

# 오페라 음악과 비가청 주파수 대역을 활용한 이미지 전송 시스템 설계

## Design of an Image Transmission System Using Opera Music and Inaudible Frequency Bands

문기욱, 신원재  
고려대학교 전기전자공학부  
{okmunkiok, wjshin}@korea.ac.kr

### 연구 배경 및 목적

#### ❖ 음파 통신의 발전

- 스마트폰 등 전자기기에 내장된 스피커와 마이크를 활용한 음파통신이 여러 장점을 가져 주목을 받고 있음
- 음파 통신이 사람 귀에 불쾌하게 들리는 점 및 가청 주파수 대역의 잡음을 회피할 필요가 있음
- 비가청 주파수 대역을 활용하여 사람 귀에 들리지 않게 할 뿐만 아니라 음악 신호를 결합하여 불쾌함을 줄이고 시간 동기화 성능을 향상

### 시뮬레이터 설계

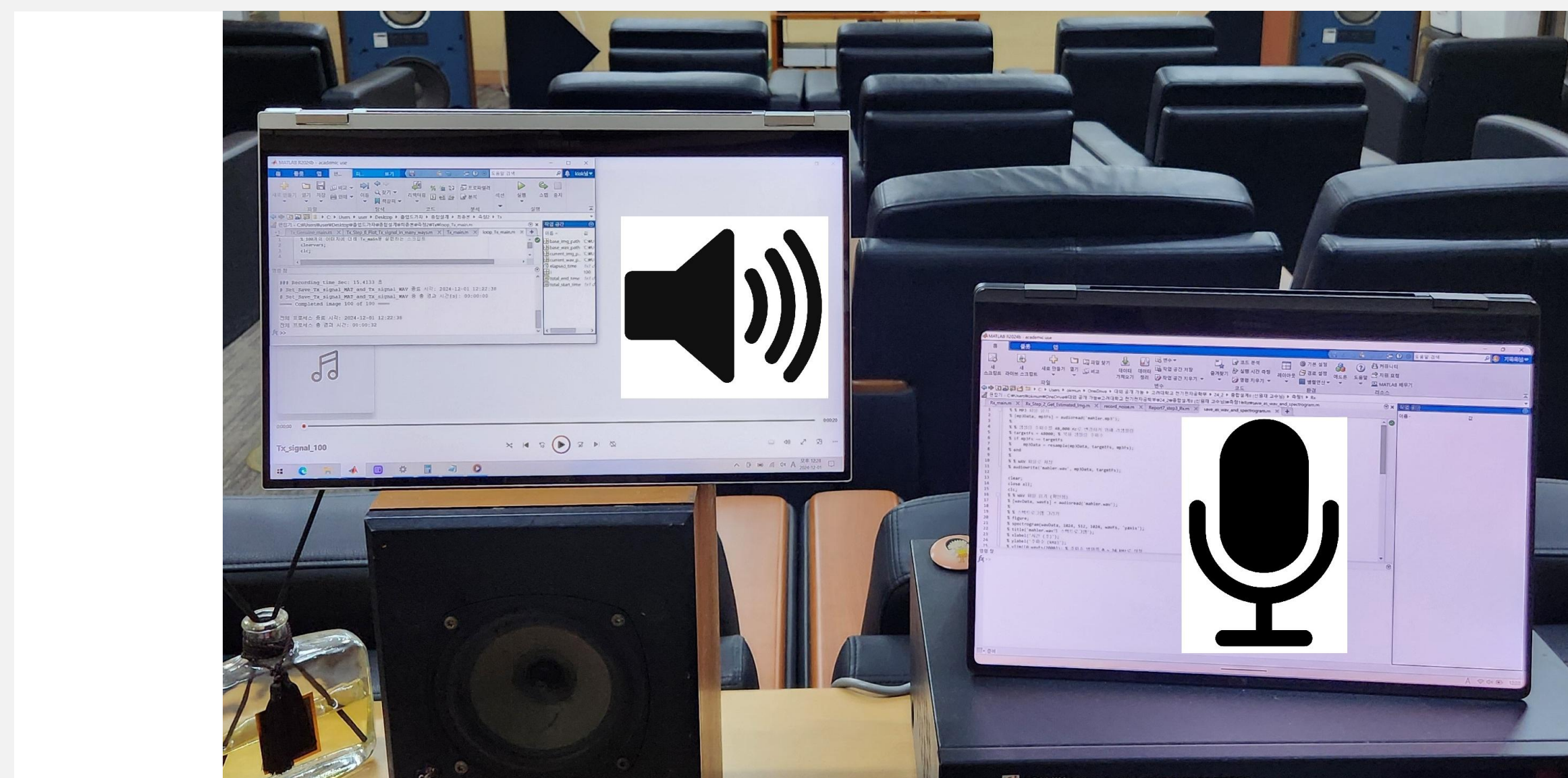


그림 1. 송수신기 단말

#### ❖ 송신기 시스템 모델

- 소스 코딩 (Source Coding):** 흑백을 거쳐 이진화 비트열로 이미지 변환
- 채널 코딩 (Channel Coding):** 잡음 왜곡에 대비하여 1/3 반복 코딩 적용
- 변조 (Modulation):** QPSK로 2개의 비트 00, 01, 11, 10 를 1개의 심볼로 매핑하여 4개의 위상 45°, 135°, 225°, 315° 에 각각 대응
- 다중화 (Multiplexing):** OFDM (Orthogonal Freq Division Multiplexing) 를 사용하여 비가청 주파수 대역의 부반송파에 선택적으로 데이터 할당 후 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 으로 시간 영역 신호 생성
- 동기화 신호 중첩 (Synchronization Signal Overlay):** 이미지 데이터 신호와 오페라 음악 신호를 중첩한 후, 오페라 음악 신호를 동기화에 활용
- 신호 전송 (Transmission):** 통신 성능 향상을 위한 Cyclic Prefix와 파일럿 신호를 추가한 후 스피커를 통해 음파 신호 송신

#### ❖ 수신기 시스템 모델

- 신호 수신 및 시간 동기화 (Signal Reception and Time Synchronization):** 마이크로 신호 수신 후 오페라 음악 신호의 상호상관을 계산하여 동기화
- 다중화 역연산 (Demultiplexing):** FFT (Fast Fourier Transform) 수행 후 비가청 주파수 대역의 부반송파에 할당된 데이터만 추출
- 복조 (Demodulation):** 파일럿 신호로 채널을 추정 및 평탄화 한 후 QPSK 복조를 통해 채널 코딩된 데이터 추정
- 채널 디코딩 (Channel Decoding):** 3번 반복된 비트 중 2번 이상 반복된 비트로 데이터 결정
- 소스 디코딩 (Source Decoding):** 복원된 비트열로 이미지 재구성

#### ❖ 비가청 주파수 대역 전송을 위한 OFDM 부반송파 할당

$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j\frac{2\pi k}{N}n}$  에서 일부 주파수 대역만 사용하기 위해

$x[n] = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k_{min}}^{k_{max}} X[k] e^{j\frac{2\pi k}{N}n}$  로 주파수 인덱스를 제한한다.

본 시스템은  $N = 288$  이므로  $k_{min} = 96$ ,  $k_{max} = 120$

#### ❖ 오페라 음악 기반 시간 동기화

- $R_{xy}[k] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]y[n+k]$
- 상호상관 계산값이 최대가 되는 곳을 활용

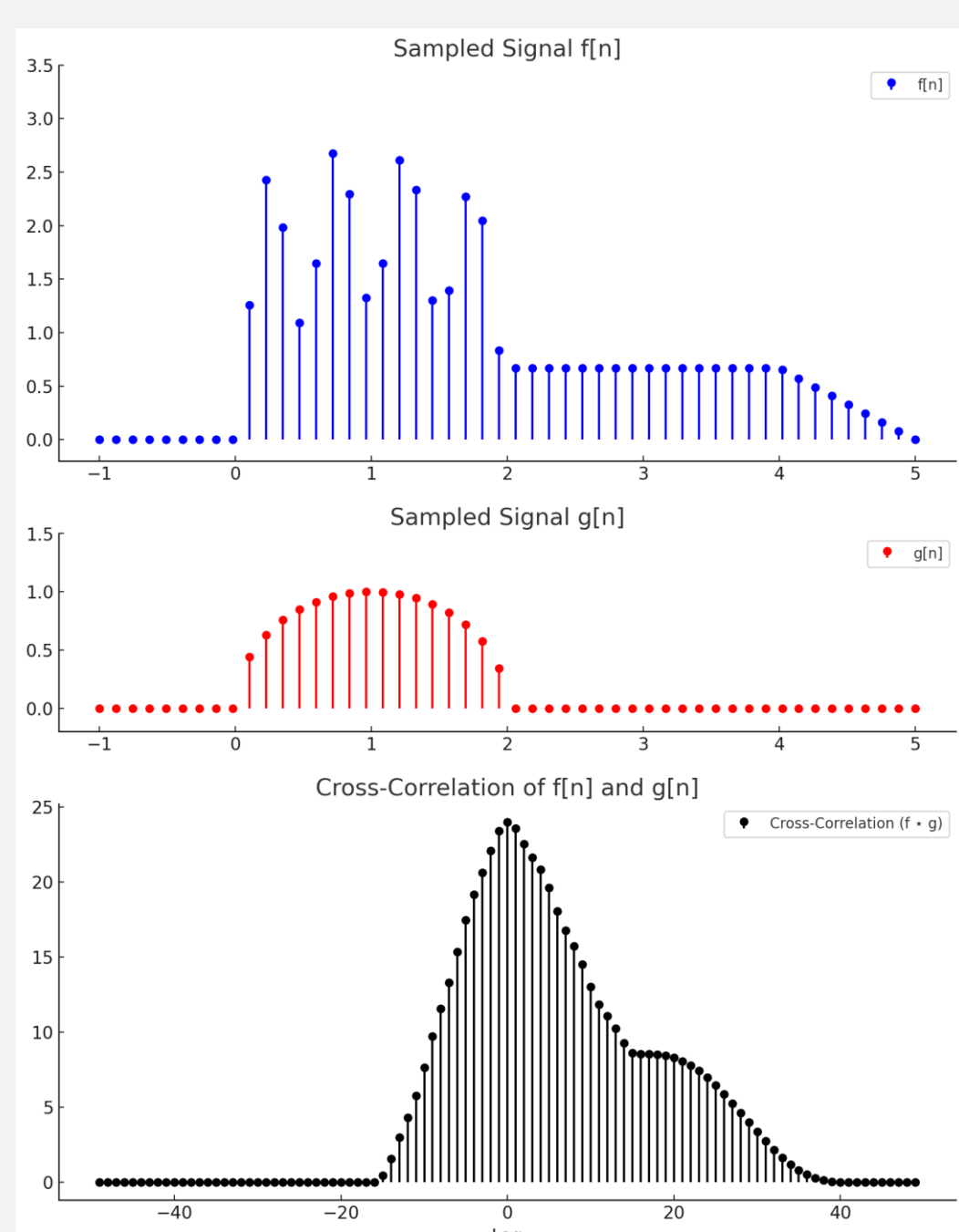


그림 2. 시간 동기화를 위한 상호상관 계산

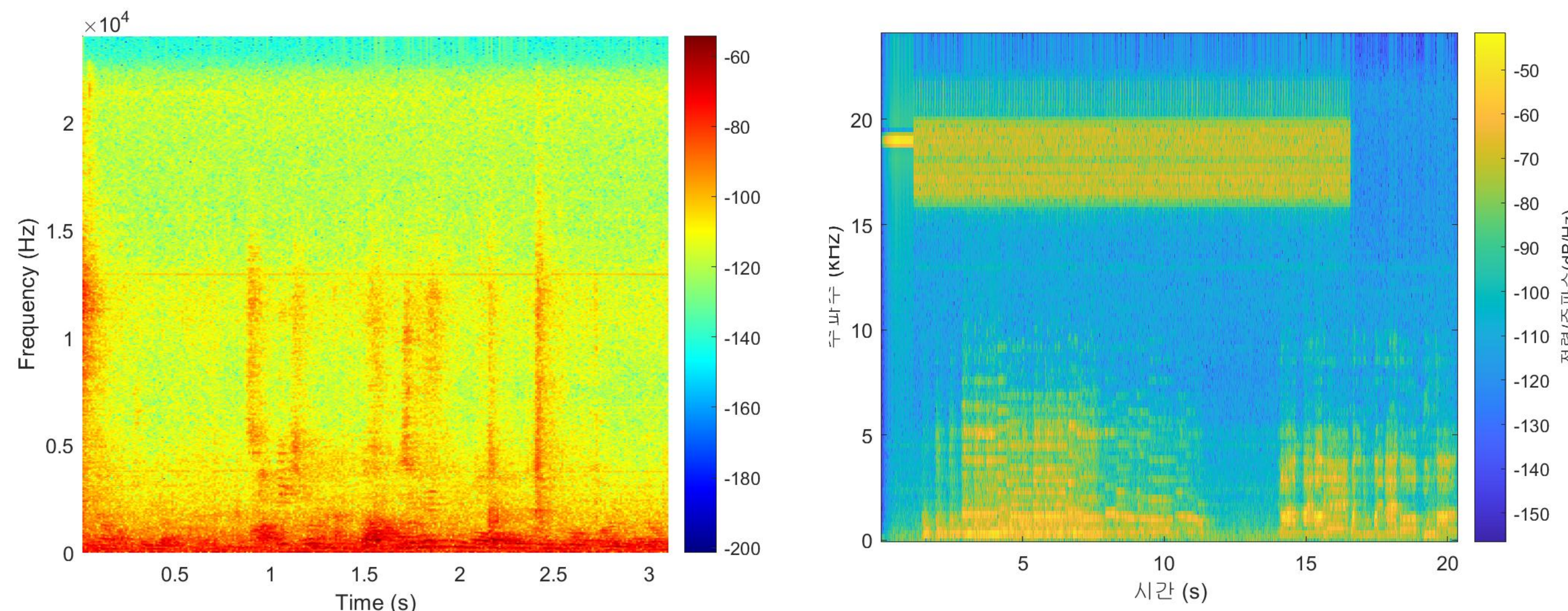


그림 3. 수신 신호 스펙트로그램

(a) 가청 주파수 대역 사용 경우 (b) 비가청 주파수 대역 및 음악 신호 사용 경우

### 시뮬레이션 결과 및 분석

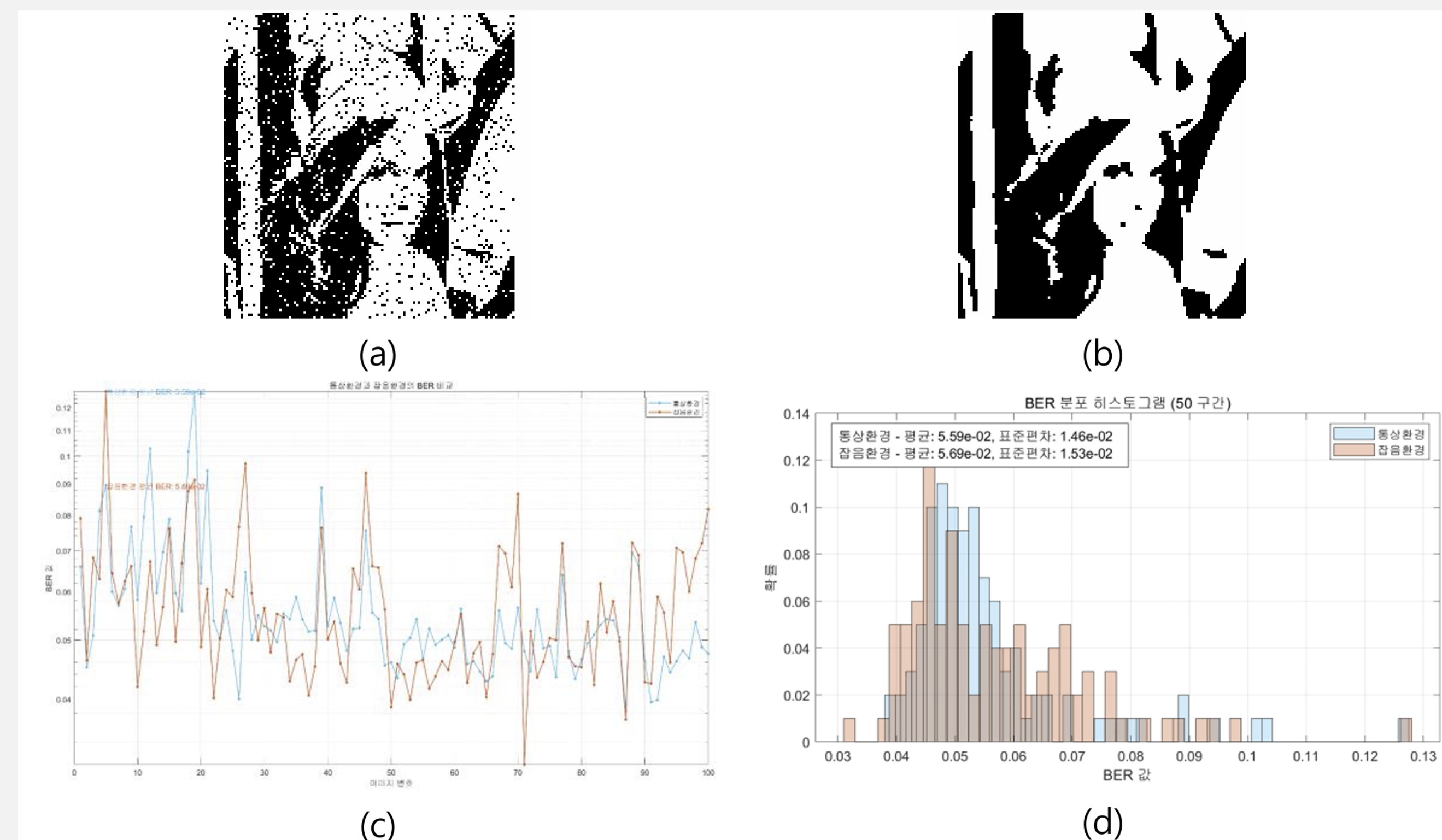


그림 4. 시뮬레이션 결과 (a) 중간값 필터 미적용 결과 (b) 중간값 필터 적용 결과 (c) 이미지별 BER (d) 이미지별 BER 히스토그램

#### ❖ 중간값 필터 사용에 따른 차이

- 소금-후추 잡음 제거
- BER (Bit Error Rate) 및 시각적 경험 개선
- 그러나 경계 부분 손실 발생

#### ❖ 비가청 주파수 대역 사용의 효과

- 가청 주파수 대역에서 주로 발생하는 일상 소음에 의한 오류 감소
- 인간 청각 경험에서 불쾌감을 결정하는 지표인 Sharpness가 초과 드릴 수준에서 일상 도시 소음 수준으로 감소

#### ❖ 오페라 음악 신호에 의한 동기화의 효과

- 총 200번의 시행 중 동기화 시점 계산 오류 발생하지 않음

### 결론

- 가청 주파수 대역에서 이루어지는 일반적인 음파 통신의 소음을 제거하기 위하여 비가청 주파수 대역을 활용하고 음악 신호를 결합하여 BER 과 불쾌감이 낮으며 시간 동기화가 보장되는 시스템을 설계하였음