

빔틸트 특성을 갖는 하이패스 안테나의 개발

한윤구*, 정수진*, 임계재**

The development of a Hipass antenna with the beam-tilted properties

Yoon-Ku Han*, Su-Jin Chong*, Gye-Jae Lim**

ABSTRACT

In this paper, we develop the Hipass antenna that is used in electronic toll-gate charging (ETC) system in Korea expressway. This antenna has circular polarized characteristics, and especially has 45 degree tilted beam properties. These properties are very effective in ETC communication between the vehicle antenna and the toll-gate antenna.

To achieve these properties on a small microstrip type antenna structure, we propose a annular ring microstrip antenna with stubs.

When the length and angle of stubs are changed, the direction of the circular polarized beam is generally tilted by 45° in elevation angle. Especially, by using the stubs in inner area or outer area of ring antenna, it is found that the beam direction of in azimuth angle can be rotated.

Key-words : Hipass antenna, annular ring antenna, beam-tilt antenna

1. 서론

국내에서 고속도로 톨게이트의 정체를 줄이고 교통 흐름을 보다 효율적으로 개선하기 위한 자동통행료징수시스템(ETCS)인 Hipass 사업을 시행하고 있으며, 이는 톨게이트 상의 기지국 안테나와 차량 내의 단말기 안테나 사이에 정확한 통신을 하기 위해 단거리 전용통신(DSRC) 기술을 적용하고 있다. 특히 기지국 안테나의 빔 방향은 차량이 진행해 오는 방향을 향하기 위해 45도 정도로 하향 방향의 빔을 형성하고 있으나, 기존의 차량용 안테나는 그림 1 과 같이 수직 방향의 빔을 형성하여 상호 간의 통신 효율을 저하시키고 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 2 와 같이 차량 내 안테나의 빔 방향을 45도 정도로 기울이는 방법을 적용하여 통신효율을 높이고 통신 오류를 줄이고자 한다.

빔 방향을 45도 정도로 기울이는 방법은 먼저

단말기 자체를 45도 로 기울여 장착하는 방법이 있으나 차량 내에 설치 위치나 장소에 제약이 있으며, 두 번째로는 단말기 내부에서 안테나를 기울여 실장하는 방법이 있으나 단말기의 두께가 두꺼워지는 단점이 있다. 세 번째로는 단말기 안테나 자체의 빔이 45도 로 기울어지는 특성을 갖도록 하는 방법이다. 이 방법은 실장부피를 줄이고 단말기 설치 제약도 줄이는 장점이 있으나, 배열안테나가 아닌 소형 단일 안테나로 빔을 기울이도록 설계하는 것이 어려운 문제이다.

본 논문에서는 마이크로스트립 원형 링 안테나에 적절한 스텐브들을 삽입하여 빔 틸트 성능을 갖도록 하는 새로운 안테나를 제안하였으며, 특히 이 안테나는 소형, 평면구조로 원형편파의 특성을 가지기 때문에 유비쿼터스와 RFID, DSRC 분야에서 응용 가능성이 있다.

* 관동대학교 전자통신과(postpone@kwandong.ac.kr)

** 관동대학교 정보통신공학부 교수(gjlim@kd.ac.kr)

원형 링 안테나는 설계방법에 따라 빔 방향을 제어[1]할 수 있으나 입력 임피던스가 높은 문제점이 있다.



그림 1. 기존의 ETC 안테나 빔 특성.
Fig 1. The ETC model

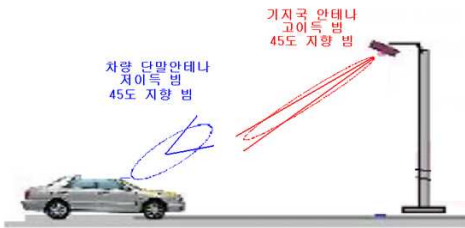


그림 2. 제안된 ETC 안테나 빔 특성.
Fig 2. Proposed ETC model

기존의 원형 링 마이크로스트립 안테나는 그림 3과 같은 구조를 가지며[2], 직접결합 또는 EM결합 등의 급전 방법을 사용하고 있다. 그림 3에 탭을 삽입한 안테나[3], 링 안테나를 오픈시킨 오픈 링 안테나[4]등이 있으며, 이에 따른 급전방법도 연구되고 있다.

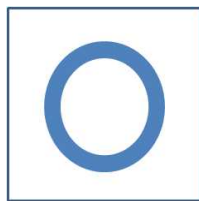


그림 3. 원형 링 마이크로스트립 안테나
Fig 3. circular ring microstrip antenna

참고문헌 [1]에서는 링 구조에 스테브를 추가한 링 안테나의 빔 특성과 입력임피던스 정합 방법을 연구하여, 약 25°의 빔틸트 특성과 10dB정도의 원형 편파 이득을 얻었다. 그러나 [1]의 설계방식은

축비(axial ratio) 대역폭과 동작 대역폭이 넓은 장점을 갖고 있지만 구조의 복잡성과 RF신호의 손실이 크다는 단점이 있다.

본 논문에서는 빔의 방향을 제어하여 기지국이 설치된 방향으로 빔이 틸트되는 Hipass 시스템용 안테나로 사용할 수 있는 연구를 수행하였다. 이를 위해 단일 소자 안테나의 크기를 줄여 소형화 설계를 하였으며, 특히 원형 링에 스테브를 삽입하여 빔 방향을 제어하였고, 또한 정합을 위하여 EM 결합급전 방식을 연구하였다.

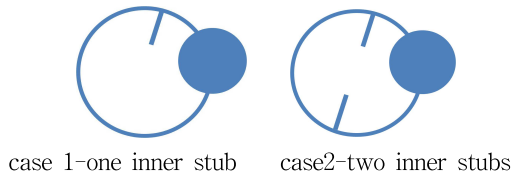
원형 링에 스테브를 추가하기 위해 그림 4와 같이 원형 링 내부 스테브와 외부 스테브에 따라 5가지 경우를 설계 분석하였다. 스테브 길이를 4.5mm, 5.0mm, 5.5mm, 6.0mm 로 변경하면서, 각도를 40°-120°까지 변화시키며 원편파의 빔방향 특성과 이득 등을 비교하였으며, 고도각 방향으로 빔 틸트 각도가 최대 50°, 이득이 최대 8.3dBi의 연구 결과를 얻었다. 또한 스테브의 배치각도를 변화시킴으로써 방위각 빔 방향이 이동됨을 확인하였다.

수치해석은 새로운 구조인 원형 링 안테나를 해석하는데 있어서, 다른 해석 방법들보다 다양한 구조의 해석이 용이하고, 한번의 계산으로 넓은 주파수 대역의 특성을 알 수 있는 시간영역유한차분법(Finite Difference Time Domain: FDTD) [5]을 사용하였다.

II. 본론

2.1 기본설계

제안된 원형 링 안테나 종류는 그림 4와 같으며, case1(one inner stub), case2(two inner stubs), case3(one outer stub), case4(two outer stubs), case5(hybrid stubs)로 분류하여 특성을 비교 검토하였다.



case 1-one inner stub case 2-two inner stubs

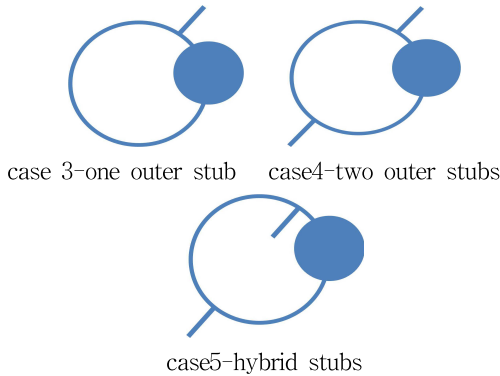


그림 4. 제안된 원형 링 안테나의 종류
Fig 4. proposed circular ring antenna

그림 4의 안테나들은 공진 주파수 5.8GHz를 기준으로 설계되었으며, 스텐브의 길이와 스텐브의 각도를 제외하고는 비교 분석을 위해 동일한 값을 사용하였다.

2.2 설계된 원형 링 안테나 구조 및 분석

설계된 안테나는 반경 R과 폭 w를 갖는 원형 링에 EM결합 급전을 위한 반경 r의 원형 패치를 부착시킨 구조로 되어있다. 또한 급전부 구조는 EM결합 방식으로 그림 5의 (b)와 같이 gap간격을 1.0mm로 두었다. R은

$$R = \frac{2\pi}{\lambda} \times 0.8$$

하며, 급전 링 r은 4.5mm로 고정값을 주었다. 그림 2의 제안된 case1-case5까지의 스텐브 길이 s는 4.5mm-6.0mm로 0.5mm간격으로 변경시켰으며, 각도 a는 40°-140°까지 간격 10°로 변경시켰다.

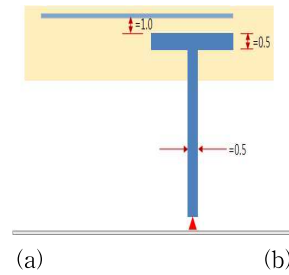
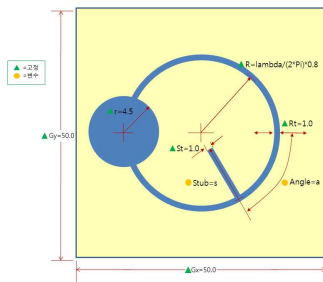


그림 5. 설계된 링 안테나
Fig 5. design the ring antenna

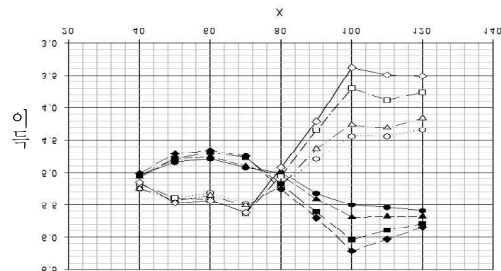
2.3 해석결과와 분석

설계된 링 안테나에 변수 값을 다르게 주며, case1부터 case5를 비교하였을 때, 공진주파수는 5.8GHz를 기준으로 최대 6.90%의 변화율을 확인하였으며, inner stub보다 outer stub가 있을 때 공진 주파수 변화율의 폭이 커졌다.

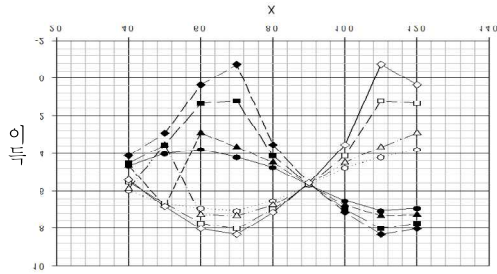
case1부터 case5의 좌수 및 우수 원형편파 이득 특성은 모든 경우에서 스텐브 배치각도 90°를 중심으로 90°이하에서는 우수 원형편파 이득이 높았으며, 90°이상에서는 좌수 원형편파 이득이 높게 나타났다.

이는 급전영역에서 인가된 신호가 원형 링 구조의 복사소자의 스텐브에 의해 서로 직교하고 수직으로 편향된 2개의 모드를 여기시키며, 이 두 모드가 동일한 크기를 갖는 중심 주파수 f0에서 위상차가 90°를 이루게 될 때 원형편파가 형성되기 때문이다.

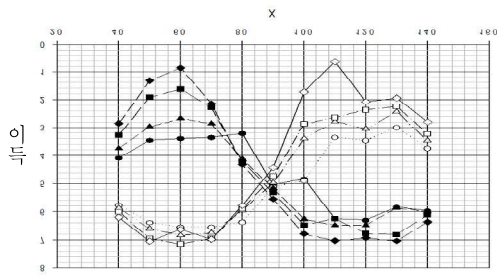
편파의 방향은 스텐브가 오른쪽 대각선 방향에 배치되면 우수원형편파(RHCP)로, 왼쪽 대각선 방향에 배치되면 좌수원형편파(LHCP)로 된다.



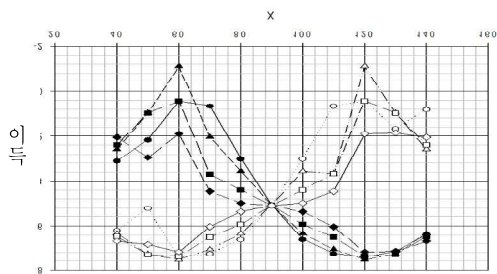
(a) case1



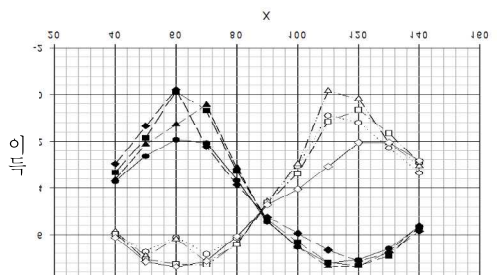
스터브 배치각
(b) case2



스터브 배치
(c) case3



스터브 배치각
(d) case4



스터브 배치
(e) case5

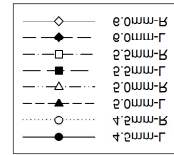


그림 6. 경우에 따른 이득 변화
Fig 6. change the gain

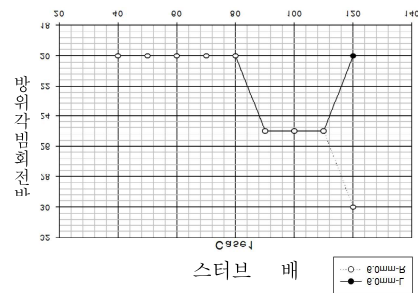
case1부터 case5 중에서 case2의 경우(스터브 길이 6.0mm)가 스텐브 배치각도 60°~70°사이에서 약8.0dBi의 RHCP이득과 110°~120°사이에서 약 8.0dBi의 LHCP이득을 나타내었다. 각 경우에 대한 이득과 -1dB 원편파 대역폭을 표 1에 보였다.

일반적인 경향은 최대이득이 낮아질수록 -1dB 스텐브 각도폭이 넓어졌으며 반대로 최대이득이 높아지면 -1dB 스텐브 각도폭이 좁아짐을 알 수 있었다. 따라서 적정 이득을 갖고 최적 스텐브 각도폭을 갖는 설계가 요구된다.

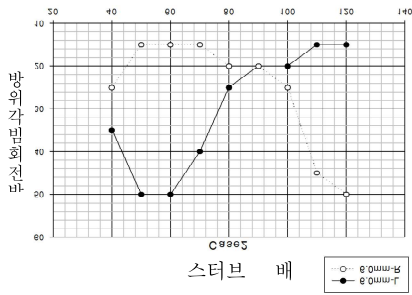
표 1. 최대이득과 스텐브

Table 1. the stub with maximum gain

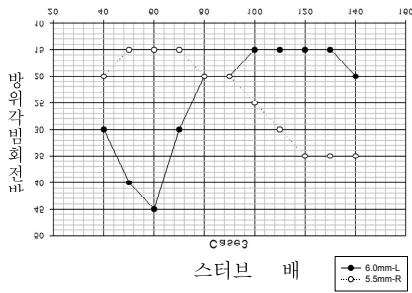
case		최대이득과 스텐브 각		최대이득 -1dB가 되는 스텐브 각도 폭	최대이득을 갖는 스텐브 길이
		이득	각도		
1	RHCP	5.6	70	40-90(50)	5.5
	LHCP	6.2	100	80-120(40)	6.0
2	RHCP	8.3	70	50-80(30)	6.0
	LHCP	8.3	110	100-120(20)	6.0
3	RHCP	7.2	60	40-80(40)	5.5
	LHCP	7.1	130	100-140(40)	6.0
4	RHCP	7.6	60	40-80(40)	5.0
	LHCP	7.6	120	100-140(40)	5.0
5	RHCP	7.4	60	50-80(30)	6.0
	LHCP	7.4	110	90-130(40)	5.0



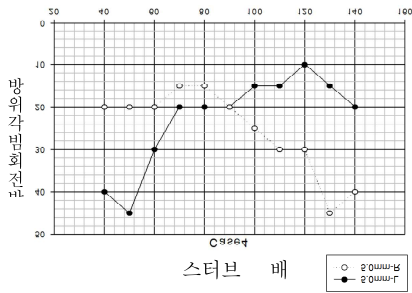
(a) case1



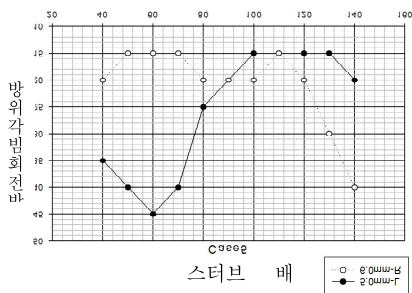
(b) case2



(c) case3



(d) case4



(e) case5

그림 7. 제안된 안테나의 빔 틸트

Fig 7. proposed antenna with the beam-tilted

표 1에서 보인 결과에 따라 각 경우에 최대이

득을 갖는 스테르브 길이에서 스테르브의 배치 각도에 따른 -1dB 스테르브 각도폭 내에서의 방위각 방향의 빔 회전 방향 변화를 분류하면 그림 7과 같다.

표 2에 각 경우에 방위각에 대해 방위각 빔 회전 방향의 정도를 보였다. 그 결과 경우 case4의 스테르브 길이 5.0mm가 가장 넓은 빔 회전 특성을 나타내었다. 그림 6은 최대이득이 가장 높은 case2의 스테르브 길이 6.0mm에서 RHCP 빔패턴을 보였다.

표 2. 방위각 빔 회전각도 폭

Table 2. angle of direction

case		최대이득 -1dB가 되는 스테르브 각도 폭	방위각 빔 회전각도 폭
1	RHCP	40-90(50)	20-25(5)
	LHCP	80-120(40)	20-25(5)
2	RHCP	50-80(30)	15-20(5)
	LHCP	100-120(20)	15-20(5)
3	RHCP	40-80(40)	15-20(5)
	LHCP	100-140(40)	15-20(5)
4	RHCP	40-80(40)	15-20(5)
	LHCP	100-140(40)	10-20(10)
5	RHCP	50-80(30)	15-20(5)
	LHCP	90-130(40)	15-20(5)

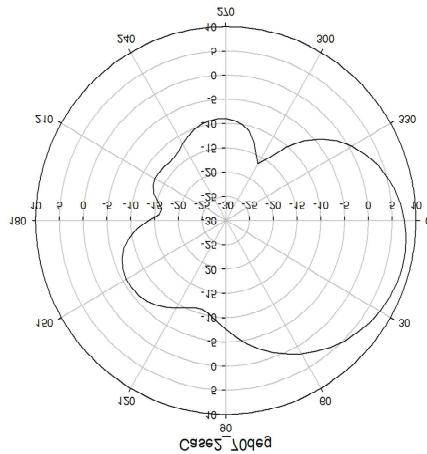


그림 8. case2_6.0mm에서 최대이득을 갖는 RHCP 빔패턴

Fig 8. maximum gain of RHCP beam in case2_6.0mm

2.4 제작 및 측정

case 2 에 대한 구조의 마이크로스트립 원형 링 안테나를 그림 9 와 같이 테프론 기판 상에 인쇄 제작하였다. 입력 반사계수 특성은 그림 10 과 같이 5.8 GHz 대역에서 매우 양호하게 측정되었으며, 안테나의 이득은 RHCP 8.1 dBi 로 측정되어 해석 결과와 잘 일치하였다.



그림 9. 제작된 원형 링 안테나 case2.
Fig 9. make the ring antenna case2

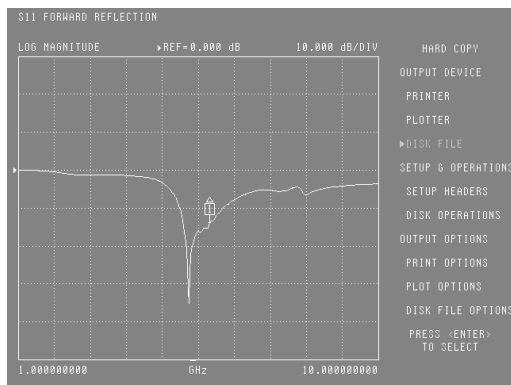


그림 10. case 2 의 S11 특성.
Fig 10. S11 of case2

III. 결론

본 논문에서는 기존의 Hipass 단말기 안테나가 갖는 비효율성을 개선하기 위해 빔 틸트 성능을 갖는 소형 원형 링 안테나를 제안하였으며, 이에 대한 설계 파라미터들을 조절하여 최적의 성능을

유도하였다.

원형 링 구조에 새로운 스테르브들을 삽입하여 원형 편파빔 틸트 특성을 동시에 이루었으며, 스테르브의 길이와 각도를 변경하여 빔 방향을 회전할 수 있는 안테나를 제안하였다. 링 R과 급전 링 r 을 고정시키고, 이 안테나의 설계 변수인 스테르브 s 를 4.5mm, 5.0mm, 5.5mm, 6.0mm로 변화시켜서 회전성을 강조한 안테나를 설계하였다. 각 케이스에 s를 변화시킨 경우, 90°를 기점으로 회전하는 특성을 얻을 수 있었다. 또한 이득도 90°에서 좌우 편파의 이득값의 성향이 바뀌는 결과를 도출하였다. 앞으로 본 결과는 제작과 측정을 통해 그 타당성을 확인할 예정이다.

본 논문에서 제시한 원형 링 안테나는 스테르브의 길이와 각도를 이용하여 회전성을 지녔으며, EM 급전을 이용하여 원형 링 자체의 높은 임피던스를 정합시켰다. 또한 각종 RFID 및 DSRC 등과 ISM 기기에서 활용 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] K. Hirose, S. Okazaki, and H. Nakano, "Double-Loop Antennas for a Circularly Polarized Tilted Beam," Translated from Denshi Joho Tsushin Gakkai Ronbunshi, Vol. J85-B, No. 11, pp. 1934-1943, Nov. 2002.
- [2] David M. Kokotoff, James T. Aberle, and Rod B. Waterhouse, "Rigorous Analysis of Probe-Fed Printed Annular Ring Antennas," IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 47, No. 2, pp. 384-388, Feb. 1999.
- [3] Raul R. Ramirez, Franco De Flaviis and Nicolaos G. Alexopoulos, "Single-Feed Circularly Polarized Microstrip Ring Antenna and Arrays," IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 48, No. 7, pp. 1040-1047, July 2000.
- [4] Jen-Yea and Kin-Lu Wong, "Single-feed dual-frequency circular microstrip antenna with an open-ring slot," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 22, No. 3,

pp. 157-159, Aug. 5. 1999.
 [5] Y. H. Suh and I. M. Park, "A Broadband Eccentric Annular Ring Microstrip Slot Antenna," KIEES, Vol. 11, No. 5, pp. 773-781, Aug. 2000.

저자약력

한 윤 구(Yoon-Ku Han)



2007년 관동대학교 정보통신과 졸업
 현재 관동대학교 대학원
 전자통신과 석사과정

<관심분야> 안테나 공학

정 수 진(Su-Jin Chong)



1978년 삼척공업전대학교
 기계과 졸업
 2003년 관동대학교 정보통신과 졸업
 2006년 관동대학교 대학원
 정보통신과 졸업
 1986년~현재 에스인코퍼레이티드
 설립 대표

임 계 재(Gye-Jae Lim)



1983년 동국대학교 전자공학과
 (공학사)
 1988년 동국대학교 전자공학과
 (공학석사)
 1993년 동국대학교 전자공학과
 (공학박사)
 1994년~현재 관동대학교
 전자정보통신공학부 교수

<관심분야> 안테나 및 전파전파, EMI/EMC,
 전자파 생체영향