

하수관거용 플라스틱 조립식 경량기초의 하중재하실험

이동항¹, 이관호^{1*}

¹국립공주대학교 건설환경공학부

Laboratory Loading Test of Light-Weight Prefabricated Plastic Foundation for Sewage Pipe Line

Dong-Hang Lee¹ and Kwan-Ho Lee^{1*}

¹Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

요 약 하수관거는 중요한 사회간접시설중의 하나이다. 이러한 하수관거의 파손은 주로 하수관거의 시공에 이용되는 뒤채움재의 부적절한 품질관리 및 다짐관리로 인하여 발생한다. 특히, 원형관로의 경우 현장에서 다짐작업이 어려워 다짐기준을 만족시키기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구는 플라스틱 현장조립식 경량기초를 개발하였다. 개발된 경량기초의 하중재하실험 및 변형특성을 평가하였다. 제한된 실험결과로부터 현장조립식 플라스틱 경량기초의 사용은 뒤채움재의 다짐관리시 발생하는 어려움을 줄여줄 수 있는 대안으로 사용 가능성을 확인하였다.

Abstract Sewage pipelines are one of important infra-structures. The main reasons of sewage pipelint failure are improper backfill materials and compaction controls in field. Especially, it is very difficult to compact the lower part of circula pipelines. In order to overcome these problems, the prefabricated light-weight plastic foundation was developed. Couple of load-displacement tests were carried out to get the characteristic of failure. From the limited laboratoty loading tests, the use of prefabricated light-weight plastic foundation is an alternative to solve the difficulty of backfill materials and compaction control.

Key Words : Sewage pipeline, Backfill materials, Compaction, Prefabricated light-weight plastic foundation

1. 서론

오늘날의 환경부하는 자연의 수용용량을 초과하여 증가하고 있고 이로 인하여 지구의 온난화, 천연자원의 고갈, 최종처분장의 부족 등 환경문제가 심각해지고 있기 때문에 자원순환형 사회로의 전환을 통해 지속 가능한 사회를 구축하는 것이 필요하다. 하수도용 관은 물·도시가스 등의 각종 물질수송이나 에너지, 통신시설을 설치하기 위해 지하에 매립한 관을 의미하며 안전하고 효율적 사용을 목적으로 지중 관로의 사회·산업에 대한 중요성이 증대해져가고 있다. 지중에 매설되는 각종 관들은 눈에 띄지 않는 문제로 인하여 그 위험성의 발생이 쉽게 노출되지 않으며 문제 발생시 피해가 크게 발생할 수 있다.

또한, 최근의 기후변화로 인한 폭우성 집중강우, 빗물의 적절한 배수로 미확보, 관로의 파손, 연결부의 결함 등으로 인한 단시간에 매우 큰 피해가 발생하고 있는 실정이다[1,2].

그림 1은 우리나라 하수도용 관의 파손원인을 분석한 자료이다. 하수도용 관 파손의 주요 유형은 이음부불량이 약 38%, 연결관 돌출 및 접합불량이 약 30%, 관내퇴적 12%, 관의 파손 및 균열이 약 10%, 기타 10%로 나타났다. 이중 이음부불량, 접합불량 및 기타 등 약 70% 정도가 관주변에 시공되는 뒤채움재의 품질관리 및 다짐도와 상관관계가 있는 파손형태이다. 그림 2는 일반적인 하수도용 관의 시공과정을 보여주고 있다. 베딩재설치 및 관부설 후 뒤채움재 시공상에서 많은 문제점이 발생하고

본 논문은 환경부 차세대에코이노베이션사업 하수관거연구단의 2011년 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee

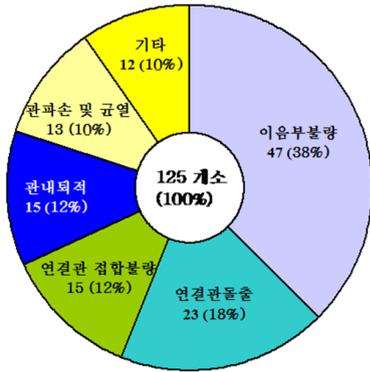
Tel: +82-10-9932-4798 email: kholee@kongju.ac.kr

접수일 12년 02월 07일

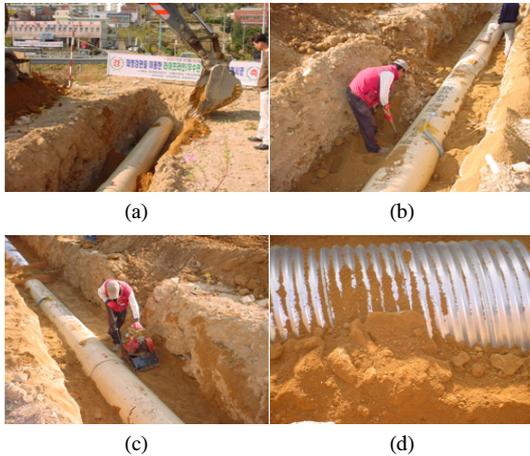
수정일 12년 03월 15일

게재확정일 12년 06월 07일

있다. 그림 2의 (a) 및 (b)에 나타난 것과 같이 원형관로 주변, 특히 하단부의 뒤채움재 시공이 매우 어려운 실정이다. 관로하단부는 주로 그림 2 (c)처럼 소규모 콤팩터를 이용한 인력다짐을 시행하고, 일부 모래물다짐 등을 이용하기도 한다. 그러나, 이러한 부분의 다짐도는 KS표 준다짐조건을 만족시키기 어려운 실정이다.



[그림 1] 하수도 관로파손유형
[Fig. 1] Type of Sewage Pipeline Failure



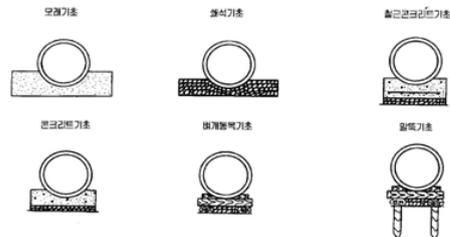
[그림 2] 관로시공시 문제점
[Fig. 2] Problems of Pipe Installation

지하 매설관의 파손의 원인중 하나인 관베딩재의 다짐 불량으로 인한 연결부의 함몰 및 누수 등이 발생하고 베딩재 및 하수도용 관의 하부지층의 함수량이 증가, 그로 인하여 하부지층의 강도 감소로 인하여 지하매설물 연결부가 지속적으로 함몰하는 문제가 발생한다. 뒤채움재의 다짐 불량에 의해 발생시 과도한 다짐으로 인하여 관재의 직접적인 파손이 발생할 가능성이 있으며, 다짐이 부족하여 되메움 된 지반이 느슨할 경우 관 천단 및 측면에 발생되

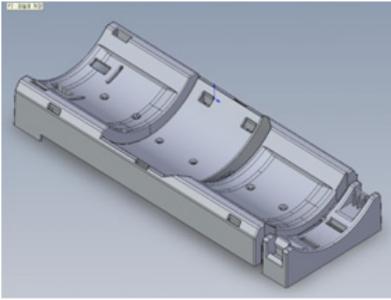
는 소성현상에 의한 관의 파괴현상이 발생한다. 또한 그림 2 (d)과 같이 현장발생토를 그대로 되메움 재료로 사용할 경우 현장발생토 내에 존재하는 호박석등의 입경이 큰 재료가 지하매설물에 접촉되어 있는 상태에서 다짐을 실행시 지하매설물에 직접적인 타격을 가하여 파손의 원인이 된다.

뒤채움재의 다짐 불량에 의한 문제점을 해결하는 방안으로 유동성 뒤채움재를 활용하는 무다짐 공법을 사용하면 하수도용 관의 하단부의 다짐이 용이하게 되지 않는 부분과 호박석등에 의해 발생하는 문제점들을 해결할 수 있으며, 뒤채움재의 강도 발현 이후 하수도용 관과 뒤채움재의 일체화로 인하여 하수도용 관의 유동 및 변형에 의한 파괴에 대한 문제점을 해결할 수 있다. 또한, 현장발생토를 재활용 할 수 있으며 그외에 화력 발전소에서 발생하는 석탄회 및 페타이어를 재활용한 고무칩과 페콘크리트등을 이용한 재활용성혼합재의 사용은 폐기물의 활용방안으로 사용할 수 있어 지속적으로 발생하고 있는 폐기물의 처리방법의 하나로 활용될 수 있다. 이러한 재료의 이용은 다짐에 의한 공사기간 지연과 공사비용의 증가를 줄일 수 있으며, 지하매설물의 파손으로 인한 유지보수공사의 감소로 인하여 유지 보수비용의 감소, 유지보수시 발생하는 교통지체로 인한 사회적 비용의 감소를 할 수 있다[3,4].

그림 3은 우리나라에서 사용되는 강성관의 기초공 종류이다[1]. 하수관거의 경우 대부분이 대형 콘크리트 홈관을 이용하기 때문에 관거의 기초는 지지력 증진 및 침하량을 저감시킬 수 있는 중요한 시설물이다. 그러나, 국내의 경우 현장시공시 이러한 기초의 시공 및 뒤채움재에 대한 체계적인 품질관리가 매우 열악한 실정이다. 베딩재의 다짐 불량에 의한 문제점의 해결방안 중 하나로 그림 4와 같은 플라스틱으로 만든 기성제품 형식의 현장조립식 매설관의 기초를 개발하여 베딩재 및 관 주변 뒤채움재 다짐 문제를 해결하고자 한다. 본 연구는 플라스틱 현장조립식 경량기초의 하중재하시험 및 변형특성을 평가하여 현장에 사용할 수 있는 제품의 생산용 기초 자료를 제공하는 것이다.



[그림 3] 강성관 기초공 종류[1]
[Fig. 3] Types of Rigid Pipe Foundations[1]



[그림 4] 현장조립식 경량플라스틱 기초
[Fig. 4] Lightweight Fabricated Plastic Foundation

2. 실험재료 기본물성

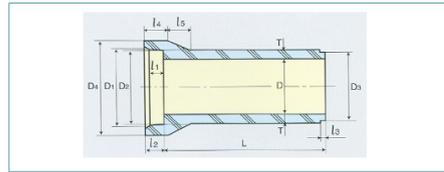
2.1 원심력 철근 콘크리트 흠관

KSF-4403 원심력 철근 콘크리트 흠관 제품에 대한 규격이 표 1과 같이 정의되어 있고, 소켓식 연결공법을 사용하는 관으로 관체의 양쪽이 양수의 형태를 지니며 고무링을 사용하여 수밀성을 확보한다.

2.2 플라스틱기초

1933년 영국의 ICI사 연구실에서 고압 실험 중 우연히 발견된 수지인 폴리에틸렌은 1940년대 초반 미국에서 본격적으로 생산되어 석유화학공업의 인기품으로 범용 플라스틱의 대표적인 존재로 각광을 받게 되었다. 폴리에틸렌은 에틸알콜을 원료로 제조하는 방법의 연구가 있었으나, 현재는 원유를 증류해서 얻어지는 나프타(조제기술린)를 원료로 하는 에틸렌 중합에 의해 만들어진다. 폴리에틸렌의 밀도에 따라 고밀도 폴리에틸렌(HDPE, high density polyethylene)과 저밀도 폴리에틸렌(LDPE, low density polyethylene)고 나누어진다. 본 연구에서는 고밀도 폴리에틸렌을 이용하여 그림 5과 같은 조립식 경량기초를 제작하여 시험에 이용하였다. 제작된 플라스틱 기초는 관과의 접촉면각(유효반침각) 135도 및 90도 등 2가지 형식을 이용하였다. 플라스틱 조립식경량기초는 길이 1.5m, 중량은 13kg(135도용), 8kg(90도용)으로 인력시공이 가능하게 제작하였다. 현장조건을 단순화하여 우선적으로 직선구간에 적용할 수 있는 단면을 제작하여 시험에 이용하였다.

[표 1] 콘크리트 흠관 제원
[Table 1] Specification of Concrete Pipe



(단위 :mm)

호 형	안지름 (D)	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	두께 (T)	ε ₁	ε ₂	ε ₃	ε ₄	ε ₅	길이 (L)
250	250	314	310	298	370	28	65	90	32	120	60	2500
300	300	368	364	350	424	30						
350	350	422	418	404	482	32	70	95	36	125	75	
400	400	478	474	460	544	35						
450	450	534	530	516	606	38	75	100	40	130	85	
500	500	592	588	574	672	42						
600	600	708	704	690	804	50	80	110	42	135	100	
700	700	824	820	802	936	58						
800	800	940	936	918	1068	66	85	115	44	140	115	
900	900	1058	1054	1036	1204	75						
1000	1000	1172	1168	1150	1332	82	90	120	46	145	165	
1100	1100	1286	1282	1260	1458	88						
1200	1200	1400	1396	1374	1586	95	95	130	48	150	130	
1350	1350	1566	1562	1540	1768	103						
1500	1500	1734	1730	1708	1954	112	100	140	50	160	155	



[그림 5] 조립식 경량플라스틱 기초
[Fig. 5] Fabricated Lightweight Plastic Foundation

3. 하중재하실험

3.1 흠관과 플라스틱 기초의 하중재하실험

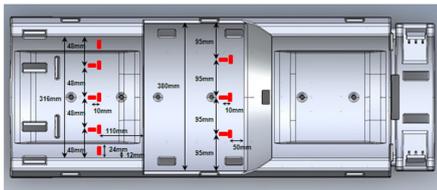
하중을 재하시험은 그림 6과 같은 장비를 이용하여 실물하중재하시험을 수행하였다. UTM 만능하중재하 시험기는 200ton까지 재하가 가능하고, 변위량이 30cm까지 측정 할 수 있다. 시험은 원심력 콘크리트 흠관과 플라스틱 경량기초를 조립한 후 여기에 하중을 재하하여 흠관과 기초중 먼저 파괴되는 재료가 관찰될 때까지 하중을 적용하였다.

국내 R사의 터치형 PC 데이터 로거로 정적, 동적 측정이 모두 가능한 기기를 하중재하부터 1초당 1회의 측정하였다. 플라스틱 경량기초 변형측정에 사용된 스트레인 게이지는 일본 T사의 일반형게이지 FLA-5-11을 사용하였다.



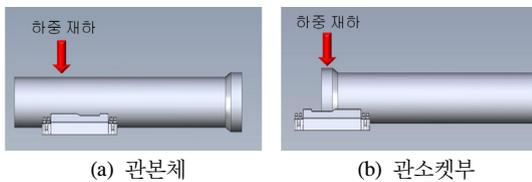
[그림 6] 하중재하시험기 및 데이터로거
[Fig. 6] MTS and Data Log

플라스틱으로 제작된 경량기초에 원심력콘크리트 흙관의 설치하여 하중을 재하하여 개발된 경량기초의 하수관거에 대한 하중에 대한 지지력을 파악하며, 하중 재하시 경량기초의 변형특성을 파악하기 위하여 그림 7과 같이 스트레인 게이지를 부착하여 변형량을 파악하였다.



[그림 7] 계측용 스트레인게이지
[Fig. 7] Strain Gage

스트레인게이지가 부착된 경량기초를 UTM 만중재하 시험기에 올려놓은 후 원심력 콘크리트 흙관을 경량기초 위에 올린 후 하중판을 콘크리트 흙과 위에 설치하여 하중을 재하하였다. 하중을 재하한 위치는 그림 8과 같다.



[그림 8] 하중재하방법
[Fig. 8] Loading Type

3.2 콘크리트 흙관의 하중-변형 특성

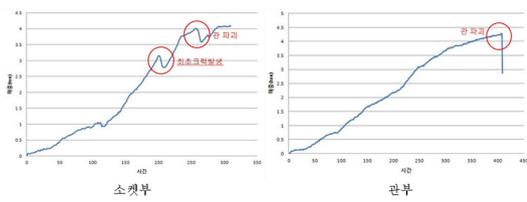
개발된 경량기초위에 원심력콘크리트 흙관을 설치하는 과정에서 경량기초에 발생하는 변형률은 원심력 콘크리트 흙관의 무게에 의해 발생하는 변형으로 콘크리트흙관의 무게에 의한 변형은 매우 미소한 것으로 확인되었다. 횡방향으로의 변형량은 $116\mu\text{m} - 464\mu\text{m}$ 정도의 결과를 보였으며, 종방향으로의 변형량은 $-78\mu\text{m}$ 에서 $-202\mu\text{m}$ 의 결과값을 보였다. 콘크리트 흙관의 무게에 의해 발생하는 변형량 값으로 횡방향은 양의 값인 인장 변형을 보이고 있으며, 종방향은 음의 값인 압축을 보이고 있다.

UTM시험기기로 하중을 재하한 결과 경량기초의 파괴보다는 원심력 콘크리트 흙관의 파괴가 먼저 발생하는 것을 확인하였다. 관의 파괴가 일어난 후에 경량기초의 모습을 육안으로 확인하면 도색한 페인트가 콘크리트 흙관에 의해 살짝 벗겨진 것 외에는 별다른 변형이 없었다. 파괴시 하중은 표 2에 나타내었다. A안과 B안을 비교하여 보면 A안에서 더 큰 힘을 지지해 주는 것을 확인할 수 있는데 이는 받침각이 B안보다 큰 A안에서 하중 분산이 더욱 잘 발생하여 하중에 대한 지지력이 더욱 큰 것으로 판단된다. 또한, 소켓부에서의 하중이 관부에서의 하중보다 큰 것은 소켓부의 제작 특성상 두께가 부분적으로 관분에 비해 더욱 두껍기 때문에 생기는 것으로 사료된다. 그림 9는 하중-변형 곡선을 보여주고, 그림 10은 시험 후 콘크리트 흙관의 파손형상이다. 소켓부에서의 파손은 주로 미소크랙 발생에 따라 하중이 일시적으로 작아진 후 다시 하중이 커지는 경향을 보이고 있다. 대부분의 파손인 소켓부 상단부에서 발생하는 것으로 나타났다. 관본체의 경우 하중에 의한 크랙이 길이방향으로 길게 발생하면서 파괴에 이르는 것으로 나타났다. 주로 관의 수평방향에서 발생하는 크랙의 진행에 따라 파손이 진행됨을 알 수 있었다.

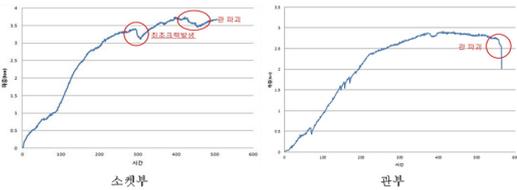
[표 2] 콘크리트 흙관의 파괴시 하중
[Table 2] Load at Failure of Concrete Pipe

(단위 : ton)

받침각 분류	소켓부 (M)	관본체 (C)
A안(135도)	4.10	3.44
B안(90도)	3.74	2.92



(a) A안(135도) 기초의 하중-시간 곡선



(b) B안(90도) 기초의 하중-시간 곡선

[그림 9] 하중-시간곡선
[Fig. 9] Curve of Load and Time



[그림 10] 콘크리트 흙관의 파손형태
[Fig. 10] Type of Failure for Concrete Pipe

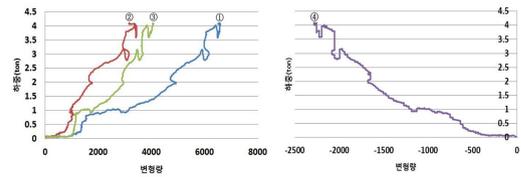
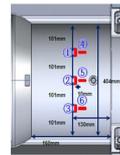
3.2 플라스틱 기초의 하중-변형특성

하중재하시 개발된 플라스틱 조립식경량기초에 발생하는 변형특성을 평가하기 위하여 그림 7과 같이 플라스틱 조립식경량기초에 종방향 및 횡방향 스트레인게이지를 설치하였다. 관의 접속부 및 관본체를 지지하는 2개의 대표적인 하중지지 부분에 6개에서 8개 정도의 스트레인게이지를 부착하여 변형을 평가하였다.

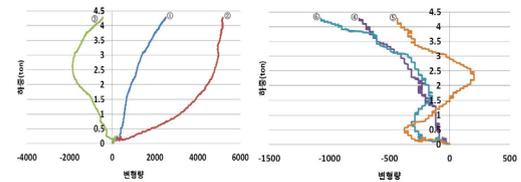
그림 11 및 그림 12는 받침각 A안 소켓부 및 관본체 지지부분에 설치된 스트레인게이지의 측정값이다. 전체적으로 하중재하에 따른 관변형은 관지름방향으로 인장변형이 발생하고, 관의 길이 방향으로 약간의 수축변형이 발생하였다. 이는 하중을 재하하면, 관을 통해 조립식 기

초로 하중이 전달되고, 흙관이 관지름방향으로는 팽창, 수직방향으로는 압축변형이 발생하게 된다. 이러한 변형이 기초에도 동일한 거동을 나타내게 된다. 실험결과값이 일정하지 않은 이유는 조립식기초의 흙관접촉면의 곡률이 완벽하게 일치하지 않는 관계로 일부 튀는 결과를 나타낸 것으로 판단된다.

실험에서 측정된 압축변형률(strain)은 최대 A안 소켓부 최대 $6500\mu\text{m}$, 관본체 $5000\mu\text{m}$ 정도이고, B안의 경우 소켓부는 $8500\mu\text{m}$, 관본체에서 약 $2500\mu\text{m}$ 정도로 나타났다. 인장변형의 경우 소켓부에서 $2500\mu\text{m}$ 에서 $3000\mu\text{m}$ 정도값을 나타냈고, 관본체의 경우 $1000\mu\text{m}$ 정도의 값으로 측정되었다.



[그림 11] A안, 소켓부 측정 결과
[Fig. 11] Results for Type A Connection Part



[그림 12] A안, 관본체 측정 결과
[Fig. 12] Results for Type A, Pipe-body

5. 결론

강성관인 콘크리트 흙관의 버팀콘크리트 베딩재를 대체하기 위하여 플라스틱을 이용하여 만든 하수관거용 경

량플라스틱기초의 실물하중재하시험을 시행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) UTM실험기기로 하중을 재하한 결과 경량기초의 파괴보다는 원심력 콘크리트 흠관의 파괴가 먼저 발생하는 것을 확인하였다. 콘크리트 흠관의 파괴 시 하중은 플라스틱 경량기초의 받침각이 클수록 크게 나타났다. 135도 받침각의 경우 소켓부에서 4.1톤, 관본체에서 3.4톤의 파괴강도가 측정되었고, 90도 받침각 기초의 경우, 소켓부에서 3.7톤, 관본체에서 2.9톤 정도로 나타났다.
- (2) 플라스틱 경량기초에 콘크리트 흠관 설치시 흠관의 무게에 의한 변형은 크지 않은 것으로 나타났다. 횡방향으로의 변형량은 $116\mu\text{m}$ - $464\mu\text{m}$ 정도의 결과를 보였으며, 종방향으로의 변형량은 $-78\mu\text{m}$ 에서 $-202\mu\text{m}$ 의 결과값을 보였다. 콘크리트 흠관의 무게에 의해 발생하는 변형량 값으로 횡방향은 양의 값인 인장 변형을 보이고 있으며, 종방향은 음의 값인 압축을 보이고 있다.
- (3) 전체적으로 플라스틱 조립식경량기초에 하중재하로 인한 관변형은 관지름방으로 인장변형이 발생하고, 관의 길이 방향으로 약간의 수축변형이 발생하였다.

References

- [1] Korean Society of Water and Wastewater, "A Study on Deformation Guideline of Sewage Pipeline", Final Report, KSWW, pp. 278, 2011.
- [2] Kim, S., Lee, K., Jeon, S. & Hwang, C., "Development of Foundation for Failure Reduction of Sewage Pipeline", 2011 Conference Korean Society of Civil Engineers, 2011.
- [3] Lee, K. & Kim, S., "Backfill Materials for Underground Facility with Recycling Materials - Quantification of Design Parameters", Vol. 11, No. 3, Korean Society of Hazard Mitigation, pp. 91-96, 2011.
- [4] ASTM, "Innovations in Controlled Low-Strength Materials(Flowable Fill)", ASTM STP 1459, pp. 159, 2004.

이 동 향(Dong-Hang Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부(공학석사)

<관심분야>
도로공학 및 지반공학

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>
도로공학 및 지반공학