차량용 레이더와 전파 천문 업무 사이의 간섭영향 연구

윤혜주*, 이일규**, 정용준***

The Interference Impact between Automotive Radar and Radio Astronomy Service

Hyeju Yun*, Ilkyoo Lee**, Yongjun Chung***

요 약

국제적인 차량용 레이더는 22~26㎓ 대역을 사용할 수 있도록 규정하고 있으나, 최근 전반적으로 위 주파수대역은 이용을 종료하는 추세이며, 차량의 사각지대 및 보행자 감지용 고해상도 차량용 레이더 도입을 위해 밀리미터파 대역 중 77~81㎓대역의 광대역 레이더로 전환할 예정이다. 그러나 현재 국제적으로 71~275㎓대역은 전파천문우주 연구를 위한 업무로 사용하도록 규정되어 있다. 이에 따라 위 대역의 차량용 레이더와 국내 전파천문업무 사이에 간섭이 있을 것으로 예상되어 간섭영향을 분석하고 보호이격거리를 도출하였다.

Key Words : Vehicle Anti-collision radar, Radio astronomy service, millimeter wave, Automotive radar, Interference Impact

ABSTRACT

The global automotive radar is regulated to use the 22㎓~26㎓ band. However, it plans to move to the 77~81㎓ band of a broadband radar in the millimeter wave for the high resolution of pedestrian sensing and blind spot. On the other hand, the 71~275㎓ band is regulated to use a radio astronomy service. The interference is predicted between an automotive radar and a radio astronomy service. Therefore, this paper analyzed the interference impact of the automotive radar on the radio astronomy service and then obtained separation distance for the protection of the radio astronomy service.

I. 서 론

최근 무선통신 산업의 발전에 따라 밀리미터파 대역 기술은 단거리 통신, 실내 통신, 초고속 광대역 통신, 차량용 레이더 등 여러 분야에 폭 넓게 응용되고 있다. 밀리미터파 대역은 주파수가 30㎓이상 300㎓이하의 범위이며, 파장의 길이가 밀리미터 정도이므로 밀리미터파라고 정의하였다. 밀리미터파 센서는 초음파 센서, 마이크로파 센서와 비교하여 온도, 습도 등의 기후 조건에 영향을 적게 받고 안개, 연기 등에 대한 투과력이 높으며 소형·경량화 특성의 장점을 지닌다[1]. 특히 차량용 레이더 분야는 차량의 안전 및 보행자의 보호에 대한 핵심 요소로 현재 전 세계적으로 연구가 꾸준하게 진행중이며, 이를 운용하기 위한 추가 주파수 분배를 논의 중에 있다. 차량용 레이더는 차량 충돌 예측 및 방지 기술을 적용하여 교통사고로 인한 사망사고를 감소시키기 위한 기술로 특히, 79㎓ 대역의 차량레이더는 보행자 안전을 위한 차량용, 차선 변경 보조 및 사각지대 감지를 목적으로 도입될 예정이다[2].

한편 전파천문 업무는 우주에서 들어오는 우주전파를 전파망원경으로 수신하여, 순수천문연구 분야 외에도 초정밀 위치 측정연구, 지진 및 대륙 이동에 관련된 지구 지각 운동 연구, 지구 회전축의 변화 관측 및 지구 물리 연구 등의 분야에서 연구가 진행 중이다. 특히, 밀리미터파 대역 이상에서는 수천가지 이상의 다양한 성간분자들이 지상의 전파망원경으로 확인되고 있다[3].

국제적으로 71~275㎓대역은 현재 전파천문우주 연구를 위한 업무로 사용하도록 규정되어 있다. 국내의 경우도 국제분배와 동일하며, 77.75㎓와 78.5㎓와 80.0㎓는 아마추어국 지정주파수로 지정되었으나 현재 무선국이 없는 상태이다[3]. 전파천문업무는 다른 업무와는 다르게 전파를 수신만하

※ 이 논문은 그린카기술연구소의 재원으로 공주대학교 산학협력단의 지원을 받아 수행된 연구 결과임
*공주대학교 전기전자제어공학과 나노무선시스템연구실 (hyeju4413@kongju.ac.kr)
**공주대학교 전자전자제어공학부 부교수(leeik@kongju.ac.kr), 교신저자 : 이일규
***공주대학교 정보통신공학과 (Yong-jun.Chung@etsi.org)
접수일자 : 2014년 8월 8일, 수정완료일자 : 2014년 8월 21일, 최종게재확정일자 : 2014년 8월 29일

고 송신하지 않는 수동업무가 있다. 그래서 다른 업무에 거의 영향을 미치지 않는다. 물론 지구탐사위성업무와 우주탐사업무는 예외로 능동업무도 겸비하고 있다. 그러나 우주에서 전파를 수신만하는 업무이기에 다른 업무에 비해 전파간섭을 줄 일이 없지만 작은 세기의 미약한 신호인 우주전파를 수신하는 특성상 외부 업무에 전파간섭에 민감하고 보호가 필요하다[4].

따라서 본 논문에서는 77~81㎓대역에서 차량용 레이더를 사용함에 따라 국내 전파천문업무에 미치는 간섭여부 및 간섭영향을 분석하였다.

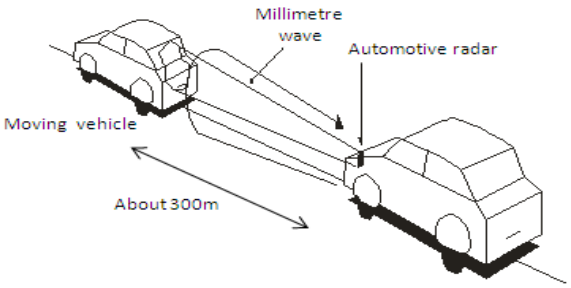

그림 1. 차량용 레이더 개념도

Ⅱ. 표준화 동향 및 주파수 이용 현황

1. 차량용 레이더의 표준화 동향

ITU(International Telecommunication Union)는 '00년 60~76㎓에서 동작하는 저전력 단거리 차량레이더 장비 권고를 제정된 이래, '09년 지능형 교통시스템 응용을 위한 밀리미터 웨이브 시스템 권고로 개정되었으며, '12년 차량용 레이더 내용을 추가하여 재개정되었다. 또한 차량용 레이더의 개념을 다음과 같이 두 가지로 정의하였고, 레이더의 방식 및 특성 등의 요구사항을 권고하였다[2].

카테고리 1. 76~77㎓ 대역에서 운영되어 약 300m까지 전방의 차량충돌 방지, 적응적 주행제어 레이더 시스템 카테고리 2. 77~81㎓ 대역에서 운영되어 약 100m 전후의 통행 장애물과 사각지대 감지 및 차선 이탈 경보 레이더 시스템 또한 WRC-15 의제로 차량 단거리 고해상도 레이더 운용을 위한 77.5~78㎓대 무선 측위 주파수 분배 연구에 대해 논의될 예정이며, 위 의제를 검토하여 79㎓ 차량레이더의 운용 특성과 공유연구 범위 등을 모색할 예정이다.

2. 주파수 이용 현황

국제적인 차량용 레이더는 ITU-R SM.1755에서 UWB 차량용 레이더 대역은 22.125~26.125㎓ 대역을 사용할 수 있도록 규정하고 있으나, 23.6~24.0㎓대역은 전파규정(Radio Regulation) 5.340에서 모든 전파발사를 금지하고 있으므로 이에 따라 유럽은 24.25~26.64㎓대역만 근거리 차량레이더용 주파수로 사용하도록 규정하였다. 또한 77~81㎓대역의 광대역 레이더로 전환할 예정이다. 일본도 22~26.65㎓대역의 장비를 2016년까지 사용하는 것으로 규정하고 있고, 79㎓ 대역의 고해상도 레이더에 대한 규정을 마련 중에 있다. 미국은 사용기간의 제한 없이 22~29㎓을 계속 차량용 레이더로 사용하고 있으며 79㎓대역에서 차량용 레이더와 전파천문업무와의 공유 시험을 통해 반경 30km 내에서 차량용 레이더가 전파천문업무에 상당한 영향을 미치는 것으로 간섭 가능성을 확인하였다[5]. 중국은 65~95㎓ 대역에 전파천문업무 주파수로 규정하고 있다. 79㎓ 대역에서 차량용 레이더가 전파천문업무에 주는 간섭영향을 분석한 결과, 반경 30km 내에서 간섭 가능성을 확인하여 위 대역에 대한 차량용 레이더의 규정이 없는 상태이다[6]. 그러나 국제적으로 24㎓대역 주파수는 이용을 종료하는 추세이며, 79㎓의 차량용 레이더로 주파수 분배 방안을 검토 중이다.

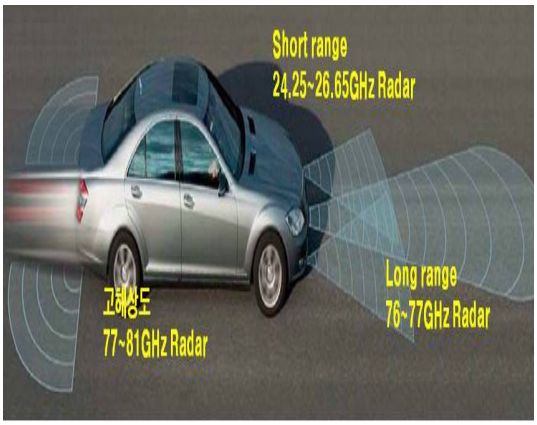

그림 2. 주파수에 따른 차량용 레이더 분배

그림 2와 같이, 우리나라 역시 차량용 레이더 주파수로 24.25~26.65㎓대역과 76~77㎓ 대역을 분배하였다. 24.25~26.65㎓대역은 적응주행제어, 충돌경보, 충돌완화장치, 차선이탈경보에 대한 기능을 포함하고 있으며, 76~77㎓대역은 차량 충돌경보 기능만 가능하도록 되어 있다. 77~81㎓대역은 유럽을 중심으로 24.25~26.65㎓대역의 대체를 위해 사각지대 및 보행자 감지용 고해상도 차량용 레이더 도입을 위한 무선탐지 업무로 신규 분배하는 방안을 검토 중이다.

Ⅲ. 간섭시나리오 및 분석 파라미터

1. 간섭시나리오

차량용 레이더와 국내 전파천문업무 간 주파수 공유를 위한 간섭 시나리오는 그림 3과 같이 간섭원을 차량용 레이더로 하고, 희생원을 전파천문업무로 설정하였다. 희생원인 전파천문대를 중심으로 반경 500km 이내에서 최대 방사평균

전력 스펙트럼 밀도를 -3dBm/㎒를 갖는 단일 차량용 레이더가 전파천문업무에 미치는 간섭확률을 구하도록 구성하였다[7].

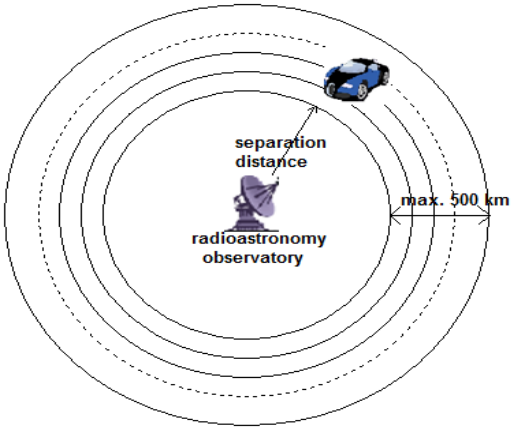

그림 3. 단거리 차량용 레이더에 의한 전파천문업무의 간섭영향을 분석하기 위한 시나리오

2. 간섭원 파라미터

간섭원으로 설정한 차량용 레이더는 전면 응용을 위한 고해상도 차량레이더이며, 약 100m 전후의 통행 장애물과 사각지대 감지 및 차선 이탈 경보 레이더 시스템으로 표 1과 같은 특성을 갖는다[7].

표 1. 차량용 레이더 파라미터

파라미터	레이더 B
사용되는 주파수대역[㎓]	77-81
방사유형	Fast-FMCW
필요한 대역폭 [㎓]	4
Chirp 대역폭 [㎒]	2000
최대 유효 등방성 안테나 전력 [dBm]	33
최대 송신 안테나 전력 [dBm]	10
최대 불요발사 전력 밀도 [dBm/㎒]	-30
수신 IF 대역폭 (-3dB) [㎒]	10
수신 IF 대역폭 (-20dB) [㎒]	15
수신 감도	-120dBm [5㎒ IF BW]
수신 잡음지수 [dB]	12
주요 안테나 빔폭 [dBi]	TX: 23 , RX: 16
안테나 높이 [m]	도로 위 0.3-1 m

간섭원의 최대방사 평균전력 스펙트럼 밀도 제한치는 각 표 2에 제시된 바와 같고, 그림 4에 표현하였다[8].

표 2. 차량용 레이더의 방사 제한

주파수 범위[㎓]	방사 대역 외 제한 레벨 [dBm/㎒]
25~77	-30
77~81	-3
81~100	-30

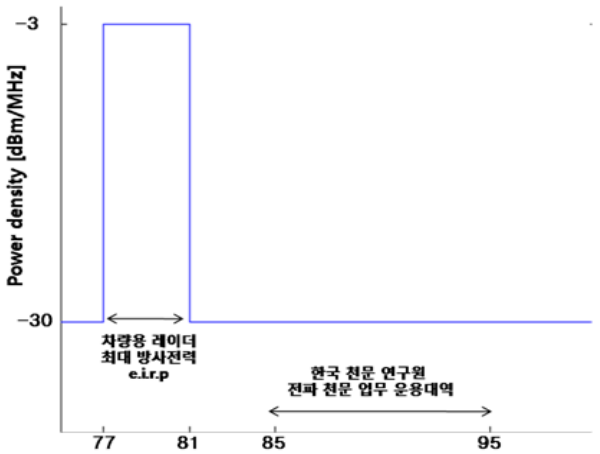

그림 4. 차량용 레이더의 스펙트럼 마스크

3. 희생원 파라미터

국내 전파천문 수신기는 표 3에 제시하였고, 그 중에 희생원으로 고려한 전파천문업무는 차량용 레이더의 사용주파수 77~81㎓대역과 가장 인접한 운용대역으로 85~95㎓를 가진 그림 5의 한국천문연구원인 연세, 울산, 탐라 전파 천문대로 설정하였다.

위 세 천문대에서 사용하는 전파망원경은 VLBI(Very Long Baseline Interferometer)시스템으로, 전파천문학뿐 아니라 전파, 통신, 천문, 측지, 지진 등 다양하게 국가의 중요 연구를 수행하고 있다[3].

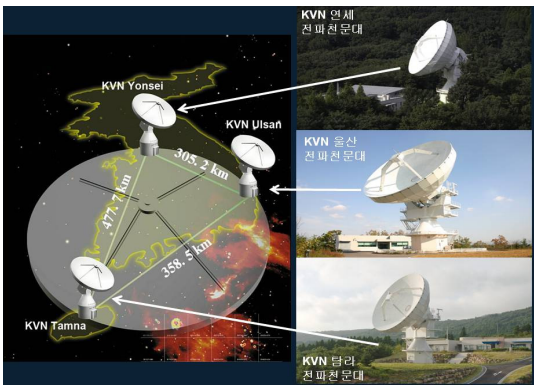

그림 5. 85~95㎓ 사용하는 전파천문대

표 3. 국내 전파천문업무 운용 현황

전 망 대	경 도 [°, ′ , ″]	위 도 [°, ′ , ″]	안테나 크기 [m]	운용 대역
TRAO (한국천문연구원, KASI)	127,22,18	36,23,54	13.7	86~16GHz
KVN, Yonsei Univ. (한국천문연구원, KASI)	126,56,35	37,33,44	21	6.7~7.8GHz, 22~24GHz, 42~44GHz, 85~95GHz, 124~141GHz
KVN, Ulsan Univ (한국천문연구원, KASI)	129,15,04	35,32,33	21	
KVN, Tamna Univ. (한국천문연구원, KASI)	126,27,43	33,17,18	21	
K-SRBL(태양전파) (한국천문연구원, KASI)	127,22,18	36,23,54	2 x 2	45~870MHz 0.25~18GHz (연속파)
IRS (태양전파) (RRA, MIC)	127,32,58	37,09,01	6, 10	30~100MHz, 100~500MHz, 500~2800MHz
SRAO (Seoul Natl. Univ.)	126,57,19	37,27,15	6	85~115GHz, 200~270GHz
SRT (Geongi High School)	127,00,07	37,18,48	2	1400~1427MHz
※ 21m 전파망원경 대역별 용도 : 6.7~7.8GHz(측지용), 21.5~23.5GHz(천문용), 42.11~44.11GHz(천문용), 85~95GHz(천문용), 124~141GHz(천문용)				

전파천문업무는 다른 업무와는 달리 전파를 수신만 수동 업무로써, 상당히 미약한 신호를 받는 특징이 있고, 희생원은 표 4와 같이, 최대 -198dBm/MHz의 수신 전력 스펙트럼 밀도의 크기까지 수신할 수 있다.

표 4. 희생원의 최대 허용 가능한 수신 전력 스펙트럼 밀도

전파천문 업무 최대 허용 가능한 전력스펙트럼 밀도	-198dBm/MHz

또한 희생원의 간섭기준을 고려하여 설정한 희생원의 보호비와 보호비를 고려한 허용가능한 간섭전력스펙트럼밀도 값을 표 5에 나타내었다[9].

표 5. 희생원의 보호비(C/I) 및 허용가능한 간섭전력스펙트럼 밀도

보호비(C/I)	13dB
허용가능한 간섭전력스펙트럼 밀도	-211dBm/MHz

Ⅳ. 간섭분석 결과

1. 전파경로손실을 이용한 간섭분석

간섭원인 차량용 레이더의 송신으로부터 희생원인 전파천문대의 수신이 간섭 받을 수 있는 전파경로손실은 식 1과 같이 대기 감쇠, 지구 방위를 고려한 손실 및 전파천문업무 거리와 시간비율에 따른 손실 등을 고려할 수 있다. 이를 바탕으로 간섭원에 의한 희생원의 간섭영향을 분석하고, 필요한 보호 이격 거리를 도출하였다[6].

$$L(p_1) = \gamma_{gm} d + FSL + 2.6\left[1-\exp\left(\frac{-d}{10}\right)\right]\log\left(\frac{p_1}{50}\right) + A_d \quad (1)$$

거리에 따른 대기 감쇠는 식 2와 같다.

$$\gamma_{gm} d = 0.374(dBm/km) * d \quad (2)$$

γ_{gm}[dB/km]: 대기 감쇠

d[km] : 보호 이격 거리(반지름)

전파모델은 자유공간손실모델로 설정하여 식 3과 같고, 주파수는 간섭원과 가장 인접한 희생원 주파수인 85GHz로 설정하였다.

$$\begin{aligned} FSL(dBm) &= 20\log(f[MHz]) + 20\log(d[km]) + 32.44 \\ &= 20\log(85{,}000) + 20\log(d[km]) + 32.44 \end{aligned} \quad (3)$$

희생원과 간섭원의 사이의 거리와 희생원의 업무 시간 비율에 따른 신호세기 변화는 식 4와 같다.

$$E(p_1, d) = 2.6\left[1-\exp\left(\frac{-d}{10}\right)\right]\log\left(\frac{p_1}{50}\right) \quad (4)$$

E(p1,d) : 거리와 시간 비율에 따른 신호 변화

p1 : 연간 업무 시간 비율

d : 단거리 차량 레이더와 전파 천문대의 이격 거리

식 4를 가지고 거리와 업무 시간비율에 변화에 따른 신호세기 값을 그림 6에 나타내었다. 분석 결과, 업무 시간 비율이 낮을수록 신호세기(E)가 낮아지고 따라서 전파경로손실 값도 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

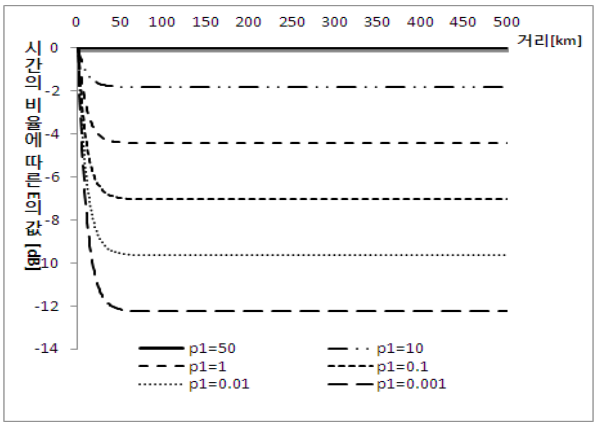

그림 6. 거리 및 시간 비율에 따른 신호 세기 변화 분석결과

A_d는 식 5과 같이 지구의 각 방위에 따른 거리를 고려한 손실로써 일반적인 위치 차폐 및 위치에 의한 손실을 의미한다. 방위각(Θ_h)은 35^0, 주파수는 85㎓로 가정하였다.

$$A_d = 15\left[1-\exp\left(\frac{0.5-d_h}{5}\right)\right]\left[1-\exp\left(-\theta_h f^{1/3}\right)\right] \quad (5)$$

A_d[dB]: 지구의 각 방위에 따른 거리를 고려한 손실

d_h : 수평거리

Θ_h : 방위각

수평거리(dh)는 5km를 기준으로, 0~5km 일 때 최소 0dB에서 최대 8.9dB값을 갖으며, 5km이후엔 8.9dB로 일정한 값을 유지한다.

식 1의 전파경로손실은 간섭원의 송신전력과 희생원의 보호비(C/I=13dB)를 고려한 허용 가능한 최대 간섭신호레벨(-185dBm/㎒)의 차로써 식 6과 같이 전파경로손실 L(p1) 값을 얻었다.

$$P_r = P_t - L(p1) + 10\log(N_i) \quad (6)$$
$$P_r = P_t - L(p1) + 10\log(1)$$
$$P_r = P_t - L(p1)$$
$$L(p1) = P_t - P_r = -30-(-211) = 181dB$$

P_t : 단일 차량용 레이더의 유효 등방성 방사 송신전력 밀도

P_r : 전파 천문대의 최대 허용 수신간섭전력 스펙트럼 밀도

N_i : 원안에 송신기의 개수

전파천문업무가 희생원이므로, 전파경로손실L(p1)값이 181dB를 갖는 보호 이격 거리(d)를 구하여 그림 7에 나타내었다.

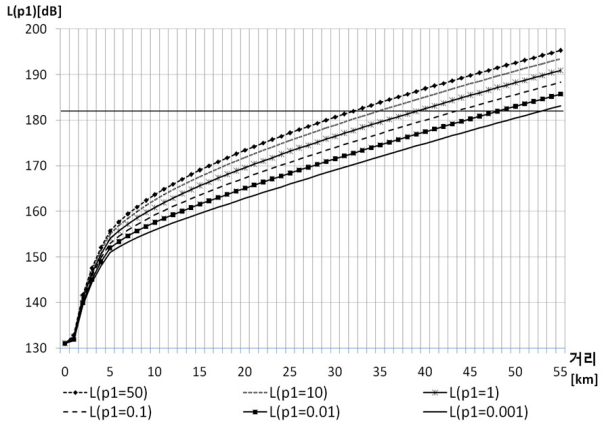

그림 7. 거리에 따른 전파경로손실 L(p1:연간 시간 퍼센트)의 분포

표 6. 차량용 레이더와 전파천문업무 사이의 보호이격거리

시간 퍼센트에 따른 경로손실	보호이격거리[km]
L(p1=0.001)	51.0
L(p1=0.01)	46.2
L(p1=0.1)	41.7
L(p1=1)	37.3
L(p1=10)	33.2
L(p1=50)	30.5

위 Ⅲ-1의 간섭 시나리오를 바탕으로 간섭원인 차량용 레이더의 송신으로부터 희생원인 전파천문대의 수신이 보호받을 수 있는 이격 거리를 표 6 및 그림 8과 같이 도출하였다. p1 값이 증가함에 따라, 전파천문업무의 수신 전력(Pr)이 증가하여 전파경로손실(L)값이 감소되고, 이격 거리 또한 감소됨을 알 수 있다.

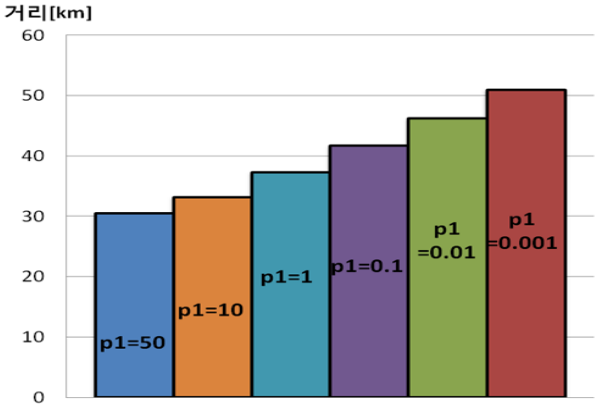

그림 8. 차량 충돌 레이더와 전파천문업무 사이의 보호이격거리

간섭원인 차량용 레이더로부터 희생원인 전파천문대가 간섭을 받지 않기 위해서p1=50일 때, 이격 거리가 최소 30.5km이상 필요할 것으로 예상된다. 반대로 p1=0.001일 경우, 최소 51km의 거리를 떨어뜨려 놓아야 할 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 최근에 77~81㎓대역에 등장하고 있는 차량용 레이더 기술과 기존의 전파천문업무 사이의 간섭영향을 분석하였다. 간섭원으로 차량용 레이더를, 희생원으로 국내 전파천문업무를 설정하였으며, 전파경로손실로써 대기감쇠, 지구 방위를 고려한 손실 및 전파천문업무 거리와 시간비율에 따른 손실 등을 고려하였다. 간섭분석을 통해서 차량용 레이더로부터 전파천문업무가 간섭을 받지 않기 위해서 최소 약 30.5km에서 51km 이상의 보호이격거리가 필요할 것으로 예상되며, 77~81㎓대역 차량용 레이더를 개발하기 위한 기준으로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] Yonghun K, "Development of 24㎓ and 77㎓ Millimeter wave FMCW Radar Systems for Car Collision Warning Applications", The Institute of Electronics and Information Engineers,1996.

[2] ITU-R M.1452-2, "Millimetre wave vehicular collision avoidance radars and radiocommunication systems for

intelligent transport system applications", May. 2012.
[3] Hyeonsu J, "Spectrum allocation between radio astronomy service of over 70 GHz band and other service, and spectrum selection for EESS and space research service of over 70 GHz band, and other service sharing probability", Korea Communication Agency, 2000.
[4] Mingu G, "A study of Investigation and analysis for prohibition frequency bands of emission release" ,Korea Communication Agency, Jul. 2002.
[5] ITU-R, "Considerations related to compatibility between the radio astronomy service and automotive applications of the radiolocation service in the 76-81 ㎓ band", Aug. 2013.
[6] ITU-R, "System characteristics and automotive radars operating in the frequency band 77.5-78 ㎓ for sharing studies", Jun. 2013.
[7] ITU-R, "System characteristics of automotive radars operating in the frequency band 76-81 ㎓ for intelligent transport systems applications, Annex 24 to Working Party 5A Chairman's Report", Jun. 2013.
[8] ETSI EN 302 264-1 V1.1.1, "Short Range Radar equipment operating in the 77 ㎓ to 81㎓ band", 20pp, Jun. 2009.
[9] ITU-R, "Levels of data loss to radio astronomy observations and percentage-of-time criteria resulting from degradation by interference for frequency bands allocated to the radio astronomy on a primary basis", 2003.

저자

윤 혜 주(Hyeju Yun)

・2013년 2월 : 공주대학교 전기전자제어공학부 나노정보공학과(공학사)
・2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 전기전자 제어공학과(공학석사과정)

<관심분야> : 스펙트럼 공학, RF시스템, 전파 간섭분석

이 일 규(Ilkyoo Lee) **정회원**

・1994년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
・2003년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
・1997년 ~ 2004년 : ETRI 선임연구원
・2007년 ~ 2008년 : 조지아텍 교환교수
・2012년 3월 ~ 2013년 1월 : 조지아텍 교환교수
・2004년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 부교수

<관심분야> : RF 시스템, 스펙트럼 공학, 이동통신 시스템, 전파간섭

정 용 준(Yongjun Chung) **정회원**

・2008년 6월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
・2013년 3월~ 현재 : 공주대학교대학원 정보통신공학과(공학박사과정)
・2002년 6월 ~ 현재 : 한국정보통신기술협회 책임연구원
・2014년 ~ 현재 : 유럽표준기구 3GPP RAN WG2 프로젝트 매니저

<관심분야> : 전파정책, 스펙트럼공학, RF시스템