

광전변환기술을 이용한 Digital TV 중계전송 구성방안

김준원*

*경희대학교

Terrestrial Digital TV Relay Transmission Construction by Using Optoelectronic Techniques

Joon-Won Kim*

* The Graduate School of Kyung Hee University

E-mail : jkim2100@naver.com

요 약

본 논문은 지상파TV방송이 디지털방식으로 전환함에 있어 기존의 무선을 이용한 DTV중계 전송망을 광전변환을 이용한 유선망으로 전송하는 방안을 제작과 실험을 통하여 전송로의 구조적 전기적 특성과 방송망으로서의 적용 가능성을 연구하였다.

ABSTRACT

This paper describes a study of terrestrial digital TV transmission systems using wideband opto-electronic techniques such as electro-absorption modulators, wavelength division multiplex to support cost effective, high speed, flexible and interactive digital TV networks including ultra-high speed subscriber networks. In particular, the national DTV networks to be installed is required huge amount of cost. Therefore, the network should be carefully designed for DTV, communication and multimedia services in the future. In this paper, wideband optoelectronic DTV systems are suggested.

키워드

Terrestrial digital TV, Opto-electronic, Communication, Multimedia

I. 서 론

지상파 TV방송은 Digital전송시스템 도입으로 빠른 모습으로 변화하고 있다. 그러나 NTSC 아날로그 방송의 네트워크가 완벽히 개선 되기도 전에 새로운 디지털 TV (DTV)송신시스템 체계로 전환 되어야 한다. 특히 지상파 방송은 아날로그방송을 유지하고 DTV 시스템 체계를 구축하여야 하는 양립성을 갖고 있다. 현재 국내의 지상파 아날로그 TV 방송 채널의 경우, 송.중계소 134개 채널 및 무인간이TV중계소 1158개 채널 등을 포함하여 약 1,292채널의 TV 송.중계소가 운영하고 있다.[1]. 이렇게 외형적으로 수많은 채널을 갖고 있는 한국의 지상파 방송은 DTV방송으로의 전환시 발생하는 커다란 문제점은 방송 네트워크 구성이다. 그 동안 지상파 방송사의 아날로그 TV방송 난시청지역 해소의 투자는 송·중계시설 등 기간시설 확충과 자연부락 단위의 난시청지역 해소에 역점을 두고 방송망 확장사업을 추진하였다. NTSC 아날로그 방식의 방송망 확장사업은 투자비용에 비하여 난시청지역 해소에 효과가 저조한 문제점이 있다. 따라서 DTV방송도 이러한 난시청해소에

문제에 봉착 될 것이다. 또한 사회가 산업화, 도시화됨에 따라 도시의 전기잡음이 급증하여, 새로운 난시청지역이 증가되고 있어 이른바 도시 난시청지역이 발생되고 있으며 최근에 이러한 도시 난시청지역은 새로운 연구 과제로 부각되고 있다.

II. 본 론

본 연구는 광전변환 기술을 이용하여 <그림1>과 같이 지상파 DTV 광전송시스템 구성 방안을 제시하였다. 그 방안은 방송대역 전파를 다중화하여 광케이블로 전송, 읍면 소재지에서 광전변환 시스템을 이용하여 광신호를 전파신호(RF)로 변환하여 직접 또는 광대역 증폭기를 사용하여, 방송을 중계하는 방식으로 수신자는 기존의 수신시설로 DTV를 시청하는 전송구조를 이다. 또한 방송과 통신이 융화되는 서비스 수용에 대처 할 네트워크로 활용도가 높을 것이다.

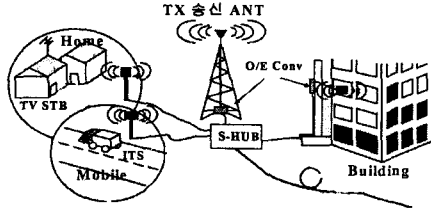


그림 1. 광전변환기술을 이용한 방송중계전송망

기본적인 광전변환 시스템은 <그림2>와 같다. RF신호를 수신하여 광링크를 통하여 전송하고 기지에서 다시 RF(Radio frequency)신호로 변환하여 안테나를 통하여 전송하는 간단한 중계기의 구조이다.[2]. RF신호의 광링크 전송은 기본적으로 빛의 강도변조(intensity modulation)를 이용한다. 강도변조를 이용한 광링크에서 RF신호 전송은 다음과 같은 3가지 방법이 있다.[2][3][4][5]. 직접 강도 변조에서 광원의 전기적 파라미터는 정보를 갖는 RF신호에 의하여 변조된다. 즉, 레이저 다이오드가 RF신호를 광으로 변환과 광변조를 동시에 하는 기능을 갖는다. 둘째 방법은 변조되지 않은 광원과 외부 광변조기를 이용하는 것이다. 셋째 방법은 RF신호를 헤테로다인(Heterodyning) 방법에 의한 발생이다.

이 경우 하나 이상의 광원이 필요하고 믹서(mixer)에 의하여 헤테로다잉 된다. 이 같은 방법들은 모두 손실이나 잡음 특성들이 다르다. 송신링크는 캐리어를 다중화하여 광링크를 통하여 전송한다. 이 링크에서 모든 소자들이 선형모드로 동작할 경우 다중 캐리어들은 상호변조적(intermodulation product)을 발생한다. 이 상호변조적은 증폭기에서 신호와 함께 증폭되어 시스템에 영향을 미친다. 광전변환 시스템에서 이 상호변조적은 보통 -35~-45dBm인 규격을 갖는다[2][3]. 수신링크에서 전형적인 수신기는 AGC 기술이다. 이는 90~110dB의 수신신호를 보상할 수 있기 때문이다. AGC를 사용하지 않는 LNA(low noise amplifier)는 60~70dB dynamic range를 갖는다. 레이저-광다이오드 조합의 noise figure는 대략 30~40dB를 갖는다.[2][3].

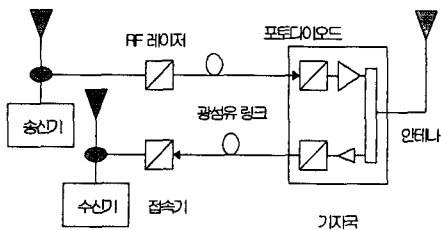


그림 2. 기본적인 광전변환시스템 구조

III. 광전변환신호 해석

입력 광신호의 전기적 필드 $e_s(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.[2][3].

$$e_s(t) = \text{Re} [E_s \cdot e^{j\omega_s t}] \quad (\text{식1})$$

광다이오드에 도착한 광자는 자유캐리어를 발생한다. 전류신호 $i_s(t)$ 는 입사광의 전력 P_s 에 비례하고 전력은 E_s^2 에 비례한다. 신호전류는 shot noise 전류 i_{sh} 를 발생하며 i_{sh}^2 는 :

$$i_{sh}^2 = \langle i_{sh}^2 \rangle = 2 \cdot e \cdot i_s \cdot B \quad (\text{식2})$$

로 쓸 수 있다. 여기서 B 는 밴드폭, e 은 1.6×10^{-19} coulombs, i_s 는 신호전류이다. 양자효율을 갖는 광다이오드에 대하여 i_s 는 :

$$i_s = \frac{\eta \cdot P_s \cdot e}{h \cdot f} \quad (\text{식3})$$

로 표현할 수 있으며 여기서 h 는 플랑크상수 (6.625×10^{-34} J(sec)이고 f 는 광주파수이다. $h \cdot f$ 는 전자볼트(electron volts)단위로서 한 광자의 에너지를 나타낸다. 전기적 잡음전력에 대한 전기적 신호전력의 비율인 SNR은

$$\text{SNR} = \frac{i_s^2}{i_{sh}^2} = \frac{\eta \cdot P_s}{2 \cdot h \cdot f \cdot B} \quad (\text{식4})$$

으로 정의된다.

SNR은 수신된 광전력에 비례한다. (식4)는 광다이오드의 출력에서 SNR이고 이론적으로 성취될 수 있는 최적의 SNR을 의미한다. 실제로 실험에서는 이 값이 성취될 수 없다. 실제로 레이저는 shot noise와 관련된 전력보다 큰 광의 세기의 변화를 수반하고 이 세기변화는 레이저 고유의 잡음이 된다. 이 효과를 비교세기잡음(RIN; relative intensity noise)라고 한다. 광신호가 광섬유를 통하여 전송될 때 SNR은 RIN과 shot noise, 그리고 감쇄등에 의하여 더욱 열악해진다. 뿐만 아니라, 열적잡음이 작용하여 그 성능을 더욱 떨어뜨린다. 좋은 SNR특성을 얻기 위한 한가지 방법은 헤테로다인(heterodyne) 방법이다. 이때 입사전기장 뿐만 아니라 다음과 같은 국부 전기장 $e_{lo}(t)$ 가 고려되어야 한다.

$$e_{LO}(t) = \text{Re}(E_{LO} \cdot e^{j\Omega_{LO}t}) \quad (\text{식5})$$

여기서, 국부레이저가 필요하다. 광다이오드에서 전류 $i(t)$ 는 다음에 비례한다.

$$|E_s \cdot e^{j\Omega_s t} + E_{LO} \cdot e^{j\Omega_{LO}t}|^2 = E_s^2 + E_{LO}^2 + 2E_s \cdot E_{LO} \cdot \cos(\Omega_s - \Omega_{LO})t \quad (\text{식6})$$

국부발전기 전력은 신호가 광다이오드에서 검출되기 위하여 필요한 충분한 값이 되도록 하여야 한다. 그러므로, shot noise는 평균검출전류에 의하여 발생되고 평균전류는 국부발전기전력 P_{LO} 에 비례한다. 신호전류 $i_s(t)$ 는 $\Omega_s - \Omega_{LO}$ 의 주파수 편차를 갖는다. SNR은 P_s 에 비례하고 신호전력은 $[P_{LO} \cdot P_s]^{1/2}$ 의 factor에 의하여 증가된다. 헤테로다인 시스템은 주파수를 안정화하여야 하는 것이 실제 시스템에서 중요하다.

IV. 광전 DTV중계 송신시스템 모델링

Radio over fiber시스템 설계시 링크는 기본적으로 이득과 잡음의 함수로서 설계될 수 있다. 링크가 50Ω 특성임피던스에 맞춰지고 이득에 관련된 시스템부는 RF 이득, 입력 잡음 및 연결노드 손실 등이다. 송수신기가 광섬유에 연결되며 광섬유의 길이에 따라 이들 특성이 변화된다.[6][7].

유무선 융합 DTV 시스템에서 Radio over fiber 링크의 광전력과 RF 커버리지를 해석 설계하는 것은 매우 중요하다.

본 시스템은 RF 커버리지, 송신 광전력등의 설계 요소를 적절히 최적화함으로써 시스템 및 네트워크를 유연성 있게 구성할 수 있는 장점이 있다.

1. 광전 DTV중계 송신시스템 하향링크 모델링

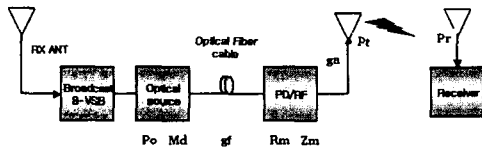


그림 3. DTV 광전송 시스템 하향링크 설계

<그림3>는 하향 링크를 보인 것이다. DTV RF 신호는 중계국으로부터 입력되고 광신호로 변환된 후 안테나를 통하여 DTV 수신기로 전송된다. 광 중계송신기로부터 전송되는 RF 전력 P_s 는

다음과 같이 주어진다.

$$P_s = p_o^2 \cdot g_f^2 \cdot R_m^2 \cdot M_d^2 \cdot Z_m \cdot g_a / 2 \quad (\text{식7})$$

여기서, p_o 는 광원의 전력, g_f 는 광섬유 insertion 이득, R_m 은 광다이오드의 응답도, Z_m 은 광다이오드의 임피던스, M_d 는 광 하향링크 변조도이고 g_a 는 안테나 이득이다. 전파 손실 L 은 이중경로손실모델(dual slope path loss model) [8]에 의하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (\text{식8})$$

$d < d_f$ 이고 d 는 광 중계송신기와 수신기간의 거리이고 d_f 는 Fresnel zone 간격으로서 다음과 같이 주어진다.

$$d_f = \frac{4h_1 h_2}{\lambda} \quad (\text{식9})$$

$d > d_f$ 인 경우 손실 L 은:

$$L = 20 \log \left(\frac{4\pi d_f}{\lambda} \right) + \gamma \log \left(\frac{d}{d_f} \right) \quad (\text{식10})$$

이다. 여기서 γ 는 경로손실경사이며 dB/decade이다. 그러므로 하향링크의 최대 허용 손실 L 은 다음과 같이 주어진다.

$$L = \frac{P_s}{p_{mr} \cdot \beta} \quad (\text{식11})$$

여기서 p_{mr} 은 DTV 수신기에서 최대 수신전력이고 β 는 전력 마진이다. 그러므로 하향링크의 RF 커버리지는 (식7)~(식11)을 사용하여 구할 수 있다.

2. 광전 DTV중계 송신시스템 상향링크 모델

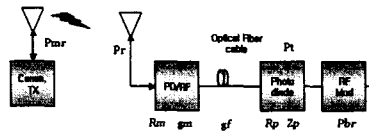


그림 4. 상향링크 설계

<그림4>는 상향링크 구도를 보인 것이다. DTV의 상향 서비스나 멀티미디어 통신 서비스의 경우 상향링크가 필수적이다. 신호는 DTV수상기로부터 발생되고 광 중계송신기를 통하여 중계국으로 전송되는 것을 가정한다. 광 중계송신기의 안테나에서 수신되는 최소 전력 P_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r = \left(\frac{P_{br}}{P_s^2 \cdot g_f^4 \cdot g_m^2 \cdot \eta_m^2 \cdot R_p^2 \cdot Z_p \cdot Z_m \cdot g_a} \right) \quad (식12)$$

DTV의 상향 서비스나 멀티미디어 통신 서비스의 경우 상향링크가 필수적이다. 신호는 DTV수상기로부터 발생되고 광 중계송신기를 통하여 중계국으로 전송되는 것을 가정한다. 광 중계송신기의 안테나에서 수신되는 최소전력 P_r 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_r = \left(\frac{P_{br}}{P_s^2 \cdot g_f^4 \cdot g_m^2 \cdot \eta_m^2 \cdot R_p^2 \cdot Z_p \cdot Z_m \cdot g_a} \right) \quad (식13)$$

여기서 P_{br} 은 기지국에서의 최소 수신전력이고 η_m 은 변조기의 변조도이고 g_a 은 변조기의 insertion 이득, R_p 은 광다이오드의 외부응답도, Z_p 은 광다이오드의 임피던스이다. 최대 허용 상향링크 전송손실 L 은:

$$L = \frac{P_m}{P_r \cdot \beta} \quad (식14)$$

여기서 P_m 은 DTV수신기의 전송전력이다. 상향링크의 RF 커버리지는 (식12)~(식14)을 사용하여 구할 수 있다.

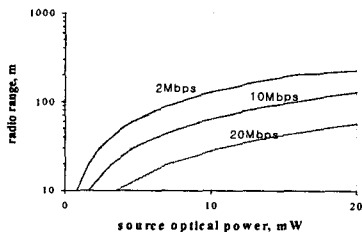


그림 5. 시뮬레이션 RF 커버리지 결과치

<그림5>은 데이터 속도에 따른 DTV중계 송신 시스템 하향링크 모델의 RF 커버리지의 시뮬레이션 결과를 보인 것이다. 본 시뮬레이션은 광 중계 송신기에서 증폭기를 사용하지 않은 수동형을 가

정한 것이다. 데이터 속도가 20Mbps인 경우 10mW의 송신 광전력에서 약20m RF 커버리지를 갖는다.

RF 커버리지를 넓히기 위해서는 간단한 RF 증폭기를 쓰거나 광송신단에서 광전력을 증폭하여 보내는 방법이 시뮬레이션 결과에서 알 수 있다.

3. RF Amp단을 추가한 DTV중계시스템 설계

광전변환(Radio over Fiber) DTV 전송시스템은 실제로 송신 단위지역에 매우 인접하여 안테나가 위치해야 한다. 이 경우 안테나에서 DTV 신호의 수동방사가 가능하다. 이를 위하여 광전변환 시스템의 송신 레이저에서 광 전력을 증가하여야 하는데 이를 위하여는 높은 광전력을 갖는 송신측 레이저가 필요하다. 실제로<그림 5>의 설계에서 20Mbps DTV 대역을 50m 거리를 전송할 경우 광송신단의 레이저 출력은 20mW의 높은 광전력이 요구된다. 따라서 설치 지역의 지형적인 특성에 따라 시스템의 확장성을 높이기 위하여 RF 중단에 RF 증폭기의 설치가 요구될 수도 있다.

V. 광전 DTV중계 전송시스템 QoS

광전송 시스템을 이용한 DTV 품질은 디지털 방송 무선국 설비기준(ATSC)을 참고로 하였다. 측정구도는 <그림6>과 같으며 우선 DTV의 입력은 CH15를 기준으로 수신하였고, DTV Processor에서 CH15방송채널을 실험 채널인 CH19로 주파수를 변환하여 10km의 광케이블로 전송하였다. 전송된 광신호는 포토다이오드(PD)를 사용한 광수신기에서 RF로 변환하여 송신출력을 1W 30dBm/50Ω으로 RF 증폭 후의 광 DTV중계기의 출력은 완벽한 실험을 위하여 Dummy load 50Ω으로 정합시키고 광 DTV중계기의 특성을 위한 측정기는 Tektronix사의 RFA300를 이용하여 측정 하였다.

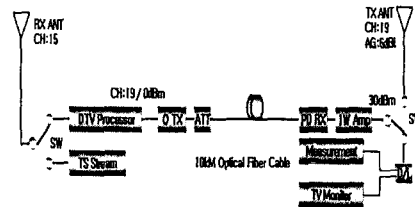


그림 6. DTV 광전송 시스템 실험 구성도

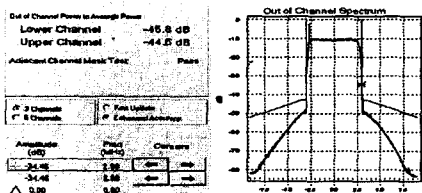
1. 광전변환 DTV 시스템의 QoS 기준

DTV의 QoS는 방송 업무용 무선설비의 기술기준을 만족하여야 한다.[9][10]. D-TV QoS 기준은 디지털 DTV 송신장치의 기술적 조건의 주요특성을

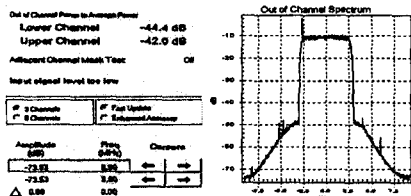
기준으로 하였다. 그 기준은 대역의 발사강도는 FCC마스크와 같이 500kHz의 분해 대역폭로 측정된 경우에 채널경계로부터 500kHz까지는 47dB 이하이고 채널경계로부터 500kHz에서 6MHz까지는 $11.5(\Delta f+3.6)$ dB 이하일 것, 이 경우 Δf 는 채널경계로부터의 주파수차를 말한다. 신호대 잡음비는 등화를 행하지 아니한 경우에 27dB이상, 위상잡음은 20kHz에서 헤르츠당 -104dBc이하, 주파수 응답특성은 6MHz 대역내에서 ± 0.5 dB이내, 침투전력대 평균전력비는 별도도표 허용범위 이내, EVM error vector magintute 4.5% 이하, 주파수 군 지연 특성 주파수 응답 ± 0.5 dB이내, 주파수 군 지연 특성 그룹지연 ± 25 ns이내, 진폭왜곡1dB 이하, 위상왜곡 5deg 이하, 침투전력대 평균전력비 규정곡선에 합치, 주파수허용편차 1 PPM 이하 @ 규정주파수와 같은 특성이 만족 할 경우 DTV중계 Network이 가능하다. 따라서 본 논문은 광 DTV중계기 특성에 필요한 RF특성 측정에 중점을 두었다.

2. 대역의 발사강도 분석

본 분석은 DTV의 QoS는 방송 업무용 무선설비의 기술 기준 중 대역의 방사 측정의 한 예로 인접 채널간섭을 보호하기 위하여 송신기 출력단에 설치된 BPF(Band Pass Filter)의 특성을 규정하는 것이며 Fo에서 (3.5MHz까지 -47dB 이하로 감쇄 특성을 갖아야 하며, Fo에서 (9MHz@110dB 이하의 감쇄 되어야 한다.



(a) 광전변환 전 특성



(b) 광전변환 후 특성

그림 7. 대역의 방사 측정특성

FCC RIGID MASK와 같이 500kHz의 분해대역폭(RBW)로 측정된 경우에 채널 경계로부터 500kHz까지는 47dB 이하이고 채널경계로부터

500kHz에서 6MHz까지는 $11.5(\Delta f+3.6)$ dB이하 이어야 하며, 이 경우 Δf 는 채널 경계로부터 주파수 차 (MHz)를 말한다. 즉 500kHz 대역내에서 채널의 방사 전력과 송신기의 총 평균 전력비를 dB로 표시한 것으로 -110dB까지 채널 마스크를 정의한다.

본 실험의 대역의 방사 광.전변화 전의 특성은, 채널경계로부터 500kHz까지는 <그림7(a)>와 같이 Lower channel에서 -45.8dB이며 광.전송 후의 전송특성 결과는 <그림7(b)>와 같이 Lower channel에서 -44.4dB의 값을 얻었으며, 입력 신호와 출력신호는 약1.4dB으로 광송신 전 및 광수신 후 광전변화 소자의 특성이 변화가 있었음을 알 수 있으며 X축은 2.5MHz/div이며 Y축은 10dB/div 이다.

VI. 결 론

본 연구는 기존의 무선 전송방식을 벗어난 새로운 광중계 전송방식을 제시하여 DTV중계 전송망 확장에 따른 시설기간 단축과 재원절감과 DTV전환에 따른 도심지역 난시청 문제등을 해결하기 위한을 전송방식의 연구이며 그 결과 DTV 광중계 전송 후의 전기적 특성과 방송품질은 ATSC의 QoS기준에 만족 할 수 있었으며 방송 중계 전송망 구성의 가능성도 보였다.

광전변환 기술을 이용한 DTV 중계전송 시스템의 중계기 품질은 ATSC DTV 무선국 설비 QoS기준에 대한 적합성 여부가 시스템의 사용 가능성을 좌우한다. 이를 검증하기 위하여 DTV 중계전송 장치를 실험적으로 검토하였으며 "DTV 지상파 무선설비의 기술기준"에 따른 송신기 QoS 분석 방식은 대역외방사, 측정주파수 응답과 군지연, 위상잡음, EVM, 진폭왜곡과 위상왜곡, 침투전력대 평균 전력비와 같은 중계송신기의 특성측정 중 중요한 8가지 항목을 기준으로 실험하였다.

그 결과 DTV 신호의 광전변환 후 방송 품질특성은,대역외 방사 특성 주파수응답과 군지연 특성위상잡음 EVM QoS 특성 진폭왜곡과 위상왜곡특성 침투전력대 평균 전력비특성은 광.전변환전후 값에 큰 변화가 없었다.

따라서 본 실험에서 DTV 중계전송망의 전기적 특성을 확인하여 본 결과 DTV중계 전송망으로의 타당성을 입증 할 수 있었으며 기존의 고전적 무선중계 전송방식의 고비용, 장기간시설 등의 문제점을 미루워볼 때 유선망을 이용한 DTV 중계방식의 가능성을 보였다.

본 논문은 현재까지 광전변환을 이용한 DTV중계 전송방식이 상용화되지 않은 시점에서 향후 DTV 방송망 확장사업 분야와 아날로그 TV방식과 디지털 TV방식이 공존함으로 발생하는 TV방송채널 부족에 대한 문제를 본 연구에서 수신점과 송신점이 완전 분리되는 특징을 이용하여 동일채널 중계전송 가능성을 제시하였으며 방송의 양방향 DTV방송 접목 가능성도 실험을 통하여 입

증 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] KBS, MBC, 민방시설 업무현황,2001.
- [2] H.Al-Raweshidy, Radio over fiber technologies for mobile communications networks, Artech House, Boston, 2002.
- [3] H. B. Killen, Fiber optic communications, Prentice Hall, New Jersey, 1991.
- [4] D. Wake,C.R.Lima and P.A.Davies, "Optical generation of millimeter-wave signals for fiber-radio Systems using a dual-mode DFB semiconductors laser", IEEE Trans. On Microwave Theo. And Techn., vol.43, no.9, pp.2270-2275, 1995.
- [5] Gerd Keiser, Optical fiber communications, McGraw Hill, Boston, 2000.
- [6] W. I. Way, "Fiber-optic transmissions of microwave 8-phase -PSK and 16-ary quadrature-amplitude-modulated signals at the 1.3um wavelength region", J. of Lightwave Techn., vol.6, no.2, pp.273-280, 1988.
- [7] 정만영 ,김덕진 공저, "공중선과 전파전파" 문운당, pp56~57,1993.
- [8] M.J.J.van Nielen, "UMTS; a third generation mobile Systems", roc., of 2nd Int. symposium on personal, Indoor and Mobile radio comm., pp.17-21, 1992.
- [9] ATSC Standard A/53, Digital Television Standard, 1995.
- [10] 대한민국 정보통신부 고시, "방송표준방식 및 방송업무용 무선설비의 기준 12. 2001.
- [11] 대한민국 정보통신부 고시, "무선국 및 전파 응용설비의 검사방법 절차기준", 제2001- 34 호, 2001. 6 .4.