

안테나 교정의 R-SAM과 시간영역 기술융합 연구(2차년도)

2014. 12. 31.

제 출 문

본 보고서를 「안테나 교정의 R-SAM과 시간영역 기술융합 연구 (2차년도)」과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 12. 31.

연구책임자1 : 박석주(전파시험인증센터 시험과)

연구책임자2 : 박정규(전파시험인증센터 시험과)

연 구 원 : 이보원(전파시험인증센터 시험과)

김우년(전파시험인증센터 시험과)

박근성(전파시험인증센터 시험과)

연한국(전파시험인증센터 시험과)

요 약 문

본 보고서는 2011년에 국립전파연구원에서 새로이 개발하여 IEEE에 논문으로 발표하고 CISPR에 안테나 교정방법으로 제안한 방법으로서 국립전파연구원 표준안테나인 R-SAM(Radio Research Agency - Standard Antenna Method) 검증에 주력하였다. R-SAM은 치환법을 기본으로 하는 여타의 표준안테나법(SAM: Standard Antenna Method)과 마찬가지로 표준안테나가 필요하다. 그런데 기존의 표준안테나는 세계적으로 약 30MHz에서 1GHz 대역 정도를 만족하는 다이폴 형태의 안테나만이 존재한다. 미국 NIST에서 개발한 다이오드 장착 수신전용 표준안테나와 또 다른 하나는 영국의 NPL에서 개발한 계산형 표준안테나가 그것이다. 본 보고서에서는 이들 표준안테나를 다시 한번 검토해보고 표준안테나의 정의에 대해 고찰하였다. 이러한 표준안테나가 발룬의 특성을 측정함으로써 표준안테나의 기준 전계나 표준 안테나 인자를 결정한다. 따라서, 표준안테나는 그 특성을 알기 위해서는 최소한 한번의 측정의 과정을 거쳐야 한다. NIST형 안테나는 발룬의 RF-DC 관계, NPL형 안테나는 발룬의 S파라미터를 안테나 교정전에 측정해야만 한다. 이러한 관점에서 1GHz 이상 대역에서 동등형 표준 혼안테나를 제안하였다. 두 안테나가 동등하다는 것이 증명되면 R-SAM의 안테나 교정방정식에 의하여 한번의 감쇠량 측정으로 동등안테나의 안테나 인자를 결정할 수 있다. 그래서 18GHz에서 40GHz 대역의 동등 혼안테나를 2기를 제작하여 0.2dB 이내로 똑같음을 측정으로 증명하고 R-SAM에 의해 그 동등 표준안테나의 표준 안테나인자를 측정 결정하고 이를 이용하여 제3의 혼안테나를 R-SAM에 의해 교정하고 3-안테나법으로 상호 비교측정하여 그 결과가 0.1dB 이내로 잘 일치함을 보였다.

목 차

제1장 서 론	1
제2장 R-SAM과 표준안테나	3
제1절 R-SAM 리뷰	3
제2절 30MHz ~ 1GHz 대역 표준안테나	5
제3절 1GHz 이상 대역 표준안테나 제안	12
제3장 동등 표준안테나 제작 및 확인	15
제1절 제작된 동등 표준혼안테나의 기본 특성	15
제2절 혼안테나의 동등성 확인	18
제4장 동등 표준안테나에 의한 R-SAM 검증	64
제1절 동등 표준안테나의 안테나 인자 결정	64
제2절 R-SAM과 3-안테나법 상호비교 측정	68
제5장 맺음말	83
참고문헌	85

표 목 차

[표 2-1] 다이폴 소자의 공진 주파수의 주파수 대역	8
[표 2-2] 이론값 산출	10
[표 3-1] 안테나 A와 B의 동등성 확인을 위한 감쇠량 데이터	19
[표 3-2] 안테나 A와 B의 동등성 확인을 위한 감쇠량 편차(A-B)	37
[표 3-3] 안테나 D와 F의 동등성 확인을 위한 감쇠량 데이터	38
[표 3-4] 안테나 D와 E의 동등성 확인을 위한 감쇠량 편차(D-E)	59
[표 3-5] 챔버에서 안테나 A와 B의 측정값	60
[표 3-6] 챔버에서 안테나 D와 E의 측정값	61
[표 4-1] 동등표준안테나 A와 B 사이의 거리에 따른 감쇠량 값	65
[표 4-2] 동등표준안테나 A와 B의 R-SAM에 의한 표준 안테나 인자값 ..	65
[표 4-3] 동등표준안테나 D와 E 사이의 거리에 따른 감쇠량 값	66
[표 4-4] 동등표준안테나 D와 E의 R-SAM에 의한 표준 안테나 인자값 ..	67
[표 4-5] 동등표준안테나로 측정한 R-SAM과 TAM 측정결과 비교 ...	69
[표 4-6] R-SAM과 TAM 측정결과 차이	70
[표 4-7] 동등표준안테나로 측정한 R-SAM과 TAM 측정결과 비교 ...	76
[표 4-8] R-SAM과 TAM 측정결과 차이	77

그 립 목 차

[그림 2-1] 국립전파연구원 표준안테나법의 안테나 구성	3
[그림 2-2] NIST 표준다이폴 안테나의 구조	6
[그림 2-3] 전파시험인증센터에서 보유하고 있는 NIST 표준다이폴	6
[그림 2-4] NIST 표준다이폴과 치환법 구성도	7
[그림 2-5] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나	8
[그림 2-6] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조	9
[그림 3-1] 혼안테나 구조(옆면)	13
[그림 3-2] 혼안테나 구조(정면 및 뒷면)	14
[그림 3-3] 치환법에 의한 동등성 확인	14
[그림 3-4] 제작된 두 개의 18 ~ 26.5GHz 대역 혼안테나 쌍	15
[그림 3-5] 제작된 두 개의 26.5GHz ~ 40GHz대역 혼안테나 쌍	15
[그림 3-6] 제작된 두 안테나의 전압정재파비(18 ~28GHz)	16
[그림 3-7] 제작된 두 안테나의 방사패턴: 좌측 E면, 우측 H면 (22GHz)	16
[그림 3-8] 제작된 두 안테나의 전압정재파비(28~40GHz)	16
[그림 3-9] 제작된 두 안테나의 방사패턴: 좌측 E면, 우측 H면 (33GHz)	17
[그림 3-10] 야외시험장에서 안테나 동일성 확인을 위한 감쇠량 측정	18
[그림 3-11] 치환법에 의한 감쇠량 측정 비교	19
[그림 3-12] 안테나 사이의 10cm 거리에서 측정결과	20
[그림 3-13] 안테나 사이의 20cm 거리에서 측정결과	21
[그림 3-14] 안테나 사이의 30cm 거리에서 측정결과	22
[그림 3-15] 안테나 사이의 40cm 거리에서 측정결과	23
[그림 3-16] 안테나 사이의 50cm 거리에서 측정결과	24
[그림 3-17] 주파수 18GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	25
[그림 3-18] 주파수 19GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	26
[그림 3-19] 주파수 20GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	27
[그림 3-20] 주파수 21GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	28

[그림 3-21]	주파수 22GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	29
[그림 3-22]	주파수 23GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	30
[그림 3-23]	주파수 24GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	31
[그림 3-24]	주파수 25GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	32
[그림 3-25]	주파수 26GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	33
[그림 3-26]	주파수 27GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	34
[그림 3-27]	주파수 28GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	35
[그림 3-28]	주파수 29GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	36
[그림 3-29]	안테나 사이의 10cm 거리에서 측정결과	39
[그림 3-30]	안테나 사이의 20cm 거리에서 측정결과	40
[그림 3-31]	안테나 사이의 30cm 거리에서 측정결과	41
[그림 3-32]	안테나 사이의 40cm 거리에서 측정결과	42
[그림 3-33]	안테나 사이의 50cm 거리에서 측정결과	43
[그림 3-34]	주파수 26GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	44
[그림 3-35]	주파수 27GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	45
[그림 3-36]	주파수 28GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	46
[그림 3-37]	주파수 29GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	47
[그림 3-38]	주파수 30GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	48
[그림 3-39]	주파수 31GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	49
[그림 3-40]	주파수 32GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	50
[그림 3-41]	주파수 33GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	51
[그림 3-42]	주파수 34GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	52
[그림 3-43]	주파수 35GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	53
[그림 3-44]	주파수 36GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	54
[그림 3-45]	주파수 37GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	55
[그림 3-46]	주파수 38GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	56
[그림 3-47]	주파수 39GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	57
[그림 3-48]	주파수 40GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석	58
[그림 3-49]	안테나 챔버에서 동일성 확인을 위한 측정	60

[그림 3-50] 챔버에서 안테나 A 및 B의 동등성 측정	62
[그림 3-51] 챔버에서 안테나 D 및 E의 동등성 측정	63
[그림 3-52] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(10cm 이격거리)	71
[그림 3-53] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(20cm 이격거리)	72
[그림 3-54] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(30cm 이격거리)	73
[그림 3-55] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(40cm 이격거리)	74
[그림 3-56] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(50cm 이격거리)	75
[그림 3-57] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(10cm 이격거리)	78
[그림 3-58] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(20cm 이격거리)	79
[그림 3-59] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(30cm 이격거리)	80
[그림 3-60] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(40cm 이격거리)	81
[그림 3-61] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(50cm 이격거리)	82

제1장 서론

안테나 교정은 전파의 세기를 측정하는 안테나, 특히 전계강도의 세기에 관심을 두는 EMI용 안테나의 전압-전계강도 변환인자인 안테나 인자의 측정을 목적으로 하고 있다. 본 보고서에서 우리원에서 독자적으로 개발한 안테나 교정방법의 유효성을 주파수의 영역을 확장하여 확인하였다. 기존의 표준안테나법은 치환법을 기본으로 하고 있는데 표준안테나가 필요하다. 세계적으로 표준안테나라고 정의되는 안테나는 주파수 대역이 30MHz에서 1GHz 인 다이폴형이다. 그 안테나들은 발룬에 특수한 장치를 장착하였다. 미국의 NIST형 다이폴 안테나는 발룬으로서 다이오드를 장착하여 RF-DC 관계를 측정해야만 그 안테나의 표준전계를 결정할 수가 있다. NPL 계산형 안테나는 발룬으로서 하이브리드를 장착하였으며 그 발룬의 s 파라미터를 측정해야만 표준안테나의 표준 안테나 인자를 이론적으로 계산할 수가 있다. 이와 같이 표준안테나라도 발룬의 측정을 실시해야만 하는 것이다. 이에 착안하여 1GHz 이상의 표준 혼안테나를 제안하였다. 동등한 혼안테나가 존재한다면 동등한 안테나 사이의 한번의 삽입손실의 측정으로 그 안테나의 표준 안테나 인자를 구할 수가 있다. 이에 본 보고서에서는 18GHz에서 40GHz 대역의 동등한 혼안테나 2기를 제작하였다. 주파수 범위는 18GHz ~ 26GHz 및 26GHz ~ 40GHz 두 대역으로 제작하였다. 제작된 동등안테나의 동등성을 확인하기 위하여 전파인증센터의 야외시험장과 용산의 안테나 측정센터의 안테나 챔버에서 안테나 사이의 삽입손실을 측정하였다. 또한 3-안테나법과 측정결과를 상호비교하여 0.1dB 이내로 잘 일치함을 보였다.

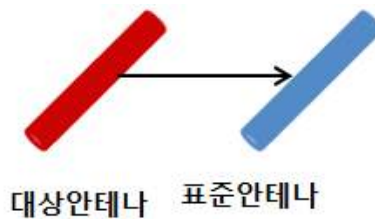
본 보고서는 새로운 개념의 표준안테나를 제안하였고 시험장 바닥의 반사파에서 자유로운 주파수 대역인 18GHz 이상 대역에서 동등 표준안테나를 제작하였다. 한편 시간영역측정기술의 안테나교정과의 접목은 그 유효성은 광대역 안테나에만 적용된다는 한계를 지니고 있음을 알아내었으며 1GHz 이하 대역에서는 직접파와 반사파의 분리가 뚜렷하지 않은 단점이 있어 시간영역측정기술은 1GHz에서 18GHz에서 효과가 크다는 것을 알 수가 있었다. 18GHz 이상 대역에서는 안테나의 강한지향성으로 인해 2m 이상의 안테나 높이에서는 반사파가 존재치가 않아 시간영역에서 측정이 의미가 없었다. 그러므

로 시간영역측정기술의 안테나 교정 또는 측정의 유효성은 1GHz에서 18GHz에 있으며 이는 지난 보고서 및 국내 국외 학술논문으로 발표한 바 있다. 그래서 본보고서에서는 R-SAM의 주파수 영역을 확장하고 동등 표준안테나의 제작과 검증 등에 주안점을 두었음을 밝혀둔다.

제2장 R-SAM과 표준안테나

제1절 R-SAM 리뷰

국립전파연구원 표준안테나법(R-SAM)은 안테나 인자를 알고 있는 표준안테나 또는 기준안테나로 [그림 2-1]에서와 같은 측정 구성으로 대상안테나(AUT)의 안테나 인자를 측정하는 기술이다. 원칙적으로 주파수에 구애 받지 않으나 표준 안테나의 주파수에 의존한다. 반사파가 존재하면 한쪽 안테나를 특정 범위의 높이로 스캔하여 최대전계의 지점에서 측정하게 되며 보통 30MHz ~ 1GHz 대역의 안테나를 야외시험장에서 측정할 때 유용하다. 반사파가 없거나 자유공간 조건에서는 두 안테나를 고정한 채로 안테나 인자를 산출한다. 지향성이 강하여 높이에 조건에 따라 바닥 반사파가 거의 존재하지 않는 1GHz 이상 대역 혼안테나의 경우에는 2m 이상의 높이로 야외시험장에서 측정하는 것도 유효하다. 경험상 10GHz 이하는 3m 이상의 높이를 선택하는 것이 더 좋다. 양질의 챔버에서는 반사파를 신경 안쓰고 R-SAM을 적용해도 된다.



[그림 2-1] 국립전파연구원 표준안테나법의 안테나 구성

R-SAM은 <그림 2-1>에서 이득이 G_T 이고 출력전력이 P_T 인 대상 안테나로부터 거리 d_1 인 지점에 방사되는 전기장의 세기는 다음과 같이 주어지는 것에 근거를 둔다.

$$E_R = \frac{\sqrt{30 G_T P_T}}{d_1} \quad (2-1)$$

다음과 같은 안테나 인자의 정의와

$$AF = \frac{E}{V}$$

$$AF(dB/m) = E(dBV/m) - V(dBV) \quad (2-2)$$

방정식 (2-1)을 이용하여 R-SAM 방법에 의한 안테나 인자 산출 방정식을 얻는다. 이 과정에서 안테나 인자 AF와 안테나 이득 G 관계를 이용한다.

$$AF^2 = \frac{4\pi\eta}{G\lambda^2 Z_L} = \frac{480\pi^2}{G\lambda^2 Z_L}$$

$$AF(dB/m) = 20\log AF = 10\log \frac{480\pi^2}{Z_L} - 20\log\lambda - G(dB) \quad (2-3)$$

여기서 Z_L 은 수신 입력 임피던스 이다.

50 Ω 시스템에서 주파수 MHz 단위로 R-SAM의 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$AF_T = -AF_R + 10\log P_T + 20\log f_{MHz} - 20\log V_R - 20\log d_1 - 15.01 \quad (2-4)$$

여기서 P_T , V_R , d_1 은 각각 측정해야할 송신전력, 수신전압, 안테나 사이의 거리, f_{MHz} 는 MHz 단위의 주파수이다.

경우에 따라서는 안테나 사이의 삽입손실 또는 감쇠량 $A_{RT}=10\log(P_T/P_R)$ 을 측정하기 때문에, 실무적으로 다음과 같은 방정식을 많이 사용한다.

$$AF_R(dB/m) = -AF_T + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2-5)$$

제2절 30MHz ~ 1GHz 대역 표준안테나

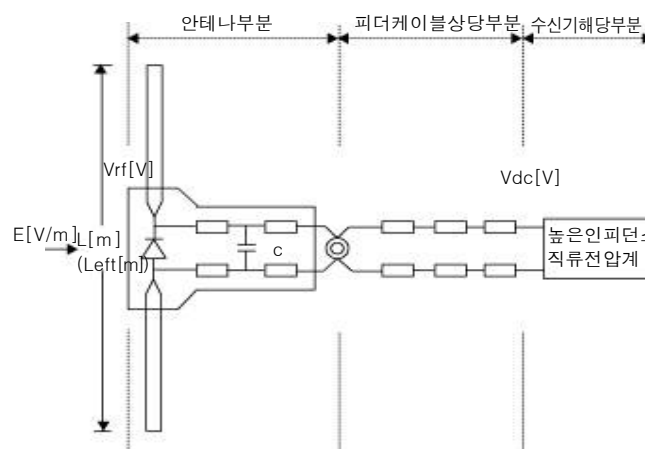
1. 표준안테나에 대한 고찰

표준안테나라는 무엇인가? 안테나 교정 및 측정 분야에서 가장 많이 언급되는 개념 중에 하나가 표준안테나이다. 그렇다면 ‘표준’이란 단어부터 살펴보자. 국제적으로 합의된 표준의 정의는 「어떤 양을 재는 기준으로 쓰기 위하여 어떤 단위나 어떤 양의 한 값 이상을 정의하거나 현시하거나 보존하거나 또는 재현하기 위한 물적 척도, 측정기기, 기준물질이나 측정시스템」으로 되어 있다. 이러한 정의에 따라 측정용 안테나의 경우, ‘어떤 양’에 해당하는 물리량으로서 전기장을 측정한다. 그런데 공간상의 전기장을 측정하기 위한 기준으로 쓰는 ‘정의된 어떤 단위나 어떤 양의 한 값’에 해당하는 것은 안테나의 변환 계수인 안테나인자(Antenna factor)이다. ‘그 안테나 인자를 정의하는 측정기기’가 “표준안테나”가 되는 셈이다. 안테나 인자는 3개의 안테나를 이용하여 3-안테나법(TAM : Three Antenna Method)에 의하여 측정할 수 있다. 그렇기 때문에 표준안테나는 안테나인자를 측정하는 그 방법까지 정의할 필요가 있다. 3개의 안테나를 이용하여 자유공간의 조건에서 안테나 인자를 정의하는 방식은 조건의 구현과 측정 절차의 번거로움 때문에 다른 방법이 고안이 필요하게 되었다. 표준시험장법(SSM : Standard Site Method)은 무한도체면 위에에서 안테나 인자를 측정하는 방법으로 고안되었지만 역시나 안테나 3개로 3번의 측정절차가 필요하다는 점에서 3-안테나법과 마찬가지로이다. 소위, 표준안테나법(SAM : Standard Antenna Method)에서 말하는 표준안테나는 다른 방식으로 정의된다고 말할 수 있다. 다이폴 안테나의 특수성을 이용하는 것인데 주파수 대역이 약 30MHz ~ 1GHz 대역으로 제한되며 기껏해야 이 주파수의 약간의 앞과 뒤의 영역에서 정의된다. 대상 안테나의 안테나 인자를 측정하는 방식은 전통적인 치환법에 의하여 산출한다. 이러한 안테나는 30MHz ~ 1GHz 대역의 다이폴 안테나로 두 가지가 고안 되었다’ 첫째는 미국 NIST에서 개발한 수신전용 다이폴 안테나로 안테나 발룬에 쇼트키 다이오드를 장착하여 발룬의 RF-DC 관계를 측정하여 기준 전계를 결정하여 같은 전계에서 대상 안테나의 수신전압을 측정하여 안테나 인자를 측정한다. 두 번째는 영국 NPL에서

개발한 다이폴 안테나로서 발룬에 하이브리드를 장착하여 발룬의 S 파라미터를 측정하여 무한도체면 위에서 이론적인 안테나 인자를 계산한 안테나이다. 이들은 다음 장에서 간단히 다시 한 번 살펴본다.

2. NIST형 수신전용 표준안테나와 치환법

NIST 다이폴안테나(NIST type Diode Loaded Dipole Antenna)는 수신전용으로 미국의 NIST에서 개발된 것을 원형으로 한다. 다이오드 검파식으로 고임피던스이며 주파수범위는 25 MHz - 1 GHz 이다. 그 구조는 [그림 2-2]에서 보는 바와 같다. 다이폴 헤드의 RF-DC 선형 관계를 결정하고 안테나의 출력 DC전압 V_{DC} 을 측정하고 안테나의 실효길이 L_{eff} 을 계산하면 수신점의 전계강도를 측정된다.

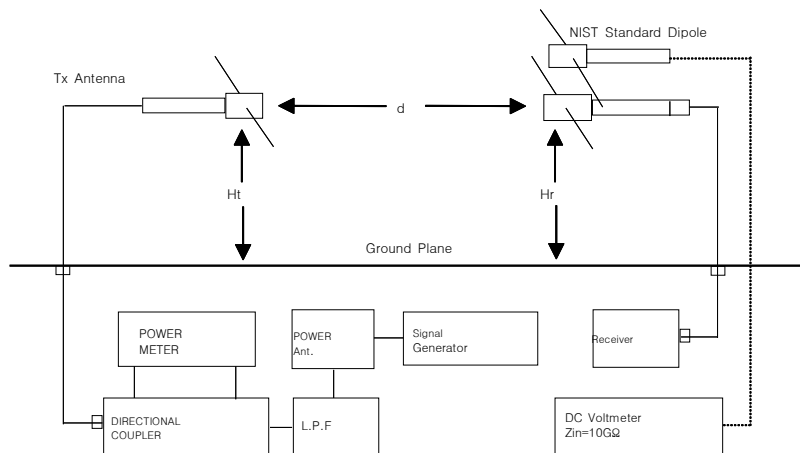


[그림 2-2] NIST 표준다이폴 안테나의 구조



[그림 2-3] 전파시험인증센터에서 보유하고 있는 NIST 표준다이폴

NIST형 다이오드 장차 안테나는 임피던스가 매우 높기 때문에 접지평면 영향을 받지 않으며 안테나 소자에 유기된 고주파 전압은 다이오드로 정류되고 직류전압으로 변환됨으로 안테나 출력은 직류전압이 된다. 다이폴 발룬의 다이오드에서 정류된 직류전압인 V_{DC} 를 측정하는 것이기 때문에 V_{DC} 와 V_{RF} 의 정확하게 알기 위하여 다이폴헤드의 교정이 필요하다. 이러한 다이폴헤드의 교정을 통하여 측정의 소급성을 유지하게 된다. 안테나의 소자를 제외하고 검파회로 부분에 180도 하이브리드 지그를 끼워 정확히 교정된 신호발생기에서 RF 신호를 보내어 다이오드에서 정류된 V_{DC} 를 고 임피던스 직류전압계로 측정함으로써 V_{DC} 와 V_{rf} 의 상관관계를 알아낼 수 있다. 다이폴헤드의 교정주파수는 50 MHz에서 실시하는데 이러한 교정결과를 다른 주파수에 적용하여도 된다. 치환법에 의한 안테나 교정은 [그림 2-2]와 같다.



[그림 2-4] NIST 표준다이폴과 치환법 구성도

3. NPL형 계산된 표준안테나

NPL형 안테나의 핵심 구조는 NEC에 의하여 수치적으로 계산된 다이폴 소자와 180° 하이브리드 커플러를 가진 발룬으로 구성된다. 전파시험인증센터에서 보유하고 있는 다이폴 안테나의 실물 사진은 [그림 3-1]에서 보는 바와 같다.



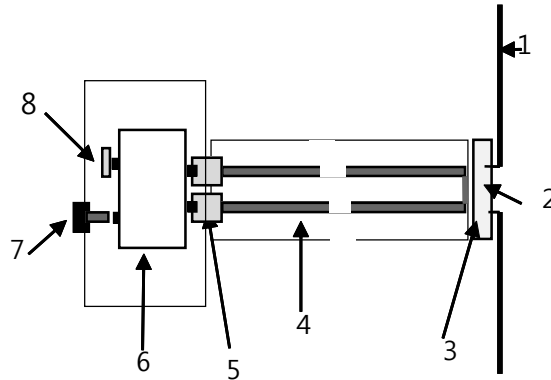
[그림 2-5] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나

3-1 다이폴 소자

다이폴 소자는 Push-Fit 컨넥터가 발룬에 연결되도록 안테나 중앙 앞면에 구멍이 뚫린 유전체 지지대에 꼭 들어맞게끔 설계되었으며 시험장의 등가 2-포트 회로망을 결정하도록 NEC로 계산하여 모델화하여 제작되었다. 그 모델은 시험장의 접지 평면이 무한대이며 완전도체로 간주하여 계산하였다. 소자는 4개의 공진 소자로 각각 광대역 특성을 가지고 [표 3-1]과 같은 주파수 대역에서 작동한다.

[표 2-1] 다이폴 소자의 공진 주파수의 주파수 대역

공진 주파수 (MHz)	주파수 대역 (MHz)
60	30 ~ 100
180	100 ~ 300
400	300 ~ 600
700	600 ~ 1000



1. 다이폴 소자
2. 유전체로 된 안테나 지지대
3. Push-Fit RF 컨넥터
4. 위상이 정합된 50 Ω 반 강체형 동축 케이블
5. 정합 패드
6. 1과 직교하는 하이브리드 커플러
7. N 타입 컨넥터
8. 50 Ω 종단

[그림 2-6] NPL 계산형 표준 다이폴 안테나의 구조


3-2 발룬

[그림 3-2]는 다이폴 발룬의 구조를 보여준다. 다이폴 소자가 장착되며 Push-Fit 컨넥터가 발룬과 연결될 수 있도록 안테나 중심부에 홈이 파여진 유전체 지지대가 있다. 발룬은 30 MHz - 1 GHz 범위에서 위상 평형도가 1.5° 보다 좋고 진폭 평형도가 0.2 dB 보다 좋은 180° 하이브리드 결합기로 구성된다. 하이브리드의 합(Σ)포트는 50 Ω 부하로 종단되어 있으며 두 개의 각 평형 포트는 정합 패드와 연결되어 있다. 저항이 50 Ω 인 두 개의 반 강체형 동축 케이블은 위상이 1° 이내로 정합되어 있으며 다이폴 소자와 하이브리드를 연결하는 역할을 한다. 다이폴 끝부분에는 이러한 동축 케이블을 차폐하도록 전기적으로 서로 연결되어 있다. 발룬은 복소 S-파라미터를 네트워크 분석기를 사용하여 자동적으로 쉽게 측정할 수 있도록 설계되었으며 또한 시험장 측정에서 안테나를 다시 배치하지 않고도 안테나 소자를 재빠르게 교체할 수 있도록 설계 되었다.

3-3 시험장 감쇠량 및 안테나 인자의 이론값

무한평면의 완전 도체위에서 두 안테나의 ①발룬 특성과 ②전송안테나의 복소 입력임피던스, 수신 안테나에 유기되는 전류 및 복소 입력임피던스를 알면 안테나 사이의 삽입손실 즉 시험장 감쇠량을 이론적으로 계산할 수가 있다. 이렇게 계산된 시험장 감쇠량은 이상적인 것으로서 기준값이 된다. 발룬의 특성은 그 S-파라미터를 직접 측정해야 하고 안테나의 입력 임피던스 및 전류는 시험장의 무한평면 완전도체의 조건에 따라 전자파 수치해석 기법의 일종인 모멘트법을 이용하는 NEC에 의하여 계산된다.

[표 2-2] 이론값 산출

시험장 감쇠량 및 표준 안테나의 이상적인 이론값 산출	
↑	
소프트웨어 CAP 2010 구동	
(측정값 입력) ↑	(주파수, 거리, 높이 입력)↑
발룬 특성 측정 (송신 및 수신안테나 발룬의 S파라미터)	NEC에 의한 수치해석
	무한면 완전 도체위의 송신 및 수신 안테나의 복소 입력임피던스 및 전류 계산
S 파라미터 측정 $S_{aa}, S_{a\beta}, S_{\beta a}, S_{a\gamma}, S_{\gamma a}, S_{\beta\beta}, S_{\beta\gamma}, S_{\gamma\beta}, S_{\gamma\gamma}$	Z_{IN1} : 송신 안테나 입력임피던스 Z_{IN2} : 수신 안테나 입력임피던스 I_{LD} : 수신 안테나에 유도되는 복소 전류
※ S 파라미터는 6개월에 한번 측정하여 적용한다.	※ 복소 임피던스 및 복소 전류의 계산은 운용 소프트웨어 CAP2010에서 안테나의 거리 및 높이를 입력하여 계산

3-4 안테나 인자의 이론값

안테나 인자는 안테나의 고유 성능을 나타내는 파라미터로서 입사되는 전기장 E 와 안테나에 유기되는 전압 V 의 비율로 다음과 같이 정의된다.

$$AF = \frac{E}{V}$$

$$AF(dB/m) = 20\log\left(\frac{E}{V}\right) \quad (3-1)$$

송신 및 수신 안테나의 안테나 인자가 각각 AF_{Tx} 와 AF_{Rx} 일 때 그 사이의 삽입손실을 SIL 이라 하면 안테나 인자 방정식은 다음과 같다.

$$AF_{Tx} + AF_{Rx} = SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log(d_1) - 32 \quad (3-2)$$

여기서 f_{MHz} 는 MHz 단위로 표시된 주파수이고 d 는 m 단위의 안테나 사이의 거리이다. 방정식 (2-3-7)에서 송신 안테나와 수신안테나가 완전히 동일하면, 즉, $AF_{Tx} = AF_{Rx}$ 이면 두 안테나 사이의 삽입손실 SIL 값으로 다음과 같이 안테나 인자가 주어진다.

$$AF_{Tx} = AF_{Rx} = \frac{1}{2}[SIL + 20\log(f_{MHz}) - 10\log d_1 - 32] \quad (3-3)$$

NPL의 계산형 표준안테나는 무한평면 완전도체위에서 삽입손실을 방정식 (3-3)에 의해서 계산하고 송신 및 수신 안테나는 0.06 dB 이내로 동등성을 갖고 있기 때문에 두 안테나를 동등한 안테나로 취급할 수 있다.

제3절 1GHz 이상 대역 표준안테나 제안

1. 동등안테나와 표준안테나

제 2절의 1에서 고찰한 것처럼 안테나 교정을 거치지 않고 발룬의 특성에 의하여 안테나의 인자를 산출할 수 있는 30MHz ~ 1GHz 대역 다이폴형 표준안테나를 설명하였다. 현재까지 표준 안테나라고 일컬어지는 것은 다이폴형태이며 그 발룬에 특수한 장치를 고안하여 만들어 졌으며 세계적으로 NIST형과 NPL형 안테나가 개발되어 사용되고 있다. 그러므로 아직까지는 표준안테나로서 30MHz ~ 1GHz 대역 다이폴 안테나 뿐이다.

그럼 1GHz 이상 대역의 안테나는 측정용으로서 혼안테나가 될 터이지만 혼 안테나는 발룬이라는 장치가 없다. 그러나 R-SAM에 따르면 방정식 (2-5)에 따라 한쪽에 안테나 인자를 아는 안테나를 설치하면 대상 안테나는 한 번의 측정으로 안테나 인자를 정의할 수가 있기 때문에 만일 똑같은 두 안테나가 있다면 한번의 감쇠량 측정으로 동등한 안테나의 안테나 인자를 정의할 수가 있다. 다이폴 안테나의 경우 표준안테나는 발룬의 RF-DC 관계를 측정하거나, 하이브리드의 S 파라미터를 측정함으로써 그 안테나 인자를 산출할 수 있는 것처럼 동등한 두 안테나는 직접 한 번의 감쇠량 측정으로 안테나 인자를 측정할 수가 있기 때문에 동등한 두 안테나는 일종의 표준안테나의 역할을 할 수가 있는 것이다. 더군다나 1GHz 이상 대역의 혼안테나는 강한 지향성 때문에 야외시험장 위에서 어떤 특정한 높이 이상에서는 반사파를 거의 무시할 수가 있어서 자유공간 조건을 만족한다 할 수 있다.

안테나의 동등성이 인정된다면 R-SAM의 방정식 (2-5)에서

$$AF_R(dB/m) = -AF_T + A_{RT} + 20\log f_{MHz} - 20\log d_1 - 32 \quad (2-5)$$

$AF_R = AF_T$ 가 됨으로 동등 안테나의 안테나 인자는 다음과 같이 주어진다.

$$AF_R(dB/m) = \frac{1}{2}A_{RT} + 10\log f_{MHz} - 10\log d_1 - 16 \quad (2-6)$$

2. 18GHz ~ 40GHz 동등 혼안테나 제작

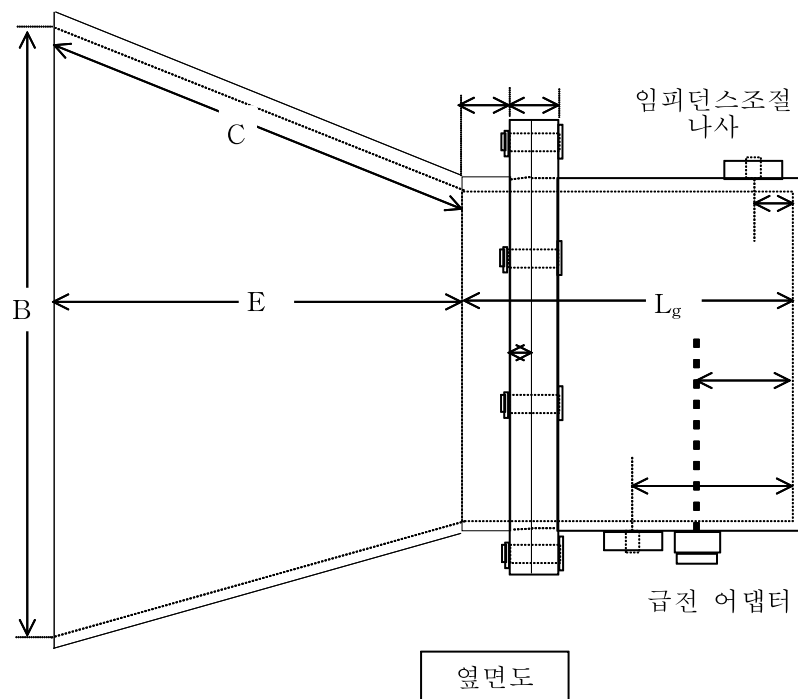
1~ 18GHz 대역은 시험장 위에서 반사파의 영향을 배제 하기위하여 접지 평면으로부터 상당한 높이를 요하기 때문에 비교적 반사파로부터 자유로운 18GHz의 동등 혼안테나로 R-SAM에 의한 검증이 비교적 쉬워 그 주파수 대역의 안테나를 제작하였다.

우선 안테나의 동등성을 정의하는 것이 문제이다. 사실 '똑같은 안테나를 제작한다는 것이 무엇을 의미하는가?' 라는 의문이 있으며 또 동등함을 어떻게 확인할 것인가 라는 과제가 남게 된다.

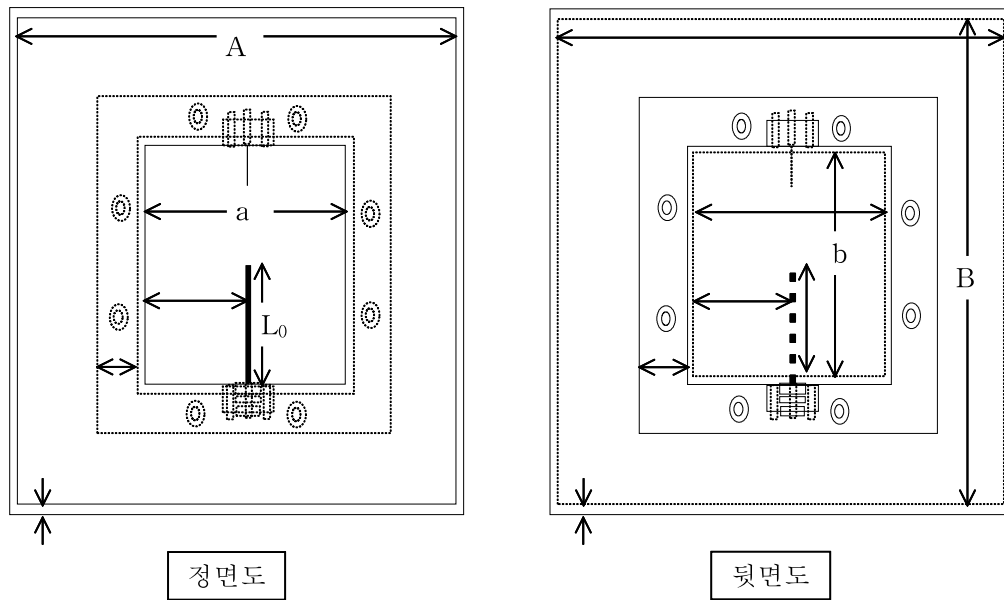
2.1 동등 혼안테나 정의

제작시 우선 물리적으로 동일성이 있어야 한다. 물성에 있어서 재질이 같아야 하고 구조가 동일하여야 한다.

그에 따라 제작된 두 개의 안테나는 물성 재질이 알루미늄으로 만들어지고 금도금으로 코팅을 하였으며 구조는 다음 그림과 같이 구성 하였다.

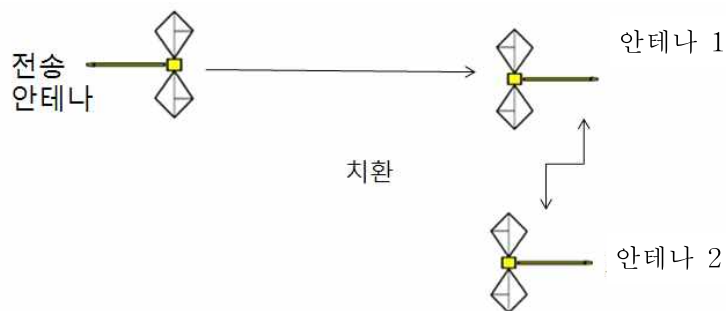


[그림 3-1] 혼안테나 구조(옆면)



[그림 3-2] 혼안테나 구조(정면 및 뒷면)

동등성에 있어서 가장 중요한 사항은 혼안테나의 전기적 또는 RF적인 동일성이다. 여기서는 제작된 혼안테나의 전압정재파비와 안테나 패턴을 참고하면서 [그림 3-3]와 같이 임의의 안테나를 기준으로 동등한 두 안테나를 서로 치환하여 감쇠량 값이 같으면 전기적으로 동일한 안테나로 간주한다.

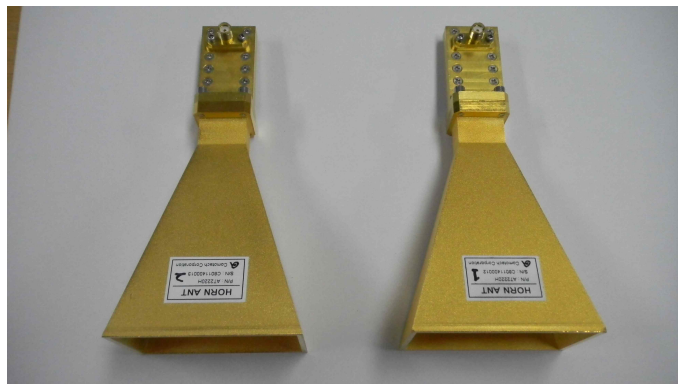


[그림 3-3] 치환법에 의한 동등성 확인

제3장 동등 표준안테나 제작 및 확인

제1절 제작된 동등 표준혼안테나의 기본 특성

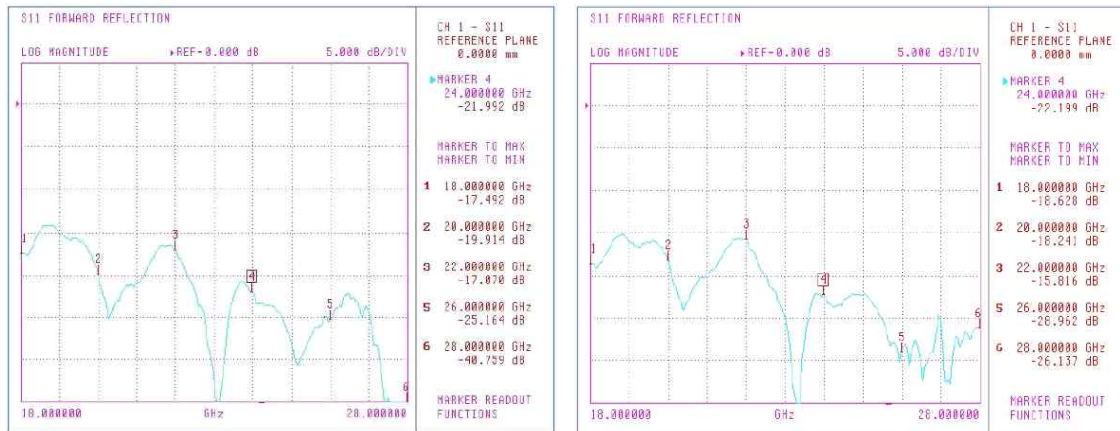
제작된 동등한 혼안테나는 주파수 대역별로 그림 <3-4> 및 <3-5>와 같다. 이들 각각의 전압정재파비는 그림 <3-6>에서 <3-9>에서 측정결과를 나타냈다. 두 안테나의 특성이 거의 유사하게 나옴을 알 수 있다.



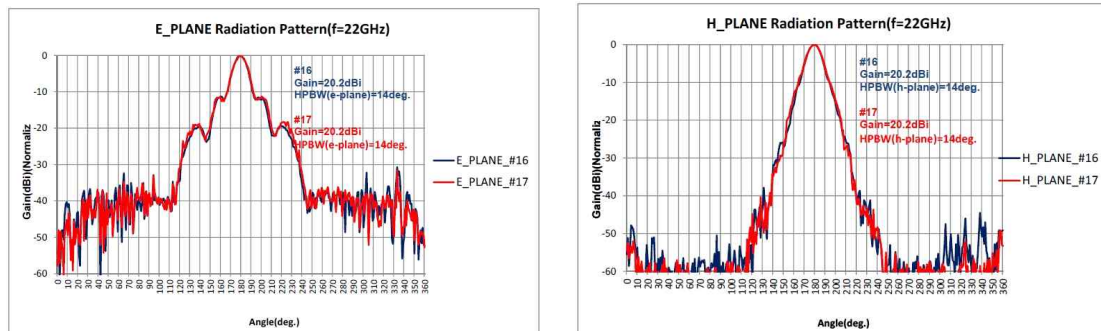
[그림 3-4] 제작된 두 개의 18 ~ 26.5GHz 대역 혼안테나 쌍



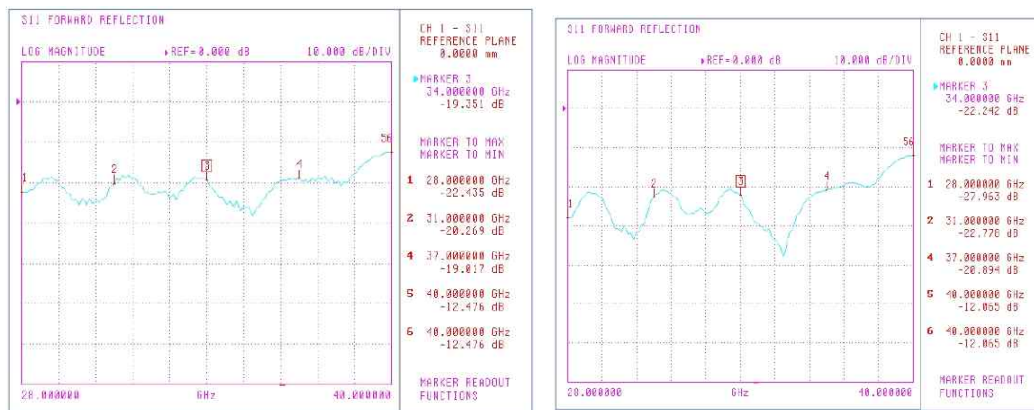
[그림 3-5] 제작된 두 개의 26.5GHz ~ 40GHz대역 혼안테나 쌍



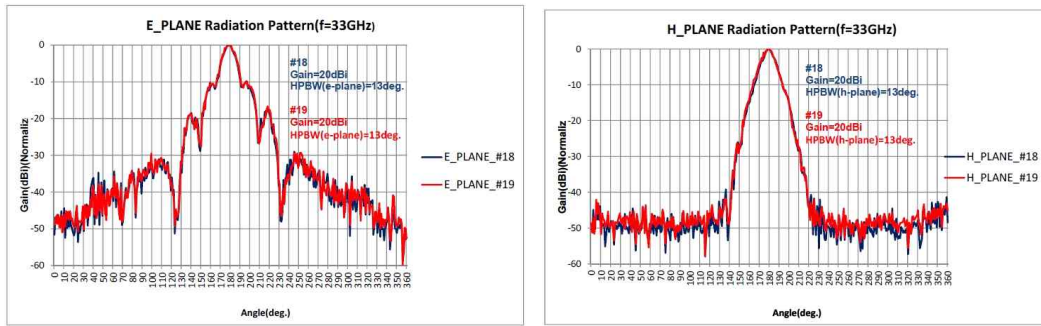
[그림 3-6] 제작된 두 안테나의 전압정재파비(18 ~28GHz)



[그림 3-7] 제작된 두 안테나의 방사패턴: 좌측 E면, 우측 H면 (22GHz)



[그림 3-8] 제작된 두 안테나의 전압정재파비(28~40GHz)



[그림 3-9] 제작된 두 안테나의 방사패턴: 좌측 E면, 우측 H면 (33GHz)

제2절 혼안테나의 동등성 확인

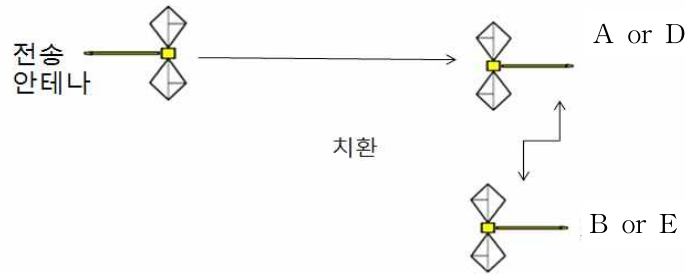
방정식 (2.6)을 이용하여 안테나 인자를 산출하기 때문에 안테나 교정에 있어서 동일성을 판단하는 가장 중요한 요소는 안테나 사이의 감쇠량 값이 된다. 이러한 동일성 판다는 2개의 시험장에서 검증 시험하였다. 국립전파연구원 소유의 용산 전파측정센터 안테나 챔버 및 이천 전파시험인증센터의 안테나 교정 야외 시험장에서 10cm, 20cm, 30cm, 40cm 및 50cm에서 각각의 감쇠량을 측정하여 두 동등 안테나의 감쇠량 값을 상호 비교하였다.

1. 전파시험인증센터 안테나 교정 야외시험장에서 측정

우선 안테나 교정 야외시험장에서 높이 2m에서 [그림 3-10]에서 보는바와 같이 측정을 실시하였다. 계측기로는 독일 R/S 사의 40GHz 까지 측정할 수 있는 네트워크 분석기를 이용하였다. 측정방식은 그림 [그림 3-11]에서와 같이 치환법을 사용하는데 18GHz ~ 26.5GHz 용도로 제작한 시리얼 번호에 따라 각각 C8011400012를 RRAH18A로 C8011400013을 RRAH18B로 송신용 기준안테나로 사용하는 C8011400017을 RRAH18C로 명명하고 편의상 검증할 동등 안테나는 A, B로 명명하고 송신안테나이며 추후 R-SAM을 검증할 대상안테나로서 RRAH18C를 그냥 C로 부른다. 마찬가지로 제작된 26GHz ~ 40GHz는 시리얼 번호가 각각 C8011400018, 19 및 20으로서 여기서는 편의상 D, E, F로 한다. 18GHz ~ 26.5GHz 및 26GHz ~ 40GHz 대역의 제작된 동등 혼안테나에 대하여 10cm ~ 50cm에서 10cm 단위로 5개의 거리에 대해 변화를 주며 측정 하였으며 결과는 다음 하위의 장들에서 보는바와 같다. 첫 번째 대역의 안테나에 대하여 29GHz까지 측정하였다.



[그림 3-10] 야외시험장에서 안테나 동등성 확인을 위한 감쇠량 측정



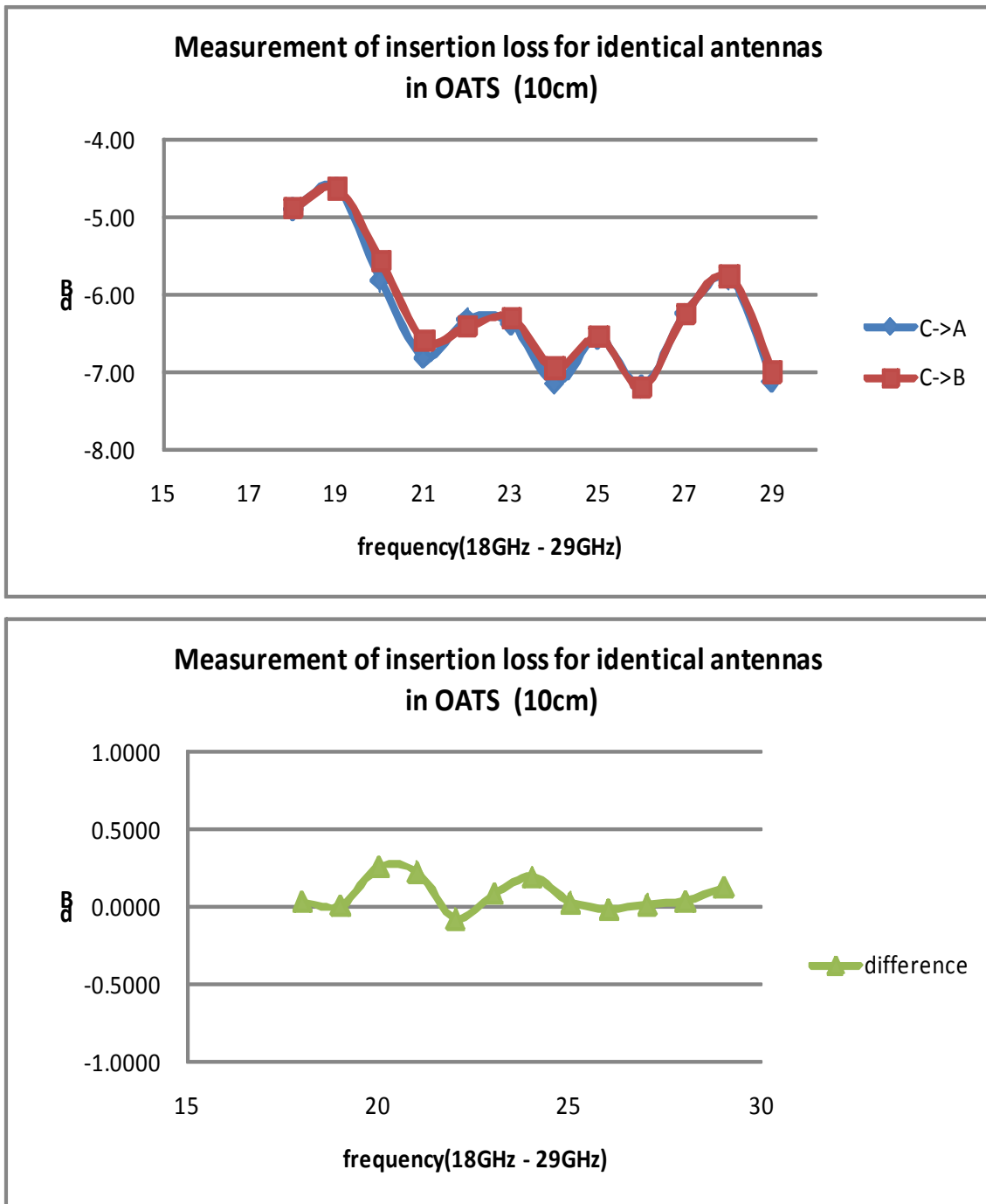
[그림 3-11] 치환법에 의한 감쇠량 측정 비교

1.2 18GHz ~ 26.5GHz 대역에 대한 검증

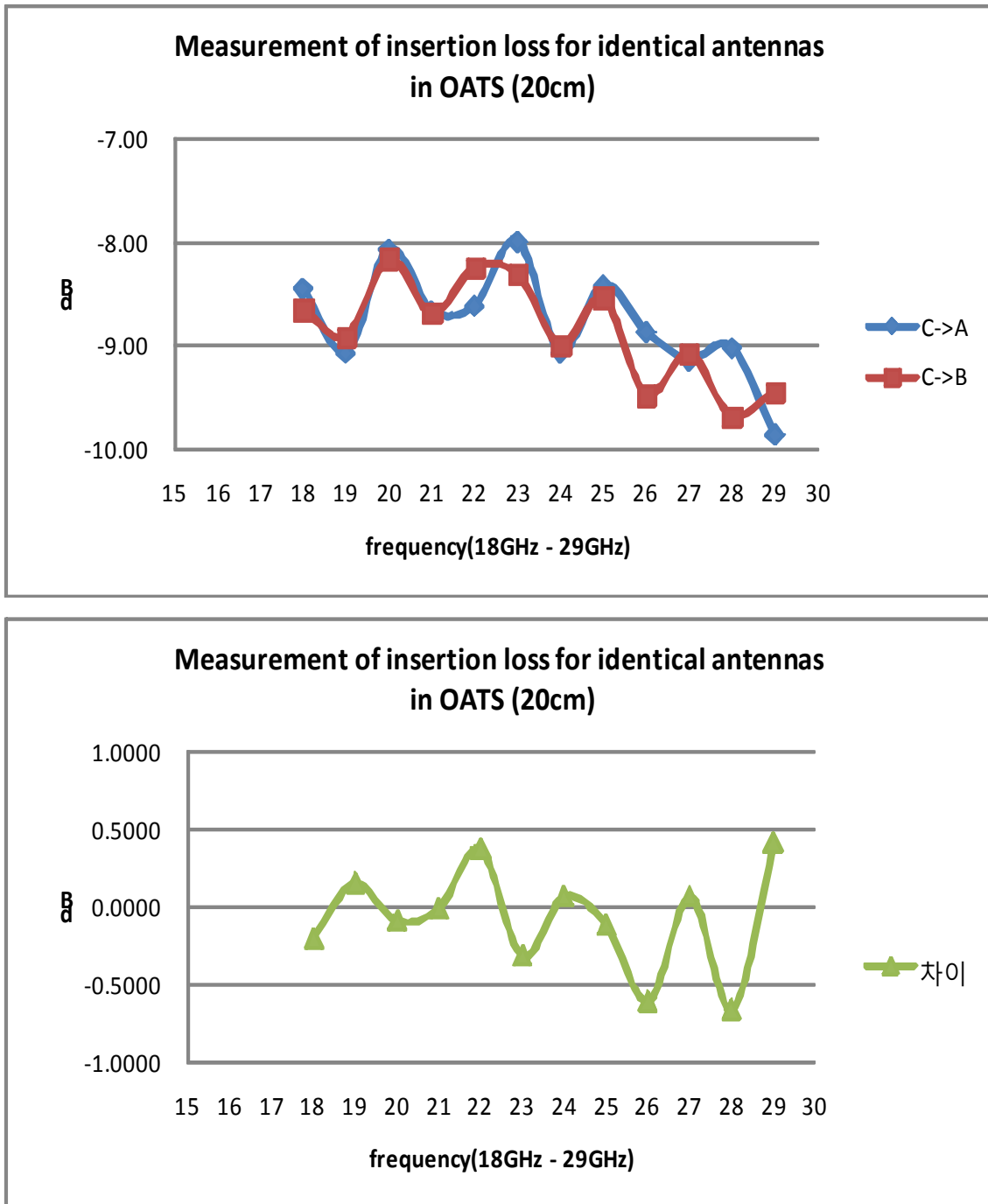
[표 3-1] 안테나 A와 B의 동등성 확인을 위한 감쇠량 데이터

측정감쇠량 단위 dB		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
C-B	18GHz	-4.88	-8.66	-11.08	-13.14	-14.79
	19GHz	-4.62	-8.92	-11.20	-13.22	-14.82
	20GHz	-5.56	-8.16	-10.63	-12.84	-14.34
	21GHz	-6.59	-8.68	-10.82	-12.74	-14.32
	22GHz	-6.41	-8.25	-10.77	-12.67	-14.20
	23GHz	-6.30	-8.31	-10.32	-12.45	-13.88
	24GHz	-6.95	-9.00	-11.02	-12.75	-14.23
	25GHz	-6.54	-8.54	-10.89	-12.41	-13.97
	26GHz	-7.20	-9.48	-10.56	-12.85	-14.31
	27GHz	-6.24	-9.08	-11.10	-12.79	-14.24
	28GHz	-5.76	-9.69	-11.35	-12.75	-14.27
C-A	29GHz	-7.00	-9.46	-11.41	-13.10	-14.50
	18GHz	-4.91	-8.45	-11.03	-13.20	-14.87
	19GHz	-4.63	-9.07	-11.21	-13.29	-14.93
	20GHz	-5.82	-8.07	-10.75	-12.98	-14.48
	21GHz	-6.81	-8.67	-10.92	-12.95	-14.53
	22GHz	-6.32	-8.62	-10.69	-12.69	-14.21
	23GHz	-6.38	-7.99	-10.37	-12.48	-13.87
	24GHz	-7.14	-9.07	-11.06	-12.87	-14.34
	25GHz	-6.57	-8.42	-10.74	-12.47	-13.99
	26GHz	-7.18	-8.87	-10.66	-12.86	-14.27
	27GHz	-6.25	-9.14	-11.10	-12.77	-14.23
	28GHz	-5.79	-9.02	-11.12	-12.70	-14.14
	29GHz	-7.12	-9.87	-11.60	-13.20	-14.52

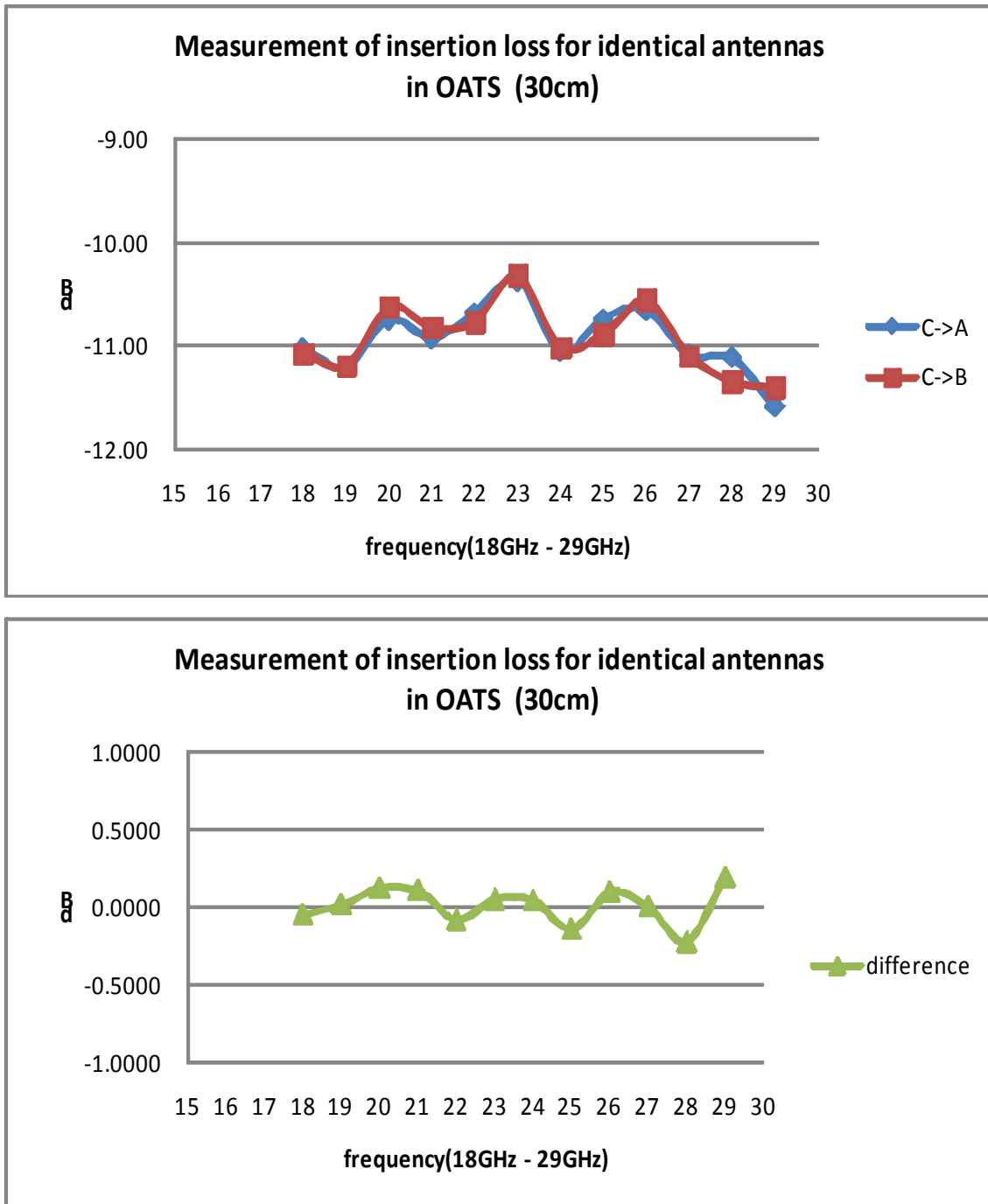
1.2.1 고정된 거리에서 주파수에 따른 측정 데이터



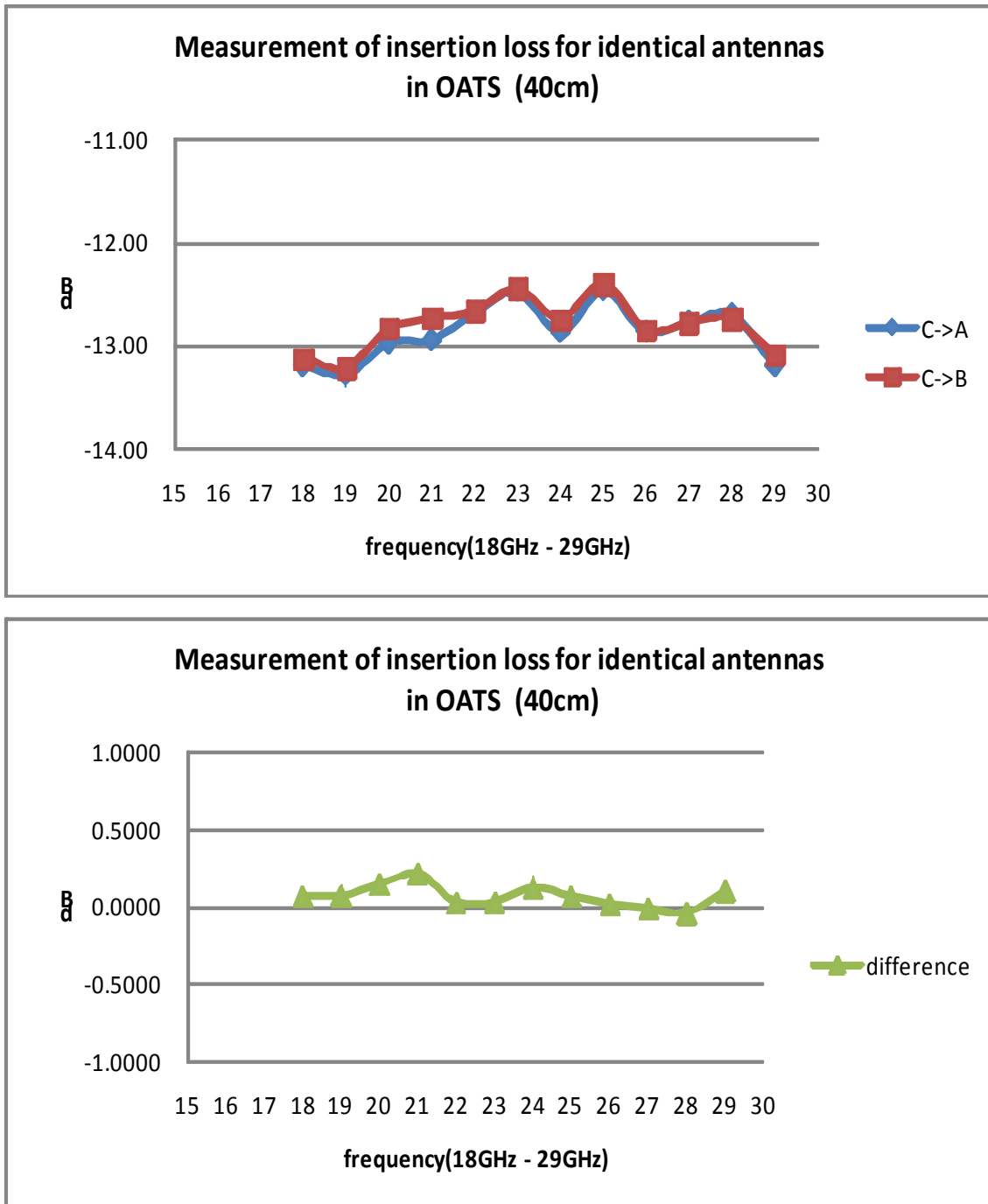
[그림 3-12] 안테나 사이의 10cm 거리에서 측정결과



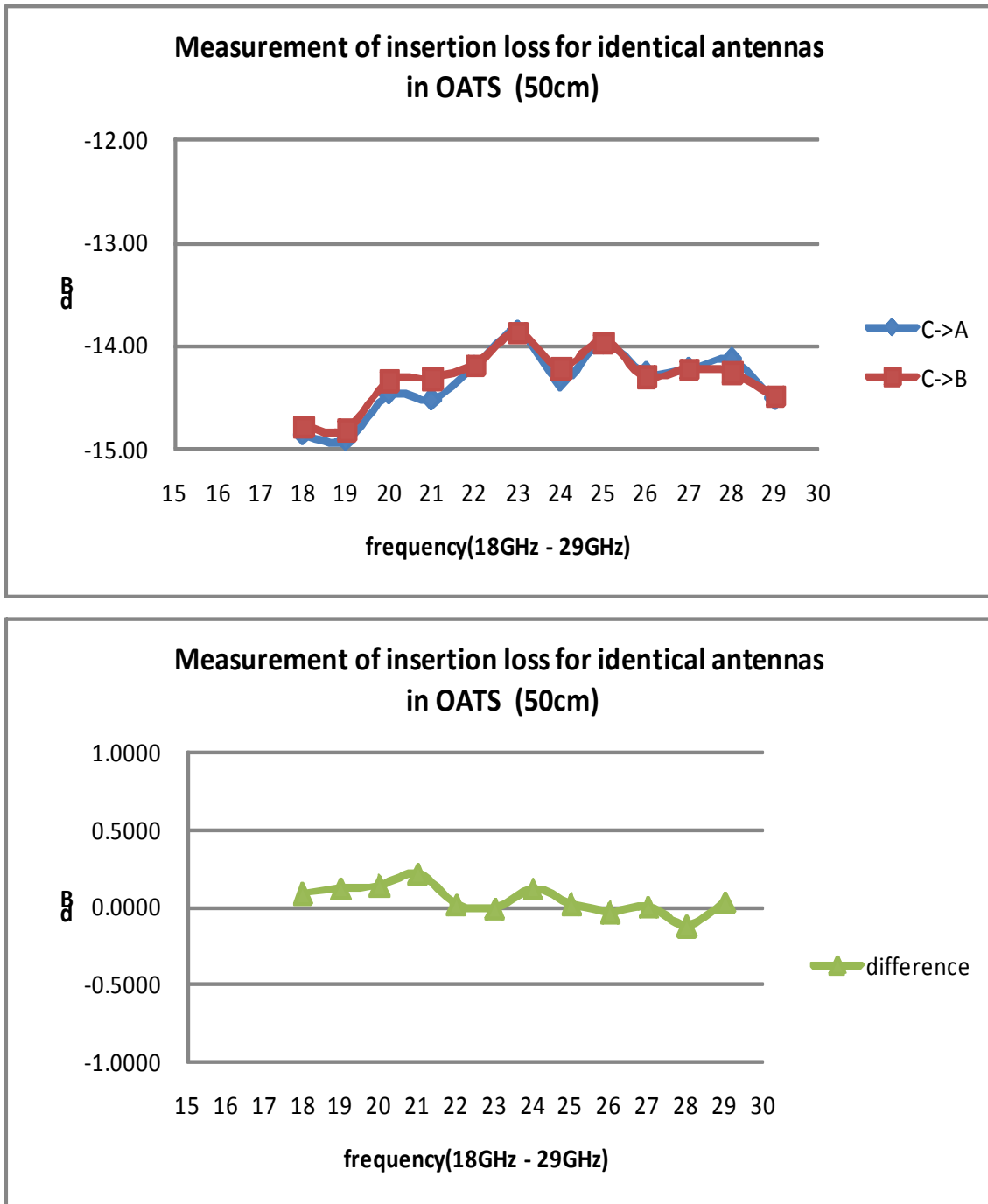
[그림 3-13] 안테나 사이의 20cm 거리에서 측정결과



[그림 3-14] 안테나 사이의 30cm 거리에서 측정결과

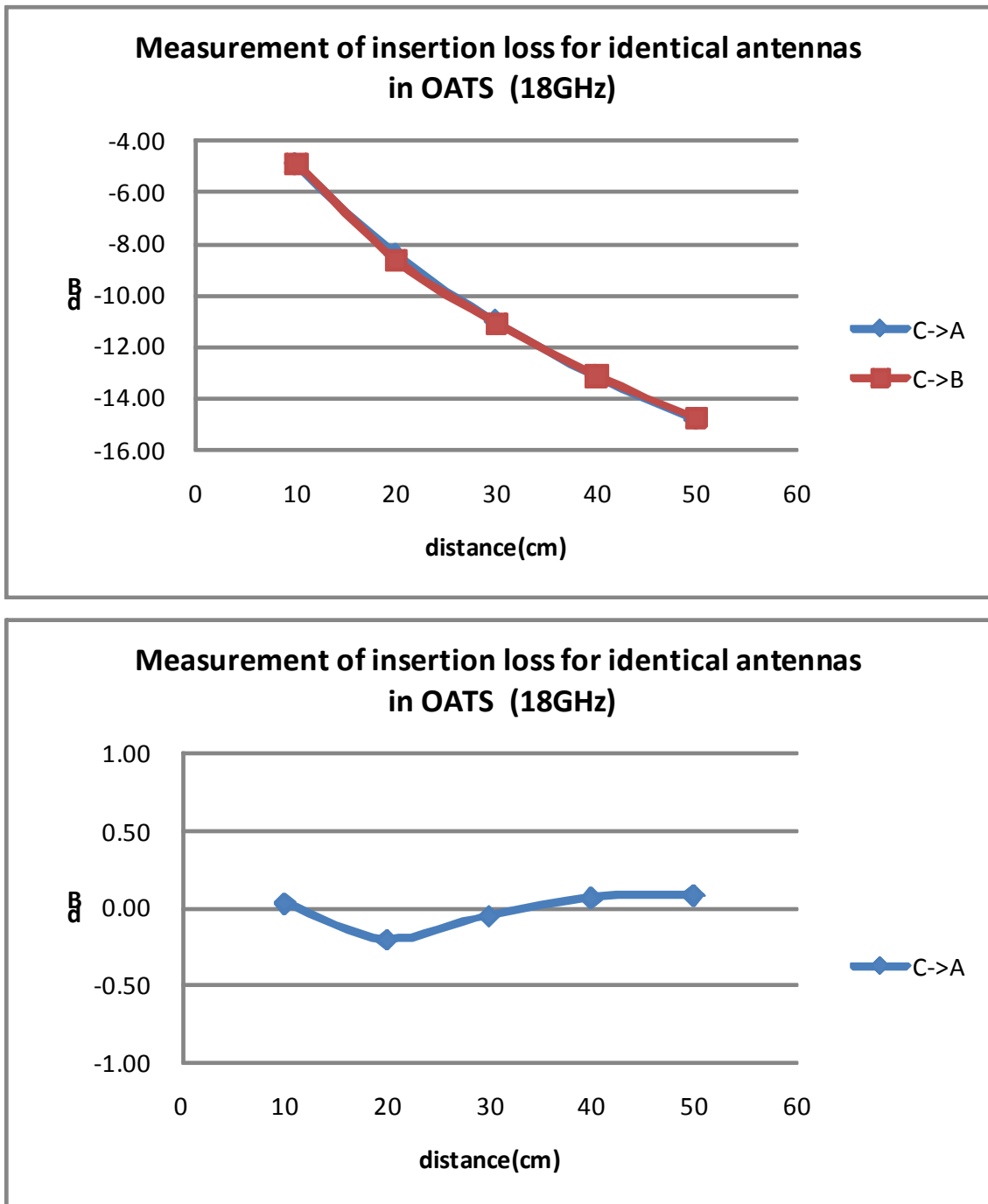


[그림 3-15] 안테나 사이의 40cm 거리에서 측정결과

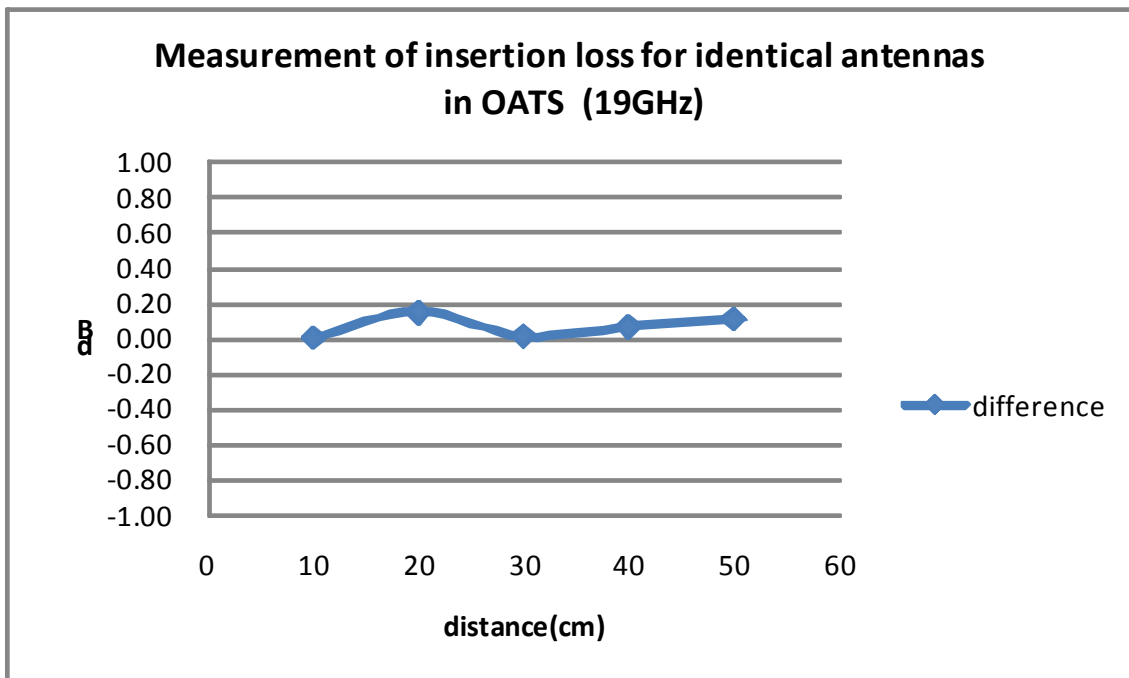
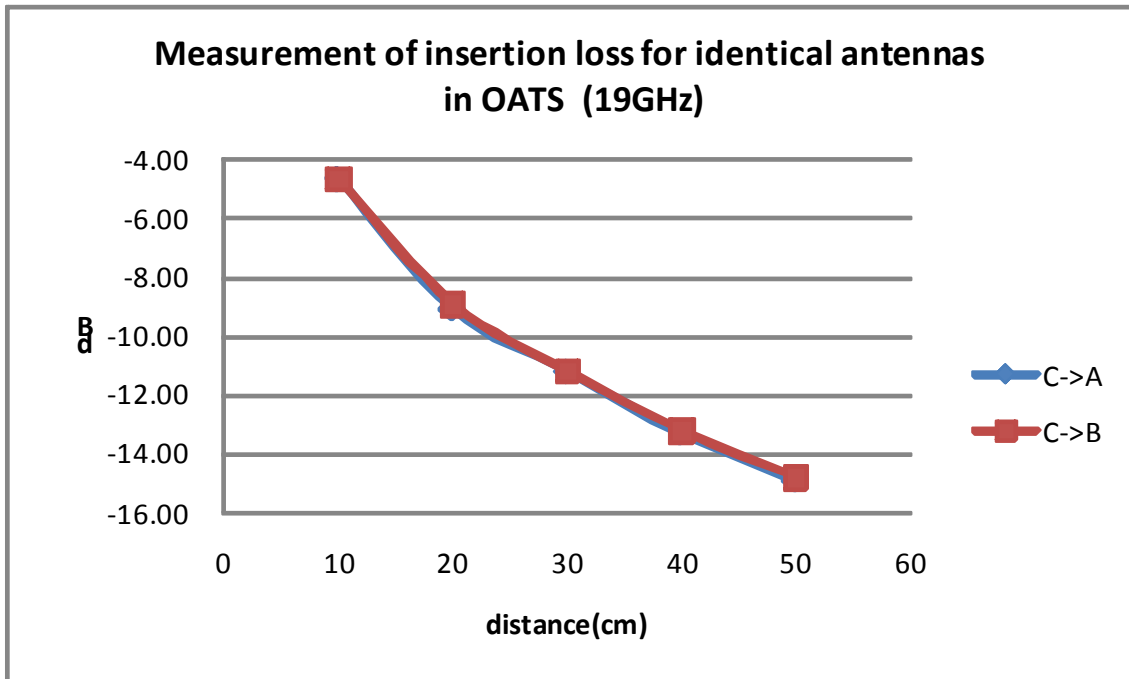


[그림 3-16] 안테나 사이의 50cm 거리에서 측정결과

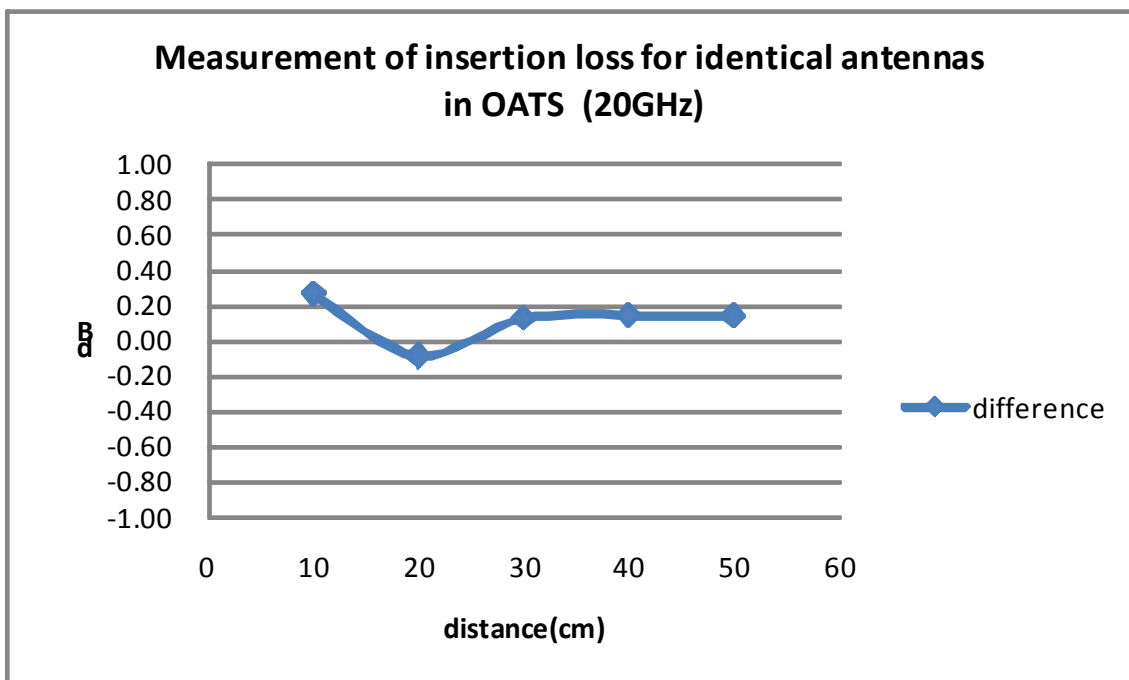
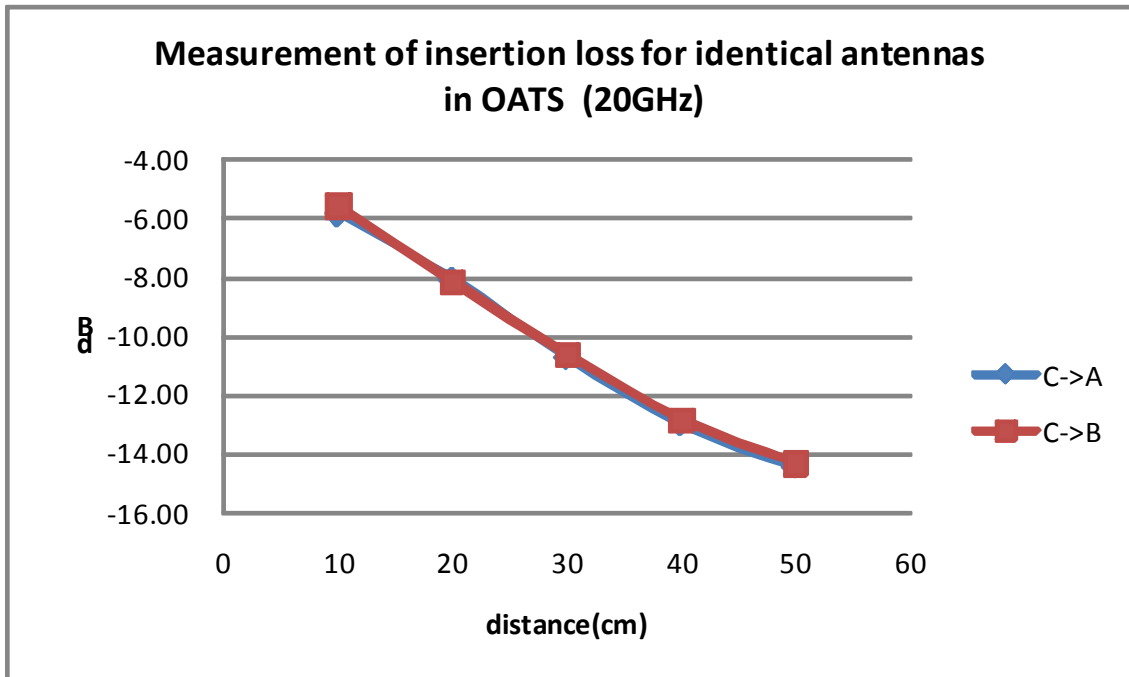
1.1.2 고정된 주파수에서 거리에 따른 동등성 변화



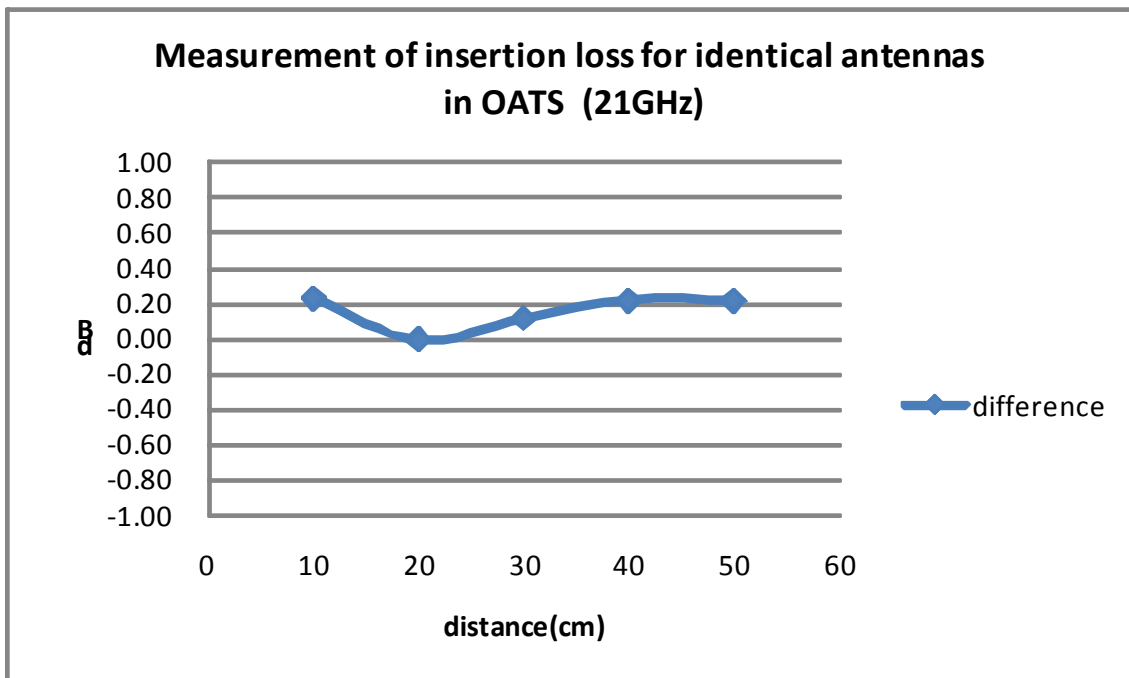
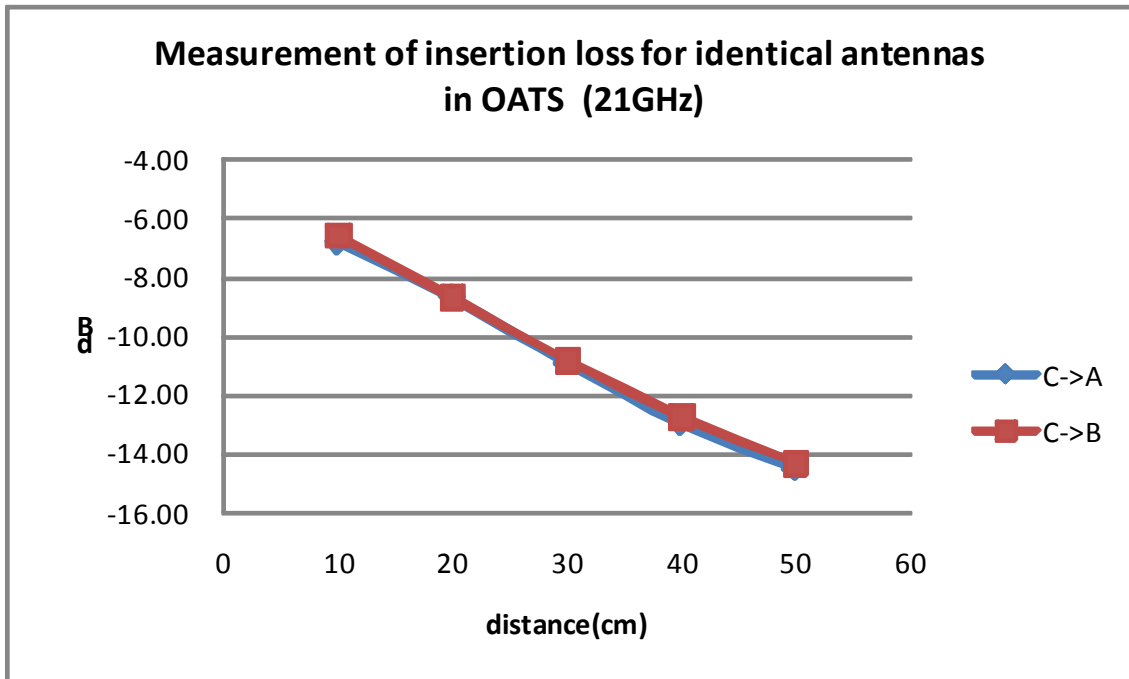
[그림 3-17] 주파수 18GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



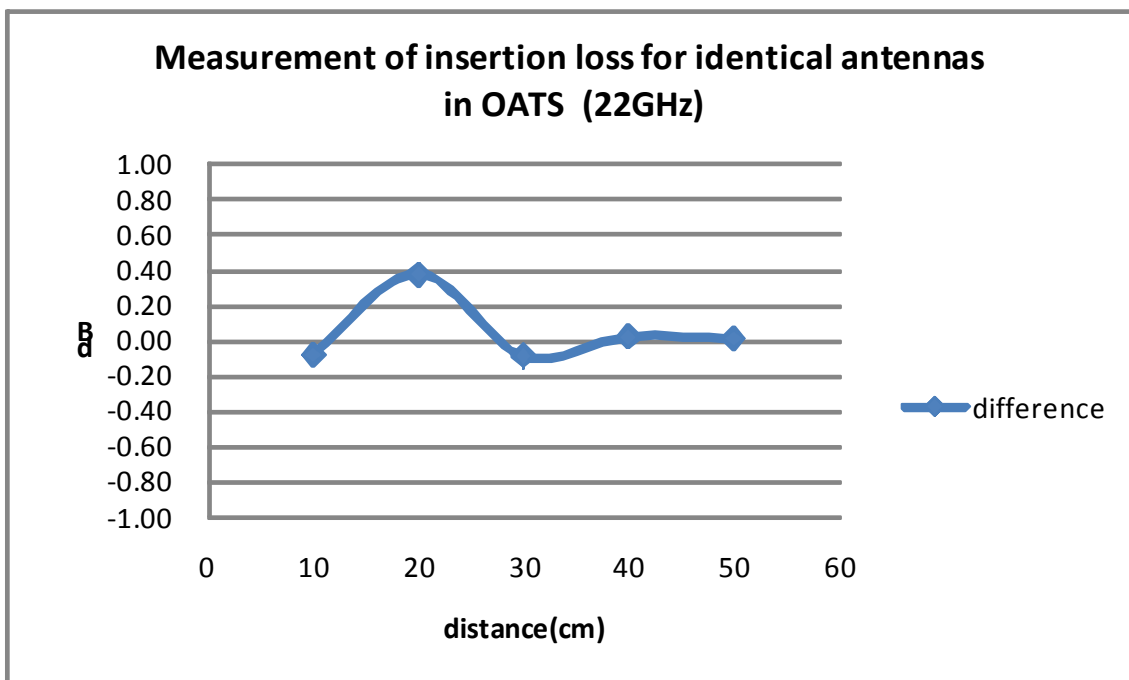
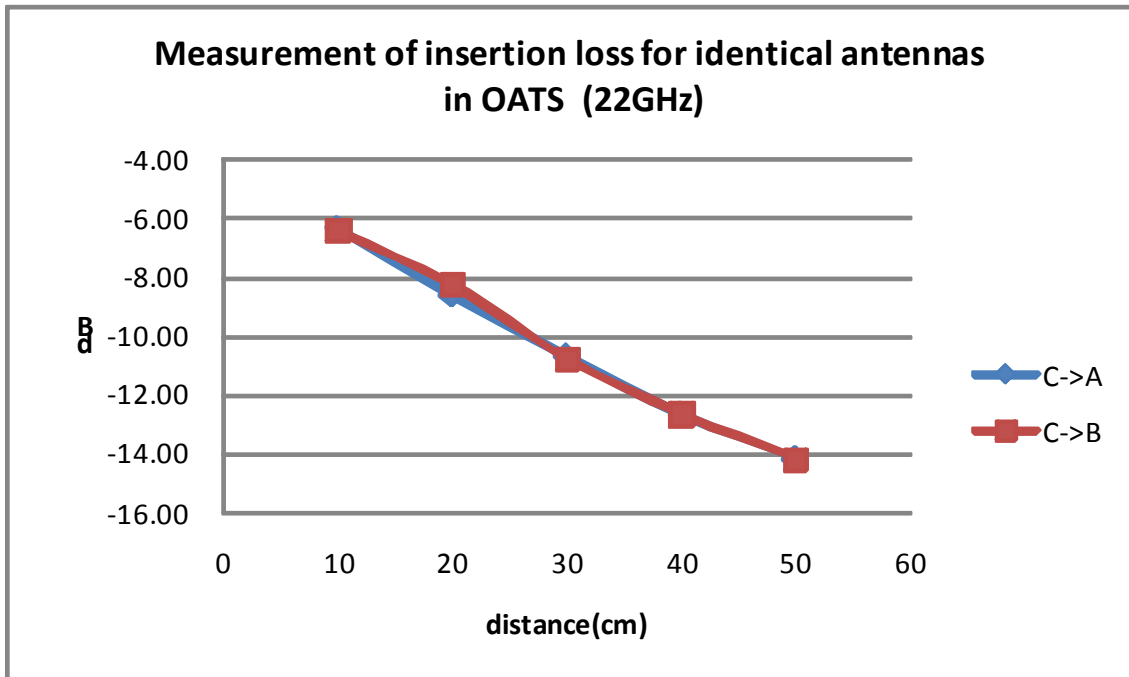
[그림 3-18] 주파수 19GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



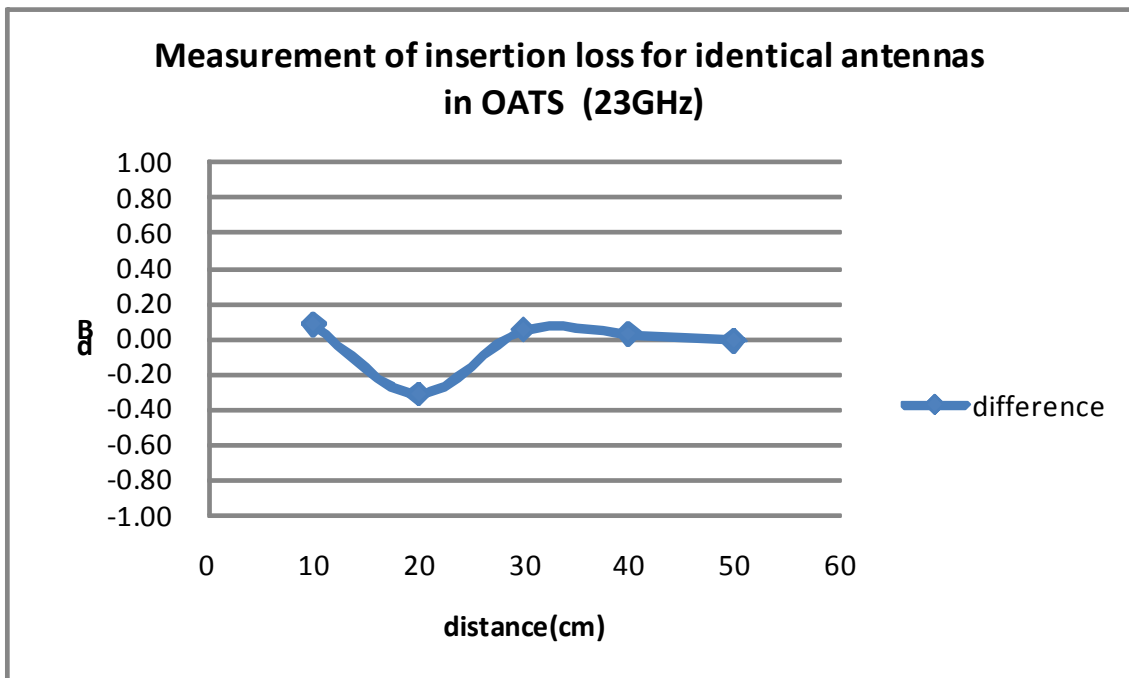
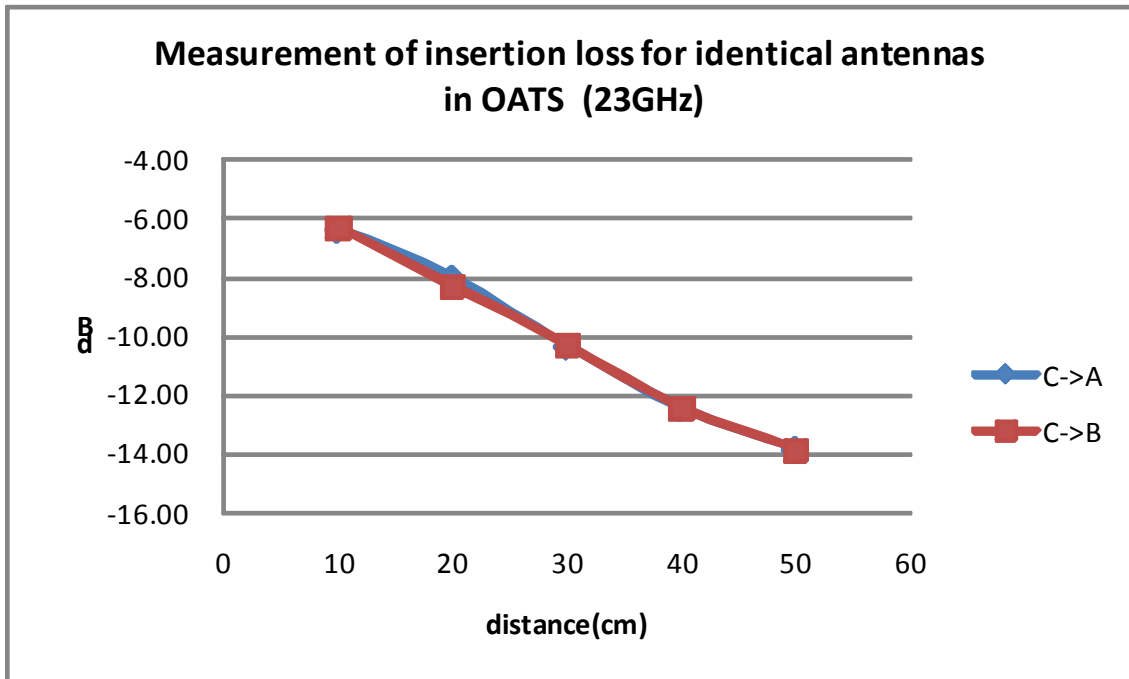
[그림 3-19] 주파수 20GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



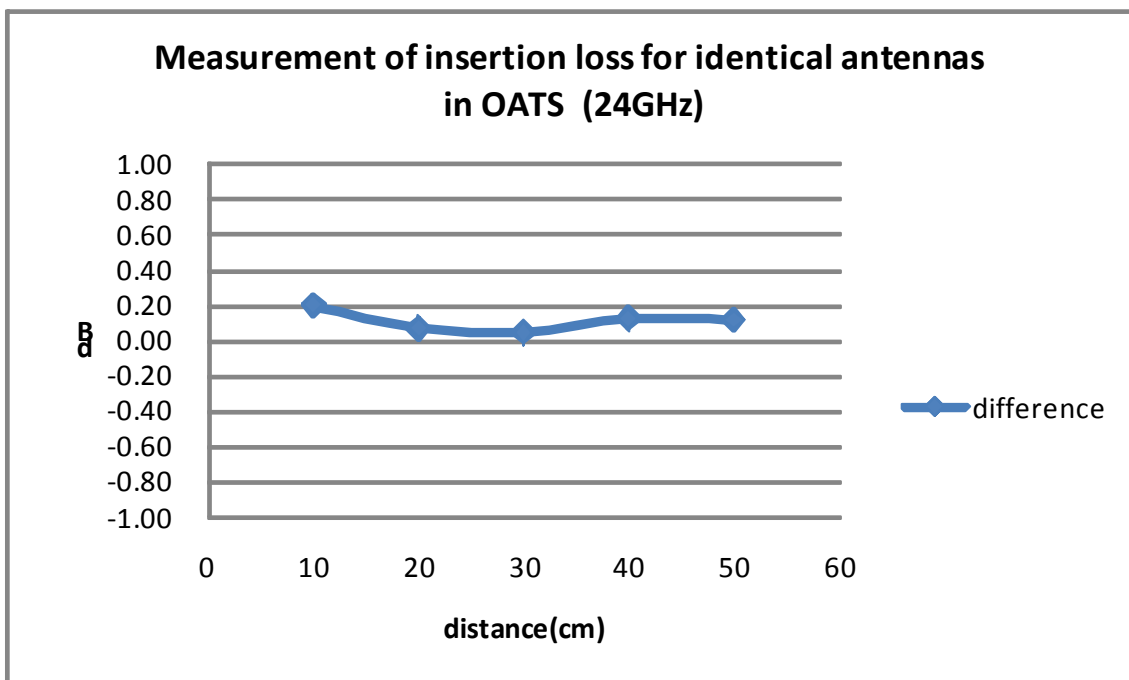
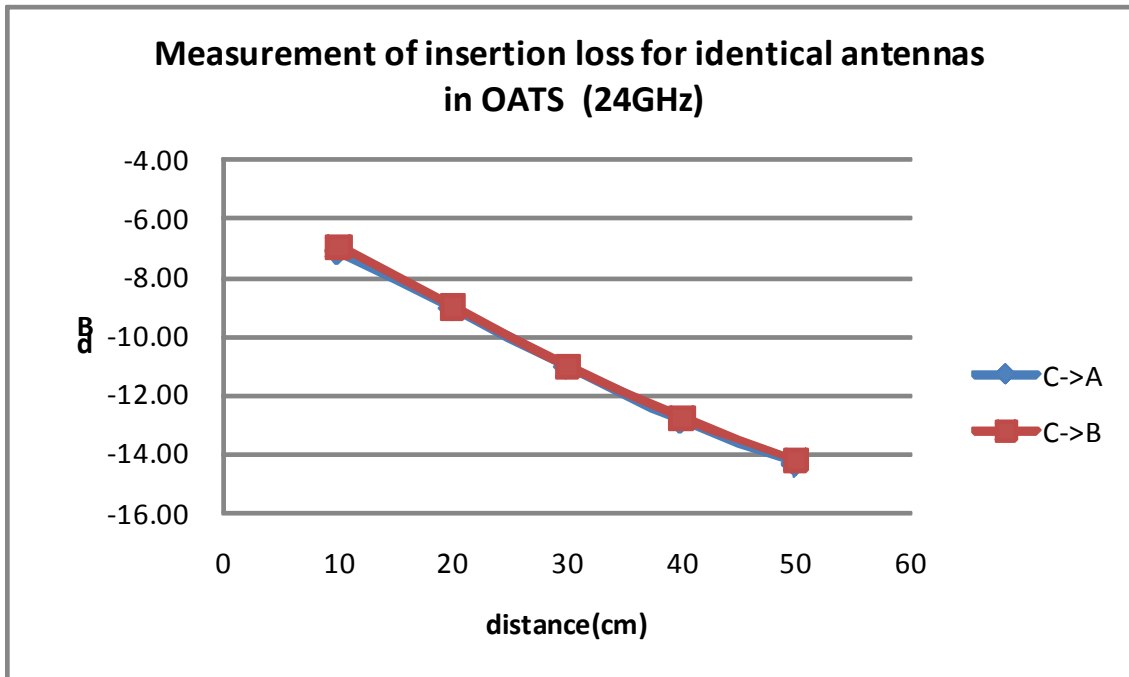
[그림 3-20] 주파수 21GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



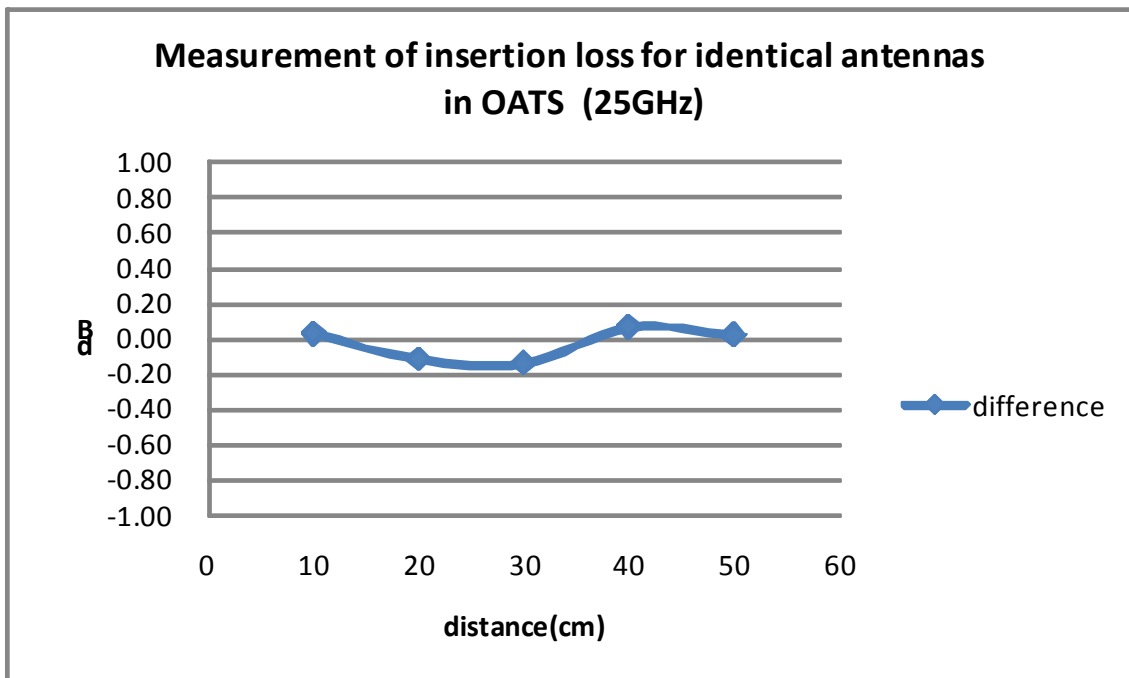
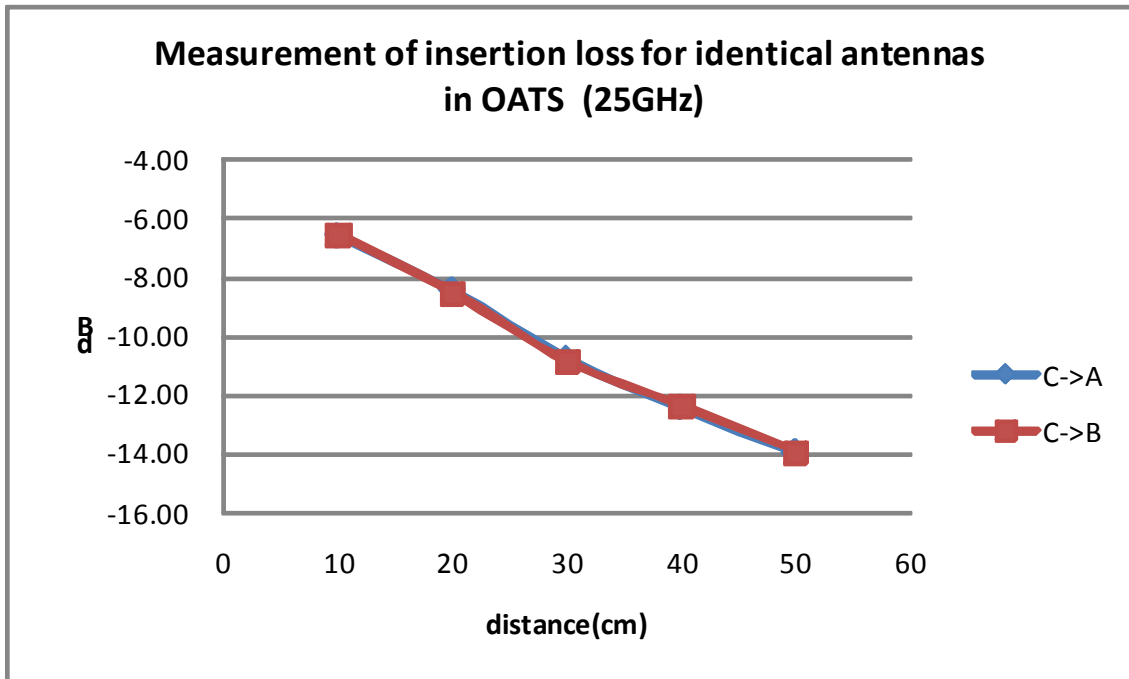
[그림 3-21] 주파수 22GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



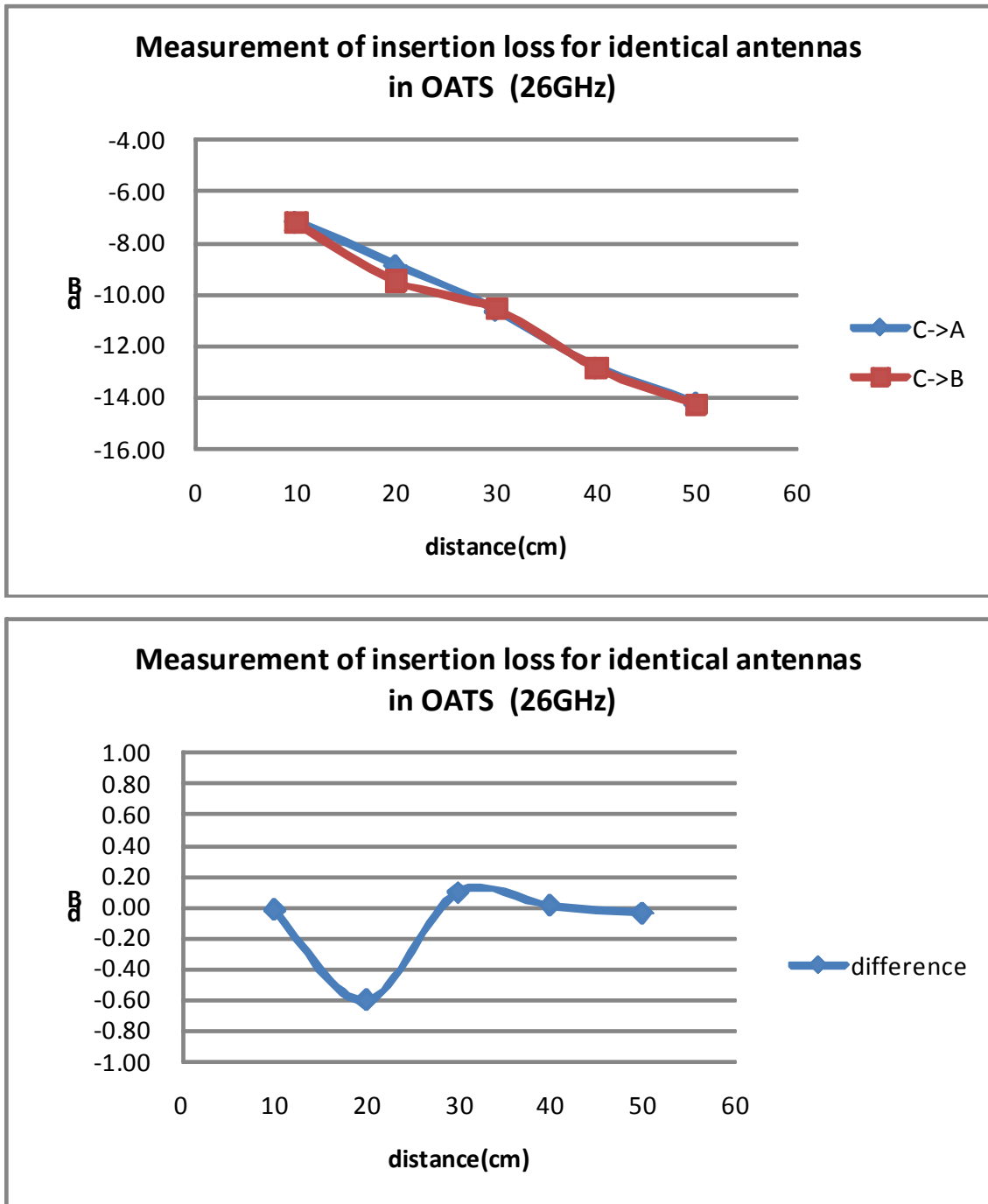
[그림 3-22] 주파수 23GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



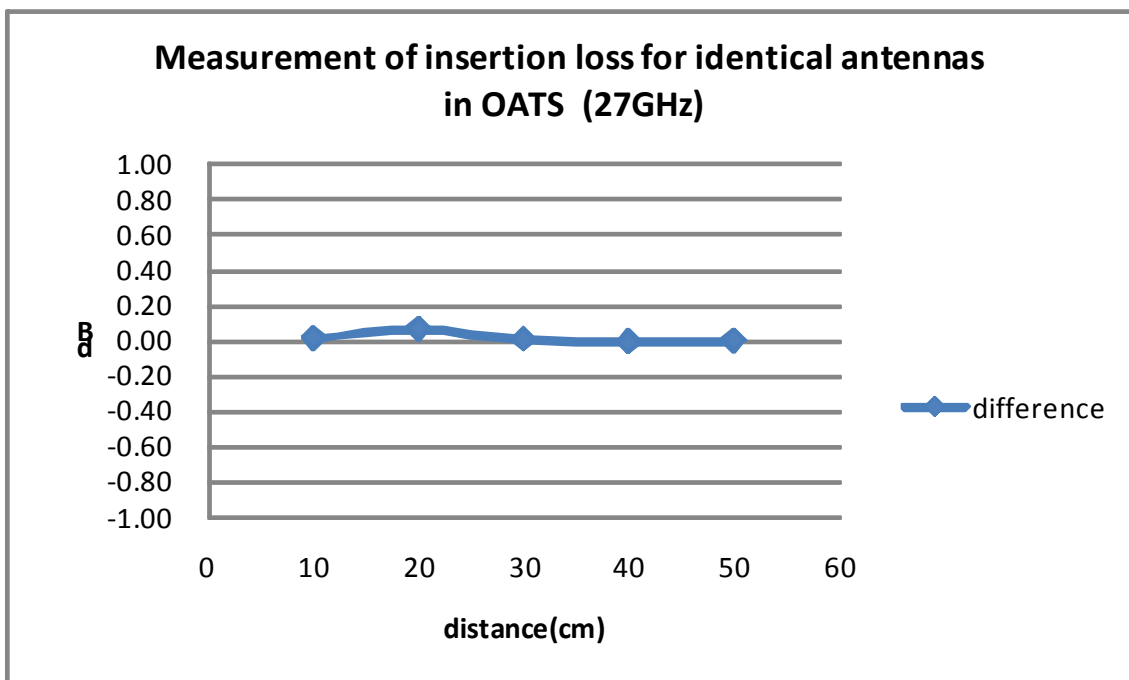
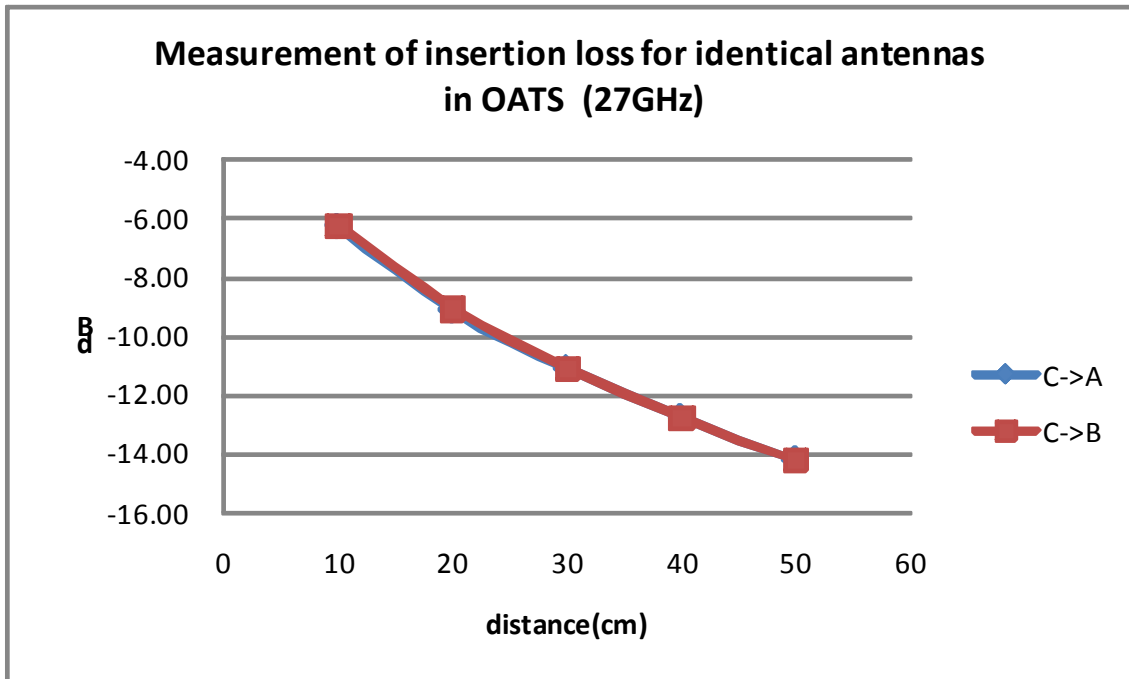
[그림 3-23] 주파수 24GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



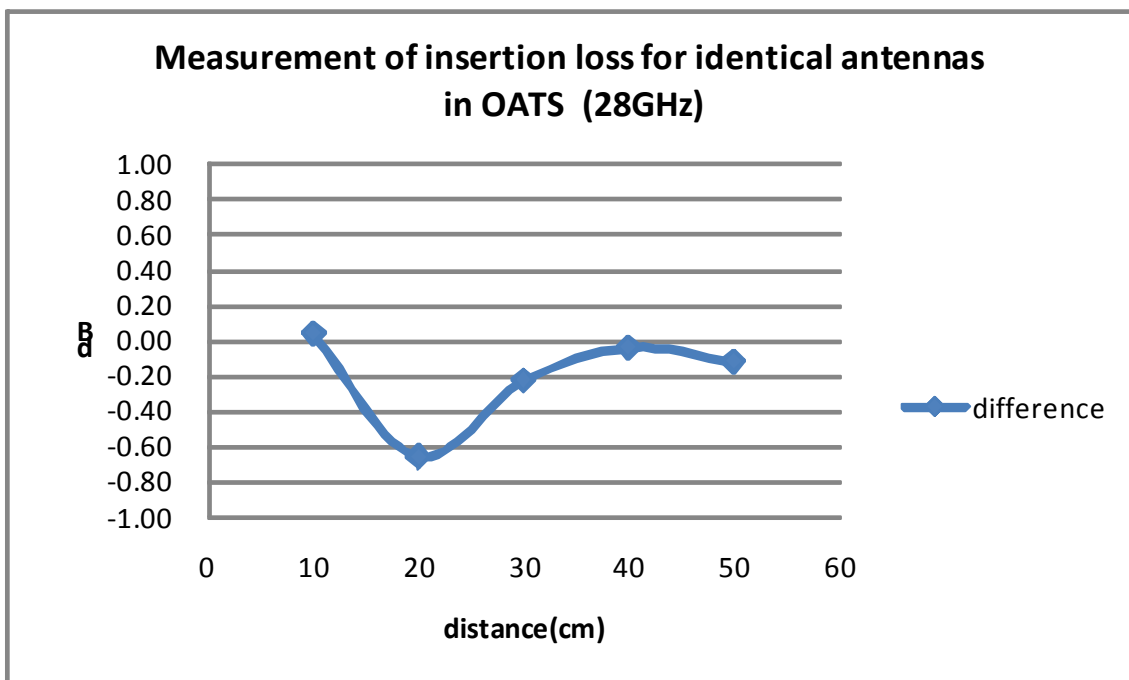
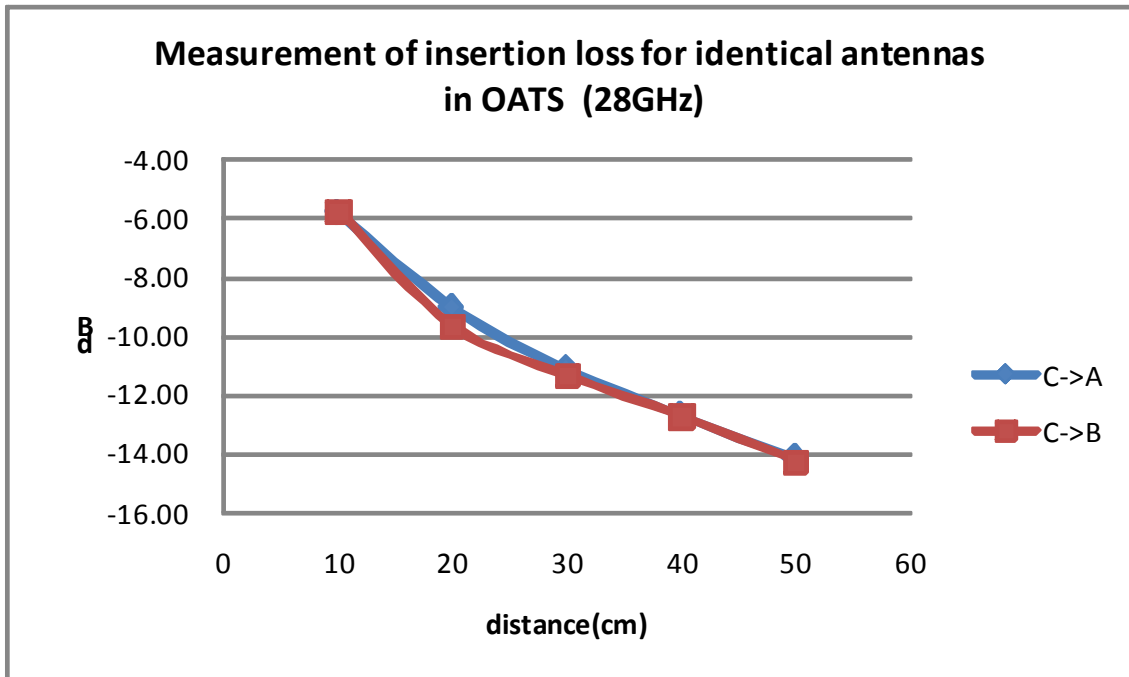
[그림 3-24] 주파수 25GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



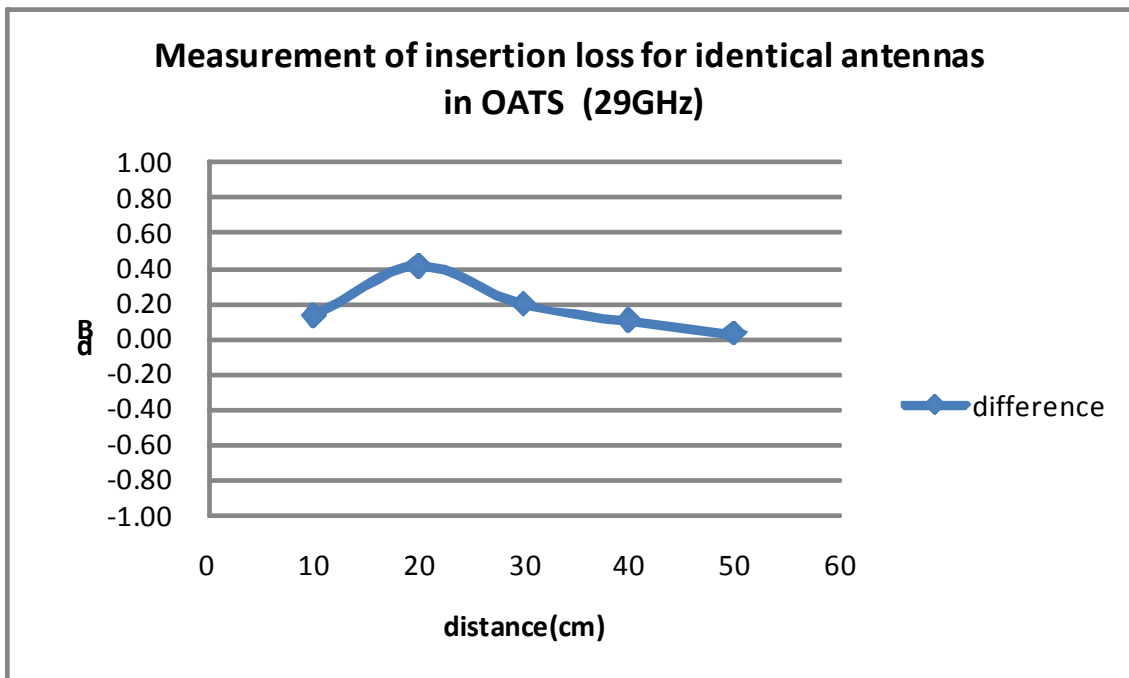
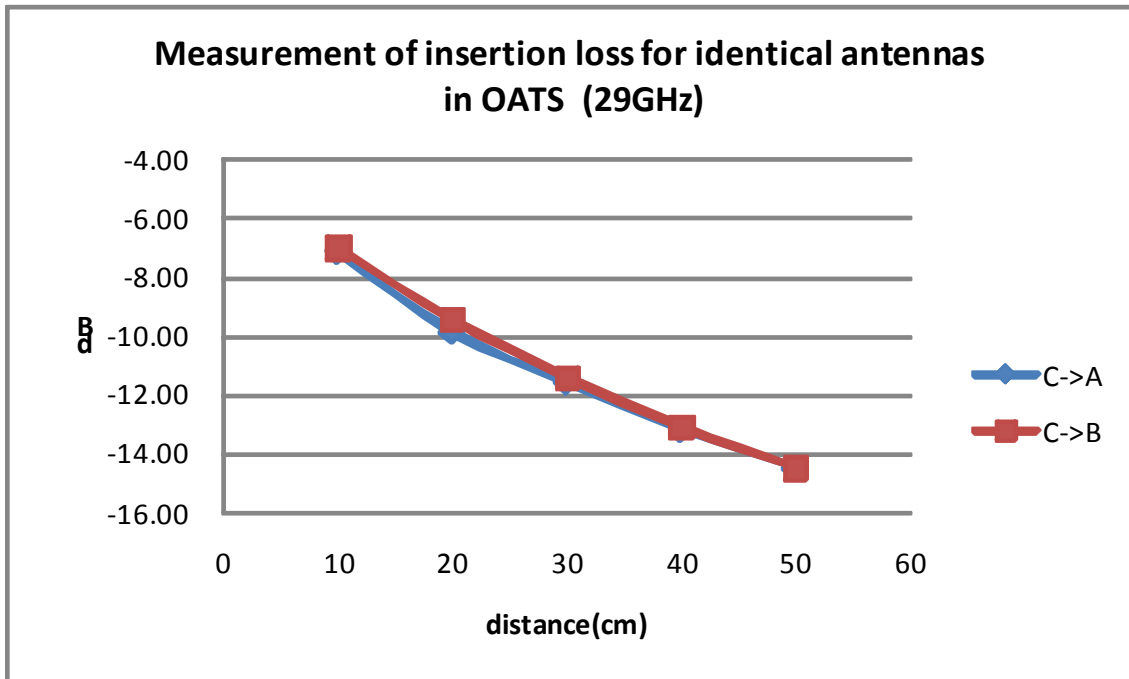
[그림 3-25] 주파수 26GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-26] 주파수 27GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-27] 주파수 28GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-28] 주파수 29GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석

1.2.3 18GHz ~ 26.5GHz 대역 안테나의 거리에 따른 동등성 변화 분석

수신안테나 A와 B의 송신안테나 C에 대한 감쇠량 측정값의 차이는 [그림 3-17]에서 [그림 3-28]에서 보는바와 같다. 거의 모든 주파수에서 10cm 거리에서 편차가 적다가 20cm 다소 편차가 크면서 다시 30cm, 40cm 및 50cm로 거리가 멀어지면서 그 편차는 다시 줄어드는 경향이 있다. 다만 28GHz에서 40cm에서 보다 50cm에서 그 편차는 조금 커진다. 거리에 따라 두 안테나 동등성 확인에 대한 감쇠량 편차의 구체적인 값은 [표 3-2]에서 확인할 수 있다. 측정에 사용된 계측기 네트워크분석기의 측정불확도가 0.1dB, 기타 고주파 케이블의 커넥터 연결 및 안정도 등의 불확도가 약 0.2dB, 기타 시험장 불확도, 주위잡음, 안테나 높이와 거리 오차, 혼안테나 주빔 방향 오차 등을 고려할 때 이 대역의 안테나는 동등성이 있다고 판단되며 현재의 데이터로 보면 29GHz까지 동등성을 확인할 수가 있다. 다만 20cm에서 다소 큰 차이를 보이는 것은 안테나 사이의 근거리장 영역에서 상호작용의 복잡성에 기인한다고 보여진다. 이는 별도로 연구할 필요가 있는 부분이라 생각된다.

[표 3-2] 안테나 A와 B의 동등성 확인을 위한 감쇠량 편차(A-B)

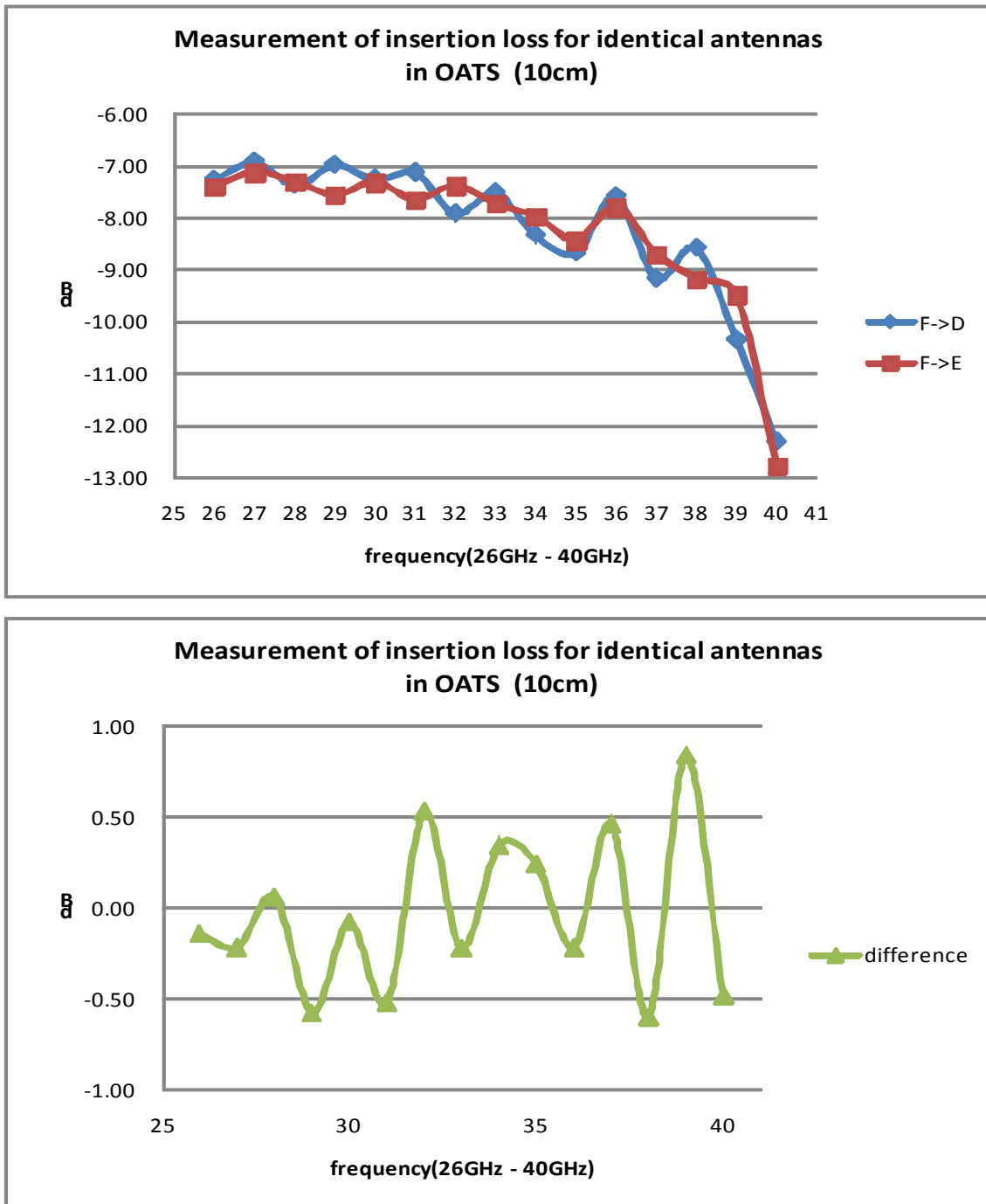
단위: dB	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	0.03	-0.21	-0.05	0.06	0.09
19GHz	0.00	0.15	0.02	0.07	0.11
20GHz	0.26	-0.09	0.12	0.14	0.13
21GHz	0.22	-0.01	0.11	0.21	0.21
22GHz	-0.08	0.37	-0.09	0.02	0.01
23GHz	0.08	-0.32	0.05	0.02	-0.01
24GHz	0.19	0.07	0.04	0.12	0.11
25GHz	0.03	-0.12	-0.15	0.06	0.02
26GHz	-0.02	-0.61	0.10	0.01	-0.04
27GHz	0.01	0.06	0.00	-0.01	0.00
28GHz	0.04	-0.67	-0.23	-0.05	-0.12
29GHz	0.12	0.41	0.19	0.10	0.02

1.3 26GHz ~ 40GHz 대역에 대한 검증

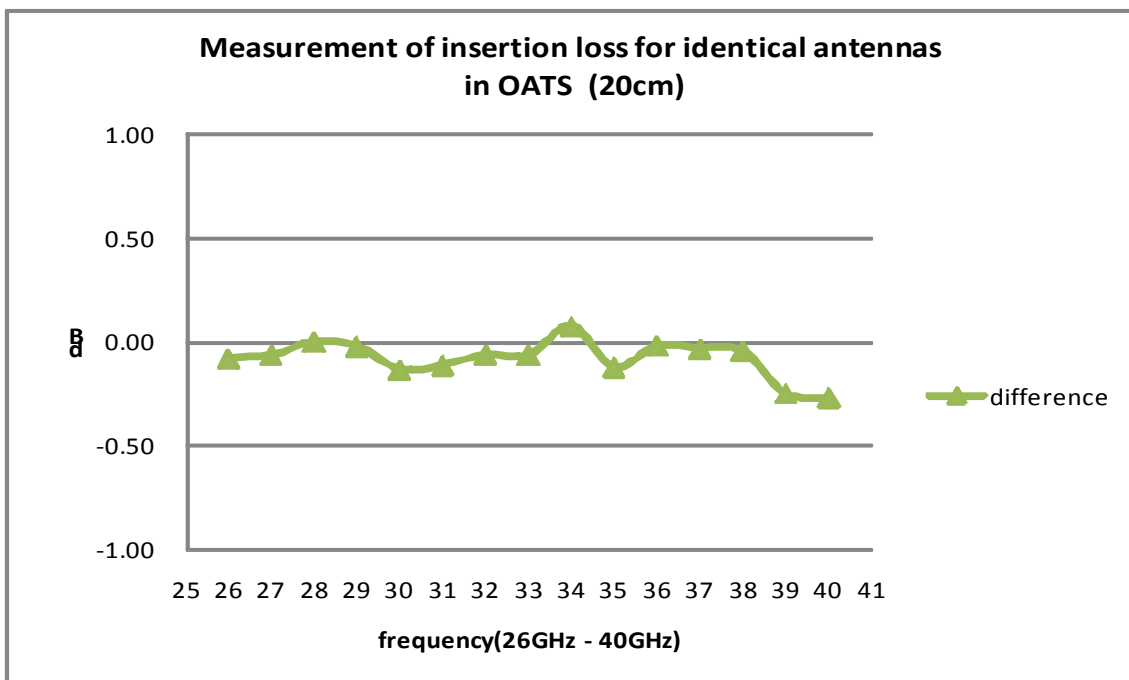
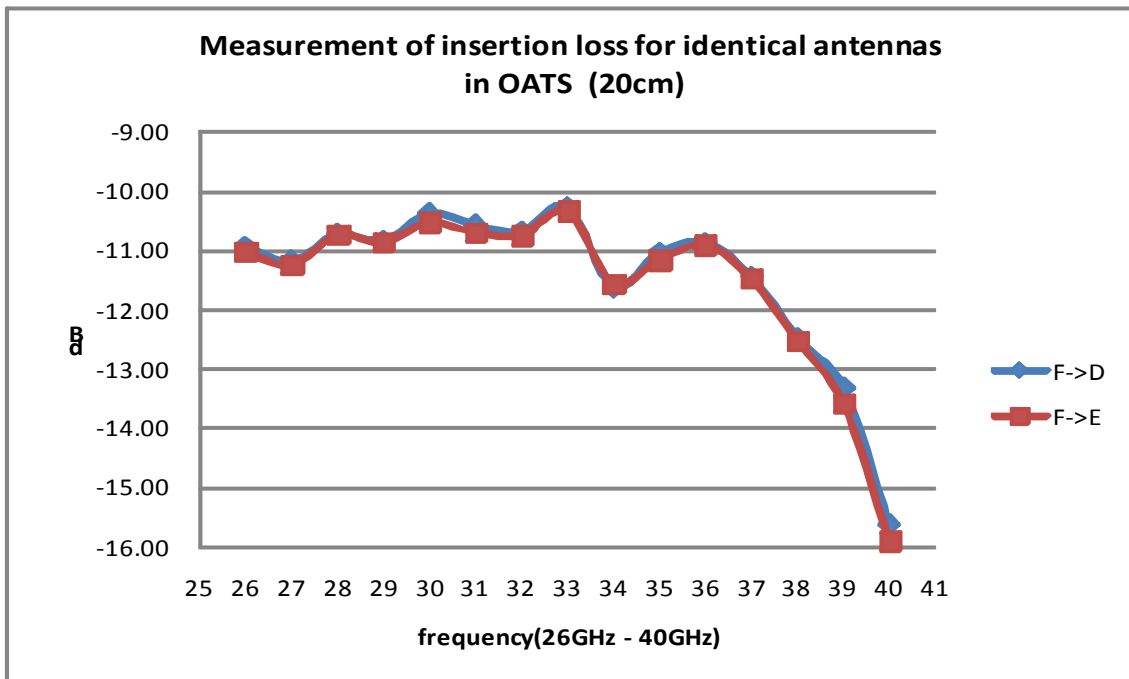
[표 3-3] 안테나 D와 F의 동등성 확인을 위한 감쇠량 데이터

		10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm
F-D	26 GHz	-7.41	-11.03	-13.64	-15.83	-17.69
	27 GHz	-7.14	-11.26	-14.01	-16.12	-17.86
	28 GHz	-7.31	-10.73	-13.57	-15.74	-17.48
	29 GHz	-7.57	-10.87	-13.61	-15.69	-17.41
	30 GHz	-7.33	-10.53	-13.19	-15.30	-16.98
	31 GHz	-7.66	-10.69	-13.23	-15.25	-16.98
	32 GHz	-7.39	-10.75	-13.36	-15.35	-17.13
	33 GHz	-7.73	-10.34	-12.88	-14.89	-16.61
	34 GHz	-7.99	-11.56	-13.90	-15.86	-17.52
	35 GHz	-8.44	-11.16	-13.06	-15.30	-17.22
	36 GHz	-7.81	-10.91	-13.42	-15.44	-17.07
	37 GHz	-8.71	-11.48	-13.97	-16.14	-17.64
	38 GHz	-9.18	-12.53	-15.04	-16.72	-18.38
	39 GHz	-9.50	-13.57	-15.94	-18.17	-19.43
	40 GHz	-12.79	-15.90	-17.95	-19.98	-21.63
F-E	26 GHz	-7.26	-10.95	-13.59	-15.77	-17.59
	27 GHz	-6.92	-11.19	-13.96	-16.09	-17.80
	28 GHz	-7.37	-10.73	-13.62	-15.75	-17.46
	29 GHz	-6.98	-10.84	-13.57	-15.68	-17.36
	30 GHz	-7.25	-10.39	-13.12	-15.20	-16.88
	31 GHz	-7.13	-10.58	-13.09	-15.16	-16.88
	32 GHz	-7.92	-10.69	-13.33	-15.33	-17.07
	33 GHz	-7.51	-10.27	-12.79	-14.85	-16.54
	34 GHz	-8.33	-11.64	-13.97	-15.95	-17.60
	35 GHz	-8.68	-11.04	-13.08	-15.36	-17.16
	36 GHz	-7.58	-10.89	-13.47	-15.45	-17.08
	37 GHz	-9.17	-11.45	-14.08	-16.14	-17.55
	38 GHz	-8.58	-12.48	-14.97	-16.61	-18.28
	39 GHz	-10.34	-13.32	-16.11	-17.96	-19.35
	40 GHz	-12.31	-15.63	-17.59	-19.71	-21.38

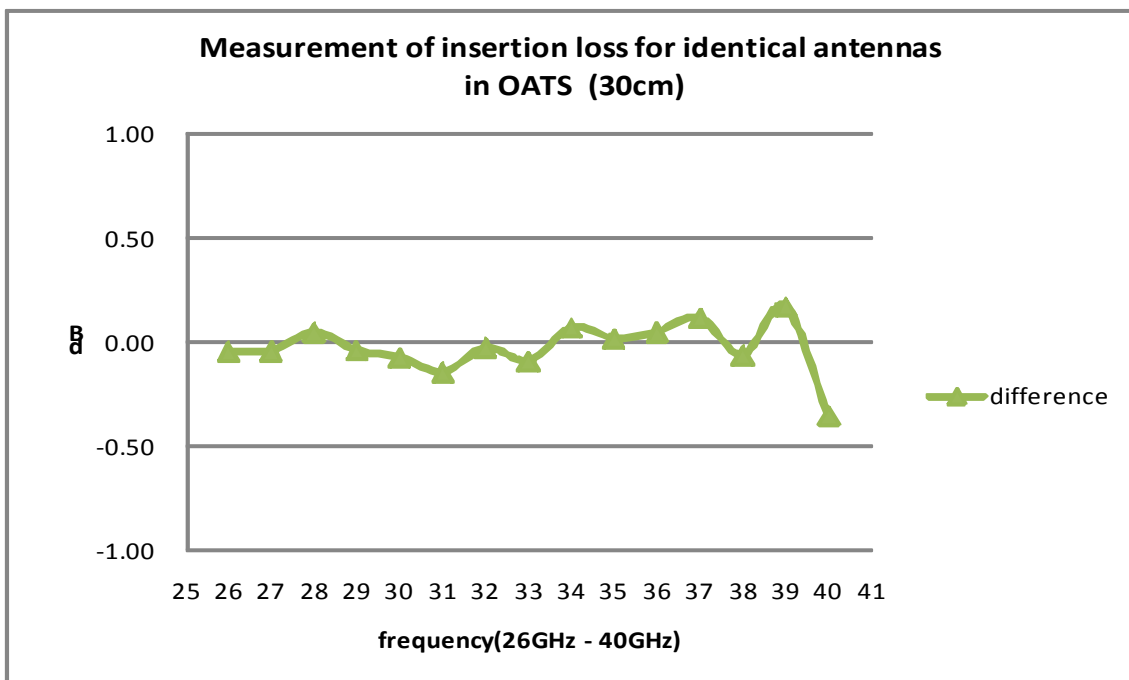
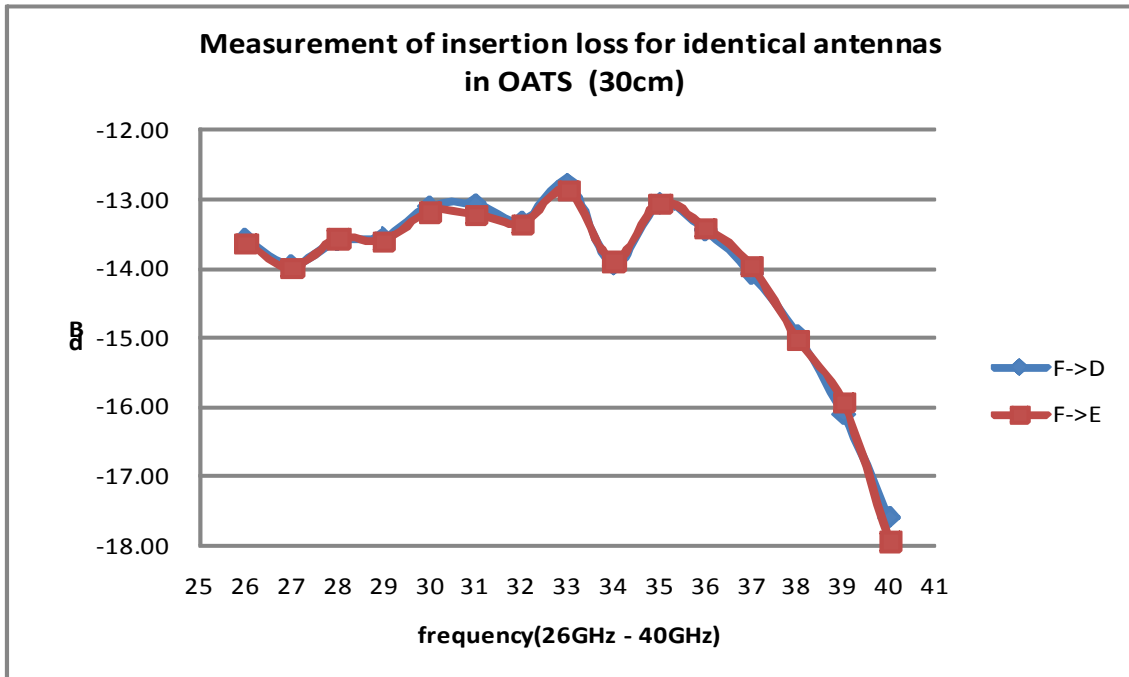
1.3.1 고정된 거리에서 주파수에 따른 측정 데이터



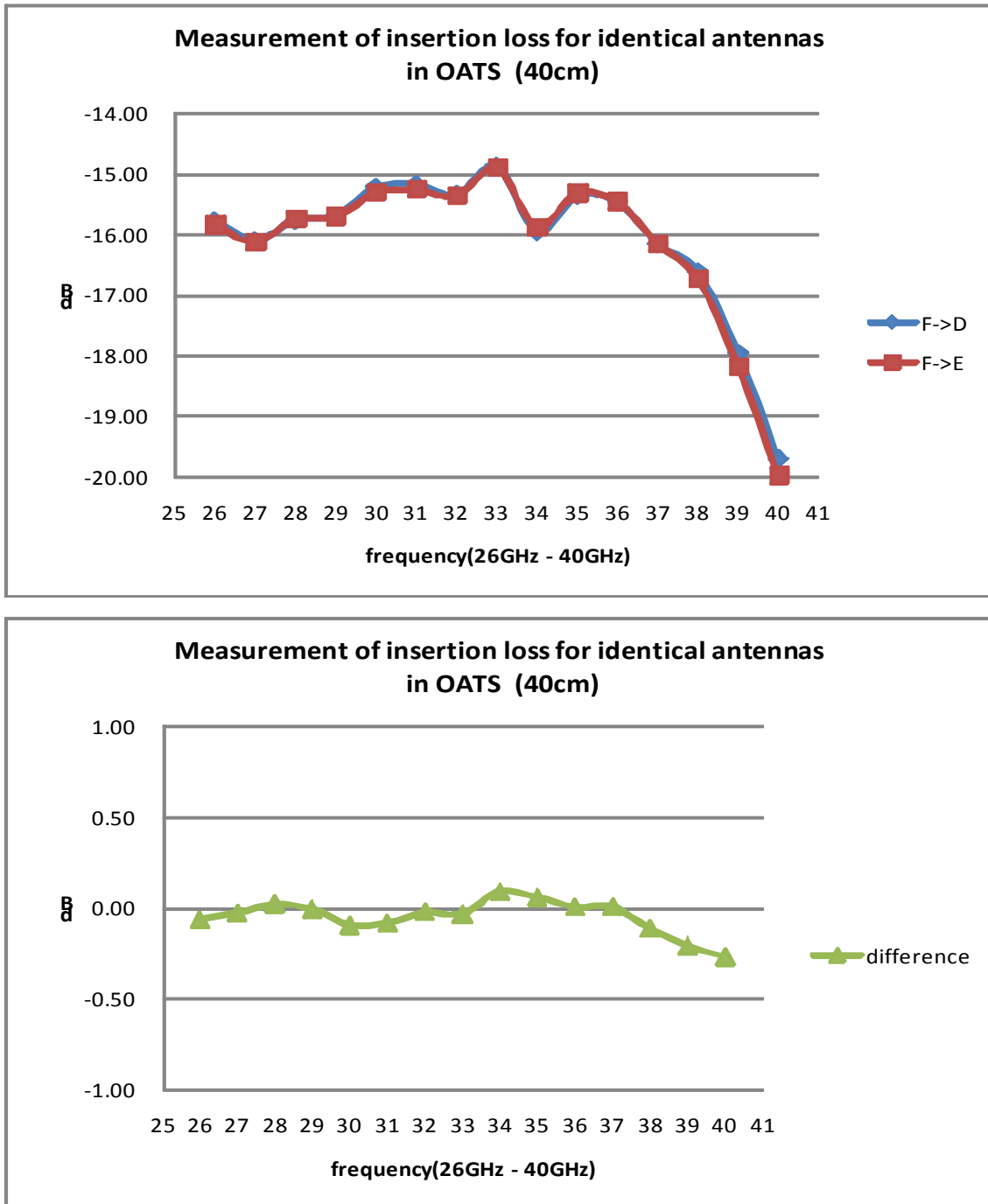
[그림 3-29] 안테나 사이의 10cm 거리에서 측정결과



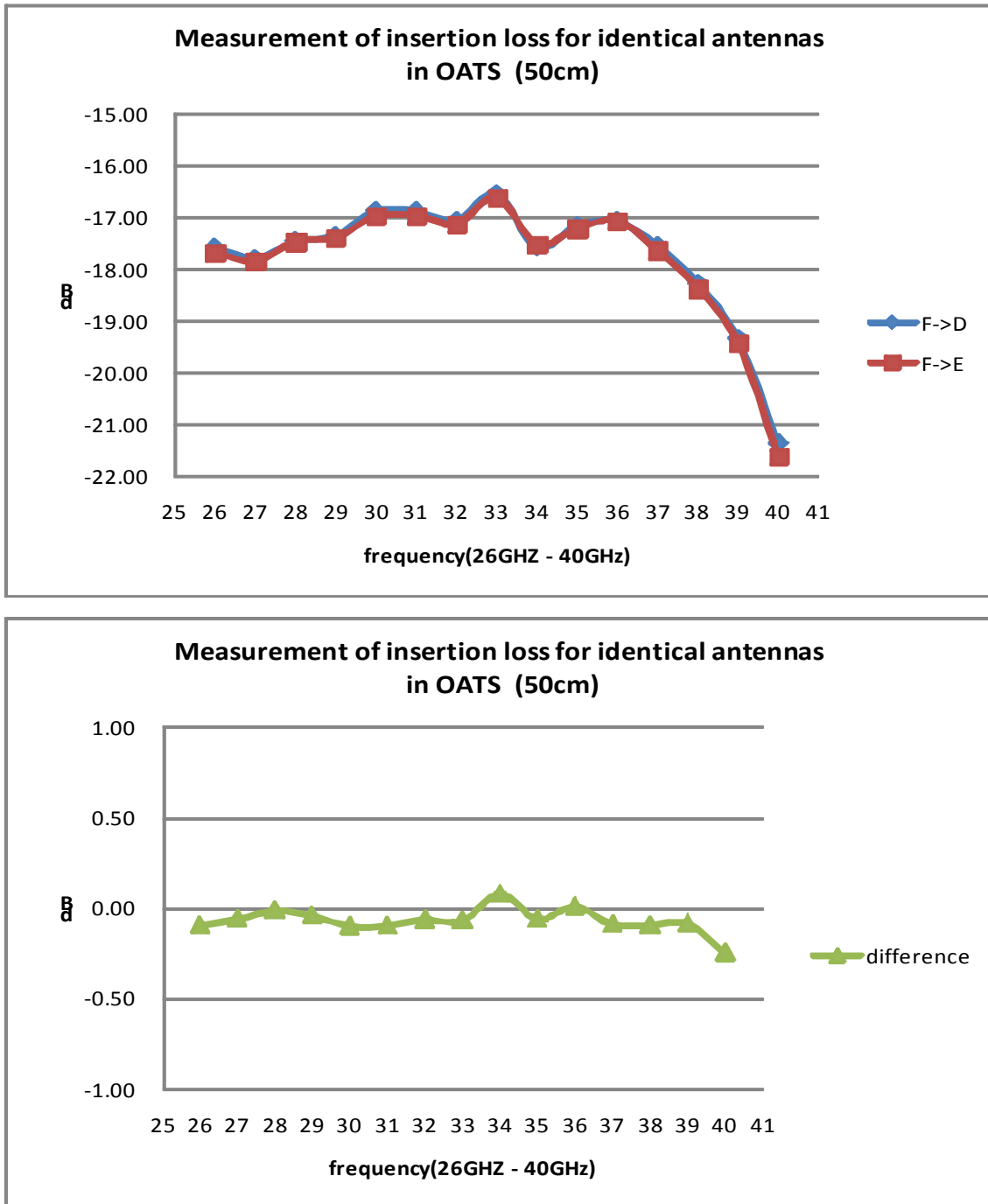
[그림 3-30] 안테나 사이의 20cm 거리에서 측정결과



[그림 3-31] 안테나 사이의 30cm 거리에서 측정결과

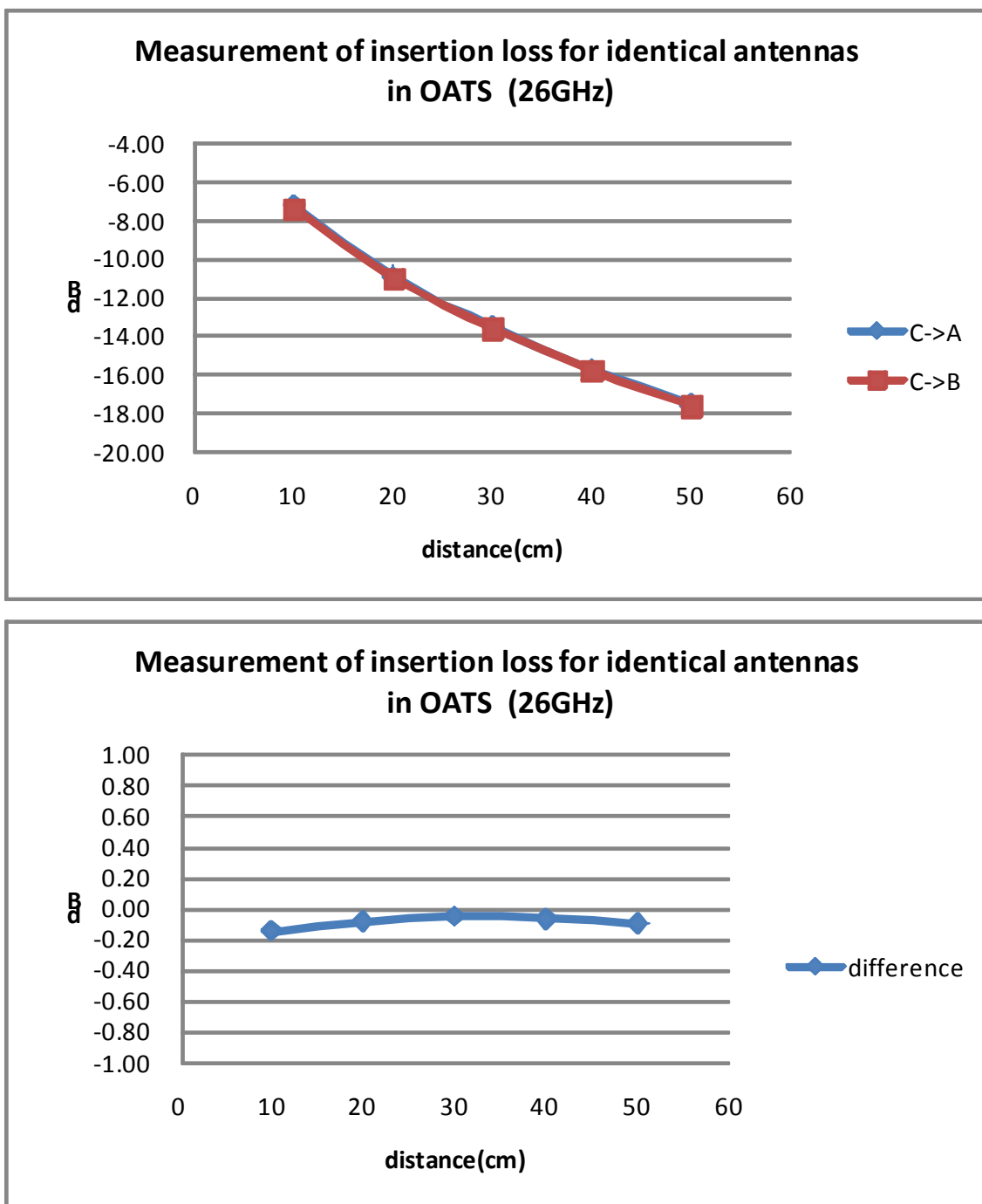


[그림 3-32] 안테나 사이의 40cm 거리에서 측정결과

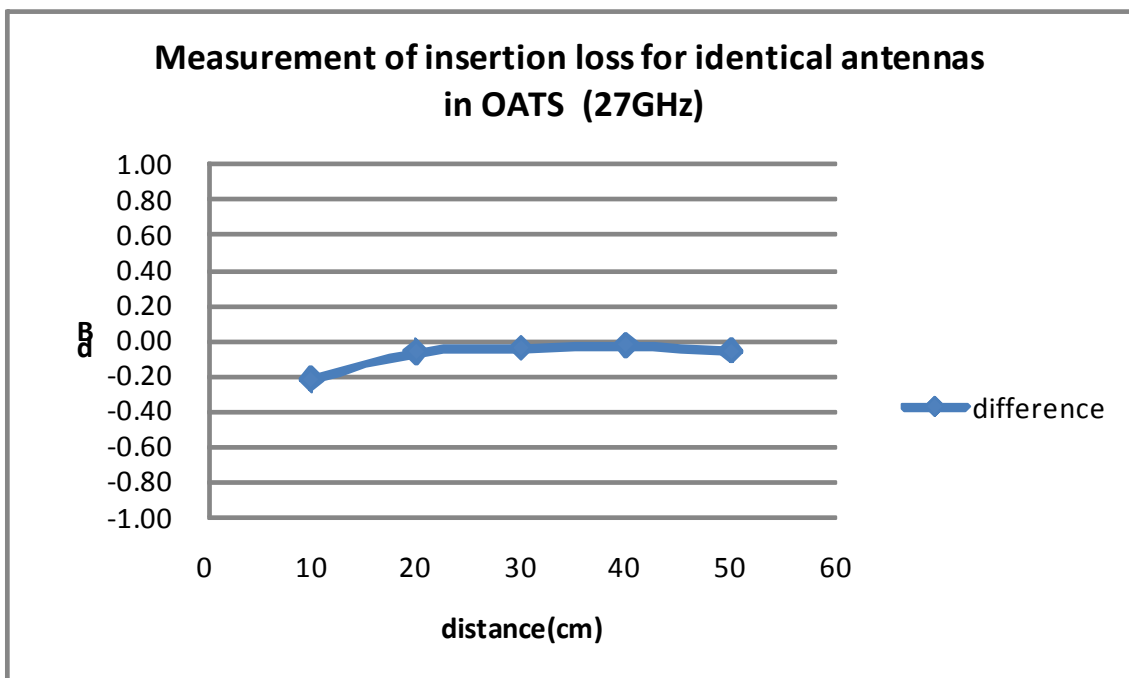
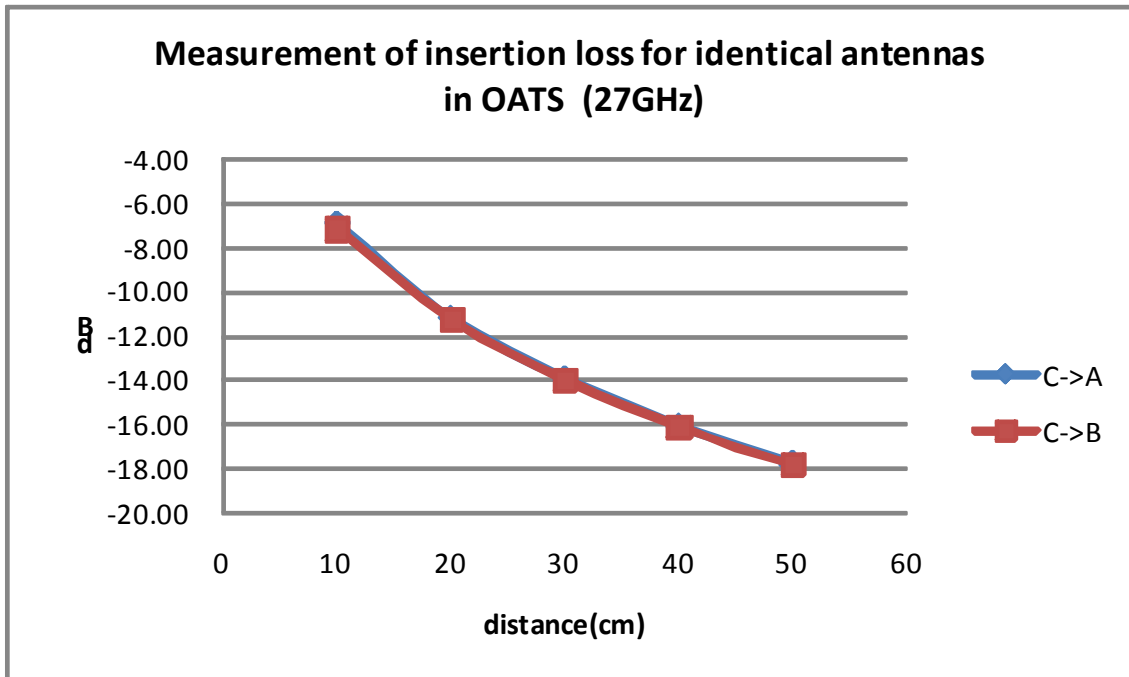


[그림 3-33] 안테나 사이의 50cm 거리에서 측정결과

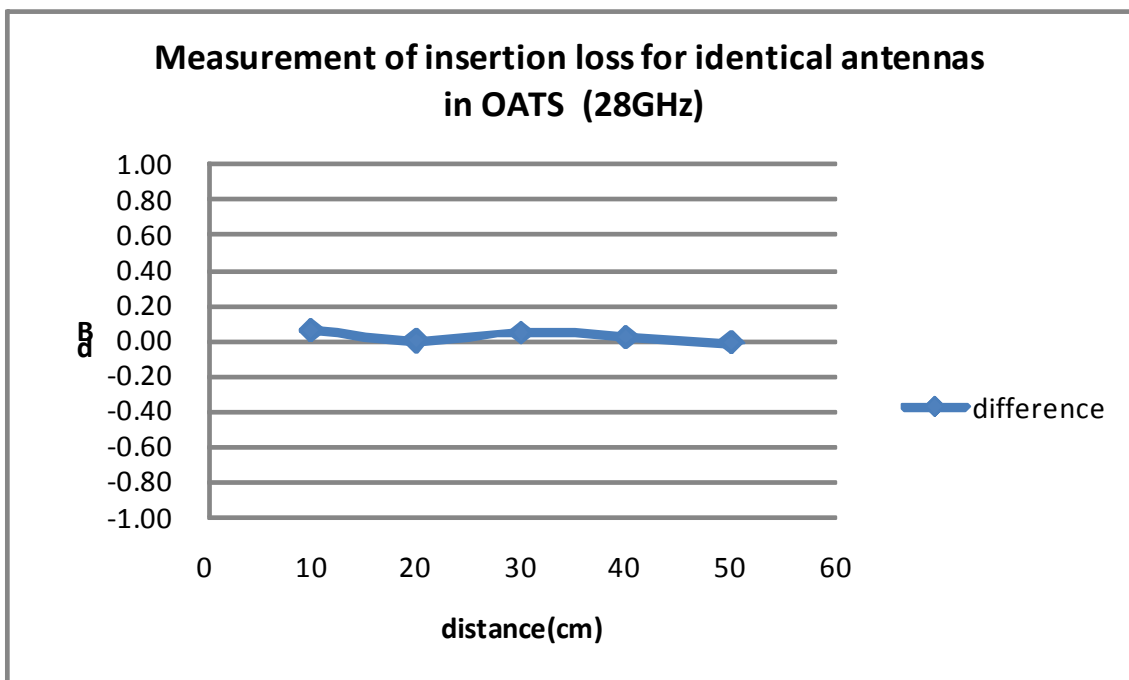
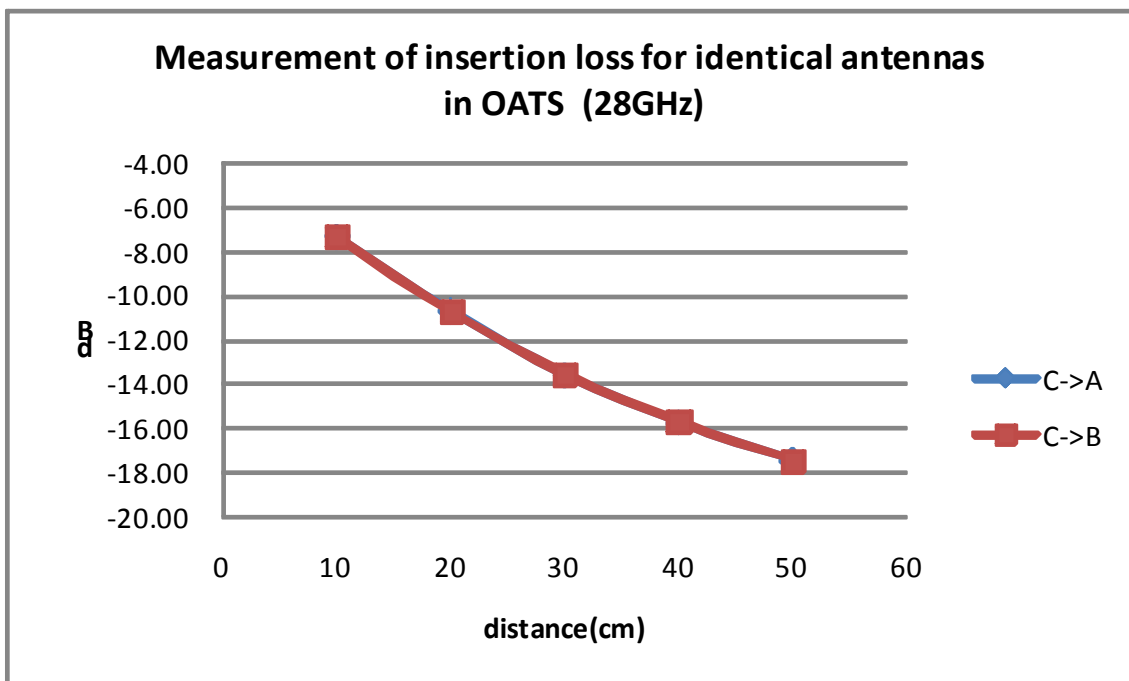
1.3.2 고정된 주파수에서 거리에 따른 측정 데이터



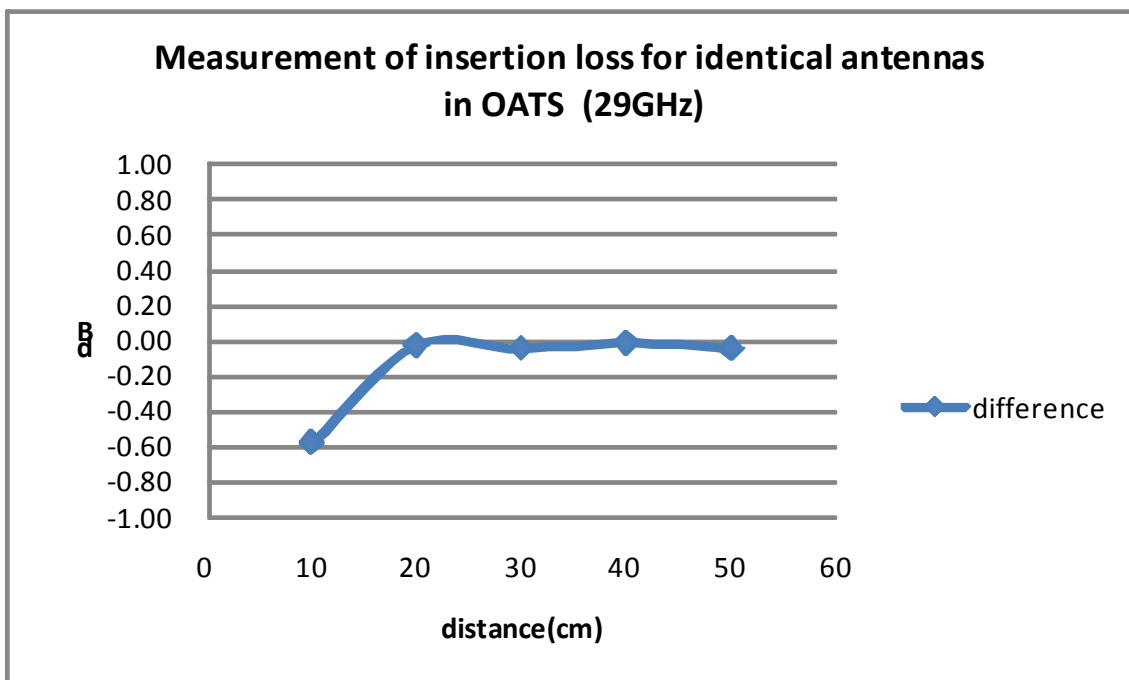
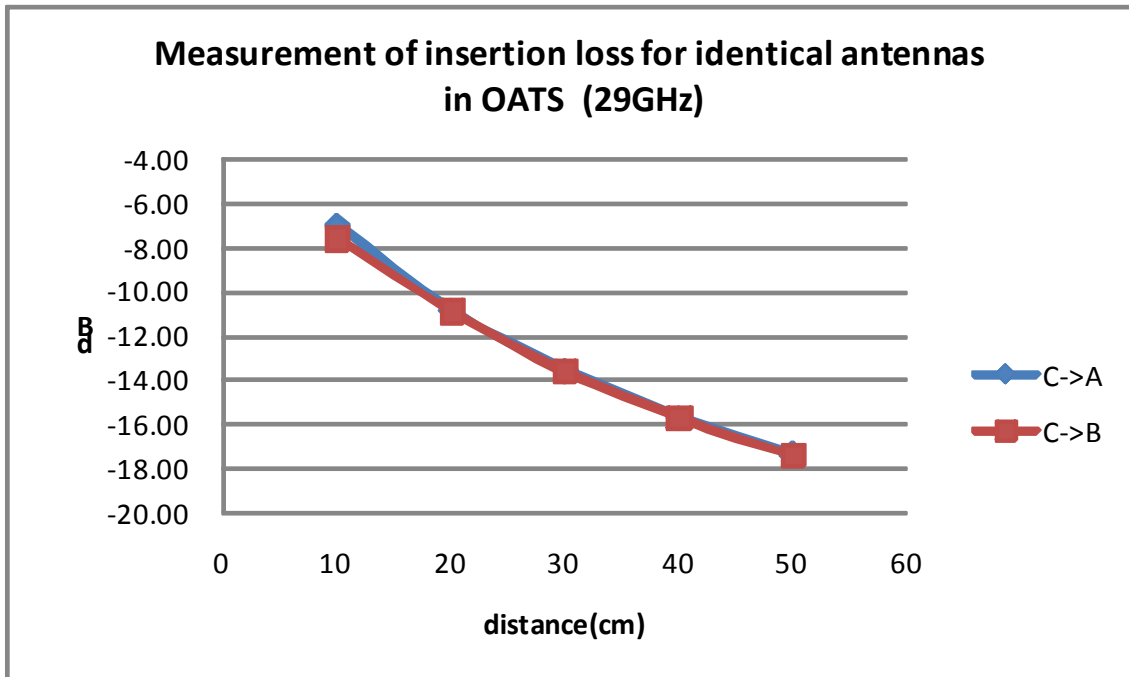
[그림 3-34] 주파수 26GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



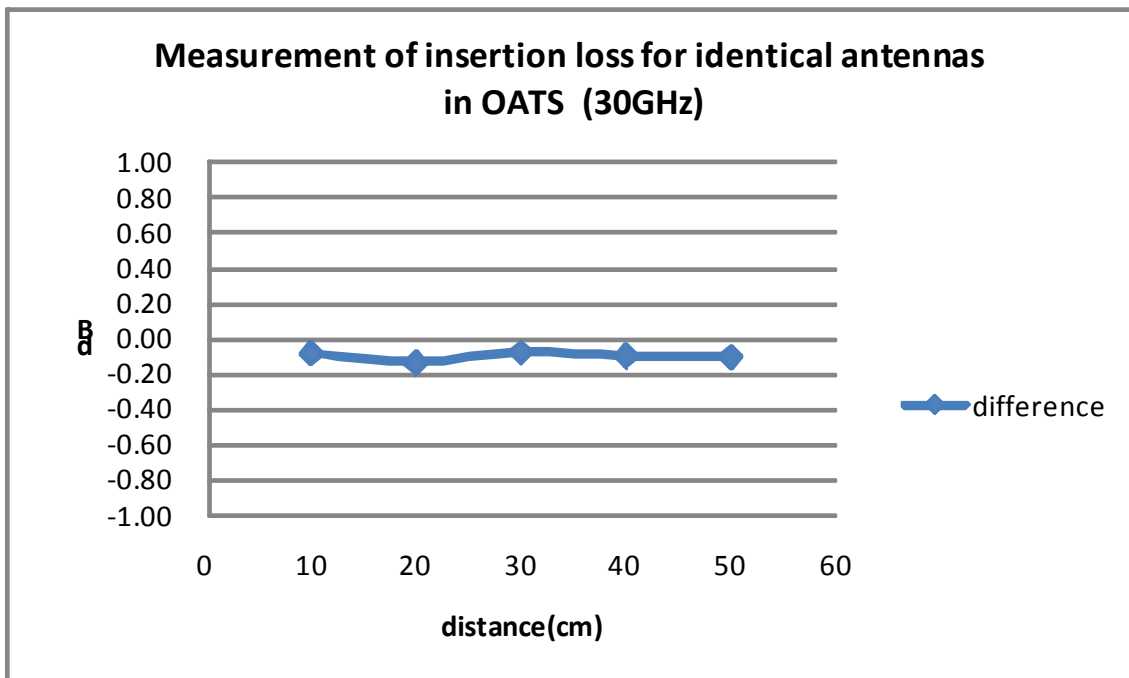
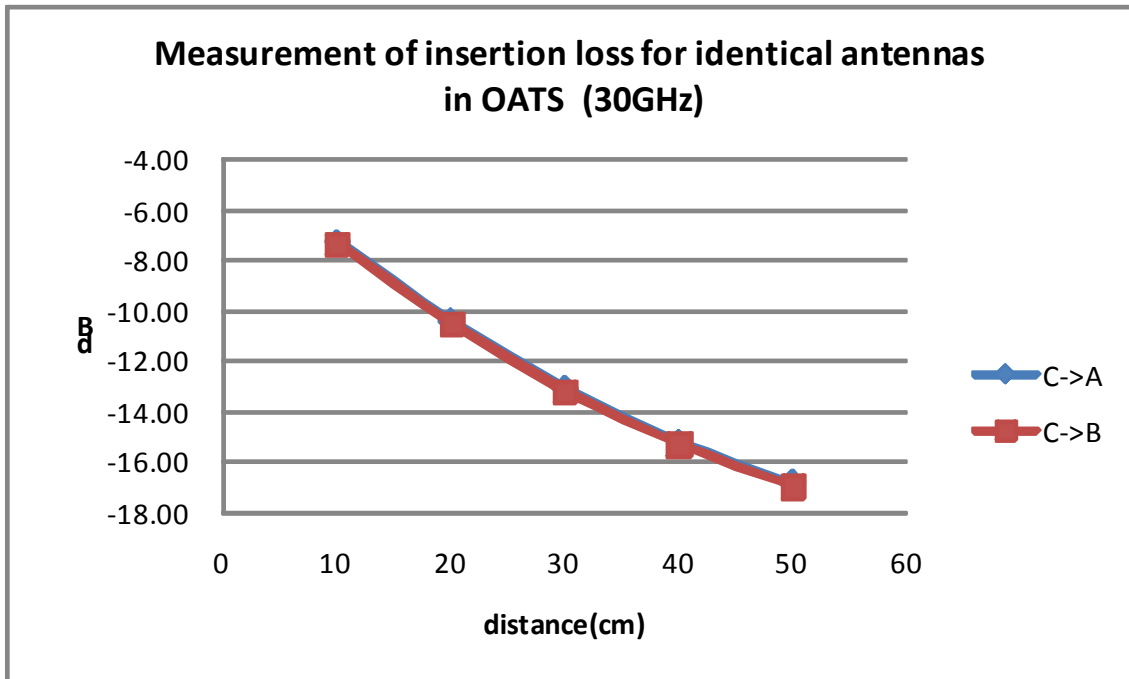
[그림 3-35] 주파수 27GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



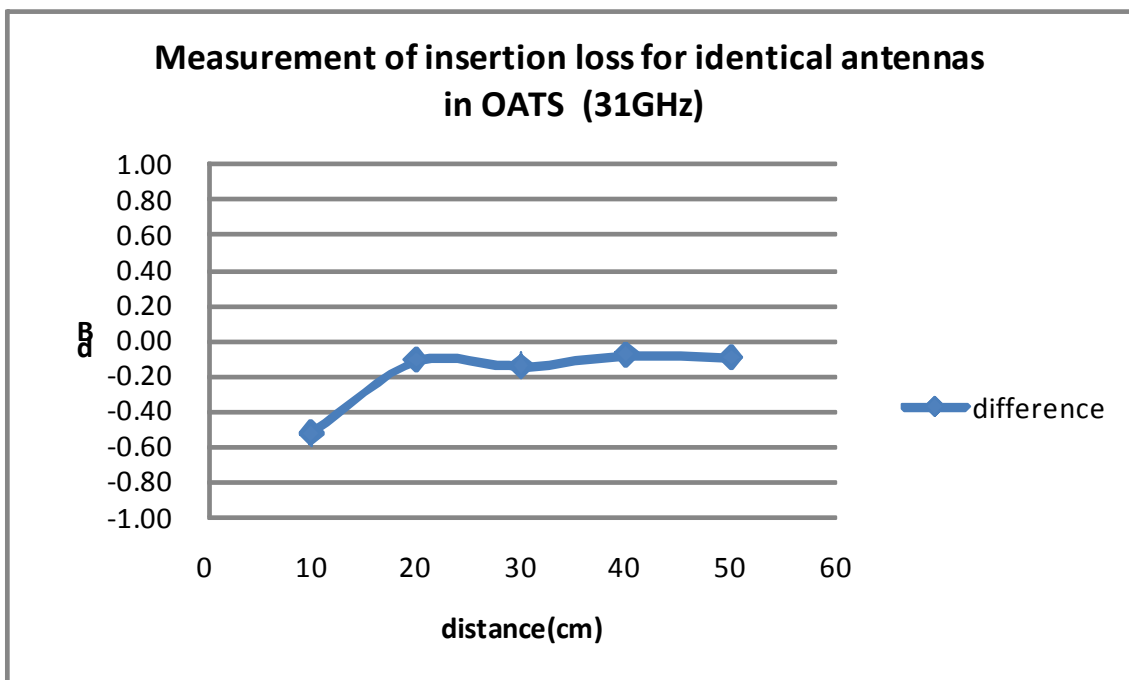
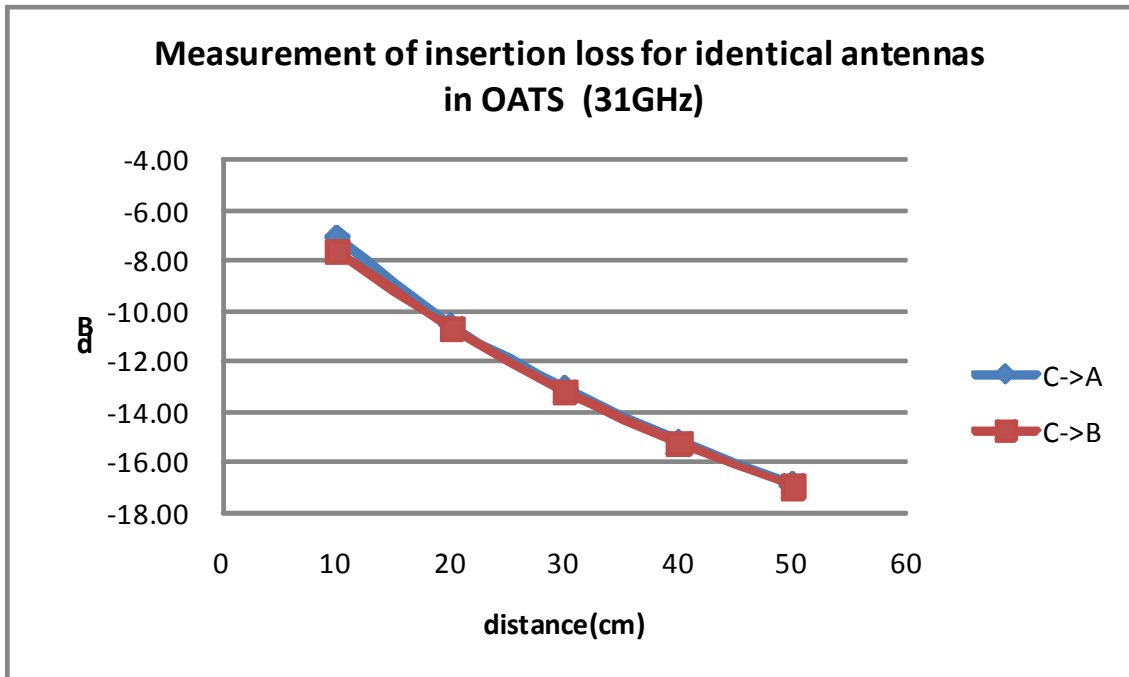
[그림 3-36] 주파수 28GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



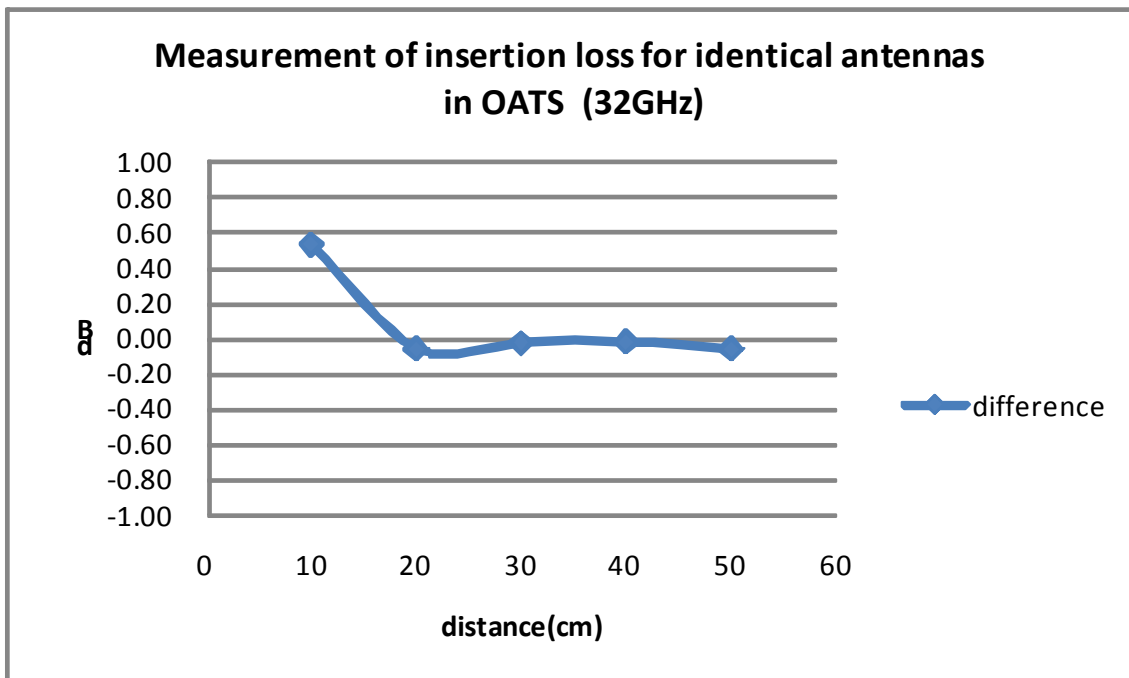
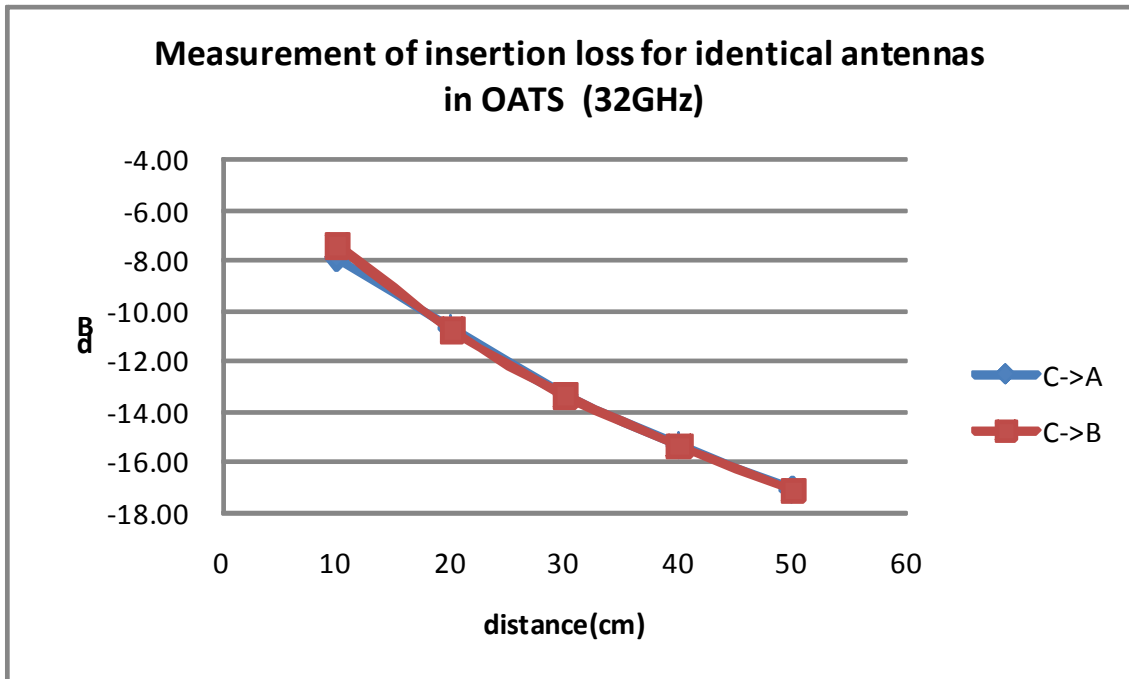
[그림 3-37] 주파수 29GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



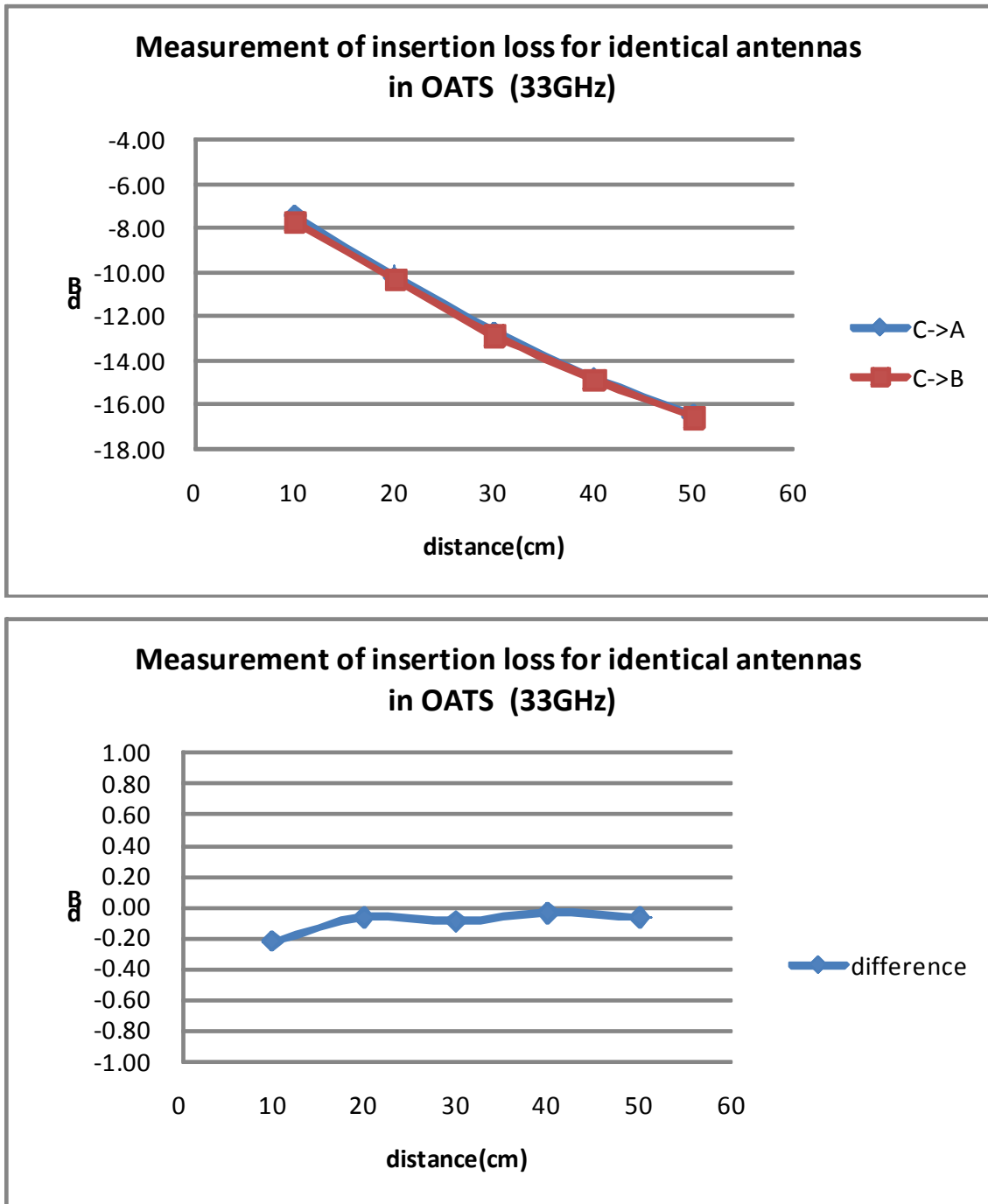
[그림 3-38] 주파수 30GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



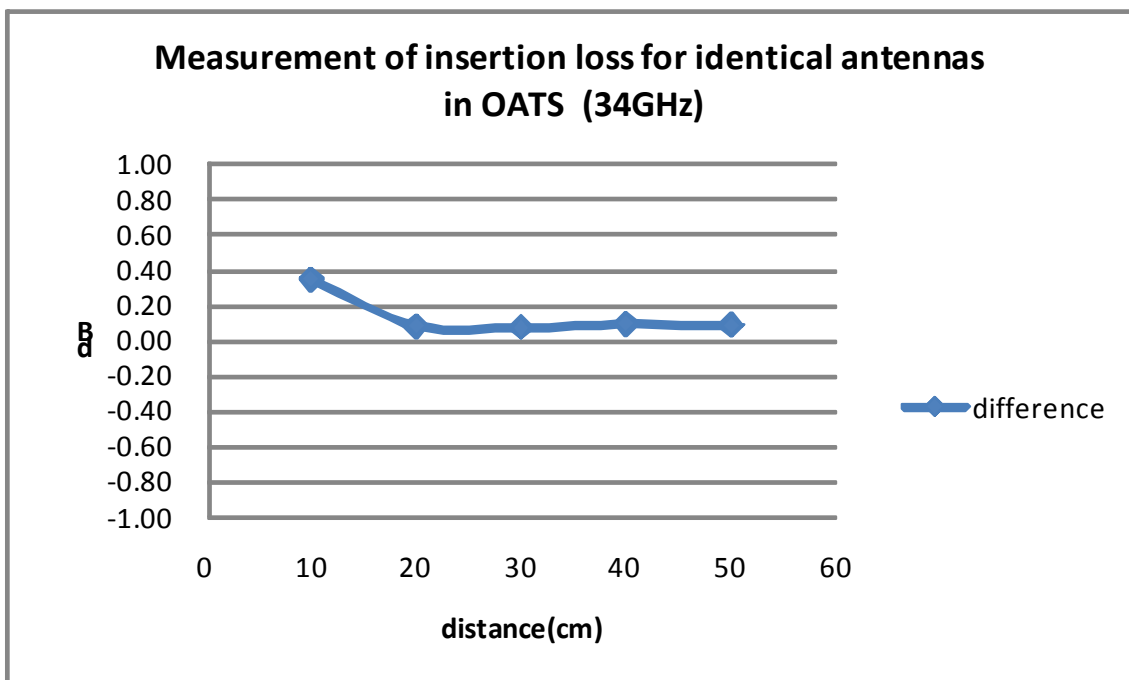
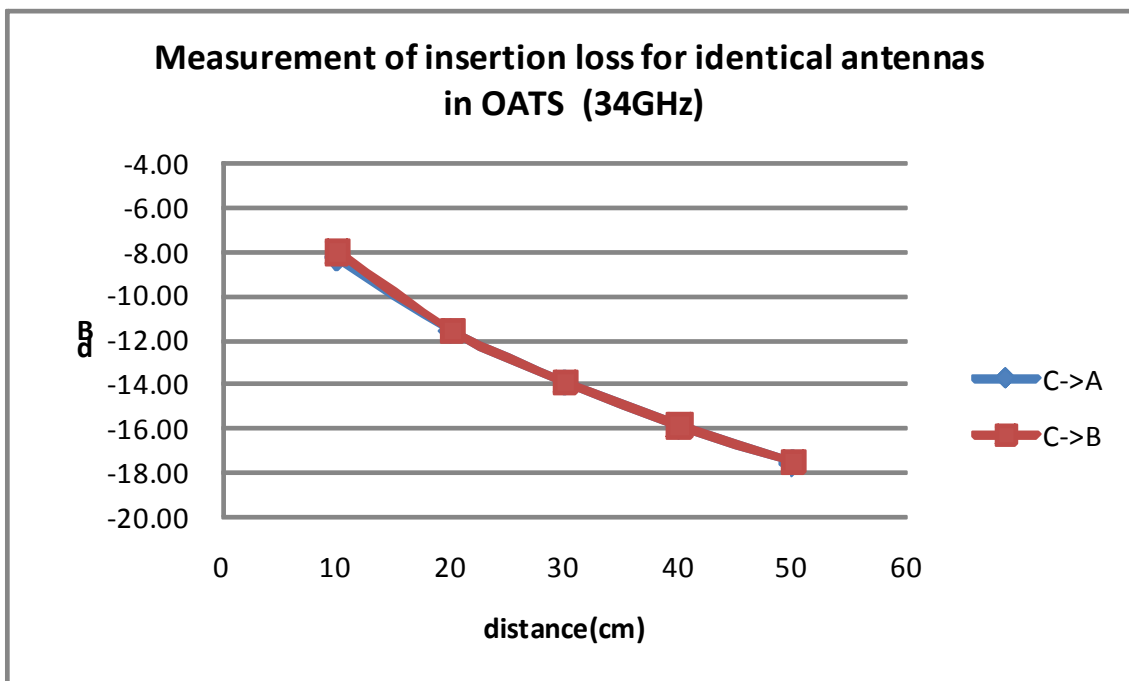
[그림 3-39] 주파수 31GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



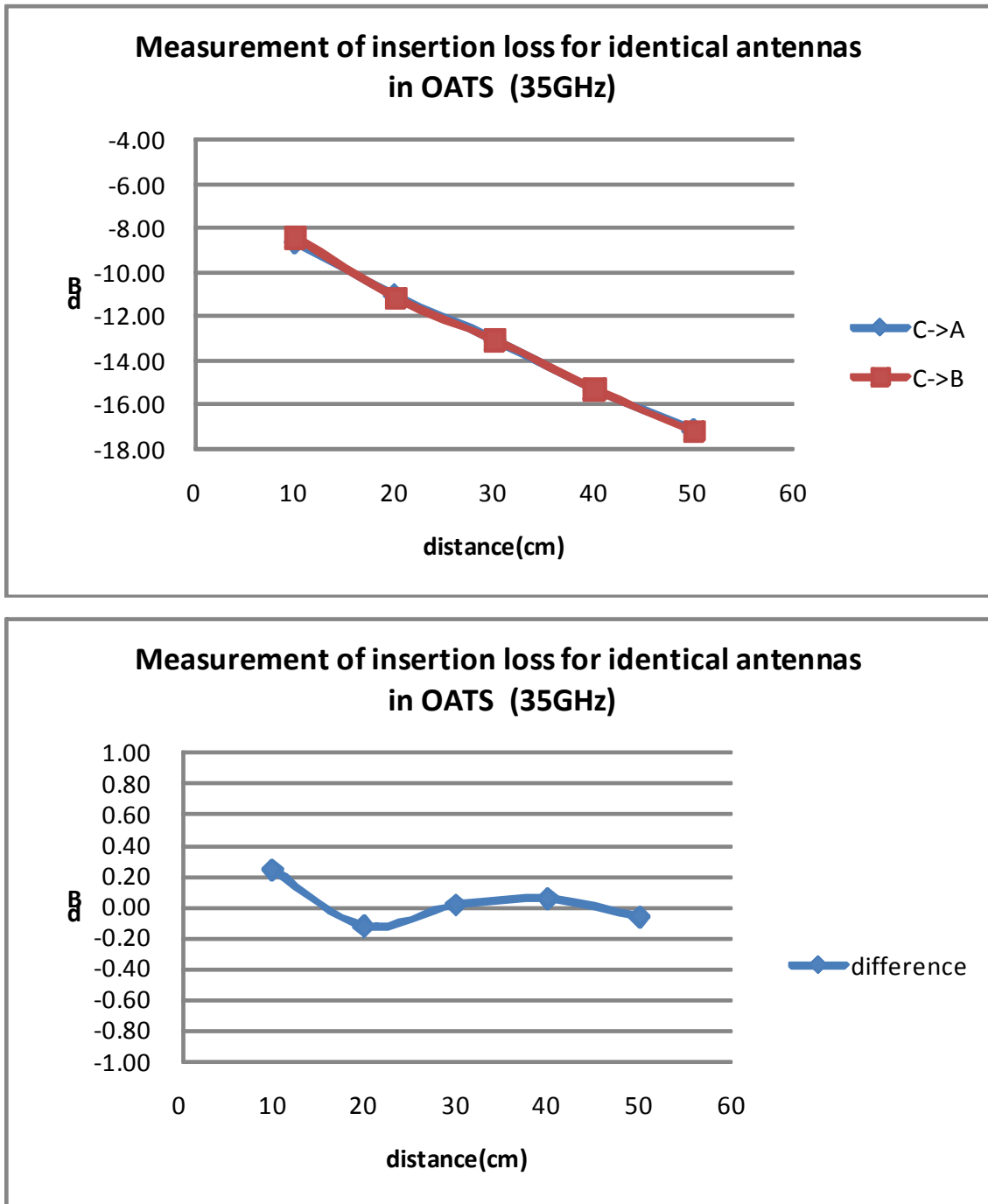
[그림 3-40] 주파수 32GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



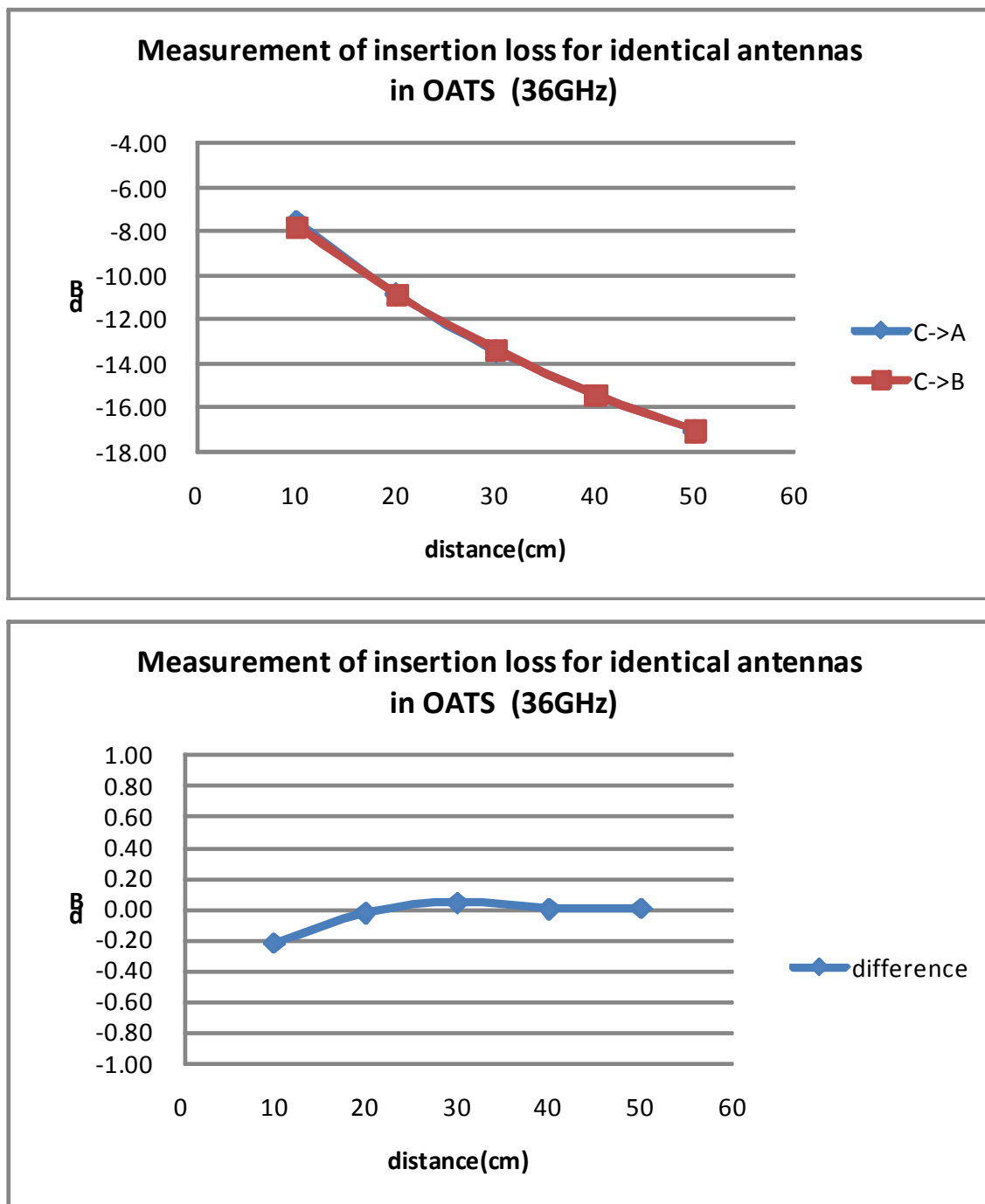
[그림 3-41] 주파수 33GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



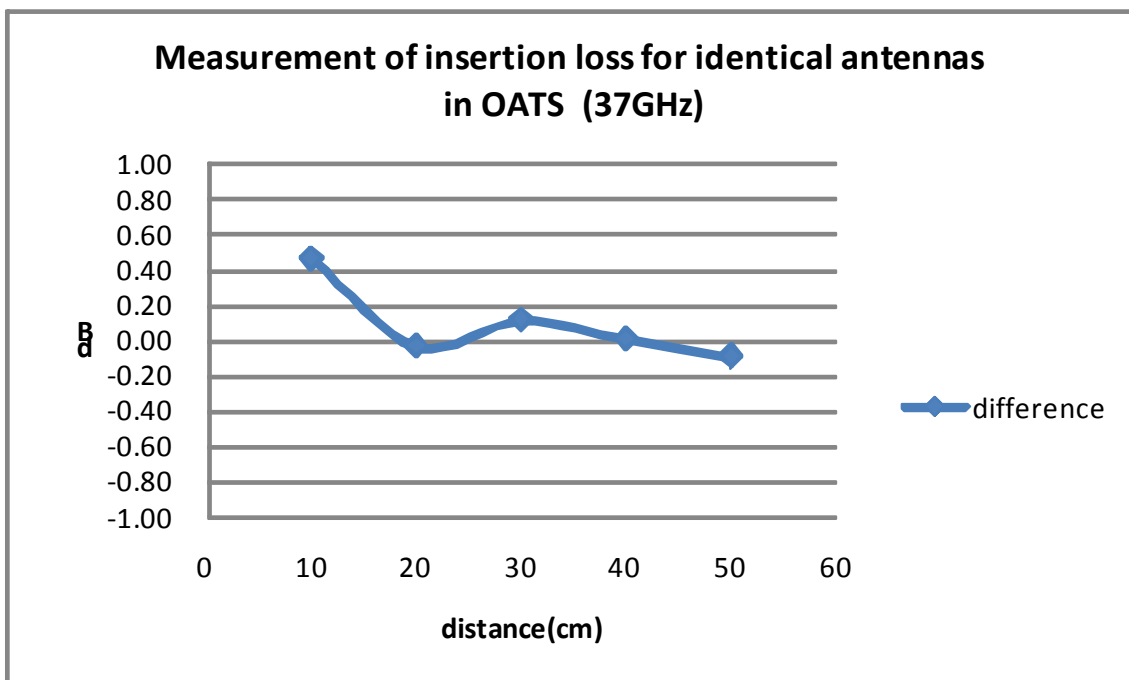
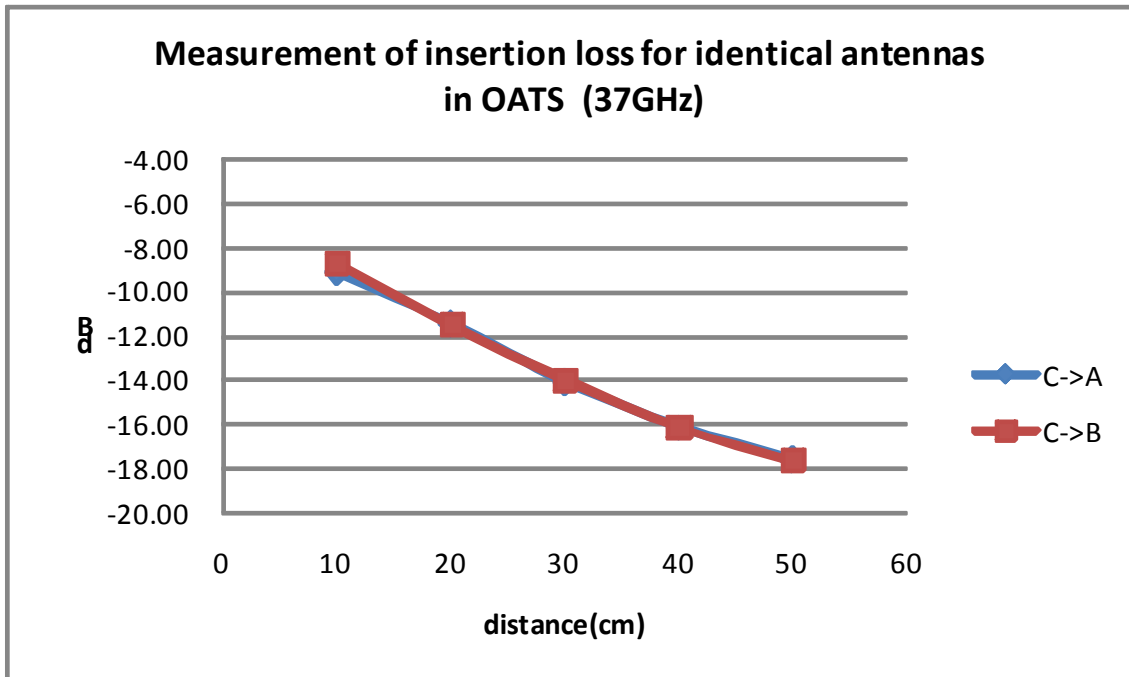
[그림 3-42] 주파수 34GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



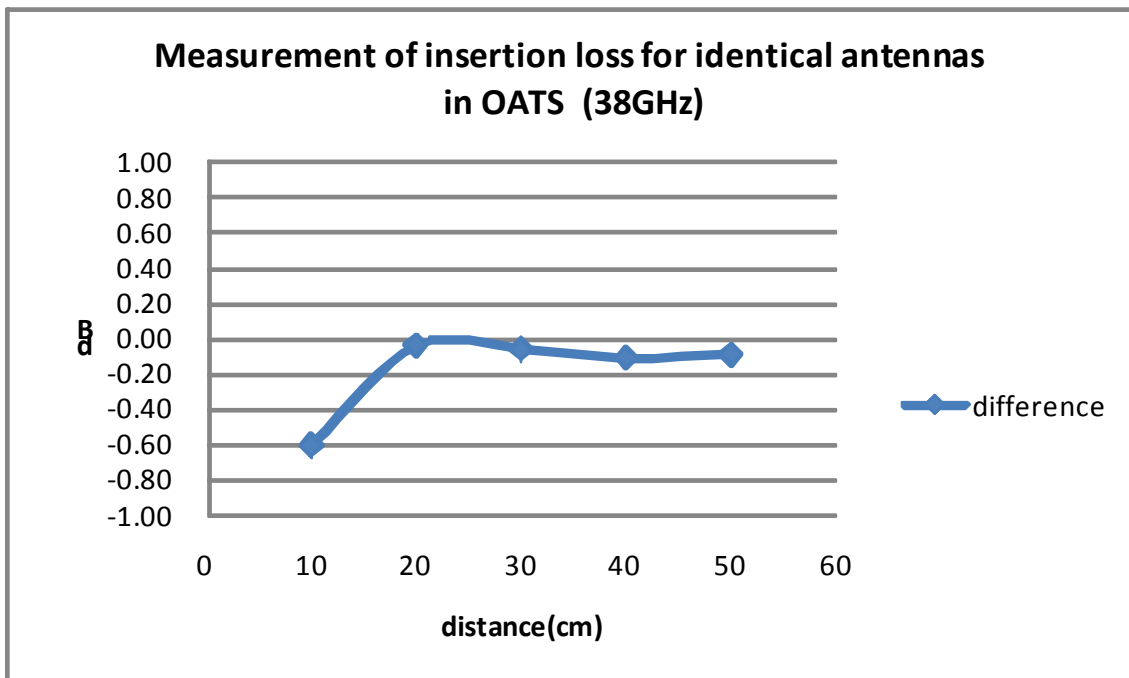
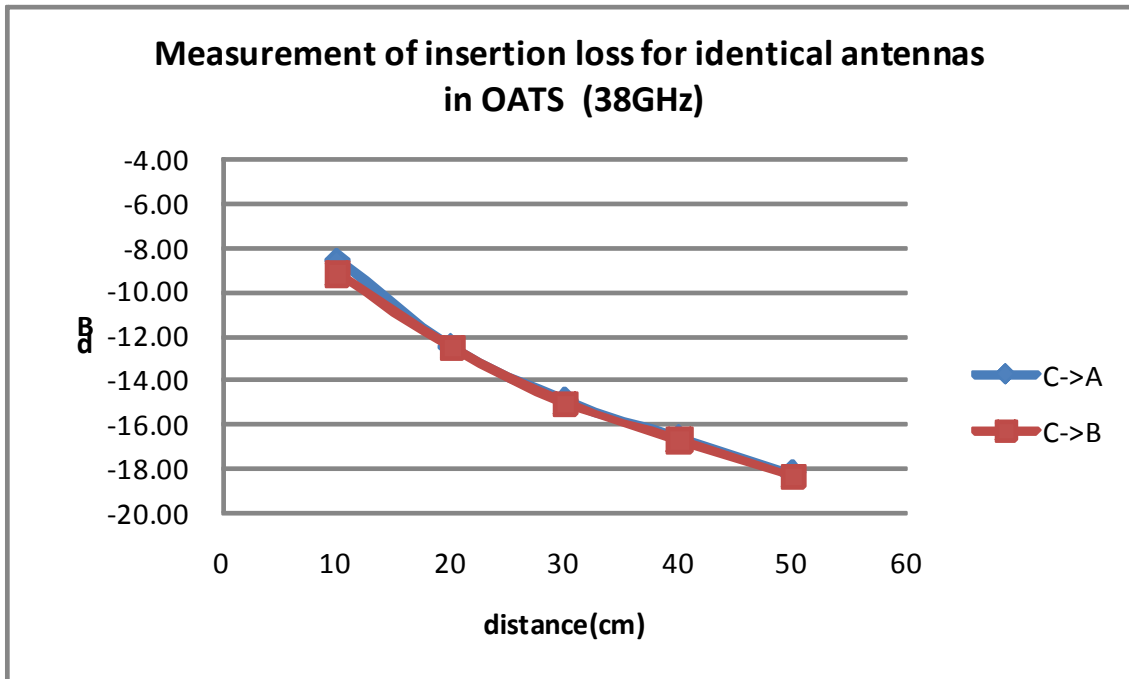
[그림 3-43] 주파수 35GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



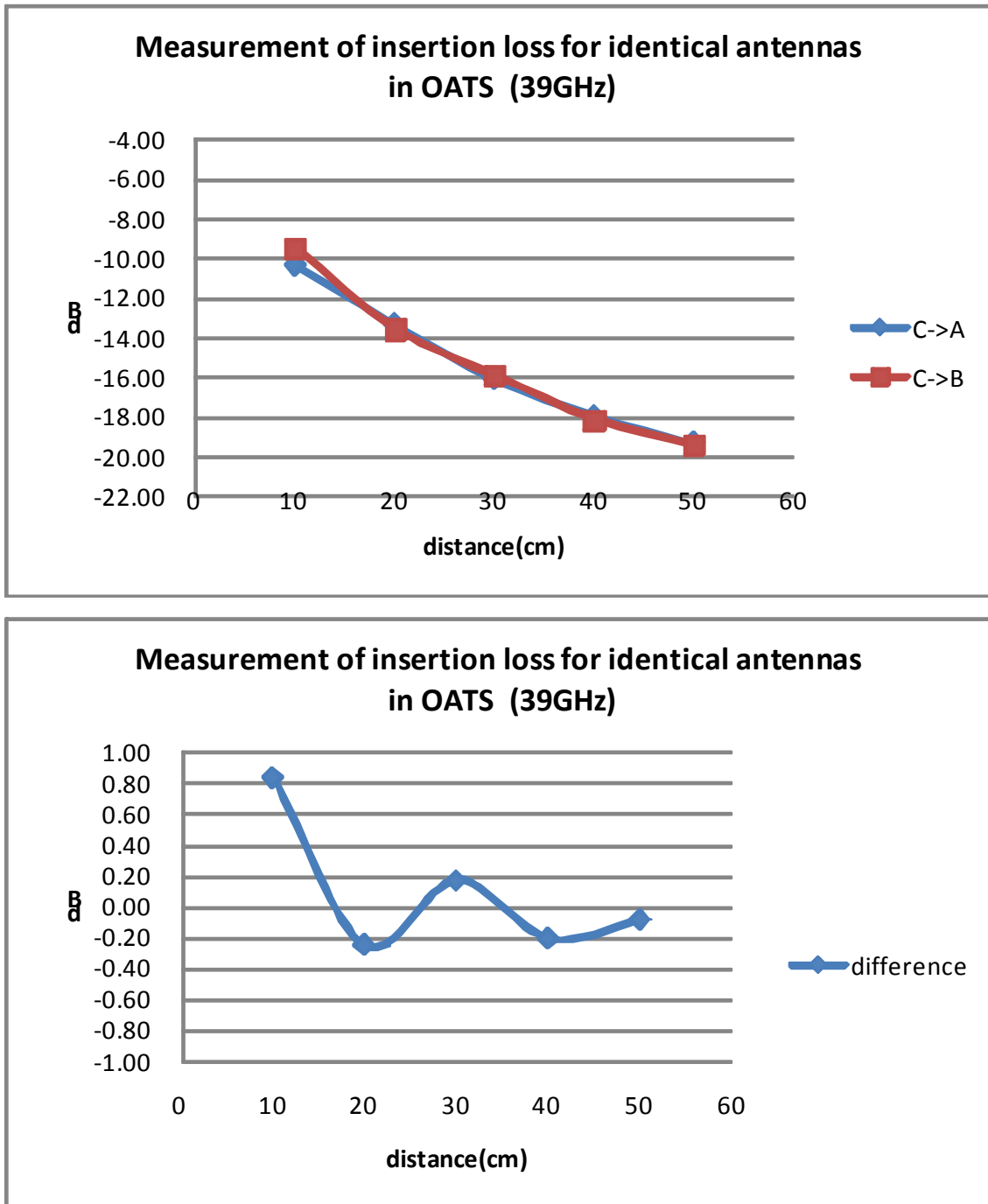
[그림 3-44] 주파수 36GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



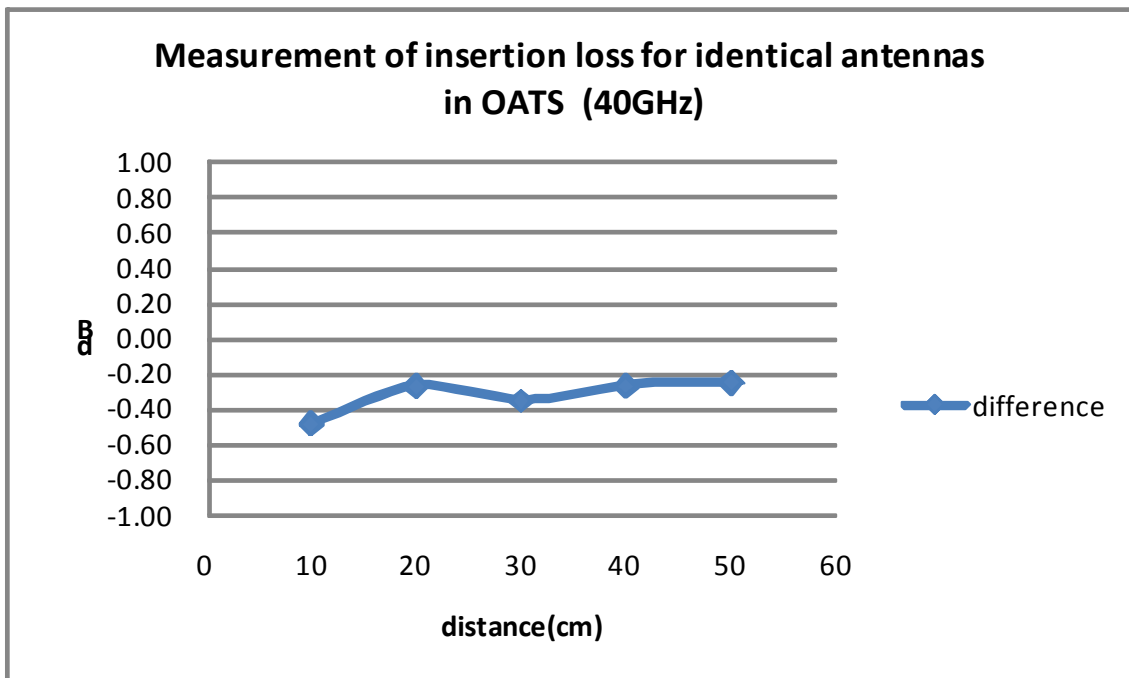
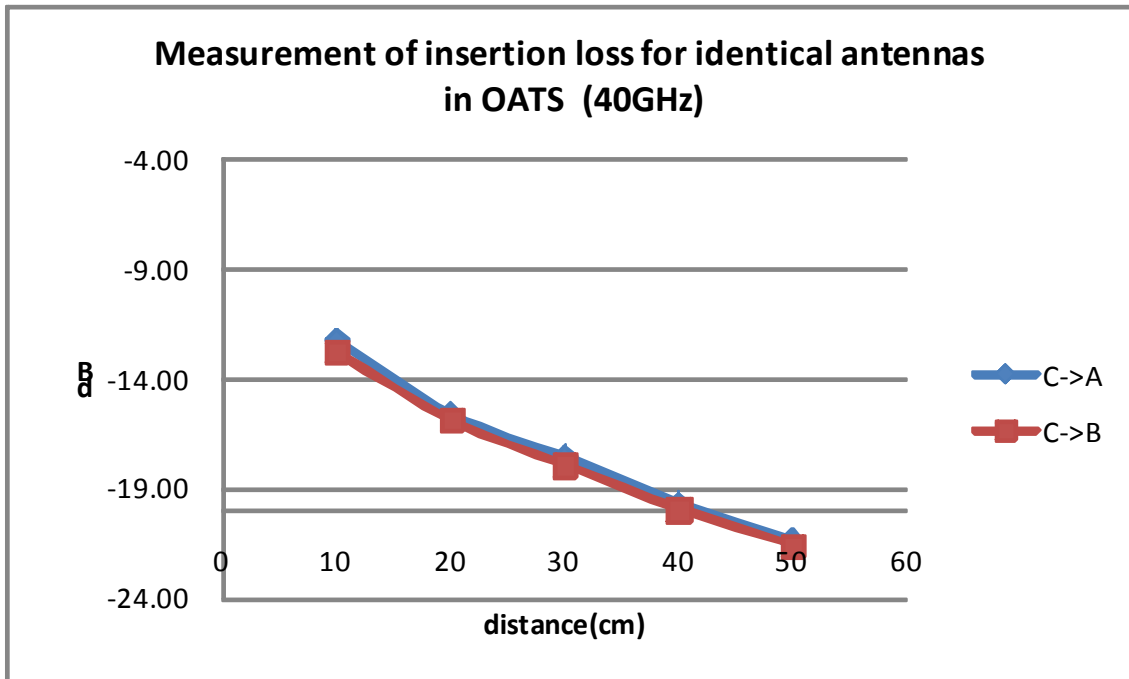
[그림 3-45] 주파수 37GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-46] 주파수 38GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-47] 주파수 39GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석



[그림 3-48] 주파수 40GHz에서 거리에 따른 감쇠량 변화 분석

1.3.3 26GHz ~ 40GHz 대역 안테나의 거리에 따른 동등성 변화 분석

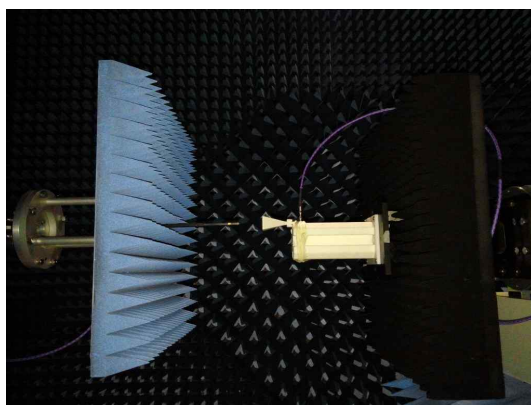
수신안테나 D와 E의 송신안테나 F에 대한 감쇠량 측정값의 차이는 [그림 3-34]에서 [그림 3-48]에서 보는바와 같다. 거의 모든 주파수에서 10cm 거리에서 편차가 가장 크다가 20cm, 30cm, 40cm 및 50cm로 거리가 멀어지면서 그 편차는 다시 줄어드는 경향이 있다. 대부분의 측정된 주파수에서 50cm에서 그 편차는 작다. 거리에 따라 두 안테나 동등성 확인에 대한 감쇠량 편차의 구체적인 값은 [표 3.3]에서 확인할 수 있다. 측정에 사용된 계측기 네트워크분석기의 측정불확도가 0.1dB, 기타 고주파 케이블의 커넥터 연결 및 안정도 등의 불확도가 약 0.2dB, 기타 시험장불확도, 주위잡음, 안테나 높이와 거리 오차, 혼안테나 주빔 방향 오차 등을 고려할 때 이 대역의 안테나는 동등성이 있다고 판단된다. 다만 10cm에서 다소 큰 차이를 보이는 것은, A, B 대역 안테나 측정값이 20cm에서 가장 큰 것처럼 안테나 사이의 근거리장 영역에서 상호작용의 복잡성에 기인한다고 보여진다. 마찬가지로 이는 별도로 연구할 필요가 있는 부분이라 생각한다.

[표 3-4] 안테나 D와 E의 동등성 확인을 위한 감쇠량 편차(D-E)

단위: dB	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
26GHz	-0.15	-0.08	-0.05	-0.07	-0.10
27GHz	-0.22	-0.07	-0.05	-0.03	-0.06
28GHz	0.06	0.00	0.04	0.02	-0.01
29GHz	-0.58	-0.02	-0.04	-0.01	-0.04
30GHz	-0.08	-0.14	-0.08	-0.10	-0.10
31GHz	-0.53	-0.12	-0.15	-0.08	-0.10
32GHz	0.53	-0.06	-0.03	-0.02	-0.07
33GHz	-0.23	-0.07	-0.09	-0.04	-0.07
34GHz	0.34	0.08	0.07	0.09	0.08
35GHz	0.24	-0.12	0.02	0.05	-0.06
36GHz	-0.22	-0.02	0.05	0.00	0.01
37GHz	0.46	-0.03	0.12	0.01	-0.09
38GHz	-0.60	-0.05	-0.07	-0.11	-0.10
39GHz	0.84	-0.25	0.17	-0.21	-0.08
40GHz	-0.49	-0.27	-0.36	-0.27	-0.25

2 안테나 챔버에서 측정 결과

[그림 3-49]와 같은 안테나 챔버에서 측정은 야외시험장에서의 측정과는 반대로 동등성을 확인할 안테나 A, B 및 D, E는 송신안테나로 세팅하였고 수신쪽에는 전자파측정센터 보유 장비를 활용하였다. 거리도 변화를 주지 않았으며 정확한 거리 측정은 하지 않고 대략 30cm에서 50cm 가량의 이격을 주었다. 그 결과는 [표 3.4] 및 [표 3.5]와 [그림 3-50] 및 [그림 3-51]에서 보여주고 있다. 안테나 A 및 B는 18GHz에서 0.34dB의 차이를 보일뿐 나머지 주파수에서는 거의 0.1dB 이내로 일치함을 알 수 있고, 안테나 D와 E는 거의 모든 측정주파수 내에서 0.1dB로 동등성을 확인할 수가 있다.



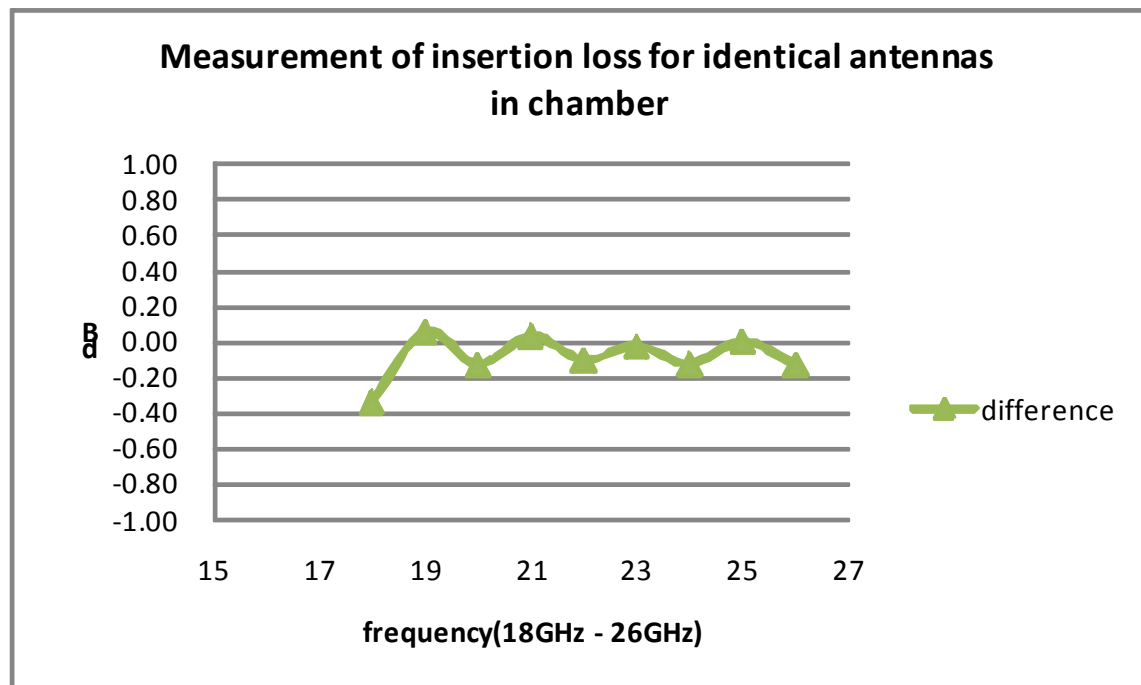
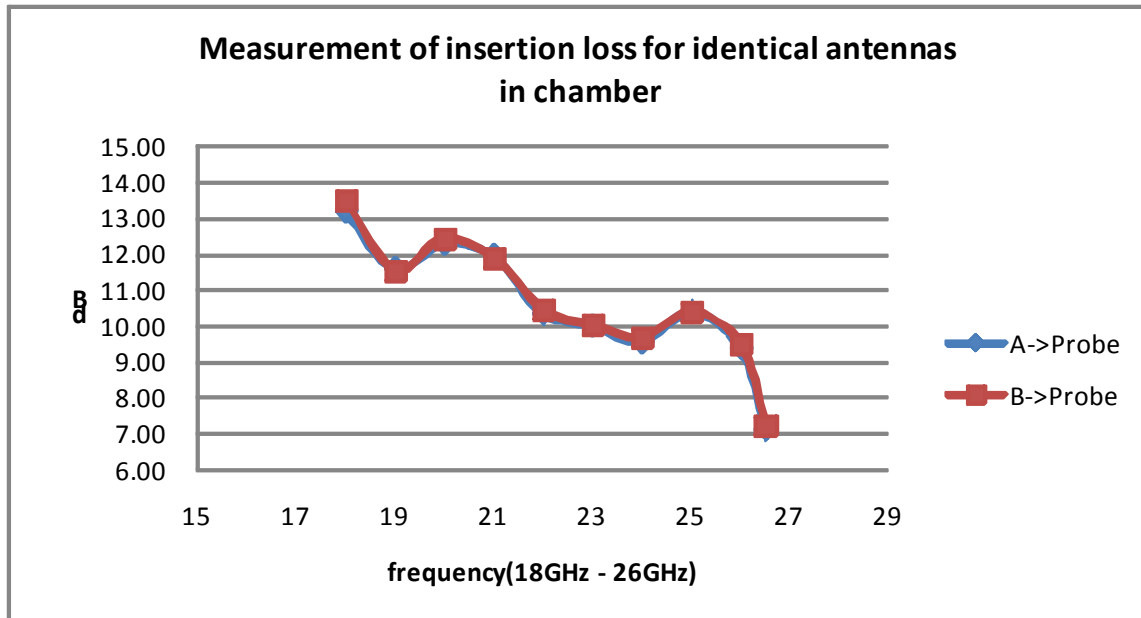
[그림 3-49] 안테나 챔버에서 동일성 확인을 위한 측정

[표 3-5] 챔버에서 안테나 A와 B의 측정값

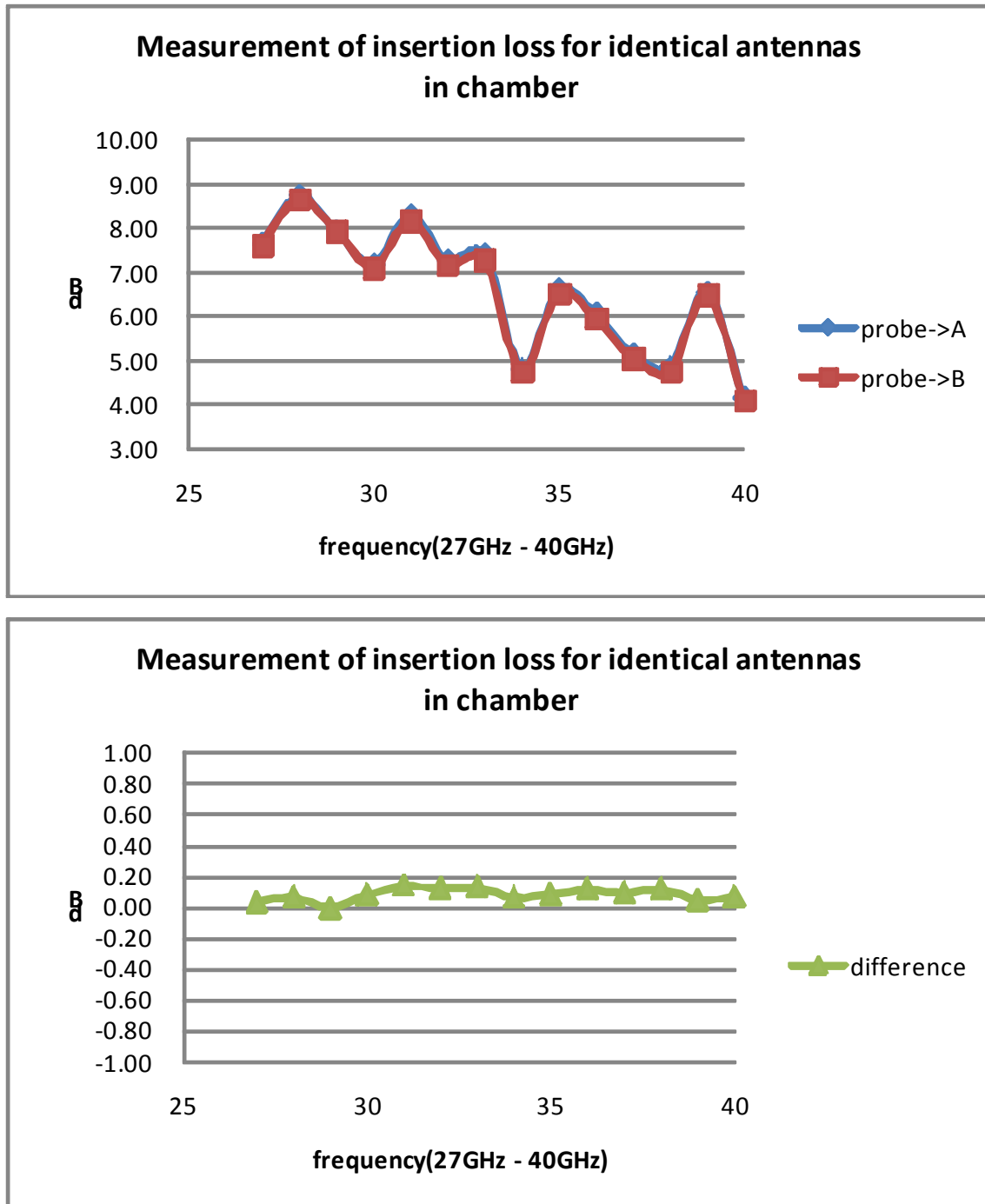
GHz	안테나 A	안테나 A	편차
18	13.17	13.51	-0.34
19	11.59	11.53	0.05
20	12.28	12.42	-0.13
21	11.93	11.90	0.03
22	10.34	10.44	-0.11
23	9.99	10.01	-0.03
24	9.54	9.66	-0.13
25	10.38	10.38	0.00
26	9.36	9.49	-0.13
26.5	7.12	7.24	-0.12

[표 3-6] 챔버에서 안테나 D와 E의 측정값

GHz	D	E	편차(dB)
26.5	11.33	11.22	0.11
27	7.64	7.60	0.03
28	8.72	8.66	0.07
29	7.92	7.93	0.00
30	7.17	7.09	0.08
31	8.30	8.16	0.14
32	7.27	7.15	0.12
33	7.41	7.28	0.13
34	4.80	4.73	0.06
35	6.61	6.52	0.09
36	6.05	5.93	0.12
37	5.14	5.05	0.09
38	4.85	4.73	0.12
39	6.53	6.48	0.05
40	4.16	4.10	0.07



[그림 3-50] 챔버에서 안테나 A 및 B의 동등성 측정



[그림 3-51] 챔버에서 안테나 D 및 E의 동등성 측정

제4장 동등 표준안테나에 의한 R-SAM 검증

제1절 동등 표준안테나의 안테나 인자 결정

1. R-SAM에 의한 안테나 인자

제 3장에서 1GHz 이상 대역의 표준안테나로서 동등 혼안테나를 제안하였고 18GHz ~ 40GHz의 동등 혼안테나를 제작하여 야외시험장 및 안테나 챔버에서 감쇠량 등을 측정하여 상호 비교함으로써 측정불확도를 고려하여 거의 0.2 dB 이내로 안테나의 특성이 동등함을 확인하였다. 이에 동등안테나의 안테나 인자는 R-SAM의 동등안테나 인자 방정식 (2-6)으로부터 산출할 수 있다.

$$AF_R(dB/m) = \frac{1}{2}A_{RT} + 10\log f_{MHz} - 10\log d_1 - 16 \quad (2-6)$$

이 방정식에 따르면 동등안테나 사이의 감쇠량 A_{RT} 를 측정함으로써 동등 표준안테나의 인자를 결정할 수가 있는 것이다. 이는 마치 표준 다이폴 안테나의 발룬 특성을 측정하여 표준 다이폴안테나의 안테나 인자를 결정하는 것과 다를 바가 없는 것이다. 안테나 A 및 B, 그리고 D 및 E 사이의 감쇠량을 측정하게 된다. 그러면 식 (2-6)에 의해 동등 안테나의 안테나 인자가 유도될 수 있다.

여기서 제작한 동등 안테나는 감쇠량 측정으로 동등성을 파악했으며 측정 불확도를 고려하여 0.2dB 이내의 값으로 두 안테나가 같은 값을 갖는다고 할 수 있다. 이와 같은 동등성 즉 안테나가 같다고 하는 것은 제작된 상태 그 자체로 확인한다는 것은 불가능하며 동등성이라는 정의에 따라 측정을 수행하고 그 측정의 불확도 내에서 동등하다고 선언해야 할 것이다.

2. 18GHz ~ 26GHz 대역 동등형 표준안테나 안테나 인자

거리를 10cm ~ 50cm 사이를 바꾸어 가며 금속 접지 평면으로 이루어진 안

테나 교정 야외시험장의 바닥면으로부터 안테나 높이 2m에서 각각의 감쇠량을 측정하였다. 그 측정값은 [표 4-1]과 같으며 각각의 거리에서 안테나 인자는 [표 4-2]에서 보여준다. 이는 동등 표준안테나의 기준값이다.

[표 4-1] 동등표준안테나 A와 B 사이의 거리에 따른 감쇠량 값

단위:dB	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	-4.90	-8.50	-10.97	-13.13	-14.70
19GHz	-4.78	-8.92	-11.14	-13.17	-14.70
20GHz	-6.09	-8.10	-10.45	-12.78	-14.40
21GHz	-7.32	-8.89	-11.06	-13.08	-14.58
22GHz	-6.25	-8.34	-10.66	-12.45	-14.01
23GHz	-6.31	-8.23	-10.17	-12.30	-13.91
24GHz	-7.35	-9.39	-11.28	-12.96	-14.36
25GHz	-6.31	-8.74	-10.88	-12.43	-14.04
26GHz	-6.78	-9.54	-10.61	-12.54	-14.43
27GHz	-6.06	-9.14	-11.06	-12.66	-14.08
28GHz	-5.60	-9.63	-11.23	-12.70	-14.24
29GHz	-7.57	-9.93	-11.83	-13.36	-14.69

[표 4-2] 동등표준안테나 A와 B의 R-SAM에 의한 표준 안테나 인자값

단위:dB/m	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	39.00	37.79	37.27	37.10	36.91
19GHz	39.18	38.24	37.59	37.35	37.15
20GHz	40.06	38.05	37.47	37.38	37.22
21GHz	40.88	38.65	37.98	37.74	37.52
22GHz	40.55	38.58	37.98	37.63	37.44
23GHz	40.77	38.72	37.93	37.75	37.58
24GHz	41.48	39.49	38.67	38.26	37.99
25GHz	41.13	39.34	38.65	38.18	38.01
26GHz	41.54	39.91	38.68	38.40	38.37
27GHz	41.34	39.87	39.07	38.62	38.36
28GHz	41.27	40.28	39.32	38.80	38.60
29GHz	42.41	40.58	39.77	39.28	38.98

3. 26GHz ~ 40GHz 대역 동등형 표준안테나 안테나 인자

4.1.1에서와 마찬가지로 26GHz ~ 40GHz 대역 동등 안테나 D와 E에 대해 거리를 10cm ~ 50cm 사이를 바꾸어 가며 금속 접지 평면으로 이루어진 안테나 교정 야외시험장의 바닥면으로부터 안테나 높이 2m에서 각각의 감쇠량을 측정하였다. 그 측정값은 [표 4-3]과 같으며 각각의 거리에서 안테나 인자는 [표 4-4]에서 보여준다. 이는 동등 표준안테나 D 및 E의 기준값이다.

[표 4-3] 동등표준안테나 D와 E 사이의 거리에 따른 감쇠량 값

단위: dB	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
26GHz	-7.15	-10.77	-13.47	-15.70	-17.52
27GHz	-7.35	-11.15	-13.92	-16.08	-17.82
28GHz	-7.21	-10.69	-13.48	-15.67	-17.43
29GHz	-7.76	-10.72	-13.52	-15.63	-17.31
30GHz	-7.11	-10.44	-13.11	-15.25	-16.94
31GHz	-7.66	-10.55	-13.08	-15.15	-16.89
32GHz	-7.10	-10.85	-13.52	-15.56	-17.30
33GHz	-7.42	-10.17	-12.72	-14.80	-16.50
34GHz	-7.90	-11.59	-13.85	-15.94	-17.55
35GHz	-7.64	-10.85	-13.03	-15.33	-17.08
36GHz	-7.82	-10.73	-13.24	-15.27	-16.88
37GHz	-8.07	-10.99	-13.57	-15.73	-17.23
38GHz	-9.01	-11.55	-13.88	-15.62	-17.30
39GHz	-8.21	-11.72	-14.11	-16.16	-17.58
40GHz	-9.65	-11.85	-14.16	-15.87	-17.60

[표 4-4] 동등표준안테나 D와 E의 R-SAM에 의한 표준 안테나 인자값

단위: dB	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
26GHz	41.73	40.52	40.11	39.98	39.92
27GHz	41.99	40.88	40.50	40.33	40.23
28GHz	42.08	40.80	40.44	40.29	40.20
29GHz	42.50	40.97	40.61	40.42	40.29
30GHz	42.33	40.98	40.56	40.38	40.25
31GHz	42.74	41.18	40.68	40.47	40.37
32GHz	42.60	41.47	41.04	40.81	40.71
33GHz	42.89	41.26	40.77	40.56	40.45
34GHz	43.26	42.10	41.47	41.26	41.10
35GHz	43.26	41.85	41.18	41.09	40.99
36GHz	43.47	41.92	41.41	41.18	41.01
37GHz	43.72	42.17	41.70	41.53	41.31
38GHz	44.30	42.56	41.97	41.59	41.46
39GHz	44.01	42.76	42.20	41.97	41.71
4GHz	44.85	42.94	42.33	41.94	41.83

제2절 R-SAM과 3-안테나법 상호비교 측정

제 3장에서 1GHz 이상 대역의 표준안테나로서 동등 혼안테나를 제안하였고 18GHz ~ 40GHz 대역을 두 개로 나누어 18GHz ~ 26GHz, 26GHz ~ 40GHz에서 안테나 사이의 감쇠량 특성으로 0.2dB 이내로 일치하는 정도의 동등 안테나를 제작하였다. 또한 그 동등 안테나의 안테나인자를 R-SAM에 의하여 측정하여 산출하였다. 이렇게 산출된 동등 안테나의 안테나 인자를 기준으로 R-SAM에 의하여 교정대상 안테나를 교정하여 안테나 인자를 산출하였다. 4.1절의 [표 4-4]의 10cm ~ 50cm의 5포인트에서의 안테나 인자를 기준으로 각각의 거리에서 측정하였으며 아울러 3개의 안테나를 이용하는 3-안테나법(TAM)으로 야외시험장에서 안테나 인자를 구하였다. 비록 야외시험장이라고 하더라도 18GHz ~ 40GHz 주파수 영역에서 혼안테나는 강한 지향성 때문에 2m 높이의 최대거리 50cm에서는 바닥 반사파의 영향이 거의 없는 자유공간의 조건을 만족한다고 가정할 수 있다.

1. 상호비교 측정 결과(18GHz ~ 26GHz 대역)

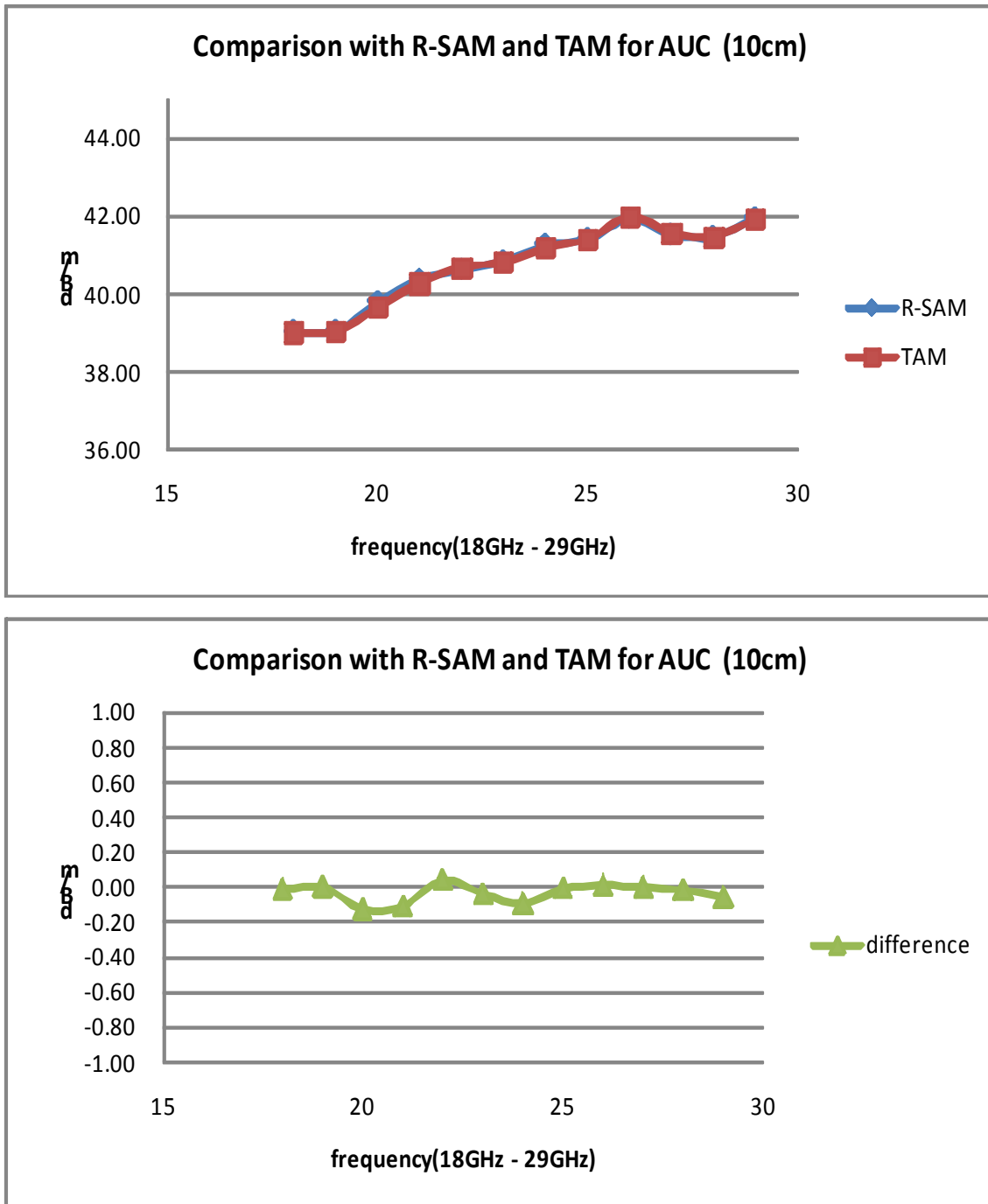
측정결과는 [표 4-5]에서 볼수 있으며 R-SAM과 TAM 측정결과의 차이는 [표 4-6]에 나타났다. 거의 모든 주파수에서 0.1dB 이내로 일치하고 있으며 다만 20cm 측정의 26GHz 및 29GHz에서 각각 0.31 및 0.33dB 차이를 보인다.

[표 4-5] 동등표준안테나로 측정한 R-SAM과 TAM 측정결과 비교

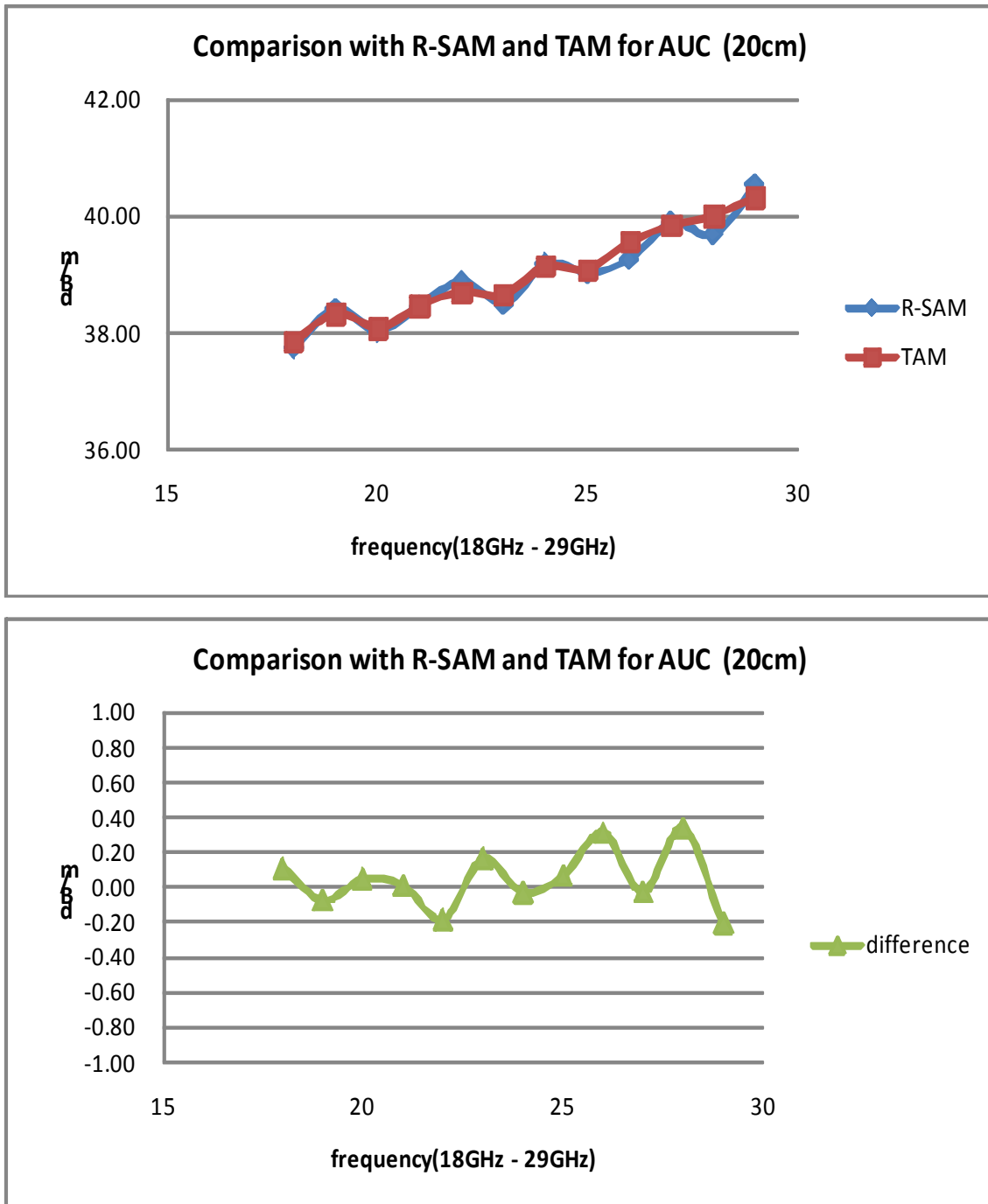
단위 dB/m	R-SAM				
	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	39.02	37.69	37.24	37.13	36.96
19GHz	39.18	38.31	37.59	37.39	37.20
20GHz	40.19	38.00	37.53	37.45	37.29
21GHz	40.99	38.65	38.03	37.85	37.63
22GHz	40.51	38.77	37.94	37.64	37.44
23GHz	40.81	38.56	37.95	37.76	37.58
24GHz	41.57	39.52	38.69	38.32	38.05
25GHz	41.15	39.28	38.57	38.21	38.02
26GHz	41.53	39.60	38.73	38.40	38.35
27GHz	41.35	39.91	39.07	38.62	38.36
28GHz	41.29	39.95	39.20	38.78	38.54
29GHz	42.47	40.79	39.86	39.33	38.99
단위 dB/m	TAM				
	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	39.00	37.79	37.27	37.10	36.91
19GHz	39.18	38.24	37.59	37.35	37.15
20GHz	40.06	38.05	37.47	37.38	37.22
21GHz	40.88	38.65	37.98	37.74	37.52
22GHz	40.55	38.58	37.98	37.63	37.44
23GHz	40.77	38.72	37.93	37.75	37.58
24GHz	41.48	39.49	38.67	38.26	37.99
25GHz	41.13	39.34	38.65	38.18	38.01
26GHz	41.54	39.91	38.68	38.40	38.37
27GHz	41.34	39.87	39.07	38.62	38.36
28GHz	41.27	40.28	39.32	38.80	38.60
29GHz	42.41	40.58	39.77	39.28	38.98

[표 4-6] R-SAM과 TAM 측정결과 차이

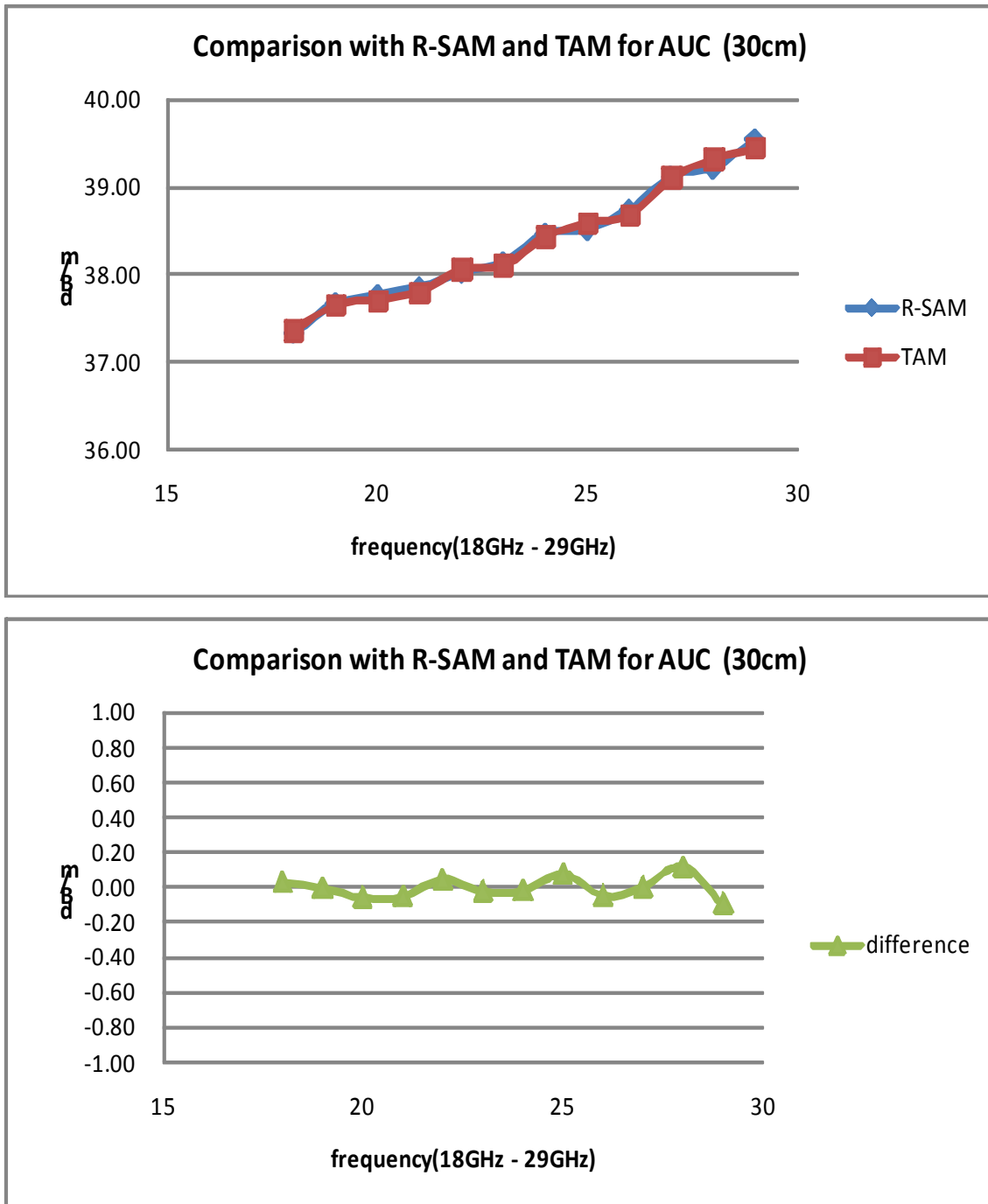
단위 dB/m	Difference(TAM-RSAM)				
	10cm	20cm	30cm	40cm	50cm
18GHz	-0.02	0.10	0.03	-0.03	-0.04
19GHz	0.00	-0.08	-0.01	-0.03	-0.06
20GHz	-0.13	0.05	-0.06	-0.07	-0.07
21GHz	-0.11	0.01	-0.05	-0.11	-0.11
22GHz	0.04	-0.19	0.04	-0.01	-0.01
23GHz	-0.04	0.16	-0.02	-0.01	0.01
24GHz	-0.10	-0.03	-0.02	-0.06	-0.06
25GHz	-0.01	0.06	0.07	-0.03	-0.01
26GHz	0.01	0.31	-0.05	-0.01	0.02
27GHz	0.00	-0.03	0.00	0.01	0.00
28GHz	-0.02	0.33	0.12	0.02	0.06
29GHz	-0.06	-0.21	-0.10	-0.05	-0.01



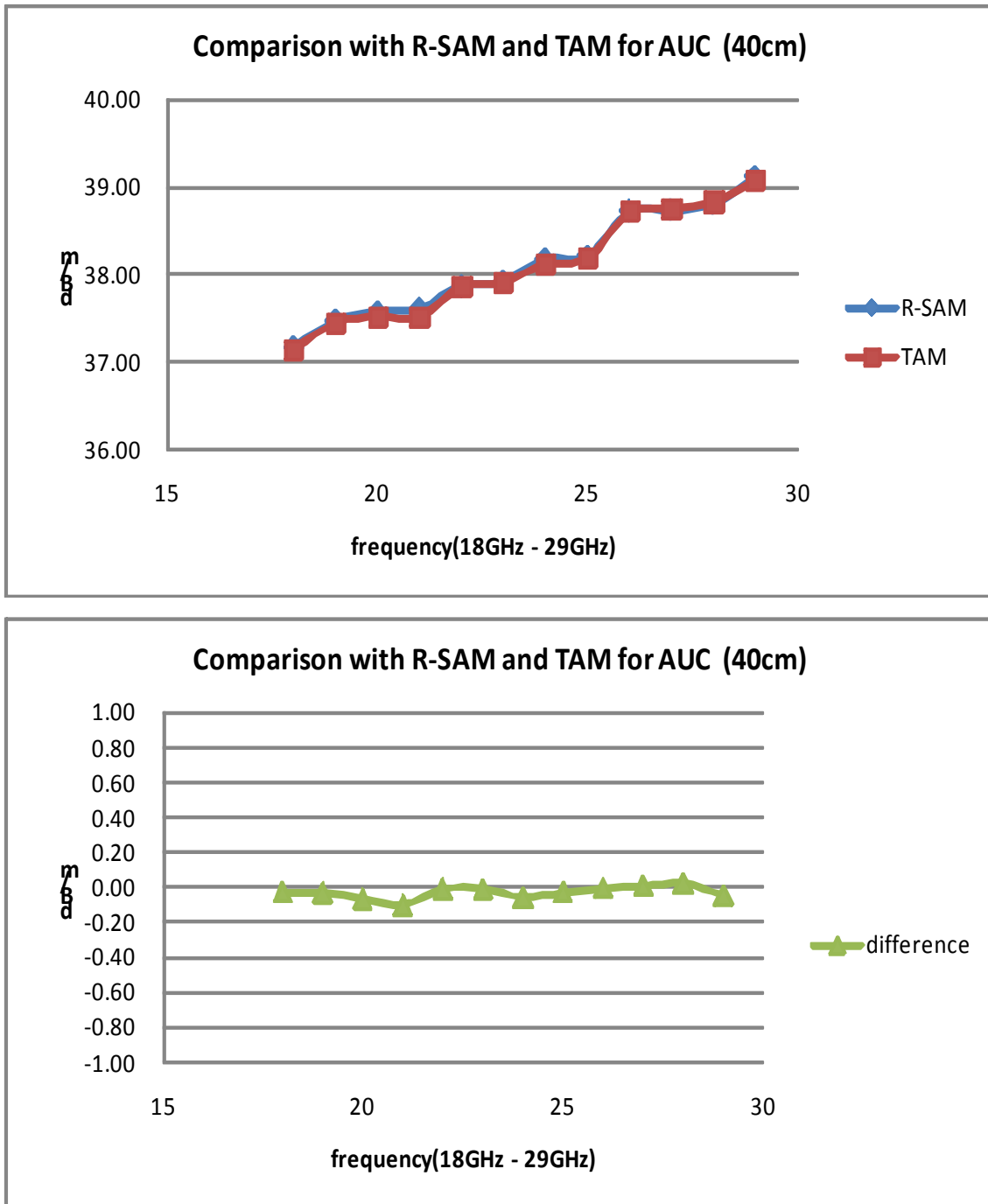
[그림 3-52] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(10cm 이격거리)



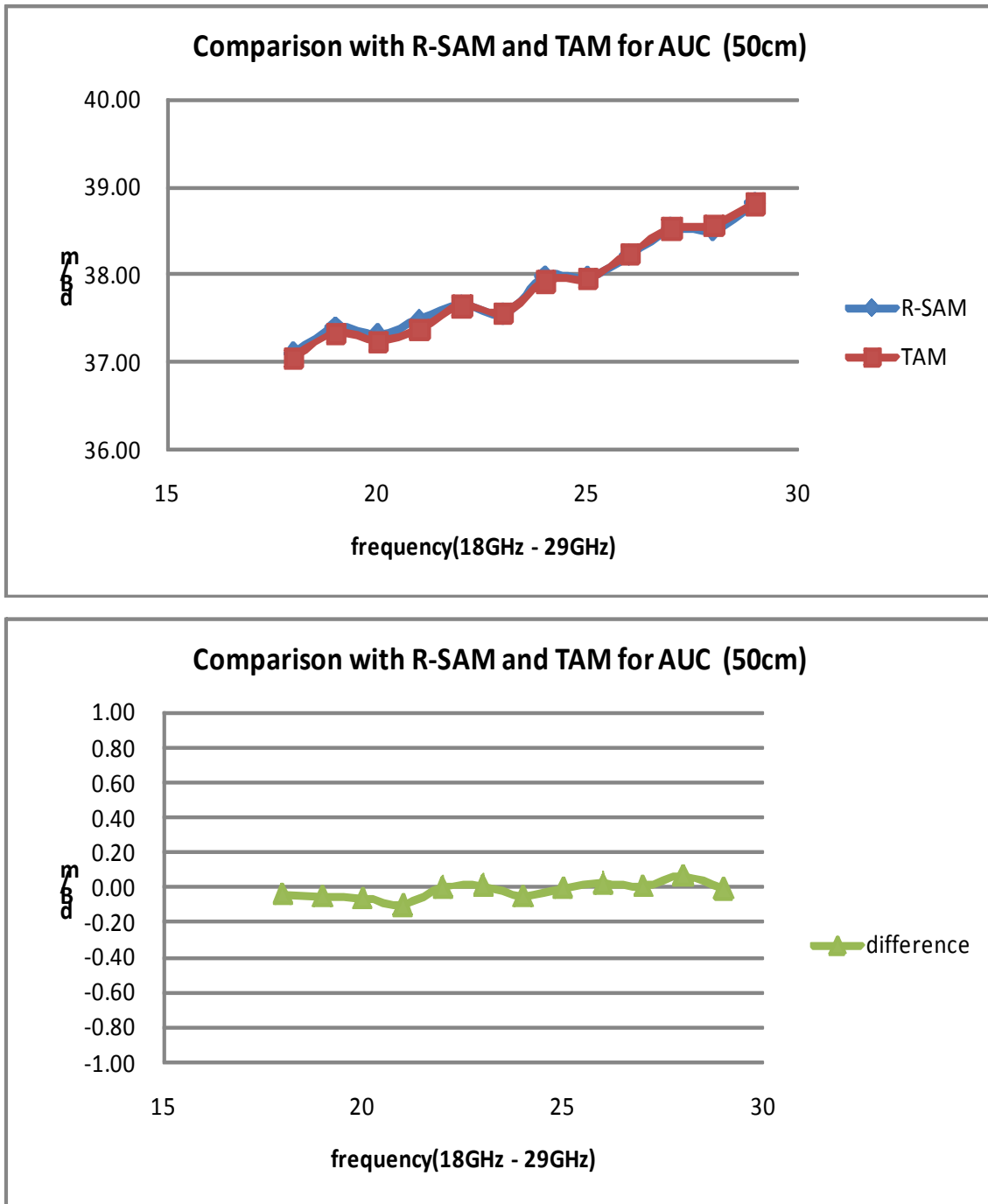
[그림 3-53] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(20cm 이격거리)



[그림 3-54] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(30cm 이격거리)



[그림 3-55] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(40cm 이격거리)



[그림 3-56] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(50cm 이격거리)

2. 상호비교 측정(26GHz ~40 대역)

측정결과는 [표 4-7]에서 볼수 있으며 R-SAM과 TAM 측정결과의 차이는 [표 4-8]에 나타났다. 거의 모든 주파수에서 0.1dB 이내로 일치하고 있으며 다만 10cm 측정에서 다소간의 차이를 보일뿐 잘 일치하고 있다.

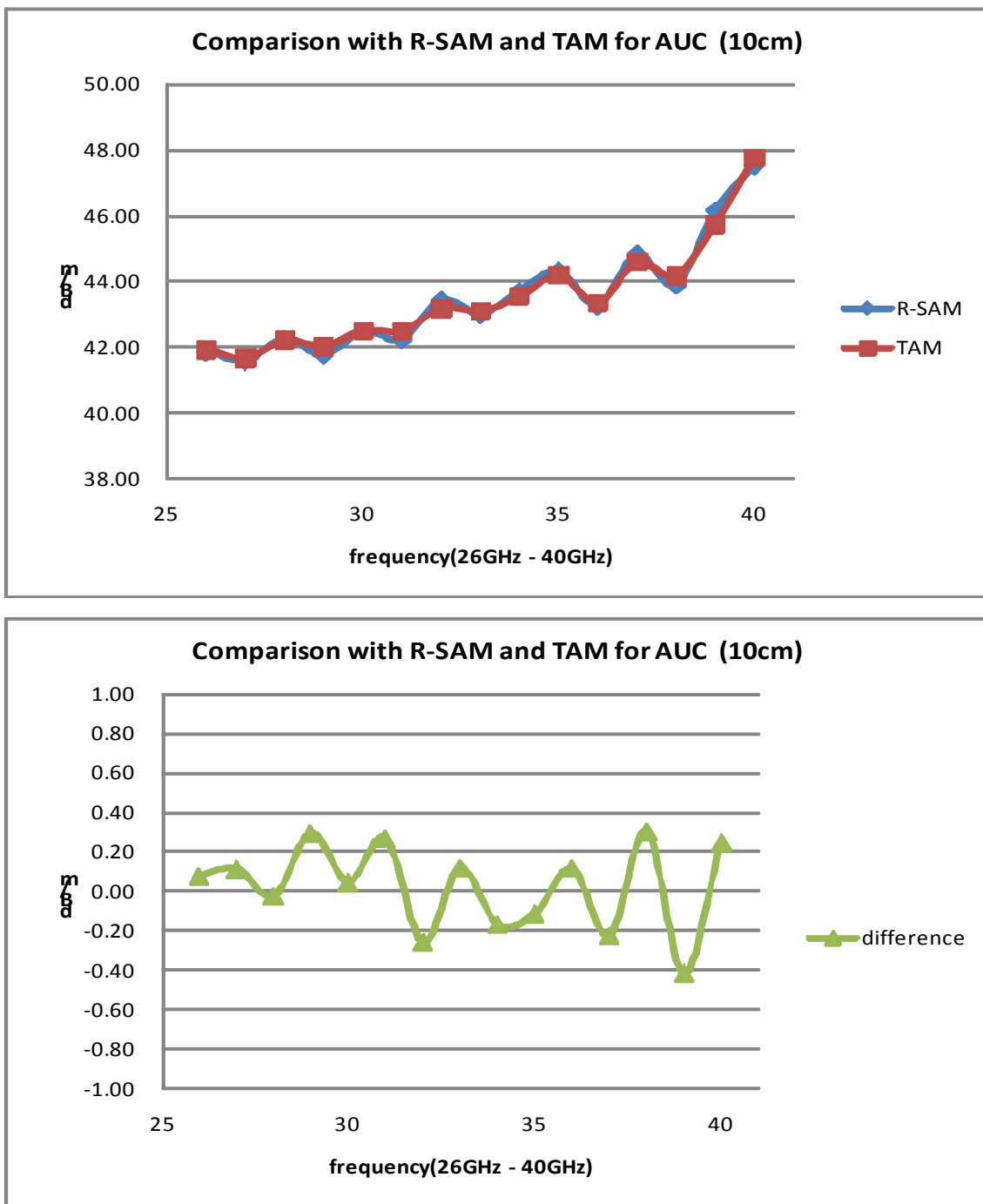
[표 4-7] 동등표준안테나로 측정한 R-SAM과 TAM 측정결과 비교

단위 dB/m	R-SAM				
	10cm	11cm	12cm	13cm	14cm
26GHz	41.73	40.52	40.11	39.98	39.92
27GHz	41.99	40.88	40.50	40.33	40.23
28GHz	42.08	40.80	40.44	40.29	40.20
29GHz	42.50	40.97	40.61	40.42	40.29
30GHz	42.33	40.98	40.56	40.38	40.25
31GHz	42.74	41.18	40.68	40.47	40.37
32GHz	42.60	41.47	41.04	40.81	40.71
33GHz	42.89	41.26	40.77	40.56	40.45
34GHz	43.26	42.10	41.47	41.26	41.10
35GHz	43.26	41.85	41.18	41.09	40.99
36GHz	43.47	41.92	41.41	41.18	41.01
37GHz	43.72	42.17	41.70	41.53	41.31
38GHz	44.30	42.56	41.97	41.59	41.46
39GHz	44.01	42.76	42.20	41.97	41.71
40GHz	44.85	42.94	42.33	41.94	41.83
단위 dB/m	TAM				
	10	20	30	40	50
26GHz	16.79	17.99	18.41	18.54	18.60
27GHz	16.86	17.97	18.34	18.52	18.62
28GHz	17.09	18.36	18.72	18.88	18.97
29GHz	16.96	18.49	18.86	19.05	19.18
30GHz	17.44	18.78	19.21	19.38	19.51
31GHz	17.30	18.87	19.36	19.58	19.68
32GHz	17.72	18.85	19.28	19.51	19.61
33GHz	17.70	19.33	19.82	20.03	20.14
34GHz	17.59	18.75	19.38	19.59	19.75
35GHz	17.84	19.25	19.92	20.01	20.11
36GHz	17.87	19.43	19.94	20.17	20.33

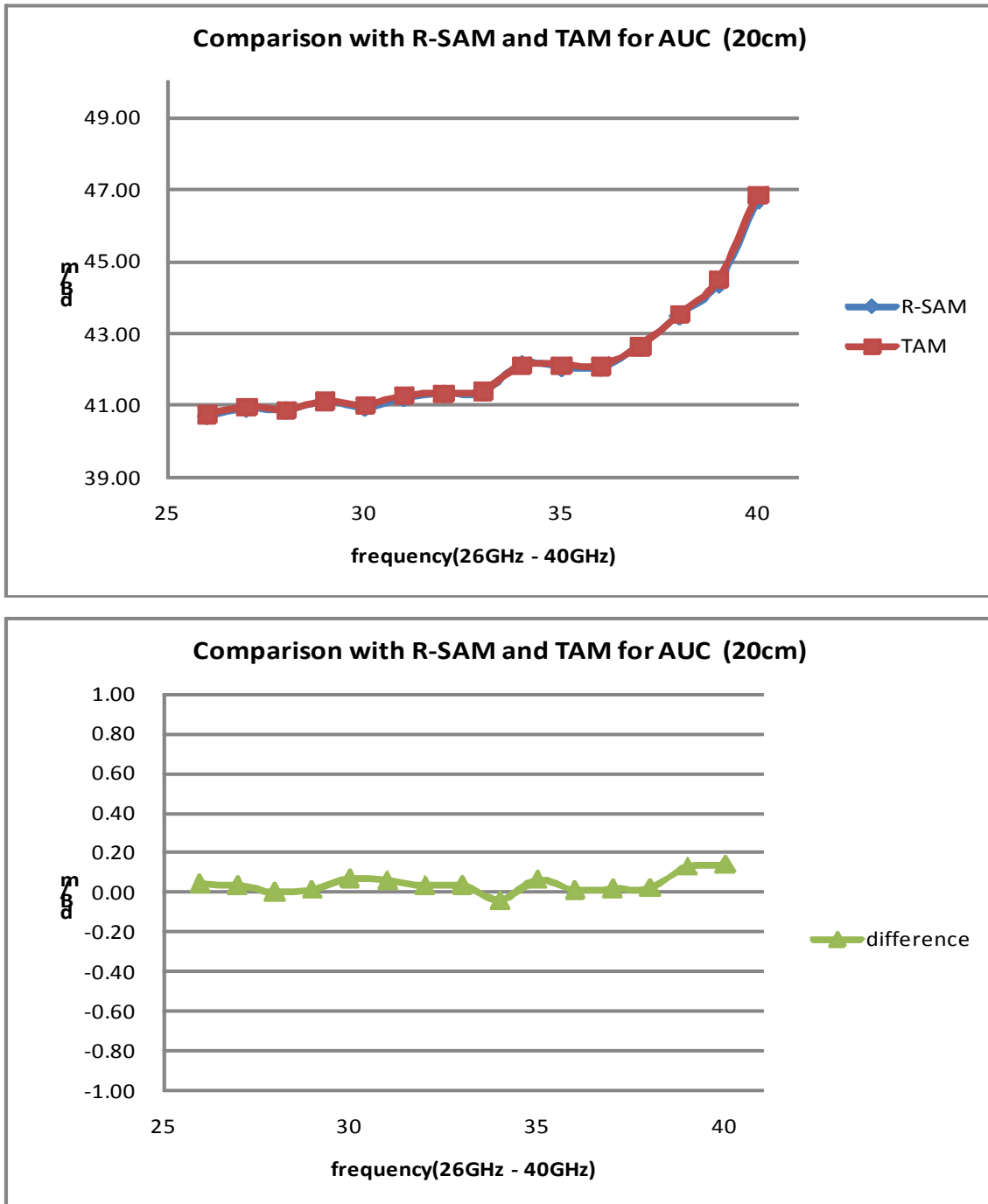
단위 dB/m	R-SAM				
	10cm	11cm	12cm	13cm	14cm
37GHz	17.87	19.42	19.89	20.06	20.28
38GHz	17.51	19.25	19.85	20.23	20.36
39GHz	18.03	19.28	19.85	20.07	20.33
40GHz	17.41	19.33	19.93	20.32	20.43

[표 4-8] R-SAM과 TAM 측정결과 차이

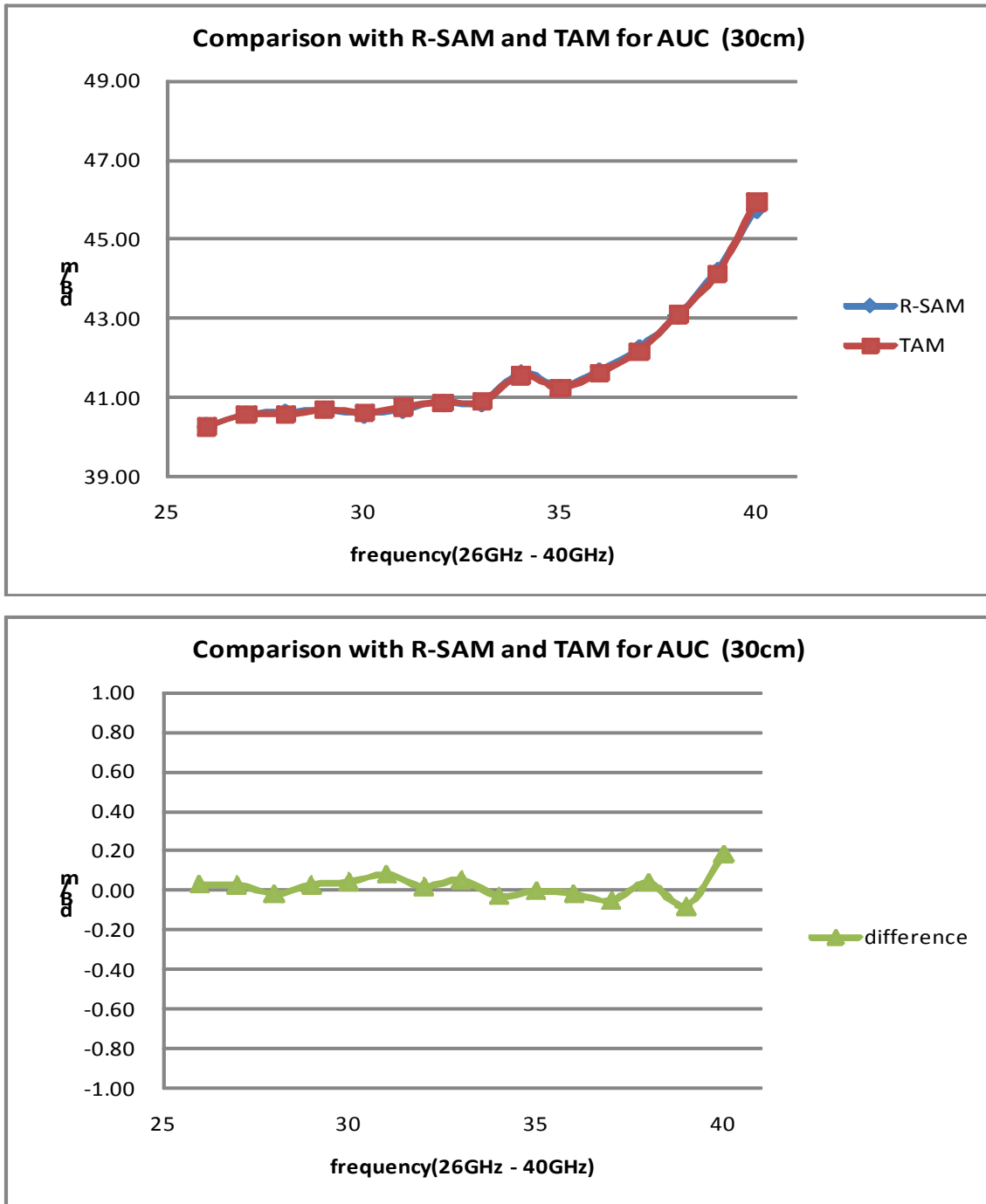
단위 dB	Difference(TAM-RSAM)				
	10cm	11cm	12cm	13cm	14cm
26GHz	0.07	0.04	0.02	0.03	0.05
27GHz	0.11	0.03	0.02	0.02	0.03
28GHz	-0.03	0.00	-0.02	-0.01	0.01
29GHz	0.29	0.01	0.02	0.01	0.02
30GHz	0.04	0.07	0.04	0.05	0.05
31GHz	0.26	0.06	0.07	0.04	0.05
32GHz	-0.26	0.03	0.01	0.01	0.03
33GHz	0.11	0.03	0.05	0.02	0.04
34GHz	-0.17	-0.04	-0.03	-0.04	-0.04
35GHz	-0.12	0.06	-0.01	-0.03	0.03
36GHz	0.11	0.01	-0.02	0.00	0.00
37GHz	-0.23	0.02	-0.06	0.00	0.05
38GHz	0.30	0.02	0.03	0.06	0.05
39GHz	-0.42	0.13	-0.09	0.10	0.04
40GHz	0.24	0.14	0.18	0.13	0.13



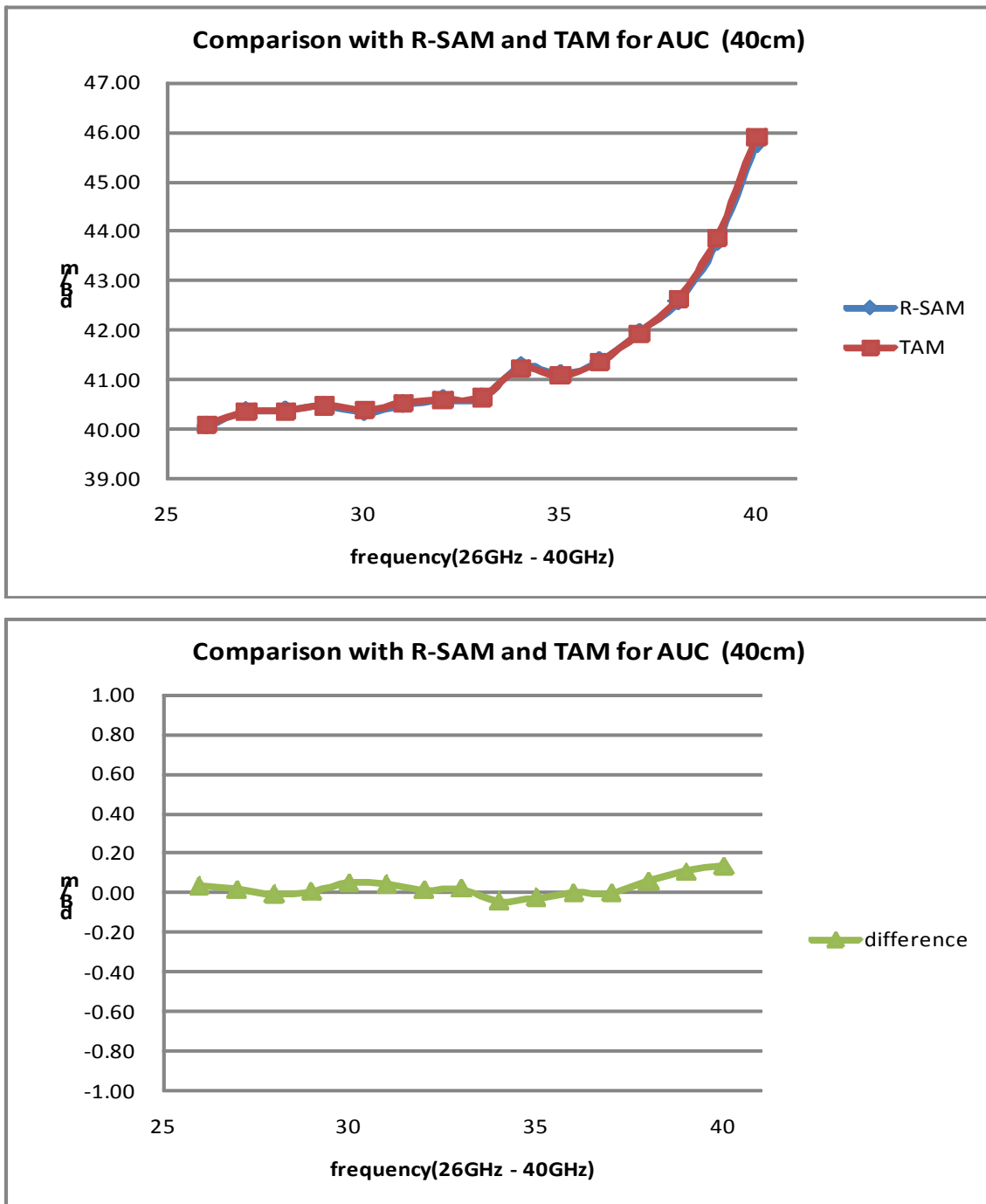
[그림 3-57] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(10cm 이격거리)



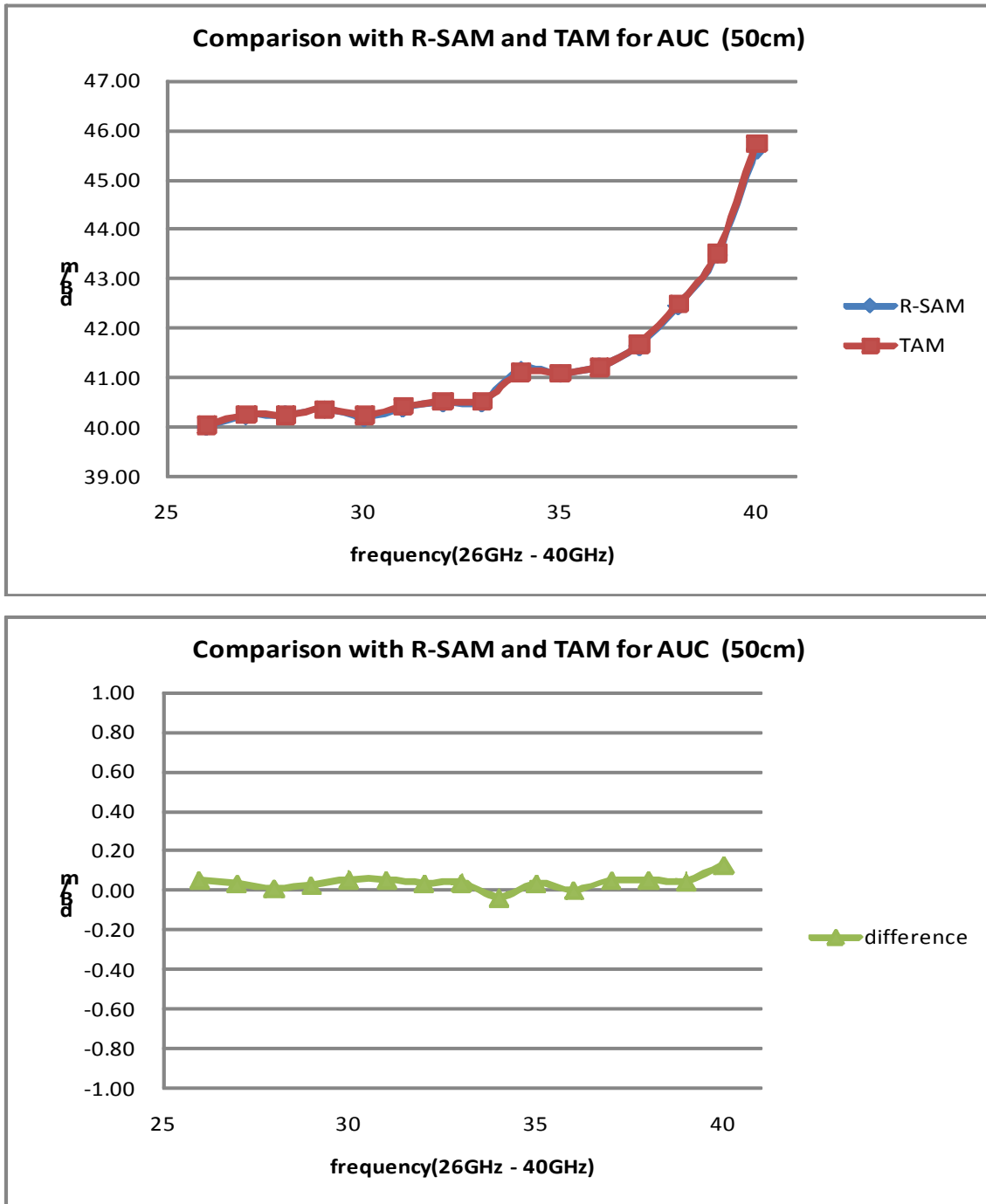
[그림 3-58] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(20cm 이격거리)



[그림 3-59] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(30cm 이격거리)



[그림 3-60] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(40cm 이격거리)



[그림 3-61] R-SAM과 TAM 교정의 상호비교 결과(50cm 이격거리)

제5장 맺음말

본 보고서에서는 국립전파연구원 표준안테나법 R-SAM을 검증하는 것에 주력하였다. R-SAM을 이용하려면 표준안테나가 필요하기 때문에 표준안테나에 대한 고찰을 하였고 현재 세계적으로 표준안테나라고 일컬어지는 것은 다이폴 형태의 30MHz에서 1GHz로 대역이 제한된 NIST형 수신전용 다이폴 안테나와 NPL형 계산형 다이폴 안테나가 존재하며, 이들은 공히 안테나의 표준전계값을 정의하기 위해서는 다이폴 발룬에 다이오드나 하이브리드를 장착하여 그 특성을 측정함으로써 표준안테나로서의 지위를 갖게 된다. 이에 1GHz 이상 대역에서 측정용으로서 혼안테나를 표준화하기 위하여 똑같은 쌍둥이 안테나가 존재하면 R-SAM의 측정방식으로 그 안테나의 표준 안테나 인자를 결정할 수 있다는 사실에 착안하여 18GHz에서 40GHz 대역을 두 개의 대역으로 나누어 동등 표준안테나를 제작하여 그 동등성을 확인하였고 감쇠량 측정의 기준으로 계측기의 불확도 및 측정시 영향을 미치는 오차 요인을 감안하더라도 0.2dB 이내로 동등한 쌍둥이 안테나를 제작하였다. 이를 바탕으로 R-SAM을 이용하여 표준안테나의 안테나 인자를 결정하고 그 안테나 인자를 기준으로 교정 대상 혼안테나의 안테나 인자를 R-SAM에 의하여 측정 산출하였다. 이에 대한 유효성을 검증하기 위하여 안테나 교정 및 측정의 가장 근간이 되는 3-안테나법으로 측정하여 상호 비교하여 그 값이 0.1dB 이내로 일치함을 보임으로써 R-SAM을 검증하였고 및 이를 토대로한 1GHz 이상의 표준안테나에 대한 새로운 개념으로서 동등 혼표준안테나를 제안하였다. 한편, 시간영역과의 융합은 대역폭이 상당히 넓은 초광대역 안테나에서 유효하고 1GHz 이하의 대역에서는 반사파 및 직접파의 분리가 어려워 특별한 경우를 제외하고는 큰 효용성이 없었으며, 18GHz 이상 대역의 혼안테나에 대해서는 지향성이 매우 강해 바닥의 반사파가 존재하기가 어렵고 설혹 반사파가 존재하더라도 직접파에 비해 그 세기가 현저히 작기 때문에 이러한 주파수 대역에서도 시간영역을 개입시키는 것은 무리라는 결론을 얻었다. 그러므로 전자파의 시간영역측정에 대한 응용으로서 안테나 사이의 직접파와 반사파를 구분하기 위하여 그 경로차를 이용하여 직접파를 추출하고 그것의 역 푸리에 변환으로 직접파만의 주파수 응답을 끌어내

어 자유공간 안테나 인자를 측정하는데는 '13년도 보고서에서 다루었던 1GHz에서 18GHz 안테나를 측정하는데 유용하다는 것으로 결론 지을수 있다.

본 보고서에서의 연구결과를 토대로 2015년에는 1GHz에서 18GHz 대역 동등혼안테나를 제작하고 이에 대한 검증과 R-SAM을 응용한 안테나 측정연구를 계속 진행할 예정이다.

[참고문헌]

- [1] J Park, G Mun, D Yu, B Lee, W Kim "Proposal of Simple Reference Antenna Method for EMI Antenna Calibration", IEEE EMC Symposium, Aug 2012, pp90-95
- [2] Alexander M.J, Salter M.J, "Low measurement uncertainties in the frequency range 30 MHz to 1 GHz using a calculable dipole antenna and national reference ground plane", IEE Proc.-Sci Meas. Sci Technol., July 1996, 143, No. 4, pp221 ~ 228
- [3] Salter M.J, Alexander M.J, "EMC antenna calibration and the design of an open field site", J. Phys. E. Meas. Sci Technol., 1991, 2, pp510 ~ 519
- [4] Smith, A.A., "Standard site method for determining antenna factors", IEEE Trans., 1982, EMC-24, pp311 ~ 322
- [5] Martin Alexander, Martin Salter, Benjamin Loader, and David Knight, "Broadband calculable dipole Reference antennas", IEEE Trans. on EMC, Vol. 44, No. 1, Feb. 2002, pp45 ~ 58
- [6] Jungkuy Park, Dongchan Jeong, Hun Youn, Myoungwon Seo, Daehoon Yu, Jaeman Ryoo. "3-Antenna Height Scanning Average method of EMI Antenna Calibration" 2009 IEEE EMC Symposium, Aug. 2009.
- [7] Alexander M.J, Loader B.G, Salter M.J, "Reduced measurement uncertainty in the frequency range 500 MHz to 1 GHz using a calculable standard dipole", NPL management Ltd-Internal
- [8] CISPR/A/990/CD "CISPR 16-1-6: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus- EMC-antenna calibration", 2012
- [9] David Cheadle "Introduction to Calculable Antenna Processor (CAP2010)", June. 2012.

- [10] Stanley L. Baker, "Calculable Antenna Processor User Manual", NPL, Mar 2011 pp1 ~ 18.
- [11] H. T. Friis, "A note a simple transmission formula", Proc IRE., May 1946, pp254~256
- [12] D. G. Camel, E. B. Larsen and W. J. Anson, "NBS calibration procedure for horizontal dipole antenna(25 to 1000 MHz)", National Bureau of Standards Electromagnetic Fields Division
- [13] Brian Kidney, "Horn Antennas", Engineering 9816-Antennas, November 26, 2001
- [14] IEC CISPR/A/644/CD Project number CISPR 16-1-5 Amd.1 Ed1., "Antenna Calibration"
- [15] 박정규, 정동찬, 차기남, 고흥남, "30 MHz에서 1 GHz 대역 EMI용 안테나의 준자유공간 안테나팩터 산출에 관한 연구" 2004년도 한국전자과학회 종합학술발표회 Vol. 14, No.1, 2004.11.5
- [16] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design" John Wiley & Sons, 1982
- [17] Microwave Antenna Theory and Design by Silver, Vol. 12, Radiation Laboratory Series, McGraw-Hill, 1949, pp. 582-585
- [18] Antenna by Kraus, McGraw-Hill, 1950, pp. 455-457
- [19] Standard Site Method For Determining Antenna Factors, IEEE EMC Transaction, Vol. EMC-24, No. 3, August 1983, pp 316-322
- [20] ANSI C63.5 American National Standard for Electromagnetic Compatibility -- Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference(EMI) Control -- Calibration of Antennas
- [21] IEEE Std 149 IEEE Standard Test Procedures For Antennas
- [22] NBS Circular 517, Calibration of Commercial Radio Field-Strength Meters
- [23] H. T. Friss, "A note a simple transmission formula", Proc. IRE.. pp. 254~256, May 1946.

- [24] Albert A Smith, "Standard Site Method for Determining Antenna Factors" IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-24, NO. 3, pp. 316~322 August 1982.
- [25] D. G. Gamel et. al, "NBS Calibration Procedures for Horizontal Dipole Antenna(25 to 1000MHz)", National Bureau of Standards Technical Note 1309, Apr. 1997.
- [26] Martin Alexander, Martin Salter, Benjamin Loader, and David knight., "Broadband Calculable Dipole Reference Antennas" IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility, VOL. 44, NO. 1, pp. 45~58, 2002.
- [27] Albert A Smith, Robert F. German, and James B Pate, "Calculation of Site Attenuation from Antenna Factors" IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. EMC-24, NO. 3, pp. 315 August 1982.
- [28] ANSI C63.5 , "American National Standard for Electromagnetic Compatibility-Radiated Emission Measurement in Electromagnetic interference(EMI) Control-Calibration of Antennas (9kHz to 40GHz)", pp10, April 2006.
- [29] NPL, A National Measurement Good Practice Guide No. 73 "Calibration and use of antennas, focusing on EMC application"
- [30] CISPR/A/990/CD "CISPR 16-1-6: Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods- Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus-EMC antenna calibration"
- [31] 박정규 외, "시간영역에서 안테나 교정방법 연구" 2011년도 전파 연구보고서
- [32] 박정규 김우년, "시간영역에서 안테나 이득 측정 연구" 한국전자파 학회 논문지 2012, Nov 23(11) pp 1217~1227
- [33] 박정규 외, "자체개발 안테나 교정방법 유효성 확인 연구" 2012년도 전파연구보고서

- [34] Jungkuy Park et. al, "Height Average Analysis of Antenna Factors for EMI Antenna", 2009 IEEE EMC Symposium. Aug 2009.
- [35] Sakasai M., et.al., Evaluation of Uncertainty in Free-space Antenna Factor Calibration in CRL. Proc. of EMC symposium in Sendai, pp.657-660, June 2004.
- [36] Agilent, "Agilent Time Domain Analysis using a network analyzer" Application Note 1287-12

안테나 교정의 R-SAM과
시간영역 기술융합 연구(2차년도)



520-350 전남 나주시 빛가람로 767

발 행 일 : 2014. 12.

발 행 인 : 최 영 진

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4416

인 쇄 : 리드릭

Tel. 02) 2269-1919

<비매품>

ISBN : 979-11-5820-005-3

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.