

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.6.807>

JCCT 2022-11-99

스마트폰 음성녹음 파일 구조 및 메타데이터의 위변조 기법에 관한 연구

A Study on Forgery Techniques of Smartphone Voice Recording File Structure and Metadata

박재완*, 곽원준**, 이상현***

Jae Wan Park*, Won Jun Kwak**, John Sanghyun Lee***

요약 최근 음성녹음 파일도 법정 증거로 제출되는 수가 늘어남에 따라 위변조를 주장하는 사례도 증가하고 있다. 객관적 근거인 음성녹음 파일 구조 및 메타데이터를 완벽하게 위변조 할 경우에는 정교한 음성녹음 파일의 위변조 검출은 사실상 불가능하다. 위변조된 음성녹음 파일을 가지고 수행된 파일 구조 및 메타데이터 분석이 법정에서 거부되는 것은 쉽지 않다. 본 연구는 음성녹음 파일 구조 및 메타데이터의 위변조가 손쉽게 가능하다는 것을 증명하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구에서는 음성녹음 파일의 편집 방법의 유형화를 기반으로 정교한 편집이 가능한 '혼합붙여넣기' 기능을 적용할 경우 위변조 검출의 불가능함을 소개했다. 더욱이 실험을 통해 파일 구조 및 메타데이터의 위변조가 가능하다는 것을 증명했다. 따라서 음성녹음 파일이 디지털 증거로 채택됨에 있어서 더 엄격한 증거능력 판단 기준이 필요하다. 본 연구는 법관이 디지털 증거를 채택함에 무결성의 기준에 공헌할 뿐만 아니라 향후 개발될 것으로 예상되는 녹음파일 위변조 검출 인공지능을 위한 데이터셋 구축 방법에 공헌할 것이다.

주요어 : 위변조 기법, 오디오 포렌식, 음성 녹음 파일, 디지털 증거, 메타데이터

Abstract Recently, as the number of voice recording files submitted as court evidence increases, the number of cases claiming forgery is also increasing. If the audio recording file structure and metadata, which are objective grounds, are completely forged, it is actually impossible to detect forgery of the sophisticated audio recording file. It is extremely rare for the court to reject the file structure and metadata analysis performed with the forged audio recording file. The purpose of this study is to prove that forgery of voice recording file structure and metadata is easily possible. To this end, in this study, it was introduced that forgery detection is impossible when the 'mixed paste' function, which enables sophisticated editing based on the typification of the editing method of voice recording files, is applied. Moreover, it has been proven through experiments that forgery of file structure and metadata is possible. Therefore, a stricter standard for judging the admissibility of evidence is required when the audio recording file is adopted as digital evidence. This study will not only contribute to the standard of integrity in the adoption of digital evidence by judges, but will also contribute to the method of constructing a dataset for artificial intelligence in detecting forgery of recorded files that is expected to be developed in the future.

Key words : Forgery Techniques, Audio Forensic, Voice Recording File, Digital Evidence, Metadata

*정희원, 숭실대학교 글로벌미디어학부 부교수 (제1저자)

**정희원, 숭실대학교 경영학부 부교수, 가톨릭대학교 인공지능학과 석사과정 (참여저자)

***정희원, 숭실대학교 국제법무학과 교수 (교신저자)
접수일: 2022년 9월 30일, 수정완료일: 2022년 10월 25일
게재확정일: 2022년 11월 1일

Received: September 30, 2022 / Revised: October 25, 2022

Accepted: November 1, 2022

***Corresponding Author: sleel10@ssu.ac.kr

Dept. of Global Law, Soongsil Univ., Korea

I. 서 론

스마트폰의 대중화에 따라 범죄와 관련된 증거를 디지털 사진 파일이나 음성녹음 파일, 동영상 파일 등 디지털 파일로 수사기관에 제출하는 경우가 증가되고 있다 [1][2][3]. 하지만 최근 어도비 오디오(Adobe Audition), 아이조톱(iZotope) 등 전문 오디오 편집 도구가 확산됨에 따라 일반인들도 손쉽게 음성녹음 파일을 편집할 수 있게 되었다[4][5]. 이러한 도구를 가지고 정교하게 음성 파일을 편집할 경우에 음성 파일의 내부 콘텐츠만을 가지고 위변조를 검출하는 것은 사실상 불가능하다.

이에 대부분의 음성분석 전문가들은 객관적 분석 지표인 음성파일의 구조와 메타데이터에 의존하게 된다. 증거로 제출된 음성녹음 파일을 녹음했던 동일한 스마트폰으로 녹음된 테스트 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터를 비교하여 동일할 경우, 음성분석 전문가들은 정교하게 편집된 음성파일은 위변조가 없는 것으로 일반적으로 판단한다. 즉, 음성분석 전문가들의 주관적 해석으로 음성녹음 파일의 위변조가 결정된다. 재판부는 “녹음파일 사본에 편집의 흔적을 발견할 수 없고, 이 사건 녹음파일 사본의 파일정보와 녹음 주파수 대역이 위 디지털 녹음기로 생성한 파일의 그것들과 같다”는 근거로 증거를 채택한 대법원 판례를 인용하여 이를 증거로 채택한다[6]. 이는 음성녹음파일의 구조와 메타데이터의 위변조는 거의 불가능하다는 전제하에서 기인된 것이다. 따라서 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터를 위변조하는 기법에 관한 연구는 필요하다.

본 연구의 목적은 스마트폰에서 녹음된 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터는 일반인도 위변조가 가능하다는 것을 실험을 통해 증명하는 것이다. 본 연구를 위해 우선적으로 선행 연구 분석을 통해 현재의 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터를 통한 위변조 검출의 한계를 논하고, 정교한 음성녹음 파일 편집 기법 및 음성녹음 파일의 구조 및 메타데이터를 조작하는 기법을 소개한다. 이를 기반으로 실제 실험을 통해 스마트폰 음성 녹음 파일의 구조 및 메타데이터는 위변조될 수 있음을 증명한다.

본 연구는 최종적으로 스마트폰 음성녹음 파일은 위변조될 수 있음을 밝힌다. 즉, 정교하게 편집되었을 경우, 음성녹음 파일만으로는 검출이 불가능하다. 증거의 취사선택(증명력)은 법관의 자유심증주의에 의해 결정

되지만[7], 본 연구는 음성녹취 파일이 디지털 증거로 채택됨에 있어서 더 엄격한 증거능력 판단 기준이 필요함을 주장하는 바이다. 본 연구는 판사가 디지털 증거를 채택함에 무결성의 입증 기준에 큰 공헌을 할 것으로 기대된다.

II. 선행 연구

1. 디지털 증거 채택의 한계

디지털 기술의 진보로 인해 녹취 파일의 위변조가 용이해지면서 음성녹음 파일의 무결성을 우선적으로 증명해야 할 필요가 있다[1]. 하지만 무결성은 해당 녹음 장치의 자료 복구와 조사 과정을 거쳐 증명되어야 함에도 불구하고 개인정보보호의 중요성으로 인해 중대 사건이 아닌 상황에서 이는 행해지기가 어렵다.

대법원 판례에 따르면, “녹음자의 의도나 특정한 기술에 의하여 내용이 편집·조작될 위험성이 있음을 고려하여, 그 대화 내용을 녹음한 원본이거나 혹은 원본으로부터 복사한 사본일 경우에는 복사 과정에서 편집되는 등 인위적 개작 없이 원본의 내용 그대로 복사된 사본임이 입증되어야만 하고, 그러한 입증이 없는 경우에는 쉽게 그 증거능력을 인정할 수 없다.” 라고 무결성과 원본성을 중시하고 있다[8].

더욱이 “인위적 개작 없이 원본 내용을 그대로 복사한 사본이라는 점은 녹음파일의 생성과 전달 및 보관 등의 절차에 관여한 사람의 증언이나 진술, 원본이나 사본 파일 생성 직후의 해쉬(Hash)값과의 비교, 녹음 파일에 대한 검증·감정 결과 등 제반 사정을 종합하여 판단할 수 있다”라고 명시하고 있다[9]. 하지만 스마트폰을 통해 자유롭게 데이터의 입출입이 가능하므로 음성 녹음 파일을 증거로 제출하기 전에 위변조를 수행할 수 있기 때문에 해당 녹음 장치의 자료 복구와 조사 과정을 통해 무결성이 증명되어야 하며, 이 과정을 거치지 않은 경우에는 해시값을 통한 무결성 검증은 불가능하다. 결국 위 대법원 판례는 무결성을 중시하고 있음에도 불구하고 디지털 증거의 진정성의 입증을 통해 증거 채택의 가능성을 열어두고 있다.

또한 “녹음된 음성이 자신의 것이 맞을 뿐만 아니라 대검찰청 과학수사담당관실에서 이 사건 녹음파일 사본을 정밀 감정한 결과 이 사건 녹음파일 사본에 편집의 흔적을 발견할 수 없고, 이 사건 녹음파일 사본의

파일정보와 녹음 주파수 대역이 위 디지털 녹음기로 생성한 파일의 그것들과 같다고 판정한 사실 등을 알 수 있다”라고 판결하면서 녹음파일 사본과 녹취록의 증거능력을 인정하고 있다[5]. 하지만, 박남인 등은[1] 아이폰(iPhone)에서 녹음된 음성파일은 아이폰 보이스 메모(voice memo) 앱의 편집 기능을 통해 편집했을 경우에는 파일 포맷 구조를 동일하게 만들 수 있으며, “디지털 파일의 특성상 정교한 위변조가 이론상 가능하기 때문에 특이사항이 발견되지 않았다고 해서 원본이라고 보장할 수 없다”고 언급하고 있다.

최근 음성녹음 파일이 있으면 거의 완벽히 음성을 재현 할 수 있는 딥 보이스(deep voice)를 이용한 음성 합성(text to speech; TTS)이 손쉽게 가능해지면서 자신이 하지도 않은 말이 음성녹음 파일에 녹음되어 있는 상황이 발생하고 있다. 기존에 음성녹음 파일에 딥 보이스로 생성된 파일의 일부를 합성하고, 음성녹음 파일의 구조 및 메타데이터를 조작할 경우에는 위변조 검출은 거의 불가능하다.

이에 본 연구는 이론상 가능한 디지털 파일의 구조와 메타데이터의 위변조의 가능성을 실험을 통해 실제로 증명하는 것을 목표로 한다.

2. 음성녹음 파일의 위변조 검출 연구

국내에서 음성파일 위변조를 검출하기 위한 다양한 기법의 연구가 시도되었다. 양일호 등은[2] Gaussian Mixture Model(GMM) 기반의 확률 모델과 음성 프레임 간의 거리를 통해 음성이 외부에서 삽입된 것인지 여부를 자동으로 검출하는 연구를 수행했다. 하지만 이 연구는 음성 삽입으로 발생하는 배경잡음의 특성만을 고려한다는 한계를 지닌다[1]. 박세진 등은[10] 음성 데이터의 저대역 내에 존재하는 Electric Network Frequency (ENF)를 검출하여 해당 신호의 불연속성을 검출하는 방법이 제안하였다. 하지만 최근 스마트폰의 음성녹음 파일은 저주파 대역에서 전처리가 수행되고 있으므로 ENF 신호를 검출하는 것은 거의 불가능하므로 실제 수사 과정에 적용하기 어렵다[1].

최근 대검찰청 국가디지털포렌식센터에서는 편집 파일의 구조와 메타데이터가 원본 파일과 상이함을 이용하여 제조사 및 기종에 따른 스마트폰 녹음 데이터베이스를 구축 중에 있다[3][11]. 더욱이 송유진 등은[12] 7종의 음성녹음 어플리케이션을 선정하여 PC와 음성녹음

어플리케이션에서 각각 편집한 후, 파일 포맷 분석을 중심으로 위변조 여부를 판단하였다. 이는 객관적 분석 결과 등에 공헌할 것으로 판단되나 파일 구조 및 메타데이터의 조작이 가능한 상황에서 한계를 지닌다.

더욱이 박남인 등은[13] 삼성 스마트폰에서 녹음된 통화 파일의 위변조 검출 분석 절차를 제안하였다. 이는 통화녹음 파일의 제한된 대역폭에서 편집 시 발생할 수 있는 특이사항을 제공하고, 또한 미디어로그 및 통화 내역 분석 기법을 제안하였다. 하지만 통화 녹음과 일반 녹음의 차이를 알고 있는 음성 편집 전문가이면 이러한 상황을 충분히 회피가 가능하며, 또한 미디어로그 분석을 위해 핸드폰을 압수하는 절차는 작은 사건일 경우에는 수사과정 상 한계가 있다.

III. 음성녹음 파일 위변조 방법

1. 음성녹음 파일 편집 기법

음성 파일의 편집 방법은 크게 4가지로 삽입(insert), 삭제(delete), 연결(connect), 그리고 합성(mix)으로 구분될 수 있다. 그림 1은 음성 파일 편집 방법의 유형화를 나타낸다.

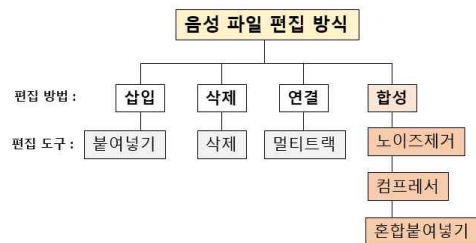


그림 1. 음성 파일 편집 방법의 유형화
 Figure 1. Types of Voice File Editing Methods

첫 번째 방법인 삽입은 원하는 영역을 선택한 후에 복사(copy)와 ‘붙여넣기(paste)’ 기능을 수행하는 방법이다. 이를 방법을 수행하면 새로운 시간 프레임이 추가된다. 두 번째 방법인 삭제는 원하지 않는 시간 프레임을 제거하는 방법이다. 세 번째 방법은 멀티트랙(multitrack) 기능을 활용하여 두 음성파일을 연결하는 방법이다. 이러한 세 가지 방법들은 다양한 고려사항의 확인에 의해 특이사항이 발견될 가능성이 있다.

하지만 ‘혼합붙여넣기(mix paste)’ 기능은 음성을 오버랩(overlap)시킬 수 있는 기능으로, 원본의 시간 프레임을

유지하면서 볼륨 조정 및 크로스페이드(crossfade)를 이용하여 편집이 가능하다(그림 2). 또한 이 기능을 노이즈 제거, 컴프레서 등의 기능을 함께 사용하면 정교한 편집이 가능하다. 일반적으로 음성분석 전문가들은 두 화자의 목소리가 오버랩되면 편집이 없는 것으로 고려하고 있다. 즉, 이 기능을 가지고 두 화자의 목소리를 중복시키면 위변조 검출은 거의 불가능하다.

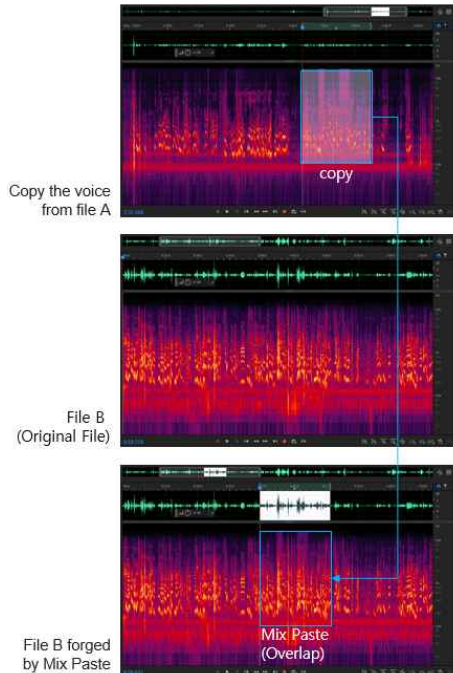


그림 2. 어도비 오디오션의 혼합붙여넣기 기능의 적용 예
Figure 2. Example of Application of Mix Paste in Adobe Audition

2. 음성녹음 파일 구조 및 메타데이터 위변조 기법

아이폰에서 녹음된 음성파일은 아이폰에 내장된 보이스 메모 앱으로 편집할 경우에는 처음 녹음된 파일(원본 파일)의 구조와 동일한 구조를 가진다. 이러한 원리를 이용하면 파일의 구조를 원본파일과 동일하게 만들 수 있다.

아이폰에서 녹음된 m4a 파일을 어도비 오디오션과 같은 음성 파일 편집도구로 불러와서 편집 후에 무손실, 무압축 파일인 wav 파일로 저장한다. wav 파일은 아이폰의 보이스 앱에서 편집이 불가능하다. 이때 아이폰에서 편집이 가능한 파일인 m4a 파일로 변환을 하고, 이

변환된 파일을 아이폰으로 불러와 편집을 수행하면 원본과 동일한 구조를 만들 수 있다. 그리고 다시 이 파일을 PC로 가져와 헥스(Hex) 에디터를 활용하여 날짜, 시간 등을 원본과 동일하게 조작하면 원본과 동일한 메타데이터가 만들어 진다. 그림 3은 아이폰에서 녹음된 음성 파일의 구조 및 메타데이터의 위변조 과정을 나타낸다.

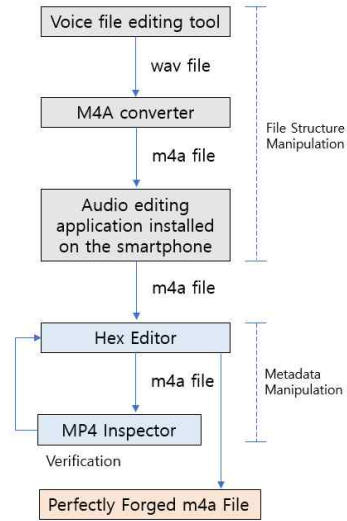


그림 3. 아이폰에서 녹음된 음성 파일 구조 및 메타데이터의 위변조 과정

Figure 3. Forgery Process of Structure and Metadata of Voice Files recorded on iPhone

아이폰을 공장초기화한 후에 이렇게 조작한 파일을 다시 넣어두면 원본 파일을 찾아내지 못하는 한 원본인지 위변조된 파일인지 알 수가 없다. 위변조 검출은 이러한 위변조 과정에서의 미세한 실수를 발견해야하며, 완벽하게 동일하게 만들 경우에는 위변조를 검출하는 것은 불가능하다.

IV. 실험 및 결과

본 연구에서는 녹음 시 샘플레이트(sample rate) 48kHz를 갖는 아이폰 6s(iSO 12.xx)를 대상으로 실제 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터를 조작하여 원본 음성 파일과 동일하게 구현할 수 있는지 실험을 수행했다.

이 실험을 위해 먼저 비교를 위한 원본 파일을 준비한다. 원본 파일은 아이폰 6s(iSO 12.xx)에서 10분 0.533초 녹음된 파일이다. 위변조된 음성 파일을 만들기 위해 아이폰 6s(iSO 12.xx)에서 어도비 오디션에서 10.5분 이상 녹음된 파일을 가져와 10분 0.500초 길이로 편집 작업을 수행하고 wav 파일로 저장한다. 이 파일을 아이폰과 가장 호환성이 높은 아이튠즈(iTunes)에서 ACC 인코더, 좋은 품질(128bps)로 설정을 한 후 m4a 파일로 변환한다. 변환이 수행되면 10분 0.566초가 된다. 즉, 0.066초가 추가된다. 이 변환된 파일을 다시 아이폰으로 가져와 보이스 메모 앱에서 ‘다듬기’ 기능으로 0.066초를 자른다. 이 과정을 거치면 원본과 동일한 파일 포맷 구조를 만들어지며, 원본과 동일한 시간인 10분 0.533초를 가진 파일이 만들어 진다. m4a 파일로 변환 시 시간이 추가되는 이유는 0으로된 샘플이 패딩(padding)되기 때문이다. 그림 4는 m4a 파일 구조를 직관적으로 확인할 수 있는 MP4 Inspector 도구에서 원본 파일과 위변조된 파일 구조의 비교를 나타낸다.

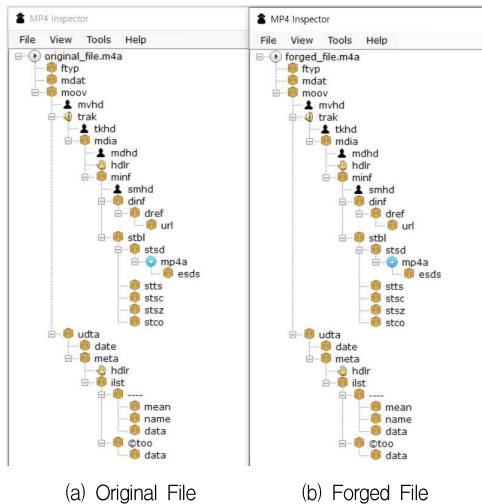


그림 4. 원본 파일과 위변조된 파일 구조의 비교
 Figure 4. Comparison of Original file and Forged File Structure

이러한 방식으로 파일 구조를 동일하게 만들면 표 1과 같이 overall bit rate mode, encoded date, tagged date, bit rate mode, maximum bit rate 등에서 상이함이 발생한다. 이러한 상이함과 추가적으로 발생하는 미세한 차이점은 헥스 에디터를 이용해서 원본 파일과 비교해가며 동일하게 메타데이터를 맞추어주면 된다.

이러한 과정을 거쳐 스마트폰 음성녹음 파일의 구조와 메타데이터의 위변조는 가능하게 된다.

표 1. 위변조 과정에 따른 메타데이터의 변화
 Table 1. Metadata Changes According to the Forgery Process

	Original File	Forged File: Structure Manipulation	Forged File: Metadata Manipulation
Overall bit rate mode	Constant	Variable	Constant
Encoded date	UTC 2022-09-10 12:37:23	UTC 2022-09-11 10:55:50	UTC 2022-09-10 12:37:23
Tagged date	UTC 2022-09-10 12:37:23	UTC 2022-09-11 10:55:50	UTC 2022-09-10 12:37:23
Bit rate mode	Constant	Variable	Constant
Maximum bit rate	-	69.1 Kbps	-

대부분의 헥스 에디터는 두 파일의 데이터를 비교하는 기능을 가지고 있어, 손쉽게 원본 파일과 위변조 파일의 메타데이터를 동일하게 만들 수 있다. 또한 파일 포맷 내부의 미세한 데이터 차이까지 동일하게 만들 수 있다. 이렇게 완벽하게 파일 구조와 메타데이터가 조작된 파일에서 위변조를 검출하는 것은 사실상 불가능하다.

V. 결 론

최근 디지털 기술의 진보와 확산에 의해 디지털 범 죄는 증가하고 있다[14]. 이에 본 연구는 음성녹음 파일의 구조 및 메타데이터의 조작이 디지털 파일의 특성상 이론적으로 가능하다는 것을 실제 실험을 통해 증명하는 것을 목적으로 했다.

본 연구는 선행연구의 고찰을 통한 한계점의 분석을 기반으로 음성녹음 파일 위변조 방법을 삽입, 삭제, 연결, 합성으로 유형화했다. 가장 정교한 작업이 가능한 ‘혼합붙여넣기’ 기능을 이용할 경우 스펙트로그램(spectrogram) 분석으로는 위변조 검출이 불가능하다. 또한 이러한 기법으로 위변조를 수행하고 파일 구조와 메타데이터 조작을 수행할 경우에는 음성분석 전문가들은 ‘편집의 흔적을 발견하지 못했다’고 보고서를 작성할 가능성이 높다.

파일 구조와 메타데이터 분석이 다른 음성 분석에 비해 객관적인 분석 결과를 제공한다는 점에서는 가치가

있는 것은 분명하다. 하지만 파일 구조와 메타데이터 분석만으로 음성녹음 파일의 위변조를 판단하는 것은 불가능하다[12].

본 연구는 아이폰 6s(iOS 12.xx)를 기반으로 실험이 수행되었다는 점에 연구의 한계가 있다. 이에 향후 연구에서는 다양한 아이폰 기종 및 안드로이드 OS를 탑재한 기종으로 확장할 예정이다.

음성녹음 파일에서 정교한 위변조 작업이 수행될 경우에는 위변조를 검출하는 것은 불가능하다. 즉 현재의 위변조 검출 작업은 위변조 수행 시에 발생할 수 있는 실수를 찾는 것으로 고려될 수 있다. 하지만 최근 인공지능 기술인 딥러닝의 발전으로 음성녹음 파일의 위변조를 찾는 기술이 출현할 가능성이 높다[15][16]. 따라서 본 연구는 법관이 디지털 증거를 채택함에 무결성의 기준에 공헌할 뿐만 아니라 딥러닝을 위한 데이터셋 구축에 대한 방법을 제공할 수 있다는데 의의가 있다.

References

- [1] N.I. Park, K. Shim, and O. Jeon, "A Study on Authentication Analysis Procedure of Digital Audio Files," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 13, No. 4, pp. 257-269, December 2019. DOI: 10.13064/KSSS.2022.14.3.103
- [2] I. Yang, K. Kim, M. Kim, R. Baek, H. Heo, and H. Yu, "An Automatic Method of Detecting Audio Signal Tampering in Forensic Phonetics," *Phonetics and Speech Sciences*, Vol. 6, No. 2, pp. 21-28, June 2014. DOI: 10.13064/KSSS. 2014. 6.2.021
- [3] K. Lee, "Develops Smartphone Recording File Forgery Identification Technology," *ChosunBiz*, February 2021, https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2021/02/17/2021021700406.html
- [4] H. Heo, B. So, I. Yang, H. Yu, "A Speech Waveform Forgery Detection Algorithm Based on Frequency Distribution Analysis," *Phonetics and Speech Sciences*, Vol. 7, No. 4, pp. 35-40, December 2015. DOI:10.13064/KSSS.2015.7.4.035
- [5] J. Seok, "Microphone Type Classification for Digital Audio Forgery Detection," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 18, No. 3, pp. 323-329, March 2015. DOI: 10.9717/kmms.2015. 18.3.323
- [6] Supreme Court, Sentencing, 2012. 9. 13., Judgment, 2012Do 7461.
- [7] O. Kwon, "A rule of thumb and it's limit at the Principle of free evaluation of evidence," *Law Review* Vol. 48, pp. 231-254, November 2012.
- [8] Supreme Court, Sentencing, 2008. 12. 24., Judgment, 2008Do 9414.
- [9] Supreme Court, Sentencing, 2015. 1. 22., Judgment, 2014Do 10978.
- [10] S.J. Park and J.W. Yoon, "ENF based Detection of Forgery and Falsification of Digital Files due to Quadratic Interpolation," *Journal of KIISE*, Vol. 45, No. 3, pp. 311-320, March 2018. DOI: 10.5626/JOK.2018.45.3.311
- [11] K. 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
- [12] Y. Song and G. Kim, "A Study on the Detection of Falsification of Voice Recording Files in an Application," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 16, No. 3, pp. 65-76, September 2022. DOI:10.22798/kdfs.2022.16.3.65
- [13] N.I. Park, J. W. Lee, J. Kim, J. S. Lim, G. Na, and O. Jeon, "Forensic Analysis Method for Forgery Detection of Call Recordings Generated by Samsung Smartphones," *Journal of Digital Forensics*, Vol. 16, No. 1, pp. 142-159, March 2022. DOI:10.22798/kdfs.2022.16.1.142
- [14] E. Jang and J. Shin, "A Proposal on Data Modification Detection System using SHA-256 in Digital Forensics," *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 21, No. 4, pp. 9-13, August 2021. DOI:10.7236/JIBC.2021.21.4.9
- [15] 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
- [16] S.H. Moon, "Analysis of AI-Applied Industry and Development Direction," *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, Vol. 5, No. 1, pp. 77-82, February 2019. DOI: 10.17703/JCCT .2019.5.1.77

※ 이 연구는 2020년도 숭실대학교 교내연구비 지원(융합연구)에 의한 연구임