한 전파 전파 예측모델 제안," Telecommunications Review, 제6권 제3호, pp.257-267, 1996.
- [5] William C. Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, A Wiley-interscience Publication, Second Edition, pp.47-100, 1993.