

계층분석과정기법(AHP)을 이용한 하천자연도평가법 개선

조 홍 제** / 윤 종 춘**

The Evaluation of River Naturalness Improvement Using AHP

Cho Hong Je** / Yoon Jong Chun**

요약 : 하천환경정비의 방향을 제시하기 위해서는 하천의 자연도를 평가하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 박봉진 등이 제안한 하천자연도평가법을 개선하여 평가항목별 가중치를 산정하고, 계층분석과정(AHP)을 적용하였다. 토목공학과 환경공학을 전공한 83명의 전문가 집단을 구성하고 설문조사를 시행하여, 하천자연도평가법의 평가항목별 가중치를 산정하였다. 가중치 산정결과 총 14개 평가항목 중에서 수질, 흐름의 다양성, 저수로변 식생, 수로의 굴곡, 홍수터의 식생, 저수로 폭 다양성, 하상재료의 다양성 등 7개 항목의 가중치가 높았다. 개선된 하천자연도평가법을 회야강, 안양천, 아미천에 적용하였고, 자연성이 훼손된 구간에 대한 변별력이 있는 것으로 판단되었다. 개선된 하천자연도평가법을 하천환경정비사업에서 사업구간을 선정하는 방법으로 활용할 수 있다.

핵심용어 : 하천자연도, 계층분석과정, 가중치, 회야강, 안양천, 아미천

Abstract : To propose a sound direction for river rehabilitation plan, the naturalness of the river must be evaluated. In this study, the conventional methods for evaluating the naturalness of rivers proposed by Park, et al. has been improved to estimate the weights for each items subject to assessment and applied adequate Analytic Hierarchy Process (AHP). To estimate the weights, survey was conducted on a group of 83 experts in Civil and Environmental Engineering with a customized questionnaire. The results of the survey were generalized and used to estimate the weights of each items. Among the 14 evaluation items that have been generated as a result of the estimation, a total of 7 weight values such as water quality, variations in water flow, vegetation around minor bed, curve of waterway, vegetation around flood plain, variety in minor bed width, and diversity of stream bed materials appeared to be high. The improved method for evaluating the naturalness of rivers was applied to Hoe-ya River, where the method has successfully discriminated the sections having low degree of naturalness. The proposed assessment method can be employed as a criterion to determine the business zones in the river environment maintenance projects.

Keywords : River naturalness, Analytic Hierarchy Process, Hoe-ya River

1. 서 론

하천법에서는 자연친화적 하천조성을 위하여, 보전지구, 복원지구, 친수지구를 지정하도록 하고 있으나, 구체적인 적용 기준을 명시하고 있지는 않다. 또한 생태하천 조성계획·설계요령(국토해양부, 2009)에서는 하천가꾸기의 대상을 보전, 복

원, 친수지구로 구분하여 시행하도록 하고 있으나, 구체적으로 지구를 구분하는 기준을 제시하고 있지는 않다. 마찬가지로 자연친화적 하천관리 지침(국토해양부, 2002)에서도 하천을 방재하천, 공원하천, 자연형하천으로 구분하고, 구역을 정비, 정비·자연, 자연보전구역으로 구분하여 하천공간 정비 계획을 수립하도록 하고 있으나, 구체적인

+ Corresponding author : hjcho@mail.ulsan.ac.kr

* 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수

** 울산대학교 대학원 토목공학과 박사수료, (주)삼안(낙동강 달성지구 하천개수공사 감리단) 차장

구역구분 기준을 제시하고 있지는 않다.

따라서 자연형 하천복원 사업을 계획하거나 관련 업무를 추진하는 실무자의 입장에서 대상 하천을 자연성을 기준으로 구분할 수 있는 방법, 이른바 하천자연도평가가 필요하다. 조용현(1997)은 하천자연도평가의 목적을 하천의 생태학적 복원에 직접 활용할 수 있는 하천의 물리적 구조의 질을 파악하여 하천관리방침을 결정하고, 복원의 수단을 결정하는 데 두고 하천자연도평가 기준을 제시한 후, 사기막천, 양재천, 두미천 등 3개 하천에 적용한 바 있다. 김동찬 등(2000)은 도시하천의 자연형 하천복원을 위하여 생태적 특징을 고려한 물리적 형태와 구조의 복원에 중점을 둔 하천자연도평가기준을 제시한 후 수원천에 적용한 바 있다. 박봉진 등(2005)은 환경적인 측면에서 우리나라 하천의 자연성을 평가하여 하천의 생물서식처를 복원할 수 있는 하천자연도평가법을 제안하고자 국내·외의 평가 방법을 조사한 후, 조용현의 방법을 개선한 하천자연도평가법을 제안하고 내린천과 복하천 및 안양천 등 3개 하천에 적용한 바 있다. 한편 박봉진 등의 하천자연도평가법은 하천자연도평가지침(한국수자원공사, 2003)으로 활용되고 있다. 환경부(2007)는 하천자연도평가에 생물종다양성 차원의 정보를 반영하도록 개선된 하천자연도평가법을 제시하면서 평가항목별 동일하게 적용된 배점을 실제 하천상황에 맞게 재조정할 필요가 있으며, 중요도가 높은 평가항목으로 평가항목을 조정하는 것이 하천의 자연환경을 보다 종합적인 관점에서 평가할 수 있다고 제안하고 있다.

박봉진 등의 하천자연도평가법과 하천자연도평가지침은 하천의 특성을 형태적 부문과 환경적 부문으로 구분하고, 각 부문별 7개 항목에 대해서 아주 자연에 가까운 상태를 1점 극히 심하게 훼손되어 자연스러움이 거의 없는 상태를 5점으로 부여하는 방법으로 평가항목에 대하여 동일한 가중치를 부여하였다. 그러나 하천자연도평가법을 적용하는 평가항목별 가중치를 부여하는 것이 타당하다고 판단할 수 있다.

다기준 평가시에 평가항목별 가중치를 부여하는 방법으로는 계층분석과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)기법을 많이 사용한다. Saaty(1977)에 따르면 계층분석과정은 직관을 바탕으로 하기 때문에 주관적인 평가요인도 수용할 수 있는 유연한 의사결정기법이다. 박태선(2002)은 하천이 관류하는 사회적 여건을 고려한 하천별 중요도를 평가하기 위하여 계층분석과정을 적용하였으며, 이재문 등(2007)은 하천 계획시 계획하폭을 결정하는 과정에서 발생하는 주관적, 경험적 요소를 해결하기 위해서 계층분석과정을 적용하고, 이상일 등(2008)은 한강에서 강변여과수 개발 적지 분석을 위한 속성별 중요도를 파악하여 최적 대안을 선정하는 방법으로 계층분석과정을 채택하였다. 하천자연도평가법의 평가항목별 측정도 평가자의 직관적 판단이 중요하게 작용하므로 평가항목별 가중치 산정에 계층적분석과정을 적용하는 것은 타당하다.

따라서 본 연구에서는 박봉진 등의 하천자연도평가방법에 평가항목별 가중치를 부여하는 방법으로 계층분석과정을 적용하였다. 평가항목별 상대적 중요성을 측정하기 위해서 83명의 전문가 집단에 설문조사를 시행하고, 울산광역시 울주군에 위치한 회야강에 적용하여 평가항목별 가중치 부여 전·후의 하천자연도를 비교하였다.

2. 하천자연도평가법

2.1 조용현의 하천자연도평가기준

조용현은 하천자연도평가법을 하천의 생태학적 복원을 위한 진단적 성격의 평가방법으로 정의하였다. 생태적 복원이 실현 가능한 목표를 하천생태계의 기반인 서식지의 복원에 두고, 복원 시에 조작이 가능한 하천생태계의 물리적인 요소의 구조적 특성에 초점을 맞추어 하천자연도 평가지표 및 평가방법을 개발하였다. 평가부문 및 평가항목은 표 1과 같이 하천생태계의 변이축을 설정하고, 평가집계를 부문집계와 총괄집계의 2단계로 구분

표 1. 조용현의 하천자연도 평가부문 및 평가항목

평가부문	평가항목
수로의 발달	수로의 굴곡, 측방침식, 종사주, 특수한 수로구조
중단면	횡구조물, 횡사주, 흐름의 다양성
횡단면	횡단면 유형, 제방재료, 폭 다양성, 하천 상부 구조물
하상구조	저질 다양성, 특수한 하상구조
저수로변 구조	저수로변 식생, 호안공, 특수한 저수로 변 구조, 저수로변 종방향 배열
하천주변	인접한 토지이용, 하천변 대상 수림, 자연스럽지 않은 주변 구조

하였다. 부문으로서는 하천에서의 공간적 변이의 축을 중심으로 수로의 발달, 횡단면, 하상구조, 저수로변 구조, 하천주변의 총 6개를 선정하였다. 평가항목으로는 총 20개 항목을 선정하였다.

평가단위는 선형구간으로 하여, 규칙적인 100m 단위로 하였다. 평가척도는 정량적인 지수로서 1~5의 점수로 하고, 최종 하천자연도의 표현은 5등급 체계로 하였으며, 하천자연도 1점과 1등급이 가장 좋은 상태를 나타내도록 하였다. 가중치는 부문별로 동일하게 하였고, 부문내의 항목간에도 가중치를 동일하게 하였다.

2.2 박봉진 등의 하천자연도평가법

박봉진 등은 하천의 환경기능 중에서 가장 기본적인 것이 생물서식처 기능이며 진정한 의미의 하천복원은 서식처의 복원에 있는 것으로 정의하였다. 평가에 소요되는 비용 및 시간과 하천변화에 대한 평가정도, 생태계의 포용정도, 하천복원시 공학적인 연계성 정도를 고려하여 하천생물서식처의 질을 평가하는 것으로 하천자연도평가지표를 제안하였다. 한편 하천, 수자원, 국토, 생태, 환경 등 5개 분야의 하천자연도평가 자문팀을 구성하고 자문회의를 거쳐 평가부문과 평가항목을 선정하였다. 그리고 이를 시험하천에 적용하

여 각 평가항목에 대한 평가방법 등을 최종 결정하였다.

박봉진 등이 제안한 하천자연도평가에서는 표 2와 같이 평가부문은 하천의 형태, 하천의 환경으로 2개 부문으로 단순화하고, 각 부문의 평가항목은 평가부문간의 균형을 고려하여 7개의 평가항목으로 총 14개의 평가항목을 선정하였다.

평가척도는 표 3과 같이 자연성 저감정도에 따라 자연에 아주 가까운 자연스러운 상태를 1점, 극히 심하게 훼손되어 자연스러움이 거의 없는 상태를 5점을 부여하는 5단계 체계로 하였다. 평가결과의 집계과정은 먼저 부문별로 평가결과를 단순평균 하여 부문별 평가지수로 결정하고, 부문별 평가지수를 단순평균 하여 총괄 평가지수를 계산하였다. 그리고 산출된 부문별 평가지수와 총괄 평가지수들을 표 2의 지수범위에 따라 1등급에서 5등급까지 자연도평가등급으로 환산하였다.

2.3 하천자연도평가법 채택

본 연구에서는 조용현은 평가방법이 6개 부문 24개 항목으로 구성되었으나, 박봉진 등의 평가방법은 조용현이 제시한 평가항목을 참조하되 2개 부문 14개 항목으로 단순화하여 실무 적용성을 높였으므로, 박봉진 등이 개발한 하천자연도평가법을 채택하였다. 박봉진 등의 하천자연도평가법에서는 표 2와 같이 평가부문, 평가항목 그리고 평가항목별 척도를 제시하고 있다. 그러나 박봉진 등의 방법에서는 평가항목별 가중치를 적용하고 있지 않다. 표 2의 평가항목별 평가지표를 살펴보면 하천형태부문의 수로의 굴곡, 종·횡사주 등 2개 항목, 하천환경부문의 횡방향 인공구조물, 수질, 수면폭대 하천폭비 등 3개 항목을 제외한 나머지 항목의 판단에는 주관적 또는 직관적 요소를 포함하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 박봉진 등이 제시한 하천자연도평가법을 활용하고, 평가항목별 중요도를 감안하여 평가항목별 가중치를 산정하였다.

표 2. 박봉진 등의 하천자연도 평가부문, 항목, 척도

평가부문	평가항목	평가지표					
하천형태	1	수로의 굴곡	하천제방선형의 중심각 60° 이상(만곡의 시점에서 종점이 잘 보이지 않을 정도) 수로굴곡 개소수				
			1등급 4개소이상	2등급 3개소	3등급 2개소	4등급 1개소	5등급 없음
	2	종횡사주	종횡방향 사주의 개소수				
			1등급 7개소이상	2등급 5-6개소	3등급 3-4개소	4등급 1-2개소	5등급 없음
	3	흐름의 다양성	여울과 소의 존재에 따라 종횡방향으로 흐름의 다양한 정도				
			1등급 매우큼	2등급 큼	3등급 적당함	4등급 경미함	5등급 없음
	4	하상재료의 다양성	하상에 분포하고 있는 하상재료 구성의 다양성 (지배적인 하상재료로 판단함)				
			1등급 대부분 호박돌 일부 조약돌	2등급 조약돌과 자갈 혼재	3등급 자갈,모래,미사(실트),점토가 복합적인	4등급 대부분 미사(실트)와 점토	5등급 대부분 모래
	5	저수로폭 다양성	자연적인 현상에 의한 저수로의 수면폭(수제역)의 다양한 정도				
			1등급 매우큼	2등급 큼	3등급 적당함	4등급 경미함	5등급 없음
	6	저수로 호안공	저수로 호안공의 재료 및 인공화정도				
			1등급 호안공이 없는 자연상태	2등급 목책 등 자연소재와 인공식생호안	3등급 사석, 석축과 인공식생 호안	4등급 사석 또는 석축호안 (투수성호안)	5등급 호안블럭, 콘크리트호안 (불투수성호안)
	7	제방호안재료	제방 호안공의 재료 및 인공화정도				
			1등급 인공제방이 없는 경우	2등급 인공 흙제방(자연식생, 잔디식재 등)	3등급 버드나무,목책,자연석의 혼합제방	4등급 사석쌓기(돌망태),자연형 호안블럭제방	5등급 호안블럭, 콘크리트등 불투수성호안제방
8	저수로변 식생	저수로변 식생유무와 식물군락의 형성					
		1등급 자연적으로 형성된 다양한 식생군락	2등급 자연적인 잡초,교목등이 혼합된 경우	3등급 일부는 식생 또는 침식으로 없는 경우	4등급 자연적인 침식으로 식생이 없는 경우	5등급 호안공으로 식생이 없는 경우	
9	홍수터 식생	홍수터(고수부지)의 식생 및 식물군락의 형성					
		1등급 자연적으로 형성된 다양한 식생군락	2등급 자연적인 침식으로 식생이 없는 경우	3등급 자연적인 식생과 인공적인 식생의 공존	4등급 인위적으로 식생을 조성한 공원, 잔디밭등	5등급 인위적으로 식생을 제거한 경우	
10	제내지 수변구역 토지이용	지배적인 토지이용으로 인공화정도(하천제방에서 제내지측으로 약 500m구간)					
		1등급 자연홍수터, 초지나 교목 등의 자연상태	2등급 논, 밭 등의 경작지	3등급 대부분 경작지(2/3), 일부 시가지, 주거지 혼재	4등급 일부 경작지, 대부분 주거지, 도로 등	5등급 대부분 주거지, 도로, 공장, 주차장 등 시가지형성	
11	제외지 홍수터 토지이용	지배적인 토지이용으로 인공화정도					
		1등급 인공식생,인공구조물이 없는 경우	2등급 경작지 또는 자연식생	3등급 인공식생과 산책로, 자전거도로 등	4등급 잔디공원, 운동장 등 투수성시설	5등급 주차장, 도로 등 불투수성 인공구조물	
12	횡방향 인공구조물	어류 등의 이동을 방해하는 인공구조물의 존재 및 방해정도					
		1등급 횡단구조물 없음	2등급 우회보가 있는 경우 또는 경사형돌보	3등급 어류이동이 가능한 어도가 설치된 보	4등급 보의 높이 0.3-0.4m	5등급 보의높이 0.4m이상 어류이동을 차단	
13	수질 (BOD)	물색과 냄새에 의한 분류(강우 등으로 유량이 급격히 증가한 경우 : BOD수질등급에 의한 분류)					
		1등급(수정같이 맑음)	2등급(비교적 맑음)	3등급(황갈색,바닥녹조)	4등급(흑갈색,바닥이 안보임)	5등급(먹물색,악취가 남)	
14	수면폭대 하천폭비	흐름이 비교적 안정된 하천에서의 저수로 수면폭 대 하천제방폭비					
		1등급 20%이상	2등급 20-10%이상	3등급 10-5%이상	4등급 5-1%이상	5등급 1%이하	

표 3. 박봉진 등의 하천자연도 평가척도

자연도 평가등급	지수 범위(I)	하천의 상태	의미
1등급	1.0≤I≤1.8	자연스러운	자연상태에 아주 가까운
2등급	1.8≤I≤2.6	비교적 자연스러운	비교적 자연상태에 가깝도록 유지되었지만 부분적으로 제한적인 요인이 있음
3등급	2.6≤I≤3.4	제한적으로 자연스러운	전체적으로 자연상태에 가깝다고 볼 수는 있지만, 제한적인 요인이 많음
4등급	3.4≤I≤4.2	자연스러움이 없는	훼손으로 자연상태가 상당히 희박함
5등급	4.2≤I≤5.0	자연스러움이 거의 없는	극심하게 훼손되어 자연상태가 거의 없는

3. AHP 기법

AHP는 의사결정의 목표 또는 평가기준이 다수이며, 복합적인 경우 상호 배반적인 대안들의 체계적인 평가를 지원하는 의사결정지원기법의 하나로써 정성적 요소를 포함하는 다기준 의사결정에 사용된다. 이 기법의 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부요인들로 나누고, 이러한 요인들에 대한 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 중요도를 도출하는 데 있다. 또한 의사결정의 전과정을 단계별로 분석·해결함으로써 의사결정의 객관성을 높이고, 쌍대비교를 통해 도출된 가중치의 일관성을 검증하여 의사결정의 강건성을 제고할 수 있다. 이 기법은 인간의 사고체계와 유사한 접근방법으로 문제를 분석하고 분해하여 구조화할 수 있다는 점과, 모형을 이용하여 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 비울척도화 하여 정량적인 형태로 결과를 얻을 수 있다는 점에서 그 유용성을 인정받고 있다.(그림 1. 참조)

분석절차는 브레인스토밍, 계층구조설정, 가중치산정 및 일관성검증, 평점 및 환류과정의 5단계로 구성되며, 본 연구에서는 가중치산정 및 일관성 검증 단계를 하천자연도 평가항목별 가중치를 산정에 적용하였다.

계층구조를 설정하는 것은 문제의 요소를 동질

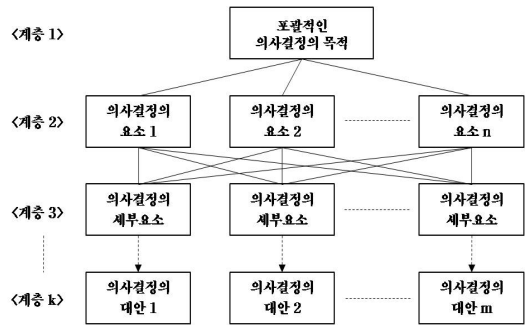


그림 1. AHP의 표준 계층

적인 집합으로 군집화하고 이 집합을 상이한 계층에 배열하는 작업이다. 이 때 각 집합들을 수준 또는 계층이라고 부르며 각 계층은 평가항목으로 구성된다. AHP에서는 문제의 속성을 최종목표와 최종목표에 영향을 미치는 관련 속성들을 계층적으로 세분화하여 계층을 구성한다. 최상위 수준은 문제의 궁극적인 목표를 나타내고, 제1수준은 최종목표에 영향을 미치는 평가기준을 나타낸다. 제2수준은 제1수준에 영향을 미치는 세부 평가기준을 나타낸다. 이러한 과정을 반복하여 문제의 속성을 계층적으로 분화해 간다. 마지막으로 최하위 수준에는 평가 대안들이 존재한다.

쌍대비교로서 두 요소간 상대적 중요도의 측정 결과를 종합하여 요소들간 상대적 가중치를 추정한다. 의사결정자가 한 수준에서 n개의 평가항목

에 대해 nC_2 회의 쌍대비교를 수행하면 실제적인 상대적 가중치를 알 수 있고, 식(1)과 같은 쌍대 비교행렬을 구성할 수 있다.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

이 때 행렬 A 를 구성하는 a_{ij} 는 요소 j 에 대한 요소 i 의 상대적 가중치 $\frac{w_i}{w_j}$ 의 추정치이다. 행렬 A 는 $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, 주대각선의 원소(element)의 값이 모두 1이 되는 성질을 가진 역수행렬이다. 행렬 A 에 평가항목간 상대적 중요도를 나타내는 가중치인 열벡터 $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 를 곱하게 되면, 식(2)의 관계를 갖는다.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw_1 \\ nw_2 \\ \vdots \\ nw_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A \cdot w = n \cdot w \quad (3)$$

여기서 n 은 행렬 A 의 최대 고유치이며 행(또는 열)의 수이다. 식(3)은 n 개의 연립방정식 체계에서 non-zero해를 구하는 고유치 문제이다. 식(3)로부터 w 의 해를 구한 값을 평가항목별 가중치 벡터로 사용한다.

쌍대비교에 의하여 행렬 A 를 얻는 방법은 각 열의 요소의 중요도를 1을 기준으로 한 후, 대각선 상위에 있는 요소들의 상대적인 중요도를 결정한다. 만일 쌍대비교에 의해서 얻어진 행렬 A 의 원 a_{ij} 가 각각 $\frac{w_i}{w_j}$ 의 값을 갖는다면 기수적 일관성, 즉 $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ 가 성립되어야 한다. $a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$ 의 의미는 i 를 j 보다 x 배 중요하게

생각하고, j 를 k 보다 y 배 중요하게 생각한다면 i 를 k 보다 $x \times y$ 배 중요하게 평가한다는 것이다. 그러나, 실제 응답에 있어서는 이러한 일관성이 완전히 지켜지기 어렵기 때문에 행렬 A 의 기수적 일관성을 검증하는 과정이 필요하다. 쌍대비교에 대한 응답이 완전한 일관성을 유지하지 않을 경우 응답의 신뢰성에 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 응답일관성 정도를 비일관성비율(Consistency Ratio, CR)로 나타낸다. 비일관성비율이 0의 값을 갖는다는 것은 응답자가 완전한 일관성을 유지하며, 쌍대비교를 수행하였음을 의미한다. Saaty에 따르면 비일관성비율이 0.1 미만이면 쌍대비교는 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2 미만일 경우 용납할 수 있는 수준의 비일관성을 구비한 것으로 판단한다. 비일관성비율이 0.2 이상이면 일관성이 부족하여 재조사가 필요하다고 제안한다. CR 은 일관성지수(Consistency Index, CI)를 무작위지수(Random Index, RI)로 나눔으로써 계산된다.

한편, AHP에서 설문응답자가 다수인 경우 의견을 종합하는 방법으로는 AIJ (Aggregate Individual Judgements)방식과 AIP (Aggregate Individual Priorities)방식이 있다. AIJ방식은 응답자 개인별 쌍대비교행렬의 기하평균을 이용하여 집단의 쌍대비교행렬을 구성한 다음 집단의 우선순위벡터를 산정하고, AIP방식은 개인별 응답결과로 나온 우선순위벡터를 이용하여 집단의 우선순위벡터를 산정한다. 일반적으로 AIJ방식은 의사결정에 관한 경험적인 자료나 선행연구가 부족하거나 이를 의사결정자가 정확히 알지 못하는 경우에 적용하며, 개인별 쌍대비교로부터 얻어진 모든 쌍대비교행렬의 결과를 기하평균을 이용하여 집단 전체의 쌍대비교행렬을 구하는 방식이다. AIP방식에서는 개인별 능력을 고려하여 응답자 개인별 중요도를 반영할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 AIJ방식으로 개인별 가중치 산정결과를 집단 가중치로 종합하였다. 그런데 조근태(2002)에 따르면 AIJ방식을 적용하는 경우에 분산이 크면 가중치 통합결과의 신뢰성에 문제가 있다고 하였다.

4. AHP 적용

4.1 계층구조

AHP를 적용하기 위해서 그림 2와 같이 박봉진 등의 하천자연도평가법의 평가부문을 제1수준으로 평가항목을 제2수준으로 계층구조를 형성하였다.

4.2 전문가집단 설문조사

평가항목별 가중치 산정을 위하여 표 4와 같이 83명의 전문가집단을 구성하여 설문조사를 실시하였다. 응답자는 대학에서 토목공학 또는 환경공학을 전공하였고 전체 인원의 53%는 하천관련 설계나 용역을 수행하고 있다.

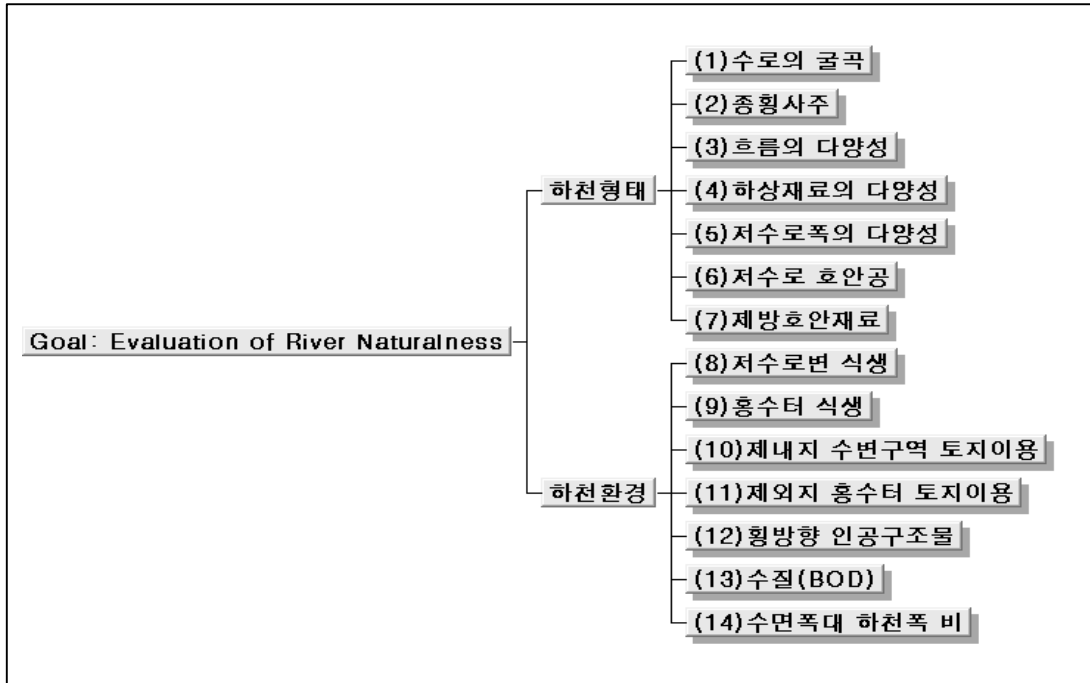


그림 2. 하천자연도평가 계층구조

표 4. 설문조사 전문가 집단의 구성 인원

		전공	토목공학	환경공학	계
직업	대학 교수		4	2	6(7.2)
	공무원		-	12	12(14.5)
	설계 및 용역		22	22	44(53.0)
	건설공사		13	-	13(15.7)
	학생		2	6	8(9.6)
계			41 (49.4)	42 (50.6)	83

()는 구성비율(%)

쌍대비교를 위한 평가항목간의 측정수준은 Interval Scale로 표 5와 같이 적용하였다. 표 5와 같이 하천자연도 평가항목 14개에 대한 설문지를 응답하도록 하였다.

4.3 설문조사 결과 및 가중치 산정

설문응답자의 결과를 분석하면, 모든 응답자의 CR이 0.1이하로서 양호하게 나타났다. 제1수준인 평가부문에 대한 쌍대비교결과는 표 6~7과 같다. 전공별 가중치 산정결과를 살펴보면, 토목공학전공자는 하천형태의 가중치가 하천환경에 비하여

높다고 판단하였고, 환경공학전공자는 하천환경의 가중치를 높게 판단하였다. 표 7과 같이 직업별 가중치 판단을 비교하면, 대학교수와 설계 및 용역 종사자는 하천형태의 가중치가 높았고 나머지 직업군에서는 하천환경의 가중치가 높았다. 전체 표본의 53%를 차지하는 설계 및 용역 직업군의 응답은 상대적으로 표본의 크기에 비하여 분산이 작게 나타나서 집단 내 일관성이 높았으나, 공무원 직업군의 경우 분산이 타 직업군에 비하여 상대적으로 커서 응답자별 선호도 변화가 크다는 것을 알 수 있다.

표 5. 평가척도 및 설문조사 예

질문	매우 중요 (3점)	중요 (2점)	보통 (1점)	중요하지 않음 (1/2점)	전혀 중요하지 않음 (1/3점)
항목 1은 항목 2보다		○			
항목 1은 항목 3보다			○		
항목 1은 항목 4보다		○			
항목 1은 항목 5보다	○				
항목 1은 항목 6보다		○			
항목 1은 항목 7보다		○			

표 6. 평가부문별 가중치 산정결과 (전공별)

평가부문	하천형태		하천환경	
	가중치	분산	가중치	분산
토목공학	0.509	0.00394	0.491	0.00394
환경공학	0.487	0.00470	0.513	0.00466

표 7. 평가부문별 가중치 산정결과 (직업별)

평가부문	하천형태		하천환경	
	가중치	분산	가중치	분산
대학 교수	0.523	0.00423	0.477	0.00423
공무원	0.476	0.00798	0.524	0.00799
설계 및 용역	0.519	0.00354	0.481	0.00352
건설공사	0.484	0.00436	0.516	0.00435
학생	0.465	0.00209	0.535	0.00209

제2수준인 평가항목에 대한 쌍대비교결과는 표 8~9와 같다. 토목공학전공자의 가중치 산정결과는 수로의 굴곡, 흐름의 다양성, 수질 등 3개 항목이 높았고, 수면폭 대 하천폭비, 제내지 수변구역 토지이용 등 2개 항목에서 낮았다. 환경공학전공자는 수질 항목의 가중치가 가장 높았고, 제방 호안재료, 종·횡사주 등에 낮은 가중치가 나타났다. 수질 항목에 대한 가중치가 모든 전공분야에서 높게 산정되었으며, 가중치를 기준으로 상위 7개 항목과 하위 7개 항목을 순위에 관계없이 배열하면, 두 전공분야에서 흐름의 다양성, 저수로 변 식생, 수로의 굴곡, 수질, 저수로폭 다양성, 하상재료의 다양성, 홍수터 식생 항목이 상위에 배치되고, 저수로 호안공, 제외지 홍수터 토지이용, 종·횡사주, 횡방향 인공구조물, 제방호안재료, 제내지 수변구역 토지이용, 수면폭 대 하천폭비 항목이 하위에 배치되어 전공분야에 관계없이 하천자연도 평가항목별 중요도에 대한 판단은 비슷하다는 것을 알 수 있다.

전체 응답자를 대상으로 산정한 평가항목별 가중치와 하천설계 및 용역 직업군의 가중치 산정결과를 비교하면, 근소하게 차이가 있으나 유사한 경향을 나타내고 있다. 전체 응답자를 대상으로 하는 경우에는 수질 항목의 가중치가 0.085로서 가장 높고 종·횡사주 항목의 가중치가 0.064로서 가장 낮다. 설계 및 용역 직업군을 대상으로 하는 경우에는 흐름의 다양성 항목의 가중치가 0.091로서 가장 높고, 수면폭 대 하천폭비 항목의 가중치가 0.061로 가장 낮다. 특징적인 것은 전체 응답자를 대상으로 하는 경우 수질 항목이 1위였으나, 설계 및 용역 직업군에서는 4위로 하락한다. 또한 분산은 전체 응답자를 대상으로 하는 경우 평가항목 중 제방호안재료 항목이 가중치 대비 0.392%로 가장 작았고, 수질 항목이 1.239%로 가장 크다. 하천설계 및 용역 직업군의 경우에는 저수로 폭 다양성 항목이 0.328%로 가장 작고, 수질 항목이 1.357%로 가장 크다.

표 8. 평가항목별 가중치 산정결과 (전공별)

평가항목		토목공학		환경공학	
		가중치	분산	가중치	분산
1	수로의 굴곡	0.086	0.000623	0.075	0.000631
2	종·횡사주	0.064	0.000335	0.062	0.000359
3	흐름의 다양성	0.086	0.000511	0.080	0.000300
4	하상재료의 다양성	0.068	0.000239	0.070	0.000254
5	저수로폭 다양성	0.072	0.000430	0.069	0.000190
6	저수로 호안공	0.069	0.000366	0.067	0.000303
7	제방호안재료	0.063	0.000344	0.065	0.000415
8	저수로변 식생	0.081	0.000699	0.081	0.000758
9	홍수터 식생	0.076	0.001450	0.073	0.000479
10	제내지 수변구역 토지이용	0.062	0.000487	0.069	0.000295
11	제외지 홍수터토지이용	0.067	0.000351	0.066	0.000262
12	횡방향 인공구조물	0.063	0.000389	0.068	0.000340
13	수질(BOD)	0.083	0.000943	0.090	0.001045
14	수면폭대 하천폭비	0.060	0.000344	0.067	0.000605

표 9. 평가항목별 가중치 산정결과 비교 (설계 및 용역)

평가항목		전공	전체		설계 및 용역	
		가중치	분산	가중치	분산	
1	수로의 굴곡	0.077	0.000677	0.077	0.000631	
2	중형사주	0.064	0.000370	0.068	0.000539	
3	흐름의 다양성	0.084	0.000611	0.091	0.000311	
4	하상재료의 다양성	0.069	0.000345	0.074	0.000285	
5	저수로폭 다양성	0.071	0.000354	0.076	0.000249	
6	저수로 호안공	0.069	0.000292	0.069	0.000381	
7	제방호안재료	0.065	0.000255	0.064	0.000510	
8	저수로변 식생	0.080	0.000391	0.081	0.000758	
9	홍수터 식생	0.072	0.000380	0.073	0.000479	
10	제내지 수변구역 토지이용	0.065	0.000371	0.061	0.000295	
11	제외지 홍수터토지이용	0.067	0.000295	0.065	0.000262	
12	횡방향 인공구조물	0.066	0.000346	0.064	0.000340	
13	수질(BOD)	0.085	0.001053	0.077	0.001045	
14	수면폭대 하천폭비	0.065	0.000349	0.061	0.000605	

5. 개선된 하천자연도평가법 적용

5.1 회야강

회야강은 울산광역시 울주군과 경상남도 양산시에 위치한 지방하천으로 유역면적 218.34km², 하천연장은 37.70km이다. 그림 3과 같이 중류부에 회야댐이 위치하여 하류부는 유황이 조절되는 하천이다.

울산광역시 울주군(2008)은 회야강 울주군 구간 27.8km을 22개 구간으로 분할하여 박봉진 등의 하천자연도평가법을 적용하여 하천자연도를 평가하였으며, 그 결과는 표 10과 11이다.



그림 3. 회야강

표 10. 하천자연도평가 평가결과 (상류구간)

평가항목 \ 구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3
2	5	5	5	5	3	4	5	4	1	2	2
3	5	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4
4	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3
5	5	4	4	4	3	4	4	4	3	3	2
6	5	4	1	1	1	1	1	2	4	3	4
7	5	4	3	3	2	5	2	2	5	5	5
8	5	5	2	2	2	1	1	2	1	4	5
9	5	1	1	1	3	1	1	3	3	5	5
10	4	3	3	3	3	2	2	4	4	4	3
11	5	1	1	1	2	1	1	3	3	4	4
12	1	1	1	1	4	1	1	1	4	2	1
13	2	2	2	2	3	3	3	4	4	3	3
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
합계	58	45	38	36	37	35	33	41	44	46	45
평균	4.1	3.2	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.9	3.1	3.3	3.2
등급	4	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3

표 11. 하천자연도평가 평가결과 (하류구간)

평가항목 \ 구간	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3	2
2	3	3	2	4	4	4	5	4	1	3	2
3	3	4	4	4	3	4	4	3	1	2	3
4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
5	3	4	3	4	3	4	4	3	2	3	3
6	4	1	1	2	2	2	5	1	1	1	1
7	5	4	5	3	3	4	5	4	3	4	5
8	1	2	5	3	2	3	5	1	1	2	2
9	5	5	5	3	3	3	5	3	1	1	3
10	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
11	1	2	4	2	2	2	4	2	1	1	1
12	1	5	5	4	5	5	1	5	5	5	5
13	2	2	4	3	3	2	3	4	3	3	3
14	2	1	1	1	3	1	1	1	2	2	1
합계	40	43	49	43	43	44	52	41	27	35	36
평균	2.9	3.1	3.5	3.1	3.1	3.1	3.7	2.9	1.9	2.5	2.6
등급	3	3	4	3	3	3	4	3	2	2	3

하천자연도평가법에 가중치를 적용하는 방법은 전체 응답자를 대상으로 산정된 가중치를 적용하는 방법(I), 전공별 가중치를 적용하는 방법(II, III)과 하천설계 및 용역 직업군을 대상으로 산정된 가중치를 적용하는 방법(IV)으로 구분하였다. 적용한 결과는 표 12와 13과 같다. 가중치 적용 전·후를 비교하면 하천자연도 평가점수는 평균 2.95에서 2.97(I), 3.0(II), 2.97(III), 3.0(IV)으

로 각각 증가하였고, 방법(IV)의 경우 상류의 제1구간을 4등급에서 5등급으로 제6구간을 2등급에서 3등급으로 판정되어 자연성이 훼손된 구간의 변별력이 있는 것으로 판단된다.

한편, 방법(IV)와 박봉진 등의 방법에 의한 구간별 하천자연도 변화를 살펴보면, 전체 22개 구간 중 10개 구간에서 평균 0.1의 하천자연도가 상승 하고 있다.

표 12. 개선된 하천자연도평가법 평가결과 (상류구간)

구분	구간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		전체 (I)	합계	58.1	45.4	38.2	36.3	37.2	35.3	33.4	41.5	44.2
	평균	4.2	3.2	2.7	2.6	2.7	2.5	2.4	3.0	3.2	3.3	3.3
	등급	5	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
토목전공 (II)	합계	58.8	45.8	38.6	36.7	37.5	35.6	33.8	41.9	44.3	46.6	45.9
	평균	4.2	3.3	2.8	2.6	2.7	2.5	2.4	3.0	3.2	3.3	3.3
	등급	5	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
환경전공 (III)	합계	57.8	45.2	38	36.1	37.4	35.1	33.3	41.6	44.3	46.3	45.6
	평균	4.1	3.2	2.7	2.6	2.7	2.5	2.4	3.0	3.2	3.3	3.3
	등급	4	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3
설계용역 (IV)	합계	59.0	46.2	39.0	36.9	37.4	35.8	34.0	41.8	44.1	46.3	45.8
	평균	4.2	3.3	2.8	2.6	2.7	2.6	2.4	3	3.2	3.3	3.3
	등급	5	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3

표 13. 개선된 하천자연도평가법 평가결과 (하류구간)

구분	구간	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		전체 (I)	합계	39.8	43	49.6	43.3	42.8	43.9	52.3	41	26.6
	평균	2.8	3.1	3.5	3.1	3.1	3.1	3.7	2.9	1.9	2.5	2.6
	등급	3	3	4	3	3	3	4	3	2	2	3
토목전공 (II)	합계	40.2	43.3	49.9	43.6	42.8	44.2	52.8	41.1	26.2	34.6	35.9
	평균	2.9	3.1	3.6	3.1	3.1	3.2	3.8	2.9	1.9	2.5	2.6
	등급	3	3	4	3	3	3	4	3	2	2	3
환경전공 (III)	합계	45.6	39.7	43	49.9	43.3	42.9	43.9	52.1	41.1	27	35
	평균	3.3	2.8	3.1	3.6	3.1	3.1	3.1	3.7	2.9	1.9	2.5
	등급	3	3	3	4	3	3	3	4	3	2	2
설계용역 (IV)	합계	40.1	43.4	49.7	43.7	42.9	44.4	52.8	41.0	26.4	34.6	36.0
	평균	2.9	3.1	3.5	3.1	3.1	3.2	3.8	2.9	1.9	2.5	2.6
	등급	3	3	4	3	3	3	4	3	2	2	3

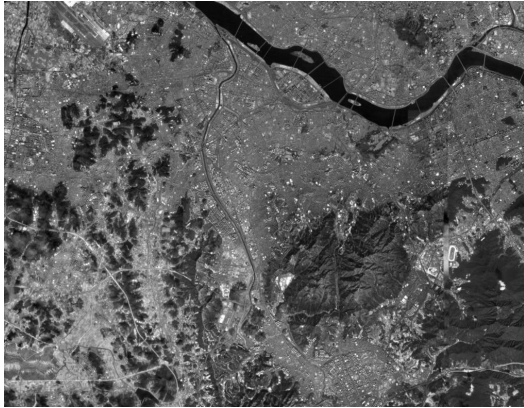


그림 4. 안양천

5.2 안양천

안양천은 유역면적 286km², 유로연장 32.5km, 유역평균폭은 8.34km, 하상경사는 상류부 약 1/590, 하류부 약 1/1,000 이다. 안양천은 그림

4와 같이 경기도 의왕시에서 발원하여 군포시, 안양시를 관류한 후 서울시에서 한강으로 유입한다.

한국수자원공사(2003)는 안양천을 8개 구간으로 구분하여 박봉진 등의 평가방법으로 하천자연도를 평가하였다. 박봉진 등의 평가방법을 적용하여 산정된 하천자연도와 본 연구에서 산정한 평가항목별 가중치 중에서 하천설계 및 용역 직업군을 대상으로 산정한 가중치를 적용하여 산정된 하천자연도는 표 14와 같다.

안양천은 자연성이 상당히 훼손된 도시하천으로 표 14와 같이 가중치를 적용하기 전에는 전체 8개 구간 중에서 하천자연도 등급이 3등급 1개, 4등급 6개, 5등급 1개의 구간으로 평가되었으나, 가중치를 적용한 후에는 3등급 구간은 없고 4등급 4개, 5등급 4개의 구간으로 평가되고 있다. 또한 5개 구간에서 평균 0.12의 하천자연도가 상승하고 있다.

표 14. 하천자연도평가법 평가결과 비교 (안양천)

구분	구간	1	2	3	4	5	6	7	8
		가중치 적용전	합계	58.0	47.0	58.0	55.0	57.0	58.0
	평균	4.1	3.4	4.1	3.9	4.1	4.1	4.2	4.0
	등급	4	3	4	4	4	4	5	4
가중치 적용후	합계	60.0	47.7	58.7	55.6	57.9	59.0	59.9	56.5
	평균	4.3	3.4	4.2	4.0	4.1	4.2	4.3	4.0
	등급	5	4	5	4	4	5	5	4

표 15. 하천자연도평가법 평가결과 비교 (아미천)

구분	구간	1	2	3	4	5	6	7	8
		가중치 적용전	합계	35.0	35.0	35.0	39.0	30.0	33.0
	평균	2.5	2.5	2.5	2.8	2.1	2.4	2.4	2.5
	등급	2	2	2	3	2	2	2	2
가중치 적용후	합계	34.8	35.4	34.2	38.4	29.9	32.6	32.6	34.8
	평균	2.5	2.5	2.4	2.7	2.1	2.3	2.3	2.5
	등급	2	2	2	3	2	2	2	2

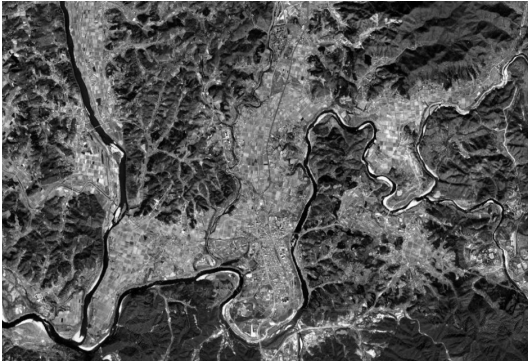


그림 5. 아미천

5.3 아미천

아미천은 경기도 연천군에 위치한 지방하천으로 유역면적은 49.95km², 유로연장은 21.16km, 유역평균폭은 2.36km이다. 아미천은 그림 5와 같이 전형적인 산지, 농촌하천으로 비교적 자연상태를 잘 유지하고 있다. 경기도(2007)는 아미천을 8개 구간으로 구분한 후 박봉진 등의 평가방법으로 하천자연도를 평가하였으며, 표 15와 같이 본 연구에서 산정한 평가항목별 가중치 중에서 하천설계 및 용역 직업군을 대상으로 산정한 가중치를 적용하여 산정한 하천자연도를 비교한 결과로는, 가중치 적용 전·후의 하천자연도 등급 변화를 없으나, 전체 8개 구간 중 4개 구간에서 평균 (-)0.1의 하천자연도가 감소하였다.

6. 결 론

하천환경정비 사업을 위한 하천자연도평가에 박봉진 등이 개발한 하천자연도평가법을 적용하는 과정에서 평가항목별 가중치를 산정하기 위해 AHP기법을 적용하였다.

토목공학과 환경공학을 전공한 5개 직업군 83 명으로부터 설문조사를 시행하고, 평가항목간 쌍대비교를 하여 평가항목별 가중치를 산정한 후 실험하천에 적용한 결과는 다음과 같다.

1. 토목공학을 전공한 응답자는 하천형태를 하

천자연도 지표로 선호하였고, 환경공학을 전공한 응답자는 하천환경을 하천자연도 지표로 선호하였으나, 차이는 미미하였다.

2. 가중치 산정 결과를 보면, 모든 응답자에 대해서 수질, 흐름의 다양성, 저수로변 식생, 수로의 굴곡, 홍수터의 식생, 저수로 폭 다양성, 하상재료의 다양성 등 7개 항목의 가중치가 높게 산정되었다. 이는 하천자연도에 대한 선호도를 반영하는 것으로 가중치가 높은 항목을 우선 개선하는 것이 효율적인 하천환경정비사업 방향이 될 수 있다.
3. 개선된 하천자연도평가법을 회야강에 적용한 결과에서 설계 및 용역 직업군을 대상으로 산정된 가중치를 사용하는 경우, 자연성이 훼손된 구간에 대한 변별력이 있는 것으로 판단되었다.
4. 개선된 하천자연도평가법을 비교적 자연성 훼손이 심한 안양천, 자연성이 잘 유지되고 있는 아미천에 적용한 결과에서 안양천의 하천자연도는 상승하고 아미천은 감소하였다. 여기서 하천자연도가 높은 것은 자연성이 훼손된 것을 의미한다. 하천자연도 등급의 경우에는 아미천에서는 변화가 없었으나 안양천은 자연성이 완전히 훼손된 것을 의미하는 5등급 구간이 기존 방법에서는 1개 구간이었으나 개선 방법에서는 5개 구간으로 평가되었다.
5. 따라서 하천환경정비사업 등에서 사업구간을 선정하기 위한 하천자연도평가법으로 개선된 방법을 적용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 울산대학교 교내 연구비에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

경기도, 차탄천수계 하천기본계획, pp. 250-251,

2007.
국토해양부, 생태하천 조성계획·설계요령, pp. 1-2, 2009.
- 국토해양부, 자연친화적 하천관리지침, pp. 61-65, 2002.
- 김동찬, 이정, 박익수, 자연형 하천복원을 위한 하천자연도 평가-수원천을 중심으로, 한국조경학회지, 한국조경학회, 제27권, 제5호, pp. 138-149, 2000.
- 박봉진, 신종이, 정관수, 하천의 생물서식처 복원을 위한 하천자연도평가: I 평가방법의 제안, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제1호, pp. 44-46, 2005.
- 박태선, 계층분석법을 이용한 하천의 중요도 평가 기법, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp.686-688, 2002.
- 울산광역시 울주군, 회야강 마스터플랜, pp. 95-101, 2008.
- 이상일, 이상신, 한강에서의 강변여과수 개발을 위한 적지선정 및 개발가능량 산정(1), 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제41권, 제8호, pp. 828-829, 2008.
- 이재문, 이상일, AHP기법을 이용한 계획하폭 선정-입천에의 적용 사례연구, 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제40권, 제12호, pp. 932-933.
- 조근태. 기술대안의 전략적 평가를 위한 AHP적용에 있어서 평가자 신뢰성을 고려한 가중치 통합. 경영과학, 한국경영과학학회, 제19권, 제2호, pp. 140-142, 2002.
- 조용현, 생태적 복원을 위한 중소하천 자연도 평가 방법 개발. 박사학위논문, 서울대학교, pp. 53-85, 1997.
- 한국수자원공사, 하천자연도 평가지침, pp. 9-20, 2003.
- 환경부, 수생태 건강성 회복을 위한 하천복원 모델과 기준, 조사계획 수립 연구 최종보고서(III) 수생태 건강성 조사계획 수립 및 지침, pp.306-321, 2007.
- Saaty, T.L., a Scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, pp. 234-281, 1997.

- 논문접수일 : 09년 09월 28일
- 심사의뢰일 : 09년 09월 30일
- 심사완료일 : 09년 12월 02일