

主 題

# 효율적인 대역폭 측정방법 및 시스템 구성

유 익 한, 김 달 중, 김 영 수

## 차 례

- I. 서 론
- II. 기존대역폭 측정방법
- III. 점유대역폭 측정실험 및 결과분석
- IV. 효율적인 대역폭 측정시스템 구성방안
- V. 결 론

## I. 서 론

최근에 전파이용의 대중화와 새로운 주파수 대의 기술개발, 무선통신 및 전자기술 등의 기술혁신에 따라 전파사용이 급격하게 증가 추세에 있으며, 무선국의 급증과 다양한 통신시스템, 복잡한 무선통신방식, 다양한 무선통신 서비스요구 등으로 전파환경은 매우 복잡하다. 전파감시업무의 최종적인 목표는 이러한 전파환경 속에서 불법무선국 (혹은 무허가 무선국) 및 위규운용자 색출, 혼신 및 불요전파를 제거하는 것이다. 불법운용 무선국을 색출하기 위해서는 전파감시업무 중에서 전파품질 감시업무가 우선적으로 선행되어야 하며, 전파품질 감시업무는 주파수, 점유대역폭, 스퓨리어스 전계강도를 측정하는 것으로 구성되어 있다.

현재 각 나라의 감시국소에서 가장 어려운 점은 발사신호의 대역폭을 어떻게 효율적으로 측정할 것인가에 대한 방법이 명확하지 않다는 점이다. 이는 여러 가지 원인이 있겠으나, 감시국소 주위의 전파환경 즉, 간섭신호, 배경잡음레벨, 페이딩과

같은 요소들이 장소에 따라 다르고 시간에 따라서도 계속 변화할 수 있기 때문에 나타나는 불가피한 문제점이라고 볼 수 있다. 또한 전파 규칙 (RR)에서 정의하고 있는 대역폭은 현실적으로 적용하기가 매우 어렵다. 따라서 1986년에 ITU-R에서 "x dB 대역폭"을 정의하였으며, 이를 전파신호 종류와 전파형식에 따라 구분하여 권고하였다. 이러한 새로운 대역폭 정의를 채택함으로써 전파규칙의 적용이 훨씬 더 쉬워졌고, 동일한 표준의 국제감시가 실행 가능해졌다. 그러나, 전파 (傳播)경로를 통한 실제통화조건 하에서 감시국에서의 어떤 발사신호에 대한 측정이 행해짐에 따라 여전히 측정된 값의 변동이나, 간섭이나 잡음의 영향, 측정장비의 응답 속도의 선택 등과 같은 해결해야 할 점들이 많이 대두되고 있는 상황이다 [1,2].

전파 감시국소에서 운용하고 있는 전파감시 시스템으로는 인접 주파수간의 상호간섭으로 인하여 감시대상 신호의 정확한 대역폭을 측정하기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 이러한 현실적인 애로사항을 타개할 수 있는 효율적인 대역폭 측정기술

을 연구하는 것이 필요하다. 더 나아가 선진 외국에서 수행하고 있는 품질 측정기술을 분석하여 전파감시 시스템과 운용환경에 맞는 효과적인 활용기술을 개발하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 고에서는 발사신호에 대한 효율적인 대역폭 측정 방법을 제시하고자 한다.

## II. 기존 대역폭 측정방법

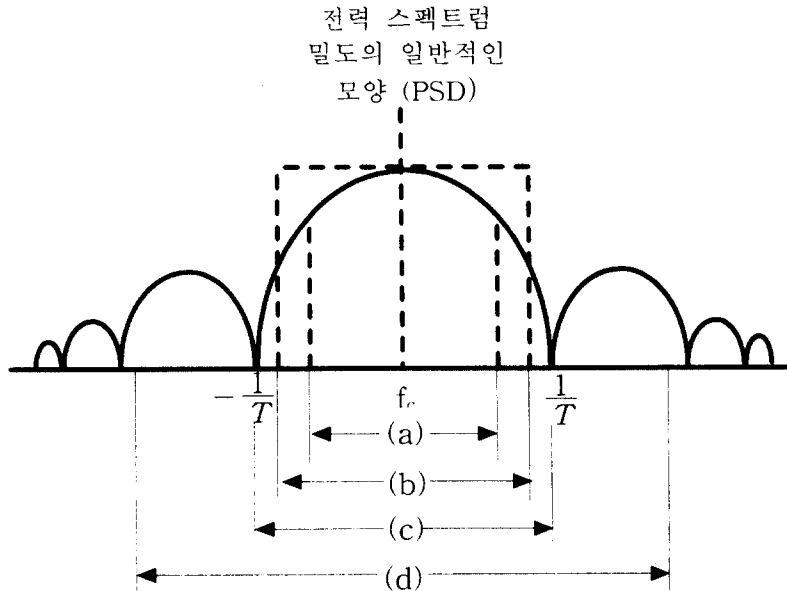
### 2.1 대역폭의 종류

대역폭의 종류는 매우 다양하다. 그 중에서 실제 사용되는 주요대역폭으로는 절대 대역폭, 3 dB 대역폭, 등가 대역폭, 영점 대 영점 대역폭, Z % 대역폭, RMS 대역폭, x dB 대역폭, 필요 대역폭 등

이 있다 [2,3]. Z % 대역폭은 ITU-R에서 신호 대역내의 전력이 총전력의 99 % 로 정의한 점유대역폭과 일치한다. (그림 1)을 통하여 대역폭 종류간의 차이를 비교할 수 있다.

본 고에서 주로 다루어지는 대역폭은 x dB 대역폭, 99 % 점유대역폭과 필요대역폭이다. x dB 대역폭은 스펙트럼 분석기의 CRT 상에 표시된 스펙트럼 형태를 참고함으로써 기준레벨에 대한 스펙트럼 분포가 전파형식마다 정해진 값 (x dB)만큼 낮아지는 대역에서 점유주파수 대역폭을 결정하는 방법이다. ITU-R 에서 x dB 대역폭은 “이산 스펙트럼 성분 또는 연속 스펙트럼 전력밀도가 지정된 기준 레벨 (0 dB)보다 적어도 x dB 낮은 상한과 하한 대역의 주파수 폭”으로 정의된다 [5,9]. 점유

(그림 1) 여러 가지 대역폭의 종류



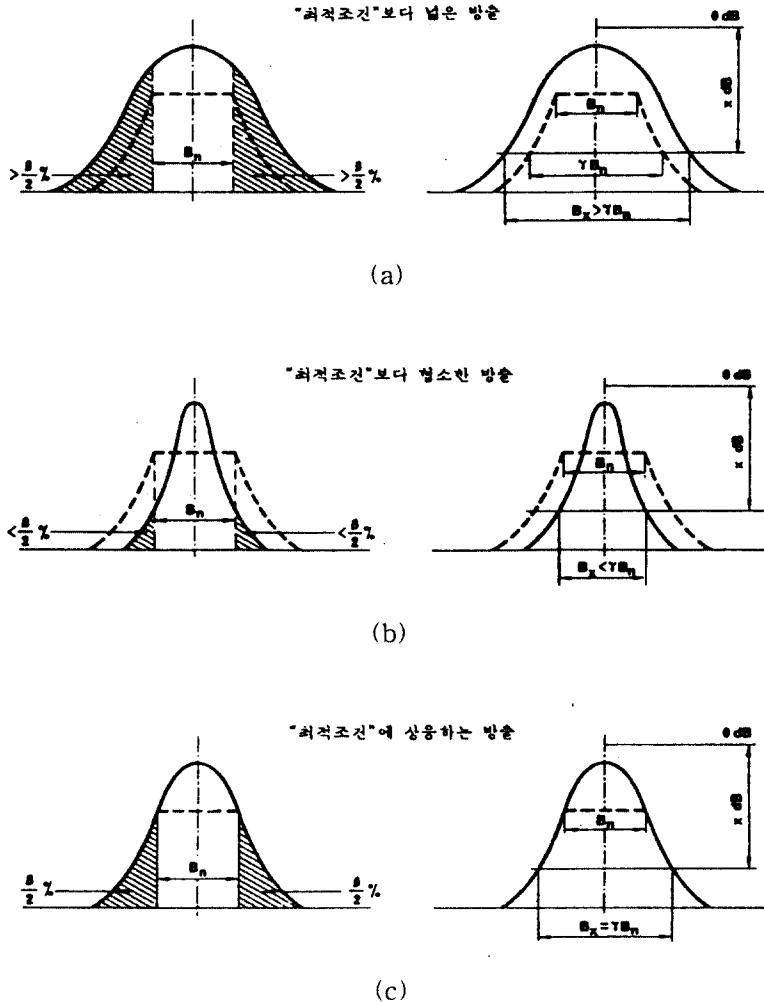
- (a) 반전력, 3 dB 대역폭
- (b) 잡음 등가, 등가 대역폭
- (c) 영점 대 영점 대역폭
- (d) 총 신호 전력의 99 %, z % 대역폭

대역폭은 “상측 주파수 제한의 윗부분에서나 하측 주파수 제한의 아랫부분에서 어떤 주어진 발사의 총 평균 전력의  $\beta/2$  %와 각각 일치하는 평균전력을 발사하는 주파수의 폭”이다. 특별한 전파형식에 대하여 ITU-R이 특별히 다른 언급이 없을 경우에는  $\beta/2$ 의 값은 0.5 이다 [5,8,10]. 필요대역폭은 주어진 전파형식에 대하여 일정한 조건하에서 요구되는 품질과 전송속도로 정보를 전송하는데 충분한 주파수대역의 폭을 말한다. (그림 2)에서 필요대역폭과  $x$  dB 대역폭, 필요대역폭과 점유대역폭 사이의 관계를 설명하고 있다.

(표 1) 통신방식별 주파수범위 및 대역폭

전파형식	할당 대역폭	주파수범위
TV 음성		= 25 kHz
FM 방송 (Mono)	180 kHz	= 75 kHz
	(Stereo) 360 kHz	
전화	30 kHz	= 12 kHz
	16 kHz	= 5 kHz
	8.5 kHz	= 2.5 kHz
무선호출	16 kHz	= 5 kHz
무선데이터	10 kHz	= 2.5 kHz

(그림 2) 필요대역폭과  $x$  dB 대역폭, 점유대역폭의 관계



## 2.2 현용 점유대역폭 측정방법 및 시스템

감시국소의 대역폭 측정에서 주요 측정 대상인 FM 변조 방식 신호의 경우, Carson 공식을 기본으로 하는 필요대역폭 계산식을 이용하여 대역폭을 측정한다. 필요대역폭의 계산을 위해 일반적으로 쓰이는 Carson 공식은 식 (1)과 같다 [4,11].

$$B_n = 2M + 2DK \quad (1)$$

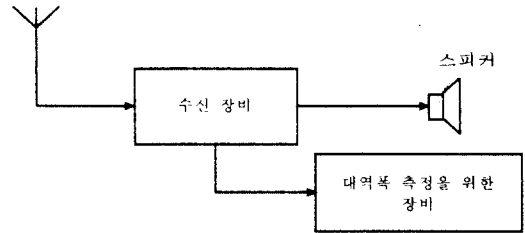
여기서 D는 곱셈계수와 채널당 편차의 r.m.s.값을 곱함으로써 계산되는 침두 주파수편이이고, M은 최대 변조주파수이다. 현재 감시국소에서는 D 값을 측정하여 점유대역폭  $B_n$ 을 추정한다. 이 때, M과 K는 전파형식에 따라 주어지며, FM 라디오 방송의 경우, M은 15 kHz 이고, K는 1이다. FM 라디오 방송의 필요대역폭은 최대 주파수편이가 75 kHz이고, 최대 변조주파수가 15 kHz이므로 계산하면, 180 kHz가 된다. (표 1)은 통신방식별 허용 주파수편이 및 대역폭이다 [5,11].

현용 품질감시 시스템은 주로 Schlumberger 사의 Minilock 장비를 주축으로 시스템이 구성되어 있었고, 일부 감시국소에서는 Rohde & Schwartz 사의 ESN 장비를 사용하고 있다 [7,12].

## 2.3 ITU-R 권고 대역폭 측정 방법

ITU-R에서 권고된 대역폭 측정방법은 크게 3 가지 방법으로 구분된다. 첫번째로는 x dB를 이용한 대역폭의 직접측정방법이 있으며, 두 번째로 점유대역폭의 정의를 그대로 이용하여 총 평균전력의 99 %의 전력을 갖는 부분을 대역폭으로 결정하는 전력비 비교법에 의한 점유대역폭의 직접측정법이 있고, 마지막으로 대역의 전력의 감쇄율 즉, 신호의 스펙트럼 포락선의 감쇄율 등을 이용한 점유대역폭의 간접측정방법이 있다. [1,5,8,10].

(그림 3) 감시국소에서 대역폭 측정을 위한 기본 장비



## Ⅲ. 점유대역폭 측정실험 및 결과분석

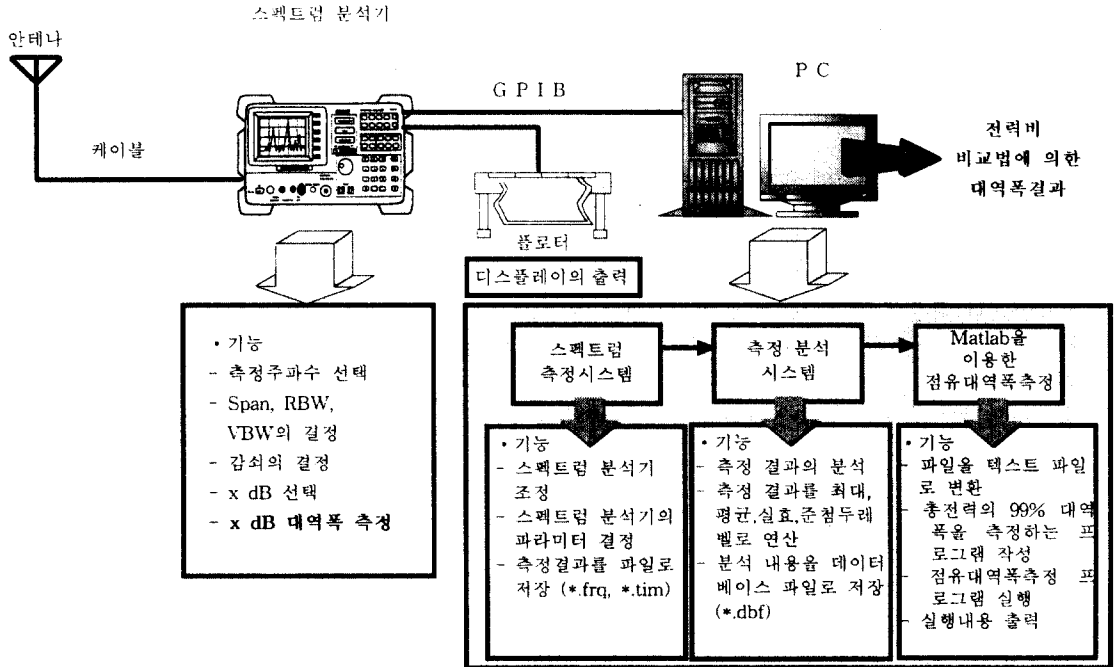
### 3.1 점유대역폭 측정실험

ITU-R의 권고사항을 중심으로 대역폭 측정실험을 수행하기 위하여 (그림 4)와 같이 실험시스템을 구성하였다. ITU-R에서 권고한 대역폭 측정방법 중에서 “x dB 대역폭”을 이용한 측정방법과 “전력비 비교법”을 통한 점유대역폭의 직접 결정 방법을 선택하여 측정하고자 하였다. 측정을 위한 장비로는 HP 사의 70000 시리즈 스펙트럼 분석기와 Minilock 장비를 이용하였다.

x dB 대역폭 측정실험의 경우, 기준레벨을 스펙트럼상의 최고레벨로 설정하고, 기준레벨에 대한 x dB에 가장 적은 오차를 갖는 레벨을 선택한다. 선택된 레벨에서의 주파수를 기록하고, 상하대역에서 기록된 주파수의 차로 대역폭을 결정한다. 전력비 비교법에 의한 측정 실험의 경우, 적당한 측정구간의 대역 내에서 신호의 총전력을 구하기 위하여 잡음성분의 영향을 고려하여 측정구간 폭을 결정한다. 각 샘플의 전력값을 모두 더하고, 하한이하의 전력이 총 평균전력의 0.5 %, 상한까지의 전력이 총전력의 99.5 %가 될 때까지 데이터의 값을 더한다. 하한과 상한의 두 주파수 사이의 차로 전력비 99 %의 점유대역폭을 구한다.

대역폭 측정실험의 대상이 된 전파형식은 전계강도가 일정수준 이상이어서 측정이 수월하고, 또한 현재 감시국소에서의 감시활동에 있어서 주요 측정대상이 되는 FM 라디오방송, TV 방송의 음성부분, 간이무선국, CDMA 기저국 송신신호이다.

(그림 4) 대역폭 측정 실험시스템 구성도



측정시간 및 측정횟수의 선택, RBW 및 VBW의 변화, 측정구간 폭의 변화, x dB의 변화 (x dB를 이용한 측정방법의 경우), 샘플갯수의 변화 (전력비 비교법에 의한 측정방법), 측정 장소에 따른 대역폭의 변화, 시간에 따른 대역폭의 변화, 기준값을 구하기 위한 송신소 부근에서의 대역폭 측정, 대역폭 측정방법간의 비교 등의 실험을 하였다 [1].

### 3.2 FM 라디오 방송신호의 대역폭 측정실험

x dB를 이용한 대역폭 측정방법 실험에서, FM 방송의 경우 최대치모드로 대역폭측정을 하는 것이 평균모드를 이용하여 측정하는 것보다 더 나은 것을 알 수 있다. 측정시간은 3분, RBW는 3 kHz 값이 적절한 실험값으로 도출되었다. 전력비 비교법을 이용한 대역폭 측정 방법 실험에서 전력비를 구하기 위하여 표본데이터 수가 중요한 파라미터가 된다. 측정 주파수 구간에서 잡음레벨에 따라 측정대역폭 값이 다소 변한다는 것을 알 수 있었다.

송신소와 감시국소에서 FM 라디오 방송신호 대역폭의 동시 측정실험을 통하여 ITU-R에서 권고한 -26 dB 대역폭 측정방법을 중심으로 실험을 수행하였다. 출력이 10 kW인 MBC FM 라디오 방송신호를 송신소와 감시국소에서 동시에 대역폭 측정 실험을 실시하였다. 측정된 대역폭과 동시에 감시국소에서 측정된 측정값과 비교하여 송신소에서의 대역폭과 실제 감시국소에서 측정된 대역폭 측정값의 차이를 살펴보았다. 또한 x dB 방법에 의하여 측정이 이루어지는 동안, 현용 측정장비인 Minilock 6910을 이용하여 동시에 대역폭을 측정하였다. x dB 방법을 이용한 대역폭 측정값이 신뢰할 수 있는가를 판단하기 위하여 전력비 비교법에 의한 측정도 하였다. 송신소의 대역폭 측정 시스템을 (그림 5)와 같이 구성하였으며, 송신소에서의 송신신호 대역폭 측정과정은 다음과 같다.

- 여의도에 위치한 방송국에서 0 dB 기준 레벨을 갖는 신호를 계속해서 보내주고 주파수 편이를 조정하는 계기에서 75 kHz 까지 편이를 제한한다.

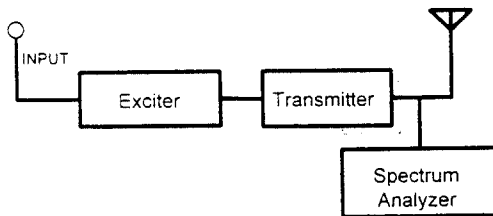
- 송신소에서 증폭기를 거쳐 안테나를 통하여 전국으로 방송이 전파된다.

- 증폭기와 안테나 사이에 계측기가 설치되어 외부잡음이 포함되지 않은 신호를 측정하였다.

(그림 6)은 감시국소와 송신소에서 측정한 발사 신호의 스펙트럼을 나타낸다. x dB 방법을 이용하여 송신소와 감시국소에서 대역폭을 동시에 측정할 경우에, 계측기 파라미터를 변경하면서 측정한 대역폭 값을 (표 2)에 나타내었다. 측정된 대역폭의 차이를 보면, 26 dB 대역폭이 두 장소에서 거의 유사하게 측정되며, 감시국소에서의 26 dB 대역폭 측정이 어느 정도 타당함을 알 수 있다. x dB를 이용한 측정방법과 비교하기 위하여 같은 dBm 단위인 전력비 비교에 의한 방법은 최고레벨과 dB의 차이가 26 dB 보다 작다.

실험 결과로부터 26 dB의 x dB 방법에 의한 대역폭 측정방법이 스펙트럼 분석기를 이용한 경우에 매우 적절한 방법임을 알 수 있었다 [1].

(그림 5) 송신소에서의 대역폭 측정 실험 시스템 구성도



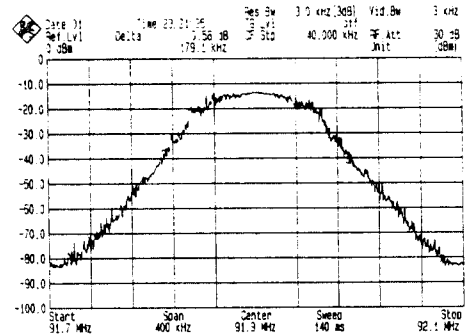
(표 2) 감시국소와 송신소에서 측정된 대역폭의 비교

Span	RBW,VBW	측정기	x dB	측정 대역폭		
				송신소	감시국소	차이
400 kHz	3 kHz	3 분	26 dB	190.3 kHz	190.5 kHz	0.2 kHz
400 kHz	3 kHz	3 분	26 dB	179.1 kHz	178 kHz	1.1 kHz
400 kHz	3 kHz	3 분	26 dB	162.5 kHz	161.0 kHz	1.5 kHz

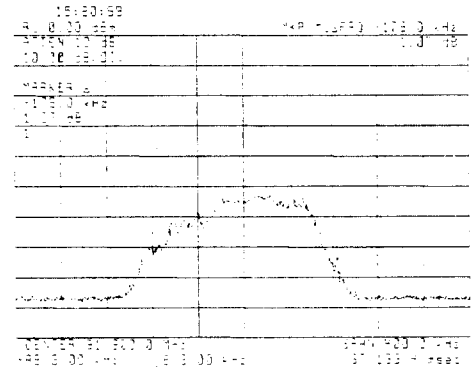
### 3.3 CDMA 기지국 송신 신호의 대역폭 측정 실험

x dB 대역폭을 이용한 대역폭 측정 실험에서 CDMA 방식의 신호 가운데 감시의 대상이 되는

(그림 6) 감시국소와 송신소에서의 발사 신호 스펙트럼



(a) 91.9 MHz FM 방송 신호의 스펙트럼  
Span : 400 kHz, RBW,VBW : 3 kHz  
(최대치 모드, 송신소 측정)  
(- 26 dB 대역폭 : 179.1 kHz)  
(- 43.35 dB 대역폭 : 252.4 kHz) : 할당 대역폭 측정

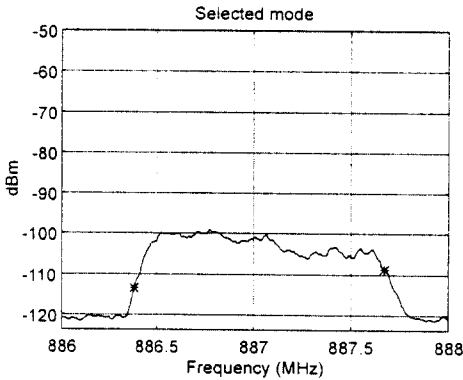


(b) 91.9 MHz FM 방송 신호의 스펙트럼  
Span : 400 kHz, RBW,VBW : 3 kHz  
(최대치 모드, 감시국소 측정)  
(- 26 dB 대역폭 : 178 kHz)

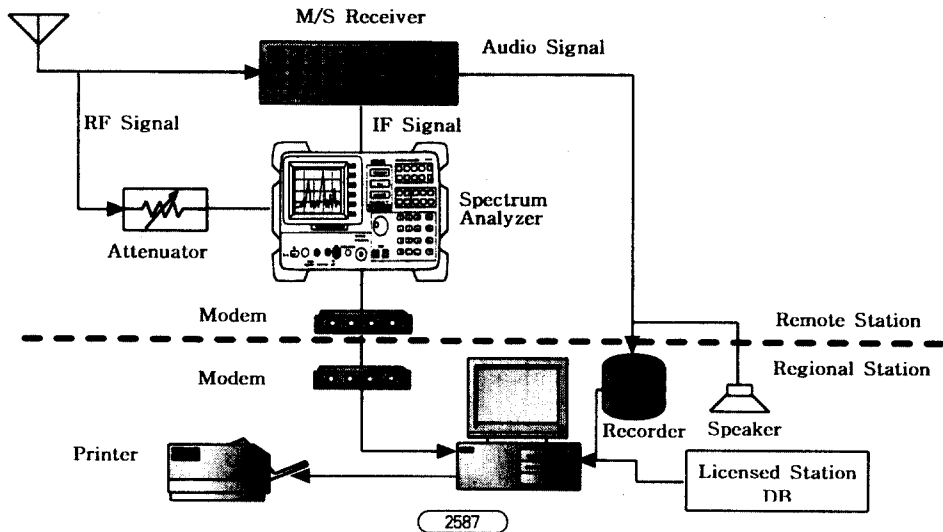
기지국 송신 신호에 관하여 측정하였다. 기지국 신호는 FM 라디오 방송 신호와 달리 1.32 MHz 의 할당대역폭을 갖는 광대역 신호이고, 시간에 따른 신호의 스펙트럼 분포가 크게 변하지 않는다. 또한 CDMA 신호는 스펙트럼 분석기에서 최대값과 잡음레벨의 차이가 대략 15 dB 정도밖에 차이가 나지 않는다. 그러므로 CDMA는 일반적인 x dB 인

-26 dB를 적용할 수 없고, RBW의 변화에 따른 대역폭의 변화가 거의 없다. 시간에 따라 신호가 크게 변하지 않으므로 평균 모드로 측정을 하는 것이 비교적 좋은 결과를 얻을 수 있다. 전력비 비교법을 이용한 대역폭 측정 방법 실험에서 샘플의 수가 FM 방송의 측정시 보다 많고, 오차에 대한 영향이 작기 때문에 할당대역폭에 거의 근사한 값을 측정할 수 있다고 생각된다. 또한 측정실험결과로부터 CDMA 기지국 송신 신호의 측정에서는 전력비 비교법을 이용한 대역폭 측정이 적합함을 알 수 있었다 [1].

(그림 7) 전력비 비교법에 의한 대역폭 측정 실험에  
887MHz CDMA 기지국 송신신호 스펙트럼  
평균모드(dBm) \* RBW 10kHz



(그림 8) 스펙트럼 분석기를 이용한 대역폭 측정 시스템 구성



#### IV. 효율적인 대역폭 측정시스템 구성방안

현재 대역폭 측정방법은 필요대역폭을 계산하는 공식에 따라 주파수편이값을 가지고 대역폭을 측정하는데 이것은 실제의 대역폭을 측정한 값이 아니기 때문에 측정값으로서의 의미보다는 추정값으로 간주할 수 있다. 정확한 대역폭을 측정하기 위해서는 송신소에서의 실제대역폭을 알고 기준으로 설정한 후, 기준 값에 대하여 파라미터를 조정해가면서 실험함으로써 보다 정확한 측정을 위한 파라미터의 설정이 가능하다 [1]. 본 고에서는 현용 감시 시스템의 구성도와 스펙트럼 분석기를 기본으로 하는 새로운대역폭 측정을 위한 측정시스템을 제안하고자 한다. (그림 8)은 스펙트럼 분석기를 이용한 대역폭 측정 방법을 위한 대역폭 측정시스템의 구성도를 나타낸다. 이 구성도는 현재 감시국소 및 전파연구소에서 보유하고 있는 측정장비들로 충분히 구성할 수 있으며, 스펙트럼 분석기의 데이터를 PC에서 제어할 수 있는 프로그램의 작성이 필요하다. (그림 8)에 표시한 측정시스템은 x dB, 또는 전력비 비교법을 수행할 수 있는 시스템 구성방법으로써 점유대역폭에 좀 더 부합되고 오차가 적은 측정값을 제공할 수 있다 [1,13].

(표 3)은 본 고에서 제안한 스펙트럼 분석기를

(표 3) 스펙트럼 분석기를 이용한 효율적인 대역폭 측정방법

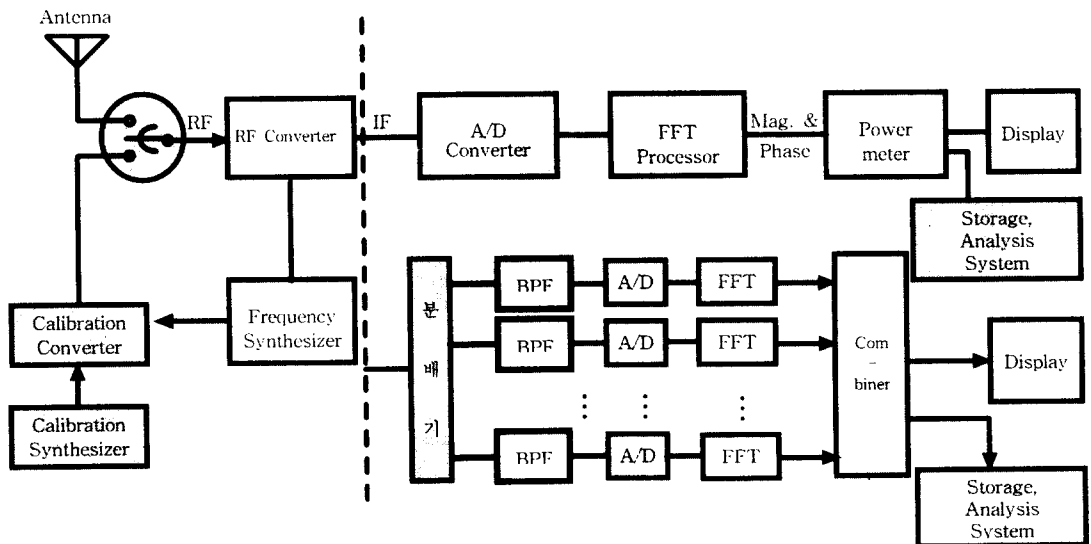
전파형식	측정방법	측정구간	측정모드	측정시간 및 회수	RBW	VBW	감쇄	기준레벨	x dB
FM 라디오 방송	x dB 측정방법	300 kHz	최대치	3 분	3 kHz	3 kHz	10 dB	최고 레벨값	- 26
CDMA 신호	전력비 비교법	2 MHz	평균	100 회	1 kHz	1 kHz	0 dB 또는 10 dB	.	.
TV 음성신호	x dB 측정방법	100 kHz	최대치	3 분	1 kHz	1 kHz	10 dB	최고 레벨값	- 26
간이 무선국 신호	x dB 측정방법	30 kHz	최대치	.	300 Hz	300 Hz	10 dB	최고 레벨값	- 26

이용한 대역폭 측정시스템으로 대역폭을 측정할 경우, 각 전파형식에 따른 효율적인 대역폭 측정방법을 나타낸다.

스펙트럼 분석기를 이용하지 않고 가장 정확한 대역폭 측정을 위해서 DSP 기술을 이용한 측정시스템이 적합하다. (그림 9)는 여러 개의 다중 대역

통과필터를 통과한 신호를 고속 푸리에 변환시켜 그 결과를 컴퓨터에서 분석처리한 후 디스플레이 해주는 디지털 신호처리 측정시스템이다. DSP 기술을 이용하는 방법은 RBW나 VBW같은 파라미터로 인한 측정오차가 상대적으로 없기 때문에 스펙트럼 분석기를 이용한 대역폭 측정방법보다 더 나은 측정결과를 얻을 수 있을 것이다.

(그림 9) DSP기술을이용한시스템구성도 (협대역과광대역신호의대역폭측정)





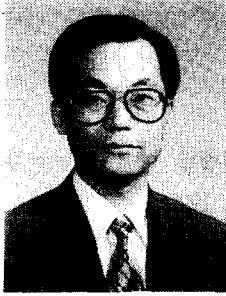
## V. 결 론

본 고에서는 무선통신서비스 중에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 FM 신호와 최근에 대두된 대역확산 신호의 대역폭 측정을 중심으로 측정방법과 측정시스템을 제안하였다. 실험대상신호로 FM 변조방식을 사용한 FM 라디오 방송신호, TV 음성신호 및 간이무선국 신호를 선정하였고, 육상이 동국의 디지털 신호를 대역확산신호의 대역폭 측정대상신호로 채택하였다. FM 라디오 방송신호의 대역폭 측정방법으로 "x dB" 방법과 CDMA 광대역 신호의 대역폭측정으로는 "전력비" 측정방법을 제안하였다. 특히, 현재 사용중인 Minilock 장비 대신 스펙트럼 분석기로 대체하고 측정데이터의 자동저장 및 분석을 위하여 컴퓨터로 제어 및 처리할 수 있도록 시스템을 구성하는 방법을 제안하였다. 스펙트럼 분석기는 DSP 기술을 이용한 디지털 분석기가 필수적이며 관련 응용 S/W 개발도 병행하여 추진되는 것이 바람직하다.

## [참고 문헌]

- [1] 김영수, 전파품질 측정방법 연구, 전파연구소 · 한국통신학회 최종보고서, 1997. 3.
- [2] 정관수, 김영수, 불법무선국의 효율적인 감시 방안 연구, 한국무선국관리사업단 최종보고서, 1996. 7.
- [3] S. S. Soliman and M. D. Srinath, Continuous and Discrete Signals and Systems, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990.
- [4] B. Sklar, Digital Communications, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1988.
- [5] CCIR 권고 및 보고서, 스펙트럼 이용 및 감시, 제 I 권, 1986.
- [6] 한국전파진흥협회, 전파통신용어해설서, 덕산인쇄사, 1996.
- [7] Minilock 6910 Operating Instructions, Manual Version 1.2/07.90.
- [8] ITU, Handbook For Monitoring Stations, 1988.
- [9] 한국무선국관리사업단, ITU, Radio Regulations, 1B, 1994.
- [10] ITU, ITU-R Recommendations, Spectrum Management Techniques, 1994 SM series Volume, 1994.
- [11] Ferrel G. Stremler, Communication Systems, Addison Wesley, Third edition, 1990.
- [12] Rohde & Schwarz, Operating Manual Test Receiver ESN, Federal Republic of Germany.
- [13] Hewlett Packard, HP 70000 Modular Spectrum Analyzer Operation Manual, USA, 1992.

본 연구는 1997년도 전파연구소의 연구비 지원을 받아 수행된 연구과제입니다.



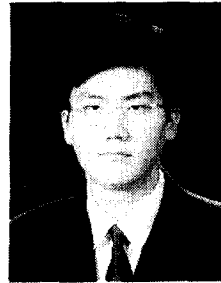
金榮洙

- 1955년 11월 6일생
  - 1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
  - 1983년 2월 : 연세대학교대학원 전자공학과(공학석사)
  - 1988년 12월 : Arizona State University 전기공학과(공학박사)
  - 1985년 5월~1986년 5월 : Consultant, Signal-System Technology Inc., U. S. A..
  - 1986년 6월 -1988년 12월 : Research Associate, Arizona State University.
  - 1989년 3월~1992년 8월 : ETRI 전파기술부, 전파응용연구실, 실장.
  - 1992년 9월~1996년 8월 : 경희대학교 전파공학과 조교수.
  - 1996년 9월 ~ 현재 : 경희대 전자전산전파 공학부 부교수.
  - \* 주관심분야 : 레이더/소나신호처리, 이동통신, 스펙트럼 추정, 적응필터 등
- E-mail : yskim@nms.kyunghee.ac.kr



김달중

- 1948년 2월 13일생
  - 1998년 2월 : 한양대학교 산업대학원 전자통신공학 석사과정
  - 1978년 1월 : 전파관리국
  - 1982년 2월 : 정보통신부 전파방송관리국
  - 1990년 4월 ~ 현재 : 전파연구소
  - \* 주관심분야 : 전파통신시스템 측정기술 (유·무선), 주파수관리기술 등
- E-mail : djkim@cc.rr1.go.kr



俞益韓

- 1973년 7월 1일생
  - 1997년 2월 : 경희대학교 전파공학과(공학사)
  - 1997년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 대학원 전파공학과 통신 및 신호처리 연구실 석사과정
  - \* 주관심분야 : 이동통신, 스펙트럼 추정, 전파관리 등
- E-mail : ikyu73@unitel.co.kr