Agilent 3GPP LTE MIMO

Technical Paper

Table of contents

1. 3GPP LTE MIMO Overview…….. 2

2. 3GPP LTE MIMO 송신부 측정…….. 7

3. 3GPP LTE MIMO 수신부 측정……... 12

4. Summary …… 16

한국 **Agilent** 기술 지원부

Agilent Technologies

1. 3GPP LTE MIMO Overview

1.1.LTE 기초

1.1.1. 다중 접속 기술(Multiple Access Technology)

~ LTE의 하향링크(downlink)에서는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를, 상향링크(uplink)에서는 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access)를 다중 접속 기술로 사용한다.

1.1.2. 전송 대역폭(Transmission Bandwidth)

~ 국제 무선 시장의 다양한 요구에 맞추기 위해 채널 대역폭은 1.4MHz에서 20MHz까지 선택하여 사용할 수 있다. 보통의 경우 Sub-carrier간의 간격은 15kHz로 고정되어 있으나 MBMS(Multimedia Broadcast Multicast Service)의 경우 Sub-carrier의 간격을 7.5kHz로 두는 것도 가능하다. Sub-carrier 간격은 채널의 대역폭과 관계없이 일정하다. 다른 크기의 스펙트럼이 할당된 환경에서의 동작을 위해서 전송 대역폭은 변경하는 대신 OFDM subcarrier의 개수를 변경하게 된다.

Transmission bandwidth [MHz] for LTE FDD	1.4	3	5	10	15	20
Number of sub-carriers	72	180	300	600	900	1200

Table 1. Number of sub-carriers for the different uplink and downlink transmission bandwidths

1.1.3. 프레임 구조(Frame Structure)

~ LTE에는 두 가지 프레임 구조가 있다. Full-Duplex와 Half-Duplex FDD를 위한 프레임 구조 1(FS1)과 TDD를 위한 프레임 구조 2(FS2)가 있다. Full Duplex FDD를 위한 프레임 구조는 그림 1에 있다.

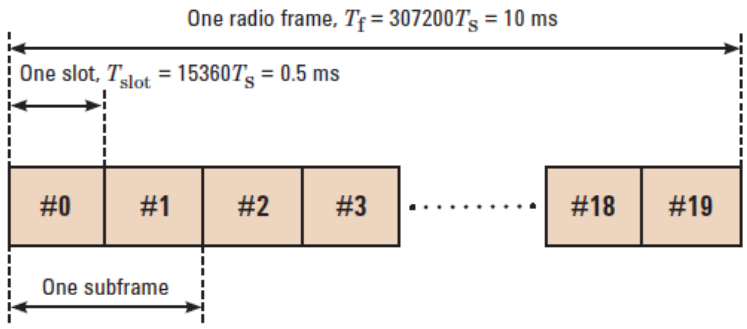


Figure 1. LTE frame structure type 1 (TS 36.211 V8.3.0)

FS1은 3.84MHz UMTS 시스템과 공존하기에 최적화되어 있다. 이 구조는 10개의 1ms길이를 가지는 sub-frame으로 구성되어 있고, 각각의 sub-frame은 0.5ms의 slot으로 구성되어 전체 10ms의 길이를 가지고 있다. FS1은 하향링크와 상향링크에 physical signals과 channel가 할당되는 것이 다르지만, frame, sub-frame, slot측면에서는 동일하다.

1.1.4. Resource Block

하향 전송을 위해 사용되는 가장 작은 시간-주파수 단위는 resource element라고 불리며, 이는 하나의 sub-carrier에 하나의 symbol로 정의된다. 연속적인 sub-carrier와 symbol의 그룹은 Resource Block을 형성한다. Data는 각 사용자에게 RB를 기본 단위로 할당된다.

FS1에서 CP(Cyclic Prefix)가 nominal한 길이인 경우 RB는 15kHZ의 sub-carrier의 간격에 12개의 연속적인 sub-carrier 그리고 0.5ms 간격의 slot위에 7개의 연속적인 symbol 에 이르는 시간-주파수 공간을 차지한다. Scheduling은 하나의 sub-frame(1ms)단위로 수행된다. Nominal Cyclic Prefix인 경우에 UE(사용자 기기) scheduling을 위해 기지국 사용에 최소로 할당되는 것은 1 sub-frame(14 symbols)에 12개의 subcarrier이다. RB의 크기는 모든 대역폭에서 동일하다. 그 결과 사용 가능한 physical RB는 표2에서 보이는 바와 같이 전송 대역폭에 의해 결정된다.

Channel bandwidth [MHz] for LTE FDD	1.4	3	5	10	15	20
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100
Number of sub-carriers	72	180	300	600	900	1200

Table 2. Number of resource blocks (RB) and sub-carriers for the different uplink and downlink transmission bandwidths

1.1.5. 하향 물리 계층 채널과 신호(Downlink physical layer channel과 signals)

LTE air interface는 physical signals와 physical channel로 구성이 된다. Physical signal은 시스템 동기화(system synchronization), 셀 식별 확인(Cell identification), radio channel estimation(채널 예측)에 사용된다. Physical channel은 control, scheduling, user payload를 포함한 데이터를 상위 layer에 전달한다. Physical signal은 표3에 요약되어 있다. 하향링크에서 primary와 secondary synchronization signal은 cell identification을 encode하여서 UE(단말)를 인식하고, 네트워크와 동기화 시킬 수 있도록 해준다. 하향과 상향링크 모두에는 RS(Reference Signal)가 있다. 이는 다른 표준에서는 pilot으로 알려져 있는 신호이며, 받은 신호의 크기와 위상의 flatness를 예상하기 위해서 사용한다.

physical signals

DL signals	Full name	Modulation sequence	Purpose
P-SS	Primary synchronization signal	One of 3 Zadoff-Chu sequences	Used for cell search and identification by the UE; carries part of the cell ID (one of 3 orthogonal sequences)
S-SS	Secondary synchronization signal	Two 31-bit BPSK M-sequence	Used for cell search and identification by the UE; carries the remainder of the cell ID (one of 168 binary sequences)
RS	Reference signal (pilot)	Complex I+jQ pseudo random sequence (length-31 Gold sequence) derived from cell ID	Used for DL channel estimation; exact sequence derived from cell ID, (one of 3 * 168 = 504 pseudo random sequences)

UL signals	Full name	Modulation sequence	Purpose
DM-RS	Demodulation reference signal	u^{th} root Zadoff-Chu	Used for synchronization to the UE and UL channel estimation
S-RS	Sounding reference signal	Based on Zadoff-Chu	Used to monitor propagation conditions with UE

Table 3. LTE physical signals

physical channel

DL channels	Full name	Modulation format	Purpose
PBCH	Physical broadcast channel	QPSK	Carries cell-specific information
PDCCH	Physical downlink control channel	QPSK	Scheduling, ACK/NACK
PDSCH	Physical downlink shared channel	QPSK, 16QAM, 64QAM	Payload
PMCH	Physical multicast channel	QPSK, 16QAM, 64QAM	Payload for multimedia broadcast multicast service (MBMS)
PCFICH	Physical control format indicator channel	QPSK	Carries information about the number of PDCCH OFDMA symbols per sub-frame (1, 2, or 3)
PHICH	Physical hybrid ARQ indicator channel	BPSK with I & Q CDM	Carries the hybrid-ARQ ACK/NAK

UL channels	Full name	Modulation format	Purpose
PRACH	Physical random access channel	u^{th} root Zadoff-Chu	Call setup
PUCCH	Physical uplink control channel	On/Off Keying BPSK,QPSK	Scheduling, ACK/NACK
PUSCH	Physical uplink shared channel	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	Payload

Table 4. LTE physical channels

1.1.6. LTE 기술 요약

LTE at a glance

November 2004 LTE/SAE High-level requirements

- Reduced cost per bit
- More lower-cost services with better user experience
- Flexible use of new and existing frequency bands
- Simplified lower-cost network with open interfaces
- Reduced terminal complexity and reasonable power consumption

Flexible channel bandwidths

Bandwidth MHz	Access mode
1.4	FDD and TDD
3	FDD and TDD
5	FDD and TDD
10	FDD and TDD
15	FDD and TDD
20	FDD and TDD

The 1.6 MHz and 3.2 MHz TDD bandwidths have recently been deleted, and the six remaining bandwidths apply to both FDD and TDD.

Speed

Downlink peak data rates (64QAM)

Antenna configuration	SISO	2x2 MIMO	4x4 MIMO
Peak data rate (Mbps)	100	172.8	326.4

Uplink peak data rates (single antenna)

Modulation depth	QPSK	16QAM	64QAM
Peak data rate (Mbps)	50	57.6	86.4

Mobility

Optimized: 0 to 15 km/h
High performance: 15 to 120 km/h
Functional: 120 to 350 km/h
Under consideration: 350 to 500 km/h

Services

Packet-switched voice and data. No circuit-switched services supported.

Spectral Efficiency

3-4x Rel-6 HSDPA (downlink)
2-3x Rel-6 HSUPA (uplink)

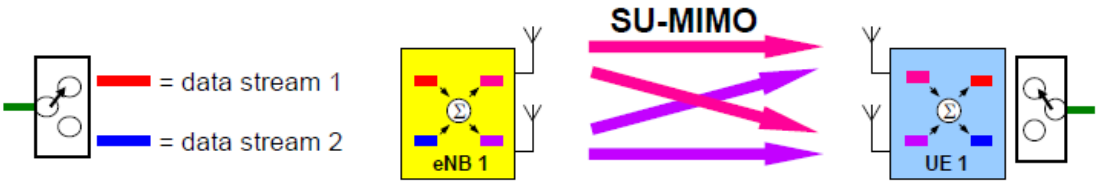
Latency

Idle to active < 100 ms
Small packets < 5 ms

LTE 하향링크의 max data throughput은 Modulation이 64QAM일 때, MIMO를 적용 안 할 경우 100Mbps, 2*2 MIMO를 적용할 경우 172.8Mbps이다.

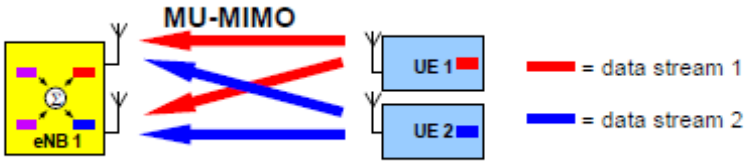
1.2 MIMO

1.2.1. Spatial Multiplexing: Single user MIMO (SU-MIMO)



위 예제는 precoding을 한 2*2 SU-MIMO이다. 두 data stream은 채널 환경에 가장 잘 맞도록 섞여진다.(precoding) 수신기는 원래의 steam을 복원하고 이는 single-uer(다일 사용자)의 data rate를 증가시키며, cell의 capacity를 증가시키는 이점이 있다. 위 2*2 SU-MIMO는 eNB(evolved Node B: LTE 기지국)의 하향링크에 반드시 적용되어야 한다.

1.2.2. Multiple User MIMO (MU-MIMO)

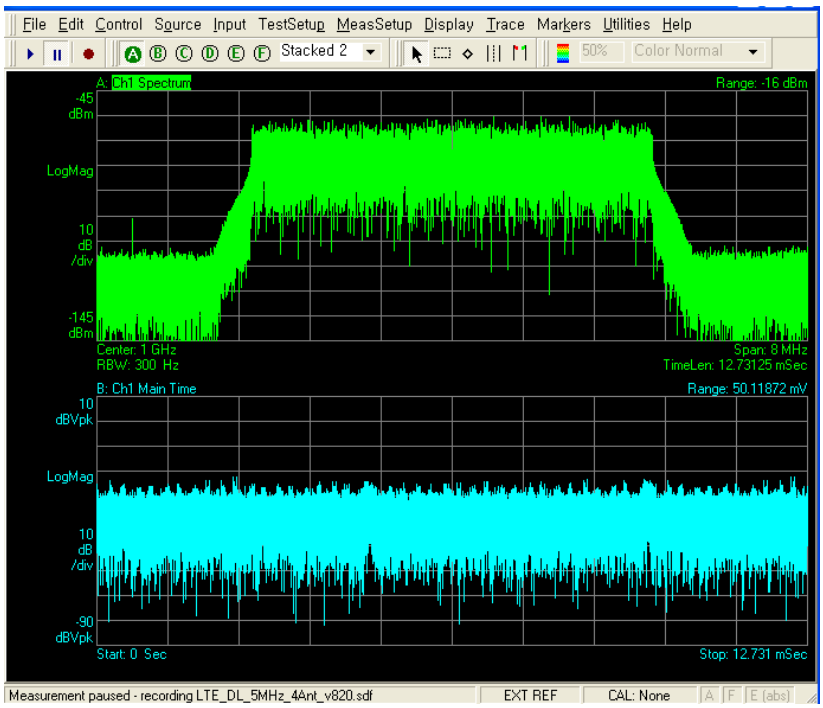


Multiple User MIMO에서는 data stream이 다른 UE(User Equipment)에서 전송이 된다. Cell capacity는 증가되지만 단일 사용자의 data rate는 증가되지 않는다. MU-MIMO는 UE의 상향링크에 반드시 적용되어야 한다.

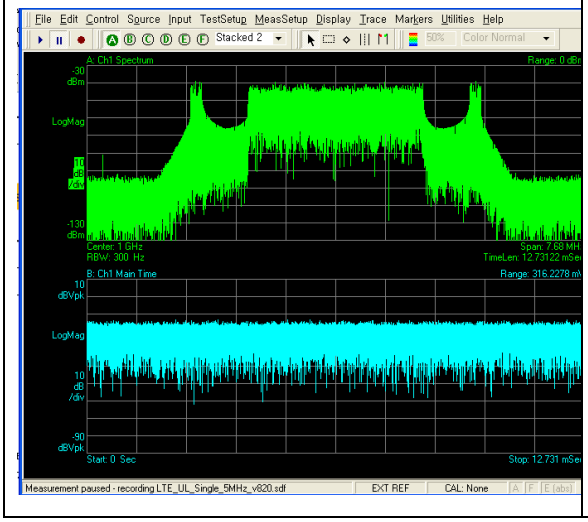
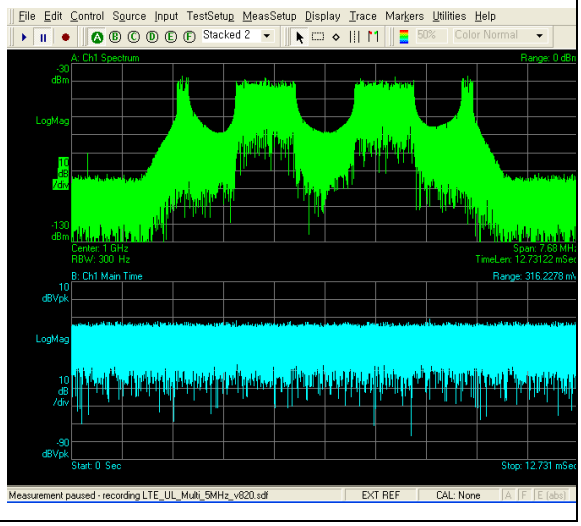
2. 송신부 측정

2.1. - Frequency and Time domain measurements

2.1.1. LTE 5MHz Downlink signal (OFDMA)



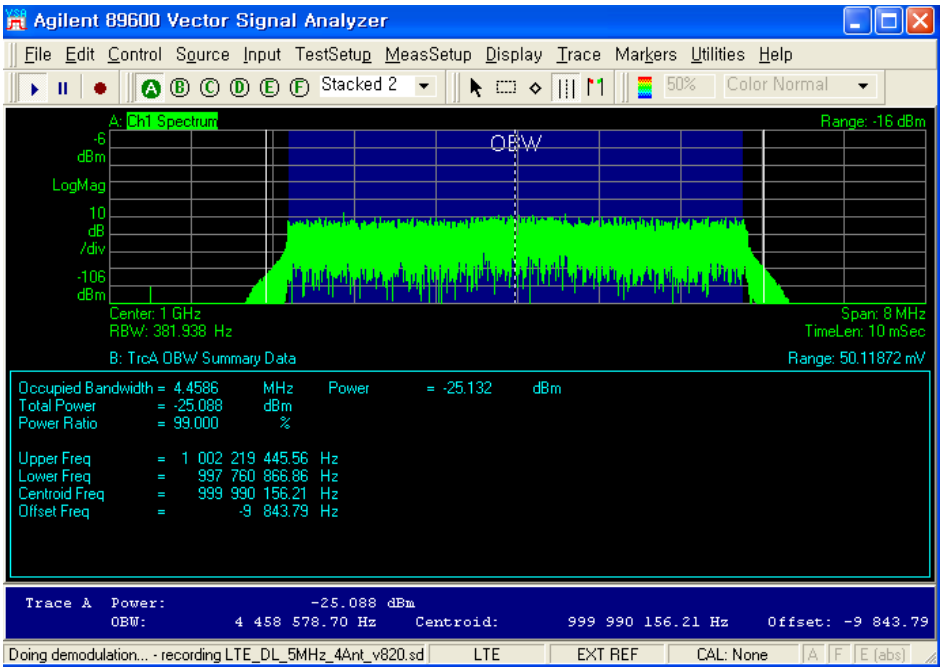
2.1.2. LTE 5MHz uplink signal (SC-FDMA)

Single User	Multi User
	

위의 그림은 Agilent 89601A VSA software를 이용한 LTE Downlink/Uplink 신호 측정 화면으로 위쪽은 주파수 도메인, 아래쪽은 타임 도메인으로 본 화면이다.

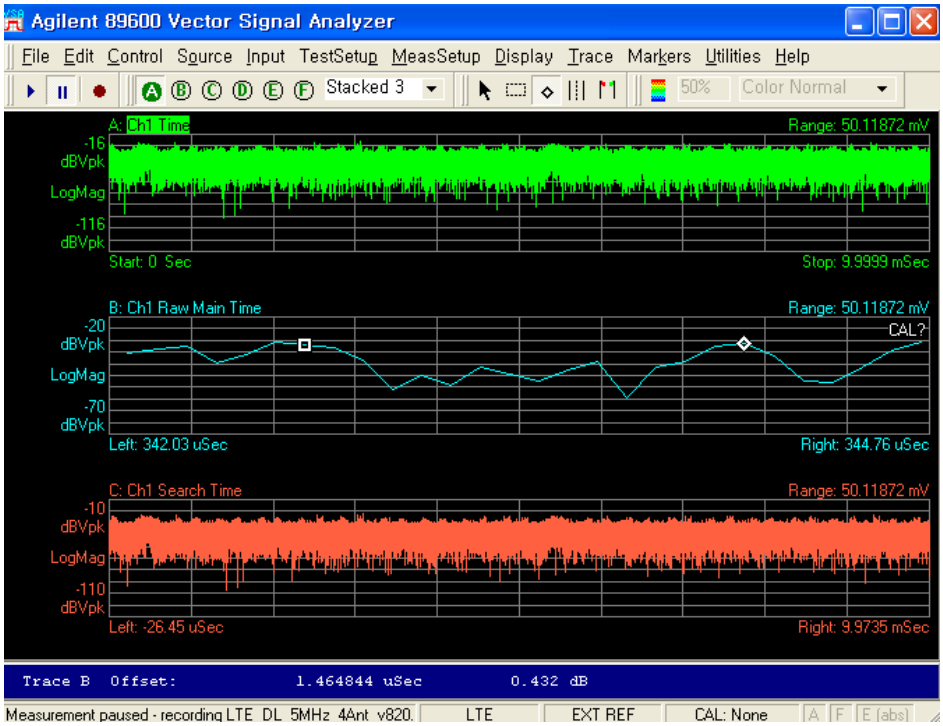
2.2. 기본 측정 항목들

2.2.1. Frequency Domain에서의 분석



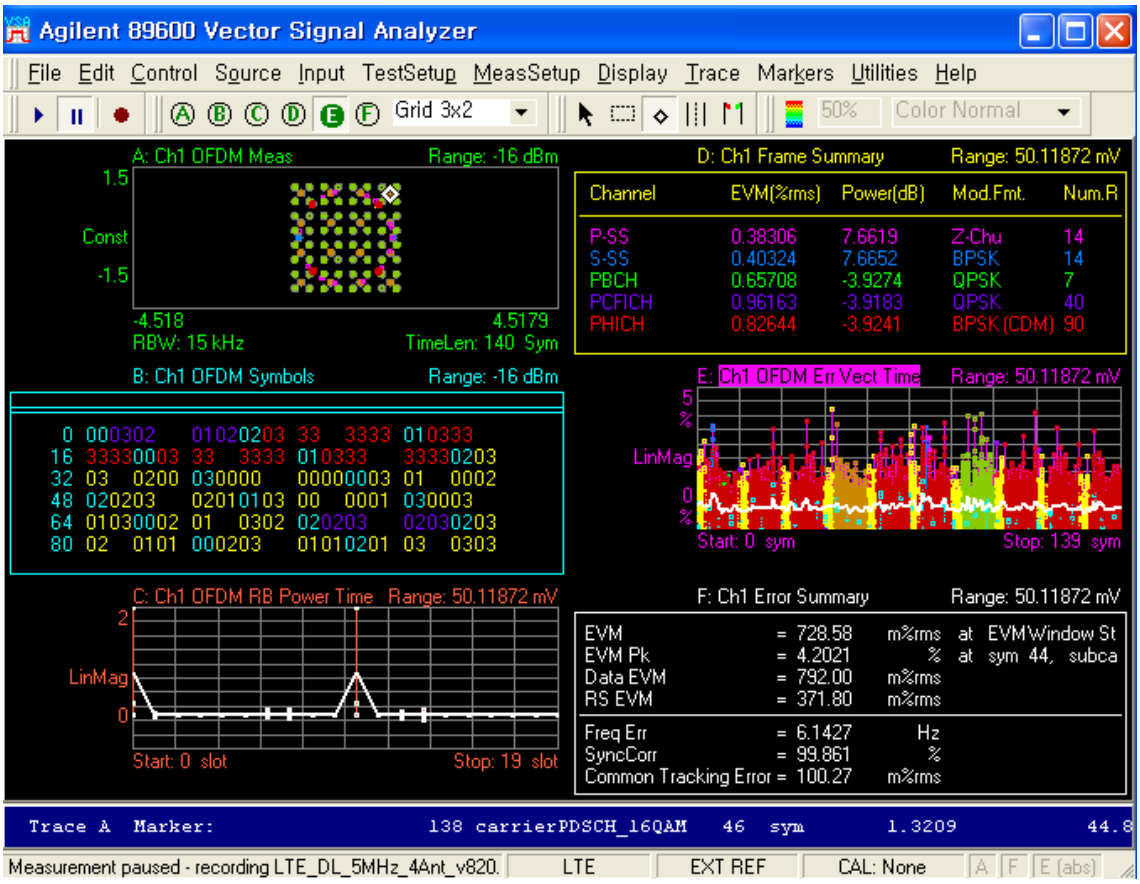
주파수 도메인에서 측정할 수 있는 항목은 Channel power, OBW, SEM, Spectrum flatness, ACP가 있으며 VSA software에서 모두 한번에 측정이 가능하다.

2.2.2. Time Domain에서의 분석



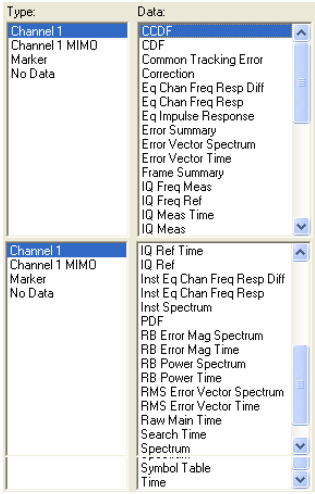
특정 시간에 대한 data는 관심부분을 확대하여 두 지점 사이의 시간차 및 크기 차이를 측정할 수가 있다.

2.2.3. LTE Modulation 관련 측정

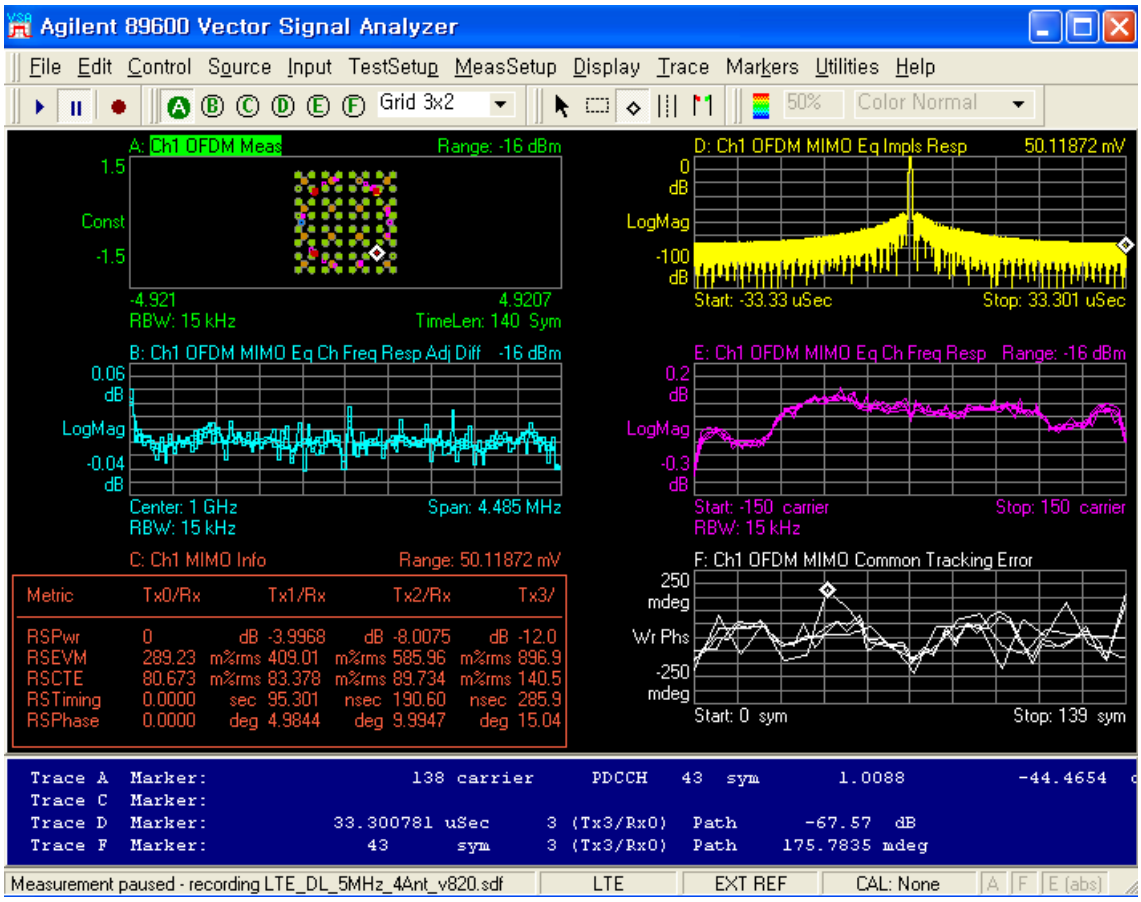


<Tx 안테나가 4개인 LTE MIMO signal demodulation>

위 그림은 Tx 안테나가 4개인 LTE MIMO Downlink 신호를 분석한 것이다. Constellation 및 Frame Summary, OFDM Symbol 등이 색깔로 구분되어 있어서 서로를 구분하기가 쉽다. Error Vector Time/Spectrum 및 EVM 등 다양한 분석 결과를 볼 수 있다.



2.3. LTE MIMO analysis



2.3.1. MIMO Equalizer Channel Frequency Response

~ 각 전송 포트에서 Matrix Decoder에서 decode된 것을 보여준다. 이는 분석된 신호의 등화기의 주파수 응답을 측정한다.

2.3.2. MIMO info

~ 변조 기에서 감지된 안테나 포트 전송에 대한 정보를 보여준다. 첫 번째 열은 각 안테나 포트에서의 다양한 측정한 결과를 보여준다. 안테나 포트 중 하나는 항상 기준 안테나 포트로 선정된다.

RSPwr (dB): Average (RMS) RS Signal Power

RSEVM (%rms or dB): Average (RMS) RS EVM.

RSCTE (%rms): Average (RMS) RS Common Tracking Error

RSTiming (seconds): RS timing error

RSPhase (degrees): Average (RMS) RS phase error

RSSymClk (ppm): Average RS symbol clock error

RSFreq (Hz): RS frequency shift error

2.3.3. MIMO Chan Freq Resp Diff

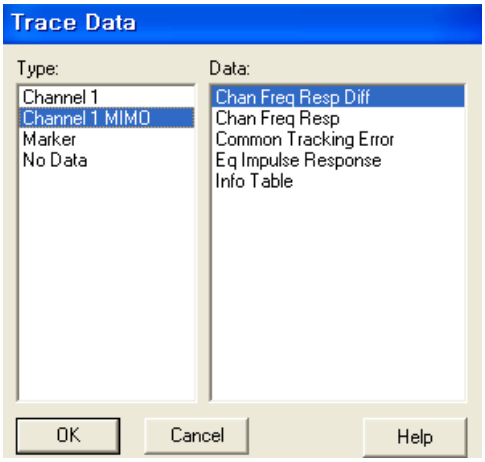
~ 모든 4개의 안테나 포트에서의 채널 주파수 응답의 slope를 보여준다.신호에 존재하지 않는 안테나 포트 전송을 위한 데이터는 '0'로 설정된다.

2.3.4. MIMO Common Tracking Error

~모든 4개의 안테나 포트에서의 Common Tracking Error를 보여준다. 신호에 존재하지 않는 안테나 포트 전송을 위한 데이터는 '0'로 설정된다.

2.3.5. MIMO Eq Impulse Response

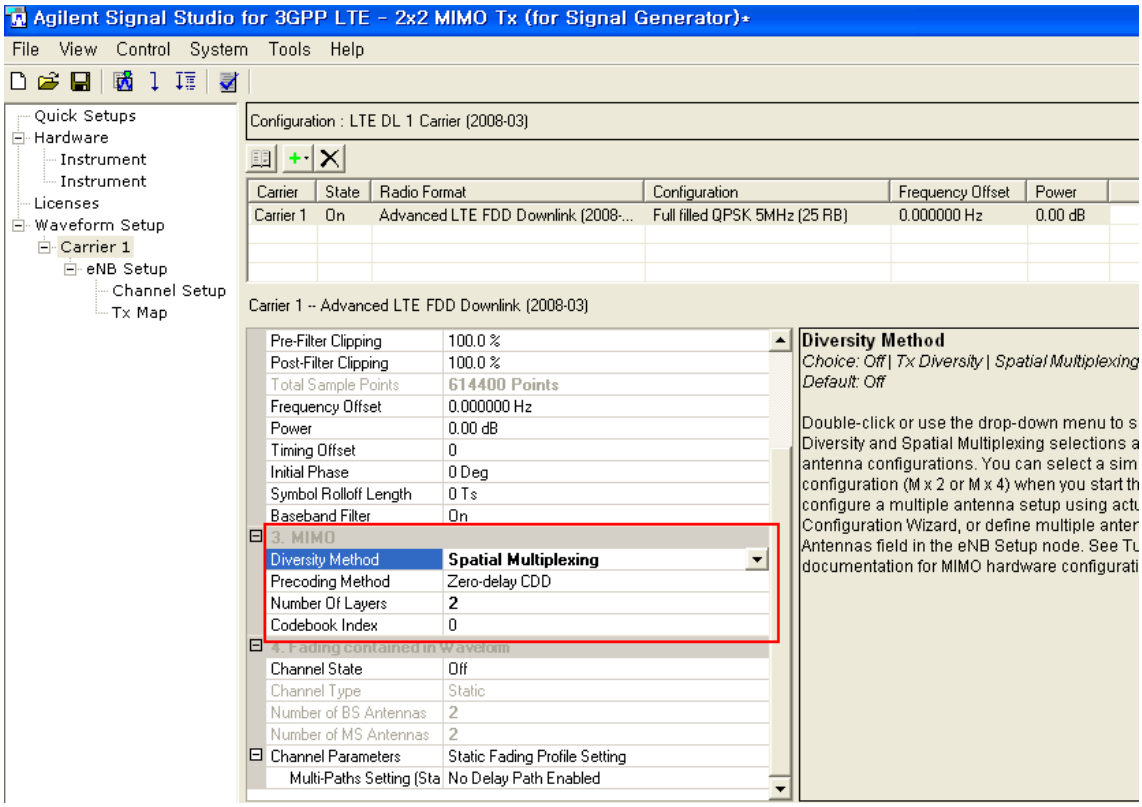
~모든 4개의 안테나 포트에서의 등화기의 임펄스 반응을 보여준다. 신호에 존재하지 않는 안테나 포트 전송을 위한 데이터는 '0'로 설정된다.



3. LTE MIMO 수신 부 측정

3.1. 수신 부 측정을 위해서는 기준 신호를 신호 발생기에서 만들어서 DUT에 넣어 주어야 한다.

~ LTE 신호 생성시에는 Signal Studio라는 tool을 이용해서 Baseband 신호를 생성한 뒤 신호 발생기에 신호를 다운로드 하여서 사용한다. Signal Studio에서 MIMO 특성을 설정하는 부분은 다음과 같다.



3.1.1. Precoding Method

Choice: Zero-delay CDD | Small-delay CDD | Large-delay CDD (a cyclic delay diversity)

3.1.2. Codebook Index

Range:

0-2 for M x 2 with Spatial Multiplexing and Number of Layers = 2

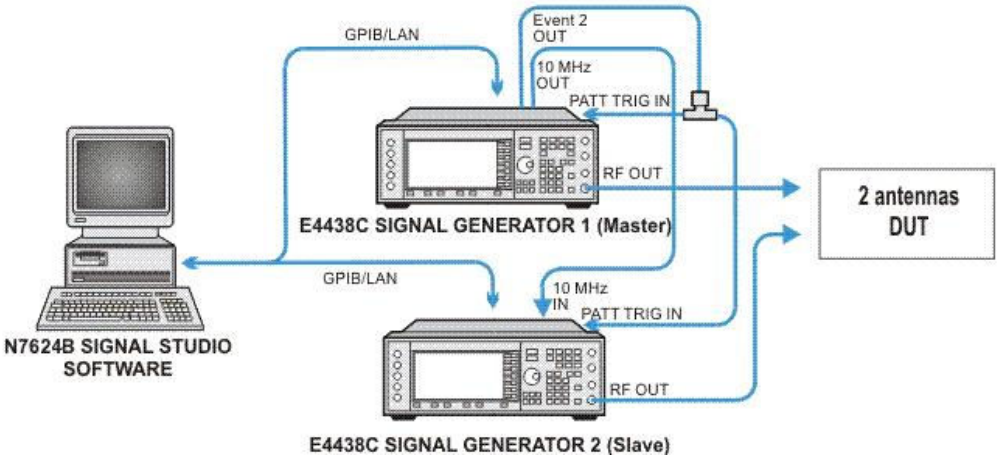
0-5 for M x 2 with Spatial Multiplexing and Number of Layers = 1

0-15 for M x 4 with Spatial Multiplexing and Number of Layers = 1, 2, or 4

3.2. M*N MIMO를 위한 다중 안테나 솔루션

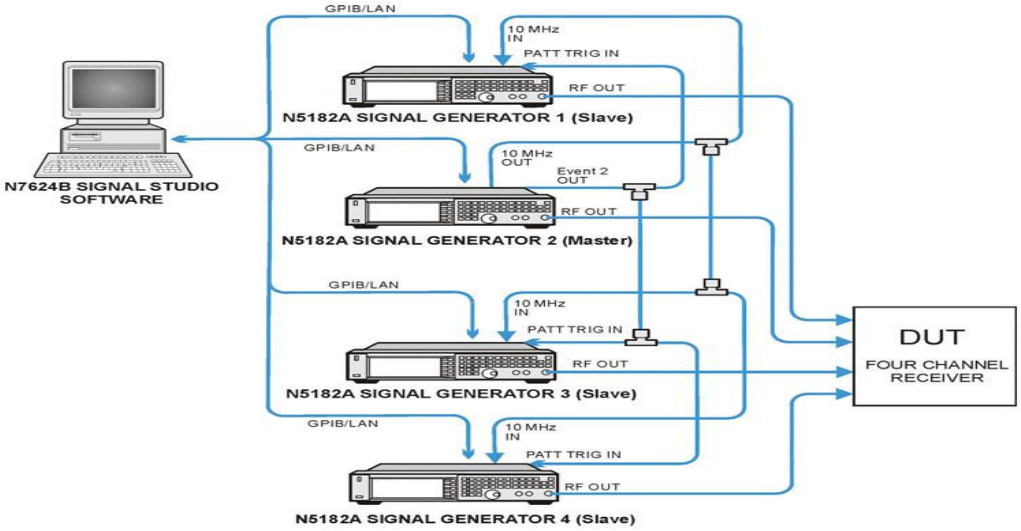
~ 고객의 needs가 Baseband Timing Alignment까지 필요한지 RF phase coherence까지 필요한 지 확인한 뒤 같은 종류의 신호 발생기로 필요한 option을 확인 후 고객에게 추천한다. Signal Studio license는 각각의 신호 발생기에 다 들어가 있어야 한다.

3.2.1. Baseband Timing Alignment 나 RF phase coherence를 하지 않는 경우 (ESG 2대)

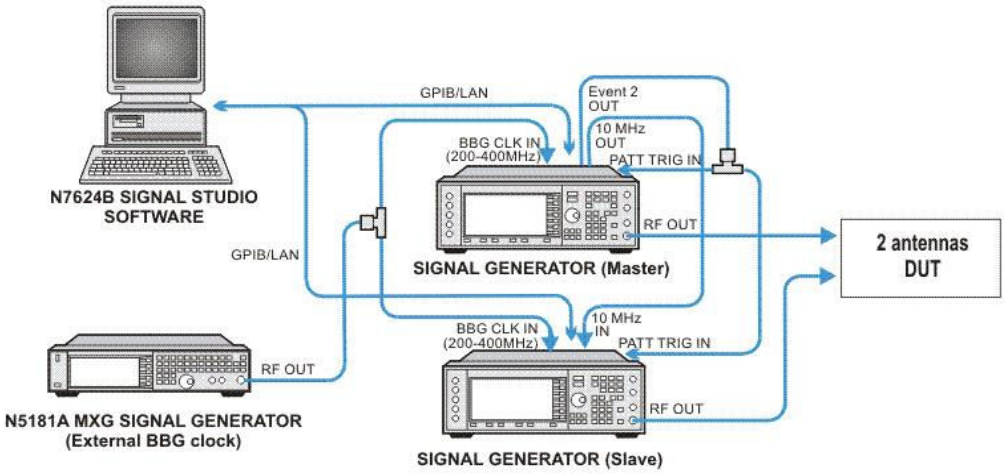


Master와 slave 사이에는 baseband generator clock이 한 cycle 차이가 난다.

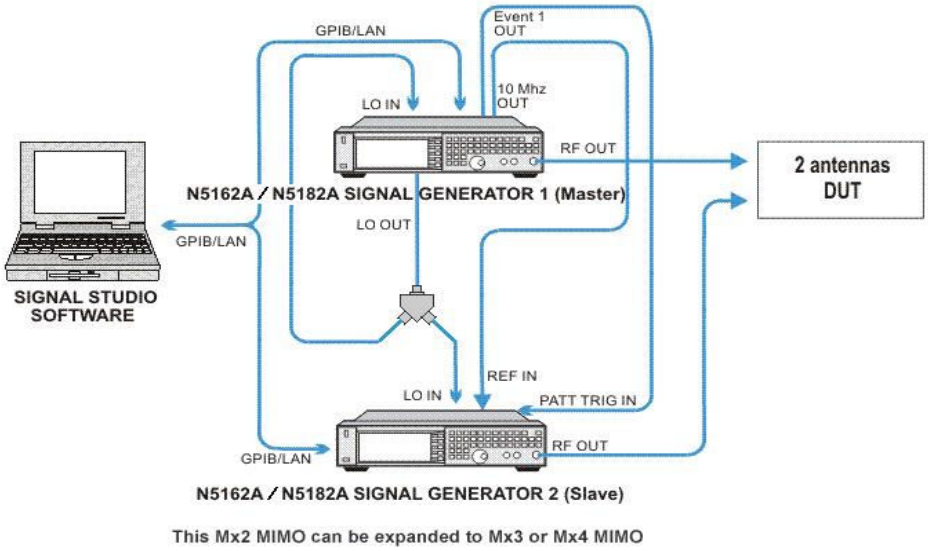
3.2.2. Baseband Timing Alignment를 하고, RF phase coherence를 하지 않는 경우 (MXG 4대, 최대 16대까지 확장 가능)



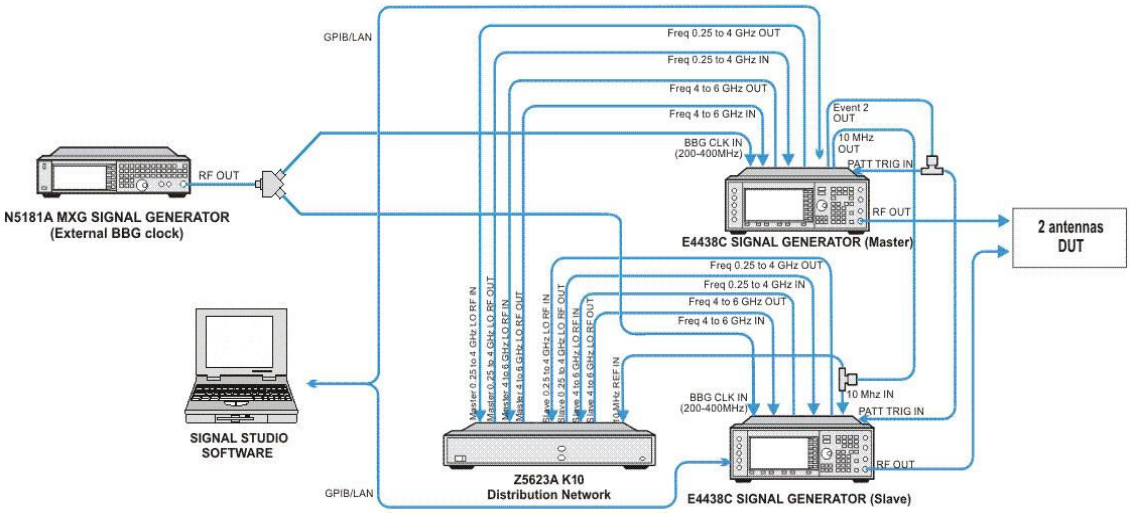
3.2.3. Baseband Timing Alignment를 하고, RF phase coherence를 하지 않는 경우 (ESG 2대)



3.2.4. Baseband Timing Alignment와 RF phase coherence 둘 다 하는 경우 (MXG)



3.2.5. Baseband Timing Alignment와 RF phase coherence 둘 다 하는 경우 (ESG)



4. Summary

- 신호 생성의 경우 여러 대의 신호 발생기(같은 종류)와 Signal Studio tool로 MIMO 신호 생성이 가능하다. 신호 분석의 경우, VXI type의 89600S나 오실로스코프 등의 하드웨어에 89601A VSA software를 붙여서 MIMO 신호를 분석할 수가 있으며, 향후에는 MXA 2대를 붙여서 측정할 수도 있다.