

지하 매설물 원격 관리를 위한 지표면 매입형 안테나

Subsurface Antenna for Remote Management of Underground Facility

박동국 · 조익현 · 서홍은 · 윤나라 · 홍재섭*

Dong-Kook Park · Ik-Hyun Cho · Hong-Eun Seo · Na-Ra Yun · Che-Sup Hong*

요 약

본 논문에서 PCS 및 cellular 망을 이용한 지하 매설물의 원격 관리에 적용이 가능한 지표면 매입형 안테나를 제안하였다. 지표면 매입형 안테나는 원형 패치 안테나를 이용하여 2중 공진이 생기도록 하여, 맨홀 뚜껑과 같은 금속에 삽입하고, 안테나 보호를 위해 몰딩 처리를 하여 제작하였다. 금속체 속에 삽입 및 몰딩으로 인해 안테나의 공진 주파수가 변화하게 되는데, 이것을 고려하여 안테나를 설계하였다. 제작된 안테나의 반사 손실 및 다이폴 안테나와의 상대적인 수신 전력 비교 측정을 통해 제안된 안테나가 PCS 및 cellular 망을 이용한 지하 매설물의 원격 관리에 적용이 가능함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, two novel subsurface antennas for remote management of underground facilities using PCS and cellular wireless network are proposed. The proposed subsurface antenna is a dual band circular patch which is inserted and molded for the protection of the antenna into a metal such as a manhole cover. The antenna is designed considering the resonant frequency shift of the antenna due to the insertion and molding. The measured return loss and receiving power of the fabricated antenna comparison with a dipole shows that two proposed subsurface antenna can be used for remote management of underground facilities using PCS and cellular systems.

Key words : Subsurface Antenna, Underground, Remote, PCS, Cellular

I. 서 론

최근 지하 매설물의 관리가 원활히 이루어지지 못해 사고가 빈번하게 발생하고 대형화되면서 지하 매설물에 대한 체계적이고 신속한 관리에 대한 중요성이 부각되고 있다. 여기서 지하 매설물이란 도시 지하에 매설되어 국민 생활에 편의를 제공하는 사회 간접 자본의 일부로 상수도, 하수도, 가스 등의 시설물을 의미한다. 이러한 지하 매설물의 체계적이고 신속한 관리를 위해 도입된 시스템이 지하 매설물의 원격 관리 시스템이다. 지하 매설물 원격 관리 시스템은 지형 공간 정보 체계를 이용하여 기존의 시설

물관리 시스템이 시설물 단위별로 구축되어 안전 사고 및 각종 재해에 효과적으로 대비할 수 없었던 단점을 보완하여, 통합적으로 각종 지하 매설물을 관리할 수 있는 시스템이다^[1].

본 논문에서는 이러한 지하 매설물 원격 관리 시스템에 적용이 가능한 지표면 매입형 안테나를 개발하는데 목적을 두고 있다.

II. 안테나의 설계

지하 매설물의 원격 관리 시스템에 활용할 수 있는 PCS 단말기 송·수신 대역(수신: 1.75~1.78 GHz,

한국해양대학교 컴퓨터·제어·전자통신공학부(Div. of Computer, Control and Electronic Communication Eng., Korea Maritime University)

*코렐테크놀로지(주) 경영기획본부(Management and Planning Division, Correl Technology Co. LTD)

· 논문 번호 : 20070719-076

· 수정완료일자 : 2007년 10월 2일

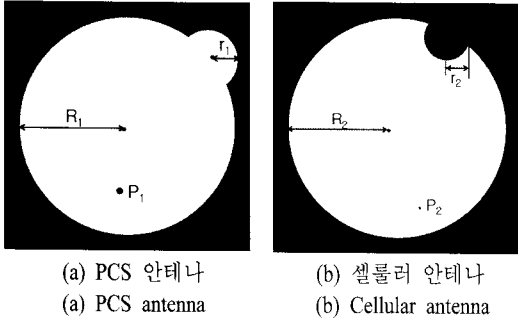


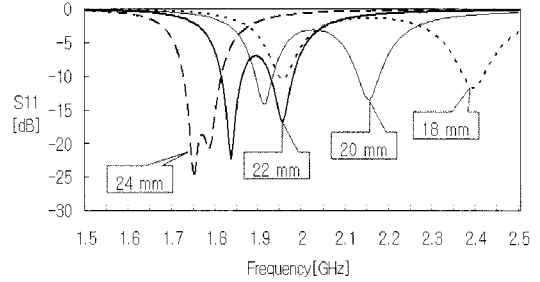
그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

송신: 1.84~1.87 GHz)과 셀룰러 단말기 송·수신 대역(수신: 824~849 MHz, 송신: 869~894 MHz)의 안테나를 설계하기 위해 시뮬레이션 툴로는 Ansoft사의 designer를 이용하여 설계하였다. 안테나의 설계 형태는 기본 원형 마이크로 스트립 패치 안테나에 일부분을 왜곡시켜 이중 공진이 나타날 수 있는 구조로 설계를 하였다^{[2]~[4]}. 안테나의 편파는 일반적인 원형 패치와 동일한 선형 편파를 갖는다.

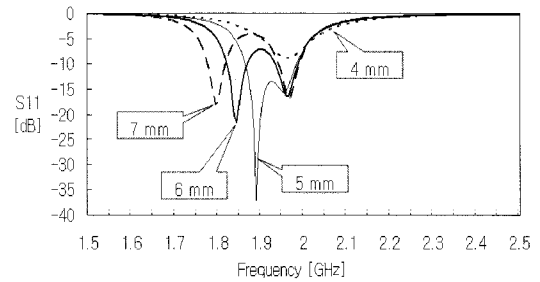
그림 1은 본 논문에서 제안하는 안테나의 형태를 나타내었다. 그림 1 안테나에서 P_1 , P_2 는 급전 점의 위치를 나타내는 것이고, R_1 , R_2 는 큰 원 형태의 반지름, r_1 , r_2 는 작은 원의 반지름을 나타낸다. 이러한 구조는 기본 원형 패치 안테나에서 원형 패치의 한쪽 부분에 작은 원을 추가하거나 빼는 것으로 이중 공진 안테나가 가능하기 때문이다^[5].

그림 1의 제안하는 안테나를 시뮬레이션 툴을 사용하여 설계하였고, 그 설계 과정은 PCS와 셀룰러 안테나 모두 비슷하므로, 여기서는 PCS 안테나의 설계 과정에 대해 설명하기로 한다. 안테나 설계를 위해 사용한 기판은 유전율 4.4의 FR4 기판을 사용하였으며, PCS 안테나의 경우 두께가 1.6 mm이고, 셀룰러 안테나의 경우 두께가 3.2 mm인 기판을 사용하였다.

그림 2는 PCS 안테나에서 큰 원의 반지름과 작은 원의 반지름을 변화시켰을 때의 반사 손실 변화 값을 나타내고 있다. 큰 원의 반지름이 커질수록 주파수가 저주파 쪽으로 이동이 되는 것을 확인할 수 있었고, 공진이 일어나는 두 주파수의 간격도 좁아지고 있다는 것을 알 수가 있었다. 작은 원의 반지름



(a) 큰 원의 반지름 변화(작은 원 반지름: 6.1 mm)
(a) Variation of radius of large circle

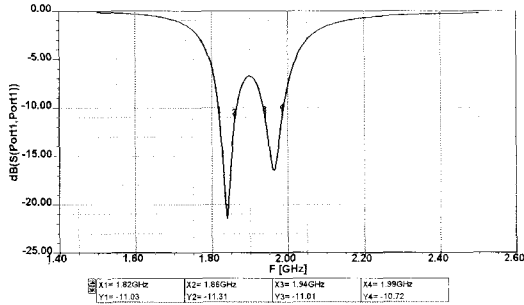


(b) 작은 원의 반지름 변화(큰 원의 반지름: 21.9 mm)
(b) Variation of radius of small circle

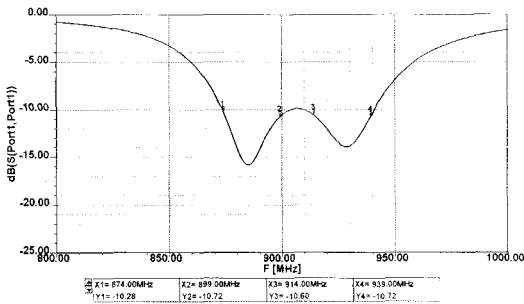
그림 2. PCS 안테나의 반지름 변화에 따른 반사 손실
Fig. 2. Return loss as function of radius of PCS antenna.

의 경우 너무 작을 경우는 이중 공진 특성이 나타나지 않았다. 그리고 반지름이 커질수록 저주파 쪽으로 주파수가 이동이 되고 있었고, 공진 주파수의 간격은 반지름이 커질수록 멀어지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 두 원의 반경의 비 $a_r = R_i/r_i$, $i = 1, 2$ 가 클수록 이중 공진의 주파수의 비 $a_f = f_2/f_1$, ($f_2 > f_1$)가 작아지는 것을 알 수 있다.

지표면 매입형 안테나를 제작하기 위해 패치 안테나를 제작하여 금속 합체 뚜껑에 삽입한 후 안테나 보호를 위해 몰딩을 하게 된다. 그런데 시뮬레이션을 하고 이것을 제작하여 금속 합체 뚜껑에 삽입 및 몰딩을 하는 과정에서 공진 주파수의 변화가 관측되었다. 이러한 안테나의 공진 주파수 변화의 원인은 금속 합체에 안테나를 삽입하게 되면 자유 공간에 있을 때와는 달리 금속 합체의 공동(cavity)의 공진 모드에 의해 안테나의 주파수가 영향을 받게 되기 때문이며, 또한 몰딩에 의해 안테나의 실효 유전 상수의 값이 변하게 되므로 공진 주파수의 변화가 야기되는 것으로 추측을 할 수 있다. 본 논문에서



(a) PCS 안테나
(a) PCS antenna



(b) 셀룰러 안테나
(b) Cellular antenna

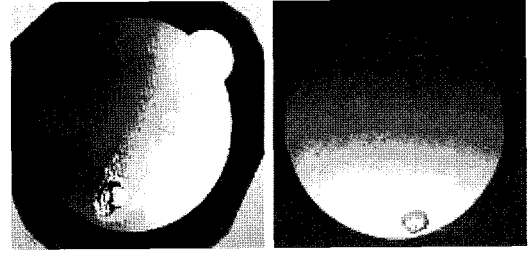
그림 3. 안테나의 반사 손실 시뮬레이션 값
Fig. 3. Simulated return loss of the antenna.

는 이러한 주파수 변화의 양을 여러 차례의 실험을 통해 평균적인 변화량을 추정하여 안테나 설계에 반영하였다.

이러한 통계치를 바탕으로 PCS와 셀룰러 안테나의 치수를 결정하였고, 이렇게 결정된 각 안테나의 반사 손실 특성을 그림 3에 나타내었다.

그림 3의 시뮬레이션에서 반사 손실 -10 dB 이하의 주파수 대역폭을 살펴보면 PCS 안테나의 경우 $1.82\sim 1.86$ GHz, $1.94\sim 1.99$ GHz이고, 셀룰러 안테나의 경우 $874\sim 899$ MHz, $914\sim 939$ MHz이다. 이것은 실제 PCS와 셀룰러 대역폭은 주파수 차이가 나는 것을 알 수가 있다. 이것은 앞서 기술하였듯이 안테나를 금속 함체 뚜껑에 삽입 및 몰딩하므로 인한 안테나의 주파수 변화를 예측하여, 시뮬레이션 주파수가 PCS와 셀룰러 주파수 대역과 차이가 나게 설계를 하였다.

III. 실험 및 분석



(a) PCS 안테나
(a) PCS antenna
(b) 셀룰러 안테나
(b) Cellular antenna

그림 4. 제작된 안테나 사진
Fig. 4. Photos of the fabricated antenna.

FR4 기판 상에 제작된 안테나의 모습을 그림 4에 나타내었다. 지하 매설물 원격 관리 시스템에 활용하기 위해서 맨홀 뚜껑과 같은 금속 함체 뚜껑에 원형의 홈을 파고 안테나를 삽입하게 되는데, 이를 위해 원형 패치 안테나 주변 기판을 홈의 크기에 맞게 원형으로 절단하게 된다.

그림 5는 직경이 7 cm(PCS), 11 cm(셀룰러) 인 원형의 금속 함체 홈에 안테나를 삽입하여 안테나의 반사 손실을 측정 한 결과이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 측정된 결과는 PCS 안테나의 경우 $1.80\sim 1.84$ GHz, $1.87\sim 1.92$ GHz의 대역폭을 가지는 것을 확인할 수가 있으며, 셀룰러 안테나의 경우 $844\sim 869$ MHz, $889\sim 914$ MHz의 대역폭을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 6은 원형의 금속 함체 뚜껑에 안테나를 삽입한 후 안테나 보호를 위해 몰딩 액을 이용하여 안테나를 뚜껑과 일체화한 안테나의 시제품 모습을 나타내었다. 그림 6의 몰딩된 안테나의 반사 손실을 측정하여 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서 Mark 1과 2, Mark 3과 4는 각각 PCS 및 셀룰러 안테나의 송수신 대역폭의 가장자리 주파수를 나타내고 있다. 그림 7(a)에서 PCS 안테나의 경우, 송수신 주파수 대역 전체에서 반사 손실이 -10 dB 이하이며, 그림 7(b)에서 셀룰러 안테나의 경우 -8.4 dB 이하로 측정이 되었다.

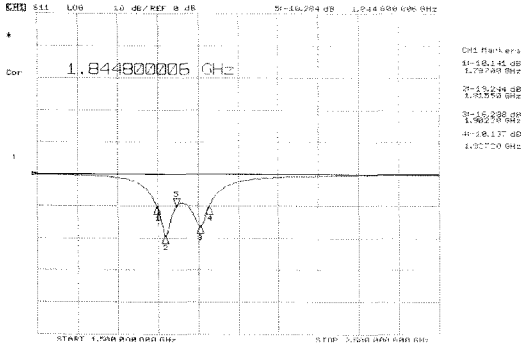
표 1은 시뮬레이션부터 몰딩 후까지, 안테나를 제작하는 과정에서 반사 손실 -10 dB 이하 되는 안테나의 주파수 변화를 정리해 나타내었다. 시뮬레이션

지하 매설물 원격 관리를 위한 지표면 매입형 안테나

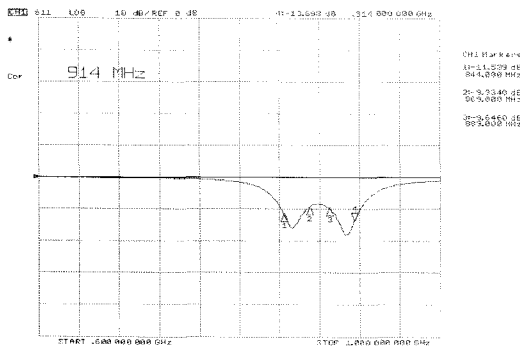
표 1. 안테나의 주파수 대역폭 변화 비교

Table. 1. Variation of bandwidth of the antenna.

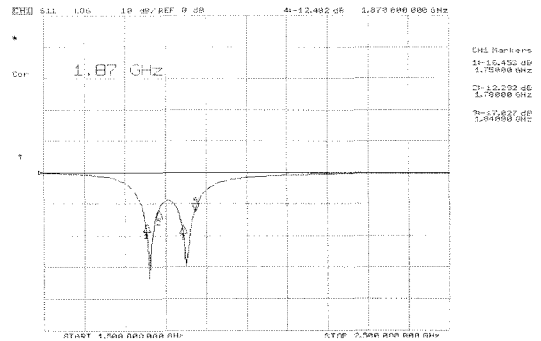
	PCS 안테나	셀룰러 안테나
시뮬레이션	1.82~1.86 GHz	874~899 MHz
	1.94~1.99 GHz	914~939 MHz
몰딩 전	1.80~1.84 GHz	844~869 MHz
	1.87~1.92 GHz	889~914 MHz
몰딩 후	1.74~1.78 GHz	824~847 MHz
	1.82~1.87 GHz	871~894 MHz



(a) PCS 안테나
(a) PCS antenna



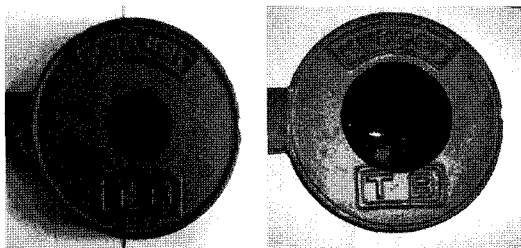
(b) 셀룰러 안테나
(b) Cellular antenna



(a) PCS 안테나
(a) PCS antenna

그림 5. 금속 홈 속에 삽입된 안테나의 반사 손실 측정값

Fig. 5. Measured return loss of the antenna which is inserted in metal cover.



(a) PCS 안테나
(a) PCS antenna

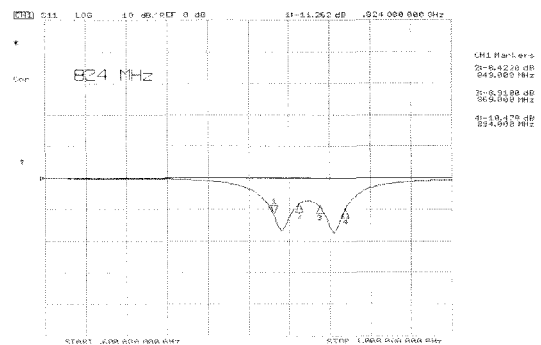
(b) 셀룰러 안테나
(b) Cellular antenna

그림 6. 제작된 지표면 안테나의 사진

Fig. 6. Photos of the fabricated subsurface antenna.

과 몰딩 전·후 안테나의 주파수 변화를 관찰해 보면 대역폭의 변화는 거의 없이 중심 주파수가 아래 쪽으로 이동을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

표 1에서 몰딩 후 반사 손실 -10 dB를 만족하는



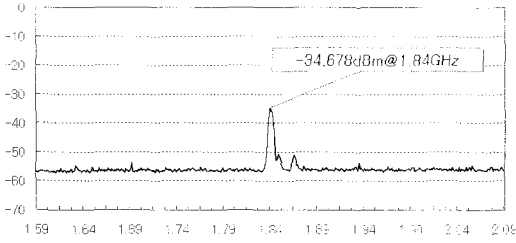
(b) 셀룰러 안테나
(b) Cellular antenna

그림 7. 제작된 지표면 안테나의 반사 손실 측정값

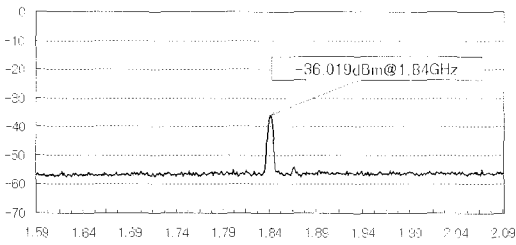
Fig. 7. Measured return loss of the fabricated subsurface antenna.

셀룰러 대역 안테나의 주파수 대역이 824~847 MHz로 824~849 MHz를 만족하지 못하고 있다. 849 MHz에서 측정된 반사 손실은 -8.4 dB로 다소 임피던스 매칭이 완벽하지는 못하지만 필드에서 실험적으로 확인을 해보니 통신에 별 문제가 없었다.

시뮬레이션과 몰딩 전의 안테나의 주파수 변화를



(a) 다이폴 대 다이폴 측정
(a) Measurement between dipole and dipole



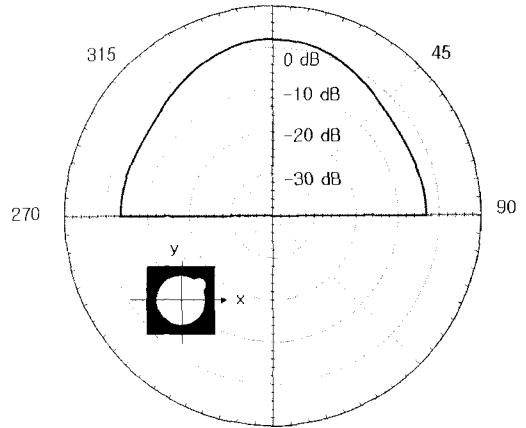
(b) 다이폴 대 지표면 안테나 측정
(b) Measurement between dipole and subsurface antenna

그림 8. 제작된 PCS 안테나와 다이폴의 수신 특성 비교

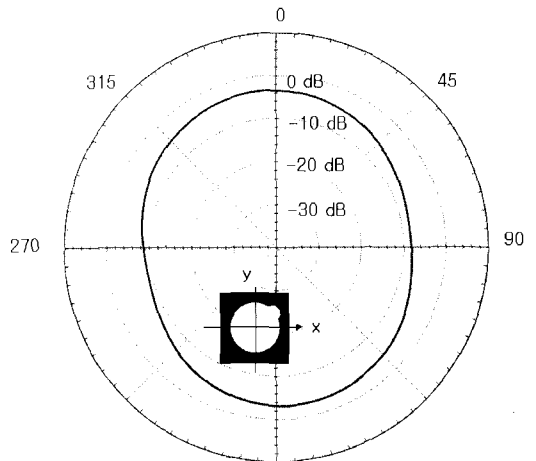
Fig. 8. Comparison of receiving power between dipole and the fabricated PCS antenna.

살펴보면 PCS 안테나의 경우 수신 주파수 20 MHz, 송신 주파수 70 MHz 정도의 차이를 보이고 있으며, 셀룰러 안테나의 경우 수신 주파수는 30 MHz, 송신 주파수는 25 MHz의 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 그리고 몰딩 전·후를 비교해 보면 PCS 안테나의 경우 수신 60 MHz, 송신 50 MHz의 차이를 보이고 있으며, 셀룰러 안테나의 경우 송·수신 모두 20 MHz의 차이가 나는 것을 알 수가 있다.

또한, 동일한 조건에서 다이폴 안테나와의 수신 전력 비교 테스트를 통하여 제안하는 안테나의 복사 특성을 측정하였다. 송신측 조건을 동일하게 하고 송신 안테나로부터 1.5 m 떨어진 지점에서 최대 전력이 수신되도록 정렬을 하여 다이폴 안테나 및 제안하는 PCS 안테나를 통해 수신된 전력을 측정하여 그림 8에 나타내었다. 측정 결과 다이폴에 비해 약 1.5 dB 정도 수신 전력이 작게 측정이 되었으나, 실제 필드에서 상용망을 통해 제작된 안테나를 사용하여 양 방향 통신 테스트를 실시한 결과, 별 문제없이 통신이 잘 되는 것을 확인할 수 있었다. 셀룰러 안테나의 경우도 유사한 결과를 얻었다.



(a) z-x 평면에서의 복사 패턴
(a) Radiation pattern in z-x plane



(b) x-y 평면에서의 복사 패턴
(b) Radiation pattern in x-y plane

그림 9. PCS 안테나의 시뮬레이션 복사 패턴
Fig. 9. Simulated radiation pattern of PCS antenna.

그림 9에 금속 함체에 삽입한 형태에서의 주파수 1.745 GHz에서의 안테나의 시뮬레이션 복사 패턴을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 지하 매설물의 원격 관리를 위한 지표면 매입형 안테나를 제안하였다. 안테나의 설계는 금속 함체 뚜껑과 일체형인 안테나를 최종 제작하는 것을 목표로 하여 실험적으로 제작을 하였다. 시뮬레이션과 몰딩 전·후의 안테나 주파수 변화를

관찰하여 최종적인 안테나를 제작하였다.

안테나의 시뮬레이션 값과 금속 합체 홈에 삽입된 몰딩 전·후의 주파수 변화를 살펴보면 주파수가 저주파 쪽으로 이동되고 있는 것을 알 수가 있다. 또한, 몰딩 후와 시뮬레이션 값을 비교하였을 때 PCS 안테나의 경우 약 100 MHz의 차이를 보이고 있으며, 셀룰러 안테나의 경우 약 50 MHz의 차이가 난다는 것을 알 수 있었다.

완성된 지표면 매입형 안테나의 경우, PCS와 셀룰러 안테나의 송·수신 대역폭을 만족하는 것으로 측정 결과 확인되었다. 그리고 다이폴 안테나와의 수신 전력 비교 테스트를 통해 다이폴에 비해 제안된 안테나가 약 1.5 dB 정도의 차이로 양호한 특성을 나타내었다. 따라서 지하 매설물 원격 관리 시스템의 지표면 매입형 안테나로 사용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 김계호, 이종수, 나방현, 이상화, 김지성, 성병문, 홍의택, 조효섭, 유니세크, 현대정보기술, "지하 매설물 관리 시스템 개발 연구(최종(연장))", 건설교통부 학술정보, 1996년 10월.
- [2] 윤영중, 홍의석, 전계식, 김민준, 임영석, 정백호, 안테나 이론과 설계, 교보문고, 2000년 3월.
- [3] I. J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1980.
- [4] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Jan. 2001.
- [5] A. K. Skrivervik, J.-F. Zurcher, O. Staub and J. R. Mosig, "PCS antenna design: the challenge of miniaturization", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 43, pp. 12-27, Aug. 2001.

박 동 국



1987년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1994년 8월~1996년 3월: LG전자

선임연구원

2000년 1월~2001년 1월: 미국 UCLA 전기공학과 방문교수

1996년 4월~현재: 한국해양대학교 교수

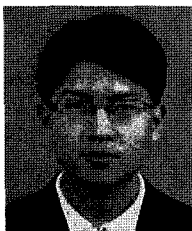
[주 관심분야] 안테나, 이동통신 부품

서 홍 은



2007년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 무선 전력 전송, 안테나

조 익 현



2007년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, RF

윤 나 라



2007년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전자통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나, 오실레이터

홍 재 섭



1978년 2월: 인하공업전문대학 화학공학과 (공학사)

1978년 12월~1990년 3월: (주)삼공사 전기방식사업부 부서장

1990년 4월~2001년 3월: 고려엔지니어링 대표

2001년 6월~2003년 6월: (주)동진전기 이사

2003년 6월~2005년 10월: 아키정보기술(주) 상무이사

2006년 12월~현재: 코렐테크놀로지(주) 상무이사

[주 관심분야] 전기방식