

# 하수처리장 실적데이터베이스를 활용한 유지관리비용 예측

이태식<sup>1</sup>, 곽동구<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한양대학교 건설환경공학과, <sup>2</sup>한양대학교 건설환경시스템공학전공

## Estimating Maintenance Cost by Actual Database Based on Operation in Sewage Treatment Plant

Tai Sik Lee<sup>1</sup> and Dong Koo Kwak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Construction & Environmental Engineering, Hanyang University

<sup>2</sup>Division of Construction & Environmental System Engineering, Hanyang University

**요약** 국내 건설업계는 자체 엔지니어링 기술 확보 및 높은 수준의 건설사업 관리기술의 보유와 더불어 사업초기 단계에서 해당 프로젝트의 경제적 타당성 평가를 수행할 수 있는 능력이 절실히 요구되어진다. 시설물의 설계 및 시공 기술은 최근의 국제 시장에서 수주를 위해서는 반드시 필요한 부분이며 수익을 창출할 수 있는 사업수행을 위해서는 사업초기단계부터 사후유지관리까지의 연속적인 건설사업 관리기술이 요구되어진다. 건설사업 관리기술은 프로젝트 시작단계에서부터 운영 유지관리 단계까지 단계별로 발생하는 비용에 대해 얼마나 경제적이고 효율적으로 관리하느냐에 따라 프로젝트의 성공여부를 결정짓는 역할을 한다. 이러한 단계별 비용항목의 체계적인 분석을 위해 본 연구에서는 국내 하수처리장을 대상으로 프로젝트 전반에 걸친 비용흐름 및 요소를 조사하였다. 특히 국내 하수처리시설의 유지관리비 DB를 조사하여 데이터 모델링을 수행하였고, 실적 DB의 불확실성을 고려하여 불확실성 해소를 위해 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 타당성 평가를 위한 평가 목적별(처리공법, 운영 주체 등) 유지관리비 예측 추세를 제시하고자 하였다.

**Abstract** For a successful construction project not only construction engineering and project management technology but also economic evaluation technique is required.

Design and construction technologies are necessary to receive a project order. However, construction management technology which can be apply from the project initial phase to the project operation and management phase is required to create a benefit from the project.

Construction management technology is one of the effective factors for project success. Economical and efficient cost management from the planning phase influences the project success.

This study investigated cost flow and cost factors of domestic Sewage Treatment Plant project for systematic analysis of cost items following the entire project phase.

Particularly, data modeling based on domestic Sewage Treatment Equipment maintenance cost DB was performed, and maintenance cost estimation trend line is suggested using Monte carlo Simulation Method to decrease uncertainty of actual results DB and for feasibility study.

Korea Academia-Industrial cooperation Society. The Korea Academia-Industrial cooperation Society. The Korea Academia-Industrial cooperation Society. The Korea Academia-Industrial cooperation Society.

**Key Words** : Sewage Treatment Plant, DB, Maintenance Cost, MCS(Monte Carlo Simulation) Analysis

### 1. 서론

국내 건설업계는 자체 엔지니어링 기술 확보 및 높

은 수준의 건설 관리기술의 보유와 더불어 사업초기단계에서 해당 프로젝트의 경제적 타당성 평가를 수행할 수 있는 능력이 절실히 요구되어진다. 엔지니어링 기술은 최

\*교신저자 : 곽동구(dkkwak@kcmc.co.kr)

접수일 09년 09월 01일

수정일 09년 10월 09일

게재확정일 09년 10월 14일

근에 국제 시장에서 수주를 위해서는 반드시 필요한 부분이며 수익을 창출하는 사업수행을 위해서는 사업초기 단계부터 사후유지관리까지 계속적인 건설 사업 관리가 요구된다. 특히 사업 초기 단계에서 사업의 성공적인 완료를 위하여 시공비 및 유지관리비용 분석을 통하여 경제성 검토가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 프로젝트 기획단계에서 필요한 프로젝트의 경제적 타당성 평가를 위하여 유지관리비용 측면을 중심으로 비용 인자들을 도출하고 프로젝트 진행 단계 중 운영 및 유지 단계에서 발생하는 인자들을 집중 분석하였으며 분석된 인자들을 중심으로 경제적 타당성 평가 및 유지관리비 예측을 위한 Data 모델링 및 DB활용 방안을 연구하였다.

## 2. 연구방법 및 범위

본 연구는 하수처리장의 운영 및 유지관리 단계의 관리요소를 규명하여 DB화하고 경제성(LCC-Life Cycle Cost)분석을 위한 유지관리비 예측 방법을 제시함으로써 건설사업의 초기 계획 단계 및 설계단계에서 유지관리비 산출을 가능하게 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위한 연구의 방법은 다음과 같다. (1) 문헌 고찰 및 전문가 인터뷰를 통한 국내 하수처리장의 운영 유지관리 실태 파악, (2) 유지관리비용 산출을 위한 하수처리장의 운영 중 관리 요소 및 LCC 분석 연구, (3) 하수처리장의 처리 공법별 운영 단계 실적 자료를 통한 DB 모델링 및 몬테카를로 시뮬레이션 분석 과정을 통하여 최종적으로 하수처리장의 유지관리비용 도출하였다.

## 3. 국내 하수처리장의 운영 관리 실태 분석

현재 국내에서 운영되고 있는 하수처리장은 2003년을 기준으로 242개소(시설용량 20.9백만톤/일)의 하수처리장이 가동되고 있다(환경부, 2004). 표 1은 국내에서 운영되고 있는 연도별 하수처리장 현황을 나타낸다.

[표 1] 연도별 하수처리장 현황

구 분	처리장수 (개소)	시설용량 (천톤/일)	하수도 보급률(%)
2003년 말	242	20,885	78.7
2002년 말	201	19,976	75.8
2001년 말	184	19,230	73.2

시설 용량 증가 내역	계	44	909	-
	신설	41	469	-
	증설	3	440	-

처리공법은 표준 활성 슬러지법, 산화구법 등이 있으며 이중 표준 활성 슬러지법이 97개소(40.1%)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 최근 들어 고도처리공법을 도입하여 운영 중인 하수처리장은 76개소(31.4%)이며 점점 증가추세에 있다. 표 2는 국내 하수처리장의 처리공법별 현황을 나타낸다.

시설규모별 처리공법현황을 보면 대규모 처리장(50,000톤 이상)은 표준활성슬러지공법, 소규모처리장(500~5,000미만)은 장기포기 또는 산화구법이 이용되고 있다. 또한, 고도처리공법의 경우 대규모 처리장은 A<sub>2</sub>O 공법, 소규모 처리장은 SBR(Sequencing Batch Reactor)공법이 이용되고 있다.

[표 2] 처리공법별 현황

년 도	2003		2002		
	처리장	비율(%)	처리장	비율(%)	
계	242	100	201	100	
1차처리	1	0.4	1	0.5	
표준활성	97	40.1	99	49.3	
장기포기	19	7.9	17	8.5	
산화구	29	12	24	11.9	
회전원판	12	4.9	11	5.5	
접촉산화	5	2.1	4	2.0	
토양접촉	3	1.2	5	2.5	
고도 처리 공법	A <sub>2</sub> O	10	4.1	7	3.5
	SBR	23	9.5	13	6.5
	기타	43	17.8	20	10.0

국내 하수처리장의 2003년도 운영관리비 현황을 살펴 보면 연간 유입하수량 64억톤을 처리하는데 소요된 운영비는 4,244억 원이 소요되는 것으로 파악되었다(환경부, 2004). 환경부에서 제시된 '2003년도 하수종말처리시설 운영관리 실태 분석' 보고서에 의하면 하수 1톤 처리비용은 66.1원, BOD(Biochemical Oxygen Demand) 1kg 처리비용은 662원이 소요되는 것으로 분석되었다. 운영비 중 인건비가 32.9%로 가장 큰 비중을 차지하고 전력비, 개·보수비, 슬러지 처분비 순으로 집행되는 것으로 파악되었다. 표 3은 유지관리비 집행내역을 나타낸 것이다.

**[표 3]** 유지관리비 집행내역(환경부, 2004)

년 도		2003			2002		
처리비용	연간 운영비 (백만원)	톤당 처리 비용 (원/톤)	BOD 당 처리 비용 (원/kg)	연간 운영비 (백만원)	톤당 처리 비용 (원/톤)	BOD당 처리 비용 (원/kg)	
							계
운영비 집행내역	전력비	85,914 (20.3%)	13.4	134	77,330 (21.2%)	12.6	118.0
	약품비	15,435 (3.6%)	2.4	24	13,131 (3.6%)	21.5	20.0
	인건비	139,717 (32.9%)	21.8	218	118,810 (32.5%)	19.4	181.4
	개보수비	66,134 (15.6%)	10.3	103	55,656 (15.2%)	9.1	85.0
	슬러지 처분	61,367 (14.5%)	9.6	96	52,065 (14.3%)	8.5	79.5
	기타	55,799 (13.1%)	8.7	87	48,093 (13.2%)	7.9	73.4

규모별 운영비를 보면 하수 1톤당 처리비용으로 BOD kg당 처리비용은 표준활성슬러지 및 A<sub>2</sub>O공법이 가장 저렴한 것으로 분석되었다. 표 4는 처리공법별 운영비용을 나타낸다.

관리주체별 운영비용은 민간위탁관리 운영비가 지자체 직접관리 운영비보다 저렴한 것으로 분석되었다. 민간 위탁시설의 경우 하수 1톤당 처리비용은 58.1원, BOD 1kg당 처리비용은 356.6원이 소요되었다. 지자체 관리시설의 경우 하수 1톤당 처리비용은 76.6원, BOD 1kg당 처리비용은 839.8원이 소요되었다. 표 5는 민간위탁 및 지자체 운영간 운영비의 비교치를 나타내었다. 운영인력의 경우 민간위탁의 경우 하수처리량 1천톤당 0.19명, 지자체에서 직접관리하는 경우는 1천톤당 0.26명으로 민간위탁으로 운영하는 처리장이 적은 인력으로 운영되고 있는 것을 알 수 있다.

**[표 4]** 처리공법별 운영비용

년 도	처리장소 (개소)	톤당처리비 (원/톤)	BOD처리비 (원/kg)
계	231	66.1	662
1차처리	1	46.3	722
표준활성	96	64.2	648
장기폭기	19	273.8	3,102
산화구	27	205.8	2,473
회전원판	12	154.1	2,939
접촉산화	4	325.2	8,113
토양피복	3	652.2	7,954
A <sub>2</sub> O	10	41.9	437
SBR	18	270.4	4,007
기타	41	75.3	742

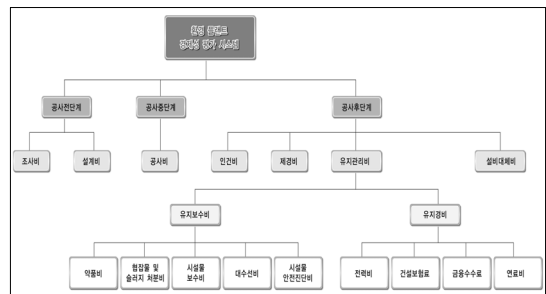
**[표 5]** 민간위탁 및 지자체 운영간 운영비 비교

구 분	민간위탁	직접관리
개소	137	94
비율(%)	59.3	40.7
시설용량 (천톤/일)	12,259	8,580
운영인력 (명)	2,324	2,241
인원 (인/천톤/일)	0.19	0.26
유지관리비 (억원)	2,122	2,121
하수처리단가 (원)	58.1	76.6
BOD kg당 제거단가(원)	356.6	839.8

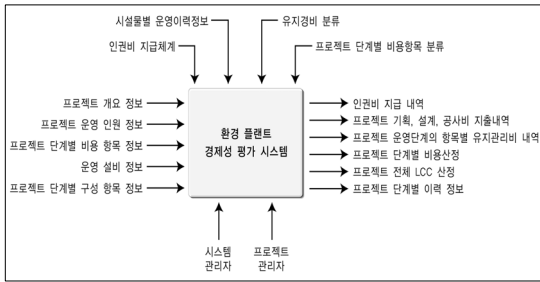
## 4. 생애주기 비용 DB 모델링

### 4.1 하수처리장 경제성 평가 DB Modeling을 위한 프로세스 모델링

하수처리장 경제성 평가를 위한 비용항목의 전체적인 구성요소 및 항목별 비용인자들을 조사하였다. 그림 1은 하수처리장 경제성 평가를 위해 전체적인 프로젝트 단계별로 발생하는 비용항목과 각 단계의 구성요소를 나타낸 것이다. 프로젝트는 공사 전, 공사 중, 공사 후 단계로 분류하였으며 각 단계별로 발생하는 비용인자들을 세부적으로 분류하였다. 그림 2는 단계별로 구성된 비용정보들을 효율적으로 취합하여 하수처리장의 경제성 평가시스템에 내재되어 있는 데이터베이스를 통해 프로젝트 별, 프로젝트 단계별, 비용 항목별로 구분하여 사용자가 원하는 정보를 가공할 수 있도록 하는 시스템의 구성도이다.



**[그림 1]** 환경플랜트 경제성 평가시스템 구축을 위한 단계별 비용항목

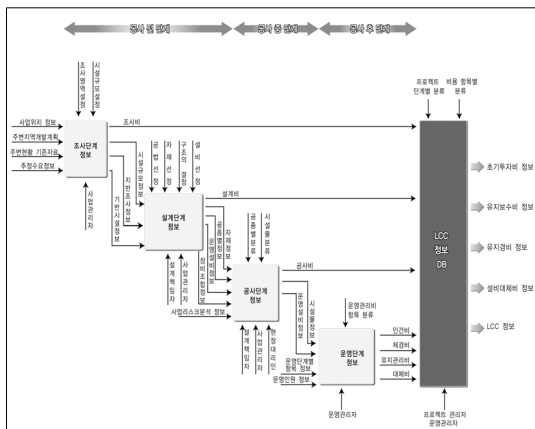


[그림 2] 환경플랜트 경제성 평가시스템 구축을 위한 프로세스 모델링

### 4.2 프로젝트 운영중 비용항목의 프로세스 모델링

프로젝트 진행 중 각각의 단계별로 발생하는 비용항목에 대해서 프로세스 모델링을 실시하였다.

최초 프로젝트 발생시 프로젝트는 기획 및 조사단계와 설계단계로 분류되는 공사 전 단계, 프로젝트 수행을 위한 건설기간 중 발생하는 공사 중 단계, 프로젝트 건설완료 후 운영단계에서 발생하는 공사 후 단계로 분류하여 각각의 단계에서 발생하는 비용항목을 조사하였으며 각 단계별 프로세스는 그림 3과 같으며 공사 전, 공사 중, 공사 후 단계에서 발생하는 각각의 비용항목들은 LCC정보 DB로 취합이 되어 초기투자비, 건설공사비, 유지보수비, 유지경비, 설비 대체비 정보 등으로 분류하여 가공이 가능하도록 구성하여 플랜트 설비의 생애주기 전반에 걸친 단계별 비용 분석이 가능하도록 하였다.



[그림 3] 프로젝트 단계별 프로세스 모델링

## 5. 실적 DB를 활용한 유지관리비 예측

### 5.1 사업타당성 분석을 위한 하수처리장 처리 방식별 유지관리비

최근 국내에서는 오염된 수질환경의 질을 향상시키기 위한 노력이 지속적으로 이루어지고 있다. 이에 정부는 공공수역의 수질을 보전하고자 하는 수질관리정책의 일환으로 하수종말처리시설 설치사업을 추진하고 있다. 현재 국내 가동 중인 하수종말처리시설은 2006년 현재 301개소로, 보급률이 선진국 수준의 약 83% 수준에 이르고 있다. 하수종말처리시설 운영방식은 직영과 민간위탁으로 구분되는데, 2002년에서 2005년 사이에 하수종말처리시설은 190개에서 301개로 증가하였으며, 운영방식은 위탁방식이 64%에서 69%로 증가하는 추세이다. 그러나 현재 운영방식을 선정하는 기준은 명확하게 설정되어 있지 않으며, 운영방식별 비용차이에 대한 객관적인 근거자료 없이 유지관리 비용 측면에서 위탁방식이 우수하다고 판단하여 운영방식을 전환하고 있는 실정이다.

하수종말처리장은 일단 한번 설치되면 물리적·지리적인 요인 등으로 인하여 변경이나 확장이 힘들고 운영방식에 따라 소요되는 유지관리비용 발생의 차이도 크다. 또한, 시설가동 연수별 개선사항 지적건수는 시설개선이 85.7%, 노후시설 교체가 14.3%로 나타나, 기존의 하수종말처리시설의 유지관리는 기존의 시설을 교체하는 것 보다는 시설을 개선하는 것이 운영에 있어서 큰 비중을 차지할 것으로 분석되었다. 국내하수처리장의 실적유지관리비 DB를 활용하여 처리방식별 유지관리비를 예측할 수 있는 추세를 제시한다. 특히, 처리방식별 유지관리비 추세선은 사업타당성 평가방법에서 언급한 기존의 경제적 사업타당성평가 단계에서 유지관리비 항목으로 적용하여 활용가능하다. 예측방법으로 불확실한 데이터에 대한 Monte Carlo Simulation 분석을 이용하였다.

### 5.2 몬테카를로 시뮬레이션 분석방향

처리방식별 하수처리장의 원가산정을 위해 하수처리량에 대한 원단위를 산정하여 수집된 실적DB요소 중 불확실한 데이터에 대하여 Monte Carlo Simulation 분석을 수행하였다. 하수처리량에 대한 원단위를 구성하는 요소로는 인건비, 개보수비, 기타비용(수선유지비, 복리후생비, 수도비 등), 전력비, 약품비, 슬러지처리비로 그림 4는 하수처리장에 대한 유지관리비 6요소이다.



0 값 표시로 인한 확률적 제외 값들은 제외된 DATA를 시뮬레이션 대상으로 한다. 또한, 모집단이 30개 미만인 처리방식의 DB는 최대값, 최빈값, 최소값을 활용한 각각 삼각형 분포와 이산형 분포 등으로 시뮬레이션을 수행하였다. 특히 한 개의 DB를 가진 처리방식의 경우 해당년도의 유사한 처리방식의 확률 분포의 모수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

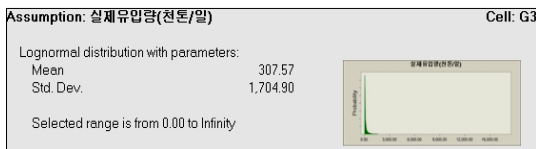
표준화성 처리방식의 MCS 수행과정은 다음과 같다.

첫째, 연도별 표준화성 처리방식의 실적 DB를 분류한 후 MCS를 위한 모델링을 수행하였다. 5.2의 분석방향대로 불확실성이 있는 처리용량에 대한 변동비 항목 고정비 항목을 구분하여 다음과 같이 모델링을 하였다.

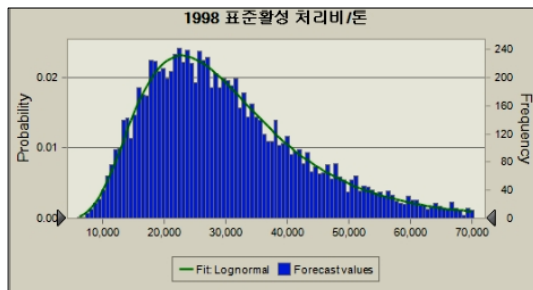
$$\text{처리방식별 유지관리비} = \frac{\text{전력비} + \text{약품비} + \text{슬러지처리비}}{\text{처리용량}} + \frac{\text{인건비} + \text{개보수비} + \text{기타}}{\text{처리용량}} + \frac{\text{시설용량}}{\text{처리용량}}$$

이 모델링을 통하여 연도별 유지관리비 예측을 위한 처리방식별 해당년도의 톤당 연간 처리비용을 구할 수 있었다.

표준화성 처리방식의 처리용량의 각 연도별 확률분포를 그림 8과 같이 나타내었다. 또한 표준화성 처리방식의 처리용량의 확률분포를 정의하기 위해 Crystal Ball 7.3의 Data Fitting 기능을 이용하였다. 각 비용 항목인 전력비, 약품비, 슬러지처리비, 인건비, 개보수비, 기타비용의 처리방식별 해당년도의 톤당 연간 처리비용에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 그림 9은 연도별 유지관리비 예측을 위한 표준화성 방식의 1998년도의 톤당 연간 처리비용이다.

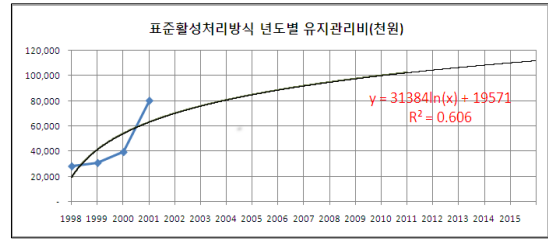


[그림 8] 1998년도 실제 하수유입량 확률분포



[그림 9] 표준화성방식의 1998년도의 톤당 연간 처리비용

## 6. 실적 DB를 활용한 유지관리비 예측



[그림 10] 표준화성방식 유지관리비 추세선

[표 6] 민간위탁 및 지자체 운영간 운영비 비교

처리방식	추세식 (단위 : 천원/년)
회전원판방식	$Y = 50,234 \times \ln(X) + 31,800$
협기호기방식	$Y = 8,181 \times \ln(X) + 19,536$
표준화성슬러지방식	$Y = 31,384 \times \ln(X) + 19,571$
토양접촉방식	$Y = 11,742 \times \ln(X) + 37,355$
접촉산화방식	$Y = 17,657 \times \ln(X) + 3,078$
장기포기방식	$Y = 11,435 \times \ln(X) + 54,035$
산화구법방식	$Y = 63,760 \times \ln(X) + 68,701$
1차처리방식	$Y = 4,248 \times \ln(X) + 9,997$

각 연도 및 처리방식별 톤당 연간 처리비용을 설계 시점에서 예측하기 위하여 추세선을 그림 10에서 제시하였다. 추세선은 2001년 기준으로 작성되었고 연도별 실적 자료를 적용하였으며 설계적용 기준년도에 따라 추세선을 실적DB를 보충하여 설계기준 내구 연한에 따른 연도별 유지관리비를 합함으로써 유지관리비 산출이 가능하다. 또한 로그함수로 제시된 추세선은 추가의 실적DB 반영으로 보정이 가능하다. 각 하수처리방식별 유지관리비용에 대한 추세선을 정리하면 표 6과 같다.

## 7. 결론

건설관리기술은 프로젝트 시작단계에서부터 운영 유지관리 단계까지 단계별로 발생하는 비용에 대해 얼마나 경제적이고 효율적으로 관리하느냐에 따라 프로젝트의 성공여부를 결정하는 역할을 한다. 이러한 단계별 비용항목의 체계적인 분석을 위해 본 연구에서는 국내 하수처리시설을 대상으로 운영 유지단계에 중점을 두고 유지관리 비용 발생을 예측하였다. 특히 다수의 하수처리시설의 유지관리비 DB를 조사하여 실적 DB의 불확실성을 분석을 통하여 데이터 모델링을 수행하였고, 몬테카를로 시뮬

레이션을 이용하여 유지관리비 예측을 위한 추세선을 제시하였다.

향후 본 연구결과를 활용하여 국내 하수처리시설에 있어서 경제성 평가에서 문제시 되었던 비용 산출시 유지관리비에 대한 신뢰성확보가 가능하다. 이러한 신뢰성을 기반으로 한 타당성 평가를 위한 유지관리비 산출이 가능할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

- [1] 박경애, 이정진, "하수처리장의 사업대안별 정부비용 분석", 대한국토·도시계획학회지, 제42권, 제4호, pp. 205-219, 2007.
- [2] 환경부, "2005 하수도통계", 2006b.
- [3] 환경부, "하수종말처리시설 유지관리비 소요현황", 1998~2005.
- [4] 부천시, "하수정화사업소 민간위탁 연구보고서", 2002.
- [5] 환경부, "2003년도 하수종말처리시설 운영관리 실태 분석", 2004

### 곽 동 구(Kwak DongKoo)

[정회원]



- 1994년 8월 : 한양대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2000년 8월 : 한양대학교 공과대학 토목공학과 건설경영전공 (공학석사)
- 2004년 8월 ~ 현재 : 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(건설경영전공)
- 2002년 10월 ~ 현재 : (주)케이씨엠씨 대표이사

<관심분야>

건설사업관리(CM), 공정관리, VE, 유지관리

### 이 태 식(Tai Sik Lee)

[정회원]



- 1978년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : University of Wisconsin-Madison 토목공학과 건설경영 전공 (공학석사)
- 1990년 2월 : University of Wisconsin-Madison 토목공학과 건설경영 전공 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수

<관심분야>

건설사업관리(CM), VE/LCC, 건설자동화, 우주건설