

호소의 취약성 평가

김응석¹, 윤기용¹, 이승현^{*}
¹선문대학교 토목공학과

Lake Vulnerability Assessment

Eung-seok, Kim¹, Ki-yong, Yoon¹, Seung-hyun, Lee^{*}

¹Department of Civil Engineering, Sunmoon University

요약 지속적인 사회발전으로 인하여 호소의 수질오염이 악화되고 있다. 호소의 특성 및 유역의 전반적인 측면에서 수질오염에 따른 호소의 취약성을 평가하기 위해, 본 논문에서는 기후변화 취약성 평가를 이용하여 호소 취약성-탄력성지수(LVRI)를 산정하였다. 금강 수계의 6개 호소에 대하여 취약성평가로 분류되는 3개의 주요 인자인 노출, 민감도, 적응능력을 대표하는 총 11개 세부평가항목들은 선정하였다. 또한, 엔트로피(Entropy) 방법에 의한 가중치를 산정하여 호소 취약성-탄력성지수를 산정하였다. 제안된 호소의 취약성 평가방안의 활용성 검토를 위해 가중치 적용 유·무에 따른 취약성 우선순위를 비교·검토하였다. 본 논문에서 선정된 호소의 취약성 우선순위는 장기적인 수질분석 및 수질관리에 도움이 될 것으로 판단된다.

Abstract The continuous social development has led to increasing pollution in lakes. This study proposed the LVRI (Lake Vulnerability Resilience Indicator) based on the vulnerability assessment of climate change for an environmental risk assessment in lakes sufferign water pollution in an integrated aspect of the characteristics in lake watersheds. A total of 11 representative assessment factors were selected and constructed for 6 lake basins in the Geum River Watershed to calculate the exposure, sensitivity and adaptation indicators in a vulnerability assessment classification system. The weight coefficients for assessment factors of the LVRI were also calculated using the Entropy method. This study also compared the rank results of the lake environmental risk with/without the weight coefficients of assessment factors for the practical application of the proposed lake environmental risk assessment method. The lake environmental risk results estimated in this study can be used for long-term water quality analysis and management in lakes.

Key Words : LVRI, Geum River Watershed, Entropy method

1. 서론

급속히 발전하는 산업화 및 도시화로 인해 수질 또한 급속히 악화 되고 있다. 수질의 악화로 인해 부영양화 현상 및 호소환경의 생태계가 파괴 되고 있다. 또한, 수질 평가의 경우 하천 및 호소를 구분하여 평가되는 경우가 대부분 이며, 유역의 전반적인 특성이 고려되지 않고 수질평가 되고 있는 실정이다. 비구조적인 대책중 하나인 취약성 평가의 경우는 현재 기후변화 관련 연구에 자주

사용되고 있다.

국내외 호소의 수질 평가는 여러 수질 모형 및 부영양화 평가방법 등이 있다. 하천의 수질평가는 QUAL2E모형이 주로 사용되고 있으며, 호소 및 저수지의 경우 국내에서는 WASP7모형이 주로 사용되고 있다[1,2]. 호소의 수질을 평가하는데 사용되는 부영양화 평가방법으로는 [3]는 안동호를 대상으로 Carlson방법, Aizaki방법 및 Yang & Dickman방법을 적용하여 수역별 영양상태를 평가하고, 동시에 3가지 평가방법간의 상관성을 비교하

^{*}Corresponding Author : Seung-hyun, Lee(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-41-530-2328 email: shlee02@sunmoon.ac.kr

Received July 14, 2014

Revised August 4, 2014

Accepted November 6, 2014

였다. 또한 우리나라에서 개발된 한국형 부영양화 평가 방법에 관한 문헌으로 [4]는 호소의 수질평가 및 예측을 위해 국내에서 개발된 한국형 부영양화 지수를 적용 및 산정하여 각 호소별 부영양화 지수에 따른 수질을 평가 하였다.

취약성 평가에 사용되는 인자를 구분하기 위하여 대표적으로 [5]에서 제시한 기후변화 취약성 평가 이론, DPSIR구조 등이 있다. 기후변화 취약성 평가 이론의 경우 대체적으로 홍수를 방어하기 위하여 각 인자들을 노출, 민감도, 적응능력의 함수로 구분하여 취약성을 분석 하였다[6].

종합적인 문헌조사 결과 호소 및 하천에 수질적인 측면만을 고려한 연구는 활발히 진행되어 왔지만 유입되는 하천 및 유역 특성, 인구의 밀도, 도시화 정도 등과 같이 유역에 포함되어 있는 인자들을 사용하여 호소의 수질을 평가한 연구는 미미한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 금강 수계 17개 호소를 대상으로 호소의 취약성 평가를 수행하였다. 또한 호소 및 유역의 특성 전반적인 세부평가항목을 기후변화에서 구분한 노출, 민감도, 적응능력으로 구분하였다. 또한 수집된 각 세부평가항목에 대한 가중치는 주관적 개입이 없는 엔트로피(Entropy) 가중치 추정방법을 이용하였다. 최종적으로 17개 호소의 취약성 평가를 수행하여 취약성 우선순위를 산정하였다. 아울러, 가중치 유·무에 따른 우선순위 비교 결과를 통해 호소 취약성유역 선정방안의 적용성을 검토하고자 하였다.

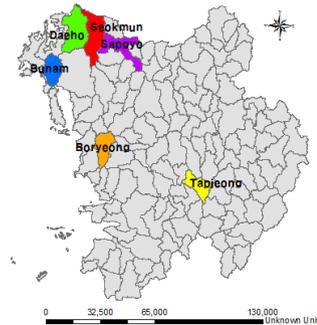
2. 호소취약성 우선순위 산정기법

2.1 대상유역 선정 및 자료 수집

금강 수계 주요 호소는 호소환경지침[7] 상의 환경부 조사지점 금강유역환경청 13개소와 전주유역환경청 3개소, 미반영지점인 용담호를 포함한 전체 17개 호소이다. 대상 호소들은 한국농어촌공사, 금강유역환경청, 한국수자원공사, 전주유역환경청에서 관리되고 있다. Table 1 및 Fig. 1은 조사대상 호소 17개의 일반현황 및 위치를 나타내었다.

[Table 1] Physical Characteristics of 6 Lakes under Study

Lake	Levee body height(m)	Levee body length(m)	purpose of utilization	impoundment Area (km ²)	impoundment Volume (10 ⁸ ×ton)	Area (ha)
Sapgyo	12.0	3,360	irrigation	1,639	84,082	117,276
Seokmun	11.0	10,400	irrigation	0.59	975	1,750
Daeho	14.69	7,807	irrigation	74.19	46,460	31,215
Bunam	6.5	1,228	irrigation	14.06	21,100	15,720
Boryeong	50.0	291	Multipurpose	2.17	117,000	16,360
Tapjeong	17.8	573	irrigation	6.36	31,927	21,880



[Fig. 1] Location Map of Lake Watersheds under Study

2.2 취약성 평가 세부평가항목 구축

본 논문에서는 세부평가항목을 [8]에서 구분한 노출, 민감도, 적응능력으로 구분하였다. 노출의 경우 호소의 유역이 직접적인 수질악화에 노출되는 정도를 나타내며, 수질악화는 유역 및 호소로 유입되는 하천을 포함하는 다차원적인 현상으로 구체적 상황에 따라 어떤 요소를 취약성 평가에 변수로 포함 시킬지가 달라진다. 민감도는 수질악화 및 유역특성 등에 따라 호소에 미치는 영향의 크기를 의미한다. 호소에 해롭거나 이로인 영향을 직·간접적으로 받는 정도라고 정의할 수 있다. 민감도가 높을수록 수질악화의 영향을 많이 받으며, 적응능력을 결정하는 요인과 유사 하다. 적응능력은 수질악화에 의한 피해에 대처할 수 있는 능력을 의미 하며, 적응능력이 높을수록 취약성이 낮고 회복력(Resilience)이 강하다. 적응능력은 노출과 민감도에 비하여 정량적으로 평가할 수 있는 지표가 적으며, 정성적인 지표에 대한 객관적인 자료를 수집할 수 있는 틀이 부재하다.

Table 2는 세부평가항목을 나타내었으며 다음과 같이 정리하여 기술하였다. 노출은 유역의 수질피해에 대한

[Table 2] Vulnerability Assessment Factors for Lake Vulnerability Resilience Indicator

Type	Division	Detailed evaluation item		Source
		Factor	Factor definition	
Exposure Score	basin characteristics	industrialization ratio(%)	Industrial condition area ratio	NIER (2010), Survey of Lake Environment and Ecology in the Geum River System.[9]
		Wastewater(Industrial+Livestock)(ton/day)	Used in the process of production and business in the waste water unnecessarily	
	social characteristics	population density(Person/km ²)	population per unit area	
Sensitivity Score	lake water quality assessment	Residence time of Lake(hr)	Divided by the effective capacity flow	NIER (2006), Study of Comprehensive Water Quality Evaluation method Development(III)[10]
		Tributary N generation amount(ton/day)	The average total nitrogen load in rivers tributary	
		Tributary P generation amount(ton/day)	The average total phosphorus load tributary rivers	
	Trophic State Index	Korea Trophic State Index		
Adaptation Score	Flood control measure	Sewage treatment plant institution capacity(ton/day)	Sewage treatment equipment volume	Wamis
		Percent of sewerred population(%)	population Ratio the total population in the sewage treatment area	Statistics Korsa
		Sewage treatment plant expense(one million won)	The amount needed for construction and management of sewage treatment plant	Wamis
		Sewage Pipe extend(m)	Sewage and wastewater sewage treatment plants go to the length	Ministry of environment (2012), Statistics of Sewerage[11]

물리·환경적 압력을 평가하기 위한 수단으로 산업화율, 폐수, 인구밀도 등 총 3개의 세부평가항목으로 선정되었으며, 노출지표 값이 클수록 해당 호소유역의 수질악화 위험이 높은 것으로 판단할 수 있다. 민감도는 호소유역의 수질악화에 노출되어 있는 수준 판단 및 현황을 파악할 수 있는 기준으로, 호소 체류시간, 지류하천 N 발생량, 지류하천 P 발생량, 호소수질(부영양화지수) 등 4개의 세부평가항목으로 구성되었다. 민감도지표가 클수록 대상 호소유역의 수질악화 위험이 크다고 판단할 수 있다. 적용은 호소유역의 수질악화를 완화하고, 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준으로서, 하수처리장 시설용량, 하수도보급률, 하수처리장 사업비, 하수도 시설연장, 등 4개의 세부평가항목을 선별하였다. 적응지표 값이 크면 해당 호소유역의 수질악화 위험도를 감소시키므로, 노출 및 민감도지표 특성과의 일관성을 위해 호소위험도 분석 시, 각 대책지표 최대값과의 차에 대한 절대값을 취하여 지표값을 변환하였다.

2.3 엔트로피 가중치 적용

엔트로피 가중치 추정방법은 대안과 속성을 많이 포함하는 현실적인 다기준의사결정 문제에 대해 의사결정권자가 비교적 이해하기 쉬운 정보이론 방법을 적용하는

것으로, 이용된 평가항목의 속성 정보만을 이용하여 가중치를 산정하는 방법이다. 본 논문에서는 평가자의 주관적 개입으로 인한 항목간 평가의 왜곡을 방지하기 위하여 엔트로피 이론을 이용한 세부평가항목별 가중치를 산정하였다. 각 세부평가항목별로 구축된 속성값을 대상 구역별 행렬로 구성하고, 항목별로 정규화된 속성정보를 이용하여 각 속성별 엔트로피를 산정한 후, 최종적으로 호소위험도 평가항목인 세부평가항목간의 가중치를 결정하게 된다.

2.4 호소의 취약성 평가방법

[12]는 취약성 평가를 위한 취약성-탄력성 지표 (Vulnerability - Resilience Indicator, VRI)를 제시하였으며 취약성을 민감도와 적응능력의 함수로 보았다. 즉, 한 시스템에서의 민감도가 높고, 적응능력이 낮을 경우 취약성은 증가하게 된다. 그러나 민감도가 높더라도 적응능력이 높다면 그 시스템에서의 취약성은 보다 낮아지게 된다고 할 수 있다.

본 연구에서는 취약성-탄력성 지수를 노출, 민감도, 적응능력의 세 분야로 구분하였으며, 분야별로 선정된 각 항목들은 서로 단위가 다른 변수들 간의 연산을 위해 Re-Scaling 방법을 이용하여 표준화 하였다. Re-Scaing

방법은 지표의 최대값과 최소값을 이용하는 방법으로 어떤 변수값 x에서 변수의 최소값을 빼고 이를 다시 변수 내의 최대값에서 최소값을 뺀 값으로 나누어 산정하는 방법이다. Re-Scaling 방법을 사용할 경우 모든 세부지표의 속성값이 0에서 1사이의 값으로 분포되어, 개별지표의 표준화된 속성값이 하나의 지수 산정에 균등한 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 Re-Scaling 방법을 이용하여 표준화 하였다.

이와 같이 표준화된 항목들에 각각의 가중치를 곱하여 분야별 지표의 지수를 계산하고, 이 중 노출지수(Exposure Score)와 민감도 지수(Sensitivity Score)를 평균하여 잠재영향 지수(Impact Score)를 계산한 후 이를 적응능력 지수(Adaptation Score)에서 빼고 2로 나누어 줌으로서 취약성-탄력성 지수(Lake Vulnerability Resilience Indicator, LVRI)를 계산하게 된다. 노출지수 및 민감도지수, 잠재영향지수, 적응지수, 저수지 취약성-탄력성 지수는 식(1)~(5)와 같이 계산할 수 있다.

$$ES(Exposure Score_i) = \frac{\sum_{i=1}^l (W_j \times y_{ij})}{\sum_{i=1}^l (W_j)} \quad (1)$$

$$SS(Sensitivity Score_i) = \frac{\sum_{i=1}^m (W_j \times y_{ij})}{\sum_{i=1}^m (W_j)} \quad (2)$$

$$IS(Impact Score_i) = (Exposure Score_i + Sensitivity Score_i) / 2 \quad (3)$$

$$AS(Adaption Score_i) = \frac{\sum_{i=1}^n (W_j \times y_{ij})}{\sum_{i=1}^n (W_j)} \quad (4)$$

$$LVRI_i = (Adaption Score - Impact Score) / 2 \quad (5)$$

3. 적용 및 결과

3.1 평가항목의 가중치 산정

본 논문에서는 의사결정자의 주관적 판단에 의존하지 않고 구성된 의사결정문제의 데이터에 의해서만 가중치

를 계산 할 수 있는 객관적 방법인 엔트로피 기법을 이용하여 가중치를 산정하였다. 엔트로피가 크다는 것은 그 지점에서의 불확실성의 감소정도가 크다는 말이고, 같은 영역 내에서 받아지는 동일 신호에 대해 정보의 양이 많다는 것을 뜻한다.

가중치 산정 결과 취약성 평가의 노출 인자인 폐수에 가중치가 높게 산정되었으며, 취약성 평가 구조의 민감도 인자인 지류하천 N, P 발생량의 가중치가 대부분을 차지하고 있다. 또한 수질정화 기능을 가지는 인자인 하수도 보급률이 가장 높은 가중치로 산정되었다. 이러한 이유는 세부평가항목에서 최저값과 최고값의 편차가 크며 많은 자료가 낮은 값들에 몰려있어, 속성의 엔트로피가 크게 산정된 것에 기인한다. Entropy 방법을 이용한 가중치 산정결과를 Table 3과 같이 나타내었다.

[Table 3] Entropy Weight Coefficients

division	Vulnerability assessment	Sum
industrialization ratio(%)	0.224	1
population density(Person/km ²)	0.254	
Wastewater(Industrial+Livestock)(ton/day)	0.522	1
Tributary N generation amount(ton/day)	0.341	
Tributary P generation amount(ton/day)	0.617	
Trophic State Index	0.002	
Residence time of Lake(hr)	0.041	1
Sewage treatment plant institution capacity (ton/day)	0.112	
Percent of sewerred population(%)	0.501	
Sewage treatment plant expense (one million won)	0.214	
Sewage Pipe extend(m)	0.173	

3.2 Entropy 가중치 유·무에 따른 호소 취약성 평가 결과

본 논문에서는 취약성평가 구조에 따른 세부평가항목의 엔트로피 가중치 적용 유·무에 따른 호소 취약성-탄력성지수(LVRI)를 산정하여 호소의 취약성 우선순위를 각각 선정하였다. 이를 위하여 식(1)~식(4)를 이용하여 엔트로피 가중치 적용 유·무에 따른 노출지수, 민감도지수, 잠재영향지수, 적응능력지수를 각각 산정하고, 식(5)를 이용하여 호소별 호소 취약성-탄력성지수(LVRI)를 산정하였다.

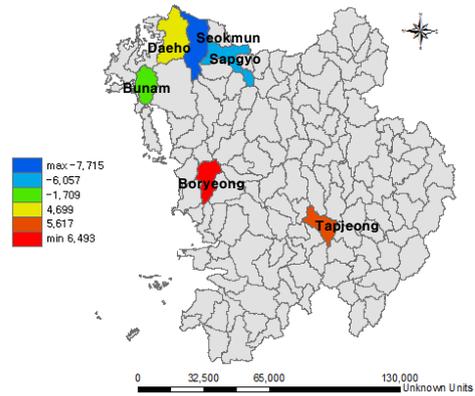
동일가중치를 적용(엔트로피 가중치 미적용)한 호소

취약성-탄력성지수(LVRI)를 산정하여 호소 취약성 우선순위를 선정한 결과, Fig 2(a) 및 Table 4에서 보이듯이, 가장 취약성이 높은 1순위는 석문호로 나타났으며, 2순위는 삼교호로 나타났다. Table 4에 나타난 바와 같이, 삼교호 및 석문호의 경우 대체적으로 노출지수 값이 다른 호소에 비하여 높게 산정되었기 때문에 높은 호소 취약성 우선순위를 나타내었다. 특히 석문호의 경우 노출지수 값이 6개 호소 중 가장 높게 산정되어 결과적으로 호소 취약성-탄력성지수(LVRI)가 가장 높게 산정되었다.

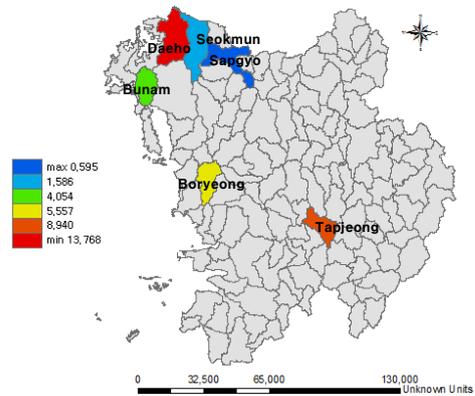
Fig 2(b) 및 Table 4와 같이, 엔트로피 가중치를 적용한 호소 취약성-탄력성지수(LVRI)를 산정하여 호소 취약성 우선순위를 선정한 결과, 가장 취약성이 높은 1순위는 삼교호로 나타났으며, 2순위는 석문호로 나타났다. Table 4에 나타난 바와 같이, 석문호의 경우 동일가중치를 적용(엔트로피 가중치 미적용)하였을 경우와 마찬가지로 노출지수가 다른 호소에 비해 높게 산정되었기 때문에 가장 높은 우선순위로 결정되었다. 또한, 석문호의 민감도지수가 가중치 적용에 따라 작은 지수 값을 보이고 있어 삼교호보다 낮은 취약성 우선순위를 보인 것으로 판단된다.

호소 취약성-탄력성지수(LVRI) 우선순위가 가장 높은 삼교호 및 석문호의 경우 해안가 근처에 위치하고 있으며 산업개발 및 간척 등으로 인한 수질오염으로 높은 위험도 우선순위를 보이는 것으로 판단된다.

엔트로피 가중치 적용 유·무에 따른 우선순위 비교결과 대체적으로 비슷한 결과를 보임을 알 수 있다. 또한, 보령호의 경우 6개 호소중 대체적으로 낮은 취약성 우선순위를 보이고 있지만, 이수 및 취수의 목적을 가지고 있기 때문에 수질개선이 필요하다고 판단된다.



(a) With weight coefficients



(b) Without weight coefficients

[Fig. 2] Comparison of Lake Vulnerability Resilience Indicator(LVRI) Results

[Table 4] Lake Vulnerability Resilience Indicator Results

Lake	Exposure Score		Sensitivity Score		Adaptation Score		Impact Score		LVRI		Order of priority	
	Weight does not apply	Weight apply										
Saggyo	47.404	48.909	51.211	40.010	37.195	45.650	49.308	44.459	-6.057	0.595	2	1
Seokmun	71.677	70.083	33.573	14.874	37.195	45.650	52.625	42.478	-7.715	1.586	1	2
Daeho	12.189	12.229	43.406	23.998	37.195	45.650	27.798	18.114	4.699	13.768	4	6
Bunam	11.819	11.766	35.466	13.870	20.225	20.927	23.642	12.818	-1.709	4.054	3	3
Boryeong	10.808	10.819	15.420	14.114	26.101	23.581	13.114	12.467	6.493	5.557	6	4
Tapjeong	11.069	11.107	22.780	12.235	28.159	29.552	16.924	11.671	5.617	8.940	5	5

4. 결론

본 논문에서는 호소 및 유역의 전반적인 특성을 고려하여 호소유역별 수질개선 우선순위 선정을 위해, 수질악화 위험이 상대적으로 높은 지역과 낮은 지역을 평가할 수 있는 호소환경 평가방안과 그 적용방법에 대해 고찰하고자 하였다. 호소의 취약성 정도를 평가하기에 앞서 취약성을 노출, 민감도, 적응능력 3개의 지수로 구분하였으며 호소 및 유역특성을 고려한 세부평가항목을 선정하였다. 이를 금강 수계 호소환경지침에 제시되어 있는 17개 호소를 대상으로 호소의 취약성 평가를 수행하였다. 또한 각 평가항목의 단위를 표준화하기 위해 Re-Scaling 방법을 이용하여 호소 취약성-탄력성 지수를 산정하였다. 적용결과 가장 취약성이 높은 1순위는 금강하구연으로 나타났으며, 2순위는 삼교호로 나타났다. 이는 두 개의 호소 모두 해안가 근처에 위치하며, 간척 및 산업발전으로 인한 수질악화로 가장 취약한 호소로 판단된다. 본 논문에서 제시한 호소의 취약성 우선순위는 수계내 상대적인 호소 취약정도를 평가할 수 있어 구조적·비구조적 수질관리대책 수립시 상대적인 우선순위를 효율적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 유역대상을 호소 유역대상이 아닌 지류하천 유역대상으로 구분한 후 유역특성을 고려한 위험도를 분석한다면 장기적인 수질관리와 사전의 수질악화 원인 분석에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

References

[1] S.M. Jeong, J.K. Park, Y.K. Park, L.H. Kim, "Prediction of Water Quality in Miho River Watershed using Water Quality Models", Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 20, No. 3, pp. 223-230, 2004

[2] S.S. Ahn, M.J. Seo, D.J. Jung, R.S. Park, "The Research about the Water Quality Prediction at Imha Reservoir Using a WASP7 Model", The Korean Environmental Sciences Society, Vol. 17, No. 6, pp. 611-621, 2008

[3] J.C. Park, J.W. Park, D.H. Kim, J.K. Shin, H.M. Lee, "A Comparative Study of Trophic State in Lake Andong", Korea, Korean Journal of Ecology and Environment, Vol. 38, No. 1, pp. 95-104, 2005

[4] E.S. Kim, K.B. Sim, S.D. Kim, H.I. Choi, "Water Quality Assessment for Reservoirs using the Korean Trophic

State Index", Korean Society on water Environment, Vol. 28, No. 1, pp. 78-83, 2012

[5] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), "Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability", Third Assessment Report, Mc Carthy et al. (Eds), 2011

[6] Y.K. Kim, J.A. Yoo, E.S. Chung, "Water Management Vulnerability Assessment Considering Climate Change in Korea", Climate Change, Research, Vol. 3, No. 1, pp. 1-12, 2012

[7] Ministry of environment, Lake environment guide of Geum River, 2001

[8] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), "Climate Change 2001: Impact, Adaptation and Vulnerability", Third Assessment Report, McCarthy et al. (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001

[9] NIER, "Survey of Lake Environment and Ecology in the Geum River System", 2010

[10] NIER "Study of Comprehensive Water Quality Evaluation method Development(III)", 2006

[11] Ministry of environment "Statistics of Sewerage", 2012

[12] Moss, R.H., E.L. Brenkert, A.L. Malone, Vulnerability to climate change: a quantitative approach. Prepared for the U.S. Department of Energy, 2001

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

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