

424 MHz 소출력 무선주파수 전파특성 측정 및 분석

°임용훈, 최효열, 오규환, 이범석, 현덕화
한전전력연구원 전력통신그룹

adsac@kepri.re.kr, hychoi@kepcoco.kr, okwhan@kepcoco.kr, leebs@kepcoco.kr, hyundh@kepri.re.kr

The Measurement and Analysis of Radio Characteristic of 424 MHz Short Range Wireless Frequency

°Yong-Hun Lim, Hyo-Yul Choi, Kyu-Whan O, Beom-Seok Lee, Duck-Hwa Hyun
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract

This paper deals with the measurement and analysis of radio characteristic of 424 MHz for using the automation of transmission and supply of electric power, and automatic meter reading(AMR). Normally radio propagation characteristic is the base of system design, performance evaluation and choice of position of the base station in wireless communication. It is the most accurate way to design a base station through practical measurements, but it costs much time, money and engineers. So, we developed 424 MHz short range wave propagation model for AMR service.

Key words : radio propagation characteristic, 424 MHz short range, automatic meter reading(AMR)

I. 서론

무선통신은 주파수, 거리, 송수신 안테나의 높이, 지구 곡률, 대기환경 및 대도시의 빌딩, 구릉지, 산악지대의 산과 같은 지형지물 등의 요인에 의해 많은 영향을 받는다. 특히, 도심지역에서는 수신지역에 존재하는 고개, 빌딩, 고가도로 등 자연적인, 인공 장애물에 의해 신호의 품질이 영향을 받으며 또한 지연확산, 차폐, 페이딩 등에 의해서도 품질이 저하되고 있으므로 서비스 지역 예측이 매우 어렵게 된다. 그러므로 미국, 일본 등 선진국에서는 예전부터 자국 전파특성의 이론 및 측정치에 의해 전파 예측 모델을 개발하여 각종 무선 서비스에 활용하여 왔다[1-3].

현재 한국전력에서는 송배전 자동화 및 수용가의 전력사용량 자동원격검침(AMR; Automatic Meter Reading) 등에 424 MHz의 비허가 소출력 무선통신을 활용하고자 한다. 이러한 전력사업의 무선망 설계에는 최적의 무선국 위치 선정이 필요하며, 이는 시설지역에서의 전체 국소수를 사전에 예측함으로써 전체 사업규모를 가늠해 볼 수 있으며, 정확한

무선망을 계획하므로 서비스 지역에서의 통신 품질 향상 등, 차질 없는 전력사업 및 질 높은 대국민 서비스를 공급하는데 기반이 될 수 있다[4]. 하지만 아직까지 국내 지형에 적합한 424 MHz 전파모델이 개발되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 필요성을 인식하여, 비허가 소출력 무선주파수를 활용하는 소출력에서의 전파전파 특성을 분석하고, 나아가 국내 지형에서의 실험치에 기반하는 소출력에서의 전파전파 모델을 개발지, 주거지, 빌딩지에 맞도록 유도하고 분석한다.

II. 전파환경측정

전파환경측정은 향후 전력사업의 일환으로 소출력 대역에서의 전파전파 특성을 측정하여 외국 또는 국내에서 개발된 모델에 적용하여 분석하고, 향후 424 MHz대 소출력 무선주파수의 전파전파 모델을 개발하고자 한다. 따라서 이번 장에서는 전파환경측정에 필요한 국소선정, 측정방법, 전파측정에 의한 측정데이터 처리 및 분석을 하는데 필요한 사항 및 선정 방법을 기술한다.

육상이동 전파전파 측정은 전파환경(지형과 지상 장애물)에 의한 감쇄량과 변동량의 두 가지 요소, 즉 지형과 지물을 어떻게 구분해야 될지, 전계강도 변동치를 어떻게 표시해야 할지 결정하는 것이 중요하다. 따라서 지형, 지물의 분류 방법을 도심 특성에서 2곳, 평야 특성에서 1곳으로 구분하고, 도심에서는 저밀도(주택지역) 도심, 고밀도(빌딩지역) 도심으로 나누어 측정하며, 평야(개발지) 특성에서는 송신출력 세기가 10mW이하이므로 반경 2.5km의 가시거리를 확보할 수 있는 지역을 선정하여 측정한다. 다음 표 1은 선정된 측정지역을 나타낸다.

표 1. 424 MHz 전파특성 측정지역 선정

분류	해당지역	선정기준
주거지역	갈현동	1~15층까지 주택지역이 밀집된 곳
	목동9단지	
	목동14단지	
빌딩지역	여의도 1,2	15층 이상 밀집변화가 종료
	종로	
개발지역	강화도 1,2	평야지역
	오정동	

효율적인 측정을 위하여 실제 현장전파측정에 앞서 시행착오를 줄이기 위한 방법으로 측정하고자 하는 국소와 측정방법, 지역 등을 도상에서 미리 결정하여 정확한 시뮬레이션을 통한 측정 결과 예측이 무엇보다 중요하다. 이러한 일련의 작업을 통하여 전파 측정 목적에 적합한 기지국을 미리 예측할 수 있다. 다음 그림 1부터 6은 대표적인 세 곳에 대한 측정경로 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

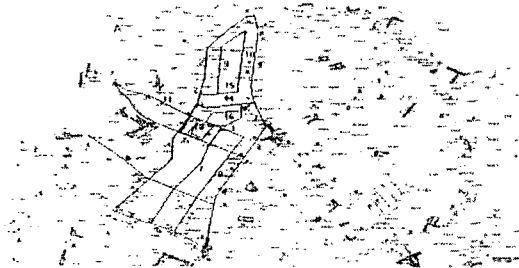


그림 1. 주거지역(갈현동)의 측정경로

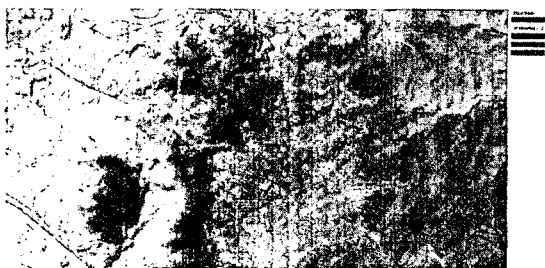


그림 2. 주거지역(갈현동)의 시뮬레이션 결과

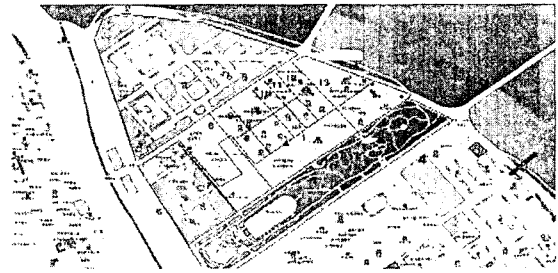


그림 3. 빌딩지역(여의도)의 측정경로



그림 4. 빌딩지역(여의도)의 시뮬레이션 결과

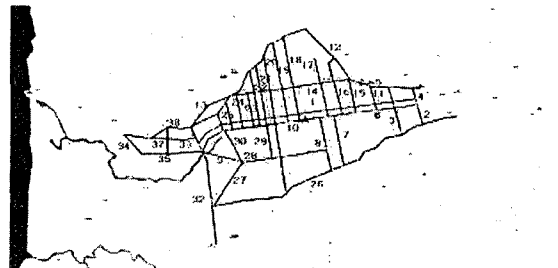


그림 5. 개발지역(강화도)의 측정경로

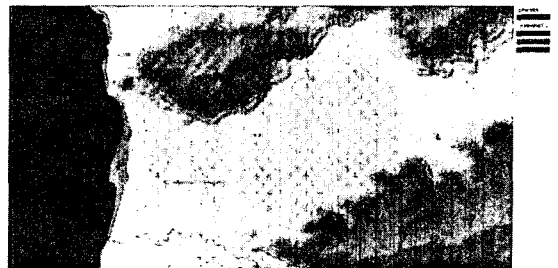


그림 6. 개발지역(강화도)의 시뮬레이션 결과

현장에서 전파경로 손실을 실제로 측정하기 위해서는 일정한 전력으로 전파를 발사하는 기지국과 이를 송·수신간 거리별로 수신하기 위한 이동국, 그리고 수신된 데이터를 기록하여 분석하기 위한 수집장비가 있어야 한다. 먼저 기지국의 제원은 주거, 빌딩 및 개발지역을 중심으로 전봇대 또는 가로등에 6m 폴(pole)을 세워 소출력 무선모뎀을 이용하여 송신국을 설치하여 활용한다. 이때 송신출력은 10mW로 설정하고 안테나는 일반 모노폴 안테나를 사용한다. 또한 수신국의 장비구성은 전계

강도 데이터를 수신할 수 있는 스펙트럼 분석기 (E7402A, Agilent社)와 모노폴 안테나, 그리고 수신된 전계강도 데이터를 수집·기록하기 위한 컴퓨터로 이루어진다. 간략히 장비구성을 나열하면, 수신 안테나로부터 수신된 신호를 스펙트럼 분석기에서 수신 받아 GPIB 인터페이스를 통하여 컴퓨터로 데이터를 수집하고, GPS 신호는 RS-232C 통신을 이용하여 컴퓨터로 데이터를 수집한다. 다음 그림 7은 전파환경 측정시스템의 구성도를 나타낸다.

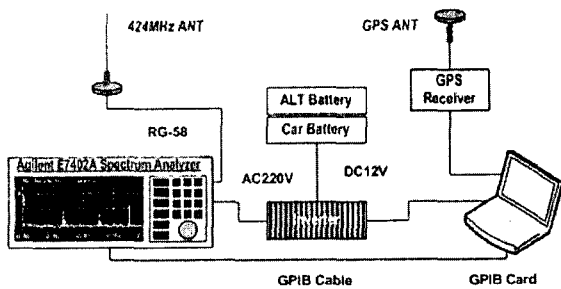


그림 7. 전파환경 측정시스템의 구성도

실제 측정에 앞서 기지국에서 보내지는 송신출력을 스펙트럼 분석기로 수신하여 해당 주파수 신호의 안정성 여부를 확인하고, 실제 경로를 이동하며 측정한다. 측정시 주변 전파사용을 고려하여 송신기가 30초에 1회씩 송신전력을 낮추므로 도로 상황에 맞게 차량 속도를 낮춤으로서 구간내 분석데이터를 최대한 많이 수집 할 수 있도록 한다. 다음 그림 8부터 10은 전파특성 측정결과를 나타낸다.

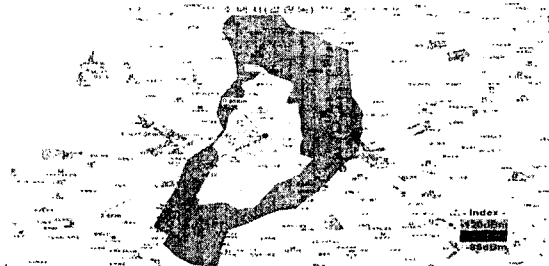


그림 8. 주거지역(갈현동)의 전파특성 측정결과

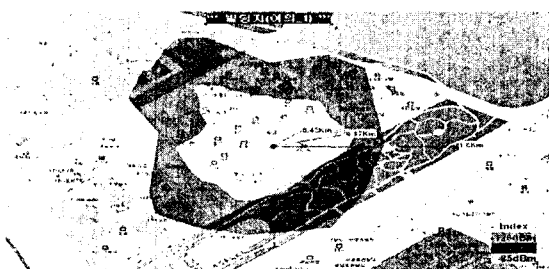


그림 9. 빌딩지역(여의도)의 전파특성 측정결과

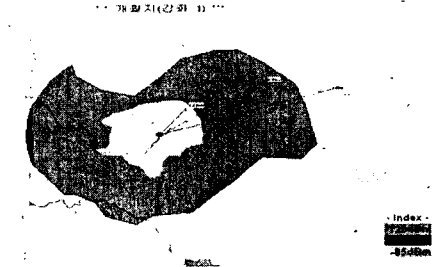


그림 10. 개활지역(강화도)의 전파특성 측정결과

III. 전파예측모델

현재까지 육상통신의 경우에 있어서 무선 전파를 예측하기 위해 많은 이론적 또는 실험적 모델이 개발되어 왔다. 하지만 이들 전파모델 개발을 위한 전파측정 및 연구는 다년간에 걸쳐 체계적인 절차에 의하여 나온 결과이므로 짧은 시간에 전파환경의 특성을 추출해 내는 것은 무리한 작업이라 생각된다. 따라서 본 논문에서는 다음 그림 11에 나타난 여러 모델 중에서 복잡도와 정확도 면에서 적용하기 용이한 Okumura-Hata 모델을 검토하여 소출력에서의 전파환경 측정 실측치를 분석하고 각 지역별, 특성별 전파환경과 결과치를 갖는 모델식을 유도한다[5, 6].

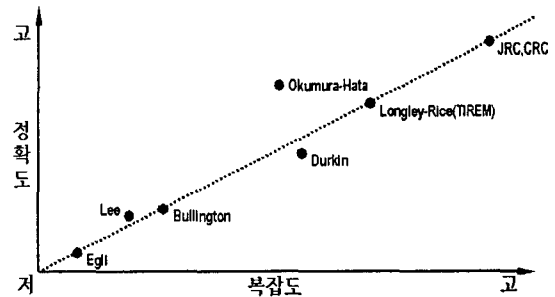


그림 11. 전파예측모델의 정확도 및 복잡도 비교

일반적인 전파예측모델에서 대부분의 회절손실보정은 장애물이 하나일 때는 키르히호프-프레넬 이론에 근거한 knife-edge 계산식[7]을 사용하고 있으며 두 개 이상일 때는 Epstein-Peterson 방식[8]을 사용하는 것으로 알려져 있다. 그리고 경험치로써 주어진 모델은 Okumura-Hata 모델이 대표적이다. 그리고 ITU-R REC526에서도 회절손실 식을 Epstein-Peterson 방식을 확장시킨 등근 모서리 연속형 모델을 제시하고 있으나 이동통신과 같이 계산량이 많고 출력이 낮은 특성과 등근 모서리에 의한 보정값이 낮은 것을 고려할 때 등근 모서리에 의한 보정은 피하는 것이 유리하다고 판단된다.

따라서 전파경로에 따른 전계강도를 구하는 식은 다음과 같이 가시거리와 비가시거리 두 가지로 구분하여 계산한다. 먼저 가시거리일 때 전계강도 E [$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$]는 다음 식 (1)과 같다.

$$E = BF [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + RA [\text{dB}] + BA [\text{dB}] \quad (1)$$

여기서, BF 는 개활지에서의 기본 전계강도 값이며, RA 는 수신안테나 높이에 따른 손실보정항, BA 는 송신안테나 높이에 따른 손실보정항이다. 또한 비가시거리 일 때는 다음 식 (2)와 같다.

$$E = \min(BF, DL) [\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + RA [\text{dB}] \quad (2)$$

여기서, DL 은 전파경로가 비가시거리인 경우 자유공간 전계강도값에 회절손실을 뺀 값이다. 즉 최종 전계강도는 개활지에서의 전계강도와 회절손실에 의한 전계강도를 계산하여 이 중 더 작은 값을 택한 후 지역별 수신안테나 보정을 하게 된다. 그러나 이동국의 지역이 개활지일 때는 지역별 수신안테나 보정은 하지 않는다. 그리고 무선국 설계 시 송신출력이 적기 때문에 1W 를 기준으로 하면 BF 는 다음 식 (3)으로 표현된다.

$$BF = -40.15 \log_{10}(d) - 2.91 \log_{10}(f) + 82.86 + 10 \log_{10}(P_1) + G_m + G_b \quad (3)$$

여기서, P_1 은 송신출력으로 단위는 W 이다. 또한 무선국 설계 시 전계강도 값보다는 손실값이 요구될 때가 많으므로 이 전계강도 식을 손실(loss)식으로 변환하면 다음 식 (4)와 같다.

$$L[\text{dB}] = P[\text{dBW}] - E[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] + 20 \log_{10}(f) + 135.1 \quad (4)$$

측정된 데이터를 통계 처리하여 추세선 수식으로 만드는 방식은 전파전파에 영향을 미치는 인자를 가시거리 조건하에서 지역 구분에 따른 변화, 송·수신안테나 높이의 변화 그리고 주파수의 변화에 따라 전계강도를 예측할 수 있는 실험식을 측정된 데이터의 각 구간별 중앙값으로부터 도출할 수 있다. 이 때 같은 지역 특성을 갖더라도 각 경로 주변의 인공 구조물이나 빌딩, 도로의 형태가 전부 동일한 것이 아니므로 전파환경에 오차가 발생하게 된다. 이러한 점을 반영하기 위해 기지국으로부터 송출된 신호를 같은 거리별로 각 경로의 데이터를 산술평균하고 이 값을 추세선으로 설정한다. 이 때, 수신안테나의 높이는 차량의 높이로 하였으며, 기지국의 송신안테나 높이는 향후 한국전력에서 사용하게 될 6m 를 기준으로 한다. 다음 표 2는 전파전파 모델개발에 있어 기본적으로 고려할 사항이다.

표 2. 전파전파 모델개발에서의 고려사항

구분	고려사항
전송손실	다이폴 안테나에서의 전송손실 가정
송신출력	안테나 유효방사전력(ERP): 1W 기준 (Okumura-Hata 모델 : 1kW)
환경구분	개활지나 빌딩지역: 반평탄지형 가정 주거지역: 불규칙지형 가정
송신국 환경	기지국안테나높이: 6m , 수신국: 2m (Okumura-Hata 모델 : 30m , 1.8m)
기본모델	빌딩, 주거지역: Okumura-Hata 모델 개활지역: TIREM 모델
분석툴 개발방향	컴퓨터 처리의 편리성과 처리성능 고려

지금까지의 결과를 종합하여 계산된 전파특성 측정결과 그래프는 다음 그림 12와 같다. 이 그래프를 살펴보면, 전계강도 E 와 거리 d 변화에 따른 특성은 거리의 지수승에 비례하여 전계강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 지역별 차이는 도심에서는 개활지에 비해 약 $15 \sim 17\text{dB}$ 정도의 차이를 보이며 밀집대도시인 경우 반사파를 고려하여 분석한 결과 $25 \sim 28\text{dB}$ 의 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 도시의 밀집화, 주변 빌딩의 높이에 기인하여 그 차가 심하게 나타난다고 볼 수 있다. 그리고 전계강도의 감소는 개활지를 기준으로 비교할 때 지역에 따라 등간격으로 변하고 있으며, 거리에 무관한 경향을 볼 수 있다. 따라서 개활지를 기준으로 하여 각 지역별 손실보정을 하는 방법이 타당할 것으로 판단된다.

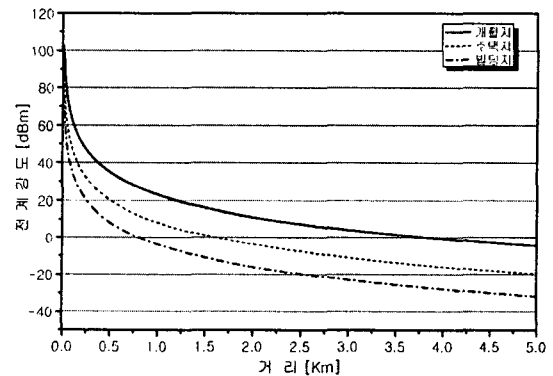


그림 12. 전파특성 측정결과 그래프

이상과 같은 분석을 통해 대표적인 세 지역(개활지역, 주거지역, 빌딩지역)에 대한 거리와 주파수의 관계인 다음 식 (5)와 같은 회귀(recursive) 모델 형태인 전파모델식을 유도하였다.

$$BF = \beta_1 \log_{10}(d) + \beta_2 \log_{10}(f) + \beta_3 \quad (5)$$

- 개활지역 : $-58.79 \log_{10}(d) - 26.16 \log_{10}(f) + 49.48$
- 주거지역 : $-37.13 \log_{10}(d) - 15.7 \log_{10}(f) + 49.48$
- 빌딩지역 : $-27.65 \log_{10}(d) - 9.12 \log_{10}(f) + 49.48$

또한 유도된 모델이 통계적으로 데이터를 얼마나 잘 설명하는가를 나타내는 값으로 모델 평가의 척도로 사용되는 R-square값이 본 논문의 결과에서는 95%이며, 일반적으로 85%만 넘게 되면 데이터를 잘 설명하고 있다고 알려져 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 소출력 무선통신의 기지국 설치 계획단계에서 최적의 품질과 위치선정을 위한 비허가 소출력 주파수대역인 424 MHz에서의 한국지형에 적합한 전파예측모델을 도출하였다. 하지만 국내 전파측정지역을 서울, 경기 지역에 국한하여 개활지역, 주거지역, 빌딩지역으로 크게 분류하고, 전파 특성을 측정하였으며 측정된 값을 컴퓨터를 이용하여 분석하였다. 하지만 이러한 세 가지 지역이 국내 지형을 대표하는 것은 아니기 때문에 향후에는 더욱 세분화된 지역으로 나누어 측정해야 할 것으로 판단된다.

측정된 결과를 분석한 결과, 주거지역 및 빌딩지역에서는 Okumura-Hata 모델과 유사한 특성을 보였으나 개활지역에서는 TIREM 모델과 비교적 유사하게 나타났다. 그리고 도심의 빌딩지역에서는 두 개 모델 전부 다른 값으로 검토되었는데 그 이유는 국내의 밀집대도시의 형태를 나타내고 있는 서울의 전파전파환경 특성과 외국의 환경이 잘 맞지 않는 것으로 판단된다. 그러나 이 지역에서 이용된 지형데이터베이스의 고도데이터가 정확히 추출되지 않았다는 판단도 들기 때문에 향후에 좀 더 상세히 모델의 변수를 검토해야 한다.

관련 추후 연구과제로는 실제적인 문제로, 본 연구를 통해 도출된 비허가 소출력 주파수대역에서의 전파모델을 기반으로 컴퓨터 시뮬레이션 툴이 개발되어야 하며, 전파전파 모델식의 신뢰도를 높이기 위하여 여러 측정결과가 보다 다양화되고, 측정된 데이터의 축적과 동시에 데이터의 면밀한 분석이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

[1] 소출력 주파수를 이용한 저압가정 원격검침 시

범적용 결과, 1, 2차 회의 발표자료, 한국전력.
 [2] 정보통신부고시 제1999-46호, 특정소출력무선국용 무선설비의 기기, 1996
 [3] K. Allsebrook, J. D. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF bands," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 26, no. 4, pp. 313-323, Nov. 1977.
 [4] Neal H. Shepherd. et al. "Coverage prediction for Mobile Radio Systems Operation in the 800/900MHz Frequency Range," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. 37, no. 1, Feb. 1998.
 [5] Y. Okumura, et al, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF land-Mobile Radio Service," *Review Elect. Comm, Lab.*, vol. 16, pp. 825-873, 1968.
 [6] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 29, pp. 317-325, Aug. 1980.
 [7] Johnson, Richard C. and Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, 1984.
 [8] Tell, Richard .A., *Engineering Services for Measurement and Analysis of Radio-frequency (RF) Fields*, Richard Tell Associates, Inc., Las Vegas, NV., June 1995.
 [9] Trevor Manning, *Microwave Radio Link Performance*, DMC Stratex Networks

M E M O