

디지털유선방송서비스를 위한 소규모 전송망의 채널용량에 관한 연구

유창성* 손 원*

경희대학교 전자정보학부 전파공학과

Studies on Channel Capacity of Small Size Networks for Digital CATV Service

Changsung You* Won Sohn*

Department of Radio Engineering, Kyung Hee University

E-mail:y-chs@orgio.net

요 약

광대역의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 전송채널 채널용량에 대한 분석은 필수적이라 할 수 있다. 지금까지 CATV망의 채널대역폭은 대규모 전송망과 소규모 전송망에서 동일한 대역폭을 이용하여 전송 하였다. 소규모 전송망에서 광대역 멀티미디어 및 타 미디어 방송서비스를 제공하기 위해 현재의 사용 대역폭은 부족한 상황이다. 이 논문은 우리나라 CATV 구내 전송망 구조를 분석하고, 구내 전송망에서 주로 사용되는 동축케이블의 크기에 따른 최대 허용 주파수와 주파수 대역에 따른 동축케이블에서의 신호에 대한 감쇠를 구하였다. 또한 단독주택과 아파트의 구내전송망의 채널 모델링을 통해 구내전송망에서의 반송파대 잡음비를 구하였고, 구내전송망에서 주파수대역에 따른 64-QAM, 256-QAM 변조방식의 BER성능을 분석하였다.

I. 서론

지금까지 CATV 신호는 헤드엔드부터 외부 분계점까지의 전송망과 외부 분계점에서 각 가정의 입입단까지의 아파트 구내전송망 또는 각 가정의 가압지 단 말기의 입력단까지의 대내망을 통해 동일한 대역폭을 이용하여 전송되었다. 디지털 유선방송서비스 뿐만 아니라, 타 미디어를 통한 방송서비스와 멀티미디어통신 등을 소규모 전송망을 통하여 제공하기 위해서는 현재의 사용 대역폭은 부족한 상황이기 때문에 CATV망을 통한 최대 채널용량에 대한 연구는 의미가 있다고 할 수 있다.

참고문헌[9]에 의하면 지금 우리나라에서 사용하고 있는 CATV 주파수 대역을 보면 상향은 3MHz~45MHz, 하향은 54MHz~450MHz를 사용하고 있으며 인터넷 등 부가 서비스를 사용하기 위해 450MHz~750MHz를 할당 하고 있다. 또한 디지털 방송 재전송과 정보통신 부가 서비스를 위하여 750MHz~1GHz까지 할당 하고 있다.

이 논문에서는 먼저 CATV망에서 동축케이블이 사용 주파수에 따라 신호의 감쇠정도에 많은 영향을 미치기 때문에 동축케이블의 크기에 따른 최대 허용 주파수와 주파수 대역에 따른 동축케이블에서의 신호에 대한 감쇠를 구하였다. 또한 디지털 전송 성능 분석을 위하여 먼저 CATV망에 대한 채널 모델링을 하였다. 우리나라의 주택 구조를 고려하여 대표적인 두 가지 경우를 채널 모델링에서 고려하였으며, 두 가지 경우는 일반주택의 대내망과 아파트 구내망을 말한다. 일반주택의 대내망과 아파트의 구내전송망의 채널 모델링을 통해 구내전송망에서의 반송파대 잡음비를 구하였고, 주파수대역에 따른 64-QAM, 256-QAM 변조방식의 BER성능을 분석하였다.

본 논문의 2장에서는 구내전송망에서의 동축케이블의 주파수와 감쇠에 대해 설명하였고, 3장에서는 CATV망에서의 성능지수에 대한 설명을 하였다. 4장

에서는 일반주택 대내망과 아파트 구내망의 모델링을 하였고 5장에서는 CATV변조방식에 따른 BER에 대하여 설명하였다. 6장에서는 모의실험에 대한 결과에 대해 언급 하였으며, 마지막으로 7장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 구내전송망의 동축케이블 특성

CATV망의 동축케이블은 사용하고자 하는 주파수에 따라 크기가 제한된다. 그 크기의 이론적 제한은 식 (1)을 통해 구할 수 있다.[1]

$$D_{\max} = \frac{984}{\pi f \sqrt{\epsilon} \left[1 + 10^{-\left(\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon}}{138}\right)} \right]} \quad (1)$$

여기서 D_{\max} 는 차폐체의 최대 내경을 의미 하며 Z_0 은 임피던스(75Ω), ϵ 는 유전율, f 는 주파수(MHz)를 의미한다. 식 (1)을 이용하면 주어진 D 값에 대한 최대 주파수는 식 (2)을 이용하여 구할 수 있다.[1]

$$f_{\max} = \frac{984}{\pi D \sqrt{\epsilon} \left[1 + 10^{-\left(\frac{Z_0 \sqrt{\epsilon}}{138}\right)} \right]} \quad (2)$$

여기서 D (ft)는 차폐체의 내경을 의미 하며, f_{\max} 는 최대 주파수(MHz)를 의미한다. 최대 주파수를 5GHz로 한다면 그 동축 케이블의 차폐체의 내경은 0.5048 인치가 된다.

주파수에 대한 감쇠량은 Time Microwave Systems

사의 동축케이블에 대한 규격을 적용하면 식 (3)과 같다.[3]

$$\alpha = k_1\sqrt{f} + k_2f \quad (3)$$

여기서 α 는 감쇠량을 나타내고 그 단위는 dB/100 ft이다. 일반적으로 인입선과 구내배선에 쓰이는 동축케이블 RG-59일 경우에 k_1 은 0.320, $k_2=0.00126$ 이 되며, RG-6일 경우에는 k_1 은 0.256, $k_2=0.00126$, RG-11일 경우에는 k_1 은 0.203, $k_2=0.00126$ 이 된다.[5]

III. CATV망의 성능지수

CATV망의 성능지수는 C/N (carrier-to-noise)으로 정의한다. C는 반송파 전력(W), N은 잡음 대역폭(B)에서의 잡음 전력을 나타내며 식 (4)으로 표현할 수 있다.[3]

$$\frac{C}{N_{dB}} = 10\log\left(\frac{C}{N}\right) \quad (4)$$

시스템의 C/N을 구하기 위해서 망의 모든 구성요소의 잡음변수들이 고려되어야 한다.

1. CATV망에서의 잡음

도체에서의 전자의 랜덤 움직임 때문에 모든 전자 시스템은 잡음 전력을 발생시키며, 이 잡음은 측정된 부분의 절대 온도와 대역폭의 함수이다. 열잡음 전력은 식 (5)을 이용해서 구할 수 있다.[1]

$$n_p = kTB \quad (5)$$

n_p 는 와트 단위의 잡음전력, k 는 볼츠만 상수 (1.374×10^{-23} J/K), T 는 290° K(실내 온도)절대온도, B 는 대역폭이다.

4MHz 대역폭이 아날로그 NTSC 신호의 잡음 측정에 대한 표준으로써 사용되며, FCC의 규칙에 성문화되어 있으나 디지털 TV 신호의 잡음 측정 시에는 6MHz 대역폭이 사용되어야 한다. CATV 구성요소들의 잡음변수는 그들의 잡음지수를 통해 정의되어진다.[3]

$$F = \frac{N_o}{N_i G} = \frac{GN_i + N_n}{N_i G} = 1 + \frac{N_n}{(kT_0 BG)} \quad (6)$$

N_i 은 입력 잡음 전력, G 는 소자 이득, N_o 는 소자출력(W)의 총 잡음 전력, $N_n(W)$ 는 소자에 의해 첨가되

는 잡음 전력이다. 잡음 계수는 식 (7)과 같이 잡음 지수(dB)로 변환될 수 있다.

$$F_{dB} = 10\log F \quad (7)$$

2. 수동 손실 CATV 구성요소에서의 잡음지수

모든 수동 손실 분배요소들의 잡음은 열잡음이 원인이 된다. 동축케이블을 제외한 수동 소자들의 감쇠는 주파수에 따라 크게 변하지 않는다고 가정하며 손실 값은 전체 사용 주파수 대역에 걸쳐 일정하다고 할 수 있다. 수동 손실 소자들의 잡음지수(F)와 손실(L)에 대한 관계는 식(8)와 같다.[3]

$$F = \frac{kT_0 \frac{B}{L} + kT_0 B(L-1)/L}{kT_0 \frac{B}{L}} = L \quad (8)$$

따라서 모든 수동 손실 소자들의 잡음지수[dB]는 그들의 손실[dB]과 같다. 분배기에서 손실은 동축 케이블처럼 주파수에 대하여 크게 좌우되지 않기 때문에 고른 손실 (flat loss) 이라고 부르나, 주파수가 증가함에 따라 표면 효과로 인하여 손실도 증가 한다. 이 논문에서는 고른 손실로 가정하였다. 일반적으로 다단계 분배기에서의 손실은 식 (9)과 같다.[1]

$$L_m = \left[\frac{L_2}{0.301} \right] \log(m) \quad (9)$$

여기서 L_m 은 m 방향 분배기, L_2 은 쌍방향 분배기의 손실(보통 3.5~4 dB)을 말하며, m 은 분배수이다.[1]

각각의 CATV망은 많은 수의 능동소자와 수동소자들의 직렬연결로 표현될 수 있으며[3], 이 소자들로 구성된 CATV망을 하나의 시스템으로 모델링 하면(그림 1)과 같이 표현할 수 있다.[3]

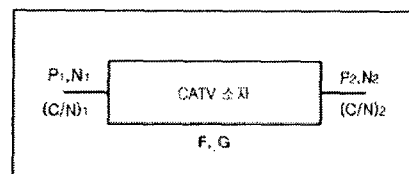


그림 1. CATV망의 시스템

(그림 1)은 알고 있는 입력 (C/N)₁ 과 CATV망 소자의 잡음지수(F)로 출력(C/N)₂를 계산하기 위한 일반적인 방법이다.[3] (그림 1)에서 F는 CATV망 시스템에서 소자의 잡음지수이고 G는 CATV망 시스템 소자의 이득, P₁는 입력신호의 전력, N₁는 입력 잡음 전력, P₂는 출력 신호 전력, N₂는 출력 잡음 전력이다. 시스템의 잡음지수

는 식 (10)과 같고, N_a 는 시스템에서 첨가된 잡음 전력으로 이는 식 (11)과 같다.[3]

$$F = \frac{kT_0BG + N_a}{kT_0BG} = 1 + \frac{N_a}{kT_0BG} \quad (10)$$

$$N_a = (F-1)kT_0BG \quad (11)$$

총 출력 잡음 전력 N_2 는 입력 잡음 전력과 첨가된 잡음 전력 N_a 로 구성되며 식 (12)와 같다.[3]

$$N_2 = N_1G + (F-1)kT_0BG \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N}\right)_2 &= \frac{P_2}{N_2} = \frac{P_1G}{N_1G + (F-1)kT_0BG} \\ &= \frac{P_1}{\left(\frac{C}{N}\right)_1 + (F-1)kT_0B} \end{aligned} \quad (13)$$

직렬로 연결된 CATV 구성망의 전체 $(C/N)_{total}$ 과 CATV망의 각각의 구성요소들에 (C/N) 의 관계는 식(14)과 같다.[1]

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{total}^{-1} = \left(\frac{C}{N}\right)_1^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_2^{-1} + \left(\frac{C}{N}\right)_3^{-1} \quad (14)$$

IV. 일반주택 덕내망과 아파트망의 모델링

1. 일반주택 덕내망 모델링

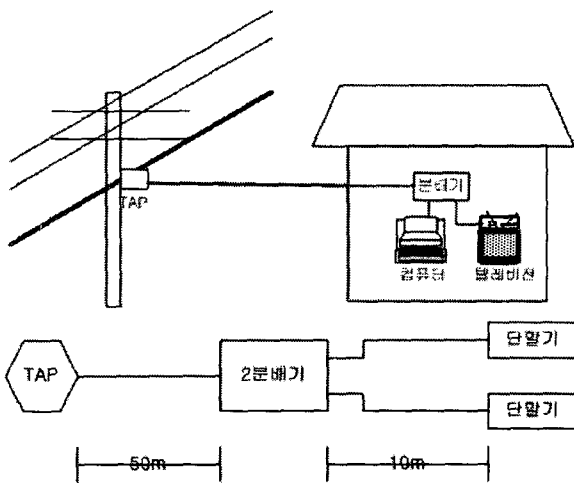


그림 2. 일반주택 인입선과 덕내망

일반 주택의 인입선과 덕내망의 구조를 보면 전주의 랩 단에서 들어오는 CATV신호는 동축케이블(50m), 2분배기, 동축케이블(10m)을 통해 단말기에 연결된다. 이

망에 대하여 모델링을 하면 (그림 3)과 같다. 직렬로 연결된 수동 소자들의 전체 이득과 잡음 지수는 식 (15)과 식 (16)을 통해 얻을 수 있다.[7]

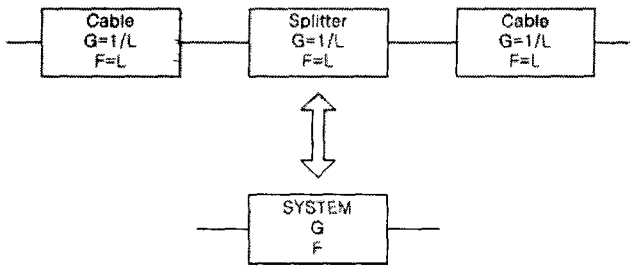


그림 3. 일반주택 인입선과 덕내망 모델링

(그림 3)에서 G 는 이득, F 는 잡음지수, L 은 손실이 다.

$$\begin{aligned} G_{sys,dB} &= G_{cable,dB} + G_{splitter,dB} + G_{cable,dB} \\ &= -(L_{cable,dB} + L_{splitter,dB} + L_{cable,dB}) \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} F_{sys,dB} &= F_{cable,dB} + F_{splitter,dB} + F_{cable,dB} \\ &= L_{cable,dB} + L_{splitter,dB} + L_{cable,dB} \end{aligned} \quad (16)$$

(15), (16)식에서 $G_{sys,dB}$ 와 $F_{sys,dB}$ 는 각각 인입선에 단말기까지 망의 전체 시스템의 이득과 잡음지수이고, $G_{cable,dB}$ 는 케이블에서의 이득, $G_{splitter,dB}$ 는 2분배기에서의 이득, $L_{cable,dB}$ 는 케이블에서의 손실, $L_{splitter,dB}$ 는 2분배기에서의 손실을 말한다.

2. 아파트 구내망의 모델링

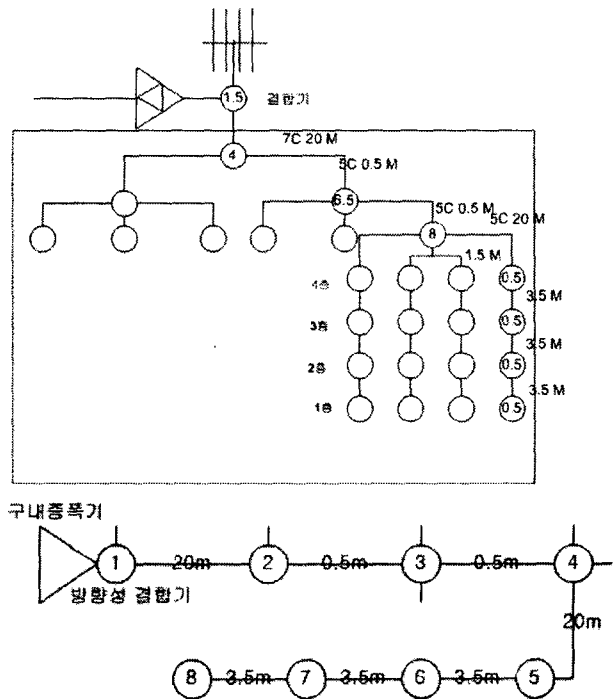


그림 4. 아파트 구내망

아파트의 구내망의 구조는 아파트 단지에 인입된 CATV 신호가 구내 증폭기를 통하여 결합기(손실1.5dB)를 거쳐 2분배기(손실4dB), 3분배기(손실6.5dB), 4분배기(손실8dB), 2분기기(손실0.5dB)를 거쳐 가입자 단말기에 연결되며 각각의 수동 소자 사이에는 동축케이블로 연결되어 있다.[2] (그림 4)과 (그림 5)에서 ①은 방향성 결합기, ②는 2분배기, ③은 3분배기, ④는 4분배기, ⑤⑥⑦⑧은 2분배기 이고 이를 모델링 하면 (그림 5)과 같다. 아파트 구내망은 직렬로 연결된 수동소자들의 전체 시스템의 이득(dB)과 잡음지수(dB)는 각각의 수동소자들의 이득(dB)과 잡음지수(dB), 혹은 손실(dB)의 합으로 표현 할 수 있으며 식 (17)과 식 (18)와 같이 표현 할 수 있다.[7]

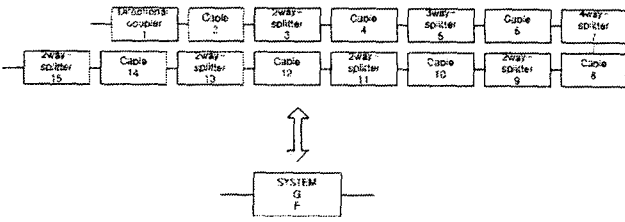


그림 5. 아파트 구내망 모델링

$$G_{sys,dB} = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7 + G_8 + G_9 + G_{10} + G_{11} + G_{12} + G_{13} + G_{14} + G_{15}$$

$$= -(L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{15}) \quad (17)$$

$$F_{sys,dB} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10} + F_{11} + F_{12} + F_{13} + F_{14} + F_{15}$$

$$= L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12} + L_{13} + L_{14} + L_{15} \quad (18)$$

식 (17)과 식 (18)에서 $G_{sys,dB}$ 과 $F_{sys,dB}$ 는 각각 아파트 구내망의 전체 시스템 이득(dB)과 잡음지수(dB)이고, $G_1 + G_2 + G_3 \dots G_{13} + G_{14} + G_{15}$ 는 각각의 구성요소의 이득(dB)이다 $F_1 + F_2 + F_3 \dots F_{13} + F_{14} + F_{15}$ 는 각각의 구성요소의 잡음지수(dB), $L_1 + L_2 + L_3 \dots L_{13} + L_{14} + L_{15}$ 는 각각의 손실 값이다.

V. CATV망에서의 변조 방식에 따른 BER

부호화하지 않은 M-ary QAM 변조 방식에서의 BER 은 식 (19)과 같고[8] C/N 과 E_b/N_0 의 관계는 식 (20)과 같다.[1]

$$P_{be,QAM} = \frac{4}{\log_2 M} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) Q \left(\sqrt{\frac{3 \log_2 \sqrt{M}}{M-1}} \cdot \frac{E_b}{N_0} \right) \quad (19)$$

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log_{10}(b) - 10 \log_{10}(B) \quad (20)$$

식 (20)에서 b 는 비트율이고, B 는 잡음 대역폭(Hz) 이다. 식 (19)과 식 (20)을 통해 랜덤 잡음채널에서 부호화 되지 않은 M-ary QAM 변조 방식에서 C/N 에 따른 BER을 구하였다. 또한 소규모 전송망의 채널 모델링을 통해 일반 주택에서의 대내망과 아파트의 구내망에서 주파수에 따른 BER을 구하였다.

VI. 모의실험 결과

1. 동축케이블의 성능

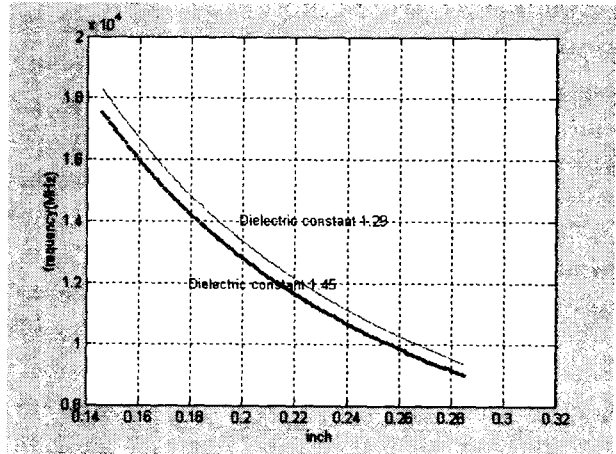


그림 6. 유전체 외경에 따른 최대 주파수

식 (2)을 이용하여 유전체 외경에 따른 케이블의 최대 주파수를 구하면 (그림 6)과 같다. 유전체의 외경이 작을수록 높은 주파수를 이용할 수 있다. 또한 같은 외경에서 최대 허용 주파수는 유전율에 비례 한다는 것을 알 수 있다. 일반 가정 및 구내에서 쓰이는 케이블의 종류에는 RG-59, RG-6, RG-11가 있으며 각각의 최대 허용 주파수는 18.215GHz, 14.375GHz, 9.33GHz가 된다.

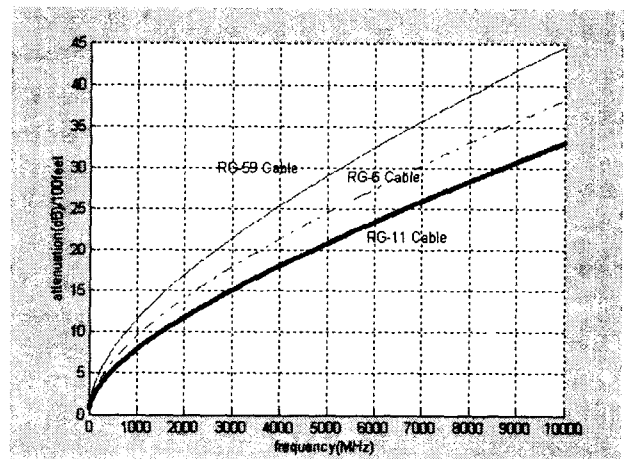


그림 7. 구내 동축케이블의 주파수에 따른 감쇠

또한 이 케이블들의 주파수에 따른 감쇠는 식 (3)을 통해 (그림 7)과 같음을 알 수 있다.

2. 일반 주택 대내망에서 주파수에 따른 C/N

식 (13)를 이용하여 주파수에 따른 각 소자들의 손실과 시스템의 C/N을 구하면 (그림 8)과 같다. 단 모델링한 시스템의 입력단(간선 전주의 탭단)에서의 반송파 레벨은 [9]을 참고로 해서 20dBmV, 잡음 레벨을 -30dBmV로 가정하였다.

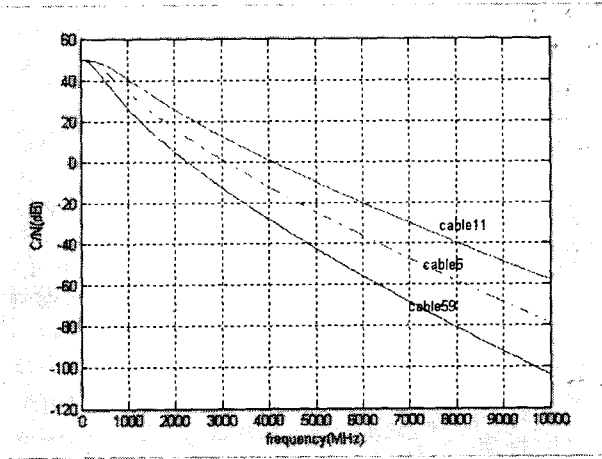


그림 8. 일반주택 대내망에서의 C/N

2. 아파트 구내망에서의 주파수에 따른 C/N

식 (14)을 이용하여 대역폭에 따른 각 소자들의 손실과 시스템의 C/N을 구하면 (그림 9)과 같다.

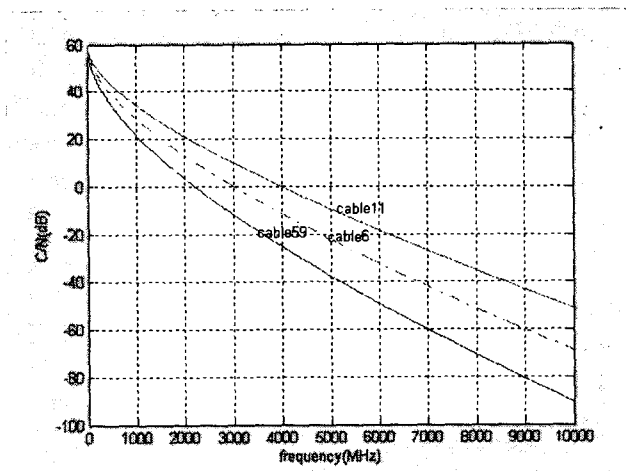


그림 9. 아파트 구내망에서의 C/N

단 모델링한 시스템의 입력단(구내 증폭기의 출력단)에서의 C반송파 레벨은 [9]을 참고로 해서 40dBmV, 잡음 레벨을 -10dBmV로 가정하였고 망의 성능은 인입선의 구

내 증폭기의 출력단에서 거리가 가장 먼 곳(1층 가정내 인입점)까지를 고려하였다. 일반주택의 대내망과 아파트 구내망에서의 C/N은 주파수가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있고 감쇠 정도는 사용 동축케이블의 주파수에 따른 감쇠정도에 따라 달라짐을 알 수 있다.

아파트 구내망과 일반 주택의 대내망 모델링의 입력 신호와 잡음의 전력을 각각 20dBmV와 -30dBmV로 가정하고 동축케이블을 RG-11로 가정하면 각각의 망에 대한 C/N은 (그림 10)과 같음을 알 수 있다. 아파트망 가정내 인입점에서 단말기 입력단까지를 고려한다면 아파트 망에서의 C/N은 더 낮아진다.

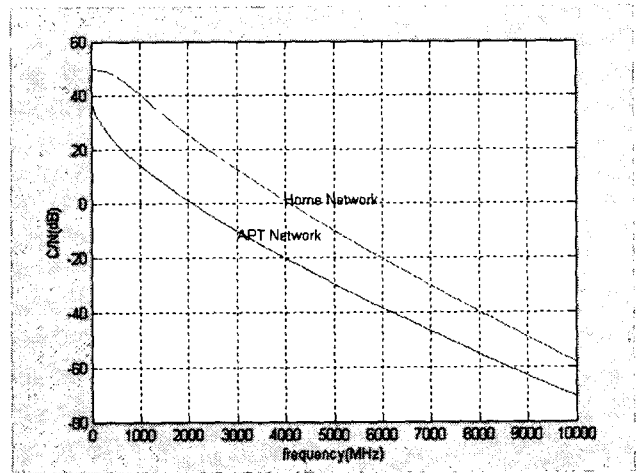


그림 10. 구내망과 대내망의 C/N 비교

3. 소규모 전송망에서의 변조 방식에 따른 BER

CATV망 채널이 AWGN 채널이라는 가정아래, 채널 부호화를 사용하지 않은 64-QAM 또는 256-QAM 변조방식을 적용했을 때, C/N에 따른 BER값을 (그림 11)과 같이 구하였다.

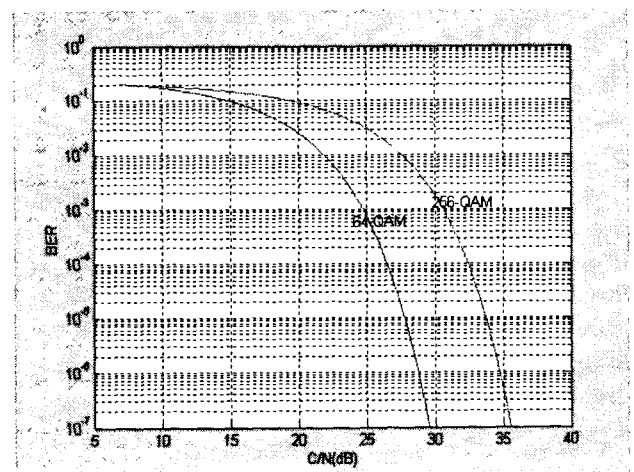


그림 11. C/N에 따른 BER

사용 동축케이블은 RG-11로 가정하였고. 잡음 대역 폭과 비트율은 Open Cable 방식 규격[11]인 채널대역폭 (6MHz). 비트율은 심볼율이 5Mbps이므로, 64QAM(30 Mbps), 256QAM(40Mbps)를 적용 하였다. 아파트 구내망과 일반주택의 덕내망에서, 각각에 대하여 주파수와 변조 방식에 따른 BER구하여 (그림 12)과 같은 그래프를 얻었다. (그림 12)은 낮은 주파수에서 낮은 BER을 얻을 수 있고 일반 주택의 덕내망과 아파트 구내망을 비교 하였을 때, 일반 주택의 덕내망이 아파트 망보다 더 높은 주파수 대역에서 낮은 BER을 얻을 수 있음을 알았다. 또한 같은 주파수를 사용할 때 256-QAM 방식이 64-QAM 방식보다 높은 BER을 갖는다.

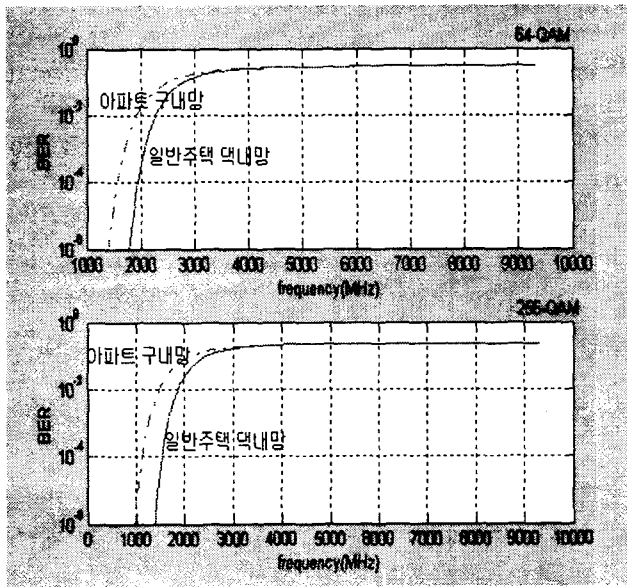


그림 12. 주파수 대역에 따른 BER

VII. 결론

본 논문에서는 우선 CATV망에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 전송매체인 동축케이블의 주파수에 따른 감쇠를 구할 수 있었다. 케이블의 유전체 외경에 따라 최대 허용 주파수가 결정되는데 유전체 외경이 작을수록 허용 주파수는 높아지지만 감쇠가 상대적으로 커진다. 또한 같은 유전체 외경에서는 동축케이블의 중심도체의 유전율이 작을수록 최대 가용 주파수가 증가 한다. 다음으로 소규모 전송망의 모델링을 통해 성능을 분석해 본 결과 같은 망에서는 케이블의 종류 RG-11, RG-6, RG-59중에 RG-11을 사용할 때 가장 높은 (C/N)이 나타남을 보였다. 채널코딩을 사용하지 않았을 때의 TOV에 대한 BER값은 약 1.5×10^{-3} 이므로[4], 이를 만족하기 위해서는 64-QAM을 사용시 주파수를 덕내망에서는 2100MHz, 아파트 구내망에서는 1734MHz이고 256-QAM 사용시 덕내망에서는 1686MHz, 아파트 구내망에서는 1285MHz 까지 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 현재 CATV 전송

망을 1GHz까지 할당하고 있으나 아파트 구내망과 일반주택 덕내망에서는 더 높은 주파수대역을 사용할수 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] Walter Ciciora, James Farmer, David Large "Modern Cable Television Technology" Morgan Kaufmann,
- [2] 이계성 "CATV기술핸드북II(전송·선로·시설편)" 진한도서 1996.4.20
- [3] Premysl Hudec "Noise in CATV Networks" Applied Microwave & Wireless September /October 1997
- [4] 전자통신 연구원, "디지털 방송을 위한 CATV망 성능분석에 관한 연구"
- [5] Time Microwave System"Complete Coaxial Cable Catalog & Handbook"
- [6] KAI CHANG "Microwave Solid-State Circuits and Applications" Wiley Interscience p184-187
- [7] Winston I. Way "Broadband Hybrid Fiber/Coax Access System Technologies" p521-531
- [8] SCTE DVS/031r5, Digital video Transmission Standard for Cable Television, July 2000.
- [9] 한국전자통신 연구원 "디지털 TV 재전송을 위한 CATV망 성능조사 및 분석" 2000/9