

지상파 방송의 단일주파수 방송망 구성을 위한 기술

Technology for Single Frequency Network of ATSC Terrestrial DTV Broadcasting

박성익(S.I. Park)	DTV시스템연구팀 연구원
이용태(Y.T. Lee)	DTV시스템연구팀 선임연구원
김흥목(H.M. Kim)	DTV시스템연구팀 선임연구원
음호민(H.M. Eum)	DTV시스템연구팀 연구원
서재현(J.H. Seo)	DTV시스템연구팀 연구원
김승원(S.W. Kim)	DTV시스템연구팀 책임연구원, 팀장

본 고에서는 미국식(ATSC) 지상파 디지털 TV 방송을 단일 주파수 망(SFN)을 통해 서비스하기 위해 필요한 기술적인 사항에 대하여 고찰하고, ATSC 방송 방식에서 SFN을 구성하기 위한 방법을 제안한다. SFN 구성은 방송 주파수의 이용 효율을 높이고, 방송 구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장한다. 이러한 SFN 구성을 위한 기술은 복수 개의 송신기를 이용하는 방법(DTX)과 복수 개의 디지털 동일 채널 중계기(DOCR)를 이용하는 방법으로 나뉘어진다. ATSC 방식에서는 두 가지 방법 모두 사용하여 SFN 구성이 가능하나, 복수 개의 송신기를 이용하는 방법은 현재의 기술 기준을 변경해야 한다는 제약이 따른다. 반면 다수 개의 DOCR를 이용하는 방법은 기존의 송신기와 함께 SFN 구성이 가능하여 망 구성이 용이하다.

I. 서론

일반적으로 방송 서비스를 위해서는 주변 지형, 지물에 따라 그리고 방송사의 방송 구역에 따라 송신기 혹은 중계기를 배치한다. 현재 미국식 지상파 디지털 TV 방송은 각각의 송신기 혹은 중계기마다 다른 주파수를 부여하여 방송망을 구성하는 복수 주파수 망(Multiple Frequency Network: MFN)을 통해 서비스되고 있다. 그러나 MFN을 통해 방송 신호를 전송하면 동일 주파수 간섭이 없는 원거리 지역을 제외하고는 같은 주파수를 재사용할 수 없기 때문에 주파수 이용 관점에서 비효율적이다.

만약 복수 개의 송신기 혹은 중계기가 단일 주파수 망(Single Frequency Network: SFN)을 통해 방송 신호를 전송하면 근거리 지역에서도 같은 주파수를 재 사용할 수 있으므로 주파수 이용 효율이 높

아진다. 이러한 SFN을 구성하는 방법에는 복수 개의 송신기를 사용하는 방법과 단일 송신기와 복수 개의 동일 채널 중계기(on-channel repeater)를 이용하는 방법이 있다.

최근 미국식 지상파 디지털 TV 수신 기술의 발전으로 인해 전송 채널 환경에서 발생하는 다중 경로 신호를 제거할 수 있는 능력이 개선되었을 뿐만 아니라 0dB 고스트 신호를 제거할 수 있는 수신기들이 개발되고 있다[1],[2]. 따라서 미국식 지상파 디지털 TV 방송에서도 SFN을 통해 방송을 하는 것이 기술적으로 용이해졌으며, 이러한 SFN 연구는 현재 국내는 물론 미국, 캐나다에서 진행중에 있다 [3]-[8].

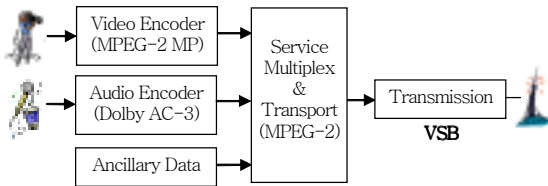
본 고에서는 미국식 지상파 디지털 TV 방송 신호를 SFN을 통해 전송하기 위해 필요한 요구 사항을 분석하고, 그 해결 방안을 제시한다.

II. 미국식 지상파 디지털 TV 방송

1. ATSC 방송 시스템

우리 나라의 지상파 디지털 TV 방송 방식의 전송 표준은 미국식(Advanced Television Systems Committee: ATSC) 지상파 디지털 TV 방송 표준인 ATSC A/53 규격을 채택했다[9]. ATSC 방송 시스템은 (그림 1)과 같은 구성을 갖는다.

이러한 ATSC 송신시스템은 영상 신호, 음성 신호 및 제어 신호 등을 생성하여 다중화(multiplexing)는 방송국, 방송 신호를 송신기로 전송하는 트랜스포트(transport), 트랜스포트를 통해 전송된 방송 신호를 채널 부호화하고 변조하여 송신하는 송신기로 구성된다. 트랜스포트를 통해 송신기에 입력되는 디지털 데이터는 19.39Mbps의 전송률을 가지며, 188바이트(byte)의 패킷으로 구성이 되고, 이를 MPEG-2 TS(Transport Stream)라 부른다. 이런 MPEG-2 TS는 (그림 2)와 같은 8-VSB 송신기에서 채널 부호화 및 8-VSB 변조를 거쳐 원하는 주파수 대역으로 천이되고 고전력 증폭기와 송신 안테나를 통해 전송된다. 8-VSB 수신기는 (그림 3)과 같이 구성되는데 튜너(tuner)를 통해 여러 방송국에서 전송된 신호를 선별하고, 송신과정의 역과정을 거쳐 신호를 복원한다. 자세한 채널 부호화/복호화 및 VSB 변복조 과정은 참고문헌 [9], [10]에 나타난다.

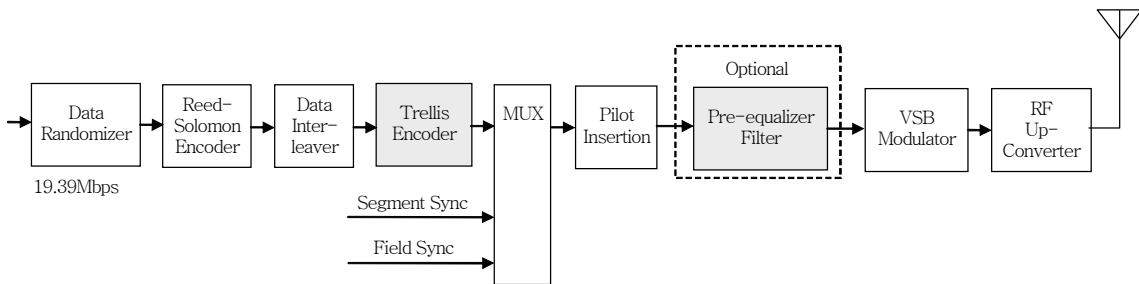


(그림 1) ATSC 방송 시스템

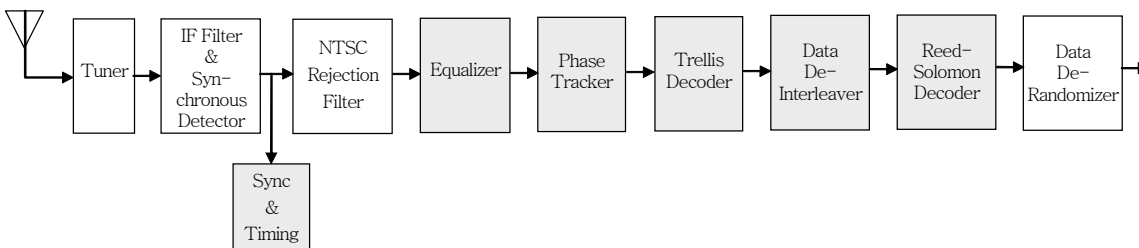
트(byte)의 패킷으로 구성이 되고, 이를 MPEG-2 TS(Transport Stream)라 부른다. 이런 MPEG-2 TS는 (그림 2)와 같은 8-VSB 송신기에서 채널 부호화 및 8-VSB 변조를 거쳐 원하는 주파수 대역으로 천이되고 고전력 증폭기와 송신 안테나를 통해 전송된다. 8-VSB 수신기는 (그림 3)과 같이 구성되는데 튜너(tuner)를 통해 여러 방송국에서 전송된 신호를 선별하고, 송신과정의 역과정을 거쳐 신호를 복원한다. 자세한 채널 부호화/복호화 및 VSB 변복조 과정은 참고문헌 [9], [10]에 나타난다.

2. MFN과 SFN

현재의 8-VSB 지상파 TV 송신기는 근거리 지역에서 같은 주파수 자원을 재사용(reuse) 할 수 없는 MFN을 통해 신호를 전송하므로 주파수 자원 활용 측면에서 SFN 보다 비효율적이라고 할 수 있다. (그림 4)는 8개의 주파수를 사용했을 때의 MFN 주파수 배치를 나타내며, (그림 5)는 기존 송/중계기를 이용한 MFN 방송 서비스의 개념도를 나타낸다. (그림 5)에서 주송신기는 방송 신호를 송신 주파수 A를 통해 신호를 송출하고, 각각의 송/중계기는 송신 주



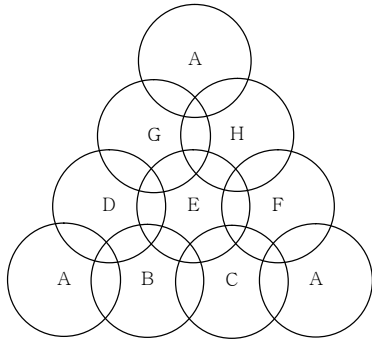
(그림 2) VSB 송신기



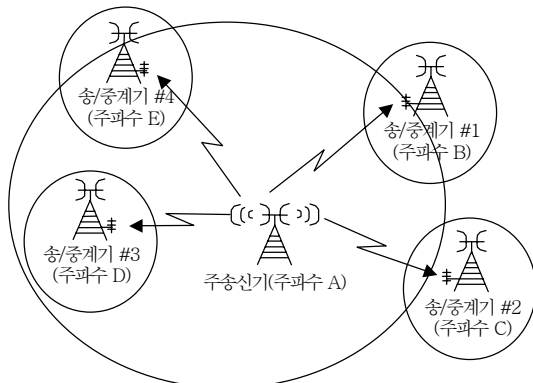
(그림 3) VSB 수신기

파수 A와 다른 주파수로 신호를 중계한다.

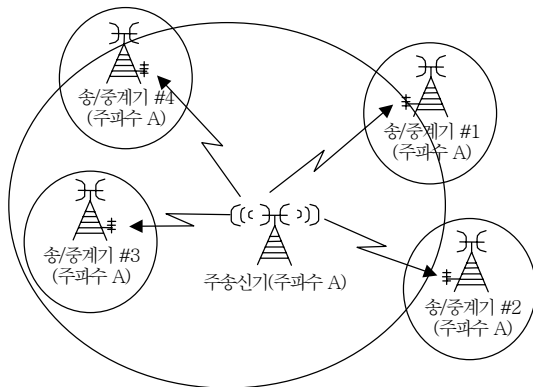
현재 미국식 지상파 디지털 TV 방송 서비스는 (그림 5)와 같이 각각의 송/중계기마다 다른 주파수를 부여하여 주송신기 신호의 난시청 지역을 해소하



(그림 4) 8개의 주파수를 사용한 MFN의 주파수 배치도



(그림 5) 기존 송/중계기를 이용한 MFN 방송 서비스의 개념도



(그림 6) 동일 주파수를 사용하는 송/중계기를 이용한 SFN 방송 서비스의 개념도

거나 방송 구역을 증가시키고 있다. 그러나 각각의 중계기가 복수 개의 주파수 대역을 사용하게 되므로 많은 주파수 자원이 필요하게 된다.

(그림 6)은 주파수 비효율성을 해결하기 위해 다수의 송신기 혹은 중계기가 같은 주파수를 사용하는 방송망, 즉 SFN으로 구성된 방송망을 보여주고 있다[5],[11]. (그림 6)에서 주송신기는 방송 신호를 송신 주파수 A를 통해 신호를 송출하고, 각각의 송/중계기는 송신 주파수 A와 같은 주파수로 신호를 중계한다. 이러한 SFN을 사용하면 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있을 뿐만 아니라 방송 신호의 평균적인 전계 강도도 높일 수 있다.

III. DTX를 이용한 SFN 구현

1. DTX로 SFN 구성을 위한 요구 사항

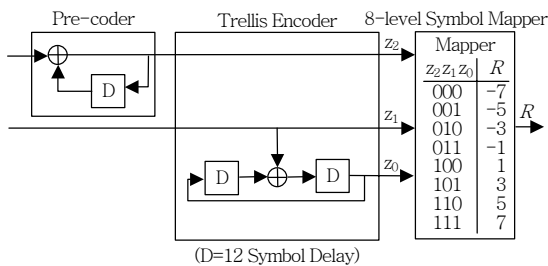
지상파 디지털 TV 방송 신호를 DTX(Distributed Transmitter)로 구성된 SFN을 통해 전송하기 위해서는 다음과 같은 세 가지의 조건을 만족하여야 한다 [4],[5].

첫째, 복수의 송신기는 동일한 주파수를 통해 신호를 전송해야 한다. 만약 송신기들의 송신 주파수가 다르다면 도플러 시프트(doppler shift) 성질을 가지는 고스트 신호 성분을 야기시키고, 이것은 수신기의 적응 등화기(adaptive equalizer)의 성능 저하의 요인으로 작용하게 된다.

둘째, 복수의 송신기들은 동일한 입력 신호에 대해 송신기마다 동일한 출력 신호를 가져야 한다. 그러나 기존의 8-VSB 변조 방식을 사용하는 송신기는 (그림 7)과 같은 TCM 부호기 및 pre-coder로 구성된 트렐리스 부호부를 포함하고 있고 이러한 트렐리스 부호부를 구성하는 메모리의 상태에 따라 출력 신호가 결정된다. 따라서, 복수 개의 송신기에 동일한 신호가 입력되더라도 출력신호가 트렐리스 부호부의 메모리의 상태에 따라 다르게 되는 출력신호의 모호성(ambiguity)이 존재하게 된다. 그러므로 송신기들의 입력이 동일하더라도 송신기마다 상호 연관성(correlation)이 없는 전혀 다른 출력 신호를

가질 수 있게 된다. 이 경우 각 송신기에서 출력된 8-VSB 신호는 서로 부가 잡음으로 작용하게 되어 동일 채널 간섭을 야기시키는 잡음원으로 작용하게 된다. 따라서 기존의 8-VSB 송신기들로 SFN을 구성하기 위해서는 적용된 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 관계없이 송신기들이 동일한 출력 신호를 출력할 수 있는 방법이 필요하다.

셋째, 복수의 송신기들은 특정한 시간 관계를 가



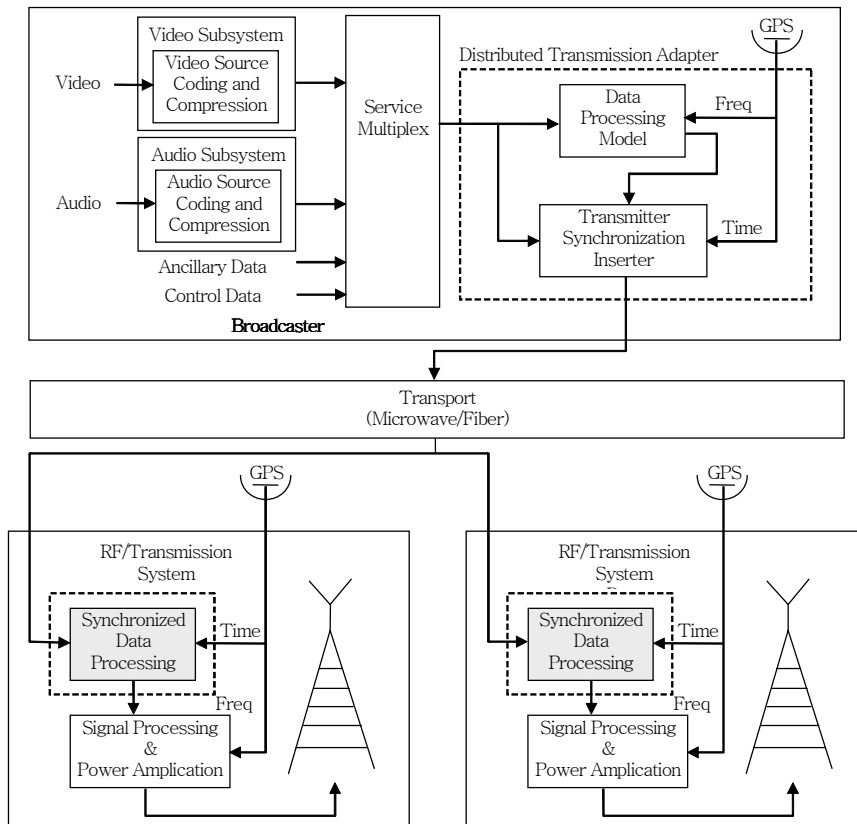
(그림 7) ATSC 표준 TCM 부호기 및 Pre-coder

지며 신호를 송신할 수 있어야 한다. 복수의 송신기에서 전송된 방송 신호는 수신기와 송신기들간의 거리 차로 인해 시간 지연이 긴 코스트를 야기할 수 있다.

2. Merrill Weiss Group의 제안

SFN을 통해 8-VSB 방송신호를 전송하기 위한 방법은 Merrill Weiss Group에 의해 “Transmitter Synchronization For Terrestrial Broadcasting” 명칭으로 ATSC 표준의 개정안으로 제안되었으며 [5], 그 구조는 (그림 8)과 같다.

Merrill Weiss Group의 제안에서는 GPS(Global Positioning System)를 사용해 주파수 동기 및 송신기 출력시간 동기를 맞추며, 방송국에서 CS(Cadence Signal) 및 TCSP(Trellis Code State Packet) 신호를 전송하여 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 따른 출력 신호의 모호성을 제거한다. 자세한 동작 과정은



(그림 8) Merrill Weiss Group이 제안하는 송신 시스템

참고문헌 [5]에 나타난다.

상기 방법에서는 트렐리스 부호부의 메모리 상태에 관한 정보인 TCSP 신호를 전송하기 위해 방송국에서 MPEG-2 TS 신호를 데이터 랜더마이저, RS 부호기, 데이터 인터리버, 트렐리스 부호기 등으로 구성된 별도의 데이터 처리 장치를 통과시켜 TCSP 정보를 추출해야 하며, 송신기에서는 STL(Studio to Transmitter Links)을 통해 수신된 TCSP 신호로부터 트렐리스 부호부의 메모리 값을 추출하여 트렐리스 부호부로 삽입하는 장치 등이 필요하다. 이와 같이 SFN을 구성하기 위해 기존의 8-VSB 송신 시스템에 추가된 부분은 (그림 8)에서 점선으로 표시되어 있다.

IV. DOCR을 이용한 SFN 구현

1. DOCR 구현을 위한 요구 사항

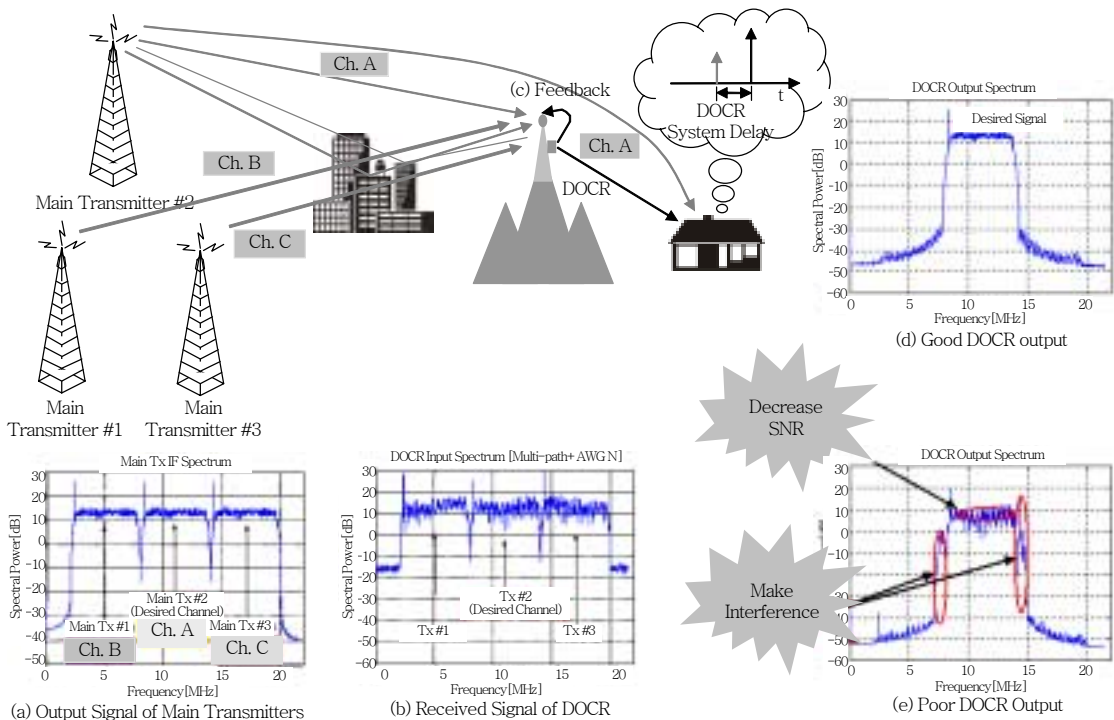
DOCR(Digital On-Channel Repeater)은 주송

신기의 방송 신호가 약하게 수신되는 지역에 설치하여 난시청 지역을 해소하고 주송신기 신호의 전송 영역을 넓히는 역할을 한다. 일반적으로 DOCR은 수신 안테나, 수신부, 신호 처리부, 송신부, 그리고 송신 안테나로 구성되며, 잘 디자인된 DOCR은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

첫째, DOCR 송/수신 신호의 주파수는 동일해야 한다. 만약 주송신기 송신 신호와 DOCR 송신 신호의 주파수가 다르다면 도플러 시프트 성질을 가지는 고스트 신호 성분을 야기시키고, 이것은 수신기의 적응 등화기의 성능 저하의 요인으로 작용하게 된다.

둘째, DOCR 송/수신 안테나의 높은 분리도(isolation)를 확보해야 한다. 만약 DOCR 송수신 안테나의 분리도가 충분히 확보되지 못하면, (그림 9) (c)처럼 DOCR 송신 신호가 수신 안테나로 궤환(feedback)된다. 이러한 궤환 신호는 HPA의 발진을 야기시켜 DOCR 송신 신호의 품질을 열화시키고 DOCR 출력 파워를 감소시킨다.

셋째, DOCR은 좋은 입력 신호 선택성(selectivity)



(그림 9) DOCR 출력 신호의 특성

과 좋은 출력 신호 품질을 가져야 한다. 즉, DOCR 수신 신호가 (그림 9) (b)처럼 인접 채널이 존재하고 원하는 채널이 AWGN 및 다중경로로 인해 왜곡되더라도, DOCR 출력 신호는 (그림 9) (d)처럼 좋은 품질과 선택성을 가져야 한다. 이러한 요구사항을 만족하기 위해 DOCR은 다중경로/AWGN 및 인접채널을 제거하는 능력을 가져야 한다. 만약 이러한 제거 능력이 없다면, DOCR 출력 신호는 (그림 9) (e)처럼 보이게 된다. (그림 9) (e)의 잔존하는 다중경로 및 AWGN 성분들은 송신 SNR을 열화시켜 DOCR 방송 구역을 감소시키고, 잔존하는 인접채널 성분은 인접채널 간섭을 야기한다.

넷째, DOCR은 짧은 시간지연을 가져야 한다. 만약 DOCR의 시간지연이 길다면, 기존 수신기에 시간지연이 긴 pre-ghost를 생성시켜 수신기 적응 등화기의 성능 저하의 요인으로 작용하게 된다.

2. 기존의 DOCR

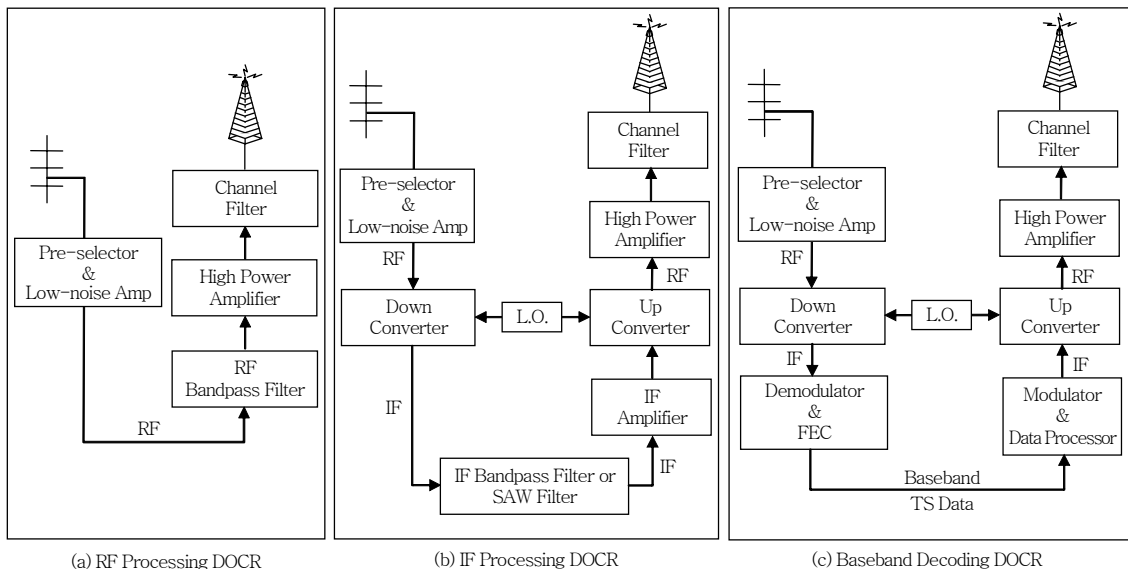
가. 기존 DOCR의 구조

(그림 10)은 기존 DOCR들의 구조를 나타낸다. (그림 10) (a)는 RF(Radio Frequency) processing DOCR을 나타낸다. RF processing DOCR의 수신

부는 pre-selector와 LNA(Low-Noise Amplifier)로, 신호 처리부는 RF BPF(Band Pass Filter)로, 송신부는 HPA(High Power Amplifier)와 채널 필터로 각각 구성된다. 이러한 RF processing DOCR은 주파수 상/하향 변환이 없을 뿐만 아니라 간단한 구조와 낮은 시스템 지연(약 0.5~1 μ s)을 가진다.

(그림 10) (b)는 IF(Intermediate Frequency) processing DOCR을 나타낸다. IF processing DOCR의 수신부는 pre-selector, LNA, 그리고 주파수 하향 변환기로, 신호 처리부는 IF BPF 또는 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터로, 송신부는 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 구성된다. 이러한 IF processing DOCR 역시 간단한 구조와 낮은 시스템 지연(약 1~2 μ s)을 가질 뿐만 아니라 RF processing DOCR 보다 BPF의 선택(selective) 특성이 더 우수하다. 하지만, DOCR 송/수신 신호의 동기(synchronization)를 위해 주파수 상/하향 변환기는 동일한 LO(Local Oscillator)를 사용해야 하고, 이러한 LO로 인한 위상(phase) 잡음이 DOCR 송신 신호에 더해진다.

(그림 10) (c)는 baseband decoding DOCR을 나타낸다. Baseband decoding DOCR의 수신부는 pre-selector, LNA, 주파수 하향 변환기, 그리고



(그림 10) 기존 DOCR의 구조

복조기로, 신호 처리부는 등화기, FEC(Forward Error Correction) 복호기, 그리고 데이터 처리기로, 송신부는 변조기, 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 구성된다. 이러한 baseband decoding DOCR은 주송신기와 DOCR 간의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거할 수 있기 때문에 DOCR 출력 신호의 특성이 입력 신호보다 우수하다. 하지만, 데이터 처리기에 사용되는(그림 7)과 같은 TCM 부호기 및 pre-coder 메모리의 모호성으로 인해 DOCR 출력 신호가 DOCR 입력 신호 즉, 주송신기 출력 신호와 다르다. DTV 수신기는 동일 주파수 대역 내에서 모호성으로 인해 야기된 신호를 잡음으로 인식하고, 이러한 잡음 신호는 수신기에서 등화기 혹은 다른 장치로도 제거되지 않는다. 또한 baseband decoding DOCR은 매우 큰 시스템 지연(7~8ms)을 가지기 때문에 일반 수신기의 등화기로는 지연된 신호를 제거하지 못한다. 이러한 이유로 baseband decoding DOCR은 실제 중계시 주송신기와 동일 채널이 아닌 다른 채널로 방송 신호를 중계한다.

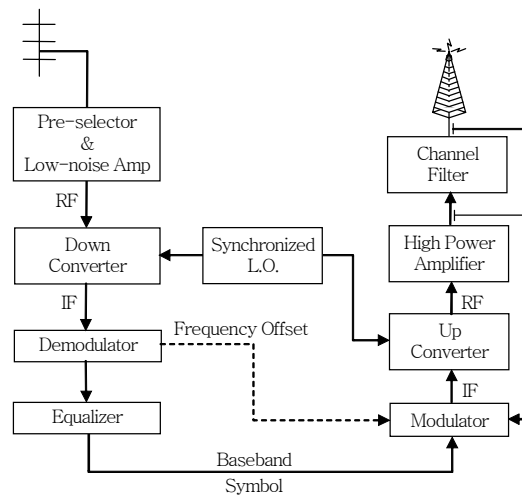
나. 기존 DOCR의 특징

<표 1>은 기존 DOCR의 특징을 나타낸다. RF processing DOCR은 송/수신 신호의 주파수가 항상 일치하고, 간단한 구조로 인해 가장 짧은 시간지연을 가진다. 하지만, 안테나 분리도, 송신 신호의 품질, 그리고 수신 신호의 선택성이 좋지 않다. IF processing DOCR은 RF processing DOCR 보다 수신신호의 선택성은 우수하지만, 그 외 다른 특성들은 좋지 않다. 마지막으로, baseband decoding DOCR은 송신 신호의 품질과 수신 신호의 선택성은 우수하지만, TCM 부호화기의 모호성으로 인해 송/

수신 동기를 유지하기가 어렵고 긴 시간지연을 가진다.

3. ETRI에서 제안한 Equalization DOCR

(그림 11)은 ETRI에서 제안한 EDOCR(Equalization DOCR)을 나타낸다. EDOCR의 수신부는 pre-selector, LNA, 주파수 하향 변환기, 그리고 복조기로, 신호 처리부는 등화기(equalizer)로, 송신부는 변조기, 주파수 상향 변환기, HPA, 그리고 채널 필터로 구성된다. ETRI에서 제안한 EDOCR은 FEC 복호 및 부호화부를 사용하지 않기 때문에 DOCR 입력 신호와 출력 신호가 다른, 즉 모호성 문제를 가지지 않으며, 고성능 등화기를 사용하여 주송신기와 DOCR 사이의 전송로에 의해 야기된 잡음 및 다중경로 신호를 제거하므로 DOCR 출력 신호의 품질이 입력신호보다 우수하다. 또한 DOCR 송/수신 안테나의 낮은 격리도로 인해 야기된 피드백 신호를 DOCR 등화기에서 제거할 수 있기 때문에 송신 출력을 높일 수 있다. 그리고 제안된 EDOCR은



(그림 11) EDOCR의 구조

<표 1> 기존 DOCR의 특징

Features DOCRs	Antenna Isolation	Time Delay	Quality of Transmitted Signal	Selectivity of Received Signal	Maintaining Synchronization
RF Processing DOCR	Bad	Short	Bad	Bad	Yes
IF Processing DOCR	Bad	Middle	Bad	Middle	Yes
Baseband Decoding DOCR	Bad	Long	Good	Good	No

<표 2> EDOCR의 특징

Features DOCRs	Antenna Isolation	Time Delay	Quality of Transmitted Signal	Selectivity of Received Signal	Maintaining Synchronization
Equalization DOCR	Good	Middle	Good	Good	Yes

상대적으로 낮은 시스템 지연(5 μ s 미만)을 가진다. EDOCR의 특징들은 <표 2>에 나타난다.

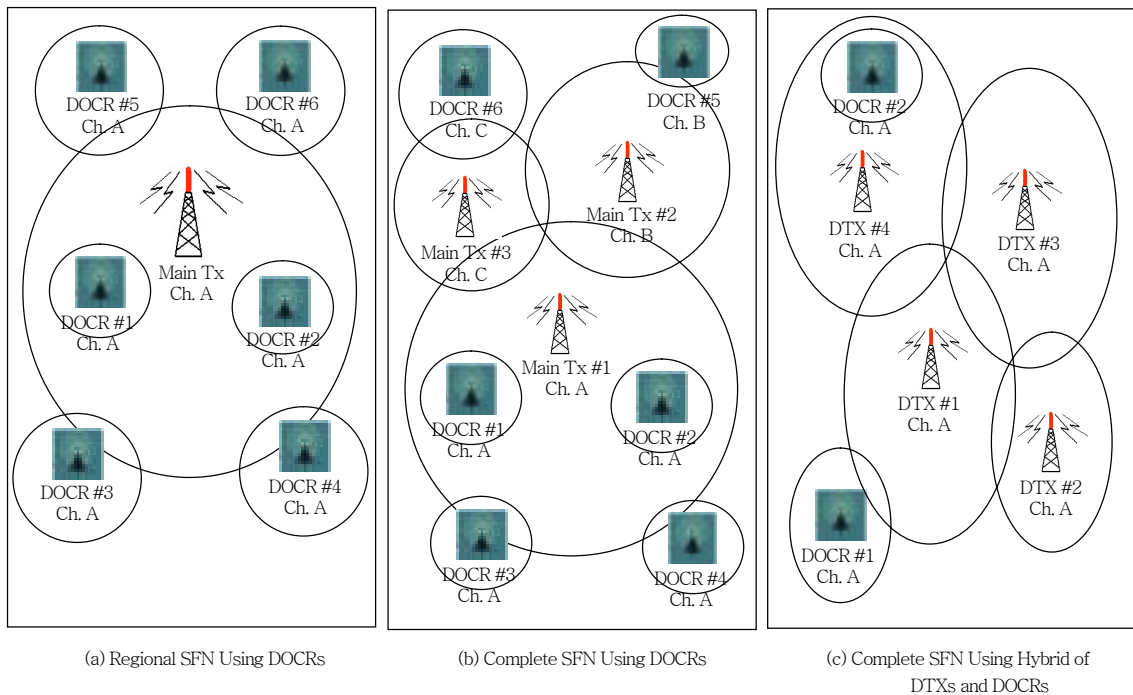
DOCR을 이용한 SFN 구현을 나타낸다.

4. DOCR을 이용한 SFN 구현

본 절에서는 DOCR을 이용한 다양한 SFN 구현 방법에 관하여 살펴본다. (그림 12) (a)는 기존 송신기들과 DOCR을 이용한 지역적인 SFN(Regional SFN: RSFN) 개념도를 나타낸다. 이러한 RSFN 구현을 위해서는 MFN에서의 중계기들이 DOCR로 바뀌어야 하고, 이는 SFN 구현을 위한 첫번째 단계이다. 완전한 SFN 구현을 위한 다음 단계는 (그림 12) (b)처럼 고출력의 주송신기 하나와 DOCR을 이용하여 SFN을 구성하는 것이다. 또한, DOCR은 Merrill Weiss Group에 의해 제안된 DTX와 혼합되어 SFN 구현을 위해 사용될 수 있다. (그림 12) (c)는 DTX와

V. 결론 및 향후 전망

지금까지 논한 바와 같이 SFN 구성은 방송 주파수의 이용 효율을 높이고, 방송구역 내에서 안정적인 전파 세기를 보장한다. 이러한 SFN 구성을 위한 기술은 DTX를 이용하는 방법과 DOCR을 이용하는 방법으로 나뉘어진다. ATSC 방식에서는 두 가지 방법 모두 사용하여 SFN 구성이 가능하나 DTX를 이용하는 방법은 현재의 기술 기준을 변경해야 한다는 제약이 따른다. 반면 다수 개의 DOCR을 이용하는 방법은 기존의 송신기와 함께 SFN 구성이 가능하여 망 구성이 용이하다. 향후 SFN의 구성을 위해서는 다양한 시뮬레이션 및 필드 테스트 등과 같은 연구가 동반되어야 할 것이다.



(그림 12) DOCR을 이용한 SFN 구현

참 고 문 헌

- [1] R. Citta, "A VSB Receiver Design for Indoor and Distributed Transmission Environments," *IEEE 52 Annual Broadcast Symposiums*, Oct. 2002.
- [2] Comm. Research Center, "Results of the Laboratory Evaluation of LINX ATSC Prototype Receiver with 8-VSB Modulation for Terrestrial Broadcasting," Ottawa, Apr. 2002.
- [3] K. Salehian, M. Guillet, B. Carson, and A. Kennedy, "On-Channel Repeater for Digital Television Broadcasting Service," *IEEE Trans. on Broadcasting*, June 2002.
- [4] R.W. "Sam" Zborowski, "Single Frequency Network Technique for Use with On-Channel Boosters for DTV Broadcast," *NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings*, 2001.
- [5] Merrill Weiss Group, "Transmitter Synchronization for Terrestrial Broadcasting," ATSC Document, T3/S9, Sep. 20, 2002.
- [6] 박성익, 이용태, 김승원, 이수인, "단일 주파수 망을 이용한 미국식 지상파 디지털 TV 방송서비스를 위한 방법 연구," 방송공학회논문지, 제8권 제2호, 2003, pp.109-115.
- [7] Y.T. Lee, S.I. Park, H.M. Eum, H.N. Kim, S.W. Kim, and S.I. Lee, "A Novel Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network in ATSC System," *NAB Broadcast Engineering Conference Proceedings*, 2004, pp.128-133.
- [8] Y.T. Lee, S.I. Park, S.W. Kim, and J.S. Seo, "ATSC Terrestrial Digital Television Broadcasting Using Single Frequency Networks," *ETRI Journal*, Vol. 26, No. 2, Apr. 2004, pp.92-100.
- [9] Doc. A/53, ATSC Digital Television Standard, Sep. 1995.
- [10] W.E. Bretl, ATSC/VSB Tutorial Receiver Technology, Zenith Electronics Corp., 1999.
- [11] Digital Video Broadcasting(DVB); DVB Mega-Frame for Single Frequency Network(SFN) Synchronization, TS 101 191 v1.1.1, 1997.