

Convex 결합을 이용한 지상파 DMB 중계기의 IF 형 궤환신호 제거기법

이영준*⁰, 음호민**¹, 이용태**², 김형남*³

*부산대학교 전자전기공학과, **한국전자통신연구원 지상파전송기술연구팀

IF-type Feedback Cancellation with a Convex Combination Algorithm in T-DMB repeaters

Young-Jun Lee*⁰, Ho Min Eum**¹, Yong-Tae Lee**², Hyoung-Nam Kim*³

*Department of Electronics and Electrical Engineering, Pusan National University

**Radio & Broadcasting Research Division, ETRI

hnkim@pusan.ac.kr

요 약

본 논문에서는 지상파 DMB 중계기의 IF 형 궤환신호 제거기법으로 인해 발생하는 외부 대역 스펙트럼 왜곡 문제에 대해 살펴보고, 이를 해결하기 위한 궤환신호 제거기법을 제안한다. 지상파 DMB 중계기를 통해 신호를 재전송하기 위해서는 복원된 신호가 지상파 DMB 시스템이 요구하는 전송 스펙트럼 마스크를 만족해야 하므로, IF 형 궤환신호 제거기법으로 인해 발생하는 외부 대역 스펙트럼 왜곡 문제는 중계기의 구현 및 상용화에 치명적인 문제로 작용한다. 이러한 외부 대역 스펙트럼 왜곡 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 사전 백색화 필터를 추가한 궤환신호 제거기법 및 Convex 결합 구조를 가지는 궤환신호 제거기법을 제안한다. 모의실험 결과에 의하면, 제안된 Convex 결합 구조를 가지는 궤환신호 제거기법은 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상할 뿐만 아니라 기존의 궤환신호 제거기법에 비해 우수한 궤환신호 제거 성능을 보인다.

1. 서 론

21 세기에 이르러 기존의 아날로그 방송 및 통신의 디지털화가 급속히 이루어지면서 시청자들의 다양한 욕구를 만족시킬 수 있는 디지털 방송 서비스들이 하나 둘씩 실현되고 있다. 이러한 고품격 디지털 방송 서비스의 선두주자인 지상파 DMB 서비스가 2005 년 12 월, 수도권을 중심으로 개시되었다. 고정 수신 및 휴대 단말기를 통한 이동 수신 환경에서도 지상파 방송을 무료로 시청할 수 있다는 강점으로 인해 지상파 DMB 서비스의 수요는 폭발적으로 급증하였고, 이에 따라 서비스 영역 확장을 통한 지상파 DMB 방송 서비스의 전국화에 대한 관심이 고조되었다.

일반적으로 방송 서비스 영역 확장은 다중 주파수 망(MFN : Multiple Frequency Network)을 활용한 다중채널 중계기를 통해 이루어진다. 그러나 지상파 DMB 방송 서비스가 사용하는 VHF 주파수 대역은 전 대역이 FM 라디오 방송, VHF 텔레비전 방송 및

항공항해 보조용으로 사용되므로 추가적인 전용 채널 할당이 불가능하다. 이러한 이유로 지상파 DMB 서비스는 동일채널 중계기(OCR : On-Channel Repeater)를 이용한 단일 주파수 망(SFN : Single Frequency Network) 구성으로 방송 서비스 영역을 확장해야 한다 [1], [2]. 동일채널 중계기를 사용하는 경우, 동일 주파수 사용으로 인해 중계기의 송신 안테나에서 전송된 신호가 수신 안테나를 통해 다시 수신되는 궤환현상이 발생, 중계기의 송·수신 안테나 사이에 궤환채널(feedback channel)이 형성된다. 만약, 동일채널 중계기의 송신출력이 송수신 안테나 간의 이격(isolation) 수준 또는 그 이상의 전력을 가지면, 궤환신호가 증폭되어 다시 궤환되는 발진현상(oscillation)이 발생하므로 중계기는 정상적인 동작을 하지 못한다 [2], [3].

지상파 DMB 중계기는 디지털 등화형 동일채널 중계기로서 IF 형 궤환신호 제거기법을 통해 궤환채널을 추정하고 궤환신호를 효과적으로 제거한다 [1]-[4]. 그러나 IF 형 궤환신호 제거기법을 통해 복

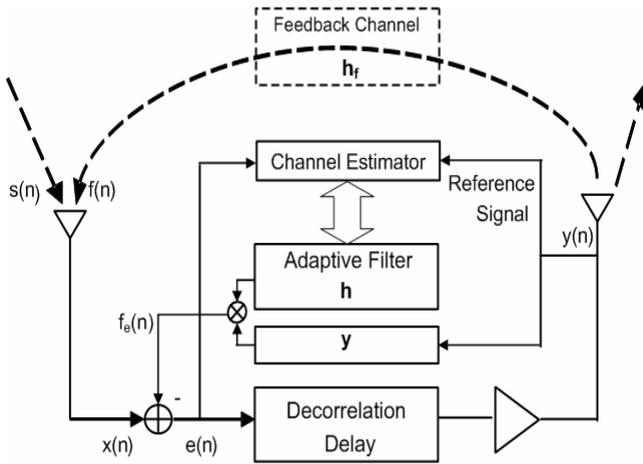


그림 1. 지상파 DMB 중계기의 IF 형 퀘환신호 제거기법.

원된 신호의 스펙트럼은 외부 대역이 크게 왜곡되어 지상파 DMB 시스템의 전송 스펙트럼 마스크를 만족하지 못한다 [8]. 따라서 기존 IF 형 퀘환신호 제거기법으로는 복원된 신호를 재 방사할 수 없으며 이로 인해 지상파 DMB 중계기의 구현 및 상용화에 어려움을 겪고 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 IF 형 퀘환신호 제거기법을 통해 복원된 지상파 DMB 신호의 외부 대역 스펙트럼 왜곡 문제를 보상하기 위해 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 퀘환신호 제거기법을 제안한다. 또한, 최종적으로 기존의 IF 형 퀘환신호 제거기법과 사전 백색화 필터를 추가한 퀘환신호 제거기법을 결합하는 Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 퀘환신호 제거기법을 제안함으로써, 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상하고 퀘환신호 제거 성능을 개선한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 지상파 DMB 중계기의 IF 형 퀘환신호 제거기법에 대해서 살펴보고, 3 장에서 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상하기 위한 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 퀘환신호 제거기법을 제안한다. 4 장에서는 기존의 퀘환신호 제거기법과 제안된 퀘환신호 제거기법의 Convex 결합 구조를 제시하고 5 장에서 모의실험을 통해 제안된 퀘환신호 제거기법들의 성능을 검증한다. 마지막으로, 6 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. IF 형 퀘환신호 제거기법

그림 1 은 지상파 DMB 중계기의 IF 형 퀘환신호 제거기법의 구조를 나타낸 것이다. 종래의 음향신호처리 분야에서 널리 사용되던 음향반향 제거기법을 지상파 DMB 중계기에 적용한 것으로, RF 대역의 아날로그 신호를 IF 대역의 디지털 신호로 변환하고 디지털 신호처리를 통해 퀘환신호를 제거한다. 따라서 ‘IF 형 퀘환신호 제거기법’이라는 이름을 가지게 되었으나, 실제 퀘환신호 제거를 위한 디지털 신호처리는 보다

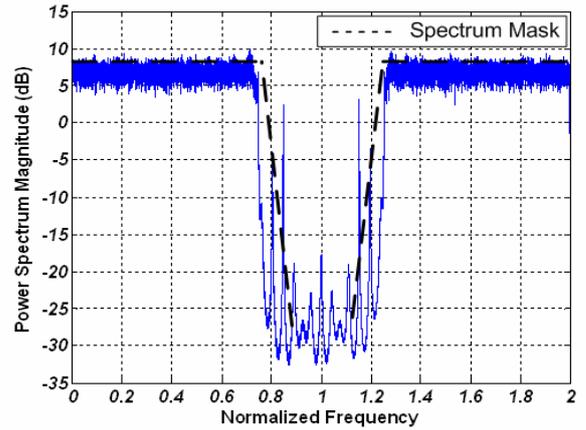


그림 2. 기존의 IF 형 퀘환신호 제거기법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼.

적은 연산 수행을 위해 IF 대역이 아닌 기저대역에서 수행된다. IF 형 퀘환신호 제거기법의 동작 원리와 특징을 그림 1 에 표시된 신호 기호 및 구체적인 수식을 통해 자세히 살펴보기로 하자.

IF 형 퀘환신호 제거기법은 중계기 출력신호와 퀘환신호의 상호 상관관계 (cross-correlation) 를 이용하여 퀘환채널을 추정하고, 추정된 퀘환채널의 정보를 적응 알고리즘을 이용하여 적응 필터에 반영한다. 중계기의 수신 안테나를 통해 수신되는 그림 1 에 표시된 바와 같이, 주 전송신호를 $s(n)$, 퀘환신호를 $f(n)$ 이라 하면, 중계기 내부 입력 신호 $x(n)$ 은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$x(n) = s(n) + f(n) = s(n) + \mathbf{h}_f * \mathbf{y} \quad (1)$$

IF 형 퀘환신호 제거기법은 $x(n)$ 에, 적응 필터 계수 \mathbf{h} 와 중계기 출력 신호 $y(n)$ 을 미리 저장한 버퍼 \mathbf{y} 를 곱하여 생성된 추정 퀘환신호 $f_e(n)$ 을 감산하여 퀘환신호를 제거한다. 퀘환신호를 제거하여 복원된 신호 $e(n)$ 은 식 (2)와 같이 표현된다. 복원된 신호 $e(n)$ 은 중계기 내부의 증폭기를 통해 증폭되고, 송신 안테나를 통해 공중으로 재방사된다.

$$e(n) = x(n) - f_e(n) = s(n) + \mathbf{h}_f * \mathbf{y} - \mathbf{h} * \mathbf{y} \quad (2)$$

여기서, $\mathbf{h}_f * \mathbf{y} - \mathbf{h} * \mathbf{y}$ 는 남아있는 퀘환신호의 성분으로 만약 적응 필터의 계수가 퀘환채널을 정확하게 추정한다면, 이 성분은 ‘0’ 이 되고 복원된 신호 $e(n)$ 은 곧 주 전송신호 $s(n)$ 이 된다.

IF 형 퀘환신호 제거기법의 퀘환신호 제거 성능은 적응 필터의 계수 갱신에 사용되는 적응 알고리즘에 따라 크게 좌우된다 [5]-[7]. 그러나 실시간으로 신호를 재전송해야 하는 중계기 시스템에서는 복잡한 적응 알고리즘을 사용할 수

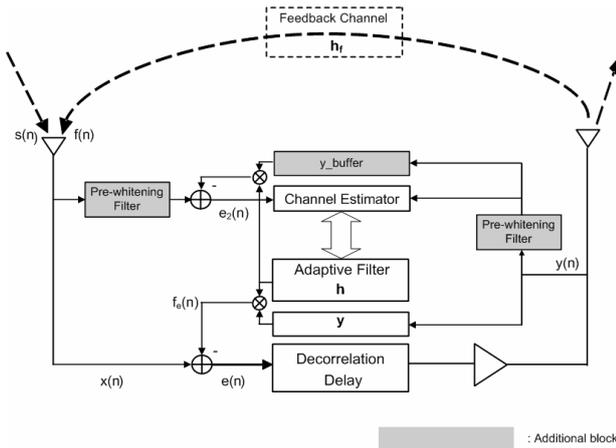


그림 3. 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법의 구조.

없다. 따라서 지상파 DMB 중계기에서는 가장 간단하지만 강력한 성능을 가지는 LMS 알고리즘을 이용하여 식 (3)과 같이 적응 필터의 계수를 갱신한다.

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) + 2\mu\mathbf{u}(n)e^*(n) \quad (3)$$

IF 형 왜환신호 제거기법은 우수한 왜환신호 제거 성능을 가짐에도 불구하고 지상파 DMB 중계기에 적용함에 있어서 큰 문제점을 가지고 있다. 그림 2 는 지상파 DMB 중계기에서 IF 형 왜환신호 제거기법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼을 나타내며, 그림 2 를 통해 알 수 있듯이, IF 형 왜환신호 제거기를 통과한 신호의 스펙트럼은 외부 대역이 크게 왜곡됨을 볼 수 있다.

이러한 외부 대역 스펙트럼 왜곡은 왜환신호 제거기법을 통해 복원된 적응 필터 입력으로 대역 제한된 지상파 DMB 신호가 사용되기 때문으로, 왜환신호 제거에 사용되는 적응 알고리즘이 입력 신호가 존재하지 않는 외부 대역 및 경계 부분의 정보를 정확하게 추정하지 못하므로, 외부 대역 및 경계 부분에서 심한 스펙트럼 왜곡이 발생한다. 왜곡된 신호는 지상파 DMB 표준의 스펙트럼 마스크 (spectrum mask) 를 만족하지 못하므로 중계기를 통해 전송될 수 없다 [8].

3. 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법

2 절에서 살펴본 바와 같이, 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상하기 위해서는 지상파 DMB 신호의 대역 제한적 특성을 제거해야 한다. 따라서, 본 논문에서는 그림 3 과 같이, 기존의 IF 형 왜환신호 제거기 구조에 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법을 제안한다. 제안된 구조는 기존 IF 형 왜환신호 제거기법의 구조에 두 개의 사전 백색화 필터 및 하나의 버퍼가 추가된 형태이며,

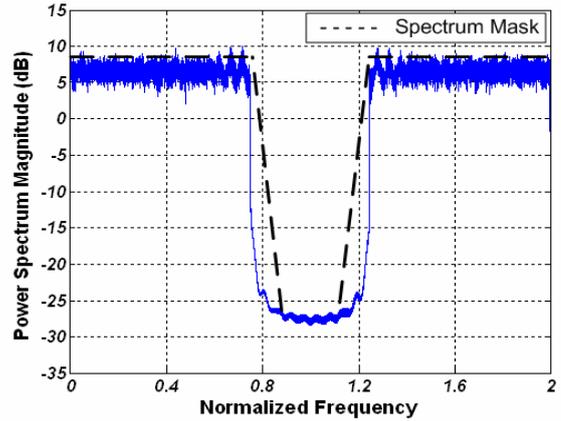


그림 4. 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼.

왜환채널 추정을 제외한 일련의 과정은 기존 방법과 동일하게 수행된다. 제안된 IF 형 왜환신호 제거기법은 적응 필터의 입력으로 들어오는 기준신호와 수신 안테나를 통해 수신된 신호를 사전 백색화 필터를 통해 백색화 하여 대역 제한된 특성을 보상하고, 이를 이용하여 왜환채널을 추정함으로써 스펙트럼 외부 대역 및 경계 부분을 보다 정확하게 추정한다. 그림 4 는 제안된 방법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼을 나타내고 있다.

제안된 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법을 통해 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상할 수 있지만, 제안된 방법을 지상파 DMB 중계기에 바로 적용하기에는 약간의 제약이 따른다. 지상파 DMB 중계기의 왜환채널은 도플러 효과로 인해 시간에 따라 변하게 되는데, 중계기가 설치되는 실제 환경을 고려하면 최대 10Hz 의 도플러 효과에 따른 채널변화에 대처할 수 있어야 한다 [3], [4]. 그러나 중계기의 전력 이득이 변화하는 상황에서는 사전 백색화 필터가 정상적인 동작을 하지 못하여 출력이 왜곡되는 경우가 발생한다. 이럴 경우 적응 필터의 수렴속도가 느려지고 도플러 효과에 의한 왜환채널의 변화를 따라가지 못하게 된다. 이로 인해 최소 요구 성능을 만족시키지 못할 뿐만 아니라 중계기 출력이 발산하기도 한다. 따라서 제안된 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 왜환신호 제거기법의 제약성을 보완하기 위해 기존 IF 형 왜환신호 제거기 구조와 결합한 형태의 Convex 결합 구조를 제안한다.

4. Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 왜환신호 제거기법

일반적으로 Convex 결합 알고리즘은 각기 다른 특성을 가지는 두 적응 필터의 출력 및 필터 계수 갱신을 가중치 λ 를 이용하여 결합하는 알고리즘으로서, 두 적응 필터가 가지는 장점들을 모두 가질 수 있다는 강점으로 인해 널리 사용되는

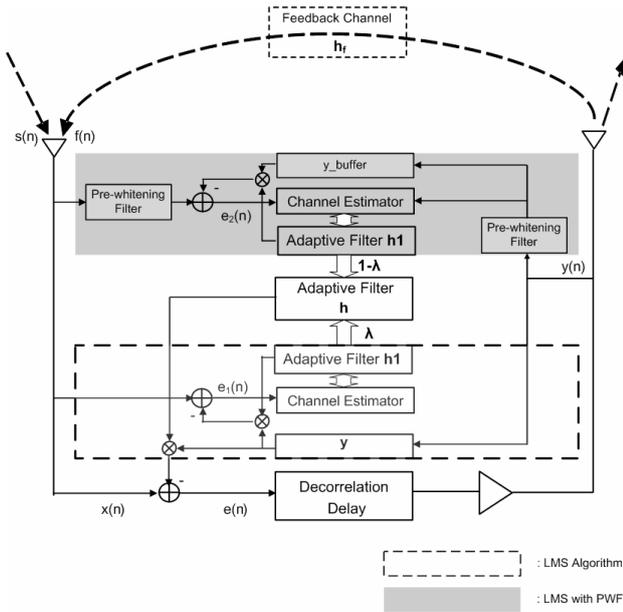


그림 5. Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 케환신호 제거기법의 구조.

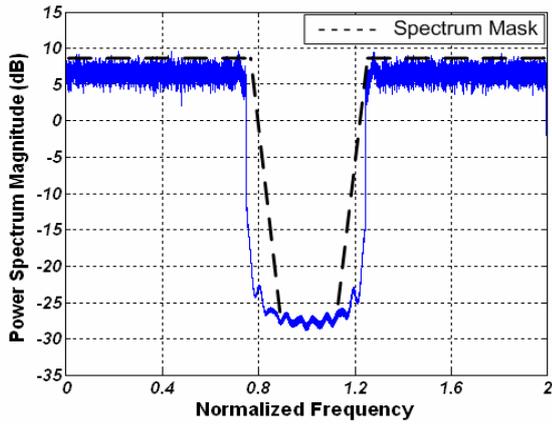


그림 6. Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 케환신호 제거기법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼.

적응 알고리즘이다 [9]. 그러나 최적의 가중치를 구하기 위해 또 다른 적응 알고리즘을 사용해야 하므로 복잡한 구조와 많은 연산량이 요구된다. 지상파 DMB 중계기에 사용되는 케환신호 제거기법은 간단한 연산 구조를 가지면서 디지털 신호처리로 인해 발생하는 시간 지연이 최소화되어야 하므로, Convex 결합 알고리즘을 지상파 DMB 중계기에 바로 적용하기는 어렵다.

그림 5는 Convex 결합 알고리즘을 적용한 IF 형 케환신호 제거기법의 구조를 나타낸 것이다. 케환신호 제거기법의 구조를 최대한 간단히 하기 위해, 두 적응 필터를 연결하는 가중치 λ 를 고정하고 기존 IF 형 케환신호 제거기법과 제안된 IF 형 케환신호 제거기법의 적응 필터 갱신부

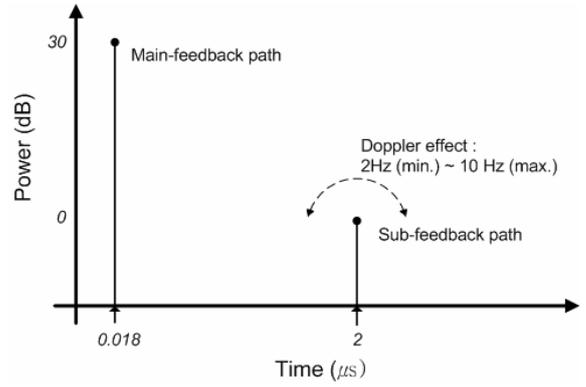


그림 7. 모의실험에 사용된 케환채널.

표 1. 모의실험에 사용된 파라미터.

Parameters	Values
Feedback Delay	0.018 μs for Main-feedback path 2 μs for Sub-feedback path
Doppler Frequency	2 Hz (min.) ~ 10 Hz (max.)
Doppler Gain	-40 dB (min.) ~ -30dB (max.) to Main-feedback power
Adaptive Filter Length	34 baseband taps
HPA	linearly increased to + 30dB

만을 Convex 결합한다. 최종 적응 필터의 계수는 식 (4)에 의해 갱신된다.

$$\mathbf{h}(n+1) = \lambda \mathbf{h}_1(n) + [1 - \lambda] \mathbf{h}_2(n) \quad (4)$$

제안된 케환신호 제거기법은 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 보상할 뿐만 아니라 케환신호 제거기의 수렴 속도 및 최종 수렴 성능 또한 개선하는 효과를 기대할 수 있다. 그림 6은 제안된 케환신호 제거기법을 통해 복원된 신호의 기저대역 스펙트럼을 나타낸 것이다.

고정 가중치 λ 의 값에 따라 최종 수렴성능 및 외부 대역 스펙트럼 왜곡 보상 정도의 차이가 발생하는데, 모의실험을 통해 적절한 값을 선택하여야 하며, 본 논문에서는 가중치 λ 값이 0.3인 경우에 가장 우수한 성능을 얻을 수 있어서 이 값을 λ 값으로 설정하였다.

5. 모의실험 결과 및 성능분석

모의실험을 통해, 기존 IF 형 케환신호 제거기법 및 제안된 케환신호 제거기법들의 케환신호 제거 성능을 분석하였다. 성능 지표로는 외부대역의 스펙트럼 왜곡과 잔류 케환신호 전력을 의미하는 REP (Residual Echo Power)를 사용하였다. 외부대역의 스펙트럼 왜곡은 그림 2, 4, 6에 제시된 바와 같이 제안된 방법에 의해서 대부분 보상됨을

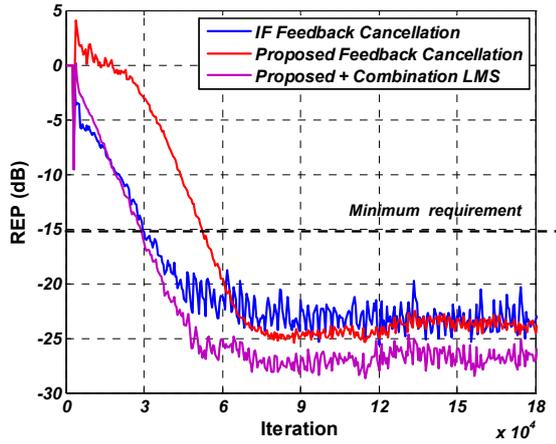


그림 8. 각 케환신호 제거기법의 케환신호 제거 성능.

표 1. 도플러 효과에 따른 케환신호 제거 성능.

Conventional IF-type Feedback Cancellation		
Power (vs. main feedback signal)		
Doppler Frequency (Hz)	-30 dB (0.0316 linear scale)	-40 dB (0.01 linear scale)
2 Hz	-22 dB \pm 1.5 dB	-23 dB \pm 0.5 dB
10 Hz	-18 dB \pm 3.0 dB	-23 dB \pm 1.5 dB

IF-type Feedback Cancellation with PWF		
Power (vs. main feedback signal)		
Doppler Frequency (Hz)	-30 dB (0.0316 linear scale)	-40 dB (0.01 linear scale)
2 Hz	-20 dB \pm 1.0 dB	-23 dB \pm 0.5 dB
10 Hz	-9 dB \pm 1.0 dB	-18 dB \pm 1.0 dB

IF-type Feedback Cancellation with Convex combination		
Power (vs. main feedback signal)		
Doppler Frequency (Hz)	-30 dB (0.0316 linear scale)	-40 dB (0.01 linear scale)
2 Hz	-23 dB \pm 1.0 dB	-27 dB \pm 1.0 dB
10 Hz	-20 dB \pm 1.5 dB	-24 dB \pm 1.0 dB

확인할 수 있다. REP 관점에서 볼 때, 지상과 DMB 중계기의 발전현상을 방지하고, 수신기에서 정상적으로 신호를 수신하기 위해서는 REP 가 최소 -15 dB 이하로 떨어져야 한다 [3], [4]. 모의실험에 사용된 케환채널 환경 및 주요 파라미터들은 그림 7 과 표 1 에 나타내었다. 그림 8 과 표 2 의 모의실험 결과를 통해 제안된 Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 케환신호 제거기법이 다른 두 IF 형 케환신호 제거기법에 비해 수렴 속도와 수렴 후의 REP 측면에서 모두 우수함을 볼 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 지상과 DMB 중계기에 사용되는 IF 형 케환신호 제거기법의 외부 대역 스펙트럼

왜곡 문제를 해결하기 위해 사전 백색화 필터를 추가한 IF 형 케환신호 제거기법 및 Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 케환신호 제거기법을 제안하고 모의실험을 통해 그 성능을 검증하였다. 제안된 두 케환신호 제거기법은 외부 대역 스펙트럼 왜곡을 깨끗이 보상하였고, 특히 Convex 결합 구조를 가지는 IF 형 케환신호 제거기법은 외부 대역 스펙트럼 왜곡 보상뿐만 아니라 케환신호 제거성능 면에서도 기존 방법에 비해 매우 우수한 성능을 보였다. 제안된 케환신호 제거기법은 중계기의 구현 및 상용화에 큰 걸림돌이었던 외부 대역 스펙트럼 왜곡 문제를 해결함으로써, 중계기의 상용화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

7. 참고 문헌

- [1] Seung Won Kim, Yong Tae Lee, Sung Ik Park, Ho Min Eum, Jae Hyun Seo and Heung Mook Kim, "Equalization Digital On-Channel Repeater in the Single Frequency Networks," *IEEE Trans. Broadcasting*, Vol. 52, No.2, June 2006.
- [2] 박성익, 이용태, 김홍목, 음호민, 서재현, 김승원 "지상과 방송의 단일주파수 방송망 구성을 위한 기술," *ETRI 전자통신동향분석*, 제 19 권 제 4 호 2004 년 8 월.
- [3] BBCA. Wiewiorka and P.N. Noss, "BBC R&D White Paper WHP120," September 2005.
- [4] 이영준, 음호민, 이용태, 김형남, "지상과 DMB 중계기를 위한 IF 형 케환신호 제거방법의 성능 분석," *제 20 회 신호처리합동학술대회논문집 (KSPC'07)*, 대구, 2007 년 10 월, p.111.
- [5] Sophocles J., Orfanidis, *Optimum signal processing: An Introduction*, 2nd ed. McGraw Hill, 1988.
- [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th ed. Prentice Hall, 2002.
- [7] Eberhard Hansler, Gerhard Schmidt, *Acoustic Echo and Noise Control : A Practical Approach*, Wiley Interscience.
- [8] "ETSI EN 300 401, Radio broadcast systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," European Telecommunications Standards Institute, May 2001.
- [9] J. Arenas-García, V. Gómez-Verdejo and A. R. Figueiras-Vidal, "New Algorithms for Improved Adaptive Convex Combination of LMS Transversal Filters," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol. 54, pp. 2239-2249, 2005.