지상파 디지털 방송용 TV 튜너 설계 및 구현

The Design and Implementation of TV Tuner for the Digital Terrestrial Broadcasting

정영준 · 김재영 · 최재익 · 박재홍

Young-Jun Chong · Jae-Young Kim · Jae-Ick Choi · Jae-Hong Park

요 약

8-VSB(Vestigial Side-Band) 변조 기술을 이용하여 ATSC(Advanced Television Systems Committee) 규격을 만족하는 디지털 TV 튜너를 개발하였다. 이중(double) 주파수 변환 방식 및 능동 트래킹 여파기를 이용하여 이미지 응답 및 IF(Intermediate Frequency) Beat성분들의 억압, 인접 채널과 다채널 수신 시 상호 간섭배제 성능을 만족할 수 있도록 하였다. 제작된 디지털 TV 튜너는 디지털 성능 평가에 필수적인 넓은 동작 범위, 통과 대역에서의 평탄도 및 낮은 위상 잡음 성능을 만족할 뿐만 아니라 아날로그 및 디지털 TV 수신기에 동시에 이용될 수 있다.

Abstract

Digital TV tuner for 8-VSB modulation was developed with satisfying the requirements of ATSC. Double frequency conversion and active tracking filter was used in order to suppress IF beat and image band, which results in reducing the interference between adjacent channels and multi-channels. The implemented digital TV tuner has excellent performance such as the wide dynamic range, good flatness in passing band, and low phase noise. The developed tuner is available to handle the digital and analogue television signal at the same time.

I. 서 론

1990년 초부터 선진국들은 부가 가치가 높은 디지털 방송 연구에 박차를 가하여 미국, 영국, 일본 등 선진국에서는 이미 디지털 위성방송이 상용화되고 있으며, 1998년을 기점으로 디지털 지상파 시험 방송을 준비하고 있다. 국내에서도 미국 ATSC에서 결정한 ATV 방식으로 지상파 TV 규격을 설정하여 당초 설정된 계획(2000년:시험 방송, 20001년: 본 방송 실시)보다 일정을 앞당겨 지상파 디지털 방송을 개시할 계획이다.

디지털 TV 방송은 아날로그 TV 방송에 비하여 디지털 신호 처리 및 전송 기술의 발달에 의해 고화질의 다채널 방송이 가능하다. 디지털 방송으로 인하여 전송 채널 대역폭의 이용 효율이 높아 화질 및 음질이 우수한 비디오 및 오디오 서비스가 가능할 뿐만 아니라 방송 신호의 녹화 재생 시 화질의 열화가 적고, 전송 전력 및 상호 간의 신호 간섭이 적다. 또한 멀티미디어 서비스가 가능하여 방송과 통신, 가전기기와 컴퓨터의 구분이 없어지는 3C(Communication, Consumer, Computer)의 통합 형태로 발전될 전망이다[1].

디지털 방송을 위한 주파수 할당은 디지털 방송으로 전환하는 기간동안 기존 아날로그 방송대역을

한국전자통신연구원 무선방송기술연구소

· 논 문 번 호 : 991008-086

· 수정완료일자 : 1999년 11월 23일

디지털 방송 채널과 함께 동시 방송을 실시하여야 하므로 두 방송 대역간의 상호 간섭 영향이 배제되어야 하고, 디지털화에 따른 통과 대역(RF 채널 대역폭=6 MHz)의 평탄도 및 위상 잡음 특성이 좋아야 한다. 이러한 이유로 현재 상용으로 출시되는 디지털 TV 튜너는 공통적으로 이중 주파수 변환을 이용함으로써 이미지 성분 및 IF Beat 성분을 억압한다. 하지만 기존 NTSC(National Television Systems Committee) 튜너와 같이 인접 채널 및 다채널 수신 시 상호 간섭 성분을 억제하기 위한 트래킹 필터의 사용 유무가 하나의 관점으로 대두되는 실정이다 (표 1).

이중 주파수 변환 구조에 트래킹 필터가 포함된 디지털 TV 튜너는 구조는 다소 복잡하지만, 디지털 TV 수신기 선형성 확대 및 채널 대역 외 간섭 신호들에 의해서 유발되는 상호변조, 교차변조 및 포화 특성을 개선한다. 하지만 NTSC 튜너와는 달리, 튜너 전치단은 세 개의 대역 중 한 대역만이 스위칭 동작을 통하여 튜닝 전압에 따라 트래킹 여파기의 주파수가 선택되어지나, 하나의 첫번째 전압제어발진기가 위상동기루프에 의한 주파수 튜닝 전압에 대하여 방송 주파수 대역(BW≃750 MHz)을 모두 포함하므로 주파수 튜닝 전압에 대한 트래킹 필터 및 전압제어 발진기 사이의 주파수 상관 관계가 존재하지 않는다(그림 1, X축:주파수, Y축: 주파수 동조 및 튜닝 전압). 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 마이크로 콘트롤러, EEPROM(Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) 등으로 구성된 튜너 제어기의 하드웨어 및 트래킹 전압에 따른 주파수 특성을 LUT(Look-Up Table)화 하여 소프트웨어적으로 주파수 매핑이 가능하도

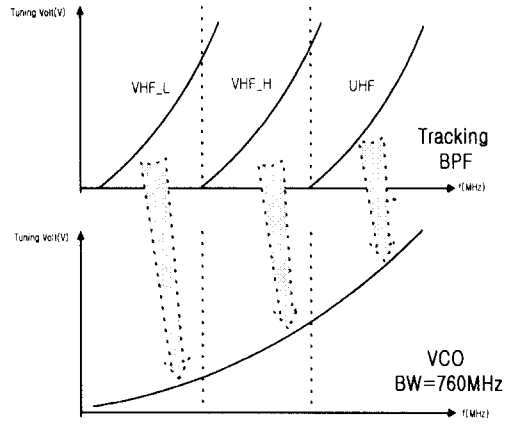

그림 1. 트래킹 필터가 포함된 디지털 TV 튜너 구조의 근사화 된 주파수 매핑도

Fig. 1. The approximated frequency mapping function diagram of DTV tuner structure including tracking filter.

표 1. 튜너의 기술적 장/단점 비교

Table 1. The technical merit and demerit comparison of tuner.

튜너 형상	NTSC 튜너 계열	Cable-TV 튜너 계열	두 특성이 조합된 튜너
구조 및 제조사	싱글 주파수 변환 및 트래킹 필터: TEMIC	이중 주파수 변환: ALPS, SHARP, Panasonic	이중 주파수 변환 및 트래킹 필터: Mitsubishi, LG, ETRI
CATV 방송		○	○
공중파 방송	○		○
낮은 잡음 지수	○		
낮은 위상 잡음	○		
우수한 선택도		○	○
영상 신호 억압		○	○
Good LO 누설 전력 @안테나 입력 단자)	○		○
다른 인접 채널 억압	○		○

록 하여 디지털 TV 튜너의 자동 주파수 선택이 가능하도록 하였다.

Ⅱ. 디지털 TV 튜너의 구성

2-1 디지털 TV 튜너 구조 및 기능

디지털 TV 튜너는 TV의 수신 성능을 좌우하는 주된 모듈로서, 그림 2와 같이 입력 대역 통과 여파기 및 능동 트래킹 필터가 포함된 튜너 전치단, 주파수 상/하향부, 주파수 합성부 및 튜너 제어부로 설계하였고, 다음과 같은 기능을 수행하도록 제작하였다.

- 수신되는 입력 주파수(54~806 MHz)을 중간 주파수(44 MHz)로 주파수 변환,
- 광대역 입력 주파수 분할 대역 선택 스위칭 및 저잡음 증폭을 위한 능동 트래킹 여파기능,
- TV 채널 주파수튜닝(Tuning) 기능,
- 자동 이득 제어 회로의 조정 전압 신호를 통한 수신 이득 제어 기능,
- 영상 신호 제거 및 채널 대역 외 신호 여파 기능.

주파수 변환은 이중 주파수 변환 방식을 이용하여 수신된 방송 신호(54~806 MHz)를 HSI(High-Side Injection)을 이용하여 944 MHz의 중간 주파수로 일차 주파수 상향 변환된 뒤, LSI(Low-Side Injection)을 이용하여 44 MHz의 중간 주파수로 최종 주파수 변환하였다.

2-1-1 Tuner 전치단

Tuner 전치단의 상세 구조도는 그림 3과 같이 VHF_LOW(54~132 MHz), VHF_HIGH(135~369 MHz) 및 UHF(373~806 MHz)의 세개의 대역으로 구성하였고, 수신 안테나로부터 유입되는 신호들은 먼저 대역통과 필터를 통하여 54~806 MHz의 방송 신호들만 통과시키고, 모든 방송 채널(181 채널:방송 채널:CH2~CH69 & Cable TV Channel)들에 주파수 동조 특성을 제공하는 트래킹 필터가 RF 저잡음 증폭기와 조합하여 저잡음 증폭 및 AGC 기능을 수행할 뿐만 아니라 원하는 TV 채널에 이득을 제공하며, 크기가 큰 원하지 않는 TV 채널 및 채널 대역 외 간섭 신호들에 의해서 유발되는 상호 변조 성분들을 억압할 수 있도록 구성하였다. 세 대역간의 우수한 분리도(Isolation) 특성을 얻기 위하여 스위칭

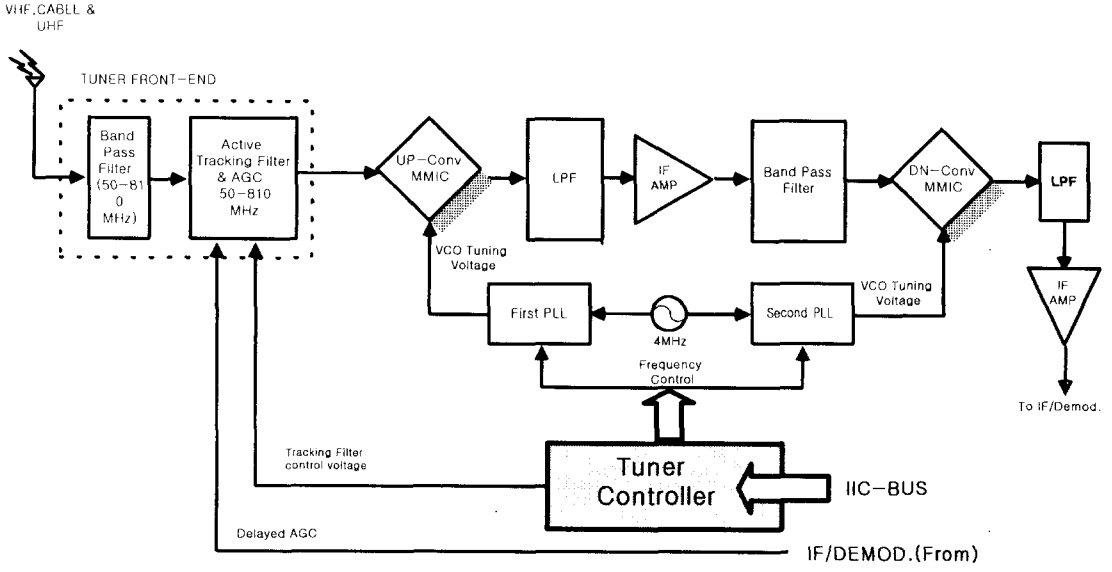

그림 2. 디지털 TV 튜너 구조도

Fig. 2. Block diagram of the digital TV tuner.

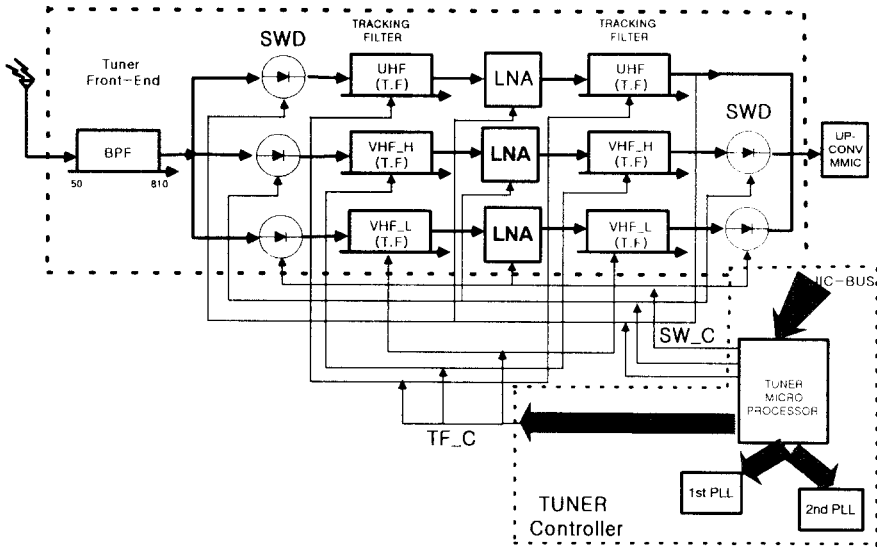

그림 3. 디지털 TV 튜너 전치단 구조도
Fig. 3. Block diagram of the digital TV tuner front-end.

다이오드 및 RF 저잡음 증폭기의 동작 전압을 같이 연결하여 스위칭 동작 시 원하는 대역만이 선택될 수 있도록 하였다.

2-1-2 주파수 상/하향부 및 주파수 합성부

주파수 상향부는 MMIC 칩을 이용하여 입력되는 방송 채널 신호를 944 MHz의 IF로 일차 주파수 상향 변환을 한 후, 저역 통과 필터, IF 증폭기 및 대역 통과 필터를 통하여 믹서에 의한 스퓨리어스 성분 및 원하는 TV 채널 대역외의 신호를 여파한 후 주파수 변환 된 신호를 증폭하였다. 주파수 하향부 또한 MMIC 칩을 이용하여 입력 IF 신호(944 MHz)를 44MHz의 최종 IF로 주파수 하향 변환한 후 저역 통과 여파기 및 최종 IF 증폭기를 통하여 신호를 증폭하였다. 주파수 합성부는 두개의 위상 동기 루프 및 4 MHz 크리스탈 오실레이터로 구성하여 이를 공통 소스로 이용하여 주파수 상향기 및 주파수 하향기의 주파수 변환 기능을 수행하도록 하였다.

2-1-3 튜너 제어부

튜너 제어기는 튜너 전치단의 트래킹 여파기(세 대역, VHF_LOW, VHF_HIGH, UHF) 및 주파수 상향부의 전압 제어 발진기 사이의 주파수 튜닝 전압에 의한 주파수 상관 관계가 존재하지 않으므로 이들 사이의 주파수 매핑 관계를 설정하기 위하여 사용되었고, 외부(Main Microprocessor)로 부터 주파수 합성부를 구동 시킬 수 있는 신호(IIC-BUS형태의 PLL 데이터 및 클럭 신호)를 받아 전압 제어 발진기 및 트래킹 필터 주파수들 사이의 주파수 매핑 및 스위칭 동작을 통한 대역 선택 기능을 수행한다.

2-2 디지털 TV 튜너의 요구 규격

제작하고자 하는 디지털 TV 튜너의 규격은 표 2와 같다[2],[3].

Ⅲ. 제작 및 실험 결과

실제 제작된 디지털 TV 튜너의 형상은 그림 4 및 그림 5와 같이 튜너 전치단, 주파수 상/하향부 및 주파수 합성부 및 튜너 제어부로 구성되어 있다.

VHF_LOW, VHF_HIGH 및 UHF 대역 방송 신호들의 통과 대역 내에서의 진폭 위상 왜곡 정도를 관찰하기 위하여 튜너 출력 단에서의 이득 평탄도 특성을 측정하여 방송 채널들의 각각의 통과 대

표 2. 디지털 TV 튜너 규격

Table 2. Digital TV Tuner specifications.

항 목	내 용
입력 주파수	54~806 MHz
잡음 지수	< 10 dB
AGC동작 범위	> 40 dB
변환 이득	40 dB
Image Rejection Ratio	> 60 dBc
채널 내의 이득 평탄도 (@41~47 MHz)	< 2 dB(peak-to-peak)
입/출력 임피던스	75 Ω
입/출력 정재파비	< 3:1 / 2:1
전체 위상 잡음 (@41~47 MHz)	<−80 dBc/Hz@10 kHz offset
최종 IF 주파수	44 MHz

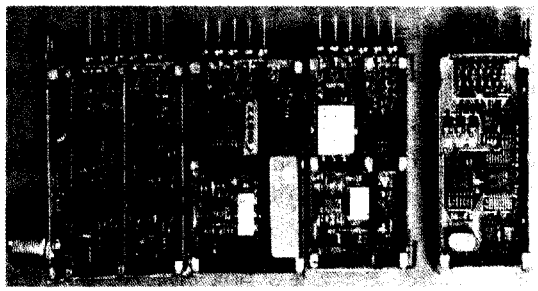

그림 4. 제작된 디지털 TV 튜너(전면, 14.5×4×1.5 cm)

Fig. 4. The implemented digital TV tuner(front part, 14.5×4×1.5 cm).

역(BW=6 MHz) 내에서 0.52~1.52 dB의 평탄도 특성을 얻었고, 최대 및 최소 값을 갖는 채널 2번 및 채널 14번의 측정 결과는 그림 6 및 그림 7에 제시하였다.

디지털 TV 튜너는 이중 주파수 변환을 이용하므로 잡음 측정기로 정확한 잡음 지수 측정이 어려움으로 인하여 식 (1)과 같은 실험식을 이용하여 잡음 지수를 계산하였다. −80 dBm의 입력 신호(Cable Loss 무시)를 인가하여 최종 출력 단에서의 CNR (Carrier-to-Noise Ratio)을 VHF_LOW, VHF_HIGH 및 UHF 대역에서 측정(RBW=100 kHz)하

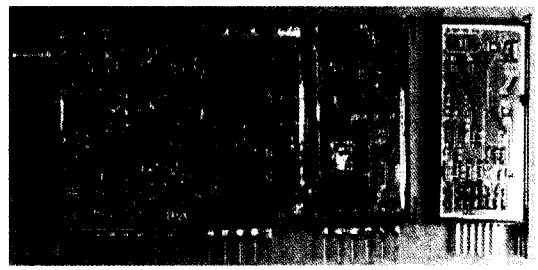

그림 5. 제작된 디지털 TV 튜너(후면, 14.5×4×1.5 cm)

Fig. 5. The implemented digital TV tuner(back part, 14.5×4×1.5 cm).

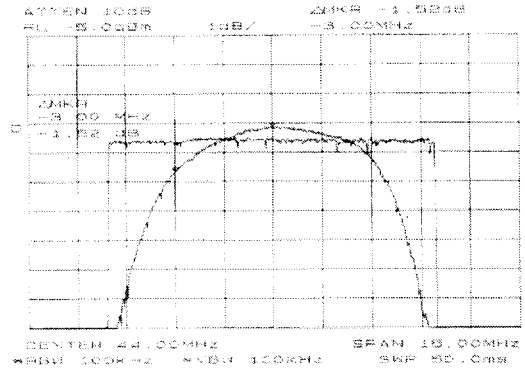

그림 6. 튜너 통과 대역의 이득 평탄도(@CH.2)

Fig. 6. The gain flatness of the tuner's pass band (@CH.2).

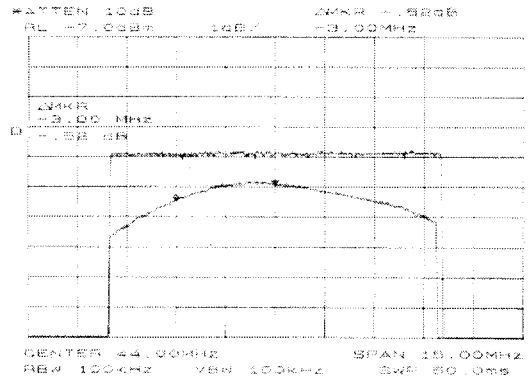

그림 7. 튜너 통과 대역의 이득 평탄도(@CH.14)

Fig. 7. The gain flatness of the tuner's pass band (@CH.14).

였다.

CNR(Carrier-to Noise Ratio)을 이용한 수신기의

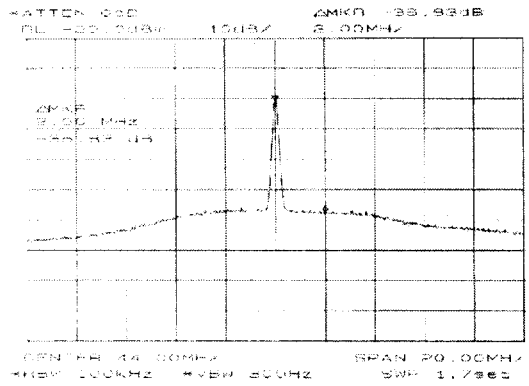

그림 8. 튜너 출력단의 CNR(@CH.2)

Fig. 8. The CNR of the tuner at the output port (@CH.2).

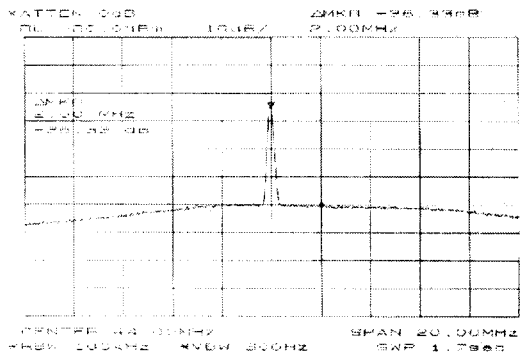

그림 9. 튜너 출력단의 CNR(@CH.7)

Fig. 9. The CNR of the tuner at the output port (@CH.7).

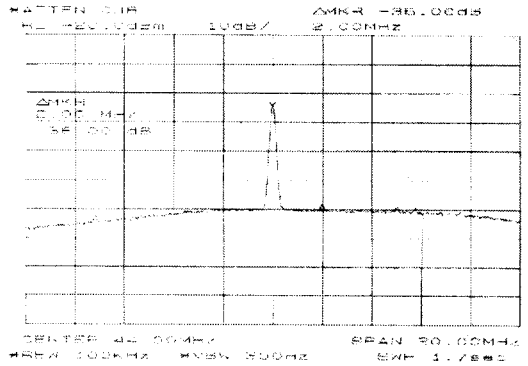

그림 10. 튜너 출력단의 CNR(@CH.16)

Fig. 10. The CNR of the tuner at the output port (@CH.16).

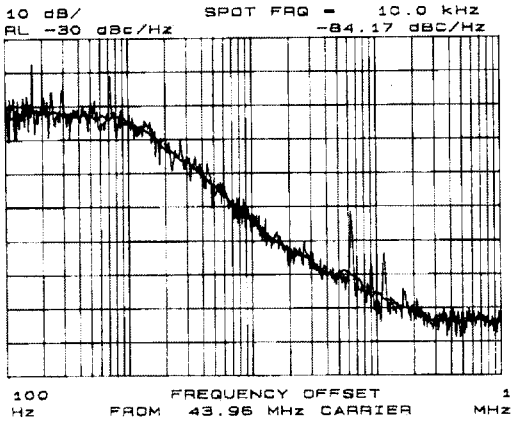

그림 11. 튜너 출력단의 위상 잡음(@CH.2)

Fig. 11. The phase noise of the tuner at the output port(@CH.2).

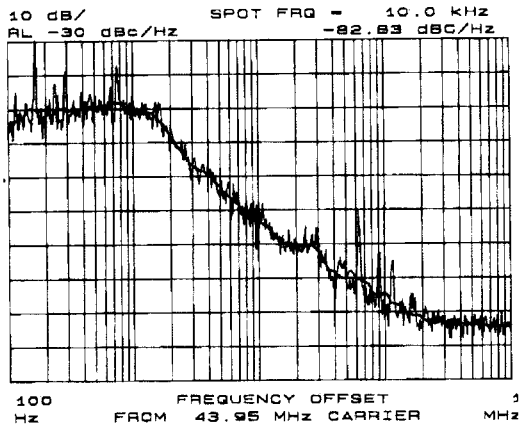

그림 12. 튜너 출력단의 위상 잡음(@CH.69)

Fig. 12. The phase noise of the tuner at the output port(@CH.69).

근사화 된 잡음 지수의 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{잡음지수} \fallingdotseq \text{RF 입력 전력} + 174\,\text{dBm/Hz} - 10\,\text{Log}(\text{RBW/Hz}) + \text{CNR} \quad (1)$$

위의 식 (1)을 이용하여 측정된 최대 잡음 지수는 VHF_LOW 대역에서는 7.17 dB를, VHF_HIGH 대역에서는 7.67 dB를, UHF 대역에서는 8 dB를 얻었고, CNR 측정 결과는 그림 8, 그림 9 및 그림 10에 각각 나타내었다.

디지털 TV 튜너의 주파수 합성부는 두 개의 위상동기루프를 이용하여 주파수 상향 변환 및 주파수 하향 변환을 수행한다. 채널 2번 및 69번에 대한 튜너 출력단(44 MHz)에서 위상 잡음(@10 kHz) 측정 결과는 그림 11및 그림 12에 나타내었고, 각각 -84.17 (@10 kHz) 및 -82.83(@10 kHz) 특성을 얻어 본문에 제시한 규격을 만족하였다.

자체 개발한 지상파 디지털 방송용 송신 모듈레이터 및 주파수 상향기를 이용하여 실제적인 8-VSB 방송 신호를 인가하여 튜너 출력 단에서의 특성을 측정하였다. 현재 디지털 시험 방송 채널로 잠정 책정된 채널 14번에서의 송신 모듈레이터 및 주파수 상향기의 출력 특성은 그림 13과 같이 -37.1 dBm을 나타내었다.

튜너 출력 단에서의 8-VSB 변조된 신호를 측정하기 위하여 송신 모듈레이터 및 주파수 상향기의 출력 단 및 튜너 입력 단자 사이에 감쇠기를 추가하

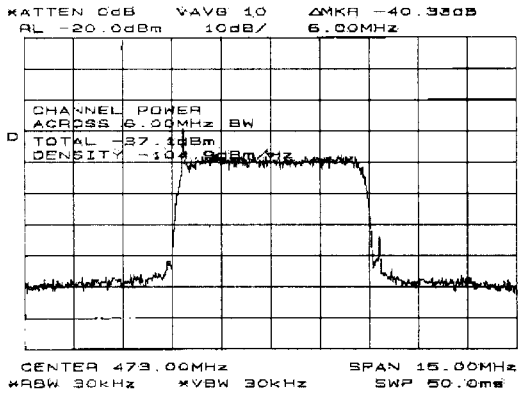

그림 13. 측정된 송신 주파수 상향기 출력 8-VSB 파형(출력 전력 = -37.1 dBm, @CH.14)

Fig. 13. The measured output 8-VSB signal of the transmitted up-converter(Pout = -37.1 dBm, @CH.14).

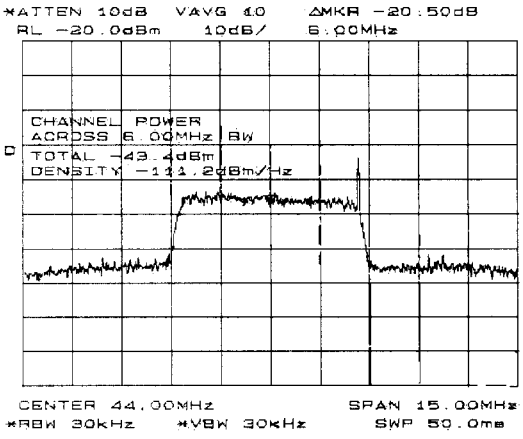

그림 14. 튜너의 8-VSB 출력 특성(입력 전력 = -80 dBm, 출력 전력 = -43.4 dBm, @CH.14)

Fig. 14. The 8-VSB characteristic of the tuner's output(Pin = -80 dBm, Pout = -43.4 dBm, @CH.14).

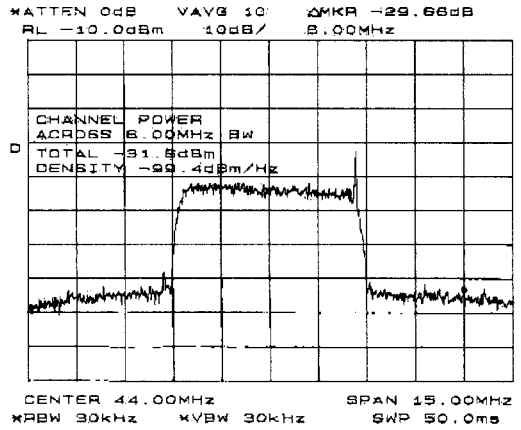

그림 15. 튜너의 8-VSB 출력 특성(입력 전력 = -70 dBm, 출력 전력 = -31.6 dBm, @CH.14)

Fig. 15. The 8-VSB characteristic of the tuner's output(Pin = -70 dBm, Pout = -31.6 dBm, @CH.14).

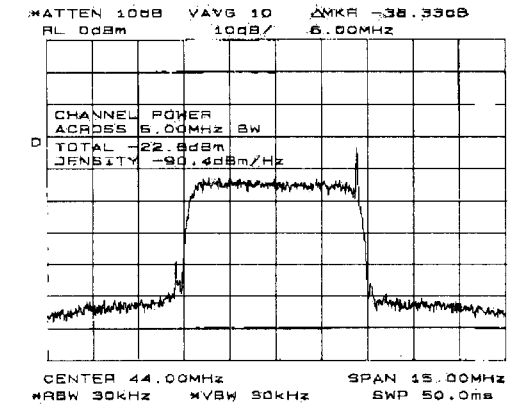

그림 16. 튜너의 8-VSB 출력 특성(입력전력 = -60 dBm, 출력 전력 = -22.6 dBm, @CH.14)

Fig. 16. The 8-VSB characteristic of the tuner's output(Pin = -60 dBm, Pout = -22.6 dBm, @CH.14).

여 튜너 입력 전력을 변화(Pin = -80 dBm, -70 dBm, -60 dBm, -50 dBm) 시켰다. 튜너 입력 전력 변화에 따른 측정 결과는 그림 14, 그림 15, 그림 16 및 그림 17에 각각 나타내었고, 그림들에서 보듯이 8-VSB 입력 신호의 크기에 따라 단지 신호와 잡음이 증폭된 형태로 주파수 변환되어 출력됨을 알 수 있다.

주파수 상/하향부의 국부 전력 및 하모닉 성분들에 의한 안테나 입력 단자로의 누설 전력은 다른 통신 시스템에 영향을 주는 성분으로 FCC에 의하여 엄격히 제한하는 요소이다. VHF_LOW, VHF_HIGH 및 UHF 대역 각각에서의 최대 LO 누설 전력의 측정 결과는 그림 18, 그림 19 및 그림 20에 나타냈듯이 -74.17 dBm(@VHF_LOW 대역), -62.33 dBm(@VHF_HIGH 대역) 및 -70.83 dBm (@UHF 대역)을 얻어 FCC 규격(-60 ~ -80 dBm)을 만족하였다.

디지털 TV 튜너의 선형성을 측정하기 위하여 In-band IM3(3rd Inter-modulation) 특성을 측정하였다. 입력 신호는 원하는 방송 채널의 중심 주파수

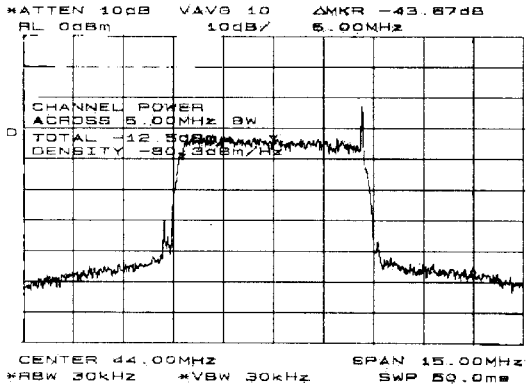

그림 17. 튜너의 8-VSB 출력 특성(입력 전력 = -50 dBm, 출력 전력 = -12.5dBm, @CH.14)

Fig. 17. The 8-VSB characteristic of the tuner's output(Pin = -50 dBm, Pout = -12.5 dBm, @CH.14).

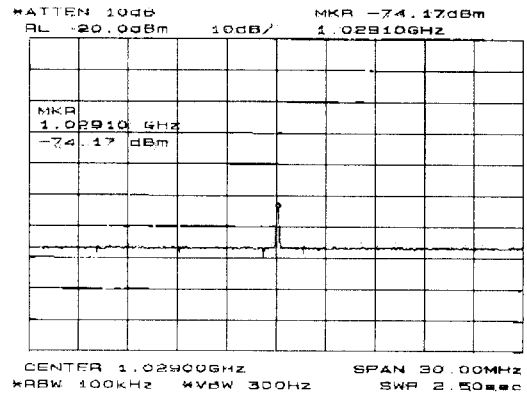

그림 18. 안테나 입력 단자에서의 측정된 LO 누설 전력(@VHF_LOW 대역)

Fig. 18. The measured LO leakage power at the antenna's input port(@ VHF low band).

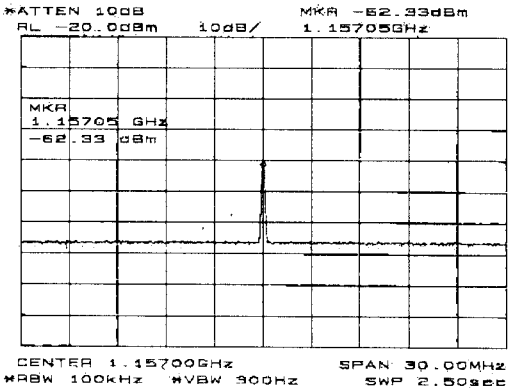

그림 19. 안테나 입력 단자에서의 측정된 LO 누설 전력(@VHF_HIGH 대역)

Fig. 19. The measured LO leakage power at the antenna's input port(@ VHF high band).

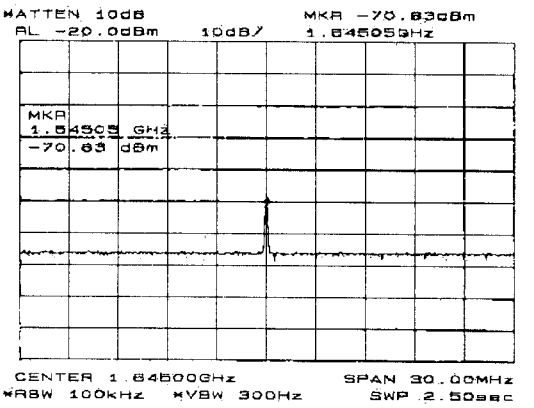

그림 20. 안테나 입력 단자에서의 측정된 LO 누설 전력(@UHF 대역)

Fig. 20. The measured LO leakage power at the antenna's input port(@ UHF band).

및 이보다 1 MHz 위에 위치한 신호를 인가(@Pin=-50 dBm 인가)하여 VHF_LOW, VHF_HIGH 및 UHF 대역에서 각각 측정하여 -58 dBc(@VHF_LOW), -63 dBc(@VHF_HIGH) 및 -59.33 dBc (@UHF) 특성을 얻어 선형성이 우수함을 알 수 있고, 측정 결과는 그림 21, 그림 22및 그림 23에 각각 나타내었다.

표 3은 단지 이중 주파수 변환을 이용한 현재 상용 디지털 방송용 튜너(Alps사 및 Panasonic사)의 측정 결과를 나타내었고, 표 4는 본 논문에서 제작

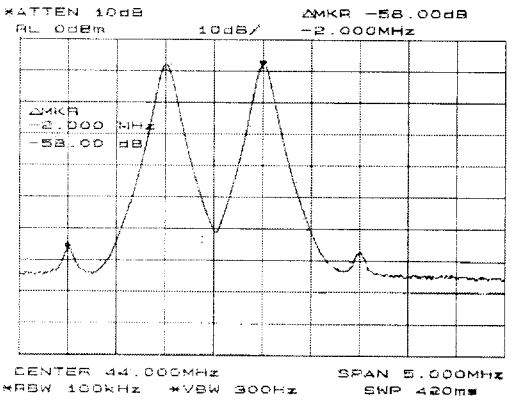

그림 21. 측정된 통과 대역 내 튜너의 IM3 특성(@ VHF low 대역)

Fig. 21. The measured IM3 of the tuner's in-band (@VHF low band).

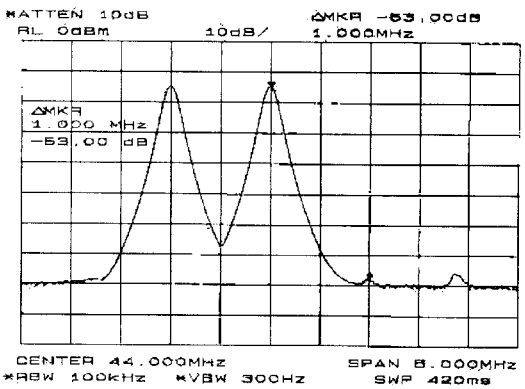

그림 22. 측정된 통과 대역 내 튜너의 IM3 특성 (@ VHF high 대역)

Fig. 22. The measured IM3 of the tuner's in-band (@VHF high band).

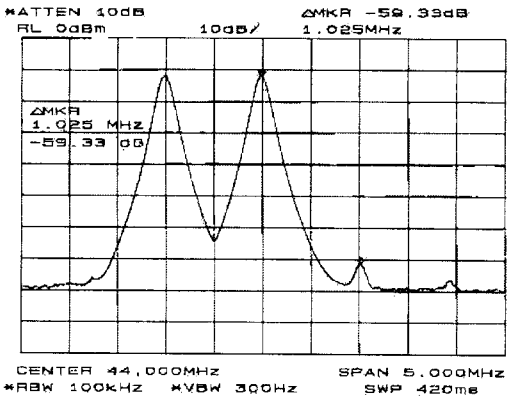

그림 23. 측정된 통과 대역 내 튜너의 IM3 특성(@ UHF 대역)

Fig. 23. The measured IM3 of the tuner's in-band (@UHF band).

표 3. 상용 튜너 측정 결과 요약

Table 3. The summary of the commercial tuner's measurement result.

항 목	측정 결과
입/출력 반사계수	-5 dB / -10 dB(P) -6 dB / -9 dB(A)
잡음 지수:	7~9.5 dB(P) 7.5~9.5 dB(A)
전체 위상 잡음: (@ 44 MHz output)	-80~-85 dBc / Hz @10 kHz offset(A, P)
In Band 이득 평탄도: (@ 41~47 MHz)	2 dB peak-to-peak(A,P)
LO leakage to input: (@2nd LO & 1st LO)	< -48.75 dBm(A) < -58.75 dBm(P)
Spurious leakage to input: (@54~806 MHz)	< -85.75 dBm(P) < -93.75 dBm(A)
Image Rejection	> 60 dBc(A, P)
채널 대역 외 IM3: fud=fd±12 MHz, and fd24±MHz @입력 전력=-49 dBm, AGC=최소 감쇠 상태	< -74 dBm(A)
채널 대역 내 IM3: 2톤 입력(fd, fd+1MHz) @입력 전력=-49 dBm, AGC=최소 감쇠 상태	< -62 dBc(A)

(참조) A: ALPS 튜너, P: Panasonic 튜너

표 4. ETRI 튜너 측정 결과 요약

Table 4. The summary of the ETRI tuner's measurement result.

항 목	측정 결과
입/출력 반사계수	-6 dB / -10 dB
잡음 지수 측정: VHF_LOW VHF_HIGH UHF	 <7.17 dB <7.67 dB <8 dB
입력 P1dBc @front-end	> -5 dBm
전체 위상 잡음: (@44 MHz output)	< -82 dBc / Hz @10 kHz offset
In Band 이득 평탄도: (@41 ~ 47 MHz)	0.52 ~ 1.52 dB
LO leakage to input: (@2nd LO & 1st LO)	VHF_LOW: < -74.17 dBm VHF_HIGH: < -62.33 dBm UHF: < -70.83 dBm
Spurious leakage to input: (@54 ~ 806 MHz)	< -97.83 dBm
Image Rejection	>70 dBc
채널 대역 외 IM3: fud = fd ± 12 MHz, and fd ± 24 MHz @입력 전력 = -49 dBm, AGC = 최소 감쇠 상태	< -82.83 dBm
채널 대역 내IM3: 2톤 입력(fd, fd+1 MHz) @입력 전력 = -49 dBm, AGC = 최소 감쇠 상태	VHF_LOW: < -58 dBc VHF_HIGH: < -63 dBc UHF: < -59.33 dBc

한 이중 주파수 변환 방식 및 트래킹 필터를 이용한 디지털 방송용 튜너의 측정 결과를 나타내었다. 결론적으로 표 2에 제시한 디지털 TV 튜너 규격 및 통과 대역 내외에서의 IM3 측정과 입력 단에서의 LO 누설전력 등과 같은 수신기 선형성 측정 결과에서 보듯이 개발된 튜너가 우수한 특성을 나타냄을 알 수가 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 아날로그와 디지털 방송의 동시 방송으로 인한 수신 전파 간섭 영향을 최소화 하기 위하여 이중 주파수 변환 방식을 이용하여 IF Beat 및 이미지 응답 특성을 억압하였고, Tuner 전치 단에 능동 트래킹 여파기를 추가하여 인접 채널과 다채널 수신 시 간섭 신호들에 의한 IMD(Intermodulation) 성분을 억압하였다. 또한 트래킹 필터 및 전압제어 발진기 사이의 주파수 매핑 관계를 간단한 하드웨어의 추가 및 LUT를 이용하여 소프트웨어적으로 자동 주파수 채널 선택이 가능하도록 하였다.

결론적으로 상기 특성들 외에도 디지털화에 따른 넓은 동작 범위, 통과 대역(RF 채널 대역폭=6 MHz)의 평탄도 및 우수한 위상 잡음 특성이 요구되는 디지털 TV 튜너를 구현하여 ATSC 성능 규격을 만족하는 결과를 얻었다.

앞으로 디지털 TV 튜너 전체의 위상 변화 및 위상 잡음의 이론적 고찰을 통한 시뮬레이션을 통하여 방송 수신 감도 및 BER(Bit Error Rate)에 미치는 영향을 분석해야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 한국전자통신연구원, 지상파 디지털 방송전환 세부계획에 관한 연구, 1998.12.

[2] ITU-R Doc. 11-3/27-E, *ATSC Digital Television Standard*, 1996. 3. 15.

[3] CRC, *Studies on Canadian Digital Terrestrial Television*, 1998.7.

[4] Jay Bao et al, "An ATV Receiver Tuner," *ICCE Conference*, pp. 152-153, 1996. 6.

[5] Alex Davidson, et al, "Front-end of a Digital ATV Receiver," *ICCE Conference*, pp. 294-295, 1996. 6.

[6] W. Bretl, et al, VSB Modem Subsystem Design for Grand Alliance Digital Television Receiver," *ICCE Tran.* pp. 773-786, 1999. 5. 6.

[7] 정영준 외 3, "지상파 디지털 방송용 TV Tuner 설계 및 구현," 한국전자파학회 1999년 추계 마이크로파 및 전파 학술대회, pp. 365-368, 1999. 9.

정 영 준

1992년 2월: 제주대학교 전자공학과(공학사)
1994년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학석사)
1994년 3월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 RF 기술연구팀 선임연구원
[주 관심분야] 이동통신 RF 회로 설계 및 시스템 시뮬레이션, 디지털 방송 RF

김 재 영

1990년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학석사)
1996년 8월: 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1994년 7월~1999년 3월: (주)대우전자
1999년 3월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 RF기술연구팀 선임연구원
[주 관심분야] 이동통신 RF 회로 설계 및 디지털 방송 RF 수신기

최 재 익

1981년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)
1983년 8월: 고려대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학박사)
1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 책임연구원, 전파기술연구부장
[주 관심분야] 이동통신 및 위성 통신 시스템, 디지털 변복조

박 재 홍

1978년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학사)
1980년 8월: 서울대학교 전자공학과(공학석사)
1995년 2월: 서울대학교 전자공학과(공학박사)
1979년 12월~1985년 6월: 국방과학연구소
1985년 7월~현재: 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 책임연구원, 방송기술연구부장
[주 관심분야] 이동통신 및 위성 통신 시스템, 디지털 방송 시스템