

항공기용 양면 인쇄형 글래스 안테나 설계

Design of a Double-Faced Window Printed Antenna for Aircraft Applications

변강일 · 한원근* · 추호성

Gangil Byun · Wone Keun Han* · Hosung Choo

요약

본 논문에서는 커플링 급전 구조를 가지는 항공기용 양면 인쇄형 글래스 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 한 개의 급전 선로와 다중 루프 형상의 방사 소자로 구성되며, 조종석 좌측 창문의 서로 다른 면에 위치하여 제한된 면적을 효율적으로 사용하도록 하였다. 제안된 안테나는 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 하였으며, 최적화된 안테나를 1/10 크기의 KUH-Surion에 장착하여 안테나 성능을 측정하였다. 최적화된 안테나는 해당 대역의 중심 주파수에서 33 %의 반전력 대역폭을 가지며, 평균 -3.49 dBi의 전면 방향 복사 이득을 갖는다. 제안된 글래스 안테나의 수신 성능을 평가하기 위해 반경 200 km에서의 수신 전력을 시뮬레이션 하였으며, 그 결과 현재 항공기용 FM 안테나로 사용 중인 pole 안테나와 비슷한 -60 dBm의 최소 수신 전력을 유지하는 것을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we propose a double-faced window printed antenna for aircraft applications. The proposed antenna structure consists of a feeding line and a multi-loop radiator located on different sides of the window to use the limited given-area effectively. The proposed antenna is optimized by the genetic algorithm in conjunction with the FEKO EM simulator. The optimized antenna is built and installed on a 1/10 sized KUH-Surion mock-up and antenna performances such as the reflection coefficient and the radiation patterns are measured. The optimized antenna shows a half power matching bandwidth of about 33 % at 60 MHz and an average bore-sight gain of about -3.49 dBi. To verify the reception capability of the optimized antenna, we simulated the received power according to a flight scenario. The result confirms that the optimized antenna shows a minimum received power level above -60 dBm at a range of 200 km, which is similar to the pole antenna that is currently used as a FM voice antenna for KUH-Surion.

Key words : On-Glass Antenna, Aircraft Antenna, FM Antenna

I. 서론

현재 항공기용 HF 대역 안테나는 높은 수신 성능을 만족시키기 위해 $\lambda/4$ 모노폴이나 블레이드 타입과 같은 외부 돌출형 안테나를 사용한다^{[1],[2]}. 그러나

폴 형상의 안테나와 블레이드 형상의 안테나는 외부 돌출 구조에 의해 항공기의 공기 저항 및 하중을 증가시켜 연료 효율을 저하시키고, 공기 마찰로 인해 내구성이 떨어지는 단점을 가진다. 이러한 단점을 해결하기 위해 안테나 선로를 글래스 표면에 직접

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-C1090-1021-0005).」
 홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*홍익대학교 물리학과(Department of Physics, Hongik University)

· 논문 번호 : 20101001-03S

· 교신저자 : 추호성(e-mail : hschool@hongik.ac.kr)

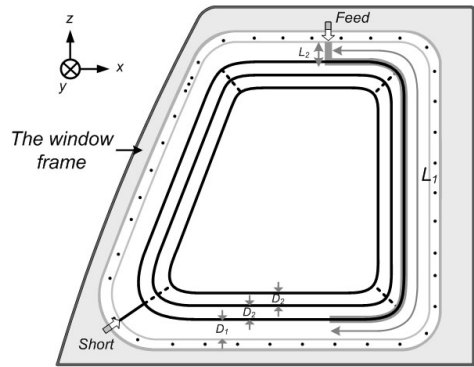
· 수정완료일자 : 2011년 1월 13일

인쇄하여 사용하는 내장형 글래스 안테나가 제안되었으며, 최근에는 그 사용이 차량 응용 분야를 중심으로 확산되고 있다^{[3]-[5]}. 하지만 글래스의 높은 유전 손실로 인한 복사 이득의 저감과 안테나 선로가 항공기 도전성 프레임에 근접하여 발생하는 전파 차단 효과, 커플링 및 협대역 특성이 문제점으로 지적되고 있으며, 안테나 선로가 탑승자의 시야를 가리는 단점을 가진다^{[6],[7]}. 이러한 문제점을 해결하기 위해 조종사의 시야 확보를 극대화한 다중 루프 형상의 글래스 안테나가 제안되었으나, 복사 이득 및 대역폭 특성이 군용 광대역 HF 통신 응용에 적용되기에 아직 부족한 실정이다^[8].

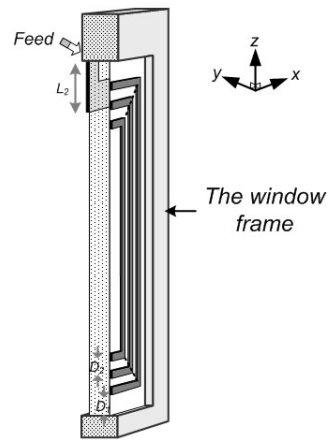
본 논문에서는 항공기용 글래스 안테나의 대역폭과 이득 특성을 개선하기 위해 커플링 급전 구조를 이용한 다중 루프 안테나를 제안하였다^{[9],[10]}. 제안된 안테나는 하나의 급전 선로와 다중 루프 형상의 방사체로 구성되며, 제한된 면적의 유리면을 효율적으로 사용하기 위해 급전부와 방사부를 서로 유리의 반대면에 위치시켰다. 안테나 급전 선로의 두께와 길이, 그리고 다중 루프 선로 간 거리를 변화시켜 급전 선로와 방사 선로 간의 커플링 세기를 조절하였으며, 조종사의 시야 확보를 위해 안테나가 장착되는 항공기 조종석 창틀을 모사한 형상을 갖도록 설계하였다. 안테나의 성능 검증에 위해 1/10배 축소 제작된 KUH-Surion 모형의 좌측 창문에 안테나를 장착하여 반사 손실 및 복사 패턴을 측정하였다. 또한 비행 시나리오에 따른 글래스 안테나의 수신 전력을 예측하여 현재 KUH-Surion의 FM 안테나로 사용 중인 pole 안테나와 비교하였으며, 그 결과 제안된 글래스 안테나가 KUH-Surion의 FM 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

II. 안테나 설계 및 최적화

그림 1(a)와 (b)는 각각 제안된 글래스 안테나의 정면도와 단면도 형상을 보여 준다. 안테나는 제한된 유리면적($0.09 \lambda \times 0.08 \lambda$, 30 MHz)의 효율적인 사용을 위해 급전 선로와 방사 선로가 서로 유리의 반대면에 위치하며, 커플링 급전 구조를 가진다. 안테나가 커플링 급전 구조를 가질 경우, 급전 선로의 길이 확보에 용이하므로 광대역, 고이득 특성 구현에 적



(a) 제안된 안테나 정면도
(a) Front view



(b) 제안된 안테나 단면도
(b) Side view

그림 1. 제안된 글래스 안테나 형상
Fig. 1. The proposed antenna structure.

합하다. 조종사의 시야 확보를 위해 안테나 선로가 창틀을 모사한 형상을 가지도록 설계하였으며, 다중 공진을 유도하여 광대역 정합에 유리하도록 다중 루프 형상의 방사 소자를 제안하였다. 제안된 안테나의 설계 변수는 다중 루프의 개수(N), 최 외곽 선로와 창틀과의 거리(D_1), 다중 루프 선로 간의 거리(D_2), 급전 선로의 길이(L_1), 급전 선로의 두께를 포함한 창틀로부터의 거리(L_2)가 사용되었다. 급전 선로의 길이와 두께를 조절하여 방사부와 급전부 사이의 커플링 주파수와 세기를 조절하였으며, 각 루프의 선로 길이를 조절하여 넓은 대역에서 다중 공진을 가지도록 하였고, 루프들이 네 모서리에서 연결될 수 있도록 하여 낮은 주파수의 공진을 유도하였다.

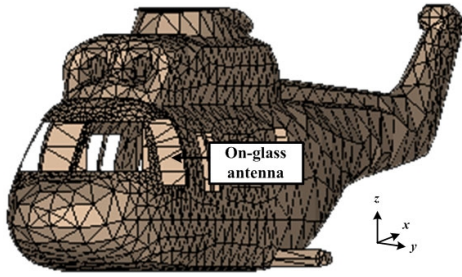


그림 2. KUH-Surion 헬기 형상
Fig. 2. The geometry of KUH-Surion.

안테나 선로들이 창틀에서 멀어질 경우 도전성 프레임과의 커플링 현상이 감소하게 되어 안테나 특성이 개선되기는 하나, 글래스 안테나의 특성 상 조종사의 시야 확보를 위해 창틀에서부터 최 내곽 선로까지의 거리를 200 mm로 제한하였다.

그림 2는 글래스 안테나가 장착될 한국형 기동 헬기(KUH-Surion)의 형상을 보여주며, CAD 파일로 도식된 KUH-Surion 형상을 EM 시뮬레이터 파일로 변환(import)하여 시뮬레이션에 적용하였다. 안테나는 조종석 좌측 창문에 장착되며, 넓은 접지면 확보가 가능한 동체 지붕의 인접 창틀 상단에서 급전되도록 설계하였다. 안테나의 정확한 성능 예측을 위해 항공기의 전체 구조를 EM 시뮬레이션에 포함시켰으며, 글래스 안테나의 성능에 큰 영향을 미치는 항공기 내부 구조물과 창문의 형상을 실제 형상과 동일하게 적용하였다. 전체 구조체를 포함하여 해석할 경우 해석 정확도는 향상되나 높은 메모리와 많은 시간이 요구되므로 빠른 성능 예측을 위해 안테나 성능에 큰 영향을 주지 않는 프로펠러, 랜딩 기어와 같은 구조체는 제거하였다^[11]. 또한 항공기 구조체에 유기되는 전류의 분포를 바탕으로 제안된 안테나가 장착되는 근접 구조물에 비해 상대적으로 적은 전류가 유기되는 구조물에 대해서는 성긴 mesh 분포를 갖도록 하여 mesh 수를 3,000개 정도로 조절하였다.

제안된 안테나의 성능 예측과 최적 설계 변수를 도출하기 위해 FEKO EM 시뮬레이터와 유전자 알고리즘을 연동하여 최적화하였으며, 유리(두께 3 mm, $\epsilon_r=4$, $\tan \sigma=0.01$)에 인쇄되는 안테나 선로(너비 1 mm)의 성능 예측을 위해 코팅드 와이어(coated wire) 근사 기법을 사용하였다. 근사 기법을 위한 도전성 내심의 반경은 0.02 mm이고, 둘러싸는 유전체의 내

심 반경은 0.03 mm이며, 유전자 알고리즘에서 안테나의 성능 평가를 위해 사용한 비용 평가 함수는 식 (1), (2)와 같이 정의하였다.

$$Cost1 = 1 - \frac{BW_{ANT}}{BW_{FM}} \quad (1)$$

$$Cost2 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K |S_{11}| \quad (2)$$

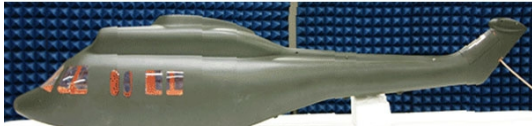
$$if\ FOV = 1 - \frac{S_{ANT}}{S_{WIN}} < 0.6, \text{exclude the design.}$$

$$30\text{ MHz} \leq \text{frequency} \leq 88\text{ MHz} \quad (3)$$

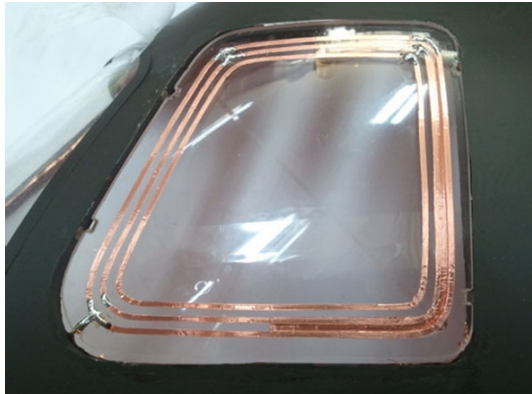
식 (1)은 제안된 안테나의 반전력 대역폭을 개선하기 위해 사용되었으며, 군용 FM 대역(30~88 MHz)을 나타내는 BW_{FM} 과 설계된 안테나의 반전력 대역폭을 나타내는 BW_{ANT} 로 표현되었다. 항공기나 차량과 같이 전기적으로 큰 구조체에 장착되는 안테나의 경우 근접 구조체에 의한 성능 저하가 두드러지므로 반전력(-3 dB) 대역폭을 안테나 대역폭 평가의 기준으로 삼았다. 식 (2)는 K개의 해석 주파수에서의 임피던스 매칭의 정도를 나타내며 S_{11} 의 평균값으로 판단하였다. 또한 조종사의 시야 확보를 위해 시야 확보 영역(FOV: Field of View)이 전체 유리 면적의 60% 미만 되는 디자인은 필터링하였으며, 식 (3)의 창문 면적(S_{WIN})과 안테나 면적(S_{ANT})의 비율을 이용하여 판단하였다. 유전자 알고리즘의 한 세대 당 인구는 40개로 설정하였으며, 두 비용 평가 함수를 모두 최소화 하는 형상을 최적 안테나 디자인으로 결정하였다.

III. 성능 측정

최적화된 안테나의 성능 평가를 위해 실제 KUH-Surion 형상(15 m×2 m×4.5 m)의 1/10배 모형을 제작하였으며, 글래스 안테나 성능에 영향을 주는 창문 및 내부 구조물의 형상을 동일하게 적용하였다. 접지면 확보 및 실제 항공기와 동일한 전자파 차폐 특성을 구현하기 위해 모형의 내부를 도전성 물질로 코팅하였으며, 안테나가 장착되는 조종석 좌측 창문의 유리도 실제 캐노피와 유사한 재질을 사용하였다. 1/10로 축소된 안테나의 경우, 실제 동작 주파수의 10배 높은 주파수 대역에서 파장에 따른 안테나



(a) 안테나 장착 모형
(a) The mock-up of the KUH-Surion



(b) 최적화된 안테나 형상
(b) The optimized antenna structure

그림 3. 제작된 구조체 형상 및 안테나
Fig. 3. The optimized antenna structure.

의 크기가 동일해지므로 같은 반사 손실 및 복사 특성을 나타낸다^[12]. 따라서 군용 FM 대역보다 10배 높은 300~880 MHz에서 안테나의 성능을 측정하였다. 그림 3(a)는 최적화된 안테나가 장착될 모형 헬기의 형상을 보여주고, 그림 3(b)는 최적화된 안테나의 형상을 보여주며, 구체적인 설계 변수는 표 1에 정리하였다. 안테나는 3개의 다중 루프 방사 소자로 구성되며, 너비 3.5 mm의 급전 선로를 가진다. 조종사의 시야 확보 영역은 전체 유리면적(0.56 m²)의 71%(0.40 m²)이며, 유리의 외곽부분에 안테나 선로가 위치하여, 다른 형상의 안테나에 비해 체감 시야를 보다 확보할 수 있음을 확인하였다. 최적화된 설계 변수를 바탕으로 1/10 크기의 KUH-Surion 모형에 글래스 안테나를 장착한 뒤 반사 손실 및 복사 패턴을 측정하였다. 그림 4는 최적화된 안테나의 반사 손실

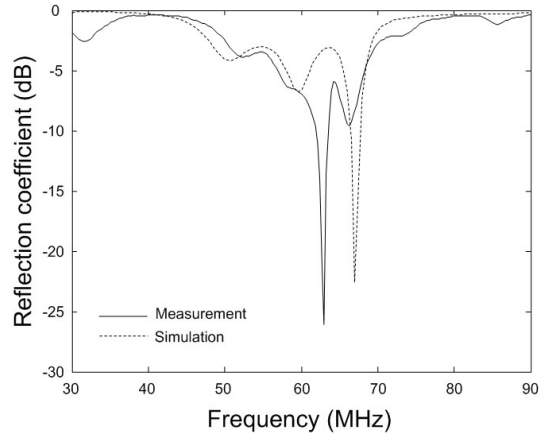


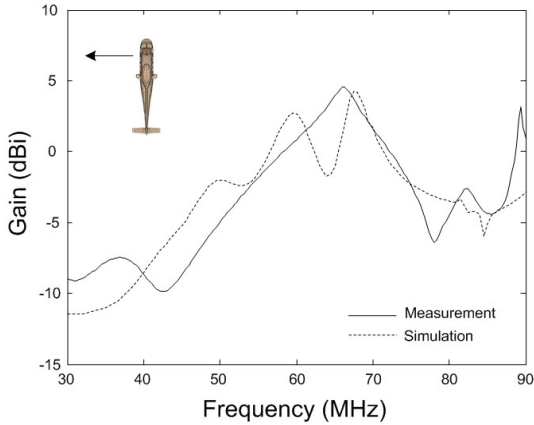
그림 4. 최적화된 안테나의 반사 손실
Fig. 4. Reflection coefficient of the optimized antenna.

시뮬레이션 결과와 측정값을 비교한 것으로 각각 전선과 실선으로 나타내었다. 측정 결과, 최적화된 안테나는 중심 주파수인 60 MHz에서 약 33%의 반사력 대역폭($|S_{11}| < -3\text{dB}$, 48~68 MHz)을 가지며 시뮬레이션 결과와 유사한 성능을 보인다. 제작된 안테나의 동작 주파수가 다소 낮은 주파수 대역으로 이동하기는 하였으나, 이는 10배 높은 측정 주파수 대역의 좁아진 파장으로 인해 선로 길이에 대한 민감도가 증가하여 발생한 것으로 사료되며, 이러한 특성은 에칭 기술을 이용하여 정밀 제작한다면 충분히 개선될 것으로 사료된다.

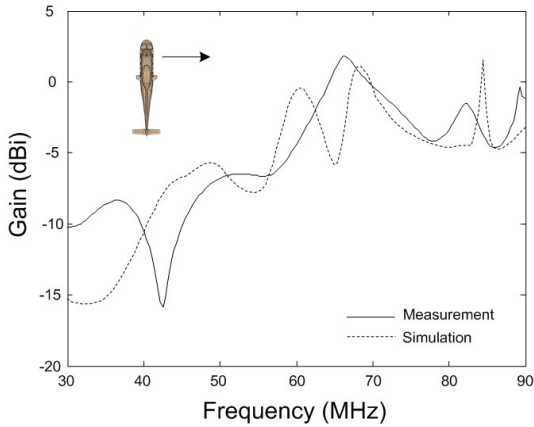
최적화된 안테나의 복사 패턴을 측정하기 위해 300~880 MHz 대역에서 동작하는 혼 안테나를 이용하였으며, 해당 주파수 대역의 far-field 조건을 만족하기 위해 3 m가 되는 거리에 배치하여 측정하였다. 복사 패턴의 측정은 반 무반사실에서 이루어졌으며, 주변 구조물에 의해 반사되어 들어오는 신호를 필터링하기 위해 4.7~15.5 ns의 신호를 시간 게이팅(time gating)하였다. 그림 5의 (a)와 (b)는 각각 안테나의 전면 방향과 후면 방향의 주파수에 따른 복사 이득을 나타내며, 시뮬레이션으로 예측된 결과와 측정값이 서로 비슷한 경향을 보인다. 그림 6은 60 MHz

표 1. 최적화된 안테나의 설계 변수
Table 1. Parameters of the optimized antenna.

Parameters	N	L_1	L_2	D_1	D_2
Value	3	1,243.9 mm	75.0 mm	71.5 mm	44.0 mm



(a) 안테나 전면 방향 복사 이득
(a) Radiation gain at the front direction



(b) 안테나 후면 방향 복사 이득
(b) Radiation gain at the back direction

그림 5. 주파수에 따른 안테나 복사 이득 변화
Fig. 5. Variations of the radiation gain.

에서 30° 간격으로 측정된 방위각(azimuth) 방향 복사 패턴과 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 제한된 안테나는 측정된 60 MHz에서 평균 -2.4 dBi의 방위각 방향 평균 이득을 가지며, 그 외의 40 MHz와 80 MHz에서도 각각 -2.6 dBi와 -2.0 dBi의 높은 평균 이득을 가진다. 또한 시뮬레이션에서 예측된 방위각 방향의 복사 패턴과 같이 안테나의 전면 방향 ($\theta=90^\circ$, $\phi=270^\circ$)으로는 복사 이득이 큰 반면, 반대 방향인 우측 방향으로는 구조체의 영향에 의해 복사 이득이 저감되는 결과를 확인할 수 있다. 하지만 항공기 후방 쪽으로는 많은 방사가 일어나는 데, 이는 안테나가 글래스 표면에 장착되어 있어 패턴이 항공기 표면 방향으로 방사될 경우 전도성 표면을 타고

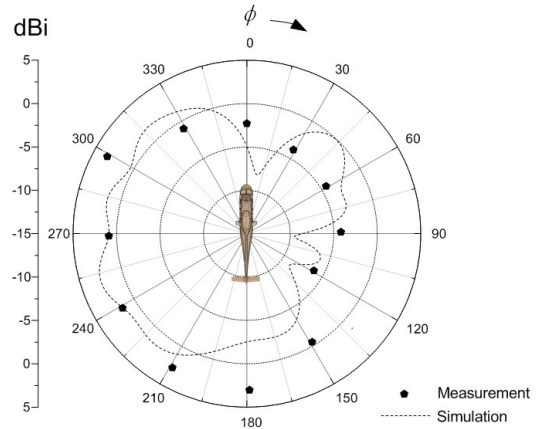


그림 6. 최적화된 안테나의 방위각 복사 패턴
Fig. 6. Azimuth pattern of the optimized antenna.

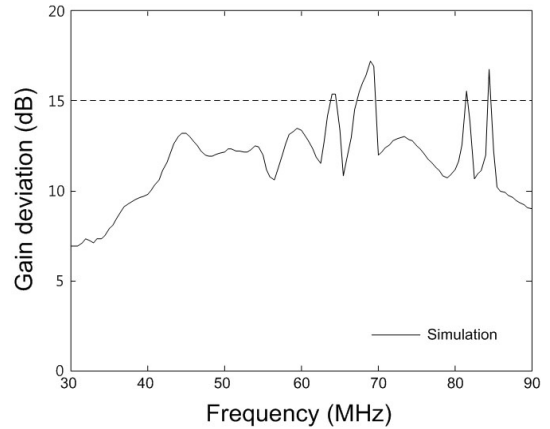
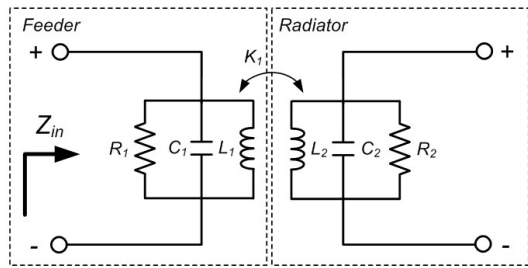


그림 7. 주파수에 따른 방위각 패턴 편차
Fig. 7. Gain deviation of the azimuth pattern.

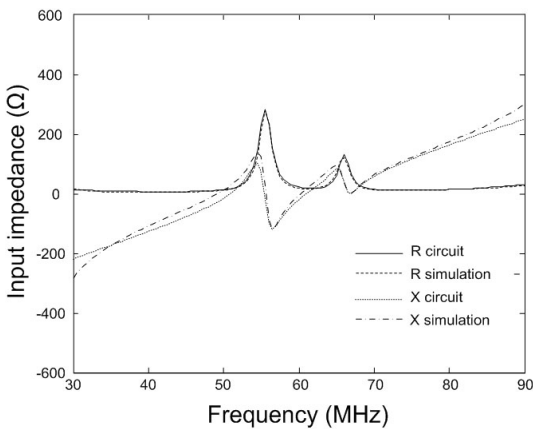
패턴이 후방 쪽까지 유기되어 후방에 패턴이 집중되어 발생한 것으로 사료된다. 이와 같이 안테나가 구조체에 근접하여 배치되는 글래스 안테나의 특성상 근접 구조체에 의한 커플링, 전파 산란, 전파 차폐에 의한 패턴의 왜곡이 발생하며, 이는 항공기용 FM 안테나의 중요한 성능 평가 기준으로 작용하는 무지향성 복사 특성을 저해하는 요인이 된다. 항공기 구조체가 안테나 패턴에 미치는 영향을 알아보기 위해 주파수에 따른 방위각 패턴의 이득 편차를 계산하였으며, 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 최적화된 안테나는 거의 모든 주파수 대역에서 15 dB 이하의 이득 편차를 유지하며, 평균 11.5 dB의 이득 편차를 보여 무지향성에 근접하는 복사 패턴 특성을 보임을 확인하였다^[13].

IV. 성능 분석

커플링 급전 구조를 가지는 글래스 안테나의 동작 원리를 분석하기 위해 동일한 임피던스 특성을 가지는 등가 회로 모델을 설계하였다. 등가회로의 각 소자 값을 도출하기 위해 EM 시뮬레이션으로 예측된 입력 임피던스 결과와 등가회로에 의한 임피던스를 비교하면서 조절하는 데이터 피팅(data fitting) 방법을 사용하였다. 등가회로 모델은 그림 8(a)와 같이 급전부와 방사부의 형태로 구분되며, 각각의 회로



(a) 등가회로 모델
(a) Equivalent circuit model



(b) 입력 임피던스 비교
(b) Input impedance comparisons

그림 8. 최적화된 안테나의 등가회로 및 입력 임피던스 비교

Fig. 8. Equivalent circuit model of the optimized antenna.

표 2. 등가회로의 lumped element 값
Table 2. Values of the lumped elements.

Lumped element	R_1	R_2	C_1	C_2	L_1	L_2
Value	277.9 Ω	121.4 Ω	5.9 nF	0.1 μF	30 nH	8 nH

는 인덕턴스에 의해 연결됨을 알 수 있다. RLC 개별 소자의 값은 표 2에 나타내었으며, 등가회로 모델에 의한 입력 임피던스 값을 EM 시뮬레이션 결과와 비교하여 그림 8(b)에 나타내었다. 그 결과, 등가회로 모델과 시뮬레이션 결과가 서로 유사함을 알 수 있으며, 중심 주파수인 60 MHz를 중심으로 낮은 저항 성분과 0 Ω 에 가까운 리액턴스 성분을 가지므로 광대역 정합에 유리함을 확인할 수 있다.

커플링 급전의 원리를 분석하기 위해 급전 선로와 방사 선로들 간에 발생하는 H-field를 시뮬레이션 하였다. 그림 9는 60 MHz에서 예측된 최적화된 안테나의 자기장 분포를 보여주며 급전 선로와 근접한 방사 선로 사이에 강한 자기장이 형성되는 것을 알 수 있다. 주파수에 따른 주 방사 소자를 확인하기 위해 각각의 다중 루프 선로에 유기되는 전류의 분포를 시뮬레이션하였으며, 그림 10에 나타내었다. 50 MHz에서는 최외곽 선로를 따라 가장 많은 전류가 유기되며, 60 MHz에서는 최내곽 선로, 70 MHz에서는 중심 선로에 가장 많은 전류가 유기됨을 알 수 있다.

최적화된 안테나의 수신 성능을 평가하기 위해 현재 군용 FM 대역 음성 통신 안테나로 사용 중인

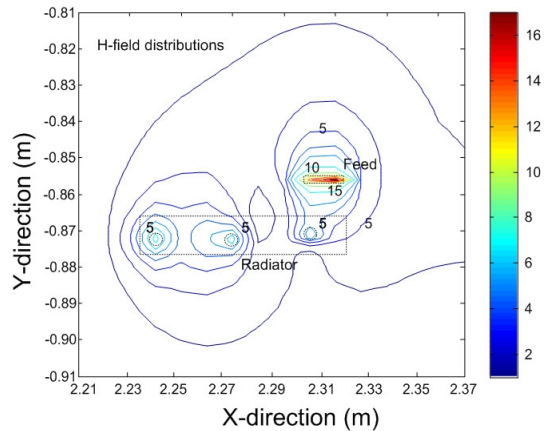


그림 9. 안테나 선로 간의 near field 분포
Fig. 9. Near field distributions.

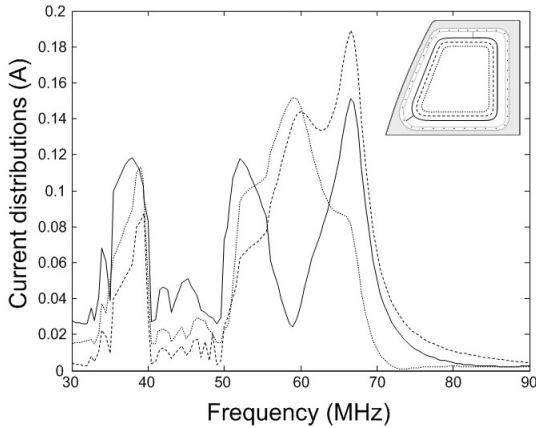
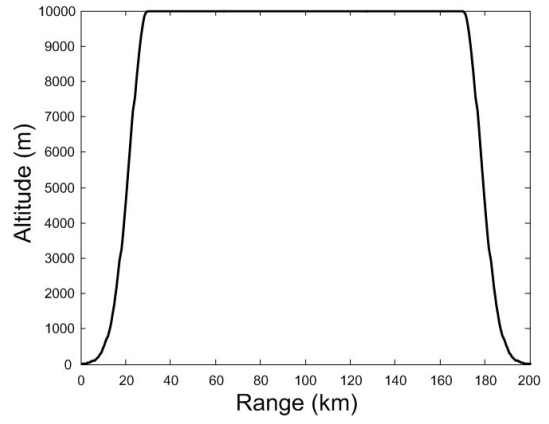


그림 10. 각 선로에 유기되는 전류 분포
Fig. 10. Current distributions.

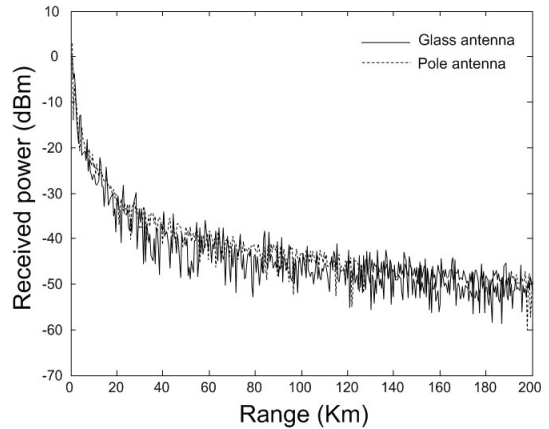
pole 안테나의 수신 성능과 비교하였다. 그림 11(a)는 작전 반경 및 고도에 따른 비행 시나리오를 보여주며, 그림 11(b)는 해당 비행 시나리오에서의 안테나 수신 전력을 나타낸다. 본 시뮬레이션은 Friis 전송 방정식과 비행 시나리오를 이용하여 도출하였으며, 지상 안테나의 이득과 송신 전력은 각각 4 dB와 1 kW로 가정하였다^[14]. 항공기는 ϕ 방향으로 임의의 동작을 하도록 하였으며, θ 방향으로는 평균 90° , 편차 30° 의 Gaussian 분포를 갖는 동작을 하도록 하였다. 시뮬레이션 결과, 두 안테나 모두 반경 200 km 까지 -60 dBm 이상의 수신 성능을 유지하며, 제안된 안테나와 pole 안테나는 각각 -43 dBm, -42 dBm의 비슷한 평균 수신 전력을 보인다. 따라서 제안된 글래스 안테나가 항공기용 FM 통신 안테나로 사용 가능함을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 커플링 급전 구조를 가지는 양면 인쇄형 글래스 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 급전 선로와 다중 루프 형상의 방사 소자로 구성되며, 서로 유리의 반대면에 위치하여 제한된 공간을 효과적으로 사용하였다. 조중사의 시야 확보를 위해 안테나 선로는 창틀의 형상을 모사하였으며, 안테나 선로를 창문의 외곽에 위치시켰다. 제안된 안테나의 최적 설계 변수를 도출하기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였으며, 최적화된 안테나는 1/10 크기의 KUH-



(a) 비행 시나리오
(a) Flight scenario



(b) 수신 전력 비교
(b) Received power

그림 11. 비행 시나리오에 따른 안테나 수신 전력 비교
Fig. 11. Received power according to the flight scenario.

Surion 모형에 장착한 후 측정하였다. 1/10배 축소된 안테나의 성능 측정을 위해 실제 동작 주파수보다 10배 높은 300~880 MHz 대역을 사용하였으며, 반무반사실에서 안테나의 반사 손실 및 복사 패턴을 측정하였다. 최적화된 안테나는 중심 주파수인 60 MHz에서 약 33%의 반전력 대역폭을 가지며, 평균 -3.49 dBi의 높은 전면 방향 복사 이득을 갖는다. 제안된 안테나는 전체 군용 FM 대역을 수용하지는 못하지만 전 대역에서 -15 dB 이상의 높은 이득을 유지하므로 실제 적용하여 사용하는 데는 문제가 없을 것으로 사료된다. 실제 항공기 운용 환경에서의 안테나의 성능 평가를 위해 비행 시나리오에 따른

수신 전력을 예측하였으며, 반경 200 km 내에서 -60 dBm 이상의 수신 전력을 유지하였다. 제안된 글래스 안테나는 현재 항공기용 FM 안테나로 사용 중인 pole 안테나와 비슷한 수신 성능을 가지며, 따라서 제안된 글래스 안테나를 항공기용 FM 통신용 안테나로 사용 가능성을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Low, R. Langley, R. Breden, and P. Callaghan, "Hidden automotive antenna performance and simulation", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 12, pp. 3707-3712, Dec. 2006.
- [2] C. Shimizu, Y. Kuwahara, "Analysis of a diversity antenna mounted on the vehicle for FM radio", in *Proc. IEEE Int. Symp. Antenna Propag.*, Honolulu, HI, USA, vol. 1, pp. 1068-1071, Jun. 2007.
- [3] R. Abou-Jaoude, E. K. Walton, "Numerical modeling of on-glass conformal automobile antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 6, pp. 845-852, Jun. 1998.
- [4] 심재륜, 이준호, 이성신, 김효채, "차량용 FM 라디오 수신을 위한 '유리창에 프린트된 안테나'의 개발", *대한전자공학회논문지*, 35(5), pp. 436-441, 1998년 5월.
- [5] 안승범, 노용호, 오정훈, 추호성, "FM 라디오 수신을 위한 차량용 다이버시티 안테나 설계", *한국전자공학회논문지*, 20(8), pp. 761-769, 2009년 8월.
- [6] 강우준, 계영철, 박슬기, 오정훈, 추호성, "다중선로가 로딩된 T-DMB 수신용 차량 글래스 안테나 설계", *한국전자공학회논문지*, 20(7), pp. 664-672, 2009년 7월.
- [7] Y. Noh, Y. Kim, and H. Ling, "Broadband on-glass antenna with mesh-grid structure for automobiles", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 21, pp. 1148-1149, Oct. 2005.
- [8] 강우준, 추호성, 김영기, 강호원, "항공기용 내장형 온-글래스 안테나 설계", *대한전자공학회논문지*, 46, TC(12), pp. 65-71, 2009년 12월.
- [9] 안승범, 계영철, 추호성, "다중 루프 형태의 차량용 글래스 안테나", *한국전자공학회논문지*, 20(3), pp. 230-239, 2009년 3월.
- [10] Seungbeom Ahn, Seulgi Park, Yongho Noh, Dongwook Park, and Hosung Choo, "Design of an on-glass vehicle antenna using a multi-loop structure", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 1, pp. 107-110, Jan. 2010.
- [11] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.5."
- [12] M. V. T. Heckler, A. Dreher, "Analysis of monopoles installed on airframes", *IEEE Int. Symp. on Antennas Propagat.*, Washington, DC, Jul. 2005.
- [13] S. Ahn, H. Choo, "A systematic design method of on-glass antennas using mesh-grid structures", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 7, pp. 3286-3293, Sep. 2010.
- [14] A. S. Bajwa, J. D. Parsons, "Small-area characterization of UHF urban and suburban mobile radio propagation", *Inst. Elec. Eng. Proc.*, vol. 129, no. 2, pp. 102-109, Apr. 1982.

변 강 일



2010년 2월: 홍익대학교 전자전기 공학과 (공학사)
2010년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신대학원 석사과정
[주 관심분야] 차량 및 항공기용 안테나, 안테나 최적위치 선정

추 호 성



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
2003년 5월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
2003년 6월~2003년 8월: 미국 Univ. of Texas at Austin 전자전기공학부 (Post Doctor)
2003년 8월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 부교수
[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, RFID용 태그 및 리더 안테나

한 원 근



1982년: 서울대학교 물리학과 (이학사)
1984년: 서울대학교 물리학과 (이학석사)
1986년: 브라운대학교 물리학과 (이학석사)
1991년: 브라운대학교 물리학과 (이학박사)

1991년~현재: 홍익대학교 물리학과/기초과학과
[주 관심분야] 전산물리학