

# FMX스테레오방송 기술에 관한 연구

박성욱, 박유식



## 요 약 문

대중 전달매체로서의 중요한 부분을 차지하고 있는 FM방송이 사회에 기여하는 서비스는 실로 막대하다고 할 수 있다. 이러한 FM방송은 모노방송으로 시작되어 지금은 스테레오 방송이 실시되고 있으며 더 나은 서비스를 제공하기 위한 연구가 지속적으로 진행되어 왔으며 그중에서 FMX(FM eXtended)라는 새로운 스테레오 방송방식이 미국의 CBS 기술센터를 중심으로 개발된 것을 BTP(Broadcast Technology Partners)사가 실용화 함으로써 보급을 눈앞에 두고 있다.

FMX시스템은 스테레오 부채널의 신호를 송신의 마지막 단에서 압축하여 송출하고 수신시 이를 다시 원래대로 확장하는 압축신장시스템(Companding System)을 이용하여 신호대 잡음비를 대폭 개선함으로써 스테레오 서비스의 수신 구역을 확장하는 효과를 얻는다.

본 연구에서는 FMX 시스템의 원리와 구성을 알아보고, 기존의 FM스테레오에 비하여 어떤 부분에서 어느정도의 개선효과가 있는지와 기존의 FM 모노방송이나 스테레오 방송과의 호환시 나쁜 영향을 주지 않는지등에 대하여 실험실에서 할 수 있는 범위 내에서 시험해 보았으며 새로운 시스템의 도입을 위해 필요한 표준 사항을 조사하여 기술기준 제정의 방향을 제시하였다.



## A B S T R A C T

FM Broadcast service contributes to society greatly and It is very important as a massmedia.

FM Broadcast technology has been developed continuously in order to provide better services.

BTP(Broadcast Technology Partners) realized and has popularized the new FM stereo Broadcast system which developed by CBS technique center in U.S.A. as a called FMX(FM eXtended) system.

This system has advantage of extending stereo service area through companding system which transmit compressed signal of sub-channel and recieved signal is expanded for improving S/N ratio.

In this research, studing the principle and composition of the FMX system, comparing with the conventional FM stereo system to know improvement and compatibility.

The test is progressed in our laboratory as much as possible I suggest the technical standard and reference of this new system that is necessary for introducing.



## 목 차

제1장 서론	414
1. 연구의 목적과 필요성	414
2. 연구의 범위 및 방법	414
제2장 FM스테레오방송의 취약점	415
1. 잡음의 원인	415
2. 잡음레벨과 방송구역의 관계	416
3. 잡음억제의 한계	418
4. 압신시스템의 응용과 잡음	419
가. 압신과 잡음	419
나. 압신시스템의 응용	420
제3장 FMX스테레오방송 시스템	421
1. FMX시스템의 개발동향	421
가. 방송방식의 개발	421
나. 국내,외 도입현황 및 관련기기의 개발현황	421
2. FMX시스템의 원리	422
3. FMX시스템의 구성	423
4. 구성요소 및 특성	425
가. 압신기	425
나. 확장기	427
다. 변조레벨	428
라. 분리도	429
마. 다중경로	430

제4장 FMX스테레오 시스템 및 신호의 표준-----	432
1. FMX스테레오 시스템 표준-----	432
2. FMX스테레오 특성의 표준-----	432
가. FMX Encoding 표준-----	432
나. 복합 기저대역 수신 표준-----	438
다. FMX Decoding 표준-----	438
라. 음향출력 신호의 재생-----	442
제5장 기존의 FM과 FMX시스템의 비교 시험-----	443
1. 시험 개요-----	443
2. 청취 시험-----	444
3. S/N 특성-----	444
4. 왜율 특성-----	445
5. 분리 특성-----	448
6. 수신구역-----	448
7. 시험결과에 대한 고찰-----	449
제6장 결 론-----	451
참 고 문 헌-----	452
부록 1. Quadrature 부반송파를 더함으로써 발생하는 Peak Modulation-----	453
부록 2. FMX 수신조건에 대한 잡음 스펙트럼-----	453
부록 3. S/N 특성 측정 Data-----	456
부록 4. 왜율특성 측정 Data-----	457
부록 5. 분리도 특성 측정 Data-----	459



## 제1장 서론

### 1. 연구의 목적과 필요성

스테레오의 원음재생 특성이 개선되고 서비스 구역이 확장되는 새로운 FM스테레오방송 방식에 대하여 기술적 특성이나 조건등 국내 도입에 필요한 제반사항을 연구하여 새로운 방송기술의 표준사항과 기술기준 제정의 방향을 제시하고자 함.

### 2. 연구의 범위 및 방법

FMX스테레오 방송방식의 이론적 배경과 함께 기술적인 특성을 조사하고 실험실 내에서 가능한 범위 내에서 실험과 측정을 통하여 기존의 FM스테레오 시스템과 비교해 보고 그 차이를 분석하여 보았다.

또 국내.외의 FMX 스테레오 시스템 보급 현황과 관련장비의 개발 및 생산현황을 조사하여 정책결정을 위한 참고자료로 활용될 수 있도록 하였으며 이러한 시스템을 도입할 경우에 대비하여 기술적 표준사항을 조사하여 기술기준 제정의 방향과 그 바탕을 마련하였다.

## 제2장 FM 스테레오 방송의 취약점

### 1. 잡음의 원인

모노포닉의 방송을 스테레오포닉으로 전환할때, 스테레오는 모노에 비하여 신호전력이 다양한 성분의 복잡한 기저대역으로 나누어 진다. 복합신호의 대역폭이 넓기 때문에 스테레오포닉의 S/N비가 모노포닉의 S/N 비보다 적게된다. 이러한 신호의 방정식은 다음식과 유사하다.

$$f(t) = M + P \sin(\omega/2t) + S \sin(\omega t)$$

M : 모노포닉 합의 신호 (L+R)

P : 파일롯트 신호

S : 스테레오포닉 차의 신호 (L-R)

$$\omega : 2\pi(38\text{kHz})$$

스테레오 방송을 위해 기저대역의 스펙트럼을 53kHz로 확장하면 잡음레벨은 주파수 변조 때문에 스펙트럼 특성이 상승하여 잡음레벨이 높아진다.

그림2-1에서 나타나는 것과 같이 복합신호의 증가에 따라 삼각 잡음 스펙트럼은 6dB/Oct의 비율로 증가한다. 음향 De-emphasis 는 그림2-1의 특성에 반대로 작용하여 잡음을 약화시키기는 하지만 잡음문제는 여전히 격심하다.

또 복조후에 차의 채널 부반송파의 잡음성분(통계적으로 독립적인)은 음향 Dematrixing 시 모노포닉 신호에 이미 존재하고 있는 잡음이 가해진다.

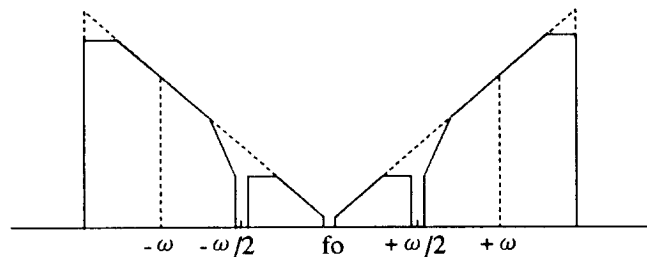


그림 2-1 De-emphasis 된 FM 잡음 스펙트럼

## 2. 잡음레벨과 방송구역의 관계

고충실도의 매체인 FM 음성방송은 전자기적 간섭에 대한 내성과 넓은 음향대역에서 낮은 잡음 특성을 갖고 있으나 스테레오 방송의 경우 고충실도의 중요한 요소인 S/N 비가 저하하는 약점이 있다.

간단한 음향신호를 송출하여 RF신호레벨이 FM수신한계점 이상인 지점에서 스테레오와 모노의 잡음에 대한 스펙트럼을 비교해 보면 스테레오가 잡음의 측면에서 매우 취약함을 알 수 있다.

S/N비의 이론적 손실을 정확히 계산하기 위해서는 디엠피시스의 영향, 인가된 시험신호의 형식등의 요인을 고려해야 한다.

### 가. 음향신호의 대역과 S/N비의 관계

사람의 청각에 가장 큰 영향을 미치는 주파수 영역인 4000Hz 근처의 주파수에서 스테레오와 모노의 잡음은 약22dB 차이가 있다.(그림 2-2) 또 CCIR의 권고 486-3의 음향- 주파수 등화특성에 의하여 가중되었을때 인식된 차이가 20dB 인 것으로 보고된바 있다.

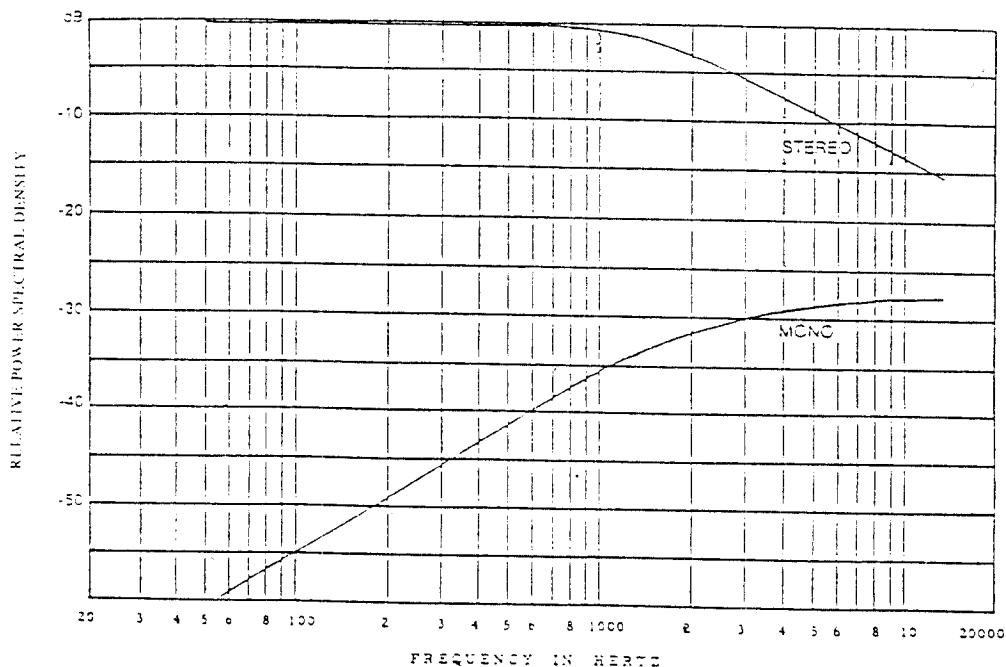


그림 2-2 잡음 스펙트럼

## 나. 모노와 스테레오의 S/N 차이

1962년 발표된 Parke와 Ruby의 보고서에 의하면 부반송파를 변조하지 않은 (L-R=0) 모노포닉 전력의 전송을 가정했을때 스테레오포닉의 수신에 있어 S/N비가 모노포닉의 경우보다 23dB 감쇄한다는 추정을 했다.

이러한 주장이 모든 프로그램에 동일하게 적용되지는 않지만 널리 인정되고 있다. 또 미국의 EIA(Electronic Industrial Association)의 후원하에 NQRC(National Quadraphonic Radio Committee : 국립 4채널 방식 무선위원회)는 이부분에 있어 훨씬 상세히 연구하였다. 이들의 보고서에서는 모노포닉에 대한 스테레오포닉의 S/N이 23dB 낮고 음향 시험신호의 대역을 넓게 변화시켜 사용할때 26dB 이상 낮음을 확인하였다.

## 다. S/N과 방송 영역의 관계

S/N의 손실은 결국 방송국의 유효 수신범위를 감소시키는 원인이 된다. NQRC의 Data를 기초로한 그림2-3을 보면 송수신 셋트의 환경에 의한 효과를 알 수 있다.

50dB의 S/N비에서 수신할 경우

- 1) 모노포닉 송신만 행할때 수신범위 : 반경 128 miles (206km)
- 2) 스테레오 송신을 같이 할때 모노포닉의 수신범위 : 반경 100 miles (160km)
- 3) 스테레오 송신을 같이 할때 스테레오포닉 수신범위 : 반경 60 miles (97km)

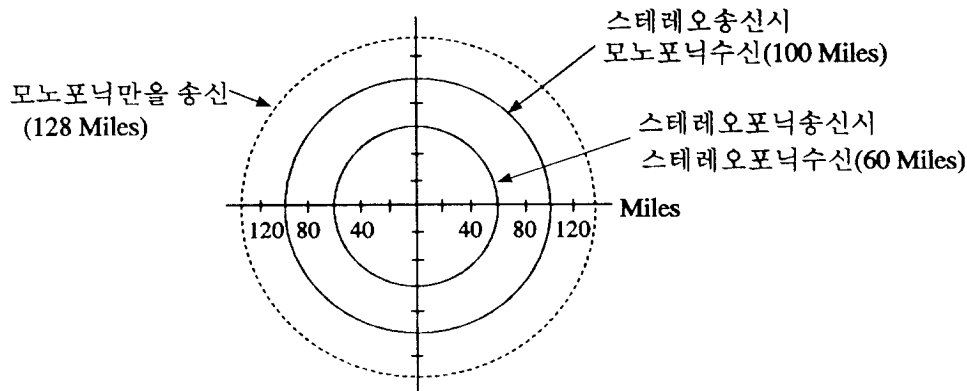


그림 2-3 50dB S/N비의 수신한계(NQRC 범주)

### 3. 잡음억제의 한계

가. 압신 시스템이 스테레오의 잡음을 20dB 까지 감쇄하는 특성을 가졌다 할 지라도 다음의 두가지 이유때문에 그보다 적은 잡음감쇄로 충분한 잡음 저하 효과를 얻을 수 있다.

- 1) 방송구역의 한계를 정할때 대부분 잡음이 아닌 간섭에 의한 영향을 고려하여 설정 되었으며,
- 2) 수신기의 Quieting 특성이 그림2-4와 같이 나타나 높은 RF 입력레벨에서 스테레오와 모노의 잡음레벨 차이가 보통 3-10dB 정도이다.  
(여기서는5dB)

나. 그림2-4에서 40dBf 보다 낮은 입력신호의 RF 레벨에서는 최대로 20dB의 S/N 비 차이가 나지만 "Blend" 기법을 이용해 모노방식으로 자동 전환되도록 한다. 이렇게 함으로써 방송수신에 있어 거의 한계 레벨인 50 $\mu$ W/m 까지도 좋은 S/N비로 충분한 스테레오 분리를 제공한다.

참고) 미국에서의 경우 30dBf 보다 낮은 RF 레벨에서 가장 가까운 주파수에 있는 인접채널과의 간섭으로 수신이 제한된다. 결국 20dB이내의 범위에서 잡음감쇄를 하여도 대부분의 청취자를 위한 스테레오 잡음제거로 충분하며 압신에 있어 적절한 타협점은 14dB로 선택된다.

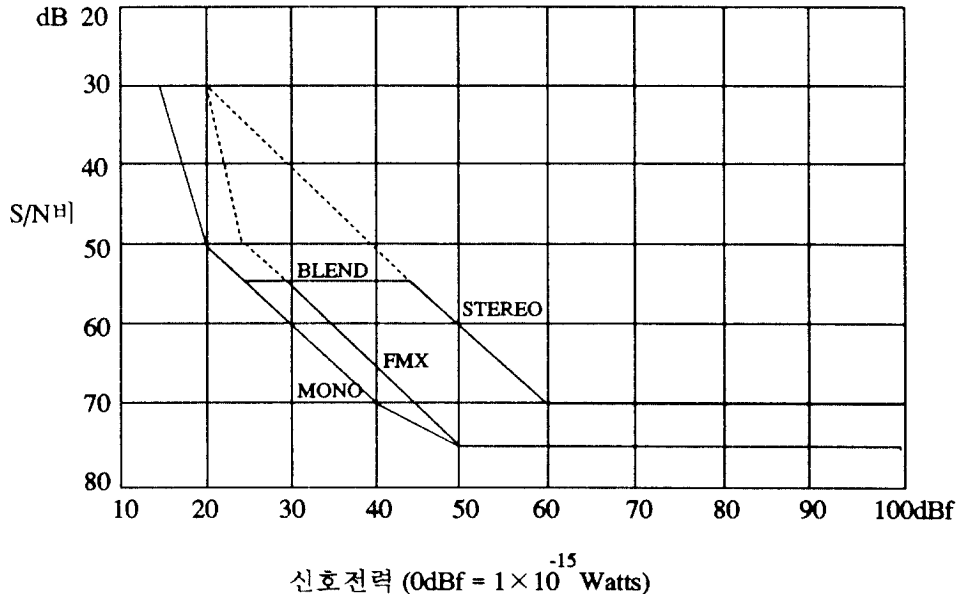


그림 2-4 보통의 가중된 튜너의 Quieting 특성

## 4. 압신에 의한 잡음 저하

### 가. 압신과 잡음

압신 시스템은 음향의 동적인 범위(Dynamic Range)를 압축하여 보낸후 수신측에서 원래의 동적인 범위로 확장함으로써 낮은 잡음의 신호를 얻는다.

이러한 과정이 그림2-5에 나타나 있으며 여기서 좌측은 원래의 음향신호를 대표하는 넓은 대역의 동적 범위로 잡음 레벨이 낮은 신호이고 중간에 있는 것은 압축된 신호로 동적범위의 윗쪽영역을 압축한 것이다. 이 과정에서 송수신에 따른 부가적인 잡음이 압축된 프로그램 범위의 아랫쪽 레벨에서 나타나지만 압축되지 않은 프로그램을 침범하는 레벨은 아니다. 최종적으로 확장된 프로그램은 원래의 동적인 범위로 복원됨과 동시에 잡음레벨이 감소된 상태로 적절히 재구성되어 나타난다.

이러한 압신시스템은 Tape, Disk Recording 등을 비롯하여 여러가지 음향기기에 응용되어 그 성능이 성공적으로 입증되었다.

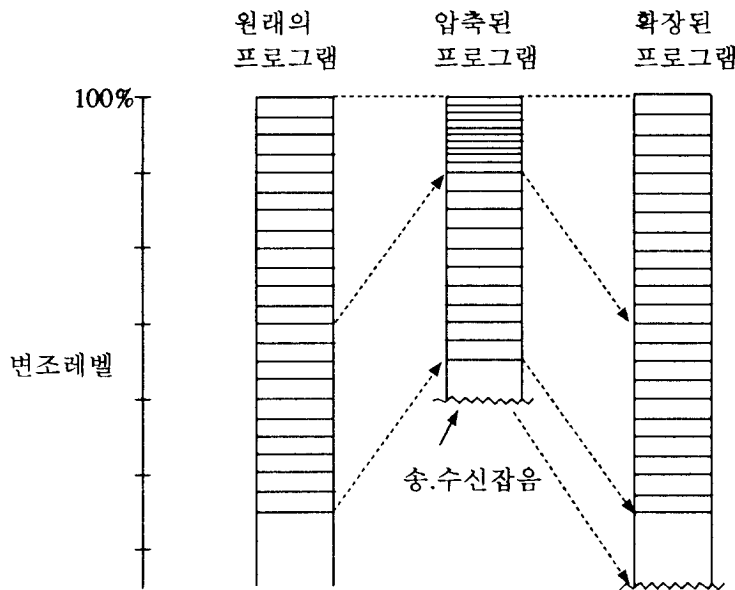


그림 2-5 압신.확장 과정

## 나. 압신 시스템의 응용

음향 압신기술을 FM 라디오 방송에 적절히 응용하기 위해 세계적으로 많은 실험이 있었다. 스테레오 방송에서 잡음의 가장 큰 요인은 S채널(L-R)에 기인하는 것이므로 S채널을 압축하여 수신기에서 적절히 확장하면 스테레오 포닉 잡음의 약점을 크게 개선할 수 있을 것으로 생각되나 기존의 확장기능이 없는 수신기로 수신할때 심각한 문제가 발생한다. 새로운 압축기법을 도입하면서 모노포닉이나 기존의 스테레오포닉의 수신에 나쁜 영향을 미치지 않도록 하기 위해서 주채널(M)과 부채널(S)에 변화를 주지않고 더 나은 잡음 저하를 얻을 수 있어야 한다.

간단한 압신 시스템은 압축 비율이 보통 2:1 또는 3:1 정도에서 운용된다. 이러한 비율은 몇몇의 응용에 있어 호환성을 위해 설계되며 보충적인 확장없이 재생되며 확장이 채용된 간단한 시스템에서 한정된 양의 기울기(비율)는 확장기가 추적을 위해 충분한 신호레벨을 식별하는데 필요하다. 더 높은 압축비율은 전송채널의 더욱높은 효과적인 적재를 허용하나 적절한 복호화가 어렵거나 불가능하게 된다. 만일 스테레오 방송시스템에서 차의 채널(L-R)에 압신 기법이 적용되었다면 확장시의 오차는 스테레오 분리도의 저하를 초래할 수 있다.

그림2-6은 합(L+R)과 차(L-R)의 신호에서 진폭과 위상의 오차 함수로써 몇가지 분리 특성을 보여주고 있다. 여기서 보여 주는 것처럼 음향위상의 추적오차가 없는 것으로 가정한다고 할지라도 25dB의 분리도를 얻기위해 1dB 이내의 추적 오차를 요구하며 35dB의 분리도를 얻기 위해서는 0.3dB 이내의 추적 오차를 필요로 한다.

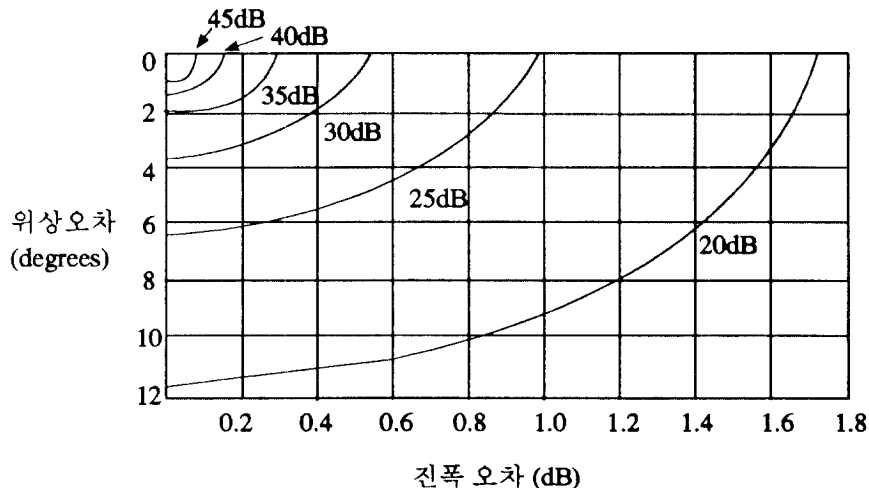


그림 2-6 합과 차의 신호에서 진폭과 위상오차의 함수에 따른 분리도

## 제3장 FMX 스테레오 방송시스템

### 1. FMX시스템의 개발동향

#### 가. 방송방식의 개발

FM스테레오방송이 1961년에 실시되었다. 그러나 이것은 모노방송과 비교할 때 스테레오 효과가 있는 반면, 다중경로에 의한 방해나 S/N비의 측면에서 매우 불리한 약점을 안고있다. 이러한 약점을 개선하기 위해 미국의 CBS 기술센터를 중심으로 1983년에 FMX(FM eXtended)라는 새로운 방송방식이 개발되었고 BTP사는 이를 실제의 라디오 송신소에 적용하여 실용화 시켰다.

현재도 기존의 FMX 시스템을 더욱 개선하기 위한 연구가 BTP사를 중심으로 진행되고 있으며 이를 FMX II 라 지칭하고 있다. FMX II는 수신기에서 S와 S' 신호사이의 위상차를 보다 빨리 감지하여 다중경로의 상황에 대한 적절한 반응(Blending등)을 기존의 FMX 시스템 보다 빠르게 한다. 이렇게 하여 다중경로 환경하에서 보다 좋은 상태로 수신이 가능하다고 한다.

현재 개발이 진행중인 FMX II 시스템은 다중경로의 발생이 특히 심한 도시건물들 사이나 이동하면서 수신하는 경우에 기존의 FMX 시스템에 비하여 수신 성능의 향상을 가져올 것으로 기대된다.

#### 나. 국내외 도입 및 관련기기의 개발동향

##### (1) 방송용 FMX 스테레오 제너레이터의 도입 및 방송

FMX스테레오 방송을 하기 위한 필수장치인 FMX 스테레오 제너레이터는 현재 미국, 덴마크등 몇개 회사에서 제작하고 있으며 이러한 제품들을 수입하여 보유하고 있는 국내 방송국도 있다.

한편 미국(1989), 캐나다(1990. 승인), 멕시코, 브라질등에서는 FMX 스테레오방송을 하고 있으며 스웨덴, 독일, 오스트레일리아등의 나라에서도 시험을 하고 있거나 도입을 준비하고 있는 것으로 알려져 있다.

##### (2) FMX 수신기

현재 FMX방송을 도입한 국가들에 약 30,000여대의 수신기가 Alpine, JVC, NAD등의 업체들에 의해 공급된 것으로 알려져 있으나 국내에서 삼성전자 부천 연구소에서 FMX 수신용 Chip을 92년에 개발하여 발표하였으나 완제품의 수신기



를 제작하는 업체는 아직 없다.

## 2. FMX 시스템의 원리

FM스테레오 방송의 수신에 있어 주된 잡음의 원인이 차의 신호(L-R)의 부반송파에 있기 때문에 FMX 시스템은 차의 신호를 강하게 압축하여 기존의 부반송파 위상과  $90^\circ$ 의 차이를 갖도록 Quadrature 변조하여 제2의 부반송파를 송출한다.

이렇게 구성된 새로운 기저대역 스펙트럼은 그림3-1과 같다. S와 S'채널 모두 반송파를 억압하여 진폭변조된 양측파대 형식으로 Quadrature 부채널(S')은  $38\text{kHz} \pm 9.9\text{Hz}$ 의 측파대를 포함하고 있으며 이 측파대는 수신기에서 복호기를 자동적으로 동작하도록 해주는 식별톤으로 구성되어 있다.

이 새로운 복합신호의 완전한 표현은 다음과 같다.

$$f(t) = M + P \sin(\omega_s t/2) + S \sin(\omega_s t) + S' \cos(\omega_s t) + P' \cos(\omega_s t)$$

$\omega_s = 2\pi 38\text{kHz}$  : 스테레오폰닉 부반송파 주파수

$M = 0.45(L+R)$  : 스테레오폰닉 합의 신호

$S = 0.45(L-R)$  : 스테레오폰닉 차의 신호

$S' = -g(s).s * h(t)$  : 스테레오폰닉 차의 압축된 신호

$P = 0.1$  : 파일럿 부반송파의 진폭

$P' = 0.01 \sin(\omega_s/3840t)$  : 식별톤

$g(s)$  : 스테레오폰닉 차의 신호에 적용되는 압신기의 이득 함수

$*$  : 회선 연산

$h(t)$  : 등화 네트워크의 임펄스 응답의 복소함수로 다음과 같다.

$$H(f) = \frac{1+jf(2\pi\tau)}{5+jf(2\pi\tau)}, \quad \tau = 1000\mu\text{s}$$

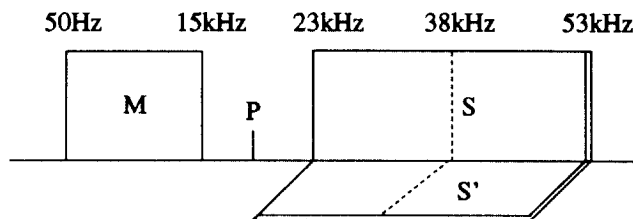


그림 3-1 기저대역 스펙트럼

이러한 새로운 형태의 신호를 수신한 기존의 수신기는 M과 S채널을 이용하여 정상적인 스테레오 서비스를 받게되고, 새로운 방식을 수용할 수 있는 수신기는 10Hz의 식별톤을 감지하면 자동으로 Quadrature 부반송파의 압축된 신호를 적절히 확장하여 저잡음의 스테레오 서비스를 이용할 수 있다.

결국 새로운 FMX시스템은 기존 FM스테레오 방송에서 잡음에 가장 많은 영향을 미치는 (L-R)의 신호에 압축-확장의 기법을 이용하여 잡음을 감소시킨다.

### 3. FMX 시스템의 구성

FMX스테레오 방송시스템의 전체적인 구성은 그림3-2와 같다.

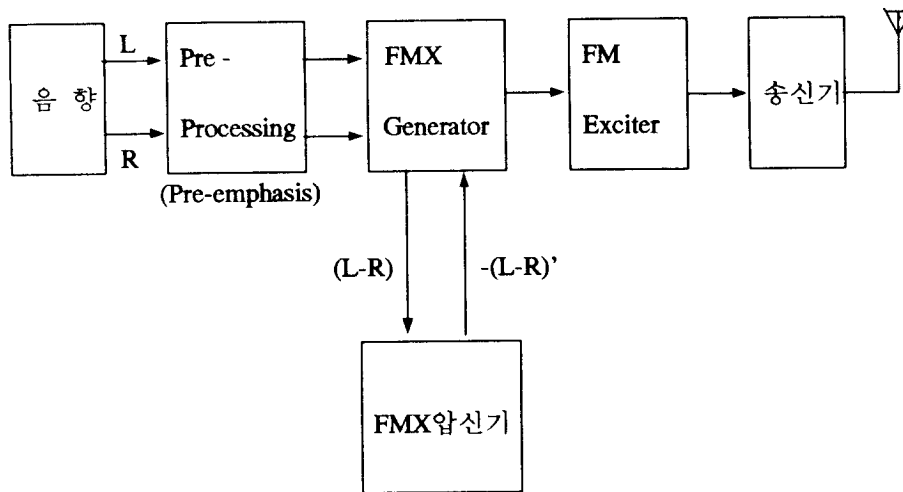


그림 3-2 FMX스테레오 방송시스템의 구성

한편 기존의 FM스테레오 방송방식과 차이가 있는 부분인 FMX Generator와 수신기는 그림3-3 및 3-4와 같이 구성되어 있다.

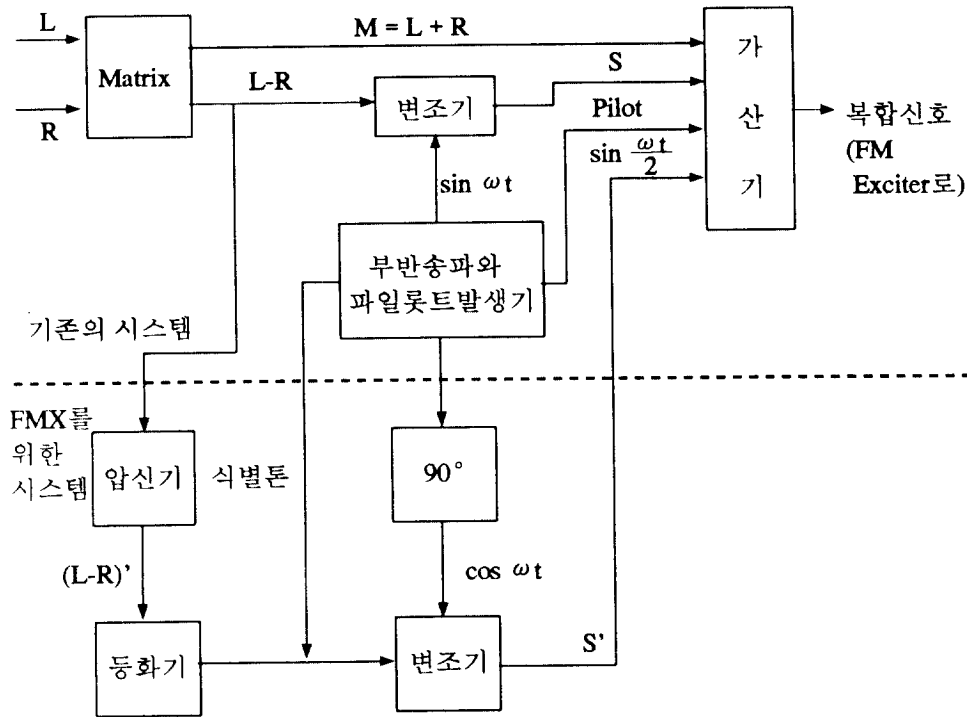


그림 3-3 FMX Generator의 구성도

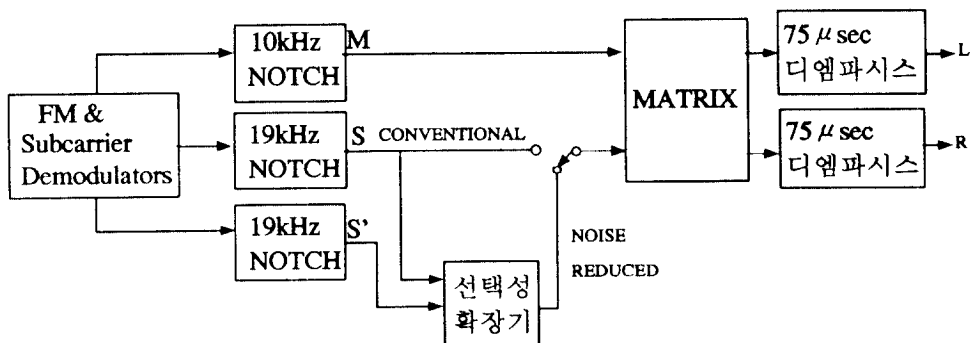


그림 3-4 수신기의 구성도

## 4. 구성요소 및 특성

### 가. 압신기

그림3-5는 일반적인 진폭압신기의 구성으로 음향신호가 부궤환 회로의 제어 하에서 가변이득 증폭기에 의해 송출된다. 궤환 경로는 음향곡선에 대하여 비례하는 제어신호를 발생한다. 따라서 음향신호의 레벨이 증가하면 증폭기의 이득은 줄어든다.

실질적인 압신기는 가변이득 증폭기에서 높은 레벨의 손실과 등가인 고정된 입력 이득을 요구한다. 압축값이 제한되므로 궤환 제어 신호는 매우 적은 음향 신호에 대한 기준값을 가정해야 한다. 이것은 그림3-5에서  $V_{ref}$ 로 나타나 있으며, 그에 따라 변환 곡선상에 "Knee(절곡)"이 만들어 진다.

제어 경로는 Envelope 감지기와 다양한 구속, 해제관련 시정수회로 등으로 구성되어 있다. 시스템의 이득, 기준전압, 시정수 조정등의 적절한 선택이 압신 특성의 다양성과 동적, 정적인 특성등을 허용한다. 그림3-6는 압신기 변이 곡선의 다양성을 보여주는데 기울기가  $45^\circ$  인 직선은 입출력 신호가 같고 기울기가 일정한 선형 시스템의 대표적인 것으로 FM스테레오 방송에 있어 차의 신호 S를 대표하는 것이다. 또 기울기가 "2"와 "3" 그리고 무한대로 나타나는 상부의 곡선은 세가지의 서로 다른 압신평특성을 보여주는 것이다. 여기서 입력 신호레벨이 적은 경우에 대해서는 기울기가 일정하게 유지된다는 점에 유의해야 한다.

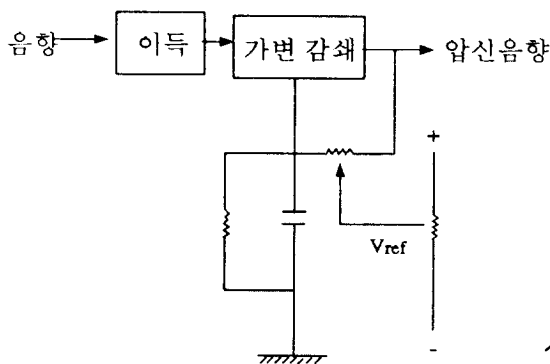


그림 3-5 일반적인 진폭 압신회로

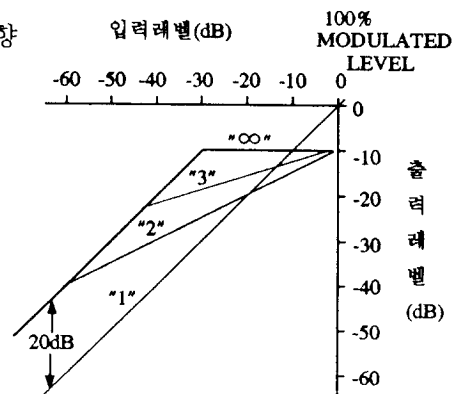


그림 3-6 압신기 변환곡선

압신 시스템에 의해 제공되는 잡음저하의 정도는 일정 기울기인 "1"의 직선과 다른 압신 곡선의 기울기가 일정한 부분(입력신호가 작은 부분)과 사이의 수직 거리에 의해 표시된다.

따라서 그림3-6에서 수직간 거리 20dB는 모노와 스테레오의 S/N 값이 같아지기 위해 필요한 잡음저하를 얻기위해 선택된 것이다. 따라서 저레벨의 입력신호에 대하여 20dB의 잡음저하를 제공한다는 것은 각각의 압축기울기 형태의 실제 운영에 있어 큰 차이가 있다. "2"의 기울기를 가진 압신기는 입력레벨 -60dB까지 20dB 더큰 레벨을 제공하고 이득은 신호레벨의 증가에 따라 줄어든다. "3"의 기울기를 가진 곡선의 특성 역시 20dB의 이득을 제공하지만 -45dB 정도의 입력레벨부터 증폭도를 줄이기 시작한다. 끝으로 무한대의 기울기를 가진 압신곡선의 특성은 입력레벨 -30dB 이상에서 이득을 20dB 부터 감소하기 시작한다. 이 특성 곡선으로 부터 다음의 두가지를 생각해 볼수 있다.

첫째로, 가장높은 입력 신호레벨에 대하여 20dB의 정적인 신호 이득을 제공하는 시스템으로 이것은 압축 특성곡선에서 가장 높은 절곡(Knee)을 갖는 것으로 작은 신호에 대하여 보다 적은 잡음으로 변조할 것이다. 이것은 가장높은 레벨의 특별한 신호까지 모든 신호에 대하여 진폭 이득이 고정되어 있기 때문이다.

둘째로, 압신곡선과 일정 기울기인 직선 사이의 데시벨값의 차이가 그 신호 레벨에서의 실제 개선된 S/N을 결정한다. 따라서 어떤 두곡선 사이의 면적은 두가지 시스템의 상대적 S/N 개선으로 볼 수 있다. 그림3-7은 "2"와 "3"의 기울기를 가진 압신 시스템과 기울기가 무한대인 시스템의 비교를 보여준 것이다.

기울기가 무한대인 압신기의 S/N 이 10dB 이상이고 기울기가 "3"인 압신기의 S/N 보다 15dB 더높은 절곡(Knee)을 갖는다는 것이 명백히 나타난다.

또 기울기가 무한대인 곡선은 "2"의 기울기를 가진 압축 특성보다 부가적인 잇점이 있다는 것이 분명하므로 기울기 무한대의 특성곡선이 새로운 FM시스템을 위한 최적의 것이다.

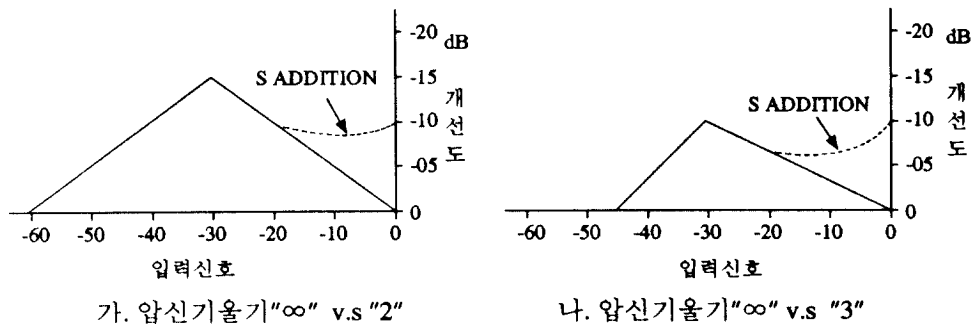


그림 3-7 잡음감쇄 개선정도(26dB Static Noise 저하)

그림3-7에서 입력신호레벨 0dB 부터 -20dB 사이의 점선은 기울기가 무한대인 곡선에 일정 기울기의 특성을 갖는 기본신호 S를 더했을때 높은 입력레벨에서 얻어지는 더 나은 S/N의 개선을 의미한다.

압신기의 출력 S'는 새로운 FM 부호화기에 있는 Quadrature 변조기를 구동하며, 이때 FM방송을 과변조하지 않는 범위내에서 가능한한 높은 변조레벨이 되도록 조정해야 최대의 S/N을 얻을 수 있다. 또 변조된 Quadrature 부반송파를 수반할때 변조레벨의 감소가 일어나지 않아야 하고 기존의 FM 모노와 스테레오 수신에 영향을 주어서도 안된다.

그러나 두가지의 부반송파는 같은 음향신호에 의해 변조되기 때문에 밀착된 추가는 파형의 총변조를 일으킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 확장기가 선택성을 갖게하여 기본적인 차의 신호(S)를 기준으로 하여 앞에서 열거한 문제와 반대로 작동하게 한다.

이 개념은 높은 레벨의 음향에 대해서는 기본적인 부반송파(S)가 충분한 S/N을 가지고 있기 때문에 Quadrature 부반송파 신호(S')를 감소시킨다. 이 과정에서 추가된 Quadrature 부반송파에 의한 FM시스템 총괄 최대 변조의 변화는 없다.

## 나. 확장기

수신기에서 어떠한 압축특성을 선택하기 위해 기본적인 차의신호(S)와 압축된 차의 신호(S')를 이용한다. 이 원리는 기본적인 차의 신호(S)를 기준으로 S'를 비교하여 확장기의 이득을 제어하기 위한 제어신호를 발생시킨다.

이러한 개념을 이용한 확장기의 구성도는 그림3-8과 같다.

기본적인 차의 신호(S)를 정류하여 비교기 입력의 하나로 공급하고 이것은 궤환 경로에서 기준신호 역할을 한다. 압축된 차의신호(S')는 VGA(가변이득 증폭기)에 공급되며 VGA의 출력을 정류하여 비교기의 다른 입력으로 공급한다.

비교기의 출력은 궤환 작용에 의해 완만해지고 시정수 회로에 연계되어 VGA의 이득을 제어한다. 만일 확장된 신호와 수정되지 않은 신호(S) 사이에 차이가 있는 경우 비교기는 증폭기의 이득을 적절히 변화시킬 수 있는 신호를 보내어 VGA 출력을 강제적으로 같은 값이 되도록 한다. 그 결과 압축된 신호의 실질적인 크기가 기본적인 음향신호의 레벨과 같아진다. 이러한 과정은 확장된 신호가 압축된 신호의 절대값과 완전히 독립적이며 기본적인 신호(S)를 확실하게 추적하도록 한다. 여기서 VGA의 입력이 차의 음향신호 크기의 함수이기 때문에 S와 S'를 합한 값이 가변적이라는 것을 알 수 있다.

S신호의 크기가 S'신호와 같은 경우 6dB 더높은 신호가 얻어지며 따라서 S/N

비는 3dB가 더 높다. 또 기본신호 S를 추가함으로써 "재환(Reentrant)" 형식의 압신기 사용이 가능해진다. 특히 여기에 이용된 회로는 일반적인 확장기가 아닌 Servo 증폭기이다.

절곡점이 필요없고 시정수에 대해 그리 민감하지 않다. 실제에서 시정수회로는 압신기의 시정수와 같고 VGA의 범위를 제한하기 위한 한계점이 확장기의 Servo 성능에 의존하기 때문에 두개의 비교기 입력에 전압 클램프가 있다.

이것은 S의 레벨이 배경잡음과 같을때 기본적인 신호 S와의 정합을 위해 이득의 증가를 막는다.

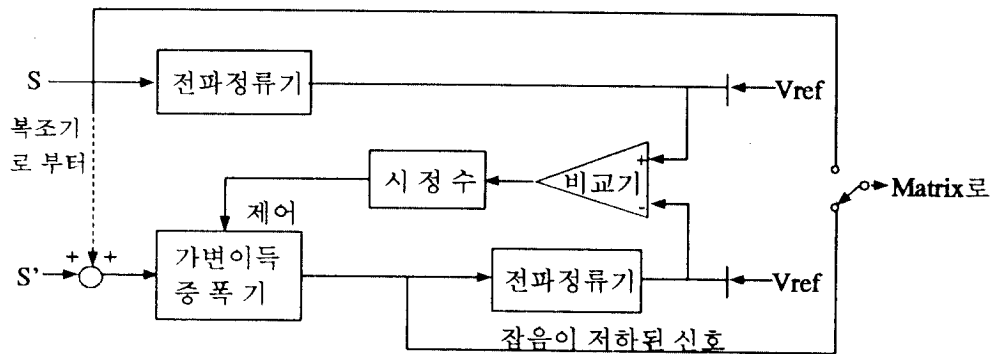


그림 3-8 선택성 확장기

## 다. 변조레벨

압축 시작점의 선택은 잡음변조와 채널적재 사이의 평균을 취하여 결정된다. 최고 첨두 성분의 신호레벨은 압축된 차의 신호가 합인 신호의 첨두치레벨에 기여할때 가장 크게 발생될 것이다. 압신기가 재환 압신 특성을 가졌다면 이것은 차의 신호가 압축시작점에 있을때 발생하여 압축된 차의 신호가 가능한한 큰 레벨로 유지되도록 한다. 다양한 경우에 있어서 경험적 결과로 압축의 시작점은 -22dB로 총변조의 90%가 되도록 하고 있다.(스테레오폰닉 파일롯트에 10%를 허용하고 90%가 최대로 허용할 수 있는 변조이다.) 따라서 압축 시작점에서 차의 채널 변조는 전체의 7.2% 이고 압축된 차의 채널변조는 36%이다. Quadrature 부반송파가 없는 경우 합인 채널의 최대 허용변조는 위에서 주어진 차의 채널 변조에 따라 82.8%가 된다. 이러한 조건은 중심에서 약간 벗어난 위치의 신호와 일치하게 되며 여기서 L 채널의 최대변조는 100% (총 90%)이고 R 채널은 최대

84% 이다. **Quadrature** 부반송파가 존재할때 이러한 조건에 의하면 2.7dB 과변조이다.  $(82.8\% + 7.2\% + 36\% + 10\%)$  하지만 파이롯트와 두개의 부반송파는 위상에 있어서 가산되지 않는다.

부록 1에서의 계산과 같이 최대 침투 변조는 항상 +2.2dB 보다 적고 상기 입력조건과 그림3-9와 같이 등화기 응답이 필수적으로 일정한 약 1kHz 이상의 주파수에 대해서만 이값에 도달한다. 등화기에 의해 감쇄된 낮은 주파수대역의 진폭으로 거의 침투치에 도달하지만 음향 입력이나 복합출력에서 빠른 동작 속도의 제한기가 적절한 보호를 제공해 준다.

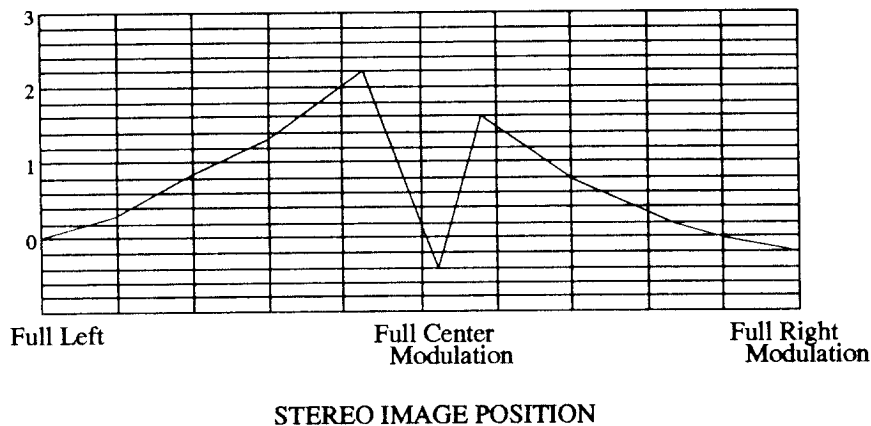


그림 3-9 침투 총 변조

## 라. 분리도

호환성과 관련된 추가적인 항목은 새로운 **Quadrature** 부반송파 프로그램의 영향과 관계된다. 이 새로운 **Encoder** 와 기본적인 수신기 둘다가 재생된 38kHz 부반송파의 위상이 완벽하게 조정되었다면 추가된 **Quadrature** 신호는 수신기에서 총괄적으로 제거될 것이다. 만일 수신기가 완벽하게 조정되지 않았다면 압축된 스테레오 차의 신호가 보통의 압축되지 않은 차의 신호로 누화될 것이다. 이러한 누화의 결과로 조정 오차의 각도에 비례하여 분리도가 저하된다. 그림3-10은 38kHz 위상오차의 범위가  $\pm 20^\circ$  이내일때 분리도를 나타내고 있다. (시험신호는 인간의 측음과정을 지배하는 가청주파수의 거의 중심이 되는 500Hz로 가정하였다)

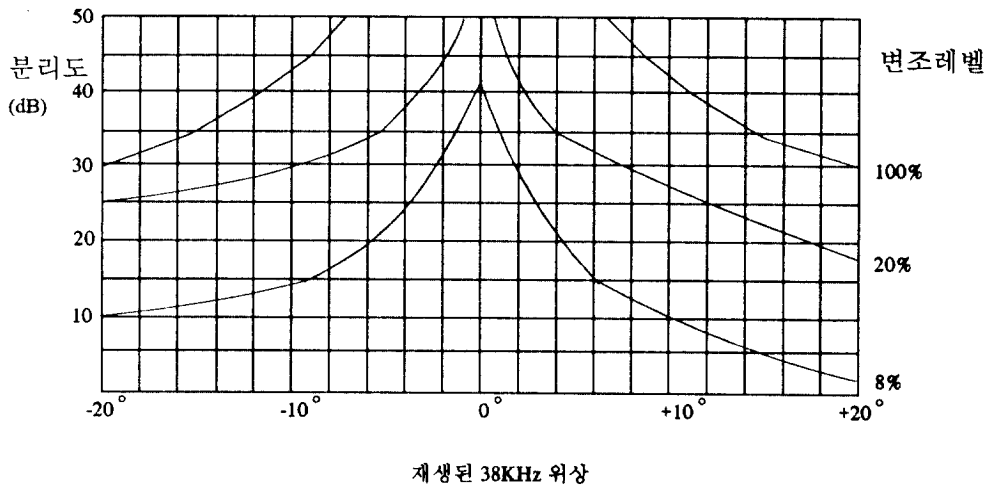
양(+)의 위상오차를 갖는 수신기의 경우 스테레오 이미지의 폭이 넓어지거나



반향과 같이 위상을 벗어난 프로그램 성분의 레벨증가를 가져올수 있다.

보통의 스테레오 차의 신호에 대한 압축신호의 비(ratio)는 프로그램의 레벨에 따라 변화한다. 그림3-10에서 대표적인 3개의 곡선을 보여주고 있다. (보통의 신호와 압축된 신호가 같은 곳에서 20%의 변조, 압축된 신호가 최대레벨인 곳에서 80% 압축된 신호가 완전히 감쇄된 곳의 100% 변조) 신중히 선택된 저레벨의 프로그램과 특성이 좋은 스튜디오에서 전문적인 청취가의 시험에 의하면 분리효과를 감지할 수 있는 시작점이 약  $\pm 10^\circ$ 의 위상오차이다.

위치 추정이론의 다양한 연구에 기초할때 저레벨 프로그램에 대한 분리효과 인식의 시작점은 대중의 청취자에 대하여 약  $\pm 15^\circ$ 의 위상오차로 추정된다.



3-10 분리도와 상호관계

### 마. 다중경로

움직이는 이동체의 FM 수신에 있어 가장 극심한 문제중의 하나는 다중경로의 영향이다. 다중경로는 구릉지역, 강철구조물, 기타 다른 구조물처럼 RF신호의 반사효과가 있는 지역에서 발생한다. 반사된 신호가 다양한 지연시간으로 수신 안테나에 도달할때 수신에 있어 실질적인 감쇄가 발생할 수 있다.

자동차용 라디오를 설계하는 사람들이 사용하는 가장 보편적인 방법은 실제로 스테레오 분리도를 낮추는 "Blending"이라는 기법으로 스테레오 차의 신호레벨을 낮추어 다중경로 잡음과 왜곡을 감쇄한다.

가혹한 다중경로 수신조건에서 기본적인 스테레오 수신기는 19kHz 파일롯트와

38kHz 부반송파 사이의 정확한 위상관계를 잃을수도 있다는 점을 자동차용 수신기의 시험에서 이미 주목되어 왔다. 가끔 새로운 S' 신호가 S 채널로 누화될수도 있다. 결과적으로 다중경로 현상이 발생하는 동안 잡음만 들리는 대신 청취자는 S'채널의 더높은 변조에 의해 추가된 프로그램 음향성분을 듣게된다. 이러한 현상을 최소화하기 위해 다음과 같은 두단계를 거친다.

위상오차에 의한 누화는 흥미있는 특성이 있다. 만일 38kHz 위상오차가 부(Negative)인 경우 음향누화는 위상밖에 있게되고 결과적으로 S와 S'가 결합된 신호의 레벨감소를 일으킨다. 위상오차가 양(Positive)인 경우 누화는 위상의 안쪽에 있어서 두개의 신호를 더하게 될것이다.

다중경로의 환경하에서 방송시험을 하는동안 누화는 보통 위상내에 있는 것처럼 관찰되었으며 따라서 의도하지 않았던 더큰 음향이 만들어 졌다.

T.Bossert 의 연구에서 제안된 분석적 기술과 그림3-11에서 그 이유를 보여 준다. 이 그림에서 필요로하는 19kHz의 파이롯트 신호는 벡터 D로 표시된다.

예측할수 없는 반사된 신호는 벡터 U로 표시되며 D보다 3dB 더 낮은 레벨로 각도  $\alpha$  에 의해 지연되어 약 1마일(1.6km)의 지연 경로로 표시된다.

결과적으로 신호  $\Sigma$  는 각도  $\phi$  와 같은 위상오차를 갖는다. 이 각도  $\phi$  는 불요 신호가 약 5마일(8km) 이상의 경로차에 의해 지연되지 않는다면 그의 극성이 변화하지 않는다. 대부분의 유해한 다중경로 반사에 의한 신호의 진폭은 필요로하는 신호의 진폭에 거의 근사하며 필요로하는 신호는 상대적으로 짧은 경로와 지연 시간을 갖는다는 것을 알수 있다.

이러한 사실을 고려할때 새로운 S'채널의 음향위상은 다중경로 수신에 있어 S와 S' 상호간에 신호를 감산(-)한 것처럼 되도록 결정되어야 한다.

이것은 보통의 스테레오 차의 신호로 부터 180° 위상이 벗어난 새로운 신호로 부호화 함으로써 달성할 수 있다.

따라서 BTP사는 기존의 FM 스테레오 시스템보다 FMX 시스템이 다중경로의 환경에서도 더 우수하다고 주장하고 있다.

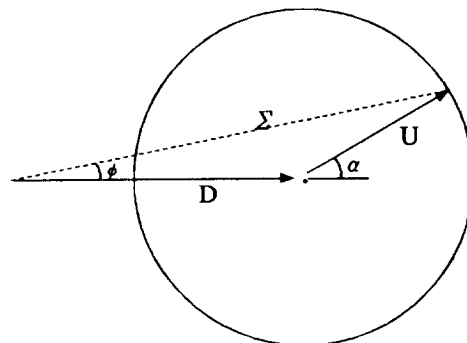


그림 3-11 이중경로 신호의 벡터 합

## 제4장 FMX스테레오 시스템 및 신호의 표준

### 1. FMX스테레오 시스템 표준

가. FMX시스템은 주반송파 위에 Quadrature 부반송파를 채용하여 수행되어야 한다. 신호를 변조하는 주채널은 스테레오폰닉 합의 변조신호이며, 스테레오폰닉 부반송파는 스테레오폰닉 차의 신호로 변조하고, Quadrature 부반송파의 변조는 스테레오폰닉 차의 신호로 부호화(압신) 되어야 한다.

나. 스테레오폰닉 부반송파와 Quadrature 부반송파는 주파수  $19000\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$ 인 파이롯트 신호의 제2고조파이다.

다. 스테레오폰닉 부반송파는 반송파를 억압하여 진폭변조한 양측파대이며 50Hz에서 15000Hz의 범위에 걸쳐서 스테레오폰닉 차의 신호를 수용해야 한다.

라. Quadrature 부반송파는 반송파를 억압하여 진폭변조한 양측파대이며 50Hz에서 15000Hz의 범위에 걸쳐서 부호화(압신)된 스테레오폰닉 차의 신호를 수용해야 한다.

마. 부호화(압신)된 스테레오폰닉 차의 신호는 파이롯트 신호의 주파수를 1920으로 나눈 것과 같은 주파수의 식별톤을 포함해야 한다.

바. 모든 부반송파에 의해 야기되는 변조를 포함한 주반송파의 총변조는 국가에서 적용하고 있는 방송규칙을 따라야 한다.

### 2. FMX스테레오 특성의 표준

#### 가. FMX Encoding(압신) 표준

Encoding은 스테레오폰닉 차의 신호를 Quadrature 부반송파로 변조하기 전에 행하며 일반적인 FMX Encoding 시스템은 그림4-1과 같다.

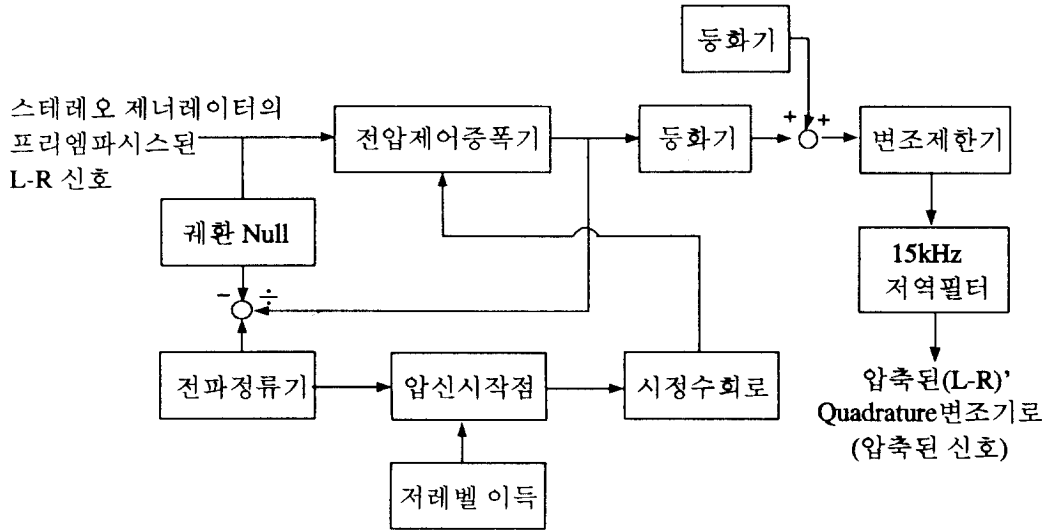


그림 4-1 일반적인 FMX Encoding 시스템

### (1) 부호화 특성

#### (가) 프리엠퍼시스

고정된 시정수  $75\mu s$ 가 채워져야 하며 확도에 의해 스테레오폰의 분리도가 영향을 받지 않도록 하기 위해 좌.우측의 음향신호에 동일하게 적용될 것을 권고한다.

#### (나) 진폭압축(그림 4-2 참조)

##### 1) 압축시작점

압축시작점 "K"는 압신기 입력 음향신호의 입력 RMS 데시벨값으로 -24.0dB와 -20.0dB 사이의 범위에 있어야 하며 -22.0dB가 일반적인 값이다.

##### 2) 이득

압신기의 이득은 규정된 프리엠퍼시스가 적용된 신호를 압신기의 입력에 인가했을때 입력 음향신호의 RMS 데시벨값이

가) "K"이하 일때 :  $14.0 \pm 0.25dB$

나) "K" 부터 -2.5dB 일때 :  $20\log(mx + b) - D, +0.25dB/-1dB$

여기서

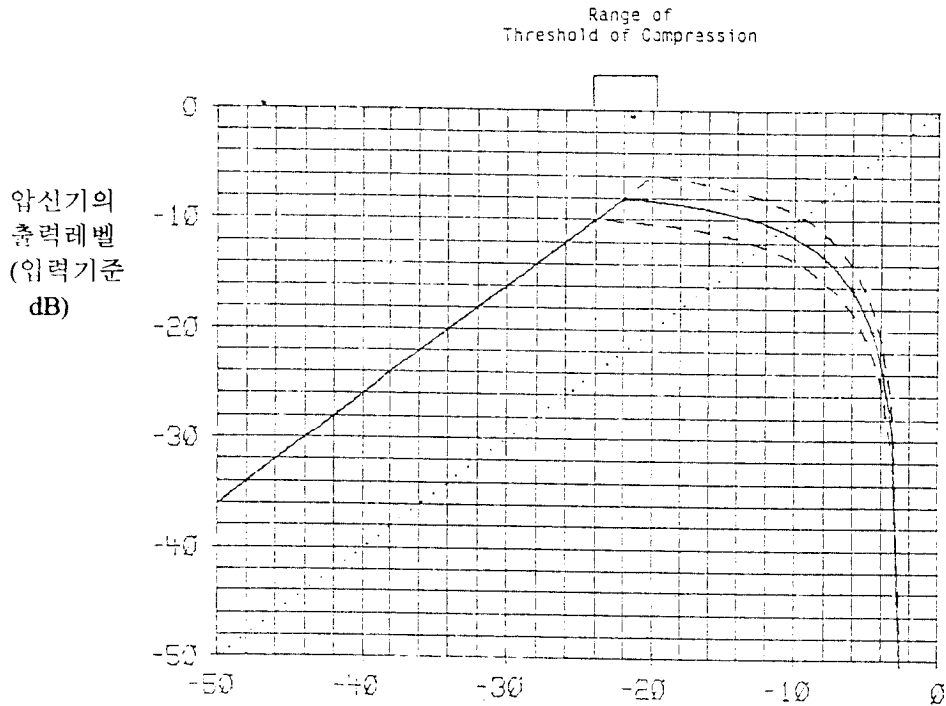
$$m = \frac{10^{\frac{14+K}{20}}}{10^{\frac{K}{20}} - 10^{\frac{-2.5}{20}}}, \quad b = -(10^{\frac{-2.5}{20}} m), \quad x = 10^{\frac{D}{20}}$$

D = 압신기 입력음향신호의 RMS 데시벨값

K = 압신 시작점의 압신기 입력 음향신호의 RMS 데시벨 값

주> 압신기의 입력음향신호의 데시벨값이 -3.0에서 -2.5dB 사이의 범위  
에서 데시벨 이득은 -40.0 +0/-∞의 값을 갖는 것으로 해석된다.

다) -2.5dB 이상일때 : -40dB에서 -∞의 범위



압신기 입력레벨(주반송파 편이 67.5kHz 기준 dB)

그림 4-2 FMX 형태로 부호화된 차의 신호에 대한 광대역 진폭압축

\* 점 선 : 일정이득

실 선 : 압신 시작점에 대한 제한 특성

### 3) 압신기 출력의 상승, 하강특성

압신기의 입력신호가 압축시작점 이상일때 입력신호의 RMS 데시벨값에  
대하여 다음표와 같고  $\pm 20\%$ 로 적용된다.

입력레벨의 변화(dB)	상 승 시 간	하 강 시 간
0 에서 2	2 S	2 S
2 에서 4	20 mS	200 mS
4 이상	1.5mS	200mS

## (다) 등화 특성

고정된 등화로  $E(f) \pm 0.25\text{dB}$ 인 압신특성에 의하여 정의된 함수를 따르며 다음의 복소수 변환 함수를 따른다. (그림 4-3a, 4-3b, 4-3c를 참조)

$$E(f) = \frac{1+jf/F}{5+jf/F}$$

단,  $F = \frac{1}{2\pi\tau}$ ,  $\tau = 10^{-3}\text{S}$ ,  $f$ 는 Hz 단위의 입력주파수이며 이것은  $200\mu\text{s}$ 와

$1000\mu\text{s}$ 의 시정수를 가진 고역통과 등화기(High-Pass Equalizer)와 동가이다.

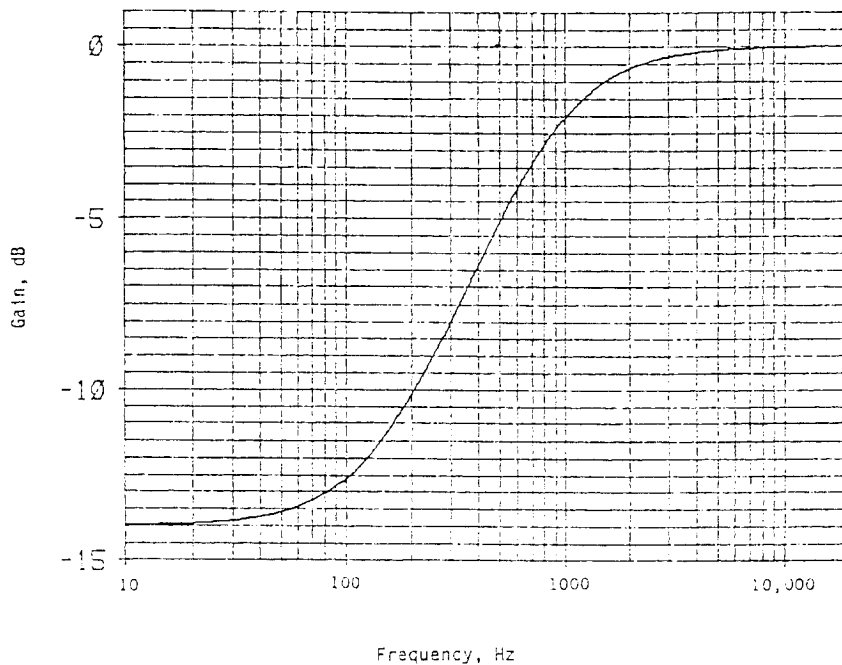


그림 4-3a) FMX 부호화된 스테레오폰닉 차의 신호에 대한 고정등화진폭 특성

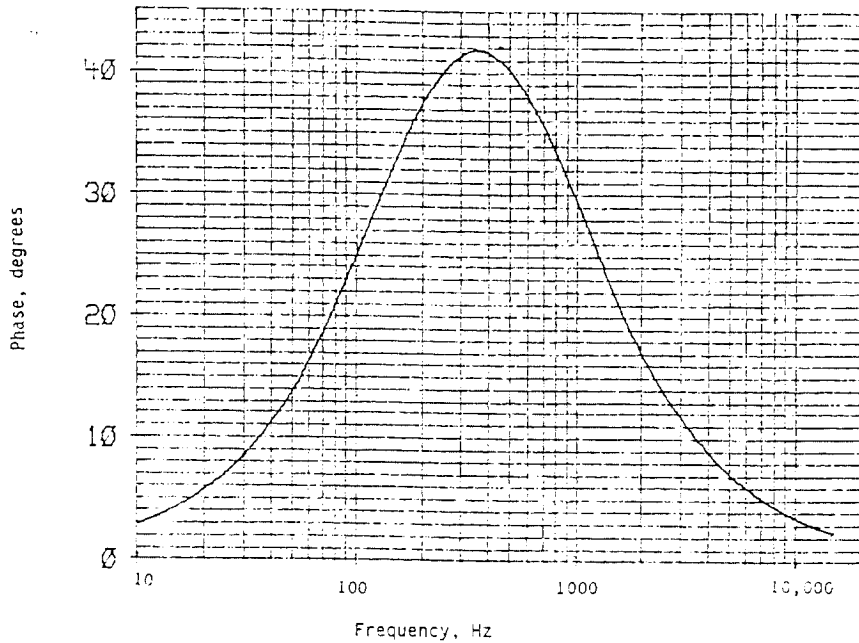
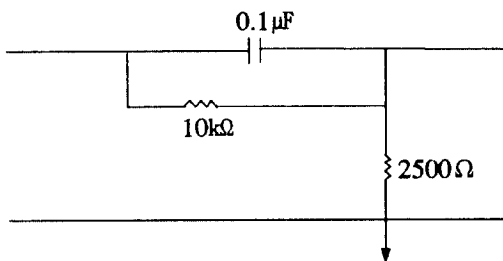


그림 4-3 b) FMX 부호화된 스테레오폰닉 차의 신호에 대한 고정등화위상특성



주> 입력 임피던스는 Zero와  
같고 부하임피던스는  
무한대와 같다.

그림 4-3c) FMX 부호화된 스테레오폰닉 차의 신호에 대한 고정등화 회로

(라) 고조파 왜곡

주반송파를  $0.75\text{kHz} \pm 0.075\text{kHz}$  편이 시킬수 있는 레벨에서 Quadrature 부반송파의 주파수를 1920 으로 나눈 주파수로 Quadrature 부반송파를 변조한 식별톤은 100% 이하의 변조에서 제3고조파의 레벨이 80dB를 초과하지 않도록 최대 고조파 왜곡이 제한되어야 하며 더높은 주파수의 고조파는 100% 이하의 변조에서 90dB를 초과해서는 안된다.

- (마) 과변조 방지는 상기의 (가) 내지 (라)의 함수를 따른다.
- (바) 상기의 (가) 내지 (라)에서 규정된 함수에 따른 대역폭을 적절히 제한하기 위한 대역제한 특성을 갖어야 한다.

(2) 주채널 변조의 편이

(가) 좌측 채널에만 적용된 신호가 양성인 시간동안에 주채널의 변조는 FM 반송파의 위쪽 편이를 발생시켜야 하며, 변조된 스테레오폰닉 부반송파는 파일롯 부반송파의 시간축 교점의  $\pm 1^\circ$  (약  $0.15\mu s$ ) 이내에서 양의 방향의 시간축을 교차해야 한다.

(나) 변조된 Quadrature 부반송파는 상기의 (1)에 규정된 부호화 특성이 적용될때 스테레오폰닉 부반송파의 시간축을 지나는 양의 지연에 있어  $90^\circ$  인 점 (약  $6.58\mu s$ )의  $+2.5/-0.5^\circ$  이내에서 양의 방향으로 시간축을 교차해야 한다.

(그림 4-4 참조)

주) 파일롯 반송파가  $\sin(2\pi, 9000t)$ 로 정의되고 Quadrature 부반송파가  $\cos(2\pi, 38000t)$ 로 정의되었을때 Quadrature 부채널은 이 Quadrature 부반송파와 부호화된 스테레오폰닉 차의 변조 신호와의 곱으로 유도될 수 있으며 이것의 극성은 스테레오폰닉 차의 변조 신호에 대하여 반대가 된다.

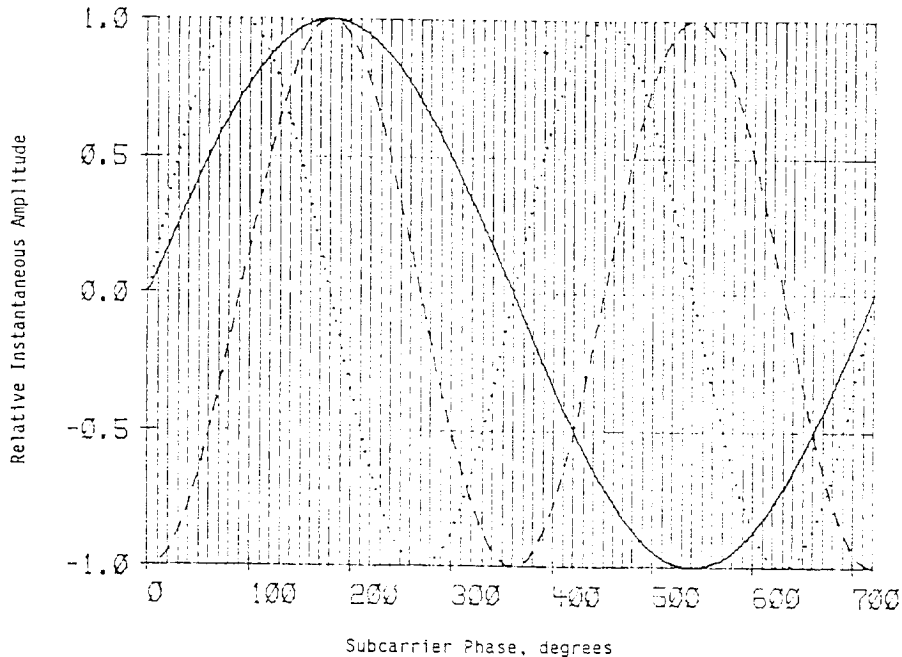


그림 4-4 FMX 복합기저대역 신호의 부반송파와 위상관계



### (3) FMX Encoder의 등가 입력 잡음

Encoder의 등가 입력 잡음은 본절 (1)에 규정된 시스템에서 운용될때 좌.우측의 음향신호가 똑같이 Zero이고, 이득이 14dB 이며, 디엠파시스를 적용하여 15kHz 대역에 걸쳐 측정할 때 100% 변조레벨 이하에서 65dB 이하이어야 한다.

## 나. 복합기저대역신호 수신표준

- (1) FMX 수신기는 복합기저대역 신호를 복호화 할 수 있는 방법을 갖추어야 한다. 일반적인 FMX 복합신호의 복호기는 그림 4-5와 같이 구성된다.
- (2) FMX 수신기는 FMX 식별톤을 검출할 수 있는 방법을 갖추어야 한다.

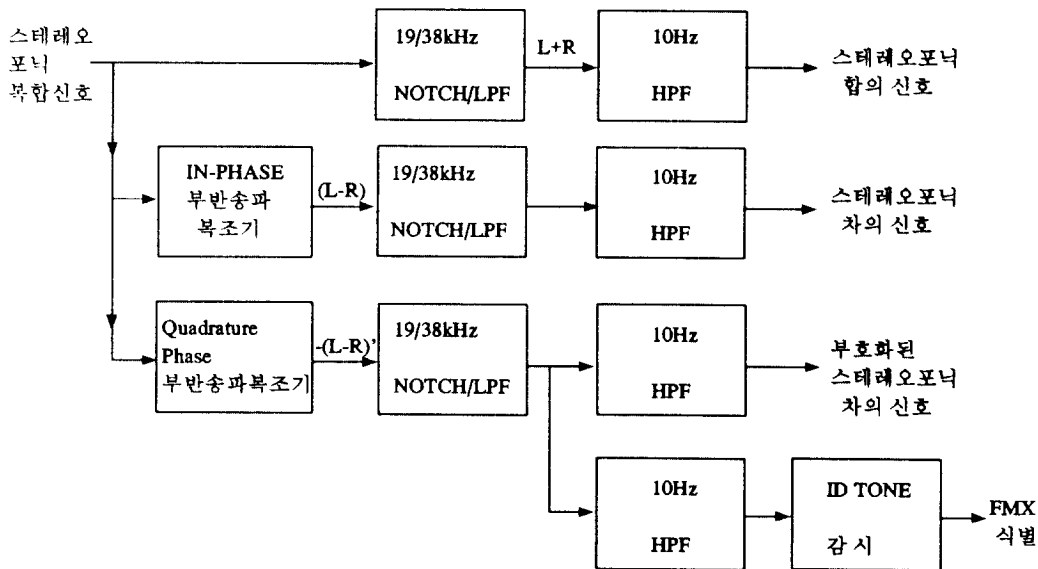


그림 4-5 일반적인 FMX 복합신호의 복호기

## 다. FMX Decoding(복호화)표준

Encoding된 스테레오포닉 차의 신호 그림 4-6과 같은 구성의 복호기를 통하여 다음의 특성에 따라 Decoding 되어야 한다.

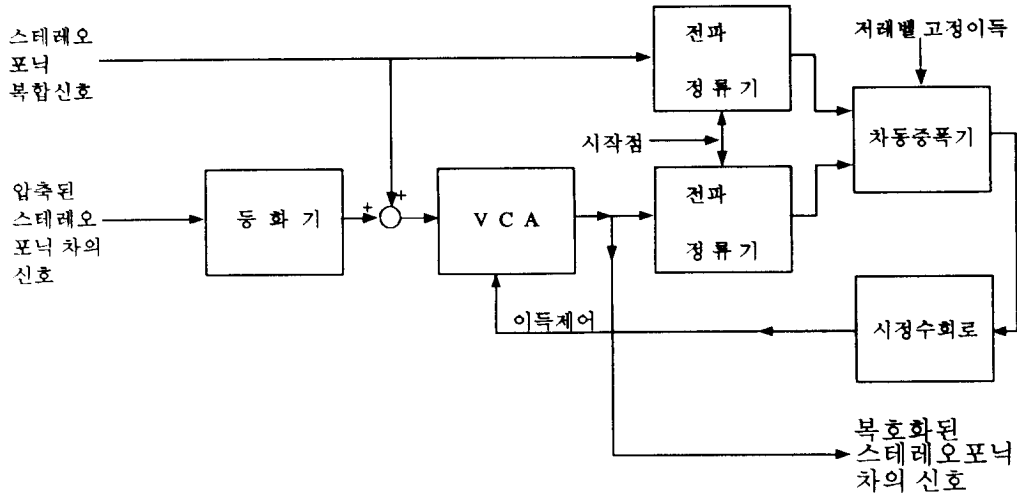


그림 4-6 일반적인 FMX 스테레오포닉 차의 신호 복호기/화장기

#### (1) 등화특성

고정된 등화 함수는  $E(f) \pm 0.25\text{dB}$ 로 다음의 복소수 변환 함수를 따른다.

(그림 4-7a, 4-7b 참조)

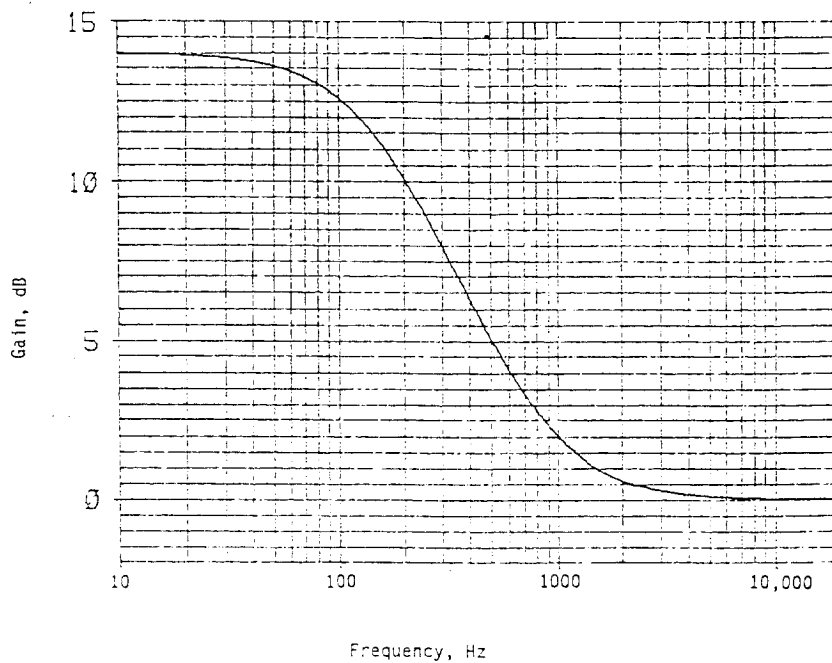


그림 4-7a) 수신기에서 FMX 복호화된 스테레오포닉 차의 신호에 대한 고정된 등화 진폭 특성

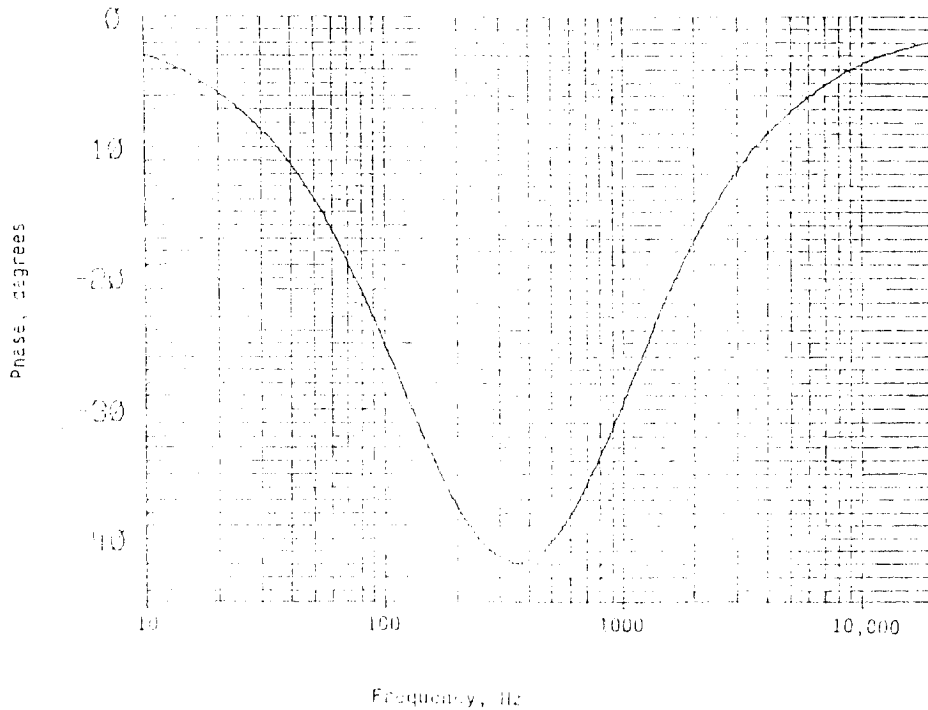


그림 4-7b) 수신기에서 FMX 복호화된 스테레오폰닉 차의 신호에 대한 고정된 등화 위상 특성

$$E(f) = \frac{5+jf/F}{1+jf/F}$$

여기서,  $F=1/(2\pi\tau)$ ,  $\tau = 10\text{ S}$ ,  $f = \text{Hz}$  단위의 주파수이며, 이것은 시정수  $200\mu\text{s}$ 와  $1000\mu\text{s}$ 의 저역통과 등화기(Low-Pass-equalizer)와 동등하다.

주) 위의 등화이후에 부호화된 스테레오폰닉 차의 신호의 극성은 스테레오폰닉 차의 신호의 극성과 같아야 한다.

## (2) Decoder(복호기)의 이득

(가) 스테레오폰닉 차의 신호의 레벨이  $-25 \pm 0.5\text{dB}$  보다 적은 경우

상기 (1)의 등화특성에 의한 등화이후 스테레오폰닉 합의 신호에 적용된 이득 감쇄와 차의 신호의 비 "n"(여기서는  $0 \leq n \leq 1$ )는 스테레오폰닉 차의 신호의 레벨과 같은 크기의 신호를 만드는데 필요한 레벨의 양과 같다.

한편 이것은  $-20\log(5+n)$ 의 고정된 데시벨 이득을 적용하는 것과 동가이다.

(나) 스테레오폰닉 차의 신호의 레벨이  $-25 \pm 0.5\text{dB}$  보다 크거나 같은 경우

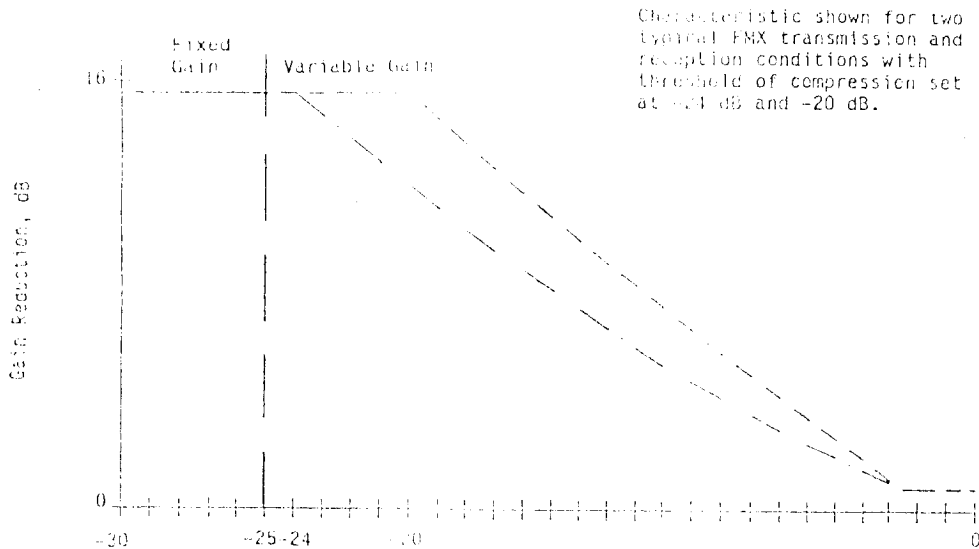
- ① 상기 (1)의 등화특성에 의한 등화이후 신호의 비 "P"와 스테레오폰닉차의 신호의 비 "n"의 합에 적용된 이득 감쇄는 스테레오폰닉 차의 신호의 레벨과 등가인 RMS 값의 신호를 만들기 위해 필요한 레벨량과 같다. 시작점 이상에서 단일의 압축특성을 규정하지 않았기 때문에 확장기의 이득 저하는 Encoding된 스테레오폰닉 차의 신호만의 단일 함수로 표현될 수 없다.

한가지 가능한 FMX 확장기의 이득 감쇄 특성이 그림 4-8에 있다.

- ② 확장기 이득제어 신호의 상승 및 하강특성

복호화된 차의 신호의 RMS값이 5kHz 구형파가 부호화된 스테레오폰닉 차의 신호와 5kHz 구형파의 스테레오폰닉 차의 신호에 대하여 1mS 후에 0.1mS와  $\pm 0.5\text{dB}$  이내에서 스테레오폰닉 차의 신호  $\pm 0.1\text{dB}$ 의 RMS값과 같아야 한다.

(다) 상기의 (가)와(나) 규정이 적용된 스테레오폰닉 차의 신호를 기준으로 한 RMS Zero 데시벨값은 주반송파를 7.5kHz 편이로 변조하는데 필요한 파일럿 트 부반송파의 레벨로 프리연파시스 없이 5kHz 스테레오폰닉 차의 신호에 의해 주반송파에 67.5kHz의 편이를 발생한다.



Stereophonic Difference Signal, dB re 67.5 kHz Main Carrier Deviation

그림 4-8 가능한 FMX 확장기 이득 감쇄 특성

## 라. 음향 출력신호의 재생

### (1) 좌우측 음향신호의 재생

- (가) 파일롯트 부반송파가 존재하고 식별톤이 없을때 스테레오폰닉 차의 신호와 합의 신호로 de-matrixing 할 수 있을것
- (나) 파일롯트 부반송파와 식별톤 둘다 존재할때 decoding(복호화)한 스테레오폰닉 차의 신호와 합의 신호를 de-matrixing 할 수 있을것

### (2) Quadrature 부반송파 감지는 부가된 스위치로 취소시킬 수 있어야 한다.

만일 취소시킨 경우 좌.우 음향신호의 재생은 스테레오폰닉 차의 신호와 합의 신호를 de-matrixing 하여 얻을 수 있어야 한다.

### (3) 고정된 75 $\mu$ s의 디엠퍼시스가 좌.우측 음향출력 신호에 적용되어야 한다.

### (4) 총 고조파 왜곡은 등가복조된 복합신호에 대하여 1kHz 에서 0.1% 를 초과해서는 안되며(50Hz에서 1%) 마. (1)(나)와 같이 운용되는 FMX 복호기 시스템의 복합 기저대역 신호입력에 대하여 적용되어야 한다.

이 신호는  $20.25 \pm 1.5\text{kHz}$ 의 등가 주반송파 편이를 발생하는 레벨에서 스테레오폰닉 부반송파만을 변조하는 1kHz(50Hz)정현파 톤과 Quadrature 부반송파만을 변조하는 1kHz(50Hz)정현파 톤으로 구성된다.

### (5) 파일롯트 부반송파와 FMX 식별톤이 동시에 존재할때 FMX 복호기 시스템에 복합기저 대역신호의 입력이 적용되어 75kHz의 등가 주파수 편이를 발생하기 위해 한쪽의 채널을 5kHz 정현파 신호로 가한 경우 다른 한쪽 채널의 출력 RMS 레벨은 적어도 30dB 이상 차이가 있어야 한다.

### (6) 파일롯트 부반송파와 FMX 식별톤 둘다를 포함하는 RF 신호와 두가지중 한가지만을 포함하고 있는 RF 신호를 복조했을때 가중된 음향 출력 신호 잡음 레벨의 차는 10dB 이상이어야 하며 파일롯트 부반송파를 포함하는 경우와 그렇지 않은 신호의 복조시 음향출력 신호 잡음레벨 차이는 15dB 이상이어야 한다.

### (7) FMX 식별톤 감지 시간은 스테레오폰닉 신호대 잡음비가 최소 40dB인 정상상태의 RF 신호에 대하여 2초를 넘어서는 안된다.

## 제5장 기존의 FM과 FMX 시스템의 비교시험

### 1. 시험 개요

여기서의 시험은 표준적인 환경하에서 측정한 것이 아니고 실험실 내에서 가능한 방법으로 직접 청취해 보고 측정이 가능한 부분에 대하여 비교 측정을 하였다.

따라서 측정 결과에 대하여 절대성을 부여할 수 없으며 기존의 FM스테레오 시스템과 FMX스테레오 시스템의 특성을 상대적으로 비교 하여 개발사인 BTP사의 주장에 어느 정도 근접 하는지 확인해 보는 것으로 그 의미를 제한 해야 한다.

#### 가. FMX 제너레이터

덴마크의 RE Instrument사에서 생산된 방송용 설비로 기존의 FM과 FMX 스테레오 방송을 할 수 있는 복합신호 발생기

#### 나. FMX 수신튜너

국내의 삼성전자 반도체 연구소에서 미국의 BTP사와 라이선스 계약을 하여 개발한 FMX 스테레오 Decoder IC를 채용하여 시험용으로 제작된 것으로써, FMX와 일반 FM 스테레오를 청취자가 임의로 선택할 수 있으며 FMX 상태에서는 FMX 전파와 일반 FM 전파를 자동으로 식별하여 자동 선택할 수 있도록 제작 되었다.

#### 다. 청취시험 및 측정에 사용된 장치

- (1) RF Generator : 가청 주파수 범위인 50Hz ~ 20000Hz의 주파수를 발생하여 시험시 입력 신호로 이용할 수 있으며 초단파대 FM방송 주파수 대역의 고주파수로 FM변조를 행할 수 있다.
- (2) Distortion meter : 종합왜율이나 S/N특성, 분리도등을 측정하는데 이용
- (3) Spectrum 분석기: 변조된 RF신호의 스펙트럼을 살펴볼 수 있다.
- (4) Audio Amplifier, CD Player : CD Player의 음원을 FMX 및 일반 FM 변조하여 FMX 수신기로 복조한후 직접 비교 청취해 보는데 이용

## 2. 청취 시험

FMX와 기존 FM 스테레오의 성능을 비교를 하기 위해 그림 5-1과 같이 구성하여 직접 청취하여 보았다.

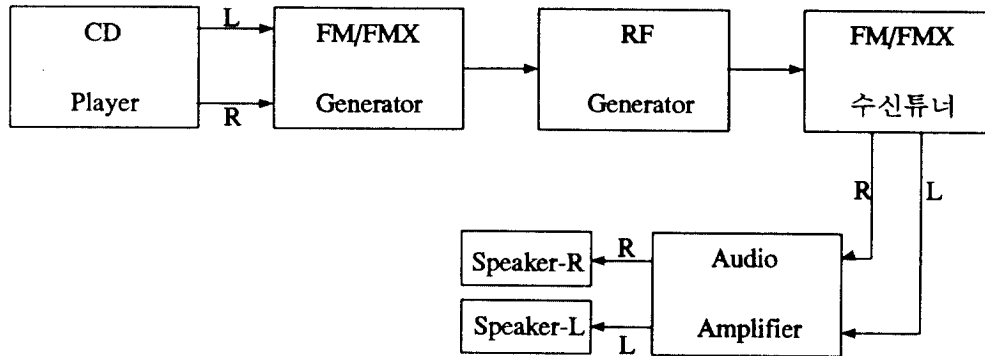


그림 5-1 청취시험을 위한 구성

## 3. S/N 특성

S/N 특성을 측정하기 위해 그림 5-2와 같이 구성하고 변조주파수를 400Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz로 변화하면서 각각의 경우마다 RF레벨을 변화시키면서 수신측의 S/N을 측정하였으며 상세한 Data는 부록 3에 있다.

이렇게 하여 얻은 측정결과를 쉽게 비교, 분석하기 위해 변조주파수 1kHz일때 RF레벨 변화에 따른 S/N의 변화를 그래프로 작성한 것이 그림 5-3이다.

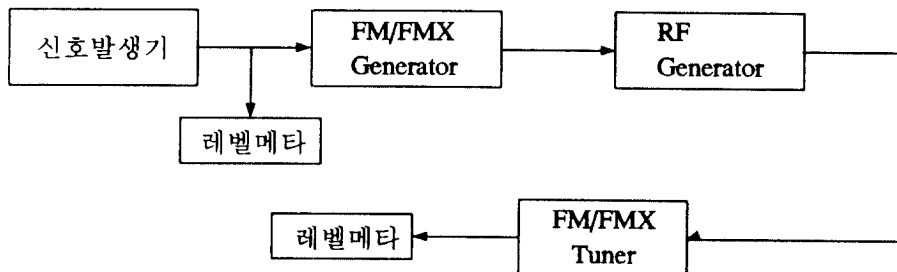


그림 5-2 S/N 특성시험을 위한 구성

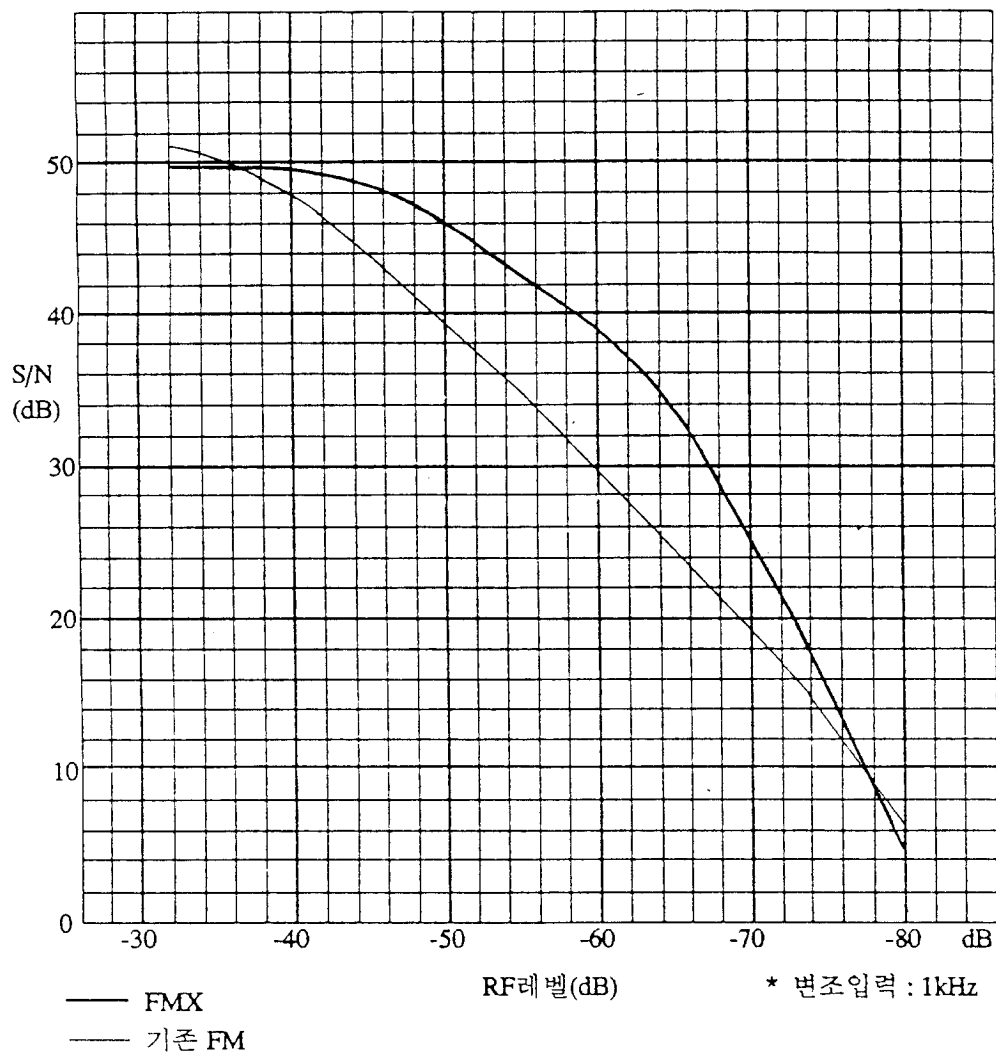


그림 5-3 RF레벨의 변화에 따른 S/N의 변화

#### 4. 왜울특성

FMX시스템과 FM시스템의 왜울특성을 비교하기 위하여 그림 5-4와 같이 구성하고 변조신호의 주파수가 1kHz일때 RF 레벨의 변화에 따른 왜울의 변화와 다른 요인이 일정하고 변조신호의 주파수를 변화할때 왜울의 변화를 측정한 결과 부록 4-1, 4-2와 같았다. 입력 레벨이 변화함에 따른 왜울의 특성 변화를 그래프로 작성해 보면 그림 5-5, 같다. 여기서 FMX시스템이 대체적으로 특성이 우수함을 알수있다.



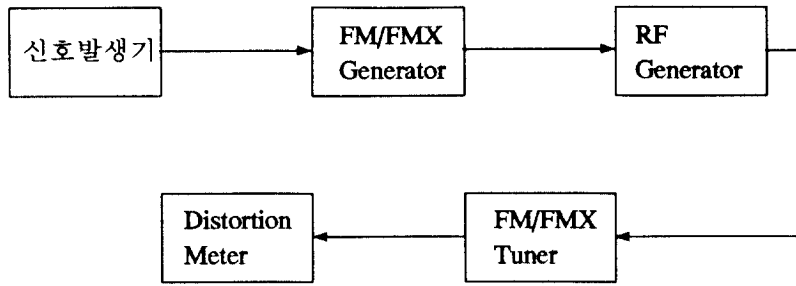


그림 5-4 왜율특성 측정을 위한 구성

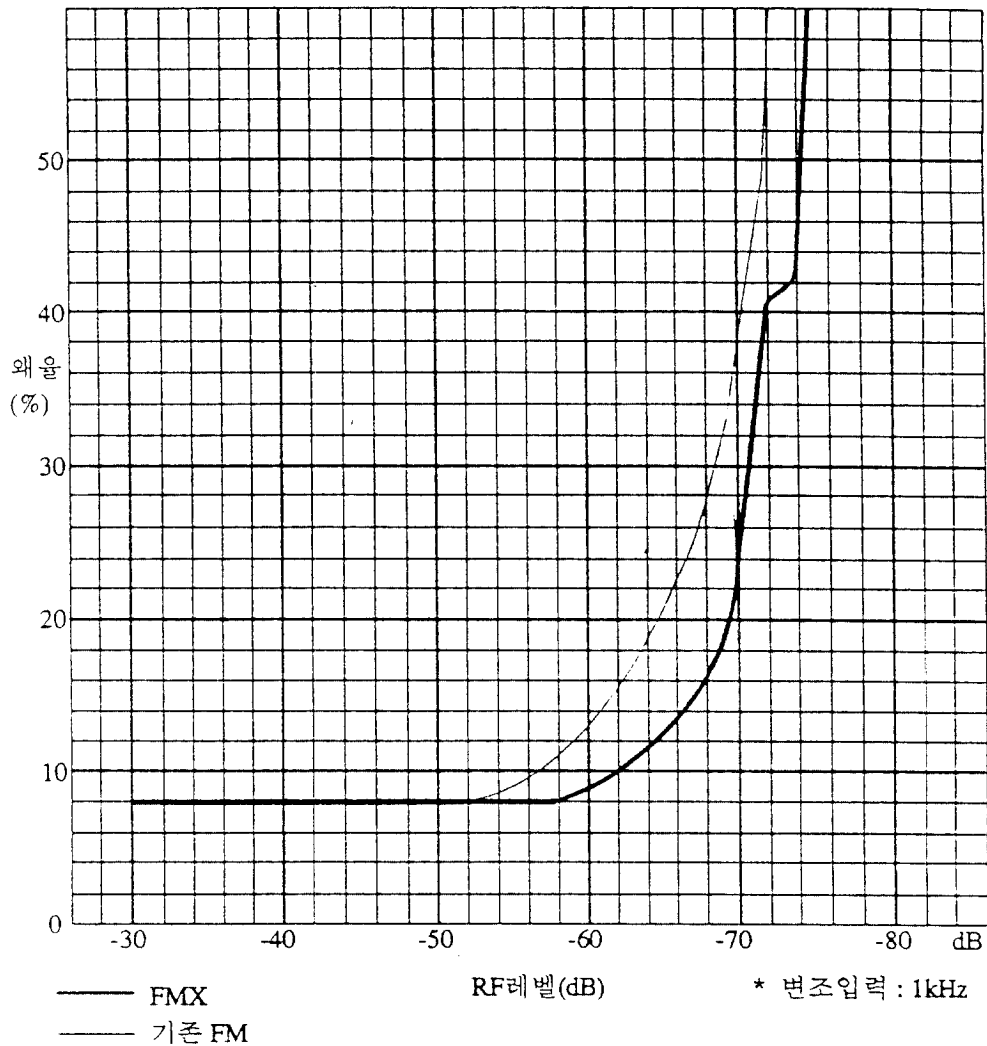


그림 5-5 RF레벨의 변화에 따른 왜율의 변화

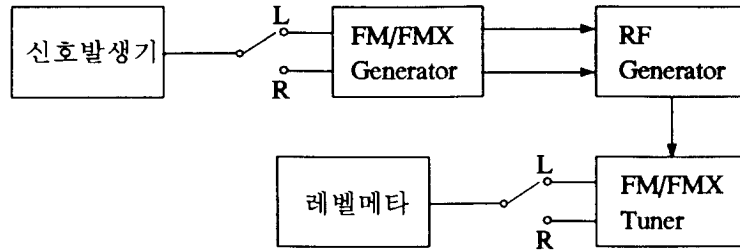


그림 5-6 분리특성 측정을 위한 구성

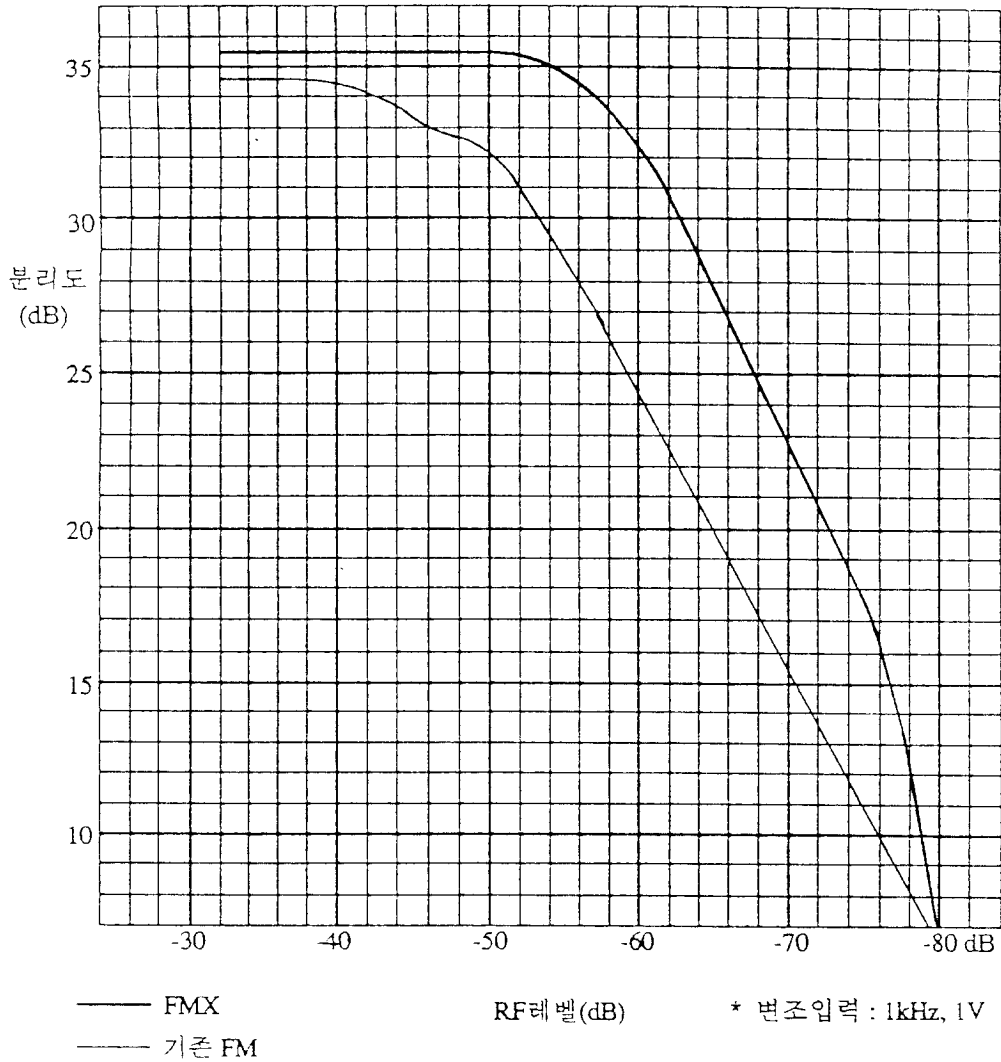


그림 5-7 RF레벨의 변화에 따른 분리도의 변화

## 5. 분리 특성

RF레벨의 변화나 변조신호의 주파수의 변화에 따른 스테레오 분리를 측정하기 위해 그림 5-6과 같이 구성하고, RF레벨이 변화하는 경우와 변조주파수가 변화하는 경우 분리에 미치는 영향이 어떻게 나타나는지 측정한 결과 부록 5-1, 5-2와 같았다.

이것을 그래프로 작성한 것이 그림 5-7, 5-8 이다.

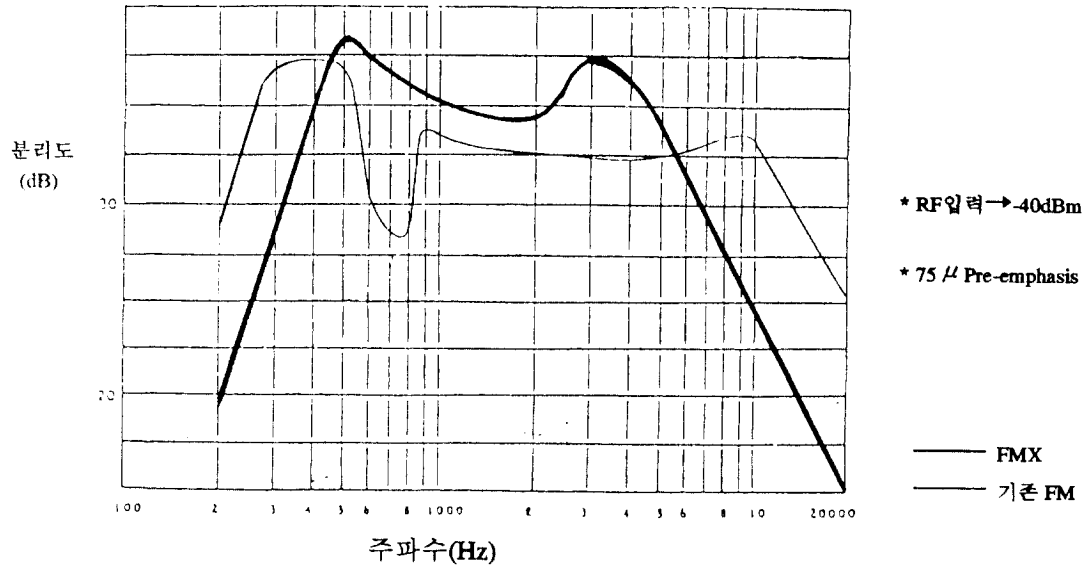


그림 5-8 변조 주파수변화에 의한 분리도 변화

## 6. 수신구역

본 연구를 진행하면서 직접 시험 및 측정을 할수 없었기 때문에 참고로 시스템을 실용화한 BTP사의 측정 결과를 여기에 실었다. 또 이 부분이 새로운 시스템의 가장 중요한 부분이라 할 수 있으므로 도입을 위해서 사전에 이 부분에 대한 검증이 반드시 선행되어야 할것으로 생각되며 여기에 수록된 내용은 참고 자료로만 이용되어야 할 것이다.

BTP사는 새로운 시스템의 성능을 확인하기 위한 시험방송으로 출력 19kW로 송신하여 송신소로 부터 10개의 방사형 길을 따라 기존의 스테레오, 모노, FMX 스테레오 방식에 대하여 각기 60dB의 S/N비로 수신되는 지점을 찾아 측정한 결과 그림 5-9과 같이 나타났다.

이 그림에 나타난 윤곽은 송신소 안테나의 지향성, 산악, 인접지역의 인접채널 방송과의 간섭등에 의해 영향을 받은 것이며, S/N비 60dB 까지 확장된 서비스 면적이 거의 4배에 이른다고 BTP사는 분석 하였다.

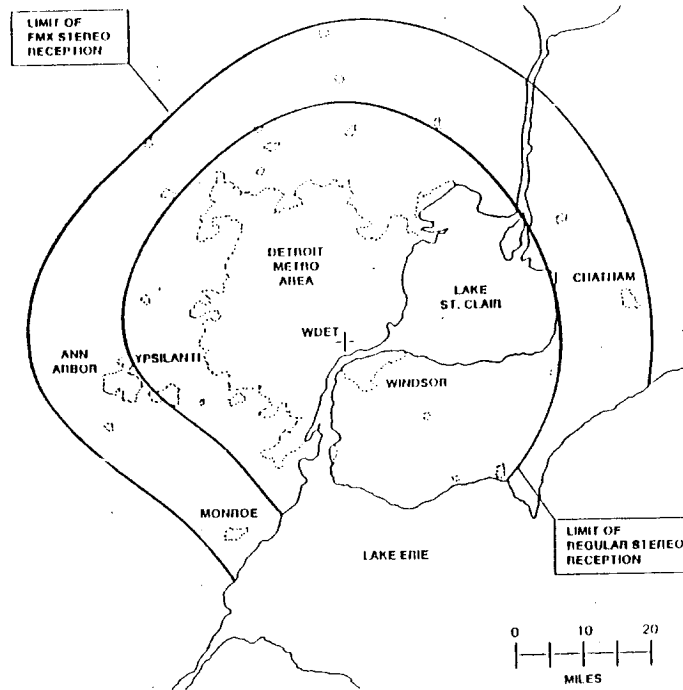


그림 5-9 60dB S/N 수신구역

## 7. 시험결과에 대한 고찰

본 장의 서두에서 밝힌바와 같이 시험이 표준적인 측정보다는 FM 스테레오와 FMX 스테레오 시스템을 상대적으로 단순히 비교할 목적으로 측정 되었으므로 측정치에 대하여 절대성을 부여할 수는 없으며 독자적인 실험과 실제 야외실험 해본 경험이 있는 방송국이나 수신기 제조업체의 의견에 의하면 어느정도 개선되는 것은 확실하지만 개선의 정도가 실수요자들에게 호감을 일으킬 만큼 크지 않다는 것이 공통된 의견 이다.

또 다중 경로가 발생하는 환경하에서의 성능과 수신구역의 확대에 대한 시험을 해 보지 못 하였으나, FMX 시스템을 설계한 BTP사는 다중경로의 환경 에서도 기존의 시스템보다 더 우수하며 스테레오 수신구역도 면적 대비 약 4배 정도의 확장 효과가 있다고 주장 하고 있다. 본 장의 제6절의 내용은 BTP사의 측정 결과로 참고를 위해 수록 한 것이다.

## 가. 청취시험

FMX스테레오 시스템을 이용하여 발생한 전파를 FMX 수신기를 통하여 수신할 수 있도록 한후 FMX와 기존의 FM스테레오를 직접 청취하여 실제 느낄수 있는 차이가 어느정도인지 확인해 보고자 하였으나 청취결과에 대한 의견이 주관적인 성향을 띠고 있으므로 구체적인 계량화를 할수는 없었다.

다만 청취후의 소감을 들어보면 약한 수신 전계강도 영역에서 뚜렷한 잡음저하 효과가 있다는데 의견이 일치하고 있다.

## 나. S/N특성

본 측정은 표준적인 환경하에서의 측정이라기 보다는 단순히 기존의 FM스테레오 시스템과 FMX스테레오 시스템의 상대적인 비교를 위한 측정이므로 이 두가지 시스템이 어떤 요인이 변화함에 따른 S/N의 차이를 한눈에 알 수 있다.

그림 5-3의 그래프를 보면 RF레벨이 낮은 -40~-70dB의 범위에서 FMX시스템의 특성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

이는 수신전계강도가 약할때 FMX의 낮은 S/N 특성때문에 저잡음의 음질을 얻을 수 있다는 주장을 뒷바침할 수 있는 것이다.

## 다. 왜율특성

왜율에 관한 측정 역시 표준적인 측정환경이 아닌 상대적 비교 평가를 위한 측정이며 그 결과는 그림 5-5의 그래프를 보면 그 비교가 쉽다.

여기서도 RF레벨이 낮은 -50~-75dB의 영역에서 FMX시스템의 특성이 우수하며 변조 입력 주파수에 대해서는 거의 비슷 하지만 고음의 영역인 10kHz 이상의 범위에서 뚜렷이 우수한 것을 부록의 측정 결과에서 볼수 있다.

## 라. 분리도

스테레오 효과를 얻기 위해 가장 중요한 요소인 좌.우 분리도 역시 RF레벨이 낮은 부분(-60 ~ -80dB)범위에서 FMX의 특성이 우수함을 그림 5-7을 통해 알 수 있고 변조 주파수에 따른 특성은 그림 5-8에서 보는 바와 같이 400~5000Hz 범위에서는 FMX가 상대적으로 우수하다.

## 제6장 결 론

FMX시스템의 원리 및 특성등에 대하여 조사해 보고 실제 이러한 시스템의 개선효과에 대하여 다중 경로의 환경과 수신 구역을 제외하고 청취시험을 비롯하여 몇가지의 중요한 특성에 대하여 측정한 결과를 토대로 보면 FMX시스템이 개선효과가 있음은 분명하다. 한편 이러한 시스템 도입에 따른 중요한 사항 몇가지를 간추려 보면

첫째, 기존 시스템과의 공존 및 향후 FM방송을 이용한 추가적인 서비스를 개발하는데 부작용이 없어야 하는데 시험 결과 기존 시스템과 병행시 나쁜 영향을 주지는 않았으며 앞서 논술된 것과 같이 기존의 FM스테레오 시스템과 같은 기저대역 스펙트럼을 이용하기 때문에 대역폭의 문제가 발생하지 않으며 RDS와 같은 새로운 서비스 추가시에도 장애가 되지 않을 것으로 생각된다.

둘째, 수신 구역의 확장에 따라 인접지역에 있는 인접채널과의 상호 간섭이 발생할 수 있다고 생각할 수 있으나, 보통 스테레오 서비스의 영역이 간섭에 의한 영향보다는 전계강도나 다중경로에 의한 영향이 크게 작용 하기 때문에 BTP사의 주장에 의하면 약한 전계강도의 조건이나 다중경로 환경에서 특성이 우수한 FMX시스템이 유리할 것이다. 그러나 이 시스템의 도입을 결정하기 위해서는 이부분에 대하여 충분한 시험과 측정을 통하여 검증 되어야 할 것으로 생각 된다.

셋째, 이러한 시스템을 도입할 경우 기존의 스테레오 시스템과의 양립성 및 방송전파의 적절한 수준을 유지하기 위한 기술적 기준이 마련되어야 한다.

현재의 FM방송에 관련된 기술기준을 토대로 FMX시스템의 특성상 추가되어야 할 항목의 예를 들면 식별신호, 주채널, 부채널 및 Quadrature 부반송파간의 위상관계, 반송파 주파수, 압신특성등이 있다.

이에 대한 상세한 것은 본 연구보고서 제4장 FMX시스템 및 신호의 표준에 나와 있으므로 이중에서 기술기준에 해당되는 부분을 선별하여 정리하면 충분할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- 1) "FM Stereophonic System Incorporating Companding of Difference Signal" -  
E.L.Torick and T.B.Keller(U.S. patent)
- 2) "Improving the Signal to Noise Ratio and Coverage of FM Stereophonic Broadcasts" -  
E.L.Torick and T.B.Keller (J.Audio Eng. Soc., Vol.33)
- 3) "Improvements in FM Stereo Broadcasting" - E.L.Torick (Proceedings of the 37th  
Annual Engineering Conference)
- 4) "Re-Entrant Compression and Adaptive Expansion for Optimized Noise Reduction" -  
D.W.Gravereaux, D.W.Stebbing, J.B.Kadian, and A.G. Cugnini (J.Audio Eng. Soc,  
Vol.33 1985 Dec.)
- 5) "Transmission Standards for FM Sound Broadcasting at VHF" - CCIR, Vol.X,  
Recomm. 450-1 (Geneva, 1986)
- 6) "Measurement of Audio Frequency Noise Voltage Level in Sound Broadcasting" -  
CCIR, Vol.X, Recomm. 468-4 (Geneva, 1986)
- 7) "Impairments to VHF/FM Reception in Motor Vehicles Caused by Multipath  
Propagation and Possibilities for Improving Receivers - EBU Rev. Tech., No.205  
(1984, June)
- 8) "FMX Mobile Reception" - IEEE Trans. Consumer Electron. Vol. 34, No.4 (1988. Nov.)

부록 1. Quadrature 반송파를 더함으로써 발생하는 Peak Modulation

새로운 스테레오 신호성분(등화와 ID톤을 무시한것)은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$0.45(L+R) + 0.45(L-R)\sqrt{1-g^2} \sin(\omega_s t - \tan^{-1}g) + 0.1\sin(\frac{\omega_s}{2}t)$$

여기서, L과 R은 좌우 채널의 변조함수,  $\omega_s$ 는 반송파의 각 주파수, g는 압축이득  
Peak Modulation은 다음의 두가지 표현보다 높게 보여질 수 있다.

$$0.45(L+R) + 0.45|L-R|\sqrt{1+g^2} + 0.1\sin\{\frac{1}{2}[\sin(\sin^{-1}(\text{sgn}[L-R]) + \tan^{-1}g)]\} \text{ 또는}$$

$$0.45(L+R) - 0.45|L-R|\sqrt{1+g^2} + 0.1\sin\{\frac{1}{2}[\sin(\sin^{-1}(\text{sgn}[L-R]) + \tan^{-1}g)]\}$$

부록 2. FM 수신 조건에 대한 잡음 스펙트럼

편평한 IF 전력 스펙트럼 밀도와 요구된 모든 신호성분을 통과시키는 Low-Pass  
필터를 가진 FM 시작점 이상에서 운용하는 주어진 FM 감지기는 감지기 출력  
스펙트럼 밀도가 다음식으로 알려져 있다.

$$S(\omega) = \frac{\omega^2 n_0}{A_c^2}$$

$\omega$  = 각 주파수  
 $n_0$  = IF 출력에서 잡음의 스펙트럼 밀도  
 $A_c$  = 반송파 진폭

표준 디엠파시스는 다음과 같은 전달함수를 갖는다.

$$H_d(s) = \frac{a_d}{a_d + s} \text{ 여기서 표준 FM 방송에 대하여 } a_d = \frac{1}{75\mu s} \text{ 이다.}$$

$S = j\omega$  를 대입하면 모노포닉 출력 스펙트럼 밀도가 다음과 같이 된다.

$$S_m(\omega) = S(\omega)H_d(\omega)H_d^*(\omega) = \frac{n_0}{A_c^2} \frac{a_d^2 \omega^2}{a_d^2 \omega^2}$$

여기서  $H_d^*(\omega)$ 는  $H_d(\omega)$ 의 공액복소수이다.

모노포닉 출력 잡음전력은 필요한 주파수대역  $B(2\pi \times 15000)$ 에 걸쳐 적분하여  
구한다.

$$P_m = \int_B S_m(\omega) d\omega$$

$$= \frac{n_0}{A_c^2} [2Ba_d^3 - 2a_d^3 \tan^{-1}(\frac{B}{a_d})]$$

이제 스테레오포닉 수신하에서 감지된 신호는 다음과 같이 나타난다.

$$0.4(L+R) + 0.45(L-R)\sin \omega_s t + 0.1\sin(\frac{\omega_s}{2}t)$$

그리고 Stereo demultiplexing은 신호에 다음을 필수적으로 곱하여 수행된다.

$$\text{좌측 출력에 대하여 } 1 + 2 \sin \omega_s t$$

$$\text{우측 출력에 대하여 } 1 + 2 \sin \omega_s t$$

( $2\omega_s$  보다 더 높게 만들어진 주파수는 무시된다.)



따라서 스테레오폰 잡음출력은 주채널의 잡음과 부채널 잡음의 합이 된다.  
결국 디엠파시스를 포함한 잡음처리는 다음과 같다.

$$X_o(t) = [X(t) + X_s(t) 2 \sin \omega_{st}] * h_d(t)$$

여기서  $X(t)$ 와  $X_s(t)$ 는 주채널과 스테레오폰 부채널의 확률론적인 잡음처리이고  
 $H_d(t)$ 는 디엠파시스 네트워크의 충격응답이며, "\*" 표기는 복소회전을 표시하는 것이다.  
이 과정에서 전력 스펙트럼 밀도는

$$S_o(\omega) = S(\omega) + [S_s(\omega + \omega_s) + S_s(\omega - \omega_s)]H_d(\omega) H_d^*(\omega)$$

여기서  $S(\omega)$ 와  $S_s(\omega)$ 는  $X(t)$ 와  $X_s(t)$ 를 처리하여 조합된 전력 스펙트럼 밀도이다.  
또  $H_d(\omega)$ 는  $h_d(t)$ 를 Fourier 변환시킨 것이다.

이제  $\omega_s$  주변의 전력 스펙트럼은  $S(\omega)$ 가 불변 주파수이므로 낮은 주파수에서 전력 스펙트럼과 같은 함수이기 때문에

$$S_o(\omega) = [S(\omega) + S(\omega + \omega_s) + S(\omega - \omega_s)]H_d(\omega) H_d^*(\omega) \text{ 이고}$$

따라서 스테레오폰 출력 스펙트럼 밀도는

$$\begin{aligned} S_o(\omega) &= \frac{n_o}{A_c^2} \frac{a_d^2}{a_d^2 + \omega^2} [\omega^2 + (\omega + \omega_s)^2 + (\omega - \omega_s)^2] \\ &= \frac{n_o}{A_c^2} \frac{a_d^2}{a_d^2 + \omega^2} (3\omega^2 + 2\omega_s^2) \end{aligned}$$

스테레오폰 출력 잡음전력은 앞의 식을 적분한 것이 된다.

$$P_s = \frac{n_o}{A_c^2} [6Ba_d^2 + (4a_d\omega_s^2 - 6a_d^3) \tan^{-1}(\frac{B}{a_d})]$$

우리는 이제 FMX 수신으로 수신기 출력을 이미 분석할 수 있는 위치에 와있다.

복호화는 그림a에 나타나 있다. 부호화 등화기의 전달함수를  $H(s)$ 로 설계해 보자.

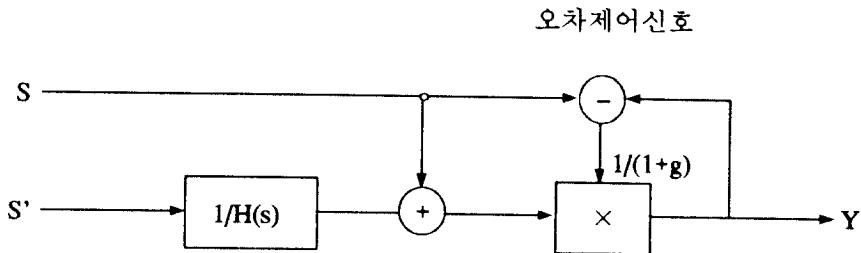


그림 a 기본적인 복호기

요구되는 보조 필터의 특성은  $1/H(s)$ 이다.

시스템의 끝점에서 확장기의 이득은  $1/(1+g)$ 가 될것이다. (여기서  $g=5$ 로 이것은 14dB 이다)

$S$ 와  $S'$  신호의 합을 갖는다  $[S+S' = S+gS = (1+g)S]$  따라서 입력이  $S$  이고 확장기의 변환 전달함수가  $X_1(S)$ 이라면, 확장기 출력응답 $Y$ 는

$Y_1(s) = X_1(s)H_1(s) = \frac{1}{1+g} X_1(s)$  라면  $H_1(s) = \frac{1}{1+g}$  이며,  
 입력  $S'$ 에 대한 전달함수  $X_2(s)$ 인 경우 출력응답  $Y$ 는  
 $Y_2(s) = X_2(s)H_2(s) = \frac{1}{1+g} X_2(s) \frac{1}{H(s)}$  이다. 따라서  $H_2(s) = \frac{1}{1+g} \frac{1}{H(s)}$  이다.  
 여기서  $S$ 에서의 전력 스펙트럼 밀도(PSD)가  $SX(s)$ 이고,  $S'$ 에서의 전력 스펙트럼 밀도가  
 $SX(s)$ 라면, 출력에서의 전력 스펙트럼 밀도는  
 $Sy_1(s) = Sx_1(s)H_1^*(s)$  입력잡음  $Sx_1(s)$ 에 기인  
 $Sy_2(s) = Sx_2(s)H_2(s)$  입력잡음  $Sx_2(s)$ 에 기인  
 입력들이 서로 상호관계가 없으나 식별할 수 있는 PSD(전력 스펙트럼 밀도)를 갖고  
 있기 때문에 이들을 간단히 더하여

$$\begin{aligned}
 Sy(s) &= Sy_1(s) + Sy_2(s) \\
 &= Sx(s)H_1(s)H_1^*(s) + Sx(s)H_2(s)H_2^*(s)
 \end{aligned}$$

추가하여

$$\begin{aligned}
 H_1(s) &= \frac{1}{1+g} H_1^*(s) \\
 H_2(s) &= \frac{1}{1+g} H_2^*(s)
 \end{aligned}$$

따라서

$$\frac{Sy(s)}{Sx(s)} = \left(\frac{1}{1+g}\right)^2 + \left(\frac{1}{1+g}\right)^2 \frac{1}{H(s)} \frac{1}{H^*(s)}$$

여기서 만일  $H(s)$ 가 간단한 등화기  $(b+s) / (a+s)$ 라면 편형한 입력에 의한 확장기의  
 출력에서의 PSD(전력 스펙트럼 밀도)는

$$\frac{Sy(s)}{Sx(s)} = \left(\frac{1}{1+g}\right)^2 + \left(\frac{1}{1+g}\right)^2 \frac{a+s}{b+s} \frac{a-s}{b-s}$$

여기서  $S$ 는 복소 주파수로  $S = -a$ 와  $S = -b$ 는 극이며 Zero 등화기이다.  
 따라서 각 주파수  $\omega$ 의 함수로 확장기의 전력 변환 함수는

$$G(\omega) = \frac{Sy(\omega)}{Sx(\omega)} = \frac{1}{(1+g)^2} \left(1 + \frac{a^2 + \omega^2}{b^2 + \omega^2}\right)$$

그러므로 FMX 스테레오폰 출력 전력의 스펙트럼 밀도는

$$\begin{aligned}
 Sf(\omega) &= \frac{n_0}{A_c^2} \frac{a_d^2}{a_d^2 + \omega^2} \{ \omega^2 + G(\omega)[(\omega + \omega_s) + (\omega - \omega_s)] \} \\
 &= \frac{n_0}{A_c^2} \frac{a_d^2}{a_d^2 + \omega^2} \left[ \omega^2 + \frac{2}{(1+g)^2} \times \left(1 + \frac{a^2 + \omega^2}{b^2 + \omega^2}\right) (\omega^2 + \omega_s^2) \right]
 \end{aligned}$$

이 표현은 다양한 Quadrature 형식으로 잡음전력의 정확한 평가를 쉽게 얻을 수 있도록  
 하기 위해 종합적으로 장황하게 하였으나 다행스럽게 이 식은실제에 잘 맞는다.

## 부록 3 RF Level 변화에 따른 변조신호별 S/N 특성

75 $\mu$ s PRE-EMPH ON시

단위 : dB

RF Level [dBm]	400 Hz			1 kHz			5 kHz			10 kHz		
	FM	FMX	차	FM	FMX	차	FM	FMX	차	FM	FMX	차
0	52	51.2	-1.2	52	49.8	-2.2	52	49.8	-2.2	52.5	50	-2.5
-32	51.0	51.0	0	51	49.8	-1.2	51	49.8	-1.2	51.5	50	-2.5
-34	50.5	51.0	0.5	50.5	49.7	-0.8	50.3	49.8	-0.5	51	51	0
-36	49.7	51.0	1.3	49.8	49.7	-0.1	49.7	49.8	0.1	50	51	1
-38	48.7	51.0	2.3	48.7	49.7	1.0	48.8	49.5	0.7	49.2	51	1.8
-40	47.6	50.5	2.9	47.6	49.6	2.0	47.6	49.0	2.4	48	51	3
-42	46.2	50.2	4.0	46.2	49.0	2.8	46.3	48.8	2.5	46.6	50.5	3.9
-44	44.4	49.4	5.0	44.6	48.6	4.0	44.7	48.5	3.8	45	50	5.0
-46	42.8	48.5	5.7	42.7	47.8	5.1	43.0	48.2	5.2	43.5	49.5	6.0
-48	41.0	47.6	6.6	41.0	47.0	6.0				41.6	48.5	6.9
-50	39.2	46.4	7.2	39.8	46.0	6.2	39.4	46.2	6.8	39.7	47.1	6.4
-52	37.2	44.8	7.6	37.4	44.6	7.2	37.6	44.8	7.2	38	45.8	7.8
-54	35.4	43.8	8.4	35.5	43.2	7.7	35.7	43.4	7.7	36.1	44.3	8.2
-56	33.3	41.8	8.5	33.4	41.8	8.4	33.7	41.8	8.1			
-58	31.4	40.3	8.9	31.4	40.4	9.0	31.6	40.0	8.4	32.1	40.8	8.7
-60	29.4	38.5	9.1	29.6	39.5	9.9	29.4	38.2	8.8	30.2	39.2	9.0
-62	27.5	36.5	9.0	27.6	37.7	10.1	27.7	36.5	8.8	28.0	37.0	9.0
-64	25.4	34.3	8.9	25.4	34.9	9.5	25.8	34.1	8.3	26.2	35.0	8.8
-66	23.4	31.5	8.1	23.5	31.7	8.2	23.7	31.6	7.9	24.3	32.7	8.4
-68	21.3	28.6	7.3	21.4	28.6	7.2	21.5	29.0	7.5	22.2	29.2	7.0
-70	19.2	25.0	5.8	19.8	25.4	5.6	19.5	25.7	6.2	20.2	26.4	6.2
-72	17.4	22.6	5.2	17.3	22.4	5.1	17.5	23.0	5.5	18.0	23.4	5.4
-74	15.2	17.6	2.4	14.9	17.0	2.1	15.4	17.8	2.4	16.0	19.0	5.0
-76	12.2	13.6	1.4	12.4	13.6	1.2	12.6	14.0	1.4	13.5	14.8	1.1
-78	8.8	9.0	0.2	9.0	9.0	0	9.2	9.2	0	10.0	10.4	0.4
-80	5.8	4.9	-0.9	6.0	5.2	-0.8	6	5.2	-0.8	7.0	6.4	-0.6

\* 측정조건 : Mod Level = 1V

## 부록 4-1 RF Level 변화에 따른 변조신호별 왜율특성

75 $\mu$ s PRE-EMPH ON시

단위 : %

RF Level [dBm]	400 Hz			1 kHz			5 kHz			10 kHz		
	FM	FMX	차	FM	FMX	차	FM	FMX	차	FM	FMX	차
0	32	32	0	8	8	0	0.9	2.8	+2.1	2.3	2	-0.3
-32	32	32	0	8	8	0	0.9	1.8	+0.9	2.2	1.1	-1.1
-34	32	32	0	8	8	0	0.9	1.8	+0.9	2.2	1.1	-1.1
-36	32	32	0	8	8	0	1.3	1.8	+0.5	2.2	1.1	-1.1
-38	32	32	0	8	8	0	1.3	1.8	+0.5	2.2	1.1	-1.1
-40	32	32	0	8	8	0	1.7	1.8	+0.1	2.3	1.1	-1.2
-42	32	32	0	8	8	0	1.7	1.8	+0.1	2.3	1.1	-1.2
-44	32	32	0	8	8	0	1.7	1.8	+0.1	2.4	1.1	-1.3
-46	32	32	0	8	8	0	1.7	1.8	+0.1	2.5	1.2	-1.3
-48	32	32	0	8	8	0	1.8	1.6	-0.2	2.7	1.2	-1.5
-50	34	32	-2	8	8	0	2.3	1.8	-0.5	2.9	1.3	-1.6
-52	34	32	-2	8	8	0	2.6	1.8	-0.8	3.2	1.4	-1.8
-54	34	32	-2	9	8	-1	3.2	1.8	-1.4	3.7	1.6	-2.1
-56	34	32	-2	10	8	-2	4.0	2.2	-1.8	4.5	1.7	-2.8
-58	34	32	-2	11	8	-3	5.2	2.3	-2.9	5.4	2.0	-3.4
-60	34	32	-2	13	9	-4	6.4	2.8	-3.6	6.6	2.4	-4.2
-62	38	34	-4	16	11	-5	8.0	3.4	-4.6	8.0	3.0	-5.0
-64	41	34	-7	19	12	-7	10	4.2	-5.8	10	3.8	-6.2
-66	44	34	-10	23	14	-9	11	5.6	-5.4	12	5.6	-6.4
-68	51	36	-15	28	16	-12	15	8.0	-7	15	8	-7.0
-70	62	41	-21	37	22	-15	19	10	-9	19	11	-8.0
-72	75	48	-27	60	41	-19	26	16	-10	26	17	-9.0
-74	-	-	-	60	42	-18	33	25	-8	34	28	-6.0
-76	-	-	-	80	75	-5	52	43	-9	54	48	-6.0
-78	-	-	-	85	85	0	80	80	0	80	80	0
-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

\* 측정조건 : Modulation Level = 0.5V

부록 4-2 변조신호의 주파수변화에 따른 왜율특성

단위 : %

Mod. Freq. [kHz]	PRE-EMPH OFF			PRE-EMPH ON		
	FM	FMX	차	FM	FMX	차
0.2	5.5	10	+4.5	58	58	0
0.4	2.8	4.6	+1.8	36	36	0
0.8	1.0	2.3	+1.3	10	10	0
1.0	1.1	2.1	+1.0	7	7	0
2.0	0.8	1.7	+0.9	4.6	4.6	0
3.0	0.6	1.4	+0.8	2.4	2.5	+0.1
4.0	0.6	1.4	+0.8	2.0	2.1	+0.1
5.0	0.8	1.5	+0.7	1.7	2.0	+0.3
6.0	1.1	1.5	+0.4	1.6	1.9	+0.3
7.0	1.3	1.6	+0.3	1.3	1.6	+0.3
8.0	1.6	1.7	+0.1	1.0	1.0	0
9.0	1.9	1.0	-0.9	2.0	1.2	-0.8
10.0	2.4	1.2	-1.2	2.3	1.2	-1.1
11.0	3.2	1.5	-1.7	3.0	1.5	-1.5
12.0	4.2	2.0	-2.2	3.6	1.6	-2.0
13.0	4.8	3.3	-2.5	4.6	2.1	-2.5
14.0	5.5	3.0	-2.5	6.0	3.6	-2.4
15.0	5.6	3.0	-2.6	6.0	3.3	-2.7
16.0	5.0	3.3	-1.7	5.4	3.0	-2.4
17.0	8.0	4.8	-3.2	2.0	1.5	-0.5
18.0	26	22	-4	-	-	-

\* RF Signal Level : -40dBm

\* Modulation Level : 0.5V

## 부록 5-1 RF Level 변화에 따른 스테레오 분리도 특성

단위 : dB

RF Level [dB]	PRE-EMPH OFF			PRE-EMPH ON(75 $\mu$ s)		
	FM	FMX	차	FM	FMX	차
0	34.6	28	-6.6	36.3	32.6	-3.7
-32	32	31.0	-1.0	34.6	35.4	0.8
-34	32	31.0	-1.0	34.6	35.4	0.8
-36	32	31.0	-1.0	34.6	35.4	0.8
-38	32	31.0	-1.0	34.6	35.4	0.8
-40	32	31.0	-1.0	34.4	35.4	1.0
-42	32	31.0	-1.0	34.2	35.4	1.2
-44	32	31.0	-1.0	33.7	35.4	1.7
-46	32	31.0	-1.0	33.0	35.4	2.4
-48	32	31.0	-1.0	32.6	35.4	2.8
-50	32	30.8	-1.2	32.3	35.4	3.1
-52	32	30.5	-1.5	31.2	35.4	4.2
-54	32	30.0	-2.0	29.6	35.0	5.4
-56	31.8	29.5	-2.3	28.2	34.3	6.1
-58	31.7	28.8	-2.9	26.0	33.2	7.2
-60	31.5	28.4	-3.1	24.6	32.4	7.8
-62	31.2	27.9	-3.3	22.6	30.6	8.0
-64	30.8	27.3	-3.5	20.6	29.5	8.9
-66	30.0	26.3	-3.7	18.6	27.5	8.9
-68	29.4	25.2	-4.2	17.2	25.0	7.8
-70	28.6	24.2	-4.4	15.2	23.0	7.5
-72	26.8	22.5	-4.3	13.6	21	7.4
-74	24.2	20.4	-3.8	11.4	18.7	7.3
-76	20.0	18.0	-2.0	9.6	16.5	6.9
-78	16.2	16.2	0	6.8	11.6	4.8
-80	-	-	-	3.5	5.8	2.3

\* 측정조건 : Modulation Signal Input = 1kHz, 1V