

## 단계유입과 내부순환을 이용한 저농도 하수의 질소처리효율 향상을 위한 연구

추태호<sup>1</sup>, 김태기<sup>2\*</sup>, 옥치율<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>부산대학교 토목공학과, <sup>2</sup>(주)우일환경테크닉스

### A study on enhancement of nitrogen removal efficiency on low concentration influent sewage

Tai Ho Choo<sup>1</sup>, Tae Ki Kim<sup>2\*</sup> and Chi Youl Ok<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, Busan National Univ., Busan, Korea  
<sup>2</sup>Wool Environment Technics CO., LTD., Busan, Korea

**요약** 본 연구에서는 저농도로 유입되어 정상적인 운영이 되지 않고, 질소제거가 어려운 소규모 하수처리시설의 문제점을 해결하기 위하여 5Stage로 구성된 하수고도처리 공정의 저농도 유입성상에서 최적의 단계유입비와 내부순환비를 결정하기 위해 Lab-Scale 모형실험장치를 제작하여 실험하였다. 저농도의 유입조건에서 효율적인 고도처리를 위해 내부순환과 단계유입이 공정성능에 미치는 영향을 평가한 결과는 다음과 같다. 첫째, 분석항목별 처리효율은 BOD 90.0%, COD 87.8%, T-N 71.0%, T-P 75.3%로 나타났으며, T-N은 단계유입에 따라 처리효율의 변동이 있는 것으로 나타났다. 둘째, 혐기조로 유입되는 단계유입비 70, 60, 50%에서는 각각 73, 80, 78%로 나타나 최적의 단계유입비 범위로 판단되었다. 셋째, 질소제거를 위해 내부순환을 할 경우 내부순환을 하지않는 경우보다 질소 제거효율이 증가됨을 알 수 있었고, 내부순환비가 150%이상에서는 더 이상 처리효율에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 다량의 순환으로 인해 무산소조에 DO의 유입으로 인한 것으로 판단된다. 따라서 내부순환비는 50~150%가 적절한 것으로 판단되었다.

**Abstract** This study was investigated to complement nitrogen removal of low concentration influent municipal sewage. The following are the results of the effect of Internal Recirculation and Step Feed rates on Treatment efficiency at a BOD low concentration influent municipal sewage. Up to 90.0% of BOD, 87.8% of COD, 71.0% of T-N, 75.3% of T-P were removed on average at a low concentration influent. Whereas BOD and T-P were removed without any relations to Step Feed rates, T-N was influenced. Nitrogen removal efficiencies in 80% of Step Feed rates was 65%, which was caused by the lack of Carbon Source for denitrification. Nitrogen removal efficiency in 40% of Step Feed rates was 58%, which means it was not removed but discharged. Consequently, the efficiency was 73%, 80%, and 78% in 70%, 60% and 50% of Step Feed rates, which was concluded as the best range of Step Feed rates. Nitrogen removal efficiency increased under the condition of Internal Recirculation. At over 150% of Internal Recirculation rate, the efficiencies were not affected any more. It is believed that lots of Recirculation caused inflow of DO to anoxic tank. Therefore, the most appropriate Internal Recirculation rate can be concluded as 50~150%.

**Key Words** : Nitrification, Step Feed rates, Internal recirculation rates, C/N ratio.

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구 되었습니다.

\*교신저자 : 김태기(tgsn0926@paran.com)

접수일 09년 12월 31일

수정일 (1차 10년 01월 22일, 2차 10년 02월 22일)

게재확정일 10년 02월 24일

## 1. 서론

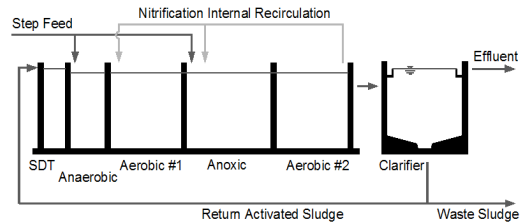
하수처리장 방류수역에서의 녹조와 연안 해역에서의 적조를 방지하기 위해 부영양화의 원인물질인 질소와 인을 제거할 수 있는 여러가지 고도처리공정들이 국내외에서 개발되었다. 최근 환경부에서는 5대강유역과 상수원 보호구역에서 총질소와 총인의 배출허용기준을 각각 20mg/L와 2mg/L로 강화시켜 적용하고 있다. 현재 국내에 적용된 하수처리장은 표준활성슬러지법이 전체하수처리량의 90%에 달해 방류수역에서의 부영양화를 초래하여 상수원으로 이용되는 하천의 수질악화와 연안해역에서의 적조발생을 유발시키고 있으며, 이들 처리시설을 개선하지 않으면 기존처리시설의 효과로는 질소, 인등의 제거를 할 수 없어 수질문제를 해결할 수 없는 실정이다.[1-3] 1970년대 이후 질소와 인을 제거하기 위하여 A/O공정, A2/O공정등의 변법 처리공정들이 개발되어 상용화되었다. 또한, 국내에서도 1990년대이후 DNR공정[4], ASA공정[5]등이 개발되어 질소, 인 처리가 가능한 고도처리공정이 적용되기에 이르렀다. 한편, 농,어촌의 경우 처리시설이 소규모로 산재되어 있는 특성으로 인하여 하수도의 정비가 이루어져 있지 못하고, 처리시설의 용량 또한 소규모로 이루어져 있어 유지관리가 적절히 이루어지지 않는 실정이다. 또한 다양한 유입수의 성상에 효과적인 대처가 어렵고 처리효율 또한 방류수 수질기준을 만족시키지 못하고 있는 실정이다.[6] 가장 큰 문제점은 실제 유입되는 원수의 농도가 계획수질의 절반에도 미치지 못하는 저농도로 유입되어 처리시설의 정상적인 운영이 어려운 실정이다.[7] 따라서 본 연구에서는 저농도로 유입되어 정상적인 운영이 되지 않고, 질소제거가 어려운 소규모 하수처리시설의 문제점을 해결하기 위하여 5Stage로 구성된 하수고도처리 공정의 저농도 유입성상에서 최적의 단계유입비와 내부순환비를 결정하기 위해 Lab-Scale 모형실험장치를 제작하여 실험하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 이용된 처리공정은 100L/day 처리용량의 Lab scale 장치이며, 슬러지탈질조, 혐기조, 제1호기조, 무산소조, 제2호기조와 침전조로 구성되어 있다. 생물반응조의 유입수는 저부하로 유입되는 부산시 기장군 OO 소규모 처리시설의 유입수를 이용하였으며, 유입수는 혐기조와 무산소조로 각각 단계유입(Step feed) 된다. 침전

조에서 반송되는 슬러지는 슬러지탈질조에서 일정시간 체류시킨 후 생물반응조로 유입된다. 본 연구에 이용된 Lab scale 처리공정의 제원과 개략도는 각각 표 1과 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] 처리공정 개략도

[표 1] Lab-scale 모형실험장치의 제원

구분	SDT	An-aerobic	Aerobic#1	Anoxic	Aerobic#2
폭(mm)	100	100	100	100	100
길이(mm)	100	100	100	120	100
높이(mm)	200	350	500	500	500

### 2.2 운전조건 및 실험방법

본 연구는 저농도의 유입조건에서 효율적인 고도처리를 위해 내부순환과 단계유입이 공정성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 단계유입비와 내부순환비를 변동시키면서 실험하였다. 본 연구를 수행하기 위해 BOD 100mg/l 이하와 C/N비 3이하를 저농도 하수로 규정하여 실험에 임하였다. 단계유입비는 혐기조와 무산소조에 각각 40%:60% ~ 90%:10%까지 10%단위로 실험하였으며, 내부순환은 유입유량 대비 0 ~ 300%의 범위로 50%단위로 실험하였으며, 실험조건은 표 2로 정리하였다. 본 연구에 이용된 Lab scale 모형장치 시스템의 운전조건은 표 3로 정리하였다. 또한 실험기간동안 유입되는 원수성상은 표 4로 정리하였다. 또한 본 Lab scale 모형장치 시스템의 정상상태 도달을 위해 고도처리를 행하고 있는 경남 Y하수처리장의 호기조 슬러지를 식종하여 2주간의 순응기간을 거쳤고, 순응이후 정상상태에 이르기까지 4주일이 소요되었다.

[표 2] Lab-scale 모형 실험장치의 실험조건

구분	단계유입비 (혐기조:무산소조)	내부순환비	
Phase	1	80%:20%	0%
	2	70%:30%	50%
	3	60%:40%	100%
	4	50%:50%	150%
	5	40%:60%	200%
	6	-	250%
	7	-	300%

[표 3] Lab-scale 모형 실험장치의 운전조건

	Unit	SDT	Anae-ro bic	Aero-bi c#1	Anox-ic	Aero-bi c#2
MLSS	mg/L	8030~ 12380	2410~ 3750	2560~ 4170	2410~ 3710	2510~ 4180
HRT	Hr	0.5	1.2	2.0	2.3	2.0
DO	mg/L	0.05~ 0.20	0.08~ 0.22	2.53~ 3.82	0.12~ 0.53	2.12~ 3.43
RAS	%	30~50%				
SRT	day	10~15day				

[표 4] 유입원수 성상

Item	Unit	Value	
		Range	Average
Temp.	℃	10.3~24.5	17.5
COD	mg/L	32.1~79.0	53.8
BOD	mg/L	50.7~89.8	69.8
NH <sub>4</sub> -N	mg/L	14.06~20.99	17.23
T-N	mg/L	21.254~30.878	26.303
T-P	mg/L	2.012~6.961	4.625
SS	mg/L	62~110	86.1
pH	-	6.60~7.30	6.96

### 3. 결과 및 고찰

Bench scale 모형실험은 Pilot-plant 실험을 하기위해 기본 설계인자들을 결정하기 위한 예비실험이다. 모형실험은 HRT를 고정시키고, 최적 단계유입비의 결정 및 최적 내부순환비와 내부순환지점을 결정하기위해 수행되었다.

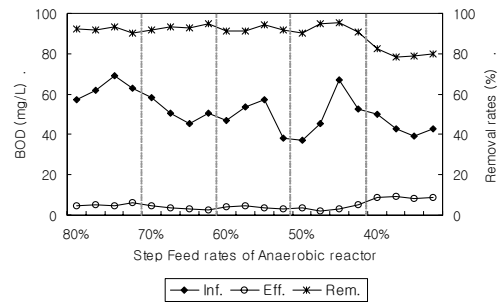
#### 3.1 단계유입비의 결정

처리시스템의 단계유입비의 결정을 위해 HRT 8hr, SRT 15day, C/N비 1.5~2.5, 수온 20℃와 내부순환비

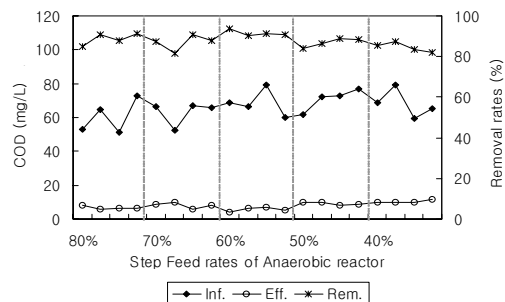
100%로 고정한 뒤, 단계유입비를 혐기조와 무산소조에 각각 80%:20%, 70%:30%, 60%:40%, 50%:50% 및 40%:60%로 변동시키면서 Lab scale 모형실험 결과는 다음과 같다.

그림 2~그림 5는 단계유입비에 따른 분석결과를 나타낸 것으로 BOD, COD, T-P는 단계유입비 변동에 따라 제거효율은 크게 변화가 없이 처리되지만, 질소제거효율은 단계유입비에 따라 차이가 있었다. 단계유입비에 따라 BOD와 T-P의 제거효율은 혐기조로 유입되는 단계유입비 80~50%에서 BOD 제거효율은 90%이상을 나타내었고, 단계유입비 40%인 경우의 BOD 제거효율은 80%이하로 나타났고, 인제거효율은 단계유입비와 크게 상관없이 75%정도로 처리되었다.

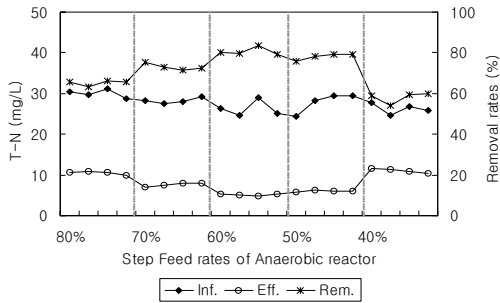
한편, 질소의 제거효율은 단계유입비에 따라 처리효율의 차이가 변동이 있는 것으로 나타났다. 혐기조로 유입되는 단계유입비 80%에서는 질소처리효율이 65%로 나타나 탈질에 필요한 탄소원의 공급부족이 원인인 것으로 판단된다. 또한 단계유입비 40%에서는 질소제거효율이 58%로 미처리되어 유출되는 것으로 나타났다. 따라서, 단계유입비 70, 60, 50%에서는 각각 73, 80, 78%로 나타나 최적의 단계유입비 범위로 결정하였다.



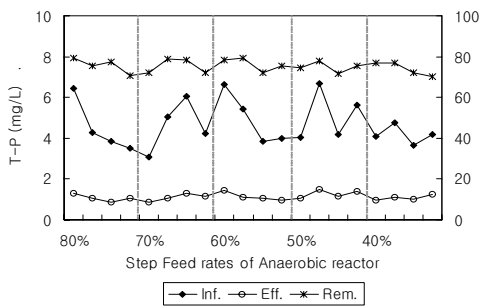
[그림 2] 단계유입비에 따른 BOD 제거효율



[그림 3] 단계유입비에 따른 COD 제거효율

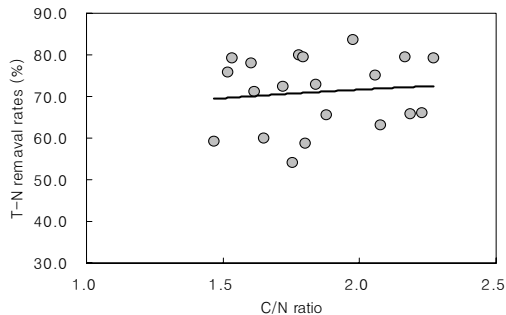


[그림 4] 단계유입비에 따른 T-N 제거효율

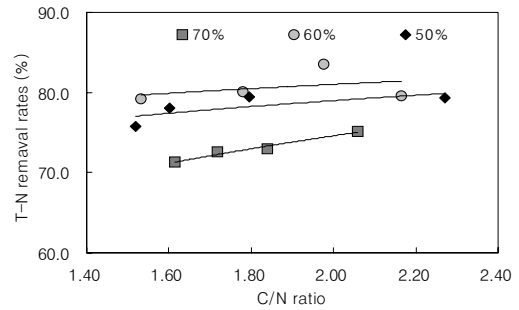


[그림 5] 단계유입비에 따른 T-P 제거효율

그림 6과 그림 7은 C/N비에 따른 질소제거효율을 살펴본 것으로 C/N비에 따라 질소 제거효율이 증가되는 경향을 보였으며, C/N비 1.5~2.2사이에서는 단계유입비를 70%~50%로 운전하여야 질소제거효율 70% 이상을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다. 따라서, 본 연구에서는 단계유입비의 범위는 혐기조와 무산소조에 50~70%:30~50%가 최적의 단계유입비로 나타났다.



[그림 6] C/N비에 따른 T-N 제거효율



[그림 7] C/N비와 단계유입비에 따른 T-N 제거효율

### 3.2 내부순환비의 결정

본 연구에서 내부순환 지점 및 내부순환량을 결정하기 위한 실험결과는 다음과 같다. 내부순환량을 결정하기 위하여 내부순환비를 0%, 50%, 100%, 150%, 200%, 250% 및 300%로 변화시키면서 실험하였으며, 내부순환비를 결정하는 인자로는 무산소조의 DO, ORP, 질소제거효율로써 결정하였다.

그림 8은 내부순환비에 따른 무산소조의 DO의 거동을 나타낸 것으로 내부순환지점을 호기조#2에서 무산소조로 순환시켰을 경우와 호기조#1로 내부순환시켰을 경우의 무산소조 DO이다. 내부순환 200%까지는 호기조#1로 순환시켰을 경우와 무산소조로 순환시켰을 경우 DO는 0.3mg/L이하로 안정적으로 나타났지만, 내부순환비 200%이상의 경우에는 호기조#1로 순환시켰을 경우에는 0.3mg/L이하로 나타났고, 무산소조로 직접 순환되었을 경우에는 0.4~0.5mg/L로 나타나 탈질효율에 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단되었다.

그림 9는 DO와 같은 방식으로 무산소조의 ORP를 나타낸 것이다. 무산소조에서 탈질반응이 발생하는 산화환원전위 수치는 일반적으로 -50~250mV로 알려져 있다.[8,9] 내부순환을 시키지 않았을 경우에는 0~50mV 사이로 나타나 탈질을 위한 환원반응이 부족한 것을 알 수 있었고, 내부순환비 50~200%사이에서는 -50~150mV로 나타나 탈질반응이 정상적으로 발생되고 있음을 알 수 있다. 하지만 순환비 200%이상에서는 무산소조로 직접 내부순환시킬 경우에는 ORP수치가 0~80mV사이로 나타나 DO의 영향을 받아 산화반응이 발생하는 것으로 나타나 내부순환은 호기조#2에서 호기조#1로 순환시키는 것이 효율이 좋은 것으로 판단되었다.

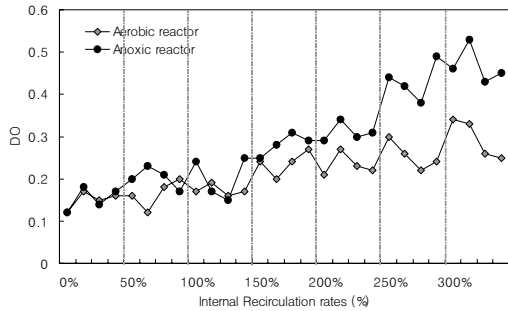
그림 10은 내부순환량을 결정하기위하여 내부순환비에 따른 T-N의 제거효율을 정리한 것이다. 질소제거를 위해 내부순환을 할 경우 내부순환을 하지않는 경우보다

질소 제거효율이 증가됨을 알 수 있었고, 순환비가 150% 이상에서는 더 이상 처리효율에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 다량의 순환으로 인해 무산소조에 DO의 유입으로 인한 것으로 판단된다. 따라서 내부순환비는 50~150%가 적절한 것으로 판단되었다.

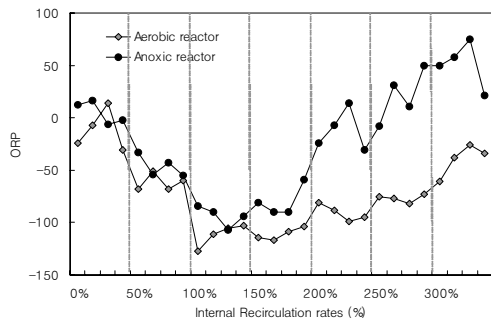
#### 4. 결론

저농도의 유입조건에서 효율적인 고도처리를 위해 내부순환과 단계유입이 공정성능에 미치는 영향을 평가한 결과는 다음과 같다.

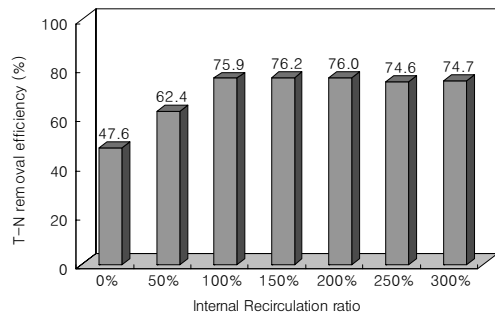
1. 분석항목별 처리효율은 BOD 90.0%, COD 87.8%, T-N 71.0%, T-P 75.3%로 나타났으며, BOD와 T-P는 단계유입비의 영향없이 효율적으로 처리되었지만, T-N은 단계유입에 따라 처리효율의 변동이 있는 것으로 나타났다.
2. 혐기조로 유입되는 단계유입비 80%에서는 질소처리효율이 65%로 나타나 탈질에 필요한 탄소원의 공급부족이 원인인 것으로 판단되었으며, 또한 단계유입비 40%에서는 질소제거효율이 58%로 미처리되어 유출되는 것으로 나타났다. 따라서, 단계유입비 70, 60, 50%에서는 각각 73, 80, 78%로 나타나 최적의 단계유입비 범위로 판단되었다.
3. 질소제거를 위해 내부순환을 할 경우 내부순환을 하지 않는 경우보다 질소 제거효율이 증가됨을 알 수 있었고, 내부순환비가 150%이상에서는 더 이상 처리효율에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 다량의 순환으로 인해 무산소조에 DO의 유입으로 인한 것으로 판단된다. 따라서 내부순환비는 50~150%가 적절한 것으로 판단되었다.



[그림 8] 내부순환비에 따른 DO 변동



[그림 9] 내부순환비에 따른 ORP변동



[그림 10] 내부순환비에 따른 T-N 제거효율

#### 참고문헌

- [1] Parker, D., Appleton, R., Bartby, J. and Melcer, H. "Anoxic or Anaerobic Selectors: Which is better?", Walnut Creek, California, USA., 2004.
- [2] Cao, Y. S., Raajeevan, K. S., Hu, J. Y., etc., "Characterization of Diurnal settled sewage and spatial nitrification and denitrification potentials of activated sludge of water reclamation plant in Singapore", In 1st IWA-ASPIRE Conference, pp. 10-15, July 2005.
- [3] 강용태, 김태형, "기존하수처리장의 고도처리 개선방안에 관한 연구", 水處理技術, 제4권, 제3호, pp. 45-54, 1996.
- [4] 박명균, 장윤석, 박철휘, 박철림, "DNR 시스템에 의한 하수의 고도처리에 관한 연구", 대한상하수도학회, 제9권, 제4호, pp. 92-100, 1995.
- [5] 강용태, 김태기, "ASAM시스템의 질소제거에 관한 동역학적 거동", 水處理技術, 제12권, pp. 11-20, 2004.

- [6] 박명균, 장윤석, 허용록, 이의신, “저농도 하수에서 생물학적 질소, 인 제거시 반송슬러지내 질산성질소의 이전탈질효과에 관한 연구”, 대한환경공학회지, 제23권, 제9호, pp. 1461-1467, 2001.
- [7] 안익성, 정팔진, 원찬희, 조선영, “저농도 하수가 유입되는 도시 하수처리장의 처리효율 개선에 관한 사례 연구”, 한국환경물학회지, 제19권, 제6호, pp. 607-613, 2003.
- [8] Carpentier, J., M. Florent z, and G. David, "Oxidation-reduction potential(ORP) regulation : A way to optimize pollution removal and energy savings in the low load activated sludge process", Water Science and Technology, Vol.19, pp. 645-655, 1987.
- [9] David G. Wareham, Kenneth J. Hall and Donald S. Mavinic, "Real-time control of wastewater treatment systems using ORP", Water Science and Technology, Vol.28, pp. 273-282, 1993.

**추 태 호(Tai Ho Choo)**

[정회원]



- 1990년 12월 : 미국피츠버그대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 1998년 12월 : 미국피츠버그대학교 토목환경공학과 (토목공학박사)
- 1984년 2월 ~ 2002년 9월 : 한국수자원공사 책임연구원
- 2002년 9월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 부교수

<관심분야>

상하수도공학, 수리학, 수자원공학, 방재공학 등

**옥 치 율(Chi Youl Ok)**

[정회원]



- 1976년 2월 : 동아대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 1987년 8월 : 동아대학교 토목공학과 (토목공학박사)
- 1972년 7월 ~ 1974년 2월 : 부산시 독일하수도 용역사무소 재직
- 1977년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학전공 정교수

<관심분야>

하천공학, 수리학, 해안항만, 수자원공학 등

**김 태 기(Tae Ki Kim)**

[정회원]



- 2000년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : (주)우일 환경테크닉스 기술연구소 소장
- 2008년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 사회환경시스템공학부 토목공학 외래교수

<관심분야>

토목공학, 상하수도공학, 환경공학 등