

하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목 및 지표 개발

Items and Indicators of Evaluation for Decision of Priority
in Improving River Water Quality

박종석 전남대학교 토목공학과 강사(제1저자)
Park Jongseok Adjunct Prof., Dept. of Civil Engineering,
Chonnam National Univ.(Primary Author)
(victorypjs@jnu.ac.kr)

이경훈 전남대학교 토목공학과 교수(교신저자)
Rhee Kyunghoon Prof., Dept. of Civil Engineering,
Chonnam National Univ.(Corresponding Author)
(water@jnu.ac.kr)

목 차

I. 서론

II. 연구 문헌 고찰

1. 분야별 등급화 연구 사례
2. 국내외 하천 등급화 연구 사례

III. 모델 구성 및 지표 설정

1. 평가 항목 설정
2. 평가 항목 지표 구간 설정
3. 평가 항목별 가중치 산정

IV. 평가 항목 분석 결과

1. 평가 항목 지표 구간 결과
2. 평가 항목별 가중치 산정 결과

V. 결론

I. 서론

하천은 국토의 동맥으로서 국가 경제발전과 국민 복지향상을 위한 다양한 기능, 즉 생물 서식처를 제공하는 하천환경기능, 친수·문화 활동공간을 제공하는 친수·문화기능, 용수를 공급하는 이수기능, 홍수를 소통시키는 치수기능 등을 가지고 있다. 이들 기능의 극대화를 도모하기 위해서는 기능 간 균형과 조화를 이룰 수 있도록 통합적으로 하천을 관리하는 것이 중요하다(김희근, 2011). 더불어 수자원 확보와 수질관리가 주요 관심사로 대두되면서 수계 내 하천이나 호소 수질개선을 위한 다양한 연구가 수행되고 있다(정연훈 외, 2005; 정광욱 외, 2006; 신운숙 외, 2008; 광재원 외, 2008; 박종석 외, 2011).

우리나라 물환경 정책은 물환경관리 여건과 수요 변화에 따라 빠르게 진화해 왔다. 1990년 초반 독성물질 유출과 같은 대규모 오염사고에 대한 단편적인 사후 대책에 정책의 초점을 맞추면서 출발하였다. 1990년 중반 이후 환경투자 증대를 위한 환경기초시설 확충과 유기오염 개선 등 상수원 수질개선을 목적으로 4대강 물관리 종합대책이 수립되면서 유역공동체를 중심으로 하는 사전 예방적 유역관리 정책으로 전환되었다. 하지만 상수원 보호를 목적으로 수질관리에 중점을 두었던 4대강 물관리종합대책에는 연안 지역이나 4대강을 제외한 기타 수계는 관리대상에서 제외하였다. 2006년 4대강 물관리종합대책의 계획기간(1998~2005)이 완료되면서 「수질 및 생태계 보전에 관한 법률」의 규정에 따라 10개년 물환경관리 기본계획(2006~2015)이 수립되었다. 그리고 물환경관리기본계획을 뒷받침하는 실행계획으로 생태적으로 건강한 하천환경관리체계를 마련하기 위한 생태하천 만들기 10년 계획(2006~2015)이 수립되었다(유경애, 2009; 환경부, 2007a). 하천의 환경적 중요성이 정부 차원에서 논의되기 시작하여 이에 대한

연구가 진행 중(이범희, 2010; 이상돈, 2010; 이상돈·김석철, 2008)이나 하천 수질의 종합적 관리를 위한 연구는 미비한 편이다.

정부는 4대강 물관리종합대책을 수립하고, 삭감 시설을 확충하는 등의 노력을 하고 있다. 그렇지만 대부분의 지방자치단체에서는 대상 하천에 대한 정확한 진단이나 체계화된 방법이 아닌 지방자치단체의 지역 특성이나 재정 측면에 의해 삭감시설이 설치되고 있어 시설에 대한 효과를 담보할 수 없는 실정이다(김홍수 외, 2007; 조병욱 외, 2009). 실질적으로 수질개선이 필요한 하천을 선정하고 이를 개선하기 위한 구체적인 절차나 방법 등이 마련되어 있지 않다. 그러므로 수질개선을 위해 오염원 유입을 차단하거나 오염원 저감 대책을 시급하게 시행해야 하는 하천이 오히려 우선순위에서 밀리는 현상이 발생하고 있다. 유역 내 오염원 제어 및 하천 수질개선을 효과적으로 달성하기 위해서는 해당 하천유역을 정확히 진단하고, 필요에 따라 하천유역을 선정하여 제한된 재정여건에서 선택과 집중을 통한 방법이 중요하다. 더불어 하천 수질을 유지관리하기 위해서는 무엇보다도 체계적이고 정확한 하천 평가가 이루어져야 하지만 현재 하천 수질 평가 지표들을 체계적으로 결합하지 못하고 있는 실정이다(조병욱, 2010). 하천의 정확한 평가는 하천관리를 위한 기초단계일 뿐 아니라 오염된 하천 수질을 개선하기 위한 우선순위 선정, 오염원에 따른 방안 등 유용한 정보를 제공할 것이다. 따라서 하천을 관리하기 위하여 다양한 관점에서 과학적이고 체계적인 하천 평가에 대한 지표 및 지수화가 필요하며, 하천 수질개선 우선순위를 결정하기 위한 등급화 기준을 마련할 필요가 있다.

본 논문에서는 하천 수질에 영향을 미치는 다양한 인자를 설정하고 하천 수질을 체계적이고 객관적으로 평가할 수 있는 평가 항목 및 지표를 개발하도록 한다. 평가 항목은 수질오염총량관리 계획과 연계하

여 평가할 수 있도록 하며, 평가 항목에 따른 지표 점수의 총합으로 하천 수질을 등급화하여 수질을 평가하도록 한다. 그리고 AHP기법을 통한 계층화된 평가 항목을 대상으로 지표별 복합 가중치를 이용한 전체 평가 항목의 우선순위 모형을 도출함으로써, 향후 하천 수질개선 시 요구되는 의사결정과정의 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 하천 수질개선사업의 우선순위를 산정할 수 있는 논리적 근거와 객관성을 마련하는 데 연구의 목적이 있다.

II. 연구 문헌 고찰

1. 분야별 등급화 연구 사례

등급화는 표준화된 자료를 수량적 조절을 통하여 순차적으로 일정 간격으로 분할하거나, 분산된 자료를 수집하여 순차적으로 등급을 매기는 일련의 과정이라 할 수 있다. 그리고 표준화는 조사 대상물에 대한 과학적 조사에 따라 상대적 척도에 대한 동일한 기준을 발견하고, 그것을 모든 관련 과정에서 동일한 척도로 만들어가는 표준화된 일련의 과정을 의미한다(한국산지보전협회, 2005). 등급화는 공학, 생물학, 농학, 관광학 등 다양한 학문 분야에서 연구되고 있으며 국내외 발표된 등급화 관련 연구를 살펴보면, 공학 분야에서 김광일(2011)은 화재 취약성에 따른 등급화 방안으로 취약성 등급 평가 항목을 8개로 구분하고 취약성 영향에서 '중요함(20), 필요함(10), 일반적임(5)'으로 점수를 부여하였다. 그리고 항목 평가에 가중치를 부여하여 5개 등급으로 취약성을 구분하였다. 교량의 세굴위험도 평가 및 등급화는 기초-지반 시스템의 지지력 감소로 인한 안전을 변화를 기준으로 등급을 구분하였다(곽기석 외, 2006; 박재현 외, 2008). 이러한 등급화는 현장조사를 통하여 도출된 경험식을 바탕으로 이루어졌다. 또한 김정대

외(2008)는 국내 폐목재 특성 분석을 통하여 등급화를 평가하였는데, 등급화 방법은 독일 폐목재 등급화와 연구 결과를 바탕으로 우리나라 폐목재 등급화 방안을 검토하였다. 김경석(2008)은 2개의 서브모델과 이들을 통합한 통합모델로 구성된 모형을 제시하였다. 서브모델은 사고기반 곡선부 안전도 등급화 모델로 도로의 기하구조와 교통사고율을 기준으로 안전도 판단지수를 도출하고 이를 다시 4개 등급으로 구분하여 도로의 안전도를 판단하였다. 또 다른 서브모델은 속도기반 곡선부 안전도 등급화 기법으로 곡선부에 진입하기 전에 있는 직선구간에서의 최대 속도와 곡선부에서의 최저속도 간의 속도 차에 따라 4개 등급으로 구분하여 도로의 안전도를 판단하였다.

생물학 분야에서 이기섭 외(2004)와 강태한 외(2011)는 조류에 의한 갯벌 등급화 기준을 설정하여 갯벌을 평가하였는데, 갯벌의 등급은 절대 등급화와 상대 등급화 두 가지 방법을 사용하였다. 절대 등급화는 개체수, 보호종, 보호종의 개체수, 생존 집단의 1% 기준을 초과하는 종수, 국내 도래 집단의 1% 기준을 초과하는 종수 등 다섯 가지 요인을 설정하였으며, 상대 등급화는 도래 개체수, 도래 밀도, 종다양도 지수, 종풍부도 지수, 종균등도 지수, 안정지수 등을 구한 후 갯벌의 순위를 부여하였다. 그리고 변명섭 외(2009)는 수계 건강성 평가를 나타내는 어류생물 지수(Index of Biological Integrity: IBI)와 수질 환경 요인 간의 상관관계를 파악하기 위하여 Pearson 상관계수를 계산하였고, 어류생물지수에 미치는 수질 환경요인을 파악하기 위하여 단계적 중회귀분석을 실시하였다. 또한 각 변수의 단위를 맞추기 위해 각 변수를 표준화변수로 환산하여 어류를 이용한 수질평가 기준 등급을 4등급으로 산정하였다.

해양 생태계 분야에서는 영양염 농도와 부유생태계 변화 사이의 상관관계를 파악하고, 이에 근거하여 수질관리를 위한 수질 성분들의 목표 값이나 기

준값을 해역별로 설정·제시하고 있다(Karydis et al. 1983; Karydis and Coccossis. 1990; Ignatiades et al. 1992; EPA. 2007; EHMP. 2008). 미국 EPA의 경우, 수질 인자들의 농도를 'Good, Fair, Poor'의 3등급으로 구분하여 전 연안역을 평가하고 있다(EPA. 2007). 우리나라는 해역의 수질관리를 위해 수소이온농도, 화학적 산소요구량, 용존산소, 총질소 및 총인과 같은 항목에 대한 기준을 설정하여 I, II, III등급으로 구분하고 있다(임동일 외. 2011). 임동일 외(2011)는 로그 변환에 의해 정규화된 자료의 평균과 표준편차를 이용하여 우리나라 연안역에 분포하는 수질성분들의 농도를 4개의 상대적 등급으로 구분하였다. 또한 매립지의 유해성을 등급화하기 위하여 다요소 의사결정기법에 정성적 위해성 평가기법을 접목시킨 모형 개발자의 주관적 가중치가 내재된 LHR(Landfill Site Hazard Ranking)모형을 정립하였으며(홍상표·김정욱. 1997a), 가중치합산법을 이용하여 매립지의 상대적 유해성을 등급화하였다(홍상표·김정욱. 1997b). 토양 생태 등급화 연구에서 기동원·박준홍(2006)은 연구대상 지역의 토양미생물의 종 다양성을 측정 후, 실험 측정치와 기존 토양자료의 물리적 특성, 화학적 특성, 토지이용 그리고 동식물 종 다양성 값들을 다변수통계적 기법으로 상관관계를 분석하여 가중치를 부여하였다.

농학 분야에서는 산림화재의 종합위험등급을 설정하기 위해 산림화재 발생 가능성, 화재 확산속도에 주요한 영향을 미치는 여섯 가지 인자를 규정하였다. 여섯 가지 인자들에 대한 개별적 위험성을 열분석 실험 및 외국의 산림화재 위험성 평가 자료 고찰을 통하여 설정하였으며, 위험성 등급에 대해 가중치를 두어 산림화재 종합위험등급을 개발하였다(김동현 외. 2000). 한국산지보전협회(2005)는 산림건강 모니터링 조사지표 개발·개선 및 표준등급화 방안을 위하여 식생조사 및 토양조사를 통하여 자료 특성에 따른

수량화를 실시하여 다변량분석기법 중 요인분석, 상관분석, 회귀분석을 통하여 산림건강지표를 개발하고 산림건강지표를 활용하여 표준화 및 등급화를 실시하였다.

관광학 분야에서는 농촌관광 시설 및 서비스 표준화와 등급화를 위하여 6개 중분류를 34개로 소분류하여 각 항목은 5점 척도로 평가토록 하였다. 평가자의 5점 척도 평가치와 각 항목의 가중치를 곱하여 최종 평가점수를 산출하여 등급화하였다. 가중치 계산방법은 항목별 중요도에 대한 평균값에서 최댓값과 최솟값을 각각 산출한 후 최댓값에서 최솟값을 빼 후 이 값을 등급수 5로 나눈 값을 소항목 가중치로 산정하고, 도민조사에서 6개 중분류 항목의 우선순위 조사 결과를 이용하여 중항목 가중치로 산정하였다. 최종 가중치는 소항목 가중치와 중항목 가중치를 곱한 값으로 설정하였다(농어촌연구원. 2003). 오현준(2009)은 AHP 기반의 동남아 패키지 투어 관점별 등급화 지표 연구를 하였다.

2. 국내외 하천 등급화 연구 사례

국내외 하천 등급화 연구는 미비한 수준이며, 대부분 하천환경, 하천 자연도 평가 등 일부분야에서 수질 항목을 반영하여 평가하고 있는 실정이다. 국내외 발표된 하천 등급화 관련 문헌을 살펴보면 이상진(2003)은 금강 중·하류권역 중에서 미호천 합류 후부터 금강하구언까지 충청남도 유역에 위치한 제 1지류 하천 및 환경기초시설에서 분석된 BOD₅ 평균농도와 산출된 유량을 바탕으로 하천의 규모별로 금강 본류에 유달하는 오염물질의 특성을 파악하고, 수환경 관리대책의 우선순위를 설정하고자 4개 그룹으로 분류하였다. 분류 방법은 X축에 BOD₅ 평균농도를 대입하고, Y축에 유량(m³/min)을 log값으로 표현하였다. 이때의 X축은 BOD₅ 목표수질이 2.0mg/l인

표 1 _ 비점오염원 관리지역 선정을 위한 수질 평가 기준

등급	BOD(mg/ℓ)	TN(mg/ℓ)	TP(mg/ℓ)
I	0~30	0~5	0~0.5
II	30~60	5~15	0.5~1.5
III	60~120	15~30	1.5~3
IV	120~250	30~60	3~5
V	250~750	60~150	5~14

출처: 박상현, 2010, p17.

점을 감안하여 BOD₅ 평균농도가 2.0mg/ℓ인 지점에서 교차토록 하였다. 그리고 김홍수 외(2007), 임봉수 외(2010), 조병욱 외(2009) 역시 하천그룹화 방법을 이용한 수질개선 하천유역의 우선순위 산정을 위하여 이상진 외(2003)와 동일한 방법으로 하천의 수질 관리 우선순위를 선정하였다. 김종오 외(2004)는 하천의 기능성 중에서 하천 환경기능에 초점을 두어 하천평가를 실시하였다. 이에 하천의 자연도와 수질 및 유량을 조사하고, 토지이용도를 각각 등급화하여 전체 하천환경 평가의 틀을 마련하고자 하였다. 김광목·이승복(2004)은 정량·정성적 분석을 통한 하천 등급 결정기준을 제시하였다. 하지만 환경적인 하천 등급이 아닌 「하천법」에 기반을 둔 등급체제로 하천의 중요도에 가장 큰 영향을 미치는 하천의 유역면적을 기준으로 국가하천, 지방 1급 하천 및 지방 2급 하천의 결정기준을 제시하였다.

김석규(2006)는 하천정비의 효과와 하천환경기능을 포함한 종합적인 평가를 위해 하천자연도 평가 및 전 과정 평가, 어메니티 평가, 경제적 편익평가방법을 제시하였다. 김진호 외(2007)와 최철만 외(2008)는 농촌유역 소하천의 수질 상태를 파악한 후 이를 바탕으로 다변량 분석법 중 하나인 판별분석을 실시하여, 우리나라 소하천 수질 상태에 맞는 수질등급모형을 개발하였다. 이현준·안광국(2009)은 국내 인공호 영양상태를 평가할 수 있는 새로운 기준의 제안을 위해 호소 영양상태에 영향을 줄 수 있는

다변수 수질평가 모델(Multi-Metric Water Quality Assessment: MWQA) 즉, 화학적, 물리적, 생물학적 그리고 수리 수문학적 변수를 이용한 총체적 호소 평가기법을 개발하여 호수에 적용하여 모델에 대한 평가와 검정을 실시하였다. 박상현(2010)은 비점오염원 관리지역 선정 시 필요한 영향요소인 하천접도, 경사도, 토지이용도, 표고, 비점 배출부하밀도(BOD, TN, TP)에 대하여 등급기준을 적용하여 평가하였고, 다양한 조건에 대한 우선순위를 제시하였다.

환경부(2007a)의 생태하천 만들기 10년 계획은 물환경관리기본계획을 뒷받침하는 실행계획으로 향후 10년간 추진할 하천 생태복원사업의 기본 지침으로 활용하며, 하천자연도 등급을 설정하였다. 하천자연도 판정기준은 하천 호안의 식생 및 하도의 자연성을 나타내는 하천자연도 개념을 도입하고 물리, 화학, 생물 특성을 종합적으로 고려하는 학술적 개념보다는 인간의 간섭 정도를 판단하는 행정적 개념으로 설정하였다. 하천자연도 1등급인 하천은 하천정비를 제한하고, 하천자연도 등급에 따라 하천복원 우선순위를 결정한다.

환경부(2007b)는 개정된 「수질환경보전법」의 비점오염원 관리지역 도출과 운영을 위한 세부 방안 마련을 위하여 국내외 비점오염원 관리 실태를 분석하였다. 특히 비점오염원 관리가 잘되고 있는 선진국의 비점관리기법 및 제도에 대하여 검토하였으며, 전국을 대상으로 수계별 비점기여율 산정과 주요 비점오염물질을 바탕으로 한 비점오염원 관리지역 지정 등을 검토하였다. 연구 결과, 「수질환경보전법」에 의해 관리지역으로 지정할 수 있는 지역은 「환경정책기본법」 시행령 제2조에 따른 하천 및 호소의 수질에 관한 환경기준에 미달하는 유역으로 유달부하량 중 비점오염기여율이 50% 이상인 지역, 비점오염물질에 의하여 자연생태계에 중대한 위해를 초래하거나 초래할 것으로 예상되는 지역, 인구 100만 명 이상의 도

시로 비점오염원 관리가 필요한 지역, 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에 따른 국가산업단지 또는 지방 산업단지로 지정된 지역에서 비점오염원 관리가 필요한 지역, 지질·지층구조가 특이하여 특별한 관리가 필요하다고 인정되는 지역, 그 밖에 환경부령으로 정하는 지역으로 지정하였다.

송주일(2008)은 하천환경정비와 관련된 의사 결정과 계획의 합리성, 질적 수준을 향상시키기 위해 하천 상태를 평가하고 적절한 조치를 강구할 수 있는 도시하천 평가기법을 개발하였다. 평가 항목 선정을 위하여 변이 측과 하천의 발달, 생태환경, 인간 활동, 희귀성, 특이성 등을 고려하고 기존 연구들을 참고하여 53개의 평가 항목을 도출하였다. 53개의 평가 항목은 10개의 평가 부문의 구성요소로 분류하고, 10개의 평가 부문은 제방특성, 하천특성, 생태환경특성의 구성요소가 되게 하였다.

그리고 평가부문 간 가중치 산정을 위해 설문조사를 실시하고 계층적 분석법(AHP)을 이용하여 분석하고 가중치를 산정하였다.

이준호 외(2003)는 하천 복원을 위하여 하천 자연성을 평가하는 방법에 관하여 국내외의 연구사례를 조사·분석하고 국내에 적합한 평가 방법을 제시하였다. 평가 항목은 구간별로 생태계 기반을 형성하는 물리적 구조의 특성을 평가하기 위하여 수로의 발달, 종단면, 횡단면, 하상구조, 저수로, 하천 주변 부문으

로 설정하였으며, 하천의 수질평가 항목을 추가하여 총 7개 부문을 설정하였다. 수질 부문은 조사 구간에 BOD의 측정 자료가 있을 경우에는 하천수질기준에 따라 1~5등급으로 구분하여 이를 직접 부문별 점수화하고 측정 자료가 없을 경우에는 물의 색, 부유물의 정도, 물의 냄새, 조류 등을 이용하여 평가 기준을 선정하였다. 그리고 사용된 척도는 하천자연도의 저감 정도에 따라 5점의 점수를 부여하였으며, 점수의 위계는 가장 자연에 가까운 좋은 상태를 1점, 가장 자연에서 먼 나쁜 상태를 5점으로 하였다. 집계과정은 부문별로 항목지수의 단순평균을 계산하고, 이를 부문 지수로 하였으며, 7개 부문지수를 다시 단순 평균하여 총괄지수를 계산하였다.

국외에서는 하구 건강성 평가 사례로 호주 퀸즐랜드주는 1999년부터 생태계 건강성 모니터링 프로그램을 통해 Moreton만을 중심으로 한 퀸즐랜드주 남동부 지역의 하천과 하구, 만을 대상으로 매년 생태계 건강성 평가 결과를 작성해 공개하고 있다(<http://www.chmp.org>). 하구 건강성 평가는 18개 하천, 18개 하구, Moreton만 등 37개 지역을 대상으로 이루어지고 있으며, Moreton만의 경우 9개 소유역으로 분할하여 평가한 뒤 이를 종합하여 건강성을 제시하고 있다. 건강성을 평가하기 위한 지표는 크게 생태계 건강지수(Ecosystem Health Index: EHI)와 생물건강지수(Biological Health Rating: BHR)로 나누어져 있다. EHI는 TN, Chl-a, 탁도, TP, DO 등 다섯 가지 항목을 포함하고 있으며, BHR은 영양염류, 15N, 연안식생으로 구성되어 있다. 하구 건강성을 평가할 때 EHI는 70%, BHR은 30%(영양염류와 15N 15%, 연안식생 15%)의 비중을 반영한다. 생태계 건강성은 상태가 가장 양호한 A등급부터 생태계 건강성이 가장 나쁜 F등급까지 다섯 개의 등급으로 구분하고 있다.

또한 하천 건강성을 평가하는 미국 워싱턴주의 RSAT(Rapid Stream Assessment Technique)는 화학

표 2_ 도시하천 평가 부문의 BOD 항목 평가 기준

구분	평가 기준		점수
	수질기준(BOD ₅)	등급	
BOD ₅	1mg/l 미만	I	5
	1~3mg/l 미만	II	4
	3~6mg/l 미만	III	3
	6~8mg/l 미만	IV	2
	8mg/l 이상	V	1

자료: 송주일, 2008. p68.

적, 생물학적, 물리적 지표를 포함하여 사용하고 있으며, 하천의 건강성을 간단하고 신속한 답사를 통하여 평가한다(Galli, 1996). RSAT 시스템은 미국 환경청의 신속한 생물평가 프로토콜(Plafkin et al. 1989), Izaak Walton League와 Save Our stream의 하천조사 기술(Kellog. 1994), 미국 농무부 수질 지표 가이드(Terrell and Perfetti, 1989) 등 다년간에 걸친 지역 하천 조사 경험의 결과물이다. RSAT는 준거 하천과 결합된 수학적 점수와 서술적 등급법을 적용하고 있으며, 6개 평가 항목의 정량적 자료를 제공하기 위해서 하천을 따라 대략 100m 간격으로 측정된 30개 이상의 물리적, 화학적, 생물학적 변수의 엄격한 현장평가

지침을 적용하고 있다(Galli, 1996).

Nives(1999)는 Dalmatia의 수질을 평가하기 위하여 수질 지표를 사용하였다. 그는 9개의 수질항목을 사용하여 수질등급을 나타냈으며, 수질이 좋을수록 높은 점수를 부여하였다. <표 4>는 수질평가 항목 및 점수를 나타낸 것이다. Chang et al.(2001)과 Yilmaz(2007)는 퍼지이론을 이용하여 하천 수질등급을 판정하였다. 또한 Yan et al.(2010)은 적응형 뉴로-퍼지 추론시스템(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System: ANFIS)을 이용하여 하천의 수질 상태를 분류하기 위해 DO, COD 및 NH₄-N 등 여러 가지 물리적 화학적 지표를 적용하였다. Kowalkowski et

표 3_RSAT평가 및 등급 범주

RSAT 평가 범주	일반적 등급 범주			
	Excellent	Good	Fair	Poor
수로 안정성	9~11	6~8	3~5	0~2
수로 쓰레기/퇴적물 퇴적	7~8	5~6	3~4	0~2
물리적 하천 내부 서식지	7~8	5~6	3~4	0~2
수질	7~8	5~6	3~4	0~2
수변 서식지 상태	7~8	5~6	3~4	0~2
생물학적 지표(무척추 동물)	7~8	5~6	3~4	0~2
합계	42~50	30~41	16~29	< 16

자료: Brown et al. 2006. p8.

표 4_Dalmatia의 수질 평가 항목 및 점수

항목	최고점	최대 허용기준	최대 허용기준 점수
온도	7	17° 이상	5
무기화물화	7	350mg/l	7
$K=(Cl+SO_4)/HCO_3$	6	0.4	5
DO	16	90~105%	16
BOD	10	2mg/l	8
TN	16	0.3mg/l	12
Protein N	10	0.1mg/l	7
TP	12	0.1mg/l	10
총대장균군	16	200	15
Total	100		85

출처: Yilmaz Icaga, 2007. p714.

al.(2006)은 Brda강의 오염원 평가와 수질 등급을 평가하기 위하여 클러스터 분석, 주성분 분석, 판별 분석 및 요인 분석 등 통계학적 방법을 사용하였다.

III. 모델 구성 및 지표 설정

1. 평가 항목 설정

하천 수질에 관한 각종 물리적, 화학적, 생물학적 자료가 양산되고 있지만 이들은 수질의 실태를 단편적으로만 나타내고 있을 뿐 하천 수질의 종합적인 상태에 대한 정보를 제공하지 못하고 있다. 하천의 전반적인 수질상태 평가에서 물의 용도별 단일지표의 사용은 수질상태를 종합적으로 판단하는 데 제약이 따른다. 현재 우리나라에서는 하천의 전반적 오염실태를 나타내기 위해 BOD, DO와 같은 단일항목을 대표적인 지표라는 가정하에서 다른 항목의 영향을 무시하고 오염의 일반적인 지표로 사용하고 있다. 그러나 선정된 항목이 다른 항목들의 대표로 항상 사용될 수 있는 것이 아니므로 단일항목만으로는 하천의 종합적인 수질실태를 정확하게 표현할 수 없다. 특히 우리나라와 같이 전국적으로 수계 및 기후 특성이 비슷하고 다양한 용도의 용수 수요가 동일한 지점에서 이루어질 경우 전국적으로 적용 가능한 평가 항목의 설정이 바람직하다(최지용, 1996).

하천 수질의 종합적인 상태를 나타내기 위하여 포함될 평가 항목의 선정에서 가장 기본이 되는 단계로 대상 항목이 갖추어야 할 조건이다. 대상 항목이 갖추어야 할 조건은 정부에서 하천 수질개선을 위해 계획을 수립·추진하고 있는 관련 정책 항목과 부합하여야 하며, 수계에서 규칙적으로 측정하여 객관적인 자료로 자료 획득이 용이한 항목이어야 한다. 그리고 수생태계와 관련성이 큰 항목이어야 하며, 인위적 오염원으로 수질오염 변화에 민감하게 반응하는 항목, 환

경개선 노력으로 조절될 수 있는 항목이어야 한다. 이와 같은 항목의 선정 조건을 고려하여 배출부하량, 유역 면적, 배출부하량 밀도, 수질, 유량, 유달부하량 등 6개 평가 분야를 선정하였다. 평가 분야에 대한 자세한 선정 이유와 하위 평가 항목은 다음과 같다.

1) 배출부하량, 유역 면적 및 배출부하량 밀도

우리나라 수질규제 정책은 방류수 허용농도를 설정하는 농도 위주의 규제와 일정 규모 이상의 오염원 입자를 제한하는 면적 위주의 규제가 병행되어 왔으나, 이러한 일반적 규제방식으로는 수질개선의 한계에 부딪히게 되었다(공동수, 2005). 정부에서는 '수질 오염총량관리'를 도입하여 유역 내에 위치한 모든 오염원에 의한 수질 영향을 관리하는 유역중심의 수질 관리 방법을 실시하고 있다.

수질오염의 원인이 되는 오염물질을 최초로 생성하는 원인자 또는 원인행위를 '수질오염원'이라 하고 이로부터 발생하는 오염물질의 양을 '발생부하량'이라 한다. 오염원으로부터 발생한 오염물질은 전량이 수계로 배출되는 것이 아니라 일부는 오수처리시설, 종말처리시설 등의 각종 처리시설을 거쳐 수계로 배출되며 이렇게 처리시설을 거친 후 실제로 수계로 배출되는 오염물질의 양을 '배출부하량'이라 한다. 수질 오염총량관리 대상오염물질은 제1단계(2004~2010년)에서는 BOD, 제2단계(2011~2015년)에서는 TP 항목을 추가하였다. 본 논문에서는 BOD, TP, TN 배출부하량을 평가 항목으로 설정하였다.

배출부하량이 수질에 미치는 영향은 하수처리율이 향상되고, 토지이용이 고밀도로 이용될수록 높아지고 있다. 특히 농촌 지역의 경우, 농도는 작더라도 면적이 넓어 총부하량은 큰 비중을 차지하게 된다(박종석 외, 2011). 박상현 외(2011)는 유역 면적과 오염원과의 관계는 강한 선형적 상관성이 존재한다고 하

여 평가 항목으로 유역 면적을 선정하였다. 그리고 배출부하량의 상대평가를 위하여 단위 면적당 배출부하량 밀도를 평가 항목에 추가하였다.

2) 유량, 수질 및 유달부하량

제2단계 수계오염총량관리기술지침(국립환경과학원 2010)에 의하면 오염물질의 거동 분석, 유량-수질의 상관성 분석, 수질모델링의 입력 자료를 구축하기 위하여 유량과 수질을 측정하는 것을 원칙으로 한다. 백병천 외(2011)는 시계열에 따른 연도별 유량과 수질 항목과의 연관성을 분석한 결과 유량 변화에 따라 SS, TN, TP 농도가 영향을 받는다고 하였다. 본 논문에서는 유량과 하천 생활환경기준인 BOD, COD, TP, SS 항목에 TN과 TOC를 추가로 포함하였다. TN은 배출부하량 항목에 포함된 항목이며, TOC는 현재 수질오염총량관리 대상물질의 한계를 보완할 수 있는 물질로 예상되기 때문이다. 그리고 배출된 오염물질이 특정수계에 도달하기 전까지는 자정작용에 의해 분해되며 이러한 자정작용을 거친 후 하천의 특정 지점에 실제 도달하는 오염물질의 양을 ‘유달부하량’이라 한다. 본 논문에서는 하천 말단에서 측정한 수질과 함께 BOD, COD, TOC, TN, TP, SS 등 여섯 가지 항목에 대한 유달부하량을 평가 항목으로 설정하였다. 선정된 6개 평가 분야와 하위 20개 평가 항목 이외에 하천 수질에 영향을 미치는 인자(항목)들은 존재하지만 본 논문에서는 자료 수집의 어려움으로 평가 분야 및 항목 선정에 제약이 따른다.

2. 평가 항목 지표 구간 설정

지표는 특정 현상 혹은 공간의 시계열적 변화에 관한 기존의 자료를 정량적으로 평가하기 위한 척도로, 정보 이상의 의미로 확대 해석이 가능하다(한국해양수

산개발원, 2007; 최지용, 1996). 지표 작성 시 ‘현상’의 범위설정방법, ‘기존 자료’의 양, 어느 정도까지 ‘정량화’ 할 것인지, ‘평가주체’는 누구인지에 따라 지표의 역할이 크게 좌우된다. 하지만 복잡한 자료를 가능한 이해하기 쉽게 변환시키는 것이 지표의 가장 중요한 역할이라고 할 수 있다(최지용, 1996).

본 논문에서는 평가 지표 구간을 설정하기 위하여 영산강으로 유입하는 제1지류 65개 하천에서 실측한 값을 사용하였다. 실측한 값은 각각의 평가 항목에 대하여 평균과 표준편차를 구한 후 1~7점까지 확률변수의 범위를 설정하였다. 확률변수의 범위가 (-)값을 나타낸 구간은 히스토그램에서 7개 구간으로 구분하여 구간별 정규분포의 확률범위로 수정하여 산정하였다. 그리고 평가 항목 지표 구간을 7등급으로 구분한 것은 현재 우리나라 하천 수질환경기준이 7등급으로 구성되어 있기 때문이다. 평가 항목의 지표 구간을 설정하기 위하여 통계프로그램인 SPSS Ver. 20을 사용하였다.

3. 평가 항목별 가중치 산정

6개 평가분야별 최종 평가 항목을 선정하였다. 그러나 추출된 항목의 동일한 배점만으로 평가지표를 제안할 경우 수질개선을 위한 평가는 가능하겠지만 그 결과는 평가지표의 목적과는 다르게 나타날 가능성이 크다. 이러한 문제는 평가 항목 간의 수질개선에 대한 중요도, 즉 가중치를 부여하여 구체화할 수 있다.

평가 분야와 평가 항목은 사회적 요구, 환경적 요구 등에 따라 중요도의 위계를 구분할 수 있다. 물론 경우에 따라서는 동일한 수준이라고 판단되는 부분도 있겠으나 전체적으로 볼 때는 큰 위계 속의 작은 부분으로 볼 수 있으므로 이러한 항목 간의 위계가 조 절되어야 실제 수질개선을 위한 하천별 우선순위가 결정될 수 있다.

가중치를 부여하는 방식으로는 일반적으로 객관화된 수치가 있을 경우 회귀분석, 요인분석, 상관관계 분석 등의 통계적 기법에 따라 가중치를 산정할 수 있다. 그러나 평가 항목 간의 정량적인 분석의 기준 없이 평가 항목 간의 상대적인 비교에 따라 가중치 값을 결정해야 하므로 평가 항목별 상대비교를 통한 상대적인 중요도를 효과적으로 획득할 수 있는 AHP기법을 활용하여 평가 항목 가중치를 산정하였다.

조사 대상은 수질 및 환경 분야의 박사학위를 소지하고 실무 지식을 보유한 교수 및 연구원 등 전문가 45명을 선정하였다. 조사 방법은 가능한 한 설문지를 직접 배부하여 설명한 후 설문을 진행하는 방식을 취하였으며, 일부 응답자의 경우 구체적으로 작성된 설명서를 첨부하여 전자우편으로 발송 후 회신하는 방식을 취하였다.

IV. 평가 항목 분석 결과

1. 평가 항목 지표 구간 결과

평가 항목의 지표 구간을 설정하기 위하여 평균과 표준편차를 구한 후 1점에서 7점까지 확률변수의 범위를 설정하였다. 본 논문에서 평균 μ 와 표준편차 σ 에 따른 확률적 범위는 다음과 같다.

$$P(\mu - 0.5\sigma \leq X \leq \mu + 0.5\sigma) = 0.38$$

$$P(\mu - 1.5\sigma \leq X \leq \mu + 1.5\sigma) = 0.86$$

$$P(\mu - 2.5\sigma \leq X \leq \mu + 2.5\sigma) = 0.98$$

평가 항목의 지표 구간은 1점(1%), 2점(6%), 3점(24%), 4점(38%), 5점(24%), 6점(6%), 7점(1%)으로 설정하였다. 평가 항목의 지표 구간을 7등급으로 구분한 이유는 현재 우리나라 하천 수질환경기준 등급이 7등급으로 구성되었기 때문이다. <그림 1>은 배

출부하량, 유역 면적 및 배출부하량 밀도에 관한 지표 결과값을 나타내기 위한 평균, 표준 편차를 산출하고, 히스토그램 위에 정규분포 곡선을 나타낸 것이다. 전체적으로 왼쪽에 많이 치우쳐 분포하는 비정규 분포를 따르고 있는 것으로 나타났으며, 확률변수의 범위가 (-)값을 나타낸 경우 (+)값이 되도록 확률변수의 범위를 조정하였다.

평가 항목 중 유량을 살펴보면, 유량의 평균은 0.71, 표준편차는 0.866으로 나타났으며, $4.67\text{m}^3/\text{s}$ 이상이면 1점, $0.09\text{m}^3/\text{s}$ 이하면 7점으로 산정되었다. 평가 항목 중 유량은 클수록 낮은 점수를 부여하였고, 나머지 평가 항목은 결과값이 클수록 하천 수질의 오염을 가중시키므로 높은 점수를 부여하였다. <표 5>는 각 평가 항목에 대한 지표 구간을 나타낸 것이다.

2. 평가 항목별 가중치 산정 결과

AHP기법에 의한 세부 항목 간 가중치는 각 항목 간 쌍대비교를 통해 산정하였으며 세부적인 분석 내용은 다음과 같다.

먼저 수집된 설문자료는 기준 항목을 중심으로 비교항목에 대한 상대적인 점수를 코딩하는데, 이때 기준 항목에 더 우세한 범위에서는 1부터 9까지의 점수가 그대로 배정되며, 반대쪽에 더 우세한 범위에서는 역수를 취한 점수를 적용한다. 단, 점수화된 코딩자료가 모두 논리적으로 일치하는 것은 아니므로 응답에서의 논리적인 일관성이 없게 되면 분석의 신뢰성에 대한 치명적인 오류가 발생한다. 이러한 일관성이 낮은 응답은 선별하여 비논리적 부분을 재검토 후 판단을 수정·보완하는 과정을 수행하였다. 논리의 일관성은 어느 기준에 대한 비교 대상이 3개 이상일 경우 검증이 가능하므로, AHP분석에서는 계층구조의 복잡성에 따라 상이하기는 하나, 일반적으로 일관성 비율의 값이 0.1 이내면 합리적인 일관성을 갖는 것

그림 1_ 평가 항목의 지표 구간 결과

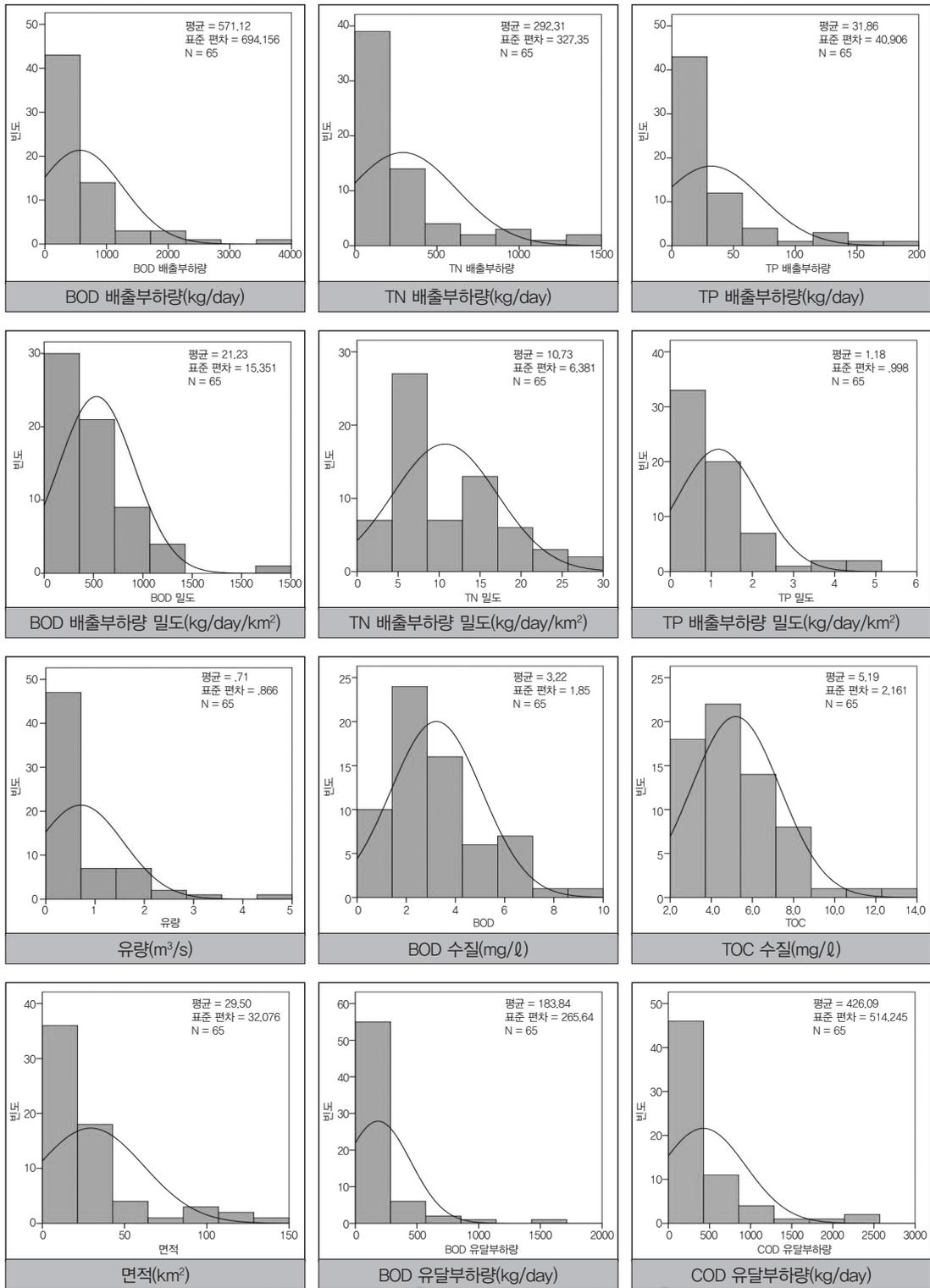


표 5_ 하천 등급화 평가 항목에 대한 지표 구간

평가 항목	지표 점수 구간(↓ : 이하, ↑ : 초과)						
	1점	2점	3점	4점	5점	6점	7점
유량(m ³ /s)	4.67 ↑	4.39 ↑	3.27 ↑	1.49 ↑	0.37 ↑	0.09 ↑	0.09 ↓
BOD(mg/l)	0.86 ↓	1.34 ↓	3.27 ↓	6.33 ↓	8.26 ↓	8.74 ↓	8.74 ↑
COD(mg/l)	3.21 ↓	4.97 ↓	12.01 ↓	23.17 ↓	30.22 ↓	31.98 ↓	31.98 ↑
TOC(mg/l)	2.33 ↓	2.99 ↓	5.62 ↓	9.79 ↓	12.42 ↓	13.08 ↓	13.08 ↑
TP(mg/l)	0.04 ↓	0.10 ↓	0.32 ↓	0.68 ↓	0.90 ↓	0.96 ↓	0.96 ↑
TN(mg/l)	1.47 ↓	1.94 ↓	3.81 ↓	6.76 ↓	8.63 ↓	9.10 ↓	9.10 ↑
SS(mg/l)	5.73 ↓	19.37 ↓	73.89 ↓	160.23 ↓	214.76 ↓	228.39 ↓	228.39 ↑
BOD 배출부하량(kg/day)	55.79 ↓	274.71 ↓	1150.40 ↓	2536.90 ↓	3412.59 ↓	3631.51 ↓	3631.51 ↑
TN 배출부하량(kg/day)	28.33 ↓	113.12 ↓	452.29 ↓	989.31 ↓	1328.48 ↓	1413.27 ↓	1413.27 ↑
TP 배출부하량(kg/day)	3.19 ↓	15.11 ↓	62.80 ↓	138.30 ↓	185.99 ↓	197.91 ↓	197.91 ↑
면적(km ²)	5.01 ↓	13.73 ↓	48.62 ↓	103.84 ↓	138.73 ↓	147.45 ↓	147.45 ↑
BOD 배출 밀도(kg/day/km ²)	2.21 ↓	7.83 ↓	30.32 ↓	65.92 ↓	88.41 ↓	94.03 ↓	94.03 ↑
TN 배출 밀도(kg/day/km ²)	1.49 ↓	3.05 ↓	9.29 ↓	19.17 ↓	25.42 ↓	26.98 ↓	26.98 ↑
TP 배출 밀도(kg/day/km ²)	0.15 ↓	0.45 ↓	1.64 ↓	3.54 ↓	4.74 ↓	5.04 ↓	5.04 ↑
BOD 유달부하량(kg/day)	23.09 ↓	121.99 ↓	517.61 ↓	1144.00 ↓	1539.61 ↓	1638.51 ↓	1638.51 ↑
COD 유달부하량(kg/day)	48.05 ↓	197.60 ↓	795.83 ↓	1743.02 ↓	2341.25 ↓	2490.80 ↓	2490.80 ↑
TOC 유달부하량(kg/day)	31.50 ↓	124.12 ↓	494.58 ↓	1081.14 ↓	1451.61 ↓	1544.22 ↓	1544.22 ↑
TP 유달부하량(kg/day)	1.57 ↓	8.24 ↓	34.92 ↓	77.17 ↓	103.85 ↓	110.52 ↓	110.52 ↑
TN 유달부하량(kg/day)	28.93 ↓	135.45 ↓	561.56 ↓	1236.22 ↓	1662.32 ↓	1768.85 ↓	1768.85 ↑
SS 유달부하량(kg/day)	164.65 ↓	805.92 ↓	3370.99 ↓	7432.36 ↓	9997.43 ↓	10638.70 ↓	10638.70 ↑

으로 판단하고, 0.2 이내일 경우는 용납할 수 있으나, 0.2보다 크면 일관성이 부족한 것으로(강진규·민병찬, 2008), 본 논문에서는 일관성 비율의 값이 0.1 이내면 합리적인 일관성을 갖는 것으로 판단하여 분석하였다. 그리고 일관성이 있는 결과물을 바탕으로 개별적인 의견 취합에 적합한 기하평균을 활용하여 통합된 평균 가중치를 산정하였다. 통합된 평균 가중치를 산정한 후 같은 체계 내에서 포함되는 항목들의 가중치 합이 1.0이 되도록 가중치를 재조정 후 평가 항목의 가중치를 서로 곱한 값을 백분위로 표현하여 최종 독립된 평가 항목의 가중치를 도출하였다.

하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목의 중요도에서 유달부하량 29.3%, 수질 23.1%, 유량

19.0%, 배출부하량 밀도 12.4%, 배출부하량 10.5%, 면적 5.8% 순으로 나타났다. 연구 결과로 나타난 평가 항목의 중요도를 살펴보면 개별적인 평가 항목보다 복합적인 평가 항목이 중요한 것으로 나타났다. 그리고 유달부하량의 중요도가 높은 것으로 나타나 하천 수질개선을 위하여 점오염원보다 비점오염원 유입을 차단하거나 저감 대책을 수립해야 할 것으로 판단된다. 하천 평가 항목 및 지표 개발에 있어서 배출부하량 부분 하위 항목의 상대적 중요도는 TP 배출부하량 39.0%, BOD 배출부하량 38.6%, TN 배출부하량 22.5% 순으로 나타났다. 상대적으로 높은 TP 배출부하량은 하천 수질개선을 위해 부영양화 생성의 주요 인자인 영양물질 TP에 대한 기준 강화와

표 6_6개 평가 부분 및 20개 평가 항목의 중요도

평가 부분	중요도(%)	항목	중요도	
			항목(%)	중합(%)
면적 (km ²)	5.8	면적	100.0	5.84
배출부하량 (kg/day)	10.5	BOD 배출부하량	38.6	4.05
		TN 배출부하량	22.5	2.36
		TP 배출부하량	39.0	4.09
배출부하량 밀도 (kg/day/km ²)	12.4	BOD 배출부하량 밀도	38.0	4.71
		TN 배출부하량 밀도	22.6	2.80
		TP 배출부하량 밀도	39.4	4.88
유량(m ³ /s)	19.0	유량	100.0	18.95
수질(mg/l)	23.1	BOD	21.2	4.89
		COD	14.3	3.30
		TOC	22.9	5.27
		TP	14.4	3.32
		TN	18.1	4.17
		SS	9.1	2.10
유달부하량 (kg/day)	29.3	BOD 유달부하량	22.7	6.65
		COD 유달부하량	14.2	4.16
		TOC 유달부하량	21.2	6.19
		TP 유달부하량	14.6	4.27
		TN 유달부하량	18.0	5.26
		SS 유달부하량	9.4	2.74

2단계 수질오염총량관리 대상물질로 설정되었기 때문에 높은 것으로 판단된다. TN 배출부하량은 다른 두 가지 항목에 비하여 상대적 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 또한 배출부하량 밀도 부분의 하위 항목의 상대적 중요도는 TP 배출부하량 밀도 39.4%, BOD 배출부하량 밀도 38.0%, TN 배출부하량 밀도 22.6% 순으로 나타났다. TN 배출부하량 밀도는 다른 배출부하량 밀도에 비하여 상대적으로 중요도가 낮게 나타났다.

하천 수질개선 우선순위를 위한 평가 항목 중 수질 부분 하위 항목의 상대적 중요도는 TOC 22.9%, BOD 21.2%, TN 18.1%, TP 14.4%, COD 14.3%, SS 9.1% 순으로 나타났다. 기본적으로 하천 수질 평

가는 BOD 기준이지만, 현재 3단계 오염총량관리 대상물질이 TOC로 확정되어 수질 부분 하위 항목의 상대적 중요도에서 높게 나타난 것으로 판단된다. SS는 다른 항목에 비하여 상대적 중요도가 낮게 나타났다. 그리고 유달부하량 부분 하위 항목의 상대적 중요도는 BOD 22.7%, TOC 21.2%, TN 18.0%, TP 14.6%, COD 14.2%, SS 9.4% 순으로 나타났다. SS는 다른 항목에 비하여 상대적 중요도가 낮게 나타났다.

분석 결과 하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목 및 지표 개발에 있어서 평가 부분과 평가 항목의 중요도는 <표 6>과 같다.

평가 부분에 대한 중요도에서는 유달부하량이 29.3%로 가장 높았으며, 수질 23.1%, 유량 19.0% 순

으로 나타났다. 면적은 5.8%로 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 최종 중요도는 유량 18.95%, BOD 유달부하량 6.65%, TOC 유달부하량 6.19%로 높게 나타났으며, SS 농도 2.10%, TN 배출부하량 2.36%, SS 유달부하량 2.74%로 나타나 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.

V. 결론

하천의 수질을 개선하기 위하여 정부는 4대강 물관리종합대책을 수립하고, 삭감시설을 확충하는 등의 노력을 하고 있다. 그렇지만 대부분의 지방자치단체에서는 하천에 대한 정확한 진단이나 체계화된 방법이 아닌 지방자치단체의 지역적 특성이나 재정적인 측면에 의해 삭감시설을 설치하고 있어 시설에 대한 효과를 담보할 수 없는 실정이다. 그러므로 수질개선을 위해 오염원 유입을 차단하거나 오염원 저감 대책을 시급하게 시행해야 하는 하천이 오히려 우선순위에서 밀리는 현상이 발생하고 있다. 유역 내 오염원 제어 및 하천 수질개선을 효과적으로 달성하기 위해서는 해당 하천유역을 정확히 진단하고, 개선이 필요한 하천유역을 선정하여 제한된 재정여건에서 선택과 집중을 통한 방법이 중요하다. 하천의 정확한 평가는 하천관리를 위한 기초단계일 뿐 아니라 오염된 하천을 복원하기 위한 우선순위 결정, 오염원에 따른 대책 방안 등 유용한 정보를 제공할 것이다. 이에 하천 수질개선 우선순위를 결정하기 위하여 평가 항목 및 지표를 설정하여 제시하였으며, 이를 위하여 전문가 집단을 대상으로 AHP기법을 통하여 평가 항목의 계층화를 통한 상대적인 중요도를 파악하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 하천 수질의 종합적인 상태를 나타내기 위하여 배출부하량, 유역 면적, 배출부하량 밀도, 수질, 유량, 유달부하량 등 6개 평가 분야를 선정하였으며,

평가 분야의 하위 항목으로 20개의 평가 항목을 선정하였다. 평가 분야 및 평가 항목은 수질오염총량관리 항목과 부합하며, 수계에서 규칙적으로 측정하여 객관적인 자료 획득이 용이하기 때문이다.

둘째, 평가 항목의 정량적 평가를 위하여 각각 평가 항목에서 평균과 표준편차를 구한 후 히스토그램에서 7개 구간으로 구분하여 구간별 정규분포의 확률범위로 평가 항목의 지표를 설정하였다.

셋째, 하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목에 적용된 6개의 평가 부분의 중요도는 유달부하량 29.3%, 수질 23.1%, 유량 19.0%, 배출부하량 밀도 12.4%, 배출부하량 10.5%, 면적 5.8% 순으로 나타났다.

넷째, 평가 항목에 적용된 20개의 하위 평가 항목의 중요도는 유량이 18.95%를 차지하여 가장 중요도가 높은 것으로 나타났으며, BOD 유달부하량 6.65%, TOC 유달부하량 6.19%, 면적 5.84% 순으로 나타났다. TP 배출부하량 밀도 2.80%, SS 유달부하량 2.74%, TN 배출부하량 2.36%, SS 농도 2.10% 순으로 나타나 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.

본 논문은 하천 수질개선 우선순위를 결정하기 위하여 평가 항목 및 지표를 개발하였다. 이러한 결과는 하천관리를 위한 기초단계일 뿐 아니라 오염된 하천의 수질을 개선하기 위한 우선순위 선정, 오염원에 따른 대책 방안 등 유용한 정보를 제공할 것이다. 또한 AHP기법을 통한 계층화된 평가 항목을 대상으로 지표별 복합 가중치를 이용한 전체 평가 항목의 우선순위 모형을 도출함으로써, 향후 하천 수질개선 시 요구되는 의사결정과정의 기초자료를 제공할 것으로 판단된다.

참고문헌 •••••

- 강진규 · 민병찬. 2008. **AHP의 이론과 실제**. 서울 : 인터비전.
- 강태한 · 김성현 · 진선덕 · 조해진 · 백운기. 2011. “조류에 의한 새만금 평가 연구”. 한국조류학회지 제18권 제3호, pp181-189.
- 공동수. 2005. “우리나라의 수질총량관리 현황 및 전망”. 한국수자원학회지 제38권 제3호, pp14-22.
- 곽기석 · 이주형 · 박재현 · 정문경 · 조삼덕 · 우효섭. 2006. **교량 기초 장수명화 기술 개발**. 경기 : 한국건설기술연구원.
- 곽재원 · 정종태 · 김형수 · 안경수. 2008. “소규모 도시 하천 유역의 수질 특성 연구”. 한국습지학회지 제10권 제2호, pp129-141.
- 국립환경과학원. 2010. **제2단계 수계오염총량관리기술지침**.
- 기동원 · 박준홍. 2006. “토양생태환경 등급화에 관한 연구동향 및 방법적 고찰”. 대한환경공학회 2006 추계학술연구발표회 논문집, pp1167-1173.
- 김성석. 2008. “도로 곡선부의 안전 등급화 모형에 관한 연구”. 한국방재학회논문집 제8권 제4호, pp23-29.
- 김광목 · 이승복. 2004. “정량 · 정성적 분석을 통한 하천등급 결정 기준”. 국토연구 제41권, pp19-36.
- 김광일. 2011. “건축물 화재 취약성 등급화 제도 추진”. 화재 취약성에 따른 건축물 등급화 입법 정책 토론회 자료집, pp15-36.
- 김동현 · 김광일 · 김태구. 2000. “산림화재 종합위험등급화에 관한 연구”. 한국화재소방학회 학술대회 논문집, pp49-54.
- 김석규. 2006. “자연친화적 하천정비 사업의 평가방법에 관한 연구”. 호남대학교 박사학위 논문.
- 김정대 · 박준석 · 도인환 · 홍수열 · 오길종 · 정다위 · 윤정인 · 배재근. 2008. “국내 폐목재 특성분석을 통한 등급화 평가”. 대한환경공학회지 제30권 제11호, pp1102-1110.
- 김종오 · 김옥선 · 김선혜. 2004. “하천환경의 정량적 평가 및 활용에 관한 연구”. 한국습지학회논문집 제6권 제3호, p83-93.
- 김진호 · 최철만 · 류종수 · 정구복 · 신중두 · 한국현 · 이정택 · 권순국. 2007. “판별분석을 통한 농촌유역 소하천의 수질등급모형 개발 및 적용”. 한국물환경학회지 제23권 제2호, pp260-265.
- 김홍수 · 김영일 · 오혜정 · 이상진. 2007. “유역 내 하천의 수질관리 우선순위 선정을 위한 기법의 적용”. 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 2007 공동 추계학술발표회 논문집, pp11-17.
- 김희근. 2011. “영산강 수계관리 방안에 관한 연구-수질개선 및 치수안전도 평가”. 목포대학교 박사학위 논문.
- 농어촌연구원. 2003. **농촌관광 시설 및 서비스의 표준화와 등급화 방안**. 경기 : 농어촌연구원.
- 박상현. 2010. “비점오염원 관리지역의 선정 기법에 관한 연구”. 대전대학교 석사학위 논문.
- 박상현 · 문은호 · 최경호 · 조병옥 · 김홍수 · 장우혁 · 이상진 · 김영일. 2011. “충청남도 지류하천의 유량 및 수질 분포특성 분석”. 대한환경공학회지 제33권 제10호, pp739-747.
- 박재현 · 김정훈 · 안성철 · 이주형 · 정문경 · 곽기석. 2008. “수도권 국도교량 세굴위험도 평가 및 등급화 사례 연구”. 한국방재학회논문집 제8권 제2호, pp7-21.
- 박종석 · 백기정 · 임병진 · 이동진 · 정수정 · 이경훈. 2011. 11. 2~4. “영산강수계 지류 · 지천의 토지이용 및 비점오염 배출부하 특성”. 대한토목학회. 정기학술대회 : 한강의 기적 토목 60년, 통섭의 스마트 미래토목. 경기 : 킨텍스.
- 백병천 · 김철규 · 김태령. 2011. “SOM을 이용한 하천 유량과 수질의 패턴분석에 관한 연구”. 한국도시환경학회지 제11권 제2호, pp153-160.
- 변명섭 · 노성유 · 이재운 · 양형재. 2009. **수생생물을 이용한 생물학적 수질평가지표 개발(II)**. 인천 : 국립환경과학원.
- 송주일. 2008. “도시하천의 복원과 관리를 위한 하천 평가기법 연구”. 경기대학교 석사학위 논문.
- 신운숙 · 이원재 · 권필상 · 김종명 · 이호식. 2008. “충주호 수변구역내 수질오염원 현황 분석”. 한국물환경학회 · 대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp393-394.
- 오현준. 2009. “AHP 기반의 동남아 패키지 투어 관점별 등급화 지표 연구”. 한국항공경영학회 2009년 추계학술발표대회 논문집, pp207-228.
- 유경애. 2009. “한탄강 유역내 오염부하량 삭감 시나리오에 따른 장래수질 예측”. 서울시립대학교 석사학위 논문.
- 이기섭 · 김미란 · 이시완 · 이한수. 2004. “조류에 의한 갯벌의 등급화 연구”. 한국습지학회지 제6권 제1호, pp105-115.
- 이범희. 2010. “생태하천 조성을 위한 유지유량 산정기법의 적용”. 한국방재학회논문집 제10권 제4호, pp135-144.
- 이상돈. 2010. “안양천 및 주변지역의 생태계 현황 및 생태공원 조성방안 연구”. 한국습지학회지 제12권 제3호, pp145-153.
- 이상돈 · 김석철. 2008. “도립천 수변지역 조성을 위한 생태적 관리방안 및 하천환경 관리방안에 관한 연구”. 한국습지학회지 제10권 제3호, pp133-139.
- 이상진. 2003. “오염총량관리를 위한 수질오염물질 유달특성에 관한 연구”. 대전대학교 박사학위 논문.
- 이준호 · 강태호 · 성영두 · 윤세의. 2003. “하천복원을 위한 하천평가기법의 적용성 연구”. 한국방재학회논문집 제3권 제4호, pp131-143.

- 이현준·안광국. 2009. “우리나라 인공호 관리를 위한 다변수 수질 평가 모델의 개발 및 적용”. 한국육수학회지 제42권 제2호, pp242-252.
- 임동일·최현우·김영옥·정희수·강영실. 2011. “한국 연안역 수질성분들의 해역별 농도 특성과 등급화: 통계적 접근”. Ocean and Polar Research 제33권 제1호, pp13-20.
- 임봉수·조병욱·김영일·김도영. 2010. “유량-수질관계 비교를 통한 하천 수질개선 우선순위 선정기법 적용”. 대한환경 공학회지논문 제32권 제8호, pp802-808.
- 정광옥·윤춘경·장재호·김형철. 2006. “유역의 토지이용과 오염원 현황이 수질 특성에 미치는 영향 분석”. 한국하천호수학회지 제39권 제1호, pp41-51.
- 정연훈·정종필·김병록·이강혁·박진호·박현구·김요용·김종찬·이수구. 2005. “신천의 수질 개선방안 연구(I): 신천 유역의 수질오염원 평가 분석”. 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp653-655.
- 조병욱. 2010. “충청남도 금강수계내 수질개선유역의 우선순위 선정에 관한 연구”. 대전대학교 석사학위 논문.
- 조병욱·김영일·김홍수·정우혁·이상진·임봉수. 2009. “충청남도 금강수계의 수질 개선유역 선정을 위한 방법의 적용(B-28)”. 대한상하수도학회·한국물환경학회 2009 공동 추계학술발표회 논문집, pp113-114.
- 최지용. 1996. 종합수질지표의 개발. 서울: 한국환경기술개발원.
- 최철만·이종식·조남준·류희용·박성진·김진호·윤순강·이정택. 2008. “판별분석을 이용한 한강권역 농업용 하천수의 수질등급모형”. 한국환경농학회지 제27권 제2호, pp105-110.
- 한국산지보전협회. 2005. 산림건강 모니터링 조사지표 개발·개선 및 표준등급화 방안. 서울: 한국산지보전협회.
- 한국해양수산개발원. 2007. 연안조사 지표체계 개발연구. 부산: 한국해양수산개발원.
- 홍상표·김정옥. 1997a. “가치구조화기법에 의한 매립지 유해성 등급화”. 환경영향평가 제6권 제1호, pp93-103.
- _____. 1997b. “가중치합산법에 의한 매립지 유해성 등급화”. 한국폐기물학회지 제14권 제5호, pp461-467.
- 환경부. 2007a. 생태하천만들기 10년 계획. 서울: 환경부.
- _____. 2007b. 비점오염원 관리지역 지정기준 설정 등에 관한 연구. 서울: 환경부.
- Brown, S., Stein, S. and Worley, C. 2006. *Developing Performance Data Collection Protocol for Stream Restoration*, no. NCHRP Project 25-25, Task 8. Washington, D. C.: NCHRP.
- Chang, N. B., Chen, H. W. and Ning, S. K. 2001. “Identification of River Water Quality Using the Fuzzy Synthetic Evaluation Approach”. *Journal of Environmental Management* vol.63, pp293-305.
- EHMP. 2008. *Ecosystem Health Monitoring Program 2006-2007 Annual Technical Report*. Brisbane: South East Queensland Healthy Waterways Partnership.
- EPA. 2007. *National Estuary Program Coastal Condition Report*. Washington, D. C.: Office of Water, Office of Research and Development.
- Galli, J. 1996. *Rapid Stream Assessment Technique(RSAT) Field Methods*. Washington, D. C.: Metropolitan Washington Council of Governments, Department of Environmental Programs.
- Ignatiades, L., Karydis, M. and Vounatsou, P. 1992. “A Possible Method for Evaluating Oligotrophy and Eutrophication Based on Nutrient Concentration Scales”. *Mar Pollut Bull* vol.24, pp238-243.
- Karydis, M. and Coccossis, H. 1990. “Use of Multiple Criteria for Eutrophication Assessment of Coastal Waters”. *Environ Monit Assess* vol.14, pp1573-2959.
- Karydis, M., Ignatiades, L. and Moschopoulou, N. 1983. “An Index Associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment”. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* vol.16, pp339-344.
- Kellog, L. L. 1994. *Save Our Streams Monitor's Guide to Aquatic Macroinvertebrates*. 2nd ed. Gaithersburg, MD: Izaak Walton League of America.
- Kowalkowski, T., Zbytniewski, R., Szpejna, J. and Buszewski, B. 2006. “Application of Chemometrics in River Water Classification”. *Water Research* vol.40, pp744-752.
- Nives, Stambuk-Giljanovic. 1999. “Water Quality Evaluation by Index in Dalmatia”. *Water of Research* vol.33, no.16, pp3423-3440.
- Plafkin, J. L., Barbour, M. T., Porter, K. D., Gross, S. K., and Hughes, R. M. 1989. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Rivers: Benthic Macroinvertebrates and Fish*. EPA-440/4-89-001. Washington, D. C.: Office of Water, US Environmental Protection Agency.
- Terrell, C. R. and Perfetti, P. B. 1989. *Water Quality Indicators Guide: Surface Waters*. SCS-TP-161. Washington, D. C.: SCS Ecological Sciences Division.
- Yan, H., Zou, Z. and Wang, H. 2010. “Adaptive Neuro-fuzzy Inference System for Classification of Water Quality Status”. *Journal of Environmental Sciences* vol.22, no.12, pp1891-1896.
- Yilmaz, Icaga. 2007. “Fuzzy Evaluation of Water Quality Classification”. *Ecological Indicators* vol.7, pp710-718.

Moreton Bay Catchments Report Card Results. Healthy
Waterways(<http://www.ehmp.org>). [2014. 4. 9]

- 논문 접수일: 2014. 1. 17
- 심사 시작일: 2014. 2. 5
- 심사 완료일: 2014. 3. 13

Items and Indicators of Evaluation for Decision of Priority in Improving River Water Quality

Keywords: River Water Quality, Priority, Evaluation Items, Evaluation Indicator

This study selected the evaluation items and indicators of evaluation provided how to decide the priority of river water improvement and grasped the relative importance through stratification of the evaluation points through AHP technique exercised by group of experts. Below conclusion was acquired based on the study done. Firstly, for quantitative evaluation of the factors, it has been divided into 7 sections in the histogram based on the calculation of the average and standard deviation of each evaluation factor and each factor's index has been calculated based on probability range of each section's normal distribution. Secondly, the critically of the 6 evaluation sections applied in the classification model development to see the priority for river water quality improvement is in order of pollutant delivery load 29.3%, water quality 23.1%, flow rate 19.0%, density of the emission load 12.4%, emission load 10.5%, area 5.8%. Finally, the most important category among the 20 subcategories applied at the classification model is the flow rate being followed by BOD pollutant delivery load, TOC pollutant delivery load and Area. Being at order of TP density of emission load, SS pollutant delivery load, TN emission load, SS concentration showed to be relatively less important factors.

하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목 및 지표 개발

주제어: 수질개선, 우선순위, 평가 항목, 평가 지표

본 논문은 하천 수질개선 우선순위를 결정하기 위하여 평가 항목 및 지표를 설정하여 제시하였으며, 이를 위하여 전문가 집단을 대상으로 AHP기법을 통해 평가 항목의 계층화를 통한 상대적인 중요도를 파악하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 평가 항목의 정량적 평가를 위하여 각각 평가 항목에서 평균과 표준편차를 구한 후 히스토그램에서 7개 구간으로 구분하여 구간별 정규분포의 확률범위로 평가 항목의 지표를 설정하였다. 둘째, 하천 수질개선 우선순위 결정을 위한 평가 항목에 적용된 6개 평가 부분의 중요도는 유달부하량 29.3%, 수질 23.1%, 유량 19.0%, 배출부하량 밀도 12.4%, 배출부하량 10.5%, 면적 5.8% 순으로 나타났다. 마지막으로 평가 항목에 적용된 20개의 하위 평가 항목의 중요도는 유량이 가장 높은 것으로 나타났으며, BOD 유달부하량, TOC 유달부하량, 면적순으로 나타났다. 한편 TP 배출부하량 밀도, SS 유달부하량, TN 배출부하량, SS 농도는 상대적으로 중요도가 낮은 것으로 나타났다.