TMDL 업무 지원을 위한 Korean Reach File 공간자료 설계 개선 연구

A Study to Improve the Spatial Data Design of Korean Reach File to Support TMDL Works

이 철 용* / 김 계 현** / 박 용 길*** / 이 혁****

Lee, Chol Young / Kim, Kye Hyun / Park, Yong Gil / Lee, Hyuk

Abstract

In order to manage water quality efficiently and systematically through TMDL (Total Maximum Daily Load), the demand for the construction of spatial data for stream networks has increased for use with GIS-based water quality modeling, data management and spatial analysis. The objective of this study was to present an improved KRF (Korean Reach File) design as framework data for domestic stream networks to be used for various purposes in relation to the TMDL. In order to achieve this goal, the US EPA's RF (River Reach File) was initially reviewed. The improved design of the graphic and attribute data for the KRF based on the design of the EPA's RF was presented. To verify the results, the KRF was created for the Han River Basin. In total, 2,047 stream reaches were divided and the relevant nodes were generated at 2,048 points in the study area. The unique identifiers for each spatial object were input into the KRF without redundancy. This approach can serve as a means of linking the KRF with related database. Also, the enhanced topological information was included as attributes of the KRF. Therefore, the KRF can be used in conjunction with various types of network analysis. The utilization of KRF for water quality modeling, data management and spatial analysis as they pertain to the applicability of the TMDL should be conducted.

Keywords : Korean reach file, spatial data design, GIS, TMDL

요 지

TMDL에서 효율적이고 체계적인 수질관리를 위하여 하천 네트워크 공간자료 구축 및 이를 이용한 GIS기반의 수질모델링, 자료 관리, 공간분석 등이 요구된다. 본 연구에서는 국내 하천 네트워크에 관한 프레임워크 데이터로서 TMDL 실무에서 다양한 활용이 가능하도록 KRF (Korean Reach File) 설계안을 개선하여 제시하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 우선 미국 EPA RF(River Reach File) 사례를 검토하였고, EPA RF 설계 내역을 참고하여 개선된 KRF의 도형 및 속성 설계안을 제시하였다. 결과 검증을 위해 한강수계를 대상으로 KRF를 시범 구축하였으며, 총 2,047개의 stream reach 분할이 가능하였고, 총 2,048개 지점에 대한 노드 생성이 가능하였다. 각 공간객체에 대한 고유식별자가 중복 없이 입력됨이 확인되었고,

* 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정 (e-mail: khsakura82@inhaian.net)

Ph.D. Candidate, Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea.

** 교신저자, 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 교수 (e-mail: kye Hyun@inha.ac.kr, Tel: 032-875-4413)

Corresponding Author, Prof., Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea.

*** 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정 (e-mail: shakunetsu@inha.edu)

Ph.D. Candidate, Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea.

**** 국립환경과학원 수질통합관리센터 연구사 (e-mail: ehyuk72@korea.kr)

Environmental Researcher, Water Quality Control Center, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea.

이를 통해 유관 DB와의 자료연계에도 KRF가 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 KRF에 위상정보가 강화되어 입력됨에 따라 향후 다양한 네트워크 분석에도 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 향후에는 KRF를 이용한 수질모델링 및 자료관리, 공간분석 등 다양한 TMDL 실무 활용에 대한 연구가 필요하다.

핵심용어 : 한국형 리치 파일, 공간자료 설계, 지리정보시스템, 수질오염총량관리제

1. 서 론

환경부는 1998년 수질오염총량관리제(TMDL; Total Maximum Daily Loads)의 도입을 고시하여 모든 오염원 및 오염부하량에 대한 모니터링을 통해 수질을 적극적으로 관리하기로 결정하였다(Kong, 2005). 이러한 상황에서 TMDL이 효율적으로 추진되기 위해서는 각종 오염원 및 오염부하량에 대한 전국단위 자료가 체계적으로 관리되어야 하고, 또한 용이하게 공유 및 활용되어야만 한다. 따라서 환경부는 유관자료의 효율적인 관리 및 공유, 나아가 수질모델링 등의 실무 자동화를 위하여 데이터베이스 구축 사업을 지속적으로 추진하였다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009). 그러나 기 구축된 데이터베이스는 주로 문자나 수치로 이루어진 비공간자료(non-spatial data)를 기반으로 하고 있고, 오염원 및 오염부하량의 공간적인 분포 현황 파악이나 검색을 위해서는 유관 공간자료와의 연계 가공이 필수적이다. 따라서 GIS (Geographic Information System)를 활용한 공간분석이나 수질모의 자동화에 활용하기에는 제한적이며, 하천을 따라 흐르는 오염물질의 이동경로 탐색이나 유입지점의 추적도 어려운 실정이다.

미국 환경보호청(EPA; Environmental Protection Agency)에서는 이러한 문제를 과거에 인지하여 'EPA RF (River Reach File)'라는 공간자료 기반의 수문학적 데이터베이스를 구축한 바 있다(U.S. EPA Office of Water, 1994a, 1994b). EPA RF는 현재까지도 미국 TMDL 지원을 위한 유관 자료 관리 및 수질모의 업무에 활용되고 있으며, 현재는 NHD(National Hydrography Dataset)에 통합되어 다양한 형태로 활용 중이다(Dewald, T. and Roth, K., 1997; U.S. EPA, 2003a, 2003b). 그러나 국내에서는 수질관리를 위한 하천 네트워크 공간자료 및 데이터베이스 구축에 관한 연구는 아직까지 미흡하다. 국내 유관 프레임워크 데이터(framework data)로서 국토지리정보원에서 구축한 '기본공간정보'가 존재하나(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008), 이는 TMDL 업무 지원을 위해 제작된 자료가 아니므로 EPA RF의 경우

와 같이 실무에 즉시 연계하여 활용하기에는 어려움이 따른다. 또한 Kwon et al. (2012)은 수질모델링 지원을 위해 EPA RF와 유사한 형태의 'KRF (Korean Reach File)'를 시범 설계한 바 있으나, 이는 QUAL2E 모델에만 특화되어 있어 프레임워크 데이터로서 TMDL 내 다양한 업무 분야 적용에 한계가 따랐다.

따라서 본 연구의 목적은 국내 하천 네트워크에 관한 프레임워크 데이터로서 기존 KRF가 국내 TMDL 실무에서 다양하게 활용될 수 있도록 KRF 설계안을 개선하는 데 있다. 이를 위하여 선행연구사례로서 우선 미국 EPA RF 구축 및 활용사례를 조사하였고, 국내 실정과 비교하여 시사점을 도출하였다. 이후 국내 TMDL 실무를 고찰하고, EPA RF 설계 내역을 참조하여 개선된 KRF의 도형 및 속성 설계안을 제시하였다. 설계 결과에 대한 검증을 위하여 한강수계를 대상으로 KRF를 시범 구축하였으며, KRF 설계 개선 결과 및 활용에 대한 고찰을 수행하였다.

2. 미국 EPA RF 사례 및 시사점 분석

2.1 정의 및 구성

미국 EPA RF는 하천분기단위인 'stream reach'를 정의하고 이들 간의 위상(topology) 관계를 나타낸 미국 지표수 특성의 지형학적 데이터베이스이다(U.S. EPA Office of Water, 1994a; U.S. EPA Office of Water, 1994b). 이는 수문정보 체계를 수립하고, 모델링 적용을 위한 하천 흐름방향검색(navigation) 및 추적(tracing)을 지원하며, 각 지표수 특성에 대한 고유 식별을 제공하는 역할을 수행한다. GIS기반의 하천정보 통합데이터베이스로서 EPA RF는 도형 및 속성자료로 구성되어 있고, 도형자료는 하천 형상을 일반화한 선형의 하천망(stream network)을 stream reach 단위로 분할함으로써 제작되며, 속성자료는 각 stream reach에 대한 고유식별자를 부여하고 해당 구간 특성에 대한 속성을 저장함으로써 구축된다. Fig. 1은 미국 Nevada주를 대상으로 구축된 EPA RF(version 3)의 예시를 나타낸다.

Fig. 1. Example of EPA RF (State of Nevada, RF3 version)

2.2 활용사례

EPA RF는 미국 내 유역 및 수질의 통합적인 관리 및 평가를 위해 다양한 형태로 활용되고 있다. 대표적인 예로 EPA에서는 유역 및 수질에 대한 통합 예측을 위한 통합 모델링 프로그램인 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Source)를 개발하면서 프레임워크 데이터로써 EPA RF를 활용하였다. BASINS는 EPA RF와 연계되어 유역 공간정보, 오염원, 모니터링 자료를 데이터베이스화하여 제공하며, 사용자의 목적에 따라 유역 유출모형, 수리모형, 수질모형 등 다양한 모델 과도 연계되도록 함으로써 수질관리 및 TMDL 업무 지원에 크게 기여하고 있다(U.S. EPA, 2001).

아울러 미국 USGS (U.S. Geological Survey)에서는 NAWQA (National Water Quality Assessment Program)의 일환으로 1991년부터 미국 42개 유역에 대한 화학·생물학·물리학적 수질자료를 체계적으로 수집하였는데, 수집된 자료는 EPA RF 기반의 ERF1 (Enhanced River Reach File 1.2)을 통해 제공되고 있으며 웹 기반 SPARROW 모델에서도 활용되고 있다(Ierardi et al., 2004). 미국 전역의 수질 및 수자원에 대한 다양한 환경정보를 웹 환경에서 제공하기 위해 개발된 'EnviroMapper'와 'MyWaters Mapper'에서는 EPA RF를 기반으로 하천 및 오염정보를 제공하고 있다 (<http://www.epa.gov/waters/enviromapper/>). 특히, EPA RF는 관심 하천에 대한 GIS기반의 공간자료 조회 기능을 제공하는데 핵심적인 역할을 수행하고 있다. EPA RF의 고 유식별자는 관계형 결합(relational join)을 위한 연계키(key)로 이용되고 있으며, RAD(Reach Address Database)

를 통해 다양한 프로그램 데이터베이스와 연계를 가능하도록 함으로써 웹상에서 하천에 대한 다양한 속성정보를 즉시 확인하고 다운로드할 수 있도록 지원하고 있다.

EPA RF는 미국 수질관리 프로그램 외에도 다양한 연구에 활용되었다. Samuels et al. (2003, 2004)은 EPA RF를 이용한 네트워크 분석을 수행하여 오염원 이동시간을 분석하였다. 또한 EPA RF는 GIS기반의 'RiverSpill' 프로그램(SAIC, 2002, 2003)의 개발 연구에도 활용되었으며, 이는 오염원의 이동시간, 감소, 분포도 등의 계산을 지원하였다. Horn and Grayman (1993)은 EPA RF를 수질모델링에 적용하였으며, 하천 네트워크 공간정보 생성, 수자원 데이터베이스의 지리학적 검색, 수질 예측 및 분석을 위한 사용자 의사결정 지원, 하천 지명 제공 등에 EPA RF를 이용하였다. Langen (1994)은 Montana 주를 대상으로 'Montana River Information System'으로부터 제공되는 양식장의 위치, 야생동물 이동 경로, 휴양지, 지질학적 데이터를 EPA RF와 연계하여 분석하는 연구를 수행하였다. Damron and Anderson (1987)은 연어의 소하성 및 송어 분포와 관련된 정보를 파악하고 수집하기 위하여 EPA RF를 활용하였으며, Liu and Weller (2008)은 하천 네트워크 추출, 횡단법(traversing), 경로추적 등을 지원하기 위한 시뮬레이션 모델에서 EPA RF를 이용하였다.

2.3 국내실정 비교 및 시사점

사례 고찰에서 확인된 바와 같이 미국에서는 수집된 유역 및 하천환경정보의 효율적인 관리를 위해 EPA RF와 같은 공간 프레임워크 데이터를 기반으로 데이터베이스 관리시스템(DBMS; Database Management System)을

체계적으로 구축하였다. 또한 수계유역의 지리, 지형과 같은 공간정보와 오염원, 수질, 유량, 기상 등과 같은 환경정보를 결합한 수질관리 통합지리정보체계를 구축하여 수질관리에 적극 활용하고 있는 것으로 확인되었다. 그러나 국내에서는 한강수계의 '수질환경정책수립지원시스템'이 1998년 국내에서 최초 개발된 이래, GIS기반 환경관리시스템이 지속적으로 개발되고는 있으나(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009), 관련 시스템에서 활용하기 위한 표준화된 하천의 수리학적 기초공간자료는 부족한 실정이다. 더불어 수리학적 기초공간자료를 제작하기 위한 전처리 방법도 시스템마다 달라 동일한 유역 및 하천을 대상으로 함에도 불구하고 상이한 분석결과를 도출하는 문제를 종종 발생시키고 있다.

국내에서도 EPA RF와 유사한 하천 네트워크 기반 공간자료나 데이터베이스 구축을 시도하였다. Kim et al. (2004)은 하천을 유역 단위로 관리해야 하는 필요성을 제시하고 수문학적 지형특성을 공간 데이터베이스로 구축할 수 있도록 공간자료의 프레임워크 모델을 제시한 바 있다. Kim et al. (2004)은 도시하천의 관리 및 공간계획을 지원하기 위해 네트워크 기반의 Dynamic Segmentation 모델을 개발하여 부산시에 적용하였다. 그러나 해당 연구에서 개발된 데이터 모델 및 공간자료는 자체적으로 개발한 정보시스템을 운용하기 위한 것으로 범용 사용을 위한 자료의 의미보다는 특정 전문가 시스템에서의 활용을 목적으로 개발되었다. 따라서 제한적인 목적에서만 활용이 가능하며, TMDL 실무 적용을 위한 프레임워크 공간자료로서 즉시 활용하기에는 한계가 따랐다.

이러한 문제점의 개선을 위하여 Kwon et al. (2012)은 TMDL 수질모의를 지원하기 위하여 KRF를 시범적으로 설계하여 경안천을 대상으로 적용을 시도하였다. 그러나 QUAL2E 모델에서 필요한 자료만으로 속성을 구성하여 네트워크 분석을 위한 위상 설계에 미흡함이 있었고, 프레임워크 데이터로 활용하기에 제한적이었다. 따라서 미국 EPA RF와 같이 다양한 TMDL 실무를 지원하기 위해서는 좀 더 개선된 KRF의 설계 및 구축이 요구된다. 특히, 각 부처의 다양한 데이터베이스와 연동이 가능하도록 표준화된 고유식별자나 연계키 개발이 요구되며, 네트워크 분석에도 활용될 수 있도록 위상 속성의 개선도 필요하다.

3. KRF 도형자료 설계

3.1 도형자료 구성 및 구축방법

GIS기반의 네트워크 분석(network analysis)을 위해서

는 네트워크 데이터 모델 기반의 데이터셋(dataset) 구축이 필요하다. 현재 전 세계적으로 널리 사용되는 데이터 모델은 '아크-노드 모델(Arc-Node model)'이다. 이 모델에서는 '아크'와 '노드'의 모임 및 연결 관계를 구조적으로 저장함으로써 네트워크의 방향성 정의 및 상하류의 식별 등을 가능하게 한다(Kim, 2010; Kim et al., 2004). 본 연구에서 구축하고자 하는 KRF도 TMDL 실무에서 다양한 하천 네트워크 분석 업무를 지원하여야 하므로 아크-노드 모델을 기반으로 구축되어야 한다. 따라서 KRF 도형자료 구성에 있어 '아크'와 '노드'로 참조 가능한 '선형(line type) 도형자료'와 '점형(point type) 도형자료'를 반드시 포함하도록 구성을 정의하였다. 또한, 선형 도형자료는 하천중심선을 stream reach 단위로 분할하고, 점형 도형자료는 각 stream reach의 시작 및 종료지점을 디지털화(digitizing)하여 구축 활용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 즉, 본 연구에서는 선형 도형자료로만 구성된 기존의 KRF에 노드로 참조 가능한 점형 도형자료를 추가하는 것으로 KRF의 도형자료 구성을 재정의하였다.

기존 KRF 설계 연구에서 Kwon et al. (2012)은 선형 도형자료 구축을 위하여 하천중심선을 추출 및 분할하는 방법을 채택하였다. 본 연구에서도 KRF의 선형 도형자료는 동일한 방법으로 구축하는 것으로 정하였으며, 하천중심선 추출은 Lee et al. (2009)이 제안한 벡터 자료에 대한 스켈레토나이징(skeletonizing) 기법을 이용하여 이루어지도록 하였다. 여기서, 벡터 자료에 대한 스켈레토나이징 기법은 실폭 하천도 도형자료의 모든 버텍스(vertex)와 접하는 최대내접원(maximum inscribed circle)을 제안된 알고리즘으로 자동 생성한 후, 모든 원의 중심점(center point)을 추출하여 이를 연결하는 방법이다.

한편, KRF 선형 도형자료로서 국토지리정보원에서 구축한 수자원 기본공간정보의 '하천흐름' 자료를 그대로 활용하는 것도 고려해 보았다. 그러나 수자원 기본공간정보에 포함된 하천흐름 레이어는 평상시 하천의 흐름 형상을 대표하지 못하는 한계가 있었다. Fig. 2는 수자원 기본공간정보에 포함된 하천흐름 레이어가 참조하는 하천중심선(a)과 스켈레토나이징 기법으로 추출한 실폭하천도 기준의 하천중심선(b) 결과 예시를 비교한 그림이다. 수자원 기본공간정보의 하천중심선은 제방선 내 하천 제외지까지 포함된 하천 구역에 대한 중심선으로 정의된다. 따라서 Fig. 2의(a)에서 확인할 수 있듯이 기본공간정보 하천중심선은 평소 실제 하천의 형상을 대표하지 못하며, 하천 연장도 실제 유하거리와 상이해지는 문제점이 있었다. TMDL 업무 내 수질예측을 위해서는 하천 수리수질

Fig. 2. Comparison of Existing River Centerline (a) and Extracted River Centerline with Skeletonizing Method (b) (Kwon et al., 2012)

모의과정에서 하천중심선이 필요하고, 이때 실제 하천 흐름 형상이 반영된 보다 현실적인 유하거리 값을 제공하는 자료가 필요한데 기본공간정보는 이러한 적용에 적합하지 않을 것으로 판단되었다.

아울러 기존 기본공간정보 하천흐름 레이어는 호수 및 저수지로 여러 지천이 합류되는 경우에 하나의 합류점에 2개 이상의 지천이 연결되도록 구축되었는데, 이렇게 도형자료가 구축되면 지천 간의 상하류 관계 정의가 불분명해지며, 좌우 유입 방향에 대한 정의도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 위상관계에 대한 보다 명확한 정의 및 확인이 가능하도록 합류점에는 반드시 하나의 지천만 연결될 수 있도록 도형자료를 구축하였다. 이를 위해 호수 및 저수지를 관통하는 하천중심선을 상기 방법을 적용하여 우선 작성하였다. 이후 호소에 유입되는 지천들의 상하류 관계를 확인하여 보다 상류에서 유입되는 지천은 호소 내 하천중심선의 상대적으로 상류 지점과 연결하도록 하고, 순차적으로 하류 방향으로 호소 내 하천중심선의 연결지점

을 이동시키며 지천의 하천중심선과 연결하도록 하였다. 이러한 연결 규칙은 연결되는 지천의 순서나 방향을 보다 명확하게 정의하여 이후 속성자료 입력의 최적화를 가능하게 하고, 보다 직관적으로 위상정보를 정립할 수 있도록 하는 장점이 있다.

하천중심선의 stream reach 단위 분할은 ① 하천 분기점 위치, ② 하천 시작 및 말단 위치, ③ 댐 및 보의 위치, ④ 하천도 기준의 하천 경계점 위치를 기준으로 하는 것으로 정의하였다. 이러한 기준은 기하학적 형상 및 위상관계만을 고려한 것으로 분할 기준이 명확하고, 도형자료 구축 시 여러 작업자가 동시에 작업을 하더라도 항상 일정한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 점(시작점, 말단지점, 합류점, 분기점, 경계지점), 선(하천중심선), 면(하천도) 간의 연결, 포함, 이웃 관계를 분명히 할 수 있어 위상관계 정의도 명확히 하는데 유리하다. 아울러 육안으로도 쉽게 분할지점의 확인이 가능하므로 도형자료의 구축 및 검수에 있어서도 용이하다.

기존에 제안된 단일 수리계수 단위로 stream reach를 분할하는 방법은 수리학적 유사 구간의 기준이 현재까지 불분명하고, 분할 방법이나 규칙이 모호하다. 따라서 분할 이후 해석에 많은 논란의 여지가 있으므로 관련 기준이 확립되기 이전까지는 본 연구에서 제안한 분할 방법이 바람직한 것으로 판단되었다. Fig. 3은 상기 방법으로 선형 및 점형 도형자료를 구축한 결과 예시를 나타낸다. Fig. 3에서 하천중심선이 합류지점과 하천의 경계지점(Fig. 3의 A)에서도 분할된 것을 확인할 수 있다.

3.2 고유식별자 부여

도형자료 구축 이후에는 각 도형 객체에 대한 고유식별자의 입력이 필요하다. 이때 고유식별자는 특정 규칙에 의해 정의되어 중복 없이 입력되어야 하고, 각 도형 객체의 특성을 스스로 설명하여야 하며, EPA RF와 같이 다른 자료에 참조되어 연계 검색 등에 활용되어야 한다. 아울러 도형 객체 간의 연결성, 인접성, 계급성 등의 위상정보도 고유식별자를 이용하여 제공될 수 있도록 설계되어야 한다. EPA RF의 고유식별자는 이러한 사항들이 종합적으로 고려되어 개발되었으며, Fig. 4와 같이 CU, SEG, MI의 조합으로 이루어져있다(U.S. EPA, 1994b).

여기서, CU는 '(Hydrologic)Cataloging Units'이며, 8자리의 디지털 코드로 미국 USGS의 미국연방정보처리표

Fig. 3 Example of Generated KRF's Point and Line Graphic Data

준(FIPS; Federal Information Processing Standard)에 의해 정의된 유역을 의미한다. CU는 총 1,925개 대유역으로 구성되며, 공통된 유역 안의 stream reach는 모두 동일한 CU 코드를 가진다. SEG는 'Segment number'의 약자로 4자리의 디지털 코드로 정의된 지표수 고유번호를 의미한다. MI는 'Marker Index'의 약자로 5자리(소수점 이하 2자리 포함)의 디지털 코드로 이루어지며, 특정 하천에 존재하는 분기점의 상대적 위치를 의미한다. 모든 하천의 최하류 stream reach 말단 지점의 MI는 '0(zero)'의 값을 가지며, 그 위로 상류에 존재하는 분기점의 MI는 순차적으로 이보다 큰 숫자가 지정된다. 즉, MI 값이 큰 stream reach는 MI 값이 작은 stream reach보다 상류에 존재하는 것을 의미하며, 이러한 고유식별체계는 고유식별자만으로도 stream reach 간 상하류 위상관계를 쉽게 확인할 수 있도록 하는 장점을 갖는다.

기존 KRF 고유식별자도 EPA RF와 유사한 형태로 개발되었으며, TMDL을 위한 총량관리 단위유역을 CU로, 표준하천코드로 분류된 각 하천을 SEG로, 하천의 유입 및 분기점을 기준으로 분할한 각 stream reach 단위의 분할 위치를 MI로 참조하여 이를 조합함으로써 고유식별자가 정의되었다(Kwon et al., 2012). 본 연구에서도 이를 참고하여 기존과 유사한 형태로 고유식별자를 구성하고자 하였다. 그러나 본 연구에서는 총량관리 단위유역 경계를 stream reach의 분할 기준으로 고려하고 있지 않으므로 기존 고유식별체계를 그대로 따를 수는 없었다. 따라서 기존 고유식별체계의 수정이 필요하였으며, 이 과정에서 수계 분할 및 유역 정보의 입력이 표준하천코드 생성 과정에서 이미 이루어졌고, 또한 대권역 수준의 유역 분할 정보도 이미 표준하천코드에 포함되어 있는 것으로 확인되었다(Ministry of Construction & Transportation, 2004). 그리고 이는 총량관리 단위유역보다 상위 개념의 유역 경계로 굳이 하위 개념의 총량관리 단위유역 코드를 표준하천코드 앞에 붙여 고유식별자를 구성할 필요는 없을 것으로 판단되었다. 아울러 이를 제외시키더라도 하천 단위나 수계 단위로 stream reach를 식별하는데 전혀 문제가 없는 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 기존 KRF의 고유식별자에 포함되어 있던 총량관리 단위유역 코드를 제외시켰고, 표준하

Fig. 4. Composition of EPA RF's Reach Code (RF3 version)

Fig. 5. Composition of KRF's Reach Code

천코드와 대응하는 SEG와 분할지점의 위치를 나타내는 MI만 포함시켜 고유식별자를 구성하는 것으로 설계를 개선했다. 이때 MI는 기존 연구에서와 같이 표준하천코드를 기준으로 특정 하천의 전체 길이에 대하여 해당 하천의 최하류점부터 분할지점까지 누적거리의 비율로서 백분을 값으로 정의하였다. Eq. (1)은 S_l 의 하천연장을 갖는 임의의 하천에 포함되는 n 번째 stream reach인 R_n 의 MI_n 값을 구하는 식이다.

$$MI_n = \frac{\sum_{i=1}^n R_i - R_n}{S_l} \times 100(\%) \quad (1)$$

본 연구에서 KRF는 면형(polygon type) 하천도의 하천경계를 기준으로 하천중심선이 분할되므로 이 경우 '분류-지류'의 연결 부분에서 stream reach가 추가로 생성된다. 그러나 이는 SEG와 MI의 구성만으로는 식별이 불가능하다. 그 이유는 '분류-분류'로 연결되는 stream reach와 '분류-지류'로 연결되는 stream reach가 하나의 MI 값을 동시에 참조하며, 이에 따라 두 stream reach에는 동일한 고유식별자가 부여되기 때문이다. 따라서 선형 도형자료의 경우에 지류의 차수(order)를 의미하는 TRIB (Tributary) 코드를 추가함으로써 분류-지류 연결 stream reach도 식별이 가능하게 하였다.

Fig. 5는 상기 과정으로 정의된 점형 및 선형 도형자료의 고유식별자 구성을 나타낸다. 점형 도형자료는 SEG와 대응하는 7자리 표준하천코드와 8자리 MI를 조합하고, 선형 도형자료는 여기에 지류 구분을 위한 1자리 TRIB를 추가하여 고유식별자를 생성토록 하였다. 점형 도형자료의 고유식별자는 SEG와 MI 사이의 구분 공간을 포함하여 총 16자리 코드로 구성되었고, 선형 도형자료는 두 곳의 구분 공간을 포함하여 총 18자리 코드로 구성되었다. Fig. 6은 상기 규칙을 적용하여 각 stream reach에 고유식별자를 부여한 예시를 나타낸다. Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 분류 stream reach에는 TRIB 값이 '0'으로 입력되며, 첫 번째 지류 stream reach와 분류-지류 연결 stream

Fig. 6. Example of Assigned Unique ID on Each Stream Reach

reach에는 TRIB 값이 '1'로 입력되어 중복 없이 stream reach 식별이 가능하게 되었다.

4. KRF 속성자료 설계

4.1 국내 TMDL 업무분석

KRF의 속성자료에 포함시킬 정보를 모델링하기 위해 국내 TMDL 업무를 분석하였다. TMDL 관련 업무편람 (Ministry of Environment, 2004) 및 물환경정보시스템 (WEIS; Water Environment Information System) 데이터베이스 구성 내역을 검토하였다. 국내 TMDL에서는 오염원 및 오염부하량 자료를 단위유역 및 법정동리 행정구역 단위로 관리하고 있는 것을 확인하였다. 특히 WEIS 데이터베이스 구성을 확인한 결과, 대부분의 데이터 테이블이 '유역명', '유역코드', '(법정동리기준)행정구역명', '(법정동리기준)행정구역코드'를 데이터베이스 간 연계키로 활용하고 있는 것을 확인하였고, 검색 및 조회도 이를 기준으로 이루어지고 있음을 확인하였다. 따라서 기존 업무와의 연결성 및 호환성을 고려한다면, KRF 기반 자료 검색을 지원하기 위해서는 유역명이나 유역코드, 행정구

역명, 행정구역코드 등이 KRF 속성에도 반드시 반영되어야 할 것으로 판단되었다.

4.2 EPA RF 속성내역 고찰

EPA RF는 1970년대 최초 개발된 이래 현재까지 RF1A, RF1, RF2, RF3에 이르는 버전으로 갱신되어왔다. 특히 RF3은 최상위 수준의 EPA RF로서 오랜 기간을 거쳐 엔티티(entity)와 속성이 평가 및 검증되었다. RF3은 이전 버전들과 비교하여 공간 검색 및 분석 활용도를 높이기 위해 위상정보에 대한 속성이 강화되었다. 반면, 특정 stream reach에 대한 수리·수문·수질 특성에 관한 상세 속성은 데이터베이스를 별도로 구축하거나 기존의 타 데이터베이스와 연동하여 활용하도록 함으로써 도형자료와 함께 저장되는 속성의 양을 최소화하였고, 이를 통해 RF의 활용에서 처리 속도 향상을 이루었다(U.S. EPA, 1994a).

EPA RF의 발전 과정의 연장선상에서 우리나라는 다양한 버전의 RF 중에서도 RF3과 유사한 형태로 속성 설계가 이루어져야 한다. 그 이유는 우리나라의 경우 이미 각 물관리 유관 부처에서 수리·수문·수질 데이터베이스를 구축하였고(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009), 이를 연계 활용하는 것이 KRF를 위해 새로운 데이터베이스를 구축하는 것보다 효율적이기 때문이다. 또한 도형자료와 함께 최소한의 속성자료만을 저장하는 것이 향후 활용에서 연산 및 검색의 처리 속도를 높이는 데 유리하다.

4.3 속성 모델링 및 설계서 작성

KRF의 속성은 수질모델링과 함께 국내 TMDL에 관한

자료의 하천 네트워크 기반 탐색 및 검색을 지원하고, 기타 GIS 분석에서도 다양하게 활용될 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서 이를 위해서는 위상 정립 및 위치 검색을 위한 ‘위치 정보’와 이를 기반으로 하는 ‘위상 정보’가 반드시 속성 설계에 반영되어야 한다. 또한 공간자료 기반의 데이터베이스 관리 및 검색에도 활용되어야 하므로 연계키로도 활용이 가능한 ‘주제 정보’도 포함되어야 한다.

속성 모델링은 상기 사항을 고려하여 ‘위상 속성(topological attributes)’, ‘위치 속성(locational attributes)’, ‘주제 속성(thematic attributes)’의 세 가지 분류에 따라 이루어졌다. 위상 속성에서는 EPA RF3 속성 내역을 반영하였고, 하천의 경로탐색(navigation)이나 수질모의 구간 선정, 누적연장의 계산, 관심 대상 하천의 추출 등에서 해당 속성들이 활용될 수 있도록 모델링을 수행하였다. 위치 속성과 관련해서는 각 객체의 위치 식별이 가능하고 위치 검색에서도 활용이 가능하도록 TM좌표계에서의 2차원 XY좌표가 속성으로 입력되도록 모델링하였다. 특히 이때 선형도형자료는 시작점과 끝점의 XY좌표뿐만 아니라, 공간색인 및 검색에서 MER (Minimum Enclosing Rectangle)을 활용할 수 있도록 XY좌표의 최대값 및 최소값도 속성에 반영하였다(Kim, 2010). 주제 속성과 관련해서는 TMDL 관련 유관 자료의 공간 기반 관리가 가능하도록 이에 필요한 최소의 주제 정보가 속성에 포함되도록 모델링하였다. 특히 하천명, 하천코드, 유역명, 행정구역명은 유관 데이터베이스와의 관계형 결합에서 연계키 역할을 수행하므로 우선 고려되었다. Table 1은 속성 모델링을 통해 정의된 속성 내역을 세 가지 분류에 따라 정리한 것이다.

논리적 설계에서는 앞서 모델링한 속성 내역을 바탕으로

Table 1. Attribute's List of Point and Line Data for Korean Reach File

Class	Attributes of point data	Attributes of line data
Topological attributes	Number of connected reaches, Connected downstream reach's ID, Name of TMDL's watershed, Standard watershed's code, Administrative district's code	Administrative district's code, Inflow direction of main upstream, Inflow direction of complement reach, Presence of divergent reach, (Inflow/Outflow) Name of TMDL's watershed/Standard watershed's code/Administrative district's code/Reach's node ID, (Upstream left/Upstream right/Complement/Downstream/Divergence) Reach's ID
Locational attributes	Coordinates of X & Y	(Inflow/Outflow, Max./Min.) Coordinates of X & Y
Thematic attributes	Feature ID, Catalog Units(CU), Segments(SEG), Marker Index(MI), Reach's node ID	Feature ID, CU, SEG, MI, Upstream reach's MI, Tributary (TRIB), Classification of main and tributary stream, Basin's name, River's name, Classification of main and tributary stream as river's name, Reach's line ID, River's length, Reach's length/cumulative length, Presence of connected reach, Presence of start/end reach, (Reach's) Type/Level, Updated date

필드명, 데이터 타입 및 길이, 속성 정의 등을 테이블 형식으로 정리하였다. Tables 2 and 3은 상기 과정을 거쳐 설계된 KRF의 점형 및 선형 도형자료의 속성 설계서이다. 또한, Kwon et al. (2012)은 기존 KRF 속성에 수리계수(hydraulic coefficient) 정보를 포함시켰으나, 본 연구에서는 제외하였다. 그 이유는 앞서 설명하였듯이 본 연구에서 stream reach는 하천 분기점 및 댐, 보 등의 위치에서 분할되었는데, 이 경우 특정 stream reach는 의도하지 않게 길어질 수 있고 그렇게 되면 수리계수도 하나의 stream reach 내에서 더 세분되어 다양한 값을 가질 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서 수리계수 정보는 KRF 속성 내역에서 제외되었다. 다만 대안으로써 향후 하천횡단면별 수리계수 정보를 개별적으로 저장하는 데이터베이스를 구축하고, KRF 고유식별자를 각 하천횡단면별 자료에 부여하여 이를 통해 연동 활용하는 방법 등을 고려한다면 향후 수질모델링 활용에서 수리계수 정보의 제공이 가능할 것으로 판단되었다.

5. KRF 공간자료 구축

5.1 연구대상지역

KRF 설계안의 검증을 위해 한강수계를 대상으로 KRF

를 시범 구축하였다. 한강수계의 총 유역면적은 약 35,770 km²이며, 이 중 남한에서 관리하고 있는 유역면적은 약 25,953 km²이다(Fig. 7). 한강수계는 한강을 본류로 하고 있으며, 약 2천만 명 이상의 인구가 집중되어 있는 수도권을 관통하고 있어 인근 도심지역의 식수원으로써 효율적이고 체계적인 수질 및 수자원 관리가 요구되는 지역이다. 특히, 한강수계는 국내 TMDL이 도입된 이래로 그 동안 임의제 시행지역으로 의무 대상지역에서는 제외되어 왔으나, 2013년 6월부터는 의무제 시행이 확정되면서 오염원 및 수질 관리에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이러한 현황을 감안하여 향후 KRF의 활용도가 높을 것으로 예상되는 한강수계를 연구대상지역으로 선정하였다.

5.2 공간자료 수집 및 구축

한강수계에 대한 KRF 도형자료를 구축하기 위하여 유관 공간자료를 수집하였다. 우선 하천중심선도 작성을 위해 하천 실폭 기준의 하천도를 수집하였다. 하천도는 TMDL 업무 자료의 통일성 유지 차원에서 환경부에서 TMDL 실무를 위해 활용 중인 2004년도 기준 1:25,000 축척의 면형 shape file을 선정하였다. 이후 이를 이용하여 하천중심선

Table 2. Specification of Attributes for KRF's Point Data

No	Attribute	Field name	Type	Length	Definition
1	Feature ID	FID	CHAR	various	The serial number of features
2	Geometry	SHAPE	GM	various	The geometric information of reach's node
3	Catalog units	CU	CHAR	2	2-digits sub-basin code defined by K-WATER (ex.10)
4	Segments	SEG	CHAR	7	7-digits standard river/stream code (ex.100010)
5	Marker index	MI	CHAR	8	The ratio of the cumulative length from the outlet point of segment to the node point in each segment (ex.00.0000)
6	Reach's node ID	RCHNODEID	CHAR	16	The unique ID for reach's node with combination of SEG & MI
7	Number of connected reaches	NUM_RCH	NUM	1	The number of connected reaches at reach's node
8	Connected downstream reach ID	D_RCHID	CHAR	18	The connected downstream reach's line ID with reach's node
9	X-coordinate	TM_X	NUM	10.3	The X-coordinate of reach's node (Bessel/TM)
10	Y-coordinate	TM_Y	NUM	10.3	The Y-coordinate of reach's node (Bessel/TM)
11	TMDL watershed name	T_UW_NM	CHAR	30	The name of TMDL's watershed containing reach's node
12	Standard watershed code	K_SW_CD	CHAR	6	The code of standard watershed containing reach's node
13	Administrative district code	ADM_CD	CHAR	10	The administrative district's code (according to legal standard)

Table 3. Specification of Attributes for KRF's Line Data

No	Attribute	Field Name	Type	Length	Definition
1	Feature ID	FID	CHAR	Various	The serial number of features
2	Geometry	SHAPE	GM	Various	The geometric information of reach's line
3	Catalog units	CU	CHAR	2	2-digits sub-basin code defined by K-WATER (ex.10)
4	Segments	SEG	CHAR	7	7-digits standard river/stream code (ex.100010)
5	Marker index	MI	CHAR	8	The ratio of the cumulative length from the outlet point of segment to the end node point of reach in each segment (ex.00.0000)
6	Upper marker index	UPMI	CHAR	8	The ratio of the cumulative length from the outlet point of segment to the start node point of reach in each segment (ex.99.99999)
7	Tributary class	TRIB	CHAR	1	The geometric classification of main and tributary stream
8	Basin name	BASIN_NM	CHAR	30	The name of basin containing reach
9	Stream name	STR_NM	CHAR	30	The name of river/stream containing reach
10	Tributary class by stream name	STR_NMTRIB	CHAR	1	The classification of main and tributary stream by stream's name
11	Reach line ID	RCHLINEID	CHAR	18	The unique ID for reach's line with combination of SEG, MI & TRIB
12	Segment length	SEG_LEN	NUM	10.3	The length of river/stream of each segment
13	Reach length	RCH_LEN	NUM	8.3	The length of instant reach
14	Cumulative length	CUM_LEN	NUM	10.3	The cumulative length from the outlet point of segment to the end node point of reach in each segment
15	Reach connectivity flag	R_FLAG	CHAR	1	The flag of reach's connectivity with downstream
16	Terminal reach flag	T_FLAG	CHAR	1	The flag of terminal reach
17	Start reach flag	S_FLAG	CHAR	1	The flag of start reach
18	Reach type	RCH_TYPE	CHAR	1	The type of reach
19	Level	LEV	CHAR	1	The level of river/stream defined by government
20	Administrative district code	ADM_CD	CHAR	10	The administrative district's code (according to legal standard)
21	Upstream inflow direction	USDIR	CHAR	1	The inflow direction of main upstream
22	Upstream left reach SEG	ULSEG	CHAR	7	The upstream left reach's SEG
23	Upstream left reach MI	ULMI	CHAR	8	The upstream left reach's MI
24	Upstream left reach TRIB	ULTRIB	CHAR	1	The upstream left reach's TRIB
25	Upstream right reach SEG	URSEG	CHAR	7	The upstream right reach's SEG
26	Upstream right reach MI	URMI	CHAR	8	The upstream right reach's MI
27	Upstream right reach TRIB	URTRIB	CHAR	1	The upstream right reach's TRIB
28	Complement reach direction	CDIR	CHAR	1	The inflow direction of complement stream

Table 3. Specification of Attributes for KRF's Line Data (Continue)

No	Attribute	Field Name	Type	Length	Definition
29	Complement reach SEG	CSEG	CHAR	7	The complement reach's SEG
30	Complement reach MI	CMI	CHAR	8	The complement reach's MI
31	Complement reach TRIB	CTRIB	CHAR	1	The complement reach's TRIB
32	Divergence	DIVERGENCE	CHAR	1	The presence of divergence reach
33	Downstream reach SEG	DSSEG	CHAR	7	The downstream reach's SEG
34	Downstream reach MI	DSMI	CHAR	8	The downstream reach's MI
35	Downstream reach TRIB	DSTRIB	CHAR	1	The downstream reach's TRIB
36	Divergent reach SEG	DIVSEG	CHAR	7	Divergent reach's SEG
37	Divergent reach MI	DIVMI	CHAR	8	Divergent reach's MI
38	Divergent reach TRIB	DIVTRIB	CHAR	1	Divergent reach's TRIB
39	Upstream inflow node ID	U_NODEID	CHAR	16	The upstream inflow node's ID
40	Downstream outflow node ID	D_NODEID	CHAR	16	The downstream outflow node's ID
41	Upstream inflow point X-coordinate	U_TM_X	NUM	10.3	The X-coordinate of inflow point from upstream (based on Bessel/TM)
42	Upstream inflow point Y-coordinate	U_TM_Y	NUM	10.3	The Y-coordinate of inflow point from upstream
43	Downstream outflow point X-coordinate	D_TM_X	NUM	10.3	The X-coordinate of outflow point to downstream
44	Downstream outflow point Y-coordinate	D_TM_Y	NUM	10.3	The Y-coordinate of outflow point to downstream
45	Maximum X-coordinate	MAX_TM_X	NUM	10.3	The maximum X-coordinate of reach's extent
46	Maximum Y-coordinate	MAX_TM_Y	NUM	10.3	The maximum Y-coordinate of reach's extent
47	Minimum X-coordinate	MIN_TM_X	NUM	10.3	The minimum X-coordinate of reach's extent
48	Minimum Y-coordinate	MIN_TM_Y	NUM	10.3	The minimum Y-coordinate of reach's extent
49	Upstream inflow point TMDL watershed name	U_T_UW_NM	CHAR	30	The TMDL's watershed name of inflow point from upstream
50	Downstream outflow point TMDL watershed name	D_T_UW_NM	CHAR	30	The TMDL's watershed name of outflow point to downstream
51	Upstream inflow point standard watershed code	U_K_SW_CD	CHAR	6	The standard watershed code of inflow point from upstream
52	Downstream outflow point standard watershed code	D_K_SW_CD	CHAR	6	The standard watershed code of outflow point to downstream
53	Update date	UPDATE	DATE	8	The updated date

도를 제작하였고, 정의된 분할 기준에 따라 하천중심선도를 stream reach 단위로 분할하였다. 이때 댐 및 보 위치에서의 분할은 역시 환경부가 보유하고 있는 관련 점형 shape file을 수집한 후, 이를 중첩하고 각각의 위치를 확인하며 이루어졌다. 모든 stream reach에 대한 시작지점과 종료지점 위치좌표 값을 추출하였고, 이 중 중복되는 위치좌표 값은 하나의 값으로 일반화하여 이를 점형 도형자료로 구축하였다. 모든 도형자료는 국제 공간자료 표준 포맷인 shape file로 저장하였다. 각 도형자료의 속성은

속성 설계서에 따라 입력하였고, 행정구역 및 유역정보는 환경부에서 수집한 법정동리 기준의 행정구역도와 물관리공통유역도를 참고하여 입력하였다.

6. 결과 및 고찰

6.1 도형자료 구축 결과

Fig. 8은 본 연구를 통해 구축된 KRF 도형자료의 결과를 나타낸다. 환경부에서 수집한 하천도를 이용하여 한강

수계에 포함된 모든 하천에 대한 하천중심선이 추출되었고, 모든 선형 객체의 시작지점, 종료지점, 분기점, 하천경계, 댐 및 보의 위치에서 노드가 생성되었다. 연구 결과에서 하천의 개수는 총 696개, stream reach의 개수는 총 2,047개, 총 연장은 7,340.2 km로 확인되었다. 이 중 하천경계에 의해 분할 생성되는 본류-지류 간 연결 stream reach를 제외한 순수 하천중심선의 개수는 총 1,382개였으며, 이들의 총 연장은 7,120.7 km로 확인되었다. 참고로 한국하천일람 (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Han River Flood Control Office, 2008)에 따르면 한강수계 하천의 총 연장은 약 7,115.6 km로 확인되었다. KRF 도형자료 결과와 비교하면, 그 차이 비가 약 3% 정도 나타나는데 전반적으로 정확한 도형자료가 구축되었다고 판단된다.

Table 4는 한강수계 내 주요 국가하천에 대해 한국하천일람의 하천연장과 수자원 기본공간정보의 하천흐름 도형자료, KRF 도형자료의 하천연장을 측정 비교하여 정리한 것이다. 수자원 기본공간정보는 북한 인접 지역 및 하류 부근에서 데이터 누락 지역이 존재하였고, 이에 따라 4개 국가하천에 대해서는 연장 측정이 불가능하였다. 또한 한국하천일람의 하천연장과 차이도 KRF 도형자료에 비해 상대적으로 크게 나타남을 확인할 수 있었다.

KRF 도형자료는 한국하천일람의 하천연장과 차이 에 대한 RMSE (Root Mean Square Error)가 1.1로써 수자원 기본공간자료에 비해 작게 나타남이 확인되었다. 그러나 KRF 도형자료의 경우에도 북한강, 임진강, 경안천 등 일부 하천은 타 하천들과 비교하여 상대적으로 연장 차이가 크게 났다. 이는 해당 하천들이 북한에 포함되어 있거나 인접하고 있어 경계가 불분명한 경우이거나, 한국

Fig. 8. Result of Generation of KRF's Point and Line Graphic Data

하천일람과 환경부 하천도에서 하천 시점이나 종점 경계가 일치하지 않았음에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 이는 KRF 도형자료를 활용하는데 있어 문제가 되는 수준은 아니며, 장래 환경부 하천도의 하천 경계가 한국하천일람에서의 하천 경계와 일치하게 구축된다면 개선 가능할 것으로 판단된다.

선형 도형자료 간의 연결지점 및 시종점을 나타내는 점형 도형자료의 경우 총 2,048개의 노드가 생성되었다. 한강수계는 최종 배출지점이 한강 말단 한 지점만 존재하므로 노드 개수는 stream reach의 개수보다 반드시 하나가 더 많아야하는데, 결과는 이를 만족하여 점형 도형자료도

Table 4. Comparison of River's Length with Korean River List

River Name	Standard Stream Code	Length in Korean River List (A) [km]	Length in River Flow line of Framework Data (B) [km]	Difference 1 (B-A) [km]	Length in Korean River List (C) [km]	Difference 2 (C-A) [km]
Han River	1000010	265.4	241.2	-24.2	276.7	11.3
Dal Stream	1000870	15.1	15.0	-0.1	15.2	0.1
Seom River	1001330	55.4	55.7	0.3	56.1	0.7
Cheongmi Stream	1001630	25.2	25.5	0.3	25.3	0.1
Bokha Stream	1002190	19.8	20.5	0.7	19.6	-0.2
Bukhan River	1002710	158.8	135.2	-23.6	166.9 (285.9*)	8.1
Yangguseo Stream	1002720	14.7	-	-	15.0	0.3
Soyang River	1003000	77.3	74.6	-2.7	74.3	-3.0
Kyeongang Stream	1004290	22.5	15.6	-6.9	19.9	-2.6
Jungnang Stream	1005090	20.5	3.2	-17.3	21.1	0.6
Anyang Stream	1005380	20.7	21.0	0.3	20.7	0.0
Gongneung Stream	1005810	20.5	-	-	20.7	0.2
Imjin River	1005980	91.1	-	-	90.5 (262.0*)	-0.6
Munsan Stream	1006760	11.6	-	-	13.8	2.2
			RMSE 1	12.2	RMSE 2	1.1

* In case of including North Korea's river section

정확히 구축되었다고 판단된다.

이후 KRF 도형자료의 모든 객체에 고유식별자를 설계에 따라 입력하였고, 모든 stream reach에 대해 중복 없이 유일한 고유식별자 값이 입력됨이 확인되었다. 따라서 본 연구에서 개발된 고유식별자는 향후 국내 TMDL 및 하천 관리 실무에서 stream reach를 식별하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 본 연구에서 개발된 고유식별자는 표준하천코드를 포함하고 있으므로 물 관리 유관 부처의 데이터베이스와 호환 및 연동에도 연계기로 활용이 유리할 것으로 기대된다. 아울러 고유식별자 자체에 유역의 포함 관계 및 지류의 연결 관계 등 위상정보도 내재하고 있어 간단한 네트워크 분석에도 고유식별자가 즉시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

6.2 속성자료 구축 결과

KRF 속성자료 구축 과정을 거쳐 고유식별자를 포함하여 점형 도형자료에 대해서는 총 13가지, 선형 도형자료에 대해서는 총 53가지 속성자료가 누락 없이 입력되었다. 본 연구에서 구축된 KRF 속성자료에는 stream reach 간 연결에 관한 위상정보가 포함되어 있으므로 네트워크 분석에 활용이 가능하다. 이는 특정 stream reach를 선택하였을 때 해당 stream reach의 수질에 영향을 미치는 상류나 하류 하천의 탐색을 가능하게 한다. 아울러 이러한

특성은 TMDL 수질관리 실무 지원을 위한 GIS기반의 네트워크 분석 프로그램이나 수질모델링 자동화를 위한 프로그램 개발 연구 등에 활용될 수 있으므로 그 의미가 크다고 판단된다.

6.3 KRF 활용 방안 고찰

본 연구에서 설계된 KRF는 국내 TMDL 수질관리 업무에서 다양한 활용이 가능할 것으로 기대된다. 우선 수질모델링 분야에 있어 그 동안 하천 네트워크에 관한 기초 공간자료가 부재하였는데 KRF는 기초 입력 자료로서 활용이 가능할 것으로 기대된다. 특히 QUAL2E 모델과 같은 수질모델링에서 하천의 유하거리 및 격자망도 구성 정보의 입력은 필수인데, KRF는 유관 정보를 속성으로 가지고 있다. 향후 관련 정보의 추출을 위한 GIS기반 기능 개발이 이루어진다면 stream reach를 따라 일정 거리 간격으로 분할하는 격자망 생성도 자동화가 가능할 것으로 판단된다. 또한 우리나라도 미국 BASINS와 유사하게 통합 수질관리 프로그램을 개발함에 있어 프레임워크 데이터로 KRF를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 KRF는 향후 GIS기반의 수질모델링 자동화에 기여하는 바가 클 것으로 기대된다.

아울러 KRF는 수질관리를 위한 네트워크 분석에도 활용이 가능하다. 속성의 위상정보를 이용하면 특정 stream

reach 수질에 영향을 미치는 모든 상류 stream reach의 검색이 가능하고, 오염원의 하류 방향 이동경로 탐색도 가능하다. 이는 수질오염사고에 관한 신속한 대책 마련 및 의사결정 등을 가능하게 하므로 향후 용이하게 활용될 것으로 기대된다.

또한 KRF는 유관 데이터베이스와의 연계를 위한 매개체로서 공간 기반의 자료 관리 및 검색을 가능하게 할 수 있을 것으로 기대된다. 미국에서는 EPA RF의 고유식별자를 연계키로 활용하여 WQSDB (Water Quality Standards Database), ATAINS (Assessment, TMDL Tracking and Implementation System), NAD (National Assessment Database), STORET (short for STORage and RETrieval), NPDES (National Pollutant Discharge Elimination System), NLFWA (National Listing of Fish and Wildlife Advisories) 등 다양한 수질, 수문, 수생태 분야의 개별 프로그램 데이터베이스와 모두 연계 가능하도록 하였고, 특정 stream reach를 선택하면 해당 stream reach에 관한 모든 자료를 손쉽게 수집할 수 있는 공유 체계를 구축하였다(<http://www.epa.gov/waters/>). 우리나라도 환경부, 국토해양부, 기상청 등 여러 부처에서 이미 다양한 사업을 통해 TMDL 업무에 필요한 수질, 수문, 기상, 수생태 정보를 저장 관리하는 데이터베이스를 구축한 만큼 향후 KRF를 이용한 자료 연계 구조를 설계 및 구축하고 고유식별자나 유역코드, 행정구역코드 등을 이용한 검색 관리를 가능하게 한다면, GIS기반 자료 관리 검색은 물론 TMDL 업무의 자동화도 가능하게 할 것으로 기대된다.

그러나 KRF에 관한 연구가 시작된 지 오래지 않았고, 국내 유관 연구도 활발하지 않은 상황에서 즉시 미국과 같은 완성도 높은 자료 연계 및 활용 체계를 구축하는 것은 어렵다고 판단된다. 따라서 향후에는 전략적으로 KRF를 이용한 수질모델링 및 자료관리, 공간분석 등 다양한 실무 활용에 대한 연구가 이어져야 한다. 아울러 KRF가 지속적으로 활용될 수 있도록 전 국토에 대한 확대 구축 등 유지보수에 관한 연구도 함께 이루어져야 할 것이다. 특히 보다 높은 공간해상도의 자료 구축을 위하여 단계적으로 1:5,000 축척 이상의 지도를 대상으로 본 연구의 KRF 구축 방법을 적용하여 보다 정확한 자료 구축 및 제공이 이루어져야 한다.

7. 결 론

본 연구에서는 국내 하천 네트워크에 관한 프레임워크 데이터로서 국내 TMDL 실무에 다양하게 활용이 가능하도록 개선된 KRF 설계안이 제시되었다. 설계 개선을 위

하여 미국 EPA RF 사례가 검토되었고, 국내 실정과의 비교를 통해 시사점이 도출되었다. 아울러 국내 TMDL 실무를 고찰하고, EPA RF 설계 내역을 참고함으로써 개선된 KRF의 도형 및 속성 설계안이 제시되었다. 설계 결과를 검증하기 위해 한강수계를 대상으로 KRF가 구축되었다. KRF 구축 결과의 확인을 통해 총 2,047개의 stream reach가 분할되어 생성되고, 총 2,048개 지점에 대한 노드가 생성된 것이 확인되었다. 한국하천일람의 전제하천 및 주요 국가하천의 연장과 비교한 결과에서 그 차이가 전반적으로 크지 않아 비교적 정확한 도형자료의 구축이 가능하였다고 판단되었다. 이후 모든 도형 객체에 대하여 고유식별자가 중복 없이 입력된 것이 확인되었으며, 이를 통해 유관 데이터베이스와의 자료연계에 고유식별자가 연계키로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다. 아울러 KRF에 위상정보가 추가 입력됨에 따라 향후 다양한 네트워크 분석에도 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 향후에는 KRF를 이용한 수질모델링 및 자료관리, 공간분석 등에 대한 다양한 TMDL 실무 적용 연구가 이루어져야 하며, 또한 KRF가 실무에 활용이 가능하도록 전국 확대 구축 및 유지보수 방안 연구도 이어져야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Damron, J., and Anderson, D.A. (1987). Adaptation Of EPA's Reach File For Use In A Regional Andromous Fish Database. *1987 AAG Annual Meeting*.
- Dewald, T., and Roth, K. (1997). The National Hydrography Dataset Integrating the US EPA Reach File and USGS DLG. *1997 ESRI International User Conference*, ESRI.
- Horn, C.R., and Grayman, W.M. (1993). "Water-quality modeling with EPA reach file system." *Journal of Water Resources Planning and management*, ASCE, Vol. 119, No. 2, pp. 262-274.
- Ierardi, M.C., Alexander, R.B., Schwarz, G.E., and Smith, R.A. (2004). "SPARROW-WEB: A graphical interactive system for displaying reach-level water-resource information for rivers of the conterminous United

- States.” *Proceedings of the AWRA Spring Specialty Conference*, Geographic Information Systems and Water Resources III.
- Kim, H., Nam, K., and Lee, S. (2004). “A study on using network-GIS for the integrated management of urban stream.” *Journal of the Korean Planners Association*, *Korean Planners Association*, Vol. 39, No. 2, pp. 295–307.
- Kim, K. (2010). *Spatial Analysis*. Munundang.
- Kim, K., Choi, Y., and Kim, J. (2004). “A Study on the Construction of the Framework Spatial DB for Developing Watershed Management System Based on River Network.” *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, *Korean Association of the Geographic Information Studies*, Vol. 7, No. 2, pp. 87–96.
- Kong, D. (2005). “Present Status and Perspective of Korean TMDLs.” *Magazine of Korea Water Resources Association*, *Korea Water Resources Association*, Vol. 35, No. 3, pp. 14–22.
- Kwon, M., Kim, K., Lee, C., and Park, Y. (2012). “Design of GIS based Korean Reach File Supporting Water Quality Modeling.” *Journal of Korea Water Resources Association*, *Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 1, pp. 1–13.
- Langen, P. (1994). “River Reach File 3: The Future in Managing Montana’s Waters.” *1994 ESRI International User Conference*, ESRI.
- Lee, C., Park, Y., and Kim, K. (2009). “A Study on Stream Centerline Extraction Algorithm for Vector Data using Skeletonizing Technique.” *2009 Joint conference of Korea Spatial Information System Society, the Korean society for Geospatial Information System, Geographic Information System Association*, *Korea Spatial Information System Society*, pp. 64–71.
- Liu, Z., and Weller, D.E. (2008). “A Stream Network Model for Integrated Watershed Modeling.” *Environmental Modeling and Assessment*, Vol. 13, No. 2, pp. 291–303.
- Ministry of Construction & Transportation (2004). *Standard of Water Management Information*. pp. 16–17.
- Ministry of Environment (2004). *Task Manual of Total Maximum Daily Loads*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009). *Present Status Sourcebook of Spatial Informatics Business*. pp. 60–64.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2008). *Construction Guideline of National Framework Data*.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs Han River Flood Control Office (2008). *Korean River List*.
- SAIC (2002). *Model Skill Assessment: RiverSpill Application in the Wilamette River Basin*. SAIC Techcal Report, TSWG and EPA, Contract N41756-00-C-0663.
- Samuels, W.B., Amstutz, D., Pickus, J., and Bahadur, R. (2003). “Integrating the National Hydrography Dataset Into RiverSpill.” *2003 ESRI International User Conference*, ESRI.
- Samuels, W.B., Bahadur, R., Pickus, J., Amstutz, D., and Ryan, D. (2004). “Geographic Information System and Water Resources III.” *AWRA Spring Specialty Conference*, ESRI.
- U.S. EPA. (2001). *Better Assessment Science Integrating point and Nonpoint Sources (BASINS version 3.0)–User’s Manual*. US EPA.
- U.S. EPA. (2003a). *Total Maximum Daily Load for Nutrients and Dissolved Oxygen for the Appoquinimink River*. US EPA.
- U.S. EPA. (2003b). *Data Report for the Washington, DC Portion of the Rock Creek Watershed Total Maximum Daily Load Calculation*. US EPA.
- U.S. EPA Office of Water (1994a). *History of U.S. EPA’s River Reach File: A National Hydorographic Database Available for ARC/INFO Application*. US EPA.
- U.S. EPA Office of Water (1994b). *U.S. EPA Reach File Version 3.0 Alpha Release (RF3-Alpha) Technical Reference*. US EPA.

논문번호: 12-107	접수: 2012.09.18
수정일자: 2012.10.09/12.03/12.05	심사완료: 2012.12.05