

마을방송 시스템의 효율적 구축을 위한 간섭분석

Interference Analysis for Deployment of the Efficient Village Broadcasting Radio System

강 영 흥

군산대학교 컴퓨터정보통신공학부

Young-Heung Kang

School of Computer, Information and Communication engineering, Kunsan University, Jeollabuk-do, 54150, Korea

[요 약]

현재 아날로그 방식의 마을방송 시스템은 기술 적용의 문제 및 시설 노후화로 인한 성능 저하 등의 문제로 인하여 무선 디지털 시스템으로의 전환과 이에 따른 시스템 표준이 요구되고 있다. 그러나 주파수 부족으로 인해 효율적인 디지털 무선 마을 방송 시스템의 구축을 위해서는 이웃마을간의 간섭분석이 중요하므로 여기서는 대표적인 간이무선국 dPMR(digital private mobile radio) 및 DMR(digital mobile radio) 방식을 고려하여 동일채널 간섭과 인접채널 간섭에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 동일채널 간섭 분석에서는 마을간 이격거리와 인접채널 간섭분석에서는 주파수 오프셋을 사용하여 주파수 재사용 및 채널분리에 대한 본 논문의 결과는 향후 마을방송 표준개발과 시범 사업화를 위한 자료로 활용될 것이다.

[Abstract]

Since the existing analog village broadcasting system has some technical problems in applying and degradations in performance due to its old equipments, it had been required recently to be changed to a wireless digital system and to develop the standardization. However, it is important to analyze the interference between villages in deploying the efficient digital wireless village broadcasting system. In this paper, simulations for co-channel and adjacent channel interference have been carried out considering digital private mobile radio(dPMR) and digital mobile radio(DMR) systems as a representative mobile radio. These results for frequency reuse and channel separation drawn from the separation distance between villages in co-channel interference and the frequency offset in adjacent interference can be helpful to establish a standard and the testing service in the near future.

Key words : Village broadcasting system, Spectrum management, Interference, digital Private mobile radio, Digital mobile radio.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.4.359>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 17 July 2016; **Revised** 20 July 2017
Accepted (Publication) 17 August 2017 (30 August 2017)

***Corresponding Author; Young-Heung Kang**

Tel: +82-63-469-4693

E-mail: yhkang@kunsan.ac.kr

I. 서론

수년전부터 전국 마을단위로 무선 마을방송시스템이 구축되기 시작하여 충남 아산시의 경우 450여 마을 중 지난해 19억 원을 들여 180여 마을을 대상으로 송신기 설치와 가구별 스피커 설치작업을 마무리한데 이어 올해 19억원 예산 투입 등 2019년까지 전체 마을이 안방에 앉아 재난방송을 들을 수 있게 된다(연합뉴스 2017년 5월 19일자). 이처럼 모든 지자체가 재난 안전망의 하나로 그림 1에 나타낸 마을방송시스템의 도입에 따라 과학기술정보통신부에서는 2013년 신규로 전용 주파수 대역을 할당하였으나[1], 마을 공지사항 안내용 간이무선국용으로 422 MHz 주파수 대역의 10여개만의 채널을 공급함으로써 늘어나는 마을방송시스템 구축에 있어 이웃마을간의 간섭문제 등이 심각하게 부각되고 있다.

이에 2015년부터 제조업체와 이용자 간 서로 다른 기술을 적용할 우려가 있어 마을 공지사항 안내시스템에 대한 기술표준의 제정 및 개정을 추진해 오고 있으며, 전용 주파수 대역에 관한 음성 및 데이터, 보이스 코덱, 제어 프로토콜 표준화를 진행함으로써 기존 무선 마을방송시스템의 사회문제 및 시설노후화로 인한 성능 저하 등의 문제점을 극복해 나가고 있다[2]. 또한, 원활한 마을 공지사항 안내 시스템을 제공하고 시범 사업화를 위하여 전파분석 시스템(SMIS; spectrum management intelligence system)을 이용하여 서비스 커버리지에 대한 효율적 예측방법[3],[4]과 스펙트럼 분석기를 이용하여 지형별 환경에 대한 영향이 반영되도록 전파 측정을 실시하여 마을 방송시스템 구축에 필요한 전파특성에 대한 실질적 분석이 이루어졌다[5].

그림 1의 무선 마을방송시스템에 송수신기로 사용되는 간이무선국의 대표적 표준으로는 미국의 Project 25(P25) 방식[6], 유럽의 dPMR(digital private mobile radio) 방식[7] 및 DMR(digital mobile radio) 방식[8]을 들 수 있다.

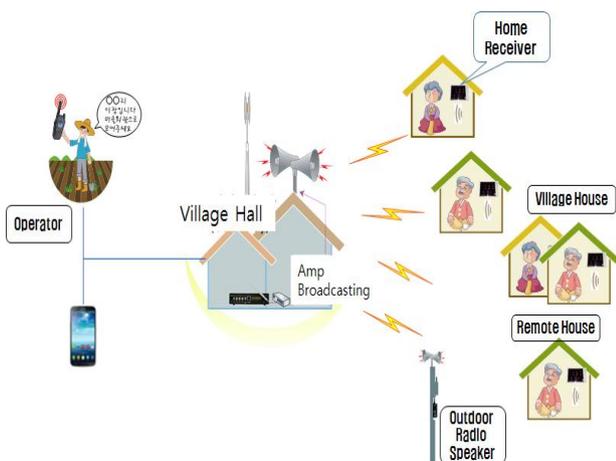


그림 1. 무선 마을방송시스템.

Fig. 1. Village broadcasting radio system.

P25 방식은 현재 ‘Phase 2’라 부르는 TDMA(time division multiple Access) 기술을 채택하여 700 MHz 대역에서 대역폭 12.5 kHz의 공공안전시스템용 채택되었다. dPMR 방식은 4FSK(frequency shift keying) 변조방식의 FDMA(frequency division multiple access) 기술을 채택하여 400 MHz 대역에서 대역폭 6.25 kHz의 간이업무에 이용되고 있으며, DMR 방식은 dPMR과 동일 대역에서 4FSK 변조방식의 TDMA 기술을 사용하여 대역폭 12.5 kHz의 일반 업무용으로 사용되고 있다.

국내에서는 수년전부터 이와 같은 간이무선국용 표준을 사용한 무선 마을방송시스템이 구축되고 있으므로 본 연구에서는 이들 간이무선국의 방사마스크(emission mask)와 같은 시스템 특성 및 전파모델을 분석하여 이웃 마을간의 주파수 간섭 가능성을 분석한다. 여기서는 SEMCAT(spectrum engineering advanced monte carlo analysis tool)을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 간섭분석 결과를 제시하여 향후 무선 마을방송시스템의 효율적인 구축을 위한 데이터를 제공하고자 한다.

II. 마을방송시스템

1) 간섭 시나리오

무선 마을방송시스템은 마을회관에 무선 송신시스템을 설치하고 각 가구마다 수신시스템을 구비하여 운용자가 모든 마을 구성원에 일반 공지 또는 유사시 긴급 공지안내를 위한 목적으로 개발되었다. 각 마을마다 다른 주파수 채널로 음성 또는 데이터를 전송하고 있으나, 향후 주파수 채널의 부족으로 인해 그림 2에 보이는 간섭 시나리오와 같이 이웃한 마을 간, 특히 마을경계에 위치한 가구에 동일채널 및 인접채널 간섭이 예상되고 있다.

2) 시스템 파라미터

현재 마을단위로 구축되고 있는 400 MHz 대역 dPMR 및 DMR 방식의 간이무선국을 이용한 공지사항 안내시스템을 고려하면, ETSI(European Telecommunications Standards Institute)의 간이무선국 12.5 kHz 및 6.25 kHz 대역폭에 대한 규격[9]과 국내 간이무선국 기술기준[1] 규정에 의해 본 간섭분석에 사용되는 송수신 파라미터를 각각 표 1에 나타내었다.

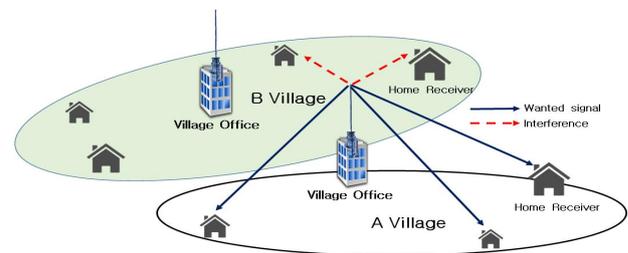


그림 2. 간섭 시나리오.

Fig. 2. Interference scenario.

표 1. 시스템 파라미터.

Table 1. System parameters.

Parameters	Tx	Rx
Frequency(MHz)	422	
Bandwidth(kHz)	12.5 kHz or 6.25 kHz	
Ant. type	Omni-directional	
Ant. height(m)	10 m	1.5 m
Ant. gain(dBi)	0	
Power(W)	5	-
Emission mask	Fig.3	-
Rx sensitivity(dBm)	-	-116
Interference threshold(dBm)	-	-127(6.25 kHz BW) -124(12.5 kHz BW)

표 2. 대역폭 6.25 kHz의 방사 마스크.

Table 2. Emission mask for 6.25 kHz bandwidth.

Frequency offset(f)	Required attenuation(dB)
$0 \leq f \leq 3kHz$	0
$3 < f \leq 4.6kHz$	The lowest attenuation of the following values $30 + 16.67(f - 3kHz)$ $55 + 10\log(P)$ 65
$4.6kHz < f$	The lowest attenuation of the following values $55 + 10\log(P)$ 65

표 3. 대역폭 12.5 kHz의 방사 마스크.

Table 3. Emission mask for 12.5 kHz bandwidth.

Frequency offset(f)	Required attenuation(dB)
$0 \leq f \leq 5.625kHz$	0
$5.625 < f \leq 12.5kHz$	$7.27(f - 2.88kHz)$
$12.5kHz < f$	The lowest attenuation of the following values $55 + 10\log(P)$ 70

표 4. 수신기 선택성.

Table 4. Receiver selectivity.

6.25 kHz	12.5 kHz	Attenuation (dB)
Δf (kHz)		
0	0	0
1.75	3	0
2.25	4.25	6
6.25	12.5	60
$6.25 < f < 25$	$12.5 < f < 25$	60
$25 \leq f < 100$	$25 \leq f < 100$	70
≥ 100	≥ 100	90

한편, 표 1의 방사 마스크 파라미터는 채널 대역폭이 6.25 kHz와 12.5 kHz인 경우, 각각 FCC(Federal Communications Commission) Part 90.210 Emission Mask E[10]와 Emission Mask D[10]에 근거하여 표 2 및 표 3에 주파수에 따라 요구되는 최대 방사전력(P)에 대한 감쇠특성 규정을 요약하였으며, 이를 그림 3에 나타낸다.

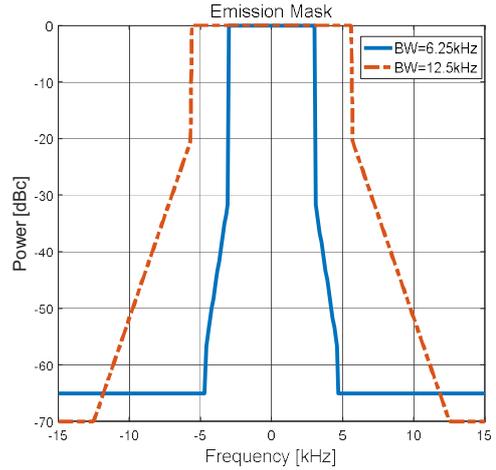


그림 3. 방사 마스크.

Fig. 3. Emission Mask.

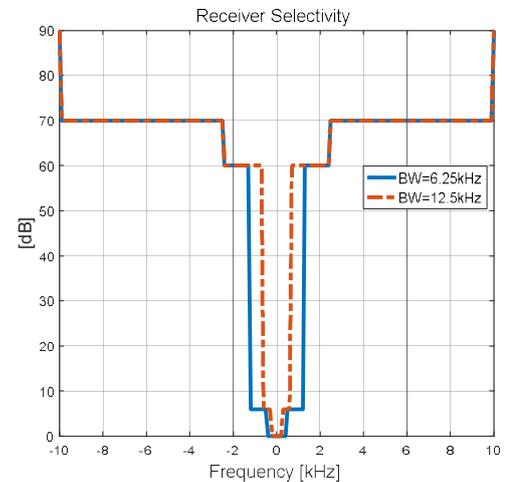


그림 4. 수신기 선택성.

Fig. 4. Receiver selectivity.

3) 수신 선택성

수신기 선택성(selectivity)은 ETSI EN 300 113-1[11]에 나와 있는 수신기 인접채널 선택성, 상호변조 제거(intermodulation rejection), 스푸리어스 차단(spurious blocking)을 위해 적용 가능한 제한값을 나타내며, 6.25 kHz와 12.5 kHz 대역폭에 대한 수신기 선택성 특성을 표 4 및 그림 4에 나타낸다.

4) 전파특성

간섭분석을 위해 무선 마을방송시스템은 송수신이 고정으로 이동통신과는 다르게 이전부터 FS(fixed service)에 적용해 온 ITU-R P.452[12] 전파모델을 사용한다. 이 지상의 경로손실 메커니즘(mechanism)은 BLOS(beyond line-of-sight)와 해상경로에서 적용 가능한 메커니즘을 포함하여 회절손실(diffraction loss) L_d , 클러터손실(clutter loss) A_h , 가스감쇠 A_g 를 고려하여

다음과 같이 표현된다.

$$PL(r) = 92.5 + 20\log(f) + 20\log(r) + L_d + A_g + A_h \tag{1}$$

여기서, f (GHz)는 주파수, r (km)는 송수신시스템간의 거리이다.

III. 시뮬레이션

그림 5는 20000번의 시뮬레이션 횟수를 갖는 간섭시나리오 예로서 마을 A 중앙에 하나의 VLT(victim link transmitter)와 많은 VLR(victim link receiver)들이 반경 2 km 내에 랜덤분포하고, 마을 B의 중심은 마을 A의 중심으로부터 ($x = 2$ km, $y = 2$ km)에 놓일 때를 가정하였으며, 마을 B에는 VLR에 간섭을 주는 송신기인 ILT (interfering link transmitter)들이 랜덤하게 분포하고, 또한 간섭원의 수신기인 ILR(interfering link receiver)들도 랜덤하게 분포하는 것으로 가정한다.

3-1 C/I 기준에 의한 간섭

간섭기준 C/I(carrier to interference ratio) 값을 5 ~ 19 dB로 변화시켜 6.25 kHz 대역폭의 dPMR 시스템 및 12.5kHz 대역폭의 DMR 시스템 간섭확률을 그림 6에 나타내었다. 대역폭이 넓은 시스템이 간섭영향이 크며, C/I = 5 dB 간섭기준에서 두 시스템간의 간섭확률 차이는 약 12 % 정도 DMR 시스템이 큰 간섭영향을 보인다. 또한 간섭기준 값에 따라 간섭영향이 큰 차이를 보이고 있으며, dPMR 시스템은 C/I = 5dB를 기준으로 간섭확률이 55 %에서 기준이 19 dB로 높아지면 간섭확률은 91 %로 증가한다. 마찬가지로 DMR 시스템은 66 %에서 93 %로 증가하고 있다.

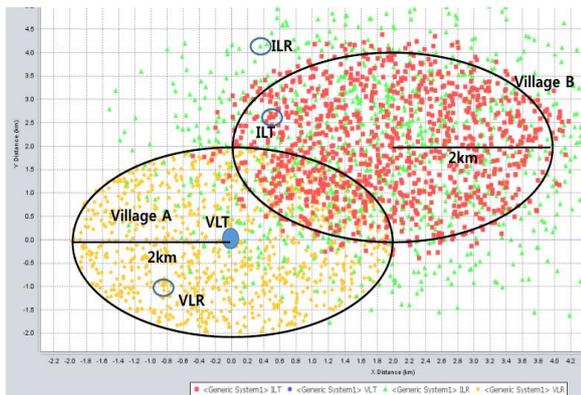


그림 5. 간섭원 분포.
Fig. 5. Interfering sources distribution.

한편, 수신기의 수신감도(sensitivity)는 표 1에서 -116 dBm 이고, 12.5 kHz 대역폭 잡음지수(noise floor)는 -132 dBm이므로 이로부터 C/(I+N) = 16 dB, 즉 C/I = 19 dB를 간섭기준으로 분석한다.

3-2 동일채널 간섭

동일채널 간섭환경에서는 간섭을 줄이기 위한 방안으로서 송신전력을 줄이거나 이격거리(separation distance)를 증가시켜야 한다. 여기서는 그림 5의 VLT를 (0,0)로 놓고 간섭원의 분포 중심을 (x, y) 변수로 하여(여기서, $x = y = d$ km), 이격거리 d 에 따른 간섭전력 iRSS(interfering received signal strength)의 CDF(cumulative distribution function) 특성을 그림 7에 나타내었고, 간섭기준 C/I = 19 dB 일 때의 간섭확률을 표 5에 정리하였다.

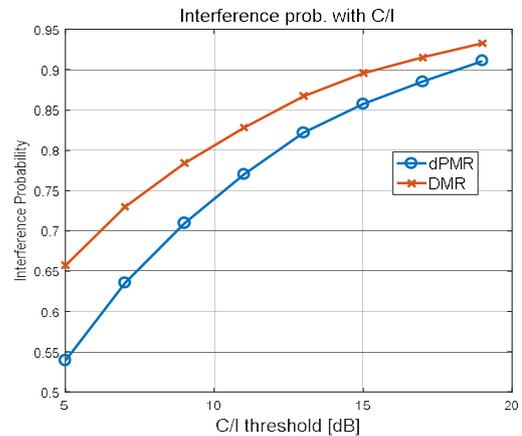


그림 6. C/I기준에 의한 간섭확률.
Fig. 6. Interference probability with C/I threshold.

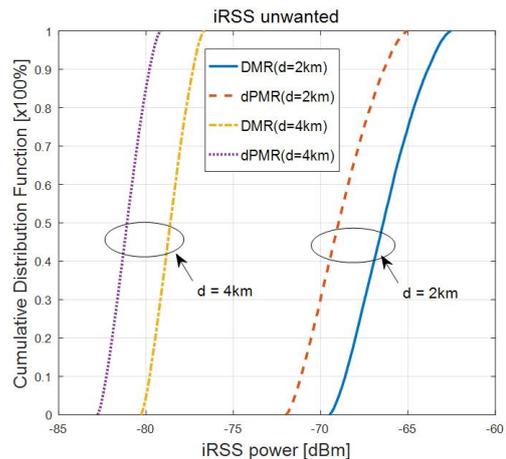


그림 7. 이격거리에 따른 iRSS CDF.
Fig. 7. iRSS CDF with separation distance.

그림 7의 CDF 분포로부터 이격거리에 따라 간섭전력은 iRSS 값은 낮아지며, 대역폭이 넓을수록 강한 간섭이 나타남을 알 수 있다. 예를 들어, 이격거리 $d = 2 \text{ km}$ 인 경우 DMR과 dPMR 시스템에 따라 각각 $-69 \sim -63 \text{ dBm}$ 및 $-72 \sim -65 \text{ dBm}$ 인데 반해, 이격거리 $d = 4 \text{ km}$ 로 증가하면, 그 값은 각각 $-80 \sim -77 \text{ dBm}$ 및 $-83 \sim -79 \text{ dBm}$ 으로 낮아진다.

한편, 표 5에 구해진 간섭확률도 마찬가지로 이격거리가 증가함에 따라 감소하고 있으며, dPMR 시스템인 경우 이격거리 $d = 7 \text{ km}$ 이상, DMR 인 경우는 이격거리 $d = 8 \text{ km}$ 이상이면 간섭이 전혀 없음을 알 수 있다.

3-3 인접채널 간섭

인접채널 간섭에서는 그림 4의 수신기 선택성에 의한 영향이 매우 중요하며, 그림 8과 같이 피간섭 수신기 선택으로 들어오는 간섭전력은 간섭원의 송신전력, 수신기 차단특성, 주파수 오프셋(offset), 안테나 이득 및 전파손실 등에 의해 결정된다.

표 5. 이격거리에 따른 간섭확률.

Table 5. Interference probability with separation distance.

$d(\text{km})$	2	3	4	5	6	7	8
dPMR	0.91	0.80	0.64	0.41	0.12	0.0	0.0
DMR	0.93	0.85	0.72	0.56	0.34	0.07	0.0

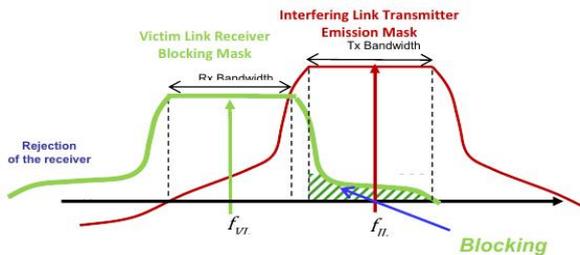


그림 8. 수신기의 차단특성.

Fig. 8. Blocking of the victim receiver.

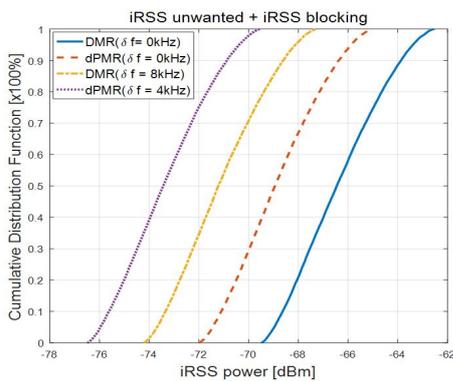


그림 9. 주파수 오프셋에 따른 iRSS CDF.

Fig. 9. iRSS CDF with frequency offset.

여기서는 그림 5와 같이 이격거리 $d = 2 \text{ km}$ 로 고정하여 채널간 주파수 오프셋 따른 간섭전력을 분석하여, 그림 9에 수신기 차단특성에 의한 iRSS CDF를 보인다. 대역폭이 12.5 kHz 인 DMR 시스템은 주파수 오프셋 $\Delta f = 8 \text{ kHz}$ 에서 -6 dBm 정도의 간섭전력이 낮아지며, 대역폭 6.25 kHz 의 dPMR 시스템에서는 주파수 오프셋 $\Delta f = 4 \text{ kHz}$ 에서 동일한 -6 dBm 저감효과를 보이고 있다.

한편, 표 6에 구해진 간섭확률은 주파수 오프셋이 증가함에 따라 감소하고 있으며, dPMR 시스템인 경우 주파수 오프셋 $\Delta f = 7 \text{ kHz}$ 이상, DMR 시스템인 경우 주파수 오프셋 $\Delta f = 12 \text{ kHz}$ 이상이면 간섭이 전혀 없음을 알 수 있다. 즉, 대역폭이 상으로 채널을 분리하면 이웃 마을간에 간섭 없이 마을방송시스템을 운영할 수가 있다.

여기서는 동일채널간섭과 인접채널 간섭에 의한 주파수 재사용 및 채널분리에 대한 분석을 위해, 그 예로서 DMR 시스템에 대해 동일채널 간섭과 인접채널 간섭 영향을 3차원으로 표현하여 그림 10에 나타내었다. 평평한 면적에 해당하는 즉, 간섭확률이 0인 지점에서 주파수 재사용과 채널분리 등을 판단할 수 있다. 예를 들어 간섭없이 마을방송을 운용하기 위해서는 이격거리 2 km 에서는 주파수 오프셋이 12 kHz 이상이어야 하지만, 이격거리가 6 km 에서는 주파수 오프셋은 8 kHz 로 작게 가져 갈 수 있다.

표 6. 주파수 오프셋에 따른 간섭확률.

Table 6. Interference probability with separation distance.

$\Delta f(\text{kHz})$	0	2	4	6	7	10	12
dPMR	0.91	0.89	0.85	0.40	0.0	0.0	0.0
DMR	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.83	0.0

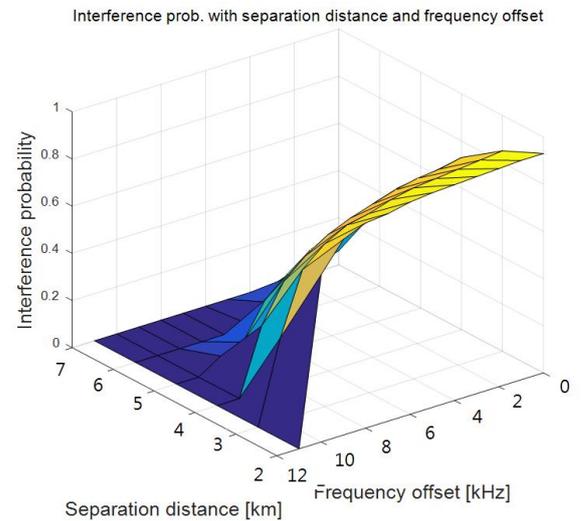


그림 10. DMR 간섭확률.

Fig. 10. Interference probability of DMR.

IV. 결 론

본 연구에서는 현재 국내에서 구축되고 있는 UHF(Ultra High Frequency) 간이무선을 이용한 마을공지 안내시스템과 관련하여 대표적인 간이무선 시스템인 dPMR 및 DMR 방식을 사용한 마을방송 구축에 있어 주파수 부족으로 인한 이웃마을간의 간섭문제를 분석하였다. 동일채널 간섭을 분석하여 마을간 이격거리에 따른 간섭확률 및 간섭전력 분포에 의해 간섭이 심한 DMR 방식을 기준으로 마을간 적어도 8km 이상으로 분리되어 있으면 동일채널 사용이 가능해진다. 또한, 인접채널 간섭분석을 통해 두 방식 모두 대역폭만 이상의 한 채널이 분리되어 있으면 마을간에 전혀 간섭 없이 마을방송 운용이 가능하다. 그러나 여기서의 분석은 마을의 지형지물을 전혀 고려하지 않은 이상적인 전파환경을 고려하였으며, 향후 GIS(geographic information system)를 고려한 간섭분석이 이루어진다면 마을간 이격거리나 채널의 주파수 오프셋 값이 달라질 수도 있다.

Acknowledgments

본 연구는 2017년도 정보통신 방송 표준개발 지원사업(과제 번호: R0127-15-1001)의 일환으로서, 관계부처에 감사드립니다.

References

[1] RRA, Technical regulation notification, [Online] RRA, notification July.2014. [Internet]. Available: https://members.vto.org/cnattachments/2014/tbt/KOR/14_1428_01_x.pdf

[2] S. K. Yang and S. B. Lee, Wireless connection protocol of dPMR Digital Narrowband Radio (6.25 kHz FDMA), TTA, Technical Report TTAE.ET-TS 102 658, Dec. 2015

[3] D. S. Choi and Y. H. Kang, "Standardization of the village announcing system using a private mobile radio," in *Proceeding of the 27th Annual Symposium on The Korean*

Institute of Electromagnetic Engineering and Science Institute, Seoul: Korea, Nov. 2015.

[4] D. S. Choi , and Y. H. Kang, "A service coverage analysis for the digital radio village broadcasting system," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 6, pp. 630-635, Dec. 2015.

[5] D. S. Choi , Y. H. Kang, "Measurement analysis of propagation for the digital radio village broadcasting system," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 6, pp. 630-635, Dec. 2016.

[6] <http://www.qsl.net/kb9mwr/projects/dv/apco25/APCO%20P25%20Standards.pdf>

[7] ETSI, Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); digital private mobile radio (dPMR) using FDMA with a channel spacing of 6,25kHz, [Online] TS 102 658, Feb. 2013. Available: <http://www.etsi.org>

[8] ETSI, Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); digital mobile radio (DMR) general system design, [Online] TS 102 398, Jan. 2013. Available: <http://www.etsi.org>

[9] ACMA, Derivation of 400MHz band land mobile frequency-distance constraints used in RALI LM8, Aug. 2014.

[10] FCC Regulation Part 90, FCC 90.210: Emission Masks; FCC 90.211: Adjacent channel power limits.

[11] ETSI EN 300 113-1, Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters(ERM); Land mobile service; Radio equipment intended for the transmission of data (and/or speech) using constant or non-constant envelope modulation and having an antenna connector; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement European Standard, Nov. 2011.

[12] ITU, Prediction procedure for the elevation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1GHz, Recommendation ITU-R P.452-16, July 2015.

강 영 흥 (Young-Heung Kang)



1984년 2월 : 한국항공대학교 통신공학과 (공학사),
 1993년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학박사),
 1995년 8월~1996년 8월 : 일본 오사카대학 개원교수,
 1990년 4월~현재 : 군산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
 ※관심분야 : 위성통신, 이동통신, 표준화, 전파전파

1986년 2월 : 한국항공대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1988년 3월~1990년 2월 : 한국항공대 통신공학과 조교
 2003년 8월~2005년 2월 : 영국 York대학 방문교수