

AMPS, GPS, US-PCS 대역용 Triplexer 설계

Design of a Triplexer for Mobile Communication

이재선 · 윤태순 · 김기병 · 이종철 · 박재영* · 고영준*

Jae-Sun Lee · Tae-Soon Yun · Ki-Byoung Kim · Jong-Chul Lee ·
Jae-Young Park* · Young-Joon Ko*

요 약

최근 빠르게 발전하고 있는 이동통신 서비스는 보다 만족스럽고 보다 우수한 성능의 무선 통신용 필터나 다이플렉서 혹은 트리플렉서와 같은 멀티플렉서를 요구하고 있다. 다이플렉서는 수신된 신호를 고주파와 저주파 신호로 각각 분리하여 주는 소자로서 듀얼모드 단말기에 쓰이는 것으로 이미 잘 알려져 있다. 트리플렉서는 수신된 신호를 각각 세 개의 대역 즉 AMPS, GPS, US-PCS 등으로 구분하여 주는 소자로서 최근 서비스를 시작한 GPS 기능을 추가시키기 위한 triple-mode 소자라 할 수 있다. 하지만 GPS 대역(1.575 GHz)과 US-PCS(1.85 GHz ~ 1.91 GHz) 대역이 서로 간섭을 일으킬 만큼 가깝기 때문에 각 출력단간의 Isolation 특성을 강화하는데 주력을 하였다. 본 연구에서 트리플렉서는 무라타 사의 인덕터와 캐패시터를 사용하였고, Agilent 사의 ADS를 이용하여 설계하였으며, 측정시 Agilent사의 VNA 8510C를 사용하여 측정하였다.

Abstract

In this paper, a triplexer for Advanced Mobile Phone Service(AMPS), United States-Personal Communication Services(US-PCS), and Global Positioning System(GPS) is designed using L and C lumped elements. The triplexer shows the insertion loss of 0.6 dB, 1.1 dB, and 1.6 dB for AMPS, US-PCS, and GPS bands, respectively. Also, it shows the attenuation characteristic of less than 18 dB, and the VSWR of less than 2.0 through the all pass-band.

Key words : Triplexer, Triple-Mode, AMPS, GPS, US-PCS, Diplexer

1. 서 론

마이크로웨이브 시스템에서는 안테나를 통하여 입력된 모든 신호들 중에서 각 시스템마다 필요로 하는 신호만을 추출하여 시스템의 안정성을 확보하는 한편 수신감도 특성을 개선하게 되는데, 이 때 필요한 소자가 필터이다. 만약, 우리가 필요로 하는 주파수 대역이 AMPS 대역이라면 824 MHz~894 MHz 사이의 신호만 통과시킬 수 있는 필터를 사용하면 되지만, AMPS 대역 외에 US-PCS 대역에서도 사용

할 수 있는 시스템을 설계하기 위해서는 824 MHz~894 MHz 대역 이외에도 1.85 GHz~1.99 GHz 대역까지 사용할 수 있는 필터를 필요로 하기 때문에 824 MHz부터 1.99 GHz까지 약 80 %의 대역폭을 갖는 광대역 필터가 요구된다. 하지만 실제 사용되는 단말기의 경우에는 이러한 광대역 필터의 구현이 어려우므로 필요한 두 주파수 대역(824 MHz~894 MHz와 1.85 GHz~1.99 GHz)을 각각 구분해 주는 필터를 각각 사용하고 있으며, 이 두 필터를 하나의 회로에 구현하기 위해서는 상호 간섭을 최소화하는 범

「이 연구는 과학기술부 21세기 프론티어개발사업 중 "지능형 마이크로시스템 개발 사업단"의 LG전자기술원 위탁과제 연구비 지원으로 연구되었음.」

광운대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Kwangwoon University)

*LG 전자기술원(Micro System Team, LG Electronics Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20030930-130

· 수정완료일자 : 2004년 3월 3일

위 내에서 두 개의 주파수 대역을 분리해 주어야 한다^[1]. Diplexer는 이러한 두 개의 주파수 대역을 필요로 하는 시스템 내에서, 각각의 주파수를 분리해 주는 역할을 하는 소자로서, 수신단 중에서 가장 앞에 위치하여 서로 다른 주파수 대역의 신호들을 각각의 경로로 분리하여 전달한다. 또한, 최근에 서비스를 시작한 GPS의 사용이 급증함에 따라, 두 개의 주파수가 아닌 세 개의 서로 다른 주파수 대역의 신호를 한꺼번에 처리할 수 있는 Triple-mode system의 개발이 필요하게 되었고, 기존에 이미 세 개의 이동통신 대역에 동시에 사용되어질 수 있는 Triple-mode antenna의 개발이 이루어지고 있으며^{[2],[3]}, 이에 상응하여 서로 다른 세 개의 주파수 대역 신호를 각각 분리할 수 있는 Triplexer 개발을 필요로 하게 되었다. 본 논문에서는 AMPS 대역과 US-PCS 대역용 Diplexer를 먼저 설계한 후에 GPS 주파수용 대역통과 여파기를 추가시켜 Triplexer를 설계하고자 한다.

II. Diplexer와 Triplexer 설계

2-1 Triplexer의 개요

Triplexer란 AMPS, GPS, US-PCS 등과 같이 세 개의 서로 다른 주파수 성분들을 선택적으로 필터링하는 과정을 통하여 원하는 주파수 성분을 각각 분리할 수 있는 Triple-mode 소자를 말한다. 즉, Triplexer는 그림 1에서 보는 바와 같이 AMPS 대역인 824 MHz~849 MHz(Tx)와 869 MHz~894 MHz(Rx) 대역을 저역통과 여파기를 거친 출력단으로, GPS 주파수인 1.575 GHz(L) 대역을 대역통과 여파기를 거친 출력단으로, US-PCS 대역인 1.85 GHz~1.91 GHz(Tx)

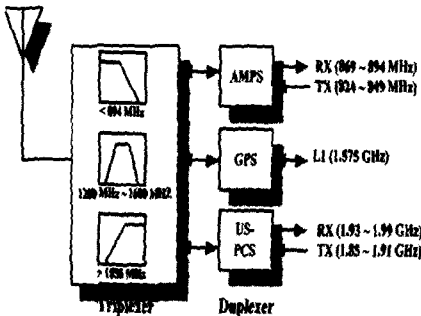


그림 1. Triplexer의 구성도
Fig. 1. Structure of the Triplexer.

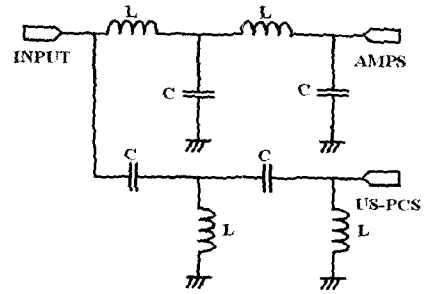


그림 2. AMPS, US-PCS 대역용 Diplexer의 회로도
Fig. 2. Schematic of Diplexer for AMPS and US-PCS band.

와 1.93 GHz~1.99 GHz(Rx) 대역을 고역통과 여파기를 거친 출력단으로 하는 회로로 이루어져 있다.

그러므로 Triplexer의 주요 기능은 수신된 신호를 각 주파수 대역에 맞는 필터를 따로 사용하지 않고 Triplexer 하나로 Triple-mode 시스템에 적용할 수 있다는 것이다. 또한 Triplexer는 안테나 바로 뒤에 오는 부품이기 때문에 수신된 신호의 손실을 최소화하면서 원하는 대역으로 정확히 분리해 주어야 한다.

2-2 Diplexer 설계

그림 2는 Triplexer 이전에 설계된 AMPS 대역과 US-PCS 대역용 Diplexer를 설계한 회로도이다. 본문에서 설계된 Diplexer는 수신된 신호를 저역통과 여파기를 거쳐 AMPS 대역(824 MHz~894 MHz)과 고역통과 여파기를 거친 US-PCS 대역(1.85 GHz~1.99 GHz)으로 분리하는 부품이다. 설계된 저역통과 여파기는 약 890 MHz를 차단 주파수로 하고, 0.1 dB 리플 특성을 갖는 Chebyshev 필터로 설계되었으며, 고역통과 여파기의 경우는 약 1800 MHz를 차단 주파수로 하고, 0.1 dB 리플 특성을 갖는 Chebyshev 필터로 설계되었다^{[4],[5]}. 각각의 필터들은 π -형 네트워크로 구성된 4단으로 설계되었다.

그림 3과 4는 설계된 AMPS 대역과 US-PCS 대역용 Diplexer의 시뮬레이션 결과(그림 3)와 측정 결과(그림 4)를 나타낸 것이며, 그림 5는 제작된 Diplexer의 사진이다. 제작된 Diplexer의 크기는 가로, 세로 약 3 cm×1.5 cm이다.

그림 3에서 보는 바와 같이 각 대역에서의 삽입손실은 약 0.5 dB 이하이며, 감쇄 특성은 -20 dB 이하

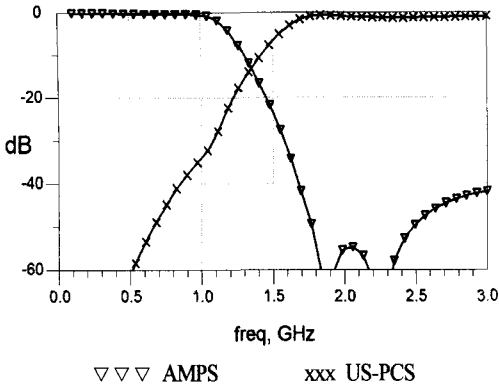


그림 3. Diplexer의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of the Diplexer.

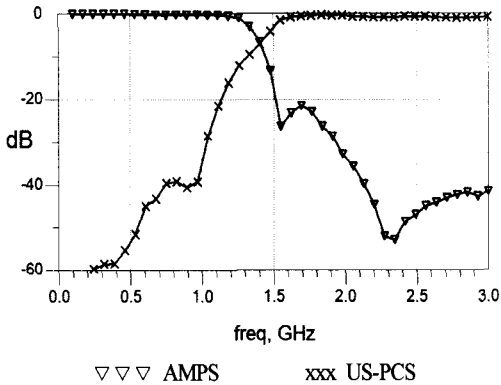


그림 4. Diplexer의 측정 결과
Fig. 4. Measurement result of the Diplexer.



그림 5. 제작된 Diplexer의 사진
Fig. 5. Picture of the manufactured Diplexer.

로 나타났다. 측정 시 Agilent 사의 VNA 8510C를 사용하여 성능 측정을 하였다. Diplexer 설계 시 Triplexer 설계를 고려하여 GPS 대역과 US-PCS 대역간의 상호 간섭을 최대한 줄이기 위해 감쇄 특성을 보

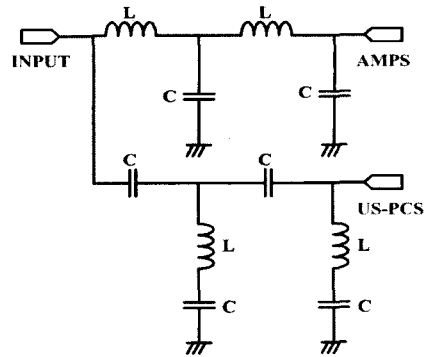


그림 6. 감쇄특성이 개선된 Diplexer의 회로도
Fig. 6. Schematic of the Diplexer that is improved attenuation characteristic.

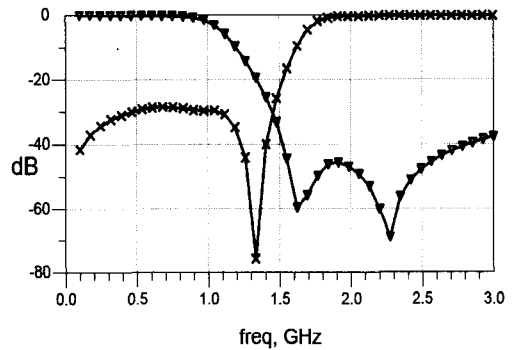


그림 7. 감쇄특성이 개선된 Diplexer의 측정결과
Fig. 7. Measurement result of the Diplexer that is improved attenuation characteristic.

다 향상시켜야 할 필요가 있다^[1]. 본 논문에서는 감쇄 특성을 향상시키기 위해 그림 6과 같이 고역통과 필터에 LC 직렬 공진 회로를 구현하여 GPS 주파수인 1.575 GHz에서 보다 급격한 감쇄 특성을 나타낼 수 있도록 설계하였다^{[1],[5],[6]}.

그 결과 그림 7과 같이 삽입손실은 약 0.2~0.3 dB 증가하였으나, GPS 대역에서의 감쇄 특성은 약 10 dB 정도 더 향상되었다. 또한 GPS 대역에서의 감쇄 특성이 향상된 반면에 AMPS 대역에서의 감쇄 특성은 이전보다 약 10 dB 정도 저하되었음을 확인할 수 있다. US-PCS 대역용 HPF에 공진기를 적용했을 경우와 공진기를 적용하지 않았던 경우를 살펴보면, 공진기를 적용한 Diplexer의 감쇄 특성은 GPS 대역에서의 감쇄는 급격하여 감쇄 특성이 우수하지만 AMPS 대역 쪽으로는 오히려 10 dB 정도 저하되었

으며, 공진기를 적용하지 않았던 경우의 감쇄 특성을 살펴보면, AMPS 대역에서의 감쇄 특성은 우수하나, GPS 대역에서의 감쇄 특성이 매우 좋지 않음을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 근접한 대역간의 Isolation 특성을 고려하여, AMPS 대역에서 감쇄 특성은 조금 저조하지만 GPS 대역에서 보다 감쇄 특성이 우수했던 공진기를 적용시킨 Diplexer를 최종 목표인 Triplexer에 적용하여 US-PCS 대역과 GPS 대역간의 Isolation 특성을 극대화 할 것이다.

2-3 Triplexer 설계

2-3-1 GPS 대역용 대역통과 여파기 설계

GPS 주파수를 포함하면서 AMPS 대역과 US-PCS 대역에 끼치는 영향을 최소로 하는 대역통과 필터를 설계하기 위해서는 매우 좁은 대역폭을 갖는 협대역 필터를 설계하는 것도 중요하지만, AMPS 대역과 US-PCS 대역에서의 감쇄 특성을 얼마만큼 향상시키는가 하는 것 또한 중요한 요소이다. 왜냐하면 감쇄 특성의 향상은 곧 출력단 간의 Isolation 특성을 강화시키기 때문이다. 본 논문에서는 다른 대역에서의 감쇄 특성을 향상시키는 것에 중점을 두고 연구하였다. 이동통신에 사용되는 GPS 대역은 1.575 GHz를 중심 주파수로 하며 약 10 MHz의 대역폭을 갖는다. 하지만 1% 미만의 대역폭을 갖는 대역통과 필터를 구현하는 것 또한 쉽지 않기 때문에^[4] AMPS 대역과 US-PCS 대역 사이에 존재하는 대역 내에 적절한 대역폭을 갖는 대역통과 필터를 구현하여, 각 대역 사이에서 서로 간섭을 최대한 줄일 수 있도록 해야 한다. 본 논문에서 설계된 GPS 대역용 대역통과 필터는 LC 병렬 공진기 두 개를 인덕터로 커플링한 형태로서, 대역폭은 1.3 GHz에서부터 1.6 GHz까지 약 20%의 대역폭을 갖고, 약 0.6 dB의 삽입손실 특성을 갖는다. GPS 대역용 대역통과 여파기의 감쇄 특성 또한 근접한 대역인 US-PCS 대역 쪽으로 보다 급격히 감쇄 특성을 나타나게 설계함으로써 GPS 대역과 US-PCS 대역 사이에 일어날 수 있는 간섭을 최소화 하여 좋은 Isolation 특성을 얻을 수 있도록 하였다.

2-3-2 AMPS, GPS, US-PCS 대역용 Triplexer 설계

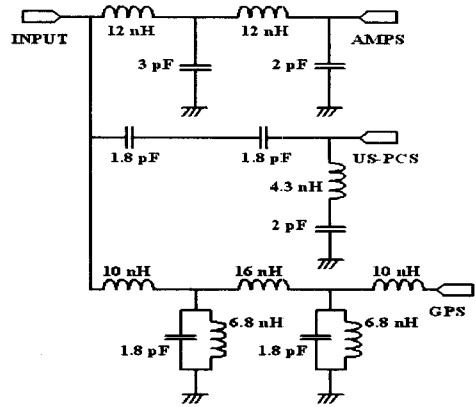


그림 8. Triplexer의 회로도
Fig. 8. Schematic of the Triplexer.

본 논문에서는 위에 설계되었던 AMPS 대역과 US-PCS 대역용 Diplexer와 GPS 대역용 대역통과 필터를 조합하여 Triplexer를 설계하였다. 그림 8은 제작된 Triplexer의 전체 회로도를 간략하게 나타낸 것이다. 각 출력단 사이의 Isolation 특성을 고려하여 저역 통과 필터와 고역통과 필터의 각각 첫 단의 인덕터와 캐패시터의 값을 적절히 조절하여 약 1.5 GHz에서 공진을 일으키도록 설계하고, 특히 근접 대역인 US-PCS 대역을 고려하여 감쇄 특성을 향상시켰다. 라인 임피던스의 부정합으로 인한 손실 또한 최소로 하기 위해 인덕터와 캐패시터 같은 집중소자를 붙이기 위한 마이크로스트립 라인의 임피던스를 50 ohm으로 설계하였다. 주파수를 2 GHz로 설정하여 라인 임피던스를 계산한 결과 약 1.49 mm의 라인 폭을 갖게 되었다. 그림 8은 최종적으로 제작된 Triplexer의 회로도이며 여기서 나타낸 각각의 소자들은 Diplexer와 마찬가지로 Murata 사의 LQW18an series의 인덕터와 GRM39 series 캐패시터를 회로에 구현했을 때 사용된 소자값들이다. US-PCS 대역을 위한 고역통과 필터에서 직렬 캐패시터 사이에 있는 병렬 인덕터는 Triplexer를 제작, 측정시 튜닝하는 과정에서 제거된 것이다. 그림 9는 그림 8의 회로를 시뮬레이션했을 때 얻은 결과이다.

그림 9에서와 같이 시뮬레이션 결과를 보면 AMPS 대역에서의 삽입손실은 약 0.7 dB이었으며, US-PCS 대역에서의 삽입손실은 약 0.8 dB이었고, GPS 대역에서의 삽입손실은 약 1.5 dB로 나타났다. 그리고,

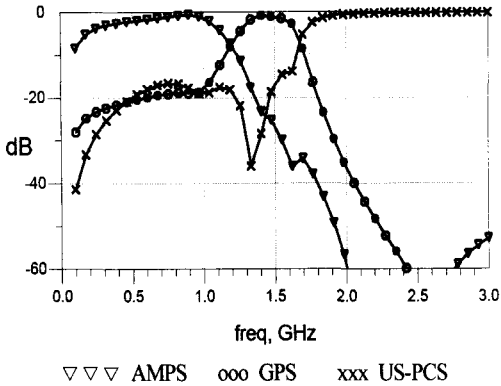


그림 9. Triplexer의 simulation 결과
Fig. 9. Simulation result of the Triplexer.

GPS 대역용 대역통과 여파기의 감쇄 특성이 US-PCS 대역 쪽으로 보다 급격한 감쇄 특성을 나타냄으로써 전 대역에 걸쳐 약 18 dB 이상의 감쇄 특성을 얻을 수 있었다^{[1],[4]}.

시뮬레이션 Tool은 Agilent사의 ADS를 사용하였으며, ADS에서 제공하는 Murata사의 인덕터와 캐패시터 Library를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 하지만 실제로 존재하는 소자 값의 캐패시터나 인덕터가 ADS Library상에서 지원되지 않아 보다 정확한 시뮬레이션을 하지 못하였으나 실제 제작시에는 ADS의 Library에서 제공되지 않는 값의 소자들을 회로에 적용시켜 제작하였다.

그림 10은 실제로 제작된 Triplexer의 사진으로써, 크기는 32 mm×17 mm이다. 그림 11에서 보듯이 제작 후 측정된 결과, 시뮬레이션 했던 것과 거의 흡사한 형태의 결과를 얻게 되었고, 다만 커넥터에서 생기는 약간의 반사손실과 납에 의한 약간의 삽입손실

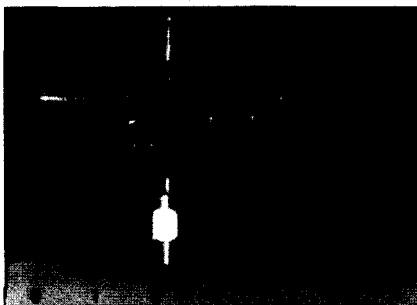


그림 10. 제작된 Triplexer의 사진
Fig. 10. Picture of the manufactured Triplexer.

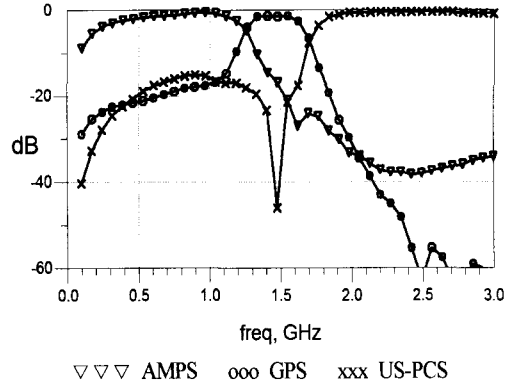


그림 11. Triplexer의 측정결과
Fig. 11. Measurement result of the Triplexer.

등이 추가적으로 작용했다는 것을 확인할 수 있다.

제작된 Triplexer의 측정결과 AMPS 대역에서의 삽입손실은 그림 11에서 보는 바와 같이 최대 0.7 dB 이었으며, US-PCS 대역에서의 삽입손실은 최대 1.1 dB이었고, GPS 대역에서의 삽입손실은 최대 1.6 dB로 나타났다. 위의 결과로부터, GPS 대역의 삽입 손실이 다른 대역의 삽입 손실 특성보다 크게 나타난 것을 알 수 있다.

그림 11과 같은 결과를 그림 9의 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 GPS 대역에서 US-PCS 대역의 신호가 보다 감쇄된 것을 확인할 수 있다. 이는 위에서 언급했던 것과 같이 ADS 라이브러리에서 제공되지 않는 값의 소자들을 실제 회로에 적용시킴으로서 GPS 대역과 US-PCS 대역간의 감쇄 특성을 보다 향상시킬 수 있었다. 이는 US-PCS 대역과 GPS 대역간의 간섭을 최소화하기 위한 방편으로, GPS 대역을 대역통과 필터의 통과대역의 오른쪽 끝부분에 오도록 설계하였고, 이로 인해 감쇄가 급격히 심해지기 시작하는 부분에 GPS 대역이 위치함으로써 일어난 결과로 예측된다. 그림 12는 입력 반사 손실을 나타내고 있다. 그림 12를 통하여 Triplexer의 통과대역 내에서는 약 10 dB 이하의 입력반사 손실을 갖는 것으로 나타났다. 그리고, 그림 13은 VSWR 특성을 나타낸 것으로써 통과대역 내에서 2.0 이하의 VSWR 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

그림 14는 각 출력단 간의 Isolation 특성을 시뮬레이션했을 경우와 측정했을 경우를 각각 나타낸 것이다. 우선 그림 14와 같이 시뮬레이션 결과를 살펴

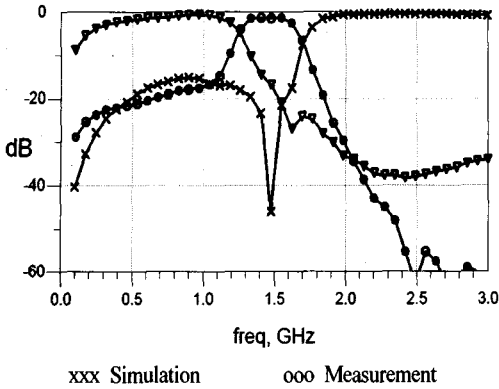


그림 12. Triplexer의 S_{11} parameter
Fig. 12. S_{11} parameter of the Triplexer.

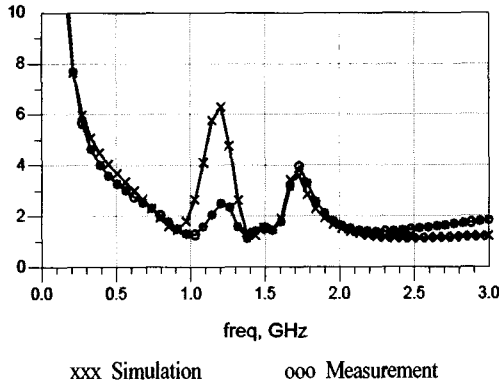


그림 13. Triplexer의 VSWR 특성
Fig. 13. VSWR characteristic of the Triplexer.

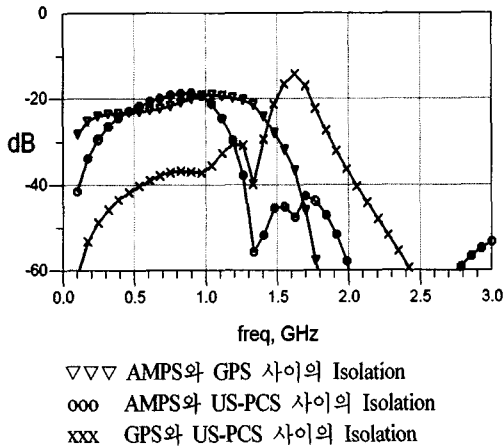


그림 14. Isolation 특성(시뮬레이션)
Fig. 14. Isolation characteristic(Simulation).

보면 각 출력단 간의 아이솔레이션 특성을 살펴보면

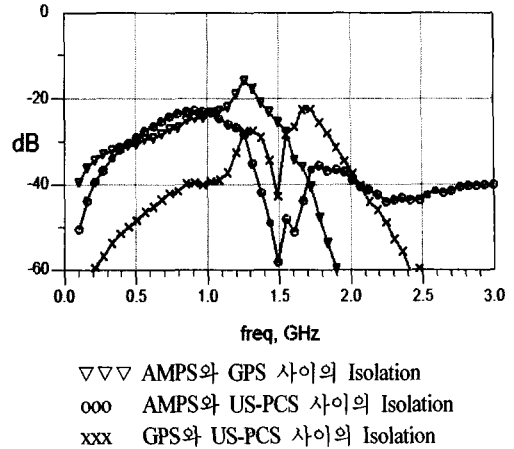


그림 15. Isolation 특성(측정결과)
Fig. 15. Isolation characteristic(measurement).

표 1. Triplexer의 성능 분석표
Table 1. Performance of the triplexer.

	AMPS	GPS	US-PCS
삽입손실(측정)	0.7 dB (max)	1.6 dB (max)	1.1 dB (max)
입력반사손실(측정)	10 dB (max)	10 dB (max)	10 dB (max)
VSWR (측정)	2(max)	2(max)	2(max)
Isolation(측정) AMPS & GPS	20 dB(max)		
Isolation(측정) AMPS & US-PCS	20 dB(max)		
Isolation(측정) GPS & US-PCS	20 dB(max)		

근접대역인 GPS 대역과 US-PCS 대역 사이의 Isolation 특성은 약 -15 dB 미만으로 나타났으며, 그 밖의 대역간의 아이솔레이션 특성은 -20 dB 이하로 나타나 GPS 대역과 US-PCS 대역간의 Isolation 특성이 그 밖에 다른 출력과의 Isolation 특성에 비해 저조한 것을 알 수 있다. 하지만 그림 15와 같이 실제 회로에서의 아이솔레이션 특성을 살펴보면 모든 출력단 사이에서 20 dB 이하의 아이솔레이션 특성을 얻을 수 있었다.

마지막으로, Triplexer의 대역통과 특성을 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 중심으로 표 1에 정리하였다.

III. 결 론

본 연구에서는 AMPS, GPS, US-PCS 등과 같이 세 개의 서로 다른 주파수 성분들을 각각 분리할 수 있는 Triple-mode 부품인 Triplexer를 개발하였다. 두 개의 주파수 대역이 아닌 세 개의 주파수 대역을 분리해야 하므로 서로 다른 대역간의 상호 간섭을 줄이는 것을 목표로 연구하였다. 반도체 공정이나 3차원 구조물로 제작할 수 있는 LTCC 기술, 그리고 최근에 각광을 받고 있는 RF-MEMS 기술로 이러한 Triplexer를 소형화 및 집적화 할 수 있다면, Triple-mode 이동형 단말기 혹은 소형화된 Triple-mode RF system에 응용이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

[1] R. R. Mansour, F. Rammo and V. Dokas, "Design of Hybrid-coupled multiplexers and diplexers using asymmetrical superconducting filters", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp. 1281-1284, Jun. 1993.
 [2] S. T. Fang, J. W. Sheen, "A planar triple-band

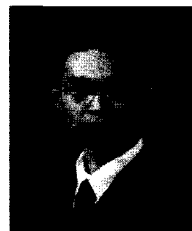
antenna for GSM/DCS/GPS operations", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 2, pp. 136-139, 2001.
 [3] G. Lee, T. Chiou, K. Wong and C. Wang, "Low-profile planar monopole antenna for GSM/DCS/PCS triple-band mobile phone", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. 3, pp. 26, 2002.
 [4] G. L. Matthaei, L. Young and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, 1980.
 [5] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 1998.
 [6] G. Czawka, "Structures of prototypes for broadband microwave filters, diplexers and matching networks", *13th Int. Conf. Microwaves, Radar and Wireless Communications*, vol. 2, pp. 525-528, May 2000.

이 재 선



2002년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2004년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2004년 3월~현재: 인티그런트 RF 엔지니어
 [주 관심분야] 초고주파 수동 회로

윤 태 순



2000년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 광운대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] RF MEMS, Ferroelectric Device

김 기 병



2000년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
2002년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] Ferroelectric Device,

RF MEMS

박 재 영

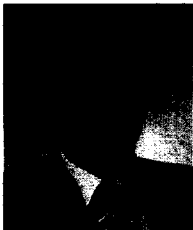


1997년: Georgia Institute of Technology 전기 및 컴퓨터 (공학박사)
1997년~1999년: Georgia Institute of Technology 연구 과학자
1999년 2월~현재: LG 전자기술원, 소재재료연구소, 마이크로시스템 그룹, 책임연구원, RFMEMS/TF-

BAR 팀장, 80개 이상의 국내외 논문 발표, 70개 이상의 국내외 특허 출원

[주 관심분야] Optical MEMS, Bio MEMS, RF MEMS(초소형 RF transceiver, mechanical switches, tunable capacitors, balun, power divider, TFBAR, resonators, antennas, phase shifter, filters, oscillators, duplexers, transmission lines)

이 종 철



1983년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
1989년 12월: 미국 Arizona State Univ. 전자공학 (공학석사)
1994년 5월: 미국 Texas A&M Univ.

전자공학 (공학박사)

1998년 4월: 광운대학교 전파공학과 조교수
2002년 4월~현재: 광운대학교 전파공학과 부교수
[주 관심분야] 초고주파 및 광전자 공학, RF MEMS, 밀리미터파 능동 및 수동소자

고 영 준



1997년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2001년~현재: LG전자기술원 연구원
[주 관심분야] 마이크로파와 밀리미터파 통신대역의 수동 회로, Antenna, RF MEMS

Antenna, RF MEMS