

## 자동차 전면 글래스용 FM 대역 투명 모노폴 안테나

## Transparent Monopole Antenna on the Front Glass of an Automobile for FM Band

이 주 형 · 정 창 원

Juhyung Lee · Chang Won Jung

## 요 약

본 논문에서는 FM 방송대역(88~108 MHz)에서 동작하는 자동차 전면 글래스 상에 설계되는 투명 안테나를 제안한다. 투명 안테나는 전형적으로 차량 지붕에 설치된 샤크핀 안테나의 공간적 제한을 피하기 위해 차량 전면 글래스에 구현하였다. 전면 글래스에 설계되는 안테나는 낮은 수심감도와 다른 서비스대역의 안테나로부터의 방사전섭 문제를 합리적으로 해결할 수 있다. 전면 글래스는 고유한 closed-line 구조를 가지고 있으며, 이 구조로 인해 전면 글래스 외곽의 차체 표면으로 전류가 흐르게 되어 FM 방송대역 이전 부분에서 첫 공진점이 발생한다. Closed-line 구조를 이용한 표면 전류 길이 제어를 통해 첫 공진점이 FM 대역에서 동작하는 안테나를 설계하였다. 또한, RF 수동소자로 설계하기 적합한 투명 전극 소자 마이크로 메탈메쉬 필름의 투명성을 통해 시각적 인식의 최소화 하였다. 측정된 안테나는 FM 대역에서 반사계수는  $-6$  dB 이하이며, average peak gain은  $-0.9$  dB이다. 본 연구를 통해 제안된 전면 글래스 투명안테나는 미래의 자동차 안테나 개발에 필요한 공간과 설계 자유에 대한 가능성을 보여주었다.

## Abstract

A transparent antenna designed on the front glass of an automobile operating in the FM broadcast band(88~108 MHz) is proposed. A transparent antenna designed on the front glass of the automobile to avoid space limitation is typically positioned as a roof-mounted shark-fin antenna. An antenna designed on the front glass can reasonably solve the problems of low reception sensitivity and radiated interference from antennas for other service bands. The front glass has a unique closed-line structure, and this structure causes the surface current to flow to the front glass's surroundings; thus, the first resonance is caused before the broadcast band. Through the use of this closed-line structure, the surface current distribution is controlled, and an antenna for which the first resonance is operating in the frequency-modulated(FM) band can be designed. Moreover, the use of a micro-metal-mesh film that is a transparent electrode, suitable for designing a radio frequency device, enables the antenna to minimize visual perception through its transparency. The measured reflection coefficient( $S_{11}$ ) of the antenna is less than  $-6$  dB, and the average peak gain is  $-0.9$  dB in the FM band. Experiments show that the transparent antenna on the front glass offers both the space and design freedom required to develop future automotive antennas.

Key words: Transparent Antenna, Automotive Antenna, Metal Mesh Film, Fm Service, Monopole Antenna

## I. 서 론

무선 통신 서비스의 발달과 함께 차량용 안테나의 수요가 증가하고 있으며, 차의 외관을 고려한 많은 안테나

「본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구 지원으로 연구되었음.」

서울과학기술대학교 NID융합기술대학원(Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology)

· Manuscript received February 14, 2018 ; Revised May 3, 2018 ; Accepted July 9, 2018. (ID No. 20180214-022)

· Corresponding Author: Chang Won Jung (e-mail: changwoj@snu.ac.kr)

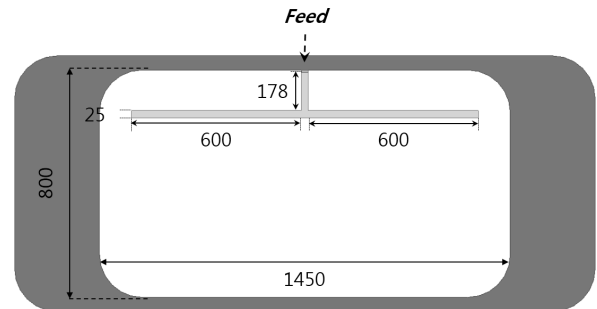
들이 샤크핀 안테나에 집약적으로 설계되어 왔다. 집약적 설계로 인해 제한된 공간 내에서 낮은 수신감도와 다른 안테나로부터의 방사 영향 문제들이 발생한다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 범퍼, 천장 뒤쪽의 구경, 스포일러, 양 옆과 후면 글래스 등 안테나의 대안 위치를 갖는 선행 연구들이 제안되어 왔다<sup>[1][2]</sup>. 본 연구에서는 투명소자인 마이크로 메탈메쉬 필름을 이용한 전면 글래스 투명 안테나를 제안한다. 전면 글래스의 투명 안테나는 다른 안테나와의 격리도를 증가시킬 수 있으며, 투명성을 이용해 시각적 인식을 최소화 할 수 있다.

투명 전도성 필름(*transparent conductive films*)은 디스플레이, 태양 전지 등 많은 분야에서 연구되고 있으며, 고유한 전기적, 기계적, 광학적 특성을 갖는다. 본 연구실은 이전 연구를 통해 마이크로 메탈메쉬 필름이 안테나와 전송 라인 등 RF(*radio frequency*) 수동 소자로 설계하기에 적합한 투명소자임을 보였다<sup>[3]~[7]</sup>. 새로운 투명 소자인 마이크로 메탈메쉬 필름은 안테나 성능을 충분히 유지하며, 시각적 인식을 최소화 할 수 있다. 이 소자는  $0.18 \Omega/\square$ 의 낮은 면저항을 가지며, 가시광선 파장(400~800 nm)에서 평균 투과율 61.46 %를 갖는다. 본 연구에서는 뛰어난 전기적 특성과 합리적인 광학적 특성을 갖는 마이크로 메탈메쉬 필름을 이용한 투명 안테나의 실제적인 구현과 FM 대역에서의 안테나 반사계수 및 방사패턴 측정 결과를 보여준다. 또한 자동차 전면 글래스의 고유한 *closed-line* 구조에서 나타나는 FM 방송대역 이전의 첫 공진점을 FM 대역으로 이동시키기 위해 *closed-line* 구조를 통해 발생하는 표면 전류 분포를 분석하여 전류 길이를 제어해 첫 공진점을 FM 방송대역 이전으로부터 FM 대역으로의 이동을 제한한다.

## II. 투명 안테나 구조

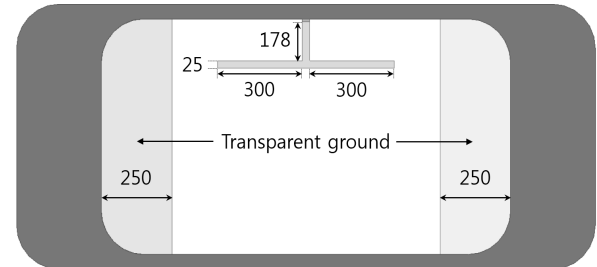
본 연구에서 제작된 전면 글래스 투명안테나는 첫째, 전면 글래스 내에 설계되는 FM 방송대역 투명 모노폴 안테나(타입 1), 둘째, 전면 글래스 내에 설계되는 방송대역 투명 안테나 주파수 튜닝을 위한 추가 투명 그라운드 설계(타입 2), 셋째, 시인성을 최소화하기 위한 추가 투명 그라운드 라인설계(타입 3) 등 3가지로 나눌 수 있다. 그림 1은 제안된 안테나가 장착될 차량(현대 K5)의 전면 글

래스의 구성과 안테나 기본구조를 보여준다. 투명 안테나는 800 mm×1,450 mm의 자동차의 전면 글래스 상에 설계되었다. 전면 글래스의 비유전율( $\epsilon_r$ )은 6.5, 손신탄젠트( $\tan \delta$ )는 0.01, 두께는 3.1 mm이다. 글래스 안테나는 차량 유리에 안테나를 인쇄하는 형태로 안테나가 차량 외부로 돌출되는 단점을 해결할 수 있다. 그러나 차량용 글래스 안테나는 높은 유전 손실을 갖는 제한된 크기의 유리에 안테나를 제작하기 때문에 안테나의 효율이 낮다.



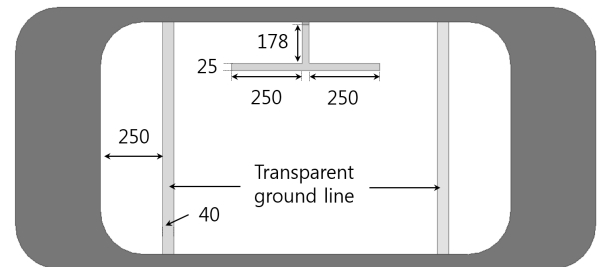
(a) 안테나 구조, 타입 1

(a) Antenna structure, Type 1



(b) 안테나 구조, 타입 2

(b) Antenna structure, Type 2



(c) 안테나 구조, 타입 3

(c) Antenna structure, Type 3

그림 1. 투명 안테나 구조 (unit : mm)

Fig. 1. The structure of transparent antenna.

그러므로 글래스 안테나 설계 시 유전 손실로 인한 전력 손실과 차폐 구조에서 나타나는 영향 및 안테나의 효율을 고려하여야 하며, 심미적 구조 및 시야 확보를 위해 투명 안테나의 시인성을 최소화하여 설계하여야 한다. 그림 1(a)는 투명 안테나를 전면글래스의 closed-line 구조 변화 없이 설계한 것을 보여주고 있다. 간단한 모노폴 안테나로서 투명전극을 가장 적게 사용하지만, 전면 글래스를 둘러싼 고유한 차폐 표면 구조의 영향으로 FM 방송대역의 이전대역에서 첫 번째 공진점이 발생한다. 그림 1(b)는 타입 1의 FM 방송대역 이전대역에서 발생하는 공진점을 FM 방송대역으로 이동하기 위해 고안된 형태이다. 전면 글래스를 둘러싼 차폐 표면의 closed-line 구조 형태를 변형시켜 표면전류의 길이를 제어하기 위해 투명전극을 이용하여 그라운드를 증가시켜 FM 방송대역에서 동작하게 설계하였다. 그라운드가 증가함에 따라 안테나 크기에 제한이 생기게 되어, 투명 모노폴 안테나의 길이가 작아지나, closed-line 구조로 인한 차폐 표면에 흐르는 전류의 길이가 짧아져 방송대역 이전에 발생하던 공진점이 FM 방송대역에서 동작한다. 안테나와 연결된 그라운드의 증가로 인해 FM 대역에서  $S_{11}$ 이 감소하는 경향을 보이나, -6 dB 이하로 기존 목표였던 VSWR 3:1을 만족한다. 또한 투명전극의 이용뿐만 아니라, 방사패턴과 그라운드의 영향을 고려하여 최대한 전면 글래스의 상단에 설계하여 시인성을 최소화하였다. 그림 1(c)는 타입 2와 달리 전면적인 그라운드의 증가가 아닌 두께 40 mm의 그라운드 라인을 추가하여 차폐 표면으로 흐르는 표면 전류의 길이를 제어하는 형태이다. 타입 3 또한 안테나 크기에 제한이 생기게 되나, 차폐 표면으로 흐르는 전류의 길이가 짧아져 첫 번째 공진점이 FM 방송대역에서 동작한다. 타입 2와 비교했을 때, 얇은 투명 그라운드 라인을 이용함으로써 시인성을 더욱더 개선할 수 있으며, 투명전극의 사용량을 감소시킬 수 있다.

### III. 투명 안테나 설계 및 제작

제안된 투명 안테나는 마이크로 메탈메쉬 필름을 사용하여 제작하였다. 그림 2는 마이크로 메탈메쉬 필름의 투명도와 중배율( $\times 128$ ) 사진을 보여주고 있다. 얇게 형성

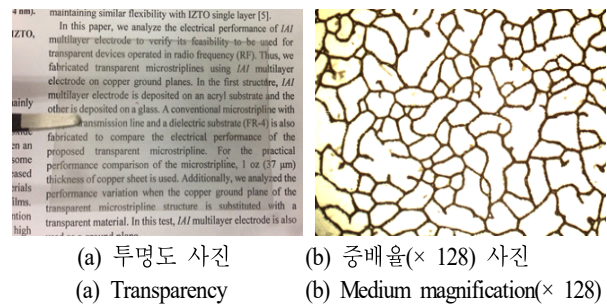
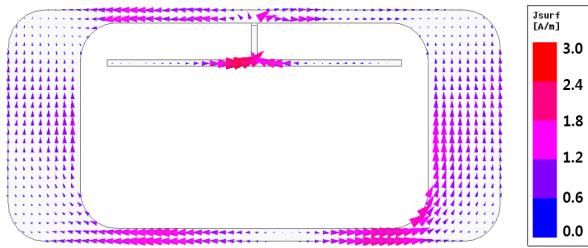


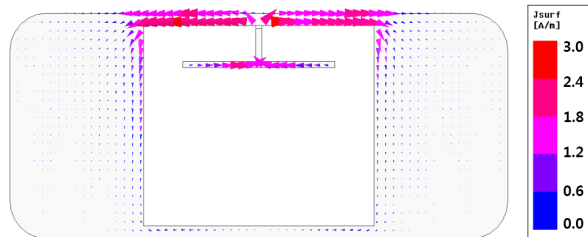
그림 2. 마이크로 메탈메쉬필름의 투명도 사진과 중배율( $\times 128$ ) 사진

Fig. 2. The photo of transparency and medium magnification of micro metal mesh film.

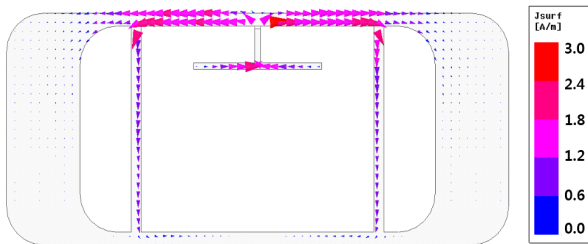
된 마이크로 메탈메쉬의 두께와 너비는  $5 \mu\text{m}$ , 시트 저항은  $0.18 \Omega/\text{sq.}$ 이며, 가시광선 범위인  $400 \sim 800 \text{ nm}$  파장에서의 투명도는 61.46 %이다<sup>[3]</sup>. 마이크로메탈메쉬는 다른 투명 전도성 필름들과 비교하면 광학적 특성(투명성)이 조금 낮지만 전기적 특성(전도도)에서 더 우수한 성질을 지닌다<sup>[6]</sup>. 제안된 안테나는 전면 글래스의 최대한 상단에 설계함으로 시각적 영향을 최소화하였으며, 방송대역 안테나의 안정된 신호수신의 필요성을 고려하여 전기적 특성이 높은 마이크로 메탈메쉬를 통해 설계하였다. 그림 3은 투명 안테나의 표면 전류 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 전면 글래스 내에 설계되는 투명 안테나는 자동차 전면 글래스를 둘러싸고 있는 차폐 그라운드를 공유하는 closed-line 구조이다. 그러므로 그림 3(a)와 같이 안테나로 급전되는 전류가 차폐 표면을 통해 길게 흐르게 되는 현상이 나타나는데, 이 때문에 방송대역 이전에서 첫 번째 공진대역이 생기게 된다. 그림 3(b)는 차폐 표면을 통해 흐르는 전류의 길이 제어를 통해 첫 번째 공진대역을 FM 방송대역으로 옮기기 위해 그라운드를 추가한 형태이다. 너비 250 mm의 투명 그라운드를 추가함으로써, 급전부에서 발생하는 전류가 추가 그라운드를 통해 흐르게 만들어 전류의 길이가 짧아진 것을 확인할 수 있다. 그림 3(c)는 타입 2의 경우, 많은 양의 마이크로 메탈메쉬 필름 사용과 시인성 문제를 해결하기 위해 전면 글래스의 양쪽 외각으로부터 250 mm 떨어진 위치에 40 mm 두께의 추가 그라운드 라인 설계를 통해 전류의 길이를 제어하여 첫 번째 공진점을 FM 방송대역으로 이동시키기 위해 고안



(a) 표면 전류 분포, 타입 1 @ 95 MHz  
(a) Surface current distribution, Type 1 @ 95 MHz



(b) 표면 전류 분포, 타입 2 @ 95 MHz  
(b) Surface current distribution, Type 2 @ 95 MHz

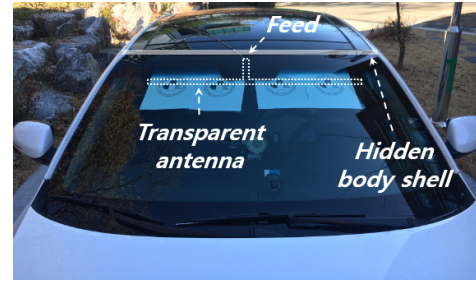


(c) 표면 전류 분포, 타입 3 @ 95 MHz  
(c) Surface current distribution, Type 3 @ 95 MHz

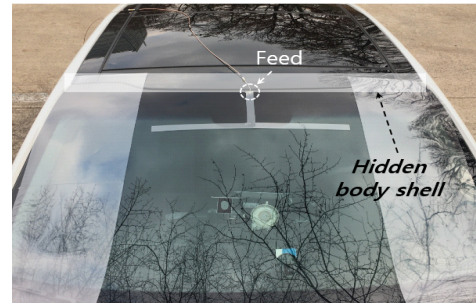
그림 3. 투명 모노폴 안테나의 표면 전류 분포

Fig. 3. Surface current distribution of the transparent monopole antenna.

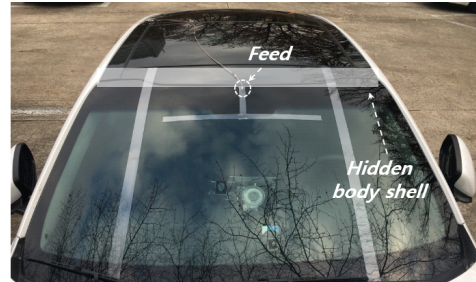
한 형태이다. 표면 전류가 추가 그라운드 라인을 통해 흐르게 하여 전류의 길이가 짧아진 것을 확인할 수 있다. 그림 4는 마이크로 메탈메쉬를 사용하여 제작된 투명안테나의 실제 측정 사진이다. 사진에 표시한 hidden body shell은 전면 글래스와 천장 사이에 숨겨진 금속 차체를 의미한다. 이 숨겨진 금속 차체의 존재로 우리는 closed-line 구조를 가지게 된다. 급전 라인은 특성 임피던스가 50  $\Omega$ 인 동축 케이블을 통해 전면 글래스의 중앙 상단에 설치된 안테나로 급전된다. SMA 케이블을 연결 할 때 마



(a) 제작된 투명안테나, 타입 1  
(a) Fabricated transparent antenna, Type 1



(b) 제작된 투명 모노폴 안테나, 타입 2  
(b) Fabricated transparent antenna, Type 2



(c) 제작된 투명안테나, 타입 3  
(c) Fabricated transparent antenna, Type 3

그림 4. 제작된 투명 안테나 사진

Fig. 4. The photo of the fabricated transparent antenna.

이크로 메탈메쉬는 납땜이 불가능하다. 따라서 제작된 안테나와 견고한 연결을 하기 위해 에폭시 전도성 접착제를 사용하였다.

#### IV. 투명 안테나 측정결과

반사 계수(reflection coefficient,  $S_{11}$ )는 네트워크 아날라이저 Agilent N9912A를 이용해 측정했다. 그림 5는 측정

을 통해 얻은 반사계수 그래프이며, 실선은 타입 1을, 긴 점선은 타입 2을, 짧은 점선은 타입 3을 나타내고 있다. 타입 1~3 안테나 모두 FM 서비스대역(88~108 MHz)에서 측정 반사계수가  $-6\text{ dB}$ (VSWR 3:1) 이하의 값을 갖는다. 또한 세 타입의 측정 결과는 유사한 곡선을 그리며, 광대역 특성을 갖는다. Closed-line 구조를 이용하여 전류 길이를 제어해 FM 방송대역 이전의 공진점을 FM 방송대역으로 튜닝한 결과가 타입 2와 3이다. 타입 1에 비해 타입 2와 3은 FM 방송대역에서 더 광대역 특성을 가지며, 타입 1 결과보다 반사계수가 더 좋은 특성을 갖는다. 그림 6은 현대 남양연구소의 무반사 챔버에서 측정한 방사 패턴 그래프이다. 전체적인 방사 패턴은 모노폴 안테나의 일반적인 방사 패턴 모양( $\infty$ )으로 전방향성 형태를 갖는다. 방사패턴은 XY 평면에서  $0^\circ$ 가 자동차 전면 글래스의 바깥 방향을 향하게 측정되었다. 전체적으로  $0^\circ$ 와  $180^\circ$ 에서 높은 이득을 가지므로 바깥 방향으로 지향성을 갖음을 확인할 수 있다. 그림 7은 FM 방송대역에서 세 종류 안테나의 평균 및 최대 이득을 측정한 결과이다. 평균 이득은 측정 주파수 별  $0\sim 360^\circ$ 의 값들의 전체 평균을 나타낸 값이며, 최대 이득은  $0\sim 360^\circ$ 의 값들 중 가장 큰 값을 나타낸 것이다. 최대 이득과 평균 이득은 안테나의 종류와 주파수마다 상이한 결과를 가지며, 타입 1이 가장 높은 이득을 갖는다. 타입 1의 최대이득은  $-0.4\sim 2.7\text{ dB}$ 의 값을 가지며, 평균이득은  $-7\sim -2.1\text{ dB}$ 이다. 타입 2의 최대이득은  $-4.4\sim -2.3\text{ dB}$ 이며, 평균이득은  $-7.3\sim -5.64\text{ dB}$ 이다. 타입 3의 최대이득은  $-2\sim 0.4\text{ dB}$ 이며, 평균이득

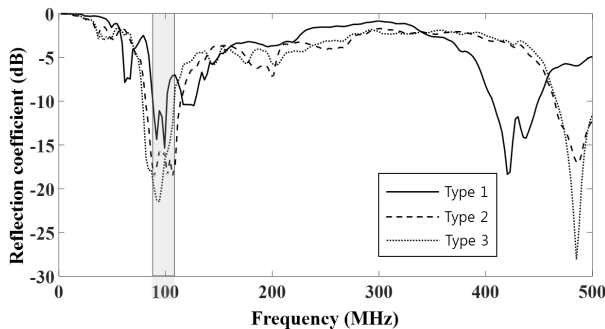
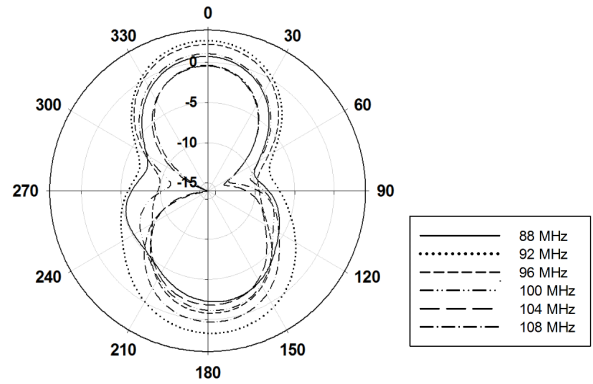
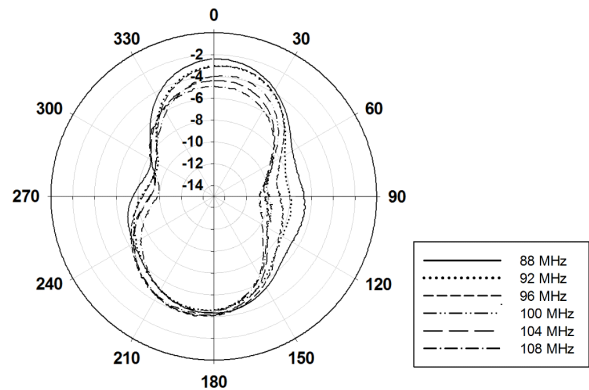


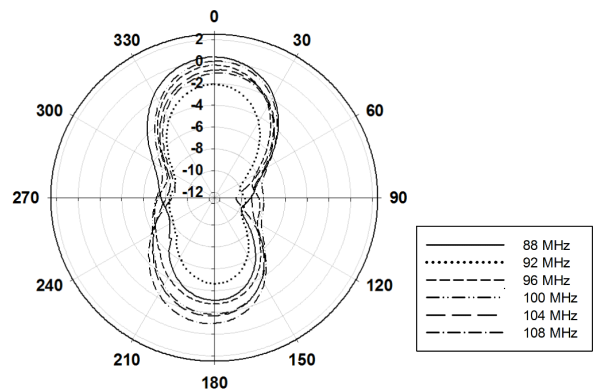
그림 5. 투명 모노폴 안테나의 측정 반사계수  
Fig. 5. Measured reflection coefficients of the transparent antenna.



(a) 측정된 방사패턴, 타입 1(XY 평면)  
(a) Measured radiation pattern, Type 1(XY plane)



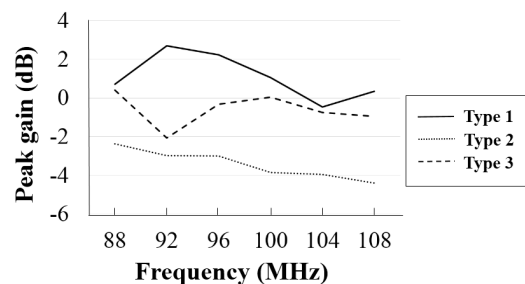
(b) 측정된 방사패턴, 타입 2(XY 평면)  
(b) Measured radiation pattern, Type 2(XY plane)



(c) 측정된 방사패턴, 타입 3(XY 평면)  
(c) Measured radiation pattern, Type 3(XY plane)

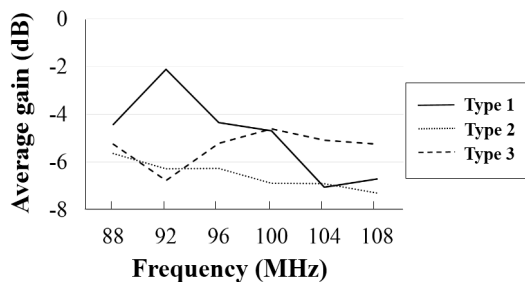
그림 6. 투명 안테나의 XY 평면에서의 방사 패턴( $0^\circ$ 가 차량 전면 방향이다)

Fig. 6. Radiation patterns of the transparent antennas in the XY plane( $0^\circ$  is outward direction from the car).



(a) 최대 이득(0~360°, XY 평면)

(a) peak gain(0~360°, XY plane)



(b) 평균 이득(0~360°, XY 평면)

(b) Average gain(0~360°, XY plane)

그림 7. 측정된 안테나의 최대 및 평균 이득  
Fig. 7. Measured average and peak gains of antennas.

은  $-6.8 \sim -4.6$  dB이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 FM 라디오 수신을 위한 자동차 전면 글래스 상에 설계되는 투명 안테나를 제안하였다. 제안된 세 종류의 안테나의 측정된 반사 계수는 FM 방송대역에서  $-6$  dB 이하(VSWR 3:1)이며, 광대역 특성을 만족하였다. 측정된 최대 이득은 타입 1~3의 경우, FM 라디오 전대역에서 각각  $-0.4$  dB,  $-4.4$  dB,  $-2$  dB 이상의 높은 이득을 나타내었고, 평균 이득은 각각  $-7$  dB,  $-7.3$  dB,  $-5.2$  dB 이상으로 높은 평균 이득을 보였다. 사용된 투명전극인 마이크로 메탈메쉬가 다른 투명전극필름보다 우수한 전기적 특성을 가지므로 높은 이득을 얻을 수 있었다. 제안된 안테나는 마이크로 메탈메쉬의 투명성을 통해 안테나의 시각적 인식을 최소화 할 수 있으며, 다른 안테나들과 달리 디자인 측면을 방해하지 않는 장점이 있

다. 전면 글래스는 집약적으로 설계된 샤크 안테나와 같은 안테나 모듈보다 많은 공간을 제공할 수 있으므로, 다른 안테나로부터의 격리도 증가와 상호간섭을 줄일 수 있다. 제안된 안테나와 같이, 투명 전도성 필름은 가까운 미래에 여러 가지 방법을 통해 투명 장비를 만드는데 사용될 것으로 예상되며, 투명 안테나는 향후 자동차 안테나 개발에 필요한 공간과 디자인 측면에서의 자유도를 제공할 수 있다.

## References

- [1] G. Artner, R. Langwieser, and C. F. Mecklenbrauker, "Concealed CFRP vehicle chassis antenna cavity," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1415-1418, 2017.
- [2] L. Low, R. Langley, R. Breden, and P. Callaghan, "Hidden automotive antenna performance and simulation," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 12, pp. 3707-3712, Dec. 2006.
- [3] S. Hong, Y. Kim, and C. W. Jung, "Transparent microstrip patch antennas with multilayer and metal-mesh films," *IEEE Antennas Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 772-775, 2017.
- [4] S. Hong, S. H. Kang, Y. Kim, and C. W. Jung, "Transparent and flexible antenna for wearable glasses applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 7, pp. 2797-2804, Jul. 2016.
- [5] H. H. Lee, S. H. Kang, and C. W. Jung, "Optically transparent microstrip line with micro-wired-metal mesh," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 60, no. 2, pp. 374-378, 2018.
- [6] 강석현, 정창원, "정방향 메탈메쉬 투명전극을 이용한 투명 사각 패치 안테나," *한국전자과학회논문지*, 29(4), pp. 277-284, 2018년 4월.
- [7] 안승범, 계영철, 추호성, "다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나," *한국전자과학회논문지*, 20(3), pp. 230-238, 2009년 3월.



이 주 형



2018년 2월: 서울과학기술대학교 전기공학과 (공학사)

2018년 3월~현재: 서울과학기술대학교 나노 IT디자인융합기술대학원 석사 과정  
[주 관심분야] 투명전극, 투명 안테나 등

정 창 원



1997년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)

2001년 12월: University of Southern California, 전자공학과 (공학석사)

2005년 6월: University of California, Irvine, 전자공학과 (공학박사)

1997년 1월~2000년 6월: LG전자 연구원

2005년 7월~2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor

2005년 11월~2008년 4월: 삼성종합기술원 전문연구원

2008년 5월~현재: 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합기술대학원 부교수

[주 관심분야] 안테나 센서, 무선전력전송, 투명전극, EMI/EMC 등