

# 진동가속도 분석시스템에서 고속푸리에변환을 이용한 기준진동수의 검출 및 감쇠인식

(Detection and Damping Recognition of Normal Frequency Using Fast Fourier Transform in the  
Vibration Acceleration Analysis System)

김황준\*

(Hwang Jun Kim)

## 요약

진동가속도 분석시스템에서의 고속푸리에변환은 최근 센서측정 분야에서 활용도가 높아지고 있다. 본문에서 고속푸리에변환은 확산음장의 수많은 진동수유형 중에서 기준진동수를 검출하는 방법을 제안한다. 이 기준진동수는 옥타브중심 진동수와 유사하게 산출하는 진동수감쇠인식을 수식으로 제시하였다. 이 이론을 토대로, 본고는 확산음장의 진동유형에 따라 다르게 감쇠되는 정도를 소음유발자에게 보다 정확하게 알릴 수 있었다.

■ 중심어 : 확산음장 ; 기준진동수 ; 옥타브중심 진동수 ; 진동수감쇠인식

## Abstract

Fast Fourier Transform in the vibration acceleration analysis system has recently been utilized in the field of sensor measurement. In this paper, we propose a Fast Fourier Transform based method of detecting the normal frequency among the many frequency types of diffuse field. This normal frequency is expressed by the formula of frequency damping recognition which is calculated similar to the octave center frequency. Based on this theory, this paper can more accurately inform noise producers of the degree of damping that is different from the vibration type of diffuse field.

■ keywords : Diffuse Field ; Normal Frequency ; Octave Center Frequency ; Frequency Damping Recognition

## I. 서론

인간은 동일한 음압레벨(dB)이라도 진동수(Hz)에 따라 다르게 감지된다. 이런 감지에 대하여 음압레벨(dB)과 진동수(Hz)의 등감곡선으로 나타낸다[1].

인간의 감각관점에서 연속된 수많은 유형의 진동을 음장이라고도 한다. 이 음장에 대하여 개방된 공간에서 거리의 제곱에 비례하여 감쇠할 경우에는 자유음장이라고 말하며, 밀폐된 매질의 진동공간에서 거리에 상관없이 감쇠가 거의 없을 경우에는 확산음장이라 한다. 보다 현실감 있게 우리는 일상생활에서 대화소리나 TV소리인 자유음장으로 소통과 정보를 얻고 있으나, 층간소음이나 밀폐공간소음인 확산음장은 두려움이나 불쾌감만 느끼게 된다. 이렇게 음장은 자유음장과 확산음장을 쉽게 구분할 수 있는데도 이를 구분하지 않고 동일하게 음압레벨(dB)로 측정하여 인간감각을 기계적 음압레벨(dB)로 단순하게 판단하고 있는 실정이다.

한국표준과학연구원의 저주파소음관련 연구보고서에 따르면, 생활환경에서 자유음장과 확산음장으로 구분하지 아니하고 저

주파소음의 불쾌감에 대하여 음압레벨(dB)기준의 설문조사로 연구하는데 머물러 정확하게 감지할 수 없음을 주목하였다[2].

따라서 본 논문은 확산음장의 측정방법으로 밀폐된 매질의 진동가속도를 고속푸리에변환을 적용하여 기준진동수를 검출한다. 확산음장의 인식은 기준진동수(Hz)의 2배수로 나타내는 옥타브의 감쇠특성에 대하여 계산과정의 전산화를 위한 수식과 수치로 표상한다. 이 연구목표는 확산음장의 유발자에게 이웃의 피해가 어느 정도인지 정확하게 알릴 수 있도록 한다.

## II. 본론

### 1. 확산음장의 울림측정

확산음장은 밀폐공간에서 울림으로 감지된다. 이 울림은 음의 일정한 시간적 길이로서 음장으로 나타내며, 이 음장의 진동수는 여러 개의 파형의 잔향으로 입체음장을 나타낸다.

대표적 사례로 실내공간에서 층간소음의 진원지 바닥면에서 발생하는 진동현상을 나타내면, 위층에 있는 유발자가 느끼는 자유음장에 비하여 아래층에 있는 거주자가 느끼는 확산음장이

\* 정회원, 서울시립대학교 일반대학원 토목공학과

이 논문은 2013년도 저자의 개발제안(No. S2100446)을 중소기업청의 재원과 한국산업기술평가관리원의 지원에 의해 수행된 연구임.

접수일자 : 2019년 05월 10일

게재확정일 : 2019년 06월 03일

수정일자 : 2019년 06월 03일

교신저자 : 김황준, e-mail : hwangjunk920@uos.ac.kr

보다 크게 올리는 현상을 가늠할 수 있다.

이와 같이 음장세기의 측정에 대하여 그림 1과 같이 자유음장과 확산음장을 비교하여 추론하면, 이론적으로 동일한 음압레벨 (dB)이더라도 확산음장은 자유음장과 비교하여 자유음장세기 ÷ 4 = 확산음장세기로 나타낼 수 있다[3].

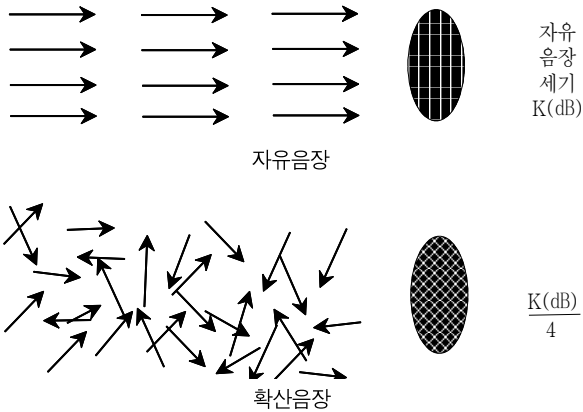


그림 1. 자유음장과 확산음장의 측정크기 비교

따라서 확산음장은 천정과 벽면 등 입체공간의 울림으로 분포하므로 진원지에서 측정된 진동가속도를 고속푸리에 변환하면 기준진동수를 검출하면 입체음장 세기를 분석할 수 있다.

## 2. 확산음장의 기준진동수 검출방법

확산음장은 수많은 진동수 파형들 중에서 가장 대표되는 기준진동수를 검출하여야만 디지털의 데이터로 형식화할 수 있다. 기준진동수의 검출은 밀폐구조물의 진동을 가속도센서로 측정된 데이터를 고속푸리에변환 하여 기준진동수 검출까지 다음 4단계의 신기술시스템을 적용했다[4].

먼저, 1단계는 그림 2와 같이 진동가속도의 원시데이터를 미세신호 설정해서 유효한 데이터를 분석한다. 일반적으로 층간소음의 진동은 0.2 ~ 0.3초의 파동으로 측정되므로 0.5초의 크기로 나누어 측정하는 것이 효율적이다.

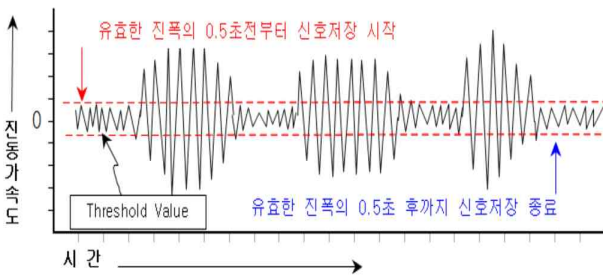


그림 2. 미세신호의 설정

그리고 2단계는 상기 미세신호를 추출해서 유효한 진동가속

도만 데이터로 그림3과 같이 적용한다.

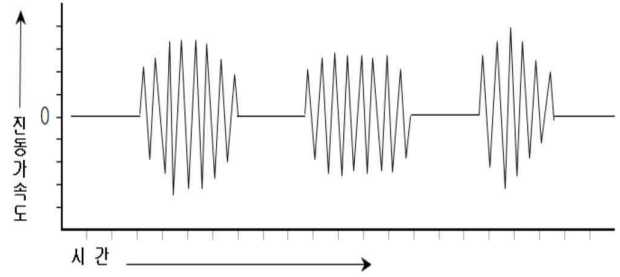


그림 3. 미세신호의 추출

또한, 3단계는 상기와 같이 신뢰성 있는 진동가속도의 데이터에 대하여 그림 4와 같이 진폭의 크기와 시간의 스펙트럼으로 분석한다. 일반적으로 자유음장인 경우에는 이 단계까지만 분석하게 된다.

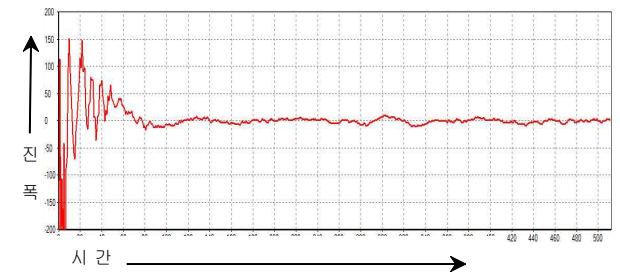


그림 4. 진동가속도 분석

마지막으로 4단계는 확산음장의 울림으로 수많은 진동수 파형들 중에서 가장 대표되는 기준진동수를 검출하기 위해 그림 5와 같이 고속푸리에변환(FFT)을 적용한다. 여기서 검출은 기준치 0~1에 대한 1초당 크기의 스펙트럼으로 나타내어 기준치 1에 해당하는 진동수를 기준진동수라 한다.

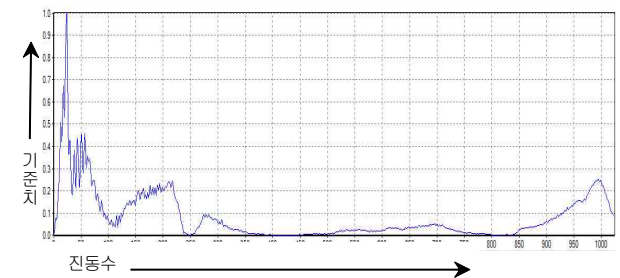


그림 5. 기준진동수 검출

따라서 확산음장의 기준진동수는 고속푸리에변환(FFT)의 시스템을 적용하게 되면 빠르게 실시간으로 검출할 수 있다.

## 3. 확산음장의 실험데이터 검출

확산음장의 실험은 2016년 4월 14일 16:46:12부터 16:49:48까지 3분 37초에 걸쳐 공동주택의 진동가속도를 측정하여 표 1과 같이 기준진동수를 검출하였다.

표 1. 공동주택의 실험데이터 검출

No	측정 시간	진동 가속도 (mm/s <sup>2</sup> )	기준 진동수 (Hz)	No	측정 시간	진동 가속도 (mm/s <sup>2</sup> )	기준 진동수 (Hz)
1	16:46:12	1,656	15.6	19	16:48:42	216	20
2	16:46:20	2,070	130	20	16:48:45	512	280
3	16:46:21	2,338	40	21	16:48:46	227	280
4	16:46:24	2,710	10	22	16:48:48	187	15.6
5	16:47:01	2,444	20	23	16:48:49	168	40
6	16:47:03	4,037	20	24	16:48:51	212	15.6
7	16:47:07	497	30	25	16:48:52	664	25
8	16:47:09	191	15.6	26	16:48:54	3,900	15.6
9	16:47:19	1,709	15.6	27	16:48:57	300	15.6
10	16:47:21	297	15.6	28	16:48:59	381	15.6
11	16:47:22	256	45	29	16:49:01	405	15.6
12	16:47:24	430	270	30	16:49:02	1,829	200
13	16:47:26	553	20	31	16:49:04	529	270
14	16:47:27	218	40	32	16:49:05	201	50
15	16:47:37	1,087	25	33	16:49:30	85	31.3
16	16:47:38	839	20	34	16:49:45	461	280
17	16:47:42	1,001	35	35	16:49:48	180	270
18	16:48:38	265	20				

상기 실험데이터 35개는 기준진동수는 10 ~ 280Hz로 분석되었는데, 실제 거주자 활동에 의한 기준진동수는 150Hz이하로 검출되었다. 이 기준진동수는 그림 5와 같은 스펙트럼으로 나타낼 수 있다. 이 실험에서 최소중량충격(표 1. No 33)은 그림 6과 같이 기준진동수 31.3Hz의 스펙트럼으로 검출되었다. 이 스펙트럼은 잔향의 울림현상이 많은 것을 확인할 수 있다.

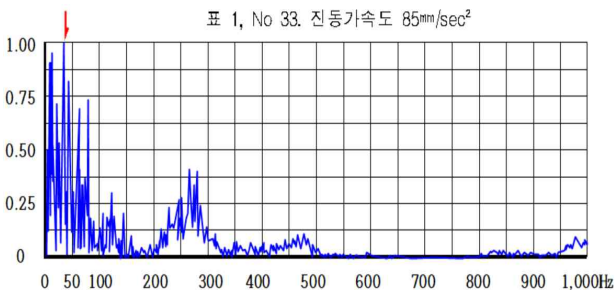


그림 6. 실험데이터 중에서 최소중량충격의 스펙트럼

그리고 최대중량충격(표 1. No 6)은 그림 7과 같이 기준진동수 20Hz의 스펙트럼으로 검출되었다. 이 스펙트럼은 강한 중량의 물체가 특하고 충격을 가했다는 것을 확인할 수 있다. 이 중

량충격의 기준진동수는 100Hz이하이지만 대부분 20Hz의 범위에서 강한 입체음장의 세기로 검출된다.

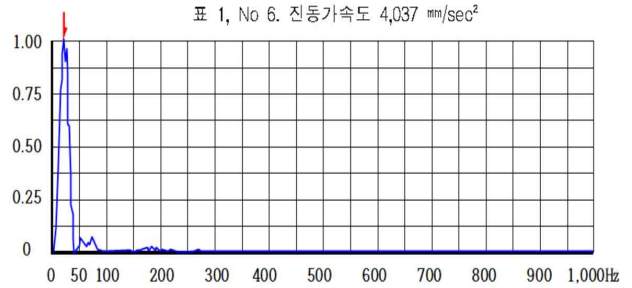


그림 7. 실험데이터 중에서 최대중량충격의 스펙트럼

또한, 경량충격(표 1. No 2)는 그림 8과 같이 기준진동수 130 Hz의 스펙트럼으로 검출되었다. 이 스펙트럼은 경량의 물건이 충격을 가하는 것을 확인할 수 있다. 경량충격의 기준진동수는 100 ~ 250Hz의 가벼운 입체음장의 세기로 검출된다.

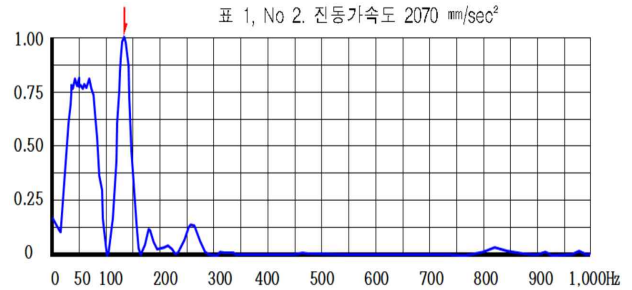


그림 8. 실험데이터 중에서 경량충격의 스펙트럼

마지막으로 음파충격(표 1. No 34)은 그림 9와 같이 기준진동수 280Hz의 스펙트럼으로 검출되었다. 이 스펙트럼의 기준진동수는 250Hz이상으로 검출되며, 자유음장에 속하므로 확산음장의 검출에서 제외한다.

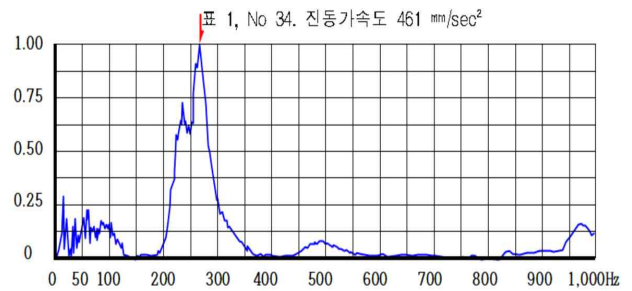


그림 9. 실험데이터 중에서 음파충격의 스펙트럼

따라서 확산음장의 실험에서 검출된 기준진동수의 스펙트럼은 진동유발자의 충격형태에 대하여 중량충격, 경량충격, 음파충격으로 명확하게 입체음장의 세기를 구분할 수 있다.

#### 4. 확산음장의 감쇠특성 분석

확산음장의 실험에서 검출된 기준진동수를 분석하면, 수치가 낮은 저주파진동일수록 중량충격에 해당되어 보다 불쾌하게 느끼게 된다. 미국국립표준연구소는 흡음실의 자유음장 상태에서 '20Hz 미만'은 초저주파음(infrasound)으로 사람들이 들을 수 없다고 정의하고 사람들이 들을 수 있는 진동수대역은 20Hz ~ 20,000Hz라고 한다. 확산음장의 20Hz에 대하여 그림 2와 같이 자유음장 × 4배 = 확산음장으로 입체음장의 세기를 추론하면, 20Hz × 4배 = 80Hz가 된다. 이러한 이론이 반영되듯이 실제 생활에서 사람들은 진동수가 높은 소리일수록 깨끗한 단순음처럼 자유음장에 속하게 되고, 진동수가 복잡한 중간소음처럼 확산음장은 저주파진동일수록 더욱 불쾌하게 느끼게 된다.

결과적으로 확산음장의 인식은 기준진동수의 2배 크기로 반비례하여 감쇠되는 옥타브 감쇠특성을 확인할 수 있다. 이에 대하여 계산과정의 전산화하기 위해서 표 2와 같이 옥타브필터의 감쇠특성을 옥타브중심 진동수와 근사하게 500Hz에서 2배로 감쇠되는 감쇠특성의 수치로 나타내어 비교하였다.

표 2. 감쇠특성의 수치와 옥타브필터의 감쇠특성

감쇠특성의 수치	옥타브필터의 감쇠특성	
	옥타브중심 진동수	1/1 옥타브밴드
7.83	8	5.62 ~ 11.2
15.6	16	11.2 ~ 22.4
31.3	31.5	22.4 ~ 44.7
62.5	63	44.7 ~ 89.1
125	125	89.1 ~ 178
250	250	178 ~ 355
500	500	355 ~ 708

상기 감쇠특성의 최소치 7.83Hz를 기수로 하여 등비수열 하는 수식(1)은 다음과 같이 진동수감쇠인식을 나타낼 수 있다.

$$D_{Hz} = \ln 2(Hz^n / Hz^0) \quad (1 \leq D_{Hz} \leq 7) \quad (1)$$

여기서,  $Hz^0$ 는 감쇠기수 7.83Hz이다.

$Hz^n$ 은 확산음장의 기준진동수로 최대 500Hz이다.

확산음장의 실험에서 측정된 가속도센서는 중력가속도의 영향을 받으므로 감쇠의 크기도 지구중력가속도의 물리량이 기준이 된다. 실제 진동가속도센서를 사용하여 공동주택의 고유진동을 측정된 데이터는 20mm/s<sup>2</sup>부터 유효하여 기준을 정하였다. 이 데이터는 표 3과 같이 중력가속도와 대기흐름에 의한 진동가속도로 분류하여 기준진동수와 수식을 추론할 수 있다.

표 3. 진동가속도에 해당하는 기준진동수와 수식

진동가속도	기준진동수	수식
중력가속도(9,800mm/s <sup>2</sup> )에 의한 공동주택의 진동가속도 10mm/s <sup>2</sup>	7.83Hz	$\ln 2^n$
대기흐름까지 반영하여 측정된 공동주택의 진동가속도 20mm/s <sup>2</sup>	15.6Hz	$\ln 2^n - 1$

이에 따라 공동주택의 진동가속도에 해당하는 기준진동수 15.6Hz로 등비수열 하는 수식(2)은 다음과 같이 확산음장인지에서 진동수감쇠인식을 반영할 수 있다.

$$S = V_e - D_{Hz} = \ln 2(a^n / a^0) - [\ln 2(Hz^n / Hz^0) - 1] \quad (2)$$

여기서,

S 확산음장인식,  $V_e$  진동가속도인식,  $D_{Hz}$  진동수감쇠인식  $a^0$ 는 공동주택에서 고유진동의 평균가속도 20 mm/s<sup>2</sup>이다.  $a^n$ 은 공동주택의 층간진동가속도로 최대 10,240 mm/s<sup>2</sup>다.  $Hz^0$ 는 감쇠기수 7.83Hz이다.

$Hz^n$ 은 확산음장의 기준진동수로 최대 500Hz이다.

위 수식(2)에 의거 확산음장의 실험데이터 35개는 표 4와 같이 확산음장의 인식으로 수치화할 수 있다.

표 4. 확산음장의 인식 수치화

번호	2016/04/14 측정시간	가속도 인식( $V_e$ )	진동수감쇠 인식( $D_{Hz}$ )	확산음장의 인식(S)
1	16:46:12	6.37	0.00	6.37
2	16:46:20	6.69	3.06	3.63
3	16:46:21	6.87	1.36	5.51
4	16:46:24	7.08	-0.64	7.72
5	16:47:01	6.93	0.36	6.57
6	16:47:03	7.66	0.36	7.30
7	16:47:07	4.64	0.94	3.69
8	16:47:09	3.26	0.00	3.26
9	16:47:19	6.42	0.00	6.42
10	16:47:21	3.89	0.00	3.89
11	16:47:22	3.68	1.53	2.15
12	16:47:24	4.43	음파	-
13	16:47:26	4.79	0.36	4.43
14	16:47:27	3.45	1.36	2.09
15	16:47:37	5.76	0.68	5.08
16	16:47:38	5.39	0.36	5.03
17	16:47:42	5.65	1.17	4.48
18	16:48:38	3.73	0.36	3.37

19	16:48:42	3.43	0.36	3.07
20	16:48:45	4.68	음과	-
21	16:48:46	3.50	음과	-
22	16:48:48	3.22	0.00	3.22
23	16:48:49	3.07	1.36	1.71
24	16:48:51	3.41	0.00	3.41
25	16:48:52	5.05	0.68	4.37
26	16:48:54	7.61	0.00	7.61
27	16:48:57	3.91	0.00	3.91
28	16:48:59	4.25	0.00	4.25
29	16:49:01	4.34	0.00	4.34
30	16:49:02	6.51	3.68	2.83
31	16:49:04	4.73	음과	-
32	16:49:05	3.33	1.68	1.65
33	16:49:30	2.09	1.00	1.08
34	16:49:45	4.53	음과	-
35	16:49:48	3.17	음과	-

따라서 확산음장의 인식에 대한 수치는 1.08 ~ 7.72로 입체음장의 세기가 반영된 불쾌감을 나타낼 수 있다. 이 수치로 거주자들이 건물특성에 맞게 불쾌감의 정도를 결정하게 되면, 공동주택의 각 호별로 확산음장의 유형과 일정한 시간대별로 노력관리를 할 수 있다.

### III. 결 론

최근 고속푸리에변환을 이용한 신호인식의 스마트미디어기술을 살펴보면, 2017년에 고속푸리에변환을 이용한 GPR 데이터의 정량적 분석이 있다[5]. 그리고 스마트미디어학회에서 2016년에 인체전자기장의 신호를 인식하는 시스템[6]과 2017년에 주변전기장의 신호를 이용한 손동작 인식하는 시스템이 있다. 이러한 신호인식은 진동수의 감쇠특성을 계산과정의 전산화하여 형식화된 수치로 인간의 감지를 컴퓨터의 정보처리와 연결한다[8]. 이와 같이 본 논문도 확산음장의 기준진동수에 대하여 옥타브필터의 감쇠특성을 맞춰 센서측정부터 신호처리까지 시스템화하고자 계산과정을 형식화하였다.

신호인식의 시스템화 과정에서 요구되는 정보처리, 표상의 처리, 계산과정의 형식화, 동역학적 모델, 인지의 신경기초, 공학적 접근 등 다학적인 인지논리로 융합하고자 노력하였다[9]. 이 결과로 확산음장의 인식은 진동가속도분석시스템에서 고속푸리에변환을 이용하여 기준진동수의 검출과 옥타브특성이 반영된 감쇠인식으로 공동주택의 층간소음 불쾌감을 대표사례로 선정하여 확산음장의 인식을 수식과 수치로 제시할 수 있었다.

따라서 본 논문이 기여하고자 하는 확산음장의 인식은 스마

트빌딩의 인터넷기술 기반위에 사용자 중심의 응용서비스 생태계와 연결하여 공동주택의 거주자들이 약속의 기준으로 합의하는데 용이할 것으로 생각한다. 그리고 보다 정온한 환경에서 생활할 수 있도록 소음유발자에게 스마트미디어의 안내서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

### REFERENCES

- [1] 김재수, “건축환경공학,” 서울, 357쪽, 2005년
- [2] 정성수, “생활환경에서의 저주파소음 실태조사 및 관리방안 마련(II),” 한국표준과학연구원, 2010년 6월 1일
- [3] 김재수, “소음진동학,” 서울: 세진사, 75-77쪽, 2013년
- [4] 이종원, “공동주택 층간소음을 유발하는 진동·진파를 계측하여 거주자 스스로 소음저감을 유도하는 단말기 및 분석관리 시스템 개발,” 주관기관 주식회사 LNSC 중소기업청 기술개발 최종보고서, 2014년 5월
- [5] 광대열, 김재형, 이상열, “고속푸리에변환을 이용한 GPR 데이터의 정량적 분석방법 연구,” 대학토목학회 정기학술대회, 11-12쪽, 2017년
- [6] 천우영, 이석현, 김영철, “인체전자기장 신호를 응용하여 손동작 인식을 위한 하드웨어 구현에 대한 연구,” 한국스마트미디어학회 스마트미디어 저널, 제5권, 제3호, 49-53쪽, 2016년 9월
- [7] 천우영, 김영철, “주변 전기장 측정센서를 이용한 손동작 신호 검출을 위한 신호처리시스템 연구,” 스마트미디어 저널, 제6권, 제2호, 2287-1322쪽, 2017년 6월
- [8] 김진우, “HUMAN COMPUTER INTERACTION 개론 : UX Innovation을 위한 원리와 방법,” 안그라픽스, 16-187쪽, 2017년
- [9] 이정모, 장병탁, “인지과학과 인지시스템,” 한국정보과학회지, 제30권, 제12호, 9-18쪽, 2012년 12월

### 저 자 소 개



김황준(정회원)

1991년 조선대학교 토목공학과 학사졸업.  
 2000년 서울시립대학교 토목공학과 석사졸업.  
 2012년 군산대학교 전자정보공학부 박사과정.  
 2018년 서울시립대학교 토목공학과 박사과정.

<주관심분야 : U-City서비스, 융합스마트미디어>