

운전거동에 따른 운전자 뇌파특성에 관한 연구

A Research on the Characteristics of EEG Information on Drive Behavior

오 동 훈*
(Dong-Hun Oh)
(Wonkwang Univ.)

남 궁 문**
(Moon Namgung)
(Wonkwang Univ.)

박 희 순***
(Hee-Soon Park)
(Wonkwang Univ.)

· Corresponding author : Moon Namgung(Wonkwang Univ.), E-mail: ngmoon@wku.ac.kr

요 약

본 연구는 차량운전의 주체인 인간이 실제 차량을 운전하면서 나타나게 되는 수많은 반응 중 생체정보인 뇌파를 측정 장비를 이용하여 도로주행 중 발생하는 뇌파를 수집하고 수집된 자료를 바탕으로 하여 실험횟수, 주행시간에 따른 변화, 도로 기하구조에 따른 변화 등 요인을 추출하고 분석을 실시하였다. 주행실험 중 발생한 뇌파 변화를 분석에 필요한 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(γ)파의 형태로 1차 추출을 한 후, 실험 전 구간에서의 뇌파 발생 빈도와 변화율을 추출하고 실험 횟수에 증가에 따른 학습효과를 관찰하고자 회귀모형을 적용하여 뇌파 특성에 따른 빈도변화를 계산하였다. 그 결과, 실험 횟수에 따라 뇌파는 개인차에 의한 변화를 보였으며 이는 같은 구간을 반복적으로 주행함에 따라 운전자가 도로 기하구조와 신호, 안전시설 등을 기억함에 따라 익숙하고 편안하게 주행하고 있음을 확인할 수 있었다.

핵심어 : 뇌파, 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(γ)파, 학습효과

ABSTRACT

In this study, human is the subject of driving a car, the actual EEG is a biological information in a number of reactions that are displayed while driving the vehicle by using a measuring device, occurs during travel of the road EEG to be collected, number of experiments the collected material on the basis of changes associated with running time, extracts the factors such as changes due to road geometry, and analysis was performed. The required changes in the EEG occurring during traveling experiment analysis alpha (α) waves, beta (β) wave, after the primary extraction in the form of gamma (γ) faction, the brain wave frequency of the entire period of the experiment change rate extracts, to calculate the change in frequency in response to EEG characteristics by applying the regression model to observe a learning effect in response to an increase in the number of experiments, as a result, depending on the number of experiments, EEG changes due to individual differences. The show, by repeatedly driving a section like this, it was possible to verify that comfortably travels driver accustomed in accordance with the stored road geometry and signal, safety facilities.

Key words : EEG, alpha (α) waves, beta (β) wave, gamma (γ) faction, learning effect

† 본 연구는 2014년도 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 2014-0612)

* 주저자 : 원광대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정

** 교신저자 : 원광대학교 토목환경공학과 교수

*** 공저자 : 원광대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정

† Received 14 September 2015; reviewed 24 September 2015; Accepted 26 October 2015

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

도로 건설의 증가 및 교통기술의 발전으로 사회·경제적 편익과 삶의 질을 높이는 효과가 발생하고 있다. 그러나 한편으로는 교통량 증가에 따른 환경문제 및 교통사고의 증가와 같은 부정적인 문제점도 발생되고 있다. 우리나라에서는 매일 평균 600건의 교통사고가 발생하며 22명이 사망하고 834명의 부상자가 발생하고 있다[1]. 교통사고 발생에 따른 사회·경제적 손실을 줄이기 위해 다양한 교통안전 정책과 제도적 보완이 이루어지고 있는 상황이며, 도로를 주행하는 운전자 중심의 신체적/심리적 변화 분석의 중요성이 부각되어 현장 중심의 실증 실험 연구가 증가되고 있다.

본 연구는 교통안전 분야에서 운전자 인적요인의 중요성을 인식하여 주행시 뇌파 분석을 통해 위험요인을 도출하고자 한다. 이를 위해, 차내 실험 환경을 구축하고 뇌파 변화량을 측정, 주행특성에 따른 뇌파 변화를 분석하는 것을 연구의 목적으로 한다. 뇌파를 측정하는 실험은 가상공간을 구축한 상태의 운전시뮬레이터 실험이 일반적이나 양질의 실용적인 자료를 얻기 위해서는 실제 도로를 주행하면서 구축한 실증 자료가 필요하다. 이에, 현장실험 대상공간을 설정하고 주행시 운전자의 뇌파와 시각정보, 도로기하구조에 대한 정보, GPS를 이용한 차량 위치 정보, 운전자의 차량 조작 중 액셀 페달과 브레이크 페달의 조작 정보 등을 수집하여 운전자의 거동에 따른 뇌파특성을 분석한다.

본 연구 결과는 운전자 주행특성 관련 기초자료 및 운전자 특성을 고려한 도로환경 개선 대책 수립 시 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 선행연구 및 관련이론 고찰

1. 운전자 뇌파 및 운전자 부하 관련 연구

EEG 신호의 해석방법으로 Cooper(1980)는 뇌파 데이터의 처리를 위해 FFT(Fast Fourier Transform)

분석을 통해 각 뇌파의 상대 파워 스펙트럼을 구하였다[2]. Kecklund와 Akerstedt(1993)은 28명의 트럭운전자를 대상으로 장시간 트럭운전 시 운전자가 피로하거나 졸음상태가 되면서 뇌의 중심엽부에서 세타파와 알파파가 증가함을 밝혔다[3]. Cabon(1992)은 긴장감이 없는 주행을 할 때 알파파가 증가하고, 스트레스를 받는 주행을 할 때는 세타파가 증가한다고 제시하였다[4]. 한국표준과학연구원에서는 터널 내에서 큰 곡선으로부터 작은 곡선으로 진입구간에서 운전자 불안감이 최고조에 이른다는 것을 Ω 파 분석을 통해서 제시하였다. 운전자의 생리적 반응을 규명하기 위한 연구로 전용욱(2002)은 AHS에서 Platoon의 속도와 거리변화에 따른 운전자의 생체신호와 심리적으로 가장 편안하게 느끼는 속도와 거리를 제안하였다[5]. 전효정(2002)은 차량시물레이터를 활용한 급출발 및 급제동시 생리적 요인과 생리적 반응간의 관계성을 규명하였다[6]. Leisch, J.P.(1989)은 40대 후반의 운전자들이 운전 중 졸음에 의한 뇌파가 강하게 출현되고 있음을 확인하였다[7].

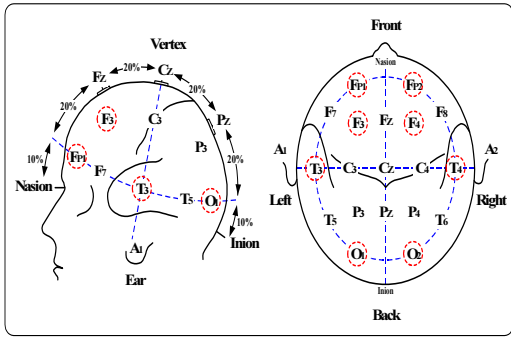
본 연구에서는 시뮬레이션(비디오 영상) 중심의 기존연구의 한계점인 구축자료의 실용성을 보완하여 현장실험을 계획하고 실제 도로 주행시 나타나는 운전자의 반응인 뇌파 특성을 분석한다.

2. 뇌파의 주파수 대역과 특징

우리나라는 여러 가지 생리신호 측정을 위한 전극 배치법으로 국제 전극 배치법(10-20법)을 사용하고 있으며 뇌파 측정에 사용한 장비는 (주)Laxtha의 PolyG-I(다원생체계측시스템)으로 뇌파(EEG) 8채널, 피부전기전도(GSR) 1채널, 근전도(EMG) 2개채널, 심전도(ECG) 1채널, 맥파(PPG) 1채널, 호흡(RESP) 1채널로 구성되어 인간의 생리신호를 분석할 수 있는 시스템을 활용하였다. 피실험자의 머리(두부)에 국제 전극 배치법에 따라 8개 위치에 측정센서를 부착한 후 각각의 뇌파를 측정하였다.

인간의 뇌는 크게 Frontal(전두엽), Temporal(측두엽), Parietal(두정엽), Occipital(후두엽)의 4개 영역으

로 구분되며 각 영역별 담당 주요 기능이 존재한다. 이에, 본 연구에서는 실험 회차 진행에 따른 뇌파의 변화를 확인하고자 각 측정 센서 위치 중 전두엽 2개, 두정엽 2개, 후두엽 2개의 위치에 따른 뇌파 특성치를 추출하였다.



〈그림 2〉 10-20국제전극배치법에 따른 8CH센서부착
 〈Fig. 2〉 Ten-twenty electrode system, 8CH sensor attach

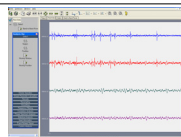
뇌파는 크게 5가지의 유형으로 구분되며 각 뇌파는 고유 특성과 주파수(Hz)값을 가지고 있다. 뇌파는 보통 저주파에서 고주파 영역순으로 델타(δ)파, 쉐타(θ)파, 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(γ)파 순으로 나타나며, 측정된 뇌파는 5개 뇌파의 산술적인 합으로 해석할 수 있다. 이때 어느 형태의 뇌파가 다른 형태의 뇌파에 비해 더 많은 비중으로 출현했는지 등을 파악함으로써 의미를 부여할 수 있다.

〈표 1〉 뇌파 특성 및 측정 장비
 〈Table 1〉 EEG characteristics and measuring equipment

Classification	Characteristics
Delta(δ)	When generating a lot of sleep
Theta(θ)	sleepy, Deep meditation occurs
Alpha(α)	Tension and relaxation
Beta(β)	Conscious behavior, During normal operations
Gamma(γ)	Whether the action of the altitude



PolyG-I



Telescan

다원생체계측시스템(PolyG-I)은 뇌파(EEG) 8채널, 피부전기전도(GSR) 1채널, 근전도(EMG) 2개채널, 심전도(ECG) 1채널, 맥파(PPG) 1채널, 호흡(RESPI) 1채널로 구성되어 인간의 생리신호를 분석할 수 있는 시스템이며 측정된 피실험자들의 뇌파자료들은 Telescan을 통해서 기록·저장되며 원하는 시간, 파형, 파워스펙트럼(수치)등의 분석을 수행하였다.

〈표 2〉 뇌파 주파수별 형태
 〈Table 2〉 EEG Frequency and Form

Classification	Frequency	Form
Delta(δ) wave	0~4	
Theta(θ) wave	4~8	
Alpha(α) wave	8~13	
Beta(β) wave	13~30	
Gamma(γ) wave	30~50	
EEG	0~50	

III. 현장실험 및 분석결과

1. 현장실험

실험대상 도로는 익산시 함라면 함라교차로~탑고지 사거리구간으로 회전교차로를 포함하고 있으며 총 연장은 2.0km이다. 피실험자는 총 10명으로 이들은 모두 5년 이상의 운전경력을 보유하고 있다.

현장 주행실험은 실험대상 구간을 피실험자 별로 각각 6회 주행하도록 하였다. 피실험자의 운전 거동과 뇌파의 영향을 측정하기 위해, 뇌파측정 장비인 PolyG-I와 시각 측정장비인 FaceLAB, 자동차 조작 페달여부를 파악하기 위한 가·감속 측정장치 및 GPS를 차량에 장착하고 주행실험을 실시하였다. 피실험자 주행실험 자료 구축은 이동거리 기반으로

도로 이점별 주행속도와 인적 요인을 매칭한 후 처리 작업을 실시하였으며, 본 연구에서는 각 주행 회차에 따른 뇌파의 변화를 파악하는데 한정하여 뇌파의 자료를 중심으로 분석하였다.



<그림 1> 실험진행 방향
(Fig. 1) Driving direction

2. 뇌파 분석 과정

뇌의 구조와 기능을 확인하고 뇌파의 고유특성을 파악한 후 전두엽, 두정엽, 후두엽의 부분의 6개 CH에 대한 알파(α)파 베타(β)파 감마(γ)파 값을 추출하여 분석을 진행하였다. 뇌파분석은 TeleScan 프로그램을 사용하였으며 실험에 필요한 주파수 영역인 8~50Hz를 추출하기 위하여 대역통과 필터기능(Band Pass Filter)을 이용하여 전 처리 과정을 진행한 뒤 Power Spectrum Analysis의 Power Spectrum Estimation by FFT기능을 이용하여 실험 전구간의 해당 뇌파의 산술적인 합과 고유 주파수(Hz)의 뇌파를 추출하였다.

뇌파자료는 회귀모형과 변화량을 계산하여 분석하였으며 총 10명의 피실험자 중 실험추출 자료의 사용성 여부를 확인한 결과 2명의 실험자에게서 발생한 실험의 오차는 분석에서 제외하였다(장비오류에 의한 데이터 누락 발생). 이에, 뇌파 분석에는 총 8명의 운전자 자료를 활용하였다.

3. 뇌파분석 결과

주행 실험 중 나타나는 뇌파의 형태 중 운전자의 시각인지 중추 후두엽 7CH, 8CH에 대한 분석, 운전자의 시각인지 후 판단을 하게 되는 전두엽 1CH, 2CH에 대한 분석, 최종 행동을 판단하고 운동형태로 이루어지게 되는 두정엽 4CH, 5CH에 대한 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(γ)파의 분석을 실시하였다.

실험 횟수가 증가함에 따라 변화하는 각 주파수 영역대의 뇌파 변화를 관찰하기 위하여 회귀모형을 적용하였다. 실험자별 주파수 영역대별로 변화하는 뇌파 점유율에 대한 Parameter 값과 상수항, R^2 값을 분석하였다. Parameter 값의 부호가 +일수록 해당 CH의 뇌파 점유율이 높아짐을 의미하며 -일수록 해당 CH의 뇌파 점유율이 낮아지고 상수항의 값은 1회차 실험에서의 해당 뇌파가 가지고 있는 실험자의 뇌파 시작값을 의미한다. 이는 뇌파의 고유 특성과 피실험자별 개인적으로 차이가 나타났으며 모든 피실험자에게서 나타나는 공통점은 대부분 고도의 인지 작용시 활성화되는 감마(γ)파의 비율이 초기에는 다른 뇌파의 비율 보다 높았으나 실험이 진행됨에 따라 다른 뇌파의 점유율에 비해 낮은 폭으로 변화하는 것을 파악 할 수 있었다.

<표 3>은 8명의 피실험자별 좌뇌(음영)와 우뇌에서 발생한 뇌파 중 후두엽(시각인지), 전두엽(판단 중추), 두정엽(운동중추)에 대한 분석결과를 정리한 것이다. 주행실험 중 발생한 뇌파 변화를 분석에 필요한 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(γ)파의 형태로 1차 추출을 한 후 실험 전 구간에서의 뇌파 발생 빈도와 변화율을 추출하고 실험 횟수에 증가에 따른 학습효과를 회귀분석을 통해 계산하였다.

피실험자 별 실험 진행 회차에 따른 뇌파변화를 살펴보면, 대다수의 피실험자가 개인별로 유사한 선형의 형태로 뇌파가 변화하는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 모든 피실험자의 변화량과 변화폭, 고유뇌파의 비율은 차이가 있으며 이 변화는 실험자 개인 고유의 상태에 따라서 변화하며 이 변화는 실험 전 차량에서 측정하게 된 배경 뇌파의 특성에서 찾을 수 있었다.

〈표 3〉 실험자별 분석결과

〈Table 3〉 Analysis by experimenters

experimenters	Frontal (judgment) 1CH, 2CH			Parietal (Action) 3CH, 4CH			Occipital (Visual recognition) 7CH, 8CH			
	Parameter	Constant term	R^2	Parameter	Constant term	R^2	Parameter	Constant term	R^2	
1	Alpha(α)	-1.689	21.893	0.675	-1.183	17.873	0.480	0.229	14.233	0.017
	Beta(β)	0.009	38.720	0.001	0.183	39.493	0.015	-1.840	43.907	0.381
	Gamma(γ)	1.680	39.420	0.428	0.989	42.640	0.132	1.571	41.933	0.164
	Alpha(α)	-0.346	17.727	0.052	-1.383	20.573	0.407	-0.069	10.640	0.003
	Beta(β)	0.280	37.520	0.076	-0.240	43.373	0.258	-1.169	41.107	0.133
2	Gamma(γ)	0.057	44.700	0.001	1.611	36.093	0.261	1.237	48.253	0.091
	Alpha(α)	-1.051	19.847	0.294	-0.829	16.800	0.205	-0.680	20.447	0.185
	Beta(β)	0.706	38.280	0.123	0.894	37.887	0.236	-0.389	47.360	0.084
	Gamma(γ)	0.369	41.760	0.079	-0.037	45.180	0.003	1.069	32.160	0.320
	Alpha(α)	-0.246	18.493	0.028	1.477	8.347	0.335	1.211	8.693	0.381
3	Beta(β)	-0.014	44.800	0.001	1.237	43.253	0.185	-2.283	50.107	0.262
	Gamma(γ)	0.269	36.660	0.015	-2.714	48.400	0.269	1.071	41.233	0.146
	Alpha(α)	-0.266	14.180	0.026	-0.323	14.180	0.048	-0.606	14.853	0.456
	Beta(β)	-1.674	53.127	0.350	-1.549	55.653	0.475	-1.549	55.653	0.475
	Gamma(γ)	1.931	32.707	0.487	2.146	29.507	0.730	2.146	29.507	0.730
4	Alpha(α)	-1.489	19.393	0.401	0.206	12.313	0.063	0.043	11.800	0.017
	Beta(β)	0.109	47.287	0.001	-14.714	60.200	0.471	-1.280	53.147	0.319
	Gamma(γ)	1.411	33.260	0.305	1.251	27.553	0.237	1.246	35.040	0.313
	Alpha(α)	-1.551	21.113	0.817	-0.994	27.547	0.358	-0.857	21.033	0.606
	Beta(β)	1.091	40.147	0.891	0.266	43.320	0.063	0.300	41.867	0.169
5	Gamma(γ)	0.460	38.740	0.583	0.700	29.233	0.308	0.557	37.100	0.601
	Alpha(α)	-1.163	15.120	0.612	-1.071	30.933	0.255	-0.674	15.627	0.905
	Beta(β)	0.289	45.873	0.115	-0.117	45.293	0.002	-0.029	48.800	0.000
	Gamma(γ)	0.874	39.007	0.324	1.189	23.773	0.197	0.706	35.580	0.082
	Alpha(α)	-0.820	12.353	0.658	-0.766	24.780	0.387	-0.406	29.720	0.178
6	Beta(β)	0.906	46.913	0.754	1.057	39.300	0.546	-1.057	48.067	0.262
	Gamma(γ)	-0.069	40.640	0.036	-0.263	35.787	0.044	1.451	22.187	0.417
	Alpha(α)	-0.497	10.607	0.328	-0.529	21.500	0.240	-0.871	22.167	0.611
	Beta(β)	0.297	45.960	0.540	1.097	41.827	0.284	0.963	43.713	0.502
	Gamma(γ)	0.214	43.367	0.050	-0.543	36.500	0.064	-0.091	34.120	0.014
7	Alpha(α)	-2.009	43.613	0.329	-0.269	30.773	0.062	-0.514	18.767	0.131
	Beta(β)	0.771	36.367	0.076	-0.243	46.000	0.044	-0.471	43.800	0.192
	Gamma(γ)	1.211	19.960	0.437	0.514	23.200	0.076	0.977	37.447	0.196
	Alpha(α)	1.303	19.373	0.631	0.329	19.200	0.057	0.829	8.933	0.753
	Beta(β)	-0.503	48.593	0.121	-1.3629	59.487	0.585	0.220	42.547	0.052
8	Gamma(γ)	-0.794	31.980	0.183	1.020	21.347	0.598	-1.051	48.547	0.485
	Alpha(α)	1.523	16.020	0.474	1.057	14.667	0.488	0.560	23.473	0.079
	Beta(β)	1.034	38.847	0.239	0.714	40.100	0.125	0.340	46.360	0.025
	Gamma(γ)	-2.569	45.140	0.834	-1.794	45.313	0.623	-0.923	30.247	0.198
	Alpha(α)	1.766	12.820	0.615	1.317	14.373	0.404	1.683	14.493	0.439
9	Beta(β)	-0.251	46.280	0.017	-0.349	51.387	0.022	-1.094	55.713	0.167
	Gamma(γ)	-1.52	40.887	0.450	-0.097	34.233	0.295	-0.571	29.767	0.190
	Alpha(α)	-2.520	38.387	0.809	-1.677	41.887	0.530	-3.34	36.340	0.831
	Beta(β)	0.346	38.173	0.132	0.366	41.187	0.064	0.480	43.887	0.316
	Gamma(γ)	2.166	23.453	0.783	1.291	16.980	0.488	2.860	19.773	0.810
10	Alpha(α)	-2.860	36.260	0.850	-3.574	36.060	0.887	-1.449	32.487	0.701
	Beta(β)	2.069	37.093	0.825	1.997	40.527	0.582	0.686	45.767	0.113
	Gamma(γ)	0.803	26.573	0.237	1.566	23.420	0.286	0.749	21.780	0.158

III. 결 론

본 연구에서는 운전자의 도로주행 학습 효과를 파악하고자 동일 도로구간을 반복 주행하면서 뇌파 분석 실험을 실시하였다. 피실험자는 같은 도로를 여러번 반복하여 운행할수록 뇌파는 개인차에 따라 유사한 폭으로 변화하고 각 뇌파별 뇌의 위치에 따라 비슷한 형태의 선형을 보임을 확인할 수 있었다. 또한 피실험자별로 보인 변화는 동일하지는 않았으나, 개인별로 변화하는 현상은 각 뇌의 부분별로 유사한 것으로 개인차별 변화를 보이는 것으로 나타났다. 교통사고의 주요원인으로 파악되고 있는 인적요인 중 뇌파를 하나의 지표로서 연구를 진행하였으며 교통사고 분석 시 이용되는 개인특성, 도로기하 구조 등과 연계가 된다면 교통사고감소에 필요한 중요한 지표가 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 뇌파 지표를 활용하여 실험결과와 연계하지 못하였기 때문에 뇌파의 변화 외 생리/심리적 추론을 하지 못하는 한계점이 있다. 향후 연구에서는 운전자의 뇌파에 대한 명확한 현상 제시와 운전자 시각, 도로구조 등의 데이터 보안을 통해 교통 환경에 따른 변화량 분석 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] Road Traffic Authority, "2014 Traffic Accident Statistics", pp.37, Aug. 2015.
- [2] Cooper, R., Osselton, J.W. and Shaw, J.C., EEG Technology, 3rd edition, Butter worths & Co Ltd; Cuild ford & london, 1980.
- [3] Goran Kecklund and Torbjorn Akerstedt, "leepiness in Long Distance Truck Driving; an Ambulatory EEG Study of Right Driving" Ergonomics, vol. 36, no. 9, 1993.
- [4] Cabon, P., Maintien de la vigilance et gestion du sommeil dans les systèmes automatisés. Doctoral thesis, Université René Descartes, Paris, France, 1992.
- [5] Y. W. Jeon, "The Evaluation of Driver's Physiology Signal and Sensibility according to the Change of Speed and the Gap of Platoon on AHS", *Journal of Ergonomics Society of Korea*, pp.15-28, May, 2002.
- [6] H. J. Jeon, "Evaluations on Driver's Sensibility Changes by Sudden Start and Sudden Stop Conditions in Driving Simulator", *Journal of Korea Society for Emotion and Sensibility*, pp.51-57, Nov. 2002
- [7] Leisch, J. P., "horizontal sight distance considerations in freeway and interchange reconstruction", Transportation Research Record no. 1208, pp.80-84, 1989.

저자소개



오 동 훈 (Oh, Dong-Hun)

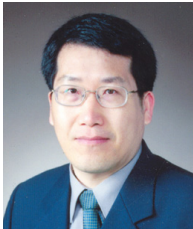
2014년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 토목공학과 석사과정

2014년 2월 : 원광대학교 토목공학과 학사졸업

2007년 3월 : 원광대학교 토목공학과 입학

e-mail : odh111@nate.com

연락처 : 010 - 9916-2085



남 궁 문 (Nangung, Moon)

2015년 3월 ~ 현재 : 원광디지털대학교 총장

2014년 7월 ~ 2015년2월 : Eco-Green사업단장

1992년 3월 ~ 2015년2월 : 원광대학교 토목환경공학과 교수

1999년 12월 ~ 2000년 1월 : 독일 Technische University Darmstadt 교환교수

1997년 1월 ~ 1998년 1월 : 미국 The University of Illinois at Chicago 교환교수

1989년 4월 ~ 1992년 3월 : Hiroshiam대학교 토목공학과 공학박사(교통공학 전공)

e-mail : ngmoon@wku.ac.kr

연락처 : 010-4616-3060



박 희 순 (Park, Hee-Soon)

2013년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 토목환경공학과 박사과정

1989년 3월 : 원광대학교 토목환경공학과 석사과정 졸업

1987년 9월 : 원광대학교 토목환경공학과 석사과정

e-mail : phs122708@naver.com

연락처 : 010-2775-1368