

# FM DARC

이상윤, 최병호

(문화방송 기술연구소)

## 1. 개요

DARC(Data Radio Channel)는 RDS(Radio Data System)와 더불어 FM 방송을 이용한 데이터전송시스템으로서 기존의 FM 라디오 채널에 디지털 형태의 정보를 부가하여 교통 정보를 비롯해 뉴스, 일기 예보, 주식 정보, 프로그램 정보 등을 전송할 수 있게 해준다. 또한 휴대용, 자동차용, 가정용 및 PC용 수신기 등 다양한 형태의 수신기를 이용하여 라디오 방송을 청취하면서 동시에 문자나 그래픽 형태로 정보를 이용할 수 있다.

DARC는 유럽에서 개발되어 1980년대부터 사용 중인 1187.5BPS의 전송률을 갖는 RDS에 비해 월등히 높은 16KBPS의 전송률을 갖으며, 에러 정정 방식을 채택하여 고정 및 이동용의 FM 정보 전송 방식으로서 우리나라 및 유럽, 일본 등에서 서비스를 실시하고 있다.

FM 라디오를 이용한 데이터 방송 서비스 현황을 살펴보면 미국의 경우, RDS의 일종인 RDBS(Radio Data Broadcasting System)라는 명칭으로 FM 부가 정보 방송 서비스를 1980년대 후반부터 실시 중이며, 1996년에 FMSS(FM Sub-carrier information Service)라는 명칭으로 DARC 서비스의 도입을 시도하여 뉴스, 스포츠, 차량항법 운행 시스템 및 호출 시스템 등으로 서비스의 범위를 넓혀 나가고 있다.

유럽은 RDS를 개발하고 최초로 상용서비스를 실시하여 FM 부가 정보 서비스와 관련한 많은 경험과 노하우를 축적하고 있다. 또한 이를 기반으로 보다 고속이며, 전송율이 높은 새로운 DARC 방식의 연구를 일본과 공동으로 추진하였

고, 1997년에는 스웨덴, 노르웨이, 독일, 스위스 등을 선두로 하여 본격적인 서비스를 시작하였다.

일본은 RDS를 기반으로 FM 데이터방송 관련 기반기술을 확보한 유럽과 공동으로 DARC 개발을 추진하여, 가장 성공적인 상용화를 이룬 나라로서 1995년부터 전국적인 서비스를 시작하였다. 특히 VICS(Vehicle Information and Communication System) 센터와 연계되어 운용되는 차량항법시스템용 교통정보 서비스는 가장 중요한 서비스로서 교통난이 극심한 일본에서 큰 기여를 하고 있다. 2003년 말 현재 약 800만대의 VICS 단말기가 보급되었으며, 이 중 90% 이상에 DARC 수신기능이 내장되어있다.

우리나라는 1996년부터 FM DARC에 대한 연구가 본격화 되어 1999년부터 교통, DGPS, 기상, 뉴스 등을 위주로 방송을 개시하였으며, 2001년부터 전국을 대상으로 상용서비스를 실시 중이다.(MBC FM, Idio) 특히 교통정보 및 DGPS가 별도의 FM 채널에서 서비스되는 일본과는 차별화하여 하나의 FM 채널에서 두 가지 데이터서비스를 동시에 이용 가능하게 하였으며, 각종 ITS 기술표준을 적용 향후 서비스확장의 용이성을 확보하였다.

## 2. DARC 시스템의 원리

### (1) FM의 기본 원리 및 대역폭

FM 방송은 주파수에 신호를 실어서 전송하는 방식이다. 전송 신호  $s(t)$ 를

$$s(t) = A \cos(\omega_c t + \theta_c) \quad (2-1)$$

로 표현 될 수 있다.

주파수 변조되는 신호의 경우, 변조되는 반송파의 대역폭은 변조하는 스테레오폰 신호의 크기에 비례한다. 따라서 스테레오폰 신호의 크기를 제어하여 변조되는 반송파 신호의 대역폭을 조절할 수 있다.

### (2) FM 방송

일반적인 상용FM방송에 대해 미국의 FCC(Federal Communication Commission)는 88-108 MHz의 주파수 영역에서 최대 주파수 변이(Peak frequency deviation,  $\Delta f$ )를 75KHz로 하고, 각 FM 방송의 주파수 대역폭은 200KHz로 규정하였다. 이는 주파수 대역폭이 10KHz로 허가된 AM방송과 비교하여 매우 크며, 고충실도의 방송 서비스를 제공하기 위한 것이었다.

FM 스테레오폰신호에는 L채널과 R채널 신호성분 외에 파일럿 신호가 포함되며 이 파일럿신호의 주입지수는 최대 주파수 변이의 10%를 허용하도록 규정되어 있다. 또한 L채널과 R채널 신호는 스테레오방식 수신기와 모노방식 수신기와의 호환성을 유지하기 위해 L+R신호와 L-R신호로 바꾸어 전송하게 된다. 따라서 L+R신호와 L-R신호에는 최대 주파수 변이 중 파일럿 신호가 차지한 10%를 제외한 나머지 90%가 할당될 수 있다. 만약 L-R신호가 없으면, 즉 L채널 신호와 R채널 신호가 동일할 때는 L+R신호가 나머지 90%를 모두 차지하게 되며 L+R신호가 없으면 L-R신호가 전체 의 90%를 차지하게 된다. 만약 L채널 신호와 R채널 신호가 서로 독립이면 L+R신호와 L-R신호의 크기가 같게 되어 각각 전체 의 45%를 차지하게 된다. 이것은 L+R신호와 L-R신호의 시소 효과로써 어떤 경우라도 전체 신호가 전체 의 90%를 초과하지 않게 된다. [ 3, 4]

### (3) MSK의 기본 원리

논리 '1'을 전송하기 위한 1과 논리 '0'을 전송하기 위한 -1의 데이터열을  $\cos(\omega_c t)$ 의 반송파에 실어 전송하는 방식을 BPSK(Binary Phase Shift Keying)라고 한다. 따라서 -1과 1로 구성된 데이터열을  $d(t)$ 라고 하면 전송 신호  $s(t)$

는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$s(t) = d(t) \cos(\omega_c t) \quad (2-2)$$

반면, 짝수 번째 데이터들을  $d_i(t)$ 로 표시하고 홀수 번째 데이터들을  $d_o(t)$ 로 표시할 때 각 채널을 서로 직교인 두개의 반송파  $\cos(\omega_c t)$ 와  $\sin(\omega_c t)$ 에 나누어 전송하는 방식을 QPSK(Quaternary Phase Shift Keying)라고 한다. QPSK의 전송 신호  $s(t)$ 는 다음과 같다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} d_i(t) \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) + \frac{1}{\sqrt{2}} d_o(t) \sin\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) \quad (2-3)$$

QPSK는 BPSK에 비해 데이터 전송 속도가 2배이지만 코히어런트 방식에서 오울 열화가 없기 때문에 많은 통신 시스템에서 많이 응용되고 있다. 하지만 이러한 디지털 변조 방식은 데이터 신호가 바뀌는 부분에서 전송파의 위상이 연속되지 않고 끊어지게 되어 인접 주파수를 이용하는 신호에 간섭을 일으키게 된다. 따라서 주파수 효율을 높이기 위해 위상이 끊기지 않고 연속되는 변조 방식에의 관심이 높아지게 되었으며 MSK(Minimum Shift Keying)가 이러한 요구를 충족시키고 있다.

MSK로 변조된 전송 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = \cos\left[2\pi\left(f_c + \frac{d_k}{4T}\right)t + x_k\right] \quad kT < t < (k+1)T \quad (2-4)$$

식 2-15에서  $f_c$ 는 반송파의 주파수이고  $d_k = \pm 1$ 은 전송을  $R=1/T$ 인 데이터를 나타낸다. 그리고  $x_k$ 는 k번째 데이터 지속 시간 동안 일정한 값을 가지며 전송 신호  $s(t)$ 의 위상이 연속되도록 유지하는 상수이다.

식 2-4로부터  $d_k = 1$ 일 때 전송파의 주파수는  $f_c + 1/4T$ 가 되고  $d_k = -1$ 일 때는 주파수가  $f_c - 1/4T$ 가 됨을 알 수 있다. 이

신호의 톤 간격은  $1/2T$ 로써 논코히어런트 직교 FSK방식에 비해 절반이며 따라서 MSK라는 이름이 명명되었다.

각 데이터 간격  $T$ 동안  $x_k$ 는  $t=kT$ 에서 전송 신호가 연속이 되도록 0또는  $\pi$ 의 값을 가지게 되며 다음과 같은 관계식을 만족하게 된다.

$$x_k = \left[ x_{k-1} + \frac{\pi k}{2} (d_{k-1} - d_k) \right] \text{ mod } 2\pi \quad (2-5)$$

식 2-5는 다음과 같이 두 부분으로 나누어 표현할 수 있다.

$$s(t) = a_k \cos \frac{\pi}{2T} \cos 2\pi f_o t - b_k \sin \frac{\pi}{2T} \sin 2\pi f_o t$$

$$kT < t < (k+1)T \quad (2-6)$$

여기서  $a_k, b_k$ 는 각각 다음과 같다.

$$\begin{aligned} a_k &= \cos x_k = \pm 1 \\ b_k &= d_k \cos x_k = \pm 1 \end{aligned} \quad (2-7)$$

식 2-17에서 첫번째 항인  $a \cos(\pi t/2T) \cos 2\pi f_o t$ 는 I채널에 해당되고 두 번째 항인  $b \sin(\pi t/2T) \sin 2\pi f_o t$ 는 Q채널에 해당된다. I채널에서  $\cos 2\pi f_o t$ 는 반송파이고  $\cos(\pi/2T)$ 는 반송파에 실리는 삼각 함수 형태의 데이터 신호이며  $a$ 는 입력 데이터에 따라 결정되는 값을 가진다. Q채널에서도 비슷하게  $\sin 2\pi f_o t$ 는 반송파이고  $\sin(\pi/2T)$ 는 반송파에 실리는 삼각 함수 형태의 데이터 신호이며  $b$ 는 입력 데이터에 따라 결정되는 값을 가진다

데이터  $d$ 가 시간  $T$ 마다 변하기 때문에  $a$ 와  $b$ 도  $T$ 마다 변한다. 그러나 전송 신호의 위상이 연속이어야 하기 때문에  $a$ 는  $\cos(\pi/2T)$ 가 0을 지날 때만 변하게 되고, 마찬가지로  $b$ 는  $\sin(\pi/2T)$ 가 0을 지날 때만 변하게 된다.

식 2-7에서  $x_k$ 는 직전의 데이터와 현재 데이터 사이의 차이에 관한 함수임을 알 수 있다. 따라서 식 2-17에서의  $a$ 와  $b$ 는 데이터  $d$ 가 차동 부호화된 항으로 볼 수도 있다.

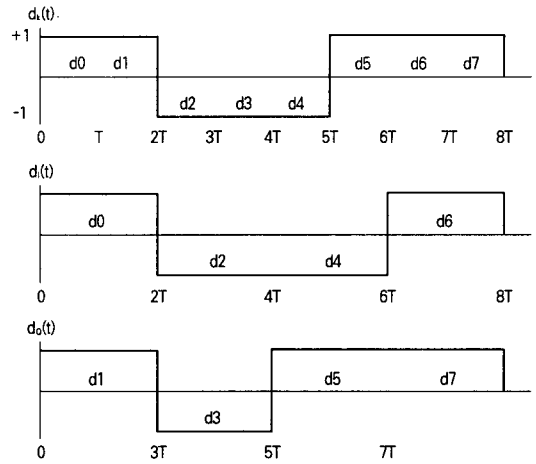


그림 2.1 MSK 변조를 위한 데이터 열

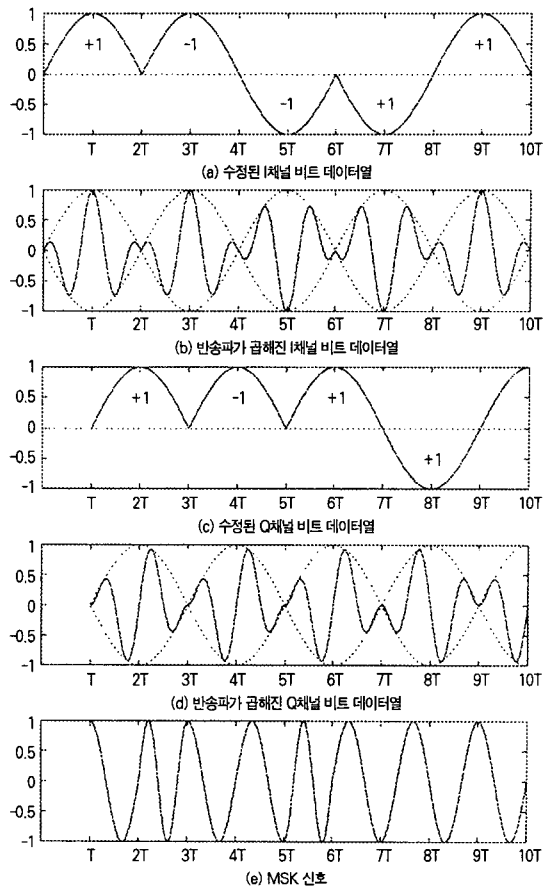


그림 2.2 Minimum Shift Keying (MSK)

식 2-7은 좀더 직관적인 데이터 부호화 형태로 표시하면 다음과 같다.[5]

$$s(t) = d_i(t) \cos \frac{\pi}{2T} \cos 2\pi f_0 t + d_o(t) \sin \frac{\pi}{2T} \sin 2\pi f_0 t \quad (2-8)$$

여기서  $d_i(t)$ 와  $d_o(t)$ 는 I채널과 Q채널의 데이터열을 나타낸다. 입력 데이터  $d_k$ 와 I, Q채널의 데이터열인  $d_i(t)$ ,  $d_o(t)$ 와의 관계는 다음과 같으며 그림 2.2에 나타나 있다.

$$d_i(t) = d_0, d_2, d_4, d_6, \dots, K \quad (\text{even bits}) \quad (2-9)$$

$$d_o(t) = d_1, d_3, d_5, d_7, \dots, K \quad (\text{odd bits}) \quad (2-10)$$

이러한 MSK 형태는 부호화된 MSK라고도 불리며, 그림 2.3에서는 그림 2.2의 데이터 열을 입력으로 하는 경우에 식 2-8의  $s(t)$ 를 그림으로 보여주고 있다.

#### (4) LMSK

FM 다중 전송 경로에서의 다중 경로 간섭의 정도는 스테레오 신호의 변조도, 특히 L-R 신호의 변조 레벨에 따라 상당한 영향을 받는다고 알려져 있다. 그러므로 L-R신호의 변조도에 비례해서 데이터 신호의 주입지수가 증가되면, 훌륭한 다중 전송 특성이 얻어짐을 예측할 수 있다.

그림 2.3는 L-R신호와 MSK신호의 최대 주파수 변이와의 관계를 보여주고 있다. L-R신호에 의해 야기된 주 FM 반송파의 변이가 2.5% 이하이면 MSK신호는 주 FM 반송파의 4%의 변이를 일으킨다. L-R 신호에 의해 야기된 주 FM 반송파의 변이가 5% 이상이면, MSK 신호는 주 FM 반송파의 10%의 최대 주파수 변이를 일으킨다. 이 한계치 사이에서 변이는 선형 관계를 갖는다.

MSK는 진폭에 관한 정보를 포함하지 않는 변조 방식이므로, 디코더 측에서 리미터 회로를 사용하여 진폭을 일정하게 유지할 수 있으며, 따라서 MSK변조는 레벨이 제어되

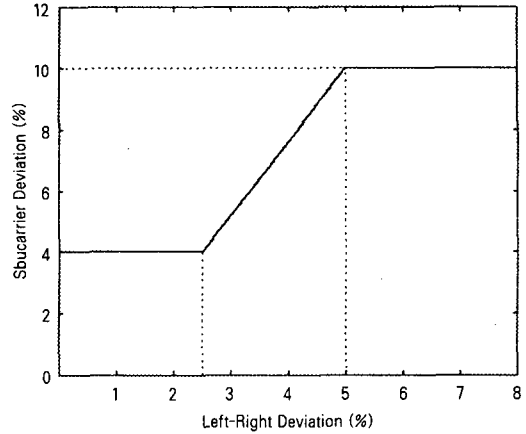


그림 2.3 DARC신호의 크기 제어 특성

는 시스템에 적합하다. 이렇게 레벨이 제어되는 MSK를 LMSK라고 한다.

#### (5) DARC

DARC를 위한 입력 데이터 신호는 16KBits/s의 전송 속도를 가지는 이진 디지털 신호이다. 이 신호는 스테레오 음성 신호(L-R)에 의해 진폭이 제어되는 MSK(Minimum Shift Keying) 방식인 LMSK(Level-controlled Minimum Shift Keying) 변조 방식을 채택하고 있다.

이진 디지털 신호는 중심 주파수가 76KHz이고 입력 데이터가 1일 때 76KHz + 4KHz, 입력 데이터가 0일 때는 76KHz - 4KHz인 주파수가 사용된다. 따라서 스테레오포닉 신호에 DARC신호가 추가된 경우, 기저 대역의 주파수

〈표 2.1〉 RDS와 DARC의 비교

	DARC	RDS
부반송파	76KHz	57KHz
부반송파 레벨	L-R신호 레벨에 따라 4~10%	1.3~10% (표준: 2.7%)
비트율	16kbit/s	1187.5bit/s
변조	LMSK	DBPSK
오류정정부호	(272,190) 단축 순환 부호	(26,16) 단축 순환 부호

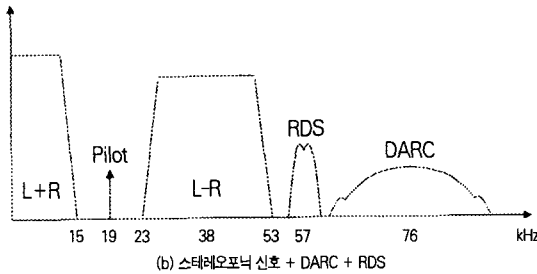
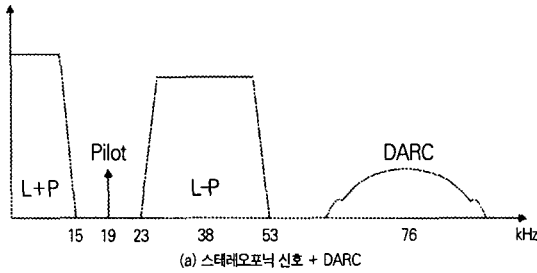


그림 2.4 FM부가방송 신호의 기저대역의 주파수 스펙트럼

스펙트럼은 그림 2.4(a)과 같이 나타나게 된다. 또한 DARC신호는 다른 FM 부가 방송용 신호인 RDS에 영향을 주지 않아 양립성이 보장되며 DARC와 RDS의 비교가 표 2.1에 있으며(7,8), RDS신호와 같이 방송될 경우의 스펙트럼은 그림 2.4(b)에 나타나 있다.

DARC신호는 LMSK 변조 방식을 사용하기 때문에 DARC신호 발생기의 입력은 16kbps의 디지털 신호뿐만 아니라 L-R신호도 포함된다. 그림 2.5에서는 DARC 방식

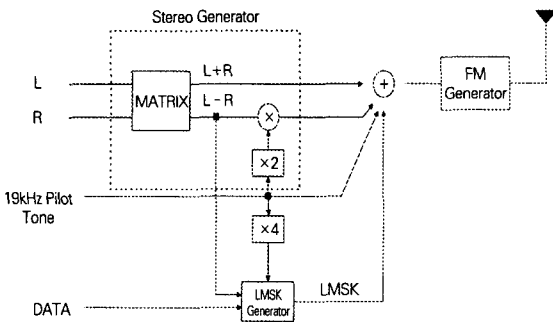


그림 2.5 DARC 시스템의 구성도

의 FM 부가 방송을 위한 시스템의 기본 구조를 나타내고 있다. 스테레오 음성 신호인 L, R신호는 L+R과 L-R로 바뀌고, L-R신호는 다시 DARC신호발생기의 입력이 되며, 이렇게 만들어진 L+R, L-R, DARC, 파일럿 신호가 모두 더해져서 주파수 변조된 후 반송파에 실려 송출되게 된다.

### 3. DARC 서비스 현황

국내의 DARC 서비스는 1996년부터 실시를 위한 연구가 시작되어, 1999년도에 교통정보 및 DGPS, 뉴스, 기상,

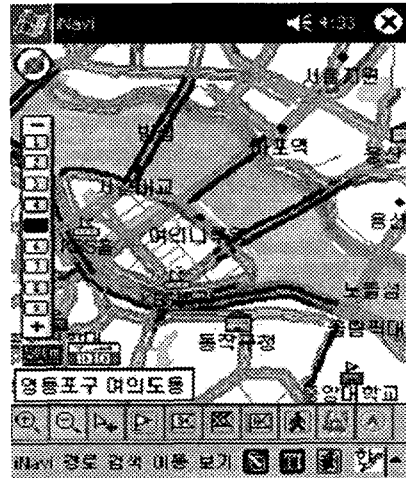


그림 3.1 교통정보의 표시(구간소통정보의 4 색 표시)

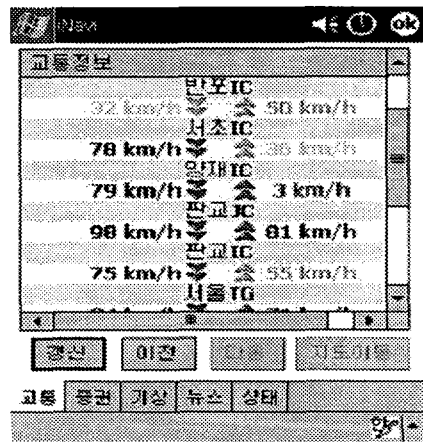


그림 3.2 교통정보의 표시(구간소통정보의 수치 표시)

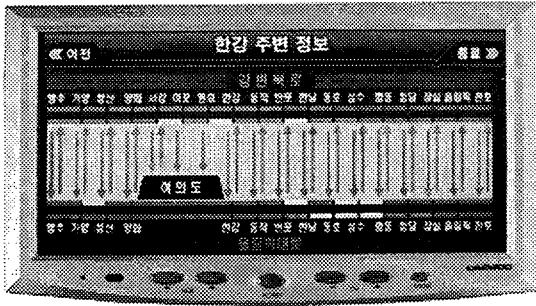


그림 3.3 교통정보의 표시(교량상황 표시)

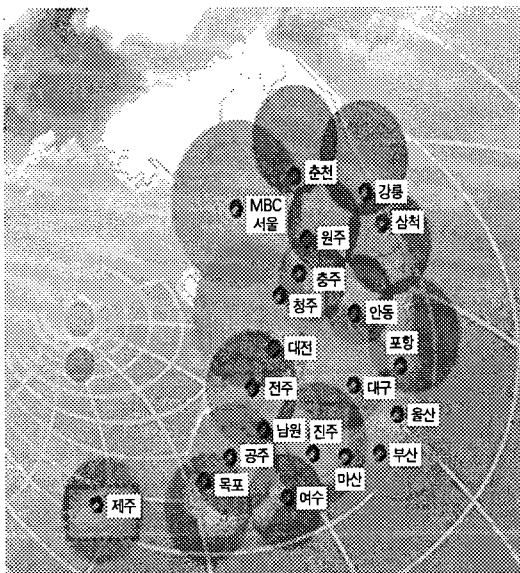


그림 3.4 DARC 서비스 수신권역

증권정보 등을 주요 콘텐츠로 하여 시범서비스가 실시되고, 2001년도에 전국을 대상으로 상용서비스가 개시 되었다.

2004년 현재 전국고속도로, 주요 국도, 서울 및 수도권, 부산시, 대전시 등의 교통정보를 비롯한 뉴스속보, 기상정보, 증권정보 등의 정보를 전국에서 수신할 수가 있다. 또한 다양한 응용단말기에 적용이 가능한GPS 및 DARC 동시에 수신모듈이 개발되어 PDA 타입 및 차량항법시스템 등 10여 종류의 단말기가 출시되고 있다. 이 외에 넓은 지역의 가로등의 점등 및 소등에도 활용이 되고 있으며, 점차 활용범위를 확대하고 있는 중이다.

참고문헌

- [1] Ferrel G. Stremier, Introduction to Communication Systems, Third Edition, Addison-Wesley, 1990.
- [2] J. R. Carson, "Notes on the Theory of Modulation", reprinted in Proceedings of the IEEE, vol. 51(1951) : 893-896.
- [3] E. B. Crutchfield, NAB Engineering handbook 7th edition, NAB, 1985.
- [4] Clarence R. Green, Robert M. Bourque, Troubleshooting, Servicing, and Theory of AM, FM, & FM Stereo Receivers, 2nd Edition, Prentice-Hall, 1987
- [5] Bernard Sklar, Digital Communications Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 1988.
- [6] Gronemeyer, S. A., and McBride, A. L., "MSK and Offset QPSK Modulation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-24, Aug. 1976, pp. 809-820.
- [7] ITU-R BS Recommendation DOC. 643, 1986.
- [8] ITU-R BS Recommendation DOC. 1194, 1995.
- [9] Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. Third Edition, McGraw Hill, 1991.
- [10] Michel C. Jeruchim, Philip Balaban, and K. Sam Shanmugan, Simulation of Communication Systems, Plenum Press, 1992.
- [11] Telecommunication Code of Federal Regulations, U.S. Government Printing Office, 1986.
- [12] Ralph S Carson, Sradio Communication Concepts : Analog, John Wiley & Sons, 1990.
- [13] FM 다중 방송 연구, 전파연구소 & 한국통신학회, 1991.
- [14] FM 다중 방송 연구 보고서, MBC 문화방송, 1996
- [15] 한국 첨단 FM 부가방송 규격안, 한국전파진흥협회 & FM 부가방송협의회, 1997.
- [16] FM 다중 방송의 기술 연구, 전파연구소 & 한국통신학회, 1989.
- [17] ITU-R Recommendation DOC. 1197
- [18] David H. Layer & Mark. R. Fratrik, FM Subcarrier MarKet Report / Technology Guide, National Association of Broadcasters, 1997.
- [19] 한국 첨단 FM 부가방송 세미나 자료집, 한국 첨단 FM 부가방송협의회, 1996.