

## 결합계수 및 주파수 튜너블 다중대역 내장형 안테나에 관한 연구

이문우\*, 이상현\*

# A Study on Coupling Coefficient and Resonant Frequency tunable Multi-band Internal Antenna

Moon-Woo Lee\*, Sang-Hyun Lee\*

### 요약

본 논문은 안테나 구조체의 물리적 변화없이 안테나의 단락점에 연결되어있는 인덕터 값에 따라 급전점과 단락점 사이의 결합계수 뿐 아니라 안테나의 공진 주파수를 조절할 수 있는 이동통신용 안테나를 구현하였다. 설계된 안테나는 3중 대역 이상의 주파수 조절이 가능하고 동작 주파수 대역은 GSM(880~960MHz), GPS(1575MHz), DCS(1710~1800MHz), US-PCS(1850~1990MHz), WCDMA(1920~2170MHz) 대역을 포함한다. 제작된 안테나는 반파장 로디드 라인 안테나와 PIFA 구조를 결합한 형태이고 두 개의 단락점과 하나의 급전점을 공유한다. 두 개의 단락점 각각에 인덕터를 추가하여 하나의 인덕터는 급전점과 단락점 사이의 결합계수를 조절하고 다른 하나의 인덕터는 높은 주파수 대역의 공진 주파수를 조절한다. 안테나의 입력 임피던스 조절을 위한 인덕턴스의 범위는 0nH ~ 6.8nH 이고 이득의 변화는 GSM 대역에서는 0.15dBi, GPS 대역에서는 0.73dBi, WCDMA 대역에서는 0.29dBi 이내이다. 또한 공진 주파수 조절을 위한 인덕턴스의 범위는 0nH ~ 4.7nH의 범위에서 1640 ~ 2500 MHz (VSWR 3:1 기준)이고 이득의 변화는 GSM 대역에서는 0.46dBi, GPS 대역에서는 0.53dBi, DCS/US-PCS/WCDMA 대역에서는 0.59dBi 이내이다.

### Abstract

In this paper, the internal antenna for mobile communication handset which is able to control both coupling coefficient and resonant frequency without any major modification of radiator and ground plane of antenna. Novel internal antenna with its controllable resonant frequency is presented for triple-band or over mobile handsets. The operating range can include GSM(880~960 MHz), GPS(1,575±10 MHz), DCS(1,710~1,880MHz), US-PCS(1,850~1,990 MHz), and W-CDMA(1,920~2,170 MHz). The proposed antenna is realized by combination of a half wavelength loaded line antenna and PIFA(Planner Inverted F Antenna). A single shorting and feeding points are used and they are common to both antenna structures. One of two inductors

• 제1저자 : 이문우    교신저자 : 이상현

• 투고일 : 2010. 05. 19, 심사일 : 2010. 05. 30, 게재확정일 : 2010. 06. 03.

\* 한국폴리텍 I 대학 서울정수캠퍼스 유비쿼터스통신학과

which is placed at each shorting post, one inductor is for adjusts amount of coupling, and the other controlling the resonant frequency in DCS/US-PCS/WCDMA bands. The inductance range for control of input impedance is between 0nH and 6.8nH, and each of gain variation in GSM, GPS and DCS/US-PCS/WCDMA band is under 0.15dBi, 0.73dBi and 0.29dBi. The inductance range for control of the resonant frequency is between 1640MHz and 2500MHz, and each of gain variation in GSM, GPS and DCS/US-PCS/WCDMA band is under 0.46dBi, 0.53dBi and 0.8dBi.

▶ Keyword : 반파장 로디드 라인 안테나(Half Wavelength Loaded Line Antenna), 공진주파수 (Resonant Frequency), 결합계수(Coupling Coefficient), 인덕턴스(Inductance)

## 1. 서론

현재 이동 통신 단말기는 멀티 미디어 및 멀티 모드등의 방향으로 발전을 계속하고 있다. 특히 국가 및 지역에 상관없이 하나의 단말기로 주파수가 다른 다양한 통신망에 접근할 수 있는 글로벌 로밍폰에대한 요구가 증대되고 있다. 이에 따라 멀티 모드를 지원할 수 있는 이동통신 단말기용 내장형 안테나의 개발이 가속화 되고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 이동통신 단말기용 내장형 안테나는 협소한 공간등의 이유로 멀티 모드를 지원할 수 있는 넓은 대역폭을 가지도록 설계하는 데 한계가 있다. 특히 단말기용 내장형 안테나 중에서 가장 많이 사용되고 있는 단락 회로를 가진 마이크로 스트립 안테나는 소형, 경량, 쉬운 집적화, 용이한 대량 생산과 같은 장점에도 불구하고 단락회로 자체가 가지는 주파수 의존 특성으로 인하여 넓은 대역폭을 얻기 어렵다는 단점이 있다[1]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 전기적으로 주파수 조절이 가능한 안테나를 이용하여 유효 대역폭을 증가시키는 방법이 연구되어 왔다[2]~[5]. 하지만 이러한 방법들의 대부분은 공진 주파수를 조절하는 것에 제한되어 있기 때문에 단말기의 형태와 사용자 환경에 의해 발생하는 안테나의 임피던스 부정합 손실은 고려하지 않고 있다. 따라서 안테나의 물리적인 크기의 변화 없이 전기적으로 입력 임피던스와 주파수 조절이 모두 가능한 안테나의 필요성이 대두되었다[6],[7]. 이러한 안테나는 단일 방사체로 여러 대역에서 공진 특성을 얻을 수 있기 때문에 안테나의 소형화가 가능하고 주파수 조절에 의한 넓은 유효 대역폭을 가지며, 주파수 선택 특성으로 인하여 인접 주파수에 대한 간섭 특성을 줄일 수 있는 장점이 있다[7]. 그러나 제조 공정에 있어서 단말기의 PCB에 주파수 조절회로가 추가되어야 하는 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 안테나의 유효 대역폭을 증가시킬 수 있는 넓은 주파수 조절 범위, 임피던스 부정합으로 인한 손실을 최소화하기 위한 입

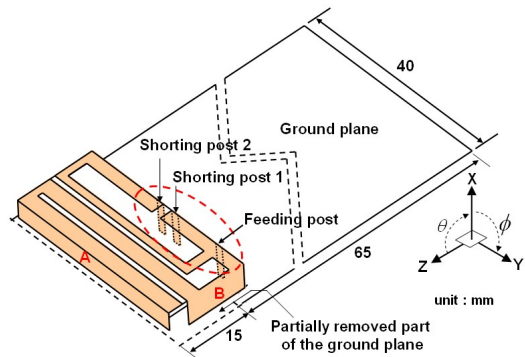
력 임피던스의 조절 능력, 주파수를 선택할 수 있는 능력 그리고 추가적인 매칭 회로로 인한 안테나의 효율 변화가 적은 ESA를 구현하고자 하였다.

제안된 안테나는 변형된 반 파장 로디드 라인 구조와 PIFA 구조를 이용하여 높은 주파수 대역의 공진 주파수와 전체적인 안테나의 입력 임피던스를 서로 독립적으로 조절하여 넓은 주파수 조절 범위와 부 정합에 의한 손실을 줄일 수 있는 안테나이다. 본 논문에서는 HFSS로 얻어진 시뮬레이션 결과를 바탕으로 안테나의 동작 원리를 분석하고, 실험적인 프로토타입의 제작 및 측정을 통하여 안테나의 실현 가능성을 증명하였다.

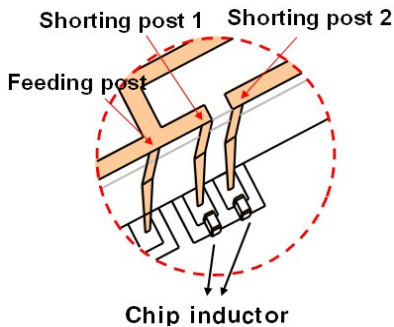
## II. 안테나 설계 및 시뮬레이션

### 1. 안테나 설계

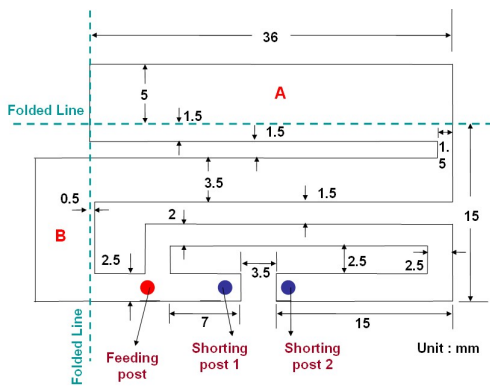
제안한 구조는 Fig 1. (a) 와 같이 PIFA와 변형된 반 파장 로디드 라인 안테나로 구성되어 있으며 두 개의 급전점과 하나의 단락점을 공유하고 있다.



(a) 3차원 구조  
(a) 3-dimensional structure



(b) 접지면에서의 인덕터 위치  
(b) Position of inductor on ground plane



(c) 방사체의 구조  
(c) Plane figure of radiating element

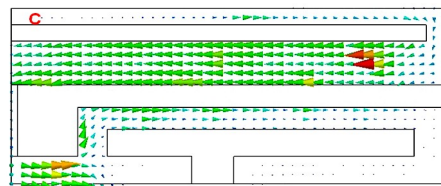
그림 1. 반파장 로디드 라인 구조  
Fig. 1. The structure of the proposed antenna

각각의 단락점과 접지면 사이에 인덕터를 연결하여 하나의 안테나의 입력 임피던스를 조절하고 다른 하나는 높은 주파수 대역의 주파수를 조절하여 넓은 유효 대역폭을 가지도록 설계되었다. 접지면의 크기 40×65 (mm<sup>2</sup>) 이며 상대 유전율 4.7, 두께 1 mm를 가지는 FR4 기판을 사용하였다. 방사체 아래의 접지면은 안테나의 유효 부피를 확장하여 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해 제거하였다. 방사체 아래 부분의 유전체는 유전율 4.7, 두께 1 mm의 FR4를 사용하였고, 그 아래 부분에는 유전율 1.07, 두께 5 mm인 폼을 사용하여 방사체의 높이 6 mm를 확보하였다. Fig. 1. (b)와 같이 접지면에 인덕터를 각각의 단락점에 연결하여 안테나의 성능 변화를 분석하였다. Fig 1. (c) 는 제안된 안테나의 방사체 구조를 나타내었다. A와 B 부분은 제한된 공간을 충분히 활용하여 추가적인 공진 길이의 확보와 컨덕터에서 발생하는 손실을 줄

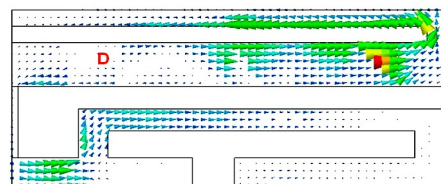
이기 위하여 접혀진 형태를 가지고 있다. 특히 A 부분은 방사체의 면적 증가로 인한 GSM 대역에서의 대역폭 확장에도 도움을 준다.

## 2. 시뮬레이션

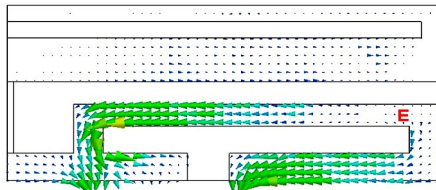
Fig. 2는 단락점 1의 인덕터 값을 3.9 nH로 고정시키고 단락점 2의 인덕터 값을 2.2 nH로 고정시켰을 때 920 MHz, 1575MHz, 2045 MHz에서의 전류 분포를 Ansoft HFSS 9.2 시뮬레이션을 이용하여 나타내었다. Fig 2. (a)는 925 MHz에서의 전류 분포이다. 그림에 나타나 있듯이 C 지점에서 전류 분포가 최소가 되는 것으로 보아 이 지점이 925 MHz에서 최대 방사지점이다. 이는 925 MHz에서  $\lambda/4$ 의 길이에서 동작하는 PIFA의 기본 모드로 동작하는 것을 의미한다. Fig 2. (b)는 1575 MHz에서의 전류 분포이다. 그림에 나타나 있듯이 PIFA의 방사체 위에 두개의 전하 분포를 가지면서 D 부분에서 전류 분포가 최소가 된다. 이는 GPS 대역의 공진은 PIFA의 1차 모드로 동작하는 것을 의미한다. Fig. 2. (c)는 2045 MHz에서의 전류 분포이다. 그림에 나타나 있듯이 변형된 반 파장 로디드 라인 안테나의 E 부분에서 전류 분포가 최소가 되므로 최대 방사지점이 된다. 이는 W-CDMA 대역의 공진은 변형된 반 파장 로디드 안테나의 기본 모드로 동작하는 것을 의미한다. 또한 단락점 2의 인덕터 값이 3.3 nH로 커지면 안테나의 공진 주파수는 1920 MHz로 움직이고, Fig 2. (d)에서와 같이 최대 방사지점은 E 지점에서 F 지점으로 이동한다. 이는 단락점 2의 인덕터 값을 안테나의 공진 주파수를 조절하는 것을 의미한다.



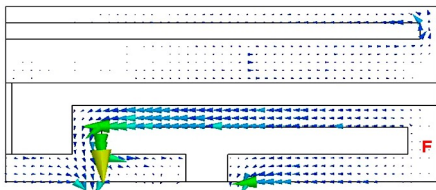
(a) 920MHz



(b) 1575MHz



(c) 2045MHz

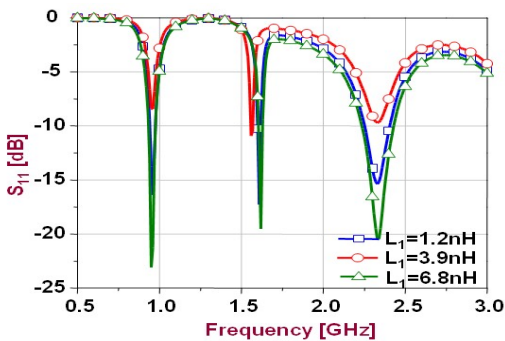


(d) 1920MHz

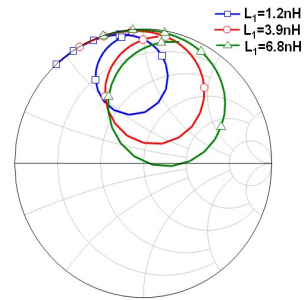
그림 2. 각각의 공진 주파수에서의 전류 분포  
Fig. 2. Current distributions at each resonance frequency

단락점 1의 인덕턴스의 변화는 최대 방사지점의 위치에 영향을 주지 않는다.

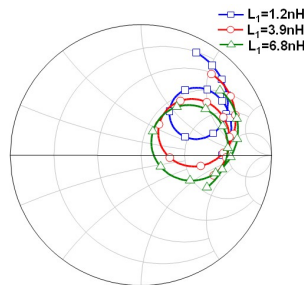
Fig. 3은 제안된 안테나의 단락점 2의 인덕터 값을 3.3 nH로 고정시키고 단락점 1의 인덕터 값이 1.2 nH ~ 6.8 nH로 변할 때 안테나의 반사손실과 스미스 차트 상에서 로커스의 변화를 Ansoft HFSS 9.2 시뮬레이션을 이용하여 계산된 결과를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 단락점 1의 인덕턴스의 변화는 낮은 주파수 대역과 높은 주파수 대역의 입력 임피던스에 영향을 준다. 따라서 스미스 차트 상에서의 로커스의 크기는 Fig 3. (b), (c) 에서와 같이 인덕터 값이 커질 수록 커지게 되고 이때 안테나의 공진 주파수에는 거의 영향을 주지 않는다.



(a) 제안된 안테나의 반사손실  
(a) Return Loss of proposed antenna



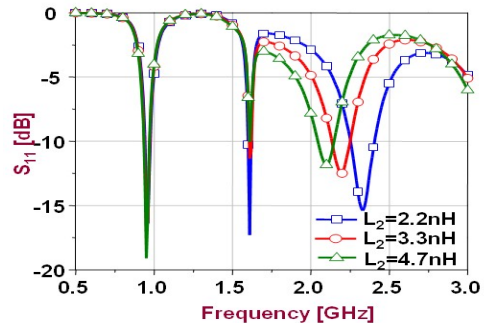
(b) 스미스차트 (낮은 주파수대역)  
(b) Smith Chart (low frequency)



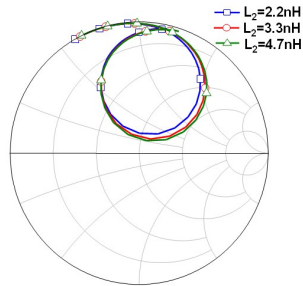
(c) 스미스차트 (높은 주파수 대역)  
(c) Smith Chart (high frequency)

그림 3. L1에 따른 반사손실과 스미스차트 변화  
Fig. 3. Return Loss and Smith Chart varying with L1

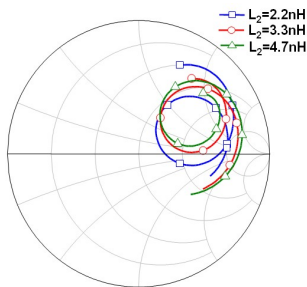
Fig 4는 제안된 안테나의 단락점 1의 인덕터 값을 3.9 nH로 고정시키고 단락점 2의 인덕터 값이 2.2 nH ~ 4.7 nH로 변할 때 안테나의 반사손실과 스미스 차트 상에서의 로커스 변화를 Ansoft HFSS 9.2 시뮬레이션을 이용하여 얻은 결과이다. 단락점 2의 인덕터 값의 변화는 변형된 반 파장 로드드 라인 안테나의 공진 주파수에 영향을 주고 PIFA의 공진 주파수에는 거의 영향을 주지 않는다.



(a) 반사손실  
(a) Return loss



(b) 스미스차트 (낮은 주파수 대역)  
(b) Smith chart (low frequency)



(c) 스미스차트 (높은 주파수대역)  
(c) Smith chart (high frequency)

그림 4. 반사손실과 스미스차트 변화(L2)  
Fig. 4. Return Loss and Smith Chart varying with L2

또한 단락점 2의 인덕터 값의 변화에 따른 스미스 차트상의 로커스 크기 변화는 Fig. 4. (b), (c)에서와 같이 낮은 주파수 대역과 높은 주파수 대역에서 거의 없으므로 안테나의 입력 임피던스는 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

### III. 측정 결과

Fig 5는 제안된 안테나의 단락점 1의 인덕터 값은 1.2 nH, 3.9 nH, 6.8 nH 이고 단락점 2의 인덕터 값이 3.3 nH 로 고정되었을 때 안테나의 반사손실을 측정된 결과이다. 그림에 나타나 있듯이 단락점 1의 인덕터 값은 안테나의 공진 주파수의 조절 보다는 입력 임피던스를 조절하는 것을 알 수 있다. 이는 단락점 1의 인덕터 값을 이용하여 안테나는 최적의 매칭을 조절할 수 있고 이는 단말기의 형태와 사용자의 환경에 의한 부정합 손실을 줄일 수 있음을 의미한다. 또한 안테나의 입력 임피던스 조절을 위한 인덕턴스의 범위는 0 nH ~ 6.8 nH 이다. 6.8 nH 이상의 인덕턴스 값에서는 입력 임피던스 값이 너무 커지므로 고려하지 않았다.

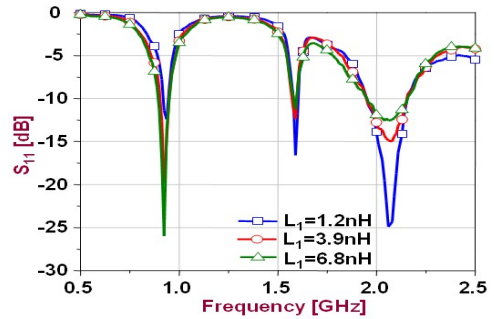
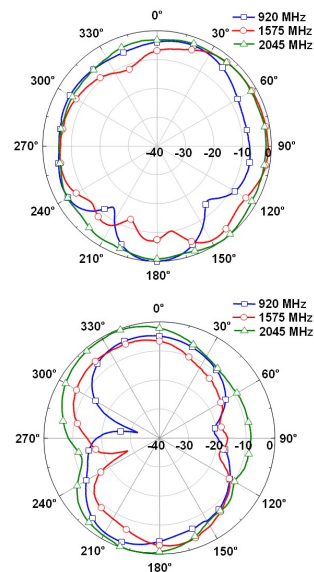
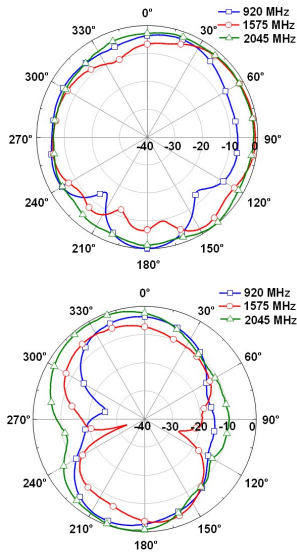


그림 5. L1에 따른 반사 손실  
Fig 5. Return Loss varying with L1

Fig 6은 제안된 안테나의 단락점 1의 인덕터 값은 3.9 nH, 6.8 nH 이고 단락점 2의 인덕터 값을 3.3 nH로 고정시켰을 때 측정되어진 안테나의 X-Y Plane 과 X-Z Plane의 방사패턴을 나타내었다. 단락점 1의 인덕터 값의 변화는 안테나 방사 소자에서의 전류 분포에 영향을 주지 않으므로 안테나의 방사 패턴의 변화는 거의 없다. 또한 전자과 무반사실에서 측정된 안테나의 방사패턴은 전 대역에서 전방향성이고 단락점 1의 인덕터 값의 변화에 따라 X-Y Plane에서 얻어진 안테나의 최고 이득은 GSM 대역에서 1.34 dBi ~ 1.49 dBi, GPS 대역에서 -1.65 dBi ~ -0.92 dBi, W-CDMA 대역에서 0.3 dBi ~ 0.59 dBi로 측정되었다.



(a) X-Y 축 (3.9nH) (b) X-Z 축 (3.9nH)  
(a) X-Y Plane(3.9nH) (b) X-Z Plane(3.9nH)



(c) X-Y 축 (6.8nH) (d) X-Z 축 (6.8nH)  
 (c) X-Y Plane(6.8nH) (d) X-Z Plane(6.8nH)

그림 6.  $L_1$ 의 변화에 따른 방사패턴  
 Fig 6. Radiation pattern varying with  $L_1$

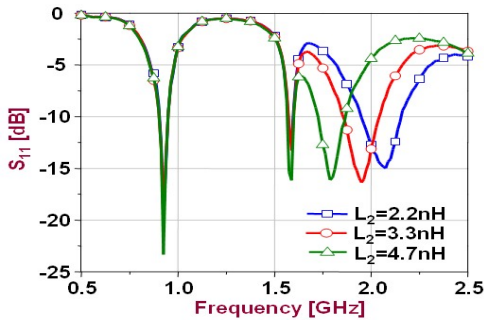
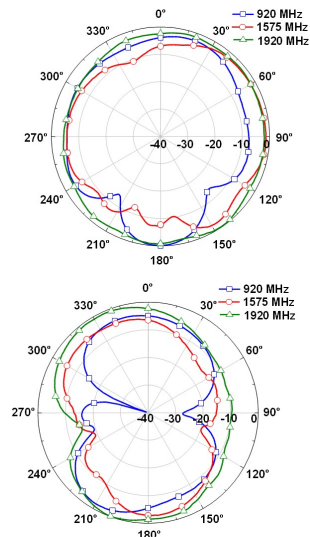


그림 7.  $L_2$ 의 변화에 따른 반사손실  
 Fig. 7. Return Loss varying with  $L_2$

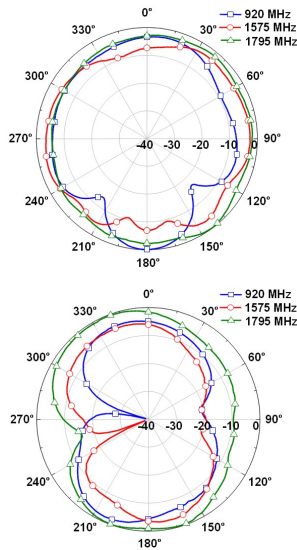
Fig 7은 제안된 안테나의 단락점 1의 인덕터값은 3.9 nH로 고정시키고 단락점 2의 인덕터 값은 2.2 nH, 3.3 nH, 4.7 nH 일 때, 안테나의 공진 주파수 변화를 측정 한 결과이다. 단락점 2의 인덕터 값이 0 nH 일때의 주파수 범위는 2100 MHz ~ 2500 MHz이다. 높은 주파수 대역의 공진 주파수는 인덕터의 값이 2.2 nH, 3.3 nH, 4.7nH 일때 각각 2080MHz, 2000MHz, 1840MHz이고 임피던스 대역폭은 VSWR 3:1을 기준으로 하여 2.2nH일 때 1855 MHz ~ 2250 MHz, 3.3 nH일 때 1750 MHz ~ 2120 MHz, 4.7

nH일 때 1640 MHz ~ 1940 MHz로 측정되었으며 각각 W-CDMA, US-PCS, DCS 대역을 만족시킨다. 또한 GSM (870 - 960MHz) 대역과 PIFA의 1차 고차 모드로 동작하는 GPS 대역은 인덕터 값에 따른 공진 주파수의 변화는 거의 없었다. 높은 주파수 대역의 대역폭은 인덕터의 값이 커짐에 따라서 Q 값이 커지게 되므로 점점 줄어든다. 이때 단락점 1의 인덕턴스의 변화는 안테나의 입력 임피던스에는 거의 영향 2을 주지 않는다. 따라서 단락점 2의 인덕터 값이 0 nH ~ 4.7 nH의 범위에서 변할때 안테나의 주파수는 1640 MHz ~ 2500 MHz의 넓은 유효대역폭을 얻을 수 있고 안테나의 입력 임피던스 뿐 아니라 다른 주파수 대역과는 독립적으로 주파수 조절이 가능하다.

Fig 8은 제안된 안테나의 단락점 1의 인덕터 값을 3.9 nH로 고정시키고 단락점 2의 인덕터 값이 3.3 nH와 4.7 nH일 때 측정된 안테나의 X-Y Plane과 X-Z Plane의 방사패턴을 나타내었다. 단락점 2의 인덕터 값의 변화는 Fig 2(c), (d)에 나타나 있듯이 높은 주파수 대역에서 전류 분포에 영향을 주지만 그림에 나타나 있듯이 전 방향성 방사패턴으로 측정되었다.



(a) X-Y 축 (3.3nH) (b) X-Z 축 (3.3nH)  
 (a) X-Y Plane(3.3nH) (b) X-Z Plane(3.3nH)



(c) X-Y 축 (3.3nH) (d) X-Z 축 (3.3nH)  
 (c) X-Y Plane(3.3nH) (d) X-Z Plane(3.3nH)

그림 8.  $L_2$ 의 변화에 따른 방사패턴  
 Fig 8. Radiation pattern varying with  $L_2$

또한 단락점 2의 인덕터 값의 변화에 따라 X-Y Plane에서 측정되어진 안테나의 최고 이득은 GSM 대역에서 1.34 dBi ~ 1.8 dBi, GPS 대역에서 -1.65 dBi ~ -1.12 dBi, 주파수 조절 영역인 WCDMA, US-PCS, DCS 대역에서 0.35 dBi ~ 0.94 dBi 로 측정되었다.

결론적으로 두개의 단락점을 가지는 제안된 안테나는 단락점 1의 인덕턴스는 안테나의 입력 임피던스를 조절하고 단락점 2의 인덕턴스는 높은 주파수 대역의 주파수를 조절하고 이는 서로 독립적으로 동작한다. 제안된 안테나는 1640 MHz ~ 2570 MHz 의 넓은 유효 대역폭을 얻을 뿐 아니라 안테나의 입력 임피던스 조절에 의해 부정합에 의한 손실을 줄일 수 있다. 또한 전체의 세기가 약한 단락점에 인덕터를 연결하여 안테나 성능에 미치는 영향을 최소화 했고 동작 주파수 영역에서 안테나의 이득의 편차는 0.8 dBi로 측정되었다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 GSM, GPS, DCS, US-PCS, WCDMA 대역에서 동작하는 다중대역 내장형 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 인덕터를 포함하는 조절 회로가 추가되기 때문

에 안테나의 성능에 영향을 줄 수 있다. 따라서 전체의 세기가 약한 지점인 단락점에 인덕터를 사용하여 안테나의 결합계수와 공진 주파수를 동시에 조절할 수 있고 안테나의 성능에 미치는 영향을 최소화했다. 단락점 1에 연결된 인덕터는 안테나의 입력 임피던스를 조절하므로 부정합에 의한 손실을 최소화 할 수 있다. 단락점 2에 연결된 인덕터는 DCS/US-PCS/WCDMA 대역의 공진 주파수를 조절하여 1640MHz ~ 2500MHz의 넓은 유효 대역폭을 얻을 수 있고 각각의 주파수 대역에 서로 독립적으로 동작하여 주파수 간섭에 대한 영향을 최소화 할 수 있다. 또한 비교적 적은 인덕터 값으로 넓은 주파수 조절 범위를 가지므로 다른 분야에서도 효과적인 적용이 가능하다. 현재의 이동통신 단말기에 적용하기 위해 인덕터 대신 스위치, 능동형 가변소자 등으로 대체하여 쉽게 단말기 내부에 집적할 수 있는 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

- [1] J. Ollikainen, O. Kivekas, and P. Vainikainen, "Low-loss tuning circuits for frequency-tunable small resonant antennas," Personal Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE International Symposium on, vol. 4, pp. 1882-1887, Sep. 2002.
- [2] R. B. Waterhouse and N. Y. Shuley, "Frequency agile microstrip rectangular patches using varactor diodes," URSI Radio Science Meeting and Nuclear EMP Meeting, vol. 4, pp. 2188-2191, Jul. 1992.
- [3] L. Fan and K. Chang, "An active inverted patch antenna with wideband varactor-tuned capability," IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, vol. 2, pp. 923-926, Jun. 1996.
- [4] J. Zhang and A. Mortazawi, "An L-band tunable microstrip antenna using multiple varactors," Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 4, pp. 524-527, Jun. 2003.
- [5] I. Carrasquillo-Rivera, Z. Popovic, and R. A. R Solis, "Tunable slotantenna using varactors and photodiodes," Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 4, pp. 532-535, Jun. 2003.
- [6] S. Onat, L. Alatan, and S. Demir, "Design of

*triple-band reconfigurable microstrip antenna employing RF-MEMS switches.*" Antennas and Propagation Society Symposium, IEEE, vol. 2, pp. 20-25, Jun. 2004.

- [7] D. Peroulis, K. Sarabandi, and L. P. B. Katehi, "A planar VHF reconfigurable slot antenna." Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 1, pp. 8-13, Jul. 2001.

### 저 자 소 개



**이 문 우**  
1993: 숭실대학교 대학원 전자공학석사  
1986 ~ 2000: 한국전자통신연구원  
선임  
2003: 배재대학교 대학원  
정보통신공학(박사)  
2000 ~ 현재: 한국폴리텍대학 서울  
정수캠퍼스 유비쿼터  
스통신과 교수  
관심분야: 통신시스템, 네트워크, 영  
상처리



**이 상 현**  
1981: 한양대학교 전자통신과 졸업  
(학사)  
1983: 한양대학교 대학원 전자통신과  
(석사)  
1984 ~ 1992: 하이닉스 시스템연  
구소  
1998 ~ 2000: 서울시립대학교 대  
학원(박사수료)  
1996 ~ 현재: 한국폴리텍대학 서울  
정수캠퍼스 유비쿼터  
스통신과 교수  
관심분야: 통신네트워크,  
RFID/USN, 문자인식