

교차로 교통사고 자동감지를 위한 사고음의 음향특성 분석

박문수¹, 김재이^{2*}

Acoustic Characteristic Analysis of the accident for Automatic Traffic Accident Detection at Intersection

Park Mun-Soo¹ and Kim Jae-Yee^{2*}

요약 실제적으로, 현재의 교통사고 검지시스템은 주로 교차로에서의 영상정보와 디지털 영상처리기술에만 거의 의존하고 있기 때문에 교차로에서의 혼잡한 상황하에서는 정확한 판별의 제한이 잔존하고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여, 본 논문은 교차로에서의 교통사고 자동검지율의 향상을 위해 검토되어야 할 사고음의 음향특성을 분석함으로써 현재 기술수준과 실현가능성을 가늠해 보는 것을 목적으로 한다. 교차로 주변에 차량의 소음이 거의 없을 때는 자동차사고 스킨드음은 1[kHz]~3[kHz] 대역에서 특정패턴을 보였다. 또한, 차량 충돌음의 주파수 대역은 500[Hz] 이하에서 사고가 발생하지 않은 시점보다 높은 30[dB] 이상의 음압차이를 보였다.

Abstract Actually, a present traffic accident detection system is subsisting limitation of accurate distinction under the crowded condition at intersection because the system depend upon mainly the image information at intersection and digital image processing techniques nearly all. To complement this insufficiency, this article aims to estimate the level of present technology and a realistic possibility by analyzing the acoustic characteristic of crash sound that we have to investigate for improvement of traffic accident detection rate at intersection.

The skid sound of traffic accident was showed the special pattern at 1[kHz]~3[kHz] bandwidth when vehicles are almost never operated in and around intersection. Also, the frequency bandwidth of vehicle crash sound was showed sound pressure difference over 30[dB] higher than when there is no occurrence of traffic accident below 500[Hz].

Key words : 사고음인식, 교통사고감지, 음향시스템, 지능형교통시스템, 사운드시뮬레이션

1. 서론

본 논문은 교차로 내에서 발생하는 교통사고를 판별하는 영상 위주의 검지시스템의 미비점을 보완하고, 교통사고음 데이터에 의한 교차로사고 자동검지율을 향상시키는데 그 목적이 있다.

현재, 국내외를 막론하고 교차로 등에서 차량 사고가 발생할 경우 도로면 발생한 스킨드마크나 충돌 방향과 목격자 증언, 차량의 파손과 피해 정도 등의 현장조사를 근거로 사고원인을 추정하여 사고 해석을 하는 것이 일반화되어 있다.[1]~[5]



그림 1. 교통사고기록시스템 방송보도자료

그래서 사고 전후의 영상 및 음향과 같은 객관적인 자료의 수집과 판별이 필수적인데, 현재는 교차로 및

¹한국폴리텍V대학 광전자과

²동신대학교 정보통신공학과

*교신저자: 김재이(j@dnu.ac.kr)

사고 다발지역에서 차량사고 발생시점 전후의 교차로 주변 영상을 저장하고 교통센터에 자동전송할 수 있는 시스템이 그림 1과 같이 개발·상용화되어 일부지역에 단계적으로 설치하고 있다.

그러나, 현재의 사고검지 시스템은 영상정보만으로 사고를 명쾌하게 판별하기에는 기술상 불명료한 점이 있고 디지털 영상일지라도 사고 상황이 발생하지 않은 일상의 영상까지 전부 확보하기에는 과다한 저장용량이 필요하기 때문에 비효율적이고 비경제적인 단점이 있다.

또한, 차량이 많아 혼잡한 도로의 경우에는 오히려 영상인식의 방법이 오관을 가져올 가능성이 많으므로 사고음 인식기술을 통한 사고시점 측정과 판별이 정확한 방법이 될 수 있다.

이에 따라, 본 논문에서는 교통사고 상황판별을 위한 기존의 영상정보 검지법에 추가보완할 수 있는 음향인식기법을 도입하여 교차로에서 발생한 사고음향과 다양한 음향의 파형 및 주파수 특성 등을 분석하였다.

2. 음향신호의 주파수변환

디지털 사운드란 '공기를 매개로 하여 전달되는 진동파인 자연음을 숫자로 표현한 디지털 정보'라고 정의할 수 있다. 또한 디지털 사운드신호처리하는 이러한 디지털로 표현된 사운드 파형정보를 분석, 가공, 처리하는 것을 말하며, 본 논문에서는 수집된 음향을 PCM 방식으로 A/D변환하고 16비트 44.1[kHz] Mono 샘플링 하였다.

또한, 시간영역에서 표시된 연속신호를 주파수 영역에서 해석하는 방법은 스펙트럼 분석에서 가장 중요한 기술적 요소이다. 연속주기신호에 대해서는 연속시간 푸리에급수(Continuous-time Fourier series)를, 연속비주기신호에 대해서는 연속시간 푸리에변환(Continuous-time Fourier transform)을 이용한다.

특히, 디지털신호처리에 있어 가장 주요한 도구인 FFT(Fast Fourier Transform)는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 고속으로 행하는 컴퓨터 알고리즘이다.^{[3]-[7]}

주어진 유한한 N-샘플링된 신호 $x(n)$ 에 대하여, FFT에 의해 변환된 진동수 영역의 신호를 $X(k)$ 라 하면, 이 변환은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n)e^{-j2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)} \quad 1 \leq k \leq N$$

$$X(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X(k)e^{j2\pi(k-1)\left(\frac{n-1}{N}\right)} \quad 1 \leq n \leq N$$

우리가 사용하는 대부분의 경우, $x(n)$ 는 real이므로, $x(n)$ 는 다시 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$x(n) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N a(k) \cos\left\{\frac{2\pi(k-1)(n-1)}{N}\right\} + b(k) \sin\left\{\frac{2\pi(k-1)(n-1)}{N}\right\}$$

여기서, $a(k)$; $\text{real}[X(k)]$, $b(k)$; $\text{imag}[X(k)]$, $1 \leq n \leq N$

FFT는 DFT에 대한 계산의 낭비를 줄이기 위해 삼각함수의 주기성을 잘 이용한 계산기법으로 신호의 스펙트럼을 거의 실시간으로 볼 수 있는 장점이 있는데, 본 연구에서도 이러한 FFT알고리즘에 의한 주파수 변환을 통해 다양한 사고음(스키드음, 급속성충돌음 등)을 분석하였다.

3. 사고음향 자동검지 시스템

교차로에 설치한 마이크로 들어오는 잡음이나 사고음을 그림 2에서 보는 것과 같이 음향분석 및 검지기에 의해 디지털신호로 변환하고, 주파수스펙트럼 분석에 의한 특정 임계주파수 패턴과 음압레벨과 같은 파라미터를 초과하면 교차로 교통사고로 인식하고, 이에 따라 사고시점의 전후상황을 10초에서 최대 20초 수준까지 저장하는 시스템이다.

여기서, 루프레코딩은 음향과 영상정보의 저장을 하기위해 사고가 발생하는 시점까지 데이터 기록을 위해 항상 메모리에 버퍼링하는 유용한 기능이다. 사고발생 시점을 기준으로 사고상황을 각각 5~10초간 기록·저장할 수 있다.

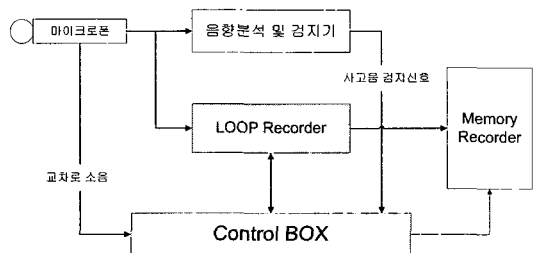


그림 2. 사고음향 자동검지시스템

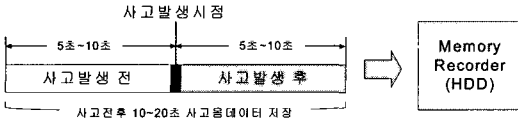
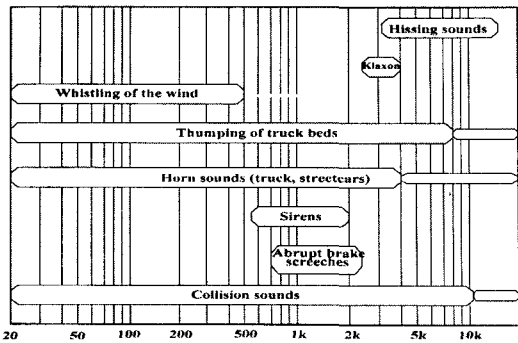


그림 3. 루프레코딩과 레코더의 구성

또한, 메모리 버퍼링과 루프 레코딩 기능은 기존에 개발상용화된 교차로사고 자동검지시스템이 교차로사고 상황이 발생하지 않은 일상의 영상과 음향정보까지 전부 확보하기 위해 과다한 데이터저장용량이 필요하고, 이에 따라 사고시점의 영상과 음향정보의 검색이 번거롭고 비효율적이며 비경제적인 단점인 개선보완할 수 있다.

4. 음향수집과 분석

교차로 주변에서 발생하는 음향과 주파수 범위는 그림 4와 같으며^[8], 사고음향 자동검지시스템을 그림 2, 3과 같이 구성하고 음향처리 실험을 위해 실제상황에서 수음하기 어려운 사고음향을 여러 기관과 업체 및 사운드라이브러리에서 수집하였고, 교통소통이 복잡한 교차로에서 현장을 수음하여, 이를 실제상황과 유사하게 믹싱하고 시뮬레이션하였다.^{[7][8]}



[그림 4] 교차로주변에서 발생하는 음향과 주파수 범위

수음방법의 특성상 교차로 중심이 아닌 주변의 특정지점에서 교통흐름의 완전한 1주기 전체를 16비트 44.1[kHz] 모노사운드로 수음하고 샘플링했는데, 대략 1주기는 3분에서 4분가량 소요되었다. 이를 특정한 배음구조를 가진 소리만 추출하지 않고 1주기 전체를 FFT변환하고 평균값을 다음과 같이 산출하였다.

그림 5 ~ 그림 23의 그래프는 교차로에서 수음한 음향의 주파수(가로축)와 dB(세로축)의 관계를 보인 것이다.

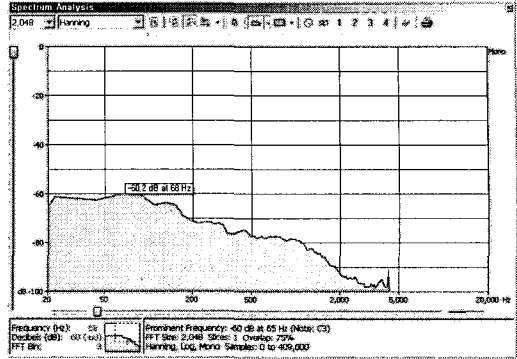


그림 5. 교차로 1의 소음(수음지점에 차량이 없을 때)

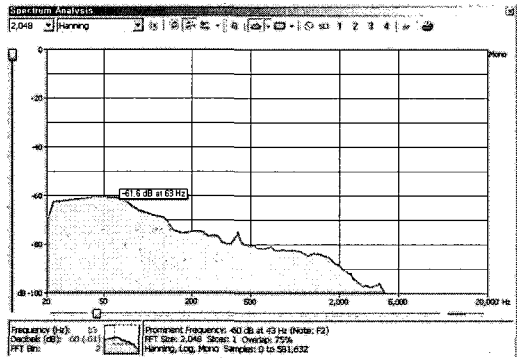


그림 6. 교차로 2의 소음(수음지점에 차량이 없을 때)

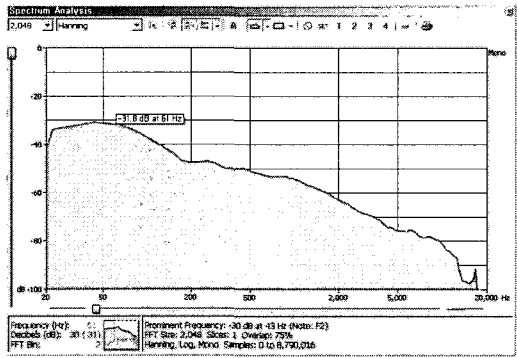


그림 7. 교차로 1의 주행시 소음(출근시간)

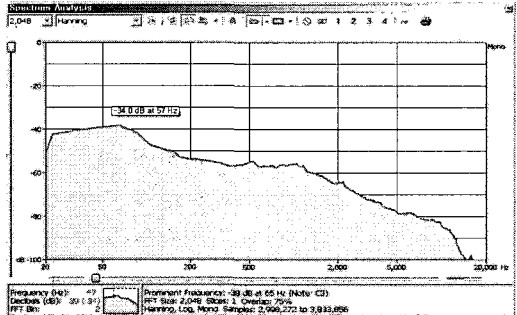


그림 8. 교차로 2의 주행시 소음(출근시간)

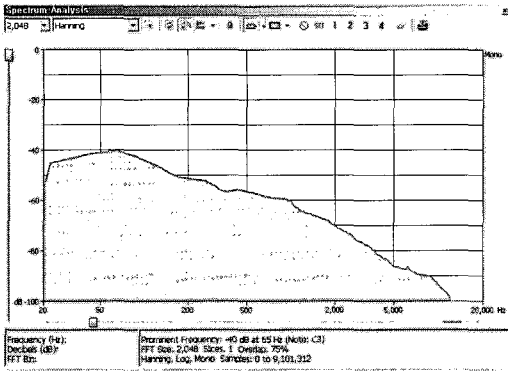


그림 9. 교차로 1의 주행시 소음(일몰이후)

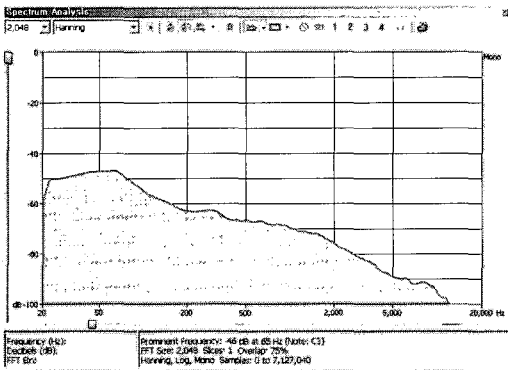


그림 10. 교차로 2의 주행시 소음(일몰이후)

그림 5와 6은 교차로 주변에 차량의 소음이 거의 없는 심야시간대에 수음한 결과인데, 주파수범위가 5,000[Hz] 이하에서 음압레벨 30~40[db] 대역에 주로 나타났다. 그림 7~10과 같이 차량이 주행하는 상황에서는 시간대에 관계없이 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있음을 알 수 있다. 이와 별도로 교차로에서 교통사고 감지를 방해하는 경적, 모터사이클의 굉음, 앰블런스나 순찰차의 사이렌 소리등도 수음하여 FFT분석을 하였는데, 그 결과값은 다음과 같다.

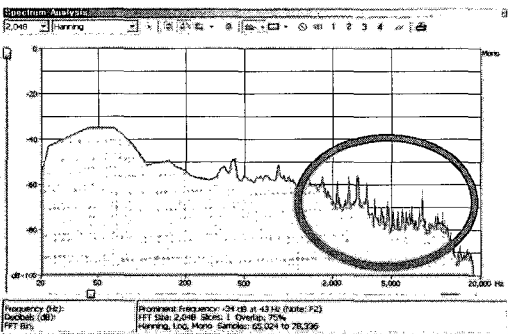


그림 11. 경적음 패턴 1

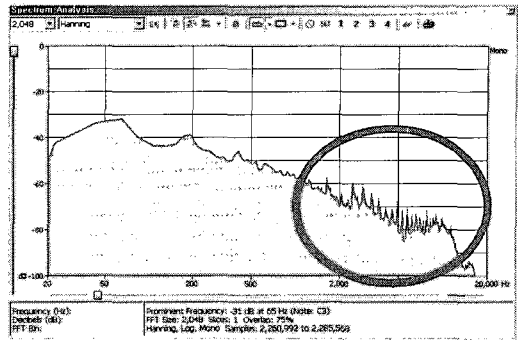


그림 12. 경적음 패턴 2

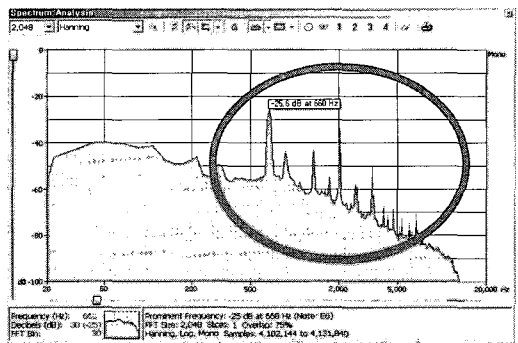


그림 13. 구급차 사이렌음 패턴

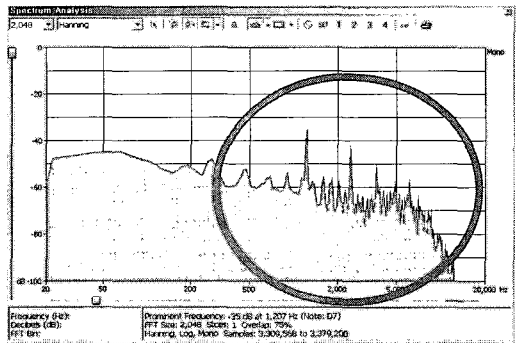


그림 14. 소방차 사이렌음 패턴

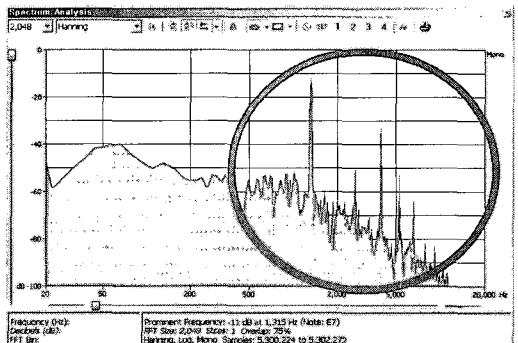


그림 15. 경찰순찰차의 사이렌음패턴

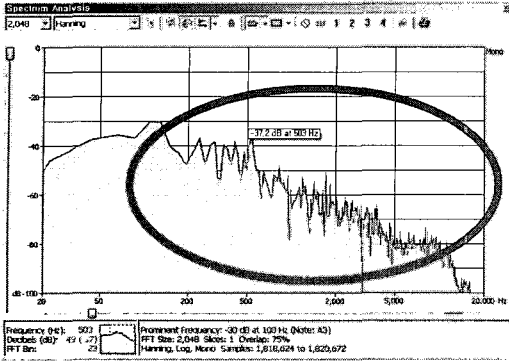


그림 16. 오토바이 소음패턴(125CC급)

교차로내 교통사고 자동검지에 방해가 되는 요소들로 특정소음에 해당하는 구급차, 소방차, 경찰순찰차의 앰블런스를 들 수 있는데, 이를 직접 수음하고 FFT분석한 결과는 그림 11~15와 같은데 특정주파수 대별로 일정한 주기적인 패턴이 있음을 확인하였다. 또한, 대다수 승용차나 트럭, 특장차와 달리 상대적으로 요란한 소리를 발생하는 모터사이클의 경우 그림 16과 같이 200[Hz] 이후 전대역에 걸쳐 나타남도 확인하였다.

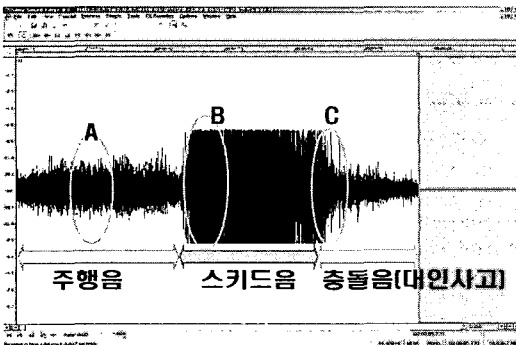


그림 17. 교통사고음 파형 1

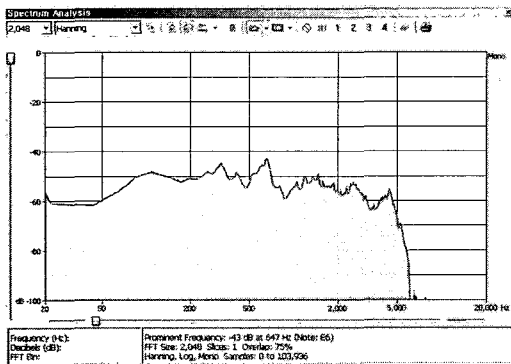


그림 18. 주행음패턴 평균값(그림 17의 A)

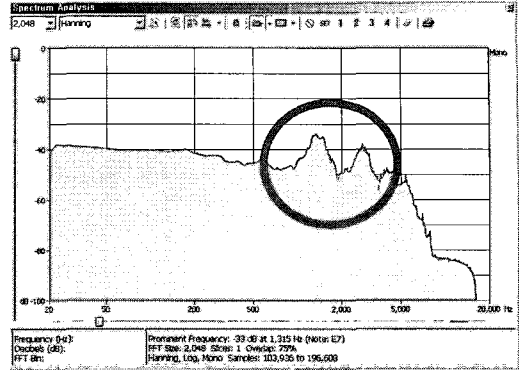


그림 19. 스키드음 패턴 평균값 (그림 17의 B)

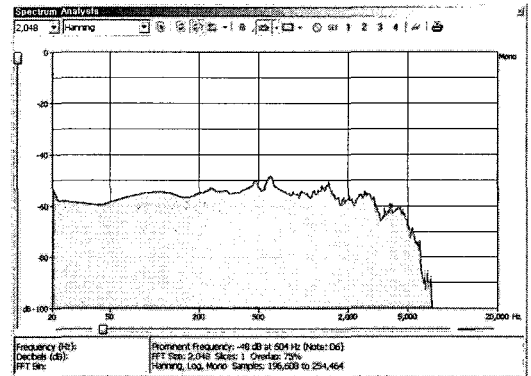


그림 20. 대인사고음 패턴 평균값 (그림 17의 C)

그림 17은 실제사고가 발생한 전후의 상황인데, 그림 17과 같은 대인사고 음향의 경우 A시점의 주행음과 B시점의 스키드음은 그림18과 그림 19에서 보는 바와 같이 음량이 상대적으로 크고 패턴이 뚜렷하므로 판별이 용이하였으며, 충돌 이후의 상황은 그림 20과 같이 나타났다.

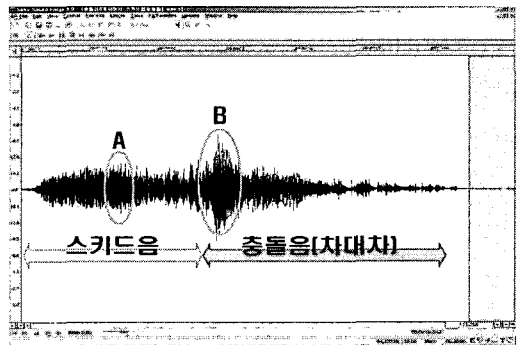


그림 21. 교통사고음 파형 2

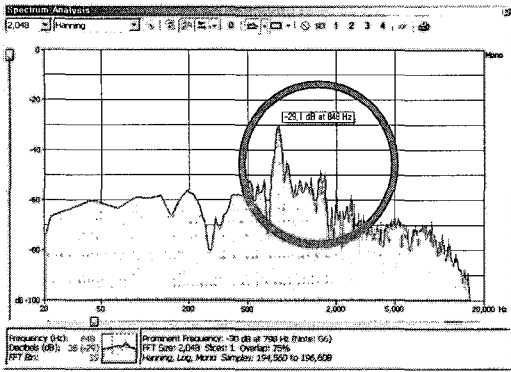


그림 22. 스킨드음 패턴(그림 21의 A)

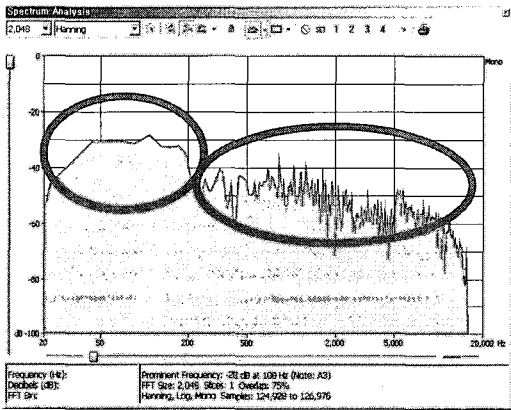


그림 23. 충돌음 패턴(그림 21의 B)

또한, 그림 21은 실제사고가 발생한 전후의 상황으로 약 6초간의 음향파형인데, 그림 22와 23은 각각 스킨드음과 충돌음이 발생하는 시점에 따라 FFT 분석한 결과다. 여기서, 스킨드음의 패턴은 그림 22와 같이 1[kHz]~3[kHz] 대역에서 주로 나타났으며, 충돌시 발생하는 주파수 대역의 특징적인 패턴은 그림 23과 같으며 500[Hz] 이하에서 사고가 발생하지 않은 시점보다 높은 30[db] 이상의 음압차이를 보였다.

5. 결론

본 논문에서는 교통사고 상황관별을 위한 기존의 영상정보 검지법에 추가보완할 수 있는 음향인식기법을 도입하여 교차로에서 발생한 사고음향과 자동검지의 방해요소인 다양한 교차로주변소음에 관한 음향의 파형 및 주파수 특성 등을 분석하였다.

교차로 주변에 차량의 소음이 거의 없을 때는 음압 레벨 30~40[db]인 5,000[Hz] 이하의 주파수대역에서, 자동차사고 발생시 스킨드음은 1[kHz]~3[kHz] 대역에서 특정패턴을 보였다. 이와 함께, 차량 충돌시 발생하는 충돌음의 주파수 대역은 500[Hz] 이하에서 사고가 발생하지 않은 시점보다 높은 30[db] 이상의 음압차이를 보였다.

또한, 기존의 연구에서 사고음들이 교차로의 잡음에 비해 고주파 대역에서 특정패턴이 나타나므로 용이한 주파수분석을 위해 저주파영역을 HPF(High Pass Filter)에 의해 절삭하였으나 이번 연구에서 차대차 교통사고 충돌음을 분석한 결과, 저주파음이 고주파음을 마스킹하는 패턴으로 나타남에 따라, 사고음향의 전역역에 걸쳐 다양한 분석이 필요하다.

또한, 교차로 전역에 걸쳐 다수의 마이크를 설치하고 사고음향을 수음하여 더 정확한 사고지점의 위치와 상황의 분석이 추가되면 현재의 90% 내외의 사고검지율을 최소한 2~3% 격상 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 도로교통안전관리공단, 교통사고 자동녹화장치 개발 연구(보고서 번호 : 01-08-407), 2001.12.
- [2] 이형석 외 5명, “영상과 음향 기반의 교차로내 교통사고 검지시스템의 구현”, 제어-자동화시스템공학 논문지 10권 6호, pp.501-509, 2004. 6.
- [3] 김병철 외 2인, “사고음인식에 의한 교차로 교통사고감지, 대한산업공학회 춘계학술대회 논문집, pp.837-840, 2001. 4.
- [4] ㈜비클텍, 2000년도 지능형교통시스템 연구개발사업 최종보고서, ㈜비클텍, pp.45-51, 2001. 11.
- [5] 코난클리케 필립스 일렉트로닉스엔브이, 사고탐지시스템, 공개특허공보(10-2006-0008967), 2006. 1.
- [6] 한확용 외 2인, Multimedia Sound Programming, 영진닷컴, 2003. 7.
- [7] Sony Media Software, Sound Forge 8.0 Manual, pp.276-287, 2005.
- [8] Mitsubishi Electronic's AIRS(Auto Incident Recording System) Catalog. 2003.

박 문 수(Mun-Soo Park)

[정회원]



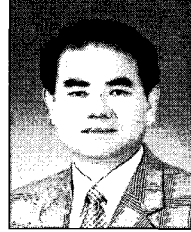
- 1987년 2월 : 광주대학교 전자계산학과 (이학사)
- 1996년 2월 : 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2006년 10월 : 동신대학교 정보통신공학과 (박사과정)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍V대학 광전자과 교수

<관심분야>

광전자, 정보통신, ITS

김 재 이(Jae-Yee Kim)

[정회원]



- 1979년 2월 : 건국대학교 전기공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 건국대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 1990년 8월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1992 ~ 1993 : 일본 동지사대학 연구교수
- 1991년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야>

전력IT, 정보음향