

M/W 중계장치 대체를 위한 B-WLL 및 광전송 장치의 품질과 경제성 분석에 대한 연구

A Study on Quality and Economical Analysis of B-WLL and Optical Transmission Systems for Substituting M/W Relay System

서 경 환 · 최 용 석*

Kyoung-Whoan Suh · Yong-Seok Choi*

요 약

본 논문에서는 M/W 중계 주파수의 증설 또는 신규 수용을 가급적 배제하고 필요 회선을 B-WLL 또는 광통신 망으로 대체 가능성을 품질 및 경제성 측면에서 분석하였다. 품질 목표에서는 매체간 비교를 위한 전제조건 및 분석방법을 도출하였다. 그리고 E1급을 기준으로 비트오율(BER) 10^{-6} 을 만족하도록 기준을 설정하고, 매체별로 가용도에 대한 거리를 산출하였다. 또한 경제성 측면에서는 광통신, M/W, B-WLL 시스템의 기본 구성 단위를 기반으로 서비스 기간, 장비용량, 전송거리, 대용량 전송으로 분류하고 다양한 광전송 회선 및 B-WLL 구성에 대해 분석하였다. 목표 가용도를 99.999 %로 설정시 B-WLL로 M/W를 반경 1.6 km까지 대체 가능하다는 것을 알 수 있었다. 또한 광으로 대체할 경우, 광 관로용의 전주 입대 시에는 서비스 기간에 관계없이 M/W 보다 경제성이 있으며, 광 관로 자체를 굴착할 경우에는 고려 방법 중의 어느 경우에 대해서도 경제성이 없는 것으로 판명되었다.

Abstract

In this paper, in order to exclude the expansion of M/W relay frequency or its new frequency assignment possibly, we analyzed a possibility of substituting M/W system by B-WLL or optical fiber network regarding service quality and economical points. To define the target of service quality, pre-condition and analysis method for the selected media have been derived to compare each other. E1 transmission with BER 10^{-6} was chosen as a reference capacity, and service distance was calculated for the selected media as a function of availability. Also from the economical point, we considered 3 systems such as optical fiber, M/W, and B-WLL based upon basic system structure, and analyzed them for various line configurations of fiber optic and B-WLL according to service period, system capacity, transmission distance, and data rate. It was confirmed that B-WLL can provide quality of service with 99.999 % availability within 1.6 km cell radius, and for optical fiber substitution, the leased fiber conduit on an electric pole is more economical than M/W system irrespective of service period, but in case of directly digging for underground conduit, it turned out ineffective regardless of cabling duct types.

Key words : Microwave Radio Relay System, Optical Transmission System, B-WLL(Broadband-Wireless Local Loop), Availability

I. 서 론

정보화 사회의 급속한 진전으로 다양한 멀티미디어

강남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Kangnam University)

*한국전자통신연구원 전파자원연구팀(Radio & Broadcasting Laboratory, ETRI)

· 논문 번호 : 20031229-181

· 수정완료일자 : 2004년 7월 13일

어 수요의 급증은 초고속의 대용량 정보전송 매체를 필요로 한다. 이를 위해 무선망으로는 M/W 중계장치, B-WLL, 유선망으로는 광통신 장치가 이용되고 있다. M/W 중계장치는 광통신 장치에 비해 전송 용량이 적고, 전파 경로의 특성으로 인해 시스템의 가용도가 떨어지는 단점이 있다. 그러나 장치 가격이 저렴하고 기간 망의 이중화뿐만 아니라 설치 및 유지보수가 용이하여 케이블 설치가 어려운 지역에도 적용 가능하기 때문에 그 필요성이 인지되어, 통신사업용, 방송용, 기타 사설 망 등에 널리 적용되어 왔다^{[1],[2]}. 그러나 최근 국내에 전기통신사업의 환경 변화로 인해 이동통신 사업의 기지국 전용회선 및 디지털 TV 전환에 따른 방송중계용 주파수는 증대되는 반면, 장거리 시외전화 중계 전송용 등의 기간통신사업용 M/W 주파수는 예전에 비해 사용량이 줄어드는 추세에 있어 M/W 중계장치의 효율적 활용 및 실질적인 경제성에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다^{[3]-[5]}.

점대점 방식으로 운용되는 M/W 중계 장치는 사용 주파수에 따라 장거리와 근거리용으로 나뉜다. 장거리 M/W 중계 장치의 주파수대는 통상 2.0 GHz ~ 11.0 GHz 대역이고, 주로 중계용으로 통신사업자와 방송사 등이 이용중이며 기타 국가 기관, 한전 등이 자가 통신망으로 운용하고 있다. 한편 근거리 M/W 중계 장치의 주파수는 대개 18.0/23.0/38.0 GHz 또는 58.0 ~ 62.0 GHz 대의 주파수이며, 주로 소용량으로 도심지역의 이동통신기지국과 교환국간 전송, 가입자 전송 및 사설 망 등으로 사용한다.

최근에 광대역무선가입자망(B-WLL: Broadband Wireless Local Loop) 장치의 국내의 상용화는 밀리미터파 대역의 주파수 활성화에 기여하게 되었다. 광대역 무선멀티미디어 서비스를 양 방향으로 제공할 수 있는 B-WLL은 점대다점 방식으로 시스템 사용의 효율성과 투자의 경제성을 제공하게 된다^{[6],[7]}. 또한 B-WLL은 사용주파수 측면에서 (준)밀리미터파 대역을 이용하므로 소용량 근거리 M/W 중계 장치와 매우 유사하다. 한편 광통신 장치는 고속 전송기술 및 광소자의 급속한 발전으로 시분할다중접속(TDM) 방식의 622 M/2.5 G/10 G까지, 그리고 파장분할다중접속(WDM) 방식의 40 G/160 G까지 개발되어, 국내의 상용으로 적용되고 있는 상황이다. 따라서 대용

량 장거리 전송용의 M/W 중계 장치와 광통신 장치, 그리고 소용량 근거리 전송용의 M/W 중계장치와 B-WLL은 역무 측면에서 상이하지만 시스템 기술 및 제공 서비스 측면에서 유사하므로 적절한 비교대상이 될 수 있어 관심을 갖는 중요한 요인이 되었다.

본 논문에서는 M/W 중계 시설을 위한 주파수 할당 요구 수용을 가급적 배제하고, 필요한 회선을 B-WLL 또는 광통신 망에 통합 및 수용할 수 있는 가능성을 분석하고 그 결과를 제시한다. 이를 위해 매체간의 객관적인 비교를 위한 품질기준을 설정하여 가용도에 따른 서비스 거리를 산출한다. 또한 매체별 전송거리, 전송용량 및 서비스기간 등을 변수로 경제성을 비교 및 분석한다.

II. 전송품질 및 서비스 거리

2-1 전송품질 분석방법

품질기준 및 서비스 제공 반경 산출을 위한 순서는 다음과 같다. 첫째, 관련근거 확보로 ITU-T G.957, G.958, G.703, G.821 권고 등이다. 둘째, 품질을 만족하기 위한 변수 조사 및 계산(수신감도, 오류백터크기, 눈(eye) 형태 등)이며, 셋째로는 M/W 중계 장치를 대체할 수 있는 매체의 품질 기준 조사이다. 넷째, M/W 중계장치와 시설 대체/흡수 매체간의 품질 비교를 통한 공통의 품질기준 도출이며, 끝으로 도출된 품질기준을 만족하는 조건 하에서 제공할 수 있는 서비스 거리 산출이다.

국내에 공급되는 M/W 중계 장치의 종류가 매우 다양해서 일괄적으로 품질 기준을 지정하기는 매우 어려운 일이나 품질 기준을 이론적으로 추정하기 위해서는 최소한의 사용주파수, 변조방식, 그리고 접속단위를 결정해야 한다. 따라서 M/W 중계장치 중의 소용량 전송급에서 대다수 제공하는 E1 또는 T1 접속(기지국간 전송)을 품질기준 요소로 선정한다. 그리고 변조방식은 소용량 장치에서 많이 채택하고 있는 4-레벨 FSK 변조방식 장치를 적용하여 품질 비교를 위한 기본 전제 조건으로 사용한다. 분석방법으로는 표 1에서 나타난 바와 같이 4가지를 선정하였다.

2-2 품질목표 도출

표 1. 품질분석을 위한 기준변수

Table 1. Reference variables for quality analysis.

구분	관련 근거	관련기준 설명
펄스 마스크 및 리턴손실	ITU-T G.703	- 오실로스코프로 펄스 측정시에 제시된 펄스마스크 내에 존재 및 리턴손실도 만족
지터(Jitter)	ITU-T G.823	- E1(2.048 Mbps)에서의 최대 출력지터 특성과 입력지터 특성에 대한 권고 및 허용 마스크 제시
가용도 (Availability)	ITU-T G.827	- 원하는 시간에 장치가 고장나 있지 않고 사용할 수 있는 정도로 확실적인 표현 ^[8] - 가용도(%) = $[1 - (\text{outage time} / T_m)] \times 100$ outage time: 장치의 비가동 시간(sec) T _m : 가용도 계산을 위한 장치의 전체 측정시간
SESR 및 BER	ITU-T G.821	- SESR(severely errored second rate): 전체 측정 시간에 대해 비가동 시간을 제외한 시간 중에서 1초마다 측정된 비트 오류가 10^{-3} 을 초과하지 않은 초 수의 비율이 0.015%(전용선 경우 0.01%) 이하 - BER(bit error rate)은 10^{-6} 이하

2-2-1 광통신(Fiber To The Curb; FTTC)

광통신을 통해 국내 통신사업자가 E1을 제공하는 경우의 망 구성의 예를 그림 1에 간단하게 나타내었다. 광을 매체로 하는 경우는 그림에서와 같이 제공 인터페이스가 다양하나 실제로는 STM-1(155 Mbps) 또는 STM-4(622 Mbps) 급의 전송로에서 결합-분기(Add-Drop)를 통해 E1 인터페이스를 제공하는 형태를 가진다. STM-1 접속에서의 BER은 10^{-10} 이하로 E1의 10^{-6} 보다 우수한 성능을 나타낸다. 디지털 신호의 일반적인 입력 비트율은 STM-1 권고 G.707의

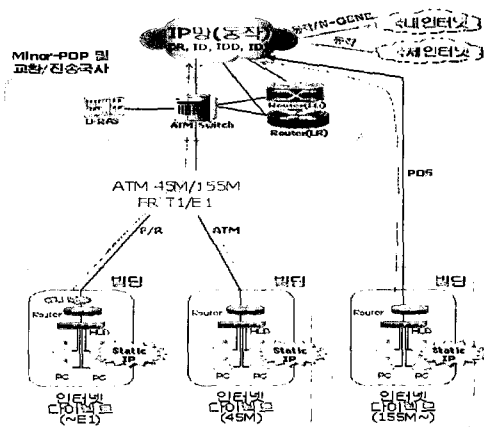


그림 1. 광통신 망의 전용회선 구성의 예
Fig. 1. Example of optical fiber network for exclusive line.

STM1, STM-4 광신호 접속 및 지터 특성을 준수하는 것을 근거로 하였다.

2-2-2 광대역무선가입자망(Broadband-Wireless Local Loop: B-WLL)

B-WLL은 (준)밀리미터파 주파수(26 GHz) 대역을 사용하여 광대역 고정무선통신망으로 음성전화, 고속데이터, 영상전송 등 다양한 멀티미디어서비스를 양 방향으로 제공하는 시스템이다. 실제 국내 사업자가 제공하고 있는 망의 구성의 예는 그림 2와 같다. B-WLL의 품질 특성을 결정하는 가장 중요한 요소는 RF 부분이며, 제공되는 E1의 품질을 만족시키기 위한 RF 품질 측정 항목은 여러 가지가 있을 수 있으나, 전력, 인접채널전력, 점유주파수 대역, 오류 벡터크기(Error Vector Magnitude: EVM), 잡음지수 등에 대한 측정 항목들이 무선전송 품질 특성을 결정한다. 변조 정확도 측정은 성상도(constellation) 상태나 신호 파형이 이론적인 신호 궤적에 얼마나 가까운지 측정하는 것이며, 수신한 신호를 복조하고 기준 신호와 비교한다. 비교의 차이를 변조오류라 하며, 그림 3과 같이 오류 벡터 크기로 나타내며 보통 2.5% 이하일 때 안정된 시스템으로 판단한다.

한편 사용 주파수의 파장이 밀리미터 단위인 경우, 무선품질은 강우에 의해 심각한 영향을 받는다. 강우에 의한 감쇠는 강우율, 경로의 길이, 편파 상태

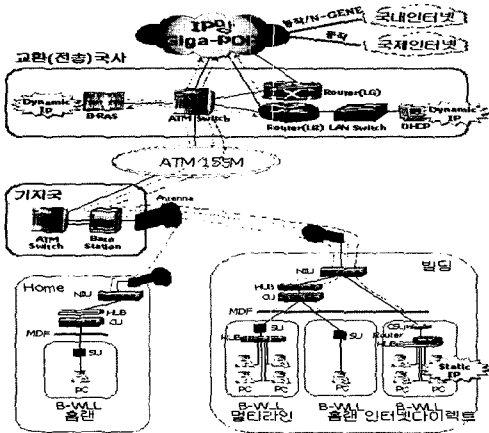


그림 2. B-WLL 구성의 예
Fig. 2. Example of B-WLL.

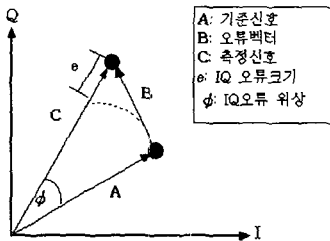


그림 3. 오류벡터크기(EVM)의 개념적인 설명도
Fig. 3. Concept of EVM diagram.

뿐만 아니라 빔방울의 크기나 모양에 따라서도 달라진다. 일반적으로 10 GHz 이상의 주파수에서 대기를 통한 전자파의 전파는 자유공간상의 손실뿐만 아니라, 대기 가스 성분에 의한 감쇠, 대기의 비균일한 분포에 의한 감쇠, 그리고 비, 안개, 이슬, 먼지 등에 의한 감쇠 요소를 고려해야 한다. 따라서 전체적인 감쇠는 자유공간의 손실에다 위에서 언급한 감쇠요인들을 포함하면 다음과 같다^[9].

$$\text{감쇠} [dB] = 92.45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{km} + \text{㉑} + \text{㉒} + \text{㉓} + \text{㉔} + \text{㉕} \quad (1)$$

여기서 f_{GHz} 는 셀에서 사용되는 주파수이고 d_{km} 는 셀 반경이며, ㉑는 수증기, ㉒는 안개 및 이슬비, ㉓는 산소, ㉔는 기타 대기 가스, ㉕는 강우에 의한 감쇠량이다.

링크 전체 손실 중에서 특히 강우량이 가장 큰 영향을 미치는데 지속적인 강우보다 순간적으로 내리

는 강우(집중 호우)가 경로 손실에 더 많은 영향을 준다. 그러므로 ㉕인 강우에 의한 감쇠는 시간당 강우량(mm/hr)을 계산한다. ITU-R Rec. PN. 837-1에 권고된 아시아 지역의 강우 분포도에서 우리나라의 강우 모델은 K-강우대역에 속한다.

측정데이터에 의해 주어진 평균 강우율 $R(mm/h)$ 에 대한 강우 감쇠는 감쇠계수 $\gamma_R (dB/km)$ 과 유효 전파경로의 길이와의 곱으로 주어진다. ITU-R Rec. 838에 의하면 강우감쇠 계수 γ_R 은 식 (2)와 같다^{[10],[11]}.

$$\gamma_R = x R^a (dB/km) \quad (2)$$

여기서 x 와 a 는

$$x = [K_H + K_V + (K_H - K_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2 \quad (3)$$

$$a = [K_H a_H + K_V a_V + (K_H a_H - K_V a_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2x \quad (4)$$

로 정의된 상수로서 x_H, x_V, a_H, a_V 는 주파수 대역별로 주어지며, θ 및 τ 는 경로의 양각 및 편파의 경사각이다. 따라서 비가용도(non-availability)는 다음과 같이 표현된다.

$$A_{non-avail.} = \gamma_R \times d \times d_{eff} \quad (5)$$

여기서 d 는 실제거리, d_{eff} 는 실효경로길이 계산을 위한 거리감소 계수로서 다음과 같다.

$$d_{eff} = \frac{1}{1 + d/d_0} \quad (6)$$

여기서 시간당 강우율이 100 mm 이하일 경우, $d_0 = 35 e^{-0.015R_{0.01}}$ 으로 주어지며, 시간당 100 mm 이상일 경우, $d_0 = 100$ 으로 주어진다. 상기 강우 손실 계산은 B-WLL 및 11 GHz 이상의 M/W 중계장치의 링크 버짓에 크게 고려해야 할 사항으로 가용도에 따른 서비스 반경 계산시 가장 중요한 요소로 작용한다. 우리나라는 K 지역에 속하나 최근에 기상 이변으로 강우량이 K 지역보다 많아지고 있는 실정이며, 최근 10년간 서울 지역의 평균 강우량을 살펴보면 표 2와 같다. 제안된 시스템에서 링크 비가용도를 0.01 %라 하면 이 때 링크 가용도 99.99 %를 보장하기 위한 평균 강우강도는 50.871 mm/hr가 된다^[12].

2-2-3 MW 중계장치

표 2. 시간에 따른 강우율(서울지역)
Table 2. Rainfall rate for time variable.

시간율(%)	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.001
강우강도(mm/h)	5.81	12.961	19.857	29.416	41.509	50.871	58.425	80.055

M/W 중계장치의 경우는 사용 주파수가 다르고 점대점 전송방식인 것을 제외하고는 B-WLL과 블록 구조나 물리 채널의 특성이 유사하다. 따라서 품질 기준을 설정하기 위한 고려 사항도 상기의 B-WLL 경우와 동일하여 같은 기준을 고려하였다.

2-3 서비스 거리 산출

앞에서 E1 품질 특성에 관한 관련 규정을 근거로 매체별 품질 항목을 비교하고, 서비스 거리 산출을 위해 시뮬레이션을 통해 해석하였다. 표 3과 같이 매체별 품질기준을 직접적으로 비교하기는 어려우나 가용도와 BER은 전 매체에 공통적이고 모든 품질 항목이 반영된 최종 결과이다. 따라서 두 항목을 기반으로 10^{-6} BER을 만족하는 가용도별 서비스 제공거리는 그림 4와 같으며, 이는 링크버짓 계산을 통해 얻어진 결과이다.

계산과정에서 M/W 중계장치의 경우 11 GHz, 18 GHz, 23 GHz 및 38 GHz를 사용하는 경우를 고려하였는데, 기본적인 가정사항으로 변조방식은 4-레벨 FSK(C/N 18 dB), 대역폭의 경우는 28 MHz, 안테나 이득은 38~44 dB이다. 그리고 B-WLL의 경우는 DAVIC에서 규정한 LMDS(Local Multipoint Distribution System)를 고려하여 QPSK 변조 방식, 28 MHz 대역폭, 리드-솔로몬 코딩(204, 188) 등을 링크 버짓

표 3. 매체별 품질기준 항목
Table 3. Variables for quality reference over media.

항목	E1	광	B-WLL	M/W
비트오율(BER)	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$
과도오류초출률(%)(SESR)	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001
오류벡터크기(%)	-	-	≤ 2.5	≤ 2.5
잡음지수(dB)	-	-	≤ 6.0	≤ 6.0
C/N 요구	-	-	14 dB(QPSK)	18 dB(4-FSK)
수신기 감도	-	-34 dBm	-80 dBm	-76 dBm

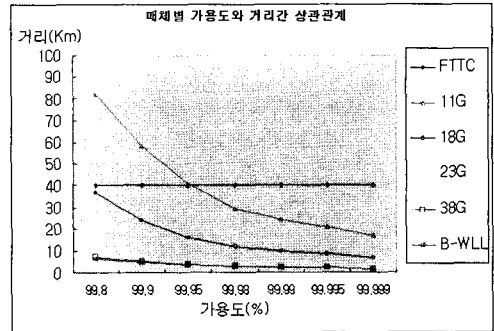


그림 4. 매체별 가용도와 거리의 상관관계
Fig. 4. Correlation between availability and distance for media.

에 반영하였다. 또한 광통신의 경우에는 STM-1을 전송한다고 가정하고 1310 nm의 파장을 사용하는 경우, 기후에 상관없이 40 km까지 전송 가능하다는 일반적인 가정사항을 반영하였다.

표 3에서 10^{-6} BER을 만족하는 각 매체의 서비스 반경을 구해 보면 그림 4와 같다. 즉, 가용도 목표를 99.99 %라고 가정하면 B-WLL 기지국, M/W 중계장치의 홉(hop) 또는 광통신이던 반경 약 3 km 내에서는 모든 매체의 품질이 일정수준 이상으로 사용자 입장에서는 동일하다고 간주할 수 있다. 그러나 현재 마이크로파 회선과 광통신은 전송용량 및 거리, 운용 기간 등에 따라 차이가 있어 상호간의 직접적인 비교는 어렵다고 규정할 수 있다. 하지만 상기와 같은 최소 요구의 품질 목표를 기준으로 할 때, 광통신의 만족은 물론 B-WLL의 품질기준을 만족하는 거리도 도출 가능함을 알 수 있다.

III. 경제성 분석

3-1 전제조건 및 분석 방법

M/W 중계시설을 광통신망 또는 B-WLL 시스템을 이용하여 구축시 서비스 기간, 전송거리, 용량에 따른 경제성을 분석한다. 이를 위해 광통신망, M/W,

표 4. 회선구성 방식 비교

Table 4. Comparison of line configuration types.

매체	구축방법	내용
광	관로 구축 (자체굴착)	광케이블을 포설하기 위해 지중화 관로를 직접 굴착하는 방식
	관로 임대 (지하)	한국전력 또는 한국통신의 지중 관로를 임대하여 광케이블을 포설하는 방식
	전주 임대 (한전)	한국전력 전주를 임대하여 가공으로 광케이블을 포설하는 방식
M/W	기지국 구축	대상 지점간 4 GHz~38 GHz를 이용한 점대점 무선통신
B-WLL	기지국 구축	기지국에서 여러 지점간을 26 GHz 주파수를 이용한 점대다점 무선통신
광	임대	대상 지점간 전용회선을 임차하는 방식

B-WLL 시스템의 기본 단위 모듈을 기반으로 투자비와 연관된 비용 분석을 수행한 다음, 표 4에서 나타난 바와 같이 고려중인 6가지 구성방식별 비용 구조를 비교한다. 매체별 경제성을 분석하기 위해 품

표 5. 영업비용 산출방법(2003. 2)

Table 5. Business cost calculation.

비용	산출 개요
감가상각비	장비 투자비는 6년 정액법
차입 금리	은행 차입시 적용금리로 연간 12 % 적용
운용유지보수비	장치비의 1 %
전파사용료	대역폭 기준(M/W), 대역폭 기준(B-WLL)
인건비	인건비는 1인당 지급되는 급여, 관리, 경비 포함하여 연간 6,000만원이며, 1인당 관리하는 장치는 매체별로 - 광전송장치(COT - RT) 4식 - M/W장치(1HOP, 2 중계국) 4 HOP - B-WLL 기지국 4국소를 각각 관리함.
지급임차료	기지국사 건물 임차비 - M/W기지국(평당 500만원×4평×2개소×연리12 %) - B-WLL기지국(평당 500만원×25평×1개소×연리12 %)
기타 경비(관리비, 각종 수수료)	- 광전송로: 연간 1,000천원 - M/W 중계국: 연간 2,000천원 - B-WLL 기지국: 연간 5,000천원

질 기준을 만족하는 전송거리와 수용용량 등을 매체별로 동등한 기준에 맞게 설정하였으며, 각 매체에 대한 E1 회선마다 소요되는 원가를 비교 적용하기 위해 고려된 영업비용 항목은 표 5와 같다. 감가상각비의 경우 원가 비중은 매우 높고 통신 사업자간에 많은 차이가 있다. 이는 감가상각비 방법의 사업자간 차이와 사업특성뿐만 아니라 내용 년 수의 상이성이 주요한 이유가 되고 있다. 본 논문에서는 기간통신 사업자의 감가상각비 중 가장 일반적 내용 년 수인 6년의 정액법을 적용하였다. 경제성 분석을 위해 회계분리 원가정보에만 전적으로 의존하였다. 따라서 경제성 분석방법의 왜곡을 방지하고 매체별 분석의 객관적 실효성을 높이기 위해 경제성 비교방식을 4가지 경우(서비스기간, 장비 수용용량, 전송거리, 대용량 장거리)의 모델을 기준으로 수행하였다.

3-2 매체별 경제성 분석

3-2-1 설비 물량

표 6~8은 품질기준을 만족하는 매체별 설비 물량을 나타낸다. 여기서 광전송 장치, M/W 장치 등은 용량 및 전송거리에 따라 장비 가격을 달리하였고, B-WLL은 기본구성 단위가 64E1인 점을 감안해 장비가격을 고정하였다. 광 설비물량은 전송장치인 COT(Central Office Terminal), RT(Remote Terminal)와

표 6. 광전송로 설비 물량

Table 6. Installation units for fiber transmission system.

구분	기준	단가
광장비	COT(소용량 광전송장치, 4E1)	4,160천원
	RT(소용량 광전송장치, 4E1)	5,430천원
구축	자체굴착(km)	- 도급비: 80,000천원 - 자재비: 10,000천원 - 도로복구비: 130,000천원
임차	관로임차(km)	km 당 158,400원/월
	전주임차(1본, 30 m)	1본(30 m) 당 2,050원/월
광케이블	8 Core(km)	10,794천원

※ COT, RT 장비 가격은 적용 용량에 따라 변동됨.

표 7. M/W 설비 물량

Table 7. Installation units for M/W system.

구분	기준	단가
M/W 장치	18 GHz, 4E1, 1Hop 기준	53,000천원
안테나	1FT	550천원
급전선	RG-213, 300 m 기준	4천원/m
정류기	48 V/20 A	850천원
батери	48 V/120 AH	800천원
Rack	H2200 mm	500천원

* M/W 장비 가격은 용량 및 거리에 따라 변동됨.

표 8. B-WLL 설비 물량

Table 8. Installation units for B-WLL system.

구분	기준	단가
기지국 장치	26 GHz, 64E1	320,000천원
기지국 공사	안테나, 철탑, 급전선정류기, батери, Rack 등	40,000천원
가입자 장치	NIU 2E1	8,478천원
가입자 공사	안테나, 전원 등	1,200천원

광 케이블로 구성된다. 그리고 M/W, B-WLL 기지국은 실제 무선신호 처리를 담당하는 기지국 장비와 중계기로 구분된다. 각 매체별 및 구성 방식별 설비 물량 기준을 다음과 같이 정의하며, 가격은 납품가 기준(2003. 2)으로 하였다.

- ① 매체간의 비교 대상이 되는 전송 거리 외에 인입되는 전용회선 및 기간망 구성에 소요되는 비용은 각 매체에서 모두 제외
- ② 광 케이블은 8코어(core)를 한 묶음으로 하여 설치 비용을 계산
- ③ M/W는 1 Hop에 1+1 시스템 기준을 정함
- ④ B-WLL 구축의 경우 4섹터 기지국 장치로 구성

표 9. 회선구성 방식에 따른 E1당 투자비(단위: 천원)

Table 9. Investment money per E1 for line configuration types.

구분	광			M/W	B-WLL
	관로굴착	관로임대	전주임대		
투자비	701,972	41,972	41,972	69,730	669,696
E1수	4E1	4E1	4E1	4E1	64E1
투자비/E1	175,493	10,493	10,493	17,433	10,464

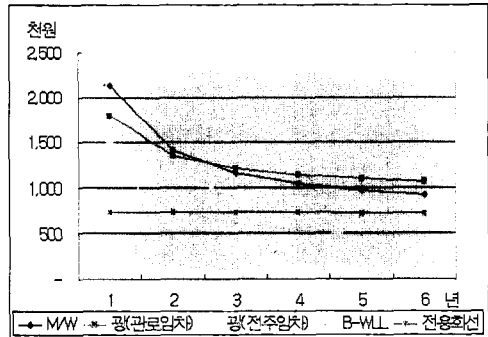
3-2-2 경제성 분석

각 매체에 대한 실효성 있는 경제성 비교를 위해 표 5~8을 근거로 하여 서비스 기간, 장비용량, 전송거리, 대용량 장거리 전송에 대해 분석하였다.

3-2-2-1 서비스 기간에 따른 경제성 분석

통신 사업자들은 해당 지역의 실제 서비스 기간을 고려하여 그에 따른 경제성 있는 전송 매체를 선택하도록 하였으며, 이 때 기준으로 하는 회선용량은 실제 현장(교환국사와 기지국간)에서 가장 많이 이용하는 4E1으로 하였으나, B-WLL은 기본구성 단위가 64E1(155 Mbps=STM-1)이므로 그대로 적용하였다. 매체간의 전송거리(3 km)와 장비 용량을 매체별로 동등한 조건에 맞추고 실제 서비스 기간(장비 감가상각비)을 달리 했을 경우의 E1당 투자비와 원가분석을 각각 표 9와 그림 5에 나타내었다.

여기서 E1당 투자비는 광을 관로 굴착 형태로 구



* 광(관로 구축)의 전송로 E1 원가는 1년:16,859, 2년: 9,547, 3년:7,109, 4년:5,891, 5년:5,159, 6년:4,672 천원임.

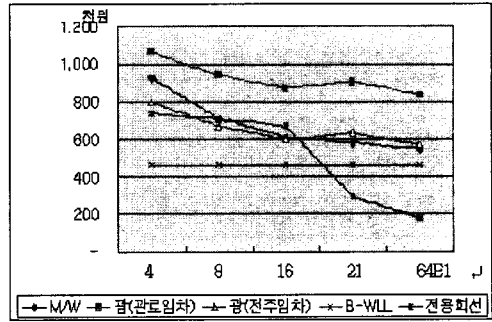
그림 5. 서비스 기간별 감가상각에 따른 E1 원가분석(월 영업비용)

Fig. 5. E1 cost analysis with depreciation for service period.

축했을 때 가장 크고, 관로 임대 형태, 전주임대 형태로 구축하거나 B-WLL을 이용할 때가 가장 적게 든다. 그러나 그림 5에서 알 수 있듯이 관로 임대나 전주 임대의 광전송 방식이 B-WLL보다 월 운영경비가 많이 소요된다. M/W의 경우 그림 5에서 서비스 기간이 2년 이내일 경우에는 관로 굴착 형태의 광전송로 구축방법 다음으로 원가가 비싸나 관로나 전주 임대와 유사하며, 서비스 기간이 3년 경과한 후에는 관로임차 방식의 광전송로보다 원가가 저렴하게 제시되었다. 하지만 이후 서비스 기간 6년까지는 B-WLL, 전주임차, 전용회선 임차보다 원가가 비싸게 나타났다. 반면에 B-WLL은 서비스 기간을 기준으로 분석시 타 대체들보다 원가가 가장 적게 소요되는 것으로 나타났다.

3-2-2 장비용량에 따른 경제성 분석

매체간의 전송거리 3 km와 서비스 기간의 동일한 조건(장비 감가상각비 6년 정액제로 투자비 계산, 그 결과를 6으로 나눔)에서 매체의 장비 용량을 달리했을 경우의 E1당 투자비와 원가분석을 각각 표 10과 그림 6에 나타내었다. 여기서 E1 투자비는 매체별로 필요한 회선용량이 증가할수록 투자비가 적게 소요되나, B-WLL은 기본구성 단위가 64E1인 이유로 투자비가 고정되었다. M/W 투자비는 관로굴착



※ 광(관로구축)의 전송로 E1 원가는 4E1:4,672, 8E1:2,503, 16E1:1,418, 21E1:1,160, 64E1:604천원임.

그림 6: 장비용량에 따른 E1 원가분석(월 영업비용)
Fig. 6. E1 cost analysis for system capacity.

보다는 크게 작으나 관로임대 방식이나 전주임대 방식보다 큰 것으로 나타났다.

E1당 원가는 소요회선 용량이 4E1일 경우에는 M/W로 구성하는 것이 전주임차, B-WLL, 전용회선보다 크나 광 관로임차, 광 관로구축보다는 적게 나타났다. 용량이 16E1 이상일 경우에는 M/W가 광 전주 임차보다 원가 비용이 적은 것을 알 수 있다. 특히 8E1 또는 16E1의 회선용량이 필요한 경우에는 표 11의 전용회선 임대 방식보다 경제성이 우수한 것으로 나타났다.

3-2-2-3 전송 거리에 따른 경제성 분석

표 10. 장비용량에 따른 회선방식별 투자비(단위: 천원)

Table 10. Investment money for line configuration types as a function of system capacity.

구분		광			M/W	B-WLL
		관로굴착	관로임대	전주임대		
투자비 /E1	4E1	175,493	10,493	10,493	17,433	10,464
	8E1	87,747	5,247	5,247	8,716	10,464
	16E1	43,873	2,623	2,623	4,801	10,464
	21E1	33,427	3,875	3,875	3,442	10,464
	64E1	10,968	1,272	1,272	2,196	10,464

표 11. 전용회선 월 임차료 현황(E1, 3 km 기준, 단위: 천원)

Table 11. Leased fee per month for exclusive line.

구분	한국통신	하나로통신	두루넷	데이콤	드림라인	지앤지 네트워크
서비스요금	723	650	610	708	708	708
장기할인	3 %	8 %	7 %	5 %	5 %	5 %

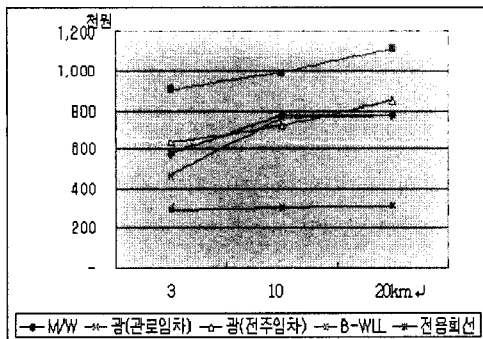
매체간의 전송용량을 중소기업, 학교 및 관공서 등에서 대부분 사용 중인 45 Mbps(DS3) 급을 기준으로 하고 서비스 기간의 동일한 조건(앞에서 언급한 기준)에서 전송거리(3 km, 10 km, 20 km)를 달리 했을 경우에 대한 E1당 투자비와 원가 분석을 각각 표 12와 그림 7에 나타내었다. M/W는 전송거리별 품질 조건을 만족하는 특정 주파수대 장비(3 km : 18 GHz,

10 km : 11 GHz, 20 km : 8 GHz)를 사용하였다. B-WLL은 전송구간 3 km 이상은 서비스하기가 어렵기 때문에 전용회선 임차를 가정하였다. E1 투자비는 45 M 용량을 20 km 전송시 M/W가 광 구축 보다 적게 든다. 또한 45 M 대용량 전송시 전용회선 임차가 타 회선구성방식에 비해 월 영업비용이 가장 적게 소요됨을 알 수 있다.

표 12. 근거리에 따른 회선구성 방식별 E1당 투자비 (단위: 천원)

Table 12. Investment money per E1 for line configuration types as a function of short distance.

구분	광			M/W	
	관로굴착	관로임대	전주임대		
투자비/ E1	3 km	35,304	3,875	3,875	3,212
	10 km	112,235	7,473	7,473	11,490
	20 km	227,277	12,613	12,613	11,490

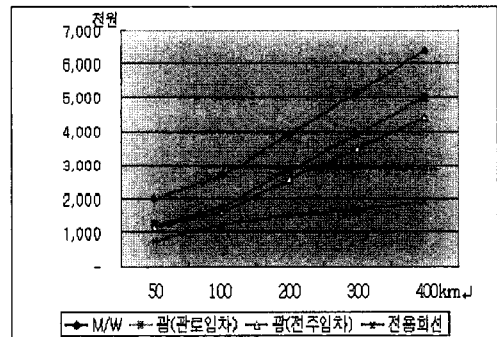


※ 광(관로구축)의 전송로 E1 원가는 3 km:1,206, 10 km: 3, 108, 20 km:5,952천원임.

그림 7. 전송 거리에 따른 E1 원가분석(월 영업비용)
Fig. 7. E1 cost analysis for transmission distance.

3-2-24 대용량 장거리 전송에 따른 경제성 분석

M/W를 이용하여 155 Mbps급 이상의 용량을 100 km 이상 전송할 필요가 있을 때 이를 광 전송로 구축과 회선 임대와의 경제성을 분석한다. 매체간의 전송용량(155 M 기준)과 서비스 기간(앞에서 언급한 기준과 동일)을 동등한 조건에 맞추고 매체별로 장거리 전송(50 km, 100 km, 200 km, 300 km, 400 km) 시 E1당 투자비를 표 13에 나타내었으며, 원가분석



※ 광(관로구축)의 전송로 E1 원가는 50 km:9,561, 100 km:18,476, 200 km:36,307, 300 km:54,137, 400 km: 71,968 천원임.

그림 8. 전송 거리에 따른 E1 원가 분석(월 영업비용)
Fig. 8. E1 cost analysis for transmission distance.

표 13. 장거리에 따른 회선구성 방식별 E1당 투자비(단위: 천원)

Table 13. Investment money per E1 for line configuration types as a function of long distance.

구분		광			M/W
		관로굴착	관로임대	전주임대	
투자비/ E1	50 km	180,308	9,198	9,198	9,919
	100 km	360,616	17,631	17,631	19,838
	200 km	721,231	34,497	34,497	39,675
	300 km	1,081,847	51,363	51,363	59,513
	400 km	1,442,463	68,228	68,228	79,350

즉, 감가상각비, 차입금리, 운용유지 보수비, 운용경비를 감안한 결과를 그림 8에 나타내었다. M/W는 8 GHz 장비를 사용하며 B-WLL은 본 가정에서 제외하였다. E1당 투자비는 광관로 구축비가 가장 많이 들고 M/W, 관로 임대, 전^르 임대 방식 순서이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 현재 운용중인 M/W 중계 주파수의 증설 및 신규 주파수 할당에 대한 요구 수용을 가급적 배제하고, 필요 회선을 B-WLL 또는 광통신 망으로 대체 및 수용할 수 있는 가능성을 품질 및 경제성 측면에서 분석한 결과를 제시하였으며, 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

첫째, 품질목표에서는 비교할 매체의 전제조건 및 분석방법을 도출하고, 매체간의 전송 품질 비교를 위한 근거 및 기준을 제시하였다. M/W가 E1급의 트렁크 회선으로 주로 사용되므로 BER 10^{-6} 을 기준으로 설정하여 매체별로 가용도 목표에 따라 서비스 거리를 산출하였다. 사업자가 가용도 목표를 99.9%로 하면 5 km까지는 B-WLL이 M/W를 대체할 수 있으며, 목표가 99.99% 및 99.999%인 경우에는 각각 3 km 및 1.6 km까지 대체 가능하다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 경제성 분석에서는 광통신, M/W, B-WLL 시스템의 기본 구성단위를 근거로 서비스기간, 장비 용량, 전송거리, 대용량 전송별로 분석하였다. B-WLL은 E1급을 기준으로 품질목표 BER 10^{-6} 을 설정할 경우 M/W로 대체 가능하며, 나아가 전송거리가 짧은 경우에는 경제성이 있음을 보였으나, 99.999%의 가용도를 만족시켜야 하는 경우 전송거리의 셀 반경이 약 1.6 km 이내로 해야 하는 제한이 따른다. 한편 광통신 망으로 시설 대체시에는 광 관로용 전 주입대의 경우 서비스 기간에 관계없이 M/W보다 경제성을 보유하고 있으나, 광 관로를 자체 굴착 시에는 어느 경우든 경제성이 없는 것으로 확인되었다. DS-3(45 Mbps)급 용량을 기준으로 할 경우 M/W가 20 km까지는 광 구축보다 경제성이 있으나, 대용량 (155 Mbps) 급의 50 km 이상이면 광보다 열세인 것으로 나타났다.

끝으로 본 논문에서 제시한 분석 방법의 접근은 M/W 중계 주파수의 효율적인 활용과 시설투자의

중복방지를 위해 실질적인 분석의 척도로 적용이 가능하며, 나아가 주파수 할당 방법의 개선을 통해 신규 수요 주파수의 수용 및 밀리미터파 자원의 이용 개선 방안에 중요한 정책적인 의미도 포함할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- [1] W. Bourdon, W. Geidel, G. Lange and J. G. Neideck, "A new generation of SDH radio relay system for 1*155/ 2*155/ 4*155 Mb/sec", *Proc. 3rd ECRR*, pp. 56-63, 1991.
- [2] 서경환, "동기식 디지털 계위의 동일채널 무선 전송장치 구현 및 성능 분석", 대한전자공학회논문지, 35(11), pp. 1046-1058, 1998년.
- [3] 보고서, M/W 주파수의 효율적 이용 연구, 한국통신, 1998년 12월.
- [4] 보고서, M/W 주파수 이용 활성화 방안 연구, 한국전파진흥협회, 전파자원이용자문위원회, M/W 주파수 분과위원회, 2000년 12월.
- [5] 보고서, 무선 M/W 중계 시설 및 주파수 이용 개선 방안 연구, 한국무선국관리사업단, 2002년 3월.
- [6] 보고서, 광대역 무선가입자망 중계기술, 한국통신, 1999년 12월.
- [7] 제2회 B-WLL 기술워크샵, 대한전자공학회, 2000년 10월 13일.
- [8] M. Shafi, "Statistical analysis/simulation of a three ray model for multipath fading with applications to outage prediction", *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, vol. SAC-5, no. 3, pp. 389-401, 1987.
- [9] "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", *ITU-R Recommendations*, pp. 838.
- [10] "Attenuation by hydrometers, in particular precipitation and other atmospheric particles", *CCITT report 721-3*.
- [11] C. Salema, *Microwave Radio Links*, John Wiley & Sons, 2003.
- [12] 보고서, LMDS(LMCS) 기술동향 분석 및 개발 방향에 대한 연구, 한국전자통신연구원, 1999년 4월.

서 경 환



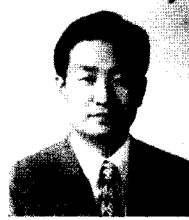
1983년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1991년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1983년 1월~1998년 10월: 삼성전

자 정보통신총괄 수석연구원

1999년 3월~현재: 강남대학교 전자시스템정보공학부 전자공학과 교수

[주 관심분야] 무선통신시스템 설계 및 성능분석, 변복조 및 등화기 설계, 마이크로파 회로설계

최 용 석



1982년 2월: 연세대학교 천문우주학과 (이학사)
1994년 3월: 일본 동경대학교 전파물리학 (이학박사)
1986년 8월: 공군 기상레이더 분석통보관 (중위)
1990년 3월~9월: KAIST 우리별위

성 개발 영국 써리대 파견

1991년 4월: 일본 노베야마전파관측소 연구원 (Radioheliograph)

1993년 4월: 일본 우주과학연구소 연구원 (YOHKOH 위성)
현재: 한국전자통신연구원 전파자원연구팀 팀장

[주 관심분야] 전파간섭 및 공유기술 연구, 전파전파 특성 연구