

# 다양한 변조 신호의 1.8 GHz 대역 VSWR 측정 개선에 관한 연구

## Improvement of VSWR Measurement for Various Modulated Signals at 1.8 GHz Band

박 상 진 · 강 성 민\* · 구 경 현

Sang Jin Park · Sung Min Kang\* · Kyung Heon Koo

### 요 약

본 논문에서는 다양한 변조 신호에 대한 1.8 GHz 대역 VSWR을 구하는 방법을 제시하였다. 방향성 결합기를 이용하여 입사 전력과 반사 전력을 측정하였으며, 측정 회로 크기와 비용을 최소화하기 위해 SPDT(Single Pole Double Throw) 스위치를 사용하여 한 개의 검파기와 한 개의 AD(Analog to Digital) 변환기로 회로 구현이 가능하게 되었다. MCU(Micro Control Unit)를 이용하여 전압 반사 계수와 VSWR을 계산하였으며, 다양한 변조 신호에 대한 측정오차를 줄이고 MCU의 처리 시간 및 부하를 최소화하기 위해, 간단한 버블정렬 알고리즘을 적용하여 비적용한 경우보다 0.2의 VSWR 오차를 개선할 수 있었다.

### Abstract

This paper has suggested a technique for measuring VSWR at 1.8 GHz band for various modulated signals. By using directional coupler the power of incident and reflected wave is measured, and in order to minimize the size and cost of the measuring circuit, a SPDT(Single Pole Double Throw) switch is adopted to realize the circuit with just one detector and one A/D(Analog to Digital) converter. MCU(Micro Control Unit) is used to calculate the voltage reflection coefficient and VSWR, and the measured VSWR error has improved by approximately 0.2 with applying a simple bubble sorting algorithm to reduce the measurement error, the MCU process time and load.

Key words : VSWR, Bubble Sort, Detector, GSM, EDGE, WCDMA, LTE

### I. 서 론

이동 통신 기지국 시스템에서 안테나 전압정재파비(VSWR) 측정 기능은 필수적 요소로서, 안테나 동작 상태를 주기적으로 확인하여 사용자가 미리 정한 동작 범위에서 벗어나는 경우 경 경보(minor alarm)와 주 경보(major alarm)를 발생하는 동작을 한다. 경 경보는 안테나 동작 상태가 다소 악화된 상태를 감

지하기 위한 것이고, 주 경고는 안테나 동작 상태가 상당히 악화된 것으로, 기지국 장비에 크게 영향을 주는 것을 방지하기 위해 설정한다. 기존의 VSWR 측정 모듈은 단순히 기지국 장비와 안테나 간의 연결 상태나 안테나의 고장 여부 판단이 주요 목적이었기 때문에 정상 또는 고장 상태를 구분할 정도의 사양이면 되었다. 그러나 오늘날 이동 통신 기지국은 다양한 통신 표준을 서비스하고 또한 요구 사양

인천대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Incheon University)

\*에이스 테크놀로지(Ace Technology)

· 논문 번호 : 20110527-08S

· 교신저자 : 구경현(e-mail : khkoo@incheon.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 8월 29일

이 까다로워짐에 따라 더욱 정밀한 측정이 필요하고, 운용 중에 경고(alarm) 동작 범위를 가변할 필요가 있어 MCU가 이용되고 있다.

현재 기지국 시스템 또는 안테나 선로 장비(ALD: Antenna Line Device)에 사용되는 VSWR 측정 모듈은 간단한 회로 구조 및 MCU를 이용하여 정밀한 VSWR 측정을 수행하여야 한다. 이때 VSWR 측정 모듈은 MCU의 점유율을 최소화하면서 필요한 계산을 하고 알람 범위를 가변 가능하며, 측정된 VSWR 값에 따라 경 경고와 주 경고를 보고하는 기능을 가져야 한다. 계산 과정에서 MCU의 점유율을 최소화해야 하는 이유는 시스템 장비의 주 기능이 장비 간의 통신 또는 트래픽 처리, 선형화를 위한 신호처리기 때문이다. 또한, GSM(Global System for Mobile Communication), EDGE(Enhanced Data for GSM Environment), WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access), LTE(Long Term Evolution) 등 여러 통신 규격의 다양한 변조 조건에서 정밀한 측정을 지원해야 한다<sup>[1]</sup>.

GSM은 전 세계에서 가장 널리 사용된 이동 통신 시스템으로 TDMA 기반 기술이며, EDGE는 TDMA에 기반한 유럽 GSM 진영에서 3G 통신 기술과 접목시키기 위해 제안한 데이터 통신 규격으로 기존 시스템을 고속으로 이용하는 기술이다. WCDMA는 정보를 디지털화한 후 가용한 전체 대역폭에 확산시키는 기술로, 아날로그 FDMA 방식에 비해 대역폭당 사용자 채널을 최대 10~20배 증가시킨다. LTE는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식을 사용하며, 이는 FDM 방식의 일종으로 송신 데이터를 다수의 반송파로 분할하고, 이 반송파들을 동기시켜 변조하는 직교 함수계를 사용하여 반송파간의 간격을 최소화 하는 방식이다<sup>[1],[2]</sup>.

TDMA 방식을 사용하는 GSM과 EDGE는 프레임 단위로 구성되며, 한 개의 프레임은 총 8개의 시간 슬롯(time slot)으로 구성된다. 시간 슬롯 수에 따라 검파기 출력 신호의 모양이 상이한데, 실제 시간 슬롯 수에 따른 검파기 출력 신호를 그림 6에서 볼 수 있다.

기존 연구에서는 입사파와 반사파의 크기를 측정하기 위해 두 개의 검파기와 두 개의 아날로그-디지털

AD 변환기, 그리고 단일 주파수 정현파의 VSWR 계산을 위해 MCU를 사용하여 구현하였다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 1.8 GHz에서 동작하는 SPDT 스위치를 사용하여 한 개의 검파기와 한 개의 AD 변환기를 사용하였으며, 타 대역의 근접 신호 간섭으로 인한 측정 오차 발생을 줄이기 위해 대역 통과 필터를 사용하였다. 기존 논문에서 두 개의 검파기와 두 개의 AD 변환기를 사용한 방법에 비하여 회로 복잡도 및 크기가 감소하는 장점이 있다. 또한 설계한 VSWR 측정 회로를 이용하여 1.8 GHz 주파수의 75 MHz 대역폭(1,805~1,880 MHz)의 GSM, EDGE, W-CDMA, LTE 시스템 신호를 인가하여 검파기를 통해 출력된 신호를 살펴보고, VSWR 측정 정확도를 높이기 위해 버블 정렬 알고리즘을 적용하였을 때 개선된 측정 정확도에 대하여 제시하고자 한다.

## II. VSWR 이론

안테나 VSWR은 이동 통신 기지국에서 안테나의 정합 상태를 나타내는 중요한 파라미터이며, 안테나 연결 선로상의 최대 크기 전압과 최소 크기 전압의 비로 정의한다. 편의상 VSWR을  $\rho$ 로 표시하기로 한다<sup>[4]</sup>.

$$\rho = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} \quad 1 \leq \rho \leq \infty \quad (1)$$

VSWR  $\rho$ 와 전압 반사 계수  $\Gamma$  사이의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$\rho = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2)$$

VSWR을 측정하는 방법은 다양하나 식 (1)에 따라 피측정 장비(DUT)와 연결된 전송 선로상의 최대 전압과 최소 전압 크기를 직접 측정하여 구할 수 있다. 만일 최대 전압과 최소 전압의 직접 측정이 용이하지 않은 경우에는 식 (2)에 따라 DUT의 반사계수 크기를 구할 수 있다면 VSWR 값은 계산할 수 있다. 실험적으로 방향성 결합기, 검파기, 아날로그-디지털 변환기와 MCU를 이용하면 VSWR 측정이 가능하다. 실제 측정을 진행할 때는 다양한 오차 발생 요인이 있는데, 이들 중 방향성 결합기가 갖는 유한한 방향성(directionality)이 주요한 오차 발생의 요인이다.

### III. 이론적 분석

VSWR 측정에서 중요한 하드웨어 구성 요소는 방향성 결합기이다. 방향성 결합기의 유한한 격리도 (isolation), 임피던스 부정합 등을 고려하여 정밀한 측정 시스템에서는 이중(dual) 방향성 결합기가 사용되며, 그림 1은 본 실험에서 사용한 이중 방향성 결합기를 이용한 6 포트 측정 회로망을 나타낸다. 3번 및 4번 포트에 검파기를 연결하였으며, 검파기의 입력 임피던스는 주파수 및 전력에 따라 변화하므로 넓은 주파수에서 검파기를 정합시키는 것은 어렵다. 6 포트 회로망을 이용하면 반사 전력은 5번 및 6번 포트의 정합된 부하에 흡수되고, 두 개의 검파기는 서로 격리될 수 있다.

VSWR 측정을 위해 사용된 6 포트 회로망에서는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 + S_{23}a_3 + S_{24}a_4 + S_{25}a_5 + S_{26}a_6 \quad (3)$$

$$b_3 = S_{31}a_1 + S_{32}a_2 + S_{33}a_3 + S_{34}a_4 + S_{35}a_5 + S_{36}a_6 \quad (4)$$

$$b_4 = S_{41}a_1 + S_{42}a_2 + S_{43}a_3 + S_{44}a_4 + S_{45}a_5 + S_{46}a_6 \quad (5)$$

두 개의 검파기가  $f_0$ 에서 정합이 되었다고 가정하면 입사파  $a_3 = a_4 = 0$ 이 되고, 포트 5와 6이 정합 부하에 종단되었으므로  $a_5 = a_6 = 0$ 이 된다. DUT에서의 반사 계수를  $\Gamma$ 로 했을 때  $a_2 = \Gamma b_2$ 이 되며, 따라서 다음 식이 유도된다.

$$\frac{b_4}{b_3} = \frac{S_{41}(1 - \Gamma S_{22}) + \Gamma S_{21}S_{42}}{S_{31}(1 - \Gamma S_{22}) + \Gamma S_{21}S_{32}} \quad (6)$$

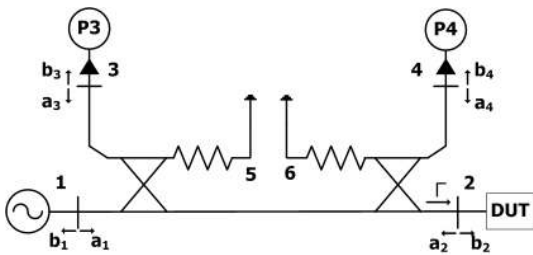


그림 1. VSWR 측정을 위해 사용된 6 포트 회로망  
Fig. 1. A six-port network used for VSWR measurement.

방향성을 이상적이라 가정하면,  $S_{41} = S_{32} = 0$ 이 되며, 대칭성을 이용하여  $S_{31} = S_{42}$ , 잘 설계된 결합기의 반사계수  $S_{22} \approx 0$ 이라면 위 식은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$\frac{b_4}{b_3} = \frac{\Gamma S_{21}}{1 - \Gamma S_{22}} \approx \Gamma S_{21} \quad (7)$$

두 개의 검파기는 포트 3과 포트 4의 출력 전력을 측정한다.

$$\frac{P_4}{P_3} = \frac{|b_4|^2}{|b_3|^2} \quad (8)$$

$$|\Gamma| = \frac{1}{|S_{21}|} \sqrt{\frac{P_4}{P_3}} \quad (9)$$

결합률이 매우 작은 결합기의  $S_{21}$ 은  $|S_{21}| \approx 1$ 로서  $|\Gamma|$ 을 구할 수 있으며, 식 (2)를 이용하여  $\rho$  값을 구할 수 있다. 실제 결합기의 방향성  $D$ 는 유한하며, VSWR 측정 오차는 아래 식과 같다<sup>[5]</sup>.

$$\Delta\rho = \frac{\rho^2 + 1}{10^{\frac{D}{20}} - \frac{\rho - 1}{\rho + 1}} \quad (10)$$

### IV. 제안된 측정 시스템

본 논문에서 사용된 VSWR 측정 회로는 1,805~1,880 MHz 대역의 GSM, EDGE, WCDMA, LTE 시스템에서 안테나 선로 상태를 감지하기 위해 제작되었다. VSWR 측정 정확도를 높이기 위해 35 dB 이상의 방향성을 확보하였고, 다양한 입력 범위에서 동작을 확인하기 위해 3 dBm부터 48 dBm까지 인가한 상태에서 가변 VSWR 장비를 안테나 포트에 연결하여 다양한 VSWR 조건에서 측정하였다<sup>[6]</sup>.

그림 2는 VSWR 측정을 위해 구현한 회로 구성도이며, 기존 발표 논문에서는 입사 신호와 반사 신호를 두 개의 검파기와 두 개의 AD 변환기를 사용하는 것과 달리 SPDT 스위치를 이용하여 한 개의 검파기와 AD 변환기로 교대로 값을 추출할 수 있다. 대역 통과 필터는 타대역 신호로 인하여 측정 정확도가 떨어지는 것을 막기 위해 사용하였다<sup>[3]</sup>.

검파기는 동작 범위가 60 dB 이상이고, dB당 50 mV를 출력하는 아날로그 디바이스의 AD8362를

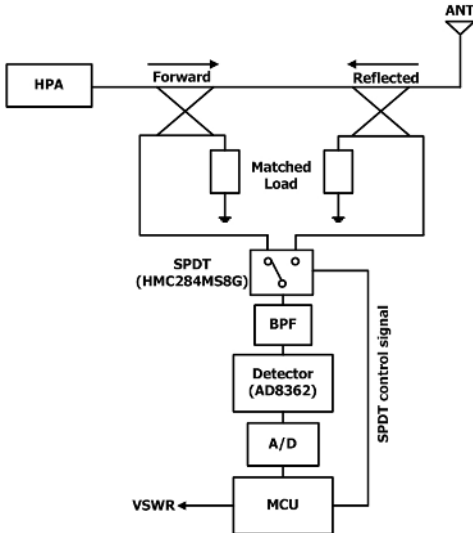


그림 2. VSWR 측정을 위해 사용된 회로 구성도  
Fig. 2. Circuit configuration used for VSWR measurement.

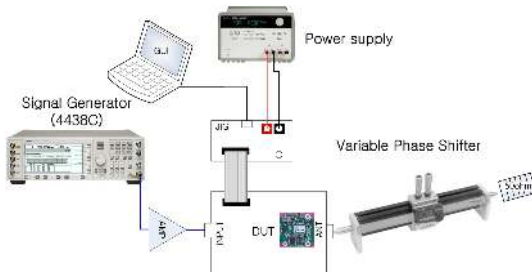


그림 3. 측정 셋업  
Fig. 3. Measurement setup.

사용하였으며, SPDT 스위치는 1.8 GHz 대역에서 포트 간 45 dB 이상 격리도 특성을 갖도록 하였다.

그림 3은 측정 셋업을 보여주며, 다양한 VSWR과 0~360도 위상변화에 대하여 측정하기 위해 위상 및 VSWR을 가변할 수 있는 이중 스테브 위상가변기

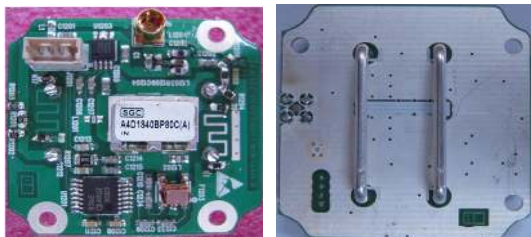


그림 4. 설계된 VSWR 측정 모듈  
Fig. 4. VSWR measurement module.

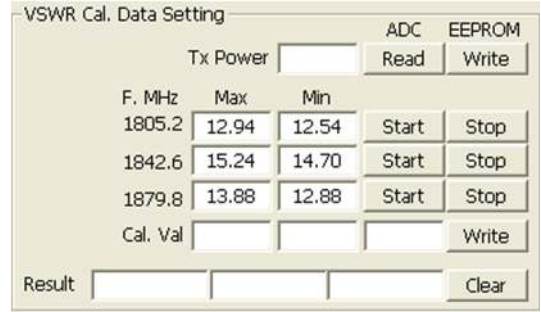


그림 5. 측정 결과용 사용자 그래픽 인터페이스  
Fig. 5. GUI for the measurement result.

튜너를 사용하였다.

그림 4는 실험을 위해 제작한 VSWR 모듈로서, 결합도는 약 30 dB, 방향성은 30 dB를 확보하였으며, FR4 기판을 사용하여 40 mm×40 mm 크기로 제작되었다.

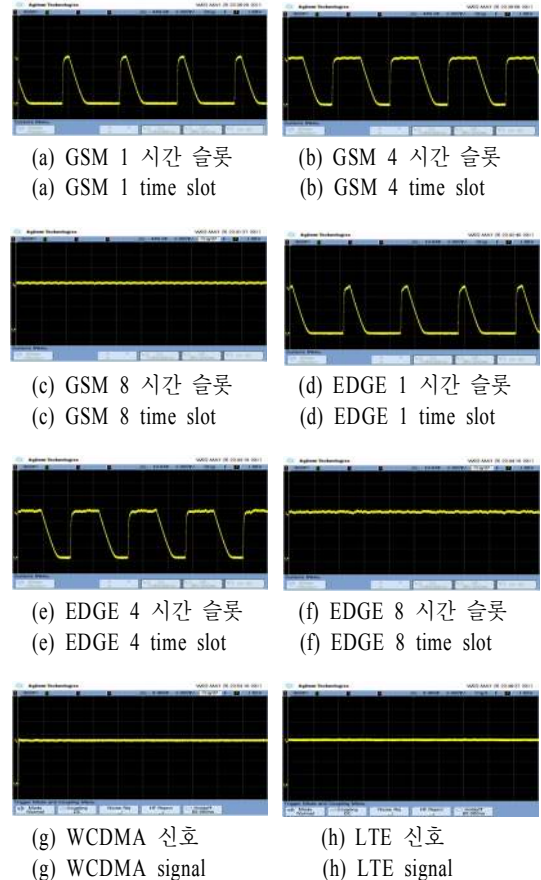


그림 6. 변조 신호의 포락선 신호  
Fig. 6. Envelop signal of modulated signal.

그림 5는 제작 모듈의 동작 확인을 위해 구현한 소프트웨어 결과 화면으로 14 dB 반사 손실을 갖는 부하를 위상 가변기로 360도 위상 가변하였을 때의 최소 및 최대 VSWR 측정값을 나타낸다. 2 dB 이내의 변화를 갖는 경우 사양을 만족하며, 1.8 GHz 대역의 중심 및 상하 양쪽의 세 개 주파수에서 측정한다.

VSWR 계산은 입력 신호가 3 dBm부터 48 dBm 사이에서 사용자가 정한 기준을 넘을 때 실행을 하도록 한다. 입력 신호 크기가 설정한 기준 이하이면 반사 전력 측정을 수행하지 않도록 하여 MCU에 필요 없는 부하를 주지 않도록 하였다. VSWR 측정에서 GSM과 EDGE는 TDMA 방식으로 한 개의 프레임(frame)은 8개의 시간 슬롯(time slot)으로 구성된다. 한 개의 시간 슬롯의 주기는 577 us이고, 한 개의 프레임 시간은 4.61538 msec이다. 따라서 그림 6과 같이 시간 축에서 항상 신호가 있는 WCDMA, LTE와 달리 TDMA 변조 방식인 GSM과 EDGE의 경우 타임 슬롯 수에 따라 검파기를 통해 출력되는 포락선 신호가 달라질 수 있기 때문에 유효한 값을 갖는 구간에 대한 데이터를 얻기 위해 샘플링 주기 및 횟수, 그리고 획득한 데이터에 대한 처리가 필요하다.

### V. 개선 알고리즘

본 논문에서 VSWR 측정 오차 개선을 위하여 사용한 버블 정렬 알고리즘은 정렬이 필요한 자료 리스트에서 인접한 요소를 비교, 교환 반복해서 최대 값을 가장 뒷부분에 위치하게 정렬하는 것이다. 그림 7은 버블 정렬 진행 과정을 보여준다.

그림 6의 (a), (d)와 같이 유효 신호 구간이 가장 짧은 1개 시간 슬롯인 경우를 고려하여 한 개의 프

레이에 대하여 10 usec 주기로 샘플링하여 얻은 데이터를 버블 정렬하여 크기 순서대로 정렬 후 상위 5개 데이터를 평균하여 VSWR 계산에 적용하였다.

VSWR 계산은 MCU에서 측정된 입력 신호와 반사 신호의 비로 계산하며, 이중 스텔브 위상 가변기 튜너를 이용하여 종단 VSWR 및 반사 손실을 가변시키며 측정하였다. 이때 설정한 종단 VSWR 및 반사 손실의 정확한 값은 네트워크 분석기로 측정하여 기준치로 설정하였으며, 이 기준치 값과 본 연구에서 제작한 VSWR 측정 모듈을 이용하여 다양한 변조 신호를 인가하였을 때 측정된 값과의 차이로 측정 오차를 정의하여 오차를 계산하였다. 그림 8은 입력 신호는 40 dBm, 동일 위상 및 반사 손실 조건으로 고정한 상태에서 CW, GSM 1 TS, GSM all TS, EDGE 1 TS, EDGE all TS, WCDMA, LTE 신호를 10 usec 주기로 샘플링한 데이터를 합산한 후 샘플링 개수로 단순 평균한 경우와 제안한 버블 정렬 알고리즘을 적용한 경우에 대하여 측정값을 비교한 것이다.

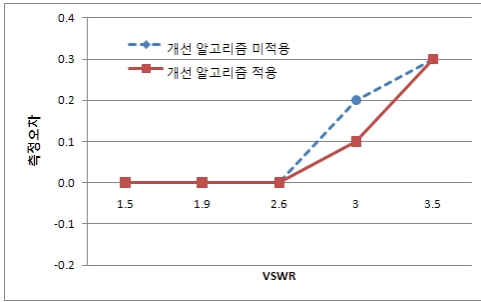
CW, GSM all TS, EDGE all TS, WCDMA, LTE 등은 검파기의 포락선 출력 신호가 일정하기 때문에 개선 알고리즘을 적용한 경우와 단순 평균의 경우에 차이가 거의 없지만, GSM 1 TS와 EDGE 1 TS의 경우에는 시간 슬롯 개수에 따라 바닥 전압이 발생하는 구간까지 포함하여 샘플링한 데이터를 합산 후 샘플링 개수로 평균화 하면 측정 오차가 발생한다. 따라서 유효하지 않은 바닥 전압 구간의 샘플링 값을 제외하기 위해 버블 정렬 알고리즘을 적용 후 평균화한 결과, VSWR 측정에서 오차가 약 0.2 개선된 결과를 나타내었다.



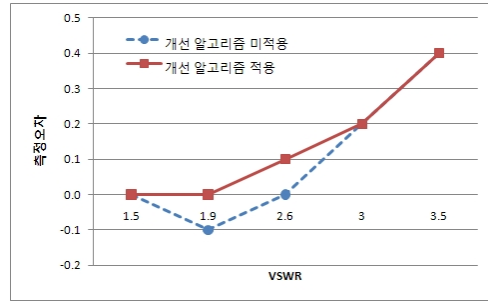
그림 7. 버블 정렬의 진행 과정 예  
Fig. 7. Process example of bubble sort.

### VI. 결 론

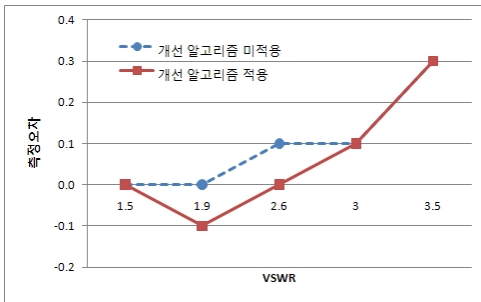
본 연구에서는 1.8 GHz 대역 VSWR 측정 회로를 SPDT 스위치 및 검파기, AD 변환기 한 개씩으로 구성하여 소형화 및 경제적 구현을 달성하였다. 기존 연구는 단일 중심 주파수에서 측정하였으나, 본 연구에서는 75 MHz 주파수 대역폭에 대하여 측정하였다. 측정 결과, VSWR 1.5~3.5 구간에 대하여 최대 오차를 비교한 결과, 기존 논문보다 본 논문 측정 결과가 0.2만큼 오차가 더 작은 값을 나타내었다<sup>[3]</sup>.



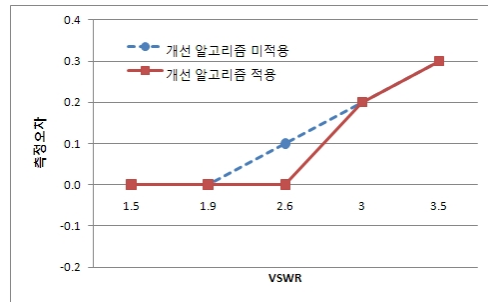
(a) CW 신호에 대한 측정 비교  
(a) Measurement comparison for CW signal



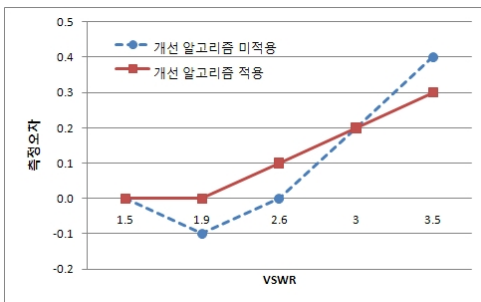
(b) GSM 전체 시간 슬롯에 대한 측정 비교  
(b) Measurement comparison for GSM all time slot



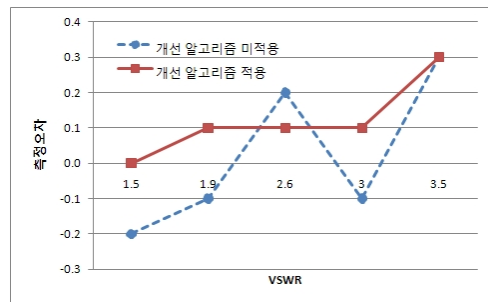
(c) EDGE 전체 시간 슬롯에 대한 측정 비교  
(c) Measurement comparison for EDGE all time slot



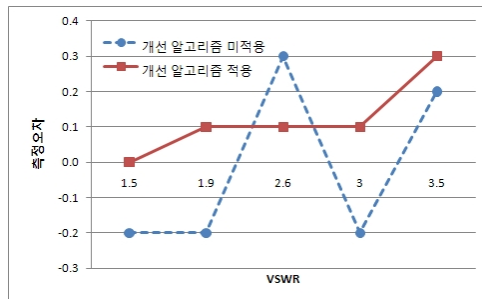
(d) WCDMA 신호에 대한 측정 비교  
(d) Measurement comparison for WCDMA



(e) LTE 신호에 대한 측정 비교  
(e) Measurement comparison for LTE



(f) GSM 1 시간 슬롯에 대한 측정 비교  
(f) Measurement comparison for GSM 1 time slot



(g) EDGE 1 시간 슬롯에 대한 측정 비교  
(g) Measurement comparison for EDGE 1 time slot

그림 8. 버블 정렬 알고리즘 적용에 따른 측정 오차  
Fig. 8. Measurement error based on bubble sort algorithm.

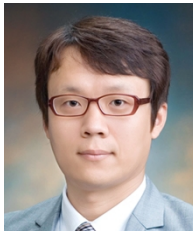
다양한 변조 신호에 대하여 정확한 VSWR 측정을 위해 획득한 데이터에 대하여 버블 정렬 알고리즘을 적용한 결과, GSM과 EDGE 1 시간 슬롯 신호에 대하여 0.2이상의 VSWR 측정 오차를 개선할 수 있었다. 향후 입력 신호 크기에 따른 검파기 응답 특성을 고려하여 신호 크기에 따른 측정 오차 감소를 위한 추가 연구를 진행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] 김민구, "차기 이동 통신 시장을 향한 3GPP LTE 업계의 최근 동향", 대한전자공학회 하계종합학술대회, 31(1), pp. 5-6, 2008년.  
 [2] A. Ghosh, R. Ratasuk, "LTE-advanced: Next-generation wireless broadband technology", *IEEE Wire-*

*less Communication*, pp. 10-22, Jun. 2010.  
 [3] X. Wang, J. She, and Z. Feng, "Real time measurement of VSWR with directional couplers", *International Conference on Microwave and Millimeter Wave Thchnology Proceedings*, pp. 719-722, 2004.  
 [4] K. Chang, *RF and Microwave Wireless Systems*, Wiley Interscience, pp. 17-27, 2000.  
 [5] J. Huang, J. She, "A six-port coupler with high directivity for VSWR measurement", *APMC2005 Proceedings*, Dec. 2005.  
 [6] B. Weinschel, G. Sorger, "Precision coaxial VSWR measurements by coupled sliding-load technique", *IEEE Trans. Instrumentation and Measurements.*, vol. 13, pp. 292-300, 1964.

### 박 상 진



2001년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2006년 10월~현재: 에이스테크놀로지연구소 책임연구원  
 2010년 3월~현재: 인천대학교 전자

공학과 박사과정

[주 관심분야] 전력증폭기 선형화 기법, 레이더 전파 신호 처리

### 구 경 현



1981년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1983년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1999년~2000년: UC San Diego 방

문학자

1997년~현재: 한국전자과학회 국문/영문 논문지 편집위원, 논문지 편집이사, 학술이사, 총무이사, 재무이사  
 1987년~현재: 인천대학교 전자공학과 교수  
 [주 관심분야] 마이크로파 회로 설계, 전력 증폭기, 가변 RF 회로, 전파 신호처리 등

### 강 성 민



1999년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2001년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2005년 8월: 인천대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2006년 2월~현재: 에이스테크놀로지연구소 수석연구원

[주 관심분야] 마이크로파 송수신 모듈 설계, 전력증폭기 선형화 기법, 레이더 전파 신호처리