

네트워크 RTK와 연계한 비금속 상수관의 GPR 탐사

이근왕¹, 박준규^{2*}

¹청운대학교 멀티미디어학과, ²서일대학교 토목공학과

GPR Exploration of Non-metallic Water Pipes Linked with Network RTK

Keun-Wang Lee¹, Joon-Kyu Park^{2*}

¹Department of the Multimedia Science, Chungwoon University

²Department of Civil Engineering, Seoil University

요약 GPR은 전자파를 지반 또는 대상물에 방사시켜 반사체에서 돌아온 반사파를 이용하는 탐사법으로써 광산의 지반 침하나 건설현장의 비파괴 조사, 지반조사, 지하시설물 탐사 등에 활용되고 있다. 본 연구에서는 네트워크 RTK와 연계한 GPR을 이용한 비금속 상수관의 탐사에 대한 활용성을 제시하고자 하였다. GPR을 이용하여 연구대상지 상수관에 대한 데이터를 취득하였으며, 상수관로에 대한 위치 및 매설 심도를 측정하였다. 정확도 평가를 위해 GNSS 관측 성과와 GPR 탐사 결과를 비교하였으며, -0.16m ~ 0.15m의 편차를 확인하였다. 이러한 결과는 공공측량 작업규정의 기기성능을 만족하는 것으로 GPR을 이용한 상수관의 탐사가 가능함을 제시하였다. GPR은 기존 금속관로탐지기에서와 같은 접지 설치가 필요하지 않기 때문에 지하시설물 탐사를 위한 작업의 효율성 증대에 기여할 것이며, GPR을 이용한 탐사는 금속 및 비금속 지하시설물에 대한 위치와 심도를 동시에 취득할 수 있어 GIS 시스템 구축을 위한 데이터로 이용이 가능하다. 향후 추가적인 연구를 통해 금속 및 비금속관로 탐사와 콘크리트, 아스팔트 등 지면 매질에 따른 탐사 특성 비교 연구가 이루어진다면 GPR을 이용한 지하시설물 탐사의 다양한 활용성을 제시할 수 있을 것이다.

Abstract GPR is used for non-destructive investigations, ground investigations, and underground facilities exploration at construction sites. In this study, the applicability to GPR exploration of water pipes linked to Network RTK was presented. Data on the water supply pipes in the study site were acquired using GPR, and the location and depth of buried water pipes could be measured. The accuracy was evaluated from the GNSS observation performance and showed a deviation of -0.16m ~ 0.15m. This satisfied the equipment performance of the public survey work regulation, suggesting that the exploration of water pipes using GPR is possible. Because GPR does not require grounding installation, as in conventional metal pipe detectors, it will increase the efficiency of work for underground facility exploration. Exploration using GPR can acquire the location and depth of metallic and non-metallic underground facilities, so it can be utilized in the construction of a GIS system. If a comparison of the exploration characteristics is carried out, it will be possible to present various uses of underground facility exploration using GPR.

Keywords : Accuracy Analysis, Ground Penetrating Radar, Network RTK, Underground Facilities, Water Pipe

이 성과는 2018년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2018R1C1B6004021)

*Corresponding Author : Joon-Kyu Park(Seoil University)

email: jkpark@seoil.ac.kr

Received December 2, 2020

Revised January 6, 2021

Accepted February 5, 2021

Published February 28, 2021

1. 서론

GPR(Ground Penetrating Radar)은 전자파 신호를 방사하여 표적을 탐지하는 레이더 측량법을 적용하여 지하의 금속 및 비금속 물체를 탐지하는 측량 방법이다 [1,2]. GPR은 고주파 레이더를 사용하며, 지하 매질에 대한 고해상도 이미지를 연속적으로 얻을 수 있다[3-5]. 따라서 구조물 내부 및 지하에 대한 정보를 신속하고 경제적으로 얻을 수 있어 지하매설물, 공동, 터널 이상 탐지 등 다양한 분야에 적용되고 있다[6,7]. 또한 GPR은 기존의 금속관로 탐지 방법에 비해 간편하고, 빠르게 결과를 확인할 수 있는 장점이 있다[8]. Fig. 1은 GPR의 개념을 나타낸다.

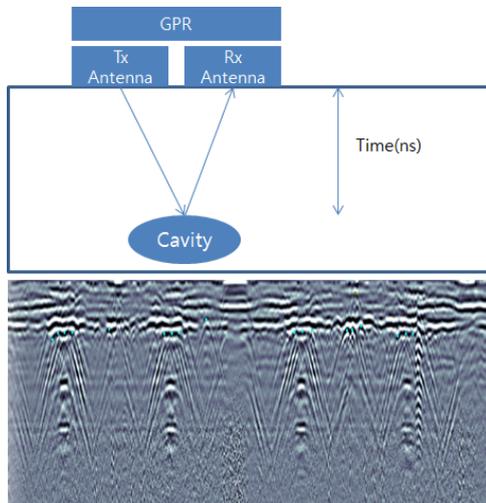


Fig. 1. Concept of GPR

최근 도시 개발로 인해 상하수도, 가스, 통신, 전기 등 기반 시설물들의 지하매설이 증가하고 있으며, 굴착공사로 인한 사고의 위험도 커지고 있다[9]. 우리나라는 각종 지하시설물과 구조물 지반 등에 대한 종합적인 공간정보 구축을 추진하고 있다[10]. 지하공간정보 구축을 위해서는 정확하고, 효과적인 정보의 취득이 가장 중요한 부분이며, 이러한 부분에서 기존 방법에 비해 간편한 GPR의 적용은 효율적인 대안이 될 수 있다.

지하시설물 중 특히 상수관은 노후 시설이 많아 안전 사고의 가능성이 높아 정확한 관로의 심도 측정이 필요하지만 조사비용이 많이 소요되어 활발한 조사가 이루어지지 않고 있다. 상수관을 매설하기 전 위치를 GNSS(Global Navigation Satellite System)으로 측정하는

방법은 높은 정확도를 확보할 수 있으나 신규 관로만을 대상으로 하며, 노후 관로에 대한 정확한 심도를 파악할 수 없다는 한계가 있다. 또한 기존의 전자유도 탐사는 포장재질에 따라 탐사가 불가능한 경우가 있다[11]. 본 연구에서는 비금속 상수관을 대상으로 네트워크 RTK와 연계한 GPR을 이용한 탐사를 수행하고, 매설 전 GNSS 측량성과와 비교를 통해 정확도를 평가하여 GPR을 이용한 비금속 상수관의 심도탐사에 대한 활용성을 제시하고자 하였다. Fig. 2는 연구 흐름도를 나타낸다.

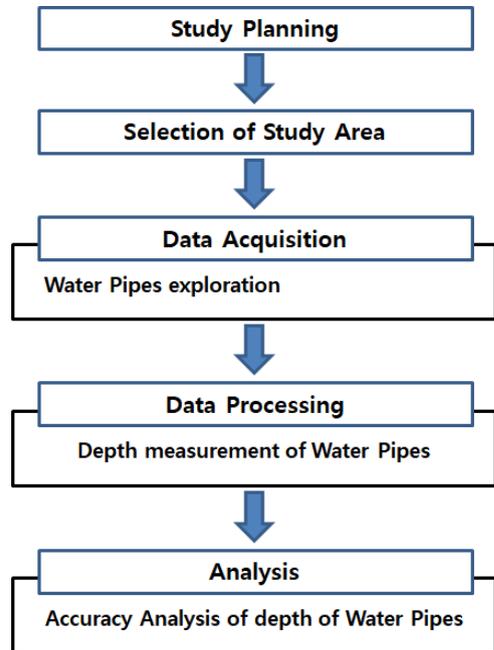


Fig. 2. Study flow

2. 연구대상지 및 데이터 취득

본 연구에서는 네트워크 RTK와 연계한 GPR을 이용한 비금속 상수관의 탐사를 위해 2019년 상수관 매설공사를 실시한 경기도 포천 일대를 연구대상지로 선정하였다. 연구대상지는 GNSS를 이용하여 관로 매설 시 측량을 수행하여 상수관의 심도에 대한 성과를 확인할 수 있기 때문에 정확도 평가가 가능하다. Fig. 3은 연구대상지를 나타낸다.

데이터 취득은 Secsors & Software사의 LMX200을 이용하였으며, 네트워크 RTK 연계를 위해 Trimble 사의 R10 GNSS를 이용했다. LMX200은 250MHz의 주파

수를 이용하며, 약 8m까지 탐사가 가능한 GPR로 네트워크 RTK 연계를 통해 데이터 취득 경로 및 대상물의 위치를 기록할 수 있다[12].

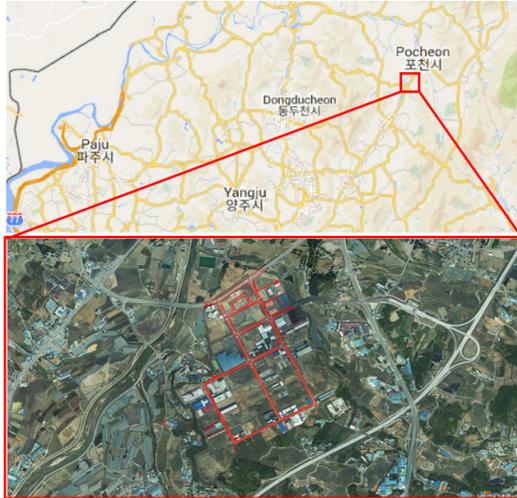


Fig. 3. Study area

연구대상지에는 상수관 뿐만 아니라 하수관, 통신선로 등 다양한 지하시설물이 있기 때문에 정확한 데이터 취득을 위해 격자로 데이터를 취득하였다. Fig. 4는 GPR 탐사위치를 나타낸다.



Fig. 4. Location of GPR Data Acquisition

3. 데이터 처리 및 정확도 분석

네트워크 RTK와 연계한 GPR을 이용해 취득된 데이터는 경로처리 및 GPR영상의 해석, 심도측정의 단계로 자료처리를 수행하였으며, 취득된 데이터에서 판별된 관로시설물 중 상수관에 대한 데이터를 선별하고, 심도를

관측하였다. GPR 탐사결과에서 상수관의 매설 깊이는 1.0~1.3m로 나타났다. Fig. 5는 연구대상지의 상수관에 대한 심도 관측 결과 중 일부를 나타낸다.

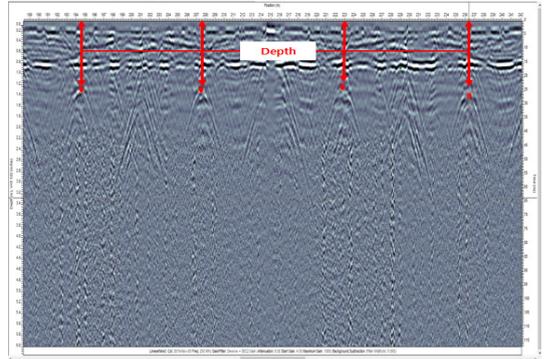


Fig. 5. Depth Observation Result

한편, 정확도 평가를 위해 상수관 매설 시 GNSS로 측정한 데이터로 작성된 CAD 도면과 비교를 수행하였다. Fig. 6은 GNSS 측량으로 제작된 CAD 도면을 나타낸다. 그림에서 파란색으로 표시된 선이 상수관이며, 수치는 심도를 나타낸다.

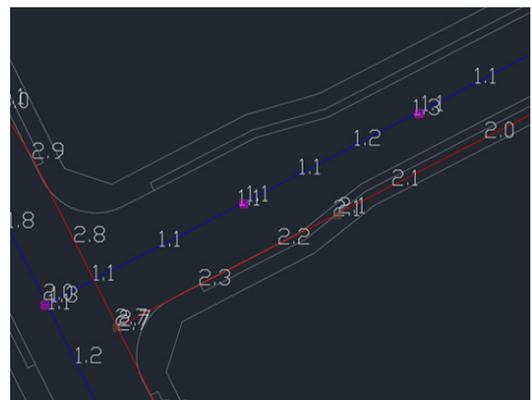


Fig. 6. GNSS Survey Result

정확도 평가는 총 80점에 대해서 이루어 졌다. Fig. 7은 GPR을 이용해 관측한 상수관의 평균 매설깊이이며, Table 1과 Table 2는 정확도 평가 결과를 나타낸다.

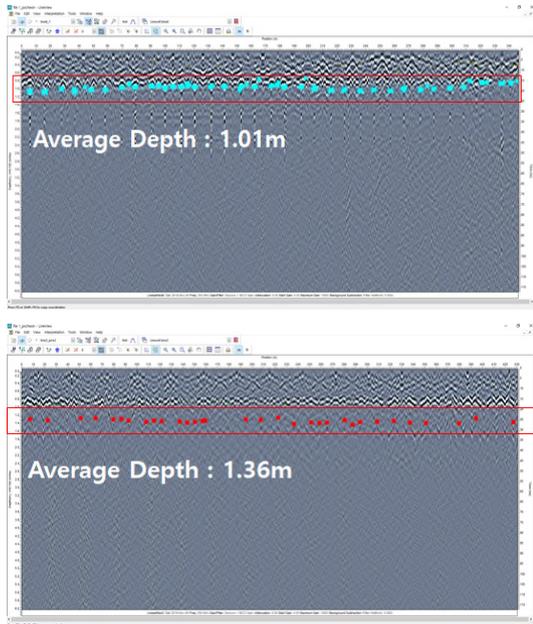


Fig. 7. Average Depth of Water Pipes

Table 1. Location Accuracy Analysis Results

No.	Reference Location		GPR Location		Deviation		
	N(m)	E(m)	N(m)	E(m)	dN(m)	dE(m)	
Study Area 1	1	586928.145	217811.496	586928.110	217811.474	0.035	0.022
	2	586926.129	217813.074	586926.104	217813.053	0.025	0.021
	3	586926.966	217817.359	586926.939	217817.336	0.027	0.023
	4	586926.459	217818.815	586926.441	217818.803	0.018	0.012
	5	586928.023	217811.381	586928.004	217811.353	0.019	0.028
	6	586917.489	217815.817	586917.468	217815.793	0.021	0.024
	7	586928.145	217811.496	586928.123	217811.473	0.022	0.023
	8	586926.129	217813.074	586926.094	217813.046	0.035	0.028
	9	586926.922	217817.382	586926.898	217817.358	0.024	0.024
	10	586926.458	217818.815	586926.440	217818.793	0.019	0.022
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
Average					0.025	0.023	
Study Area 2	32	587031.698	217726.073	587031.672	217726.051	0.026	0.022
	33	587031.250	217726.268	587031.226	217726.247	0.024	0.021
	34	587031.408	217725.475	587031.384	217725.449	0.024	0.026
	35	587034.190	217723.969	587034.164	217723.947	0.026	0.022
	36	587035.437	217723.381	587035.406	217723.353	0.031	0.028
	37	587034.873	217723.643	587034.852	217723.619	0.021	0.024
	38	587035.158	217722.355	587035.134	217722.331	0.024	0.024
	39	587034.011	217722.932	587033.989	217722.908	0.022	0.024
	40	587034.598	217722.642	587034.576	217722.613	0.022	0.029
	41	587032.024	217723.963	587032.001	217723.935	0.023	0.028
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
Average							

Table 2. Depth Accuracy Analysis Results

No.	Reference Depth	GPR Depth	Deviation	
Study Area 1	1	1.1	1.05	0.05
	2	1.1	1.02	0.08
	3	1.1	1.08	0.02
	4	1.1	1.09	0.01
	5	1.1	1.02	0.08
	6	1.1	0.98	0.12
	7	1.2	1.11	0.09
	8	1.1	0.97	0.13
	9	1.1	0.99	0.11
	10	1.1	0.95	0.15
∴	∴	∴	∴	
Average			0.101	
Study Area 2	32	1.2	1.31	-0.11
	33	1.3	1.46	-0.16
	34	1.3	1.38	-0.08
	35	1.3	1.37	-0.07
	36	1.3	1.44	-0.14
	37	1.3	1.44	-0.14
	38	1.3	1.44	-0.14
	39	1.3	1.35	-0.05
	40	1.3	1.35	-0.05
	41	1.3	1.44	-0.14
∴	∴	∴	∴	
Average			-0.104	

GPR로 측정된 비금속 상수관의 위치 정확도는 0.035m 이내로 나타났다. 매설깊이에 대한 정확도는 -0.16 ~ 0.15m이었으며, 평균 0.103m 정도로 나타났다. 이러한 결과는 공공측량 작업규정의 지하시설물 측량을 위한 기기의 성능 기준을 만족하는 것으로 GPR을 이용한 상수관의 탐사가 가능함을 나타내는 것이다. Table 3은 공공측량 작업규정의 지하시설물 측량기기의 성능을 나타낸다[13].

Table 3. Performance of surveying equipment

Item	Specification
Metal pipeline detector	Depth < 30cm
Non-metallic pipeline detector	Depth < 40cm
Manhole detector	Depth < 50cm

최근 상수관의 재질이 PE(PolyEthylene)나 PVC(Poly Vinyl Chloride)의 비금속이 활용되는 점을 고려하면 GPR은 기존의 금속관로탐지기로 탐지가 불가능한 비금속 재질의 경우에도 활용이 가능하며, 접지의 설치가 필요하지 않기 때문에 지하시설물 탐사를 위한 작업의 효

올성 증대에 기여할 것이다.

한편, 최근 지방자치단체에서는 상·하수 관로 및 지하 시설물에 대한 GIS(Geographic Information System)을 구축하여 관련 데이터를 전산화함으로써 데이터의 입·출력, 분석 등을 수행할 수 있는 체계를 마련하고 있다. 네트워크 RTK를 연계한 GPR 탐사는 금속 및 비금속 지하 시설물에 대한 위치와 심도를 동시에 취득할 수 있어 GIS 시스템 구축을 위한 데이터로 이용이 가능하다. Fig. 8은 GPR을 이용해 구축한 GIS 데이터를 나타낸다.

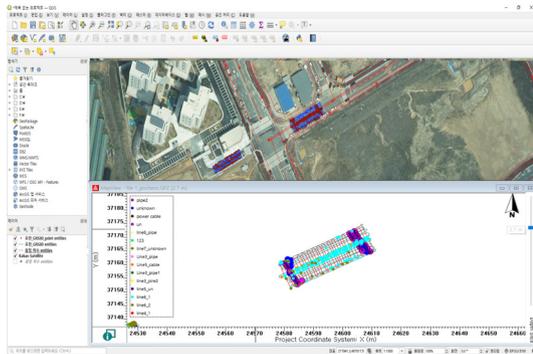


Fig. 8. GIS Data using GPR

향후 추가적인 연구를 통해 금속 및 비금속의 관로 탐사와 콘크리트, 아스팔트 등 지면 매질에 따른 탐사 특성 비교 연구가 이루어진다면 GPR을 이용한 지하시설물 탐사의 다양한 활용성을 제시할 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 네트워크 RTK를 연계한 GPR 탐사에 대한 활용성을 제시하고자 한 것으로 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPR을 이용하여 연구대상지 비금속 상수관로에 대한 탐사 데이터를 취득하였으며, 데이터 처리를 통해 상수관로에 대한 위치 및 매질 심도를 측정할 수 있었다. GNSS 관측 성과와 비교한 정확도 평가를 통해 위치정확도 0.035m 이내, 심도는 -0.16m ~ 0.15m의 편차를 확인함으로써 네트워크 RTK를 연계한 GPR 탐사의 활용성을 제시하였다.
2. GPR은 기존 금속관로탐지기에서와 같은 접지 설치가 필요하지 않기 때문에 지하시설물 탐사를 위

한 작업의 효율성 증가에 기여할 것이다.

3. GPR을 이용한 탐사는 금속 및 비금속 지하시설물에 대한 위치와 심도를 동시에 취득할 수 있어 GIS 시스템 구축을 위한 데이터로 이용이 가능하다. 향후 GPR을 활용한 금속 및 비금속관로 탐사와 콘크리트, 아스팔트 등 지면 매질에 따른 탐사 특성비교 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] J. Y. Lee, J. W. Shim, S. R. Lee, K. H. Lee, "A Consideration on the Electromagnetic Properties of Road Pavement Using Ground Penetrating Radar (GPR)", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.40, No.3, pp.285-294, Jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2020.40.3.0285>
- [2] J. J. Park, E. C. Shin, K. S. Park, H. S. Shin, K.G. W. Hong, "An Experimental Study on Detecting materials of GPR for Maintenance of Restored Cavities", *Journal of Korea Society of Disaster Information*, Vol.14, No.4, pp.430-439, Dec. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.15683/kosdi.2018.12.31.430>
- [3] C. M. Lee, J. S. Yoon, J. E. Baek, S. T. kim, "Evaluation of GPR Application to Survey Utilities on Sidewalks", *International Journal of Highway Engineering*, Vol.21, No.1, pp.35-41, Jan. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.7855/IJHE.2019.21.1.035>
- [4] S. R. Beak, J. H. Kim, "A Study on the Improvement Method for Efficient Service of E-GENAED using Time and Spatial Data", *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.37, No.4, pp.253-265, Aug. 2019. DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.2.51>
- [5] S. H. Lee, I. H. Jang, "A Study on the Underground Condition of Road Using 3D-GPR Exploration", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.20, No.2, pp.49-58, Feb. 2019. DOI: <https://doi.org/10.14481/jkges.2019.20.2.49>
- [6] J. H. Choo, C. K. Yoo, Y. C. Oh, I. M. Lee, "Assessment of NATM tunnel lining thickness and its behind state utilizing GPR survey", *Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association*, Vol.21, No.5, pp.717-733, Sep. 2019. DOI: <https://doi.org/10.9711/KTAJ.2019.21.5.717>
- [7] S. Y. Han, "Numerical Simulation of Ground-Penetrating Radar Signals for Detection of Metal Pipes Buried in Inhomogeneous Grounds", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.29, No.1, pp.61-67, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2018.29.1.61>
- [8] J. H. Choi, J. H. Kim, "Spatial Information Data

Construction and Data Mining Analysis for Topography Investigation of Land Characteristics”, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.37, No.6, pp.507-516, Dec. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2019.37.6.507>

- [9] J. M. Oh, Y. H. Song, S. P. Hong, Y. M. Shin, Y. J. Ko, “High Definition Road Map Object usability Verification for High Definition Road Map improvement”, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol.38, No.4, pp.375-382, Aug. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.4.375>
- [10] Y. I. Chung, W. J. Park, B. I. Choi, “Technical Standard Analysis and Optimal Monitoring Technology to Prevent Ground Subsidence”, *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol.20, No.1, pp.307-317, Feb. 2020.
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.1.307>
- [11] C. H. Jung, J. M. Kim, K. S. Kim, Y. S. Choi, “Improvement on Surveying Performance Evaluation for Public Surveying of Underground Facilities”, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.22, No.2, pp.15-23, Jan. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.11108/kagis.2019.22.2.015>
- [12] Sectors & Software. products [Internet]. LMX200 [cited 2020 December 10], Available From: <https://www.senssoft.ca/ko/products/lmx200/> (accessed Dec. 10, 2020)
- [13] Ministry of Government Legislation. Regulation [Internet]. Public Survey Work Regulations [cited 2020 December 10], Available From: <https://www.law.go.kr/> (accessed Dec. 10, 2020)

박 준 규(Joon-Kyu Park)

[중신회원]



- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>

지형공간정보공학

이 근 왕(Keun-Wang Lee)

[중신회원]



- 1993년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 (공학사)
- 1996년 : 송실대학교 컴퓨터학과 (공학석사)
- 2000년 : 송실대학교 컴퓨터학과 (공학박사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 청운대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야>

멀티미디어 통신, 멀티미디어 응용, 모바일 통신