

지중매설물 구간단위 제원 정보 판정을 위한 필터링 모형 개발

박현석

한국건설기술연구원 도로교통연구본부

Development of a filtering model to determine section-level specification information for underground facilities

Hyun-Suk Park

Department of Highway & Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering
and Building Technology

요약 본 연구는 공중통신선 지중화 공사가 맨홀 단위 구간에서는 일반적으로 지중매설물 제원(관 종류, 수량)이 동일하게 시공되는 특성을 고려하여 스마트폰으로 촬영된 지중매설물을 AI를 활용하여 개별 이미지 단위로 인식한 제원정보를 구간단위 제원 정보로 판정하는 필터링 모형을 개발하였다. 모형개발을 위해 첫 번째로 개별 이미지 단위를 AI로 인식한 제원정보의 이상치를 제거하기 위해 관로 종류별로 인식된 제원정보 수량 데이터 집단의 상·하위 일정범위(예:5%)를 설정한 후 범위 내 존재하는 극단치 데이터를 제거하고, 두 번째로 남아있는 제원정보 수량 데이터 중 최대값을 최종 관로 수로 판단하도록 Voting Rule을 적용하는 알고리즘을 개발하였다. 모형의 신뢰도 측정을 위해 12개 촬영 샘플을 육안으로 확인한 참값과 개발모형으로 판정한 결과를 비교한 결과 평균 91.7%의 신뢰도를 나타냈다. 개발 기술은 기존 공중선 지중화 공사 시 부족한 지중매설물 데이터 구축 시간을 자동화하여 단축하고 기존의 인력식 조사 오류를 신뢰도 높게 구축하는데 기여할 수 있을 것이다.

Abstract This study examined whether the underground installation specifications (pipe type and quantity) are the same in each unit manhole section during the underground construction of communication lines installed in the air. A filtering model that determines the specifications on an individual image basis was developed for underground objects photographed with a smartphone into section-level specifications information. A certain upper and lower range (e.g., 5%) of the specification-information-quantity data group recognized as an individual image unit was set, and extreme value data outside the range was removed. A voting rule was then developed to determine the maximum value among the specification information quantity data existing within a certain upper and lower range as the final number of pipes. The reliability of the model was determined by visually confirming the true values of 12 photographed samples and comparing the results determined by the developed model. The average reliability was 91.7%. The developed technology can contribute to automating and shortening the construction time of underground facility data, which is insufficient during underground construction of existing aerial lines, and establishing a high level of reliability for errors in existing manual surveys.

Keywords : Underground Installation, Specification Information for Underground Installations, Filtering Model, Quantity and Type of Underground Installations, Judgment of Underground Facility Specification Information

본 논문은 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비 지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다. (과제번호 20240173-001, Smart QSE 기반 공중선 지중화 혁신기술 및 도로성능복원기술 개발)

*Corresponding Author : Hyun-Suk Park(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

email: hysupark@kict.re.kr

Received March 13, 2024

Revised May 2, 2024

Accepted June 7, 2024

Published June 30, 2024

1. 서론

공중통신선 지중화 공사는 주로 도심지, 야간시간에 한정되어 공사가 시행되어 지중매설물 데이터 구축 시간 확보와 도심지 GPS 활용 제약, 인력식 제원정보 수집 등의 한계가 있어 공사 현장여건을 고려하여 신속하고, 현장 접근성이 용이하면서 데이터 품질을 만족하는 AI 기법을 이용한 지중매설물 제원정보 자동 추출 기술 개발이 시도되었다[1].



Fig. 1. Limitations of constructing underground facility data during underground construction of communication lines in the air

이러한 기술은 기존 작업자가 육안으로 관로 및 맨홀의 종류와 수량 등을 조사하여 데이터화 하는 방식을 범용 스마트폰으로 촬영한 사진파일로 지중매설물 종류 및 수량 등 제원 데이터를 자동 구축하였으나, 개별이미지별 제원정보를 추출하여 데이터를 구축하고 있어, 맨홀-관로-맨홀 단위로 구성되는 현장에서 AI의 신뢰도에 따라 단일 구간 단위 내에서도 제원정보가 여러 종류로 추출되는 한계를 보였다. 이에 본 연구는 일반적인 구간 단위에서는 지중매설물 제원이 동일하게 시공되는 특성을 고려하여 이상 추출된 개별이미지 정보를 필터링하여 구간단위 제원 정보를 판정하는 모형을 개발하고자 한다.

2. 기존 연구 고찰

박현석[2]은 공중선 지중화사업에서 적용되는 미니트렌칭 공법 과정에서 짧은 시간 내에 지중매설물의 제원정보를 자동 추출하는 알고리즘을 개발하기 위하여 객체검지 알고리즘 중 탐지 정확도가 상대적으로 우수한 2stage 방식의 R-CNN 알고리즘[3]을 활용하여 스마트폰으로 촬영한 이미지를 기반으로 지중매설물의 종류와 수량 등 제원정보를 자동 추출하는 연구를 수행하였다. 개발 모형의 신뢰도 측정결과 F1-Score 0.76이로 결과

되었지만, 맨홀 구간 단위로 제원정보를 조사하여 정보를 제공하여야 함을 고려할 때 구간정보를 어떻게 판정하여야 하는지에 대한 연구 부재로 활용에는 한계가 있다.

정상 자료의 범위를 지정하여 이상치 자료를 판단하여 제거하는 연구 방법에는 백분율법(Percentile Method), 신뢰구간법, 중위절대편차법(Median Absolute Deviation), 사분위편차법(Quartile Deviation Method) 등 한 번의 과정으로 이상치를 제거하는 단일필터링 방법과 각 필터링 방법 또는 Voting Rule 등을 복합 적용하여 이상치를 제거하는 복합필터링 방법이 있다.

대표적인 단일 필터링 방법으로는 한국도로공사[4]가 고속도로 DSRC 교통정보시스템에서 이상치를 제거를 위해 수집주기 내 통행시간의 표준편차 범위에 따른 상하한 극단치를 제거하는 백분율법 기반 단일필터링 방법이 있다.

Table 1. Korea Expressway Corporation DSRC traffic information outlier removal method

Division	How to remove outliers
When the standard deviation is less than 5% of the average value of travel time	Remove samples from the top 3% and bottom 2% of the data group
When the standard deviation is less than 10% of the average value of travel time	Remove samples from the top 5% and bottom 5% of the data group
When the standard deviation is less than 15% of the average value of travel time	Remove samples from the top 8% and bottom 7% of the data group
When the standard deviation is more than 15% of the average value	Remove samples outside standard deviation range

복합 필터링 방법 연구로는 정영제[5]가 중위절대편차법을 이용해 표본을 정규분포화 시키기 위한 1차 필터링을 수행하고, 이후 Voting Rule을 이용해 중위절대편차법 적용 이후에도 남아 있는 잔여 이상치 자료를 제거하는 복합필터링 방법이 있다.

3. 지중매설물 구간단위 제원정보 판정 모형 개발

3.1 연구 방향성

지중매설물의 제원 정보는 스마트폰으로 촬영 시 이미지 단위로 추출되지만, 맨홀-관로-맨홀로 구성되는 현장의 구간 단위 시공방식에서는 지중매설물 제원이 동일하

게 시공되는 것이 일반적이다.

이에, 구간 단위 제원 정보 판정을 위해 구간 단위로 촬영한 동영상에서 개별 프레임 단위로 AI로 추출된 매설물 종류와 수량 정보를 기반으로 이상치를 백분율법 기반으로 1차 필터링하고, 다수가 되는 매설물 수량을 구간 단위 제원 정보로 판정하는 Voting Rule 기반의 2차 복합필터링 로직을 개발하고자 한다. 미니트렌칭 구간의 좁은 굴착 폭을 고려할 때, 다수의 관로가 포설될 경우 관로가 서로 가려지는 경우가 많아 동일 구간 단위에서는 다수가 되는 관로 수량을 참값으로 판단하는 방식으로 개발하였다.

3.2 필터링 알고리즘 개발

통상적으로 현장에서 관로들을 하나 이상을 설치하게 되면 관로들은 겹쳐지게 되고, 상하로 적층되어 매설되며, 흙이나 돌, 철근 등의 이물질이 영상에 같이 담기게 되어 AI로 인식한 관로가 이미지 내에 온전한 하나의 객체로 인식이 안 되고, Fig. 2 및 Table 2.와 같이 나누어 인식이 되는 등의 결과가 나오게 되는 경우가 있다.

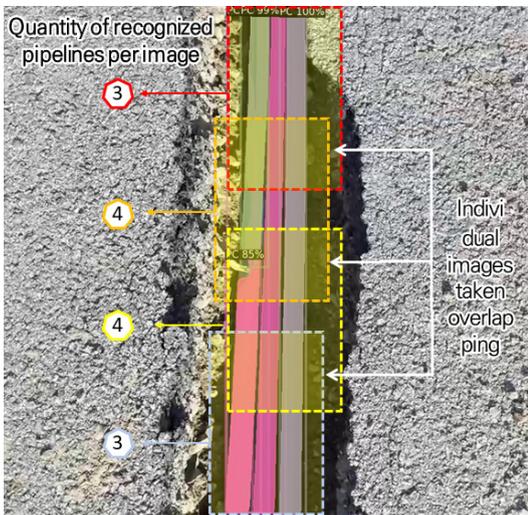
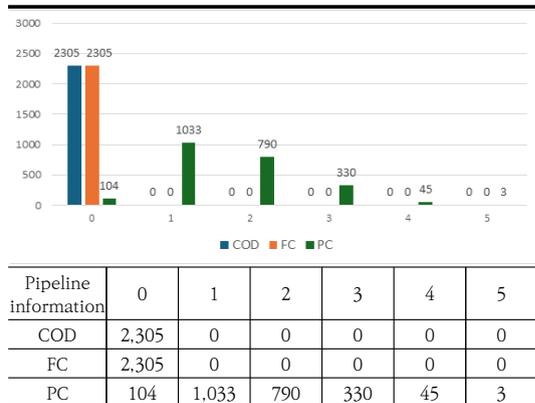


Fig. 2. Example of determining the quantity of pipes for each individual image taken overlapping

이에, 첫 번째로 개별 이미지를 AI로 인식한 제원정보의 이상치를 제거하기 위해 관로 종류별로 인식된 제원정보 수량 데이터 집단의 상·하위 일정범위(예:5%)를 설정한 후 범위 내 존재하는 극단치 데이터를 제거하고, 두 번째로 남아있는 제원정보 수량 데이터 중 최대값을 최종 관로수로 판단하도록 Voting Rule을 적용하여

식(1)과 같이 알고리즘을 개발하였다. 여기서, 개별 이미지에서 지중매설물 제원정보를 추출하기 위한 AI 알고리즘은 2stage 방식의 R-CNN 알고리즘[2]을 사용하였으며, 극단치 설정 기준은 기존 백분율법 기반 필터링 알고리즘에서 주로 활용하고 있는 극단치 설정 기준(2~8%)의 중간 값인 5%를 활용하였다.

Table 2. Example of recognized pipe type and pipe quantity distribution diagram



$$\text{관로 종류별 관로수} = \text{MAX}\{\text{AI식별 관로수량 데이터 집단 중 관로 종류별로 상·하위 } \alpha \text{ 범위를 제외한 관로 종류별 데이터}\} \quad (1)$$

Where, α 는 운영자 설정값임 (default : 5%)

상·하위 5%인 양 극단치 약 115개를 각각 이상치로 제거한 후 남겨진 관로수 PC 1, 2, 3개 중 최대값인 관로수 '3'이 구간 제원 정보로 판정되었으며, 실제 관로수와 일치함을 확인하였다.

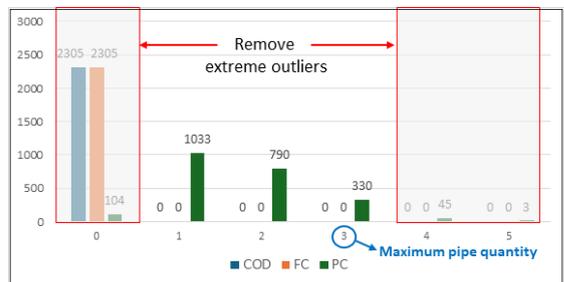


Fig. 3. Example of determining section specification information by adopting the maximum number of pipes after removing outliers

4. 개발 기술 성능 평가

개발 기술 성능 평가를 위해 한국건설기술연구원 연천 SOC 실증연구센터에 약 10m의 미니트렌칭 구간을 시공하고 COD, FC, PC관로로 다양한 수량과 종류 조합을 구현하는 방식으로 샘플 데이터 수집을 계획하였다. 다만, 현장에서 COD 단독 1개, PC 단독 2개 이상이 주로 시공되는 현황을 고려하여 해당 샘플 데이터를 가중하여, 관로를 바꿔 매설하는 방식으로 총 12개 샘플 데이터를 Fig. 4와 같이 스마트폰으로 촬영하여 수집하였다.



Fig. 4. Performance evaluation data collection

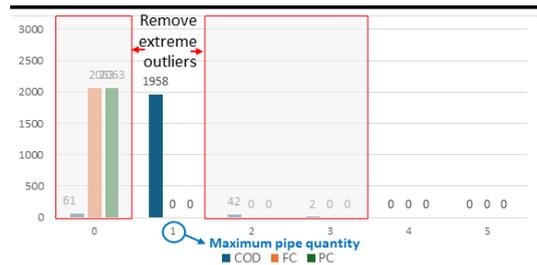
12개 촬영 샘플을 육안으로 확인한 참값과 개발모형으로 판정한 결과를 비교하는 방식으로 개발 기술의 성능을 확인한 결과 표 3과 같이 평균 91.7%의 신뢰도를 보였다. 개별 이미지별로 관로종류와 수량을 인식한 분포도와 개발 모형이 이상치를 제거하고 최종 관로수를 판단하는 과정은 Table 4~15와 같다.

평가 결과 관로 종류 중 FC가 포함되는 경우 개발모형의 신뢰도가 저하되었는데, 이는 FC 관로의 개별 이미지를 AI로 인식할 때 PC 관로로 오 인식한 것에 기인하여 오 판정된 것으로 분석된다.

Table 3. Development model performance evaluation results

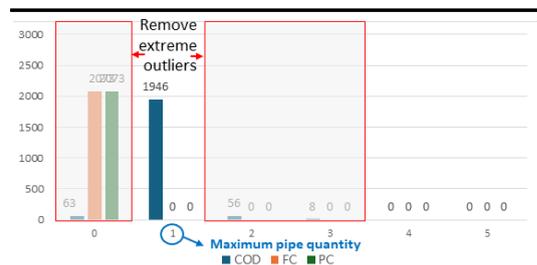
Division	Pipe type/quantity true value	Development model judgment result	Accuracy	Recognized quantity distribution of pipes
CASE1	COD/1	COD/1	100%	Table 4.
CASE2		COD/1	100%	Table 5.
CASE3	FC/1	FC,PC/1,1	0%	Table 6.
CASE4		PC/1	100%	Table 7.
CASE5	PC/1	PC/1	100%	Table 8.
CASE6		PC/2	100%	Table 9.
CASE7	PC/2	PC/2	100%	Table 10.
CASE8		PC/2	100%	Table 11.
CASE9	PC/2	PC/2	100%	Table 12.
CASE10		PC/3	100%	Table 13.
CASE11	PC/3	PC/3	100%	Table 14.
CASE12		FC,PC/1,1	100%	Table 15.
Accuracy		Average	91.7%	-

Table 4. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 1)



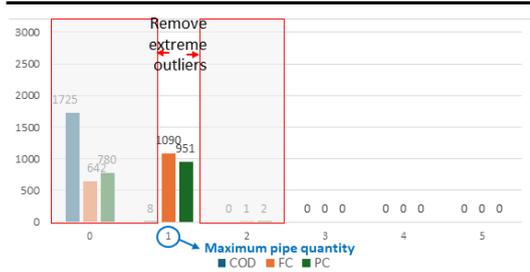
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	61	1958	42	2	0	0
FC	2063	0	0	0	0	0
PC	2063	0	0	0	0	0

Table 5. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 2)



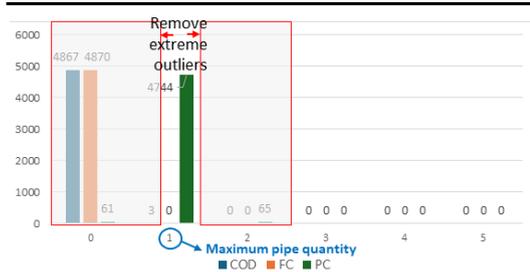
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	63	1946	56	8	0	0
FC	2073	0	0	0	0	0
PC	2073	0	0	0	0	0

Table 6. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 3)



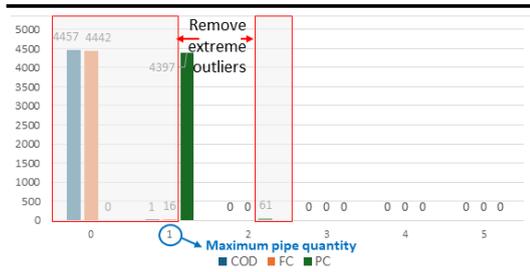
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	1725	8	0	0	0	0
FC	642	1090	1	0	0	0
PC	780	951	2	0	0	0

Table 7. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 4)



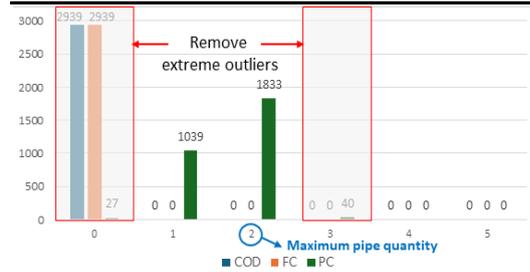
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	4867	3	0	0	0	0
FC	4870	0	0	0	0	0
PC	61	4744	65	0	0	0

Table 8. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 5)



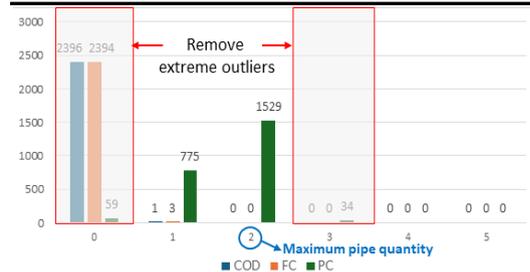
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	4457	1	0	0	0	0
FC	4442	16	0	0	0	0
PC	0	4397	61	0	0	0

Table 9. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 6)



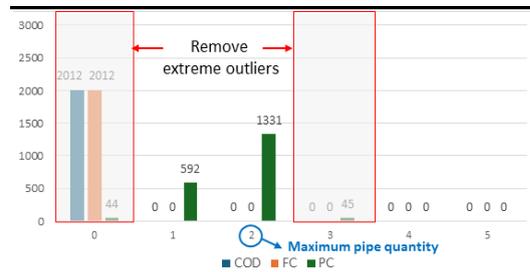
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2939	0	0	0	0	0
FC	2939	0	0	0	0	0
PC	27	1039	1833	40	0	0

Table 10. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 7)



Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2396	1	0	0	0	0
FC	2394	3	0	0	0	0
PC	59	775	1529	34	0	0

Table 11. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 8)



Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2012	0	0	0	0	0
FC	2012	0	0	0	0	0
PC	44	592	1331	45	0	0

Table 12. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 9)



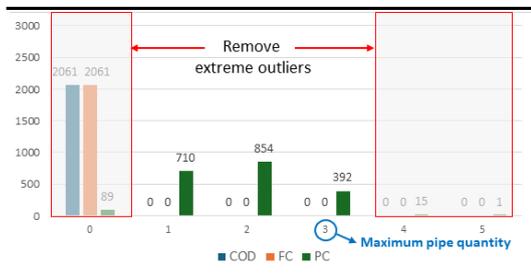
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2396	1	0	0	0	0
FC	2392	5	0	0	0	0
PC	87	1029	1259	22	0	0

Table 13. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 10)



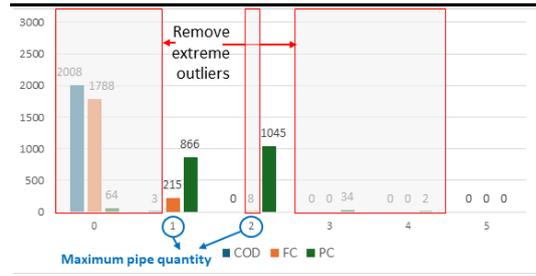
Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2353	0	0	0	0	0
FC	2327	26	0	0	0	0
PC	97	1024	763	439	30	0

Table 14. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 11)



Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2061	0	0	0	0	0
FC	2061	0	0	0	0	0
PC	89	710	854	392	15	1

Table 15. Recognized pipeline name and quantity distribution results (CASE 12)



Pipeline information	0	1	2	3	4	5
COD	2008	3	0	0	0	0
FC	1788	215	8	0	0	0
PC	64	866	1045	34	2	0

5. 결론 및 향후연구 과제

공중통신선 지중화 공사가 맨홀 구간 단위에서는 일반적으로 지중매설물 제원이 동일하게 시공되는 특성을 고려하여 스마트폰으로 촬영 후 AI를 활용하여 개별 이미지 단위로 판정한 관로 종류 및 수량 정보를 구간단위 정보로 판정하는 이상치 필터링 모형을 개발하였다. 개발 모형은 평균 91.7%의 높은 신뢰도를 보여 기존 공중선 지중화 공사 시 부족한 지중매설물 데이터 구축 시간을 자동화하여 단축하고 기존의 인력식 조사 오류를 신뢰도 높게 구축하는데 기여할 수 있을 것이다.

향후 과제로는 FC 관로의 제원 정보 판정 정확도가 낮게 결과 되었는데 개별 이미지의 AI 인식 신뢰도를 높이고, 관로 구간 내 두 개 이상 종류의 관로가 추출된 경우 이종 관로간의 수량 편차가 일정 범위 이상일 경우 이상치로 3차 필터링하는 로직을 보완하는 연구를 향후 연구로 진행할 계획이다. 아울러 단일 구간에서 성능 테스트를 진행하였는데, 보다 다양한 조건 구간에서 테스트를 진행하여 기술의 범용성을 확보하는 연구도 진행할 계획이다.

References

[1] Youngmin Kim, Development of innovative trenching and pavement restoration technology based on Smart QSE(1/3), Final Report, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Korea, pp117-124

- [2] Hyunsuk Park, Kiman Hong, Yongsung Cho, "A Study on Automatically Information Collection of Underground Facility Using R-CNN Techniques", *Journal of the Society of Disaster Information*, Vol. 19, No. 3, pp. 689-697, Sep. 2023.
DOI: <https://doi.org/10.15683/kosdi.2023.9.30.689>
- [3] He, K., Gkioxari, G., Dollár, P. and Girshick, R., "Mask r-cnn", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, pp.2961-2969, Oct. 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>
- [4] Hyunsuk Park, *The study to improve the reliability of travel time estimation using DSRC probe data in the interrupted trafficm flow*, Ph.D dissertation, University of Seoul, Korea, pp20-37, 2016.
- [5] Youngje Jeong, Hyun Suk Park, Byung Hwa Kim, Youngchan Kim, "Combined Filtering Model Using Voting Rule and Median Absolute Deviation for Travel Time Estimationl, *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol.12, No.6, pp10-21, Dec. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12815/kits.2013.12.6.010>

박 현 석(Hyun-Suk Park)

[정회원]



- 2016년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 교통공학과 (교통공학 박사)
- 1999년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

교통공학, ITS, 도로시스템, AI