

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.6.1103>

JCCT 2023-11-132

법적 증거 능력을 위한 오디오 파일의 메타데이터 및 파일 구조 분석의 한계: 삼성 스마트폰을 중심으로

Limitations of Analyzing Metadata and File Structure of Audio Files for Legal Evidence: Focusing on Samsung Smartphones

백성원*, 손호민**, 박재완***

Sungwon Baek*, Homin Son**, Jae Wan Park***

요약 오늘날, 스마트폰의 확산에 따라 오디오 파일이 법적 증거로 제출되는 수가 증가하면서 오디오 파일의 무결성은 중요한 이슈가 되고 있다. 이에 본 연구는 삼성 스마트폰에서 녹음된 오디오 파일의 메타데이터 및 파일 구조가 원본과 동일하게 조작될 수 있는지를 탐구하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 삼성 스마트폰을 기반으로, 내장된 음성 녹음 앱과 녹음 앱으로 가장 인기가 높은 '이지 보이스 레코더' 앱을 대상으로 실험을 수행했다. 본 연구의 실험을 통해 오디오 파일의 메타데이터와 파일 구조는 조작이 가능하다는 것이 증명되었다. 따라서 본 연구는 오디오 파일이 법적 증거 채택을 위한 감정이 수행될 때, 메타데이터 및 파일 구조 분석은 무결성을 증명하는 데 한계를 지닌다는 점을 밝힌다. 또한 메타데이터 및 파일 구조 분석에 의존하지 않는 새로운 음성 파일 위변조 기술의 개발이 필요성을 주장한다.

주요어 : 메타데이터, M4A 파일 구조, 오디오 포렌식, 무결성, 오디오 파일 위변조, 삼성 스마트폰

Abstract Today, as the number of audio files submitted as legal evidence increases with the proliferation of smartphones, the integrity of audio files has become an important issue. Accordingly, the purpose of this study is to explore whether the metadata and file structure of audio files recorded on Samsung smartphones can be manipulated to be identical to the original. This study was based on Samsung smartphones, the most widely used in Korea, and conducted experiments on the built-in voice recording app and the 'Easy Voice Recorder' app, which is the most popular recording app. Through the experiments of this study, it was proven that the metadata and file structure of audio files can be manipulated. Therefore, this study reveals that metadata and file structure analysis have limitations in proving the integrity when audio files are analyzed for adoption as legal evidence. They also argue for the need to develop new voice file forgery technology that does not rely on metadata and file structure analysis.

Key words : Metadata, M4A file structure, Audio forensics, Integrity, Audio file forgery, Samsung smartphone

1. 서론

최근 스마트폰의 확산에 따라 증거물로 제출되는
녹음 파일 대부분이 스마트폰에서 만들어진다. 이러한

*준회원, 숭실대학교 글로벌미디어학부 학사과정 (제1저자)

**준회원, 숭실대학교 글로벌미디어학부 학사과정 (참여저자)

***정회원, 숭실대학교 글로벌미디어학부 부교수 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 3일, 수정완료일: 2023년 10월 24일

게재확정일: 2023년 11월 10일

Received: October 3, 2023 / Revised: October 24, 2023

Accepted: November 10, 2023

***Corresponding Author: jaewan.park@ssu.ac.kr

Global School of Media, Soongsil Univ., Korea

상황에서 스마트폰을 통해 생성된 음성 녹음 파일의 무결성은 수사 및 재판 과정에서 중요한 이슈로 부상하고 있다[1]. 이에 대검찰청은 음성 녹음 파일 위변조를 막는 디지털 식별 기술을 개발 중에 있다[2]. 이를 위해 대검찰청은 스마트폰 제조사, 모델, 운영 체제별로 테스트 녹음 파일을 수집하고 이를 데이터베이스화함으로써 메타데이터(metadata) 및 파일 구조 분석을 통해 음성 녹음 파일이 편집되었는지를 탐지하고자 했다[3]. 메타데이터 및 파일 구조 분석은 증거 녹음 파일과 동일한 장치에서 녹음된 파일을 대조하여 위변조되었는지를 판단하는 방식으로 데이터베이스를 구축할 경우, 디지털 증거물에 대한 법적 효력을 판단하는데 효율성 및 객관성을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다[4].

하지만 이 방법은 음성 녹음 파일의 구조를 변경하고 메타데이터를 조작하는 것이 불가능할 때만 무결성을 입증할 수 있다. 이에 다수의 연구에서 메타데이터 및 음성 녹음 파일 구조의 한계를 언급하고 있다[5]-[7]. 또한 본 연구의 선행연구로서 아이폰 6(iOS 12)에서 녹음된 음성 파일의 메타데이터 및 파일 구조를 손쉽게 위변조하는 기법에 대한 연구가 수행되었다[7]. 하지만 이 연구는 아이폰(iPhone)에 내장된 기본 녹음 앱(app)인 보이스 메모(voice memo)를 활용하여 편집 후 재 인코딩을 하는 방식을 이용함으로써 아이폰 내장 앱에 국한된 실험이라는 점에 한계를 지닌다. 이에 한국에서 가장 많이 사용되는 삼성 스마트폰[3][8]의 내장 앱 및 인기 있는 녹음 앱에서 녹음된 음성 파일의 메타데이터와 파일 구조의 조작이 가능한지에 대한 실증적 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 삼성 스마트폰 녹음 파일의 메타데이터 및 파일 구조를 변경하는 실험을 통해 메타데이터 및 파일 구조가 원본과 동일하게 위변조될 수 있는지를 논하고자 한다. 이를 위해 본 연구는 먼저 M4A 파일 구조의 이해 및 관련 연구의 조사를 기반으로 메타데이터 및 파일 구조를 조작하는 안티 포렌식(anti-forensic) 기법을 분석한다. 이를 기반으로 삼성 스마트폰 녹음 파일의 메타데이터 및 파일 구조를 변경하는 실험을 수행한다. 본 실험은 삼성 스마트폰의 기본 녹음 앱과 구글 플레이 스토어(Google Play Store) 기준 사용자들이 가장 많이 사용하는 녹음 앱인 Easy Voice Recorder를 대상으로 한다. 두 가지 앱을 가지고 원본 녹음 파일을 생성하고, 편집한 후, 원본과 동일한

파일 포맷(file format)으로 변환한다. 이렇게 만든 편집 파일을 원본 파일과 메타데이터 및 파일 구조를 대조한다. 차이점을 기반으로 원본 파일과 동일하게 메타데이터 및 파일 구조의 변경이 가능한지 실험한다. 본 연구의 실험 결과 원본과 동일하게 메타데이터 및 파일 구조의 변경이 가능했다.

이에 본 연구는 메타데이터 및 파일구조 분석 방식만으로 음성 녹음 파일의 무결성을 보장할 수 없음을 주장한다. 따라서 본 연구는 법적 증거로서의 음성 녹음 파일에 대한 무결성 문제에 대한 인식을 높이고 새로운 검출 기법에 대한 통찰력을 제공하는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한 메타데이터 및 파일구조 분석에 의존하지 않는 정확하고 신뢰할 수 있는 오디오 포렌식 기술의 필요성을 주장하는데 의의가 있다.

II. M4A 파일 구조

일반적으로 삼성 스마트폰으로 음성을 녹음할 때, 파일 형식은 M4A 파일로 저장된다. M4A 파일은 MPEG-4 Part 14의 일부로 손실 압축이라고 하는 AAC(Advanced Audio Coding) 알고리즘을 사용하여 만들어진 오디오 파일이다. M4A 파일 구조는 박스(box)들이 일렬로 배치되어 있다. 여기서 말하는 박스란 가장 기본적인 데이터 단위이며 객체지향적으로 설계된 하나의 블록이다. 이는 구성요소가 하나의 성분으로 쉽게 분리된다는 것과 부모의 상속을 받는 자식 형식으로 구성된다는 것을 의미한다. 그림 1은 M4A 파일의 구조를 나타낸다.

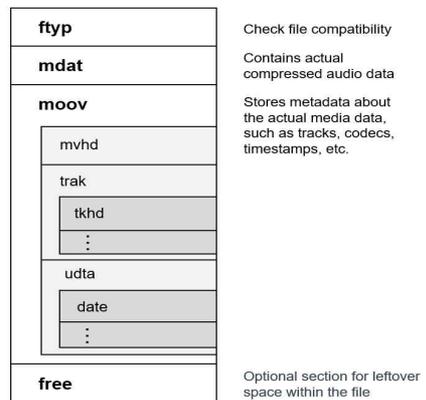


그림 1. M4A 파일 구조
Figure 1. M4A file structure

그림 1과 같이 컨테이너(container) 박스는 관련된 박스를 포함하여 그룹화된다. 이에 따라 컨테이너 박스의 크기는 하위 모든 박스들의 크기를 포함한다. 이처럼 체계적인 규칙을 가지고 있지만, 'moov'와 'mdat', 'free'의 위치는 순서가 바뀔 수 있다. 이러한 특성 때문에 스마트폰의 기종, 녹음 앱, 인코더에 따라 파일 구조는 상이할 수 있다.

M4A 파일 구조 내 박스들은 각각의 고유한 역할을 지니고 있다. 따라서 박스 안의 데이터를 통해 메타데이터를 확인할 수 있다. 이 메타데이터에는 모델명, 녹음 앱 정보, 녹음 날짜, 인코딩 날짜 등 일반 정보뿐만 아니라 오디오 파일의 길이(duration), 비트 레이트(bit rate), 샘플링 레이트(sampling rate) 등 기술적인 세부 정보가 저장될 수 있다.

III. 관련 연구

녹음 파일의 메타데이터는 오디오 파일의 처리 및 녹음 정보 등으로 구성된다[4]. 이 메타데이터와 파일 구조가 오디오 파일을 편집 후 인코딩했을 경우 원본과의 상이한 점을 위변조 탐지에 이용할 수 있다.

아이폰의 경우, Zeng et al.[9]은 모델과 운영체제에 따라 원본 파일은 특정한 파일 구조, 시간 정보, 데이터 정보를 포함하고 있음을 확인하고, 이를 비교·대조하여 위변조 파일을 구분할 수 있는 방법을 제안했다. 하지만 최근 스마트폰 녹음 앱들이 편집 기능을 포함하면서, 이를 이용한 재 인코딩을 통해 원본 파일과 동일하게 메타데이터와 파일 구조가 조작될 수 있다[7].

삼성 갤럭시 스마트폰의 경우, Ahn et al.[4]은 원본 파일을 위변조하였을 때 박스 내부 속성들의 변화를 분석하는 연구를 수행했다. 이와 더불어 편집된 녹음 파일이 재 인코딩되었을 때 파일 생성 시간과 수정 시간이 변경되어 메타데이터 내의 date 특성을 통해 원본 파일과의 차이를 확인할 수 있다[3][5]. 하지만 메타데이터의 date를 변경할 수 있는 소프트웨어들이 존재하며, 또한 Hex 에디터를 이용하여 박스 내부에 있는 속성 값의 변경이 가능하기 때문에 메타데이터의 속성만으로는 위변조를 판별하는 것은 불가능하다.

Park et al.[10]은 삼성 스마트폰 음성 파일의 원본과 편집 파일의 구조상의 유의미한 차이가 있음을 보여주었다. 삼성 스마트폰의 내장 녹음 앱에서 편집 시

'moov/meta' 박스가 삭제됨을 통해 파일의 박스 구조로 위변조 여부를 판단했다. 더욱이 최근 삼성 스마트폰의 경우 동일한 장치의 내장 녹음 앱에서 녹음된 파일만이 내장 녹음 앱에서 사용될 수 있도록 제한하고 있다.

이러한 연구에도 불구하고 디지털 파일의 특성상 이론적으로 원본과 동일하게 메타데이터 및 파일 구조를 변경하는 것은 가능하다. 이에 스마트폰에서 녹음된 파일의 메타데이터와 파일 구조가 조작될 수 있다는 것을 실증하는 연구가 필요하다.

IV. 오디오 파일 위변조 과정

원본 파일을 위변조하기 위해서는 변환, 비교·대조, 조작의 3단계 과정이 필요하다.

1. 변환 단계

녹음된 원본 파일을 편집 도구로 편집할 경우 무손실 압축인 wav 파일로 저장된다. 원본 파일과 동일한 파일 포맷을 갖기 위해 스마트폰과 동일한 코덱(codec)을 사용하는 컨버터(converter)를 이용하여 M4A 파일로 변환한다. 이때 샘플링 레이트와 비트 레이트, 채널(channel) 등을 원본 파일과 동일한 값으로 설정한다.

2. 비교·대조 단계

대조 단계에서는 인코딩 후, 주파수 및 메타데이터, 파일 구조가 원본 파일과 어떤 부분이 같고 다른지를 대조한다. 주파수는 스펙트로그램(spectrogram)을 통해 차단주파수(cut-off frequency), 주파수 대역폭(bandwidth)을 대조한다. 이후 원본과 편집된 파일의 파일 구조 및 메타데이터의 비교를 통해 상이한 데이터 값들을 확인한다.

3. 조작 단계

대조 단계에서 상이한 파일구조 및 메타데이터를 발견하였다면 조작 단계에서 위의 부분들을 변경하여 원본 파일과 동일하게 맞추는 과정으로 위변조가 수행될 수 있다. 조작 단계에서는 먼저 원본과 동일하게 파일 구조를 변경하고 메타데이터의 속성을 변경한다. 그 후 편집된 오디오 파일이 녹음된 앱에서 잘 작동하는지 확인한다.

V. 실험 및 결과

1. 실험 방법

본 실험의 목표는 삼성 스마트폰에서 녹음된 원본 파일을 편집한 파일을 원본 파일과 동일하게 메타데이터 및 파일 구조를 변경될 수 있는지를 확인하는 것이다.

실험은 삼성 갤럭시 S23 Ultra(안드로이드 13) 기종을 사용하여 내장된 음성 녹음 앱과 Easy Voice Recorder 앱이 사용되었다. 원본 파일을 음성 편집 프로그램인 Adobe Audition을 이용하여 편집하고 wav 파일로 저장한 후, 녹음 앱과 가장 유사한 코덱을 갖는 컨버터를 찾아서 변환한다. 이는 가장 유사한 코덱 알고리즘을 사용하여 변환할 경우 메타데이터와 파일 구조를 변경할 때 발생하는 오류를 최소화할 수 있다.

원본과 편집된 파일의 파일 구조와 메타데이터를 대조를 위해 MP4 Inspector[11]와 MediaInfo[12]가 활용되었고, 파일 구조 및 메타데이터 조작을 위해 Hex 에디터(editor)인 HxD[13]가 활용되었다.

2. 실험 과정

2-1. 내장 음성 녹음 앱

삼성 스마트폰에 내장된 음성 녹음 앱에서 원본 파일 생성하고 Adobe Audition에서 편집 후 wav 파일로 저장하였다. M4A 파일로의 변환을 위해 Wondershare의 DemoCreator[14] 소프트웨어 사용되었다. DemoCreator에서 ACC 인코더, 모노 채널, 44.1kHz 샘플링 레이트, 128kbps 비트 레이트로 설정하고 m4a 파일로 저장하였다. 그림 2와 같이 원본 파일과 인코딩된 파일의 파일 구조에서 차이점이 발견되었고, 메타데이터에서도 차이점이 관찰되었다.

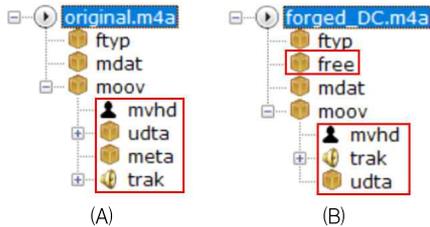


그림 2. 원본 파일과 조작된 파일의 파일 구조 비교: (A) 원본 파일과 (B) DemoCreator에 의해 인코딩된 파일
Figure 2. Comparison of file structures of the original and manipulated files: (A) original and (B) files encoded by DemoCreator

그 후 삼성 스마트폰 내장 앱과 동일한 코덱을 사용하는 국내·외 온·오프라인 소프트웨어를 조사한 결과 Easy Voice Recorder 앱이 동일한 코덱을 지원하는 것이 발견되었다. 따라서 Easy Voice Recorder 앱으로 불러들여 편집된 M4A 파일을 다시 M4A 파일로 변환했다. 이렇게 변환된 파일과 원본 파일의 메타데이터와 구조의 대조를 통해 그림 3과 같이 차이점이 파악되었다. 차이점 부분을 HxD를 이용해서 원본과 동일하게 변경하였다.

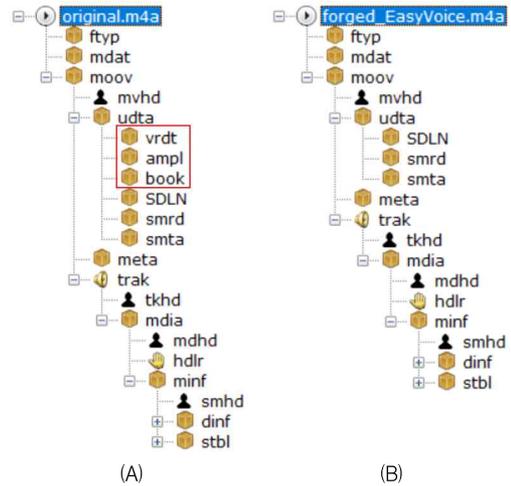


그림 3. 원본 파일과 조작된 파일의 파일 구조 비교: (A) 원본 파일과 (B) Easy Voice Recorder에 의해 인코딩된 파일
Figure 3. Comparison of file structures of the original and manipulated files: (A) original file and (B) file encoded by Easy Voice Recorder

2-2. Easy Voice Recorder 앱

Easy Voice Recorder 앱을 이용하여 녹음한 원본 파일을 편집 후 wav 파일로 저장하였다. 96kbps 비트 레이트로 설정하고 나머지는 위의 실험과 동일한 조건으로 M4A 파일로 변환하였다. 이후 위의 실험과 동일한 방식으로 실험을 수행했다. Easy Voice Recorder에서 편집 기능을 통해 재 인코딩된 파일은 원본 파일과 동일한 파일 구조를 가지게 되었다. 하지만 재 인코딩을 위해 일부분을 잘라내는 편집이 수행되었기 때문에 duration에서 변화가 발생했다. 그림 4는 원본 파일과 재 인코딩된 파일 간의 메타데이터에서 차이점을 나타낸다.

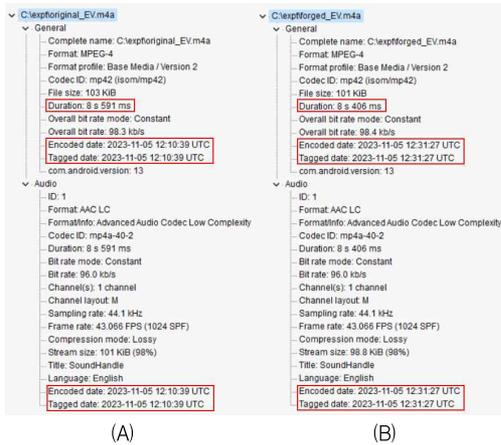


그림 4. 원본 파일과 조작된 파일의 메타데이터 비교: (A) 원본 파일과 (B) Easy Voice Recorder에서 재 인코딩된 파일
 Figure 4. Comparison of metadata of original and manipulated files: (A) original file and (B) file re-encoded in Easy Voice Recorder

3. 실험 결과 및 토론

본 연구의 실험 결과는 편집된 파일들은 duration을 제외하고 원본 파일과 동일하게 메타데이터와 파일 구조가 일치될 수 있음을 나타낸다. 또한 duration은 편집 시 시간을 추가한 후, 추가된 시간을 M4A 파일로 변환 시 잘라내기 하는 방식으로 충분히 동일하게 만들 수 있다.

표 1과 표 2는 삼성 갤럭시 음성 녹음 앱과 Easy Voice Recorder에서 녹음된 파일의 위변조 과정에 따른 메타데이터 및 파일 구조의 변화 과정을 나타낸다. 또한 녹음된 앱에서 조작된 파일이 실행 가능한지를 나타냈다.

표 1. 갤럭시 음성 녹음 파일의 위변조 과정에 따른 메타데이터 및 파일 구조의 변화

Table 1. Changes in metadata and file structure due to forgery of Galaxy Voice Recording files

	Conversion by DemoCreator	Conversion by Easy Voice Recorder	Manipulation by Hex Editor
File structure	Changed	Changed	Manipulable
Metadata	Changed	Changed	Manipulable except for duration
Play on Voice Recording	Impossible	Impossible	Possible

표 2. Easy Voice Recorder 파일의 위변조 과정에 따른 메타데이터 및 파일 구조의 변화

Table 2. Easy Voice Recorder App file: Metadata changes according to the forgery process

	Conversion by DemoCreator	Conversion by Easy Voice Recorder	Manipulation by Hex Editor
File structure	Changed	No changed	-
Metadata	Changed	Changed	Manipulable except for duration
Play on Easy Voice Recorder	Possible	Possible	Possible

삼성 스마트폰의 경우 내장된 음성 녹음 앱에서 녹음된 파일만이 앱 안의 '목록'으로 들어올 수 있었다. 더욱이 내장된 음성 녹음 앱의 편집 기능으로 M4A 파일 변환 시 원본과 다른 코덱이 적용되었다. 즉, 녹음 파일의 위변조를 막는 최소한의 기능을 갖추고 있었다. 하지만 M4A 파일의 메타데이터의 조작으로 내장된 음성 녹음 앱의 '목록'으로의 자유로운 이동이 가능했다.

오늘날, 국내·외적으로 다양한 녹음 앱들이 출시되고 있다. 이러한 대부분의 녹음 앱들은 편집 기능을 포함하고 있으며, 널리 알려진 코덱을 사용하고 있기 때문에 녹음 앱들의 편집 기능을 사용하지 않고, PC 기반의 오디오 컨버터를 사용해 변환할 경우 duration까지 동일하게 만드는 것이 가능하다. 더욱이 내장 녹음 앱에서 녹음된 파일을 편집 후, 특정 녹음 앱에서 녹음한 것으로 조작하는 행위가 더 쉽게 일어날 수 있다. 따라서 객관성의 이유로 메타데이터와 파일 구조 분석에 의존하는 감정은 지양될 필요가 있다.

VI. 결론

오늘날 법정 증거의 이슈로 디지털 파일이 증거 입증 능력이 있는지에 대한 논의가 활발하다[15]. 이에 본 연구는 실험을 통해 파일 구조와 메타데이터는 조작될 수 있다는 것을 실증하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

본 연구를 위해 M4A 파일 구조의 이해를 기반으로 오디오 파일 위변조 과정을 도출했다. 이 과정을 기반으로 삼성 갤럭시 스마트폰의 내장 음성 녹음 앱과 Easy Voice Recorder에서 녹음된 음성 파일의 파일 구

조와 메타데이터를 각각 조작하는 실험이 수행되었다. 본 연구의 실험 결과는 편집된 파일의 파일 구조와 메타데이터는 원본과 동일하게 조작될 수 있음을 나타낸다.

본 연구는 이론적으로 존재하던 디지털 특성상 파일 구조 및 메타데이터의 조작은 가능하다 것을 실험을 통해 증명했다. 이를 통해 디지털 증거를 채택함에 있어서 메타데이터 및 파일 구조 분석은 무결성을 증명하는데 한계를 지닌다는 것을 주장한다. 또한 메타데이터 및 파일 구조 분석에 의존하지 않는 새로운 음성 파일 위변조 기술의 개발이 필요하다는 것을 주장한다.

본 연구의 향후 연구는 다양한 스마트폰 기종을 기반으로 메타데이터 및 파일 구조의 조작이 가능함을 확인하는 연구를 수행할 예정이다. 이를 기반으로 메타데이터 및 파일 구조를 분석하는 가이드라인을 수립하는 연구가 수행될 예정이다. 본 연구는 현재의 메타데이터 및 파일 구조 분석의 한계를 제시함과 동시에 오디오 포렌식 분야의 새로운 기술 개발을 위한 방향을 제공하는데 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] S. Lee and J.W. Park, "Research on Improving Standards of Admissibility of Digital Voice-Recorded File under Criminal Procedure Law: Centering on the Possibility of Case Law Emphasizing Hash Value," *Yonsei Law Review*, Vol. 32, No. 3, pp. 31-59, September 2022. DOI: 10.21717/ylr.32.3.2
- [2] K. Lee, "Develops Smartphone Recording File Forgery Identification Technology", *ChosunBiz*, [Online]. Available: https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2021/02/17/2021021700406.html. [Accessed: February 17, 2021].
- [3] K.W. Kim, "A Study on the Forensic Application of Smartphone Recording Database," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 15, No. 1, pp. 26-42, March 2021. DOI: 10.22798/kdfs.2021.15.1.26
- [4] S.Y. Ahn, S.H. Ryu, K.W. Kim, and K.H. Hong, "A comparative analysis of metadata structures and attributes of Samsung smartphone voice recording files for forensic use," *Phonetics and Speech Sciences*, Vol. 14, No. 3, pp. 103-112, September 2022. DOI: 10.13064/ksss.2022.14.3.103
- [5] N.I. Park, K.S. Shim, and O.Y. Jeon, "A Study on Authentication Analysis Procedure of Digital Audio Files," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 13, No. 4, pp. 257-270, December 2019. DOI: 10.22798/kdfs.2019.13.4.257
- [6] Y.J. Song and G.B. Kim, "A Study on the Detection of Falsification of Voice Recording Files in an Application," *Digital Forensics research*, Vol. 16, No. 3, pp. 65-76, September 2022. DOI: 10.22798/KDFS.2022.16.3.65
- [7] J.W. Park, W.J. Kwak, and S.H. Lee, "A Study on Forgery Techniques of Smartphone Voice Recording File Structure and Metadata," *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 8, No. 6, pp. 807-812, November 2022. DOI: 10.17703/JCCT.2022.8.6.80
- [8] Gallup, "2012-2023 Research on smartphone usage & brand, smartwatch, wireless earphone", Gallup Report, [Online]. Available: <https://www.gallup.co.kr/gallupdb/reportContent.asp?seqNo=1405>. [Accessed: July 13, 2023].
- [9] J. Zeng, Q. Lian, and S. Shi, "Forensic originality identification of iPhone's voice memos," *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1345, No. 5, pp. 052053, November 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1345/5/052053
- [10] N.I. Park et al, "Forgery Analysis Method for Audio Recordings Generated by Voice Recorder Application from Samsung Smartphones," *Korean Society of Forensic Science*, Vol. 23, No 2, pp. 77-87, November 2022. DOI: 10.53051/kfsf.2022.23.2.10
- [11] C. Wong. *MP4 Inspector*. (2016). Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://sourceforge.net/projects/mp4-inspector/>
- [12] *MediaInfo*. (23.10). MediaArea. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://mediaarea.net/ko/MediaInfo/>
- [13] M. Hörz. *HxD*. (2021). Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://mh-nexus.de/en/hxd/>
- [14] *DemoCreator*. (6.9.1). Wondershare. Accessed: Oct. 30, 2023. [Online]. Available: <https://dc.wondershare.kr/video-editor/convert-m4a-mp3.html>
- [15] G.R. Shin, "A Study on Selectively Collecting Digital Evidence in Search and Seizure," *Journal of Legislative Studies*, Vol. 17, No. 2, pp. 221-245, August 2020. DOI: 10.31536/ylr.2020.17.2.008

※ 이 논문은 서울시 산학연 협력사업 2022년
도 제 6회 서울 혁신 챌린지 결선
(IC220010)의 지원을 받아 수행된 연구임