

대구경 관로의 노후도 평가 연구(Ⅱ) : 수도권 광역상수도(1단계) 적용

이승현¹, 윤기용¹, 김응석^{1*}
¹선문대학교 토목공학과

Assessment of the Deterioration of Large-Diameter Pipe Networks (II) : Application to Metropolitan Multi-Regional Water Supply System (1st Phase)

Seung-hyun, Lee¹, Ki-yong, Yoon¹ and Eung-seok, Kim^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요 약 본 연구(II)는 연구(I)에서 제안한 대구경 관로의 노후도 평가 모형을 수도권 광역상수도 1단계를 대상으로 이를 적용하였다. 노후도 평가 방법별 적용 결과에서, 총 30개 관로 중에서 1995년 평가방법은 24개, 2002년 평가방법은 27개 관로가 개량이 필요한 것으로 나타났다. 또한 개발된 모형과 기존의 2개 평가방법의 결과는 거의 일치하는 것으로 산정되었다. 즉, 본 연구에서 개발한 간편모형은 기존의 많은 인자를 이용하여 노후도를 평가하는 방법과 비교에서 신뢰할 수 있는 부합되는 결과를 보여 주었다. 따라서, 본 연구에서 개발한 모형은 기존의 노후관 평가방법과 비교시 실험 및 분석 등에 필요한 시간적 경제적 비용을 절약할 수 있어 실무적 적용에 많은 도움을 줄 수 있으리라 기대된다.

Abstract This study (II) has applied the new assessment model of large-diameter pipe deterioration proposed by the study (I) to the metropolitan multi-regional water supply system (1st phase). In the total 30 pipelines, 24 and 27 pipelines were required for improvement as results from the existing evaluation methods 1995 and 2002, respectively. The assessment results were almost similar in the new developed model and the existing methods. It is founded that the new simple model developed in this study can produce reliable results, consistent with those from the existing methods requiring many factors for a pipe deterioration assessment. It is therefore expected that the new model would be helpful in practical applications of a pipe deterioration assessment since it can save both temporal and economic costs for experiments and analysis, as compared with existing assessment methods.

Key Words : Metropolitan multi-regional water supply system, Pipe deterioration model

1. 서론

매설된 관로의 노후화에 따른 평가기법에 대한 연구는 기존에 많은 연구논문과 보고서를 통해 체계를 수립하고 있다. 그 내용으로 노후된 상수도 시설물의 평가방법 연구, 부식특성 및 부식깊이 측정모델, 매설된 노후관로의 구조적인 안전성 평가 등 노후된 관의 성장변화, 안전성,

환경영향 등에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 노후도 및 용수공급량의 증가 등 사용성 등을 고려하여 개량의 우선순위에 있는 노후관로 시설에 대한 개량이 이루어지고 있다.

관의 노후도 정도와 주어진 개량사업의 예산을 바탕으로 검토되어야 하며, 관의 교체 및 갱생의 최적 개량시기 결정에 관한 연구는 OR기법에서 경제성 분석을 토대로

*Corresponding Author : Eung-seok Kim(Sunmoon University)

Tel: +82-41-530-2325 email: hydrokes@sunmoon.ac.kr

Received November 26, 2013 Revised December 10, 2013 Accepted February 5, 2014

관의 체적 개량시기를 결정하는 연구로 진행되고 있으나, 이후 관의 파손율 및 관의 수리학적 해석 등을 포함한 선형계획법, 비선형계획법, 동적계획법, 유전자 알고리즘을 이용한 최적개량 의사 결정 모형이 개발되었다. 관의 최적 개량시기 결정에 대해 다음과 같이 연구가 되었다.

[1]은 관의 최적교체시기의 산정을 위하여 경제성 분석을 실시하였으며, 이를 위하여 시간에 따른 관의 파열율 함수를 유도하고, 하나의 파열에 대한 보수비용, 기존 관의 교체비용, 할인을 자료를 사용하였다. 이러한 자료에서 유도된 파열율 함수의 회기분석은 지수함수 형태를 가지며 그 식에 보수비용을 곱하여 현가로 계산한 다음 교체비용을 더한 합이 최소가 되는 시기를 최적 교체시기로 결정하였다. [2]은 관의 파손율 함수를 포아송 확률 분포를 이용하여 시간경과에 따른 파손율 산정과 특정 지역의 범위내의 산정된 파손율을 적용하여 중회귀분석을 통해 관의 파손을 분석하여, 향후의 관의 개량 정책에 도움을 줄 수 있는 모형을 제시하였다. [3]은 [1]이 제안한 파손율 함수와 비용함수를 이용한 모형과 관망 수리해석 프로그램인 KYPIPE와 연계하여 관 개량 모형을 개발하여 이를 수도권광역상수도 1, 2단계에 적용하였다. [4]은 관의 노후화로 인한 물 분배시스템의 수리학적 특성 저하를 최소의 비용으로 해결하기 위해 관 처리의 경제성 분석과 관망시스템의 수리학적 타당성 검토를 결합한 모형을 개발하였다. [5]은 관체의 노후도 평가의 체계화 방법에 관한 연구에서 현재 국내 지자체에서 실시하는 노후도 개량사업시 노후도를 판단할 수 있는 객관적인 기준을 제시하고자 지역적 특징을 고려한 상수도 관로의 노후도 예측모형을 개발 목적의 기초자료로 이용하기 위한 관체 노후도 평가방법을 체계화하여 제시하였다. [6]은 상수도매설관의 내외부 부식특성 및 부식깊이 예측에 관한 연구를 통해 매설된 상수관로의 부식특성을 퍼지개념을 적용하여 예측하는 방법을 제시하였다.

수도권에 매설되어 있는 광역상수도 등 대구경 상수도 관로는 지속적으로 사용될 것으로 예상되는데 시설의 매설년수가 경과함에 따라 관로의 노후도가 증가하고 있는 실정으로 선행연구에서 기존 평가방법 등을 바탕으로 대구경 관로에 적합한 평가모형을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 개발된 평가모형과 기존 평가방법을 수도권광역상수도 1단계에 적용하여 평가방법에 따른 비교분석 및 결과등을 평가하였다.

2. 대상지역 선정

수도권광역상수도 1단계는 인천시 및 성남시 등의 정

수장에 원수를 공급하는 도수관로로서 총 연장이 약 91.3km이며 관경은 D=2,800~800mm로 수도용 콜타르 에나멜 도복장 강관으로 구성되어 있다. 관로노선은 하남시의 팔당을 시점으로 산악지대를 터널로 통과(3개소, 1,2단계 통합)하여 도로와 한강고수부지 등을 따라 서울시를 관통한 후 김포가압장을 거쳐 인천시의 부평정수장까지 부설되어 있는 간선관로노선과 서울시 잠실대교 남단부근의 간선관로에서 분기되어 송파대로를 따라 성남시 복정정수장으로 부설되어 있는 지선관로노선으로 구분된다.

[Table 1] Metropolitan multi-regional water supply system (1st Phase) of facilities

Pipe ID	Length (m)	Pipe materials	Internal diameter (mm)	Laying area	Note
1-01	818	SP	2,800×2	River	Water-intake Pipe
1-02	192	SP	2,200×2	Producer	Incheon system
1-03	1,136	SP	2,200×2	Uptown	Incheon system
1-04	2,495	SP	2,200×2	Uptown	Incheon system
1-05	2,775	SP	2,200×2	Uptown	Incheon system
1-06	2,640	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-07	2,550	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-08	3,290	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-09	5,000	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-10	2,180	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-11	180	SP	2,800	Urban area	Incheon system
1-12	1,580	SP	2,200×2	Urban area	Incheon system
1-13	2,540	SP	2,800	Urban area	Incheon system
1-14	980	SP	2,600	Urban area	Incheon system
1-15	5,980	SP	1,800×2	Urban area	Incheon system
1-16	540	SP	2,000	Urban area	Incheon system
1-17	1,040	SP	2,000	Urban area	Incheon system
1-18	4,960	SP	2,000	Urban area	Gimpo pressurization
1-19	144	SP	2,000	Premises pipe	Incheon system
1-20	674	SP	2,200	Producer	Bupyeong system
1-21	394	SP	2,000	Uptown	Bupyeong system
1-22	474	SP	1,800	Uptown	Bupyeong system
1-23	624	SP	1,800	Uptown	Bupyeong system
1-24	1,200	SP	1,800	Urban area	Bupyeong system
1-25	1,610	SP	1,800	Uptown	Bupyeong system
1-26	3,650	SP	1,800	Uptown	Bupyeong system
1-27	1,802	SP	1,800	Uptown	Bupyeong a filtration
1-28	1,132	SP	1,800	Urban area	Bupyeong system
1-29	3,760	SP	800	Urban area	Seongnam system
1-30	4,320	SP	800	Urban area	Seongnam system
Total length	60,660				

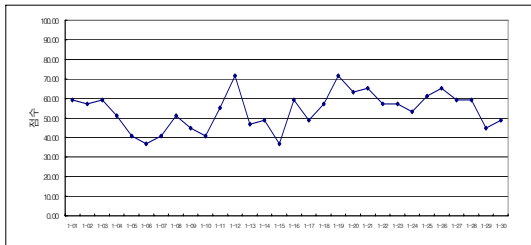
관로의 운영·관리와 안전을 위하여 관로도중에 각종 밸브실과 신축관실 등이 총 200개소(간선관로노선 : 172개소(복선화공사 3개 포함), 지선 관로노선 : 28개소)가 설치되어 있으며 최근에 반포대교 남단구간과 한강홍수통제소에서 여의도 63빌딩 앞까지의 구간의 단선관로를 복선화로 설치되어 있다. 관로 1-01의 경우 자연식 유하방법이며 나머지 관로의 경우 가압식 유하방법이다. 또한 수질의 경우 전부 원수 이다. Table 1은 수도권광역상수도 1단계 관로 시설현황을 나타내었다.

3. 평가방법별 적용 및 결과

3.1 기존 평가방법의 적용 및 결과

3.1.1 1995년 평가방법

1995년 평가방법에서는 사고이력, 관내외면 방식도장 유무, 노면하중, 관내수압, 사용년수, 되메움도양, 토양비저항, 토양PH, 토양 황화물, 염화물 함유량 등 정밀안전진단의 상태평가방법과 중복되는 8개 인자의 평가결과를 환산하여 1995년 평가방법으로 평가하였다. 평가결과를 Fig. 1에 나타내었는데 30개 구간의 평가결과 6개 구간 제외한 24개 구간이 60점 이하로 개량이 필요한 것으로 산정되었다.

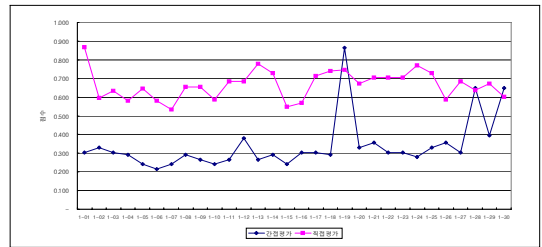


[Fig. 1] 1995 Assessment method results

3.1.2 2002년 평가방법

2002년 평가방법으로 상태평가방법과 중복되는 사고이력, 관내외면 방식도장 유무, 노면하중, 관내수압, 사용년수, 되메움도양, 관내외면 방식도막 상태, 배관부식, 잔존관 두께 등 9개 인자의 평가결과를 환산하여 2002년 평가방법으로 평가하였다.

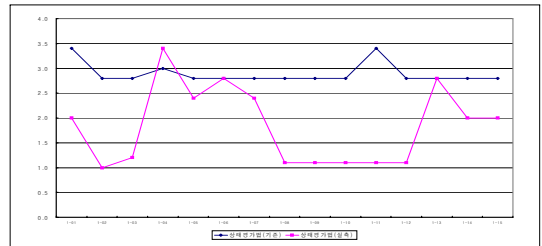
평가결과를 Fig. 2에 나타내었는데 30개 구간의 평가결과 3개 구간 제외한 27개 구간이 개량이 필요한 것으로 산정되었다.



[Fig. 2] 2002 Assessment method results

3.1.3 상태평가방법

상태평가방법에서는 2005년 정밀안전진단 결과값과 07년 내부 실측조사한 값을 이용하여 2가지 형태로 비교를 하였다. 그리고 전체 30개 구간 중 실측값이 존재하는 15개 구간으로 축소하여 평가값을 비교하였다. 2005년 시행한 값을 이용해 평가한 결과는 Fig. 3와 같이 전구간 C등급으로 2.8~3.4점대로 조사결과가 나왔으며 07년 시행한 값을 이용해 평가한 결과 3개구간의 C등급이며 나머지 12개 구간은 D, E등급이 나왔다. 실측값을 이용한 평가결과는 1995년 평가방법의 평가결과와 2002년 평가방법의 평가결과와 비슷한 형태로 나타났다.



[Fig. 3] State assessment method results

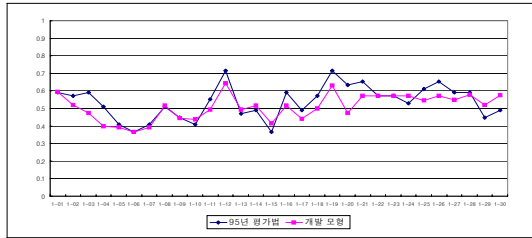
3.2 기존 평가방법 및 개발모형의 결과 비교

수도권광역상수도 1단계 도수시설 개량을 위해 관로 상태 평가를 실시하였으며 실측값을 대입하여 각 평가방법으로 평가한 결과를 앞에서 보았으며 1995년 평가방법과 2002년 평가방법 및 상태평가방법의 평가인자를 활용하여 각 평가결과를 환산한 1995년 평가방법, 2002년 평가방법 및 상태평가방법이 관로 개량을 해야 한다는 결론이 나오며, 개량모형을 이용해 평가를 할 경우 기존 평가방법 보다 조건값 범위가 넓지만 개량이 필요한 것으로 결과가 나온다. 평가방법별 평가결과는 관내부 검사를 실시한 실측값을 이용하였으며 검사 내용은 부식면 상태, 도막상태, 내경변위, 도막 두께, 용접부 검사, 관두께 측정, 밸브실 조사 등을 시행하였고 실측치 값은 평가구간 내 4개~100개 정도의 값들을 가지고 있고 가장 많은 값

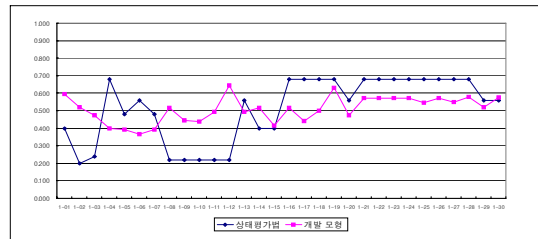
이 포함된 평가점수를 해당 인자의 상태평가 값으로 두어 분석하였다. 2002년 평가방법의 경우 평가인자가 많아 평가시 비용과 시간이 많이 소요되며 단일관로 대상으로 평가 사용되어 본 연구에서는 개발모형과 직접비교는 하지 않았다.

개발모형과 1995년 평가방법의 평가결과를 Fig. 4와 같이 나타내었다. 1995년 평가방법으로 평가한 결과 0.6 이상인 구간이 6개 구간으로 평가되며 개발모형으로 평가한 결과 2개 구간으로 평가되어 9개 구간에서는 동일한 결과가 보였다. 조건 값의 차이에도 불구하고 비슷한 유사한 결과를 보였다.

Fig. 5는 개발모형과 상태평가방법의 평가결과를 비교하였다. 비교결과 값의 차이가 다르게 나타나는데 시점부에서 15개 구간까지는 값의 차이가 많이 나며 나머지 15개 구간에서는 유사한 결과를 보였다.



[Fig. 4] Comparison to state assessment results of assessment method and development model



[Fig. 5] Comparison to assessment results of assessment method and development model at 1999

그 원인으로는 상태평가방법 자체의 평가방식의 차이에서 오는데 각 평가결과 값 중 가장 좋지 않은 값의 결과를 구간 값으로 산정함에 따라 다른 평가방법의 조건 값 및 가중치와 다른 사유로 평가구간의 수량이 많고 적음에 따라 값이 다르게 나올 수 있는 특징 때문인 것으로 사료된다.

따라서 개발모형과 기존 평가방법별 평가결과를 비교한 결과 기존 평가방법의 경우 결과에 있어 상이한 결과 부분이 발생하여 대체로 개량이 필요한 것으로 나타났다. 또한 개발모형의 경우 노후도 평가 결과 기존 평가방법과 유사한 패턴을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 개발모형의 인자 자체가 기존의 평가방법의 우선순위를 고려한 중복인자를 사용하였기 때문에 유사한 패턴을 보이는 것으로 판단되며 회귀분석 및 전문가 의견이 반영된 가중치를 사용하였기 때문에 기존의 평가방법 보다

[Table 2] Comparison to assessment results of assessment method at 1995 and state assessment method, development model

System	Pipe ID	1995 Assessment method	Development model	System	Pipe ID	1995 Assessment method	Development model	System	Pipe ID	State Assessment method	Development model	System	Pipe ID	State assessment method	Development model		
Water intake Pipe	1-01	0.592	0.594	Incheon system	1-16	0.592	0.517	Water intake Pipe	1-01	0.400	0.594	Incheon system	1-16	0.680	0.517		
	1-02	0.571	0.521		1-17	0.490	0.442		1-02	0.200	0.521		1-17	0.680	0.442		
	1-03	0.592	0.475		1-18	0.571	0.501		1-03	0.240	0.475		1-18	0.680	0.501		
Incheon system	1-04	0.510	0.400	Bu pyeong system	1-19	0.714	0.632	Incheon system	1-04	0.680	0.400	Bu pyeong system	1-19	0.680	0.632		
	1-05	0.408	0.392		1-20	0.633	0.473		1-05	0.480	0.392		1-20	0.560	0.473		
	1-06	0.367	0.367		1-21	0.653	0.571		1-06	0.560	0.367		1-21	0.680	0.571		
	1-07	0.408	0.392		1-22	0.571	0.571		1-07	0.480	0.392		1-22	0.680	0.571		
	1-08	0.510	0.518		1-23	0.571	0.571		1-08	0.220	0.518		1-23	0.680	0.571		
	1-09	0.449	0.445		1-24	0.531	0.571		1-09	0.220	0.445		1-24	0.680	0.571		
	1-10	0.408	0.439		1-25	0.612	0.547		1-10	0.220	0.439		1-25	0.680	0.547		
	1-11	0.551	0.492		1-26	0.653	0.572		1-11	0.220	0.492		1-26	0.680	0.572		
	1-12	0.714	0.643		1-27	0.592	0.549		1-12	0.220	0.643		1-27	0.680	0.549		
	1-13	0.469	0.493		1-28	0.592	0.578		1-13	0.560	0.493		1-28	0.680	0.578		
	1-14	0.490	0.518		Seongnam system	1-29	0.449		0.521	1-14	0.400		0.518	Seongnam system	1-29	0.560	0.521
	1-15	0.367	0.415			1-30	0.490		0.575	1-15	0.400		0.415		1-30	0.560	0.575

는 대구경 노후도 평가시 신뢰성이 높다고 판단된다.

대구경 관로의 특성상 관경이 클수록 관두께가 두껍고 부식에 유리한 조건을 가지고 있어 값이 크게 나올 것으로 예상하였으나 실측값을 대입한 기존 평가방법과 비슷하게 나오는 것을 알 수 있어 수도권의 대구경 관로에 적용하기 적합한 것을 알 수 있고 기존 평가방법을 비교하는 과정에서 상태평가방법은 상대적으로 보수적인 값이 나와 평가수량의 증가가 필요하다고 생각된다.

4. 결론

본 연구(II)에서는 수도권광역상수도 1단계에 기존모형과 개발모형을 비교 분석하였으며 연구(I)에서 수도권의 대구경관로에 적합한 노후도 평가방법을 제시하고자 기존의 평가방법의 인자 중 중복되는 인자 6개와 상위 가중치를 가지는 4개 인자를 기준으로 새로운 모형을 구성하였다. 각 평가방법에 대해 평가한 결과를 아래와 같이 요약하였다.

- (1) 1995년 평가방법에 실측값을 대입해 본 결과 30개 구간 중 6개 구간을 제외한 24개 구간에 개량이 필요한 것으로 산정되었다.
- (2) 2002년 평가방법에 실측값을 대입해 본 결과 30개 구간 중 3개 구간을 제외한 27개 구간에 개량이 필요하나 것으로 산정되었다.
- (3) 상태평가방법에서는 15개 구간에 실측값을 대입해 본 결과 3개 구간을 제외한 12개 구간에 개량이 필요한 것으로 산정되었다. 기존의 평가결과는 전구간 C등급으로 개량이 필요하지 않은 것으로 나왔으나 실측값을 현재의 기준으로 대입하여 평가해 본 결과 2002년 평가방법과 동일한 비율로 개량이 필요한 것으로 분석되었다.
- (4) 기존 평가방법의 경우 결과에 있어 상이한 부분이 발생하였으며 대체로 개량이 필요한 것으로 나타났다.
- (5) 개발모형과 기존 평가방법을 비교한 결과 유사한 패턴을 보였으며 개발모형 개발시 기존 평가방법의 중복인자를 사용하였기 때문에 유사한 패턴을 보인 것으로 판단된다.
- (6) 기존 평가방법의 경우 각 평가방법별 인자가 많고 평가 시간 및 어려움을 가지고 노후도 평가가 수행되어 왔다. 본 연구에서 개발된 모형의 경우 기존 평가시 우선순위 및 중복인자를 고려하여 평가인자를 선정하였으며 회귀분석 및 전문가 의견이 반영된 가중치를 사용하였기 때문에 기존 평가방법

보다 신뢰성이 높다고 판단된다. 따라서 실무적 차원의 적용이 가능한 모형으로 판단된다.

- (7) 추후 연구과제로는 특정한 지역의 관로를 대상으로 적용 가능한 새로운 노후도 평가인자와 가중치를 실측값을 이용한 평가결과를 근거로 검증하여 제시한 모형이므로 추후 다른 지역의 대구경 관로의 노후도 평가를 위해서는 대상지역의 실측값 자료의 확보, 수집과 분석이 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Shamir, U. and Howard, C. D, "An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement", Journal of the American Water Works Association, Vol. 71, No. 5, pp.248~258, May, 1979
- [2] Goulter, I. Davidson, J. and Jacobs, P, "Predicting Water-Main Breakage Rate", Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 119, No. 4, 1993.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1993\)119:4\(419\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1993)119:4(419))
- [3] H.J. Kim, "Water distribution system in the study of the optimal decision irrigation amount", The Graduate School of Korea University, 1994
- [4] J.H. Kim, Z.W. Kim, H.J. Kim, T.G. Kim, "A Study on the Optimal Location of Pumping Stations in Branched Pipeline Systems", Korean Society of Civil Engineers, Vol. 16 No. 2-4, pp. 361-369, 1996
- [5] W.S. Jung, H.D. Lee, P.J. Kwak, J.H. Kim, E.S. Kim, "Development of deterioration evaluate method system for pipe network" The Korean society of water and wastewater and Korean society of water quality, pp. 241-44, 2000
- [6] J. H. Kim, "The study of obsolete pipeline corrosion factor and corrosion rate", The Graduate School of Chungbuk University, 2002

이 승 현(Seung-Hyun Lee)

[정회원]



- 1988년 8월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

윤 기 용(Ki-Yong Yoon)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 토목공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 1997년 8월 : 고려대학교 대학원 토목환경공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
구조공학, 합성구조, 강구조, 내진설계

김 응 석(Eung-Seok Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학석사)
- 2002년 2월 : 고려대학교 토목환경공학 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 토목공학과 부교수

<관심분야>
수자원시스템, 상하수도 관망시스템