

제 1 장 서 론

제 1 장 서 론

최근에 전파이용의 대중화와 새로운 주파수대의 기술개발, 무선통신 및 전자기술등의 기술혁신에 따라 전파사용이 급격하게 증가 추세에 있으며, 무선국의 급증과 다양한 통신시스템, 복잡한 무선통신 방식, 다양한 무선통신 서비스 요구 등으로 전파환경은 매우 복잡하다.

전파감시업무의 최종적인 목표는 이러한 전파환경 속에서 불법무선국(혹은 무허가 무선국) 및 위규운용자 색출, 혼신 및 불요전파를 제거하는 것이다. 더 나아가, 정부는 전파의 효율적인 이용과 공평성을 확보하기 위하여 전파 이용지역과 사업의 다른 분야에 대해서 효율적인 주파수 할당업무를 수행해야 한다. 불법 운용 무선국을 색출하기 위해서는 전파감시 업무중에서 전파 품질 감시업무가 우선적으로 선행되어야 하며, 전파 품질 감시업무는 주파수, 대역폭, 스퓨리어스 전계강도를 측정하는 것으로써 구성되어 있다.

현재 선진외국에서 가장 어려운 문제로 대두되고 있는 품질측정기술로는 감시국소에서의 점유대역폭 측정기술과 전계강도 측정기술을 들 수 있다. 1차 년도 연구에서 대역폭 측정기술과 시스템 구성 방안을 제시하였으므로 2차 년도 연구에서는 전파품질 측정연구 중에서 전계강도 측정방법과 시스템 구성방안에 대해서 연구하고자 한다.

감시국소에서의 전계강도 측정은 전파전파 문제, 잡음 및 간섭이 존재할 경우에 선호되는 측정방법 및 측정장비 선정 등 전파형식에 따라 다양하고 정확한 측정을 수행하기가 결코 쉽지 않다. 또한 어느 정도 떨어진 곳에서 전계강도를 측정하였을 경우 송신기 자체의 고조파레벨에 관한 정보도 얻을 수 있을 정도의 측정도 함께 수행되어야 하고 IFRB 혹은 ITU-R 등 연구위원회가 필요로 하는 것을 만족시키기 위해서 수행되어질 수 있는 가장 유용한 프로그램 (측정방법 등)도 결정할 필요가 있다. 특히 잡음 및 간섭레벨이 측정대상 신호의 레벨보다 큰 경우에는 다른 측정방법이 필요하며 이러한 방법은 감시국소 주위의 전파환경에

따라 달라질 수 있으며 페이딩이 심한 경우에는 유용한 측정방법을 결정하기가 매우 어려운 실정이다.

따라서 본 연구는 스푸리어스 발사강도 및 전계강도 측정방법을 연구하여 전파품질감시 측정업무의 신뢰성을 확보시킬 수 있는 효율적인 전계강도 측정기술을 제안하는 데 그 목적이 있다. 이러한 연구를 수행하기 위하여 연구한 내용을 본 보고서에 순서에 따라 기술하였는데 그 내용들을 살펴보면 다음과 같다.

2 장에서는 전계강도와 스푸리어스 발사에 관한 기본적인 개요와 측정 기준 등에 대하여 기술하였다. 3 장에서는 현용 감시국소에서 사용하는 측정방법 및 측정에서의 문제점 및 감시국소에 전계강도와 스푸리어스 측정에 주로 사용되는 측정장비인 Minilock 과 ESN 장비와 정밀한 스펙트럼 측정을 위하여 사용한 스펙트럼 분석기에 대하여 다루었다. 4 장에서는 선진 외국의 전계강도와 스푸리어스 측정방법에 대하여 알고자 ITU-R에서 권고된 측정방법에 대하여 기술하였다. 5 장과 6 장에서는 현용 감시국소에서의 전계강도와 스푸리어스를 보다 효율적으로 측정하기 위한 방법을 제시하고자 스펙트럼 분석기와 현용 장비로 여러 가지 면에서 실험한 내용과 실험방법과 목적 등에 대하여 기술하였으며, 실험 결과 및 분석을 통하여 효율적인 측정방법을 도출하고자 하였다. 7 장에서는 그 동안의 연구 및 실험 결과 등을 바탕으로 측정방법과 측정시스템 등의 전계강도와 스푸리어스 발사를 효율적으로 측정하기 위한 방안을 제시하였다. 8 장에서는 본 연구에 대한 의의와 결론 및 향후 연구방안 등에 대하여 기술하였다.

제 2 장 전계강도와 스푸리어스 발사의 측정기준

제 2 장 전계강도와 스퓨리어스 발사의 측정기준

제 1 절 개 요

본 절에서는 본 연구에서 중점적으로 다루어지는 전계강도와 스퓨리어스에 대한 기본적인 내용에 대하여 다루고자 한다. 전계강도의 측정은 스퓨리어스 측정에서 기본이 되므로 전계강도에 대하여 먼저 살펴보고, 다음으로 스퓨리어스에 관하여 기술하였다.

1. 전계강도

우선 전계강도를 측정하는 목적을 살펴보면 다음과 같다. 전계강도는 주어진 서비스에 대한 요구가 있을 때, 무선신호의 서비스 율을 결정하기 위하여 측정되며, 간섭 원의 가능성에 따라 전파형식의 레벨을 결정하기 위하여, 전파전파 모델의 발전과 시험을 위한 전파전파 현상을 측정하기 위하여, 원하는 신호 혹은 원하지 않는 신호의 억제 정도와 관련하여 예를 들어 송신기 같은 전파형식 신호원의 유효성을 결정하기 위하여, 관련된 전파 규칙에 적합한지 여부를 확인하기 위하여, 비전리층 방사선의 위험을 평가하기 위하여 측정된다. 전계강도의 측정은 일반적으로 위에 열거된 목적 중에서, 하나 혹은 보다 많은 목적을 위하여 수행된다. 전계강도를 알기 위하여 그와 관련된 전력속 밀도 (power flux density)가 측정될 수도 있다.

일반적으로 사용되는 전계강도 측정의 단위는 단위 미터 당 볼트 (V/m)이다. 이 단위는 전계 (E) 성분에만 정확하게 응용할 수 있을 뿐만 아니라, 일반적으로 자유공간 (377 Ω)의 전파 임피던스와 관련된 자계 혹은 자기적 성분의 측정을 표현하기 위하여 사용된다. 그러한 경우에 미터 당 암페어인 자계 (H)는 다음과 같이 주어진다.

$$H = \frac{E}{377\Omega}$$

방사 혹은 자유공간의 원전계에서 두 계의 에너지는 같다. 이 때, 선택된 안테나의 유형은 포함된 특별한 신호를 위하여 적용할 수 있어야 한다. 측정될 발사신호의 대역폭이 전계강도 측정장비의 대역폭보다 넓으면, 전계강도측정기의 제한된 대역폭이 측정된 신호의 실제 전계강도를 읽어들이는 때, 영향을 미치는 정도가 고려되어야 한다. 이러한 경우, 보정계수가 일반적으로 이 경우에 적용된다.

수신기 입력에서 측정된 전압은 수신안테나로 유도된 전달 전압의 의미로 표현될 수 있고, 따라서 전계강도와 관련된다. 단지 수직 또는 수평 같은 단일 편파방향의 신호만을 수신할 수 있는 수직 혹은 수평 수직막대 혹은 루프 같은 간단한 안테나의 경우, 등가 입사 전계강도의 개념을 도입하는 것이 편리하다. 이것은 안테나에서 수신되는 것과 같은 편파를 가진 전계를 언급한다. 입사의 신호는 공간파와 지면에서 반사되는 파의 합으로 간주된다. 상업적인 휴대용 전계강도 측정기와 짧은 수직 혹은 루프 안테나를 사용한 고정 장치가 일반적으로 등가 입사 전계강도의 견지에서 보정된다. 다른 방향에 대한 부가적인 설비를 가진 확장된 안테나를 사용할 때는 등가 입사 전계강도의 개념이 물리적으로 거의 중요하지 않다. 등가입사 전계강도와 수신안테나로 유도되는 전압사이의 관계는 주파수의 함수이고, 도래각과 접지상수에 독립적인 공간파의 r.m.s. 전계강도에 대하여 연관된 관계와 다르다. 그러므로, 등가 입사 전계강도는 다른 위치와 다른 장비에서 시행된 측정 결과를 비교할 때, 사용하기에 보다 알맞은 파라미터이다. r.m.s 공간파 전계강도의 사용은 안테나 극좌표 다이어그램의 정확한 지식에 더하여 일반적인 파의 전계성분, 편파, 도래각의 지식을 요구할 수 있다.

실제 안테나에 의하여 급전될 때 수신기 입력에서 측정된 전압과 정합 부하에 결합된 이상적인 무손실 수신기에서부터의 유효 전력 사이의 관계는 단지 수신시스템의 손실과 안테나와 수신기의 임피던스에 의하여 좌우된다. 일반적으로, 시스템 손실과 안테나 임피던스는 주파수에 의존적이고, 전파의 도래방향 혹은 편파의 함수가 아니다.

공간파의 전계강도 추정을 위하여, 현재 존재하는 방법은 수신시스템

의 손실이 없을 때, 평균 유효 수신 전력으로 표현된다. 따라서, 예측된 것과 측정된 결과를 비교하기 위한 목적으로 언급된 신호 강도는 평균 유효 수신 전력이고 그것은 도래각과 편파에 독립적이다.

더 높은 주파수에서, 특히 1 GHz 이상인 주파수에서, 많은 경우에 전력속 밀도 (P)의 관점에서의 측정은 발사신호의 사용 가능한 전계강도와 관련된 더 많은 직접적인 유용한 정보를 제공한다. 전력 속 밀도 측정의 파라미터는 제곱 평방미터 당 와트 (W/m^2)이다. 자유공간에서 선형적으로 편파된 파를 위하여, $P=E^2/120\pi$ 이다. 여기서, E는 미터 당 전압은 전계강도이다. 분모인 120π 는 자유공간에서의 임피던스 값이다.

전계강도의 측정은 다음 구성 성분들을 혼합하여 사용함으로써 이루어진다.

- 안테나
- 결합 네트워크, 전송선
- 주파수 선택회로
- 증폭과 감쇄회로
- 측정기, 차트 기록기, 연산 장치 같은 인식 장치
- 보정원 (예를 들어 CW 표준 신호발생기, 임펄스 발생기 혹은 랜덤 잡음 발생기)

이러한 구성요소들은 하나 혹은 그 이상의 요구되는 기능을 가진 단일 장비나 다수의 분리된 장비로 구성될 수 있다. 안테나 패턴이나 기지국 서비스 영역의 측정 같은 응용의 목적으로 사용하기 위하여 안테나를 제외한 위에 열거된 모든 구성요소들을 포함하는 단일 휴대용 전계강도 측정기를 사용하는 것이 실제로 일반적이며, 심지어 어떤 경우에는 안테나가 전계강도 측정기의 적분 부분이다. 후자의 유형은 자체 내장 전원과 매달린 뚜껑에 부착된 루프를 가진 530 kHz에서 1600 kHz 사이의 주파수 영역을 위한 장비이다. 고체상태의 구성요소들을 이용함으로

써 전원을 포함한 무게는 걸어다니면서 사용하기에 적당하도록 단지 약 5 kg (10 lbs)이 된다. 무게와 전력 소비가 그다지 중요하지 않은 이동 혹은 고정 설비에서는 표준 전계강도 측정기에서 수신기, 측정기, 차트 기록기, 표준 신호발생기, 또는 다른 보정장치와 적당한 안테나 시스템을 구성하는 여러 단자들에 이르기까지 구성요소들의 혼합을 넓게 선택할 수 있다. 마이크로프로세서 시스템은 일반적으로 수신기, 보정기, 기록기를 조절하기 위하여 사용되고, 때때로 단일장비 안에 설치된다.

전계강도 측정에서 사용된 장비에서 측정기의 대역폭, 측정기 보정 함수 (예를 들어 평균, 첨두, 준 첨두, r.m.s 또는 평균 로그 함수)와 시간 상수에 대한 지식은 변조된 발사신호를 관찰할 때, 매우 중요하다. 이 정보는 일반적으로 상업적으로 제조된 장비에 쉽게 적용할 수 있지만, 정의된 단계들이 그러한 계수들을 측정하거나 얻기 위하여 주어지지 않는다면, 혼합 구성된 장비들이 사용될 때는 일반적으로 알려져 있지 않다.

일련의 혼합장비 구성의 정확도는 모든 장비의 세부사항과 도선 연결이 위에 나열된 파라미터들을 포함하여 알려지지 않았다면 예측이 불가능하다. 그러므로, 알려지고 안정적인 특징을 가진 전계강도 측정기 혹은 신호 발생기와 직접 비교함에 의하여 혼합 구조 설비와 전계강도 기록 설비를 보정하는 것이 일반적인 예이다.

소형 휴대용인, 마이크로프로세서로 조절된 자동 전계강도 측정장비는 단일 단위로서 시장에서 구입할 수 있다. 이러한 장비는 보통 HF 혹은 그 이하 주파수 대에서의 동작이나 VHF 이상의 동작을 위하여 디자인된다. 높은 정확도의 추적 발진기, 정밀 감쇄기, 자동 보정과 측량에서 1 dB 보다 작은 전압 측정 오차를 갖도록 정할 수 있다. 1 dB 로 권고된 안테나 계수의 정확도와 함께 ± 2 dB 인 하나의 완성된 자동 전계강도 측정 시스템의 총 정확도는 적어도 9 kHz 와 130 kHz 사이의 주파수 영역에서 얻어질 수 있다.

전계강도와 전력속 밀도의 측정이 3 가지의 주파수영역으로 분류하는 것이 편리하다.

- 약 30 MHz 이하의 주파수
- 약 30에서 1000 MHz 사이의 주파수
- 대략적으로 1 GHz에서 30 GHz 사이의 주파수

이 분할은 이들 영역을 위하여 최적화된 기술이 다르기 때문에 유용하다 [5,8,12].

2. 전계강도 측정기의 구성

일반적인 전계강도 기록 설비는 알맞은 안테나와 기록될 전파형식에 대하여 적당한 대역폭을 가지고, 기록장치와 관련된 동작에 대하여 일치하는 직접 전류로 수신된 신호를 변환하는 설비를 포함하는 민감한 수신기, 무선 주파수 전압 입력 레벨의 견지에서 수신기를 보정하는데 사용하기 위한 표준 신호 발생기로 구성된다. 수신기 이득에서 변화의 최소화는 수신기 회로에 대하여 조심스러운 설계를 함으로써 얻어질 수 있다.

가. 안테나

저주파, 중간주파, 고주파 대역에서의 측정을 위하여 임피던스 정합 변환기를 가진 스테브 안테나 또는 상수의 급전 임피던스 또는 루프를 가진 광대역 스테브 안테나가 이용될 수 있다. 특별한 경우에 단일주파수나 주파수의 협대역을 위하여 고안된 방향성 안테나가 선호될 수 있다. UHF 및 VHF 대역의 전계강도 측정에서는 광대역 다이폴, 또는 코너반사기나 파라볼라 반사기에 설치된 다이폴 안테나 같은 특수 방향성 안테나가 가장 좋다. UHF 상한 부분 및 SHF 대역에서는 파라볼라 반사기가 있는 혹은 파라볼라가 없는 로그 주기 안테나를 사용함으로 인하여 좋은 결과가 얻어졌다. 이렇게 설비될 경우 낮은 정재파 비를 가지는 최적의 결과가 2 배 혹은 더 넓은 주파수 범위에서 얻어질 수 있다.

30 MHz 이하 (파장이 대략 10 m 이상인) 경우, 실제적인 안테나는 보통 파장과 비교하여 작다 ($< 1/10$). 가장 일반적인 측정 안테나는 지

름 0.3 m 정도인 하나의 루프 또는 전기적으로 차폐된 더 많은 루프들로 이루어진 루프안테나 혹은 파장의 1/4 보다 짧은 길이의 수직 막대 안테나이다. 대략적으로 30 MHz 이하에서는 전기적으로 지면 가까운 높이에서 전계강도를 측정하는 것이 일반적으로 필요하다. 지면, 초목, 도선, 구조물들의 특성들이 전계와 자계 성분의 강도와 편파의 각에 다르게 영향을 준다. 또한 이러한 것들은 안테나의 임피던스에 영향을 줄 수도 있다. 전기적으로 차폐된 루프안테나를 사용하는 측정은 일반적으로 막대 안테나를 사용할 경우보다 부근의 물체에 의해서 영향을 훨씬 덜 받는다.

대략 30에서 1000 MHz (파장이 대략 10 m에서 30 cm인)인 경우, 실제 안테나는 파장과 비슷한 정도의 크기를 가지고 있다. 이 영역의 고정된 주파수의 경우, 전계강도 측정을 위하여 사용되는 가장 일반적인 안테나는 반파장 공진 다이폴이다. 다이폴은 균형-비균형 변압기 (balun)와 동축 전송선에 의한 측정장비와 관련이 있다. 공진 다이폴 안테나는 매우 효율적 (손실 저항이 방사저항에 상대적으로 매우 낮다.)이라는 점에서 루프와 짧은 막대 안테나와 구분된다. 광대역 안테나와 지향성 안테나가 이 주파수 대역의 상위 부분에서 때때로 사용되는데, 특히 원뿔나선형 안테나가 사용된다.

대략 1 GHz (파장이 약 30 cm 보다 더 짧은) 이상인 주파수 영역에서는 다이폴 안테나의 개구면이 필요 민감도를 제공하기에 너무 작다. 이 주파수대에서는 일반적으로 예를 들어 혼(horn)과 파라볼라 반사기 시스템 같은 파장과 비교하여 넓은 개구면으로 에너지를 모으는 안테나가 실제로 사용된다. 이 안테나들은 보통 50 %를 초과하는 높은 효율과 상당한 지향성을 가진 특성이 있다. 동축이나 도파관 전송선이 사용된다. 유용한 전계강도 측정을 위한 주파수의 상한은 현재 명확하게 정의되어 있지 않지만, 적당한 수신기와 정확한 감쇄기와 볼로미터가 가능하다면, 1 GHz 이상에서 사용되는 기술이 어떤 더 높은 주파수에서도 이용될 수 있다.

안테나 계수는 측정 및 보정 회로에서 공통이 아닌 부분에서 안테나와

수신기 사이의 커플링 또는 부정합 손실을 고려하는 것으로서 안테나 계수의 오차는 1 dB내에서 유지되어야 한다.

나. 기록기

잉크-선, 스트립 차트 기록기가 보통 계속 사용되고 있지만, 자동분배 계수기에 의하여 전계강도 변화의 통계적인 분포를 직접 기록하고 있다. 일본에서 보고된 또 다른 형태의 기록기는 IC 소자로 이루어진 간단한 회로를 사용함으로써 선형 데시벨 크기로 전계강도의 아날로그 기록이나 디지털 신호의 출력을 가능하게 하며 종래의 로그압축기를 사용하지 않고 더 넓은 동적 범위를 제공한다.

다. 보정장비

보정의 절차는 2개의 단계를 포함한다.

- 연결된 전송선에서의 손실을 고려할 때, 수신안테나의 유효 높이를 결정
- 민감도에서 점진적인 변화에 의하여 가능한 오차를 제거하기 위한 일일 혹은 더 빈번한 수신기의 보정

안테나의 유효 높이를 결정하기 위하여 수신기에 대한 입력 신호는 보정된 전계강도 측정기의 표시와 비교된다. 또한 차폐실 내에서 알고 있는 세기의 전계를 발생시킴으로써 전계강도 측정장비를 보정하는 방법이 있다. 이 전계는 전계강도 측정기와 관련된 루우프 안테나의 보정에 사용된다. 이 기술은 약 30 MHz 이하의 주파수에서의 사용에 적합하다.

전계강도 측정설비는 1 절에서 언급된 정확도를 유지하기 위하여 요구되는 대로 보정되어야 한다. 보정의 적절한 방법은 규칙적인 전계강도 측정이 수행되는 곳의 주파수나 가까이에서 운용되는 국으로부터 발사된 신호의 실제 전계강도 값을 가진 측정장비에 의하여 관측되는 신호레벨과 비교하는 것이다. 확장된 주파수 범위에 대하여 측정이 되는 곳에서 관심있는 주파수 범위에 대한 빈번한 비교측정에 기초하여 보정곡선이 준비되어야 한다. 이러한 비교 측정이 이루어질 때 감시국소의 안테나와

전계강도 측정기의 안테나는 동일한 편파를 가져야 한다. 수신기 이득에서의 변화에 대비하기 위하여 알고 있는 안정된 특성의 무선 주파수 표준 신호 발생기로 수신기를 자주 검사하는 것이 바람직하다.

라. 주파수 범위

전계강도의 측정이 거의 모든 사용 가능한 스펙트럼에서 이루어지지만, 대부분 1 GHz 이하의 주파수에서 집중되어 왔다. 공중과 지상 전송에 대한 초고주파 주파수의 사용이 빈번해지기 때문에 전계강도가 전력속 밀도에 의하여 정기적으로 측정되는 이러한 고주파 범위에서 전계강도의 측정이 더 활발해 지는 듯 하다.

마. 기록의 분석

LF-MF 방송 대역에서 측정된 기록은 전계강도의 시간평균값을 얻기 위하여 분석되며 이러한 데이터로부터 월 평균이 얻어질 수 있다. 송신기와 수신기 사이의 경로 중간 점에서 해진 후, 6 시간 동안 특별한 주의가 주어진다. 중간값 (median)이 아닌 레벨과 시간에 대한 값이 유사한 방법에 의해서 얻어질 수 있다.

HF, VHF와 UHF 대역에서 종종 상한 레벨, 중간값과 하한 레벨 값을 결정하는 것이 바람직하다. dB(μ V/m)로 표시된 중간값이 전파 연구를 위한 이산 주파수에서의 측정 표시의 바람직한 형태이다 [5, 8, 12].

3. 스푸리어스 발사

가. ITU-R 고려사항

- 무선국들이 스푸리어스 발사에 대하여 규정된 허용범위를 따라서 한다고 규정하고 있으며, 더욱이 기술상태 및 업무의 성질이 허용하는 최저값에서 스푸리어스 발사와 대역의 송출이 유지되도록 많은 노력이 기울여져야 한다는 것
- 송신 안테나 또는 시험 부하에 공급되는 기본 주파수 이외의 주파수

에서, 전력의 측정은 특별한 조건하의 발사 순수도에 관한 송신기 성능의 분석에서 유용하며 그러한 측정들은 스푸리어스 발사를 감소시키는 어떠한 방법들의 사용을 촉진시킨다는 것

- 송신기로부터 멀리 떨어진 위치에서 송신 안테나에 공급되는 스푸리어스 발사의 전력과 해당 신호의 전계강도간의 관계는 스푸리어스 발사의 주파수에서의 수평, 수직 안테나 지향성, 여러 경로에 걸친 전파 전파, 안테나 자체이외의 송신 장치의 부분으로부터의 발사와 같은 요소들 때문에 큰 차이가 있을 수도 있다는 것
- 송신기로부터 멀리 떨어진 위치에서 스푸리어스 발사의 전계강도 측정은 그러한 발사로 인한 간섭신호의 강도를 표현하는 직접적인 수단으로 인지된다는 것.
- 기본 주파수에서의 발사를 다루는데 있어서 주관청은 관례대로 안테나 전송선에 공급되는 전력을 설정하며, 발사된 신호가 허가된 발사신호에 간섭을 일으키는 시기를 결정하는데 도움을 주기 위하여 얼마간 떨어져서 전계강도를 측정한다는 것, 이와 비슷한 과정이 스푸리어스 발사를 다루는데 도움이 될 것이라는 것
- 대체로 주파수 스펙트럼을 경제적으로 사용하기 위해, 특정업무들이 기술적 또는 운용상의 이유 때문에 더 낮은 제한값을 필요로 하겠지만, 스푸리어스 발사의 일반적인 최대 제한을 낮추는 것이 필요하다.

나. 스푸리어스 발사 관련 용어의 정의

아래의 용어들과 정의는 다음과 같은 스푸리어스라고 간주되어지는 발사를 나타내는데 사용되어야 한다

- 스푸리어스 발사

레벨이 해당 정보 전송에 영향을 미치지 않고 감소될 수 있고, 필요 대역폭밖에 있는 주파수 또는 주파수들에서 발사, 스푸리어스 발사는 대역외 발사를 제외하고 고조파 발사, 기생발사, 상호변조 및 주파수 변환에 의한 발사를 포함한다.

- 고조파 발사

발사 신호에 의하여 점유된 주파수 대역 내에 포함되어 있는 발사 신호의 주파수의 정수배 주파수에서의 스퓨리어스 발사

- 상호변조에 의한 스퓨리어스

상호변조에 의한 스퓨리어스는 다음의 원인에 의한 주파수에서의 상호변조 스퓨리어스이다.

- 다음과 같은 것들간의 상호변조

- 발사 신호의 반송, 특성, 고조파 주파수에서의 발진 또는 반송이나 특성주파수의 발생에 의한 발진 및
- 동일 송신시스템 또는 다른 송신기나 송신 시스템에서 발생하는 동일한 성질의 하나 또는 여러 개의 발사 신호의 발진, 그리고,
- 발사신호의 반송 또는 특성 주파수를 만들기 위하여 발생하는 모든 발진들 간의 상호변조

- 주파수 변화에 의한 스퓨리어스

고조파 발사를 제외하고, 발사신호의 반송 또는 특성 주파수를 만들기 위하여 발생하는 모든 발진주파수들 또는 그 주파수의 정수 배에서의 스퓨리어스 발사

- 기생 발사

발사신호의 반송 또는 특성주파수와 반송 또는 특성 주파수의 발생에 의한 발진 주파수들과는 독립적인 주파수에서 우연히 발생하는 스퓨리어스 발사

다. 스퓨리어스 발사의 제한

아래에서 주어진 스퓨리어스 발사에 대한 제한은 정의에 따라 스퓨리어스 발사에 대하여만 적용되어야 한다. 당분간, 스퓨리어스 발사의 최대

허용레벨은 관련된 스퓨리어스 발사의 주파수에서 송신기에 의해 안테나 급전선에 공급되는 평균전력으로 계속 표현되어진다. 안테나 시스템, 즉 안테나 및 안테나 급전선이외의 모든 설비로부터의 스퓨리어스 발사는 이 안테나 시스템에 최대 허용 전력이 공급된 경우, 스퓨리어스 발사주파수에서 발생하는 것보다 큰 영향을 미쳐서는 안 된다. 아래의 성능 표준이 전파규칙의 개정된 제한으로, 주파 주관청 회의에서 채택되는 경우에, 모든 주관청이 새로운 송신기에 대하여 이러한 제한을 적용할 수 있도록 하기 위해서는 개정된 규칙의 시행 일로부터 최소한 3년이 걸린다. 송신시스템이 하나 이상의 송신기를 포함하고 있는 경우에 아래에 규정된 제한의 적용은 정상적으로 운용되는 모든 송신기에 적용되어야 한다.

(1) 다음의 제한치는 9 kHz 와 30000 kHz 사이의 기본주파수를 가지는 송신기에 적용 가능하다. (전파규칙 부록 8, 표의 열 A 및 / 또는 B)

- 임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 50 mW를 초과하지 않고 적어도 기본 발사 전력의 40 dB 이하이어야 한다.

(2) 다음의 제한치는 30 MHz 와 235 MHz 사이의 기본주파수를 가지는 송신기에 적용 가능하다.

- 기본 주파수에서 출력 전력이 25 W 이상인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 1 mW의 값을 초과하지 않고 적어도 기본 발사 전력의 60 dB 이하이어야 한다.

- 기본 주파수에서 출력 전력이 25 W 이하인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전

력은 $25\ \mu\text{W}$ 를 초과하지 않고 적어도 기본 발사 전력의 40 dB 이하이어야 한다.

(3) 다음의 제한치는 235 MHz 와 960 MHz 사이의 기본주파수를 가지는 새로운 송신기에 대하여 실현 가능하다.

- 기본주파수에서 출력 전력이 25 W 이상인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 20 mW를 초과하지 않고 적어도 기본 발사 신호 전력의 60 dB 이하이어야 한다.

- 기본 주파수에서 출력 전력이 25 W 이하인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 $25\ \mu\text{W}$ 를 초과하지 않고 적어도 기본 발사 신호 전력의 40 dB 이하이어야 한다.

(4) 다음의 제한은 960 MHz 와 17.7 GHz 사이의 기본주파수를 가지는 송신기에 대하여 실현 가능하다.

- 기본 주파수에서 출력 전력이 10 W 이상인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 100 mW를 초과하지 않고 적어도 기본 발사 전력의 50 dB 이하이어야 한다.

- 기본 주파수에서 출력 전력이 10 W이하인 송신기

임의의 스퓨리어스 발사에 대하여, 안테나 전송선에 공급되는 평균전력은 $100\ \mu\text{W}$ 를 초과하지 않아야 한다.

30 MHz 이하에서 운용되고 평균전력이 5 W 이하인 휴대장치의 경우에는 적어도 30 dB의 감쇠가 있어야 하나 40 dB의 감쇠에 이르기 위

해 모든 노력이 기울어져야 한다. 30 MHz 이하에서 운용되는 이동 송신기의 경우, 임의의 스퓨리어스 발사성분은 200 mW를 초과하지 않고 적어도 40 dB의 감쇠를 가져야 하나 실행 가능한 경우에, 50 mW의 레벨에 이르기 위해 모든 노력이 기울어져야 한다. 30 MHz 이상에서 운용되는 주파수 변조 해상이동 무선전화 장치에 대하여 변조로 인한 임의의 다른 국제 해상 이동 채널에서 사용할 수 있게 되는 스퓨리어스 발사의 평균전력은 10 μ W의 레벨을 초과하지 않아야 한다. 또한 예외적으로 20 W 이상의 평균전력 송신기가 사용되는 경우에는 송신기의 평균전력에 비례하여 이러한 레벨들이 증가될 수도 있다. 국제 해상 이동 대역내의 이산 주파수 상의 임의의 다른 스퓨리어스 발사 평균전력은 2.5 μ W의 레벨을 초과하지 않아야 한다. 예외적으로 20 W 이상의 평균전력 송신기가 사용되는 경우에는 송신기의 평균전력에 비례하여 이들 레벨이 증가될 수도 있다. 평균전력이 100 mW 이하인 송신기에 대하여 평균전력 레벨이 10 μ W를 초과하지 않는 경우에 40 dB의 감쇠에 이르는 것이 필수적인 것은 아니다. 1 옥타브 또는 그 이상에 근접하는 주파수 범위를 포함하는 둘 이상의 주파수 상에서 운용할 수 있는 50 kW를 초과하는 평균전력의 송신기에 대하여, 30 mW 이하의 감소가 필수적이진 않지만 최소 60 dB 감쇠가 제공되어야 한다. 평균전력이 50 W 이하인 휴대장치에 대하여 적어도 30 dB의 감쇠가 있어야 하나 40 dB 감쇠에 이르기 위해 실제적인 모든 노력이 기울어져야 한다. 주관청은 유해한 간섭이 일어나지 않으면 10 mW의 레벨을 채택하기도 한다. 여러 송신기가 인접 주파수상에서 공용 안테나 또는 조밀하게 배치한 안테나에 전력을 공급하는 경우에, 규정된 레벨에 이르기 위하여 실제적인 노력이 기울어져야 한다. 이들 레벨이 전파천문이나 우주 업무에서의 수신국에 적합한 보호를 제공하지 않을 수 있기 때문에 관련 무선국들의 지리적 위치를 감안하여 각각의 경우에 보다 엄격한 레벨이 고려된다. 이들 레벨은 디지털 변조기술을 사용하는 시스템에 적용할 수 없으나 지침으로서 사용될 수 있다. 이들 시스템에 대한 값은 사용 가능할 때 관련 ITU-R 권고에 의하여 제공될 수도 있다. 적절하고 일관성 있게 4 kHz

대역폭 또는 1 MHz 대역폭을 기준으로 하고 전파규칙에 따라 분배된 주파수 대역 밖에서 발생하는 우주업무를 위한 지구 및 우주국으로부터의 상호변조 발사 및 열 잡음은 단일 무변조 반송파에 의하여 생성된 송신기포화 출력 전력 (또는 반도체 증폭기의 경우에 정격 출력 전력)의 적어도 30 dB 이하이어야 한다. 할당 주파수 대역 밖의 우주 업무국으로부터의, 4 kHz 대역폭 또는 1 MHz 대역폭에 기준을 둔 열잡음을 제외한 모든 다른 스퓨리어스 발사는 적절하고 일정하게 기본전력의 적어도 50 dB 이하이어야 한다. 100 mW 및 100 μ W 제한치는 ITU-R 에 의한 향후 연구를 필요로 하기 때문에 적용되지 않아야 한다. 특정업무는 기술적, 운용상의 이유로 보다 낮은 제한치를 필요로 할 수 있다는 것을 인지하여야 한다. 전파 감시국에 있어서 수용 가능한 측정방법이 존재할 때까지 실행 가능한 최저의 스퓨리어스 발사 전력이 유지되어야 한다 [5,8,12].

제 2 절 현용 전계강도 및 스퓨리어스 측정의 기준

본 절에서는 1 절에서 살펴본 전계강도와 스퓨리어스에 대하여 현재 우리나라에서 품질감시를 위한 측정의 기준을 어떻게 정하고 있는가를 알아보고자 한다. 전계강도에 대하여는 현재 규정된 사항이 없으므로 전계강도와 관련된 공중선 전력의 규정을 아래와 같이 조사하였다.

스펙트럼 분석기 등의 계측기에서 전압 (V)과 전력 (P) 사이의 변환은 장비의 임피던스가 50 Ω 일 때, $P = \frac{V^2}{50(\Omega)}$ 의 일반적인 식에 의한다 [20].

1. 공중선 전력

가. 공중선 전력의 의미

선 모양의 도체에 무선주파 전류를 흘리면 그 도체에서 전자파가 방사된다. 또 전자파가 흐르는 곳에 도체를 두면 그 도체에 무선주파 전압이 유도되는데 이 경우 앞의 도체를 공중선이라 한다. 공중선 전력이라

함은 일부 예외 (규격 전력의 경우)를 제외하고 송신기로부터 공중선계의 급전선에 공급되는 전력을 말한다. 공중선 전력은 전파행정청의 지정 사항의 하나로서 무선국허가장에 표시되며, 발사하는 전파의 형식에 따라 첨두 전력, 평균 전력, 반송파 전력 또는 규격 전력에 의하여 표시된다.

(1) 첨두 전력 (px 또는 pX)

통상의 동작 상태에 있어서 변조 포락선 (피변조파의 변조 파형의 포락선)의 최고 파고에서의 무선 주파수 1 Hz 사이에 송신기에서 공중선계의 급전선에 공급되는 평균전력을 말한다.

(2) 평균 전력 (py 또는 pY)

통상 동작중의 송신기에서 공중선계의 급전선에 공급되는 전력으로서 변조에서 사용되는 최저 주파수의 주기에 비교하여 충분한 장시간에 걸쳐 평균된 전력을 말한다.

(3) 반송파 전력 (pz 또는 pZ)

무변조 상태에서의 무선 주파수 1 Hz 사이에 송신기에서 공중선계의 급전선에 공급되는 평균 전력을 말한다.

(4) 규격 전력

종단 진공관의 사용 상태에서의 출력 규격의 값을 말한다. 위의 각 공중선 전력 표시기호에 있어서 p는 전력의 (W)를 표시하고, P는 기준 전력 레벨과의 관계에 있어서 dB로 나타내는 전력을 표시한다.

나. 공중선 전력의 표시

(1) 전파형식별 공중선 전력의 표시

(표 2.1) 공중선 전력의 표시

| 전파형식 | 공 중 선 전 력 |
|------|--|
| N0N | 평균 전력 (PY) |
| A1A | 첨두 전력 (PX) |
| A1B | 첨두 전력 (PX) |
| A1D | 첨두 전력 (PX) |
| A2A | 첨두 전력 (PX) |
| A2B | 평균 전력 (PY) |
| A2X | 평균 전력 (PY) |
| A3E | 1. 방송국 설비에 있어서는 반송파 전력 (PZ) 2. 방송국 이외의 무선설비에 있어서는 평균 전력 (PY) |
| A3C | 1. 전반송파를 단속하는 것에 있어서는 첨두 전력 (PX) 2. 기타의 것에 있어서는 평균 전력 (PY) |
| A8W | 1. 단속하지 않는 전반송파를 사용하는 것에 있어서는 평균 전력 (PY) 2. 기타의 것에 있어서는 첨두 전력 (PX) |
| A9W | 1. 단속하지 않는 전반송파를 사용하는 것에 있어서는 평균 전력 (PY) 2. 기타의 것에 있어서는 첨두 전력 (PX) |
| H2A | 평균 전력 (PY) |
| H2B | 평균 전력 (PY) |
| H3E | 평균 전력 (PY) |
| H8E | 평균 전력 (PY) |
| R3C | 첨두 전력 (PX) |
| R3E | 첨두 전력 (PX) |
| R7B | 첨두 전력 (PX) |
| J2A | 첨두 전력 (PX) |
| J2B | 첨두 전력 (PX) |
| J3C | 첨두 전력 (PX) |
| J3E | 첨두 전력 (PX) |
| B7W | 첨두 전력 (PX) |
| B8C | 첨두 전력 (PX) |

| 전파형식 | 공 중 선 전 력 |
|------|--|
| B8E | 첨두 전력 (PX) |
| B9B | 첨두 전력 (PX) |
| B9W | 첨두 전력 (PX) |
| C3F | 1. 방송국 설비에 있어서는 첨두 전력 (PX) 2. 방송국 이외의 설비에 있어서는 평균 전력 (PY) |
| F1A | 평균 전력 (PY) |
| F1B | 평균 전력 (PY) |
| F1C | 평균 전력 (PY) |
| F1D | 평균 전력 (PY) |
| F2A | 평균 전력 (PY) |
| F2B | 평균 전력 (PY) |
| F3C | 평균 전력 (PY) |
| F3E | 평균 전력 (PY) |
| F3F | 평균 전력 (PY) |
| F7B | 평균 전력 (PY) |
| F8B | 평균 전력 (PY) |
| F8W | 평균 전력 (PY) |
| F9W | 평균 전력 (PY) |
| G3E | 평균 전력 (PY) |
| G7E | 평균 전력 (PY) |
| P0N | 첨두 전력 (PX) |
| K1A | 첨두 전력 (PX) |
| K2A | 첨두 전력 (PX) |
| K3E | 첨두 전력 (PX) |
| L1D | 첨두 전력 (PX) |
| L2A | 첨두 전력 (PX) |
| L3E | 첨두 전력 (PX) |
| M2A | 첨두 전력 (PX) |
| M3D | 첨두 전력 (PX) |

| 전파형식 | 공 중 선 전 력 |
|------|------------|
| M3E | 첨두 전력 (PX) |
| M7E | 첨두 전력 (PX) |
| Q0N | 첨두 전력 (PX) |
| V3E | 첨두 전력 (PX) |

(2) 공중선 전력의 표시

- ① 공중선 전력은 앞 표의 왼쪽에 보이는 전파 형식의 전파를 사용하는 송신장치에 대하여 각각 오른쪽에 보이는 전력으로 표시된다.
- ② 다음 각 호에 보이는 송신설비의 공중선 전력은 전항의 규정에 불구하고 규격전력 (Pr)으로 표시한다.
 - a. 500 MHz 이하의 주파수의 전파를 사용하는 송신설비로서 정격 출력 1 W 이하의 진공관을 사용하는 것 (구명정, 구명대 또는 구명부기에 사용되는 비상용의 휴대 무선 전신의 무선 설비, 비상 위치 지시용 무선 표지 설비 (라디오 부이)의 송신 설비 및 항공 이동 업무 또는 항공 무선 항행 업무국의 송신 설비를 제외한다.)
 - b. 아마추어국 및 실험국의 송신 설비 (방송을 하는 실험국의 송신 설비를 제외한다.)
 - c. 전 각 호에 보이는 것 이외에 첨두 전력, 평균 전력 또는 반송파 전력을 측정하기가 곤란하거나 필요 없는 송신 설비

(3) 공중선 전력의 환산비

전파법령에서 송신장치의 반송파 전력, 평균 전력 및 첨두 전력의 각각의 환산비는 전파 형식에 따라 아래 표와 같이 규정되어 있다.

※ 비고

- (1) 반송파를 저감 또는 억압한 단일통신로송신 장치의 첨두 전력은 한 변조 주파수에 의한 송신 전력의 포화 레벨로 변조한 경우의 평균

전력으로 한다.

- (2) 반송파를 저감 또는 억압한 다중통신로송신 장치의 첨두 전력은 한 변조 주파수에 의하여 변조한 평균 전력의 4 배로 한다. 이 때 동일 통신로에 이 단일 변조주파수와 같은 강도로서 주파수가 다른 한 변조 주파수를 가한 때에는 송신 장치의 고주파 출력에서 제 3차의 혼 변조적인 단일 변조만을 가한 때보다 25 dB 내려간 것으로 한다.
- (3) 방송용 송신장치에서 페데스탈에 상당하는 영상을 보낸 때의 평균 전력을 1로 한다.
- (4) 표 중 d 는 충격계수 (펄스 폭과 펄스 주기의 비를 말한다)를 da는 평균 충격 계수를 표시한다.

다. 공중선 전력의 허용 편차

공중선 전력의 허용 편차라 함은 공중선 전력에 대하여 실지의 공중선 전력에 허용될 수 있는 편차를 말하며, 각 무선국별로 다음과 같이 규정되어 있다.

※ 참고

● 공중선 전력의 허용편차의 계산 예

지정된 공중선 전력을 500 W로 하고, 허용편차를 상한 5 %, 하한 10 %라 하면 실지로 전파를 발사한 경우에 허용될 수 있는 공중선 전력은 상한 $500 + 500 \times \frac{5}{100} = 525$ W이고, 즉, 450 W에서 525 W 까지의 범위이면 편차로서 허용된다.

(표 2.2) 전파형식별 공중선 전력의 환산비표

| 전파 형식 | 변 조 특 성 | 환 산 비 | | | 비 고 |
|------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | 반송파 전 력 (pZ) | 평 균 전 력 (pY) | 첨 두 전 력 (pX) | |
| A1A A1B | | | 0.5 | 1 | |
| A2A A2B | 1. 변조용 가청 주파수의 전건 조작 2. 변조파의 전건 조작 | 1 1 | 1.25 0.75 | 4 4 | |
| A3E | | 1 | 1 | 4 | |
| R3E | | | 0.14 | 1 | 비고 1 참조 |
| B8E | | | 0.075 | 1 | 비고 2 참조 |
| J3E | | | 0.16 | 1 | 비고 1 참조 |
| A3C | 1. 주반송파의 단속 | 1 | 0.5 1 | 1 4 | |
| R3C | | | 0.14 | 1 | |
| J3C | | | 0.16 | 1 | |
| C3F | | | 1 | 1.68 | 방송국에 한함 비고 3 참조 |
| R7B | | | 0.14 | 1 | |
| R7A | | | 0.075 | 1 | |
| R0N | | | 1 | 1/d | |
| K1A | | | 0.5 | 1/d | |
| K2A K2B | 1. 변조용 가청 주파수의 전건 조작 2. 변조파의 전건 조작 | | 1.25 0.75 | 4/d 4/d | |
| L2A L2B | 1. 변조용 가청 주파수의 전건 조작 2. 변조파의 전건 조작 | | 1 0.5 | 1/da 1/da | |
| M2A M2B | 1. 변조용 가청 주파수의 전건 조작 2. 변조파의 전건 조작 | | 1 0.6 | 1/da 1/da | |
| K3E | | | 1 | 4/da | |
| L3E | | | 1 | 1/da | |
| M3E | | | 1 | 1/da | |

(표 2.3) 공중선 전력의 허용 편차

| 송신설비 | 허용편차 | |
|--|--------|--------|
| | 상한 퍼센트 | 하한 퍼센트 |
| 방송국 (초단파 방송 또는 텔레비전 방송을 하는 것을 제외한다.)의 송신설비 | | 10 |
| 초단파 방송 또는 텔레비전 방송을 하는 방송국의 송신설비 해안국, 항공국 또는 선박을 위한 무선표지국의 송신설비로서 25.11 MHz 이하의 주파수 전파를 사용하는 것 선박국의 송신설비로서 다음에 계기하는 것 1. 의무선박국의 무선전신 주설비와 보조설비로서 405 kHz ~ 535 kHz 이하의 주파수 전파를 사용하는 것 2. 총톤수 300 톤 미만 어선의 의무선박국이 무선전신의 주설비로서 1,605 kHz ~ 3,900 kHz 이하의 주파수 전파를 사용하는 것 (1.의 송신설비를 가진 의무선박국을 제외한다.) 3. 영 제59조 제2항의 선박무선전화국으로서 1,605 kHz ~ 3,900 kHz 의 주파수 전파를 사용하는 것 | 10 | 10 |
| 다음에 계기한 송신설비 1. 비상위치 지시용 무선표지설비 2. 발동기부구명정에 장치하여야 할 무선전신의 송신설비 3. 구명정용 휴대 무선전신의 송신설비 4. 항공기용 휴대무선기로서 25.11 MHz 이하의 주파수 전파를 사용하는 것 5. 양방향무선전화 | 50 | 20 |
| 470 MHz를 초과하는 주파수 전파를 사용하는 무선국 (방송국을 제외한다.)의 송신설비 | 50 | 50 |
| 아마추어국의 송신설비 | 20 | - |
| 기타의 송신설비 | 20 | 50 |

라. 대표 주파수에 대한 공중선 전력의 비율

(표 2.4) 에 있어서 단일 공중선을 사용하여 2 이상의 전파를 발사하는 선박국 송신 장치의 각 주파수의 공중선 전력은 각 전파형식마다 그 대표 주파수의 공중선 전류 또는 공중선 전력에 대하여 다음 표의 오른쪽

에 기재한 각각의 비율이어야 한다.

(표 2.4) 대표 주파수에 대한 공중선 전력의 비율

| 주파수대 (kHz) | 대 표 주 파 수 | 대표 주파수에 대한 공중선 전력 |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 405-526.5 | 500 kHz | 85 % 이상 (전류) |
| 1,606.5 ~ 2,850 | 2091 kHz 또는 2182 kHz | 85 % 이상 (전류) |
| 3,155 ~ 3,900 | 최저 주파수 | 75 % 이상 (전류) |
| 4000 ~ 4300 | 최저 주파수 | 50 % 이상 (전류) |

마. 공중선 전력의 산출 방법

- ① 급전선에 방향성 결합기를 삽입하여 진행파의 전력 및 반사파의 전력을 측정하여 그 차에 의하여 산출한다.
- ② 저항 변화법, 치환법, 임피던스 브리지법에 의하여 공중선 저항을 측정하고 이와 공중선 전류 자승과의 적에 의하여 산출한다.
- ③ 공중선 회로에 전력을 공급하여 측정하는데 부적당한 경우에는 의사 회로를 사용하여 전력을 치환하여 측정한다.
- ④ 바로미터법에 의하여 측정한다.
- ⑤ 전 각 항에 의하여 측정하기 곤란한 경우에는 다음 방법에 의하여 산출한다.
 - a. 공냉식 또는 수냉식의 진공관을 사용하는 경우에 있어서는 양극 손실을 복사계 또는 온도차에 의하여 측정하여 산출한다.
 - b. 비동조형의 급전선을 가진 공중선을 사용하는 경우에는 특성 임피던스를 산출하며 이 때 전선을 흐르는 고주파 전류의 최대치와 최소치와의 적에 의하여 산출한다.
 - c. 3,000 kHz 이상 23,000 kHz 이하의 주파수를 사용하는 경우에는 종단 양극 입력에 다음 능률을 곱하여 산출한다. 무선 전화의 송신 장치를 같은 상태로서 무선 전신에 사용하는 경우에는 무선 전화의 능률을 준용한다 [10].

- (a) 종단 C급 무선 전신 …… 60 %
- (b) 양측파대를 사용하는 무선 전화
 - ① 종단 C급 종단 양극 변조 방식 ……60 %
 - ② 종단 C급 종단 양극 차폐 격자 동시 변조 방식 …… 40 %
 - ③ 종단 B급 저전력 변조 방식 …… 30 %
 - ④ 종단 C급 제어 격자 변조 방식 …… 35 %
 - ⑤ 종단 C급 억제 격자 변조 방식 …… 30 %
- (c) 단측파대를 사용하는 무선 전화
 - ① 억압 반송파 저전력 변조 방식 …… 50 %
 - ② 첨가 반송파 저전력 변조 방식 …… 20 %

2. 스퓨리어스 발사

스퓨리어스 발사라 함은 필요 주파수대 외에서의 1 또는 2 이상 주파수의 전파의 발사로서 그 레벨이 정보 전송에 영향을 주지 않고 저감할 수 있는 것을 말하며 고조파 발사, 상호변조적을 포함하고 필요주파수대에 근접하는 주파수 전파의 발사로서 정보 전송을 위한 변조과정에서 발생하는 것을 포함하지 않는다 [10].

무선통신을 하는 데 있어서 필요가 없는 발사이다. 가령 500 kHz 전보를 송신하는 경우에 이 주파수의 고조파인 1000 kHz나 저조파인 250 kHz의 전파는 전보를 보내는 데 필요가 없을 뿐만 아니라 그 전파가 크게 나가면 그만큼 500 kHz의 발사는 약해진다. 이와 같이 고조파, 저조파, 기생발사 또는 상호변조적은 불필요하고 해로운 것이므로 이러한 불량 전파가 발사되지 않는 것이 좋으나 현재의 기술로서는 막아낼 수 없으니 법적으로 일정한 허용치를 정하고 있는데 이것이 스퓨리어스 발사 강도의 허용치이다.

- ① 무선설비규칙 제 5조에 의한 스퓨리어스 발사 강도의 허용치는 다음과 같다.
- ② 30 MHz를 초과하는 주파수로서 F3E·G3E전파를 사용하는 선박국

및 휴대국 (선박에서 사용하는 것에 한한다)의 송신 설비의 스퓨리어스 발사 강도는 제 1항의 규정에 불구하고 급전선에 공급되는 때 주파수당 스퓨리어스 발사의 평균 전력이 기본주파수대인 경우에는 $10 \mu W$ 이하의 값을 허용치로 한다. 다만, 기본 주파수의 평균 전력이 $20 W$ 이상인 경우에는 이들의 허용값은 기본 주파수의 평균 전력에 비례하여 증가하는 것으로 본다.

- ③ 118 MHz 이상 144 MHz 이하의 주파수의 전파를 사용하는 평균 전력 $25 W$ 이하의 항공 이동 업무를 행하는 무선국의 송신 설비의 스퓨리어스 발사 강도는 제 1항의 규정에 불구하고 급전선에 공급되는 때 주파수당 스퓨리어스 발사의 평균전력이 기본주파수의 평균 전력보다 $40 dB$ 낮고 또한 $25 \mu W$ 이하의 값을 허용치로 한다.
- ④ 기본 주파수의 평균전력이 $1W$ 이하인 송신 설비의 스퓨리어스 발사 강도는 제 1항 ~ 제 3항의 규정에 불구하고 그의 평균 전력이 $1 mW$ 이하의 값을 허용치로 한다.
- ⑤ 선박국의 보조설비의 송신 장치, 구명정, 구명대 및 구명부기의 송신 장치, 비상 위치 지시용 무선 표지 설비 및 기본 주파수의 평균 전력이 $1 W$ 이하인 선박국, 기상원조국 및 간이 무선국의 송신 설비에는 제 1항 및 제 3항 및 제 4항의 규정을 적용하지 않는다.
- ⑥ 정보통신부장관은 혼신방지를 위하여 특히 필요하다고 인정할 때에는 스퓨리어스 발사 강도의 허용치를 따로 지정한다 [10].

※ 참고

- 고조파 (high harmonics) : 기본 주파수의 2배, 3배, N배의 주파수
- 저조파 (sub-harmonic) : 기본주파수의 $1/2$, $1/3$, $1/N$ 의 주파수
- 상호변조적 (inter-modulation) : 두 개의 변조 주파수가 서로 간섭하여 별개의 불필요한 주파수의 전파를 발사하는 것
- 기생 발사 (parasitic oscillation) : 기생 발진에 의해서 발생된 전파가 발사되는 것

- 고주파 (high frequency) : 저주파에 대하여 쓰는 말. 가청주파에 대한 무선 주파의 관계와 같이 10 ~ 20 kHz를 경계로 하여 이 이상의 주파수를 고주파라고 하며, 이 이하의 주파수를 저주파라고 한다.
- 저주파 (Low frequency) : 30kHz ~ 300 kHz 의 주파수 범위를 말한다. 가청 주파수라고도 한다.

(표 2.5) 스퓨리어스 발사강도 허용값

| 기 본 주 파 수 대 | | 급전선에 공급되는 주파수 마다의 스퓨리어스 발사의 평균 전력 허용값 | 비 고 |
|---------------------------|----------------------|--|---|
| 90kHz 초과 30 MHz 이하 | | 50 mW 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 40 dB 낮은 값 | 다중 통신로의 송신 설비는 기본 주파수의 평균 전력보다 40 dB 낮은 값 |
| 30 MHz 초과 235 MHz 이하 | 송신기의 평균 전력 25W 이하 | 25 μ W 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 40 dB 낮은 값 | |
| | 송신기의 평균 전력 25W 초과 | 1 mW 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 60 dB 낮은 값 | |
| 235 MHz 초과 960 MHz 이하 | 송신기의 평균 전력 25W 이하 | 25 μ W 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 40 dB 낮은 값 | |
| | 송신기의 평균 전력 25W 초과 | 20 mW 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 60 dB 낮은 값 | |
| 960 MHz 초과 17.7 GHz 이하 | 송신기의 평균 전력 10W 이하 | 100 μ W 이하의 낮은 값 | |
| | 송신기의 평균 전력 10W 초과 | 100 mW 이하이고 기본 주파수의 평균 전력보다 50 dB 낮은 값 | |
| 17.7 GHz 초과 | | 기본 주파수의 평균 전력 보다 40 dB 낮은 값 | |

제 3 장 국내의 전계강도 측정방법 및 시스템

제 3 장 국내의 전계강도 측정방법 및 시스템

본 장에서는 국내의 감시국소에서 전계강도와 스퓨리어스 발사강도를 측정하기 위하여 사용하고 있는 측정방법과 Minilock 과 ESN 등의 현용 측정장비, 또한 스펙트럼 분석기에 관한 주요 기능 및 특성 등에 대하여 기술하고자 한다. Minilock 과 ESN 등의 현용 측정장비는 광대역 신호인 디지털 방식의 전파형식은 측정하기에 적합하지 않다. 따라서, 본 보고서에서는 이러한 시스템을 제약을 줄이고자 스펙트럼 분석기를 사용하여 전계강도 및 스퓨리어스에 대한 측정실험을 하였다. 그러므로 현용 측정장비에 대한 내용과 함께 스펙트럼 분석기에 대한 일반적인 내용 및 측정에 사용한 장비에 관하여도 기술하고자 한다.

제 1 절 전계강도 및 스퓨리어스 발사 측정방법

현용 감시국소의 전계강도 및 스퓨리어스 측정방법을 알고자, 수 차례의 관계자와의 회의를 가졌다. 관계자와의 회의는 감시국소에서의 실험과 병행하여 가졌다. 관계자와의 회의 일시와 장소는 다음과 같다.

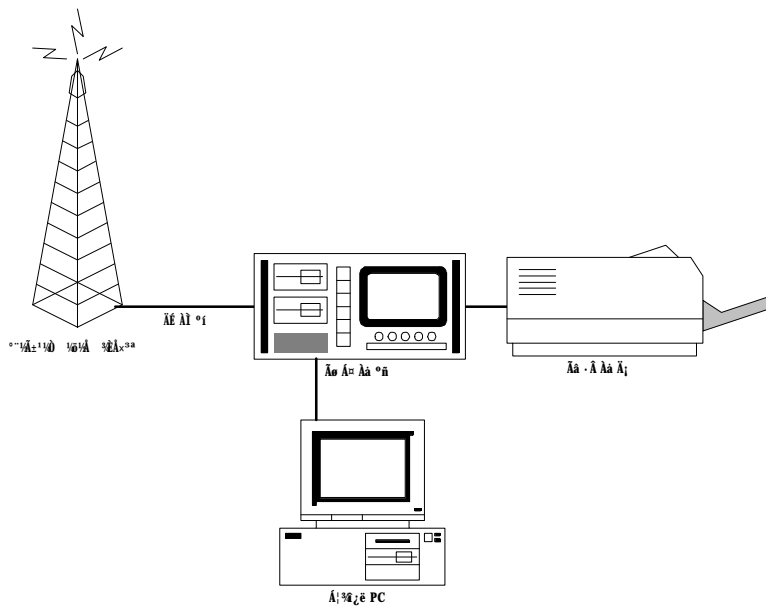
- 1998. 5. 27 ~ 5. 29 : 서울분소
- 1998. 8. 25 ~ 8. 27 : 대전분소
- 1998. 10. 20 ~ 10. 23 : 서울분소
- 1998. 11. 16. ~ 11. 18 : 대전분소

위와 같은 관계자와의 회의를 통하여 전계강도와 스퓨리어스 측정에 대하여 잘 이해할 수 있었다. 이를 바탕으로 현용 측정방법과 측정시스템 및 현용 측정방법의 문제점 등을 다음과 같이 살펴보았다.

1. 측정방법

측정에 주로 사용되는 측정장비는 현용 종합 감시시스템의 주요 측정

장비인 Schlumberger 社의 Minilock과 Rohde & Schwartz 社의 ESN 장비이다. 이 장비와 함께 각각의 주파수 영역을 수신하기 위한 LP, 다이폴, 액티브 로드 등의 안테나를 사용한다. 감시국소에서 전계강도와 스퓨리어스를 측정할 경우에는 감시국소의 수신 철탑에 고정된 안테나인 크로스 LP, LP, DISCON 등의 안테나를 사용한다. (그림 3.1)은 이러한 측정장비를 이용한 감시국소에서의 품질감시시스템 구성도를 간단히 나타낸 것이다.



(그림 3.1) 감시국소에서의 전파품질 측정시스템 구성도

현용 감시국소에서 사용되는 Minilock 과 ESN 장비는 수신기와 계측기를 결합시킨 형태의 측정장비로서 이들 장비로부터 얻을 수 있는 측정값은 중심 주파수, 주파수 편이 (frequency shift), 주파수 편차 (frequency deviation), 스펙트럼 측정레벨이다. 이 중에서 전계강도와 스퓨리어스 측정을 위하여 사용되는 측정값은 신호의 레벨이다. 이 측정값은 보통 $\text{dB} \mu\text{V}$ 로 표시된다.

가. 전계강도 측정

전계강도 측정은 현재 주로 TV 수신 여부, 전파환경 등의 목적으로 측정되고 있으며, 감시국소에서는 임의의 신호에 대한 전계강도 측정값을 보통 10 회 측정한 이 측정값들의 평균으로 정하고 있다.

상시 측정인 경우, 종합감시시스템인 Minlock 6910 장비를 이용한다. 스펙트럼 측정레벨은 IF 대역폭 내의 모든 전계강도 성분을 합한 값이다. 각 주파수 대역에서 잡음레벨을 분기마다 한번씩 측정한다. 전계강도 측정에서 주로 기준이 되는 잡음레벨은 각 주파수 대역에서 가장 낮은 주파수 부분의 전계강도를 10 회 측정하여 평균값을 취한다.

이동 측정의 경우, 일반적인 측정에서 특별히 전계강도 값이 크게 나오는 주파수 대역에 관하여 정밀 측정을 할 때 장비를 직접 가지고가서 측정하게 된다. 이때의 장비는 주로 ESN 장비가 쓰인다.

전계강도 측정에서 주요 측정 대상은 TV 방송 영상신호, F3E, G3E 등이다. 전계강도 측정에서의 측정 용도는 TV 수신 여부 (양청, 난청 검사) 등에 주로 쓰인다. 신호의 레벨이 7 dB 미만일 때 난청이라고 하며, 측정의 기준은 건물 등의 구조물에 의한 영향을 받지 않는 시야가 트인 지역에서의 측정으로 한다.

나. 스푸리어스 발사 측정

기본파의 주파수에서의 스펙트럼 변화와 고조파 주파수에서의 스펙트럼 변화 및 각각의 측정대상 주파수 신호 청취 비교 등을 통하여 측정하고 있으며, 측정 대상 스푸리어스 신호가 기본 주파수의 신호에 대하여 전계강도 값이 2 장에서 언급한 바와 같은 기준에 초과하는 지 여부를 조사하고 있다.

감시국소에서 스푸리어스 측정의 주요 용도로서 전파환경 조사, 혼신 조사 등이 있으며, 주로 출력 500 W, 주파수 500 MHz 대역에서 측정이 많이 이루어지고 있다고 한다. 이러한 측정은 주로 혼신 및 난청 등의 이유로 인한 신고를 바탕으로 이루어지며, 감시국소에서 계속적인 측정 도중에 특별히 이상이 있다고 생각되는 주파수에 대하여 집중적으로 조

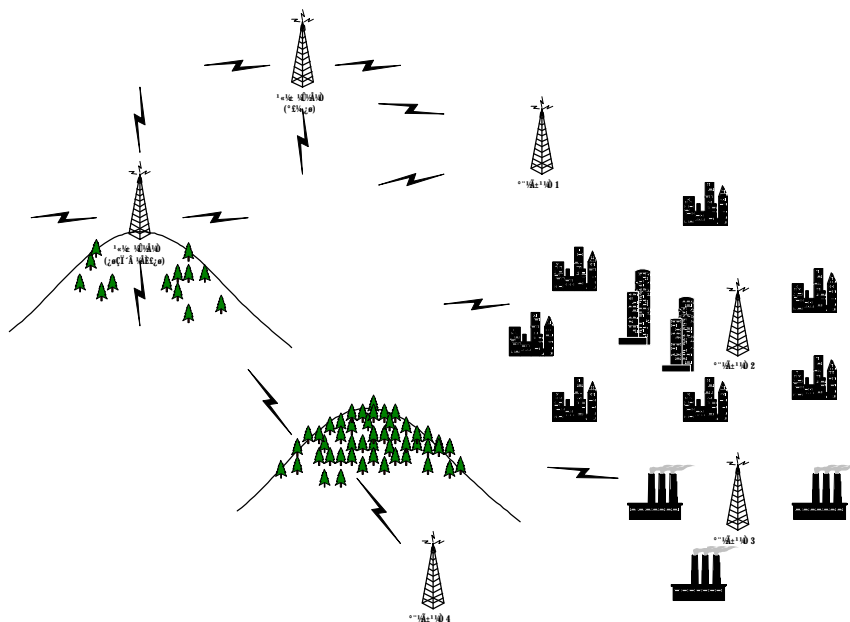
사하고 있다.

인접 주파수들 및 각기 서로 가깝게 위치하는 공통의 안테나와 각각의 안테나로써 운용되어지는 여러 송신기로 구성되는 무선국인 경우에 부가적인 스푸리어스 발사가 생길 수 있다. 이러한 스푸리어스 발사들은 다른 기본 발사신호 사이에서 발생하는 상호변조의 발진에 의하여 생성된다. 고출력 회로에서 사용되는 구성요소의 물리적인 크기가 원하지 않는 발진을 유지시키는 경향이 있는 바람직하지 못한 응답을 가진 회로 구성이 될 수 있기 때문에 기본 회로의 정교함이 때때로 필수적이다.

2. 감시국소에서의 전계강도 및 스푸리어스 측정시의 문제점

우선적으로 알 수 있는 문제점으로는 현용 감시국소에서는 전계강도와 스푸리어스에 대한 측정이 잘 이루어지고 있지 못하다는 것이다. 전계강도의 경우, 감시국소에서 측정될 때, 무선신호가 지형 및 간섭, 잡음 등의 전파환경에 의하여 정확한 측정이 어렵고, 정확한 측정기준이 마련되어 있지 않기 때문에 그다지 중요하게 다루어지고 있지 못하다. 예를 들어 전파형식 별로 할당대역폭 또는 필요대역폭 등 전파형식의 특성에 따라 다른 파라미터로 측정을 실행해야 하지만, 현재는 모든 전파형식에 대하여 일률적으로 10 회 측정된 측정값의 평균을 측정대상 신호의 전계강도 값으로 삼고 있다. 통계적인 면에서 볼 때, 시간에 따라 변화하는 신호의 전계강도를 단지 10 번 측정된 값들의 평균으로 결정하는 것도 신뢰도면에서 문제가 될 수 있다. 또한 전계강도의 측정을 통하여 송신기의 출력이 규정을 초과하는지에 대한 여부를 분석하는 것이 상당히 어렵다. 스푸리어스의 경우, 실제 환경에서 혼신 등 전파품질에 큰 영향을 주는 요소이지만, 감시국소에서는 거리, 지형 등에 의하여 감쇠가 크기 때문에 측정이 용이하지 않다. 따라서, 주로 혼신이 발생하는 지역에서의 직접 측정을 할 때에 전계강도 및 스푸리어스 측정만 행하여지고 있는 실정이다. 감시국소에서도 전계강도와 스푸리어스에 대한 측정이 지속적으로 이루어지고 있으나, 앞에서 언급한 바와 같이 전파환경 등의

영향으로 측정 대상 신호의 품질 위규여부를 판단하는 것이 사실상 불가능하다. (그림 3.2)는 수신 위치의 전파환경에 따라 송신국소에서 발사된 신호의 전계강도 측정값이 달라질 수 있다는 것을 보여준다. 강한 출력의 신호가 존재하거나 건물이 밀집되어있는 환경, 또는 지형에 의하여 전파가 잘 전달되지 않는 환경 등에서는 정확한 전계강도 측정값을 구하기 어렵다. 또한, 감시국소에서 사용하는 여러 가지 측정장비들간에 발생할 수 있는 측정 오차를 보정하는 점들이 전혀 고려되고 있지 못하고, 전파형식 별로 자세한 측정기준이 없는 실정이다. 또한, 전파이용기술의 발전에 따라 최근에 많이 사용되기 시작한 디지털 방식의 전파형식에 관하여는 기존의 측정장비로는 측정신호의 품질을 측정하기 어렵다.



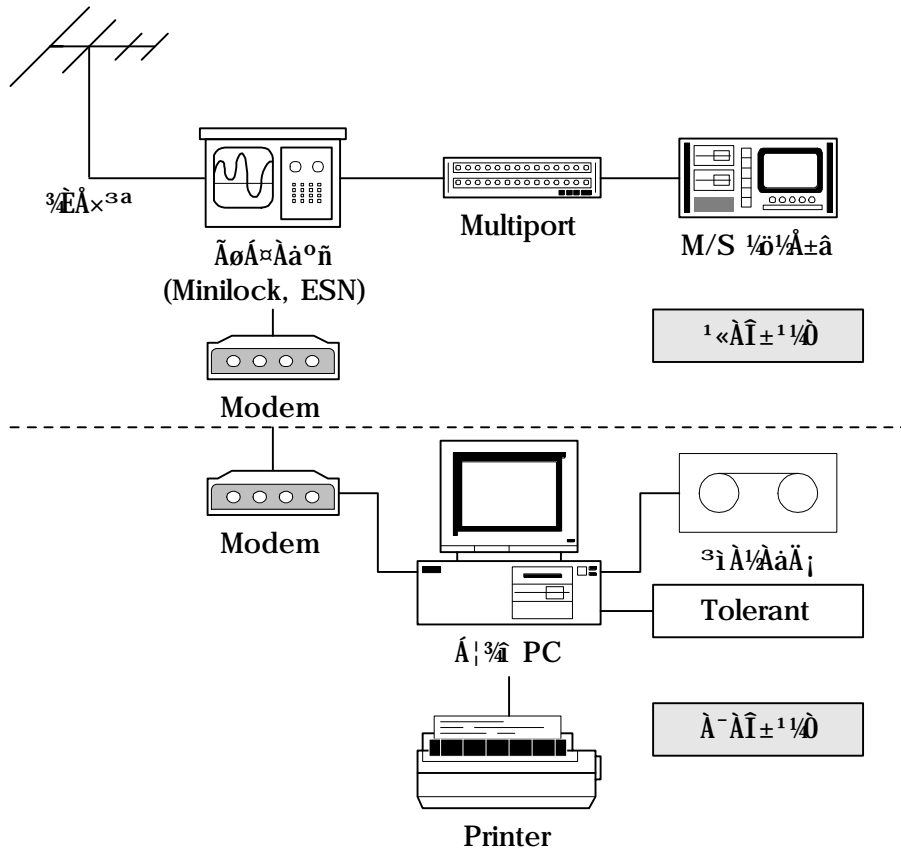
(그림 3.2) 송신신호에 대한 여러 감시국소의 전파환경
 감시국소 1 : 주변의 강한 출력의 무선송신국이 있는 환경
 감시국소 2 : 도심의 건물 등에 의한 전파산란이 발생하는 환경
 감시국소 3 : 공장지대나 고출력 전력이 이용되는 환경
 감시국소 4 : 언덕이나 산등의 지형의 영향을 받는 환경

본 연구에서는 이러한 감시국소에서의 전계강도와 스푸리어스 측정을 보다 효율적으로 측정할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 우선 전계강도의 경우, 측정에서 발생할 수 있는 측정오차의 원인 가운데, 측정장비에 의한 오차와 측정방법에 의한 오차를 줄일 수 있는 방법을 연구하고자, 측정장비간 오차를 보정하는 방법과 전파형식별 측정기준 등에 대하여 현용장비와 스펙트럼 분석기 등을 이용한 실험을 통하여 연구하였고, 스푸리어스 발사의 경우, 현용 측정방법의 적용과 신호발생기를 통한 스푸리어스 발사의 측정실험을 통하여 효율적인 측정방법을 연구하였다. 또한 전계강도와 스푸리어스 측정을 보다 효율적으로 측정할 수 있는 측정장비를 제안하기 위한 연구도 병행하였다.

제 2 절 감시국소의 현용 측정장비 및 시스템

현용 전계강도와 스푸리어스를 측정하기 위한 측정장비 및 시스템은 1 차 년도에 연구한 대역폭 측정과 같다. 현용 감시국소에서는 감시시스템을 (그림 3.3)과 같이 구성하고 있다.

(그림 3.3)에서 가장 중요한 장비는 안테나와 주요 측정장비인 Minilock 또는 ESN 장비이다. 나머지 부분은 측정을 용이하게 하기 위한 부가적인 부분으로 신호의 품질측정과 직접적으로 관련된 것은 아니다. 2 장의 뒷부분에서도 언급한 바와 같이 Minilock 과 ESN 장비는 계측기와 수신기를 혼합한 형태의 측정장비이다. Minilock 장비에는 보통 LP 안테나가 연결되어 사용되고 있으며, ESN 장비에는 Cross LP 안테나가 연결되어 사용되고 있다. Cross LP 안테나와 LP 안테나는 모두 지향성 안테나로서 감시국소에서 임의의 방향으로 고정되어 있다. Minilock 과 ESN 은 서로 다른 성능을 가지고 있지만, 측정되는 대상은 측정신호의 중심주파수, 주파수 편이, 주파수 편차, 신호의 전력 또는 전압으로서 같다. 두 장비 가운데 현재 감시국소에서는 Minilock 장비가 더 널리 사용되고 있으나, 일부 지역의 감시국소에서는 ESN 장비를 사용하고 있다 [1, 7, 14].



(그림 3.3) 현용 종합감시시스템

(그림 3.3)의 종합감시 시스템을 이용한 품질위규 적발 및 처리과정은 다음과 같다.

종합감시 제어국소와 원격시설국으로 분류되며 원격시설국은 품질감시 시스템인 Minilock과 운용감시 시스템인 MASTER/SLAVE 수신기 및 기타 주변기기로 구성된다. 원격시설의 안테나에 유기된 전파는 Minilock 과 MASTER/SLAVE 수신기에 의해 음성이 복조되고 음성신호 및 품질감시 데이터는 공중망 전용회선을 통해 제어국소 (유인국소)에 전달된다.

제어국은 모뎀, 녹음장치, 제어 PC 및 주전산기로 구성되고 원격시설의 제반장비를 제어한다. 회선을 통해 도달된 음성은 녹음장치와 연결되

고 품질감시결과 데이터는 프린터를 통해 출력하며 동시에 운용감시자료와 품질감시자료를 주전산기인 TOLERANT에 저장한다.

TOLERANT는 허가 데이터 베이스 (DB) 자료를 가지고 있으며 이는 Minilock에서 불법주파수 조회요청 및 품질감시대상 주파수 파일작성에 이용되며 MASTER 수신기에서 수행된 주파수 이용량 조사 및 제반 감시결과 데이터를 저장한다.

품질감시결과 출력형태는 TOLERANT의 허가 DB에 의해 파일로 작성된 할당파 중 Minilock에서 포착된 주파수에 대하여 주파수 편차값, 주파수편이(OFFSET)값, 신호레벨, 변조율, 시간, 위규형태 등이 출력된다. 운용자는 PRINT되는 출력물과 음성을 동시 판독하여 위규형태를 검토, 공동주파수를 사용하는 무선국일 경우 음성확인 등을 거쳐 위규시설자를 찾아내어야 한다.

위규값 산출은 시설자가 규명되었을 경우 무선국 종류, 출력 전파형식 및 폭과 주파수 등을 확인하여 무선설비규칙 제 3,4조 및 기타 관련 근거에 의거하여 별도로 계산하여야 한다 [1].

1. Minilock 장비의 성능 및 사양

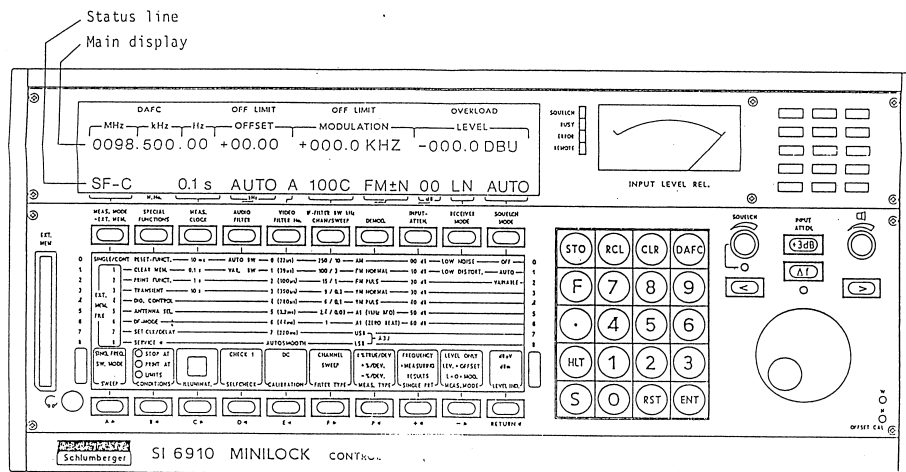
현용 품질감시시스템은 앞서 말한 바와 같이 주로 Schlumberger 社의 Minilock 장비와 Rohde & Schwartz 社의 ESN 장비로 시스템이 구성되어 있다. 기본적인 감시시스템은 현재 각 감시국소에 가장 보편적으로 Minilock 장비를 주축으로 시스템이 구성되어 있다. (그림 3.4) 에서 Minilock 장비의 모습을 볼 수 있다. 이 장비로 AM / FM / ϕ M 변조된 아날로그 신호들을 측정할 수 있고, 빠른 A/D 컨버터 ($20 \mu s$)의 도움으로 아날로그 신호를 추출하여 디지털로 저장할 수 있다. 또한 내부에 여러 가지 필터를 내장하여 신호에 대한 정보를 얻기 위해 사용한다. Minilock 장비의 사양은 다음과 같다.

기기의 측정 가능한 주파수 범위는 10 kHz에서 1,889.999 MHz 까지이고, 주파수 해상도는 10 Hz 이다. 입력 임피던스는 50 ohm 이고,

VSWR은 입력 감쇄기가 10 dB 이상인 경우, 1.35 보다 작고, 입력 감쇄기가 0 dB 인 경우, 2.0 보다 작다. 또한 다음 대역 (MHz)에서 대역통과 필터가 자동적으로 스위칭된다.

0.01 - 1 - 3 - 6 - 10 - 15 - 20 - 25 - 30 - 95 - 140 -
270 - 520 - 680 - 840 - 1010 - 1190 - 1370 - 1889.9

주파수 스위칭 속도는 20 ms에서 250 ms (평균 2000 steps/min)이다. 주파수 오차는 25 °C에서 20분 후, 1×10^{-7} 이고, 온도에 따른 차이는 $2 \times 10^{-9}/^{\circ}\text{C}$ 보다 작다. 측정 오차는 25 °C에서 입력 감쇄기가 10 dB 보다 클 때, 주파수 응답은 ± 0.6 dB 이하이고, 레벨 측정은 ± 1.5 dB 이하이며, 온도 응답은 ± 0.1 dB/ $^{\circ}\text{C}$ 이다 [1, 7].



(그림 3.4) Minilock 6910

2. Minilock 장비의 운용 (6910)

가. IF 대역폭의 선택

(1) 키조작

(표 3.1) IF 대역폭의 키조작

| IF Bandwidth | 키조작 |
|--------------|-------|
| 250 kHz | A + 0 |
| 125 kHz | A + 1 |
| 15 kHz | A + 2 |
| 7.5 kHz | A + 3 |
| 3 kHz | A + 4 |
| 0.5 kHz | A + 5 |

6910 경우 IF 대역폭에 따른 응용은 (표 3.2)와 같다.

(표 3.2) IF 대역폭에 따른 응용 예

| 6910 IF Bandwidth | 응용 |
|-------------------|--------------------------|
| 250 kHz | 광대역 신호, 방송용 |
| 100 kHz | 광대역 신호, 방송용 |
| 15 kHz | 25 kHz 채널 공간 |
| 9 kHz | 12.5 kHz 채널 공간 |
| 6 kHz | 10 kHz 채널 공간 |
| 2.4 kHz | 분석 필터 (analyzing filter) |
| 1 kHz | 분석 필터 (analyzing filter) |

※ IF Bandwidth를 바꾸면 신호 음질의 정도가 바뀐.

※ 예를 들어 FM 라디오 방송의 경우, IF BW를 조절해 주면 15 kHz 이상부터 조금씩 들리기 시작하고 125 kHz에서 선명, 250 kHz에서

아주 선명함.

※ 신호가 IF 필터를 통해 필터링 되어지는 것으로 생각된다.

나. 수신 모드 (Low noise 와 Low Distortion)

(1) 키조작

(표 3.3) 수신모드 조정의 키조작

| 선택 모드 | 키조작 |
|----------------|-------|
| Low noise | A + 6 |
| Low distortion | A + 7 |

※ 실제 파형을 측정할 때 Low noise 모드와 Low distortion 모드간의 차이를 잘 알 수 없었다 (파형의 변화가 거의 없었음).

(2) 모드에 대한 설명

(가) 저잡음 (Low noise) 모드

전형적인 10 dB의 양호한 입력 잡음을 가진 모드

(나) Low distortion 모드

양호한 중간 변조값을 가진 모드.

(3) 레벨측정의 허용범위 (6910의 경우)

최저수신레벨은 Low noise나 Low distortion 모드의 선택, 정해진 입력 감쇠량 및 선택된 대역폭에 따라 결정된다.

(표 3.4) 입력감쇠량 0 dB에서의 최저수신레벨

| IF BW (kHz) | 250 | | 100 | | 15 | | 9 | | 6 | | 2.4 | | 1 | |
|----------------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 작동 모드 | LN | LD | LN | LD | LN | LD | LN | LD | LN | LD | LN | LD | LN | LD |
| 최저레벨 | -1 09 | -9 9 | -1 14 | -1 03 | -1 22 | -1 11 | -1 25 | -1 13 | -1 25 | -1 14 | -1 29 | -1 18 | -1 32 | -1 19 |

※ SNR 3dB, $f = 500 \text{ MHz}$, 최저레벨 단위는 dBm

(표 3.5) 최대 허용 수신 레벨

| 작동 모드 | LN | LD |
|-------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 최대 레벨 | -40 dBm/+67 dB μ V/2.24 mV | -25 dBm/+82 dB μ V/12 mV |

다. 스quelch (squellch) 값

수신한 신호의 레벨이 세팅된 스quelch 응답 레벨보다 낮으면 오프셋과 변조 및 확성기의 측정값 디스플레이는 제거된다.

(표 3.6) 스quelch모드의 선택

| 선택모드 | 키조작 |
|--------------|-------|
| squelch auto | A + 8 |
| squelch var | A + 9 |

※ 스quelch 자동 (squelch auto) 모드는 자동으로 스quelch 값을 얻어주는 모드이고 squelch var는 스quelch 값을 임의로 넣어주는 모드이다.

※ 일반적으로 squelch auto로 모드를 고정하고 측정을 한다.

라. Video 필터 BW와 Audio 필터 BW

(1) 키조작

(표 3.7) Video 필터 BW와 Audio 필터 BW의 키조작

| 선택모드 | 키조작 | 비고 |
|------------------|-------|------------------|
| Video BW auto | A + A | 일반적으로 사용 |
| Video BW var | A + B | 3항과 마찬가지로 값을 조정함 |
| Audio 필터 BW auto | A + C | 일반적으로 사용 |
| Audio 필터 BW var | A + D | 3항과 마찬가지로 값을 조정함 |

(2) Audio 필터 특징

AM/FM/ØM 복조기와 계기, 정류기 사이에는 그 차단주파수가 AUTO 모드내의 정해진 IF 대역폭에 의해 자동 변환되는 저역통과 필터가 있다. 저역통과 필터는 스톱밴드 (stopband)의 최대 감쇠량에서 오버슈트가 작게 되도록 설계되어 있다. 이것은 복조된 신호로부터의 광대역 잡음을 제거한다.

(표 3.8) IF 필터와 차단 주파수의 관계

| IF bandwidth | cutoff frequency (-1.5 dB) |
|-------------------|----------------------------|
| 250 kHz / 100 kHz | 20 kHz |
| 15 kHz to 6 kHz | 4 kHz |
| 2.4 kHz / 1 kHz | 1 kHz |

(6910의 경우)

※ 수동선택에서는 AF 저역통과 필터의 차단주파수는 IF 대역폭과 무관하게 정해진다.

※ 0.5 kHz 의 배수로 1.0-99.5 kHz의 값을 입력할 수 있다.

(3) Video 필터 특징

배경 잡음을 충분히 억압하고 빨리 정착시키기 위해 시간상수를 최적으로 하는 레벨 디스플레이에 사용된다.

마. 최대 허용 한계

(1) 최대 허용 한계

| IF 필터 | Max. permitted limit |
|------------------|----------------------|
| 1/2.4/6/9/15 kHz | 19.99 kHz |
| 100/250 kHz | 199.9 kHz |

※ FM 변조의 최대허용한계는 IF 필터를 이용하여 설정된 것에 의해 결정

※ AM의 경우 ϕM 8.2 rad 에 대해 최대 허용 한계는 99.9% 이다.

(2) 키조작

| 선택사항 | 키조작 |
|-----------|-------|
| 19.99 kHz | B + 0 |
| 199.9 kHz | B + 1 |

(3) 실제 모드 조작시 FM 라디오 방송의 경우, B0과 B1의 차이는 음성의 크기가 B0일 때 더 커졌다.

바. 복조 모드

(1) 키조작

(표 3.9) 복조 모드의 선택

| 선택사항 | 키조작 |
|----------------|-------|
| FM / PM plus | B + 2 |
| FM / PM Normal | B + 3 |
| \pm FM dev. | B + 4 |
| + FM dev. | B + 5 |
| - FM dev. | B + 6 |
| AM % True | B + 7 |
| AM % + | B + 8 |
| AM % - | B + 9 |
| PM RAD | B + A |

(2) 복조 모드의 선택

(가) AM

- AM true

비대칭 신호도 빠르고 정확하게 측정한다.

마이크로 컴퓨터는 별도의 계기 정류기가 측정한 값 A와 B로부터 실제 변조도 (modulation depth)를 계산한다.

$$m = \frac{A-B}{A+B} \cdot 100$$

- + 또는 -의 변조도

양 또는 음의 변조도를 측정하는 데 있어서 특정 변조의 첨두값은 10 Hz의 저역통과 필터를 통해 얻은 캐리어 M의 중간값을 말한다.

$$m^+ = (P/M) \cdot 100, m^- = (N/M) \cdot 100$$

(나) FM

Minlock 6910의 경우 2개의 FM 판별회로가 있어, 하나는 무선전화 (공중용 및 자가용 이동 라디오)와 같이 협대역 변조 시스템을 위한 것이고, 하나는 방송이나 원격계측기 등과 같이 광대역 변조시스템을 위한 것이다. 판별회로의 충전 시간 상수는 수신기의 AF 상한 주파수와 거의 같다. 이것은 최적의 동적 범위를 창출한다.

판별회로의 선택은 자동적으로 [IF filter]키로 지정된 IF 필터로부터 파생된다. IF 채널이 1-15 kHz 로 세팅되면 협대역 판별회로가 작동하고 FM 편차의 측정범위는 0-19.99 kHz가 된다. 측정된 주파수 편차가 20.4 kHz 이상이면 측정범위의 오버슈트는 ???로 표시한다.

100/250 Hz 의 IF 채널 필터 또는 30 Hz - 10 kHz 의 sweep 필터가 세팅되면 FM 편차의 측정범위가 0-199kHz 가 된다. 여기서 측정범위의 측정된 주파수 편차가 205 kHz 이상일 때 측정범위의 오버슈트는 ???로 표시된다.

- 측정평균 FM 편차의 측정

FM±N : 양과 음의 첨두 편차의 평균, (A+B)/2가 측정된다.

- 양의 FM 침두 편차 측정

FM+N

- 음의 FM 침두 편차 측정

FM-N

양의 침두 편차 A와 음의 침두 편차 B를 평균 편차와 함께 측정할 경우에는 곡선형으로 변조한 신호의 편차 밸런스를 확인할 수 있다.

(다) FM 펄스

FMxN : x = ± 또는 + 또는 -주파수 편차측정을 위한 정류기의 충전시간 상수는 이 모드에서 매우 짧다.

(라) Φ M

- Φ M normal

위상변조는 협대역 FM 판별회로로 측정한다. 음과 양의 위상 편차 평균은 라디안으로 디스플레이 된다. 측정된 위상편차가 8.2 rad.을 초과하면 ???.?으로 나타난다.

- Φ M 펄스

이 모드는 클럭 등의 간략한 방해의 정확한 가중치 적용을 위한 것이다. 주파수의 편차를 측정하기 위한 정류기의 충전 시간 상수는 이 모드에서는 매우 짧다. (약 10 μ s)

※ 이외에 6910의 경우 A1 (전신신호)에 대한 특수 A1 IF 필터가 사용되고, USB/LSB의 측정, SSB 복조기가 있다.

사. 측정 모드의 선택

(표 3.10) 측정 모드의 선택

| 선택사항 | 키조작 |
|--|-------|
| Level only (전계강도만 측정) | B + B |
| Level + offset (전계강도 + 오프셋) | B + C |
| Level + offset + Mod (전계강도 + 오프셋 + 변조지수) | B + D |

아. 입력 감쇄

(표 3.11) 감쇄율의 조정

| 감쇄율 (dB) | 조작키 |
|----------|-------|
| 0 | C + 0 |
| 10 | C + 1 |
| 20 | C + 2 |
| 30 | C + 3 |
| 40 | C + 4 |
| 50 | C + 5 |
| 60 | C + 6 |
| 70 | C + 7 |

자. 전계강도 측정단위

(표 3.12) 전계강도 측정단위의 선택

| 선택사항 | 키조작 |
|--------------------------|-------|
| $\text{dB } \mu\text{V}$ | C + 8 |
| dBm | C + 9 |

차. Meas. Clock

(1) 6900에서의 키조작

| 선택사항 (ms) | 키조작 |
|-----------|-------|
| 10 | C + A |
| 100 | C + B |
| 1000 | C + C |

이 명령은 오프셋과 변조측정의 시간을 선택한다. 이 기능은 변조측정용 샘플 및 홀드 감지기의 게이트 시간 및 오프셋을 측정하기 위한 적분 시간을 지정한다. 변조 측정에서 게이트 시간동안의 피크 변조값이 출력된다. 최대 측정 속도는 위의 키를 선택함으로써만 결정되지 않고 다음 요인의 합에 의해 결정된다.

- 주파수 변환시간 + 필터 세팅 시간 (주파수 변화에만 약 20-250ms)
- 레벨 측정 시간 (약 1 ms)
- 위의 키에서 선택된 오프셋과 변조의 측정시간 (레벨이 측정 제한범위 위에 있을 때만)
- 마이크로 프로세서의 계산 시간
- 데이터 전송시간 (프린터 또는 프로세서 컨트롤러)

따라서 최대 측정 속도는 상당히 변화가 심하며 특히 오프셋과 변조 측정 시간이 길게 세팅되고 신호가 측정 경계조건 위에 있을 때 특히 심하다.

카. 주요키의 기능

(1) F

측정 주파수를 선택할 때 먼저 누르는 키

(2) ENT

Enter 키와 유사

(3) S

선택된 주파수 등의 선택사항들에 대해 측정을 시작하는 키.

(4) RST

선택된 특수한 선택사항을 없앨 때 먼저 누르고 지울 선택키를 누르면 다시 선택사항이 없어진다.

(5) HLT

측정중인 선택사항의 내용을 정지시키는 키 [7].

3. ESN 장비의 기능과 성능

ESN 장비의 수신기 구조는 아래와 같다.

- 날짜 시간의 표시 및 입력
- IES-BUS 번호선택
- 기준 발진기 사용의 지시 (INT./EXT.)
- 외부 키보드의 선택
- FIRMWARE VERSION 의 지시
- 변환 요소의 입력 및 동작

이 장비의 측정 주파수 범위는 두 가지 부분으로 나뉘는데 아래와 같다.

- 범위 1 : 9 kHz에서 30 MHz까지 (RF Range)
- 범위 2 : 30 MHz에서 1000 (2050) MHz (VHF/UHF Range) 범위의 전환은 자동적으로 이루어진다.

각 범위는 최적의 1차 IF, 내부잡음, 상호변조 그리고, 1차 변환기를 포함하고 있다. 주파수 분해능은 9 kHz에서 30 MHz 사이에서는 10 Hz 이며 30 MHz 이상에서는 100 Hz이다. IF 대역폭에 따른 세팅 가능한 주파수 범위는 (표 3.13)과 같다.

(표 3.13) IF 대역폭에 따른 세팅 가능한 주파수

| IF 대역폭 | 세팅 가능한 주파수 |
|----------------|---------------------------|
| 1.3 AND 10 kHz | 9 kHz에서 1000 (2050) MHz |
| 15 kHz | 30 kHz에서 1000 (2050) MHz |
| 120 kHz | 300 kHz에서 1000 (2050) MHz |
| 250 kHz | 500 kHz에서 1000 (2050) MHz |

RF 감쇄도의 선택 (Attenuation)에서 RF 입력 분배기의 감쇄도를 0 에서 120 dB 범위 내에서 10 dB 단계로 설정할 수 있다. 운용모드의 선택은 저잡음 측정 (Low Noise)과 저왜율 측정 (Low Distortion)의 두

가지로 할 수 있다. IF 대역폭의 선택은 수신신호의 대역폭과 인접채널의 확산에 의존한다. 높은 감도를 요구하는 경우는 가능한 작은 대역폭이 좋고, 광대역 신호 측정에서는 큰 대역폭이 좋다. 준 첨두값 지시에서 IF 대역폭은 주파수범위에 따라서 CISPR 규격에 정해져 있다. 9 kHz, 120 kHz IF 필터는 펄스신호의 평균측정을 위하여 적당하다. 지시 모드의 선택은 평균측정, 실효값 측정 (RMS), 최고값 측정, 준최고값 측정 방법으로 할 수 있으며, 각각의 측정방법은 아래와 같다.

- 평균 측정

- 포락선 복조기 출력에서 정류된 전압의 선형적 시간 평균값이 표시된다.
- 비복조된 정현파 신호가 수신기 입력에 인가되었다면, 그것의 RMS 값이 표시된다.

- AM 복조된 신호가 존재하면, 반송파의 실효값이 표시

- 실효값 측정

- 포락선 검파기의 출력 단에서 정류된 전압의 실효값을 표시한다.
- 신호의 모양에 관계없이 포락선 검파기의 전력이 표시

- 최고값 측정

- 포락선 복조기의 출력에서 정류된 전압의 최대값이 표시
- 최고값 표시는 반송파의 레벨, 펄스 신호, 혹은 AM 복조신호의 최고 전압을 결정하기 위해 제공

- 준 최고값 측정

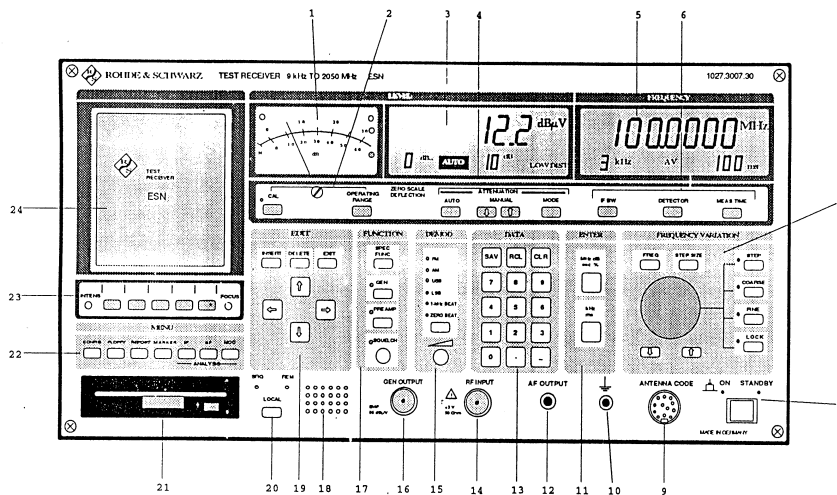
- 지정된 충전 및 방전시간으로 준 최고값 검파기를 사용하여 펄스신호를 측정

ESN 장비에서 측정 시간은 1 msec - 100 sec의 범위 내에서 선택할 수 있다. FM, AM, 단측파대 복조, Zero Beat, 1 kHz 의 복조모드를 제공하고, 복조된 신호는 내부 스피커를 통하여 청취가 가능하다. 출력 레벨은 50 ohm의 내부 저항을 갖는 96 dBuV \pm 1 dB 이고, 레벨오차는 전체의 주파수 및 운용온도 범위에서 0.3 dB 이하이다. 변조측정은 진폭변

조, 주파수변조, 위상변조에 대하여 측정 가능하다. 최대 변조주파수 범위는 100 kHz이고, FM 변조된 신호를 측정할 때, IF 대역폭을 선택하면 대략적으로

$$2 \times (\text{AF} + \text{주파수편차}) < \text{IF 대역폭}$$

이다. 위상변조 측정시 IF 대역폭은 최대 15 kHz 이다 [1, 14].



(그림 3.5) ESN 장비

제 3 절 스펙트럼 분석기의 개요 및 기능

1. 개 요

일반적으로 신호의 분석은 신호로부터 주파수영역, 시간영역, 혹은 변조영역의 정보를 추출하는 것으로부터 출발한다. 신호를 분석하는 신호 분석기의 예로 시간영역을 측정하는 것으로 오실로스코프가 있고, 주파수영역을 측정하기 위하여 스펙트럼 분석기가 있고, 변조영역을 측정하기 위하여 주파수와 시간간격 분석기가 있다. 위의 신호 분석기들 중, 본 장에서는 신호의 대역폭 측정에 이용하기 위하여 신호의 주파수성분을 측정하는 스펙트럼 분석기에 대한 일반적인 특징과 본 연구에서 대역폭

측정실험에 이용한 스펙트럼 분석기의 사양 및 기능 등에 대하여 간단히 기술하고자 한다.

스펙트럼 측정은 측정신호 속에 포함되는 전 주파수 성분을 분석하여 표시하는 것이 필요하다. 실제로는, 측정신호에 포함되는 각 주파수 성분이 주파수 축 상의 대응된 위치에 진폭의 크기로서 표시되는 것이 일반적이다. 이와 같은 측정에 실용되고 있는 측정기로서, 스펙트럼 분석기와 FFT 분석기가 있는데, FFT 분석기는 주로 100 kHz 이하의 주파수 분석에 사용한다. FFT 분석기는 다이내믹 신호 분석기 (Dynamic signal analyzer)라고도 불리운다. 스펙트럼 분석기는 실시간 처리형과 스위프 동조형으로 분류할 수 있다. 고주파대역에서 사용되는 것은 스위프 동조형의 하나인 슈퍼헤테로다인 방식의 스펙트럼 분석기로서 일반적으로 스위프 조정 (swept-tuned) 스펙트럼 분석기라고도 한다, 이 방식의 스펙트럼 분석기는 실시간 처리의 스펙트럼 분석기가 가진 과도 신호의 분석이나 초고분해능 등의 기능은 없으나, 넓은 주파수대가 측정 가능하다는 점, 분해능이 가변으로 된다는 등의 성능에 유연성이 있다 [1, 16, 20].

가. FFT 신호 분석기

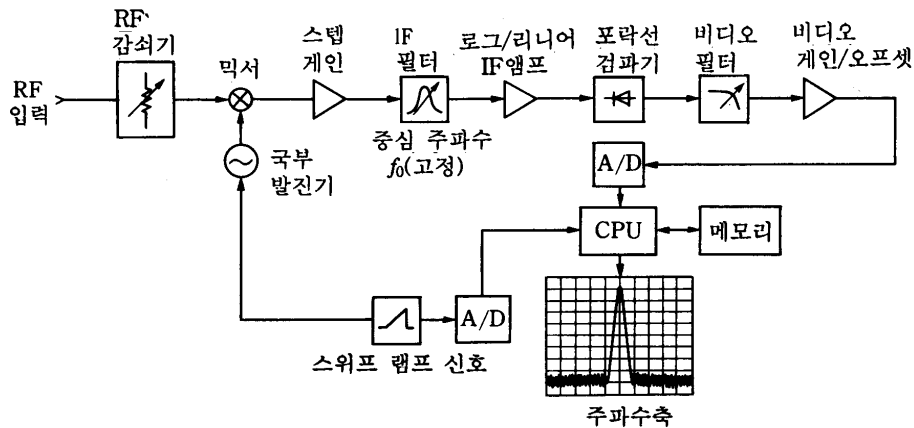
FFT 분석기는 디지털적으로 주파수, 진폭, 위상정보를 제공하기 위하여 시간의 특정한 기간에 걸쳐서 신호를 처리한다. 이 장비는 주기적인 신호와 비주기적인 신호들을 모두 분석할 수 있다. 다이내믹 신호 분석기의 특징은 아래와 같다 [16].

- 고속, 고해상도.
- 주파수 측정범위 (frequency range): 100 kHz.
- 진폭, 주파수, 위상의 측정.
- 모든 경우에 대한 고정 (Capture) 기능.

나. 일반적인 스위프 (sweep) 조정 스펙트럼 분석기

스위프 조정 분석기는 동조 필터 (tuned filter) 혹은 슈퍼헤테로다인 수신기로 구성될 수 있다. 동조 필터는 가격이 덜 비싸지만 대부분의 신

호를 분석하고 측정하기 위하여 요구되는 성능을 제공하지 못한다. 슈퍼헤테로다인 스위프 조정 스펙트럼 분석기는 우리에게 주파수 해상도, 속도, 가격의 균형을 준다. 부가적으로 감도의 증가와 더 넓은 주파수 영역측정을 가능하게 한다. (그림 3.6)에서 슈퍼헤테로다인 스펙트럼 분석기 구조를 알 수 있다.



(그림 3.6) 슈퍼헤테로다인 방식 스펙트럼 분석기 구조

(그림 3.6)에서 입력 신호는 가변감쇄기를 통하여 1단 혼합기에 인도된다. 여기서, 국부 발진기로부터의 신호가 혼합되고, 저주파수인 중간주파수 (IF)로 변환된 후 IF 단으로 보내진다. 신호는 IF 단에서 검출한 것을 적당한 크기로 증폭한다. 2 내지 3 단의 혼합회로를 거쳐, 대역폭을 선택할 수 있는 필터회로를 통과한다. IF 최종단의 필터가 스펙트럼 분석기의 분해능을 결정한다. 따라서 세밀한 스펙트럼 해석을 위해 예리하고 대역폭이 좁은 필터가 필요하다. GHz 대를 측정할 수 있는 스펙트럼 분석기에서는 현재 3 Hz가 가장 좁다. 측정에 필요한 분해능에 의해 대역 제한된 신호는 로그 (또는 선형)특성을 가진 증폭기를 거쳐 검파 회로에 인도된다. 스펙트럼 분석기에 사용되고 있는 검파기는 보통 포락선형의 첩두값 검파이지만 EMC (Electro Magnetic Compatibility, 전자기

결합) 측정에도 많이 쓰이고 있다는 점에서 준 침두값 검파기를 내장하는 모델도 있다. 검파된 신호는 필요에 따라서 비디오 필터로 직류 영역의 잡음을 제거한 후, A-D 변환기에 인도되어 디지털값으로 변환된다. 또한, 표시를 위한 처리가 실시되어 CRT에서 표시된다.

또한 (그림 3.6)에서 신호 혼합 후의 동작을 CRT상 표시를 중심으로 해석하면 램프 전압을 전압 동조형 국부 발진기를 인사하여, 주파수 스위프 신호를 만들고, 이 신호와 입력 신호를 믹서로 혼합시켜 중간 주파수를 만든다. IF 필터의 중심 주파수는 f_0 는 고정이기 때문에, 중간주파수 f_{IF} 와 f_0 가 일치하였을 때의 중간 주파수만이 검출기에 인도되고, 다시 CRT의 수직축 편향판에 가해진다. 한편, 스위프 램프 전압은 CRT수평축의 편향판에도 동시에 가해지고 있기 때문에, 수평축은 국부 발진기의 스위프 주파수와 대응한 값으로 눈금 표시된다. 그 결과, CRT상에는 주파수에 대한 진폭이 표시된다.

스위프 조정 분석기는 국부발진기 (Local Oscillator : LO)가 스위프되지 않고, 다이얼 제어가 조정되고, 디스플레이 대신에 스피커가 있다는 것을 제외하면 일반적으로 AM 라디오 수신기와 같다고 할 수 있다. 스위프 조정 스펙트럼 분석기는 많은 측정영역에서 이용 가능하다. 이것은 이 분석기가 스펙트럼 분석에 보다 많이 이용될 수 있다는 것을 의미한다. 스펙트럼 분석기는 일반적인 용도의 측정도구이다. 예를 들어 스펙트럼 분석기는 주파수, 전력, 찌그러짐, 이득과 잡음특성 같은 송신기에서의 많은 측정들을 수행할 수 있다. 일반적인 송신기에서 혼합기 (Mixer)의 국부발진기 급송전달의 변화손실과 왜곡의 생성이 단지 하나의 스펙트럼 분석기를 연결함으로 분석될 수 있다. 프리앰프 (pre-amp)의 각각의 측면에서의 측정은 이득과 평면성 (flatness), 잡음지수, 일그러짐에 대한 정보를 줄 수 있다 [16, 20].

2. 스펙트럼 분석기의 용어

- 대역폭 선택도(bandwidth shape factor)

최종 IF 필터의 3 dB 이하의 대역폭, 즉 스펙트럼 분석기 표시상에 각 신호의 아랫부분이 넓어진 정도를 나타낸다.

$$\text{대역폭 선택도(shape factor)} = \frac{60 \text{ dB 대역폭[Hz]}}{3 \text{ dB 대역폭[Hz]}} \quad (3.1)$$

이 대역 선택도는 진폭이 같지 않은 근접한 두 신호의 분해능을 나타낸다. 이 선택도가 1.0 에 가까울수록 필터는 첨예한 형상으로 되고 분해능은 향상된다.

- 분해능 대역폭(resolution bandwidth)

IF 최종단의 3 dB 대역폭을 가리킨다. 진폭이 같은 두 신호는 3 dB 대역폭만큼 떨어져 존재했을 때만 분해 가능으로 된다. 예를 들어, IF 대역폭을 10 kHz에 설정하였을 때, 진폭이 같은 두 신호는 10 kHz 이상 떨어져 있으면 분해할 수 있다. 두 신호가 10 kHz 이내에 있으면 하나의 신호로 표시된다.

- 스캔, 스캔(span, scan)

스캔과 스캔은 동의어로서, 스펙트럼 분석기의 가로축 주파수 교정 눈금을 가리킨다.

- 주파수 스캔(frequency span)

CRT 가로축의 주파수 범위를 가리킨다. 주파수 스캔의 모드에는 풀 스캔, 선형 스캔, 로그 스캔, 가변 스캔 및 제로 스캔이 있다.

- 풀 스캔 모드(full span mode)

전 주파수 범위에 있는 신호 스펙트럼을 한번에 관측할 수 있다. 따라서, 대충적인 스펙트럼의 인식이나 스펙트럼간의 상대적인 레벨 관측에 적합하다.

- 선형 스캔 모드(linear span mode)

특정 주파수의 스펙트럼을 확대하여 측정할 수 있다. 신호 순도의 측정 및 규정된 스위프폭에서의 측정에 사용된다.

- 로그 스패 모드(log span mode)

넓은 주파수 범위를 고분해능으로 압축하여 관측하는 경우에 사용한다.

- 제로 스패 모드(zero span mode)

선택 가능한 대역폭을 가진 고정 동조 수신기로서 동작한다. 따라서, 변조 신호를 복조하면서의 관측 및 단일 신호의 실시간 모니터 등에 사용된다.

- 스위프 시간 또는 스위프 타임(sweep time)

CRT 가로축을 스위프하여 끝나는 데 요하는 시간을 가리킨다. 스위프 시간을 짧게 해 가면 CRT상의 스펙트럼 표시는 외관상의 진폭은 감소하고, 대역폭이 넓어져 주파수가 벗어난다.

- 잔류 FM(residual FM)

스펙트럼 분석기 자체의 주파수 흔들거림을 나타낸다. IF 대역폭[Hz] 및 스캔폭[Hz/div]이 좁을 때, 잔류 FM이 많으면 스펙트럼 분석기로 측정할 수 없게 된다. 이 때문에, 스펙트럼 분석기의 가장 좁은 IF 대역폭 및 가장 좁은 스캔폭은 잔류 FM에 의해 제한된다.

- 잡음 측파대(noise sideband)

CRT 상에 그려진 하나의 신호를 순수도, 즉 스펙트럼으로서 CRT상에 표시되는 IF 필터 형상의 아랫부분에 나타나는 잡음을 가리킨다.

- 동적 영역(dynamic range)

CRT 상에서 동시에 관측할 수 있는 최소 신호 진폭과 최대 신호 진

폭의 차를 dB로 나타낸 것, 주로 믹서의 다이내믹 영역으로 결정된다.

- 감도(sensitivity)

스펙트럼 분석기의 미소 신호 검출 능력을 나타낸다. 스펙트럼 분석기의 최대 감도, 즉 식별 가능한 최소 신호는 분석기 자신에서 생기는 평균 잡음 전력 P_n 과 똑같은 신호 전력 P_s 로 정의한다. 일반적으로, 두 전력 P_s 와 P_n 의 합성 전력 P_a 는 다음 식으로 얻어진다.

$$P_a = P_s + P_n + 2C\sqrt{P_s \cdot P_n} \quad (3.2)$$

여기서, C는 상관계수 ($C \leq 1$)

식 (3.2)에서 P_s 와 P_n 사이에는 상관성이 없기 때문에 $C = 0$ 이다. 또, 정의로부터 $P_s = P_n$ 이기 때문에 $P_a/P_n = 2$ 로 된다. 그러므로 $10\log_{10}(P_a/P_n) \approx 3$ [dB] 로 된다. 이상으로부터, 평균 잡음 전력과 똑같은 신호 전력은 CRT 상에서 잡음레벨 보다 3 dB 위로 튀어나와 있어 식별이 가능하다는 것을 알 수 있다. 스펙트럼 분석기의 잡음 발생은 열잡음과 능동 소자에서의 잡음이 주요요인이다. 스펙트럼 분석기 내부에서 생기는 평균 잡음 $P_{n(im)}$ [dBm]은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_{n(im)} = 10\log_{10}(kTB) + N_0 \quad (3.3)$$

여기서, k: 볼츠만 상수 (1.38054×10^{-23} J/K)

T: 절대온도 [K]

B: 등가 IF 대역폭 [Hz]

N0: 스펙트럼 분석기의 잡음 지수. 즉, 능동 소자에서 발생하는 잡음 [dB]

식 (3.3)에서 볼 수 있는 바와 같이, 평균 잡음은 IF 대역폭에 비례하여 증감한다. 예를 들어, IF 대역폭을 1 구간(decade) 좁게 하면 잡음 레벨은 10 dB 떨어진다.

- 최적 입력 레벨(optimum input level)

스펙트럼 분석기의 입력 믹서에 신호를 가했을 때, 어떤 레벨 이하의 왜곡밖에 생기지 않는 일정 레벨이 결정되어 있다. 이 레벨을 최적 입력 레벨이라고 한다.

- 최대 입력 레벨(maximum input level)

스펙트럼 분석기 입력 회로부분의 소손(燒損) 레벨을 의미한다. 최대 입력 레벨은 입력 감쇄기 및 입력 믹서의 특성에 의해 결정된다.

- 스푸리어스 응답(spurious response)

스펙트럼 분석기 내에서 발생하여, CRT 상에 표시되는 원치 않는 응답을 가리킨다. 실제로는, 고주파에 의한 일그러짐과 그것 이외의 것으로 나뉘어진다. 고주파 이외의 것에는 상호 변조 왜곡 및 잔류 응답이 있다.

- 고조파 왜곡(harmonic distortion)

입력 믹서에 큰 진폭의 입력 신호가 입력되면 믹서는 비선형 동작으로 되어 입력 신호에 고조파 일그러짐이 생긴다. 보통, 2차 고조파가 가장 크게 된다.

- 상호 변조 왜곡(inter-modulation distortion)

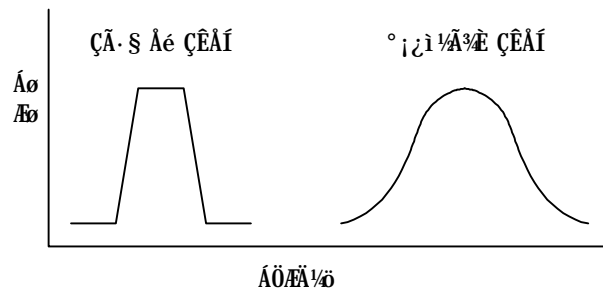
두 큰 진폭의 근접한 주파수의 신호가 스펙트럼 분석기에 가해지며, 이들 신호는 입력 믹서의 비선형 동작 범위에 들어가면 두 신호는 서로 영향을 미쳐, 입력 신호에 포함되지 않는 주파수가 나타난다.

- 잔류 응답(residual response)

입력 신호를 가하지 않아도 CRT 상에 응답이 나타나는데, 이것을 잔류 응답이라고 한다. 이 잔류 응답은 국부 발진기의 기본파 혹은 고조파가 스펙트럼 분석기 내부의 몇 IF 주파수 중 하나의 혼합되어, IF 주파수와 일치하여 나타나기 때문이다.

- 플랫 톱 필터와 가우스 필터(flat top filter and gaussian filter)

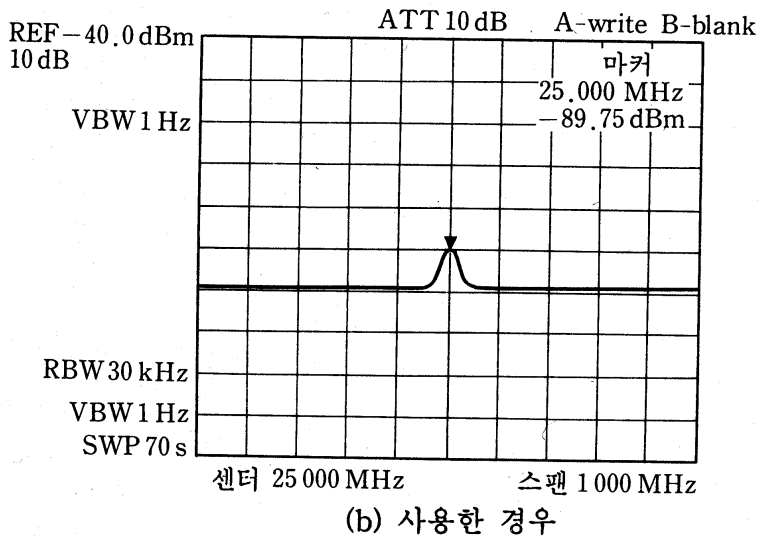
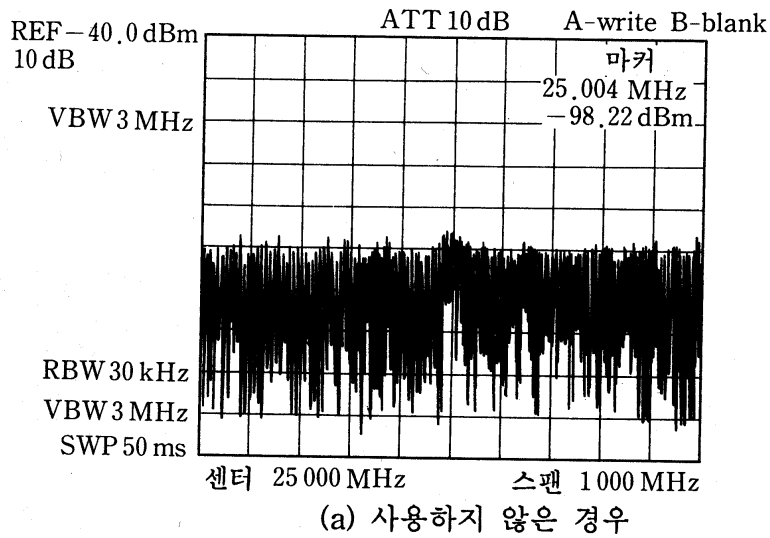
스펙트럼 분석기 속에서 사용되는 IF 필터는 플랫 톱 필터(스퀘어 톱 필터)와 가우스 필터이다. 플랫 톱 필터의 선택도는 매우 뛰어나지만, 신호가 통과할 때에 생겨 측정을 잘못할 위험이 있다. 한편, 가우스 필터의 선택도는 약간 나쁘지만 정확한 측정을 할 수 있다.



(그림 3.7) 필터 투과 특성

- 비디오 필터(video filter)

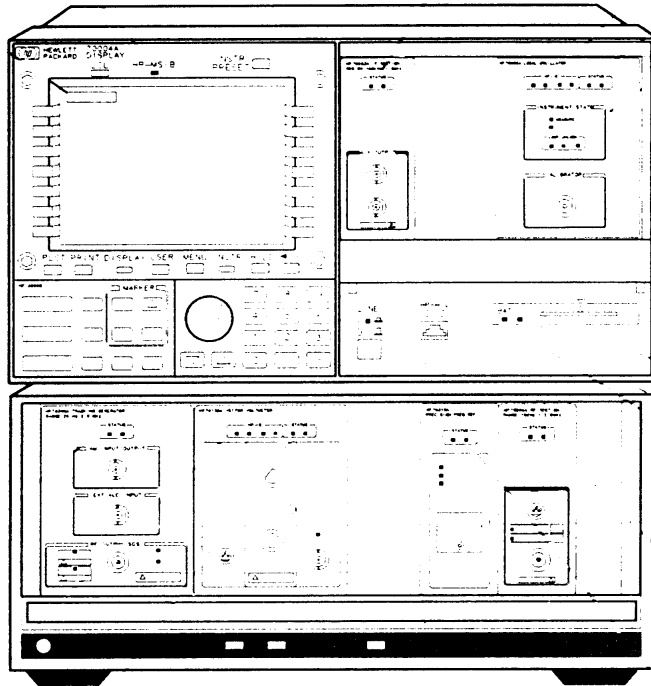
잡음 레벨에 가까운 미약한 신호를 측정하는 경우에 효과를 발휘한다. 비디오 필터는 포락선 검파기의 후단에 접속된 대역폭 가변의 저역 필터로서, 잡음 전력을 평균화하여 신호를 떠오르게 할 수 있다. 특히, 이 평균화는 잡음 전력 측정에 효과적이다. 스위프 속도와 필터의 대역폭과의 관계와 마찬가지로, 신호가 완전히 응답하기 위해서 충분한 스위프 시간을 필요로 한다 [20].



(그림 3.8) 비디오 필터

3. 측정실험에 이용하는 스펙트럼 분석기의 기능 및 성능

전계강도 및 스퓨리어스 발사의 보다 세밀한 측정을 위하여 측정에 이용된 스펙트럼 분석기는 HP 社 의 70000 시리즈 모델이다. (그림 3.9) 는 HP 社의 70000 시리즈 스펙트럼 분석기의 기본 구조이다 [15].



(그림 3.9) HP 70000 시리즈 스펙트럼 분석기

측정에 이용된 스펙트럼 분석기의 성능 및 기능 등을 살펴보면 다음과 같다.

가. 스펙트럼 분석기의 성능

- . 측정 주파수 대역 : 26.5 GHz 까지 (4단)
- . RBW 해상도 : 10 Hz (RBW : Resolution Bandwidth)
- . VBW 해상도 : 10 Hz (VBW : Video Bandwidth)
- . 0 Vdc Max, Max AC 30 dBm

- . 한번 스위프 할 때마다 1600 point 측정

나. 스펙트럼 분석기의 구조 (HP 70000 series)

- . RF section
- . Local Oscillator
- . IF section (100 kHz - 3 MHz)
- . IF section (10 Hz - 300 kHz)

다. 스펙트럼 분석기의 기능

(1) 측정 모드의 선택

a. 최대치 측정 모드 (Maximum hold mode)

- 측정값들 중의 최대 측정값을 누적시켜 디스플레이
- 스펙트럼 디스플레이의 아래에 있는 하드키 중 메뉴 (Menu)키의 선택
- 디스플레이 왼쪽의 Trace 키 선택
- 디스플레이 오른쪽의 Max-hold 키의 선택
- 측정 모드의 해제는 디스플레이 오른쪽 키 중 제일 위의 클리어 키 선택

b. 최소치 측정 모드 (Minimum hold mode)

- 측정값들 중의 최소 측정값을 누적시켜서 디스플레이
- 스펙트럼 디스플레이의 아래에 있는 하드키 중에서 메뉴 (Menu)키의 선택
- 디스플레이 왼쪽의 Trace 키 선택
- 디스플레이 오른쪽의 Min-hold 키의 선택
- 측정 모드의 해제 (1)과 동일

c. 평균 측정 모드 (Average mode)

- 측정된 스펙트럼의 측정 횟수에 대하여 평균을 구한다.
- 스펙트럼 디스플레이의 아래에 있는 하드키 중 메뉴 (Menu)키의 선택
- 디스플레이 왼쪽의 **Trace** 키 선택
- 디스플레이 오른쪽의 **More** 키를 두 번 선택
- 디스플레이 오른쪽의 **Vid aver.** 키를 선택하여 ON 상태로 만든다.
- 측정 모드의 해제는 **Vid aver.** 키를 Off 상태로 한다.

d. 단일 측정 모드 (Single Sweep mode)

- 한번 스위프 할 경우의 측정모드

(2) 메모리 기능

a. 저장기능

- 측정 설정값과 측정값, 스펙트럼의 모양 등을 저장
- **save** 키를 이용한다.

b. 불러오기

- 저장된 데이터를 내부 메모리에서 다시 불러옴
- **recall** 키를 이용한다.
- 갑자기 시스템이 정지되었을 때 (1)과 (2)의 기능을 이용하여 측정 데이터를 다시 이용할 수 있다.

c. 외부 메모리 카드 사용

- 메모리 카드를 이용하여 측정내용을 저장하는 것이 가능하다.

(3) 마커 (Marker)의 이용

- 마커를 이용하여 대역폭을 측정 (x dB 대역폭 측정에 이용)
- 마커가 위치한 지점의 스펙트럼의 전력레벨을 기준레벨로 선택할 수 있다.
- 마커가 위치한 지점의 주파수를 디스플레이의 중앙으로 조정가능
(대략적인 중심주파수를 구할 때 이용한다.)
- 스펙트럼 분포상의 포락선의 최고점을 쉽게 찾을 수 있다.

(4) 기타 기능

- GPIB 케이블을 이용하여 외부 시스템과 연결 가능 (컴퓨터 등)
- 측정 구간 (Span)의 변화에 따른 RBW 와 VBW의 자동 조정
- RBW에 따른 스위프 시간의 자동 조정 [15]

제 4 장 ITU-R 권고 전계강도 및 스푸리어스 발사 측정방법

제 4 장 ITU-R 권고 전계강도 및 스퓨리어스 발사 측정방법

전계강도와 스퓨리어스 발사의 측정이 2 장에서 언급한 바와 같이 실제 감시국소에서 측정하기에 어려움이 많이 때문에, 선진 외국에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 어떠한 방법을 사용하고 있으며, 연구 방향 및 측정을 하기 위하여 필요한 측정장비들은 어떠한 것들이 있는가를 알아보고자 ITU-R 권고사항들을 살펴보았다. 본 장에서는 전계강도와 스퓨리어스 관련 ITU-R 권고사항들을 살펴보고 이러한 측정방법들을 실제 감시국소에서 적용할 수 있는지 여부에 대하여 기술하였다.

제 1 절 전계강도 측정방법

1. ITU-R 고려사항

- (1) 전계강도측정은 9 kHz에서 1 GHz 의 주파수 범위에서 감시국소에서 수행된다.
- (2) 국제적인 등록과 주파수의 할당과 관련하여 정확한 측정이 바람직할 수 있다.
- (3) 일상적인 작업의 한 부분으로 국제적인 감시시스템에 참여하는 국소들은 해로운 간섭신호의 전계강도에 대한 신속한 측정을 필요로 한다.
- (4) 아래 2) 에서 상술된 정확도보다 더 낮은 정도가 9 kHz에서 30 MHz의 주파수대역에서 때때로 얻어질 수 있다.
- (5) 감시로부터 전계강도 정보를 공개하는 것이 바람직하다.

다음의 사항들이 만장일치로 권고되었다.

- 1) 2)에 상술된 정확도를 얻기 위하여 감시국소에서 전계강도를 측정하

는 장비는 이 권고에 따라서 설치되고 동작되어야 한다.

- 2) 수신기 잡음레벨, 대기잡음 혹은 외부 간섭에 의한 제한이 있는 곳을 제외하고, $1 \mu\text{V/m}$ 이상의 값을 갖는 전계강도 측정에서 기대되는 정확도는 아래와 같다.

주파수 범위 : 30 MHz 이하, 30에서 1000 MHz
측정의 정확도 : $\pm 2 \text{ dB}$, $\pm 3 \text{ dB}$

- 3) 측정에서의 제한, 간섭, 신호의 불안정성 혹은 다른 이유 때문에, 2)에서의 정확도를 얻을 수 없을 때, 그럼에도 불구하고, 측정은 지시된 정확도와 같은 정도로써 고려되어서 수신되어야 한다.

- 4) 감시국소에서의 전계강도의 신속한 측정을 위하여, $\pm 6\text{dB}$ 보다 더 나은 정확도를 제공하는 측정시스템의 대체 혹은 모두 보정하는 것 중의 한 방법이 채택된다 [5, 8, 12].

2. 측정기술

측정기술은 두 가지의 일반적인 범주로 나뉘어진다. 최적화된 정확도를 얻기 위한 일반적인 방법이 있고, 결과 데이터를 사용하기 위한 목적의 관점에서 정확도가 보다 덜 요구되는 경우와 단순화된 과정과 설비가 보다 빠르거나 편리한 측정 완성을 허락하는 경우에 이용되는 신속한 방법이 있다. 일반적으로 일반적인 방법은 전파 연구, 전계강도 측량, 안테나 패턴과 고조파의 측정이나 스푸리어스 감쇠 측정 같은 과학적인 용도나 규제의 목적을 위한 데이터를 수집하기 위하여 사용된다. 신속한 방법은 보다 정확한 측정보다는 전계강도의 근사화가 받아들여질 수 있는 고정된 감시국소에서 다른 실행과의 연결에 우선적으로 사용된다 [5, 8].

가. 일반적인 측정 방법

감시국소에서의 전계강도 측정의 많은 방법이 원하는 정보에 따라서 사용될 것이다.

- 긴 기간 동안의 연속적인 기록 (흑점 주기 변화의 측면에서 전파정보를 얻으려고 할 때, 데이터는 대략 22년에 걸쳐서 MF 방송대역에서의 특별한 경로에 집중된다.)
- 신호 레벨에서 낮과 밤 또는 다른 짧은 주기 변화를 결정하기 위한 더 짧은 주기를 통한 연속적인 기록
- 짧은 간격에서의 샘플링 (예를 들어, 매 2 분 당 5 초)
- 긴 간격 동안의 샘플링 (예를 들어, 각 90 분 당 10 분)

어떤 순간에, 특히 지상파가 관측되는 곳에서는 측정이 요구하는 목적에 따라서 단일 짧은 기간의 측정이 요구된다. HF 전파 연구의 목적을 위한 측정에서는 주파수 대역에 걸쳐 모든 전파 조건과 관계된 정보가 요구될 수 있다. 그러므로 24 시간 운용되는 무선국의 대략 90 분 간격으로 전 주파수 대역에 걸쳐서 10 분간 지속하는 짧은 기록이 편리할 것이고, 그럼으로써 선택된 주파수 범위와 관심의 대상이 되는 거리가 잘 기술될 것이다. 공중파 신호의 경우, 전리층의 일일 변화에 의하여 다른 날짜에 측정하는 것이 필수적이다.

측정하는 방해받지 않은 반송파 발사신호를 검출하는 회로의 시간상수는 평균값을 얻기 위하여 일반적으로 사용된 충전과 방전 주기에 수 초 정도의 값을 가진 바람직한 결과에 따라서 선택된다. 준 침투값을 위하여, 훨씬 더 긴 방전 시간 상수를 가진 짧은 충전 시간 상수가 필요하다.

차단 반송파를 가진 발사신호의 준 침투 전계강도의 측정을 위하여, 1 ms 의 과도증강 시간과 600 ms 감소 시간을 가진 회로가 이용될 수 있다. 너무 긴 과도증강 시간을 가지고 있기 때문에 이 방법이 알맞지 않을 경우, 측정이 음극관 오실로스코프를 사용하는 대용 방법에 의하여 수행 될 수 있다. 주위 간섭이 존재할 경우, 정확한 준 침투 측정이 얻기 어려울 수 있다.

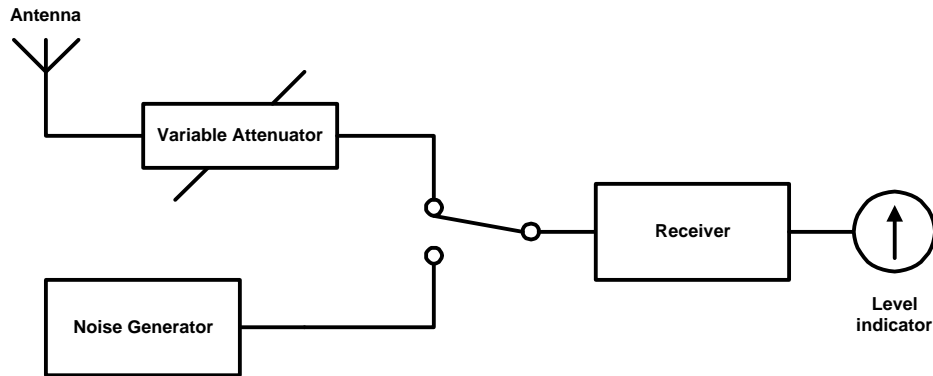
마이크로프로세서로 조절되는 장비는 주파수를 개폐시킬 수 있고, 적

당하다면 안테나를 개폐할 수 있으며, 수신기 통과대역의 잔여 에너지를 방전시킬 수 있다. 또한 사용하는 정정 계수와 수 십 밀리 초의 기간 동안의 이산적인 기록 결과를 포함하는 새로운 주파수에서 측정할 수 있다. 이 시스템의 종류는 다수의 주파수들이 측정에 필요하거나, 긴 기간의 샘플링이 수작업으로 저장하거나 분석하기에 너무 많은 데이터를 만들었을 경우에 유용하다. 결과는 물론 짧은 시간에 너무 많은 데이터가 수집되었기 때문에 컴퓨터에 저장된다. 그러한 경우, 마이크로프로세서 조정기에서 선 처리와 형식화는 나중의 컴퓨터 분석을 빠르게 처리하게 한다 [5, 8].

나. 신속한 전계강도 측정 방법

신속한 전계강도 측정방법에서 획득 가능한 정확도의 정도는 수신파를 방해하는 국부조건으로부터 안테나 설치의 자유를 포함하는 여러 가지 인자에 의존하는데 (예를 들어 국부반사 혹은 재방사), 시스템을 조정하고, 결과를 평가하는데 있어서의 조작자의 숙련도에 주의가 요구된다. 신속한 측정을 위하여 최적 정확도와와의 절충이 요구되기 때문에 ± 2 dB 정확도는 얻을 수 없을 것이다. 감시국소에서 전형적으로 보여지는 조건 하에서, 순간 전계강도는 대개 수직편파 성분의 실제 전계강도의 ± 6 dB 이내이다.

적당한 시스템이 (그림 4.1) 에서 보여진다. 이것은 알고 있는 측정된 혹은 계산된 유효 높이를 가진 안테나 신호 레벨의 평균 및 준 침투 지시를 제공할 수 있는 출력장치를 갖춘 수신기 잡음 발생기 및 가변 HF 감쇄기로 구성된다.



(그림 4.1) 신속한 전계강도 측정을 위한 실험 장치의 배열

일정한 범위에 대하여 알고 있는 레벨 N (dB)에서의 주파수에 대해서 독립적이어야 하는 잡음발생기로부터의 출력이 수신기에 적용되고, 수신기의 이득은 일정 레벨에서의 지시출력레벨을 유지할 수 있도록 조절된다. 측정되는 신호들은 급전 손실 K dB을 포함하여 알고 있는 유효높이를 안테나에 의하여 수신되어지며, 위에서 언급된 동일한 조건에서 감쇄기를 통하여 수신기에 적용되어진다. 감쇄기는 지시기 출력레벨이 이전의 값과 같아지도록 조절되어진다. 값 A (dB)가 읽혀지면, 전계강도 E (dB)는 다음 식으로부터 계산되어진다.

$$E = N + A - K \quad dB \quad (4.1)$$

감쇄기의 스케일이 $(N+A-K)$ dB의 단위에 의해 직접 눈금이 매겨지고 사용되는 안테나의 상대이득차이가 2 MHz에서 20 MHz의 주파수범위에 대해서 5 dB이내이면, 전계강도는 ± 5 dB 이내의 정확도를 가지고 감쇄기의 스케일 상에서 직접 읽혀질 수 있다. 다른 주파수에 대해서는 보정곡선이 사용될 수 있으며, 오차가 ± 5 dB로 유지되어질 때 전계강도는 식 (4.1)로부터 측정되어진다.

선택된 전신신호의 전계강도를 결정하기 위해서 오실로스코프가 측정기 대신 사용되는 것이 바람직하다. 왜냐하면 선택 신호에 응답하는 측

정기의 읽기가 부정확하고 사용되는 특별한 측정기의 시간 특성에 의존하기 때문이다. 오실로스코프 출력 지시기를 사용하면 단측파대와 같은 다른 형태의 전파형식에 대한 평균전력과 관련하여 관측자가 첨두전력에 대해서 어느 정도 판단을 하는 것이 허용된다. 지시장비는 다른 형태의 방출의 적절한 측정을 위한 준 첨두 레벨 및 평균 레벨의 읽기를 위하여 제공되어야 한다.

보정원으로서 잡음생성기를 사용하면 지시된 출력이 수신기 대역폭의 변동을 일으킨다. 그러므로 모든 전계강도 측정은 주어진 수신기 대역폭 내에서 수행되어야 하고 앞서 선택된 보정 대역폭이 아닌 다른 것이 사용되면 적절한 보정계수가 적용되어야 한다.

안테나의 선결 요구사항은 무지향성, 광대역, 고이득 및 구성의 단순성 등이다. 일반적으로 수직 무지향성 로드 안테나가 가장 바람직하다고 여겨진다. 역원뿔 안테나를 사용하면 장비는 매우 넓은 주파수 대역에서 사용될 수 있는데 즉 12 kHz에서 27.5 MHz이다. 전계강도 측정에서 ± 6 dB의 전체 정확도를 제공하기 위하여 초기 보정이 안테나의 기하학으로부터의 계산에 의하여 수행될 수 있다 [5, 8, 12].

다. 보다 신속한 전계강도 측정방법

만일 낮은 정도의 정확도가 받아들여질 수 있다면, 짧은 수직 단일 방향성 안테나가 무선국의 안테나 시스템 근처에 설치되어 질 수 있다. 이 안테나는 비록 감시국소에서 방향성이 있는 다른 안테나의 근접성에 영향을 받지만, 동축케이블에 의하여 수신기와 연결될 수 있도록 무선국 건물에 충분히 가깝게 위치해야 한다. 약 5 m 높이의 안테나가 땅속에 매립된 컨덕터로 구성된 별 모양 접지 시스템과 함께 설치되어야 하며 변압기에 의하여 동축케이블과 연결된다. 이것은 차례로 어떤 운용자 위치와도 연결될 수 있다.

자체의 수신기나 수신기들을 가진 각각의 동작 위치에 동축 스위치가 설치되는데, 이것에 의하여 운용자는 감시를 위하여 시스템 (방향성 혹은 방향성이 아닌)에서 가장 적당한 안테나를 선택할 수 있다. 스위치

한쪽 위치는 그 수신기가 수직 안테나와 연결되도록 한다. 수직 안테나 수신기 단위는 보정되고, 전계강도 측정을 위한 제 2 시스템으로써 수신기 측정장비와 함께 사용된다. 따라서 하나의 안테나에 대한 발사신호를 청취하는 운용자가 추정 전계강도를 알기 원한다면, 그는 수신기를 수직 안테나와 연결시키기 위하여 간단하게 동축 스위치를 조작한다. 수신기 측정장치에 대한 기록은 수신기와 안테나의 주파수 보정곡선에 의하여 수정되어지고, 추정 전계강도를 나타낼 것이다.

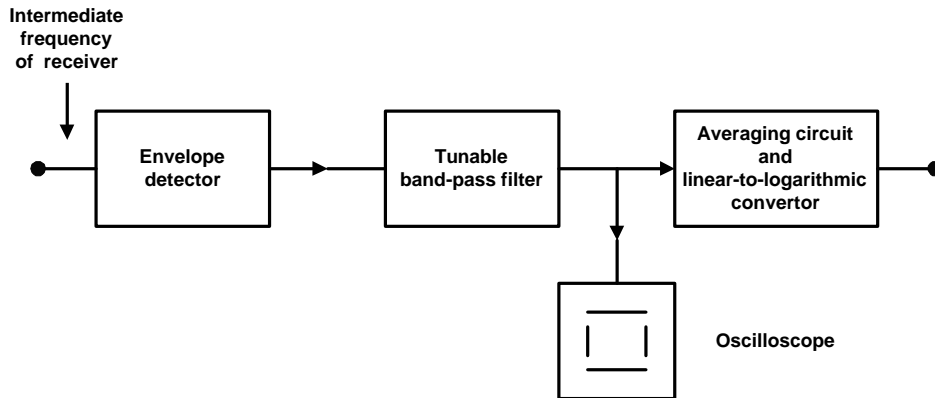
이러한 종류의 장비에 의하여 허용한계 내에서 수신기 보정곡선을 유지하기 위해서 충분히 재보정이 빈번한 간격으로 성취되어지면 약 ± 6 dB의 정확도가 가능하다 [5, 8, 12].

라. 잡음이 있는 경우의 전계강도 측정 방법

잡음 및 간섭의 침투 레벨이 원하는 신호의 레벨 이하에 있는 한, 텔레비전 비디오 신호 및 단속 반송파를 가진 발사신호의 전계강도를 측정하는데 있어서 특별한 문제가 나타나지 않는다. 준 침투 레벨 지시장비가 스펙트럼 상에서 최고 레벨에 응답할 것이기 때문이다. 그러나, 잡음 및 간섭의 침투값이 원하는 발사신호 보다 강도가 큰 경우에는 다른 기술이 사용되어야 한다. 경우에 따라서는 수신기 대역폭의 감소가 원하지 않는 발사신호를 제거시키는데 유효할 수 있다. 희망 신호의 지시레벨에서 짧은 지속기간을 갖는 고 잡음 침투값의 영향을 다소의 감소없이 최소화하는 것이 검파기의 충전 시간상수를 충분히 증가시킴으로써 가능하다. 이러한 방법의 효력은 물론 주위의 사정에 의존할 것이며 심한 페이딩 조건하에서는 유효하지 않을 것이다. 일본에서는 인접 채널 간섭이 있을 때의 발사신호의 측정에 대해서 장비에 부착된 파노라마식의 단을 사용하여, 간섭 발사신호가 원하는 신호로부터 분리되어지며, 방해 반송파에 의해서 발생하는 오실로스코프 트레이스의 편향으로 표시되는 전계강도가 보정 목적에 사용되는 장비로부터의 신호와 비교하여 측정될 수 있는 사용되는 방법을 기술하고 있다.

공동채널 A3E 전파형식의 약한 반송파 전계강도의 측정을 위하여 형

가리에서 개발된 방법이 있다. 이 방법은 간섭하는 캐리어에 의하여 발생하는 합성 전계에서의 비트에 의한 포락선의 변동을 이용한다. 비트에 의한 포락선의 선택된 변동의 진폭이 측정된 간섭 전계강도의 근사치로써 간주될 수 있다. 이 방법의 간단한 실제적 수행이 (그림 4.2)에서 보여진다.



(그림 4.2) 잡음 환경에서의 전계강도 측정을 위한 간단한 전계강도 측정구성도

필터링의 약 0.5 Hz 대역폭을 사용하는 많은 측정 결과에 따르면 대부분의 경우에 50 dB 동적 범위보다 높게 약 5에서 50 Hz의 비트 주파수 범위에서 얻어질 수 있다 [5].

마. 고해상도 전계강도 측정방법

이 부분에서는 고해상도 감시 및 측정 시스템에 대하여 다루고자 한다. 고해상도 측정시스템은 (그림 4.3)에서 볼 수 있는 합성기 동조 측정 수신기, 이중 채널 동기 검파기 및 저주파 고속 푸리에 변환 (FFT)스펙트럼 분석기나 (그림 4.5)에서 볼 수 있는 단일 채널 동기 검파기와 가변성 줌 기능을 가진 저주파 FFT 스펙트럼 분석기로 구성된다. 장비는 두 경우 모두 다 선택적인 사양인 외부 주파수 기준과 조정기의 도움으로 전형적인 60 dB의 동적 범위와 0.1 dB 정도의 진폭 해상도, 1 Hz의 1000 분의 2에서 3 정도의 주파수 해상도를 제공하는 고해상도 파노라마

식 수신기를 구성한다. 시스템은 공동 채널 A3E 반송파의 레벨과 주파수에서 데이터를 출력한다. 제어단에서 소프트웨어가 사용되면, 스펙트럼들을 평가하고 시스템 오차를 수정하는 것을 도울 수 있다.

(그림 4.3)은 이중 채널 동기 검파를 가진 고해상도 감시시스템의 구성을 보여준다. 이중 채널 동기 검파기의 국부 발진 주파수가 수신기의 공칭 중간주파수와 같다면 측정 신호의 주파수는 다음과 같다.

$$f = f_l + k \times f_a \quad (4.2)$$

여기서 f_l 는 수신기의 공칭 주파수이고, f_a 는 신호 분석기에 의해 다운 변환된 스펙트럼에서 측정된 선택 신호의 주파수이고, k 는 (그림 4.4)에서 설명되는 위상 조건에 좌우되는 $+1$ 또는 -1 이다. (그림 4.5)는 이중 채널 동기 검파를 사용 할 때 신호의 위상이 어떻게 인식되는가를 보여주는 블록 구조 다이어그램이다.

(그림 4.5)는 단일채널 동기 검파에 의한 고해상도 감시시스템의 구성이다. 동기 검파기의 국부 발진 주파수가 수신기의 공칭 중간주파수와 같다면 측정 신호의 주파수는 다음과 같다.

$$f = f_l + f_a - f_c \quad (4.3)$$

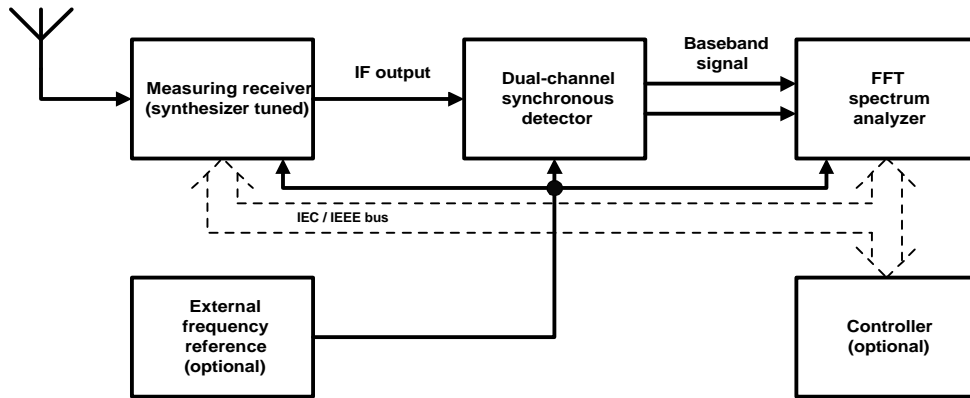
여기에서 f_l 은 수신기의 공칭 주파수이고, f_a 는 신호 분석기에 의하여 다운 변환된 스펙트럼에서 측정된 선택 신호의 주파수이고, f_c 는 수신기의 공칭 동기 주파수와 일치하는 다운 변환된 스펙트럼 내의 기저대역 주파수이다. (그림 4.6)은 단일 채널 동기 검파기에서의 스펙트럼 조건을 설명한다. 스펙트럼 폴딩의 영향은 국부발진 주파수의 적당한 선택으로 제거되는데 f_{LO} 는 측정수신기의 선택도 곡선 외부에 있다. 고해상도의 신호 분석은 FFT 분석기의 가변성 줌 기능에 의하여 제공된다. 주파수 f_0 , f_1 , 및 f_2 를 가진 반송파와 대응하는 기저대역 스펙트럼에서의

사인 신호들의 주파수는 다음과 같다 [5, 8, 12].

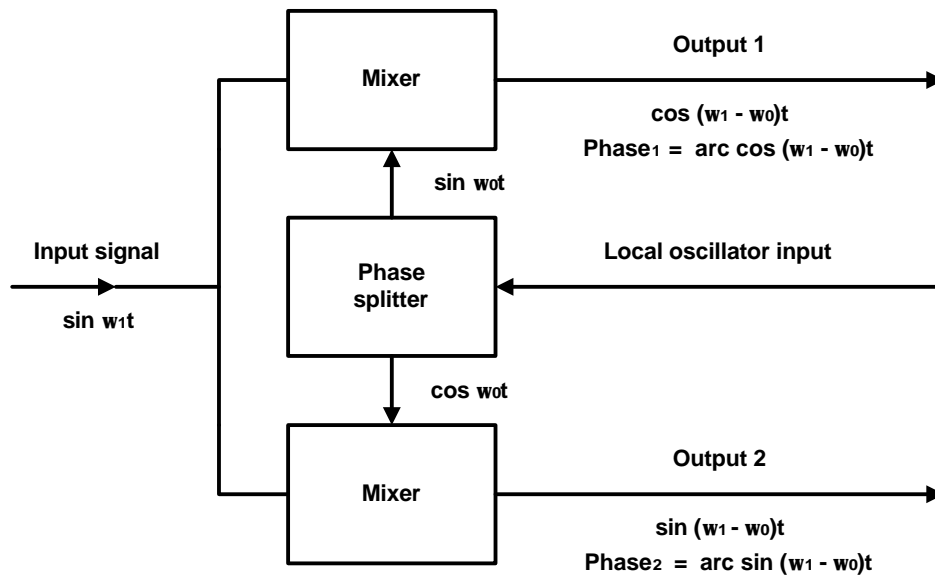
$$f'_0 = f_0 - f_{LO}$$

$$f'_1 = f_1 - f_{LO}$$

$$f'_2 = f_2 - f_{LO}$$



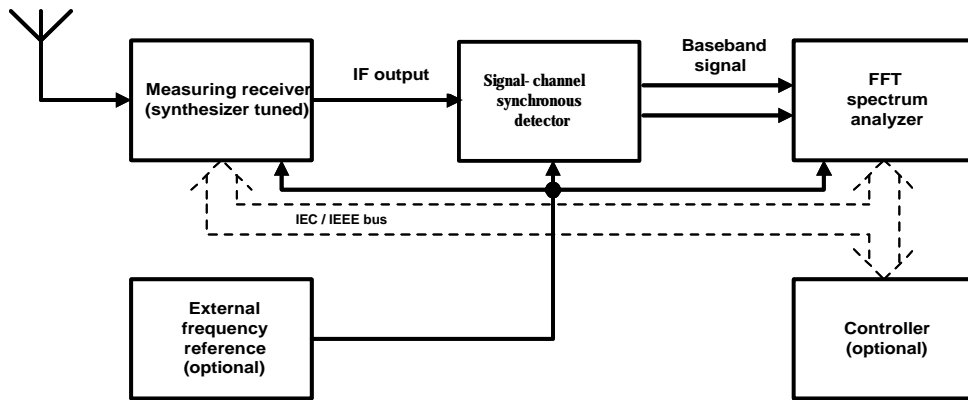
(그림 4.3) 이중 채널 동기 검파를 가진 고해상도 감시시스템의 블록도



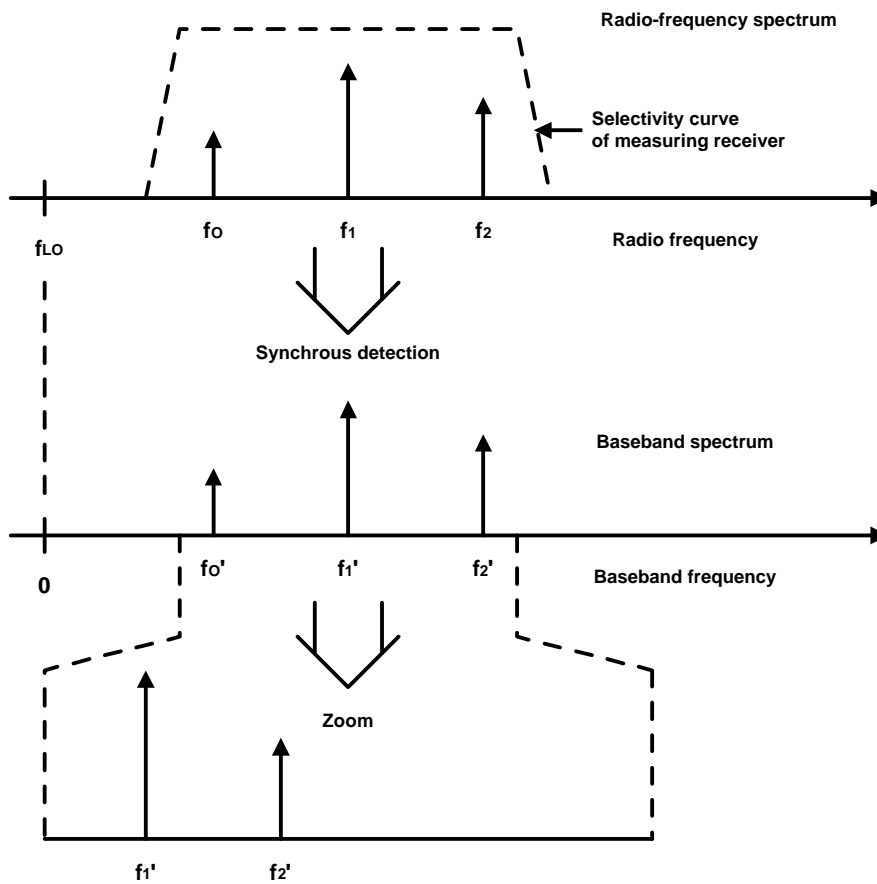
(그림 4.4) 이중 채널 검파를 사용할 때, 단일 위상을 인식하는 방법을 보여주는 블록도

$$k = +1 \text{ if } \text{phase1} - \text{phase2} = 90^\circ$$

$$k = -1 \text{ if } \text{phase1} - \text{phase2} = -90^\circ$$



(그림 4.5) 단일 채널 동기 감파를 가진 고해상도 감시시스템의 블록도



(그림 4.6) 단일 채널 동기 검파의 스펙트럼 조건

3. 무선 송신기의 전력에 대한 결정과 측정

ITU-R 은 다음 사항을 고려한다.

가. 무선 설비 규칙의 제 1항은 다른 전력 표현의 정의를 내포한다.

나. 송신기의 전력비가 언급될 때마다 임의로 지시된 기호를 이용한 전파형식의 종류에 따라 다음과 같은 형태 중의 하나로 표현한다는 것을 규정한다.

- 첨두 포락선 전력 (PX 또는 pX);
- 평균 전력 (PY 또는 pY);
- 반송파 전력 (PZ 또는 pZ);

그러나, 이러한 전력들 중 하나만 지시하는 것은 특정한 전파형식에 대해서만 그리고 특정한 이용에 대해서만 적당한. 반면에 많은 경우에 있어 다른 형태로 송신기 전력을 표현하는 것이 바람직하다. 공식을 이용하는 경우, 기호 p는 와트로 표현된 전력을 표시하고 P는 기준 레벨에 관계된 데시벨로 표현된 전력을 나타낸다.

다. 이러한 각각의 직접적인 전력 측정 또는 다른 하나의 측정으로부터 그들 중 하나를 추론하는 것은 매우 정확하게 정의된 동적 조건 아래에서만 이를 수 있다.

진폭 변조된 송신기를 위해, 직접적으로 첨두 포락선 전력을 측정하는 것이 항상 가능한 것만은 아니다. 이상적인 경우, 완전하게 선형적인 송신기는 발사된 반송파전력 또는 평균전력의 측정으로부터 이론적으로 계산할 수 있지만 계산된 값과 실제 첨두 포락선 전력 사이에 차이는 실제 송신기의 비선형성의 정도에 따라 주로 달라진다. 이론적 값을 갖는 평균 전력 대 반송파 전력 비율의 동시 측정은 입력 레벨의 함수로서 비례적으로 첨두 포락선 전력을 증가시키지 않고 선형적으로 평균전력을 증가시키는 왜곡 때문에 송신기의 선형성 기준이 확실하지가 않다.

완전한 반송파 (A2A, A2B, A3C, 또는 A3E)를 가지며 완전하게 선형적이고 양측파대 송신기의 100 % 변조된 침두 포락선은 반송파전력보다 4 배 더 크다. 그러나 모든 송신기들은 비선형 특성이 어느 정도 있으므로 이 결점은 신호 왜곡을 일으키고 또한 대역외 발사를 증가시킨다. 이러한 바람직하지 않은 현상을 100 % 변조보다 작게 하기 위해 변조도를 제한하는 것과 등가적인 유용한 값까지 침두 포락선을 제한하는 것이 필요하다. 침두 포락선 전력은 허용할 수 있는 상호 변조 왜곡에 의하여 제한된다. 단측파대 또는 독립 측파대 송신기의 침두 포락선 전력을 측정하고 정의하기 위해 권고된 방법이 본 절에서 설명된다. 마찬가지로 같은 방법이 양측파대 송신기를 위해 이용할 수 있다 [5, 12].

4. 변조되는 발진 신호를 위한 주파수 선택

상호변조적인 진폭을 측정하기 위해서 가청 주파수 통과대역의 제한 근처에 주파수를 갖는 변조된 발진을 이용하는 것이 바람직하다. 여기에 고려되는 가청 주파수 통과대역은 발사되는 전체 측대역에서 출력에 대응하는 송신기 입력에서의 대역이다. 주로 짝수 차수의 고조파와 상호 변조 성분은 송신기의 입력 또는 변조 과정의 저주파 장치에서 일어난다. 측정될 3 차와 5 차수의 상호 변조성분을 갖는 송신기의 출력에서 간섭과 일치함을 방지하기 위해 변조된 주파수 f_1 과 f_2 는 신중하게 선택해야 한다.

변조되는 주파수 f_1 과 f_2 사이의 고조파 관계는 물론 $2/3$, $2/5$, $2/7$, $3/4$, $3/5$, $3/7$ 그리고 $4/5$ 의 근처에 값을 갖는 f_1 / f_2 비도 피해야만 한다. 후자의 조건에 의하여 5 차보다 높은 상호 변조성분은 대부분 실제적인 목적을 위해 무시할 수 있다고 가정한다.

예를 들어, 위에서 말한 조건을 만족한다면, 300 과 3000 Hz 사이에 가청 주파수 통과대역에서 700 Hz 와 1100 Hz 근처의 값은 f_1 을 위해 선택할 수 있고 1700 Hz 또는 2500 Hz 근처의 값은 f_2 를 위해 선택할 수 있다 [5, 12].

5. 침투 포락선 전력 측정을 위한 방법

송신기의 비선형성 때문에 침투 포락선의 측정은 문제의 송신기에 대한 허용할 수 있는 상호 변조 레벨을 고려한다. 가능한 한 간단하고 확실한 단일측정 방법을 채택하는 것이 바람직하다. 다음과 같은 방법이 권고된다.

가. 감소되고 억제된 방송파를 갖는 단일 또는 독립 측파대 진폭 변조 송신기

송신기 출력은 적당한 단자 임피던스를 갖는 시험 부하에 또는 안테나 급전선에 연결된다. 설비는 평균전력을 측정하도록 만들어야 한다. 일정한 진폭을 갖는 정현파 무선주파수 발진의 평균 전력 측정을 위해 적당한 장치가 이용된다. 선택적인 측정소자, 예를 들어, 선택적 무선주파수 전압계 또는 스펙트럼 분석기, 그리고 변조된 신호의 침투 진폭에 응답하는 장치 즉 오실로스코프가 부하단자에 연결된다.

선택적 측정장치는 무선주파수 신호에 스펙트럼 성분의 상대적인 크기를 측정하는데 이용한다. 이 신호의 포락선의 침투값은 침투 응답 장치에 의해 결정된다. 반송파 제어 스위치 또는 송신기의 감쇄기는 필요한 반송파 레벨에 상응하는 위치에 놓여진다.

이 반송파 레벨은 가능한 억제된 반송파 발사신호에 대해서 -40 dB 또는 그보다 적고, 감소된 반송파 방출에 대해서는 -16 dB에서 -26 dB 이다. 전 반송파 방출에 대해서는 -6 dB이다.

정현 기준 발진 (0 dB)의 레벨은 기준 레벨이라고 부른다. 기준레벨에 대응하는 침투 응답 설비의 편향은 0 dB 에 반송파 제어 스위치 또는 감쇄기를 놓음으로써 처음에 결정된다. 일단 기준 레벨에 상응하는 편향을 알고 있고 반송파 제어스위치가 지시된 위치에 설정되었다면 송신기는 선택된 주파수인 두 개의 정현 발진에 의해서 변조된다.

두 개에 변조되는 발진의 입력 레벨은 출력에서 다음과 같이 조정된다. 변조 신호에 상응하는 무선 주파수 발진들이 동시에 같은 진폭

인 기본적인 성분을 갖도록 조정되고, 합성된 무선 주파수 신호를 일으키는 첨두 응답 계측기의 편향이 같아지도록 조정된다.

반송파를 포함하는 완전한 신호 레벨은 출력에서 선택한 계측기를 가지고 측정한 것과 같이 가장 큰 상호 변조 성분이 허용된 상호 변조 레벨에 이른다. 신호로부터 일어나는 첨두 응답 계측기의 편향이 기록된다. 마지막으로 계측기는 단일 정현 발진을 이용함으로써 첨두 포락선 전력이 측정된다. 이것은 다음 둘 중 어느 하나에 의해서 이루어진다.

- 단일 정현 발진에 의해서 두 개에 변조 발진을 대치하고, 반송파를 억제함으로써 이루어진다.
 - 두 개에 변조 발진을 억제하고 반송파를 증가시킴으로써 이루어진다.
- 어느 쪽이든지 응용할 수 있는 변조 입력 레벨 또는 반송파 레벨은 최적 종합 측정 정밀도를 위해 첨두 응답 계측기에 임의의 편향을 얻도록 조정된다. 편향은 기록되고 상응하는 평균전력은 측정된다. 첨두 포락선 전력은 다음 공식으로부터도 계산된다.

$$\text{첨두 포락선 전력} = \text{평균 전력} \times \left[\frac{\text{두개의 발진을 갖는 편향}}{\text{한개의 발진을 갖는 편향}} \right]^2$$

나. 완전 반송파를 갖는 단측파대 또는 양측파대 진폭 변조된 송신기

송신기가 억제되거나 감소된 반송파를 갖고 동작할 수 있다면 반송파 제어스위치를 갖춘다면 가. 에 설명한 것과 같은 절차를 따르는 것이 좋다. 송신기가 완전 반송파를 갖는 동작에 대해서만 적당하다면 측정은 다음과 같이 측정한다.

송신기는 두 개의 정현 발진에 의해 선택된 주파수를 변조한다. 두 개에 변조된 발진의 입력 레벨은 출력에 다음과 같이 조정된다.

- 변조된 신호에 상응하는 무선 주파수 발진이 동시적이고 같은 크기인 기본적인 성분을 갖도록 조정된다.

- 선택한 측정 소자에 의해 측정된 것과 같이 가장 큰 상호 변조 성분 레벨은 허용된 상호변조 레벨에 이루도록 조정된다.

위에서 언급된 신호로부터 결과적인 침투 응답 장비의 편향이 기록된 후, 변조된 신호는 억제된다. 반송파 전력은 측정되며 침투 응답 계측기에 대응하는 편향이 기록된다. 침투 포락선 전력은 다음 공식으로부터 계산된다.

$$\text{침투 포락선 전력} = \text{반송파 전력} \times \left[\frac{\text{두개의 발진을 가진 편향}}{\text{반송파 진폭에 상당하는 편향}} \right]^2$$

이 권고에서는 변환 인자를 활용한 송신기의 침투 포락선 전력을 측정하기 위한 방법을 기술했다. 이 방법은 사소한 상호 변조 왜곡이 일어나는 이상적인 경우, 완전하게 응용되나, 부가적으로 무선 주파수 신호의 기본적인 성분의 어느 한 레벨에 관련된 상호 변조 레벨이 -40 dB 또는 그보다 작을 때 송신기에 대해 근사적으로 5 % 오차보다 작은 결과를 얻는데 이용할 수 있다 [5, 12].

6. 측정장비의 보정

전계강도 측정장비에서 제공되는 기준 신호원의 목적에 따라 표준 감도를 조정할 때, 주어진 주파수와 같은 전계강도 미터기의 안테나에 영향을 주는 전자파와 전계강도 미터기의 표시된 값과의 관계를 표현하는 보정성분의 적용에 의해서 CRT에서 읽는 수치는 등가 입사 전계강도로 변환된다. 이러한 요소는 안테나 이득이나 변압기의 정합, 전송선의 손실, 수신기 감도, 선형성 등을 포함하는 여러 파라미터로 구성된다. 안테나 시스템 특성에 의해서 정해지는 보정성분은 안테나 요소로 불린다. 일반적으로 보정성분은 주파수에 따라서 변한다. 보정은 보정을 하는 기기의 특성은 항상 주파수와 신호레벨의 함수이기 때문에 보통 한번이 아닌 여러 번의 측정결과이다. 대표적인 일반적인 목적의 전계강도 미터기

는 여러 개의 연속적으로 조정할 수 있는 주파수 범위와 약 100 dB의 진폭 범위를 가진다. 그러므로 몇 개의 표본 주파수나 신호 레벨을 가지고 기기의 보정을 하는 것은 실제로 사용을 할 때 큰 오차를 가질 수 있다. 보정 방법들은 직접 보정과 간접 보정의 두 개의 방법으로 분류된다.

가. 직접 보정

안테나는 강도를 정확하게 알 수 있는 전자파장에 놓여있다. 전계강도는 알고있는 범위나 전류 분포 (표준 전계 방법)의 전송 안테나 또는 알고 있는 범위의 특별한 수신안테나에 인가되는 전압 (표준 안테나 방법) 등 현재 측정된 값에 기초하여 결정된다. 원리적으로 전계강도 미터기는 미터기가 가지고 있는 범위 안에서 모든 레벨과 주파수 범위에서 알고있는 전계강도의 사용으로 직접 보정할 수 있다. 그러나 실제로 그러한 보정은 보통 각각 요구되는 주파수에서 전계강도의 단지 하나 또는 두 개의 레벨만을 수행한다. 이러한 측정들은 감쇄기의 순차적 정확도와 표시기의 정확도를 측정한 값을 이용하여 보충된다. 보충측정은 전자 커플링으로 안테나에 정확하게 알고있는 적절한 레벨의 테스트 신호를 넣거나 또는 장비의 회로에 적절한 지점에 직접 연결하는 방법 등을 이용하여 수행한다. 직접 보정방법은 짧은 로드 안테나를 가지는 기기에는 보통 사용하지 않는다. 그러한 기기는 기기와 기기의 안테나는 큰 테스트 장소에서 정확하게 동일한 장을 만들어야하는 필요성이 있기 때문이다.

나. 간접 보정

이 방법에서는 보정요소는 안테나의 측정 또는 계산된 특징과 측정된 기기 특징들로부터 계산을 한다. 안테나는 전계강도 측정기기로부터 분리하여 안테나의 임피던스와 같은 임피던스를 가진 보정된 표준 신호발생기에 연결한다. (이것은 종종 적절한 인공적인 안테나가 필요할 때도 있다.) 남은 기기들은 표준 신호 발생기에 대해서 무선 주파수 전압계

(또는 파워미터)로 보정한다. 안테나 요소는 안테나의 범위와 전류 분포, 안테나의 고려 사항인 안테나 개구면, 또는 측정된 안테나의 이득 등으로부터 각 주파수에 대해서 계산한다. 만약 전송선을 이용한다면, 선로손실을 결정하거나 허용치를 만들 때 분리하는 것을 피하기 위해서 수신기 부분을 고려할 경우와 보정 발생기를 연결할 경우 편리해 질 수도 있다.

다. 공간 분포와 전류 분포 안테나의 연산

안테나 요소의 계산은 안테나의 간단한 형태의 사용으로 용이하게 한다. 예를 들어 넓은 접지 평면에 위치한 얇은 수직 로드 안테나 (0.1 파장길이보다 짧은)는 선형 전류 분포를 갖고, 그 물리적인 길이의 반파장으로 가정한다. 안테나의 임피던스는 표준 신호 발신기와 측정 안테나 개구면의 입력간에 직렬 용량기로 근사하게 시뮬레이션을 한다. 두 번째 예는 정현파 형태의 전류분포를 갖는 전제의 얇은 반파장 다이폴 안테나이다. 이 안테나는 λ/π 의 계산된 유효길이를 가지고 자유공간에서 $73.3\ \Omega$ 의 방사저항을 갖는다. 실제적인 원통형의 다이폴은 공진을 이루기 위한 반파장보다 훨씬 짧게 잘려야 한다. 안테나의 방사저항과 유효길이는 무한히 얇은 안테나에 관한 변수들보다 낮아야 한다. 이러한 차이들은 전류분포에서 유한한 두께의 효과 때문이다. 그러나 실제적인 다이폴의 지향패턴은 이론적인 얇은 다이폴의 지향패턴과는 많은 차이는 없다. 그리고 이러한 결과로부터 안테나의 이득과 전력은 이론상의 얇은 안테나의 값들과 매우 가깝게 남는다는 것을 알 수 있다. 이런 사항들은 실제 다이폴은 이론적으로 얇은 안테나와 동등하게 고려할 수 있다는 것을 가리킨다. 더욱이 방사저항에서 변화에 대한 설명을 위한 전송장비를 더할 수 있다. BALUN은 임피던스 매칭 특성들이 최적화 되어있지 않거나 손실을 알 수 없으면 중요한 오차를 알기 위해 사용하는 부가적인 전송장비이다.

라. 안테나 이득의 측정

안테나의 이득은 표준안테나와의 비교를 통하여 측정할 수 있다. 안

테나 이득의 측정은 관련된 BALUN의 손실 또는 다른 임피던스 정합 기기들을 포함하여야만 한다.

마. 고정 녹음 설비의 보정

ITU-R 권고에서 주어진 요구하는 정확성을 얻기 위해서는 이러한 설치들의 초기 보정은 제어할 수 있는 조건아래에서 정확성을 알고있는 보정된 전계강도 미터기와 비교를 통하여 이루어진다. 이러한 보정은 초기 보정이 변하지 않은 상태에서만이 유효할 수 있다. 그러므로 안테나나 전송선로, 임피던스 정합 또는 안테나의 증설이나 제거 또는 다른 전체적인 컨덕터 또는 장애물 등과 같은 사이트 안에서의 변화들의 중요한 변화들은 시설들의 재보정을 일반적으로 요구한다. 덧붙여 주기적인 보정 기록은 지역적인 보정 신호원 (표준 신호 발생기 또는 잡음 발생기)에 대하여 이루어져야 한다. 수신기의 이득이나 비슷한 변수들의 변화에 대하여 고려하기 위해서는 ITU-R 권고의 요구사항들을 고려하여 측정 기기에 표시된 신호레벨과 전계강도 측정이나 녹음을 수행하는 주파수나 그 주위의 주파수를 송신하는 신호원을 이용한 정확도의 보정된 전계강도 미터기로 결정된 실제 전계강도와 비교하여 적절한 보정을 포함해야 한다. 만약에 측정이 확장된 주파수 범위를 넘어서면 보정곡선은 관심 주파수 대역안에서 주파수 간격에 비교측정에 기초하여 마련하여야 한다. 이러한 비교들을 수행하는 감시국소의 안테나와 전계강도 측정기 안테나는 같은 편파를 가져야한다. (두개의 안테나는 수직이나 수평 편파 방사 수신에 대해서 조정된다.)

차폐 루프 안테나를 갖는 전계강도 미터기는 보통 수직 모노폴 안테나를 갖는 30 MHz 이하의 측정에 대해서는 갖는 녹음 설치기를 보정하는데 사용되는데 만족할 만한 결과는 지면과 1미터 정도의 가까운 평범한 레벨에서의 전계강도로 얻을 수 있다. 다이폴이나 다른 공진 안테나가 이용되거나 지면이 전파되는데 주요한 역할을 하지 않는 30 MHz에 대해서는 보통 지면에서 10미터나 그 이상의 지점 정도의 녹음 안테나와 같은 높이에 전계강도 미터기의 안테나 설치가 요구된다. 전계강도 미터

기와 녹음 안테나 사이의 상호작용을 피하기 위해 수신안테나를 일시적으로 제거하거나 전계강도 미터기의 안테나를 레퍼런스 전계강도를 얻은 같은 위치에 놓는 것이 좋다. 전계강도 미터기의 안테나는 제거하고 다시 설치한다. 이것은 보정과정에서 사용되는 신호원이 일정한 레벨을 미리 예상한다. 만약 변화하는 강도의 신호를 이용해야만 하는 경우 순간 측정은 두 개의 가까운 위치에 있는 안테나를 이용해야한다. 그러나 두 안테나의 상호작용이 최소화 할 수 있는 충분한 공간이 요구된다.

최근에 특이하게 배열되거나 높은 감도의 전계강도 측정을 목적으로 하는 특별한 안테나는 정확한 항법기기를 통하여 거리와 방향을 가능하게 한 나선형 모양을 이용한 보정기술로 설치되고 있다. 상호작용의 원리는 원하는 주파수에서의 신호가 지면의 안테나에 야기될 수 있고, 수신기 측정은 위치 정보를 컴퓨터로 상관관계를 볼 수 있는 나선형에서 강도를 측정될 수 있기 때문에 안테나의 패턴을 유지할 수 있다 [5, 8, 12].

제 2 절 스푸리어스 발사의 측정방법

1. 안테나에 공급되는 전력 측정에 의한 스푸리어스 발사의 측정방법

스푸리어스 발사의 전력을 측정하는 알려진 다른 방법과 함께 송신기가 정상조건하에서 운용되고 그것의 정상안테나 또는 시험부하에 연결되어져 있을 때는 치환법이나 직접 전력 측정방법을 사용해야 한다. 시험부하에 연결되어 있는 송신기로 측정이 수행되어 질 때는 시험부하에 공급되는 스푸리어스 발사의 전력은 실제 전송에 사용되는 스푸리어스 발사와는 상당히 다를 수도 있다.

가. 치환법

치환법에서 출력 전력이 변화될 수 있는 보조 발생기가 사용되어지

며, 그것의 주파수는 해당 스푸리어스 발사의 평균 주파수와 같도록 조정되어진다. 이 보조 발생기는 다음과 같이 사용된다. 이 발생기는 전파 송신기의 대응이며 전파송신기에 의하여 생성되는 것처럼 스푸리어스 발사의 평균 주파수에서도 같은 전계를 생성할 때까지 조정되어진다. 이 전계는 스푸리어스 발사에 동조된 전파 수신기에 의하여 측정되어지며, 송신 안테나로부터 여러 파장 떨어진 곳에 위치한다. 방사시스템의 비선형성에 의하여 고조파 발사가 발생하지 않으면 발진기가 공급하는 전력은 송신기 자체에 의하여 본래 공급된 전력과 같다. 발진기로부터 동일한 조건을 얻으려면, 원래 송신기에서 방사 시스템까지의 부유결합을 고려하여야 하며, 송신기로부터의 어떠한 직접방사 그리고 직접결합에 의하여 급전될 수 있는 급전선 또는 다른 기기로부터의 직접방사도 고려하여야 한다. 급전하는 방법이 복잡할 경우에는 하나 이상의 발진기가 필요할 수도 있다. 안테나에 공급되어지는 전력이 정확하게 측정될 수 있도록 하기 위해서는 스푸리어스 주파수에서 급전선 입력회로의 임피던스를 결정하는 것도 필요하다. 여러 측정이 다른 수신기 위치를 사용하여 이루어지는 것도 필요하다. 시험 부하가 사용될 때, 부하에 결합된 표시기가 요구되어 진다 [5, 8].

나. 직접법

다음 3 개의 직접 측정법이 사용될 수 있다.

(1) 첫 번째 방법

전압, 전류, 전력 성분은 관련된 스푸리어스 발사의 평균 주파수에 동조되는 선택적 전파 수신기를 사용하는 급전선의 한 점에서 결정되고 급전선의 원하는 지점에 결합된다.

(2) 두 번째 방법

전송 및 반사된 전력은 급전선 또는 시험 부하에 직접 삽입되는 한 쌍의 역방향 결합기를 사용하여 결정된다. 선택적 전력 측정장치는 선택적으로 결합기로 전환되고 관련 스푸리어스 발사의 평균 주파수로 동조

되어진다. 이 두 개의 측정 전력간의 차이는 스푸리어스 발사의 주파수에서 안테나에 공급된 전력을 제공한다.

방향성 결합기로부터의 전압 또는 전력은 수신기와 신호발생기를 이용하여 비교법을 사용하여 측정될 수 있다. 동축선에 대하여 방향성 결합기는 그것의 축과 평행하게 급전선 내에서 배열되고 외부 도체에 관련하여 그것의 한끝에서 무반사 종단을 갖추고 있는 도체 (선형 안테나)로 구성된다. 전압은 개방단에서 나타나는데 그것은 거의 선형 안테나의 개방단에서 폐쇄단으로 확장하는 급전선 내의 전압과 때문이다. 결합기의 도체와 외부 벽간의 크기와 간격은 최대 허용 입력레벨 및 접속될 장치의 입력 임피던스에 의존한다.

이 방법은 관련된 송신기 내에서 직접 발생되어지든지 또는 2 차적인 방법 즉, 다른 송신기들과의 상호작용에 의해서든지 송신기로부터 안테나로 전송되는 스푸리어스 발사 전력이 측정될 수 있게 한다.

평형 급전선에 대하여 방향성 결합기는 급전선을 가지고 있는 평면과 평행인 평면내의 급전선 근처에 대칭적으로 배열되어진 한 쌍의 병렬도체 (대칭적 선형 안테나)로 이루어지기도 한다. 방향성 결합기는 하나의 끝에서 무반사 종단을 갖추고 있다.

대지에 대해 평행인 전압은 거의 급전상의 푸시폴 모드 과 때문에 개방단에서 나타난다. 전압의 선택측정을 위해서는 변압기로 전압을 평형에서 불평형으로 바꾸는 것이 바람직하다.

만약 결합기가 위에서 언급한 바와 같이 설치된다면, 급전상의 푸시 푸시 모드 파는 측정에 무시해도 좋을 영향 정도만을 준다. 이 영향의 범위는 사용된 변압기의 평형정도에 의존된다. 결합기와 급전선간의 간격과 두 개의 결합기의 도체간의 거리는 접속될 선택적 레벨 미터의 최대 허용 입력레벨 및 사용된 변압기의 변화비율에 의존한다.

푸시푸시 모드에서 전송되는 상당한 크기의 전력성분이 기대될 때 이들 성분은 다른 적당한 방법들을 사용하여 개별적으로 측정되어야 한다. 평형 급전선에 적합한 또 다른 측정장치는 두 개의 동축 급전 구간을 사용하는데, 각각의 경우에 두 개의 방향성 결합기를 갖추고 있다. 따

라서 순방향 및 반사 전력은 두 개의 도체 각각에 대하여 개별적으로 결정될 수 있다. 순방향 전력의 합은 전송선으로 전달된 총 전력과 같다. 그러나, 이 방법은 푸시풀 및 푸시푸시 모드에서의 전력을 구별하지 않는다. 특수 유형의 방향성 결합기는 광범위한 주파수에 대하여 스퓨리어스 발사의 전력을 결정하는데 사용될 수 있다.

(3) 세 번째 방법

대칭 나선 급전상의 한 부하점과 해당 부하점이 아닌 지점에서의 기전력값이 측정되며, 이들 값은 측정될 주파수에서 스퓨리어스 발사의 전력값으로 변환되어 진다. 기전력 값은 관계되는 스퓨리어스 발사의 평균 주파수로 동조되는 선택적 전파수신기와 결합 요소에 의해 측정되어진다. 결합요소는 급전 도체들간에 대칭적으로 위치하고 부하점과 비부하점 위치를 찾기 위하여 급전선을 마음대로 움직이는 차폐된 루프이다. 급전 도체의 평면에 대하여 루프의 평면의 위치를 변경함으로써 스퓨리어스 발사의 푸시푸시와 푸시풀 모드의 전력을 측정할 수 있다.

측정값을 전력값으로 변환하는데 사용되는 계수는 장치를 교정할 때에 이전에 그려진 그래프로부터 찾을 수 있다 [5, 12].

2. 기본 주파수에 가까운 주파수에서 스퓨리어스 발사의 측정

가. 상대적으로 필요 대역에 가까운 스퓨리어스 발사를 측정하는 것이 어렵다는 점을 고려하면 앞에서 설명된 한계가 그러한 경우에 충족되어진다는 것을 보증하는 것이 가능치 않다.

나. 많은 경우에 있어서 인접한 주파수 상에서 스퓨리어스 발사를 측정을 과도하게 방해하는 발진의 적절한 억압은 대역 통과 필터를 적절히 삽입함으로써 가능할 수 있다. 예를 들어 인접한 주파수상에서 스퓨리어스 발사를 측정할 때 반송파 발진의 추가적인 선택 억압은

저 전력 단계에서 얻어진 역위상의 무변조 반송파로 감시 수신기 반송파를 제거함으로써 실현될 수 있다.

다. 몇몇 송신기가 동일국소에서 인접 주파수들 상에서 운용되고, 예를 들면 우연히 대역 8의 주파수에서 주파수 변조를 사용하는 음성 방송국에서 동일 안테나에 급전될 경우, 사용중인 반송 주파수들로부터 1 MHz 이하인 주파수 간격으로 상호변조에 의한 스퓨리어스 성분이 발견될 수도 있다. 이러한 경우에 측정은 방향성 결합기와 동조된 필터를 사용하여 행하여 질 수 있다. 이 방법에서는 측정될 스퓨리어스 성분의 발생에 기여하는 기본 신호의 보다 먼 부분을 감쇠시키도록 동조되는 필터가 사용된다. 이것은 수신기에서 스퓨리어스 성분이 추가적으로 발생하는 것을 방지한다.

남아있는 기본 신호에 의한 수신기 과부하로부터의 오류는 기본 신호가 존재할 때 비교법을 사용하여 스퓨리어스 성분의 레벨을 측정함으로써 극복될 수 있다. 신호 발생기는 2 의 계수로 신호기의 출력 전력을 증가시키도록 조정되어진다. 이런 경우에 스퓨리어스 성분의 전력과 비교 신호의 전력은 같다.

몇몇의 경우에 있어서 위에서 설명된 측정방법은 적용하기가 다소 어려울 때도 있다. 그럴때는 충분히 선택적인 측정장치로 적당한 거리 (수 km 또는 수십 km)에서 스퓨리어스 주파수상의 그리고 인접 반송주파수상의 전계강도를 측정하는 것이 바람직하다. 만일 모든 신호들이 동일 안테나에 의하여 방사되거나 유사한 방사패턴들을 공유할 경우에 스퓨리어스 성분의 전력은 전계강도의 측정으로 결정되어질 수 있다. 만일 기본 신호의 전력이 개별적으로 측정될 수 없을 경우에 이들 전력의 합은 기본 신호의 전계강도 제곱값의 합에 대한 스퓨리어스 성분의 전계강도 제곱값의 비를 사용하여 알려지지 않은 스퓨리어스 성분의 전력을 계산하는데 사용될 수 있다. 이 비율은 기본 신호 전력 합에 대한 스퓨리어스 성분 전력의 비와 같다 [5, 12].

제 5 장 전계강도 측정실험 및 분석

제 5 장 전계강도 측정실험 및 분석

본 장에서는 전계강도 어떻게 효율적으로 측정할 것인가를 알기 위하여 여러 가지 방법으로 실험을 하였다. 측정 실험의 배경과 측정 실험 방법에 대하여 설명하고, 측정 실험 결과 및 분석을 하였다. ITU-R에 권고된 전계강도의 측정방법이 일반적인 내용이어서 실제의 감시국소에서의 측정에 적용하는 것이 용이하지 않으므로 실험을 통한 결과를 바탕으로 효율적인 측정방법을 제시하고자 하였다.

제 1 절 측정 시스템 구성

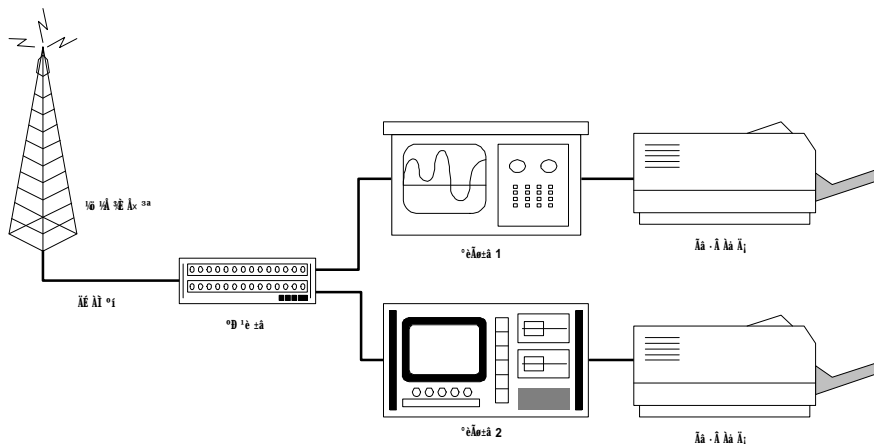
감시국소에서 측정신호의 전계강도를 측정할 경우, 측정값은 송신소에서 발사될 때의 값과 크게 다르다. 그 이유는 앞서도 언급한 바와 같이 환경에 의한 영향일 수도 있고, 측정장비에서의 오차일 수도 있고, 측정방법에서의 오차일 수도 있다. 그래서, 본 연구에서는 전계강도의 측정오차를 각각 보정해 줌으로써 송신소에서의 신호 출력이 규정에 맞게 잘 이용되고 있는가를 찾을 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 측정오차의 원인에 따라 여러 가지 실험을 통하여 보정하는 방법을 제시하는 방향으로 연구하였다.

감시국소의 전계강도 측정에서의 측정오차는 크게 전파환경에 의한 것과 측정장비에 의한 것, 측정방법에 의한 것으로 나뉘어진다. 전파환경에 의한 측정오차는 전파환경 측정을 통한 장기간의 측정의 필요와 지형, 페이딩 조건, 무선국의 분포 등의 이유로 다루기가 용이하지 않다. 따라서, 본 연구에서는 전파환경에 관한 측정오차를 보정하기 위하여 참고자료를 활용하는 정도로 연구하고, 환경을 고려한 측정실험은 배제하였다. 본 연구에서는 주로 측정장비에 의한 오차와 측정방법 면에서의 전계강도 측정오차를 줄이는 방법을 찾기 위한 측정실험을 하였다. 또한 이러한 실험들을 바탕으로 전계강도 측정에 알맞은 측정장비를 제안하고, 여러 가지 장비들로 구성된 전체적인 전계강도 측정시스템에 대하여 제안

하고자 한다 [5].

1. 측정장비에 의한 오차 보정을 위한 시스템 구성

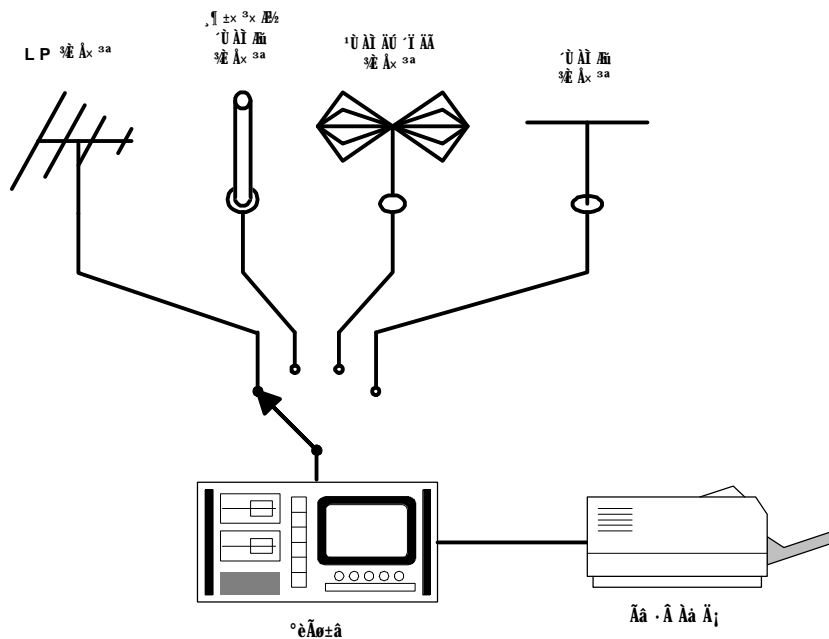
측정장비 면에서의 측정오차를 줄이기 위한 실험은 계측기 간, 안테나 간 측정오차를 줄이는 방안을 중심으로 실험하였다. 측정장비 자체의 성능에 대한 기준은 이미 4 장의 ITU-R 권고에 나와있다. 측정장비는 그러한 기준에 알맞도록 설계되었고 가정할 수 있으나, 측정장비가 달라질 경우, 성능 등의 차이에 의하여 서로 측정값이 달라질 수 있다. 현용 감시국소의 계측장비로는 2 장과 3 장에서 언급된 바와 같이 Minilock 과 ESN 장비가 있는데, 이 두 장비가 같은 신호의 전계강도를 측정할 때, 장비의 특성에 따라 측정값이 달라질 수 있다. 따라서 (그림5.1)과 같이 측정시스템을 구성하여 두 장비의 측정값을 비교함으로써 장비간의 측정 차이를 줄일 수 있도록 하고자 하였다. 스펙트럼 분석기와도 비교하여 장비간 측정오차가 어느 정도인가를 실험하였다 [5].



(그림 5.1) 계측기를 이용한 전계강도 동시측정 실험

안테나간에도 어떤 안테나를 사용하느냐에 따라 측정값이 달라질 수 있으므로 하나의 계측기에 두 개 혹은 여러 개의 안테나를 연결하여 같은 신호에 대한 측정값의 변화를 살펴보았다. (그림 5.2)는 안테나간 전

계강도 측정오차 측정을 위한 실험 시스템의 예이다.



(그림 5.2) 안테나의 종류에 따른 전계강도 측정 오차보정을 위한 실험 시스템 구성도

감시국소에서의 측정에서 발생할 수 있는 전계강도의 측정오차 중에서 측정장비에 의한 오차를 보정하는 실험을 세부적으로 기술하면 다음과 같다.

가. 계측기 간 오차 측정실험

- 같은 안테나를 이용하고, 분배기를 이용하여 두 전계강도 측정장비에서 동시에 수신이 가능하도록 설치한다.
- 계측기는 되도록 Minilock 과 ESN으로 한다.
- 측정 대상 신호는 감시국소에서 측정이 잘되는 FM 라디오 방송 등의 신호를 이용한다.
- 두 계측기의 전계강도 측정값의 평균을 취한다.

- 두 측정장비의 전계강도 측정값의 평균으로부터 두 장비간의 평균 측정오차를 구한다.

나. 안테나 간 오차 측정실험

- 일반적으로 감시국소에서 사용되는 안테나를 선정한다.
- 특정 신호를 동일 측정장비를 이용하여 안테나 별로 전계강도를 측정한다.
- 각 안테나 별 전계강도 측정값의 평균을 구한다.

2. 측정방법 측면에서의 오차 보정을 위한 실험

전계강도 측정오차는 측정대상 신호의 전파형식에 따라 측정을 어떻게 하는가에 따라 달라질 수 있으며, 측정의 기준을 어떻게 설정할 것인가에 따라서도 오차가 발생할 수 있다. 본 연구의 실험에서 측정방법적인 면에서는 이러한 점을 중점적으로 고려하여 전파형식별 측정방법의 결정과 시간에 따라 변화하는 측정신호의 전계강도에 대한 측정기준이 되는 평균값을 결정하는 방법을 연구하였다. 측정방법 측면에서의 전계강도 측정실험은 다음과 같은 실험과정으로 시행하였다.

- 전파형식별 측정 파라미터의 결정 실험

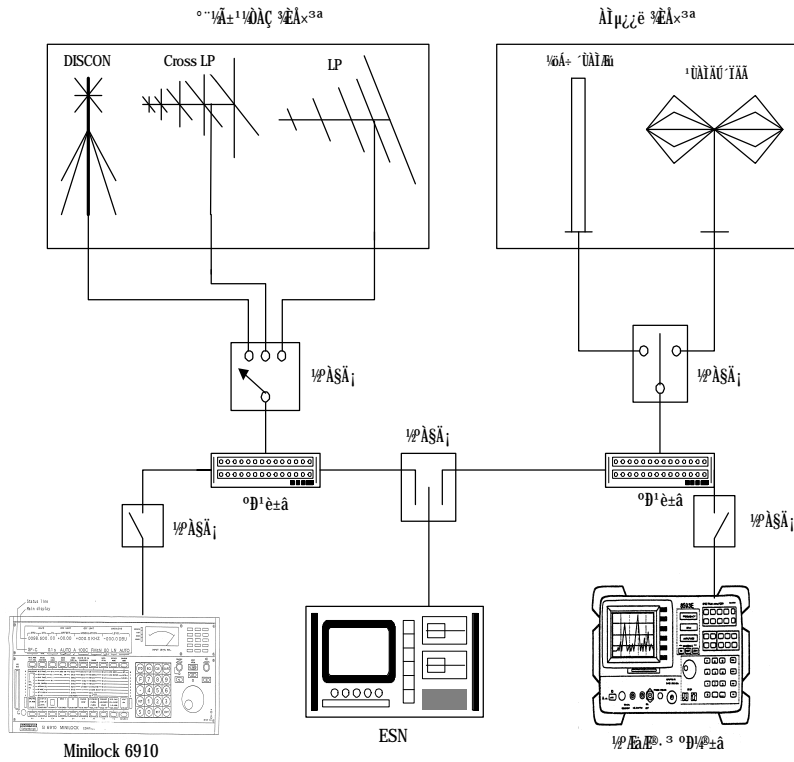
- 감시국소에서 주요 감시 대상이 되는 전파형식의 전계강도를 측정한다.
- 계측기는 스펙트럼 분석기 또는 ESN, Minilock을 이용한다.
- 측정안테나는 안테나 보정방법 연구를 통하여 서로 보정할 수 있는 안테나를 선정한다.
- 신호의 전계강도를 정확히 측정하기 위한 측정 대역을 결정한다.
- 전계강도 측정값을 측정하기 위한 측정회수와 측정모드를 결정한다.
- 여러 번 반복 측정한 전계강도 측정값의 평균을 구하여 그 값을 신

호의 전계강도 값으로 정한다. 이때 반복하는 회수를 어느 정도로 할 것인가를 결정한다.

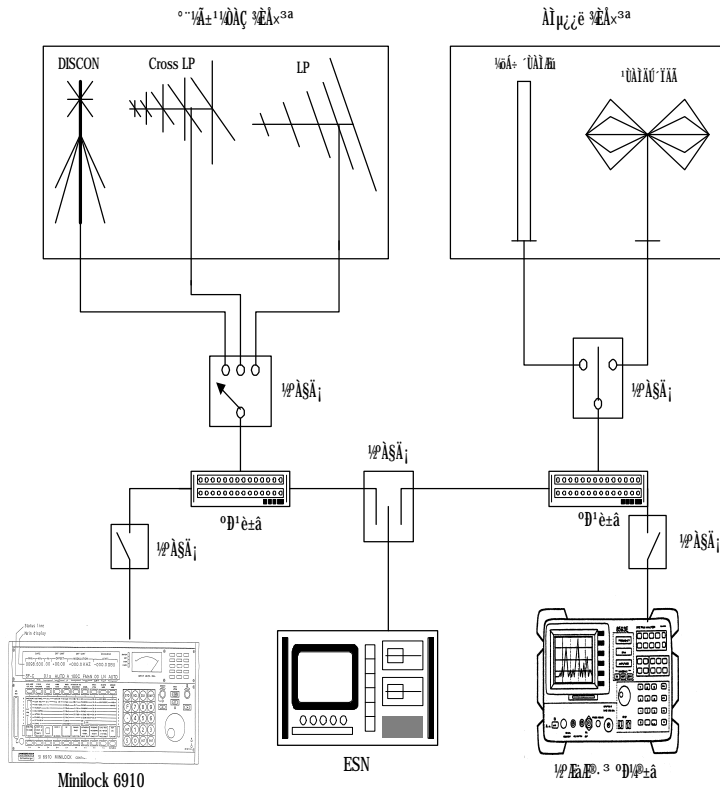
- 전파형식에 따른 신호의 감쇠 정도를 결정한다.
- 시간, 날짜에 따른 전계강도 측정 실험 [5]
 - 주요 감시대상 신호 전계강도의 지속적인 측정
 - 감시국소에서 주요 감시대상 신호에 대하여 지속적인 측정을 한다.
 - 지속적인 측정을 할 때, 신호의 전계강도를 일정한 주기마다 일정한 기간 동안 측정한다.
 - 긴 기간 동안의 전계강도 측정 데이터를 바탕으로 측정 기준값으로 삼는다.
 - 감시 대상 신호의 전계강도 측정값과 측정기준 데이터와 비교한다.

3. 측정실험 시스템

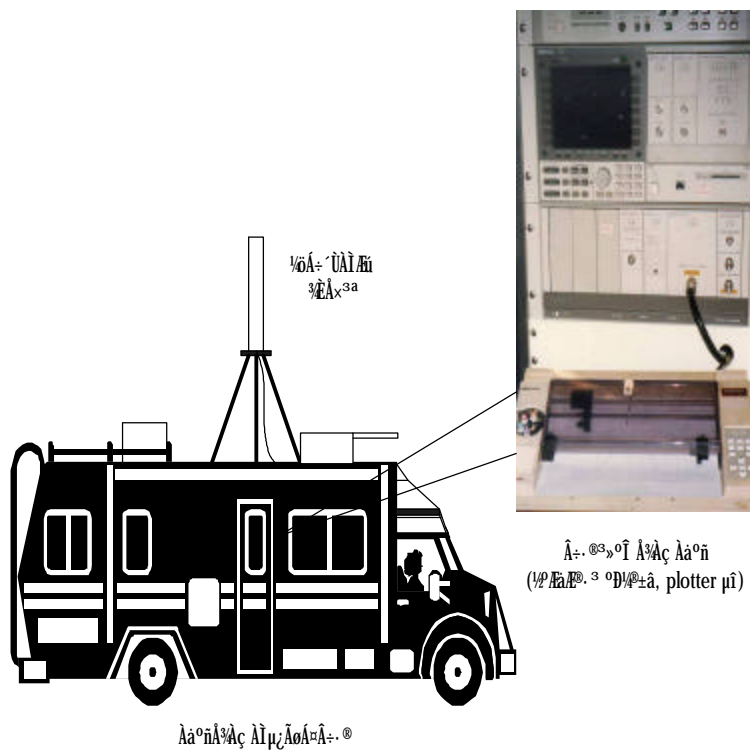
위의 1. 과 2. 에 기술된 방법으로 측정 실험을 할 때, 측정장비와 측정방법적인 면에서 측정시스템을 통합하여 나타내면 (그림 5.3)과 같다. (그림 5.3)은 Minilock, ESN, 스펙트럼 분석기 등 측정장비간의 실험과 감시국소의 여러 안테나와 이동측정용으로 쓰이는 안테나들간의 측정실험을 모두 합하여 보여주고 있다. (그림 5.3)에서 전파형식 별 측정에 주로 이용된 안테나는 이동 측정용 안테나인 수직다이폴 안테나이고, 계측장비는 스펙트럼 분석기가 주로 이용되었다. (그림 5.4)는 이동용 안테나와 스펙트럼 분석기가 탑재된 이동차량과 스펙트럼 분석기와 플로터 등 내부 시스템의 실제 모습을 보여준다.



(그림 5.3) 전계강도 측정 실험 시스템 구성도
(안테나간 측정실험과
측정장비간 실험, 전파형식별 측정실험을 포함)



(그림 5.6) 전계강도 측정 실험 시스템 구성도
(안테나간
측정실험과 측정장비간 실험, 전파형식별 측정실험을
포함)



(그림 5.7) 측정실험을 위한 측정장비 및 이동 측정 차량

제 2 절 측정장비 간 오차 측정실험 및 분석

측정장비에 의한 전계강도 측정값의 측정오차를 줄이기 위하여 실험한 내용은 앞서서도 언급한 바와 같이 계측장비간의 전계강도 측정값 비교실험과 안테나간의 측정값 비교실험이다. 계측장비간의 실험은 주로 감시국소의 장비인 Minilock과 ESN 장비를 이용하였고, 스펙트럼 분석기와 ESN 장비와의 비교실험도 시행하였다. 안테나간의 측정실험에서는 감시국소에서 사용하고 있는 Cross LP 안테나, LP 안테나, DISCON 안테나 등을 이용하였고, 스펙트럼 분석기를 이용한 실험에서는 수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나를 사용하였다.

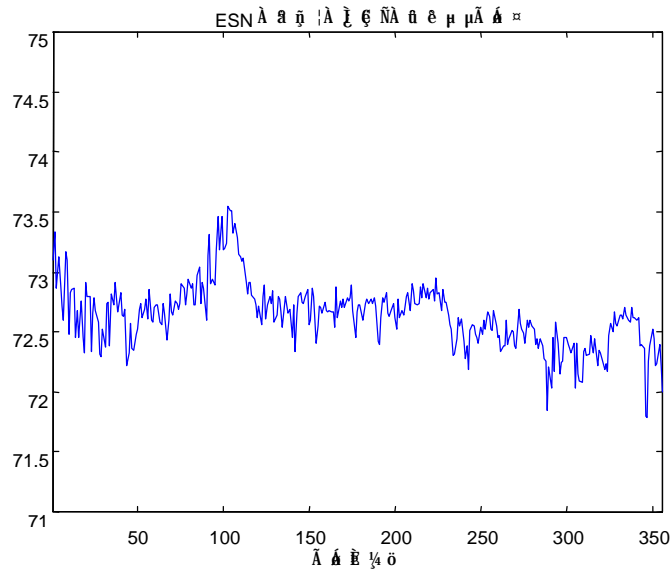
1. 계측기 간 오차 측정 실험

가. Minilock과 ESN 간의 전계강도 측정값 비교

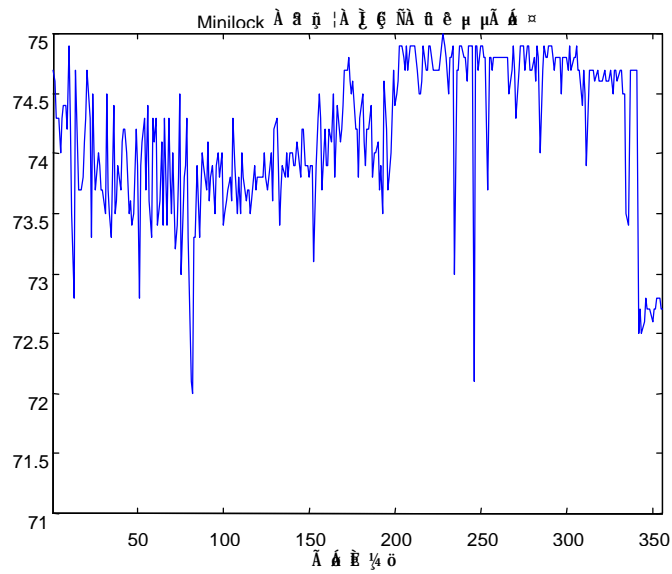
감시국소에서 가장 보편적인 측정장비인 Minilock과 ESN 장비로 같은 측정대상 신호를 측정할 때, 같은 전계강도 측정값을 얻을 수 있는가를 알기 위하여 실험하였다. 이 실험을 위하여 Minilock 과 ESN 장비가 동시에 설치되어 있는 대전분소에서 Minilock 과 ESN 장비에 같은 안테나를 연결하여 임의의 송신신호를 동시에 측정하는 실험을 하였다. 측정에서 두 장비의 측정모드가 같을 경우, 두 장비를 이용한 측정값의 차이를 보다 정확하게 알 수 있기 때문에 되도록 측정모드를 같게 하려고 노력하였다. Minilock 과 ESN은 감시국소에서 같은 용도로 사용되기 때문에 측정모드나 기능이 일치하는 것이 많다. 중요한 측정모드는 3 dB 대역폭을 사용하는 IF 신호의 통과 대역폭과 전력모드, 측정시간 등이 있다. 두 장비의 측정모드는 다음과 같이 설정하였다.

- IF : 250 kHz,
- 평균 전력모드
- 측정시간 : 1초

측정실험에서 안테나는 무지향성 특성을 가진 DISCON 안테나를 이용하였다. 측정대상 신호는 대전 지역 MBC FM 방송으로서 97.5 MHz의 중심주파수를 가진 신호이다. 신호의 세기가 커서 감시국소에서 가장 측정이 용이한 전파형식의 하나이기 때문에 FM 라디오 방송 신호를 측정하였다. (그림 5.5)는 ESN 장비를 이용하여 측정된 전계강도값의 시간에 따른 측정에서의 변화를 나타낸 것이고, (그림 5.6)은 Minilock 장비를 이용하여 측정한 것이다. 두 그림을 비교하여 볼 때, 대체적으로 Minilock을 이용한 측정에서 전계강도가 다소 높게 측정됨을 알 수 있었다. (그림 5.5)에서 전계강도 측정값들의 평균은 $72.6457 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이고, (그림 5.6)에서 전계강도 측정값들의 평균은 $74.1663 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 따라서, Minilock 장비로 측정한 경우, ESN 장비로 측정하였을 경우 보다 1.5206 dB 측정값이 더 높다. 이 측정결과로부터 Minilock 장비로 측정할 경우와 ESN 장비로 측정할 경우, 서로의 측정값을 비교하기 위해서는 대략 1.5 dB 의 보정을 해 주어야함을 알 수 있다. 그러나, FM 라디오 방송의 경우에는 이렇게 결과를 얻었으나, 다른 방식의 전파형식인 경우는 다른 결과가 나올 수 있으므로, 더 많은 실험이 이루어져야 한다. 또한 FM 라디오 방송 신호의 경우에, 적용한다면 다른 방송 신호를 측정하여 측정된 결과를 비교하는 것이 좋으나, 감시국소의 측정업무가 수행되는 중이어서 어려움이 있었다.



(그림 5.8) ESN 장비를 이용한 전계강도 측정
(97.5 MHz MBC FM : 대전분소)
(측정 데이터 수 : 356 개)



(그림 5.9) Minilock 장비를 이용한 전계강도 측정
(97.5 MHz MBC FM : 대전분소)
(측정 데이터 수 : 356 개)

나. ESN 과 스펙트럼 분석기간의 전계강도 측정값 비교

전파형식별로 전계강도의 측정을 세밀하게 하기 위해서는 스펙트럼 분석기를 사용하는 것이 현용 감시국소의 장비인 Minilock 또는 ESN 장비보다 좋다고 생각된다. 따라서 현용 장비인 Minilock, ESN 장비간의 측정비교 뿐만 아니라, 현용 장비와 스펙트럼 분석기간의 측정값을 비교하는 것도 필요하다고 생각되었다. 이 비교실험을 위하여 스펙트럼 분석기와 ESN 장비를 이용하여 서울분소에서 측정하였다. 감시국소에 고정 설치된 Minilock 장비간의 측정이 용이하지 않아서 서울분소에서 고정용이 아닌 이동용으로 쓰이는 장비인 ESN 장비를 이용하였다. 수직 다이폴 안테나에 스펙트럼 분석기와 ESN 장비를 동시에 연결하였다. 측정대상 신호는 앞에서의 실험과 마찬가지로 FM 라디오 방송을 측정하였다. 측정 대상 신호의 주파수는 91.9 MHz 와 93.1 MHz 이다. 스펙트럼 분석기의 측정 파라미터는 FM 라디오 신호를 측정하기 위하여 다음과 같은 조건으로 측정하였다.

- 측정대역 : 3 MHz
- RBW, VBW : 300 kHz (임의로 설정)
- 측정모드 : 평균모드
- 측정회수 : 1000 회
- 기타 측정파라미터 : 자동 모드

ESN 장비의 측정파라미터를 살펴보면 IF 대역폭은 250 kHz이고, 측정 모드는 평균 전력 모드, Low noise 모드이고, 측정시간은 1 초이다. 두 장비의 비교 측정에서 안테나 성분은 고려되는 사항이 아니다. ESN 은 일정기간 (대략 1분 정도) 동안 측정값의 변화들을 기록하여, 그 값들의 평균을 구하였고, 스펙트럼 분석기는 1000회 측정한 스펙트럼 포락선의 평균을 구한 것이다. (표 5.1)은 ESN 과 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 FM 신호의 전계강도 측정값이다. 두 측정장비에서 동시에 측정하기 위하여 T자형 케이블을 사용하여 실제 전계강도보다 낮은 측정값

을 얻었지만, 두 장비간의 측정값을 비교하는 실험이므로 절대적인 측정값에 비중을 두지 않았다. 또한 스펙트럼 분석기와 ESN 장비간의 측정파라미터가 다르고 성능이 다르기 때문에 현용 장비 (Minilock, ESN)간의 측정과 같은 완전한 비교는 어렵다.

(표 5.1) ESN 과 스펙트럼 분석기를 이용한 전계강도의 동시 측정실험

| ESN | 스펙트럼 분석기 |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 62.9643 dB μ V (91.9 MHz) | 62.95 dB μ V (91.9 MHz) |
| 60.1286 dB μ V (93.1 MHz) | 64.07 dB μ V (93.1 MHz) |
| 62.7500 dB μ V (91.9 MHz) | 63.21 dB μ V (91.9 MHz) |

두 장비간의 측정값의 차이는 91.9 MHz의 경우, 2 번의 동시 실험에서 첫 번째 실험에서는 거의 측정값이 동일하며, 두 번째 실험에서는 0.47 dB의 차이로 차이가 크지 않았으나, 93.1 MHz의 경우, 약 4 dB의 차이가 있었다. 측정으로부터 스펙트럼 분석기와 ESN의 측정값이 주파수에 따라 같을 수도 있고 다를 수도 있다는 것을 알 수 있었으므로 두 장비의 측정값을 서로 보정하기 위하여 각 전파형식 별, 주파수 별 측정값의 오차측정을 더욱 많이 할 필요성이 있다. FM 라디오 방송이라는 하나의 전파형식에 대해서 두 장비의 측정결과가 다르게 나옴으로 전파형식이 달라지면 더욱 측정값의 변화가 달라질 수 있음을 알 수 있다. 위의 가.의 실험과 나.의 실험을 바탕으로 측정대상 주파수가 달라짐에 따라 각 측정장비 간 측정값의 차이가 변화함을 알 수 있었다. 또한 Minilock 과 ESN 같은 감시국소에서 주로 사용하는 장비간에도 측정오차가 발생할 수 있으므로 정기적으로 측정값을 비교하여 다른 측정장비들로서 측정된 내용을 다른 감시국소에서도 사용할 수 있도록 해야한다.

2. 안테나 간 오차 측정실험

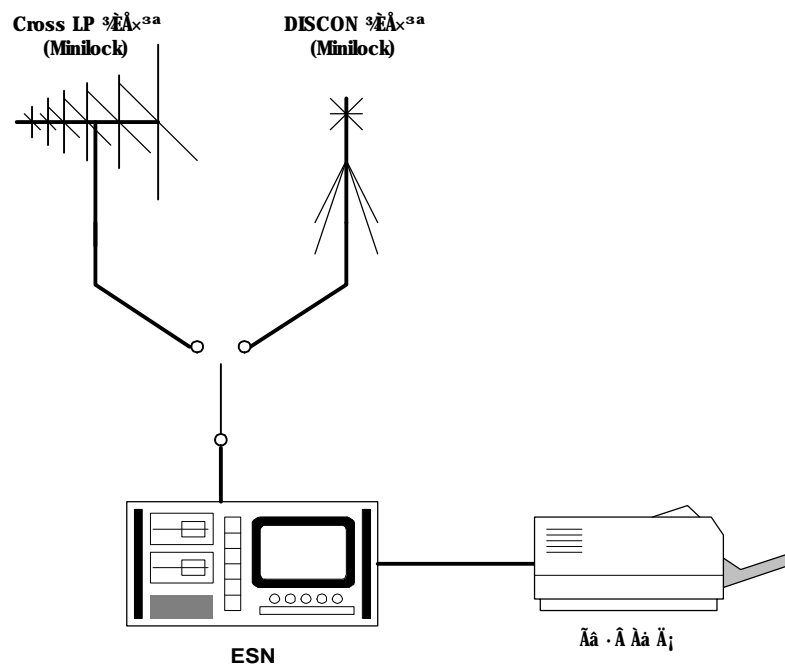
여러 가지 안테나의 종류 가운데, 감시국소에서 이용하는 안테나인 Cross LP 안테나, LP 안테나, DISCON 안테나 사이의 측정값을 비교하고, 스펙트럼 분석기를 이용한 실험에서 사용할 수 있는 이동하기 편리한 안테나인 수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나간의 측정값을 비교하였다. 안테나에는 안테나 이득, 지향성을 비롯한 안테나의 특성이 있으므로 안테나간의 비교가 용이한 것은 아니다. 또한 광대역 안테나 일 경우, 주파수 대역마다의 손실정도를 계산할 수 있는 안테나 계수가 다르므로 이것을 고려해 주어야 한다. 그러나, 감시국소에서 사용하는 일부 안테나의 경우는 안테나 계수에 대한 자료를 얻을 수 없어서 측정값에 안테나 계수를 고려하여 비교하는 것이 쉽지 않았다. 안테나 계수를 고려하지 않은 측정값의 차이를 단순히 비교하는 것은 무의미한 작업이 될 수 있으므로 측정에 신중을 기해야 한다.

가. LP, Cross LP 및 DISCON 안테나 (고정감시국소용)

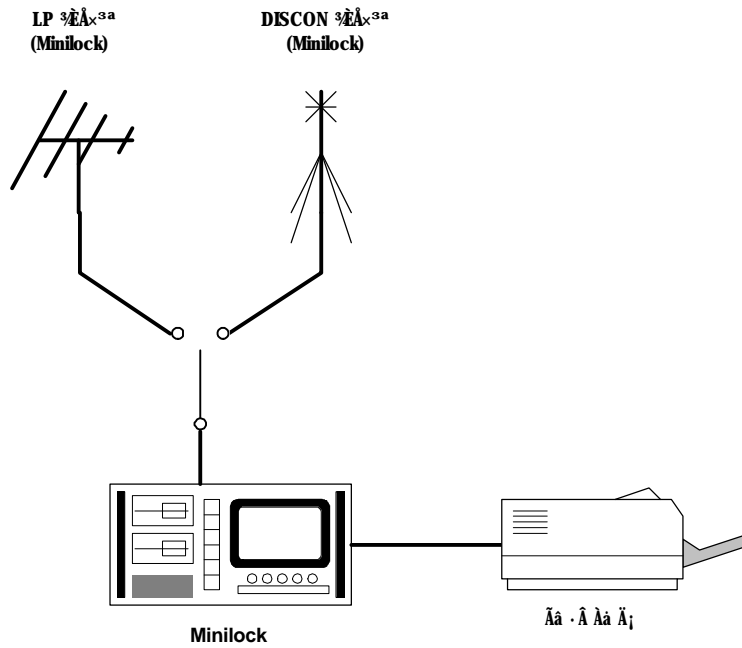
감시국소에서 사용하는 안테나는 지상에서 수십 미터 위의 철탑에 고정되어 있다. ESN 장비에는 주로 Cross LP 안테나가 연결되며, Minilock 안테나에는 LP 안테나가 연결되어 있다. 서로 각각의 장비에 어울리는 세트이므로 다른 장비에 쓰이는 안테나를 연결한다던가 하는 일은 할 수 없다. 서로 다른 장비에 연결하였을 때, 부정합이 발생한다던가 하는 일이 발생할 수 있기 때문이다. 감시국소에서 두 장비에 동시에 사용할 수 있는 안테나로서 무지향성 특성을 가진 DISCON 안테나가 있다. (그림 5.7)과 같이 ESN 장비로는 Cross LP 안테나와 DISCON 안테나로 안테나를 바꾸면서 측정하였고, (그림 5.8) 와 같이 Minilock 장비로는 LP 안테나와 DISCON 안테나를 연결하여 각각의 측정된 결과를 비교하였다. 지향성 안테나인 LP 안테나와 Cross LP 안테나의 방향이 측정 신호가 도래하는 방향과 일치하는가에 따라 측정값이 달라질 수 있다. 감시국소의 안테나에 고정되어 있는 안테나인 Cross LP 안테나와

LP 안테나를 이용한 측정은 따라서 안테나의 방향과 측정신호의 도래방향이 달라짐에 따라 변할 수 있다. 즉, 측정장비 중에서 안테나는 전파환경에 의하여 영향을 받는다는 것이다. 안테나간의 측정실험은 다음과 같은 일시에 시행되었다.

- 1998. 8. 25 ~ 8. 27 : 대전분소
- 1998. 11. 16. ~ 11. 18 : 대전분소



(그림 5.10) ESN을 이용한 안테나별 전계강도 측정실험



(그림 5.11) Minilock을 이용한 안테나별 전계강도 측정실험

8 월의 측정에서는 97.5 MHz 신호를 측정 대상 신호로 선택하여 측정하였다. ESN 장비와 Minilock을 이용한 안테나간 측정을 한 결과는 다음과 같다.

○ ESN장비를 이용한 측정실험

- DISCON 안테나를 이용한 경우,
 - 측정데이터 수 : 356 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 72.6390 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.2005
- Cross LP 안테나를 사용한 경우,
 - 측정데이터 수 : 350 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 83.5544 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.1568

O Minilock 장비를 이용한 측정실험

- DISCON 안테나를 이용한 경우,
 - 측정데이터 수 : 1496 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 72.8311 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.6988

- LP 안테나를 사용한 경우,
 - 측정데이터 수 : 996 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 82.0419 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.2532

ESN 장비를 이용하여 측정된 결과, Cross LP 안테나와 DISCON 안테나간의 측정값의 평균적인 차이는 10.9087 dB이고, Minilock 장비를 이용하여 측정된 결과, LP 안테나와 DISCON 안테나간의 측정값의 차이는 9.5766 dB 이다. 안테나간의 보정을 위하여, 무지향성 안테나인 DISCON 안테나의 측정값을 기준으로 할 때, Cross LP 안테나의 경우, 측정값에서 대략 10.9 dB를 빼고, LP 안테나의 경우, 측정값에서 9.5 dB를 뺀다. 그러나, 이 결과는 안테나 계수를 고려하지 않은 것이어서 실질적으로 이 측정값의 차이를 감시에 적용하는 것은 무리가 있다.

11 월 대전분소에서 시행된 시험에서는 보다 더 많은 주파수에서 측정함으로써 과연 두 안테나간의 측정오차가 주파수마다 어떻게 변하는가를 알아보고자 하였다. 측정된 수신 주파수들은 93.3 MHz, 95.7 MHz, 102.1 MHz, 327 MHz, 328 MHz, 328.4 MHz이며, 안테나간 측정실험에 이용된 안테나는 8월의 측정에서 사용된 안테나인 Cross LP 안테나와 DISCON 안테나이다. 이때 사용된 계측장비는 대전분소에서 고정 품질 감시 시스템으로 설치되어있는 ESN 장비이다. 위에 나열된 측정 주파수들에서의 전계강도 측정값은 아래와 같다.

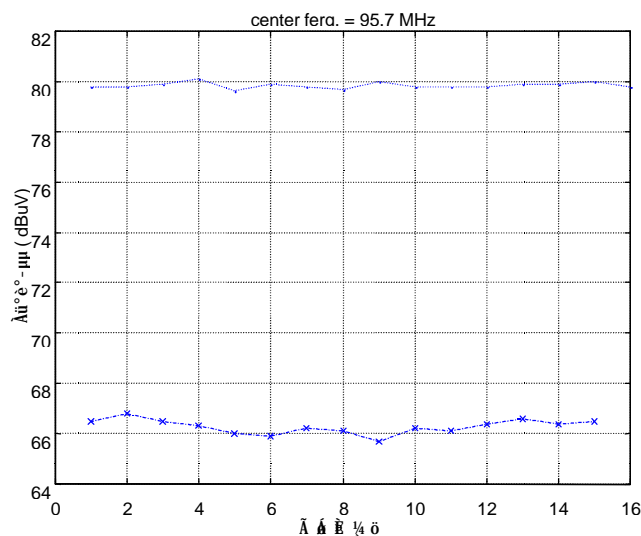
- 93.3 MHz

- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 76.0933 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 83.9368 dB μ V
- 95.7 MHz
- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 66.28 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 79.85 dB μ V
- 102.1 MHz
- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 46.8333 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 60.6312 dB μ V
- 327 MHz
- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 71.3 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 72.6437 dB μ V
- 328 MHz
- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 68.3231 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 72.8286 dB μ V
- 328.4 MHz
- DISCON 안테나를 사용한 경우 : 70.1308 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 70.9857 dB μ V

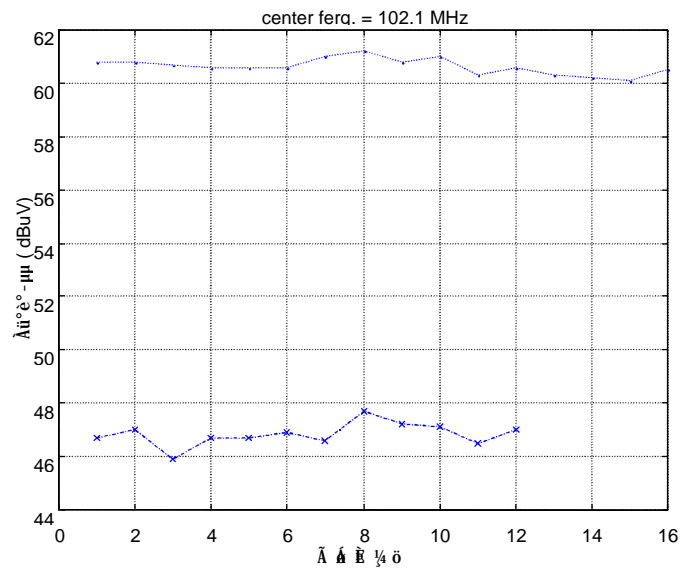
위의 측정값들은 전계강도 측정값들의 평균값들로서 위의 측정으로부터 각 주파수마다의 측정값의 차이가 달라짐을 알 수 있었다. 측정대상 신호 중에서 FM 라디오 방송 신호들의 전계강도는 Cross LP 안테나로 측정할 경우가 DISCON 안테나로 측정할 경우보다 더 큰 전계강도 측정값을 얻을 수 있었다. 그러나, 무선호출 신호의 측정에서는 DISCON 안테나를 이용하여 측정한 값과 Cross LP 안테나를 사용한 측정값과 FM

라디오 신호만큼의 큰 차이는 없다. 전파형식에 따라, 주파수에 따라, 신호의 도래 방향 및 안테나의 지향방향에 따라 측정값이 영향을 받을 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 지향성 안테나의 전계강도 측정값을 보정하는 것은 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다. 이러한 문제점들을 수정하기 위하여 감시국소에서는 일정한 방향으로 고정된 안테나의 방향 및 방사패턴에 관한 정보와 송신신호의 도래방향 및 출력 등에 관한 정보를 알고 있어야 한다는 것을 알 수 있다.

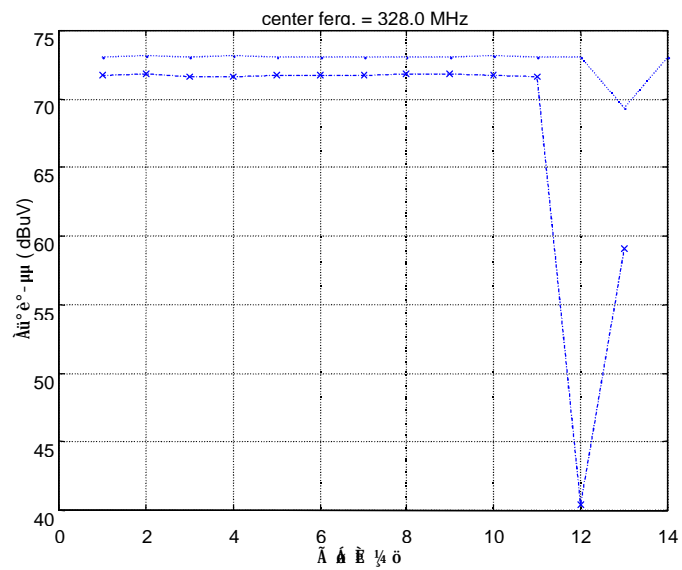
(그림 5.9)와 (그림 5.10)은 FM 방송 신호의 주파수에 대한 Cross LP 안테나와 DISCON 안테나간의 측정결과이고, (그림 5.11)과 (그림 5.12)는 무선호출 신호에 대한 두 안테나 측정결과를 그래프로 비교한 것이다. 그림들로부터 앞에서 언급된 내용들을 확인할 수 있다. 측정 신호마다의 두 안테나간 측정값의 차이가 다르므로 측정값의 오차를 보정하기 위하여 각각의 신호마다 따로 측정하여 보정해주어야 한다. 안테나계수를 알 수 없으므로 정확하게 이 결과로부터 측정오차의 기준으로 제시하기는 어렵다.



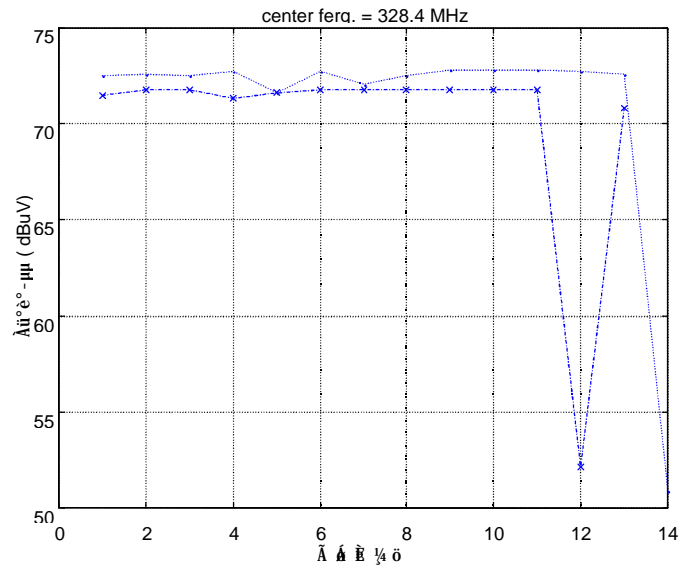
(그림 5.12) 95.7 MHz 신호의 안테나간 전계강도 측정실험 (-x-x-x- : DISCON 안테나로 측정)
(... : Cross LP 안테나로 측정)



(그림 5.13) 102.1 MHz 신호의 안테나간 전계강도 측정실험 (-x-x-x- : DISCON 안테나로 측정)
(... • ... • ... : Cross LP 안테나로 측정)



(그림 5.14) 328.0 MHz 신호의 안테나간 전계강도 측정실험 (-x-x-x- : DISCON 안테나로 측정)
(... • ... • ... : Cross LP 안테나로 측정)



(그림 5.15) 328.0 MHz 신호의 안테나간 전계강도
 측정실험 (-x-x-x- : DISCON 안테나로 측정)
 (····· : Cross LP 안테나로 측정)

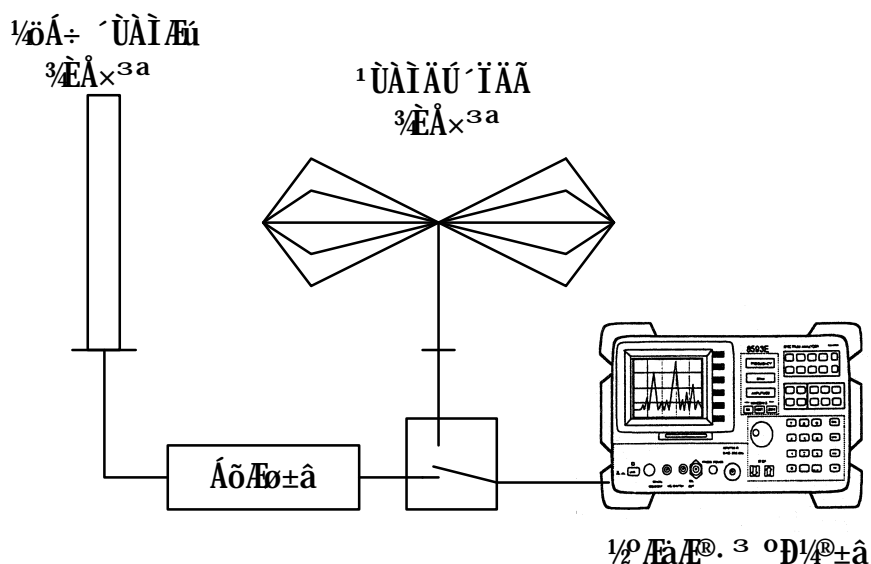
나. 수직다이폴 및 바이코니컬 안테나

안테나 간 측정실험을 각 전파형식에 대한 보다 정밀한 측정을 할 수 있도록 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정하였다. 그러나, 감시국소의 안테나들은 장비와 함께 고정되어 설치된 것이므로 감시국소의 안테나인 Cross LP 안테나, DISCON, LP 안테나 등에 연결하여 측정할 수 없었다. 이동이 가능한 안테나 가운데, 서로 이용 가능한 주파수영역을 가진 수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나를 이용하여 측정하였다. 두 안테나는 각각의 안테나에 대한 계수를 얻을 수 있었으므로 측정결과에 적용하여 보다 나은 안테나간의 측정보정을 할 수 있을 것을 기대되었다. (표 5.2)는 수직다이폴 안테나에 대한 각 주파수별 안테나 계수이고, (표 5.3)은 바이코니컬 안테나에 대한 주파수별 안테나 계수이다. 수직 다이폴 안테나의 주파수 대역은 20 MHz에서 1300 MHz 이고, 바이코니컬 안테나의 주파수 대역은 20 MHz에서 300 MHz 이지만, 측정된 주파수를 중심으로 비교하기 위하여 (표 5.2)와 (표 5.3)을 이용하였다.

그러나, 주파수에 대하여 자세히 기록되어 있지 않아서 표에 기록된 주파수들 사이의 주파수를 측정하고자 할 때, 오차가 발생할 수 있는 단점이 있다. 즉, 보다 세밀하게 주파수 별로 안테나 계수를 기록한 내용이 필요하다.

안테나 종류에 대한 전계강도 측정값의 비교를 위하여 측정된 주파수는 93.1 MHz 와 91.9 MHz의 FM 라디오 방송 신호이다. 위에서 설명한 대로 측정이 잘되는 전파형식이어서 측정 대상으로 삼았다.

수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나를 각각 스펙트럼 분석기에 연결시키고, 각각의 안테나를 연결하였을 때의 측정값을 비교하였다. (그림 5.13)은 스펙트럼 분석기를 이용한 안테나간 전계강도 측정값의 비교를 하기 위한 실험구성도이다.



(그림 5.16) 스펙트럼 분석기를 이용한 안테나간 전계강도 측정실험 구성도

(표 5.2) 수직 다이폴 안테나의 안테나 계수

| Frequency (MHz) | k-Factor [dB] |
|-----------------|---------------|
| 20 | -6.6 |
| 40 | 0 |
| 60 | 1.1 |
| 80 | 0.3 |
| 100 | -4.0 |
| 120 | -5.7 |
| 140 | -4.6 |
| 160 | -2.9 |
| 180 | -1.0 |
| 200 | 1.8 |
| 220 | 5.2 |
| 240 | 8.8 |
| 260 | 11.2 |
| 280 | 12.3 |
| 300 | 13.1 |
| 320 | 13.4 |
| 340 | 13.1 |
| 360 | 12.0 |
| 380 | 10.6 |
| 400 | 9.4 |
| 420 | 7.9 |
| 440 | 6.7 |
| 460 | 5.5 |
| 480 | 5.2 |
| 500 | 6.1 |
| 520 | 7.9 |
| 540 | 10.0 |
| 560 | 12.3 |
| 580 | 14.6 |
| 600 | 16.3 |
| 650 | 17.6 |
| 700 | 19.1 |

(표 5.3) 바이코니컬 안테나의 안테나 계수

| 주파수 (MHz) | 안테나 계수 [dB] | 계수 |
|-----------|-------------|------|
| 20 | 15.9 | 6.25 |
| 25 | 15.4 | 5.87 |
| 30 | 13.7 | 4.84 |
| 35 | 12.4 | 4.16 |
| 40 | 11.2 | 3.65 |
| 45 | 10.3 | 3.28 |
| 50 | 9.6 | 3.03 |
| 55 | 9.1 | 2.86 |
| 60 | 8.9 | 2.78 |
| 65 | 8.7 | 2.73 |
| 70 | 8.6 | 2.68 |
| 75 | 8.5 | 2.65 |
| 80 | 8.4 | 2.64 |
| 85 | 8.5 | 2.67 |
| 90 | 8.7 | 2.74 |
| 95 | 9.0 | 2.83 |
| 100 | 9.4 | 2.94 |
| 105 | 9.8 | 3.08 |
| 110 | 10.1 | 3.19 |
| 115 | 10.5 | 3.34 |
| 120 | 10.8 | 3.47 |
| 125 | 11.0 | 3.55 |
| 130 | 11.3 | 3.68 |
| 135 | 11.5 | 3.76 |
| 140 | 11.7 | 3.85 |
| 145 | 11.9 | 3.93 |
| 150 | 12.1 | 4.02 |
| 155 | 12.3 | 4.14 |
| 160 | 12.5 | 4.23 |
| 165 | 12.7 | 4.30 |
| 170 | 12.9 | 4.43 |
| 175 | 13.1 | 4.53 |
| 180 | 13.4 | 4.65 |

이 때, 91.9 MHz 와 93.1 MHz 신호에 해당하는 안테나 계수는 (표 5.2)와 (표 5.3)으로부터 다음과 같이 얻을 수 있다.

- 수직 다이폴 안테나 (20 MHz - 1300 MHz)
 - 80 MHz : 0.3 dB
 - 100 MHz : -4.0 dB
 - 120 MHz : -5.7 dB

- 바이코니컬 안테나
 - 90 MHz : 8.7 dB : 2.74
 - 95 MHz : 9.0 dB : 2.83

(표 5.4)는 이와 같은 측정 조건에서 91.9 MHz 신호를 10월 21일 서울분소에서 측정한 결과이다. 수직 다이폴 안테나의 전계강도 평균값은 $66.36 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 바이코니컬 안테나의 경우, 지향성이 있는 안테나이므로 안테나 방향을 어느 쪽으로 하는가에 따라 전계강도 측정값이 달라질 수 있다. 바이코니컬 안테나의 방향은 남쪽에 가까운 방향과 동쪽에 가까운 방향에 각각 맞추어 놓고 측정하였다. 두 안테나의 편파 특성은 선형이고, 바이코니컬 안테나의 편파특성을 수평방향으로 맞추고 측정하였다. 바이코니컬 안테나의 경우, 안테나의 방향을 다르게 측정하였을 때, 방향이 남쪽인 측정에서는 $58.84 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이고, 방향이 동쪽인 경우는 약 $50.2 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 안테나 방향이 남쪽인 경우와 동쪽인 경우를 비교하면, 대략 8.6 dB의 차이가 난다. 측정결과, 신호의 방향이 동쪽 또는 서쪽이 아니라, 남쪽 또는 북쪽이다. 안테나의 지향성이 달라질 경우, 측정값에 차이가 날 수 있다는 것을 알 수 있었다. 두 안테나의 안테나계수를 측정값에 더하는 것이 일반적인 측정과정이지만, 정확한 측정이 어렵다.

(표 5.4) 91.9 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정
(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|--------------------|---------|-------|---------------|---|---------------------|
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 10:17:40 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 수직 다이폴 (direct 연결) | 66.57 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:12:27 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 수직 다이폴 (direct 연결) | 66.15 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:40:12 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 58.62 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:30:16 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 58.77 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:10:06 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 동) (수평 편향) (direct 연결) | -56.84 dBm |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:00:07 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 동) (수평 편향) (direct 연결) | -56.59 dBm |

91.9 MHz에 해당하는 안테나 계수가 적혀 있지 않고, 수직 다이폴 안테나의 경우, 80 MHz, 100 MHz, 120 MHz의 주파수에 해당하는 안테나 계수만을 알 수 있고, 바이코니컬 안테나의 경우, 90 MHz, 95 MHz의 주파수에 해당하는 안테나 계수만을 알 수 있으므로, 평균을 취하거나, 안테나계수의 그래프를 그리거나, 또는 가장 가까운 주파수의 계수를 이용하는 방법이 있을 수 있는데, 어느 경우라고 하더라도, 오차가 발생할 수 있다. 91.9 MHz의 경우, 수직 다이폴 안테나의 안테나 계수로서 100 MHz의 안테나 계수를 이용하고, 바이코니컬 안테나의 경우, 90 MHz의 안테나 계수를 이용한다. 위와 같은 조건으로 안테나 계수를 고려한다면, 수직 다이폴 안테나로 측정한 두 번의 측정의 평균은 $66.36 \text{ dB } \mu \text{ V} + -4.0 \text{ dB} = 62.36 \text{ dB } \mu \text{ V}$ 라고 할 수 있고, 지향성이 남쪽인 경우의 바이코니컬 안테나를 이용한 전계강도 측정값은 $58.84 \text{ dB } \mu \text{ V} + 8.7 \text{ dB} =$

67.54 dB μ V 이다. 측정결과를 살펴보면, 안테나의 방향에 따라 측정값이 달라지고, 주파수 분포에서의 정확한 안테나 계수 값이 없으므로 오차가 발생할 수 있다. 안테나 계수를 고려한 수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나의 측정오차는 5.18 dB로 약 5 dB의 차이가 나지만, 이 측정값의 차이가 정확하다고 할 수 없다. 안테나 계수가 주어진 주파수에 대하여 정확하지 않을 경우, 안테나 계수를 고려하지 않은 측정값의 평균적인 차이로써 안테나간의 측정값을 보정하는 것이 적당하다고 생각된다.

(표 5.5)는 91.9 MHz 신호의 안테나 별 전계강도를 서울분소에서 10월 22일 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 것이다. 많은 측정이 있었으나, 비슷한 시간에 측정한 데이터를 이용하여 두 안테나간의 측정값을 비교하면, 9.35 dB 이나, 10월 21일의 측정과 마찬가지로 안테나 계수를 고려할 경우, 12.7 - 9.35 = 3.35 dB의 차이가 난다. 안테나 계수를 정확하다고 할 수 없으므로 보다 정확한 안테나 계수값을 알 수 있어야 한다.

(표 5.5) 91.9 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정
(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|------------------|-------------------|---------|----------|---------------|---|---------------------|
| 91.896 M | 300 k / 300 k | 14:22:41 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.72 dB μ V |
| 91.896 M | 300 k / 300 k | 14:39:08 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 57.37 dB μ V |

(표 5.6)은 93.1 MHz 신호의 10월 22일 서울분소에서 측정한 내용이다.

(표 5.6) 93.1 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정

(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|------------------|-------------------|---------|----------|---------------|---|---------------------|
| 93.096 M | 300 k / 300 k | 14:25:50 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 63.72 dB μ V |
| 93.096 M | 300 k / 300 k | 14:35:41 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 55.95 dB μ V |

93.1 MHz의 신호의 경우에 만일 주어진 안테나 계수를 고려한다면, 수직 다이폴 안테나를 이용하여 측정할 때, 100 MHz의 안테나 계수를 측정값에 더하고, 바이코니컬 안테나의 경우는 95 MHz의 값을 더한다. 수직 다이폴 안테나의 100 MHz의 안테나 계수는 -4.0 dB이고, 바이코니컬 안테나의 95 MHz의 안테나 계수의 dB 값은 9.0 dB이다. 두 안테나의 93.1 MHz의 측정값의 오차는 7.77 dB이고, 안테나 계수를 고려한다면 $13 - 7.77 = 5.23$ dB의 차이이다. 안테나를 고려하지 않은 측정값의 오차는 91.9 MHz의 오차보다 작았으나, 안테나 계수를 고려할 경우 측정값의 차이가 작아졌다.

(표 5.7)은 91.9 MHz 신호의 안테나별 전계강도를 10월 23일 서울분소에서 측정한 내용이다.

(표 5.7) 91.9 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정

(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|---|---------------------|
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 11:35:43 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 65.29 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 13:56:09 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 57.52 dB μ V |

두 안테나간의 전계강도 측정값의 차이는 11.77 dB, 안테나 계수를 고려할 경우, $12.7 - 11.77 = 0.93$ dB 차이가 난다. 3 일간의 두 안테나간의 측정값의 차이는 11.77 dB에서 7.5 dB정도이고, 안테나 계수를 고려하였을 경우, 5 dB에서 0.9 dB 정도의 측정오차가 발생한다. 안테나 계수를 고려하려면, 정확한 주파수에 대한 계수가 마련되어야 하고, 안테나 계수를 실제 측정값에 고려할 경우, 현재의 방법대로 그냥 dB 값을 더하면 되는가에 대한 연구가 필요하다.

(표 5.8)은 93.1 MHz 의 신호를 10월 23일 서울분소에서 측정한 내용이다. 안테나 계수를 고려하지 않는 경우 측정값의 차이는 4.33 dB이고, 안테나 계수를 고려할 경우, $13-4.33 = 8.67$ dB로 안테나 계수를 고려하지 않은 경우 보다 안테나 계수를 고려한 경우 오차가 더 크다. 91.9 MHz의 측정값 변화와 비교할 때, 안테나 계수를 고려하지 않은 경우 93.1 MHz의 두 안테나간 측정오차가 더 작았다. 안테나 계수를 고려하더라도 큰 측정오차가 나올 수 있음을 알게 되었다. 두 안테나간의 측정오차는 모든 주파수간에 일률적인 관계를 가지는 것이 아니다. 즉 주파수별로 두 안테나간의 측정오차가 다르다. 안테나 계수를 실제 측정에 적용하기 위하여 LP 안테나의 안테나 계수와 같이 주파수 별로 그래프를 이용하는 것이 적합할 것으로 생각된다.

(표 5.8) 93.1 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정
(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|---|---------------------|
| 93.1 M | 300 k / 300 k | 13:41:28 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 61.10 dB μ V |
| 93.1 M | 300 k / 300 k | 14:16:33 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 56.67 dB μ V |

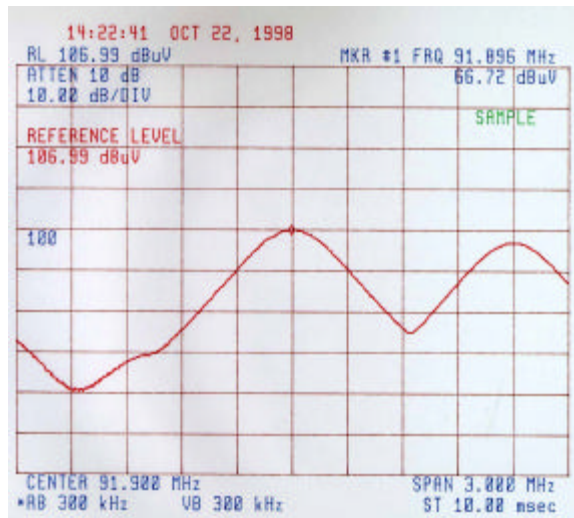
(표 5.9)는 95.9 MHz FM 신호의 안테나별 전계강도 측정값을 나타

낸 것이다. 91.9 MHz 와 93.1 MHz 의 두 개 신호만으로는 완전히 두 안테나간 측정을 표현할 수 없다고 생각되어 하나의 다른 주파수에 대하여 측정을 하게 되었다. 95.9 MHz의 두 안테나간 전계강도 측정값의 오차는 다른 두 FM 신호의 측정값의 오차와 비교 할 때, 매우 크다. 측정 시간대의 차이로 인하여서도 오차가 발생할 수 있으므로 더욱 많은 측정이 필요하다. 95.9 MHz의 신호의 안테나 계수는 93.1 MHz의 안테나 계수와 같은 것을 이용할 수 있다. 측정오차는 27.77 dB이고 안테나 계수를 고려할 경우, $27.77 - 13 = 14.77$ dB의 차이가 된다. 측정 결과를 통하여 안테나 계수에 따라 측정값의 오차가 달라지고, 안테나에 대한 주파수별 변화율이 다르다는 것을 알 수 있었다.

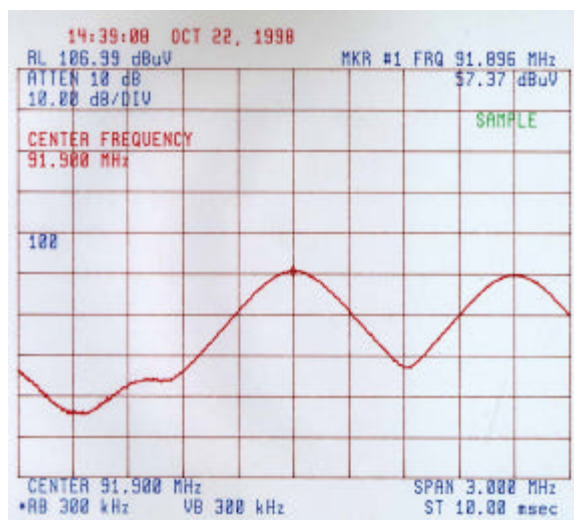
(그림 5.14)와 (그림 5.15)는 91.9 MHz 신호의 수직 다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나를 이용한 전계강도 측정을 비교한 것이고, (그림 5.16)과 (그림 5.17)은 93.1 MHz 신호의 전계강도를 두 안테나를 이용하여 측정한 것이다. 그림들을 통하여 수직 다이폴 안테나를 사용하였을 경우, 전계강도 측정값이 더 크게 나오는 것을 알 수 있다. 그러나, 이 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 안테나 계수를 측정값에 더하면 결과가 측정한 대로 얻어지는 것은 아니다. 그림에서 바이코니컬 안테나의 방향은 남쪽이고, 안테나의 편파는 수평편파이다.

(표 5.9) 95.9 MHz 신호의 안테나 별 전계강도 측정
(10월 23일 : 서울분소)

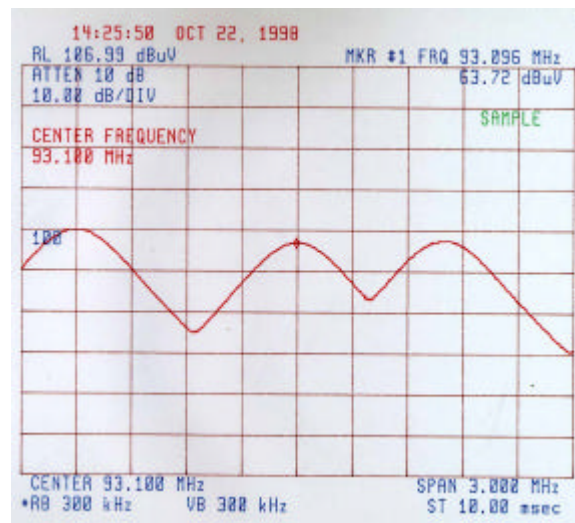
| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|--------------------|---------|-------|---------------|---|---------------------|
| 95.9 M | 300 k / 300 k | 10:11:35 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 64.45 dB μ V |
| 95.9 M | 300 k / 300 k | 14:13:00 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 36.68 dB μ V |



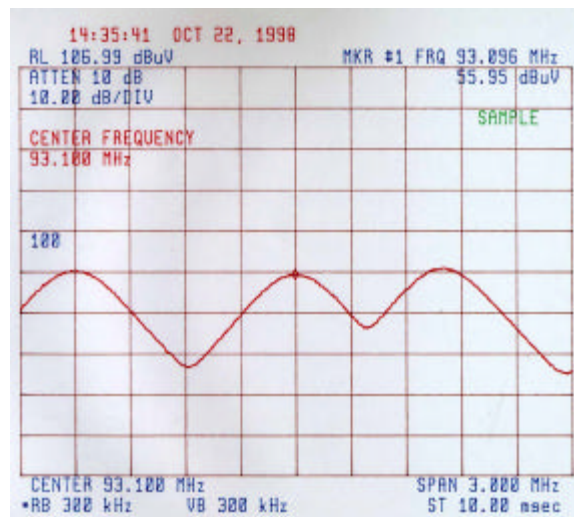
(그림 5.17) 91.9 MHz 신호의 전계강도 측정 (수직 다이폴 안테나를 이용)



(그림 5.15) 91.9 MHz 신호의 전계강도 측정 (바이코니컬 안테나를 이용)



(그림 5.19) 93.1 MHz 신호의 전계강도 측정 (수직 다이폴 안테나를 이용)



(그림 5.20) 91.9 MHz 신호의 전계강도 측정 (바이코니컬 안테나를 이용)

제 3 절 전파형식별 전계강도 측정실험 및 분석

전파형식별로 전계강도 측정에 대한 측정기준이 자세히 설정되어 있지 않기 때문에 감시국소에서 운용자들이 이용할 수 있도록 전파형식 별로 측정기준을 마련하는 것이 중요하다. FM 방송 및 무선평화 일반 무선평화 등의 여러 가지 전파형식에 대하여 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정파라미터를 결정하기 위한 많은 실험을 수행하였다. 이 실험은 측정장비의 측정오차를 줄이기 위한 실험과 함께 대전 분소와 서울 분소에서 8월에서 11월에 이르는 기간 동안 수 회 측정하였다. 측정 일시와 장소에 대하여는 2 장과 앞의 실험에 나와 있다. 여기서는 각 전파형식 별로 측정일시에 따라 측정된 데이터와 분석 내용을 기술하고자 한다.

1. FM 라디오 방송 (260KF8E)의 전계강도 측정실험

가. 측정 파라미터의 결정을 위한 실험

앞에서도 언급되었던 것처럼 FM 라디오 방송은 전계강도가 큰 전파형식이기 때문에 감시국소에서와 이동 측정에서 가장 잘 측정되는 신호이므로 많이 측정되었다. 측정 실험은 주로 다음과 같은 내용을 중심으로 측정되었다.

- 여러 가지 신호의 전계강도 측정값 비교 분석
- 전송 케이블의 감쇠에 따른 전계강도의 차이
- 날짜 별 전계강도 측정값의 변화
- 측정회수의 변화에 따른 측정값의 변화
- RBW VBW의 변화에 따른 측정값의 변화

○ 대전 분소에서의 측정

(표 5.10)은 8월 25일 대전 분소에서 97.5 MHz 대전 MBC FM 신호를 측정한 내용이다. 자세히 말하자면, 측정모드 변화와 시간이 지난 후 같은 조건에서의 측정값 변화분석이다.

(표 5.10) 측정모드의 변화에 따른 FM 신호 측정값의 변화분석

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|----------|-------|------------|------------------|---------------------------|
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -21.84 dBm | 16:47 (500 회) |
| | | | | | 6.546 μ W | |
| | | | | | 18.09 mV | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -21.62 dBm | 16:49 (500 회) |
| | | | | | 85.37 dB μ V | |
| | | | | | 6.887 μ W | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Max-hold | 3 MHz | 10 msec | -20.36 dBm | 16:53.07 - 16:56.07 |
| | | | | | 9.204 μ W | |
| | | | | | 21.45 mV | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Max-hold | 3 MHz | 10 msec | -20.14 dBm | 16:57.44 - 17:00.44 |
| | | | | | 86.85 dB μ V | |
| | | | | | 9.683 μ W | |
| | | | | | 22.00 mV | |

최대치모드 (Maximum-hold mode)와 평균모드간의 측정값의 차이가 그다지 크지 않다. 시간에 따라 측정값이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 주어진 시간 내에 측정된 측정값의 평균을 전계강도 값으로 측정하는 것이 측정값의 변화율이 적을 것으로 예상되었으나, 최대치모드의 변화율과 비슷하였다. 실험에서 최대치모드의 측정값보다 평균모드의 측정값이 큰 이유는 측정회수에서 차이가 나기 때문이라고 생각된다. 실험 결과 평균을 측정하기 위한 측정회수가 500회보다는 더 커야한다는 것을 알 수 있었다. 측정회수는 1000회 이상이 되면 더 작은 측정편차를 가질 것으로 생각된다. 측정회수가 많아지면 평균모드와 최대치모드로 측정된 전계강도 측정값의 편차가 모두 작아지지만, 평균모드의 측정에서 편차

가 더 작아질 것으로 생각된다. 전파환경의 변화가 상당히 심하므로 정밀한 측정을 하기 위하여 더 긴 기간동안의 측정이 필요하다. 결과적으로 FM 라디오 방송의 전계강도를 측정할 경우, 측정모드는 평균모드와 최대치모드가 측정에 이용될 수 있고, 측정오차를 줄이기 위하여 평균모드가 적당하다.

(표 5.11)은 대전 분소에서 RBW의 변화에 따른 전계강도 측정값의 변화분석을 위하여 FM 신호를 측정한 것이다.

FM 라디오 방송 신호의 필요대역폭이 180 kHz임을 고려할 경우, RBW가 대략 200 kHz 이상인 경우, 측정되는 전계강도 값은 그다지 차이가 나지 않을 것으로 생각되었다. RBW를 변화시키면서 측정해본 결과, RBW가 215 kHz (스펙트럼 분석기의 특성에 따라 더 세밀하게 RBW를 조정할 수 없었다.) 이상일 경우, 측정된 전계강도 값이 거의 유사하게 된다. 그러므로 FM 라디오방송의 RBW는 215 kHz가 적당하지만, VBW와 보통 1:1의 비율로 측정함을 고려할 때, 측정에서 사용한 스펙트럼 분석기로는 300 kHz가 적당하다고 생각된다. HP 70000 시리즈 스펙트럼 분석기의 경우, RBW와 VBW가 300 kHz이면, 전계강도 측정에 적합하다.

(표 5.11) RBW 의 변화에 따른 전계강도 측정값의 변화분석

| Center frequency | RBW/ VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|---------|---------|------------|------------------|----------------|
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -37.36 dBm | 16:25 (1000 회) |
| | | | | | 69.63 dB μ V | |
| | | | | | 183.7 nW | |
| | | | | | 3.030 mV | |
| 97.5 MHz | 162 k / 300 k | Average | 3 MHz | | -20.57 dBm | 17:15 (500 회) |
| | | | | | 86.42 dB μ V | |
| | | | | | 8.770 μ W | |
| | | | | | | |
| 97.5 MHz | 215 k / 300 k | Average | 3 MHz | | -21.84 dBm | (500 회) |
| | | | | | 85.15 dB μ V | |
| | | | | | | |
| | | | | | 18.09 mV | |
| 97.5 MHz | 261 k / 300 k | Average | 3 MHz | | -21.66 dBm | (500 회) |
| | | | | | 85.33 dB μ V | |
| | | | | | 6.823 μ W | |
| | | | | | | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -21.62 dBm | 16:49 (500 회) |
| | | | | | 85.37 dB μ V | |
| | | | | | 6.887 μ W | |
| | | | | | | |
| 97.5 MHz | 422 k / 1 M | Average | 3 MHz | | -21.89 dBm | (500 회) |
| | | | | | 85.10 dB μ V | |
| | | | | | 6.471 μ W | |
| | | | | | | |

(표 5.12)는 8월 25일과 26일 대전분소에서 FM 신호의 측정회수 변화에 따른 전계강도 측정값의 오차측정 실험을 나타낸 것이다. (표 5.12)에서 RBW가 3 kHz이고, 측정대역이 400 kHz로 측정한 위의 측정결과는 FM 라디오방송의 전계강도를 측정한 결과는 아니다. 마지막에 기록된 RBW 300 kHz, span 3 MHz (보통 측정에서 RBW와 span의 비는 1:100 이다.) 조건에서의 측정값이 FM 라디오방송의 필요대역폭 180 kHz를 고려할 때, 97.5 MHz 방송신호의 전계강도를 측정했다고 할 수 있다. 위의 측정은 측정회수에 따라 평균모드로 측정된 FM 방송신호의 전계강도 측정값 (실제로는 신호의 수신전력을 측정한 것이다.)의 편차

가 어느 정도 되며, 어느 정도의 측정회수가 적당한가를 실험하기 위한 것이다. 측정 결과 측정회수를 100회로 하였을 경우, 측정값의 편차가 다소 발생하며, 측정회수 1000회의 측정에서는 100회의 측정에서 보다 측정값의 편차가 훨씬 작음을 알 수 있다.

- 100 회 측정의 편차 : 0.77 dB
- 1000 회 측정의 편차 : 0.26 dB

(표 5.12) FM 신호의 측정회수 변화에 따른 전계강도 측정값의 오차측정 실험

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|---------|---------|------------|------------------|----------------|
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -39.28 dBm | 16:27 (100 회) |
| | | | | | 67.71 dB μ V | |
| | | | | | 118.0 nW | |
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -38.51 dBm | 16:29 (100 회) |
| | | | | | 68.48 dB μ V | |
| | | | | | 140.9 nW | |
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -35 dBm | 16:35 (500 회) |
| | | | | | 71.99 dB μ V | |
| | | | | | 316.2 nW | |
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -37.36 dBm | 16:25 (1000 회) |
| | | | | | 69.63 dB μ V | |
| | | | | | 183.7 nW | |
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -37.62 dBm | 16:31 (1000 회) |
| | | | | | 69.37 dB μ V | |
| | | | | | 173 nW | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -21.60 dBm | 16:41 (1000 회) |
| | | | | | 85.39 dB μ V | |
| | | | | | 6.918 μ W | |

실험결과 측정회수는 1000회가 적당할 것으로 생각된다. 1000회 이상의 측정회수는 측정시간과 정확도와의 관계를 고려할 때 적당하지 않다고 생각된다.

대전분소에서의 실험만으로도 어느 정도 FM 방송의 전계강도 측정

을 위한 스펙트럼 분석기의 측정파라미터를 결정할 수 있으나, 측정의 기준을 수도권의 측정환경에 맞추는 것이 적합하다고 생각되어 서울분소에서 10월 20일부터 23일에 이르기까지 4 일 동안 전계강도를 측정하였다.

O 서울분소에서의 측정

(표 5.13)은 ESN 장비와 스펙트럼 분석기간의 동시 측정을 함으로써 T자형 케이블을 연결하게 되었는데, 안테나와 스펙트럼 분석기를 직접 연결한 것과 T자형 케이블을 통하여 연결되었을 경우의 FM 신호의 전계강도 측정값의 변화를 보기 위하여 91.9 MHz 신호를 측정한 것이다.

(표 5.13)의 실험은 케이블에 따라 어떻게 전계강도가 달라지는가 만을 비교하기 때문에 안테나 계수에 의한 전계강도의 변화를 고려하지 않았다. 이때의 측정모드는 평균 모드이고, RBW와 VBW는 300 kHz이며, 측정영역은 3 MHz, 측정회수가 1000회이다. 측정에 사용된 안테나는 수직 다이폴 안테나로써 능동 안테나이다. 측정을 위하여 케이블을 안테나와 직접 연결한 케이블과 T자형 케이블을 이용하여 입력을 둘로 나눈 케이블을 이용하였다. T자형 케이블은 ESN 장비와 스펙트럼 분석기를 동시에 측정하기 위하여 이용되었는데, 이 비교 실험은 이러한 경우, T자형 케이블의 감쇠가 어느 정도인지 또한, 실제로 케이블이 실제 전계강도 측정에서 어느 정도 영향을 주는지에 대하여 알아보고자 한 실험이다.

(표 5.13) 91.9 MHz FM 신호의 전계강도 측정 (10월 20일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정 회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|---------------------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:33:06 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.34 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:58:40 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 67.20 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 14:38:48 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 62.77 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:05:45 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.22 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:14:05 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 62.95 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:14:45 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.23 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 15:57:18 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.21 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 17:11:51 (1000) | Average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.24 dB μ V |
| 91.9 M | 3 kHz / 3 kHz | 16:07:00 ~ 16:10:00 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.78 dB μ V (172.9 k) |
| 91.9 M | 3 kHz / 3 kHz | 16:14:55 ~ 16:17:55 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 63.78 dB μ V (172.9 k) |
| 91.9 M | 3 kHz / 3 kHz | 16:28:51 ~ 16:31:51 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 68.22 dB μ V (175.9 k) |

(표 5.14)는 93.1 MHz 신호의 측정을 (표 5.13)의 측정과 마찬가지로 케이블을 바꾸었을 때, 전계강도 측정값의 변화를 실험한 내용이다.

(표 5.14) 93.1 MHz의 전계강도 측정 (10월 20일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|---------------------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 93.1 M | 300 k / 300 k | 15:26:23 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 64.07 dB μ V |
| 93.1 M | 300 k / 300 k | 15:19:45 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (T자형 연결) | 60.37 dB μ V |
| 93.1 M | 3 kHz / 3 kHz | 16:28:51 ~ 16:31:51 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 61.73 dB μ V (216.4 k) |
| 93.1 M | 3 kHz / 3 kHz | 16:23:44 ~ 16:26:26 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 65.07 dB μ V (211.9 k) |

91.9 MHz의 전계강도 측정값은 직접 연결의 경우, 67.2 dB μ V와 66.34 dB μ V이고, T자형 케이블의 경우, 62.77 dB μ V에서 63.23dB μ V 정도의 값이다. 93.1 MHz의 전계강도 측정값은 직접 연결의 경우, 64.07 dB μ V이고, T자형 케이블의 경우, 60.37 dB μ V 정도의 값이다. 91.9 MHz의 경우, 두 조건의 차이가 3.11 dB에서 4.49 dB 정도의 차이가 났고, 93.1 MHz에서는 3.7 dB 정도의 차이가 났다. 두 신호의 전계강도 측정으로부터, 일자형 케이블과 T자형 케이블 사이의 오차는 대략 3에서 4.5 dB임을 알 수 있었다. 따라서 T자형 케이블을 이용하여 신호를 두 개의 측정장비에서 측정할 경우, 원래의 전계강도에 가까운 측정값을 얻기 위하여 3에서 4.5 dB를 측정값에 더해주어야 한다는 것을 알 수 있었다. (표 5.13)과 (표 5.14)의 두 신호의 측정에서 아래 부분의 측정은 대역폭을 알기 위한 측정조건으로 측정하여 신호의 x dB 대역폭을 측정한 것이다. 두 신호의 경우, 직접 연결하였을 경우, T자형 케이블보다 -26 dB 대역폭이 커짐을 알 수 있다. ESN 장비를 이용한 측정에서

도 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. ESN 장비를 이용하여 T자형 케이블을 연결하였을 경우, 62.6000 dB μ V 이며, 직접 연결한 경우, 66.4818 dB μ V이다.

(표 5.15)는 대전분소와 같이 서울분소에서 FM 신호의 RBW와 VBW를 바꾸면서 변화에 따른 전계강도 측정값의 변화를 측정한 것이다.

(표 5.15) RBW와 VBW의 변화에 따른 91.9 MHz FM 신호의 측정

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|--------------------|---------|-------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 91.9 M | 1 M / 1 M | 10:25:29 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.79 dB μ V |
| 91.9 M | 750 k / 1 M | 10:34:46 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.97 dB μ V |
| 91.9 M | 750 k / 300 k | 10:39:38 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.97 dB μ V |
| 91.9 M | 511 k / 300 k | 10:46:11 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 67.16 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 10:51:56 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 67.16 dB μ V |
| 91.9 M | 300 k / 100 k | 10:56:49 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 67.02 dB μ V |
| 91.9 M | 100 k / 100 k | 11:04:52 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 68.31 dB μ V |
| 91.9 M | 30 k / 30 k | 11:09:35 (1000) | average | 3 MHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 67.14 dB μ V |

서울분소에서 측정된 FM 신호의 측정값 중에서 91.9 MHz의 신호를 RBW와 VBW를 바꾸어주면서 측정한 내용이다. RBW를 1 MHz에서부터 30 kHz에 이르기까지 변화하면서 측정하였을 경우, 측정값이 줄어드는 등의 변화가 없었다. 전계강도가 시간이 지남에 따라 변화하면서

RBW나 VBW에 의한 전계강도 측정값의 변화에 영향을 준 것으로 생각된다. 측정값의 차이가 이렇게 적은 이유 중의 하나는 신호의 전력 성분의 대부분이 신호의 중심주파수 부분에 치중해 있어서라고 생각할 수 있다. 측정파라미터의 결정을 위한 RBW와 VBW의 값은 예전에 측정해오던 바와 마찬가지로 300 kHz로 하는 것이 큰 오차없이 측정할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. RBW와 VBW이외에 다른 측정파라미터는 대전분소와 크게 달라진 것이 없다. 측정모드는 평균모드이고, 스패는 3 MHz이며, 다른 파라미터들은 모두 자동모드 (auto mode)로 하는 것이 적당할 것으로 생각된다. 측정회수는 서울분소의 측정에서는 100회 정도의 측정평균값과 100회의 측정평균값의 차이가 대전분소와 다르게 크지 않았다.

(표 5.16)은 서울분소에서 여러 FM 신호의 전계강도를 측정한 것이다.

(표 5.16) 여러 FM 신호의 측정값 비교

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|--------------------|---------|-------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 91.9 M | 300 k / 300 k | 10:17:40 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.57 dB μ V |
| 93.1 M | 300 k / 300 k | 10:21:37 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 63.08 dB μ V |
| 95.9 M | 300 k / 300 k | 10:35:46 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 64.15 dB μ V |
| 97.3 M | 300 k / 300 k | 10:26:08 (1000) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 78.42 dB μ V |

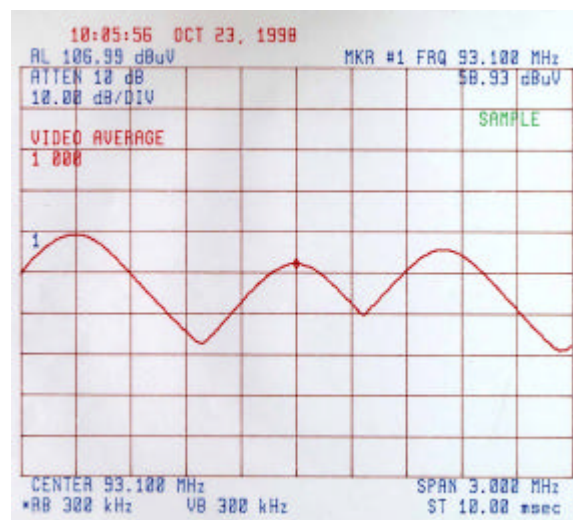
91.9 MHz, 95.9 MHz, 93.1 MHz 신호의 전계강도는 대체로 비슷하지만, 97.3 MHz 신호의 전계강도는 다른 신호에 비하여 크다. 감시국소에서 전계강도를 통하여 신호의 전력을 감시할 경우, 모든 신호의 송신소

의 환경과 거리가 비슷하다고 가정할 경우, 97.3 MHz의 신호가 출력 전력의 제한을 초과했는가에 대하여 직접 측정할 필요성이 있다. 서울분소까지의 각 송신 신호의 환경 등에 대한 데이터가 없으므로 같은 전파형식의 측정값 비교로부터 위규여부를 판단하기 어렵다.

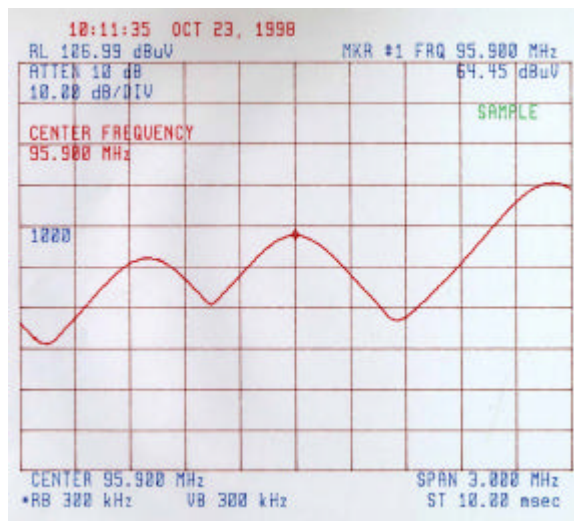
서울분소와 대전분소의 측정을 바탕으로 FM 신호의 스펙트럼 분석기 측정파라미터는 다음과 같이 하는 것이 적당하다.

- RBW/VBW : 300 kHz
- span : 3 MHz
- mode : 평균모드
- 측정회수 : 1000회
- 기타 측정파라미터 : 자동 모드

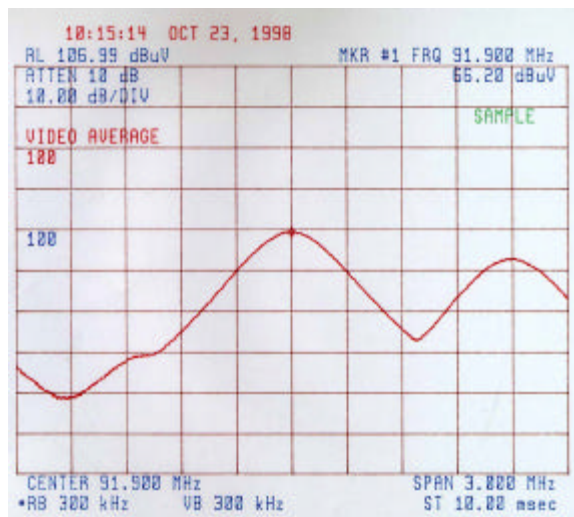
(그림 5.18)은 위의 측정 조건으로 93.1 MHz FM 신호를 측정한 것이고, (그림 5.19)는 95.9 MHz 신호의 전계강도를 측정한 것이다. (그림 5.20)은 91.9 MHz 신호의 전계강도를 측정한 것이다.



(그림 5.21) 93.1 MHz 신호의 전계강도 측정 (10월 23일 : 서울분소)



(그림 5.22) 95.9 MHz 신호의 전계강도 측정 (10월 23일 : 서울분소)



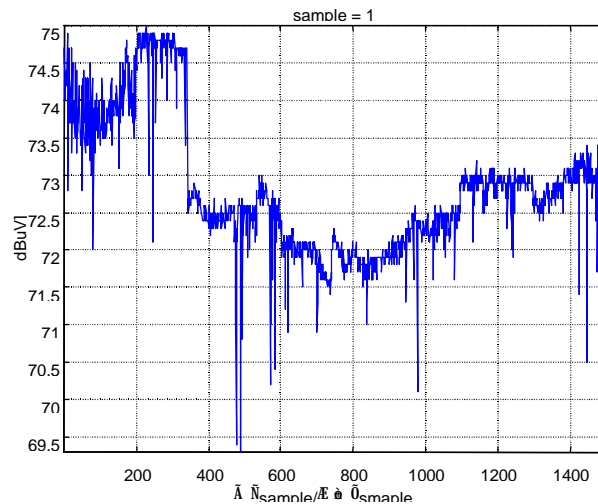
(그림 5.23) 91.9 MHz 신호의 전계강도 측정 (10월 23일 : 서울분소)

나. 시간의 변화에 따른 전계강도 측정

시간에 따라 전계강도 측정값이 계속 변화하기 때문에 Minilock ESN, 스펙트럼 분석기 등을 이용한 계속적인 동일 조건으로의 측정으로 전계강도 측정값의 평균을 구하는 방법을 찾고자 하였다.

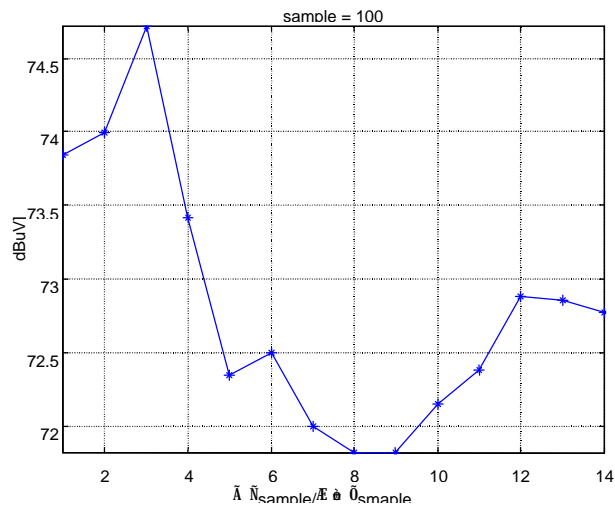
(1) Minilock 장비를 이용한 측정

(그림 5.21)은 DISCON 안테나와 Minilock 장비를 이용하여 97.5 MHz 신호의 전계강도를 대전분소에서 시간에 따라 측정한 것이다. (그림 5.21)에서 보이듯이 측정값의 변화가 심하기 때문에 일정한 기간동안 측정데이터 값들의 평균을 전계강도 측정값의 평균으로 구하고자 하였다.



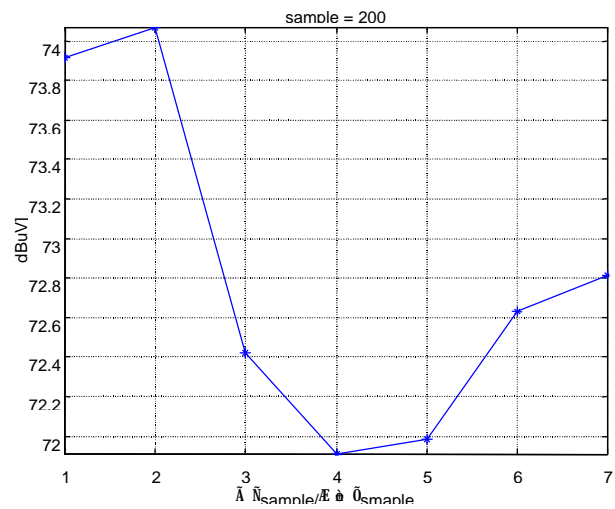
(그림 5.24) Minilock을 이용한 97.5 MHz의
전계강도 측정 (샘플 수 : 약 1500 개)

(그림 5.22)는 (그림 5.21)의 데이터로부터 각각 100 개씩 측정값의 평균을 계산한 그림이다.



(그림 5.25) (그림 5.29) 데이터의 100 개
단위의 평균

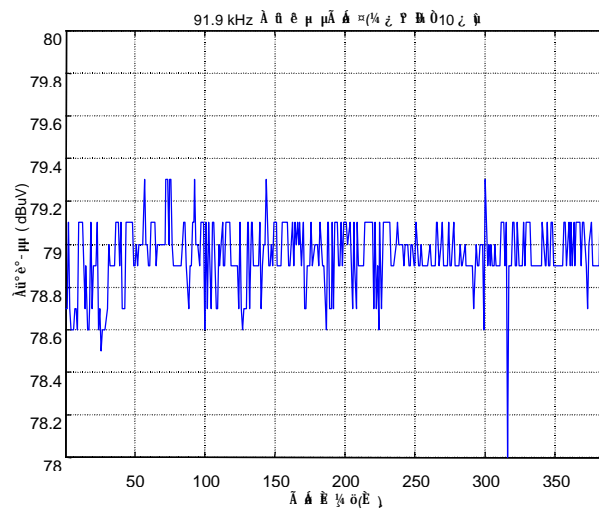
(그림 5.23)은 (그림 5.21)의 데이터로부터 각각 200 씩의 측정값의
평균을 계산한 그림이다.



(그림 5.26) (그림 5.29) 데이터의 200 개
단위의 평균

전계강도 측정값이 시간에 따라 심하게 변화하기 때문에 100 개와 200 개의 샘플의 평균값들도 (그림 5.22)와 (그림 5.23)에서 보는 바와 같이 심하게 바뀐다. 그러므로 전계강도 측정에서 측정값의 적당한 평균을 구하기 위해서는 1000 개 또는 그 이상의 데이터로부터 평균을 구하는 것이 적당함을 알 수 있다.

(그림 5.24)는 서울분소에서 91.9 MHz 신호의 전계강도를 약 20분간 측정하여 측정값의 변화를 살펴본 것이다. 안테나는 LP 안테나를 이용하였으며, 약 지상에서 40 내지 50 m 이상의 높이에 위치한다. 측정대상 주파수의 안테나 계수는 90 MHz인 경우, 4.5 dB정도이므로, 위의 두 FM 방송의 측정에 이 값을 고려하고, AM 방송의 경우, 안테나 계수의 그래프가 80 MHz 이하는 나와있지 않아서 고려하기 어렵다. LP 안테나의 80 MHz에서의 안테나 계수는 4 dB이다. 안테나 계수를 각 주파수대에서 안테나에 의한 전계강도의 손실정도로 이해하고 이 값을 측정값에 더해주어야 한다.



(그림 5.27) 91.9 MHz 신호의 전계강도
측정값의 변화 (Minilock : 서울분소)

1 dB 이내에서 거의 측정값의 변화가 없었다. 측정데이터의 수는 380

개다. 이 경우, 평균을 취함으로 전계강도 값으로 나타낼 수 있다. 평균 값은 $78.95 \text{ dB } \mu\text{V}$ 이다. 측정결과 시간에 따라 전계강도의 변화율이 작을 경우, 평균값을 산출하여 전계강도 측정으로부터 신호의 위규여부를 판별 할 수 있으나, 변화가 심한 경우, 판별하기 어렵다. Minilock 측정에서도 전계강도 측정값의 평균을 구하기 위해서는 측정회수를 1000회로 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

(2) 스펙트럼 분석기를 이용한 측정실험

(표 5.17)에서 (표 5.20)는 대전분소에서 97.5 MHz Fm 라디오 방송신호의 시간에 따라 전계강도 측정값의 변화 분석을 한 것이다. (표 5.17)은 8 월 25 일 측정값으로 측정회수가 1000회인 경우, 시간에 따른 측정값을 비교한 것이고, (표 5.18)은 측정회수가 500회인 경우의 측정값을 비교한 것이다. (표 5.19)는 8월 26일 측정회수가 1000인 경우의 시간에 따른 측정값을 비교한 것이고, (표 5.20)은 측정회수가 500회인 경우의 측정값들을 비교한 것이다.

(표 5.17) 시간에 따른 전계강도 측정값의 비교 실험
(97.5 MHz, 측정회수 1000, 8월 25일 : 대전분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|-----------|---------|---------|------------|------------------------|-------------------|
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -37.36 dBm | 16:25 (1000 회) |
| | | | | | 69.63 dB μV | |
| | | | | | 183.7 nW | |
| | | | | | 3.030 mV | |
| 97.5 MHz | 3 k / 3 k | Average | 400 kHz | 133.4 msec | -37.62 dBm | 16:31 (1000 회) |
| | | | | | 69.37 dB μV | |
| | | | | | 173 nW | |
| | | | | | 2.941 mV | |

위의 조건으로 측정한 16시 25분과 16 시 31분의 측정데이터의 오차는 0.26 dB의 차이가 난다.

(표 5.18) 시간에 따른 전계강도 측정값의 비교 실험
(97.5 MHz, 측정회수 500, 8월 25일 : 대전분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|---------|-------|------------|------------------|---------------|
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | 80.30 dB μ V | 17:22 (500 회) |
| | | | | | 2.143 μ W | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -26.70 dBm | 17:24 (500 회) |
| | | | | | 80.29 dB μ V | |
| | | | | | 2.138 μ W | |

(표 5.18)에서 측정된 17시 22분과 17시 24분의 측정데이터의 오차는 0.01 dB이다. 시간에 따라 전계강도 측정값이 약간 달라진다. 시간별 측정값의 오차가 변화함을 알 수 있다.

(표 5.19) 시간에 따른 전계강도 측정값의 비교 실험
(97.5 MHz, 측정회수 1000, 8월 26일 : 대전분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|---------|-------|------------|------------------|----------------|
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -32.05 dBm | 14:29 (1000 회) |
| | | | | | 74.94 dB μ V | |
| | | | | | 623.7 nW | |
| | | | | | | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -30.74 dBm | 15:59 (1000 회) |
| | | | | | 76.25 dB μ V | |
| | | | | | 843.3 nW | |
| | | | | | | |

(표 5.19)에서 두 측정값의 오차는 1.31 dB이다.

(표 5.20)에서 두 측정값의 오차는 1.18 dB 이다. 측정회수가 1000회 일 경우, 시간에 따른 측정오차가 더 크다. 이것은 측정시간대의 측정값의 변화가 크기 때문이라고 생각되며, 측정오차가 측정회수의 영향보다는 시간별 방송신호의 출력변화에 더 큰 영향을 받는다고 생각된다. 2일 간의 측정결과 측정시간별 전계강도 측정값의 변화가 발생하였다. 시간별 측정오차는 측정회수별, 측정시간대별로 일정하지 않다. 위의 측정결과를 바탕으로 측정오차를 줄이기 위하여 적당한 측정회수를 선택하기 어렵다 시간대별로 전계강도 측정값에 대한 평균값을 구하는 작업이 필요하다 고 생각된다.

(표 5.20) 시간에 따른 전계강도 측정값의 비교 실험

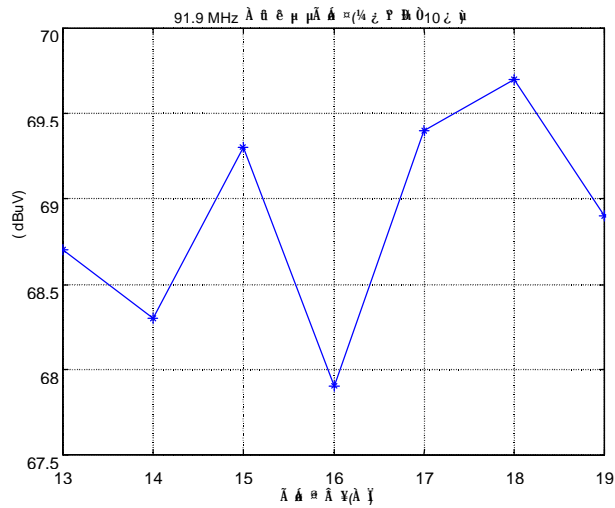
(97.5 MHz, 측정회수 500, 8월 26일 : 대전분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|---------|-------|------------|------------------|---------------|
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -33.09 dBm | 14:25 (500 회) |
| | | | | | 73.90 dB μ V | |
| | | | | | 490.9 nW | |
| 97.5 MHz | 300 k / 300 k | Average | 3 MHz | 10 msec | -31.91 dBm | 14:27 (500 회) |
| | | | | | 75.07 dB μ V | |
| | | | | | 642.7 nW | |

다. 날짜별 전계강도 측정값의 변화

(1) Minilock 장비를 이용한 측정실험

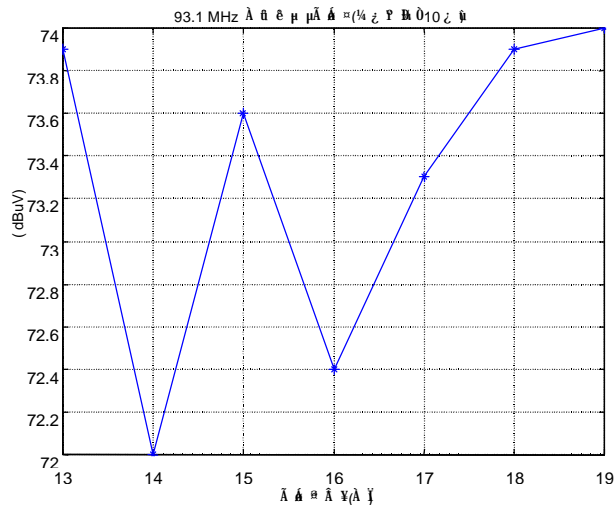
이 측정실험에서 나의 (1)에서의 측정조건과 같은 조건으로 측정하였다. 서울분소에서 10월 중순에 측정된 여러 가지 방송 주파수에 대한 전계강도 측정값의 날짜별 변화를 살펴보았다. 측정대상 주파수는 91.9 MHz와 93.1 MHz인 FM 라디오 방송들이다. FM 방송의 측정은 6일간 측정을 하였다.



(그림 5.28) 91.9 MHz 신호의 날짜별 전계강도

(그림 5.25)는 91.9 MHz 신호의 전계강도를 Minilock을 이용하여 6일간 측정했을 때, 측정값의 변화를 본 그림이다. 각 날짜별 측정값의 오차가 2 dB 이내이다.

(그림 5.26)은 93.1 MHz 신호의 전계강도를 날짜별로 측정한 것이다.



(그림 5.29) 93.1 MHz 신호의 날짜별 전계강도

(그림 5.26)에서 측정값의 오차 범위는 91.9 MHz 와 비슷한 2 dB 이내 이다.

(2) 스펙트럼 분석기를 이용한 측정실험

가. 의 (2)에 있는 (표 5.29)에서 (표 5.32)의 측정데이터로부터 97.5 MHz FM 신호의 전계강도 측정값의 날짜별 측정오차를 알 수 있다. 8월 25일의 데이터의 평균을 두 데이터의 평균인 -21.72 dBm라고 하고, 8월 26일의 데이터 평균을 -31.18 dBm이라고 할 때, 두 평균값의 차이는 9.46 dB이다. 날짜별 측정값의 차이가 크게 나타남. 측정회수가 1000 일 때, 10.36 dB, 측정회수가 500일 경우, 9.46 dB의 차이이다. 날짜별 측정값의 차이로부터 향후 날짜별 측정값의 평균 등을 이용하는 것이 필요함을 알 수 있다.

2. CDMA 신호 (1M32G7W)의 전계강도 측정 실험

현재 많이 사용되고 있는 디지털 통신방식 신호 중에서 본 연구를 위하여 사용된 장비로 측정 가능한 주파수 대에 분포된 CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 기지국 신호를 측정하였다. 셀룰러 이동통신 기지국 신호는 800 MHz 대역의 신호인데, 세밀히 조사하면, 840 MHz 부근의 신호와 880 MHz 부근의 신호로 나뉜다. FM 신호와 마찬가지로 전계강도 측정을 보다 나은 측정기준으로 하기 위하여 스펙트럼 분석기를 사용하였으며, 사용된 안테나는 수직 다이폴 안테나이다.

가. 측정파라미터 결정을 위한 실험

0 대전 분소에서의 측정실험

(표 5.21)은 887 MHz 신호의 전계강도를 측정한 내용이다. 이것은 대전분소에서 8월 25일에 측정한 실험 결과이다. 이 신호는 미약한 신호이므로 스펙트럼 분석기의 내부감쇠는 0 dB이고, CRT 상의 기준레벨은 -30 dBm 이다.

(표 5.21) 887 MHz 셀룰러 이동통신 신호의 전계강도 측정

| Center frequency | RBW/ VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|--------------|---------|--------|------------|------------------|----------------|
| 887 MHz | 1.62 M / 1 M | Average | 10 MHz | 10 msec | -61.44 dBm | 14:52 (500 회) |
| | | | | | 45.55 dB μ V | |
| | | | | | 717.8 pW | |
| 887 MHz | 1.62 M / 1 M | Average | 10 MHz | 10 msec | -61.20 dBm | 14:55 (1000 회) |
| | | | | | 45.79 dB μ V | |
| | | | | | 758.6 pW | |

측정 신호의 측정회수는 500 회 측정이나 1000회 측정 모두 비슷한 측정 편차를 가짐을 알 수 있었다. 이 신호의 측정회수는 FM 라디오 방송 신호에 비하여 작아도 됨을 알 수 있으나, 좀더 많은 측정실험이 필요하다. CDMA 신호의 할당대역폭이 1.32 MHz임을 고려할 경우, RBW는 스펙트럼 분석기 성능에서 조정 가능한 RBW 중에서 할당대역폭에 가장 가까운 1.62 MHz가 적당할 것으로 생각된다. 잡음의 영향을 많이 받기 때문에 FM 라디오 방송 신호처럼 RBW를 좀더 크게 잡으면, 측정 오차가 많을 것을 생각된다. CDMA 신호는 신호레벨이 낮기 때문에 감쇠 정도와 CRT상의 기준레벨 등을 고려하지 않으면, 정확한 측정을 하기 어렵다.

O 서울분소에서의 측정실험 (10월 20일 ~ 23일)

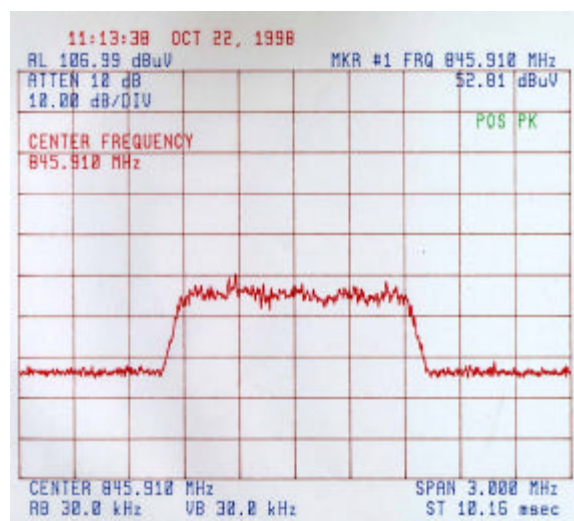
(표 5.22)는 서울분소에서 10월 21일 845.91 MHz 셀룰러 이동통신 신호를 측정한 것이다.

(표 5.22) 845.91 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|----------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------------|-------------|
| 845.91 M | 3 M / 3 MHz | 13:41:44 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 81.28 nW |
| 845.91 M | 10 k / 10 k | 13:37:11 | Max hold | 10 MHz | 30 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 787.0 pW |

840 MHz 대역의 신호는 대전분소에서 측정한 시간에 따라 거의 변화하지 않는 887 MHz 신호와 달리 시간에 따라 변화한다. 변화한다고 하기보다는 신호가 불규칙적으로 발생한다고 할 수 있다. 그러므로 측정 모드는 최대치모드가 알맞다고 생각되며, (그림 5.27)은 최대치모드로 3분간 측정한 845.91 MHz 신호의 스펙트럼이다. (그림 5.27)에서 845.91 MHz의 측정대역폭은 대전 분소에서 측정된 887 MHz 대역의 신호와 비슷함을 알 수 있다.



(그림 5.30) 845.91 MHz 신호의 스펙트럼

(10월 22일 : 서울분소)

(표 5.23)은 10월 22일 845.91 MHz 신호의 전계강도를 측정한 내용이다. 10월 21일의 측정에서 측정모드가 최대치모드가 적당하다는 것을 알 수 있었으나, 다른 측정파라미터를 알 수 없어서 다시 측정하였다.

(표 5.23) 845.91 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|----------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 845.91 M | 30 k / 30 k | 11:13:38 | Max hold | 3 MHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 52.81 dB μ V |
| 845.91 M | 3 M / 3 M | 11:20:24 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 66.99 nW |
| 845.91 M | 3 M / 3 M | 11:23:43 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 65.25 dB μ V |

(표 5.24)는 845.91 MHz 신호의 전계강도 측정을 위하여 RBW와 VBW 등의 측정파라미터를 결정하기 위하여 10월 23일 서울분소에서 측정된 내용이다.

(표 5.24) 845.91 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------|---------------|---|---------------------|
| 845.91 M | 1.62 M / 1 M | 10:44:17 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 62.34 dB μ V |
| 845.91 M | 1.62 M / 1 M | 10:44:17 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 34.28 nW |
| 845.91 M | 30 k / 30 k | 11:00:05 | Max hold | 3 MHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 1.641 nW |
| 845.91 M | 1.62 M / 1 M | 14:05:02 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 51.85 dB μ V |

(표 5.25)는 845.91 MHz 신호와 같은 전파형식인 839.58 MHz 신호를 10월 21일 서울분소의 실험에서 측정한 내용이다. 하나의 전파형식에 대하여 한 개의 신호만으로 그 전파형식의 특성을 파악하기 어렵기 때문에 다른 CDMA 방식 신호들과 비교하기 위하여 측정하였다.

(표 5.25) 839.58 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|----------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------------|-------------|
| 839.58 M | 3 M / 3 M | 13:28:06 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 2.655 nW |
| 839.58 M | 10 k / 10 k | 13:32:06 | Max hold | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 7.586 nW |

(표 5.26)은 대전분소에서 측정된 887 MHz와 같은 특성을 가진 CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 신호를 측정한 것이다. 이번 서울분소 측정에서는 887 MHz의 주파수를 가진 신호가 잘 측정되지 않아서 882 MHz 신호를 측정하게 되었다.

(표 5.26) 882 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|-----------------|--------------------|---------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 882 M | 1.33 M / 1 M | 10:49:54 (1000) | average | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 27.72 dB μ V |
| 882 M | 30 k / 30 k | 10:21:37 (500) | average | 3 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | |

(표 5.27)과 (표 5.28)는 882 MHz 신호를 측정일시에 따라 신호가 변화하는가를 살펴보기 위하여 10월 22일과 10월 23일에 걸쳐 측정한 내용

이다. 이 실험에서는 882 MHz 신호의 스펙트럼의 모양을 측정하고 그 신호의 전계강도를 측정하여 측정되는 신호의 모든 전계강도가 잘 측정되는가를 살펴보았다. CDMA 신호의 경우, 필요대역폭이 1.25 MHz 이고, 할당대역폭이 1.32 MHz 이기 때문에 전계강도 측정에서 RBW와 VBW는 각각 이것보다 크거나 비슷한 값을 가져야 할 것으로 생각된다.

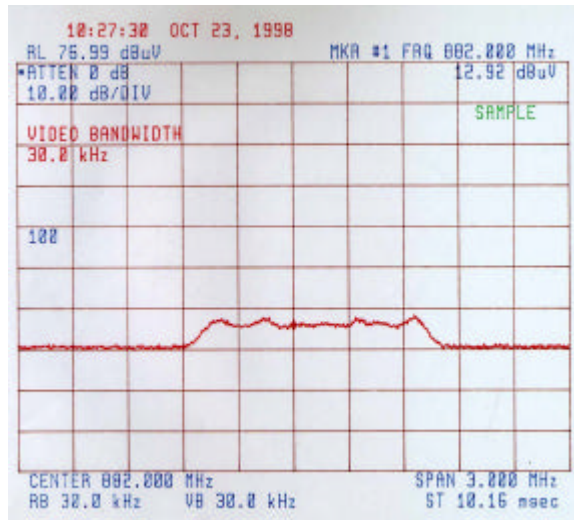
(표 5.27) 882 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|-----------------|--------------------|---------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 882 M | 30 k / 30 k | 13:38:59 (1000) | average | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 14.19 dB μ V |
| 882 M | 1.62 M / 1 M | 13:43:27 (1000) | average | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 28.53 dB μ V |

(표 5.28) 882 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|-----------------|--------------------|---------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 882 M | 1.62 M / 1 M | 10:23:43 (1000) | average | 10 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 26.73 dB μ V |
| 882 M | 30 k / 30 k | 10:27:56 (100) | average | 3 MHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 12.92 dB μ V |

(그림 5.28)은 882 MHz 신호의 스펙트럼이다. (그림 5.27)의 845.91 MHz 신호에 비하여 전계강도가 많이 낮음을 알 수 있다.



(그림 5.31) 882 MHz 신호의 스펙트럼

(10월 23일 : 서울분소)

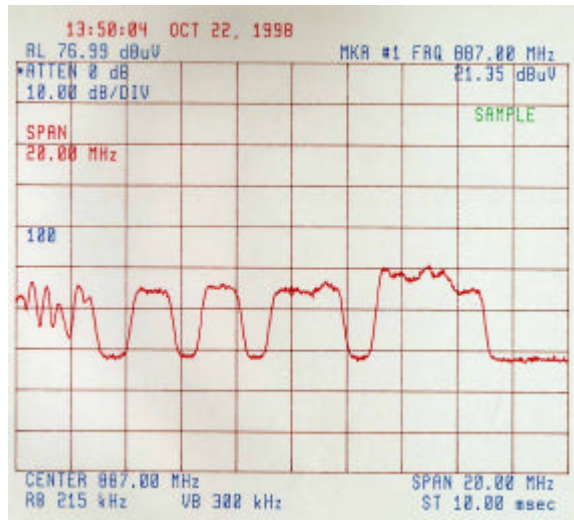
(표 5.29)는 대전분소에서 측정된 887 MHz CDMA 방식의 신호를 서울분소에서 10월 22일 측정한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 거의 신호를 측정할 수 없었고, 미약하게 측정되었다.

(표 5.29) 887 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|------------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 887 M | 215 k / 300 k | 13:50:04 | Max hold | 20 MHz | 10 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 21.35 dB μ V |

(그림 5.29)는 880 MHz 대역에 분포된 CDMA 방식 신호들의 스펙트럼 분포이다. 크게 측정영역을 선택하여 신호와 잡음레벨과 구분되지만, 신호의 전체적인 측정레벨이 낮음을 알 수 있다.



(그림 5.32) 880 MHz 대역 CDMA
신호들의 스펙트럼 분포

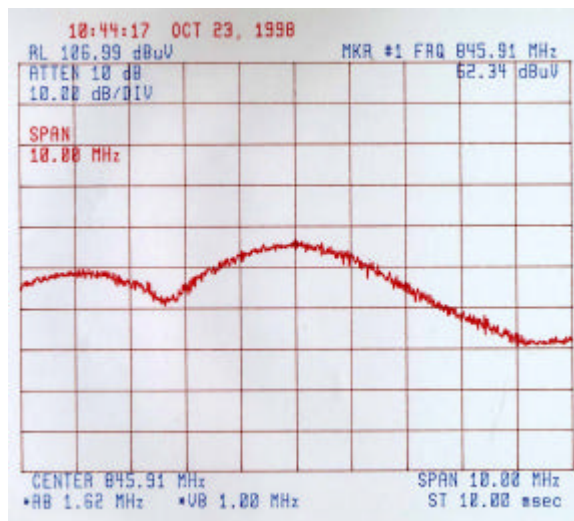
위와 같이 여러 가지 CDMA 신호에 대한 전계강도 측정을 위한 실험을 함으로 CDMA 신호의 전계강도를 측정하기 위한 측정파라미터를 어떻게 설정할 것인가에 대하여 연구하였다. 845.91 MHz 신호와 839.58 MHz 신호는 감시국소 주변의 셀룰러 이동통신의 기지국 송신신호이다. 같은 주파수를 사용하는 기지국이 여러 곳 존재하므로 어느 기지국에서의 신호인지 스펙트럼 분석기를 이용하여 구분하기 어렵다. 기존에 측정 대상이었던 882 또는 887 MHz의 신호는 레벨이 너무 낮아서 측정하기에 어려움이 있었다. 845.91 MHz 신호와 839.58 MHz 신호는 시간에 따라 연속적인 신호가 아니었다. 시간에 따라 연속적인 신호인 882 MHz와 887 MHz의 신호는 평균모드로 측정이 가능하지만, 845.91 MHz 신호와 839.58 MHz의 신호는 최대치 모드를 이용하여 측정해야 한다. 서울분소의 CDMA 신호 측정에서 RBW와 VBW는 대전분소에서 측정한 결과와 같은 값을 적용할 수 있었다. 845.91 MHz 와 839.58 MHz 신호의 경우, 감쇠나 기준레벨의 변화없이 신호를 스펙트럼 분석기 상에서 측정할 수 있었으나, 882 MHz와 887 MHz의 신호는 측정된 레벨이 너무 낮아서

감쇠레벨을 낮추고, CRT 상의 기준레벨도 낮추어야 한다.

서울분소에서의 CDMA 신호의 측정에서 880 MHz 대의 신호들의 전계강도는 평균모드로 측정할 수 있으나, 830에서 850 MHz에 해당하는 CDMA 신호는 측정하기 어려웠다. 서울분소와 대전분소의 측정결과를 바탕으로 CDMA 신호의 측정에서 측정파라미터는 다음과 같이 결정하는 것이 바람직하다고 생각되었다.

- RBW/VBW : 1.62 MHz / 1 MHz
- 측정영역 : 10 MHz
- 감쇠 : 830 ~ 850 MHz : 10 dB
880 MHz 대 : 0 dB
- 기준레벨 : 830 ~ 850 MHz : 0 dBm
880 MHz 대 : -30 dBm
- 측정모드 : 830 ~ 850 MHz : 최대치 모드
880 MHz 대 : 평균모드

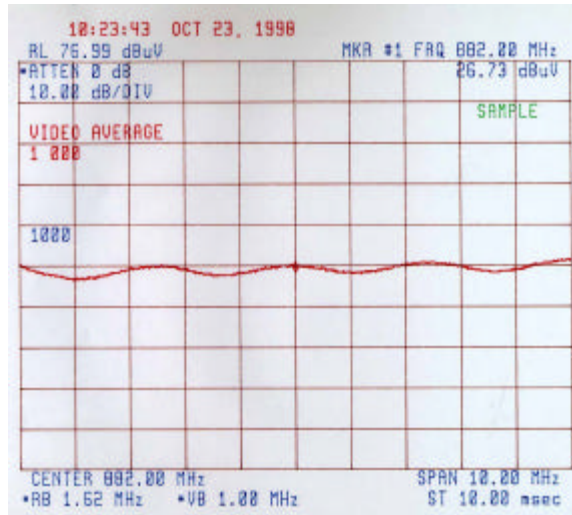
(그림 5.30)은 845.91 MHz 신호를 최대치 측정모드를 포함한 위에 제시된 측정에 맞게 측정된 것이다. 측정시간이 길수록 더 정확한 전계강도를 측정할 수 있을 것으로 기대된다.



(그림 5.33) 845.91 MHz 신호의 전계강도
측정 (서울분소)

(그림 5.31)은 882 MHz 신호를 위에 주어진 조건에 맞게 측정한 것이다. (그림 5.30)과 (그림 5.31)을 비교할 때, (그림 5.31)의 측정결과가 전계강도 측정값이 매우 작음을 알 수 있다.

이러한 CDMA 방식 신호의 측정에서 측정파라미터를 선택할 수 있었고, 위와 같은 방식으로 전계강도를 측정할 경우, HP 70000과 같은 성능의 스펙트럼 분석기에서는 최적의 조건이라고 생각된다. 셀룰러 이동통신 방식의 신호는 기지국 송신신호와 수신신호에 따라 스펙트럼의 특성이 달라지며, 측정에 있어서 구분해서 측정방법을 결정해주어야 한다는 것을 알 수 있었다.



(그림 5.34) 882 MHz 신호의 전계강도
측정 (서울분소)

나. 시간과 날짜에 따른 CDMA 신호의 전계강도 측정 실험

(표 5.30)은 CDMA 신호의 시간별, 날짜별 측정값의 변화 측정실험을 나타낸 것이다. 표로부터 FM 신호의 측정에서와 마찬가지로 시간별 날짜별 측정값의 변화를 볼 수 있다. 측정은 FM 신호의 측정에서와 같이 대전분소에서 8월 25일부터 8월 26일 사이에 측정된 것이다.

(표 5.30) CDMA 신호의 날짜별, 시간별 전계강도 측정값의 변화 측정
(8월 25일 ~ 26일 : 대전분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|--------------|----------|--------|------------|------------------|----------------------------|
| 887 MHz | 1.62 M / 3 M | Max-hold | 10 MHz | 10 msec | -64.89 dBm | 17:34 (500 회) 8월 25일 |
| | | | | | 42.10 dB μ V | |
| | | | | | 324.3 pW | |
| 887 MHz | 1.62 M / 1 M | Average | 10 MHz | 10 msec | -61.04 dBm | 14:49 (500 회) 8월 26일 |
| | | | | | 45.95 dB μ V | |
| | | | | | 787 pW | |
| 887 MHz | 1.62 M / 1 M | Average | 10 MHz | 10 msec | -61.44 dBm | 14:52 (500 회) 8월 25일 |
| | | | | | 45.55 dB μ V | |
| | | | | | 717.8 pW | |
| 887 MHz | 1.62 M / 1 M | Average | 10 MHz | 10 msec | -60.97 dBm | 16:51 (500 회) 8월 26일 |
| | | | | | 46.02 dB μ V | |
| | | | | | 799.8 pW | |

8월 25일 측정값과 8월 26일 측정값은 VBW가 달라서 측정값이 달라질 수 있다. 8월 25일 측정값과 8월 26일 측정값의 차이는 각각 3.85 dB, 3.45 dB, 3.92 dB 이다. 시간별 측정값의 차이보다 날짜별 측정값의 차이가 훨씬 크다. 시간별 측정값의 평균과 날짜별 측정값의 평균이 필요함을 알 수 있다.

이러한 스펙트럼분석기를 이용한 전계강도의 시간별, 날짜별 측정분석을 통하여 다음과 같은 문제점을 알 수 있었다.

- 시간별, 날짜별로 측정값의 차이가 있다.
- 시간별 측정오차를 바탕으로 측정회수를 결정하는 것이 어렵다.

- 시간별, 날짜별 측정오차의 보정이 전파형식별로 이루어져야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 시간대별 측정 데이터의 지속적인 측정과 날짜별 측정 데이터의 지속적인 측정이 이루어져야 하며, 측정 데이터로부터 해당 신호의 평균 전계강도 값의 측정이 이루어져서, 평균 전계강도 값과 실제 전계강도 값의 비교를 통한 오차보정하는 연구가 필요함을 알 수 있었다. 시간과 날짜에 따라 전계강도 측정값이 전파환경의 영향을 받음을 일반적인 단순한 측정으로 전계강도 측정값을 측정하기보다는 긴 기간의 측정을 통한 많은 데이터를 이용하여 전계강도 측정값의 그래프를 그리고, 이 그래프의 평균적인 흐름으로부터 전계강도 측정값의 위규여부를 판단하는 방법이 가장 적당할 것으로 생각된다.

3. AM 라디오 방송 (10K0A3E)의 전계강도 측정실험

가. 측정파라미터 결정을 위한 측정실험

AM 라디오 방송 신호는 수직 다이폴 안테나나 바이코니컬 안테나로 측정하였을 경우, 측정 레벨이 안테나의 주파수 특성에 따라 상당히 작으며, 주위의 잡음레벨이 높기 때문에 측정하기 어렵다. AM 라디오 방송 신호도 FM 라디오 방송신호와 마찬가지로 출력 전력이 큰 신호이지만, 지역에 따라 측정값이 더욱 많이 달라진다. AM 라디오 방송 신호도 대전분소와 서울분소에서의 측정을 바탕으로 측정기준을 마련하고자 하였다.

○ 대전분소에서의 전계강도 측정 실험

AM 라디오 방송 신호의 전계강도 측정을 위하여 8월 25일과 26일에 걸쳐 대전분소에서 측정실험을 하였다. 아래의 (표 5.31)은 대전분소에서 AM 라디오 방송의 전계강도를 측정한 것이다.

(표 5.31)에서 측정을 위하여 스펙트럼 분석기와 수직 다이폴 안테나를 사용하였고, 스펙트럼 분석기의 내부 감쇠는 0 dB 이고, CRT 기준레벨은 -30 dBm이다.

(표 5.31) 대전분소에서 AM 라디오 방송 신호의 전계강도 측정

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|------------------|---------|-----------|------------|------------------|------------------|
| 766.5 kHz | 10 k / 10 k | Average | 701.2 kHz | 30.48 msec | -66.86 dBm | 16:28 (500 회) |
| | | | | | 40.13 dB μ V | |
| | | | | | 206.1 pW | |
| 766.5 kHz | 30 k / 30 k | Average | 701.2 kHz | | -66.99 dBm | 16:31 (500 회) |
| | | | | | 40.00 dB μ V | |
| | | | | | 200 pW | |
| 766.5 kHz | 100 k / 100 k | Average | 701.2 kHz | | -66.88 dBm | 16:33 (500 회) |
| | | | | | 40.11 dB μ V | |
| | | | | | 205.1 pW | |
| 764.8 kHz | 3 k / 3 k | Average | 701.2 kHz | | -68.08 dBm | 16:36 (500 회) |
| | | | | | 38.91 dB μ V | |
| | | | | | 155.6 pW | |

(표 5.31)에서 측정실험 내용은 다음과 같다.

- AM 신호의 전계강도 측정
- RBW의 변화에 따른 전계강도 측정값의 변화
- 측정모드의 선택
- AM 신호간의 전계강도 측정값의 비교
- 측정회수의 결정

대전분소의 측정에서는 중심주파수 766.5 kHz, 764.8 kHz의 AM 방송의 전계강도를 측정하였다. AM 방송의 주파수대에는 많은 신호가 밀집되어 있고, 스푸리어스, 잡음레벨에 의한 영향이 다른 주파수 대에 비하여 크므로 정확한 전계강도의 측정이 더욱 어렵다. 주파수가 밀집되어 있어서 RBW가 너무 클 경우, 다른 신호의 전계강도가 영향을 미칠

확률이 다른 주파수대에 비하여 크다. RBW의 변화 측정실험에서 RBW가 3 kHz 이상인 경우, 측정값의 변화가 크지 않았다. 766.5 kHz의 신호와 764.8 kHz의 신호간의 전계강도 측정값의 차이가 크지 않았다. AM 방송의 경우, FM 신호와 마찬가지로 시간에 따라 연속적으로 사용되고 있는 전파형식이므로 평균 측정모드가 적합하다. AM 신호의 경우, 신호레벨이 FM 방송 등에 비하여 현저히 낮다. AM 신호가 잡음레벨에 의하여 스펙트럼에서 보이지 않을 수 있으므로, CRT 기준레벨과 내부감쇠 정도를 잘 조정해 주어야한다. 본 실험에서는 내부감쇠를 0 dB로 하고, CRT 기준레벨은 -30 dB로 하였다.

이러한 측정결과, AM 방송의 경우 RBW는 3 kHz 또는 10 kHz가 적당하다고 생각된다 측정모드는 평균측정모드가 적합하다. 측정회수는 FM 방송과 같이 500회 또는 1000회의 측정이 적당하다고 생각된다. 감쇠레벨을 잘 조정해주어야 하며, 내부 감쇠는 최대한 낮게 해주는 것이 좋다고 생각된다. AM 방송 주파수대의 잡음레벨이 크므로 측정값의 정확도가 다른 전파형식에 비하여 떨어질 수 있다.

○ 서울 분소에서의 전계강도 측정

10월 20일에서 10월 23일간 서울분소에서 실시된 측정에서 AM 라디오 방송에 대하여서도 측정하였다. 대전분소와 서울분소의 측정을 바탕으로 AM 라디오 방송의 전계강도 측정방법을 제시할 수 있을 것으로 기대 된다.

(표 5.32)는 10월 22일 AM 라디오 방송 신호인 711 kHz 신호의 전계강도를 측정하고 실험한 것이고, (표 5.33)은 10월 23일 측정한 것이다. 측정일에 따라 신호의 전계강도가 달라질 수 있는가를 알아보는 실험에 도움이 되도록 같은 주파수에 대하여 실험한 것이다.

(표 5.32) 711 kHz 신호의 전계강도 측정

(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정 모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전 계강도 |
|-----------|--------------------|-------------------|---------|------------|---------------|---|---------------------|
| 711 k | 1 kHz / 1 kHz | 14:15:36 (100) | average | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 39.50 dB μ V |
| 710.9 k | 10 kHz / 10 kHz | 14:19:02 (100) | average | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 40.58 dB μ V |
| 711 k | 1 kHz / 1 kHz | 15:51:15 (100) | average | 3 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 35.81 dB μ V |

(표 5.33) 711 kHz 신호의 전계강도 측정

(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정 모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전 계강도 |
|-----------|--------------------|-------------------|---------|------------|---------------|---|---------------------|
| 711 k | 1 kHz / 1 kHz | 10:30:41 (100) | average | 100 kHz | 305.0 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 41.96 dB μ V |
| 711 k | 10 kHz / 10 kHz | 10:33:50 (100) | average | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 43.70 dB μ V |
| 711 k | 10 kHz / 10 kHz | 10:37:16 (100) | average | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 43.82 dB μ V |
| 711 k | 10 kHz / 10 kHz | 13:59:25 (100) | average | 100 kHz | 30.48 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 37.88 dB μ V |

(표 5.34)는 711 kHz 신호와 같은 전파형식인 639 kHz 신호를 측정하여 AM 라디오 방송의 특성을 알고자 측정한 것이다.

(표 5.34) 639 kHz 신호의 전계강도 측정

(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정 모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-----------|--------------------|--------------------|---------|------------|---------------|---|---------------------|
| 639 k | 10 kHz / 10 kHz | 15:26:15 (1000) | average | 100 kHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | 54.74 dB μ V |

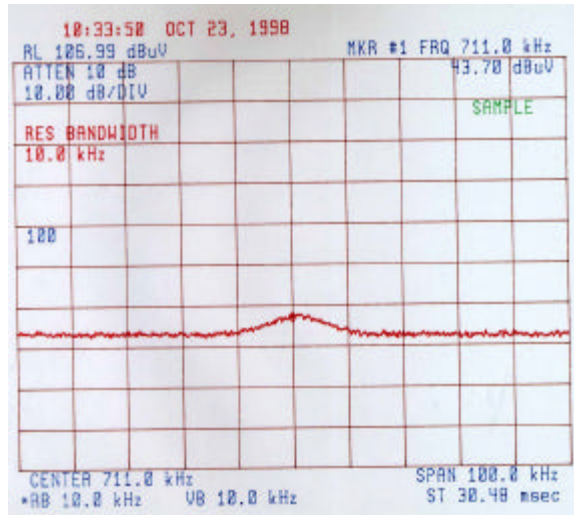
AM 신호는 FM 신호에 비하여 미약한 신호이다. 안테나에 따라 측정값이 711 kHz의 경우, 4.77 dB와 5.07 dB의 차이가 났으나, 711k 에 해당하는 안테나 계수 값이 없어서 안테나 계수를 고려한 분석을 할 수 없었다. AM 라디오 방송의 경우, 스펙트럼 분석기 상에서 RBW와 VBW가 10 kHz 정도 되는 것이 측정에 적합할 것으로 생각된다. 서울 분소에서 100 회 정도 측정한 후 평균을 구하면 평균값의 변화가 거의 없었으나, 좀더 신뢰도를 확보하고 다른 감시국소에서의 측정 (대전분소) 과 비교할 때, 1000회가 측정회수로서 적당하다고 생각된다. 측정모드는 FM 신호와 마찬가지로 평균모드가 적당하다고 생각된다. 측정 파라미터를 결정함에 있어서 측정시간이 10 ms 에 가깝게 되도록 결정하는 것이 좋다. 주파수 측정영역은 100 kHz 정도이면 측정하기에 적합하다. 신호가 미약하기 때문에 감쇄를 줄이고, 기준레벨을 낮추는 작업이 필요하다.

이러한 측정분석 결과를 바탕으로 AM 신호의 경우 측정 파라미터는 다음과 같이 측정하는 것이 적당하다고 생각된다.

- RBW/VBW : 10 kHz
- span : 100 kHz
- 측정모드 : 평균모드
- 측정회수 : 1000 회
- 감쇄 : 0 dB
- 기준레벨 : -30 dBm

- 기타 측정파라미터 : 자동모드

(그림 5.32)는 711 kHz 신호를 위의 측정조건에 맞도록 측정한 그림이다.

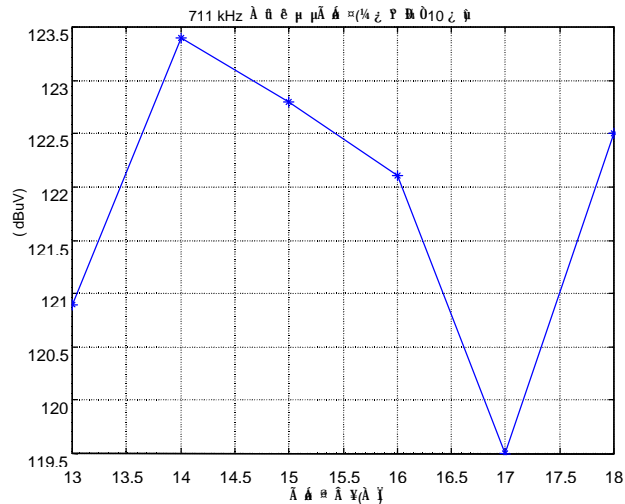


(그림 5.35) 711 kHz 신호의 전계강도
측정 (서울분소)

나. AM 신호의 날짜별 전계강도의 변화 측정실험

(그림 5.33)은 711 kHz 신호의 날짜별 전계강도 변화이다. (그림 5.33)에서 측정값의 변화 범위가 4 dB 정도이다.

FM 방송의 경우, 전계강도의 날짜별 변화분석 결과를 살펴보면 측정 오차는 대략 2 dB 정도이고, AM 방송의 경우 4 dB 정도이다. 이와 같이 날짜별 전계강도 그래프를 그림으로써 전계강도의 연간 또는 월간 평균적인 그래프를 그리고, 오차 범위 (예를 들어 FM 방송의 경우 2 dB, AM 방송의 경우, 4 dB) 이상일 경우, 직접 측정하는 등의 조치를 취하는 등의 방법으로 감시국소에서 출력의 위규여부를 판단하는 근거로 삼는다.



(그림 5.36) 711 kHz 신호의 날짜별 전계강도

4. 무선평출 신호 (16K0F2D)의 전계강도 측정

무선평출 신호의 전계강도 측정방법을 위하여 측정조건은 위의 여러 다른 전파형식과 마찬가지로 대전분소와 서울분소에서 측정하였다. 측정 장비도 다른 전파형식에서의 측정과 같은 장비를 사용하였다.

○ 대전분소에서의 측정실험

(표 5.35)는 무선평출 신호의 전계강도를 대전분소에서 측정한 측정내용이다.

(표 5.35) 325.898 MHz 무선호출 신호의 전계강도 측정

(8월 26일 : 대전 분소)

| Center frequency | RBW/VBW | 측정 모드 | Span | Sweep Time | 전계강도 | 측정시간 (측정회수) |
|------------------|---------------|----------|-------|------------|------------------|---------------------------|
| 325.898 MHz | 30 k / 30 k | Max-hold | 3 MHz | 10.16 msec | -52.39 dBm | 15:00 - 15:03 |
| | | | | | 54.60 dB μ V | |
| | | | | | 5.768 nW | |
| | | | | | | |
| 325.898 MHz | 42.2 k / 30 k | Max-hold | 3 MHz | | -52.83 dBm | 15:05 - 15:08 |
| | | | | | 54.16 dB μ V | |
| | | | | | 5.212 nW | |
| | | | | | | |
| 325.898 MHz | 51.1 k / 30 k | Max-hold | 3 MHz | | -52.62 dBm | 15:53.36 - 15:56.36 |
| | | | | | 54.37 dB μ V | |
| | | | | | 5.470 nW | |
| | | | | | | |

(표 5.35)의 측정은 다음과 같은 고려사항을 중심을 측정된 것이다.

- RBW의 변화에 따른 전계강도 측정값의 변화
- 측정모드의 결정
- 측정시간의 결정

(표 5.30)의 측정실험을 분석하면 다음과 같다.

- 시간에 따라 연속적으로 사용되는 신호가 아니다.
- 시간에 따라 연속적으로 신호를 발사하는 FM 신호에 비하여 측정하기 어려운 점이 있다.
- 사용하는 시간대가 일정하지 않다.
- RBW는 30 kHz 이상일 경우, 전계강도 값이 크게 변화하지 않았다.
- 측정 모드는 무선호출 신호의 시간에 따른 특성상, FM 신호에서와

같이 평균 측정모드를 사용하는 것이 적합한지에 대한 실험이 더욱 필요하다.

- 시간에 따라 연속적으로 발사되지 않는 신호에 대하여 무선평출과 같은 측정모드 등을 적용할 수 있을 것으로 생각된다.
- 무선평출의 전계강도 측정에서는 최대치모드가 적합하다고 생각된다.
- 측정시간은 신호가 얼마동안, 발사되고 있는가에 따라 좌우되며, 정확한 측정시간을 결정하기 어렵다.
- 이러한 종류의 전파형식에서 전계강도를 측정할 때, 측정시간은 최대한 많이 하는 것이 좋다고 생각된다.
- 신호가 일정기간 동안 발사되고 있을 경우, 측정시간은 대략 3분 ~ 5분이 적당하다고 생각된다.

이러한 측정결과를 바탕으로 스펙트럼 분석기를 이용한 무선평출 신호의 전계강도 측정에서 RBW와 VBW는 각각 30 kHz가 적당하다고 생각된다. 측정모드는 최대치 모드가 평균모드에 비하여 측정에 적합하다. 측정시간은 신호가 발사되는 동안, 약 3분에서 5분이 적당하다고 생각된다.

○ 서울분소에서의 전계강도 측정

(표 5.36)은 서울분소에서의 무선평출 전계강도 측정실험 가운데 10월 21일 322.050 MHz 신호의 전계강도를 측정한 것이다.

(표 5.36) 322.050 MHz 신호의 전계강도 측정
(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|--------------|--------------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|---------------|
| 322.050 M | 1 kHz / 1 kHz | 13:51:52 | Max hold | 100 kHz | 305.0 msec | Vertical dipole (direct 연결) | -89.14 dBm |
| 322.050 M | 10 kHz / 10 kHz | 13:57:34 | Max hold | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 113.0 pW |

(표 5.37)는 322.050 MHz 신호의 전계강도를 서울분소에서 10월 23일 측정 한 내용이다.

(표 5.37) 322.050 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|--------------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|-------------|
| 322.05 M | 1 kHz / 1 kHz | 11:20:04 | Max hold | 100 kHz | 305 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 3.141 pW |
| 322.05 M | 10 kHz / 10 kHz | 11:25:26 | Max hold | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 100.5 pW |

(표 5.38)은 10월 22일 322.8211 MHz 신호를 10월 22일 측정한 내용이고, (표 5.39)는 324.87 MHz 신호의 전계강도를 10월 22일 측정내용이다.

(표 5.38) 322.050 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|----------------|--------------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 322.821 1 M | 1 kHz / 1 kHz | 13:16:56 | Max hold | 100 kHz | 305.0 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 54.47 dB μ V |
| 322.821 1 M | 30 kHz / 30 kHz | 13:20:51 | Max hold | 300 kHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 62.83 dB μ V |
| 322.821 1 M | 3 kHz / 3 kHz | 13:32:46 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 63.35 dB μ V |

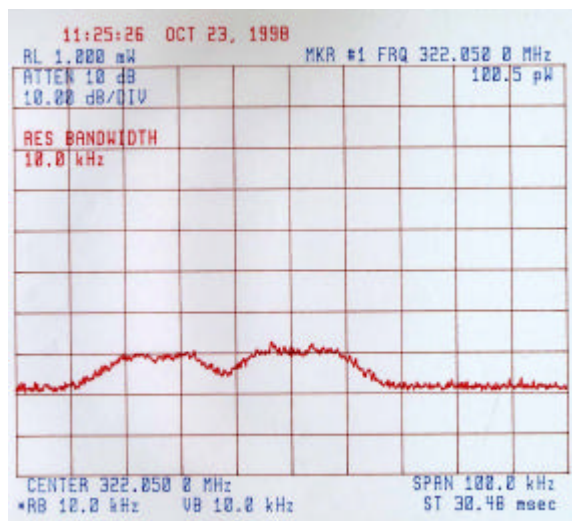
(표 5.39) 324.87 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|------------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 324.87 M | 3 kHz / 3 kHz | 13:26:24 | Max hold | 10 MHz | 3.333 sec | Vertical dipole (direct 연결) | 64.49 dB μ V |

무선호출 신호에 대한 측정을 바탕으로 분석하면, 무선호출 신호는 시간에 따라 연속적으로 이용되지 않기 때문에 최대치 모드를 이용하여 전계강도를 측정하는 것이 적당하다. RBW와 VBW는 10 kHz, 측정영역은 100 kHz가 적당하다. 무선호출 신호는 시간에 따라 연속적인 것은 아니지만 자주 신호가 계속적으로 발생되므로 약 3 분간의 최대치 모드를 이용한 측정이 적당할 것으로 생각된다. 이러한, 측정결과는 대전분소에서의 측정결과와 비슷하다고 할 수 있다.

(그림 5.34)는 무선호출 신호 가운데 322.05 MHz 신호에 대하여 위에서 제시된 방법으로 측정된 그림이다.



(그림 5.37) 322.05 MHz 신호의 전계강도 측정 (서울분소)

5. 일반무선국 신호 (16K0F3E)의 전계강도 측정실험

일반무선국 신호의 측정은 주로 서울분소에서 측정되었다. 여러 가지 일반 무선국이 존재하지만, 그 중에서 서울분소 주변에 위치한 일반무선국들을 중심으로 측정하기 위하여 측정한 것이다.

(표 5.40)은 일반무선국 신호 가운데 151.86 MHz의 중심주파수를 가진 신호를 서울분소에서 10월 21일 측정한 것이고, (표 5.41)은 같은 주파수의 신호를 10월 22일 측정한 것이다. 또한 (표 5.42)는 같은 신호를 10월 23일 측정한 것이다.

(표 5.40) 151.86 MHz 신호의 전계강도 측정실험
(10월 21일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|--------------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 151.86 M | 30 kHz / 30 kHz | 13:03:22 | Max hold | 100 kHz | 10.16 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 1.629 nW |
| 151.86 M | 10 kHz / 10 kHz | 12:54:39 | Max hold | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 130.3 pW |
| 151.86 M | 10 kHz / 10 kHz | 12:51:01 | Max hold | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 53.21 pW |
| 151.86 M | 1 kHz / 1 kHz | 12:40:41 | Max hold | 100 kHz | 305.0 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 24.19 dB μ V |

(표 5.41) 151.86 MHz 신호의 전계강도 측정실험
(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|--------------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|---------------------|
| 151.86 M | 3 kHz / 3 kHz | 12:18:19 | Max hold | 300 kHz | 101.7 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 35.74 dB μ V |
| 151.86 M | 10 kHz / 10 kHz | 13:03:47 | Max hold | 300 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 43.17 dB μ V |

(표 5.42) 151.86 MHz 신호의 전계강도 측정실험

(10월 23일 : 서울분소)

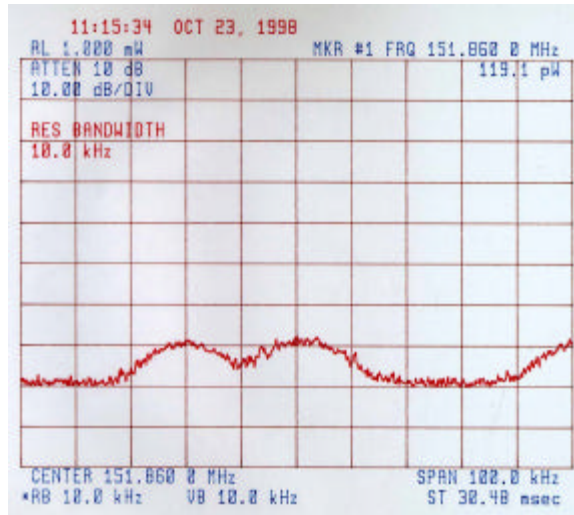
| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정 모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|-----------------|----------------|-------------|------------|---------------|-----------------------------------|-------------|
| 151.86 M | 1.62 M / 3 M | 11:11:10 | Max hold | 152 kHz | 188.2 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 18.71 pW |
| 151.86 M | 10 k / 10 k | 11:15:34 | Max hold | 100 kHz | 30.48 msec | Vertical dipole (direct 연결) | 119.1 pW |

이 측정신호는 서울분소로부터 7 km 떨어진 일반무선국의 송신신호이다. 시간에 따라 계속적으로 사용하는 신호가 아니어서 평균모드를 이용할 수 없다. 그러므로 측정모드는 최대치 모드가 적당하다. 측정시간의 결정은 신호가 사용되는 동안으로 제한되므로 정확히 얼마동안의 기간이라고 결정하기 어렵다. 측정실험에서의 결과로부터 대체적으로 RBW와 VBW는 30 kHz 정도가 적당하다고 생각된다. 측정영역은 300 kHz가 적당하다고 생각된다. 이 일반무선국 신호의 거리와 방위각 (30°)을 알고 있고, 이 무선국의 출력 (10 W)을 알고 있으므로 거리와 측정값을 고려할 때, 측정값의 출력여부를 조사할 수 있다. 측정값에 거리와 방향뿐만 아니라 안테나의 높이, 지형 등에 의하여 영향을 받으므로 실제로 이러한 환경을 모두 고려하는 것은 어렵다.

측정결과, 이 무선국 신호의 측정파라미터는 다음과 같이 하는 것이 적당하다.

- RBW/VBW : 30 kHz
- 측정영역 : 300 kHz
- 감쇄 : 0 dB
- 기준레벨 : - 30 dBm
- 측정모드 : 최대치
- 측정시간 : 신호가 사용되는 기간동안 5분 이상

무선국의 거리와 방향의 자료를 바탕으로 출력의 위규여부를 산출할 수 있으나, 여러 가지 전파환경들 (안테나 고도, 지형 등)의 영향을 고려해 주어야 하므로 복잡해진다. (그림 5.35)는 151.86 MHz 신호의 전계강도를 측정을 나타낸다.



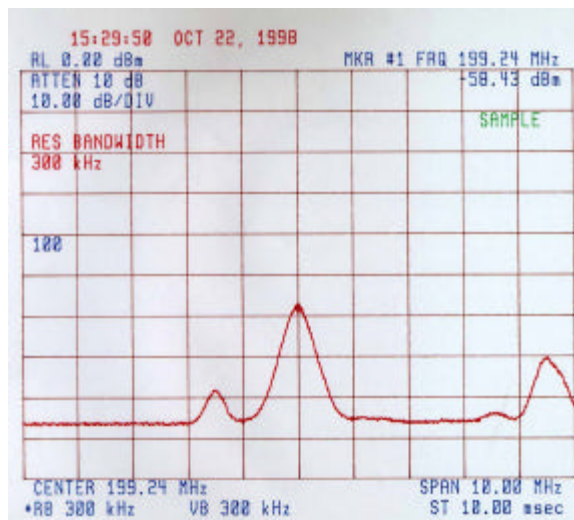
(그림 5.38) 151.86 MHz 신호의 전계강도
측정 (서울분소)

(표 5.43)은 199.24 MHz 신호의 전계강도 측정을 10월 22일 서울분소에서 측정한 내용이다. 이 신호는 항상 사용되는 신호이므로 측정모드가 평균모드가 되는 것이 좋다. RBW와 VBW의 변화에 따라 측정값이 달라짐이 적으나, 300 kHz일 때, 측정에 적합하다고 생각된다. 측정회수는 이번 실험에서는 100 회로 측정하였으나, 1000회 이상 측정하는 것이 보다 신뢰도를 높여 줄 것으로 기대된다. (그림 5.36)은 199.24 MHz 신호의 전계강도를 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 CRT 출력이다.

(표 5.43) 199.24 MHz 신호의 전계강도 측정

(10월 22일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|-------------------------|-------------------|---------|-----------|---------------|---|---------------|
| 199.24 M | 1 kHz / 1 kHz | 15:26:28 (100) | average | 10 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | -56.79 dBm |
| 199.24 M | 300 kHz / 300 kHz | 15:29:50 (100) | average | 10 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | -58.43 dBm |



(그림 5.39) 199.24 MHz 신호의 전계강도
측정 (서울분소)

(표 5.44)는 591.25 MHz 신호의 전계강도를 측정한 것이다. 199.24 MHz의 신호와 비슷한 성질을 가지고 있는 신호이다. RBW와 VBW는 3 kHz가 적당하고, 측정영역으로 300 kHz이면 충분하다.

(표 5.44) 591.25 MHz 신호의 전계강도 측정실험
(10월 23일 : 서울분소)

| 중심 주파수 | RBW/ VBW | 측정시간 (측정회수) | 측정모드 | span | sweep time | 안테나 (케이블) | 전계강도 |
|-------------|------------------|-------------------|---------|------------|---------------|---|---------------|
| 591.25 M | 3 kHz / 3 kHz | 13:28:24 (100) | average | 500 kHz | 166.6 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | -69.43 dBm |
| 591.25 M | 3 kHz / 3 kHz | 13:25:13 (100) | average | 500 kHz | 166.6 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | -71.70 dBm |
| 591.25 M | 1 MHz / 1 MHz | 13:32:48 (100) | average | 10 MHz | 10 msec | 바이코니컬 (지향 : 남) (수평 편향) (direct 연결) | -67.68 dBm |

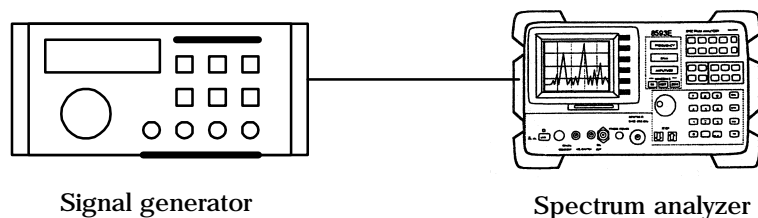
제 6 장 스퍼리어스 발사의 측정실험 및 분석

제 6 장 스푸리어스 발사의 측정실험 및 분석

스푸리어스 발사는 앞에서 언급한 바와 같이 감시국소에서 측정하기 어렵기 때문에 여러 가지 방법으로 스푸리어스 측정에 관한 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 스푸리어스 발사의 측정을 위하여 신호발생기를 이용한 스푸리어스 측정과 송신소 및 감시국소에서의 스푸리어스 측정을 하였고, 이러한 실험결과를 기본으로 스푸리어스 발사의 효과적인 측정 방법을 연구하였다.

제 1 절 측정 시스템 구성 및 측정방법

스푸리어스 발사는 원거리에서의 측정에서는 측정이 용이하지 않기 때문에 신호발생기를 이용한 (그림 6.1)과 같은 측정 실험시스템을 구성하여 신호발생기에서 나오는 신호의 주파수와 신호의 세기를 바꾸어주면서 스푸리어스 발사가 어떻게 변하는가를 측정하였다. 또한, 송신소 부근에서의 측정과 감시국소에서의 측정을 해봄으로써 실제로 송신되는 신호의 스푸리어스가 어떻게 측정되고 있는가를 연구하였다.



(그림 6.1) 스푸리어스 측정을 위한 실험장비 구성

다음은 스푸리어스 측정을 위한 실험계획이다. 신호발생기를 이용한 측정의 경우, 측정 대상 신호는 ITU-R에 규정되어 있는 주파수 대역의 구분마다 임의의 주파수들을 선택하여 측정하였다. 송신소 및 감시국소

의 측정에서는 가장 큰 신호의 크기를 가진 전파형식 중의 하나인 FM 방송 신호와 HF 대역의 신호를 측정하였다. 낮은 출력을 가진 신호에 대하여 전파환경에서 측정하는 것이 어렵기 때문에 측정 실험에서 일반 무선국, CDMA 방식 신호들은 측정하지 않았다.

1. 신호발생기를 이용한 측정방법

- 신호발생기와 측정장비를 연결한다.
- 신호발생기에서 일정한 주파수의 신호를 발생시킨다.
- 주파수 스펙트럼의 측정대역을 넓게 스퓨리어스 성분을 측정한다.
- 신호발생기의 신호 크기를 변화시키고, 스퓨리어스의 변화를 측정한다.

2. 송신국소 및 감시국소에서 측정방법

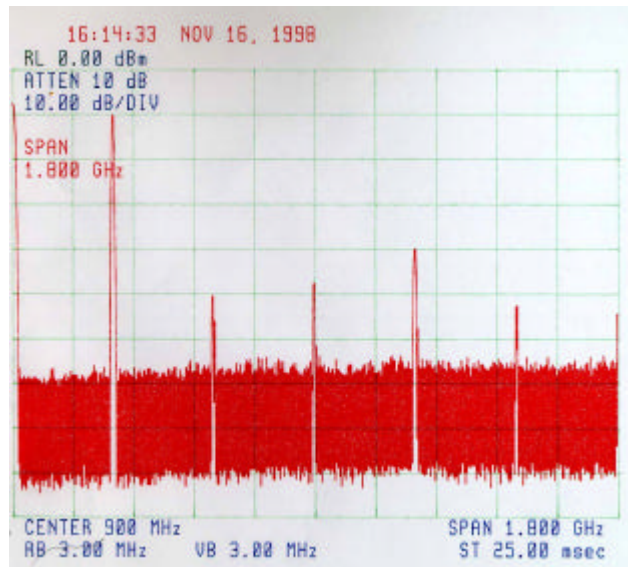
- 송신국소에서 발사되는 신호의 기본파를 측정한다.
- 주파수의 측정대역을 크게 하여 스퓨리어스 성분을 찾는다.
- 스퓨리어스 신호의 주파수 대역에서 스퓨리어스 발사의 전계강도를 측정한다.
- 기본파 성분의 전계강도와 스퓨리어스 발사의 전계강도를 비교한다.

제 2 절 측정실험 결과 및 분석

1. 신호발생기를 이용한 측정실험

먼저 스펙트럼 분석기의 내부 보정신호를 이용하여 스펙트럼 분석기가 스퓨리어스 발사를 측정하는가를 (표 6.1)과 같이 실험하였다. 측정신호는 300 MHz의 중심주파수를 가진 스펙트럼 분석기 자체의 보정신호로서 무변조 신호이다. 외부 환경을 거치지 않으므로 고조파 스퓨리어스를 정확하게 살펴볼 수 있다. 기본파의 전계강도가 97.54 dB μ V이다. (그림 6.2)에서 300 MHz 보정신호의 고조파 스펙트럼 분포를 보면, 300 MHz의 간격으로 고조파가 발생한다. 이 실험에서는 1/N 주파수에서 발

생하는 스퓨리어스 발사성분을 측정할 수 없었다. (그림 6.2)에서 제 3 고조파가 가장 크다. 가장 큰 고조파와 기본파의 dB 차이는 30 dB이다. 측정에서 제 5 고조파까지의 고조파를 관찰할 수 있다.



(그림 6.2) 스펙트럼 분석기 내부 보정신호 (300 MHz)의 스퓨리어스 발사

300 MHz 스펙트럼 분석기의 보정신호의 측정에서 RBW와 VBW의 변화에 따라 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다. 스펙트럼 분석기의 보정신호의 1차 고조파의 전계강도를 측정하면 기본파와 비교하여 40.64 dB의 차이가 난다. 스퓨리어스 발사의 측정조건은 기본파를 측정하는 경우와 같게 하였다. 이렇게 외부의 전파환경을 거치지 않은 신호에 대한 스퓨리어스 발사성분은 비교적 측정이 잘됨을 알 수 있었고, 스펙트럼 분석기를 이용하여 스퓨리어스 발사의 측정이 이루어질 수 있음을 알 수 있었다.

(표 6.1) 스펙트럼 분석기의 보정신호의 스퓨리어스 측정

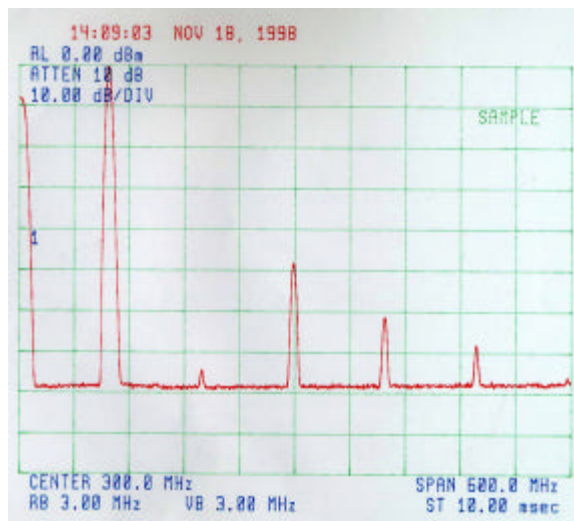
| center (Marker) | span | RBW / VBW | Sweep time | Reference level | Attenuat ion | 측정시간 (측정회수) | 전계강도 (대역폭) |
|--------------------|------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|---------------------|
| 300 MHz | 1 MHz | 100 k / 100 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:24:16 (100) | 97.54 dB μ V |
| 900 MHz | 1.8 GHz | 3 MHz / 3 MHz | 25 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:14:33 | |
| 300 MHz | 1 MHz | 10 k / 10 k | 30.48 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:20:56 (100) | 97.43 dB μ V |

(표 6.2)는 신호발생기를 이용한 스퓨리어스 측정 실험을 한 것이다. (그림 6.1)의 실험구성과도 같이 신호 발생기를 이용하여 100 MHz 신호와 300 MHz 신호를 발생시켜서 스펙트럼 분석기로 측정하였다. 측정에 이용한 신호는 각각의 주파수에서 무변조파 신호이다. 각각의 입력신호의 입력레벨을 0 dBm과 -10 dBm, -20 dBm으로 바꾸어 가면서 측정하였다. 측정결과, 입력레벨이 낮아지면 스퓨리어스는 급격히 감소된다. 300 MHz 신호의 경우, 기본파의 입력레벨이 -20 dBm 인 경우, 2 차 고조파 성분이외의 고조파가 모두 사라진다. 이 측정으로부터 송신소에서 거리가 떨어져서 측정이 이루어질수록 스퓨리어스 측정이 되지 않는다는 것을 유추할 수 있었다. 즉, 신호의 레벨은 거리에 따른 감쇠에 의하여 낮아지기 때문에 거리가 먼 상태에서 측정할 수 밖에 없는 감시국소에서는 스퓨리어스 발사를 측정하기 어려운 것이다. 신호의 입력레벨이 0 dBm 일 때, 100 MHz 신호의 경우, 가장 큰 전력을 갖는 스퓨리어스 신호는 기본파와 50 dB의 차이가 나며, 300 MHz 신호의 경우, 기본파와 스퓨리어스 발사간의 전계강도 차이가 40 dB 정도의 차이이다.

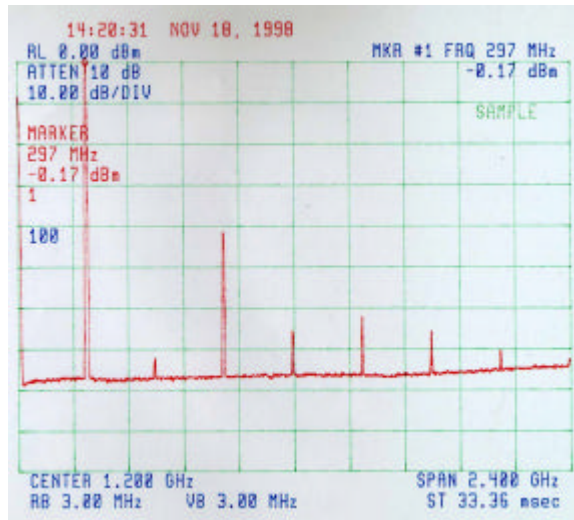
(표 6.2) 신호발생기를 이용한 스퓨리어스 발사 측정실험

| center (Marker) | span | RBW/ VBW | Sweep time | 기준레벨 | 감쇠 | 측정시간 (측정회수) | 전계강도 (대역폭) |
|--------------------|---------|--------------|---------------|-------|-------|-------------------|--------------------|
| 300 MHz | 600 MHz | 3 M / 3 M | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:09:03 (100) | 기본파레벨 (0 dBm) |
| 300 MHz | 600 MHz | 3 M / 3 M | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:11:45 (100) | 기본파레벨 (-20 dBm) |
| 300 MHz | 300 MHz | 3 M / 3 M | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:11:45 (100) | 기본파레벨 (-10 dBm) |
| 1.2 GHz | 2.4 GHz | 3 M / 3 M | 33.36 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:20:31 (100) | 기본파레벨 (0 dBm) |
| 1.2 GHz | 2.4 GHz | 3 M / 3 M | 33.36 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:26:31 (100) | 2고조파 -42.03 dB |
| 1.2 GHz | 2.4 GHz | 3 M / 3 M | 33.36 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:20:31 (100) | 기본파레벨 (-10 dBm) |
| 1.2 GHz | 2.4 GHz | 3 M / 3 M | 33.36 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:20:31 (100) | 기본파레벨 (-20 dBm) |

(그림 6.3)은 100 MHz 신호의 스퓨리어스 발사를 측정한 것이고, (그림 6.4)는 300 MHz 신호의 스퓨리어스 발사를 측정한 것이다.



(그림 6.3) 100 MHz 신호의 스퓨리어스 발사 측정 실험 (신호발생기 : 대전분소)



(그림 6.4) 300 MHz 신호의 스퓨리어스
발사 측정 실험 (신호발생기 : 대전분소)

2. 송신소와 감시국소에서의 FM 신호의 스퓨리어스 발사 측정

실제 전파환경에서 측정되는 신호의 스퓨리어스를 측정하고자 감시국소와 송신소에서 FM 신호를 측정하였다. 11월 16일 대전분소에서 FM 방송을 측정하고, 11월 17일 대전 식장산 송신소에서 같은 FM 방송 및 무선평신 신호를 측정하였다. 측정장비로 스펙트럼 분석기를 이용하였고, 측정 안테나는 수직 다이폴 안테나를 이용하였다.

가. 감시국소에서의 스퓨리어스 발사 측정실험

(표 6.3)은 감시국소에서 스퓨리어스 발사를 위하여 측정된 FM 신호의 측정이다.

측정일에 97.5 MHz FM 라디오 방송 신호 (대전 MBC FM 방송)의 대역폭 측정한 결과 26 dB 대역폭이 288.1 kHz로 일반적인 측정에서보다 넓게 측정되었다. 이 측정은 기본파의 모양을 참고하기 위한 측정이다.

(표 6.3) 감시국소에서의 FM 신호의 스퓨리어스 발사 측정
(11월 16일 : 대전분소)

| center (Marker) | span | RBW / VBW | Sweep time | Reference level | Attenuat ion | 측정시간 (측정회수) | 전계강도 (대역폭) |
|--------------------------|-----------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------|
| 97.5 MHz (97.5 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:41:08 (1000) | -27.03 dBm |
| 96.625 MHz | 3 MHz | 30 k / 30 k | 10.16 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:55:10 (1000) | -87.71 dBm |
| 195 MHz | 3 MHz | 30 k / 30 k | 10.16 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:58:23 (100) | -90.66 dBm |
| 196 MHz | 40 MHz | 422 k / 1 M | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 17:01:26 (100) | -90.32 dBm |
| 181.23 MHz | 10 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 17:08:25 (100) | -56 dBm |
| 90.5 MHz (90.89 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 17:24:33 (100) | -73.59 dBm |
| 185.753 M (185.753 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 17:29:27 (100) | -60.30 dBm |
| 92.8 MHz (92.875 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 17:33:34 (100) | -39.82 |
| 93.3 MHz (93.3 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 17:37:09 (100) | -23.65 dBm |
| 92.5 MHz (92.5 M) | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 17:42:29 (100) | -29.45 dBm |
| 294 MHz | 60 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 17:46:34 (100) | -91.99 dBm |

기본파의 전계강도를 알기 위하여 97.5 MHz 신호의 전계강도 측정하였다. 앞에서 언급된 FM 라디오 방송 신호의 전계강도 측정을 위한 측정조건을 적용하였다. 이 신호의 대역폭이 넓기 때문에 300 kHz의 RBW 가 적당하다. 측정된 전계강도는 -27.03 dBm이다.

$97.5 \times 2 = 195$ MHz에서 신호발생기의 실험결과와 마찬가지로 97.5 MHz의 고조파가 발생해야 한다. 그러나, 스펙트럼 분석기에 195 MHz에서 어떠한 파도 나타나지 않았다. 스펙트럼 분석기 디스플레이의 기본

레벨을 낮추어 줌으로 193.25 MHz에서 미약한 신호가 발생함을 측정하였다. 그러나, 이 신호가 97.5 MHz 신호의 영향으로 발생한 것인지는 확인하기 어려웠다. 193.25 MHz의 절반이 되는 지점의 스펙트럼이 어떻게 분포하는가에 대하여 조사하기로 하였다. 측정한 결과, 193.25 MHz 측정 주파수의 1/2이 되는 지점에서 특별한 신호가 존재하지 않았다. 실제 환경의 측정이므로 페이딩의 영향에 의하여 주파수의 이동이 일어날 수 있으나, 측정결과를 분석할 때, 193.25 MHz의 신호가 96,625 MHz 주변의 신호에 의한 스푸리어스 신호라고 보기 어렵다.

다시 97.5 MHz의 2 배가 되는 주파수 지점에서 스펙트럼 측정하였다. 그러나, 아무런 신호도 발생하지 않는다. 미약한 신호라도 검출하기 위하여 CRT 상의 레벨기준과 스펙트럼 분석기의 감쇠율 등을 조절하였으나, 역시 신호를 감지할 수 없었다. 송신소와 다소 먼 거리의 측정이므로 전파환경의 영향으로 스푸리어스가 소멸되었다는 결론을 얻을 수 있었다. 이 결과는 신호발생기를 이용한 실험에서 유추한 결과와 같은 결과이다. 그러나, 안테나의 위치가 높고, 고이득과 세밀한 지향성을 갖는 안테나로 측정한 결과가 아니므로 감시국소에서 FM 방송 신호의 스푸리어스가 전혀 측정되지 않는다고 확신할 수는 없었다. 실제로 운영자의 설명으로는 가끔씩 스푸리어스 성분이 측정되기도 한다고 하였다.

FM 라디오 방송 대역의 2 배 되는 지역의 스펙트럼 분포를 전체적으로 살펴봄으로써 과연 FM 신호의 고조파가 측정되는가를 살펴보았다. 그 측정결과는 (그림 6.5)이다. 측정결과 감지된 신호를 확대하여 다시 1/2 주파수 대역을 살펴봄으로써 해당 주파수대역에 기본파가 존재하는가를 측정하였다. 중심주파수보다 작은 대역에서 3 개의 신호가 측정되었다. 가장 작은 신호는 193.25 MHz 의 신호이다.

(그림 6.5)의 FM 라디오 방송 대역의 2 배 되는 지역의 스펙트럼 분포 측정에서 가장 낮은 주파수에서 존재한 신호를 측정하였다. 이 신호의 중심주파수는 181.23 MHz 이다. 이 신호의 전계강도는 -56.25 dBm 이다. 이 신호가 어떤 FM 방송대 신호의 2 배 주파수 신호라면, FM 방송 대역의 주파수는 대략 90.5 MHz가 된다. 그러나, 이 주파수 대역의

스펙트럼 분포로 볼 때, 이 신호의 대역에서 181.23 MHz 신호의 기본파가 존재한다고 생각하기 어렵다. 이 주파수대역의 어떤 신호의 레벨도 181.23 MHz 신호의 레벨보다는 낮다. 기본파보다 더 큰 전력을 갖는 스퓨리어스는 없으므로 181.23 MHz와 관계되어 기본파로 간주되는 신호는 없다고 볼 수 있다.

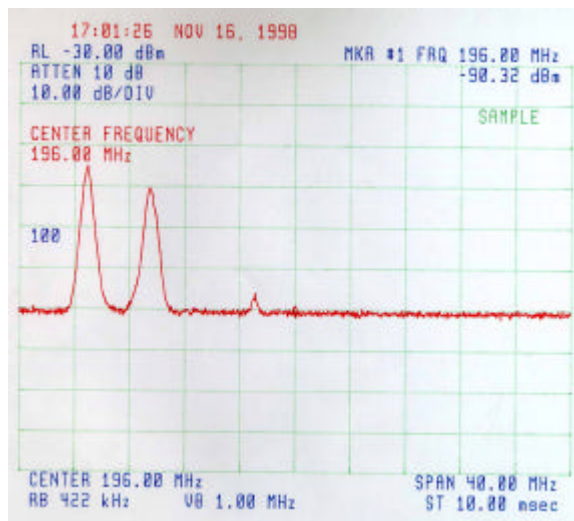
마커가 가리키는 주파수가 90.5 MHz의 영역을 포함하는 신호의 중심이 되는 주파수인 90.89 MHz 이다. 마커가 가리키는 주파수의 전계강도가 181.23 MHz의 신호의 전계강도보다 작으므로 이 신호가 181.23 MHz 신호와 관계된다고 생각하기 어렵다.

(그림 6.5)의 FM 라디오 방송 대역의 2 배 되는 지역의 스펙트럼 분포 측정에서 왼쪽에서 2번째 스펙트럼 상에서 측정되는 신호를 측정하였다. 이 신호에 대한 기본파의 측정이 이루어지지 않을 경우, 실험에서 사용한 장비를 가지고 대전분소에서 FM 라디오 방송의 스퓨리어스 성분은 측정하기 어렵다고 가정할 수 있다. 이 신호의 1/2 배 되는 중심주파수는 92.8 MHz 부근의 신호이다. 92.8 MHz는 특별한 신호 성분이 존재하지 않는다. 근처의 FM 라디오 방송의 주파수는 각각 92.5 MHz와 93.3 MHz 이다. 이 결과로 볼 때, 92.8 MHz를 중심주파수로 갖는 신호가 없으므로 역시 185.753 MHz 의 기본파가 FM 라디오 방송파라고 하기 어렵다.

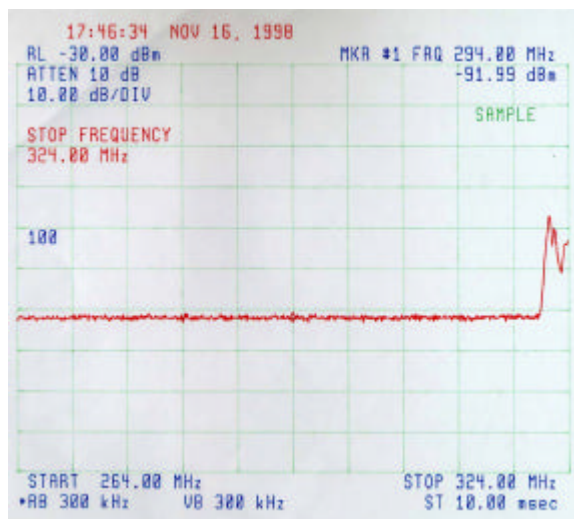
FM 라디오 방송 대역의 2 배 되는 지역의 스펙트럼 분포 측정에서 스퓨리어스 발사를 측정할 수 없었으므로, FM 라디오 방송 신호의 3 배가 되는 주파수 대역의 스펙트럼 분포를 측정하였다. FM 주파수의 2 배가 되는 주파수 대역과 마찬가지로 FM 방송파의 3 배가 되는 스퓨리어스가 존재한다고 보기 어렵다.

실험에서 사용한 장비로는 대전분소에서는 FM 라디오방송의 스퓨리어스 성분을 측정할 수 없었다. 안테나 높이가 더 높은 지역에서 측정되고, 지향성 안테나가 송신소방향으로 설치된다면 측정될 수도 있을 것으로 생각된다.

(그림 6.6)은 FM 신호의 3 배 주파수 대역의 스펙트럼 분포이다.



(그림 6.5) FM 신호의 2 배 주파수
대역의 스펙트럼 분포 (대전분소)



(그림 6.6) FM 신호의 3 배 주파수
대역의 스펙트럼 분포 (대전분소)

나. 송신소에서의 스푸리어스 발사 측정실험

(표 6.4)는 대전 식장산 정상부근에서 식장산 송신소에서 발사되는 FM 라디오 방송 신호와 무선평출 신호의 전계강도 및 스푸리어스를 측정한 내용이다. 날씨가 좋지 않아서 측정환경은 좋지 않았으나, 송신소 부근의 측정에서는 스푸리어스 발사가 측정됨을 알 수 있었다. 기본파의 고조파 신호 스푸리어스 발사뿐만 아니라, 서로 비슷한 크기의 신호간의 상호변조도 일어남을 확인할 수 있었다. 측정장비는 대전분소에서의 측정과 마찬가지로 스펙트럼 분석기를 이용하였고, 측정안테나도 수직 다이폴 안테나를 이용하였다. 스푸리어스를 측정하는 장비면에서 스펙트럼 분석기 만으로는 측정이 용이하지 않으므로, 수신기와 같이 감청하면서 측정해야 한다는 것을 알 수 있었다.

먼저 대전분소에서의 측정과 마찬가지로 97.5 MHz 신호와 2 배되는 주파수인 195 MHz와 3 배 주파수인 292.5 MHz에서 기본파에 대한 스푸리어스 신호가 발생하는가에 대한 측정을 하였다. 스펙트럼의 분포만을 가지고는 195 MHz 주위의 신호와 292.5 MHz 주위의 신호가 97.5 MHz의 고조파 스푸리어스 성분인지 확신할 수 없다. 수신기를 이용하여 신호를 청취함으로써 기본파와 관련된 신호임을 파악할 수 있었다. 195 MHz 신호 대역과 292.5 MHz 대역이 사용되고 있지 않은 주파수 대역이므로, 고조파를 측정할 수 있었으나, 다른 신호들에 의하여 사용되는 주파수 대역인 경우, 측정이 용이하지 않다. 기본파와 스푸리어스 파의 전계강도를 비교할 때 대략 30 dB 정도의 차이가 난다.

이와 같은 측정을 통한 결과로부터 스푸리어스가 높게 측정되었을 때, 직접 송신기의 출력단에 측정장비를 연결하여 측정하는 것이 일반적인 감시방법이다. 감시국소에서는 스푸리어스를 측정하기 어려우므로 혼신여부를 측정하고자 할 경우, 혼신이 발생하는 지역에서의 측정이나, 송신소 부근의 측정만 가능하다고 생각된다. 또한, 송신기 종단에서의 정기적인 스푸리어스 측정이 필요하다고 생각된다.

(표 6.4) 송신소에서의 전계강도 측정 (11월 17일 : 식장산 송신소)

| center (Marker) | span | RBW/ VBW | Sweep time | Reference level | Attenu ation | 측정시간 (측정 회수) | 전계강도 (대역폭) |
|---------------------|------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|--------------------|---------------------|
| 195 MHz | 220 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:30:18 (200) | 31.38 dB μ V |
| 195 MHz (97.5 M) | 200 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:34:25 (200) | 67.33 dB μ V |
| 195 MHz (195 M) | 200 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:38:02 (200) | 35 dB μ V |
| 97.5 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:42:32 (200) | 78.72 dB μ V |
| 92.5 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:42:32 (200) | 74.13 dB μ V |
| 95.7 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:50:22 (200) | 72.70 dB μ V |
| 93.3 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:54:52 (200) | 67.16 dB μ V |
| 185 MHz | 3 MHz | 30 k / 30 k | 10.16 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:02:02 (200) | 31.21 dB μ V |
| 185 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:05:30 (200) | 31.48 dB μ V |
| 186.6 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:08:33 (200) | 25.26 dB μ V |
| 191.4 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:12:16 (200) | 34.47 dB μ V |
| 195 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:15:40 (200) | 48.43 dB μ V |
| 282.5 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:19:14 (200) | 34.76 dB μ V |
| 287.5 MHz | 3 MHz | 30 k / 30 k | 10.16 msec | 0 dBm | 10 dB | 14:25:25 (200) | 33.91 dB μ V |
| 287.5 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 15:08:29 (200) | 37.69 dB μ V |
| 287.5 MHz | 3 MHz | 100 k / 100 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 15:12:15 (200) | 39.11 dB μ V |
| 97.5 MHz | 1 MHz | 3 k / 3 k | 333.4 msec | 10 dBm | 10 dB | 15:26:12 (3 분) | 274 kHz (-26 dB) |
| 92.5 MHz | 1 MHz | 3 k / 3 k | 333.4 msec | 10 dBm | 10 dB | 15:30:03 (3 분) | |
| 93.3 MHz | 1 MHz | 3 k / 3 k | 333.4 msec | 0 dBm | 10 dB | 15:38:03 | 195 kHz (-26 dB) |

| center (Marker) | span | RBW/ VBW | Sweep time | Reference level | Attenu ation | 측정시간 (측정 회수) | 전계강도 (대역폭) |
|----------------------|------------|------------------|---------------|--------------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| 95.7 MHz | 1 MHz | 3 k / 3 k | 333.4 msec | 0 dBm | 10 dB | 13:30:18 (200) | 218 kHz (-26 dB) |
| 185 MHz | 1 MHz | 3 k / 3k | 333.4 msec | -30 dBm | 10 dB | 15:47:54 (Max-hold) | 28.63 dB μ V |
| 195 MHz | 1 MHz | 3 k / 3 k | 333.4 msec | -30 dBm | 10 dB | 15:51:18 (Max-hold) | 47.55 dB μ V |
| 195 MHz | 200 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 15:56:37 (Max-hold) | 49.80 dB μ V |
| 98 MHz (97.5 MHz) | 20 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:00:10 (Max-hold) | 79.53 dB μ V |
| 196 MHz (195 MHz) | 40 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:03:54 (Max-hold) | 48.57 dB μ V |
| 196 MHz (195 MHz) | 40 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:07:35 (100) | 42.19 dB μ V |
| 294 MHz | 60 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:11:12 (100) | |
| 294 MHz | 60 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:14:52 (Max-hold) | |
| 98 MHz | 20 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | 0 dBm | 10 dB | 16:19:14 (100) | |
| 280.7 MHz | 1 MHz | 300 k / 300 k | 333.4 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:22:37 (100) | 11.47 dB μ V |
| 283.9 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:26:04 (100) | 29.64 dB μ V |
| 285.7 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:29:26 (100) | 40.92 dB μ V |
| 288.3 MHz | 3 MHz | 300 k / 300 k | 10 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:33:00 (100) | 32.38 dB μ V |
| 150 MHz | 40 MHz | 30 k / 30 k | 133.4 msec | -30 dBm | 10 dB | 16:37:48 (max-hold) | |
| 325 MHz | 10 MHz | 10 k / 10 k | 300 msec | -10 dBm | 10 dB | 16:41:35 (max-hold) | |
| 650 MHz | 20 MHz | 10 k / 10 k | 600 msec | -10 dBm | 10 dB | 16:44:57 (max-hold) | |
| 278 MHz | 3 MHz | 300 kHz | 10 msec | -10 dBm | 10 dB | 16:48:18 (100) | 25.98 dB μ V |
| 288.9 MHz | 3 MHz | 300 kHz | 10 msec | -10 dBm | 10 dB | 16:51:48 (100) | 34.21 dB μ V |

97.5 MHz 신호의 스퓨리어스를 측정하면서 측정영역을 200 MHz로 한 상태에서 기본파의 전계강도를 측정하였다. FM 신호 기본파의 전계강도는 $67.33 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 그러나, 이렇게 측정할 경우, 측정의 정확도는 높지 않을 것으로 생각된다. 스펙트럼 분석기의 마커가 2 개 이상으로 늘어나지 않으므로 여러 개의 주파수에서 마커의 전계강도를 각각 측정하는 것이 불가능하다. 이러한 점이 스퓨리어스 측정을 위한 새로운 측정장비에 적용되어야 한다. 측정된 기본파의 1 차 고조파를 측정하면, $35 \text{ dB}\mu\text{V}$ 로서 기본파와의 차이는 $32.33 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 스퓨리어스 측정에서 기본파와의 기준 레벨오차인 40 dB에 비하여 현저히 낮은 차이가 나기 때문에 위규라고 판단할 수 있으나, 현재 법규상 직접 연결하지 않은 상태에서의 측정기준은 나와 있지 않다. 또한 다른 신호들에 의하여 스퓨리어스 측정 주파수의 신호레벨이 커질 수 있으므로 위규라고 판단하기 어려움이 있다.

보다 정확한 전계강도 측정값으로 기본파와 스퓨리어스 발사의 dB 차이를 측정하기 위하여 97.5 MHz 기본파의 전계강도 따로 측정하면, $78.72 \text{ dB}\mu\text{V}$ 로 전체적인 측정에서의 전계강도 측정값과 다른 값이 나왔는데, 이것은 스펙트럼 분석기의 샘플링 수와 관계가 있다고 생각된다. 따라서 정확한 전계강도 측정값을 얻기 위하여 측정영역을 줄여서 세밀하게 측정할 필요성이 있다는 것을 알 수 있었다.

92.5 MHz FM 신호 (대전 MBC 표준 FM)의 전계강도를 측정하면, $74.13 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 95.7 MHz FM 신호의 전계강도를 측정하면, $72.70 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이고, 93.3 MHz FM 신호의 전계강도를 측정하면, $67.16 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다.

92.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호는 92.5 MHz 신호의 2 배 주파수인 185 MHz의 신호로서 전계강도를 측정하면, $31.21 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 이 때, RBW 와 VBW가 30 kHz이다. RBW와 VBW 가 300 kHz일 때, 전계강도는 $31.48 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다.

93.3 MHz 신호의 1 차 고조파 신호의 전계강도를 측정하면, 186.6 MHz 신호로서 전계강도는 $25.26 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다. 거의 1 차 고조파 성분이

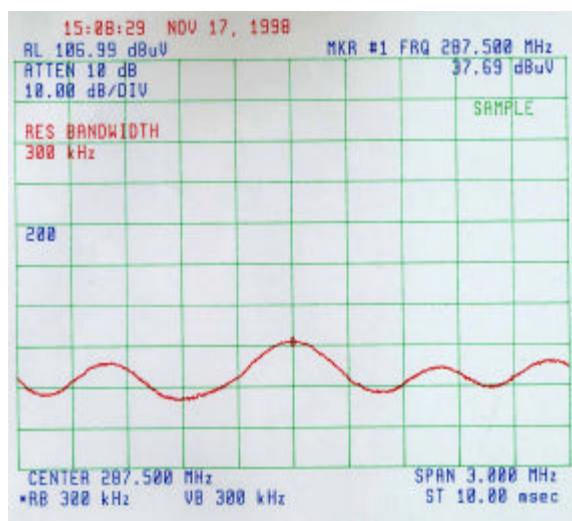
측정 안된다고 할 수 있다.

95.7 MHz 신호의 1 차 고조파 신호는 191.4 MHz 신호로서 전계강도를 측정하면, 34.47 dB μ V가 된다.

97.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호는 195 MHz 신호로서 전계강도를 측정하면, 48.43 dB μ V이다.

감시국소에서는 고조파 성분 이외에 혼변조 스퓨리어스도 발생하는데, 97.5 MHz 신호와 92.5 MHz 신호의 1 차 고조파의 혼변조 신호는 $97.5 + 2 \times 92.5 \text{ MHz} = 282.5 \text{ MHz}$ 로서 전계강도가 34.76 dB μ V이다.

또한, 92.5 MHz 신호와 97.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호의 혼변조 신호는 $92.5 + 2 \times 97.5 \text{ MHz} = 287.5 \text{ MHz}$ 로서, RBW와 VBW 가 30 kHz일 때, 전계강도는 33.91 dB μ V이다. (그림 6.7)은 이 신호의 전계강도를 RBW와 VBW 가 기본과의 측정과 같이 300 kHz로 설정하여 측정한 것으로 전계강도는 37.69 dB μ B이다.



(그림 6.7) 혼변조 신호의 전계강도 측정
(287.5 MHz : 식장산 송신소)

285.7 MHz 의 중심주파수를 갖는 신호를 측정할 수 있는데, 이 신호는 여러 가지 FM 방송 신호에 의한 스퓨리어스 신호라고 생각되며, 특히 95.7 MHz와 93.3 MHz 신호의 영향을 받은 신호라고 생각된다.

93.3 MHz 신호와 97.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호의 혼변조 스퓨리어스 전계강도를 측정하면, 두 신호의 혼변조에 의한 주파수는 288.3 MHz가 되고, 전계강도는 32.38 dB μ V 이다.

93.3 MHz 신호와 92.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호간의 혼변조의 주파수는 278.3 MHz이며, 측정된 전계강도는 25.98 dB μ V 평균모드의 측정으로 측정한 것으로서 측정회수는 100 회이다.

97.5 MHz 신호와 95.7 MHz 신호의 1 차 고조파 신호의 혼변조를 측정하면, 288.9 MHz의 주파수로서 측정된 전계강도는 34.21 dB μ V가 된다.

92.5 MHz 신호와 97.5 MHz 신호의 1 차 고조파 신호의 혼변조 신호인 287.5 MHz 의 신호를 RBW와 VBW가 100 kHz하여 측정하면 전계강도는 39.11 dB μ V가 된다. 이와 같은 측정에서 스퓨리어스 발사에 대한 측정에서 RBW나 VBW가 기본파의 측정에서보다 작아도 되나, 기본파와 같이 측정하여도 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

95.7 MHz 신호 성분과 92.5 MHz 신호의 1차 고조파 성분의 혼변조 스퓨리어스 전계강도를 측정하면, $95.7 + 2 \times 92.5 = 280.7$ MHz의 주파수에서 미약하지만, 두 신호의 혼변조에 의한 영향으로 스퓨리어스가 발생한다. 이 때, 전계강도는 11.47 dB μ V로 측정되었다.

92.5 MHz 신호 성분과 95.7 MHz 신호의 1차 고조파 성분의 혼변조 스퓨리어스 전계강도 측정하면, $92.5 + 2 \times 95.7 = 283.9$ MHz의 주파수에서 29.64 dB μ V의 전계강도 측정값을 얻을 수 있다. RBW와 VBW를 기본파의 전계강도를 측정할 때와 마찬가지로 300 kHz로 설정하였다.

이 측정실험에서, 97.5 MHz 신호의 -26 dB 대역폭 측정하면, -26 dB 대역폭이 274 kHz이며, 이것은 최대치 모드로 3 분간 측정된 것이다.

92.5 MHz 신호의 스펙트럼 분포를 알기 위하여 대역폭을 측정하면,

이 신호의 대역폭은 200 kHz를 넘지 않는다. 일반적으로 대전분소에서 대역폭 측정값이 200 kHz를 넘어섰던 것을 생각하면 이해하기 어렵다. 93.3 MHz 신호의 대역폭은 -26 dB 대역폭일 때, 195 kHz이고, 95.7 MHz 신호의 -26 dB 대역폭은 218 kHz이다.

92.5 MHz 신호의 1 차 고조파 측정에서 185 MHz를 최대치 모드를 이용하여 측정하면, 중심주파수의 전계강도는 $28.63 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이고, 이때 RBW 와 VBW는 3 kHz였다. 이 결과는 측정시간이 다소 길어짐으로 인하여 측정 오차가 발생할 수 있다.

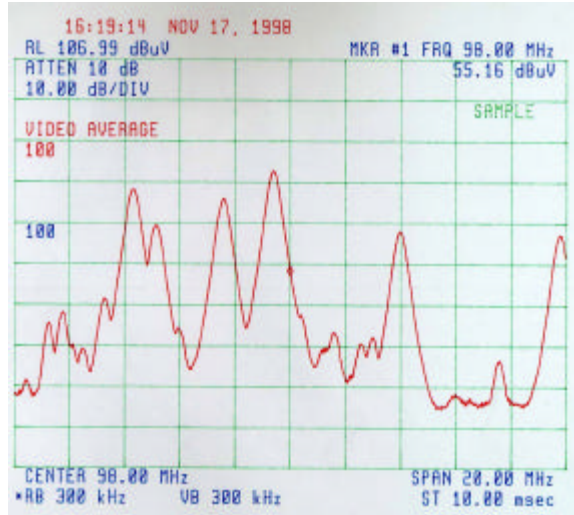
97.5 MHz 신호의 1 차 고조파 측정에서 195 MHz를 최대치 모드를 이용하여 측정하였을 때, 중심주파수의 전계강도는 $47.55 \text{ dB}\mu\text{V}$ 였고, 이때 RBW 와 VBW는 3 kHz 이다. 다시 한번 97.5 MHz 신호와 1 차, 2 차 고조파 성분을 최대치 모드를 이용하여 측정하였을 때, 1 차 고조파의 전계강도가 $49.80 \text{ dB}\mu\text{V}$, 평균 모드를 이용하여 측정하였을 경우, $35.8 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이므로 14 dB의 차이가 난다.

최대치모드로 스퓨리어스를 측정한 경우, 전체적인 분포도에서의 측정 은 스펙트럼 분석기의 샘플 수와 관계하여 정확한 측정값을 주지 않으므로 최대치 모드와 평균모드의 차이가 세밀하게 측정할 경우, 줄어들 것으로 생각된다.

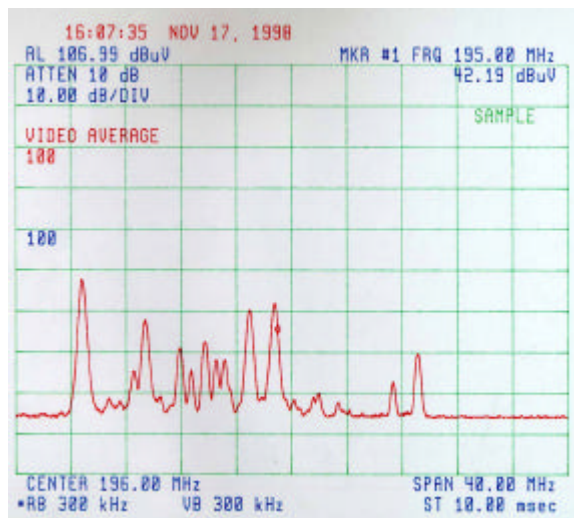
FM 방송 대역의 스펙트럼을 전체적으로 측정하였다. 88 MHz에서 108 MHz 의 FM 주파수 대역을 측정하였는데, 97.5 MHz의 전계강도를 측정한 결과, $79.53 \text{ dB}\mu\text{V}$ 의 측정값을 얻었다. 이 측정은 최대치 모드로 측정한 것이므로 평균 모드로 측정된 결과와 비교된다. FM 방송대역의 1 차 고조파 대역의 스펙트럼을 최대치 모드로 측정하여 평균모드와 비교하였다. 97.5 MHz 신호의 1차 고조파 성분의 전계강도는 $48.57 \text{ dB}\mu\text{V}$ 이다.

위에서 측정된 결과와 비교하기 위하여 (그림 6.8)에서 (그림 6.10)에 이르기까지 각각의 주파수 대역에서 평균모드로 측정을 하였다. (그림 6.8)은 FM 신호 기본파의 스펙트럼 분포이고, (그림 6.9)는 FM 신호의 기본파 주파수의 1차 고조파 대역의 스펙트럼이다. 대전분소에서의 측정

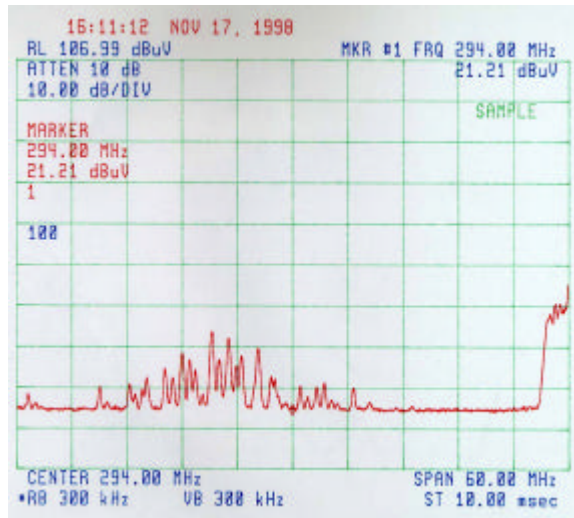
과 비교할 때, 많은 신호가 존재함을 알 수 있다. (그림 6.10)은 FM 신호대역의 2 배 고조파대역으로서 역시 대전분소에서의 측정과 비교할 때, 많은 신호가 분포함을 알 수 있다.



(그림 6.8) FM 신호의 기본파 대역의 스펙트럼 (식장산 송신소)



(그림 6.9) FM 신호의 1 차 고조파 대역의 스펙트럼 분포 (식장산 송신소)

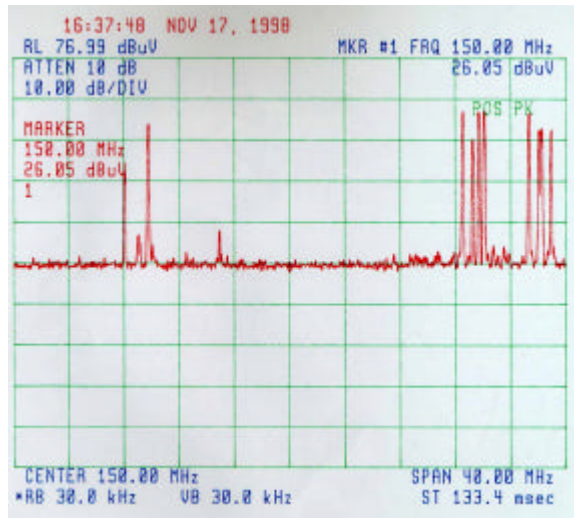


(그림 6.10) FM 신호의 2 차 고조파
대역의 스펙트럼 분포 (식장산 송신소)

FM 방송대역의 1 차 고조파 대역의 스펙트럼을 평균모드를 이용한 측정하였을 때, 측정회수는 시간상의 제약으로 100 회만 측정하였다. 97.5 MHz 신호의 1차 고조파 성분의 전계강도는 $42.19 \text{ dB} \mu\text{V}$ 이다. 최대치 모드와 비교하여 전체적으로 레벨이 낮아진다.

FM 방송대역의 2 차 고조파 대역도 스펙트럼을 평균모드를 이용하여 1 차 고조파 주파수대역과 마찬가지로 측정회수 100회로 측정하였다. FM 방송대역의 2 차 고조파 대역의 스펙트럼을 최대치 모드를 이용하여 측정할 경우, 평균모드를 이용한 측정과 비교할 때, 잡음레벨이 전체적으로 커진다. 여러 신호들간의 구분이 평균모드의 측정에 비하여 명확하지 않다.

FM 신호의 스퓨리어스 발사 측정과 함께 식장산 송신소에서 발사되는 무선평출 신호를 측정하였다. (그림 6.11)은 150 MHz 대 무선평출 신호의 스펙트럼 측정을 측정한 것이다. 무선평출 신호의 스퓨리어스를 측정하고자 150 MHz 대역을 측정하였다. 최대치 모드를 이용하여 측정하였으며, 140 MHz 대 와 160 MHz 대역에 신호가 분포한다.

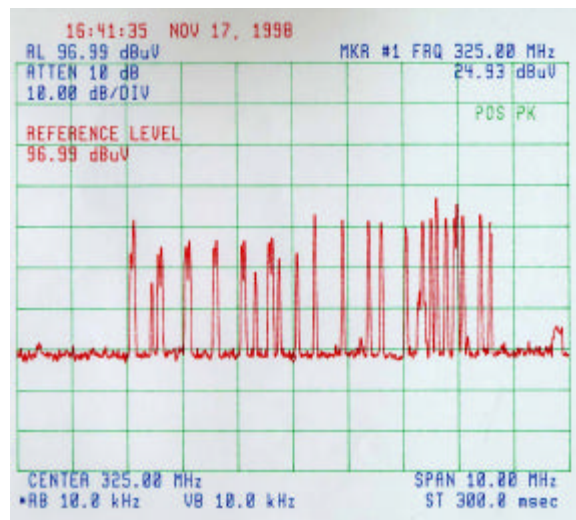


(그림 6.11) 150 MHz 대역 무선평출
신호의 스펙트럼 측정 (식장산 송신소)

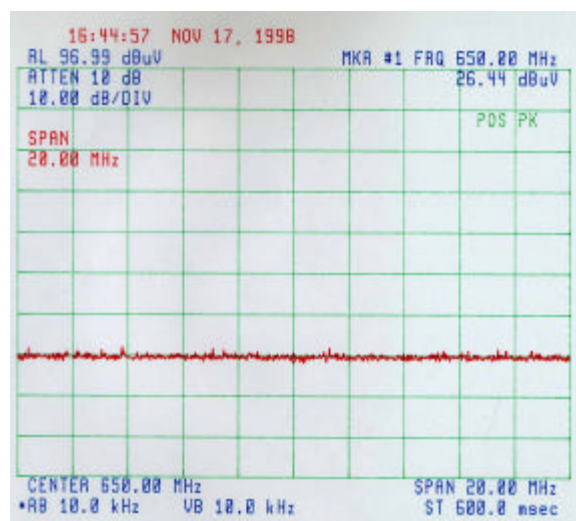
(그림 6.11)에서와 같이 측정된 무선평출 신호는 고조파 스퓨리어스가 측정되지 않았다. 따라서 기생발사 등의 원인에 의한 스퓨리어스를 측정하고자 하였으나, 그림에서 보는 바와 같이 잘 식별할 수 없었다. 특히 무선평출 신호는 시간에 따라 일정하게 발사되는 신호가 아니어서 최대치모드로 측정할 수밖에 없었는데, 이 측정모드의 선택이 고조파 성분을 측정하지 못한 원인이 될 수 있다고 생각된다.

(그림 6.12)는 300 MHz 대역 무선평출 신호의 스펙트럼 분포를 측정한 것이다. 300 MHz 대역의 무선평출 신호들의 스펙트럼 분포를 측정하고자 하였다. 여러 개의 무선평출 신호가 측정되었고, 150 MHz 대역의 무선평출 신호와 마찬가지로 기생발사 성분에 의한 스퓨리어스는 측정이 잘되지 않았다. 이 신호 역시 최대치 모드를 이용하여 측정하였다. 300 MHz 대역 무선평출 신호의 2 배 주파수 대역의 스펙트럼 분포를 측정함으로써 고조파 성분을 측정하고자 하였으나, (그림 6.13)과 같이 어떤 신호도 측정할 수 없었다. 이 측정도 최대치 모드로 측정되었으며, 미약한 신호의 측정을 위하여 디스플레이 기준레벨을 낮추어 측정하였으나

같은 결과를 얻었다.



(그림 6.12) 300 MHz 대역 무선호출
신호의 스펙트럼 분포 (식장산 송신소)



(그림 6.13) 300 MHz 대역 무선호출
신호의 1 차 고조파 대역의 스펙트럼 분포
(식장산 송신소)

3. HF 신호의 스퓨리어스 발사 측정실험

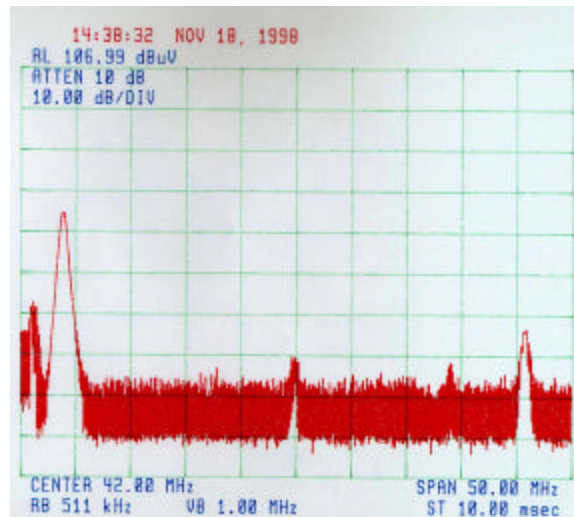
HF 송신장비를 이용하여 대전 분소에서 11월 18일 스펙트럼 분석기와 수직 다이폴 안테나를 이용하여 측정한 실험이다. 측정 주파수는 21 MHz 신호를 이용하였으며, 음성이 실리지 않은 반송파 신호로 측정하였다. (표 6.5)는 21 MHz 신호의 스퓨리어스 측정 실험내용이다.

(표 6.5) 21 MHz 신호의 스퓨리어스 측정 실험
(11월 18일 : 대전분소)

| center (Marker) | span | RBW/V BW | Sweep time | Reference level | Attenuation | 측정시간 (측정 회수) | 전계강도 (대역폭) |
|--------------------------|---------|----------------|---------------|--------------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| 42 MHz | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 14:38:32 signal sweep | |
| 42 MHz | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 14:42:01 (100) | 14.91 dB |
| 42 MHz | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 14:45:57 (최대치) | 28.16 dB |
| 42 MHz | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 14:51:24 (최대치) | |
| 21 MHz | 300 kHz | 3 k / 3 k | 101.7 msec | -20 dBm | 10 dB | 14:56:28 (100) | 71.30 dB μ V |
| 63 MHz | 300 kHz | 3 k / 3 k | 101.7 msec | -20 dBm | 10 dB | 15:05:55 (100) | 19.14 dB μ V |
| 42 MHz | 300 kHz | 3 k / 3 k | 101.7 msec | -20 dBm | 10 dB | 15:12:21 (100) | 16.32 dB μ V |
| 21 MHz | 300 kHz | 3 k / 3 k | 101.7 msec | -20 dBm | 10 dB | 15:16:02 (100) | 70.73 dB μ V |
| 42 MHz (20.94 MHz) | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 15:26:03 (100) | 35.37 dB μ V |
| 42 MHz | 50 MHz | 511 k / 1 M | 10 msec | -20 dBm | 10 dB | 15:28:55 (100) | |

21 MHz 단파 신호의 스퓨리어스 측정에서 2 배 주파수와 3 배 주파수에서 스퓨리어스 신호가 발생하였다. 기본파의 전계강도는 70 dB μ V이며, 2 차 고조파가 1 차 고조파보다 더 크다. 고조파 스퓨리어스 성분

이 외의 다른 스퓨리어스 성분은 측정이 되지 않았다. (그림 6.14)에서 21 MHz 신호가 발사되었을 때, 2 배 주파수와 3 배 주파수에서 스퓨리어스가 존재함을 알 수 있다.



(그림 6.14) 21 MHz 단파 신호의 스퓨리어스 측정 (대전분소)

이러한 스퓨리어스에 관한 측정실험 결과, 송신소 부근 이외에서는 스퓨리어스 측정하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있었다. 감시국소에서 스퓨리어스를 측정하기 위해서는 고 이득 안테나가 송신소 쪽으로 방향을 고정하고 있을 때 측정 가능하나, 스퓨리어스 측정레벨이 낮아서 측정이 용이하지 않다. 기본파의 신호레벨이 낮아짐에 따라 스퓨리어스 신호의 레벨은 기본파의 감소보다 더욱 큰 영향을 받는다. 그러므로 송신소 부근 또는 혼신 지역에서 스퓨리어스를 측정할 수 있으며, 그러한 경우에 현용 측정장비 이외의 장비가 스퓨리어스 측정을 위하여 제안될 수 있다. 현용 장비를 이용한 스퓨리어스 측정은 기본파와 스퓨리어스 발사간의 비교측정이 용이하지 않고, 특히 기본파와의 레벨 비교가 어렵다.

제 7 장 효율적인 측정방법 및 오차보정

제 7 장 효율적인 측정방법 및 오차보정

4 장의 ITU-R 권고 사항과 5 장의 실제 환경에서의 전계강도 및 스푸리어스 발사의 측정실험을 바탕으로 본 장에서는 효율적으로 측정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 전계강도와 스푸리어스는 전파환경에 의한 영향을 많이 받기 때문에 1 차 년도 연구대상인 대역폭 측정보다 측정장비에 의한 영향을 많이 받는다.

전계강도의 경우, 전파환경을 송신소에서 발사된 신호가 통과하면서 받는 손실과 안테나와 계측기 또는 수신기에 의한 측정장비에서의 손실, 측정방법 면에서 발생할 수 있는 손실이 발생할 수 있기 때문에, 감시국소에서 전계강도의 측정값으로부터 송신국소의 출력의 위규여부를 판단하는 것이 사실상 어려운 일이다. 본 연구에서는 이러한 각각의 손실의 원인을 보정해 줌으로써 대략적으로 감시국소에서 전계강도를 측정값으로써 감시업무를 원활하게 수행할 수 있도록 하려는 목적으로 연구를 수행하였다.

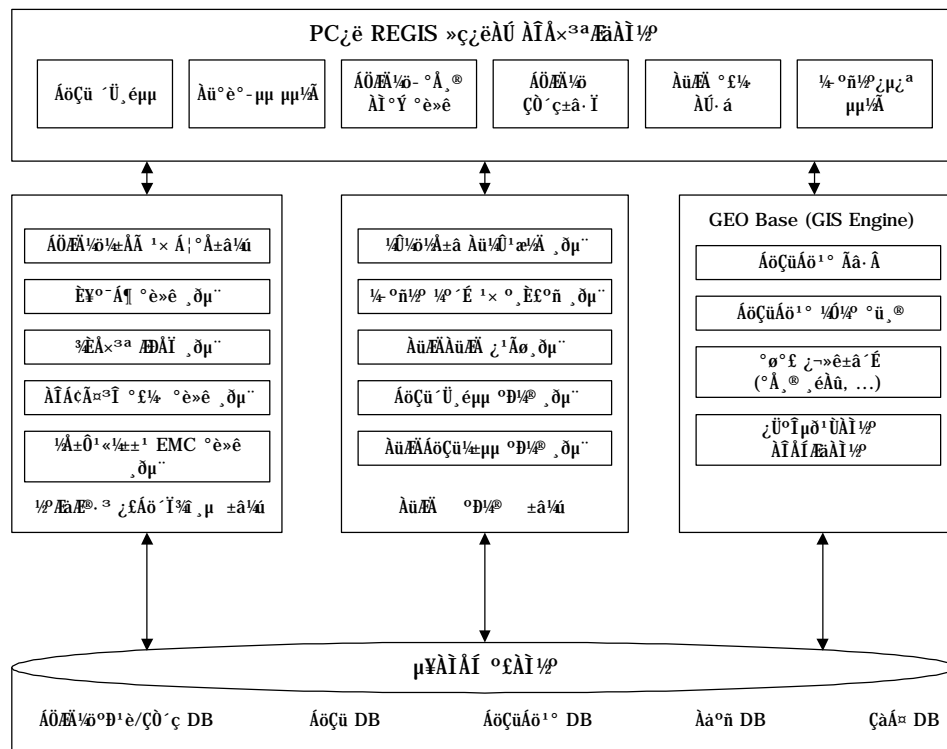
스푸리어스 발사의 경우, 송신소에서 대출력의 발사신호가 발사되더라도 감시국소에서 수신하기까지의 전달과정에서 손실이 발생하여, 특히 스푸리어스 성분은 기본파 성분에 비하여 더 큰 손실이 발생하므로 결과적으로 감시국소에서 스푸리어스 발사성분을 측정하기가 어려워진다. 방 송신호 같은 대출력 신호는 송신소에 감시국소의 안테나 방향이 향할 경우, 측정이 가능할 수 있으나, 일반무선국 같은 소출력 무선국의 신호에 대한 스푸리어스 발사는 감시국소에서 측정할 수 없다. 따라서, 스푸리어스 발사의 경우, 송신소 또는 송신기에 직접 장비를 연결하여 측정하거나, 혼신 등이 일어나는 근접 지역에서의 측정으로 스푸리어스를 측정할 수밖에 없다. 따라서, 이러한 경우, 스푸리어스를 효율적으로 측정하기 위한 방법과 현용 스푸리어스 측정장비의 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

제 1 절 전계강도 측정방법 및 오차보정

1. 전파환경 측면에서의 오차보정

본 연구에서는 전파환경적인 측면에서 측정실험을 중점적으로 하지 않았다. 다만 현재 다른 연구에서 전파환경을 고려한 전계강도의 손실을 보정할 수 있는 측정시스템을 소개하고자 한다 [21].

한국전자통신연구원에서 1997년 연구된 “대도시 지역내의 건물 데이터 베이스 구축 및 PC 윈도우용 REGIS 사용자 지침서”의 측정시스템을 감시국소에서의 전계강도 측정에 이용한다면, 어느 정도까지는 전파환경에 의한 수신 신호의 전계강도 손실을 보정할 수 있을 것으로 생각된다. 이 측정 시스템의 구성도는 (그림 7.1)과 같다.



(그림 7.1) REGIS 시스템 구성도

시스템의 전체 기능도는 (그림 7.1)과 같이 무선관련 데이터 부분과 이러한 데이터를 이용하는 스펙트럼 엔지니어링 기술, 그리고 전파분석 기술이 적용되는 부분 및 처리된 결과 부분으로 나눌 수 있다.

데이터 분야에서는 전파환경을 분석하기 위한 지형, 지물정보, 장비데이터 (송신기의 출력, 안테나이득, 수신기의 선택도), 무선국의 위치, 그리고 주파수 허가 날짜 등의 행정데이터가 요구된다. 스펙트럼 엔지니어링 기술분야에서는 두 개 이상의 신호가 혼합되어 다른 주파수의 신호가 발생하는 혼변조 계산, 인접 채널간의 간섭계산, 출력에 따른 두 주파수 간의 이격거리 및 공간적인 이격거리, 새로운 무선국 위치선정 시 발생하는 간섭계산 모델과 주파수 공유를 위한 여러 파라미터들, 즉, 송수신기 제원, 안테나, 수신 허용레벨, 잡음 등이 모델링되어 있다.

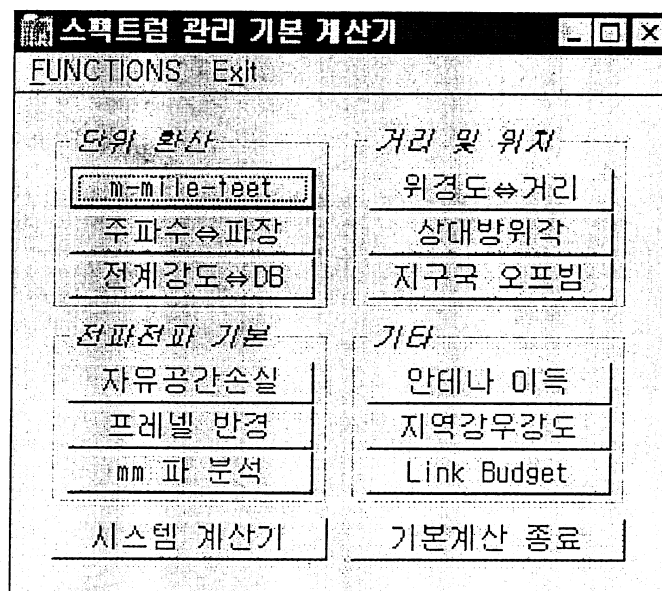
또한, 전파분석 기술분야에서는 송수신 안테나 사이의 장애물이나 지형특성을 위한 전파경로상의 지형 단면도, 전파 가시거리를 보여주는 지평선도, 그리고 가장 중요한 전파전파 예측모델이 있다. 전파전파 예측 모델에서 다루는 주파수 대역은 30 MHz ~ 30 GHz 범위이며 이 대역의 전파환경 특성은 아래와 같다.

- 대류권 전파는 이온층 영향을 받지 않기 때문에 매우 안정적인 특성을 가지며 대기층, 습도, 온도, 압력, 강우 등과 같은 기상요인에 영향을 받는다.
- 주파수가 증가함에 따라 전파는 제한된 지역 내에서는 직선 경로에 가깝게 전달되므로 많은 지역에서 동일 주파수를 공유할 수 있다.
- 제한 요소로서 M/W 대역 (3 GHz ~ 30 GHz)에서는 가시거리 (line of sight) 운영 시 40 ~ 60 km 거리로 전파가 제한되며, V/UHF 대역 (30 MHz ~ 3 GHz)에서는 가시거리 조건이 필요하지 않으나, 회절, 다중경로 반사, 지형굴곡 등에 제한을 받는다.

이 시스템을 이용하면, 수신신호에 대한 기본자료를 바탕으로 안테나에 의한 손실, 지형에 의한 손실, 거리에 의한 손실, 주변의 간섭 신호의

의한 손실 성분을 제거할 수 있다. 여러 가지 전파환경의 파라미터들에 대한 보정을 해줌으로써 송신국소에서의 신호의 출력을 예측할 수 있다.

(그림 7.2)는 PC 윈도우용으로 제작된 이 시스템의 기본 화면이다. 각각의 선택키를 마우스로 누르면, 세부적인 조건들을 설정하고, 설정된 내용을 바탕으로 원하는 전파환경에서의 여러 가지 환경성분에 의한 손실을 계산할 수 있다. 계산된 손실성분을 측정된 전계강도 값에 더하면 송신소에서의 신호의 세기를 알 수 있다. 지형의 정보를 나타내는 지도의 정확도와 여러 가지 환경 모델의 정확도에 의하여 전체적인 환경의 정확도가 달라질 수 있다.



(그림 7.2) PC용 윈도우 프로그램의 바탕화면

2. 측정장비에 의한 전계강도 측정오차 보정

측정장비의 측정오차를 보정하기 위하여 안테나의 종류와 측정장비의 종류에 따라서 측정실험을 하였다. 안테나의 종류에 따른 전계강도 측정값의 측정오차는 전파환경과 밀접한 관계가 있다. 안테나의 높이, 안테나의 방향 (지향성 안테나일 경우), 안테나의 이득에 따라 측정값이 달라질 수 있기 때문에 정확한 비교를 할 수 없었다. 안테나에 관한 부분은 1에서 제시된 환경에 의한 측정오차를 보정할 수 있는 시스템을 이용하는 것이 더 나은 방법이라고 생각되며, 서울분소와 대전분소와 같이 안테나가 고정되어 있는 고정국소에서 측정할 경우는, 하나의 안테나로 모든 측정값을 측정하는 것이 하나의 방법이 될 수도 있다. 본 연구에서 시행된 안테나간 측정오차 보정을 위한 실험에서 특히 주파수대역 별 안테나의 특성이라고 할 수 있는 안테나계수가 각 안테나마다 주파수대역 별로 세밀하게 기록되어 있어야 하지만, 거기에 대한 자료가 부족한 경우가 많아서, 단순한 측정장비와 다른 안테나들간의 측정값 차이로 다른 안테나들 간 전계강도 측정값의 보정값으로 설정하는 것은 문제가 있었다. 지향성 안테나의 경우, 특히 전파환경의 영향을 많이 받기 때문에 측정 자료를 비교의 대상으로 삼기는 어려우며, 같은 주파수 대역을 가진 무지향성 안테나들 간에 안테나들 간의 측정 보정이 시행될 수 있으므로, 안테나간의 보정은 어렵다고 생각된다.

측정장비간의 측정오차 보정을 위하여 여기에서 실시된 실험은 보다 많은 주파수에 대하여 실시되어야 한다. 감시국소의 사정상, 특정한 주파수에 대하여만 측정값의 차이가 측정되었기 때문에 측정장비간의 측정오차값을 주파수 대역 별로 측정하여 보정을 위한 기준으로 삼는 것이 바람직하다고 생각된다.

가. 안테나 간 측정오차 보정

여기서는 안테나간 측정값의 오차를 보정하기보다는 측정결과 얻은 측정값의 차이를 기록하는 것으로 앞으로 감시국소에서 측정할 경우 활

용될 수 있도록 제시하고자 한다.

(1) LP 안테나와 DISCON 안테나간 측정오차

- 측정주파수 : 97.5 MHz
- 측정장비 : Minilock 6910
- 측정일시 및 장소: 8월 26일 대전분소
- 지상에서 안테나까지의 높이 : 40 m
- LP 안테나를 이용한 전계강도 측정
 - 측정데이터 수 : 996 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : $82.0419 \text{ dB } \mu \text{V}$
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.2532
- DISCON 안테나를 이용한 전계강도 측정
 - 측정데이터 수 : 1496 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : $72.8311 \text{ dB } \mu \text{V}$
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.6988
- 두 안테나간 측정오차 : 9.2108 dB

안테나간의 측정오차를 두 안테나간 보정 오차로 정하기 어렵다. DISCON 안테나에 대한 안테나계수를 알지 못하기 때문에 안테나계수를 고려한 안테나간 측정보정을 할 수 없다. (표 7.1)은 DISCON 안테나와 LP 안테나 간 측정오차를 Minilock 장비로 측정한 위의 내용을 표로써 나타낸 것이다.

(2) Cross LP 안테나와 DISCON 안테나간의 측정오차

O 측정 1

- 측정 주파수 : 97.5 MHz
- 측정장비 : ESN

- 측정일시 및 장소: 8월 26일 대전분소
- 지상에서 안테나까지의 높이 : 40 m
- DISCON 안테나를 이용한 전계강도 측정
 - 측정데이터 수 : 356 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 72.6390 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.2005
- Cross LP 안테나를 사용한 전계강도 측정
 - 측정데이터 수 : 350 개
 - 측정데이터의 총 평균값 : 83.5544 dB μ V
 - 측정데이터의 평균제곱오차 : 0.1568
- 두 안테나간 측정오차 : 10.9087 dB

이 실험도 DISCON 안테나계수에 관한 자료가 없어서 보정은 불가능하다.

O 측정 2

- 측정장비 : ESN
- 측정일시 및 장소: 11월 16일 대전분소
- 지상에서 안테나까지의 높이 : 40 m
- 93.3 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 76.0933 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 83.9368 dB μ V
- 95.7 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 66.28 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 79.85 dB μ V

- 102.1 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 46.8333 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 60.6312 dB μ V
- 327 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 71.3 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 72.6437 dB μ V
- 328 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 68.3231 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 72.8286 dB μ V
- 328.4 MHz
 - DISCON 안테나를 사용한 경우 : 70.1308 dB μ V
 - Cross LP 안테나를 사용한 경우 : 70.9857 dB μ V

측정 1에 비하여 많은 주파수에서 안테나간 측정을 비교하였으나, 역시 이 실험 결과도 안테나 측정값의 보정값을 결정하는 것은 무리가 있다. 이 실험결과, 같은 전파형식이라도 주파수에 따라 측정오차가 다르며, 전파형식 별로도 측정오차가 다르다는 것을 알 수 있었다. (표 7.2)와 (표 7.3)은 DISCON 안테나와 Cross LP 안테나 간 측정오차를 ESN 장비로 측정한 위의 실험 내용을 (표 7.1)과 같이 표로써 나타낸 것이다. (표 7.2)는 FM 라디오 방송 신호에 대하여 측정한 내용이고, (표 7.3)은 무선평신 신호에 대하여 측정한 내용이다.

(3) 바이코니컬 안테나와 수직 다이폴 안테나간 측정오차

- 측정장비 : 스펙트럼 분석기
- 측정일시 및 장소 : 10월 22일 서울분소
- 수직 다이폴 안테나 (20 MHz - 1300 MHz)의 안테나 계수

- 80 MHz : 0.3 dB
 - 100 MHz : -4.0 dB
 - 120 MHz : -5.7 dB
- 바이코니컬 안테나의 안테나 계수
- 90 MHz : 8.7 dB : 2.74
 - 95 MHz : 9.0 dB : 2.83
- 91.9 MHz
- 수직 다이폴 안테나의 전계강도 평균값은 66.36 dB μ V
 - 바이코니컬 안테나의 경우,
 - . 방향이 남쪽인 측정 : 58.84 dB μ V
 - . 방향이 동쪽인 측정 : 50.2 dB μ V
 - 방향이 남쪽인 경우의 바이코니컬 안테나와 수직 다이폴 안테나의 전계강도 오차 : 8.52 dB (수직 다이폴 안테나의 값이 더 크다.)
 - 안테나 계수를 고려한 경우의 측정오차 : 4.18 dB의 오차 (바이코니컬이 더 크다.)
- 93.1 MHz
- 수직 다이폴 안테나로 측정한 경우 : 63.72 dB μ V
 - 바이코니컬 안테나로 측정한 경우 : 55.95 dB μ V (지향 : 남)
 - 측정오차 : 7.77 dB (수직 다이폴 안테나의 값이 더 크다.)
 - 안테나 계수를 고려한 측정오차 : 5.23 dB (바이코니컬이 더 크다.)

이 실험에서는 안테나계수를 알 수 있었으므로 두 안테나간의 측정오차를 각각의 주파수 별로 설정할 수 있다. 그러나, 안테나 계수가 세부적으로 기록되어 있지 않아서 오차가 발생할 수 있다. 91.9 MHz에서 바이코니컬 안테나와 수직 다이폴 안테나간의 보정값은 4.18 dB이고, 93.1 MHz에서 두 안테나간의 보정값은 5.23 dB이다. 이 보정값에 대하여 더

많은 측정으로 측정오차를 줄이는 것이 필요하다. (표 7.4)는 수직다이폴 안테나와 바이코니컬 안테나 간 측정오차를 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한 것이다. (표 7.4)를 통하여 안테나계수까지 고려한 측정오차를 알 수 있다는 것이 (표 7.1)에서 (표 7.3)까지의 내용과 다른 점이다.

나. 계측기 간 측정오차 보정

(1) Minilock 과 ESN 간의 측정오차

- 측정주파수 : 97.5 MHz
- 측정일시 및 장소 : 8월 26일 대전분소
- 측정안테나 : DISCON 안테나
- Minilock을 이용한 측정 평균 전계강도 : 74.1663 dB μ V
- ESN을 이용한 측정평균 전계강도 : 72.6457 dB μ V
- 두 측정장비의 측정오차 : 1.5206 dB (Minilock 측정값이 크다.)

97.5 MHz 신호에 대하여 두 측정장비간 측정보정을 위하여 1.5206 dB의 보정값을 이용한다. 다른 주파수에 대하여는 여러 번의 측정실험을 통하여 각 주파수간 측정값을 비교하여야 한다. 또한, 97.5 MHz 신호에 대하여도 더 많은 측정을 통하여 보다 정밀한 측정오차를 계산할 필요성이 있다. (표 7.5)는 Minilock 과 ESN 간의 측정오차를 실험하기 위하여 DISCON 안테나를 가지고, 동시에 측정한 위의 내용을 정리한 것이다. (표 7.5)를 통하여 두 측정장비의 측정차이를 쉽게 살펴볼 수 있다.

(2) ESN 장비와 스펙트럼 분석기간 측정오차

- 측정일시 및 장소 : 10월 21일 서울분소
- 스펙트럼 분석기의 측정파라미터
 - 측정대역 : 3 MHz
 - RBW, VBW : 300 kHz (임의로 설정)
 - 측정모드 : 평균모드
 - 측정회수 : 1000 회
 - 기타 측정파라미터 : 자동 모드

- ESN 장비의 측정파라미터
 - IF 대역폭 : 250 kHz
 - 측정시간 : 1초
 - 측정모드 : 평균 전력 모드, Low Noise 모드
 - 측정 샘플 수 : 20 개 이상
- 두 측정장비를 이용한 전계강도의 측정

| ESN | 스펙트럼 분석기 |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 62.9643 dB μ V (91.9 MHz) | 62.95 dB μ V (91.9 MHz) |
| 60.1286 dB μ V (93.1 MHz) | 64.07 dB μ V (93.1 MHz) |
| 62.7500 dB μ V (91.9 MHz) | 63.21 dB μ V (91.9 MHz) |

- 두 측정장비의 측정오차
 - 91.9 MHz : -0.46 ~ 0.0143 dB
(ESN 측정값 - 스펙트럼 분석기 측정값)
 - 93.1 MHz : -3.9414
(ESN 측정값 - 스펙트럼 분석기 측정값)

따라서 91.9 MHz 신호는 측정값의 차이가 거의 없고, 93.1 MHz는 4 dB 정도의 차이가 난다. 이렇게 두 측정장비간의 측정값도 각 주파수에 따라 계속적으로 측정해야 한다. 또한 위에 측정된 주파수들에서의 측정 보정값도 두 장비간의 보정값도 계속적인 측정을 통하여 보다 신뢰성이 있는 보정값을 제시하여야 한다.

측정장비간에서 문제시되는 측정기준 장비는 감시국소에서 가장 많이 쓰이는 장비를 기준으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, 현재 많이 쓰이고 있는 측정장비인 Minilock의 성능이 모든 전파형식에 대하여 적합한 측정값을 준다고 보기 어렵기 때문에 고해상도의 스펙트럼 분석기로 측

정된 값을 측정장비간 비교에서 기준으로 삼는 것이 더욱 바람직하다. (표 7.6)은 ESN 과 스펙트럼 분석기 간의 측정오차를 수직 다이폴 안테나를 이용하여 측정한 위에 언급된 내용을 정리한 것이다.

다. 케이블 손실에 의한 측정값의 보정

- 측정일시 및 장소 : 10월 21일 서울분소
- 측정장비 : 스펙트럼 분석기
- 측정안테나 : 수직 다이폴 안테나
- 91.9 MHz의 전계강도 측정
 - 케이블을 직접 연결하였을 경우, 67.2 dB μ V와 66.34 dB μ V
 - T자형 케이블의 경우, 62.77 dB μ V에서 63.23dB μ V
 - 측정오차 : 3.11 dB에서 4.49 dB 정도
- 93.1 MHz의 전계강도 측정
 - 케이블을 직접 연결하였을 경우, 64.07 dB μ V
 - T자형 케이블의 경우, 60.37 dB μ V
 - 측정오차 : 3.7 dB 정도

케이블을 직접 연결한 경우와 T자형 케이블 사이의 오차는 3 에서 4.5 dB 이다. 이 실험을 통하여 전송케이블에 대해서도 측정값의 보정이 필요함을 알 수 있었다. T자형 케이블은 보통 측정에 자주 사용되지 않아서 보정에 큰 영향을 주지 않으나, 전송 케이블이 긴 상태의 측정 실험의 경우, 측정값 보정을 고려해야 한다.

3. 전파형식에 따른 전계강도 측정방법

감시국소에서 사용되는 측정장비인 Minilock 과 ESN 장비는 측정장비의 제약으로 인하여 각 전파형식별로 효율적으로 전계강도를 측정할 수 없다. 따라서, 각 전파형식별로 세밀한 측정이 가능한 스펙트럼 분석기를 사용하여 측정하는 것이 바람직하다고 생각된다.

| 측정주파수 | 측정장비 | 측정파라미터 | | | | | 전 계 강 측정값 | (스 -) |
|----------|-------------|---------|------------------|--------|----------|------------|---------------------|----------|
| 91.9 MHz | 스펙트럼 분석기 | span | RBW/ VBW | 측정모드 | 측정 회수 | 기타 | 62.95 dB μ V | |
| | | 3 MHz | 300 k / 300 k | 평균모드 | 1000 | 자동 모드 | | |
| | ESN | IF 대역폭 | 측정시간 | 측정모드 | 내부감쇠 | 측정 샘플 수 | 62.96 dB μ V | |
| | | 250 kHz | 1 초 | 평균전력모드 | 10 dB | 25 개 | | |
| 93.1 MHz | 스펙트럼 분석기 | span | RBW/ VBW | 측정모드 | 측정 회수 | 기타 | 64.07 dB μ V | |
| | | 3 MHz | 300 k / 300 k | 평균모드 | 1000 | 자동 모드 | | |
| | ESN | IF 대역폭 | 측정시간 | 측정모드 | 내부감쇠 | 측정 샘플 수 | 60.12 dB μ V | |
| | | 250 kHz | 1 초 | 평균전력모드 | 10 dB | 40 개 | | |
| 91.9 MHz | 스펙트럼 분석기 | span | RBW/ VBW | 측정모드 | 측정 회수 | 기타 | 63.21 dB μ V | |
| | | 3 MHz | 300 k / 300 k | 평균모드 | 1000 | 자동 모드 | | |
| | ESN | IF 대역폭 | 측정시간 | 측정모드 | 내부감쇠 | 측정 샘플 수 | 62.75 dB μ V | |
| | | 250 kHz | 1 초 | 평균전력모드 | 10 dB | 40 개 | | |

스펙트럼 분석기를 이용하는 경우, 각 전파형식별 측정파라미터는 5장의 측정실험 내용으로부터 다음과 같은 결론을 얻게 되었다. 다음과 같은 각 전파형식에 대한 파라미터로 감시국소간의 전파형식별 측정기준이 마련된다면, 감시국소간 측정값의 비교 또는 다른 측정장비간의 측정값의 비교가 가능하므로 보다 나은 감시를 할 수 있는데 도움이 될 것으로 생각된다. 또한, 전파환경의 측정에서 이와 같은 측정기준을 이용하여 전국적인 전파환경을 조사하는 것에도 도움을 줄 것으로 기대된다. 아래에 제시된 각 전파형식별 측정파라미터는 각각의 측정 파라미터들을 여러 가지 측정하여 나온 결과이다.

(1) FM 라디오 방송의 전계강도 측정

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정회수 |
|-------|----------------------|--------|-------------|-------|
| 3 MHz | 300 kHz / 300 kHz | 평균측정모드 | 10 dB | 1000회 |

(2) CDMA 기지국 송신신호의 전계강도 측정

- 880 MHz 대역

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정회수 |
|--------|-----------------|--------|-------------|-------|
| 10 MHz | 1.62 M / 1 M | 평균측정모드 | 0 dB | 1000회 |

- 830 - 840 MHz 대역

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정회수 |
|--------|-----------------|------|-------------|-------|
| 10 MHz | 1.62 M / 1 M | 최대치 | 10 dB | 1000회 |

(3) 무선평출 신호의 전계강도 측정

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정시간 |
|---------|--------------------|-----------|-------------|------|
| 300 kHz | 30 kHz / 30 kHz | 최대치 모드 | 0 dB | 3 분 |

(4) AM 신호의 전계강도 측정

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정시간 |
|---------|--------------------|--------|-------------|-------|
| 100 kHz | 10 kHz / 10 kHz | 평균측정모드 | 0 dB | 1000회 |

(5) 일반 무선국 (소출력 무선국 등)

| span | RBW/ VBW | 측정모드 | attenuation | 측정시간 |
|-----------------------|--------------------|------|-------------|-------------------------|
| 300 kHz 또는 100 kHz | 30 kHz / 30 kHz | 최대치 | 0 dB | 주파수가 사용되는 기간동안 5분 이상 |

전계강도 측정값은 시간과 날짜에 따라 변화하기 때문에, 전계강도 측정값의 기준을 어떻게 마련하는가 하는 것이 중요하다. 5 장의 실험에서 측정된 결과로부터 측정값의 분산이 적은 값으로 전계강도 측정값의 평균을 산출하려고 하였으나, 측정값의 변화가 심하여 전계강도 측정에서 감시의 기준이 되는 평균값을 구하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있었다. 또한 전파형식별로 위의 측정파라미터에서 신호가 계속 발사되지 않아서 최대치모드를 사용하는 경우, 평균값을 구하는 것이 무의미하였다.

전계강도 측정에서 연속적으로 사용되는 전파형식의 경우는 평균값으로 측정기준을 삼고, 그렇지 않은 전파형식은 최고값으로 측정의 기준을 삼아야 한다는 것을 알 수 있었다. 또한, 연속적으로 측정이 되는 전파형식의 경우라도, 현용 측정장비인 Minilock, ESN 장비로 측정할 때, 1 초

간의 측정을 1000 회 이상하여 측정한 값들의 평균으로부터 전계강도 측정값의 기준으로 삼아야 하고, 스펙트럼 분석기로 측정경우에도 시행회수를 1000 회 이상해야 한다는 것을 알 수 있었다.

전계강도 측정의 위규판별을 위한 기준은 정확하게 계속적인 측정데이터를 시행하고, 기존의 데이터와 새로운 데이터를 비교하면서 측정기준을 수정하는 작업이 이루어져야 함을 알 수 있다. 즉, 년 평균 그래프, 월 평균 그래프 등을 측정하여 측정그래프를 기준으로 전계강도 측정의 기준을 삼는 방법이 요구된다는 것이다. 이러한 방법도 연속적으로 이용되는 전파형식이 아닌 일반 무선국, 무선호출, TRS 등의 신호의 전계강도 측정에는 적용할 수 없다. 이러한 경우에는 직접적인 신호의 그래프로부터 신호의 위규여부를 찾기보다 측정 대상 주파수대역의 잡음레벨 변화를 측정하여 잡음레벨의 변화와 측정신호의 레벨을 비교하여 측정 위규여부를 판단하는 방법이 제시될 수 있다.

이와 같이 어떤 전파형식의 전계강도 측정을 위하여 측정된 신호의 위규여부를 판단할 수 있는 측정기준이 결정되기 어렵다는 것을 알 수 있다.

감시국소에서의 측정만으로 송신신호의 위규여부를 판단하기는 어려우며 전파환경과 측정장비, 측정방법을 고려하여 보정을 하고 보정된 값으로부터 송신국소 출력의 위규를 판단하는 것이 더 나은 방법임을 알 수 있었다.

4. 전계강도 측정 시스템의 효율적인 구성

1~3 에 제시된 전계강도 측정의 보정을 통한 전계강도 측정으로부터 송신국소에서의 출력 신호의 위규여부를 대략적으로 판별할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이렇게 제시된 전계강도 측정방법을 효율적으로 수행할 수 있는 전계강도 측정 시스템을 제안한다.

가. 현용 측정장비를 이용할 경우

(1) 측정횟수

현재의 측정회수보다 현저히 많아야 한다. 현재의 10번 측정한 값으로 전계강도 값을 구하는 것은 신뢰하기 어렵다. 적어도 500 회 또는 1000회 이상의 측정으로부터 전계강도 값을 산출해야 한다. 송신소의 출력변화, 전파환경의 변화 등에 의하여 시간에 따라 측정되는 전계강도 값이 변화를 일으킬 수 있으므로 1일간 수회 또는 수십 회 이상 일정한 간격으로 측정이 이루어져야 한다.

(2) 전파형식 별 측정장비간 파라미터

전파형식 별 측정장비간 파라미터들을 모두 같게 하여야 한다. 즉, 전파형식별로 IF대역폭, 측정시간, 감쇠 등의 측정기준을 같게 해주어야 한다. 예를 들어 FM 신호의 경우, IF 대역폭은 250 kHz, 감쇠는 10 dB, 측정시간은 1 초 등이다. 측정 대상신호의 송신소에서의 기준 출력을 구하고, 감시국소에서 계속 같은 장비로 측정한 후, 측정 평균값과 송신소에서의 출력값과 비교함으로써 측정오차를 계산한다.

(3) 전계강도 위규 산출

오차범위를 설정한 후, 측정값이 오차 범위 이상일 경우, 직접 송신소에 가서 출력 전력을 측정한다. 안테나간의 보정을 할 경우, 안테나 계수를 반드시 고려한다.

(4) 현용장비를 이용한 측정시스템의 문제점

- Minilock, ESN의 성능상 다양한 전파형식에 대하여 알맞은 측정을 하기 어렵다.
- IF 대역폭의 제한, 측정시간의 제한 등의 제한이 있으며, 현용 측정 프로그램은 측정 데이터의 저장 및 활용 등에 대하여 불편하다.
- 이러한 점을 해결하고, 전계강도 측정의 위규여부를 산출할 수 있는 측정 프로그램이 필요하다.

- 측정장비의 특성상, 현재 사용되는 광대역 고주파수대역 신호의 전계 강도를 측정할 수 없다. PCS, CDMA 같은 전파형식에 대한 측정이 불가능하다.
- 현용 측정장비에서 보완되어야 할 점으로 측정 안테나의 주파수 대역 제한이 있다는 점도 있다. 현재 감시시스템에 이용하는 안테나로는 1.3 GHz 이상의 신호를 측정할 수 없기 때문에 현재 많이 이용되는 PCS 신호등을 측정할 수 없다. 따라서 초고주파 대역 (수 GHz ~ 수십 GHz)의 신호를 수신할 수 있는 안테나가 필요하다.

나. 디지털 스펙트럼 분석기를 이용할 경우

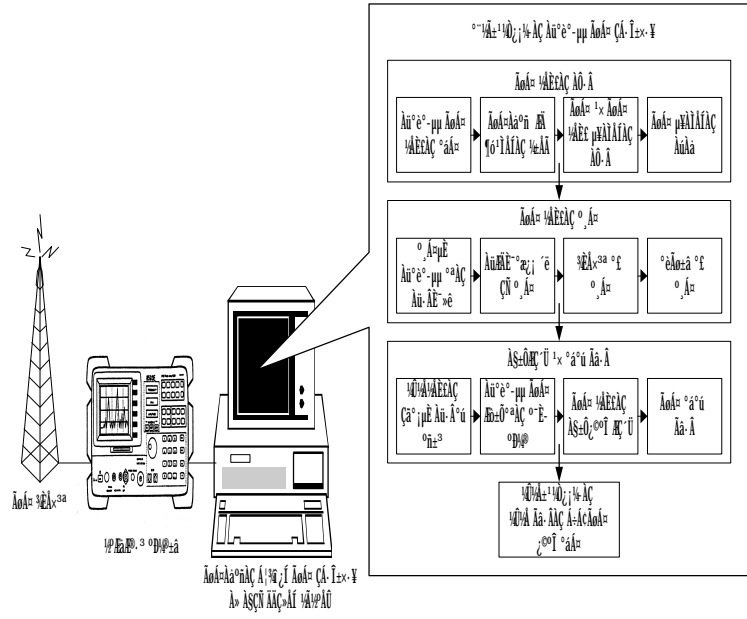
현용 장비를 이용한 측정시스템의 문제점 해결방안으로 디지털 스펙트럼 분석기를 이용한 (그림 7.3)과 같은 측정시스템의 구성, 고주파수 측정용 안테나 등의 설비 확충 등을 들 수 있다.

(1) 기존 측정장비와의 비교

- 스펙트럼 분석기를 이용한 전계강도 측정시스템의 구성할 경우, 현용 전계강도 측정시스템인 Minilock 과 ESN을 이용한 측정시스템을 보완할 수 있다.
- 측정장비 특성상 보다 나은 측정결과를 얻을 것으로 기대되며, 현용 시스템으로 측정 불가능한 전파형식의 전계강도 측정이 가능하다.

(2) 새로운 전계강도 측정시스템

(그림 7.3)은 전파환경오차를 보정하고, 측정장비에 의한 오차 또는 측정장비간 오차를 보정하고, 측정장비의 전파형식별 측정파라미터를 이용하여 측정하는 것이다. 측정장비로는 스펙트럼 분석기를 사용하는 것이 현용측정장비를 이용하는 것보다 전파형식별로 더 나은 측정결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.



(그림 7.3) 전계강도 측정시스템의 구성도

(3) 전계강도 측정에서의 고려사항

- 전계강도 측정에 있어서는 짧은 시간의 측정으로 판단할 것이 아니라 긴기간 동안의 측정이 필요하다.
- 감시국소에서 측정된 전계강도 측정값은 (그림 7.3)의 방법대로 보정이 이루어진다 하더라도 이 측정자료는 참고자료일 뿐이고, 위규를 알아내기 위하여는 송신기의 출력단에 직접 장비를 연결하여 측정해야 한다.
- 고 주파수 대역의 신호일수록 전파환경에서의 감쇠가 심하므로 정확한 측정을 하기 어렵다.
- 1. 의 전파환경을 반드시 고려해야 만족할만한 보정결과를 얻을 수 있다.
- 안테나 간의 보정은 전파환경과 밀접한 관계가 있어서, 본 연구에서의 측정오차를 그대로 적용하기 어렵다.
- 기존 측정장비를 그대로 이용할 경우, 측정장비간 측정오차를 반드시 보정해주어야 한다.

(4) 시스템 활용방안

제시된 시스템의 활용방안으로는 무인 또는 유인 감시국소간 전계강도 측정값의 비교를 통한 우리나라의 대략적인 전파환경을 조사할 수 있다는 것이다. 또한 이 시스템은 감시국소에서 감시대상 기지국 또는 송신소의 전계강도 측정을 함으로써 해당 무선국의 출력이상을 확인 감시하여 전계강도 측정을 감시국소에 할 수 있게 만들어 준다.

제 2 절 스푸리어스 발사 측정방법

1. 스푸리어스 발사 측정시 고려사항

- 현용 감시국소의 측정장비로도 스푸리어스 발사를 근거리에서 측정할 수 있다.
- 현용 감시국소의 측정장비는 스펙트럼 분석 성능이 떨어지므로, 고 해

상도 스펙트럼 분석기를 이용할 경우, 보다 나은 측정이 가능하다.

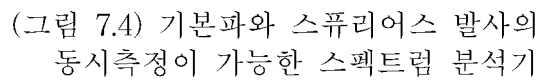
- 스펙트럼 분석기 만으로는 스푸리어스를 제대로 측정할 수 없으므로 반드시 수신기가 필요하다.

2. 효율적인 측정방법

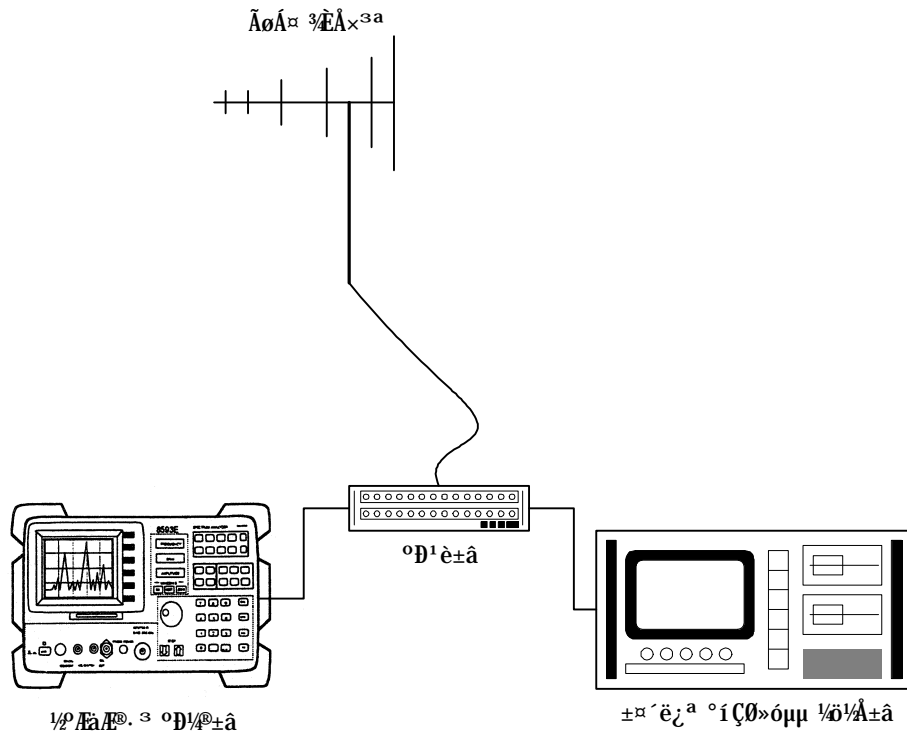
- 혼신이 발생하는 주파수를 측정한다.
- 해당 주파수 신호가 어떤 소리가 나는지를 수신기를 통하여 듣고, 녹음한다.
- 해당주파수에 영향을 줄 수 있는 기본파 성분들을 조사한다.
- 기본파라고 생각되는 신호와 스푸리어스 신호의 스펙트럼이 동시에 변화하는가, 기본파와 스푸리어스 신호의 소리가 같은가를 스펙트럼 분석기와 수신기를 통하여 동시에 측정하고 기록한다.
- 스푸리어스 신호의 소리와 스펙트럼의 변화가 일치하는 기본파 신호를 발견하면, 그 신호가 스푸리어스 발사의 문제를 일으키는 신호이다.

3. 스푸리어스 발사 측정 시스템 구성방법

스푸리어스 측정방법은 현재 감시국소에서 측정하고 있는 측정방법에서 특별히 더 나은 방법을 찾기 어렵다. 스푸리어스를 찾기 위해서는 스펙트럼 분석기 만으로는 측정하기 어려우며, 신호를 청취할 수 있는 수신장비가 반드시 필요하다. 또한 스펙트럼 분석기는 기본파와 스푸리어스의 스펙트럼을 동시에 측정할 수 있도록 되어야 한다. 하나의 CRT상에서 기본파와 스푸리어스를 동시에 측정영역을 넓게 보는 것이 아니라, 세밀한 측정을 위하여 각각의 스펙트럼을 따로 동시에 측정할 수 있는 스펙트럼 분석기이어야 한다. 따라서, (그림 7.4)와 같은 측정을 할 수 있는 스펙트럼 분석기와 가능한 모든 주파수 대역의 신호를 청취할 수 있는 광대역 수신기가 필요하다.



이러한 측정시스템은 혼신의 영향으로 스푸리어스 발사를 측정해야하는 상황에서 사용될 수 있는 측정장비이고, 송신기의 종단에 직접 연결하여 스푸리어스를 측정하는 경우, 스펙트럼 분석기만을 이용하여 측정하는 것이 가능하다. 따라서, 전파환경에서 측정할 것인가와 송신회로에 연결하여 측정할 것인가에 따라 측정장비를 다르게 하는 것이 적합하다고 생각된다.



(그림 7.5) 스퓨리어스 발사의 측정을 위한 장비 구성

감시국소에서 전계강도와 스퓨리어스에 대한 최적의 시스템을 구성한다면 (그림 7.6)과 같은 측정 시스템을 구상할 수 있다. (그림 7.6)은 1차 년도에 연구된 전파품질 측정방법 연구에서 제시된 측정시스템과 같다. (그림 7.6)과 같은 측정시스템을 구성한다면 대역폭, 전계강도, 스퓨리어스 등을 전파형식에 맞는 파라미터들로 측정할 때, 현용 측정장비의 측정결과와 비교하여 감시국소에서보다 나은 측정을 할 수 있을 것으로 기대된다. (그림 7.6)의 측정시스템에서 대역폭과 전계강도의 측정은 고해상도 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정되며, 스퓨리어스 측정을 위해서는 수신기와 스펙트럼 분석기가 동시에 쓰이게 된다.

제 8 장 결 론

제 8 장 결 론

현재 감시국소에서 측정되는 모든 신호에 대한 품질감시업무는 불규칙한 전파환경의 영향으로 매우 어렵다. 그 중에서 전파환경의 영향을 많이 받는 전계강도 측정과 스퓨리어스 발사의 측정은 더욱 측정하기 어렵다. 감시국소의 측정장비에서 측정된 임의의 신호의 전계강도의 측정값은 전파환경의 영향과, 측정장비에 의한 영향, 측정방법적인 면에서 송신소에서 발사된 신호의 전계강도와 큰 차이가 있다. 또한 수신신호의 스퓨리어스 발사신호는 전파환경에 의한 손실이 발생하였을 때, 기본파에 비해서 지극히 미약한 신호이기 때문에 감시국소에서 측정하기 어렵다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자, 전계강도와 스퓨리어스 발사의 측정방법에 관련된 자료를 수집하고, 실제 감시국소에서 수 차례 운용자와의 회의와 현용 측정장비를 이용한 실험을 실시하였으며 실험결과를 토대로하여 전계강도와 스퓨리어스 발사를 보다 효율적으로 측정할 수 있는 방법 및 시스템 구성방법을 제안하였다.

전계강도의 측정에서는 전파환경, 측정장비, 측정방법 면에서의 오차가 발생할 수 있다. 전파환경에 의한 영향이 가장 크다고 할 수 있으나 이 분야에 대해서는 기존의 연구를 이용하여 전계강도 측정오차를 보정하는데 활용될 수 있음을 소개하였다. 전파환경에 의한 전계강도 측정오차는 전계강도 측정에서 반드시 고려되어야 할 사항이고, ITU-R에서 제시된 측정은 간섭, 페이딩, 지형 등에 의한 신호왜곡 등의 성분 없이 거리에 의한 감소만 일어나는 평면지형에서의 측정이다. 감시국소에서 전계강도를 측정하기 위해서는 이러한 성분에 의한 전계강도 측정오차는 반드시 보정되어야 한다.

측정장비에 대한 오차는 계측기 간 측정오차 실험과 안테나간의 측정오차 실험을 통하여 장비간의 측정오차를 보정하는 방안을 제시하였다. 그러나, 주파수 대역 및 전파형식에 따라 측정장비의 특성이 다르고, 측

정오차가 달라서 정확하게 두 장비간의 차이를 결정하는 것에는 어려움이 있었다. 따라서, 측정된 주파수에서의 장비간 측정오차를 제시하였으며, 안테나간의 측정에서는 안테나의 지향성이나 이득 같은 전파환경과 관련된 요소 때문에 정확하게 비교하기가 어려웠다.

측정방법에 의한 오차를 보정하기 위하여, 각각의 전파형식별 전계강도 측정을 위한 측정파라미터를 제시하였으며, 스펙트럼 분석기를 이용한 효율적인 전계강도 측정시스템을 제안하였다.

이렇게 보정된 결과만으로는 완전한 전계강도 측정을 하기 어려우며, 긴 기간동안의 측정을 통하여 임의의 신호에 대한 전계강도가 평균적인 측정값에 비하여 측정레벨의 상한 이상으로 측정되었을 경우, 직접 송신기의 출력단에서 신호의 위규여부를 판별해야 한다. ITU-R 에서도 직접적인 측정이 아닌 감시국소에서의 측정결과는 측정오차가 발생할 수 있으므로 위규판단을 위한 보충자료로써만 활용된다고 언급하였다.

스푸리어스 발사의 경우, 감시국소에서 수신되는 신호의 스푸리어스를 측정하는 것이 대부분의 신호에 있어서 거의 가능하지 않기 때문에 혼신이 발생한 경우, 혼신지역에서의 측정과 송신기 회로에 직접 측정장비를 연결하는 방법을 중심으로 연구하였다. 실제 FM 방송 신호의 송신소와 감시국소에서의 스푸리어스 발사 측정과 신호 발생기를 이용한 신호레벨을 조정하면서 스푸리어스의 변화를 살펴본 결과, 송신신호가 덜 감소되는 송신기와 가까운 지역에서만 스푸리어스 측정이 가능함을 알 수 있었기 때문이다. 스푸리어스 발사를 직접 송신기에 연결하여 측정하는 것보다는 혼신이 발생하는 경우, 스푸리어스를 보다 쉽게 측정할 수 있는 측정방법에 대하여 연구하였고, 측정시스템을 제안하였다.

요컨대 전계강도와 스푸리어스 발사를 감시국소에서 정확히 측정하기는 여러 가지 이유로 인하여 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 송신기의 전계강도에 근사한 측정값을 알아내기 위하여 고려되어야 할 사항을 기술하였고 그중에서 장비간 오차 및 측정방법에서의 오차를 중점적으로 실험하였으며, 실험결과를 토대로하여 오차 보정방법, 측정방법 및 측정시스템 구성도를 제안하였다.

본연구의 결과가 전계강도 및 스푸리어스 발사 측정업무에 기초자료로 활용되기를 바라며 전파감시업무 개선에 조금이나마 일조가 되었으면 하는 바램이다.

A Study on Method of Measurement of Radio Quality

¹⁾, Ik-Han You¹⁾, Dal-Joung Kim , and Young-Oh Choi²⁾

ABSTRACT

In this study, we propose several methods and systems for effectively making field-strength measurements in the presence of noise and interference. The proposed methods are based on the analysis of the experimental data obtained with a variety of antennas(e.g., LP, Dipole, DISCON) and measuring instruments such as Minilock, ESN and spectrum analyzer. Antenna factor has been found to play an important role in comparing the measurement error between measuring equipments. Particular account is taken into the application of the proposed methods to the current field-strength measurement system at monitoring stations.

I . INTRODUCTION

The use of radio waves has expanded dramatically with advances in electronic technology in recent years. Such an expansion of the

1) Dept. of Radio Engineering, KyungHee University.

2) Radio Reserch Laboratory, MIC.

use of radio waves has a detrimental effect on radio environment with illegal radio stations and unwanted radio waves. Therefore, radio monitoring service is becoming increasingly important, but the environment for this will nevertheless become more difficult as a result of the increasing number of radio stations, the diversification of systems, the sophistication of communication methods, and so on[1,3].

Measurements of field strength are generally made for one or more of several purposes including :

- to determine the serviceability of radio signal in meeting the requirements for a given service ;
- to determine the levels of emission as possible sources of interference ;
- to measure propagation phenomena, for the development and testing of propagation models ;
- to determine the effectiveness of source of an emission with respect to the wanted signal or the degree of suppression of unwanted emission ;
- to ensure compliance with the relevant Radio Regulations[4].

The field strength (or power flux density) and spurious emissions measurement systems in our country can not provide an effective measurement of the various diversified signals used in radio communication. The current system possesses the fundamental problems which are considered as follows : 1) the equipment for measuring field strength and spurious emissions from transmitting stations does not produce accurate measurement when employed at monitoring stations, 2) the present method of making field-strength and spurious emission measurement at monitoring stations yields only a rough measurement since we does not consider the

measurement error between the various measuring equipments and can not make allowance for the difference in distances between the transmitting stations and the location of the receiver.

A number of methods of making field-strength measurements at monitoring stations have recently been presented for solving the measurements problem. Many are based on the use of a period of measurement such as continuous recording over periods of several hours, continual sampling at short interval and sampling at longer interval.

To overcome the above-mentioned problems, several effective field-strength measurement methods based on the analysis of the experimental measurement data are herein proposed. We try to seek information on various aspects of the measurements of field strength at monitoring stations, including the effective measurement methods, equipments and systems for making such measurements in connection with propagation problems, measurement problems, and measurements in the presence of noise and interference.

In this study, two major emphases have been on comparison measurements between the measuring equipments such as receiving antennas and measuring instruments and on the measurement methods depends on the class of emission such as F8E, A3E and G7E.

II. DOMESTIC FIELD-STRENGTH MEASUREMENT METHOD AND SYSTEM.

In this section, we describe the main functions and characteristics

of measuring instruments which are now used to measure field-strength and spurious emissions at monitoring stations and examine the current measurement methods which are affected by types of emission and systems that are composed of receiving antennas, Schlumberger's Minilock receiver and Rohde & Schwartz's ESN receiver and so on[2,6]. We had the regular meetings with relevant operators at regional monitoring stations located in Taejeon and Seoul.

In order to effectively perform the research, our experiments proceeded with the prearranged meeting schedule as follows:

Table 1. Meeting schedule

| Time | Place |
|-----------------------|-------------------------------------|
| 1998. 5. 27 ~ 5. 29 | Seoul regional monitoring station |
| 1998. 8. 25 ~ 8. 27 | Taejeon regional monitoring station |
| 1998. 10. 20 ~ 10. 23 | Seoul regional monitoring station |
| 1998. 11. 16 ~ 11. 18 | Taejeon regional monitoring station |

Field-strength measurement is now made to solve the interference problem occurred in receiving television video signals and investigate radio environment in the presence of noise and interference.

The current field-strength measurement at monitoring stations is achieved by measuring the level of field strength of an arbitrary emission ten times and taking the average of the levels of the measured data. In general, Minilock 6910 is used to measure the radio quality. The noise level which is used as a criterion for measuring field-strength is obtained by taking the average of the

lowest level of field-strength within the frequency range of interest.

Especially, ESN equipment is often used when the relatively accurate field-strength needs to be measured over a special frequency range. The measurement of field strength is mainly focused on a few classes of emissions such as F3E and G3E.

The measurement of spurious emissions at monitoring stations is made to investigate the radio environment and interference problem and is especially performed near the frequency 500 MHz. The current measurement of spurious emissions entails the following experiment procedure. The difference between the spectral variation of the carrier frequency and that of harmonic frequency is first observed with the use of the measuring instrument such as spectrum analyzer. Then the operators listen to the sounds which are generated in both fundamental frequency and harmonic frequency, and compare the indicating levels.

Finally, the operators determine whether the level of spurious emissions is over a given threshold specified in Radio Regulations or not. The current field-strength measurement system is shown in Fig 1.

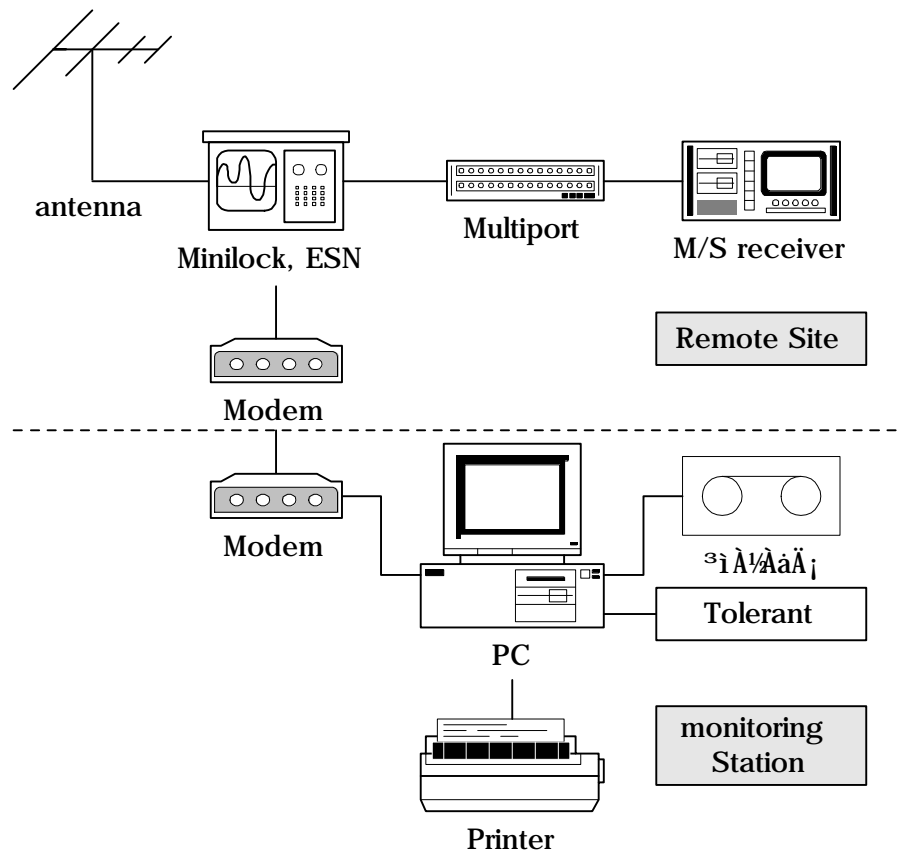


Fig. 1 Schematic diagram of the current radio monitoring system

This system as shown in Fig. 1 is composed of the following subsystems :

- antenna (e.g., Cross log-periodic, log-periodic, DISCON) ;
- measuring receiver(e.g., Minilock, ESN) ;
- modem ;
- computer(controller) and an chart recorder(e.g., printer).

In this system, receiving antenna and measuring receiver play an important role in measuring the field-strength and spurious emissions.

III. FIELD-STRENGTH MEASUREMENTS

RECOMMENDED BY ITU-R

This section gives an overview of methods of field-strength measurements and measuring equipment recommended by ITU-R. The term "measurement of field strength" as used in ITU-R is intended to apply to three general categories of measurement[3,5]:

- 1) measurements performed with portable or mobile facilities, to obtain relatively instantaneous or short-term data at one or several locations;
- 2) short-term measurements at a fixed location, generally in support of other monitoring operations;
- 3) long-term measurements involving field-strength recordings and analysis of chart records.

1. Equipment for measurement of field strength

Measurement of field strength is accomplished through the use of a combination of the following elements:

- an antenna;
- a coupling network and/or transmission line;
- frequency-selection circuits;
- amplifying and attenuating circuits;
- an indicating device such as a meter and computing device ;
- a calibration source such as a CW standard signal-generator and a random noise generator.

These elements may be combined in a single instrument, or in a number of separate instruments, each performing one or more of the required functions. For use in applications such as measurement of

antenna patterns or station service areas, it is common practice to use a single portable field strength meter containing all the above-listed elements except the antenna, and in some cases even the antenna is an integral part of the field-strength meter. In mobile or fixed installations where weight and power consumption are not so important, a wide choice of combination is available, from a standard field-strength meter to separate units consisting of a receiver, meter or chart recorder, standard signal-generator or other calibrating device and an appropriate antenna system. Microprocessor systems are commonly used for controlling the receiver, calibrator and recorder and are often built into a single unit.

A knowledge of the bandwidth, meter calibration function and time constant of the meter in the equipment used in the measurement of field strength is of considerable importance when modulated emissions are observed. This information generally is readily available for commercially manufactured instruments but is not known when composite equipment is used, unless definite steps are taken to measure or obtain these factors. The accuracy of assemblies of composite equipment is unpredictable unless all the details of the equipment and wiring connections are known. It is, therefore, common practice to calibrate composite assemblies and field-strength recording installations by direct comparison with a field-strength meter or signal generator of known and stable characteristics[3].

1.1 Antenna systems

In the frequencies between 30 and 1000 MHz, a wide band dipole or a directional antenna such as a dipole installed in a

corner-reflector or a parabolic reflector is recommended. It should be erected at a height above the ground of approximately 10 m and with appropriate orientation for the azimuth of signal arrival and polarization. Where a wide band of frequencies must be measured, a log-periodic antenna has proven useful. The signal from the antenna is conducted to the receiver by means of suitable coaxial cable. If a half wave balanced dipole is used to feed an unbalanced coaxial line or if the antenna impedance differs from that of the coaxial cable, a suitable matching transformer should be installed between the antenna and the cable. Since most modern VHF/UHF receivers are designed for a nominal impedance of $50\ \Omega$, it is usually desirable to use $50\ \Omega$ cable and to provide for proper impedance matching at the antenna end of the cable. In some instances a single installation may have a need for simultaneous measurement at two or more frequencies, in which event it is common to switch frequencies and antennas if necessary, via microprocessor, while automatically introducing correction factors by means of software.

1.2 Receiving, recording and calibrating equipment

In selecting receiver to be used, account should be taken into the need for adequate sensitivity and for frequency and gain stability.

The better grade receivers of the types normally used for regular monitoring operations are satisfactory for this purpose. Receiver bandwidth should be the minimum required for satisfactory reception of the signal to be measured, while at the same time excessive bandwidth should be minimized to avoid adjacent-channel interference. To provide a graphic record of the field strength on a single channel, it is common practice to use chart type recorders with the time interval displayed longitudinally and variations in

signal level laterally on the roll chart. The chart paper may be of the ink-line, pressure or electrosensitive type depending on the preference of the operating organization. As an alternative to strip-chart recorders, use may be made of direct recording of the statistical distribution of the variations in field strength with automatic distribution counters. Modern, fast equipment makes use of digitally recording equipment, especially where more than one channel is measured automatically. Gain calibration may be made with a CW standard signal generator tunable over the desired frequency range, an impulse generator or a random noise generator of known and stable output characteristics.

2. Methods of measurement

As discussed in this section, the methods of measurement are divided into two general categories[3]. The first one is normal method where optimum accuracy is desired and another one is the expeditious method where a lesser degree of accuracy is acceptable in view of the purposes for which the resulting data is to be used and where simplified procedures and/or facilities permit more rapid or convenient completion of the measurements. Generally, the normal methods should be used for collection of data for scientific or regulation-enforcement purposes (e.g., propagation studies, field-strength surveys, measurements of antenna patterns and harmonic or spurious attenuation measurements). The expeditious methods are used primarily in connection with other operations at fixed monitoring stations where an approximation of the field strength, rather than a more precise measurement, is acceptable.

2.1. Normal method

Many methods of performing field-strength measurements at monitoring stations may be used depending on the information desired, including:

- continuous recording over extended periods ;
- continuous recording over shorter periods to determine day-night or other short term variations in signal level;
- sampling at short intervals (e.g., for 5 sec every 2 min);
- sampling at longer intervals (e.g., for 10 min every 90 min).

In some instances, especially where a ground wave is being observed, a single short period of measurement may suffice, depending on the purpose for which the measurement is required. The time constants of the detector circuit for measuring non-interrupted carrier emissions are selected according to the results desired, with values of the order of a few seconds on both the charge and discharge cycle commonly used for obtaining average values. For quasi-peak values, a short charge time constant with a much longer discharge time-constant is needed.

For the measurement of the quasi-peak values of field strength of an emission with interrupter carrier, a circuit may be employed with time-constants of 1 ms build-up time and 600 ms decay time. When this method is not suitable, because it has a too long build-up time, the measurement may be made by the substitution method using a cathode-ray oscilloscope. Accurate quasi-peak measurements may be difficult to achieve where atmospheric interference is present. Microprocessor controlled equipment can switch frequencies, switch antennas if appropriate, discharge receiver pass-band residual energy, measure on a new frequency including applying correction factors, and digitally record results

within a period of a few tens of milliseconds. This type of system is useful when a number of frequencies need to be measured or when long-term sampling will produce too much data to manually store and analyse. In such case, pre-processing and formatting in the microprocessor controller can speed later computer analysis.

2.2 Expeditious method

These methods are primarily designed for use in the VHF, HF and lower frequency range. A given field strength will produce different levels of signal at the output of the receiver, depending on the characteristics of the antenna and the receiver.

Regardless of the method of measurement used, the degree of accuracy obtainable depends upon several factors, including freedom of the antenna site from local conditions which disturb the arriving wavefront (e.g., local reflection or re-radiation), the care taken in calibrating the system and the skill of the operator in evaluating the results. Since the purposes for which expeditious measurements are normally used do not require a high degree of accuracy, certain compromises in antenna site and calibration criteria can be accepted.

The field-strength measurement system in Fig. 2 and consists of an antenna with a known, measured, or calculated effective height, a receiver with an output device capable of providing average and quasi-peak indication of signal levels, a noise generator and a variable attenuator.

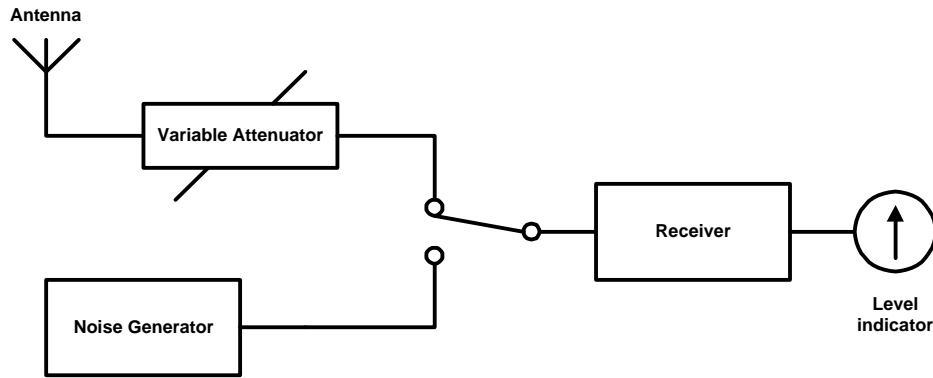


Fig. 2 Block diagram of the measurement system

An output from the noise generator, at a known level N dB and which is independent of frequency over the stated range, is applied to the receiver, and the gain in the receiver is adjusted so as to keep the indicated output level at a certain value. The signals to be measured are received by an antenna of known effective height, K dB and are applied to the receiver through the attenuator in the same conditions as stated above. The attenuator is then adjusted so that the indicator output level is equal to the previous value, and the value A dB of the attenuator is noted; the field strength E dB is calculated from the relationship:

$$E = N + A - K \quad (1)$$

If the scale of the attenuator is graduated directly in units of $(N+A-K)$ dB, and if the relative gain difference of the antenna that is used is within 5 dB over the frequency range of interest, the field strength can be read directly on the scale of the attenuator with an accuracy within ± 5 dB. For other frequencies, calibration curves may be used and the field strength can be determined from the above equation, the error being again maintained within ± 5 dB.

The use of a noise generator as a calibration source results in the indicated output being a function of receiver bandwidth. This means that all field-strength measurements should be carried out at a given receiver bandwidth and that appropriate correction factors be applied if other than the previously selected calibration bandwidth is used. The indicating device should provide for reading of average and quasi-peak levels for the appropriate measurement of different types of emissions. The antenna should have the following characteristics : no directivity, broad bandwidth, high gain and simplicity of construction. In general, a vertical non-directional loaded antenna is considered most desirable[3].

IV. EFFECTIVE METHOD OF MEASUREMENT AND EXPERIMENT

In this section, a number of methods of effectively making field-strength measurements at monitoring stations are proposed depends on the class of emissions. The proposed methods are based on the analysis of the experimental measurement data. We consider the various aspects of the measurements of field strength at monitoring stations, including the effective measurement methods, equipments and systems in connection with propagation problems, measured problems in the presence of noise and interference.

As discussed earlier, the field-strength measurement errors are generally occurred in terms of propagation, measuring equipment and method of measurement. It is very difficult to measure the error caused by radio propagation since the long-term measurements need to be made with field-strength recordings and

analysis of chart records. Thus, particular account is taken into methods for compensating the measurement errors in terms of measuring equipment and measurement method.

The experimental system is constructed as shown in Fig. 3. It is seen from Fig. 3 that DISCON, cross LP and LP antennas are used at fixed stations and a vertical dipole and biconical antennas at mobile stations.

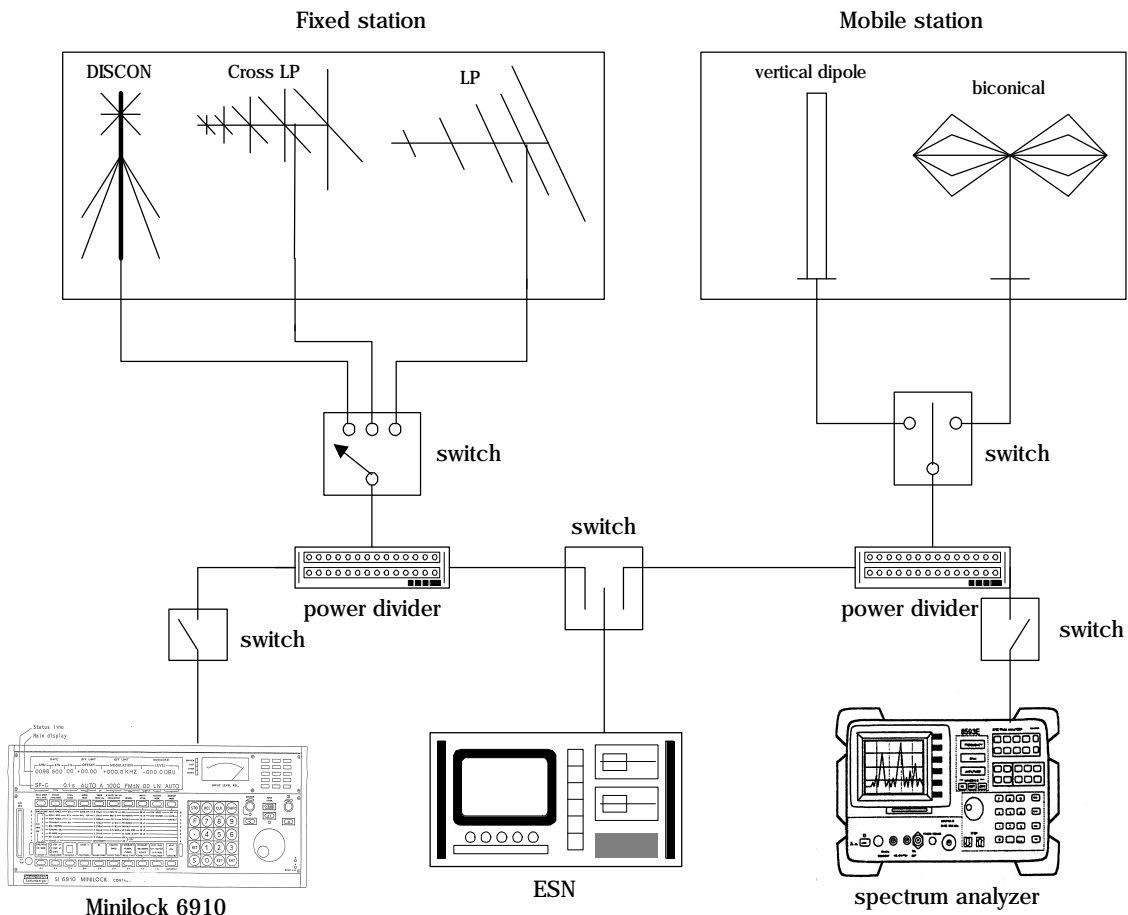


Fig. 3 Integrated experimental system

The spectrum analyzer is often used as measuring instrument[7]. A variety of experiments were conducted in Seoul and Taejon regional monitoring stations. Especially, the result of comparison measurement between measuring equipments are summarized in

Table 1 and 2.

Table 1. Measurement error between Biconical antenna and a vertical dipole antenna.

| Frequency | Antenna | Pattern | Antenna factor | Parameter (Spectrum analyzer) | | | | | Level | Mean value | Error with antenna factor |
|-----------|-----------------|-------------------------|----------------|----------------------------------|---------------|---------|--------------------|-----------|------------------|------------|---------------------------|
| | | | | Span | RBW/ VBW | Mode | Independent trials | Function | | | |
| 91.9 MHz | Biconical | South | 8.7 dB | 3 MHz | 300 k / 300 k | Average | 100 | Automatic | 58.84 dB μ V | 7.52 dB | -5.16 dB |
| | Vertical dipole | Omnidirectional antenna | -4.0 dB | 3 MHz | 300 k / 300 k | Average | 100 | Automatic | 66.36 dB μ V | | |
| 93.1 MHz | Biconical | South | 9.0 dB | 3 MHz | 300 k / 300 k | Average | 100 | Automatic | 55.95 dB μ V | 7.77 dB | -5.23 dB |
| | Vertical dipole | Omnidirectional antenna | -4.0 dB | 3 MHz | 300 k / 300 k | Average | 100 | Automatic | 63.72 dB μ V | | |

Table 2. Measurement error between ESN and Minilock

| Frequency | Instrument | Parameter | | | | | Level | Measurement Error |
|-----------|---------------|---------------|--------|---------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| | | IF Band-width | Period | Mode | Internal Attenuation | The number of samples | | |
| 97.5 MHz | Minilock 6910 | 250 kHz | 1 sec | Average | 10 dB | 350 | 74.1663 dB μ V | 1.5206 dB |
| | ESN | 250 kHz | 1 sec | Average | 10 dB | 350 | 72.6457 dB μ V | |

Based on the experimental analysis, we try to introduce the effective measurement methods. Using the current measurement system, the following measurement procedure is more effective than the conventional method.

- The field-strength measurement should be performed more than 500 times.
- The values of measured parameters between measuring instruments should be different depends on class of emission(e.g., FM: IF BW = 250 kHz, Attenuation = 10 dB, period = 1 sec etc.)
- Measurement should be made in the front of transmitter if the level of field strength at monitoring stations is over a given threshold.

In addition to the above-mentioned methods, we propose the measurement system of which element is necessarily digital spectrum analyzer.

V. CONCLUSIONS

In this study, we propose several methods and systems for effectively making field-strength measurements at monitoring stations. The proposed methods are based on the analysis of the experimental raw data obtained from the field-test which was carried out several times in Seoul and Taejeon regional monitoring stations. Especially, antenna factors have been found to play an important role in comparing the measurement error between measuring equipments. It has been shown from several experiments that digital spectrum analyzer needs to be used for constructing the field-strength measurement system in the future. It should be noted that as the receiver is tuned to a fixed frequency while the signal analyzer scans the passband of the receiver, any ripple in the passband response of the receiver will be a source of error.

[REFERENCES]

- [1] B. Sklar, *Digital Communication Fundamentals and Application*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- [2] Minilock 6910 Operating Instructions, Manual Version 1.2/07.90
- [3] ITU, *Handbook for Monitoring Station*, 1988.
- [4] ITU, *Radio Regulations*, 1B, 1994.
- [5] ITU, ITU-R Recommendations, *Spectrum Management Techniques*, 1994 SM series Volume, 1994.
- [6] Rohde & Schwarz, *Operating Manual Test Receiver ESN*, Federal Republic of Germany.
- [7] Hewlett Packard, HP 70000 Modular Spectrum Analyzer Operation Manual, USA, 1992.

김영수(Kim, Young-soo)

(Dept. of Radio Engineering, KyungHee University)

(array signal processing, spectrum estimation, adaptive filtering, mobile communication systems, radio monitoring & spectrum management etc.)