

ITS 시스템용 초광대역 폴디드 혼 안테나

A Ultra-Wideband Folded Horn Antenna for ITS system

박근태 (광운대, 석사과정) 이진성 (광운대, 박사과정) 이병제 (광운대, 부교수)

Key Words : Folded Horn, UWB

목 차

I. 서론

2. 안테나 시뮬레이션과 제작된 안테나

II. 본론

III. 결론

1. 폴디드 혼 안테나의 설계 이론

- 1) 이미지 효과
- 2) 모드 합성

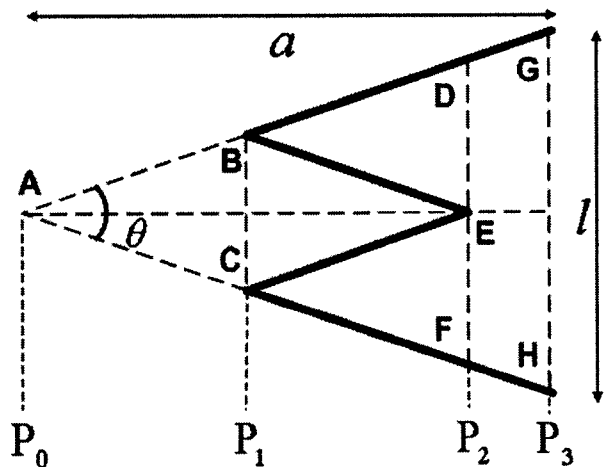
IV. 참고 문헌

I. 서론

최근 연구가 활발해진 ITS(Intelligent Transportation Systems)를 구축하기 위해서 광대역 무선통신에 대한 연구가 중요해지고 있다. 펄스 신호를 이용하여 주로 radar에 응용되던 기술인 UWB(Ultra-WideBand) 시스템을 ITS 기반 기술로 적용이 가능하다. 사용자들에게 보다 다양한 서비스를 제공하기 위해 넓은 대역폭을 가지는 안테나가 요구됨에 따라 UWB 안테나에 대한 연구가 중요하게 되었다. UWB 안테나로는 다양한 형태가 제안되어져 왔었다. 대표적인 구조로 다이폴, TEM(Transverse Electro-Magnetic) 혼, 리지드 혼, 쌍원추형, 노치, 슬롯 안테나 등이 있다.[1] 이러한 안테나들은 낮은 주파수 대역에서 적용 시 부피가 커지므로 상업적인 목적으로 사용하기 부적합하다. 본 논문에서는 TEM 혼 안테나에 이미지 효과를 적용하여 안테나의 크기를 줄여 상업적으로 활용 가능한 초광대역 폴디드 TEM 혼 안테나를 제안한다.

을 향상시키는 구조적, 전기적 장점을 최대한 이용한 안테나이다. 제안된 폴디드 혼 안테나는 TEM 혼 안테나에 이미지 효과를 사용하여 크기를 줄이고 대역폭 및 지향성을 향상시켰다.[2]

1) 이미지 효과



<그림 1> 폴디드 혼 안테나의 이미지 효과

II. 본론

1. 폴디드 혼 안테나의 설계 이론

폴디드 혼 안테나는 TEM 혼 안테나의 주파수가 낮을수록 물리적 크기가 커진다는 단점을 보완하면서 안테나의 지향성을 높이고 TEM 혼 안테나의 광대역 특성

<그림 1>은 TEM 혼 안테나에 이미지 효과를 이용하여 폴디드 혼 안테나를 구현한 간략도이다. 그림 1에서 실제적인 폴디드 혼 안테나의 모양은 G-A-H 삼각형의 실선부분이다. P1레벨의 B-C 선분을 중심으로 대칭이 되며 B-A-C에서 B-E-C로 접혀진다. 일반적인 모노폴

안테나는 그라운드를 사용하여 반파장 다이폴 안테나의 크기를 반으로 줄인다. 임의의 점에 도달한 방사 전계에서 바라본다면 실제로 존재하지 않는 전원이 그라운드 아래에서도 존재하는 것처럼 가상의 방사원으로 나타난다. 가상 방사원은 이름 그대로 존재하지 않지만, 실제 방사원과 결합되었을 때 등가 시스템을 형성하게 된다.[3] <그림 1>에서 B-A-C까지는 존재하지 않는다. 하지만 원거리 방사 전계에서는 G-A-H가 존재하는 것처럼 보일 것이다. 이러한 이미지 효과를 사용하여 P₁과 P₂레벨의 사이에 D-B-E, E-C-F의 2개의 혼이 존재하며 G-A-H로 이루어지는 1개의 혼이 존재하게 된다. 결과적으로 모두 3개의 혼 안테나들의 조합으로 이루어지게 된다. 만약 혼 안테나를 임의의 횡수로 이미지 효과를 적용하고 안테나에서 접혀진 개구면의 마지막 레벨을 m이라고 한다면 폴디드 혼 안테나에서 사용한 전체 안테나의 개수 N을 식 (1)을 사용하여 알 수 있다.[2]

$$N = 2^m - 1 \quad (1)$$

TEM 혼 안테나는 아직까지 정확한 동작원리가 해석되지 못하였다. 그래서 일반적인 혼 안테나의 설계 이론을 바탕으로 폴디드 TEM 혼 안테나를 설계하였다. 혼 안테나는 안테나 길이와 개구면 크기, 안테나의 사이각에 의해서 안테나 특성이 결정된다. 최적화된 안테나 개구면의 길이는 안테나가 동작하는 최저 주파수 파장의 길이로 결정하였다.

$$l \approx 1.2\lambda_{low} \quad (2)$$

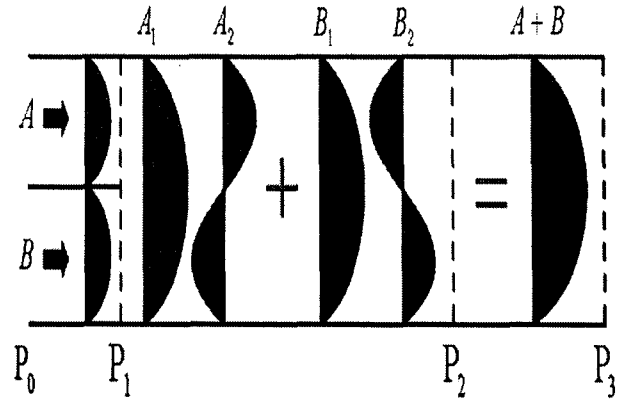
식 (2)에서 l은 안테나 개구면의 길이이고 λ_{low} 는 동작 주파수 대역의 최저 주파수의 파장의 길이이다.

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{a}{2l} \quad (3)$$

식 (3)에서 혼의 길이와 사이각은 안테나에서 최대 지향성을 나타나도록 설계하였으며 안테나의 길이 a는 $10\lambda_{low}$, 혼을 구성하는 두 평판의 사이각 θ 는 24°로 결정하였다.[4]

2) 모드 합성

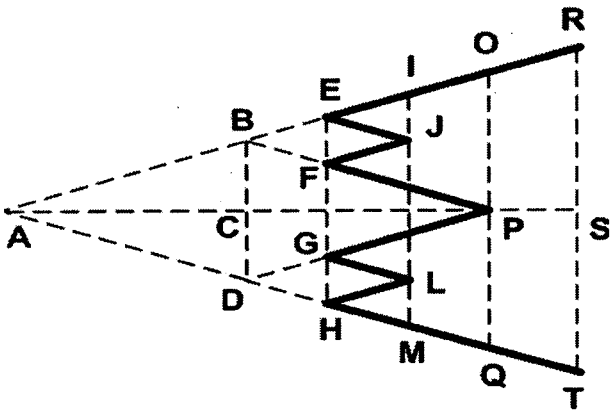
<그림 2>는 모드 합성을 설명한 간략도이다. P₁에는 각각 2개의 도파관에 동 진폭, 동 위상으로 급전되어 전달되는 파동의 형태를 나타내고 있다. 일반적인 혼 안테나의 경우의 개구면의 길이가 a 일때, $a > \lambda$ 인 조건에서 부엽이 발생한다.[3]



<그림 2> 도파관에서의 모드 합성

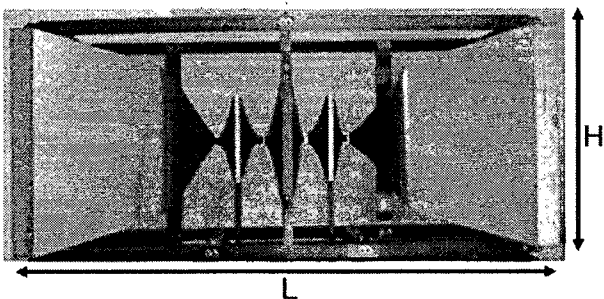
하지만 폴디드 혼 안테나의 경우 안테나 개구면이 배열 구조를 가지면서 각각의 혼에서 방사된 같은 방향에서 만들어진 또 다른 부엽에 의해 보상된다.[2] 그림 2에서 P₀에서 A와 B로 각각 급전된 파동은 P₁과 P₂사이에서 주 모드의 방사와 함께 고차모드가 발생하게 된다. 발생한 파동은 레벨 P₁과 P₂사이에서 고차모드의 상호 억제에 이루어져 고차모드의 발생을 상호 상쇄시키게 된다. 이는 P₁과 P₂사이에서 A에서 전파하는 파동과 B에서 전파하는 파동이 서로 상쇄효과를 일으키기 때문이다. 또한 P₁과 P₂사이의 거리가 증가할수록 상쇄효과는 커지게 된다. 그렇지만 P₁과 P₂사이의 거리를 무한정 넓힐 수는 없으므로 P₁과 P₂사이의 최소한의 거리는 기본모드와 제1계 고차모드의 중간 주파수의 반파장의 길이를 초과할 수 없다.[2] <그림 2>의 세부 동작 원리는 P₁에서 A에만 전력이 입력되어 동작한다고 가정하였을 때 방사된 기본 모드 A₁은 경계 조건이 변하지 않고 유지되는 도체 면에서는 위상의 중심이 도파관의 중심으로 이동하여 전파되고 경계 조건이 변화하며 확장된 다른 면에서는 위상차가 발생하면서 A₂ 형태의 고차모드의 발생을 야기한다. 이때 B에서 동시에 급전시킨다면 A와 마찬가지로 기본 모드인 B₁과 고차모드인 B₂가 발생된다. 배열 형태로 급전된 도파관에서 A₂와 B₂는 역 위상으로 서로 상쇄되며 A₁과 B₁의 진폭은 기본모드와 고차모드로 분리되면서 급전된 전력의 반으로 줄었지만 동 위상으로 합성되어 입력된 에너지는 손실되지 않으며 전파한다. 모드 합성은 도파관 결합기의 종단을 방사에 적합하도록 점진적으로 넓혀서 혼 안테나 구조에 적용시켰다.[3] 도파관내 모드 합성에 의한 파동 결합 이론은 도파관내의 경계면이 일정하게 유지되는 영역에서는 이론적으로 증명되고 사용되어 왔으나 종단이 점진적으로 벌어지는 혼 구조에서의 모드 변화와 합성 및 상쇄 조건의 연구는 아직 미비한 상태이다. 모드 합성 이론을 혼 구조에서 일반화시키기 위해서는 수치해석과 실험을 통하여 그 경험적인 해를 얻어내야 한다.

2. 안테나 시뮬레이션과 제작된 안테나

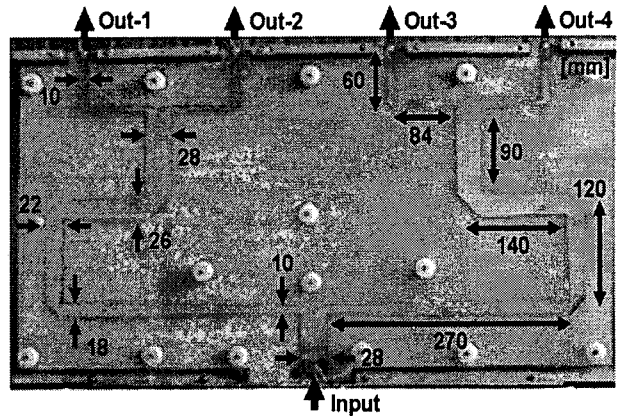


<그림 3> 이미지 효과를 두 번 사용하여 제작된 폴디드 혼 안테나의 구조

<그림 3>은 제작된 폴디드 혼 안테나의 이미지 효과를 두 번 적용한 구조를 나타낸다. 일반적인 TEM 혼 안테나 R-A-T에서 모드 합성을 위하여 최적의 합성 길이 P-S를 결정하였으며 전체길이 A-S에서 최적화된 모드 합성 길이 P-S를 제외한 점 A와 P의 중점 C를 잇는 B-C-D를 기준으로 이미지 효과를 사용하였다. 제작된 안테나는 크기를 더욱 줄이면서 지향성의 향상을 위하여 이미지 효과를 재차 사용하였다. 이미지 효과를 한번 사용하여 구성된 혼 R-B-P-D-T에서 다시 한번 모드 합성의 최적 간격을 유지시킨 후 E-F-G-H를 기준으로 E-B-F와 G-D-H에 이미지 효과를 적용하였다. 결과적으로 제작된 안테나는 E-F-G-H와 I-J-L-M사이에서 4개의 혼 안테나가 배열 구조로 급전되며 식 (1)을 이용하여 전체 7개의 혼이 중첩되어 있음을 확인할 수 있다. 일반적인 혼 안테나와 폴디드 혼 안테나의 차이점은 크기가 다른 안테나들이 각각 기본모드 공진을 함으로서 다중 공진이 발생하고 이것이 합쳐지며 고차모드의 발생을 상호 상쇄시키며 광대역 안테나로 동작한다는 것이다.[3] 주파수는 200MHz~2GHz 대역에서 동작하도록 설계되었으며 제작된 안테나의 전체 크기는 1680×900×600(L×W×H)[mm]이다.



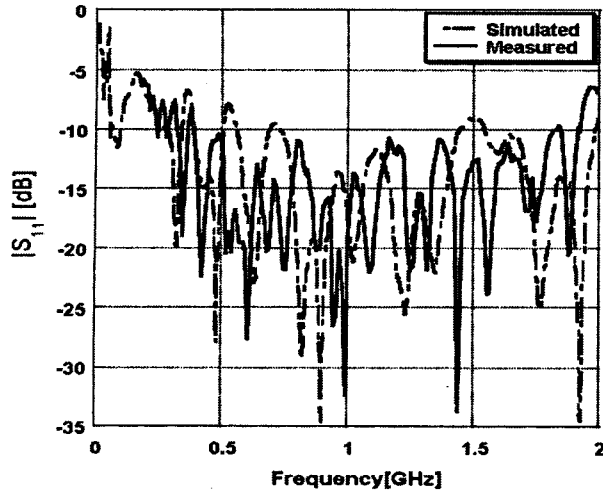
<그림 4> 제작된 폴디드 혼 안테나



<그림 5> 제작된 안테나 전력 분배기

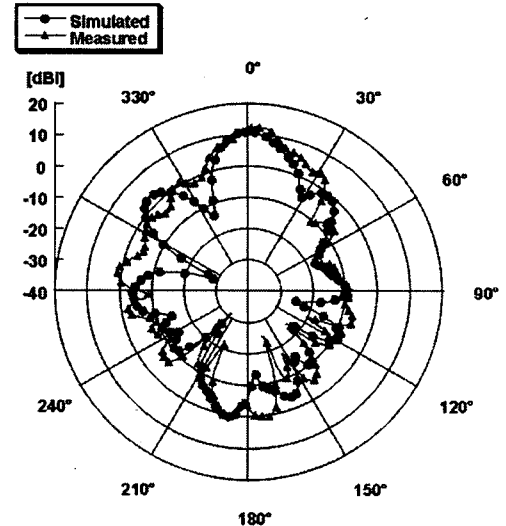
<그림 4>는 제작된 폴디드 혼 안테나이다. 제작된 폴디드 혼 안테나는 방사소자와 전력 분배기를 안정된 구조로 구성하기 위하여 지지대를 사용하였으며 안테나의 방사에 영향을 줄이도록 지지대를 배치하였다. 제작된 안테나의 개구면은 불연속 및 반사파를 최소화시키기 위하여 두 평판의 사이각과 같은 24°로 평면 금속판을 확장시켰다. 만약 혼의 종단의 길이 L과 높이 H를 증가시킨다면 안테나 방사효율의 증가와 대역폭의 확장을 얻을 수 있다.[5]

<그림 5>는 제작된 전력 분배기이다. 제안된 안테나의 구조는 3D EM 시뮬레이션 툴인 Agilent社의 HFSS version 5.4를 이용하여 성능을 검증하였다. 안테나는 <그림 4>에서 E-H와 I-M레벨에서 4개의 혼이 배열 구조로 이루어져 있으므로 입력된 전력을 각 방사 소자에 급전시킬 급전망이 필요하다. 급전망은 안정된 모드 합성을 위하여 동 위상, 등 간격, 동 진폭으로 안테나에 급전하였다. 안테나의 광대역 특성을 만족하기 위하여 안테나 급전망은 삼각 테이퍼라인을 이용한 스트립 구조로 구현하였으며 2D EM 시뮬레이션 툴인 Ansoft社의 Ensemble version 5.1을 사용하여 결과를 검증하였고 동작 주파수 200MHz~2GHz에서 반사손실(Return Loss) -10dB이하의 결과를 얻었다. 입력 임피던스는 50Ω이며 100Ω으로 나누어진 후 다시 점진적으로 50Ω으로 임피던스를 변화시켜 반사 손실을 최소화 하였으며 광대역 특성을 얻고자 하였다. 50Ω으로 임피던스가 변환된 급전망은 재분배되어 4개의 출력단으로 나뉘어진다. 종단 임피던스는 동일하게 100Ω으로 급전되며 4개의 배열 구조로 구성되어 각각의 안테나에 동 진폭과 동 위상으로 급전하였다.[6][7] 안테나와 급전망의 결합은 금속 볼트를 사용하여 결합되었으며 전력 분배기의 전체 크기는 800×350×30 (L×W×H)mm 이며 유전체인 FR4에 에칭된 급전망을 구성하였고 스트립 구조와 급전망 사이에 유전율이 낮은 폴리에틸렌과 플라스틱 볼트를 사용하여 일정 높이(h=15mm)를 유지시켰다.

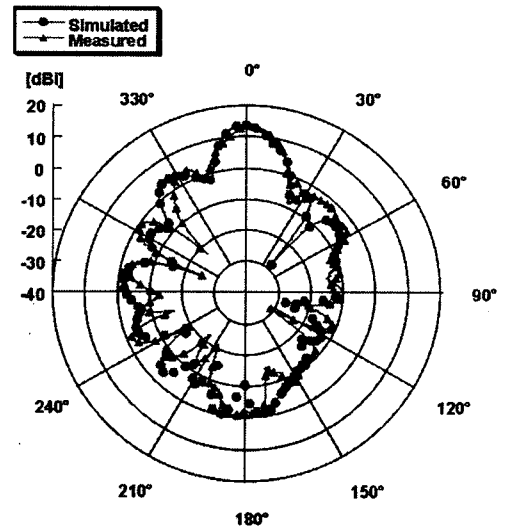


<그림 6> 시뮬레이션과 제작된 안테나 반사손실

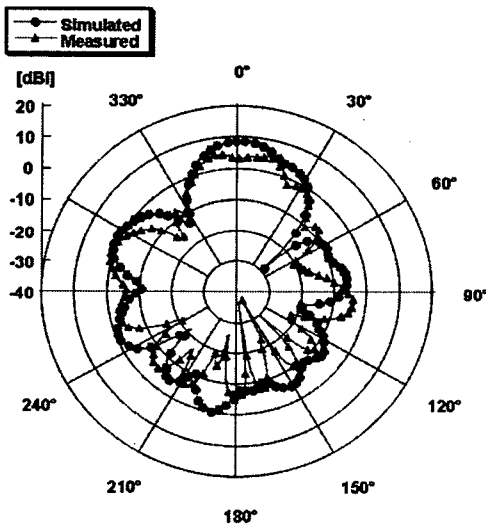
<그림 6>은 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 반사손실을 측정하여 비교한 그래프이다. 반사손실은 Agilent社의 E5071B를 사용하여 측정하였다. 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 측정결과는 <그림 6>과 같이 유사한 특성을 보이고 있으며 제작된 안테나는 330MHz~1.7GHz에서 반사손실 -10dB 이하를 만족하고 있다. 중심 주파수는 1015MHz이며 대역폭은 중심 주파수를 중심으로 140%를 만족하였다. 시뮬레이션 결과는 300MHz, 520MHz, 700MHz, 1.5GHz의 대역에서 부분적으로 만족하지 못한 결과를 얻었으나 제작 결과에서는 만족하는 반사손실 특성을 얻었다. 설계 목표인 200MHz~2GHz의 대역폭에 비하여 제작된 안테나는 약 40% 가량 대역폭이 축소되었다. 이는 안테나 제작 시 급전망에서의 전송 손실과 급전망과 방사 소자의 결합부, 방사 소자의 방사 손실 등에 의한 것이라고 생각된다.



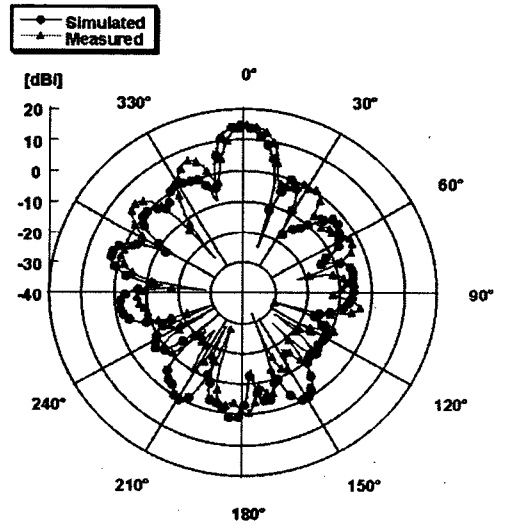
(b) 1100MHz



(c) 1400MHz



(a) 800MHz



(d) 1700MHz

<그림 7> 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나 수평면 방사 패턴 측정 결과 비교

<표 1> 시뮬레이션과 측정된 안테나의 이득과 반 전력 빔폭

Frequency [MHz]	Simulated [E-plane]		Simulated [H-plane]	Measured [E-plane]	
	Gain [dBi]	HPBW [°]	HPBW [°]	Gain [dBi]	HPBW [°]
800	8.8	25.5	102.7	4.71	36.18
900	9.3	29.4	95.3	7.65	18.87
1000	10.2	24.6	88.4	9.15	23.53
1100	10.9	18.9	76.1	12.56	14.87
1200	11.52	16.3	62.2	11.63	16.53
1300	12.74	15.9	49.5	14.05	16.83
1400	13.6	14.4	46.4	13.31	15.28
1500	13.5	14.6	50.6	13.55	14.73
1600	14.3	14.1	47.6	14.53	14.37
1700	14.6	12.4	43.4	14.83	13.56

<그림 7>은 시뮬레이션을 통하여 얻은 수평면 방사패턴 (Elevation pattern)의 결과와 제작된 안테나를 전자파 무반사실(Anechoic Chamber)에서 측정된 결과를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션과 제작된 안테나를 비교한 결과 최대 이득과 반 전력 빔폭 패턴이 유사한 결과를 보이고 있다. 안테나의 넓은 UWB 동작 특성으로 인하여 측정된 결과 중에서 800MHz, 1100MHz, 1400MHz, 1700MHz의 일정 간격의 대표 주파수를 선택하여 결과를 비교하였다. 그러나 수직면 방사패턴(Azimuth pattern)은 전자파 무반사실의 크기와 제작된 폴디드 혼 안테나의 크기 제한으로 측정하지 못하였다. 수직면 방사패턴의 결과는 시뮬레이션 틀을 이용하여 결과를 예측하여야 하며 수직면 방사패턴의 결과는 수평면 방사패턴에 비하여 넓은 반 전력 빔폭 특성을 가진다.

<표 1>은 전자파 무반사실 측정 가능 주파수에서 800MHz~1700MHz 시뮬레이션 결과와 측정된 안테나의 이득과 반 전력 빔폭을 비교한 표이다. 주파수가 증가하면서 이득의 증가와 수평면과 수직면의 반 전력 빔폭이 좁아지는 특성을 나타낸다. 최대 이득은 1.7GHz에서 14.83dBi이며 최소 이득은 800MHz에서 4.71dBi로 측정되었고 800MHz~900MHz를 제외한 부분에서의 이득은 시뮬레이션 결과와 유사한 결과를 얻었다. 수직면 방사패턴 측정 결과는 최대 800MHz에서 36.18°이며 최소 1.7GHz에서 13.56°를 얻었다. 시뮬레이션으로 얻어진 수평면 반 전력 빔폭은 최대 800MHz에서 102.7°이며 최소 1.7GHz에서 43.4°를 얻었다. 이는 제작된 안테나의 측정 결과와도 일치할 것으로 예상된다.

III. 결론

ITS는 사용자들의 요구에 부합하기 위하여 Cellular Phone, Pager(문자 서비스), PCS, DMB 등 다양한 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 최근 ITS 동향에 요구되는 광대역 안테나를 설계 제작하였다. 제작된 안테나는 200MHz~2GHz를 목표로 설계하였으나 제작된 안테나의 결과는 330MHz~1700MHz 대역에서 목표 반사 손실 -10dB이하를

만족하며 140%의 대역폭을 가진다. 또한 측정된 최대 이득은 14.83dBi이며 최소 빔폭은 13.56°이다. 제작된 폴디드 혼 안테나는 동일 주파수 대역에서 사용되는 다른 안테나에 비교하여 크기는 줄이면서도 대역폭은 확장할 수 있는 결과를 얻었다. 또한 주파수 변화에 따른 방사패턴 변화의 차이가 크지 않으며 안정된 특성을 가지고 있다. 제작된 안테나는 광대역 특성을 스케일 모델링을 이용하여 대역폭을 유지하면서 원하는 주파수 대역으로 변환이 가능하다.[8] 스케일 모델링은 안테나의 방사패턴과 반 전력 빔폭, 이득 및 지향성 등의 특성을 크기를 변환하여 주파수 대역을 이동시켜도 기존의 안테나 특성을 유지시킬 수 있는 장점을 가진다. 제작된 폴디드 혼 TEM 안테나는 전력 분배기와 안테나 방사 소자와의 정합 부분에서의 부정합이 안테나 성능 저하에 중대한 영향을 주며 이 부분에서의 임피던스 정합 연구가 추가적으로 요구된다.

향후 안테나 방사소자의 크기를 줄일 수 있으면서도 후방 방사를 억제하여 전후방비를 개선하고 모드 합성 방법으로 원하는 대역폭을 선택할 수 있는 구조의 연구가 필요하다.

참고문헌

1. J. D. Taylor, *Introduction To Ultra-Wideband Radar Systems*, CRC Press, 146-215, 1995
2. V. B. Braude, S. B. Sukhovetskaya and B. J. Sukhovetsky, "Wide-band Folding Horn Type Microwave Antennas," *Antennas and Propagation for Wireless Communications, IEEE-APS Conference on*, pp. 143-146, 2000
3. C. A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, Wiley, New York, 1997
4. J. D. Kraus, *Electromagnetics*, McGraw-Hill, New York, pp. 330-346, 1992
5. H. L. Bertoni, L. Carin and L. B. Felsen, *Ultra-Wideband short-Pulse Electromagnetics 1*, Plenum Press, New York, pp. 159-376, 1993
6. D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, second edition, pp. 368-379, 1998
7. R. C. Hansen, *Phased Array Antennas*, Wiley, New York, pp.146-150, 1998
8. R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York, Third Edition, 1993