

인체 두뇌 보호를 위한 무선 전화기용 Corrugate 유전체 칩 전자파 감쇄기

손태호 · 김성복*

Wave Attenuator for Human Brain Protection to be set Wireless Phone Hand Set by Corrugate Ceramic Chip

Taeho Son · Seong-Bok Kim*

요 약

세라믹 강 유전체를 이용한 corrugate 구조의 은 전극으로 만들어진 유전체 칩에 의한 전자파 감쇄기를 설계하고 제작하였다. 이 감쇄기의 감쇄는 corrugate 구조에 의한 전파모드 차단조건으로부터 얻을 수 있도록 설계하였다.

근거리 프로브 측정 및 SAR 측정에 의한 결과는 셀룰라 밴드인 824~849 MHz에서 3.6~5 dB, PCS 밴드인 1750~1780 MHz에서 4~5 dB의 감쇄를 얻었다. 또한 감쇄 범위는 휴대폰 정면을 중심으로 $\pm 35^\circ$ 이의는 감쇄가 없으므로 통화시 통화품질의 저하가 거의 없음이 나타났다.

Abstract

Corrugate chip consists of ceramic high dielectric material and corrugate shaped silver electrode for the wave attenuator to be set on wireless phone antenna was fabricated and measured. Attenuation by the corrugate structure can be obtained by the cutoff status of the mode impedance characteristics.

Attenuation by the measurements both near-field probe and SAR have 3.6~5 dB on 824~849MHz for cellular chip and 4~5 dB on 1750~1780 MHz for PCS chip. And it's also convinced that this attenuation gives only ± 35 deg. covered human brain direction and no radiation pattern difference to other direction.

I. 서 론

우리 나라를 비롯하여 세계적으로 폭발적인 사용 증가 상태인 휴대폰은 어느 곳 어느 때라도 정보의 전달이 가능할 수 있도록 개발된 정보통신 뉴 미디어이다. 현재까지의 휴대폰 중 셀룰라 전화 시스템을 분류하면 서비스가 거의 중단 상태인 analog cellular와 현재 널리 적용 중인 digital cellular가 있는데 이들 중 대부분은 송신 입장에서 볼 때 824~849 MHz 주파수대역을 사용하고 있다. 또한 무선

전화 시스템인 cordless telephone인 CT1, CT2가 900MHz 대역을 사용하고 DECT, PHS는 1900MHz 대역을 쓰고 있다. PCS는 1750~1780 MHz대를 적용하고 있다.

이러한 휴대폰의 급증된 사용과 더불어 나타나는 현상이 휴대폰에 대한 인체의 유해성 시비이다. 휴대폰을 사용할 때 휴대폰 내부의 고주파 회로에 의해서 증폭된 신호가 안테나를 통하여 전자파로 바뀌고 안테나에 바로 인접한 인체 두뇌에 영향을 주게 된다. 전자파에 따른 두뇌 및 부근 생체의 영향

순천향대학교 공과대학 정보기술공학부(Division of Information Technology Eng., Soonchunhyang Univ.)

*닛시텔레콤(Nissi Telecom Co. Ltd)

· 논문 번호 20000728-07S

· 수정완료일자 2000년 8월 18일

에 대한 연구는 현재 활발히 연구되고 가끔씩 보고는 되고 있지만 정확한 과학적 증명이 어려워 결론이 쉽게 나고 있지 않은 상태이다. 하지만 출력이 1W 미만인 휴대폰일지라도 안테나의 근거리에서는 매우 강한 전계가 형성되므로 이 강전계에 의한 작용으로 인체조직 단백질 구조의 변형 등과 같은 결과를 발생시킬 수 있다^{[1]-[4]}.

전자파의 유해성 시비에 대한 문제는 안테나로부터 복사된 전자파 중 인체 두뇌 쪽으로 향하는 전자파를 감소시키면 해결 혹은 상당히 줄일 수 있을 것이다. 이 연구에서는 corrugate구조의 강 유전체 칩으로 인체 두뇌로 향하는 전자파를 감소시키는 장치에 관한 연구이다. corrugate의 전자파 감쇠 원리를 이론적으로 유출하고 이를 실험으로 확인한다.

II. CORRUGATE 원리

corrugate 구조는 도체로 이루어진 요철 형태의 구조로서 delay 특성을 이용하여 delay-line, filter는 물론 안테나 등에 적용되는 구조이다. 전자파 전파에 적용되는 corrugate는 구조에 의해 발생하는 전자파 모드의 변환을 이용하여 넓은 대역특성을 얻는 안테나 장치에 널리 이용되고 있다. 이러한 장치로는 위성통신안테나 및 전파망원경 등이다^{[5],[6]}.

자유공간 중 특히 안테나의 근거리영역(near field region)에서 corrugate구조의 특성을 해석하기는 거의 불가능하다. 따라서 도파관 모드이론을 적용하여 전파특성을 유출할 수 있으므로 비록 다소 차이는 있지만 이를 설계근거로 적용할 수 있다. 모드이론에 의해 corrugate에 존재하는 전자파는 파동방정식의 해를 포텐셜이론에 적용함으로써 구할 수 있다^[7]. 이렇게 구한 전자계는 공간조화 전자계인 하이브리드 모드로 나타나게 되며 이때, 전자계 진행방향 성분인 Ez와 Hz의 비는 광대역 안테나의 중요한 변수가 된다.

corrugate 홈의 간격이 파장에 비해 아주 작고 ($d \ll \lambda/2$) 폭이 얇을 때는 TM모드의 전자파만이 내부에 존재하게 된다. 특히 파장당 corrugate의 수를 증가시키고 ridge의 두께를 감소시킴으로써 여타의 모드는 없이 오로지 TM모드만 존재하게 된다. 따라서 모드함수는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \psi^{TM} = & [J_m(k\rho)Y_m(kr_0) \\ & - Y_m(k\rho)J_m(kr_0)] e^{-i\beta z} e^{im\phi} \end{aligned} \quad (1)$$

이 식에 $E_z = E_\phi = 0$ 의 경계조건이 적용하면 전자계 식을 얻을 수 있다. corrugate내부의 전자계와 외부의 전자계는 각각 영역에서의 E_z 와 H_ϕ 의 비인 어드미턴스 정합 조건으로부터 전파특성에 관한 수식을 구할 수 있다.

변수 $x_1' = kr_1$, $x_0' = kr_0$ 이라 놓을 때, 어드미턴스는 정합조건으로부터

$$F_m(x_1) - \frac{(m\beta)^2}{F_m(x_1)} = \left(\frac{K}{k}\right)^2 S_m(x_1', x_0') \quad (2)$$

를 얻는다. 이 식은 모드전파상수 β 에 대한 특성방정식으로 여기서

$$S_m(x, y) = x \frac{J_m'(x)Y_m(y) - J_m(y)Y_m'(x)}{J_m(x)Y_m(y) - J_m(y)Y_m(x)} \quad (3)$$

이다. 따라서 표면 어드미턴스는

$$y_z = -\frac{1}{x_1'} S_m(x_1', x_0') \quad (4)$$

가 된다. corrugate의 깊이를 r_1 이라 할 때 위 식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} & \frac{J_m'(Kr_1)}{J_m(Kr_1)} - m^2 \left[\frac{1}{(Kr_1)^2} - \frac{1}{(kr_1)^2} \right] \frac{J_m(kr_1)}{J_m'(kr_1)} \\ & = -\frac{Kr_1}{(kr_1)^2} S_m(x_1', x_0') \end{aligned} \quad (5)$$

위 식으로부터 전파상수 β 는

$$\beta = k\beta = [k^2 - (a/r_1)^2]^{1/2} \quad (6)$$

가 구하여져 전파특성을 알 수 있게 된다. 식 (5)와 (6)을 이용하면 corrugate 깊이 r_1 에 따라 모드의 cutoff를 얻을 수 있고 간격과 폭의 변수와 더불어 모드 cutoff에 의한 감쇠를 예측할 수 있다.

III. 제작 및 측정

휴대폰 안테나는 해리컬 안테나와 1/4파장 접지 안테나를 함께 적용하여 사용하고 있다. 안테나의 복사임피던스와 휴대폰 출력단 임피던스가 같지 않기 때문에 발생하는 반사파를 막기 위하여 정합회로를 적용하고 있다. 해리컬 안테나의 직경은 파장에 비해 매우 작기 때문에 안테나에 의한 복사특성은 미소다이폴(infinitesimal dipole)과 같은 수평방향으로는 전 방향성, 수직방향으로는 8자 지향성(directivity) 특성을 가지고 있다. 따라서 1/4파장 접지 안테나와 마찬가지로 급전부인 하단 부의 전류 분포가 가장 강하게 된다.

휴대폰 안테나의 근처에서는 아주 강한 전계 성분을 띤 전자파가 발생되고 있다. 이는 휴대폰 안테나가 전계근원(electric source) 혹은 전압근원으로 분류되는 high impedance source이기 때문이다. 이는 안테나에 가까울수록 전계가 자계에 비해 매우 강해지는 특성을 말하며, 비록 출력이 작은 휴대폰이라 할지라도 유해성 시비의 대상이 되는 것은 바로 이 때문이다. 그러므로 이러한 전자파의 세기를 근본적으로 줄이기 위해서는 감쇄기 급전부인 안테나 하단부에 적용하여야 한다고 말할 수 있다.

식 (3)과 (5)로부터 corrugate깊이를 가변하면 표면 어드미턴스 변화로부터 모드의 cutoff를 얻을 수 있다. 이렇게 구한 깊이를 실현하기는 너무 커져 실현이 불가하므로 유전체를 이용하여 크기를 줄인다. 이는 corrugate내 파장이 유전체 유전율의 제곱근에 반비례하는 특성을 이용하는 것이다. 또한 corrugate의 개수가 많을수록 모드의 cutoff와 내부 모드의 오차가 적어지기 때문에 감쇄가 커질 수 있으나 부피의 제한성으로 인하여 적당한 수로 설계하여야 한다. 이 연구에서는 ceramic의 복합 유전체를 혼합한 재질의 유전체를 이용하였고 corrugate는 두께 20미크론의 은을 사용하였다. corrugate 칩의 휴대폰 안테나 고정 또한 고정외 거리의 변수를 가지는 중요한 사항이므로 고정을 위해 동물모형의 캐릭터를 적용하였다. 그림1은 캐릭터 내에 장착된 corrugate chip의 형태이다.

chip은 900MHz대 셀룰라용과 1800MHz대 PCS



그림 1. Corrugate chip의 형태
Fig. 1. Shape of corrugate chip.

용으로 설계 제작하였으며 제작된 chip은 안테나 하단 부에 고정되기 위해 특정 모양의 캐릭터 내에 장착하였다. 이러한 감쇄기의 성능인 감쇄 특성과 감쇄기 장착전 후의 패턴 변화를 보기 위해 패턴을 측정하였다.

감쇄 특성은 network analyzer를 이용한 근거리영역 프로브 측정과 SAR(Specific Absorption Rate, 비흡수율)을 측정하였다. 먼저 안테나 하단부 휴대폰 스피커 상단이며 문제시가 되는 두뇌부분에서의 세기를 coaxial probe를 이용하여 근거리영역 측정을 하였다. 측정 결과 중 대표적인 측정 결과는 그림 2~4와 같으며 감쇄의 크기는 한국과 미국의 측정기관에서 측정한 결과 거의 동일한 특성을 보였다.

그림 5와 6은 스위스에서 제작한 SAR 장비에 의한 휴대폰 전자파의 인체 흡수를 LG정보통신에서 측정한 것이다. 그림 5는 셀룰라용 감쇄기에 대한 것이고, 그림 6은 PCS용의 측정 결과이다. 그림에

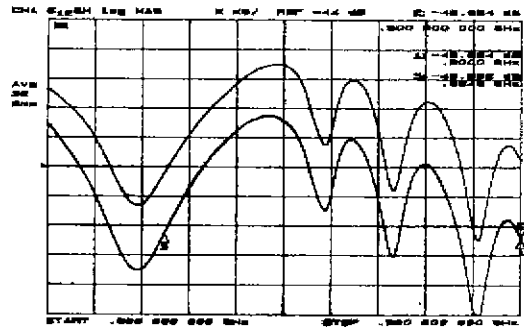


그림 2. 셀룰라 대역에서의 감쇄특성(위: 장착 전, 아래: 장착 후) (범위: 가로축: 800~900 MHz, 세로축: 2dB/div)
Fig. 2. Attenuations on the cellular phone bandwidth(up: before, down: after).
(x-axis: 800~900 MHz, y-axis: 2dB/div)

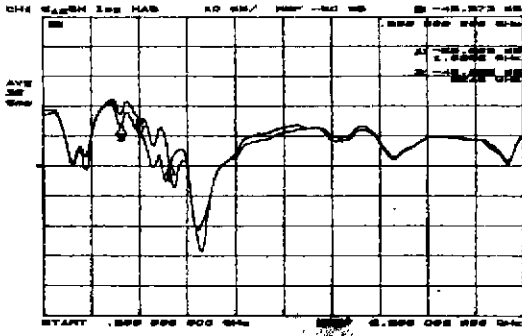


그림 3. 확장대역에서의 감쇠(가로축: 500~2500 MHz, 세로축: 10 dB/div)
 Fig. 3. Attenuations on the extended frequency band(up: before, down: after).
 (x-axis: 500~2500 MHz, y-axis: 10 dB/div)

서 왼쪽은 감쇄기가 없을 때 오른쪽은 감쇄기를 장착하였을 때의 SAR 결과이다. 본 고에서는 지면상 셀룰라 및 PCS 단말기 최대 송신주파수에 의한 결과만 소개하기로 한다.

그림 2~4에서 굵은 선은 감쇄기 장착 전이고 가는 선은 감쇄기 장착 이후의 특징치이다. 그림에서

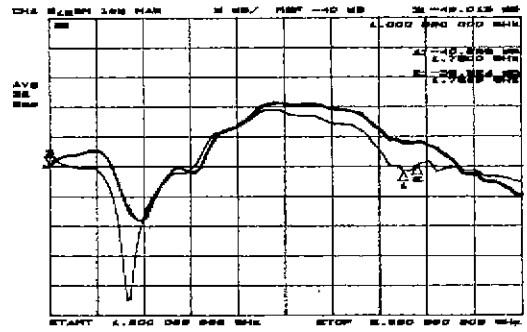


그림 4. PCS대역 감쇠 결과
 (주파수: 1~2 GHz, 세로축: 5 dB/div)
 Fig. 4. Attenuations on the PCS phone band-width (up: before, down: after).
 (x-axis: 1~2 GHz, y-axis: 5 dB/div)

보듯이 셀룰라 대역인 824~849 MHz 및 CT대역인 914 MHz에서는 3.6~5 dB의 감쇠 특성을 보이고 있다. 또한 PCS대역인 1750~1780 MHz에서는 4~5 dB가 측정되어 전자파의 세기를 각각 57~70% 정도르 줄여 주고 있음을 나타내고 있다. 그림 5에서 장착 전 SAR의 크기와 장착 후 SAR의 크기를 비교하면 그림 2, 3에서 보인 결과와 같은 1/3 즉,

Protector - neo (Cellular Phone)

Generic Twin Phantom; Flat Section; Position: (90,160); Frequency: 650 MHz
 Probe: ET30V5 - SNI371; Core(F:6.40, B:40.6, 40); Grid factor: 1.2; Brain 500 MHz; $\sigma = 0.66$ mho/m; $\epsilon_r = 42.0$; $r = 00$ g/m
 Cube 4x4x7; SAR (1g): 1.66 mW/g; SAR (10g): 1.02 mW/g; (Worst-case extrapolation)
 Cube 4x4x7; SAR (1g): 0.447 mW/g; SAR (10g): 0.273 mW/g; (Worst-case extrapolation);
 Coarse: Dx = 20.0, Dy = 20.0, Dz = 10.0
 Powerdntk: -0.60 dB

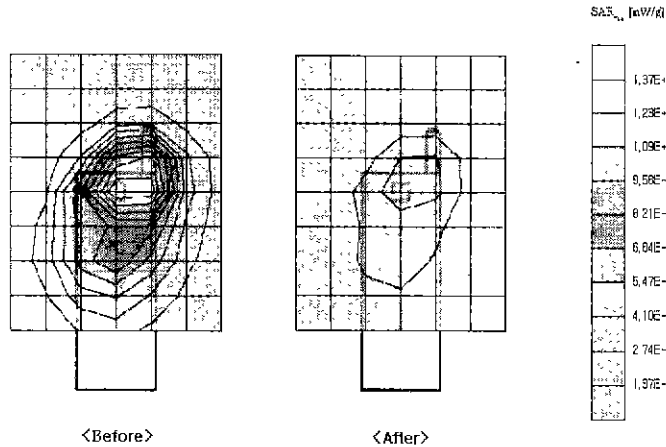


그림 5. 셀룰라 감쇄기의 SAR 감쇠 변화(왼쪽: 감쇄기가 없을 때, 오른쪽: 감쇄기 장착시)
 Fig. 5. SAR test results for the cellular phone attenuator(left: before, right: after).

Protector - neo (PCS)

Conducted Power=23.20dBm
 Ch=759
 Antenna in
 Generic Twin Phantom; Flat Section; Position' (90,1E3); Frequency 1900 MHz
 Probe: ETSDV5 - SNI 571; CoreF: 5.59, 5.59, 5.59; CrestFactor: 1.0; Brain 1800 Hz; s = 1.69 mho/m er = 41 D r = 1.00 g/w
 Cube 4x4x7; SAR (1g): 0.79 mW/g, SAR (10g): 1.96 mW/g, (Worst-case extrapolation)
 Cube 4x4x7; SAR (1g): 1.44 mW/g, SAR (10g): 0.745 mW/g, (Worst-case extrapolation)
 Coarse' Dx = 20.0, Dy=20.0, Dz =10.0
 PowerInfl 0.16 dB

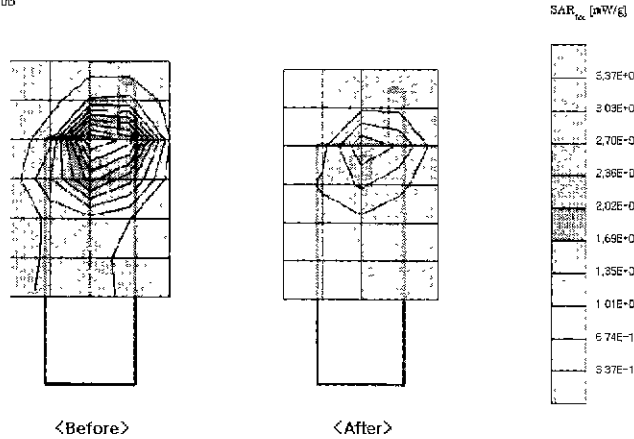


그림 6. PCS 감쇄기의 SAR 감쇠 변화(왼쪽: 감쇄기가 없을 때, 오른쪽: 감쇄기 장착시)
 Fig. 6. SAR test results for the PCS phone attenuator(left: before, right: after).

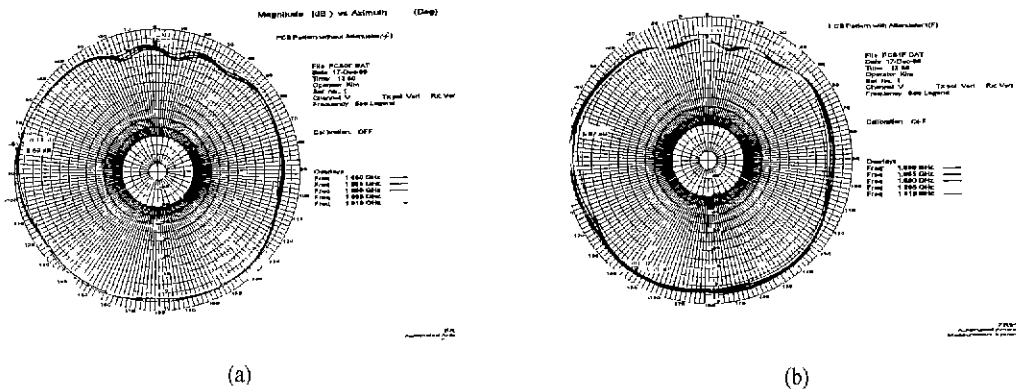


그림 7. 감쇄기 장착전(a)과 장착후(b)의 휴대폰 안테나의 복사패턴
 Fig. 7. Radiation patterns of wireless phone; before(a) and after(b).

약 5 dB의 감쇄가 일어나고 있음을 볼 수 있다. 그림 6 역시 장착 후는 장착 전에 비해 약 1/3로 감소되어 5 dB의 감소효과를 얻었다. SAR 측정 결과와 Network Analyzer를 이용한 근거리영역 프로브 측정 결과가 같게 나타남으로써 감쇄기의 효과는 물론 측정의 방법의 신빙성을 뒷받침해 주고 있다.

그림 7은 감쇄기 장착 전 및 장착 후의 복사패턴을 무반사실에서 측정된 것이다. 그림에서와 같이 휴대폰 정면 방향을 0°로 할 때 전방향 ±35°까지 4~5 dB 감쇄를 보이고 이외의 방향으로 패턴에 아무런 영향을 주지 않기 때문에 통화시 통화 품질에 영향을 주지 않음을 입증해 주고 있다.

IV. 결 론

휴대폰에서 발생하여 사용자의 두뇌 쪽으로 향하는 전자파의 세기만 줄이고 통화품질에는 영향을 미치지 않는 전자파 감쇄기를 설계하고 이를 제작하였다. 모드이론에 의한 corrugate 해석을 이용하여 감쇄를 일으키도록 설계하였으며, 크기를 줄이기 위하여 세라믹 재질의 강 유전체를 적용하였다.

근거리영역 프로브에 의한 감쇠실험과 SAR 장비에 의한 실험결과는 셀룰라 휴대폰 대역에서 3.6~5 dB의 특성을 보여 57~70%까지 감쇄를 일으키며, PCS 휴대폰 대역에서 4~5 dB로 60~70%의 감소를 보였다. 또한, 감쇄가 전 방향이 아닌 휴대폰 앞 방향을 중심으로 $\pm 35^\circ$ 방향으로만 일어나고 있음을 패턴측정으로 확인하였다. 이 감쇄기의 적용은 휴대폰 전자파의 인체에 대한 유해성 시비의 해결 방안 중 하나가 될 수 있다고 생각한다.

참 고 문 헌

[1] K. Brinkmann and R. Elsner, "Biological Effects of Radio-Frequency Fields", *Edition Wissenschaft, Forschungsgemeinschaft Funk E.V. G 14515 Edition No. 1/E, Special Ed. in English, Germany, Aug. 1998.*

[2] A. H. Frey, "Headaches from Cellular Tele-

phone", *Environmental Health Perspectives*, vol. 106 no. 3, (<http://www.tassie.net.au/emfacts/mobiles/frey.html>) Mar., 1998.

[3] Gordon Bass, "News Artical: Is your cell phone killing you?", *PC Computing Magazine*, Nov., 30, 1999.

[4] Chris Oakes, "Cell Study: Hazard are real", *Wired Magazine*, (<http://www.tassie.net.au/emfacts/mobiles/wired.html>) Jun., 21, 1999.

[5] P.J.B. Clarricoats and P.K.Saha, "Propagation and Radiation Behaviour of Corrugated Feeds", part 1. *Proc. Inst. Elec. Eng.* vol. 118, pp.1171-1186, Sept., 1971.

[6] 김기웅, 손태호, "제원에 따른 커루게이트 급전 혼 안테나의 설계법에 관한 연구", *마이크로파 및 전파학술대회 논문집*, 21(2), pp.189-192, 1998. 9.

[7] 손태호, "100GHz대 밀리미터파 컬러게이트 혼 안테나 설계", *마이크로파 및 밀리미터파 workshop 논문집*, pp. 59-67, 1997. 8.

[8] 손태호, "휴대폰 안테나의 전자파 감쇄기", *대한민국 발명특허 출원번호 제 98-50259.*

[9] Kacarska M., Ololoska-Gagoska L., Loskovska S., Grcev L., "Visualization of Induced Current and SAR in Human's Head in Cellular Telecommunications", *Prodeeding of IEEE APs*, p. 40-9.pdf, July, 1999.

손 태 호



1975년 3월~1979년 2월: 한양대
학교 전자통신공학과 (공학사)
1984년 9월~1986년 8월: 한양대
학교 전자통신공학과 (공학석사)
1987년 3월~1990년 2월: 한양대
학교 전자통신공학과 (공학박사)
1978년 10월~1987년 2월: LG정밀

(주) 중앙연구소 근무

1993년 3월~1999년 2월: 경창산업(주) 기술고문
1999년 2월~2000년 2월: University of Illinois 연구교수
2000년 3월~현재: (주)넷시텔레콤 위촉 연구소장
1990년 3월~현재: 순천향대학교 공과대학 정보기술공학
부 부교수

[주 관심분야] 반사판 및 통신용 안테나 설계, 레이더 시
스템, 전자파 생체영향 등

김 성 복



1975년 3월~1979년 2월: 한양대
학교 전자통신공학과 (공학사)
1981년 7월~1985년 5월: (주)금성
사 중앙연구소 근무
1985년 6월~1988년 11월: (주)마
이크로닉스 개발담당 이사
1988년 12월~1996년 12월: (주)대

한정보기기 이사

1997년 1월~1999년 1월: (주)아람정보통신 이사
1999년 4월~현재: (주)넷시 텔레콤 대표이사