

수질총량측정망 모니터링지점의 평가기법 개발

이삼노 · 박성천^{*,†} · 박수호^{**} · 곽필정^{*} · 김정수^{*}

전남대학교 해양토목공학과 · ^{*}(주)상원 부설연구소 · ^{**}전남대학교 환경시스템공학과

(2016년 12월 7일 접수, 2016년 12월 15일 수정, 2016년 12월 16일 채택)

Development of Evaluation Method for the Stations of Total Water Pollution Load Monitoring Network

Sam-No Lee · Sung-Chun Park^{*,†} · Soo-Ho Park^{**} · Pil-Jeong Gwak^{*} · Jeong-Soo Kim^{*}

Department of Marine and Civil Engineering, Chonnam National University

**Research Institute, Sangwon Co., LTD.*

***Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University*

(Received 7, December 2016, Revised 15, December 2016, Accepted 16, December 2016)

Abstract

It has been mandatory to implement Total Water Pollution Management System(System) in the Nakdong River, Gum River, and Yeongsan-Seomsjin River Basins since the System was launched in the Han River Basin in 1999. For the implementation, 270 monitoring stations for Total Water Pollution Load Monitoring Network(Network) have been operated nationwide along with 105 normal monitoring stations as of 2014. Recently, the Four Main River Projects considerably changed the frame of water quality management and triggered overall verification for the monitoring stations of the Network in order to secure highly trustworthy basic data for the System. The present study developed an evaluation method, which can arrange the monitoring network, to obtain water quality and discharge data with minimum cost and manpower based on the regular verification of monitoring stations for sustainable and stable implementation of the System. The study also tested applicability of the evaluation method using 56 stations of the Network in the Yeongsan-Seomjin River Basins. The evaluation method consists of three evaluation phases: four evaluation characteristics, 13 evaluation sectors, and 20 evaluation items. The four characteristics are spatial representativeness, hydraulic stability, temporal representation, and stability for information acquisition. Results from the evaluation revealed that 53%, 45%, and 3% of the stations were classified into Grades I, II, and III, respectively, and there was no Grade IV or V, which means the change or cancellation of a station. In general, it is shown the monitoring network consists of properly located stations.

Keywords : Water Quality Improvement, Sewage Treatment Facility (STF), QUAL-MEV, Yeongsan River

1. 서론

우리나라는 매년 수질개선사업으로 많은

[†]Corresponding author E-mail: park21sc@naver.com

예산을 투입하고 있음에도 불구하고 수질오염현상은 개선되지 않고 여전히 악화되고 있는 실정에 있다. 이에 하천의 용수목적에 맞는 목표수질을 설정하고 해당 하천수계의 배수구역에서 배출되는 오염부하총량이 설정된 목표수질을 달성할 수 있는 허용량 이하가 되도록 관리하기 위해 오염총량관리제를 추진하고 있다. 영산강·섬진강수계는 2002년 낙동강, 금강수계와 함께 의무제 기반으로 수질오염총량관리제도가 도입되어 단위유역의 기준부하량 준수 여부와 함께 단위유역 말단수질을 정확하게 평가하는 것이 중요하다. 이에 따라 2004년부터 영산강물환경연구소에서 영산강·섬진강수계의 단위유역 말단을 대상으로 수질(유량)총량측정망 사업을 운영하고 있다¹⁻²⁾. 단위유역 말단 지점의 유량과 수질을 약 8일 간격으로 동시에 측정함으로써 단위유역 내 오염원으로부터 배출된 오염물질이 말단에서 실제 나타나는 오염부하량(유달부하량)의 파악이 가능하게 되었다. 그러나 최근 4대강사업으로 하천의 구조적 수질관리환경의 커다란 변화가 있어 기존 모니터링지점에 대한 전면적인 재검토가 필요하게 되었다³⁻⁴⁾.

본 연구에서는 최소의 비용과 인력의 투입으로 다양한 목적을 충족시키며 최적의 수질 및 유량자료를 확보하는 것이 매우 중요하다. 정도가 높은 자료를 취득할 수 있는 수질총량측정망을 선정할 수 있는 평가기법을 개발하고 기존의 영산강·섬진강 수계의 수질총량측정망에 대하여 평가기법을 적용하여 그 적합성을 평가하였다.

2. 선정기준과 평가기법 개발

2.1. 선정기준 설정

수질총량측정망은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법 시행규칙」 제22조제2호 관련 지정된 측정지점이며, 오염총량관리 시행지역

의 수질현황 및 총량제 이행사항 평가와 단위유역의 수질, 유량 등 총량관리에 필요한 기초자료 확보를 위한 목적으로 설치·운영하는 지점으로 2014년 기준 전국에 270개소를 설치하여 운영 중에 있으며, 일반측정망인 105개소를 병행하여 운영 중에 있다¹⁾.

수질총량측정망의 모니터링 지점에 대한 선정기준은 기존의 선정기준은 수질오염총량관리제의 진행에 필요한 조건으로 2가지 선정기준으로 첫째, 총량관리 단위 유역의 말단 또는 물질수지 분석을 위해 필요한 지점 둘째, 시·도 유역(지방)환경청 등에서 총량관리를 위해 요구하는 지점으로 갖추고 있다.

그러나, 모니터링 지점의 선정에 있어 양질의 정보취득을 위한 조건은 매우 중요한 인자라 할 수 있다. 취득된 정보가 양질의 자료일 때 비로소 자료취득의 의미가 있기 때문이다. 따라서 조사요원의 안전을 고려하여 지점의 선정기준을 마련하기 위하여 “조사요원의 접근성 및 안전성과 정보취득의 편의성을 확보한 지점”을 추가하여 수질총량측정망의 모니터링 지점 선정기준을 3가지로 마련하였다.

수질총량측정망 모니터링지점 선정기준

- 총량관리 단위 유역의 말단 또는 물질수지 분석을 위해 필요한 지점
- 시·도 유역(지방)환경청 등에서 총량관리를 위해 요구하는 지점
- 조사요원의 접근성 및 안전성과 정보취득의 편의성을 확보한 지점

2.2. 평가목적과 3단계 평가기법의 개발

수질총량측정망의 모니터링 지점은 오염총량관리 시행지역의 수질현황 및 총량제 이행사항 평가와 단위유역의 수질, 유량 등 총량관리에 필요한 기초자료 확보를 위한 중요한 지점으로 평가목적은 단위유역의 수질현황과

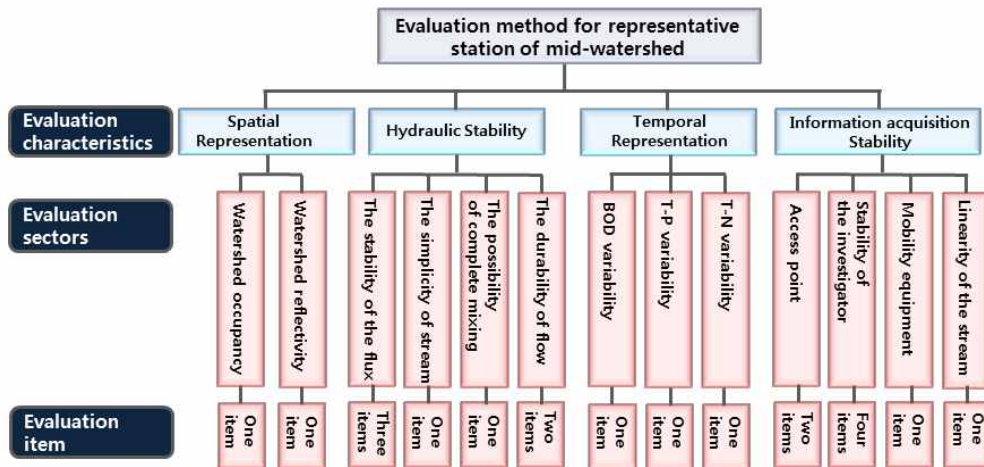


Fig. 1. Hierarchical structure of evaluation techniques.

악에 직접 활용할 수 있는 공간적, 물리적 구조의 질을 판단하는 것이다. 궁극적인 평가목적은 총량지점의 관리방침을 진단하고 수정·보완수단을 결정하여 처방하는 데 있다.

평가기준은 주관적 평가에 의존하기보다는 정량적이어야 하고, 평가가 반복 가능해야 하며, 생물학적 원리에 기초해야 하고, 평가된 지역에 관심을 가지는 모든 사람이 이해할 수 있도록 평가방법, 결과, 분석이 설명되어야 하며, 비용(시간과 돈)이 생태적 방법의 심도와 통합성에 적절하여야 한다⁵⁻⁸⁾.

수질총량측정망의 모니터링 지점의 효과적인 평가를 위한 평가기법의 구성은 우선적으로 모니터링 지점의 기능을 파악하고, 모니터링 지점기능의 유지와 훼손정도를 설명할 수 있는 부분을 선정하고 부문별로 구체적이고 실제적인 평가가 이루어질 수 있는 평가인자들로 구성하는 단계적인 접근이 유리하다. 이러한 단계적 접근은 단계별로 해당되는 하위 단계마다 구성요소를 설정하여 최하위 단계에서부터 상향식 또는 최상위 단계에서부터 하향식으로 체계적인 평가가 가능하다⁹⁾.

이러한 단계적 접근은 단계별로 계급을 부여하고 각 계급구조의 평가들은 모니터링지점의 복원과 유지관리 필요한 정보에 대하여

각각의 계급이 적절한 정밀도를 제공할 수 있다는 장점과 평가기법의 계급별로 나타나는 평가정보의 다양한 정밀도는 평가결과를 단순히 평가인자만을 나열식으로 제시하는 것보다 높은 설명력을 갖는 반면에 최하위단계에 있는 평가인자가 상위단계의 구성요소들 사이의 가중치에 대한 고려가 필요하다¹⁰⁾.

Fig. 1은 수질총량측정망의 모니터링지점에 대한 평가기법의 계층구조도이며, 4개의 특성과 13개의 평가부문, 20개의 평가항목으로 구성된 3단계 평가기법으로 구성하였다. 상위단계에서 총량지점의 기능을 고려하여 공간적 대표성, 수리학적 안정성, 시간적 대표성, 정보취득 안정성의 4개 특성으로 구분하고, 중간단계에서는 4개 특성의 반영정도를 설명할 수 있는 13개의 평가부문으로 나뉘고, 하위단계에서는 20개의 평가항목을 구성요소로 하여 단계적 평가가 가능하도록 하였다.

Table 1은 4개 특성과 가중치 그리고 각 특성별로 분류된 13개 평가부문에 대한 가중치와 각 평가부문별로 분류된 20개의 평가항목을 나열하였다.

2.3. 평가항목

Table 1. Weight of evaluation characteristics and evaluation sectors, evaluation items

Evaluation characteristics	Weight (%)	Evaluation sectors	Weight (%)	Evaluation items
Spatial representativeness	35%	Watershed Occupancy	70%	Watershed share
		Watershed reflectivity	30%	stream order
Hydraulic stability	25%	The stability of the flux	30%	channel type, vegetation , obstruction on the stream
		The simplicity of stream	25%	channel type
		The possibility of complete mixing	15%	ratio of upstream inflow distance and stream width
		The durability of flow	30%	stream type, Temporal flow rate
temporal representation	15%	BOD variability	35%	BOD standard deviation
		T-P variability	35%	T-P standard deviation
		T-N variability	30%	T-N standard deviation
Stability for information acquisition	25%	Access point	25%	road pavement
		Stability of the investigator	40%	bridge, submersible bridge, boat, walking
		Mobility equipment	15%	walking distance
		Linearity of the stream	20%	ratio of length of downstream straight section and stream width

2.3.1. 공간적 대표성

공간적 대표성의 평가는 수질오염도의 반응성 및 오염원의 대표성을 반영하기 위하여 유역 점유성, 유역의 반영성으로 2가지의 평가부분에 유역점유 비율과 하천차수 2가지의 평가항목으로 구성하여 오염총량관리 및 시행평가, 이행평가의 충분한 정보를 제공할 수 있는 해당유역의 대표성을 반영한다³⁾.

유역 점유성은 공간적 대표성 평가의 70%를 점유하며, 해당유역에서 발생하는 다양한

오염물질이나 해당유역의 고유 자정능력 등을 반영하기 위하여 모니터링 지점의 유역면적이 해당 단위유역면적을 점유하고 있는 정도를 적용하여 평가하고, Table 2와 같이 5가지의 평가기준을 설정하였으며, 유역의 반영성은 공간적 대표성 평가의 30%를 점유하고, 하천의 주류(主流), 또는 본류를 반영하기 위하여 하천차수를 적용하여 평가하고, Table 2와 같이 5가지의 평가기준을 설정하였다.

Table 2. Evaluation sectors and items of spatial representation

Evaluation characteristics	Evaluation sectors	Evaluation item and scale	
Spatial representativeness	Watershed Occupancy	Watershed Occupancy more than 90%	5
		Watershed Occupancy 80~90%	4
		Watershed Occupancy 70~80%	3
		Watershed Occupancy 60~70%	2
		Watershed Occupancy less than 60%	1
	Watershed reflectivity	Stream order = maximum stream order	5
		Stream order = maximum stream order - 1	4
		Stream order = maximum stream order - 2	3
		Stream order = maximum stream order - 3	2
		Stream order = maximum stream order - 4 or less	1

Table 3. Evaluation sectors and items of hydraulic stability

Evaluation characteristics	Evaluation sectors	Evaluation item and scale	
Hydraulic stability	The stability of the flux	Flowing straight stream	5
		Braided stream	4
		Partial vegetation cover or Flow obstructions	3
		Complete vegetation cover	2
		No flow	1
	The simplicity of stream	Straight stream	5
		Joining straight stream	4
		Meandering stream	3
		Braided stream(2 channel)	2
		Braided stream(more than 3 channel)	1
	The possibility of complete mixing	The ratio of Distance to the channel junction and stream width : more than 5	5
		The ratio of Distance to the channel junction and stream width : 4.0~5.0	4
		The ratio of Distance to the channel junction and stream width : 2.0~4.0	3
		The ratio of Distance to the channel junction and stream width : 1.0~2.0	2
		The ratio of Distance to the channel junction and stream width : less than 1.0	1
	The durability of flow	National stream	5
		Local Stream	4
		permanent small stream	3
		Intermittent stream	2
		Temporary river	1

2.3.2. 수리학적 안정성

수리학적 안정성의 평가는 Table 3과 같이 흐름의 안정성, 하도의 단순성, 완전혼합가능성, 유수 지속성으로 4가지의 평가부문에 7가지의 평가항목으로 구성하여 지점의 채수 및 유량측정으로 취득되는 정보가 갖는 신뢰도의 정도를 반영하고자 한다³⁾.

수리학적 안정성의 평가를 위한 4가지의 평가부문 중, 흐름의 안정성은 수리학적 안정성 평가의 30%를 반영하며, 유량측정의 정도와 하도의 수리단면을 반영하기 위하여 하도의 종류와 흐름의 장애가 되는 식생의 피복 상태 그리고, 흐름의 정체 또는 단절을 유도하는 횡단구조물과 같은 시설물을 적용하여 평가하였고, 하도의 단순성은 수리학적 안정성 평가의 25%를 반영하며, 안정적 채수를 반영하기 위하여 하도의 종류를 직류하도(straight channel), 곡류하도(meandering channel), 망류하도(braided channel)로 구분하여 적용·평가하였고, 완전혼합 가능성은 수리학적 안정성 평가의 15%를 반영하며, 상류

측의 유입원이 충분히 혼합하여 모니터링 지점에 도달함으로써 모니터링 지점의 수질 평가가 원만하게 진행될 수 있는 수질평가의 안정성을 반영하기 위하여 상류 측 유입원의 유하거리와 하천 폭과의 비율을 적용하여 평가하였으며, 유수의 지속성은 수리학적 안정성 평가의 30%를 반영하며, 필요에 따라 채수와 더불어 유량을 측정할 수 있는 지속적인 유출의 정도를 반영하기 위하여 하천의 관리기관, 하천의 유출량을 적용하여 평가하였고, Table 3과 같이 각각 5가지의 평가기준을 설정하였다.

2.3.3. 시간적 대표성

시간적 대표성의 평가는 Table 4와 같이 평가부문은 BOD, T-P, T-N자료 변동성 그리고, 평가항목은 각각의 수질항목에 대한 실제 관측 값이 얼마나 분산되어 분포하는가를 알려주는 표준편차를 적용하여 시간적 대표성을 반영하였다³⁾.

BOD자료 변동성, T-P자료 변동성, T-N자

Table 4. Evaluation sectors and items of temporal representation

Evaluation characteristics	Evaluation sectors	Evaluation item and scale	
temporal representation.	BOD variability	Standard deviation : less than 0.5	5
		Standard deviation : 0.5~0.8	4
		Standard deviation : 0.8~1.2	3
		Standard deviation : 1.2~1.5	2
		Standard deviation : more than 1.5	1
	T-P variability	Standard deviation : less than 0.5	5
		Standard deviation : 0.5~0.8	4
		Standard deviation : 0.8~1.2	3
		Standard deviation : 1.2~1.5	2
		Standard deviation : more than 1.5	1
	T-N variability	Standard deviation : less than 0.5	5
		Standard deviation : 0.5~0.8	4
		Standard deviation : 0.8~1.2	3
		Standard deviation : 1.2~1.5	2
		Standard deviation : more than 1.5	1

료 변동성은 시간적 대표성 평가에 각각 35%, 35%, 30%를 반영하며, BOD자료, T-P자료, T-N자료의 시간적 변화와 자료간의 안정화된 정도를 반영하여 평가하였고, Table 4와 같이 각각 5가지의 평가기준을 설정하였다.

2.3.4. 정보취득 안정성

정보취득 안정성의 평가는 Table 5와 같이 지점의 접근성, 조사요원의 안전성, 장비 이동성, 하천 직선성의 4가지 평가부문에 8가지 평가항목으로 구성하여 조사요원의 안전한 정보취득활동 및 신뢰도가 높은 정보취득여건을 반영하였다³⁾.

지점의 접근성은 정보취득 안정성 평가의 25%를 반영하며, 모니터링 지점의 접근 편의성을 반영하기 위하여 도로의 종류와 인도의 유무, 포장여부를 복합적으로 적용하여 평가하였고, 조사요원의 안전성은 정보취득 안정성 평가의 40%를 반영하며, 양질의 정보를 생산할 수 안전한 조사환경을 반영하기 위하여 교량의 종류와 인도의 유무, 잠수교, 보트, 도보를 적용하여 평가하였으며, 장비 이동성은 정보취득 안정성 평가의 15%를 반영하며, 조사장비의 안전한 이동과 파손위험으로부터

의 안전성을 반영하기 위하여 도보로 장비를 이동하는 거리를 적용하여 평가하였고, 하천의 직선성은 정보취득 안정성 평가의 20%를 반영하며, 평수위 이상의 수위에서 유속계 사용의 불확실성을 감안하여 부자법에 의한 유량측정의 신뢰성을 반영하기 위하여 하류부의 직선구간 길이와 하천 폭과의 비율을 적용하여 평가하였고, Table 5와 같이 각각 5가지의 평가기준을 설정하였다.

3. 평가기법의 적용

3.1. 평가자료 및 종합점수산정

하천은 선형적 요소가 강하여 상·하류간 비교 등을 고려할 때 선형정보를 취급하는 것이 유리하므로 하천공간정보의 경계표현은 일정 간격이 되도록 정하였다¹¹⁾. 평가단위의 규격은 평가대상 파악의 충분성, 조사의 편의성 및 비용, 육안관찰 가능거리, 평가결과의 표현 등을 고려하여, 하천 폭의 5배로 정하였다³⁾.

대부분의 평가에서는 직접 조사자료를 사용하고 있는데 소요인력과 조사비용이 큰 부

Table 5. Evaluation sectors and items of information acquisition Stability

Evaluation characteristics	Evaluation sectors	Evaluation item and scale	
Stability for information acquisition	Access point	Pavement with sidewalk	5
		No sidewalk pavement	4
		Dirt road	3
		Paved farm road	2
		Unpaved farm road	1
	Stability of the investigator	Bridge with sidewalk	5
		No sidewalk Bridge	4
		Submersible bridge	3
		Available on the boat	2
		walking	1
	Mobility equipment	Dismounted movement : less than 100m	5
		Dismounted movement : 100~200m	4
		Dismounted movement : 200~400m	3
		Dismounted movement : 400~600m	2
		Dismounted movement : more than 600m	1
	Linearity of the stream	The ratio of downsteam straight distance and stream width : more than 2.0	5
		The ratio of downsteam straight distance and stream width : 1.5~2.0	4
		The ratio of downsteam straight distance and stream width : 1.0~1.5	3
		The ratio of downsteam straight distance and stream width : 0.5~1.0	2
		The ratio of downsteam straight distance and stream width : less than 0.5	1

답이 될 수 있다. 특히 생물학적 조사에 근거한 평가는 전문조사인력 확충과 조사연구 노력의 과중한 요구로 인하여 그 가치가 떨어진다¹²⁾.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 평가자료의 수집 및 적용을 비전문가도 수행할 수 있도록 단순화하였다. 평가기법의 평가자료는 자료의 비교, 분석, 조작 등 취급이 용이하고 통계적 처리가 가능하게 하기 위하여 모두 객관적 기준에 근거하고 있으며, 척도 또한 정량적 기준을 사용하고 있다. 또한, 다량의 자료를 단일지수로 요약하기 위하여 평가결과도 모두 평가단위별로 종합지수(Grand Index)를 사용하고 있다. 한편, 종합지수는 상이한 평가항목들 사이의 상대적 기여도를 결과에 나타내지 못하므로¹³⁾, 항목들의 기여도를 반영할 수 있는 보조지수를 병기하는 것이 바람직하다¹⁰⁾.

본 연구에서 종합점수를 산정하기 위해 정량적 지수를 사용하였으며, 사용된 척도는 등

간척도로서 Table 2~Table 5와 같이 호불호(好不好)에 따라 다섯구간으로 나누고 1점부터 5점을 부여하였다¹⁴⁾.

종합점수는 다음과 같이 산정하였다³⁾.

$$\text{평가부분점수}(ESS) = IS \times 20$$

$$\text{평가특성점수}(ECS) = \sum_{i=1}^n (ESS_i \times WS_i)$$

$$\text{종합점수}(TS) = \sum_{k=1}^m (ECS_k \times WC_k)$$

여기서,

n : 평가특성별 평가부분의 수

m : 평가특성의 수

WS_i : i 번째 평가부분의 가중치

WC_k : k 번째 평가특성의 가중치

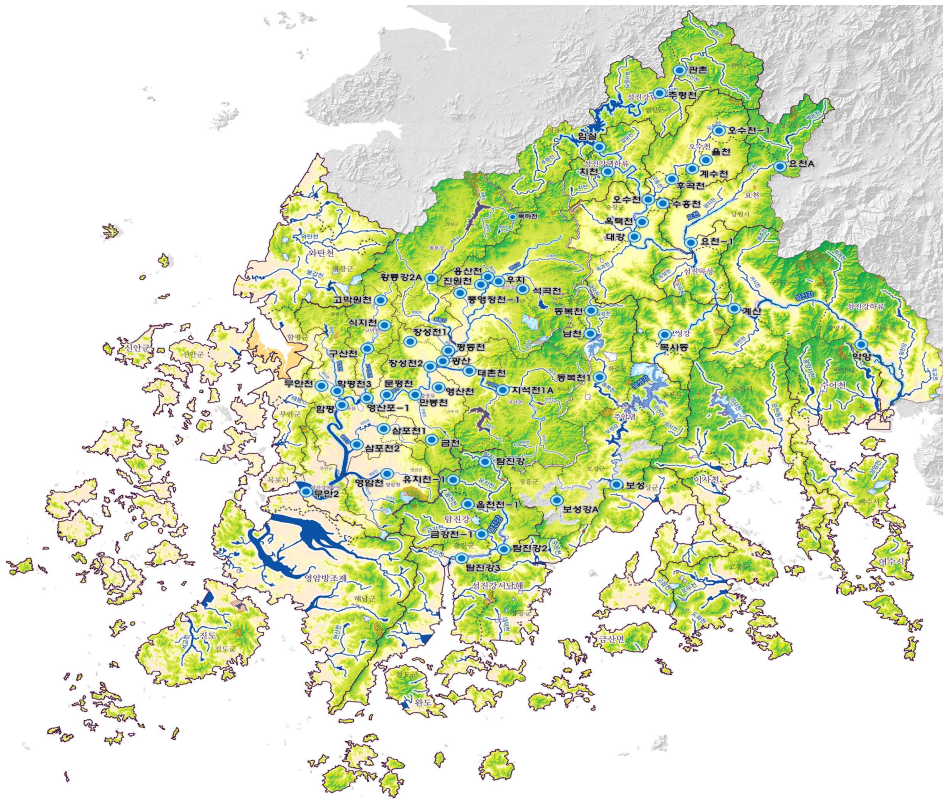
IS : 평가항목에 의해 조사된 조사구간별로

1~5점을 부여 받은 점수.

평가항목의 점수는 Table 2~Table 5에서와 같이 설정, 평가부분점수는 평가항목점수를

Table 6. Score Range and Interpretation

Grade		Score Range	Judgment	Interpretation
I	A	$95 \leq S$	Very Good	Excellent.
	B	$90 \leq S < 95$	Good	
II	A	$85 \leq S < 90$	Fairly good	Great
	B	$80 \leq S < 85$	Better than normal	
III	A	$75 \leq S < 80$	Normal	Satisfactory
	B	$70 \leq S < 75$	Less than normal	
IV	A	$65 \leq S < 70$	Fairly poor	modification or change recommended
	B	$60 \leq S < 65$	poor	
V	A	$55 \leq S < 60$	Bad	Change or closure recommended.
	B	$S < 55$	Very Bad	

**Fig. 2.** Location of water quality monitoring network for TMDL.

100점 만점의 평가로 실시하고, 평가특성점수는 각각의 평가부문점수에 해당 가중치를 곱하여 산정하고, 다시 종합점수는 각각의 평가특성점수에 해당 가중치를 곱하고 이를 합하여 100점 만점의 평가를 실시하였다.

종합점수는 Table 6에서와 같이 I -A~V -B등급의 10개 등급으로 분류하였다. 여기서 IV등급은 수정·보완 또는 이동변경 권장하는 지점을 의미하고, V등급은 이동변경 또는 폐쇄 적극 권장하는 지점을 의미한다.

3.2. 영산강·섬진강 수계의 수질총량측정망 현황

수질총량측정망은 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법 시행규칙」 제22조제2호 관련 지정된 측정지점으로 오염총량관리 시행지역의 수질현황 및 총량제 이행사항 평가와 단위구역의 수질, 유량 등 총량관리에 필요한 기초자료 확보를 위한 목적으로 설치·운영하고 있으며, 2014년 기준 전국에 270개소를 설치하여 운영 중에 있으며, Fig. 2와 같이 영산강·섬진강수계에는 총 56개 수질총량측정망 모니터링 지점이 운영 중인데 이 중 영산강수계에 28개 지점으로 50%를 점유하고 있으며 다음으로 섬진강수계에 22개 지점으로 39%를 점유하고 있고 나머지, 탐진강수계에 6개 지점으로 11%를 점유하고 있다. 본 연구에서 개발한 평가기법을 영산강·섬진강 수계의 수질총량측정망 56개 모니터링 지점을 대상으로 적용하였다.

3.3. 평가적용

영산강·섬진강수계의 수질총량측정망 56개의 모니터링 지점에 평가기법을 적용하기 위하여 현장조사와 자료수집을 병행하고 GIS 툴과 위성지도 등을 이용하여 해당항목별 정보를 취득하였고, 모니터링 지점별로 100점 만점으로 환산한 종합점수를 산정하고 Table 6의 평가등급에 대한 점수범위를 적용하여 평가등급을 결정하였다.

또한, 4개의 평가 특성의 점수를 활용하여 모니터링지점별로 4각형의 레이더 차트를 표현하여 호부호(好不好)에 대한 시각적 효과를 제시하였다. 4각형의 레이더 차트는 도형중심에서의 거리에 따라 각 수량의 관계를 나타내는 도표로서 사각형 중심에서의 꼭지점까지의 거리가 100점인 정사각형의 마름모형상을 그리는 것이 가장 우수한 지점이며, 사각형의 면적이 사각형 중심에서의 꼭지점까지의 거리가 100점인 정사각형의 마름모형상의 면적보다 상대적으로 작을수록 더 불량한 지점을 의미한다.

4. 결 론

4.1. 유역별 평가결과

본 연구에서 적용한 영산강·섬진강 수계는 현재 운영 중인 수질총량측정망 모니터링 지점이 56개소가 있으며, 영산강유역과 섬진강유역, 탐진강유역의 3개 유역으로 분류하여 평가하였다.

4.1.1. 영산강유역

영산강 유역의 26개의 수질총량측정망 모니터링지점에 대한 평가결과는 Table 7과 Fig. 3~Fig. 4에서와 같이 I 등급이 13개 지점(I-A등급: 3개, I-B등급: 10개)으로 46%, II 등급이 13개 지점(II-A등급: 10개, II-B등급: 3개)으로 46%를 점유하고 있어, 26개 지점,

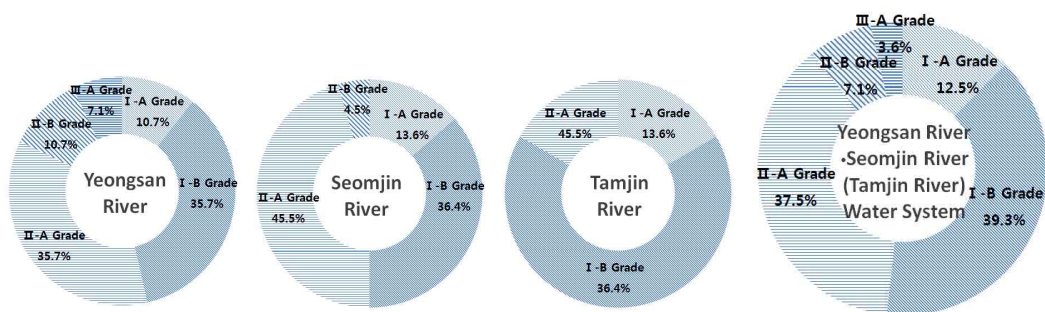


Fig. 3. Evaluation grade results of water quality monitoring network for TMDL.

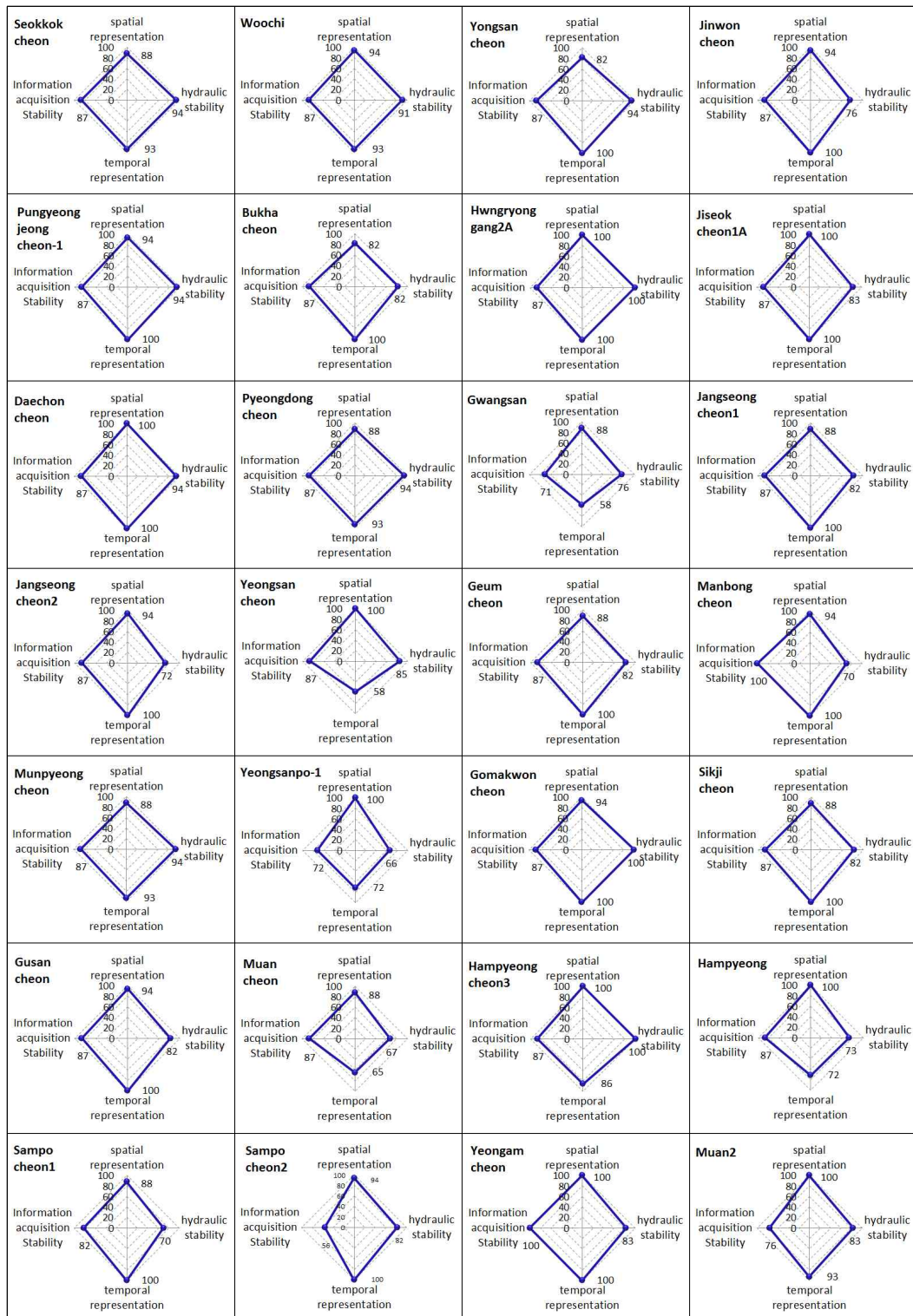


Fig. 4. Radar chart of water quality monitoring network for TMDL.

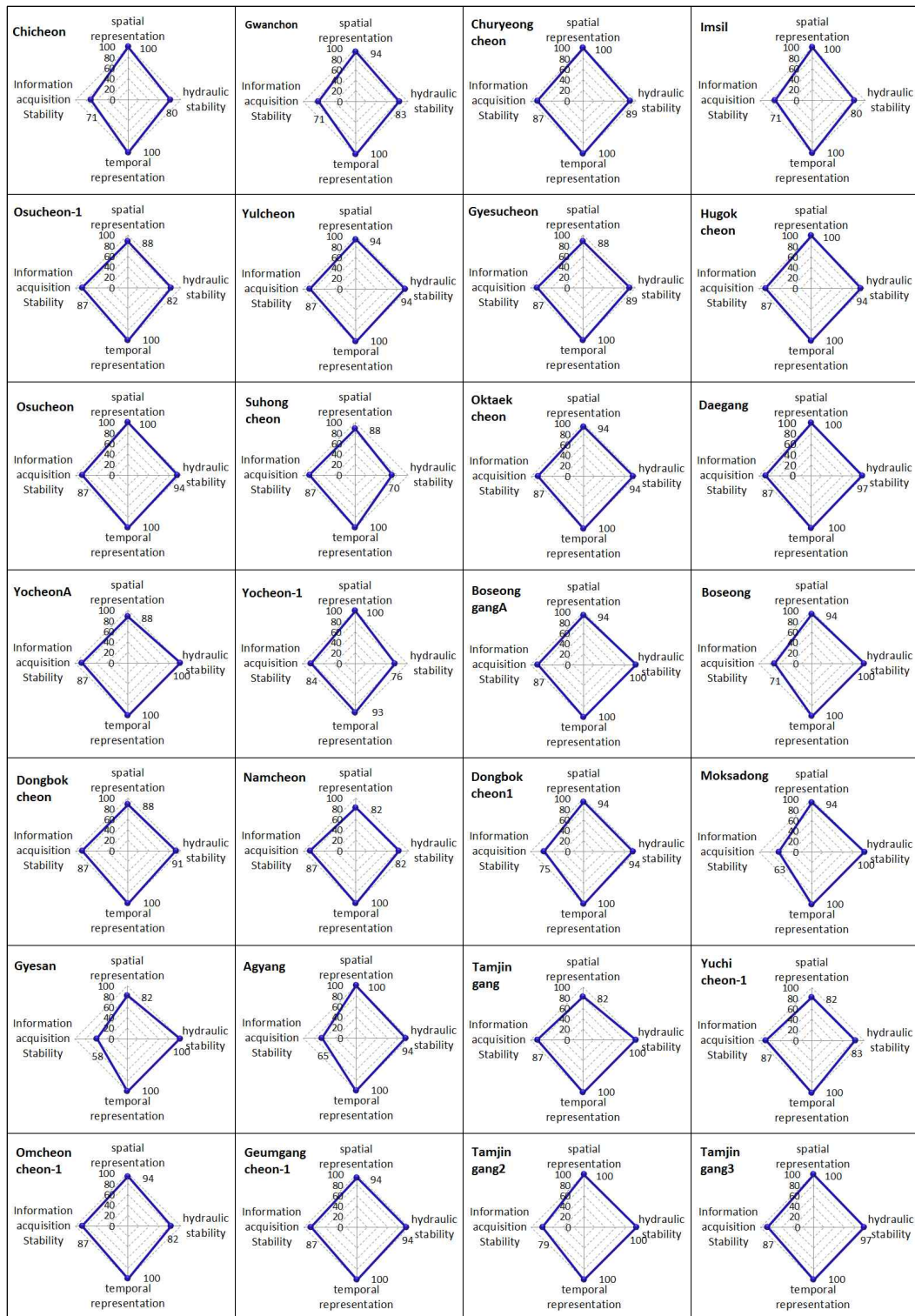


Fig. 4. Radar chart of water quality monitoring network for TMDL(continue).

Table 7. Evaluation results of water quality monitoring network for TMDL

Water system	Station	Spatial representation	Hydraulic stability	Temporal representation	Information acquisition Stability.	Evaluation results	
						Score	Grade
Yeongsan river	Seokkokcheon	88.0	94.0	94.0	87.0	90.2	I -B
	Woochi	94.0	91.0	93.0	87.0	91.4	I -B
	Yongsancheon	82.0	94.0	100.0	87.0	89.0	II -A
	Jinwoncheon	94.0	76.0	100.0	87.0	88.7	II -A
	Pungyeongjeongcheon-1	94.0	94.0	100.0	87.0	93.2	I -B
	Bukhacheon	82.0	82.0	100.0	87.0	86.0	II -A
	Hwngryonggang2A	100.0	100.0	100.0	87.0	96.8	I -A
	Jiseokcheon1A	100.0	83.0	100.0	87.0	92.5	I -B
	Daechoncheon	100.0	94.0	100.0	87.0	95.3	I -A
	Pyeongdongcheon	88.0	94.0	94.0	87.0	90.2	I -B
	Gwangsan	88.0	76.0	62.0	71.0	76.9	III -A
	Jangseongcheon1	88.0	82.0	100.0	87.0	88.1	II -A
	Jangseongcheon2	94.0	72.0	100.0	87.0	87.7	II -A
	Yeongsancheon	100.0	85.0	62.0	87.0	87.3	II -A
	Geumcheon	88.0	82.0	100.0	87.0	88.1	II -A
	Manbongcheon	94.0	70.0	100.0	100.0	90.4	I -B
	Munpyeongcheon	88.0	94.0	94.0	87.0	90.2	I -B
	Yeongsanpo-1	100.0	66.0	75.0	72.0	80.8	II -B
	Gomakwoncheon	94.0	100.0	100.0	87.0	94.7	I -B
	Sikjicheon	88.0	82.0	100.0	87.0	88.1	II -A
	Gusancheon	94.0	82.0	100.0	87.0	90.2	I -B
	Muancheon	88.0	67.0	67.0	87.0	79.4	III -A
	Hampyeongcheon3	100.0	100.0	88.0	87.0	95.0	I -A
	Hampyeong	100.0	73.0	76.0	87.0	86.4	II -A
	Sampocheon1	88.0	70.0	100.0	82.0	83.8	II -B
	Sampocheon2	94.0	82.0	100.0	56.0	82.4	II -B
	Yeongamcheon	100.0	83.0	100.0	100.0	95.8	I -A
	Muan2	100.0	83.0	94.0	76.0	88.9	II -A
	Average	93.1	84.0	92.8	85.1	88.8	II -A
Seomjin river	Gwanchon	94.0	83.0	100.0	71.0	86.4	II -A
	Churyeongcheon	100.0	89.0	100.0	87.0	94.0	I -B
	Imsil	100.0	80.0	100.0	71.0	87.8	II -A
	Chicheon	94.0	73.0	100.0	87.0	87.9	II -A
	Osucheon-1	88.0	82.0	100.0	87.0	88.1	II -A
	Yulcheon	94.0	94.0	100.0	87.0	93.2	I -B
	Gyesucheon	88.0	89.0	100.0	87.0	89.8	II -A
	Hugokcheon	100.0	94.0	100.0	87.0	95.3	I -A
	Osucheon	100.0	94.0	100.0	87.0	95.3	I -A
	Suhongcheon	88.0	70.0	100.0	87.0	85.1	II -A
	Oktaekcheon	94.0	94.0	100.0	87.0	93.2	I -B
	Daegang	100.0	97.0	100.0	87.0	96.0	I -A
	YocheonA	88.0	100.0	100.0	87.0	92.6	I -B
	Yocheon-1	100.0	76.0	94.0	84.0	89.1	II -A
	BoseonggangA	94.0	100.0	100.0	87.0	94.7	I -B
	Boseong	94.0	100.0	100.0	71.0	90.7	I -B
	Dongbokcheon	88.0	91.0	100.0	87.0	90.3	I -B
	Namcheon	82.0	82.0	100.0	87.0	86.0	II -A
	Dongbokcheon1	94.0	94.0	100.0	75.0	90.2	I -B
	Mokssadong	94.0	100.0	100.0	63.0	88.7	II -A
	Gyesan	82.0	100.0	100.0	58.0	83.2	II -B
	Agyang	100.0	94.0	100.0	65.0	89.8	II -A
	Average	93.5	99.8	99.7	80.7	90.3	I -B
Tamjin River	Tamjingang	82.0	100.0	100.0	87.0	90.5	I -B
	Yuchicheon-1	82.0	83.0	100.0	87.0	86.2	II -A
	Omcheoncheon-1	94.0	82.0	100.0	87.0	90.2	I -B
	Tamjingang2	100.0	100.0	100.0	79.0	94.8	I -B
	Geumgangcheon-1	94.0	94.0	100.0	87.0	93.2	I -B
	Tamjingang3	100.0	97.0	100.0	87.0	96.0	I -A
	Average	92.0	92.7	100.0	85.7	91.8	I -B

73%의 지점은 I 등급과 II 등급의 우수한 평가를 받았다. III 등급이 2개 지점(III-A등급: 2개, III-B등급: 0개)으로 7%의 지점이 양호한 지점으로 평가되었다. 영산강유역의 수질총량측정망 모니터링지점의 평균종합점수와 평균등급은 각각 88.8점과 II-A등급으로 분석되어 우수한 지점으로 평가되었으며, 영산강유역에서 가장 우수한 모니터링지점은 96.8점을 얻은 황룡강2A지점으로 4개의 평가특성 중 정보취득 안정성 87점을 제외한 3개 평가특성에서 만점으로 평가되었다.

4.1.2. 섬진강유역

섬진강 유역의 22개의 수질총량측정망 모니터링지점에 대한 평가결과는 Table 7과 Fig. 3-Fig. 4에서와 같이 I 등급이 11개 지점(I-A등급: 3개, I-B등급: 8개)으로 50%, II 등급이 11개 지점(II-A등급: 10개, II-B등급: 1개)으로 50%로 평가되어 모든 지점이 우수한 지점으로 평가되었다. 섬진강유역의 수질총량측정망 모니터링지점의 평균종합점수와 평균등급은 각각 90.3점과 I-B등급으로 분석되어 영산강유역과 함께 우수한 지점으로 평가되었으며, 섬진강유역에서 가장 우수한 대표지점은 96.0점을 얻은 대강지점으로 4개의 평가특성 중 수리학적 안정성의 97점과 정보취득 안정성의 87점을 제외한 2개 평가특성에서 만점으로 평가되었다.

4.1.3. 탐진강유역

탐진강유역은 6개의 수질총량측정망 모니터링지점에 대한 평가결과는 Table 7과 Fig. 3-Fig. 4에서와 같이 I 등급이 5개 지점(I-A등급: 1개, I-B등급: 4개)으로 83%, II 등급이 1개 지점(II-A등급: 1개, II-B등급: 0개)으로 17%로 평가되어 모든 지점이 우수한 지점으로 평가되었다. 탐진강유역의 수질총량측정망 모니터링지점의 평균종합점수와 평균등급은 각각 91.8점과 I-B등급으로 분석되어 영

산강유역과 섬진강유역과 함께 우수한 지점으로 평가되었으며, 탐진강유역에서 가장 우수한 대표지점은 96.0점을 얻은 탐진강3지점으로 4개의 평가특성 중 수리학적 안정성의 97점과 정보취득 안정성의 87점을 제외한 2개 평가특성에서 만점으로 평가되었다.

4.2. 종합평가결과

56개의 수질총량측정망 모니터링 지점의 개별 종합점수와 등급은 Table 7과 Fig. 3-Fig. 4에서와 같이 I 등급이 29개 지점(I-A등급: 7개, I-B등급: 22개)으로 52%, II 등급이 25개 지점(II-A등급: 21개, II-B등급: 4개)으로 44%, III 등급이 2개 지점(III-A등급: 2개, III-B등급: 0개)으로 4%를 점유하는 것으로 분석되었다.

56개의 수질총량측정망 모니터링 지점 중 I 등급으로 분류된 52%의 29개 지점은 매우 우수한 지점이며, II 등급으로 분류된 44%의 25개 지점은 우수한 지점으로 평가되었고 III 등급으로 분류된 4%의 2개 지점은 양호한 지점으로 평가되었다. 그리고 변경과 폐쇄를 권장하는 IV 등급과 V 등급은 전무한 것으로 평가되었다. 이상의 평가에서와 같이 96%에 해당하는 54개의 지점이 우수한 지점으로 평가되었으며 이런 구성이 오염총량관리제를 15여년 동안 안정적으로 추진할 수 있는 근원이 되었을 것으로 판단된다.

Fig. 4의 레이더차트는 56개의 수질총량측정망 모니터링 지점에 대한 4개 특성의 점수를 표현하는 그림으로 4개의 특성이 모두 “100” 점을 획득하면 정사각형의 마름모 형상으로 표현되며 가장 우수한 지점으로 평가된다. 역으로 4개의 특성이 모두 “0” 점을 획득하면 도형의 중심에 한 점으로 표현되며 가장 불량한 지점으로 평가된다. 이상과 같이 사각형의 면적이 클수록 우수한 지점이며, 반대로 사각형의 면적이 작을수록 더 불량한 지점을 나타낸다.

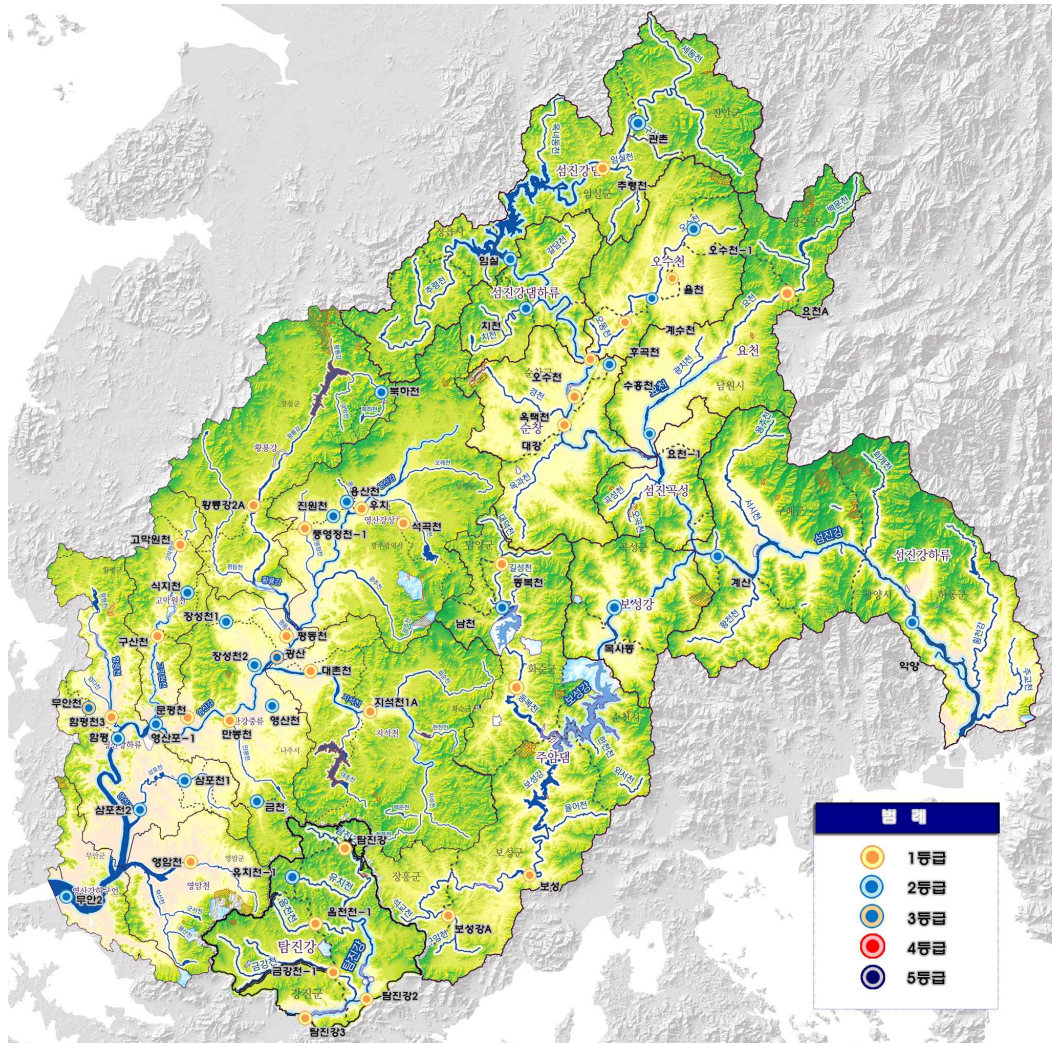


Fig. 5. Evaluation results of water quality monitoring network for TMDL.

유역별로 4개 특성의 평가를 살펴보면, 우선 공간적 대표성은 3개유역이 92.0~93.5점으로 삼진강유역이 93.5점으로 가장 우수한 반면 탐진강유역이 92.0으로 상대적으로 우수하지 못한 것으로 평가되었으며, 정보취득 안정성은 80.7~85.7점으로 탐진강유역이 85.7점으로 상대적으로 우수한 반면 삼진강유역이 80.7점으로 상대적으로 우수하지 못한 것으로 평가되었으나 3개 유역간의 공간적 대표성과 정보취득 안정성은 유사한 평가를 받은 것으로 판단된다. 수리학적 안정성은 84.0~92.7으로 탐진강유역이 92.7점으로 상대적으

로 우수한 반면 영산강유역이 84.0점으로 상대적으로 우수하지 못한 것으로 평가되었고, 시간적 대표성은 92.8~100.0점으로 탐진강유역은 100.0점, 삼진강유역은 99.7점으로 우수한 반면 영산강유역은 92.8점으로 상대적으로 나쁜 점수로 평가되었다.

그리고 Fig. 4를 살펴보면, 56개 지점 중 가장 좋은 종합점수 96.8점을 얻은 영산강유역의 황룡강2A지점은 Fig. 4의 둘째줄 좌로부터 세 번째 그림으로 가장 넓은 면적에 정사각형의 마름모에 가장 가까운 사각형으로 56개의 레이더차트 중 가장 넓은 면적으로 표현

되어 있으며, 가장 나쁜 평가를 받은 영산강 유역의 광산지점은 Fig. 4의 세번째줄 좌로부터 세 번째 그림으로 사각형에서 가장 많이 일그러진 형상과 가장 작은 면적으로 표현되고 있다. 본 연구에서 제시한 레이더 차트를 통하여 각 특성의 호불호(好不好)와 사각형 면적의 크기에 따라 모니터링 지점으로서의 상대적인 우수성과 불량 정도의 정도를 시각적으로 파악할 수 있었다.

수질총량측정망 모니터링 지점에 대한 평가기법의 적용성을 검토하기 위하여 영산강·섬진강수계의 56개의 모니터링 지점에 적용한 결과, 수계의 수질측정망 모니터링 지점에 대한 평가점수의 등급분포 특성이 동일수계 내에서 또는 대상 모니터링 지점에 따라 상이한 결과를 보여 본 연구에서 개발된 수질측정망 모니터링 지점 평가기법이 모니터링 지점에 따른 변별력을 갖추었고, 모니터링 지점별로 평가하고자 하는 내용이 잘 반영되어 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 수질총량측정망의 모니터링 지점에 대하여 상위단계에서 공간적 대표성, 수리학적 안정성, 시간적 대표성, 정보취득 안정성으로 4개의 평가특성으로 구분하고 중간단계에서는 13개의 평가부문으로 나누었으며, 하위단계에 선정된 20개의 평가항목을 구성요소로 하여 객관적이고 효율적인 평가가 이루어질 수 있도록 3단계 평가기법을 개발하였다.

평가기법의 적용성을 검토하기 위하여 영산강·섬진강수계의 56개의 수질총량측정망의 모니터링 지점을 대상으로 평가를 실시한 결과, 56개의 수질총량측정망 모니터링 지점 중 I 등급으로 분류된 52%의 29개 지점은 매우 우수한 지점이며, II 등급으로 분류된 44%의 25개 지점은 우수한 지점으로 평가되었고 III 등급으로 분류된 4%의 2개 지점은 양

호한 지점으로 평가되었으며, 변경과 폐쇄를 권장하는 IV 등급과 V 등급으로 평가되는 지점은 없었다. 이상의 평가에서와 같이 96%에 해당하는 54개의 지점이 우수한 지점으로 평가되었으며 이런 구성이 오염총량관리제를 안정적으로 추진할 수 있는 근원이 되었을 것으로 판단되며, 유역별 평균 종합점수와 등급은 영산강유역이 88.8점과 II-A등급, 섬진강유역이 90.3점과 I-B등급, 탐진강유역이 91.8점과 I-B등급으로 3개 유역 중에 탐진강유역의 모니터링 지점이 보다 우수한 지점들로 평가되었다.

영산강유역과 섬진강유역, 탐진강유역의 4개 특성의 우수성을 살펴보면, 공간적 대표성은 섬진강유역과 영산강 유역이 탐진강 유역의 지점보다 우수하였고, 수리학적 안정성과 시간적 대표성은 탐진강유역과 섬진강 유역이 영산강 유역의 지점들보다 더 우수하고, 정보취득 안정성은 탐진강 유역과 영산강 유역이 섬진강 유역의 지점들 보다 우수한 지점으로 평가되었다. 이상과 같이 평가기법은 평가점수의 등급분포 특성이 동일유역 내에서 또는 대상 지점에 따라 상이한 결과를 보여 지점에 따른 변별력을 갖추었고, 동일유역 내에서 평가하고자 하는 내용이 잘 반영되어 있는 것으로 판단되었다. 그러나 평가의 정도를 높이기 위해서 하천의 해당지점에 대한 자료들의 수집에 주위가 필요하며, 평가정보의 가치를 높이기 위하여 평가부문과 평가특성의 가중치 결정에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 영산강·섬진강수계관리위원회 2015년 환경기초조사사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

1. 환경부(2014), 2014 수질측정망 운영계획, 환경부
2. 박석순(2004), 수질측정망 확충계획 및 운영관리 개선방안 연구 -낙동강 수계를 중심으로-, 환경부
3. 박성천, 이삼노, 문병석, 곽필정, 김정수 (2016), 중권역 유역의 대표지점에 대한 평가기법 개발과 적용, 한구수처리학회지, 제24권 제5호, pp. 123~137.
4. 박성천, 오창열, 진영훈, 김동수(2005), 「섬진강유역 농촌지역의 비점오염원 배출특성에 관한 연구」, 한국환경과학회지, 제14권 제11호, pp. 1057~1062.
5. 조용현(1997), 우리 나라 중소하천 코리도의 자연성 평가기법 연구, 한국조경학회지 제25권, 제2호, pp. 73~81.
6. 오창열, 진영훈, 박성천(2007), 영산강유역의 유출량 및 수질자료에 대한 비선형 동역학과 웨이블렛 이론의 적용, 한국물환경학회지, 제23권 제4호, pp.551~560.
7. 이정호, 전환돈, 박무종(2011), 「하수관망 내 모니터링 지점 선정 기법」, 한국방재학회논문집
8. Spellerberg, I.F. (1992), Evaluation and Assessment for Conservation, Chapman & Hall.
9. 송주일, 이준호, 윤세의(2008), 도시하천의 복원과 관리를 위한 하천평가기법 개발, 대한토목학회 논문집, 제28권 제3B호, pp. 283~296.
10. 윤세의(2007), 도시하천의 평가기법 및 적용예제, 건설교통부, 한국건설교통기술평가원
11. 이준호, 강태호, 성영두, 윤세의(2003), 하천복원을 위한 하천평가기법의 적용성 연구, 한국방재학회지, 제3권 제4호, pp. 131-143
12. Naiman. R. J. et al.,(1992), General Principles of Classification and the Assessment of Conservation Potential in Rivers, In P. J. Boon et al. (eds). River Conservation and Management. New York:John Wiley & Sons, pp. 93~123.
13. Westman. W. E.,(1985), Ecology, Impact Assessment and Environmental Planning. New York:John Wiley & Sons, pp. 131~167.
14. 영산강·섬진강 수계관리위원회(2015), 영산강·섬진강수계 유역도 제작 및 물환경관리 중권역 모니터링 지점 개선방안.