



조선소 내 스마트 안전모에 적용한 다대다 통신 소음 저감에 관한 연구

박준혁¹·박준수^{2,†}

경남대학교 대학원 메카트로닉스공학과 조선해양시스템전공¹

경남대학교 조선해양시스템공학과²

A Study on Noise Reduction in Many-to-Many Communication Applying to Smart Helmets in the Shipyard

Junhyeok Park¹·Jun Soo Park^{2,†}

Major of Naval Architecture and Ocean System Engineering, Department of Mechatronics Engineering, Graduate School, Kyungnam University¹

Department of Naval Architecture and Ocean System Engineering, Kyungnam University²

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper implements many-to-many communication between users and develops a multi-functional smart helmet for worker protection and environmental safety in the shipbuilding and shipping industry. First, the communication situation is recorded in the field to perform signal processing for noise that interferes with communication. Then, it deals with the contents of developing smart helmets, data acquisition, algorithms, and simulations. The simulation results analyzed by applying the adaptive algorithm are shown, and their usefulness is confirmed. In conclusion, looking at the optimization process for the convergence factor of the Least Mean Square and Filtered-x Least Mean Square Adaptation Algorithm was possible. It is thought that it has laid the foundation for implementing many-to-many communication, the function of smart helmets that reduces or removes various noises at the shipyard in the future.

Keywords : Shipyard(조선소), Smart helmets(스마트 안전모), Many-to-many communication(다대다 통신), Signal processing(신호처리), Noise reduction(소음 저감)

1. 서론

최근 조선해운 산업 현장에 사물인터넷, 인공지능, 머신러닝, 가상현실 등의 4차 산업혁명 기술들의 활용으로 조선해운 제조 현장의 자동화, 지능화가 가능해져 작업 생산 능력과 비용 경쟁력은 향상되었다.

그러나 조선해운 산업 현장 작업자들의 안전사고 감소율은 여전히 저조한 편이며 안전사고로 인한 피해는 매우 심각하므로 현장에 맞게 개선의 필요성이 존재한다. 또한 협착, 추락, 전기, 화재, 화상, 유독물질 등 일반적인 제조업에서 발생할 수 있는 산업재해 유형이 모두 포함되어 나타나고 있으며, 업무상질병 중에서 소음성 난청으로 인한 업무상 질병자 수는 2,711명으로

전년도 1,986명보다 725명(36.51%) 증가하였다. 그 중에서 선박건조 및 수리업의 소음성 난청 질병자는 319명(11.77%)로 석탄광업 및 채석업(51.49%), 기계기구·금속·비금속광물제품제조업(17.16%) 다음으로 큰 비중을 차지하고 있다 (Ministry of Employment and Labor, 2020). 또한 조선해운 산업의 현장별 작업환경 유형에 대한 변화도 크기 때문에 안전사고는 여전히 빈번하게 발생하고 있으므로 안전사고 예방을 위한 기술개발 및 조치가 적극적으로 이루어져야 하는 상황이다.

안전모는 조선해운 산업 현장에서 작업 중인 작업자를 위험으로부터 보호하기 위한 필수 장비이다. 떨어지는 물체로 인해 발생하는 사고들은 모든 산업 분야에서 공통적인 위험요소이며, 최악의 경우 심한 부상 및 사망을 초래하는 경우도 있다. 따라서

최근에는 머리의 상해를 방지하는 기능뿐만 아니라 ICT 기술과 접목되어 스마트 안전모로 나타나고 있다.

스마트 안전모는 산업 안전 및 건강을 위하여 여러 연구가 진행되고 있으며, 특히 고위험 산업현장의 근로자를 위해 점점 더 혁신적인 솔루션이 구현되고 있다 (Israel et al., 2020). 스마트 안전모에 설치된 카메라 및 각종 센서를 이용하여 작업현장의 사진과 동영상, 센싱 값을 수집한 후에 무선 네트워크 통신을 통해 현장의 관리자가 작업자의 상태와 현장의 모습을 실시간으로 확인할 수 있다 (Hwang and Jeong, 2017., An et al., 2017.). 현재 조선해운 산업 현장에서 사용되는 안전모의 기능으로는 직무에 따라 또는 직급에 따라 다양한 색을 띠고 있고, 대형선박 출입 시 부착되는 GPS 정도의 기능이 있다. 조선해운 산업 현장의 소음을 대비해서는 이어플러그를 사용하고 있으며 작업시간의 통신은 무선기(워키토키) 혹은 개인 스마트폰으로 이루어지고 있다.

아울러 조선 산업 현장에서 발생하는 소음으로 인해 청력 손실을 겪는 사람들이 많아지고 있다. 그 뿐만 아니라, 현장에서 사용될 스마트 안전모에서의 마이크와 스피커로 이루어지는 통신에 있어 임펄스성과 가우시성 소음은 대화의 의미 전달에 있어 많은 제약을 주고 있다. 기존의 노이즈 캔슬링(noise cancelling) 기술은 외부의 모든 소리를 구분 없이 차단하는 것을 목적으로 하여 특정 상황을 알리는 알림, 경적 소리 등의 중요한 소리를 선택적으로 듣지 못한다는 한계가 있다. 그렇기 때문에 선택적 노이즈 캔슬링 기술을 위한 딥러닝 기반의 소음과 비소음을 분류하는 환경 인지 방법 연구도 진행되고 있다 (Choi et al., 2020). 이러한 소음을 다루기 이전의 기초적인 음향모델링으로 헤드셋을 착용했을 때 생기는 것과 같은 밀폐된 작은 음향공간을 소형 밀폐공간이라고 하는데, 소형밀폐공간에서는 공간 내부에 유입되는 음향의 진폭이 공간의 크기보다 작다고 가정할 수 있기 때문에 그 특성을 상당히 간단하게 모델화할 수 있다 (Nelson and Elliott, 1992; Berneck, 1971). 이러한 소형밀폐공간에서의 능동 소음제어문제는 1956년도에 Olson이 처음 제안하였고, 이후에도 꾸준히 발전되어 왔다 (Nelson and Elliott, 1992).

최근 스마트 기기가 보편화됨에 따라, 스마트 기기에 내장된 오디오 인터페이스를 재활용할 수 있다는 장점 때문에 대기 중 음파 통신이 각광을 받고 있다. 낮은 주파수 대역은 사람에게 인지 가능할 수 있어 많은 대기 중 음파 통신 기술들이 20kHz 이하의 고주파 대역 신호를 사용하는데, 음파 통신이 고주파 신호를 사용하더라도 잡음에 의하여 신호 수신 성능이 열화될 수 있음을 증명하는 연구가 진행되었고 이를 극복하기 위한 기법이 필요하다는 연구가 진행되었다 (Lee et al., 2019). 또한, 작업자들이 스마트 안전모를 사용할 때 단말기와 같은 별도의 외부장치 없이 데이터 송수신이 가능하여 작업자의 불편함을 줄이고 안전사고가 발생한 때도 능동적으로 대처할 수 있다. 이외에도 안전모에 다양한 기능을 실행시키기 위한 버튼을 배치함으로써 작업자의 편의성을 극대화할 수 있다는 효과가 있다. 최근 데이터 통신 기술의 발달은 더 향상된 성능의 하드웨어 시스템이 필요하게 되었고 또한, 휴대용 멀티미디어 기기 시장의 성장은 높은 성능뿐 아

니라 낮은 소비 전력에 대한 사양을 요구하게 되었다 (Hwang and Yoo, 2005). 또한 딥러닝을 이용하여 인간의 비명 소리를 인식하는 방법과 시스템 구현에 대한 연구도 진행되고 있다 (Yu, 2018).

한편 아날로그 신호와 디지털 신호 사이의 변환 작업 또는 디지털 펄스 신호처리에 필요로 하는 적합한 형태로 파형을 등화하거나 변형시키는 등의 작업을 수행하게 되며, 이 때문에 필터의 중요성이 강조되고 있다 (Park et al., 2005). 다양한 필터링 기법 중 원하는 정보를 증폭시키거나, 유지하면서 원치 않는 정보에 대해서는 저감 또는 제거하는 역할을 하는 무한임펄스응답 (Infinite Impulse Response, IIR) 필터가 있고, Butterworth와 Chebyshev 필터의 장점을 합쳐놓은 필터를 구현하려는 연구사례도 있다. 그 뿐만 아니라 Chebyshev와 elliptic 필터의 조합으로 통과대역은 평탄하고 천이대역의 경사도는 급격하게 만드는 연구도 진행되었다 (Fan, 2006). 최소평균자승(Least Mean Square, LMS)과 Filtered-x 최소평균자승(FxLMS) 적응형 필터의 경우 능동소음제어(active noise control)에 속하며 자동차의 실내 소음의 주된 소음 원인인 엔진 흡기소음을 저감시키는 방안 (Oh et al., 2006), 소음제거 시스템의 출력단에서 검출된 잔차 소음을 경험 모드 분석법(empirical mode decomposition)을 이용하여 고유 모드 함수(Intrinsic Mode Function, IMF) 신호들로 분해하고, filtered-x 최소평균자승 알고리즘 적응형 필터를 이용하여 수렴, 결합하여 소음 저감에 이용하는 연구도 진행되었다 (Nam and Park, 2008).

앞서 언급된 기존 연구들의 검토를 통하여, 조선해운 산업 현장의 작업자 보호 및 환경 안전을 위한 다기능의 스마트 안전모 개발과 함께 사용자 간의 다대다 통신을 구현하고 현장에서 통신 상황을 녹음하여 통신에 방해가 되는 소음에 대한 신호처리를 수행하였다. 스마트 안전모를 통해 획득한 통신 데이터와 스마트폰으로 획득한 소음 데이터를 해석 대상으로 명확한 소음으로 인지는 충격소음(impulsive sound)인 해머링 소음 4회를 포함한 10초 구간 샘플에 대하여 소음 저감 시뮬레이션을 수행하였다. 아울러, 스마트 안전모의 연결성(connectivity) 및 통신 검증을 위해 조선소 작업장 한 곳에서 LTE 통신(다대다)에 의한 데이터(음성, 소음)를 획득하고, 그 데이터에 적응 알고리즘을 적용하여 통신시 문제가 되는 작업장 환경 소음 저감을 통해 다대다 통신을 실현하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 논문은 개발 중인 스마트 안전모, 데이터 획득, 알고리즘, 그리고 시뮬레이션으로 본론이 구성되어 있으며, 중점적인 내용은 환경소음 저감에 널리 사용되고 있는 유한임펄스응답(Finite Impulse Response, FIR) 필터 기반의 최소평균자승과 Filtered-x 최소평균자승 적응 알고리즘을 적용하여 해석한 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 그 유용성에 대하여 확인하였다. 결론적으로 최소평균자승과 Filtered-x 최소평균자승 적응 알고리즘의 수렴 인자(step size)에 대한 최적화 과정을 살펴볼 수 있었으며, 향후 스마트 안전모의 기능으로 조선소의 다양한 소음 저감 또는 제거하는 다대다 통신 구현의 기초적인 토대를 마련한 것으로 생각된다.

2. 스마트 안전모

2.1 설계 및 개발

본 연구를 통해 개발 중인 스마트 안전모의 주요 기능은 Fig. 1 과 같이 GPS(Global Positioning System), SOS, 무전 기능, 동영상, 카메라 및 기타 기능으로 분류하고 주요 기능을 중심으로 설계 및 개발하였다 (Park et al., 2022). 스마트 안전모의 모듈 배치는 정면에 카메라, LED 램프, 배터리 상태 표시등이 배치되어 있고, 모든 기능을 제어하는 메인보드는 안전모의 내부에 내장되어 있다. 안전모의 프레임은 일반사양 조건(안전모 KS 규정)을 준수하며 무게 500 g 이하, 최대 동작 시간은 8시간으로 설계되었다. 스마트 안전모의 카메라는 200만 광각으로 카메라 기반 영상 처리를 활용한 장비 모니터링의 기능을 수행한다. 작업장 내 양방향 통신 기능을 수행하기 위해 통신 모듈을 설계 및 내장하였으며, GPS를 활용하여 위험지역 진입 확인 센서 모듈이 내장되어 있다.

스마트 안전모의 후면에는 전원 버튼이 배치되었고, 좌측면에는 영상 및 사진 촬영용 카메라 버튼과 PTT(Push To Talk) 버튼을 배치하였다. 우측면에는 LED 램프 버튼과 응급상황 발생 시 관제 센터와 현장 상황을 공유할 수 있는 SOS 버튼을 배치하였으며, 개발된 스마트 안전모의 상세 사양은 Table 1과 같다.

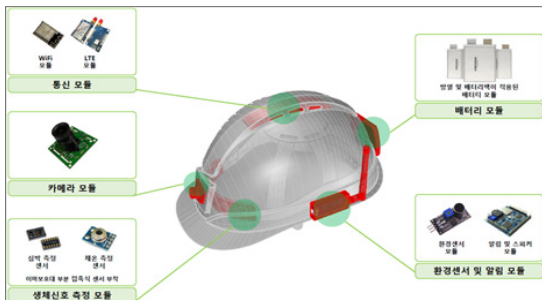
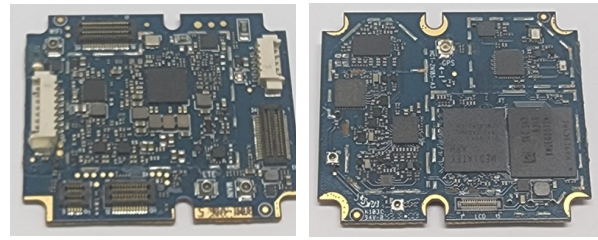


Fig. 1 Key features of smart helmet prototype

Table 1 Specification of smart helmet

| Items | Contents | |
|-----------------------|---------------------------|-----------|
| Communication modules | Bluetooth 4.1 | |
| | WiFi 2.4 GHz, 5 GHz | |
| | LTE support (SIM Card) | |
| | GPS+IMU | |
| Dimensions | 286 mm × 240 mm × 160 mm | |
| Camera | 2 Mega-pixel (Wide angle) | |
| Memory | 2 G | |
| Storage | 16 G | |
| Earphone socket | 3.5 mm | |
| Head lamp | LED light | |
| Battery | Standby mode | 24 Hours |
| | Max. usage time | 3.5 Hours |
| | Capacity | 2000 mAh |
| Charging time | 2 Hours (Micro USB) | |
| Weight | 500 g | |



(a) LTE, WiFi

(b) Bluetooth, GPS

Fig. 2 Photos of communication modules

Fig. 2의 통신 모듈은 On/Off 설정이 가능한 블루투스 4.1을 지원하고, 위치 정보를 위해 GPS와 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서가 탑재되며 GPS 기능을 이용한 착용자의 위치 수신 및 이동 경로를 추적한다. 그리고 스마트 안전모를 착용한 작업자 간의 통신을 위하여 3.5 mm 이어폰 소켓이 배치되어 있으며 음성 송수신 기능이 제공된다. IP65 방수를 지원하며 배터리의 용량은 2,000 mAh, 대기모드 시 24시간, 사용 시 최대 4시간 지속 가능하며, 충전시간은 2시간으로 micro USB 5핀으로 이루어진다.

2.2 스마트 안전모 관제 시스템

본 연구의 데이터를 획득한 조선소의 IoT 통신망 현황은 LTE망과 WiFi 망이 설치되어 있으나, 주로 LTE 망을 활용하여 데이터 전송 등에 활용된다. 스마트 안전모는 현장에서 LTE 망을 통하여 관제 시스템과 연결되는데, 스마트 안전모의 카메라와 통신 모듈의 기능으로 현장의 영상과 음성이 관제 시스템으로 전송되게 되면 Fig. 3과 같은 관제 시스템의 GUI(Graphic User Interface)를 통해 확인이 가능하다 (Park et al., 2022).

관제 시스템의 GUI 기능으로는 1/4/6/9 분할 영상 관제(안전모-관제 시스템, 안전모-안전모 통신 지원), 작업자 안전모 1개 또는 그룹화 하여 음성 및 영상통신, 사진 촬영/전송, VOD 녹화/전송 및 저장 기능 그리고 HD/VGA/CIF 등 영상 감도를 선택하고 안전모별 상세 정보를 제공한다. 등록된 작업자의 안전모 수, 작동 중인 안전모 수 등 전반적인 안전모의 정보 제공과 데이터 통신 사용량 및 용량 정보 등 작업자의 안전모 현황을 확인할 수 있다. 스마트 안전모가 활성화되면 지도에 사용자의 현장 위치가 표시되고, 사용자를 클릭하게 되면 사용자의 ID, 상태, 이름, 경

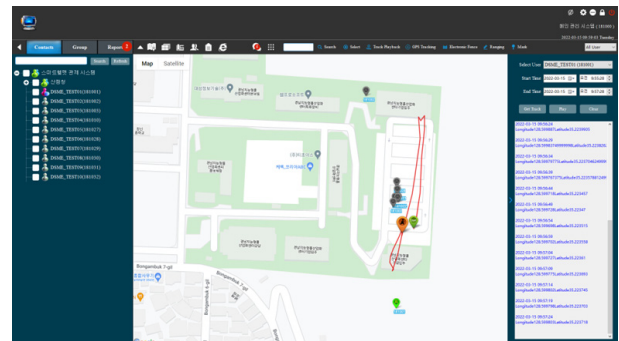


Fig. 3 GUI of smart helmet control system

도, 위도, 주소 데이터 등을 관리자가 확인할 수 있다. 마지막으로 작업자의 생체신호(맥박, 체온)를 모니터링하고 작업장(밀폐 구역 등)의 유해가스(CO₂, VOC, 산소포화도, 온습도)를 모니터링할 수 있다.

3. 데이터 획득

조선소 내 작업현장에서 다대다 통신 시 소음 저감 또는 제거에 사용될 음성 및 소음 신호의 데이터를 수집하기 위하여 조선소 내 테스트 베드를 선정하였다. 테스트 베드의 후보로는 패널 블록공장, 선체의장 공장, 기관부 선체/외장/시운전 공장, 밀폐구역이 있으며, 본 논문에서는 패널 블록공장에서 다대다 스마트 안전모 간의 LTE망 통신 테스트를 진행하였고, 작업자 간의 통신에 있어 소음 신호의 측정 결과와 통신 시 불편함을 일으키는 작업장 내 소음을 저감하는 것에 초점을 맞췄다.

스마트 안전모의 이어폰 소켓에 이어폰을 장착하여 4명의 연구원이 약 10m 떨어진 상황에서 통신 데이터 녹음을 진행하였다. 음성은 노트북으로 구현된 관제 시스템을 통해 녹음하였고, 현장의 소음은 동일한 환경이지만 별개의 시스템인 스마트폰(1EA)을 활용하여 녹음하였다. 녹음된 데이터는 주어진 상황과 시간에서 일반적으로 주변 및 멀리 있는 많은 음원에서 발생한 소음을 총괄적으로 포함하는 소음인 전체 소음(total sound)이며, 그 중에서 통신에 방해를 주는 특정 소음(specific sound)을 고려하였다. 테스트 베드로 선정한 패널 블록공장의 특성상 금속 타격과 같은 짧은 음압 파열(sound pressure bursts)이 특징인 충격소음(impulsive sound)이 많이 나타났고, 관측기간 동안 음압레벨이 상당히 변화하나 충격성은 보이지 않는 연속소음인 변동소음(fluctuated sound)과 규칙적 또는 불규칙적인 시간 간격으로 발생하는 특정 시간 동안에만 관찰자에게 들리는 소리로, 각 발생의 지속시간이 약 5s 이상인 소음인 간헐소음(intermittent sound)은 나타나지 않았다. 패널 블록공장에서의 충격 소음은 충격성이 크고 방해의 정도가 큰 충격소음원(highly impulsive sound source)에 포함되며 단일 이벤트에 속한다. 그 중에서도 통신 시 불편함을 초래할 수 있는 반복적인 단일 이벤트인 해머링 소음 4회를 포함한 10초의 데이터를 저감 대상 소음으로 선정하였다.

최소평균자승 및 Filtered-x 최소평균자승 적응 알고리즘을 구현하기 위해서 스마트 안전모의 관제 시스템을 통하여 녹음된 음성 $s(n)$ 에 손상된 소음 $x_1(n)$ 을 합성하여 원하는 신호 $d(n)$ 을 생성하였다.

4. 알고리즘

4.1 최소평균자승 적응 알고리즘

Fig. 4와 같이, 최소평균자승 적응 알고리즘은 2개의 아날로그 디지털 변환기(ADC) 채널로 구성되며, 아날로그 디지털 변환기가 장착된 첫 번째 마이크는 음성 $s(n)$ 을 측정하는데 사용한다. 하지만 소음 $x(n)$ 이 많은 환경으로 인해 신호가 오염되고 첫 번째

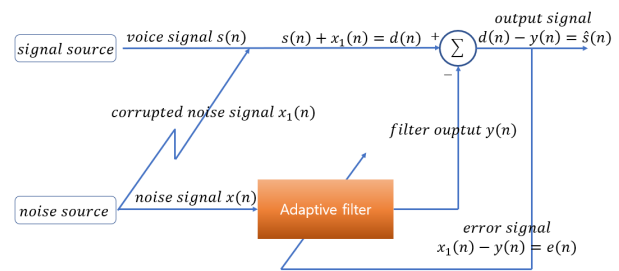


Fig. 4 LMS adaptive filter block diagram

째 아날로그 디지털 변환기 채널에서 소음을 포함한 음성, 즉 $d(n) = s(n) + x_1(n)$ 을 생성한다. 두 번째 마이크는 소음만 측정되는 위치에 배치되고 두 번째 아날로그 디지털 변환기 채널은 적응형 필터로 전달되는 소음 $x(n)$ 을 반환한다.

첫 번째 채널에서의 소음 $x_1(n)$ 은 음성 $s(n)$ 와 상관관계가 없으므로 신호간의 분리가 가능하며, 두 번째 채널의 소음 $x(n)$ 과 첫 번째 채널에서의 소음 $x_1(n)$ 은 둘 다 동일한 소음원에서 발생하는 신호이므로 상관관계가 있으며, 소음 $x(n)$ 은 음성 $s(n)$ 와 상관관계가 없다. 위의 신호들은 컴퓨터를 통하여 샘플링(sampling)되기 때문에 시간변수 t 대신 정수변수 n 을 사용한다.

첫 번째 채널에서 손상된 소음 신호는 두 번째 채널의 소음 $x(n)$ 과 물리적 경로가 다르고 소음원이 시간에 따라 변하므로 두 번째 채널의 소음 신호의 선형 필터링된 데이터 $x_1(n)$ 이라고 가정한다. 이 데이터는 적응형 필터를 사용하여 제거가 가능하다. 적응형 필터는 조정 가능한 인자가 있는 디지털 필터와 각 샘플을 필터링하기 위한 수렴인자 값을 수정하는 최소평균자승 알고리즘을 포함하고 있다. 적응형 필터는 $d(n) = s(n) + x_1(n)$ 에서 $x_1(n)$ 을 제거하는 추정 소음 $y(n)$ 을 생성한다. 추정 소음 $y(n)$ 이 손상된 소음 $x_1(n)$ 과 같거나 근사할 때, 이때 $d(n)$ 과 $y(n)$ 의 차이인 오차 $e(n)$ 는 깨끗한 음성 $s(n)$ 에 근사하게 되며, 따라서 소음은 제거된다.

적응형 필터의 최적 가중치 벡터 $w_{op}(n)$ 을 향하여 가중치 벡터 $w(n)$ 을 적응시키는 경사하강법(gradient descent method)을 도입한다.

$$w(n+1) = w(n) + \mu x(n)e(n) \tag{1}$$

식 (1)을 가중치 벡터 $w(n)$ 을 업데이트하기 위해 경사하강법에 적용시킨 최소평균자승 알고리즘이라고 한다. 여기서, 수렴인자 μ 는 수렴성 및 수렴속도를 결정하는 요소이다.

4.2 Filtered-x 최소평균자승 적응 알고리즘

Fig. 5와 같이 Filtered-x 최소평균자승 알고리즘은 최소평균자승 알고리즘과 다르게 추정 소음 $y(n)$ 과 오차 $e(n)$ 사이에 존재하는 부가 경로 전달 함수(secondary-path transfer function) $S(z)$ 가 존재하므로 $S(z)$ 를 모델링하지 않으면 전체 시스템의 성능이 불안정하게 된다. 부가 경로 전달 함수는 스피

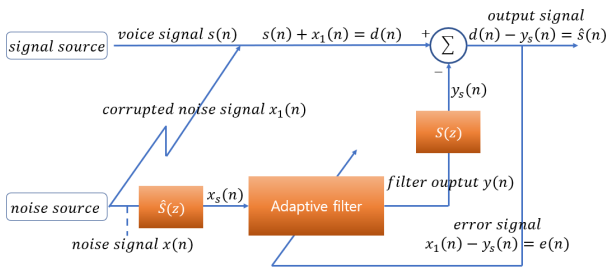


Fig. 5 FxLMS adaptive filter block diagram

커 및 컴퓨터와 같은 장비의 성능 등을 의미하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 소음 $x(n)$ 을 부가경로 보상 필터에 통과시킨 신호를 사용하여 적응 필터의 수렴인자를 조정하는 방법이 1980년 Morgan에 의해 처음 제안되었으며 (Kuo and Morgan, 1996), 다음 식 (2)가 Filterd-x 최소평균자승 알고리즘이다.

$$w(n+1) = w(n) + \mu x'(n)e(n) \quad (2)$$

Filtered-x 최소평균자승 알고리즘을 실제 능동소음제어에 적용할 경우, 부가경로 전달함수 $S(z)$ 는 알 수 없으며, 부가경로 필터 $\hat{S}(z)$ 에 의해 추정된다 (Kuo et al., 1996).

5. 시뮬레이션

본 시뮬레이션에 사용된 두 데이터는 관제 시스템으로 녹음된 음성 데이터(약 40분 분량)와 스마트폰을 통하여 녹음된 소음 데이터(약 40분 분량)로 구성되어 있고, 동기화되지 않은 데이터이다. Fig. 6(a)는 스마트 안전모 착용자들의 마이크(이하 “첫 번째 채널”로 표기)로 녹음된 음성 $s(n)$, Fig. 6(b)은 스마트폰(이하 “두 번째 채널”로 표기)으로 녹음된 소음 $x(n)$ 을 나타낸다. 첫 번째 채널에서의 손실된 소음 신호는 두 번째 채널의 소음 신호와 물리적 경로가 다르고 소음원이 시간에 따라 변하므로 두 번째 채널의 소음 신호는 선형 필터링된 데이터 $n(n)$ 으로 가정하며, 이를 나타낸 그래프가 Fig. 6(c)이다. 그리고 약 40분 분량의 데이터를 입력으로 알고리즘을 시뮬레이션한 결과, 컴퓨터의 성능(데이터를 처리하는 시간, 용량)에 문제가 발생하여, 본 논문에서는 제시된 적응 알고리즘을 적용하여 소음 저감 또는 제거를 목적으로 하고 있어 통신에 방해가 되는 소음을 포함한 10초 분량의 데이터를 사용하였다. 첫 번째 마이크 측정되어 아날로그 디지털 변환기를 거쳐 입력으로 사용될 데이터는 Fig. 6(d)의 $d(n)$ 이다. 두 번째 마이크 측정되어 아날로그디지털 변환기를 거쳐 입력으로 사용될 데이터는 Fig. 6(b)의 $x(n)$ 이며, 시뮬레이션 도구로는 MATLAB r2021b - academic use을 사용하였다.

5.1 최소평균자승 적응 알고리즘 시뮬레이션

Fig. 7(a~g)은 최소평균자승 알고리즘을 사용하여 통신에 방해가 되는 소음 $x(n)$ 을 제거하는 과정에서 각 수렴인자를 조정

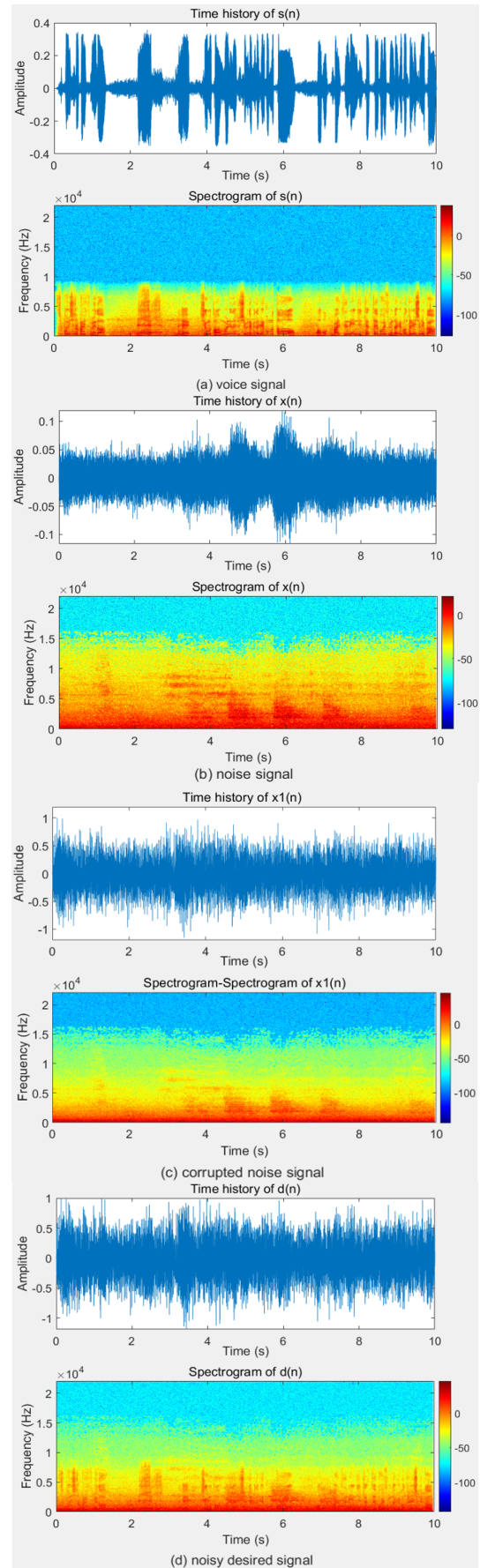


Fig. 6 Graphs of Signals

하며 시뮬레이션을 진행한 결과이며 시뮬레이션 시간은 10초이다. Fig. 7의 각 그래프는 첫 번째 마이크로 측정된 손상된 소음 $n(n)$ 을 파란색, 최소평균자승 적응형 필터 출력인 추정 소음 $y(n)$ 을 빨간색, 이 둘의 차이인 오차 $e(n)$ 을 노란색으로 표시하고 있다.

시뮬레이션 횟수가 방대하여 대표적인 7개의 수렴인자에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 수렴인자 μ 가 커질수록 오차 $e(n)$ 는 점점 감소함을 볼 수 있다. Fig. 7(a)은 최소평균자승 알고리즘이 낮은 오차 진폭에 도달하는데 약 8.3초가 걸리는 반면 Fig. 7(b)은 2.7초, Fig. 7(c)은 1.0초 미만, Fig. 7(d)은 0.5초 미만이 걸린다는 것을 알 수 있다. 최소평균자승 알고리즘에서 수렴인자가 6.9 이상부터는 오차가 수렴하지 못하고 발산하는 구간이 발생하며 수렴인자가 7.2인 Fig. 7(g)에서 명확하게 확인할 수 있다. 따라서 Fig. 7(a~d)는 본 적응 알고리즘의 수렴성을 확인할 수 있었고, Fig. 7(e~g)는 적응 알고리즘에서 최적 수렴인자 값이 존재함을 확인할 수 있었고, 최적 수렴인자로 추정할 수 있는 근거를 보여준다.

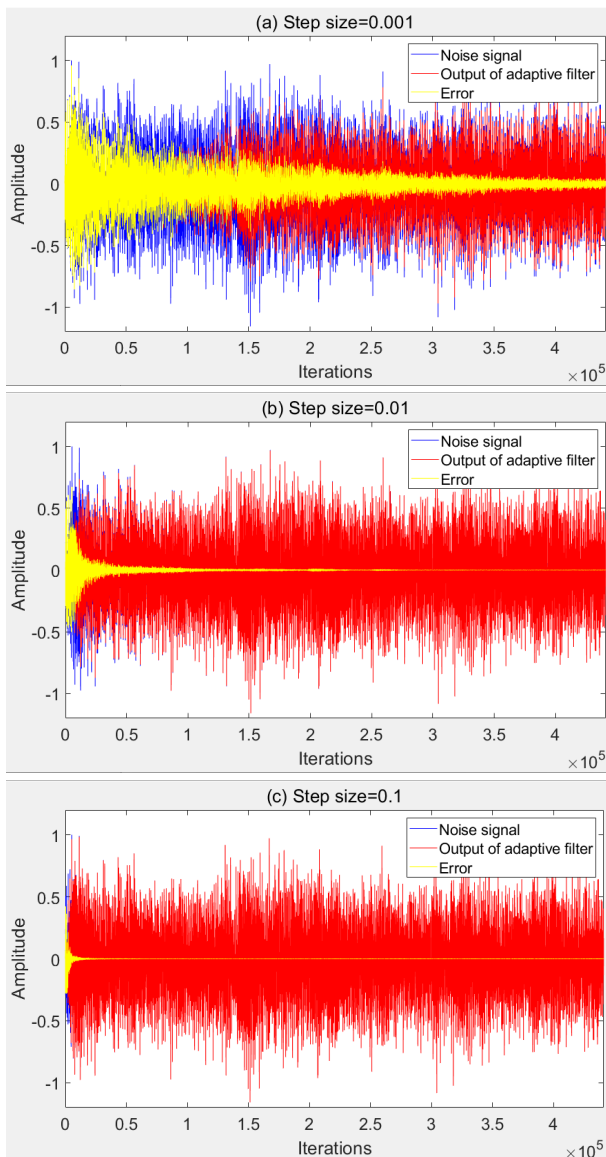


Fig. 8에서는 본래의 음성 $s(n)$ 과 원하는 신호 $d(n)$ 에서 소음이 제거된 $\hat{s}(n)$ 을 스펙트로그램을 활용하여 비교하는 그래프이다. 위의 본래 음성 신호 $s(n)$ 과 비교하였을 때 거의 대부분의 소음에 제거가 된 것을 확인할 수 있다.

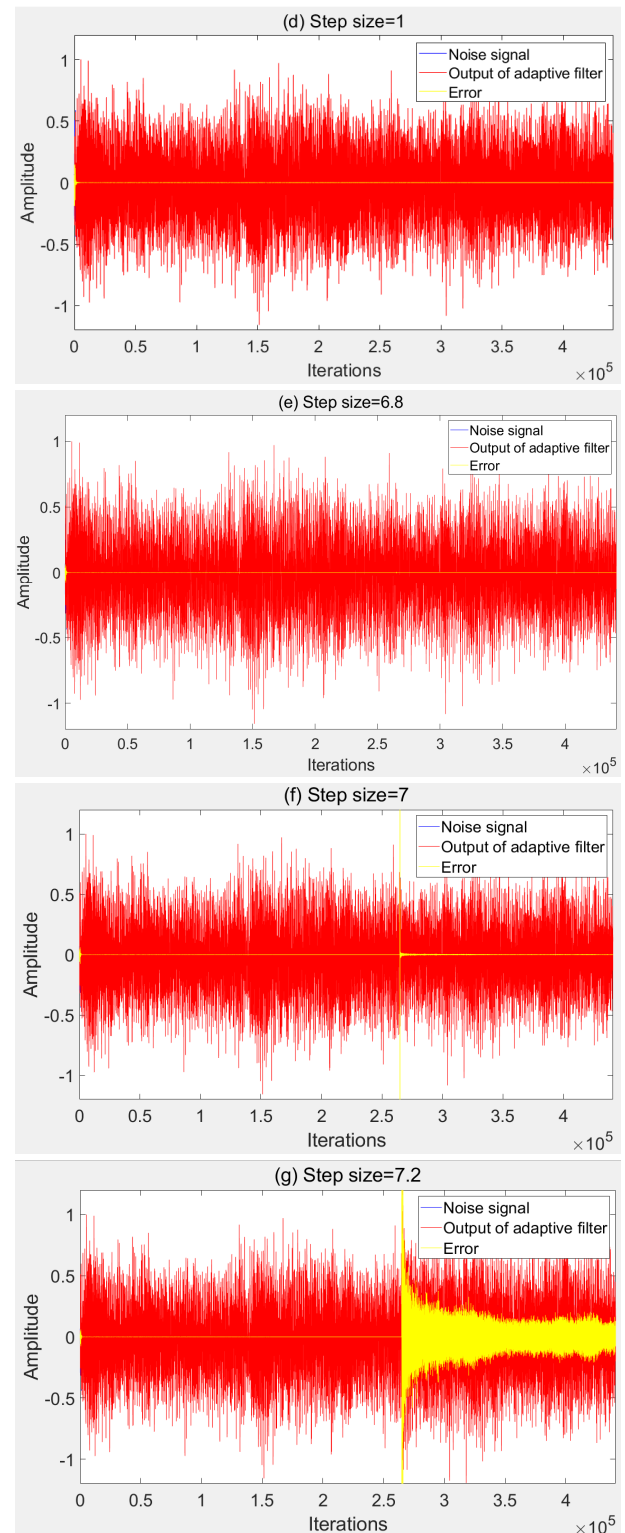


Fig. 7 Graphs of LMS algorithm simulation using different step sizes (a) $\mu=0.001$, (b) $\mu=0.01$, (c) $\mu=0.1$, (d) $\mu=1$, (e) $\mu=6.8$, (f) $\mu=7$, (g) $\mu=7.2$ for 10 seconds

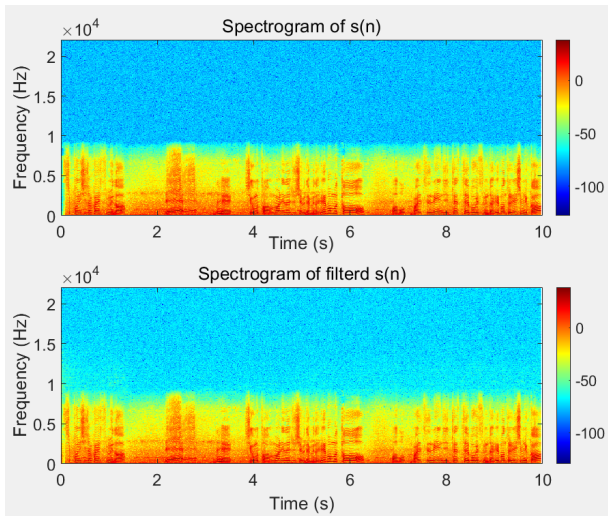


Fig. 8 Comparison of spectrograms of the voice signal $s(n)$ and the filtered voice signal $\hat{s}(n)$

5.2 Filtered-x 최소평균자승 적응 알고리즘 시뮬레이션

Fig. 9(a~g)은 Filtered-x 최소평균자승 알고리즘을 사용하여 통신에 방해가 되는 소음 $x(n)$ 을 제거하는 과정에서 각 수렴인자 μ 를 조정하며 시뮬레이션을 진행한 결과이며 시뮬레이션 시간은 10초이다. Fig. 9의 각 그래프는 첫 번째 마이크로 측정된 손상된 소음 $n(n)$ 을 파란색, 최소평균자승 적응형 필터 출력인 추정 소음 $y(n)$ 을 빨간색, 이 둘의 차이인 오차 $e(n)$ 을 노란색으로 표시하고 있다.

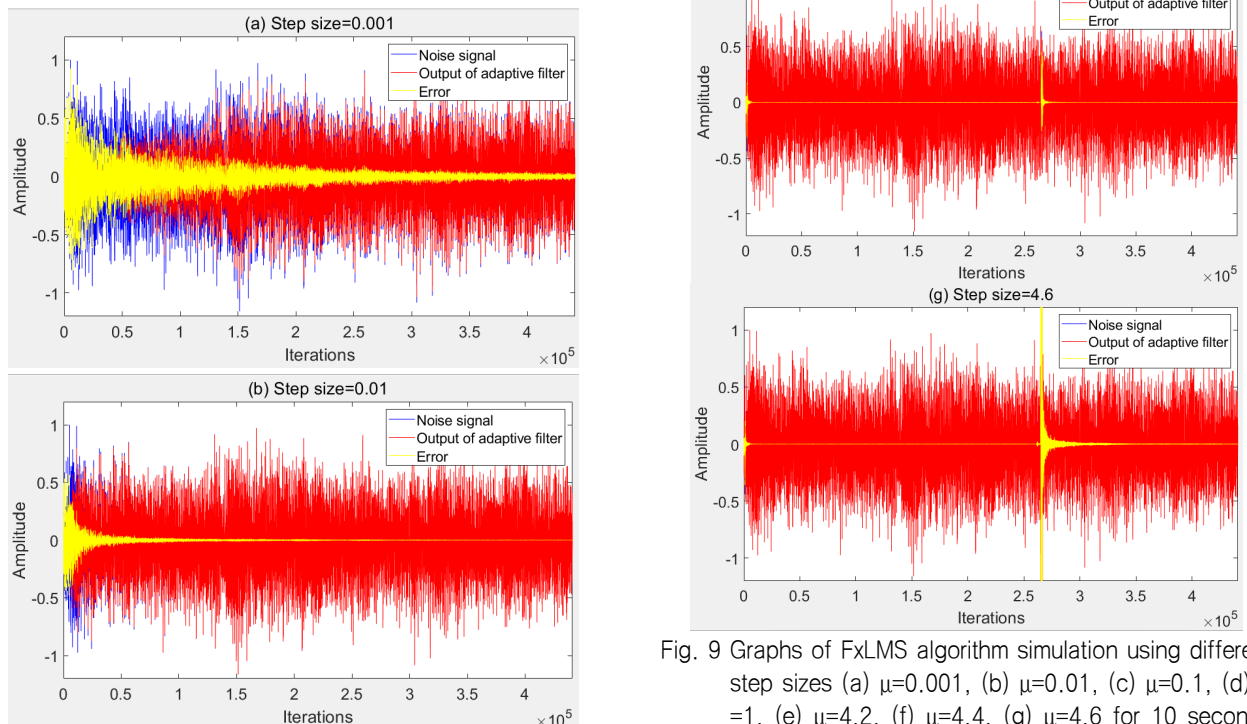


Fig. 9 Graphs of FxLMS algorithm simulation using different step sizes (a) $\mu=0.001$, (b) $\mu=0.01$, (c) $\mu=0.1$, (d) $\mu=1$, (e) $\mu=4.2$, (f) $\mu=4.4$, (g) $\mu=4.6$ for 10 seconds

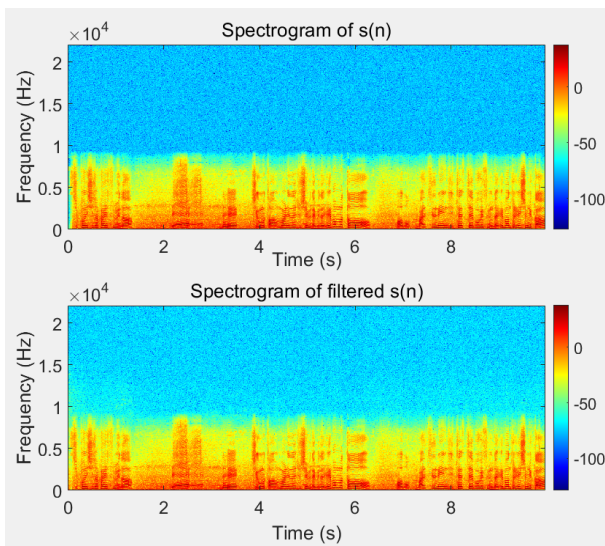


Fig. 10 Comparison of spectrograms of the voice signal $s(n)$ and the filtered voice signal $\hat{s}(n)$

Fig. 10는 본래의 음성 $s(n)$ 과 원하는 신호 $d(n)$ 에서 소음이 제거된 $\hat{s}(n)$ 을 스펙트로그램을 활용하여 비교하는 그래프이다. 위의 본래 음성 신호 $s(n)$ 과 비교하였을 때 최소평균자승 알고리즘을 사용하였을 때와 같이 거의 대부분의 소음에 제거가 된 것을 확인할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 조선해운 산업 현장 작업자 보호 및 안전 환경을 위해 스마트 안전모의 개발과 함께 실험 구역에서의 스마트 안전모 간의 다대다 통신을 구현하고, 현장에서 테스트한 결과를 분석하였다. 조선소 작업 현장에서 흔하게 발생하는 해머링 소음, 주변 기기의 소음 등을 확인하였고, 이를 개선하기 위해 최소평균자승 및 Filterd-x 최소평균자승 적응 알고리즘을 사용한 능동 소음제어 시스템과 다수의 서로 다른 수렴인자를 사용하여 현장 소음에 대한 소음저감 시험을 실시하였으며, 이것들 중 각 알고리즘에 대한 전형적인 7가지의 수렴인자 적용 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과는 조선소 작업 현장의 해머링 소음에 대하여, 최소평균자승 적응 알고리즘 적용 시 수렴인자 $\mu=6.8$ 일 때 수렴성과 수렴 속도가 가장 우수하였으며, Filterd-x 최소평균자승 적응 알고리즘 적용 시 수렴인자 $\mu=4.2$ 일 때 수렴성과 수렴 속도가 가장 우수함을 알 수 있었다. 따라서 조선소 현장에서 스마트 안전모를 통하여 다대다 통신 가능성에 대하여 본 연구를 통하여 확인할 수 있었다.

향후 조선소 작업 현장에서 발생할 수 있는 소음(충격, 변동, 간헐, 지속 등)을 정의하고, 통신 시 각각의 소음에 대한 저감 또는 제거가 실시간으로 구현되어 다대다 통신이 가능할 수 있는 방안을 연구할 것이다. 본 논문에서 고려되지 않았던 가변 수렴인자 Filterd-x 최소평균자승(Variable Step size-FxLMS, VS-FxLMS) 적응 알고리즘을 적용할 계획이다. 아울러, 시험 방

법은 조선소 작업 현장에서 첫 번째 채널과 두 번째 채널에 대한 각각의 마이크를 동기화하여 실시간으로 데이터를 획득하고 소음을 저감 또는 제거하는 시험을 진행할 계획이다.

후기

본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 과학기술인재진흥원 '2022년도 성장동력 실증·기획 지원 사업'의 지원을 받아 수행되었습니다. 아울러 대우조선해양 산업기술연구소의 야드 테스트 지원에 감사를 드립니다.

References

- An, H.W., Park, N.I., K, S. and O, D.H., 2017. Development of smart helmet based on realtime information. *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, Jeju, Republic of Korea, 28–29 April 2017.
- Berneck, L.L., 1971. *Noise and vibration control*. 1971. McGill-Hill.
- Choi, H., Kim, S., Han, S., Shin, S.H. and Park, H., 2020. Deep learning based environmental sound classification for selective noise canceling. *Proceedings of the Korean Institute of Broadcast and Media Engineers Conference*, Online, Republic of Korea, 13–15 July 2020.
- Fan, Y., 2006. Method and system for passband ripple cancellation in cascading filter. *United States Patent application publication*.
- Hwang, J.H. and Jeong, W.Y., 2017. Structure and technology of personal protection helmets. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(4), pp.771–781.
- Hwang, J.H. and Yoo, C., 2005. Broadband frequency variable active-RC channel selection filter for SDR. *Telecom*, 21(2), pp.91–99.
- Israel, C.J., Sergio, M.S., Juan, Q.G., Sara, R., and Juan, M. C., 2020. Smart helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence. *Sensors*, 20(21), 6241, pp.1–27.
- Kuo, S.M. and Morgan, D.R., 1996. *Active noise control systems: algorithms and DSP implements*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kuo, S.M., Panahi, I., Chung, K.M., Horner, T., Nadeski, M. and Chyan, J., 1996. *Design of active noise control systems with the TMS320 Family*. Application Report of Texas Instruments.
- Lee, J., Ka, S., Kwak, C. and Choi, S., 2019. Analysis of temporal noise for acoustic communication in noisy

environment. *Proceedings of the Korean Institute of Communications and Information Sciences Conference*, Pyeongchang, Republic of Korea, 23–25 January 2019.

Ministry of Employment and Labor, 2020. *Analysis of Industrial Accident Status (Focusing on occupational accidents rounding to the Industrial Accident Compensation Act)*, URL: https://www.mel.go.kr/info/publicct/publicct_DataView.do?bbs_seq=20211201900 [Accessed 14 March 2022].

Nam, M.W. and Park, J.H., 2008. FxLMS algorithm using empirical mode decomposition. *Proceedings of the Korea Academia-Industrial cooperation Society Conference*, Hongseong, Republic of Korea, 27 November 2008.

Nelson, P.A. and Elliott, S.J., 1992. *Active Control of Sound*. Academic Press, Inc.

Oh, J.E., Lee, G.T., Lee, H.J., Bang, S.W. and Lee, J.Y., 2006. Active Noise Control of Automotive Intake System under Rapid Acceleration. *Proceedings of The Korean Society of Automotive Engineers Conference*, Jeju, Republic of Korea, 22–24 November 2006.

Park, J., Heo, J., Lee, S., Park, J., Park J.S. and Lee, K., 2022. Connectivity Verification and Noise Reduction Analysis of Smart Safety Helmet of Shipyard Worker. *Journal of Korea Institute of Convergence Signal Processing*, 23(1), pp.28–36.

Park, J.S., Jang, B.J., O, H.R., Lim, J.B. and Cho, H.G., 2005. Research trends of micro-filter for mobile handsets. *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 16(4), pp.24–37.

Yu, G.H., 2018. *Deep-learning based scream recognition and implementation of scream alarm system*, Master's degree. Daejeon: Chungnam National University.



박준혁



박준수