

수질모델링 지원을 위한 GIS 기반 한국형 Reach File 설계

Design of GIS based Korean Reach File Supporting Water Quality Modeling

권 문 진* / 김 계 현** / 이 철 용***

Kwon, Moon Jin / Kim, Kye Hyun / Lee, Chol Young

Abstract

Various input data required for water quality modeling have considerable impacts on modeling results and relevant analysis due to the absence of data standardization and lack of data accuracy. With this in mind, this study mainly focused on the designing Korean Reach File for more effective water quality modeling through the supply of database composed with accurate hydraulic and hydrologic data. The Korean Reach File is the hydraulic database with the locational information of individual reaches, and each reach represents the stream reach of homogeneous hydraulic characteristics. In detail, it has reach code designating each stream reach, and topological information including catalog unit, segment, marker and index. It was also designed considering linkage of existing codes such as stream name and stream code. The devised reach code was implemented to Kyungan River at the City of Gwangju of Kyunggi Province and the results showed that the reach code could effectively support the input database integrating basic numerous data required for water quality modeling based on a criterion as well as easier linkage and utilization with existing database. In addition, more systematic water quality management was enabled through the linkage of existing data such as treatment facilities, pollutant data, and management institutes using the reach codes defined for each stream section. In the future, more efforts need to be made to adopt the reach code as the national standard data thereby enabling utilization of numerous relevant database through the assigning of reach code to individual stream reaches nationwide.

Keywords : reach file, water quality modeling, spatial data, GIS

요 지

수질모델링에 필요한 다양한 입력데이터는 관련 정보의 확보방안 및 표준화가 되어 있지 않아 수질모델링 결과 및 수질분석에 많은 영향을 주고 있다. 이에 본 연구에서는 효율적인 수질모델링을 위해 정확한 수리·수문 데이터를 기반으로 한 수질모델링의 기초자료 데이터베이스인 한국형 Reach File을 설계하였다. 한국형 Reach File은 동일한 수리학적 특색을 가지는 구간(Reach)에 대한 위치정보 기반의 수리학 데이터베이스로써, 각 구간을 대표할 수 있는 Reach 코드와 Catalog Unit, Segment, Marker Index의 위상정보를 갖고 있으며 하천명이나 하천코드와 같은 기존 코드와의 연계를 고려하여 설계되었다. 설계방안을 토대로 경기도 광주시의 경안천을 대상으로 시범 구축을 통하여 본 설계안을 검토한 결과, 수질모델링에 필요한 기초데이터를 하나의 기준으로 체계화하여 하천정보를 데이터베이스화하고 기 구축 데이터베이스와의 연계 및 활용방안도 마련할 수 있었다. 또한, 각 구간별로 정의된 Reach 코드를 이용하여 수질기초시설, 오염원 데이터, 관리기관 등 기존 데이터베이스와 연계를 통해 보다 체계적인 수질의 관리가 가능함을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 Reach 코드를

* 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정 (e-mail: mjkwon@inha.edu)
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)
Corresponding Author, Prof., Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea.

*** 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(e-mail: khsakura82@inhaian.net)
Ph.D. Candidate, Dept. of Geoinformatic Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea.

하천공간데이터의 국가표준데이터로 선정할 수 있도록 하천 정보 표준화에 관한 연구가 필요하며, 전국 모든 하천에 Reach 코드를 부여하여 보다 많은 데이터베이스와의 연계할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다.

핵심용어 : Reach File, 수질모델링, 공간자료, 지리정보시스템

1. 서 론

수질모델은 대상수체에서 일어나는 수리현상과 수질반응기작을 수식화하여 유입 오염 물질에 따른 수질변화를 예측할 수 있도록 한 것이며, 수질오염총량제와 같은 정책 수립에 있어 유역단위 배출부하량 산정 및 유달부하량, 목표기준 수립 등에 활용되고 있다. 수질오염총량관리제는 보다 계량적이고 현실적인 수질환경보전을 위하여 유역단위로 배출 가능한 오염물질의 총량을 규제하는 제도로, 오염물질 배출 목표치의 달성 여부에 따라 지역의 개발을 허용하거나 제한하고 있다(환경부, 2006). 이와 같은 제제는 도시개발 및 발전에 직접적인 영향을 미치기 때문에 관련 지자체에서는 본 제도의 시행 절차에 주목하고 있으며, 수질오염물질 목표량 설정 및 부하량 산정 등에 대해 적극적이고 민감한 반응을 보이고 있다. 이처럼 국가정책과 직결되는 제도를 원활하게 진행하기 위해서는 객관적이고 과학적인 방법에 의해 수질모델링이 이뤄져야 한다. 이를 뒷받침하기 위해 수질모델링에 사용되는 데이터를 확보하고, 필요에 적합하게 가공하는데 있어서 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 아직까지 데이터 확보 및 가공에 있어서 연구자의 주관적인 판단이 많이 개입되는 실정이며, 동일한 지역을 대상으로 동일한 항목에 대한 수질모델링 결과도 각 연구자 마다 다른 결과를 보이고 있다. 더욱 문제가 되는 것은 이러한 수질모델링을 수행하는데 필요한 각종 기초 데이터들이 관계기관별로 상이하게 구축되어 있고 이를 획득하는데 많은 시간이 소요된다는 점이다.

이에 대하여 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서는 수질관리의 체계 마련을 위해 관련 기초 자료의 데이터베이스를 구축하고 이들 간의 연동을 통하여 체계적인 기반 마련 방안으로 Reach File을 개발하여 활용하고 있다. 또한 유역 및 수질의 통합적인 관리와 평가를 지원하기 위해 BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint source)를 개발하였다. BASINS는 Reach File 3과 연계된 유역 공간정보, 오염원, 모니터링 자료를 데이터베이스화하여 제공함으로써 사용자의 목적에 따라 유역 유출모형, 수리모형, 수질모형

등 다양한 연계가 가능하도록 지원하고 있다. 미국 USGS (U.S. Geological Survey)에서는 NAWQA (National Water Quality Assessment Program)를 통하여 1991년부터 미국 전역 42개 유역에 대한 화학, 생물학, 물리학적 수질데이터를 수집하여 ERF1 (Enhanced River Reach File 1)과 연계하여 정보를 제공하고 있다. 또한, Reach File을 이용하여 웹 기반으로 개발한 Enviro Mapper for Water는 미국 전역의 수자원에 대한 수질 및 환경정보를 제공하고 있다. 이밖에 Samuels et al. (2003; 2004)은 Reach File을 이용한 네트워크 분석을 통해 다양한 수질 오염원의 이동시간을 분석하였으며, RiverSpill 프로그램 (SAIC, 2002)을 개발하여 오염원의 이동시간, 감소, 분포도 등을 계산하였다. 또한 Fürst, and Hörhan (2009)은 GIS 기반의 수문학적 분석을 지원하기 위해 유역과 하천 등급의 부호화에 대한 연구를 수행하였으며, Dewald, and Roth (1997)은 EPA의 Reach File과 USGS의 DLG (Digital Line Graph)를 통합하는 국가 수로학 데이터 셋을 구축하였다.

한편, 국내에서는 Reach File과 관련한 연구 사례는 전무한 실정이며, 하천 정보 체계화 및 DB 구축 등의 유사연구가 이뤄지고 있는 실정이다. 김경탁 등 (2004)은 하천을 유역 단위로 관리해야 하는 필요성을 제시하고 수문학적 지형특성을 공간 DB로 구축할 수 있도록 프레임워크를 제시하였으며, 김호용 등 (2004)은 도시하천의 관리 및 공간계획을 지원하기 위해 Network GIS의 데이터 모델인 Dynamic Segmentation을 부산시 하천에 적용하여 그 유용성과 활용 잠재력을 평가하였다.

이에 본 연구에서는 수질모델링에 필요한 정확한 기초 자료를 취합하여 모델링을 직접적으로 지원할 수 있도록 각종 수질인자를 체계화한 위치정보 기반의 수리학적 데이터베이스를 구축하였으며, 이를 한국형 Reach File이라 하였다. 한국형 Reach File은 선형의 공간데이터로서 동일한 하천 특성을 가지는 구간 (Reach)을 기준으로 기초적인 하천정보 및 수리인자를 포함하고 있다. 한국형 Reach File 설계에 앞서 EPA의 선형 연구사례를 분석하였으며, 이를 기반으로 국내 하천의 수리학적 데이터베이스 구축 설계안을 제시하였다. 본 연구의 설계안을 바탕으로 경기도 광주시 경안천에 한국형 Reach File을 시범 구축하여,

그 적용성을 분석 및 고찰하였다.

2. 미국 EPA의 Reach File

Reach File은 미국 지표수의 지리학적 데이터베이스로, Reach 별 고유 코드와 다양한 속성정보 및 위·경도를 이용한 경로 검색(Navigation) 등의 정보를 제공하고 있다. Reach File은 Feature 별 고유 코드를 참조하여 수리학적 연결 구조로 되어 있으며, 유역의 배수 분기 패턴을 대표하고 있다. Reach File 개발의 주요한 목적 중 하나는 환경적으로 중요한 국가 데이터베이스와 연계를 통해 공통의 지리학적 데이터베이스를 제공하기 위함이다. 속성정보로 정의되어 있는 Reach Number를 비롯한 다양한 데이터를 Reach File로부터 제공받아, Marker Index가 입력된 다른 파일과 연계하여 분석하면 새로운 정보 구축 및 연계가 가능하게 되며, 이를 통해 다양한 분석과 데이터 질이 향상되는 효과가 있다. 예를 들어, 오염물질에 대한 위치 정보와 하류로 연결되는 가정용 급수 유입구의 위치 정보, 그리고 상·하류 수질오염 모니터링 지점을 포함한 상호 연관성을 가진 정보가 있다고 가정하자. 만약 Reach File이 존재하지 않는다면 이들 데이터는 상호 연관성을 띤 자료입에도 불구하고 공통의 지리적 프레임워크의 부재로 연계 분석이 불가능하다. 이러한 연계 분석을 위해 Reach File은 다양한 데이터베이스 간의 통합과 상·하류 검색은 물론 데이터베이스를 활용한 수리학적 검색 체계를 제공한다. 그리고 이러한 다양한 수자원 데이터로부터 제공되는 수리학적 검색 체계는 하류로 흐르는 물수지 체계에 대한 시뮬레이션 자료를 반복적으로 요구하는 수질 모델링에 이상적으로 활용될 수 있다.

2.1. EPA Reach File 버전별 발전과정

Reach File은 RF1A, RF1, RF2, RF3 등 4가지 버전으로 개발되었다(U.S. EPA Office of Water, 1994a). RF1A는 1973년에 개발이 시작되어 1975년에 완성된 Reach File의 첫 번째 버전으로 데이터베이스 설계 시범을 위해 국가적 범위로 구축되었다. 하천의 합류지점, 하구역 출구에서 종료되는 자연유역을 이용하여 EPA와 USGS에 의해 1:2,500,000의 해상도로 구축되었으며, 개념 정립단계에서 산출된 시범결과물로 활용성은 떨어진다. 1978년 개발된 RF1은 이러한 활용성을 증대시키고 완전자동화 데이터베이스에 사용하기 위해 개발된 버전이다. RF1은 미국 NOAA의 항공사진을 디지털화하여 1:250,000의 해상도로 구축되었으며 약 68,000개의 하도를 포함하고 있

다. 1982년에 완성된 RF1은 1988년까지 유일하게 활용 가능한 Reach File로서 국가적 프로젝트를 지원하였으며, 현재까지도 수질모델링 등에 활용되고 있다.

RF2는 1980년대 말경 USGS의 GNIS (Geographic Names Information System)¹⁾에서 추출된 Hydrographic Feature 명을 RF1과 중첩하는 방식으로 개발되어 약 170,000개의 하도를 포함하도록 개발되었다. RF2는 1:100,000 축적의 DLG (Digital Line Graph)²⁾ 데이터를 사용할 수 없게 됨에 따라 1988년부터 1992년 RF3이 발표되기 전까지 수질 관리를 위한 하천자료 표준화에 사용되었다.

현재까지 가장 유용하게 사용되고 있는 Reach File은 최종 버전인 RF3이다. RF3은 1:100,000 축적의 DLG 데이터 사용이 가능해지고 다양한 수문자료의 데이터베이스화 요구가 증대되면서 1988년에 개발이 시작되었으며, 4년간의 연구결과 첫 번째 테스트 버전인 RF3-Alpha가 개발되었다. RF3은 국가와 각 연방주가 동일한 데이터를 활용할 수 있도록 국가 표준 데이터베이스(Nationally Consistent Database)의 제공을 위해 EPA의 Office of Water에서 개발하였으며, 지표수에 관한 국가 표준 데이터베이스가 필요한 관계 기관은 RF3을 이용하여 동일한 정보를 활용하고 있다. RF3은 3,200,000개의 Reach와 93,000,000개가 넘는 점 데이터를 포함하며, 미국 전역의 하천 흐름과 대하천, 저수지, 호수 등 여러 가지 기타 수문학적 특징에 대한 속성정보를 포함하고 있다. 이와 같이 미국 EPA의 Reach File은 총 4가지 버전으로 개발되었으며, 버전별 개발 주요 내용은 Table 1과 같으며 실제 개발된 Reach File은 Fig. 1과 같다(U.S. EPA Office of Water, 1994b).

2.2. EPA Reach File의 구성

EPA Reach File은 하천중심선을 기준으로 각각의 Reach를 구분한 도형정보와 Reach 별 위상정보를 포함한 속성정보로 구성된다. 속성정보 내역 중에서 Reach File을 대표하는 Reach 코드는 CU (Catalog Unit), SEG (Segment), MI (Marker Index) 등 하천의 위상을 정의하는 주요 항목으로 구성되어 있으며, 그 체계와 구성은 각각 Figs. 2, 3과 같다(U.S. EPA Office of Water, 1994b).

CU는 USGS의 미국연방정보처리표준(FIPS, Federal

¹⁾ GNIS (Geographic Names Information System)는 미국 지명위원회(BGN)와 USGS의 협력을 통해 개발되었으며 전 세계의 지명, 별명, 주권소재 등의 정보를 담고 있는 데이터베이스이다.

²⁾ DLG는 USGS에서 만든 Digital Line Graph 파일로 전형적인 수치지도이며 교통, 수문, 등고선, 공유지의 측량경계와 같은 기본도의 자료를 포함하며, 주로 지도제작용 인쇄 원도를 디지털화하여 제작되었다. 점·선·면 모두가 연결된 공간적 관계를 포함하고 있으며 고속도로 등급, 수계 등급 등의 속성을 가지고 있다.

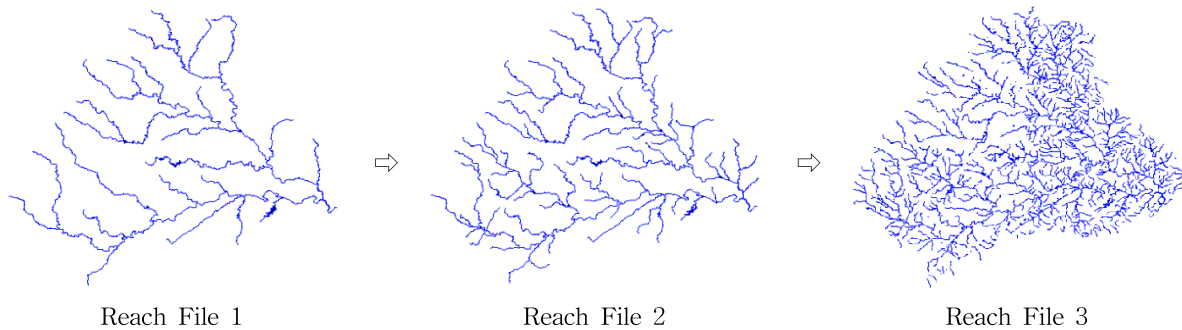


Fig. 1. Version of EPA Reach File

Table 1. History of EPA's Reach File

RF Version (Period)	Description	Resolution (Scale)	Number of Reach
RF1A (1973~1975)	<ul style="list-style-type: none"> - 1970s with a proof-of-concept file - Single national coverage used for database design testing and demonstration - Surface water features were digitized by EPA from stable base acetate copies of two part USGS wall map 	1:2,500,000	-
RF1 (1978~1982)	<ul style="list-style-type: none"> - Digitized by EPA from aeronautical charts prepared by NOAA - Integrated with STORET, EPA's National Water Quality database - Exportable to other agencies for purpose of enhancing water data integration on both a national and local scale 	1:250,000	About 68,000
RF2 (1988~1992)	<ul style="list-style-type: none"> - An intermediate update was constructed during 1980's - Coordinates of hydrographic feature names extracted from USGS GNIS version 1 - RF2 included new reaches only when they discharged directly into an original RF1 reach 	1:100,000	About 170,000
RF3 (1992~recent)	<ul style="list-style-type: none"> - Development project was begun in 1988 when 1:100,000 scale DLG data became available - RF3 is being developed by EPA's Office of Water to provide a nationally consistent database to promote comparability for national, regional, and state reporting requirements 	1:100,000	About 3,200,000



Fig. 2. Reach Code of RF3

Information Processing Standard)에 의해 정의된 111개의 유역을 8자리 디지털 코드로 정의한 것으로, 공통 유역은 모두 동일한 CU 값을 가진다. SEG는 4개의 디지털 번호로 정의된 지표수를 의미하며, MI는 새로운 지류에 의해 하천이 나뉠 때 각각의 Reach에 부여되는 고유 지시 값이다. 상류의 Reach MI 값은 총 Reach Segment의 길

이와 지류에서 분기되는 상류 Reach까지의 길이 비를 이용하여 계산되며, 하천의 최하류에 위치하는 Reach는 '0 (zero)'의 MI 값을 가진다. 현재 EPA의 Reach File MI는 정확한 계산 결과 값을 정의하기 보다는 위상관계를 정립하는 데에 주안점을 두고 있어 그 값을 확인하는데 어려움이 있다.

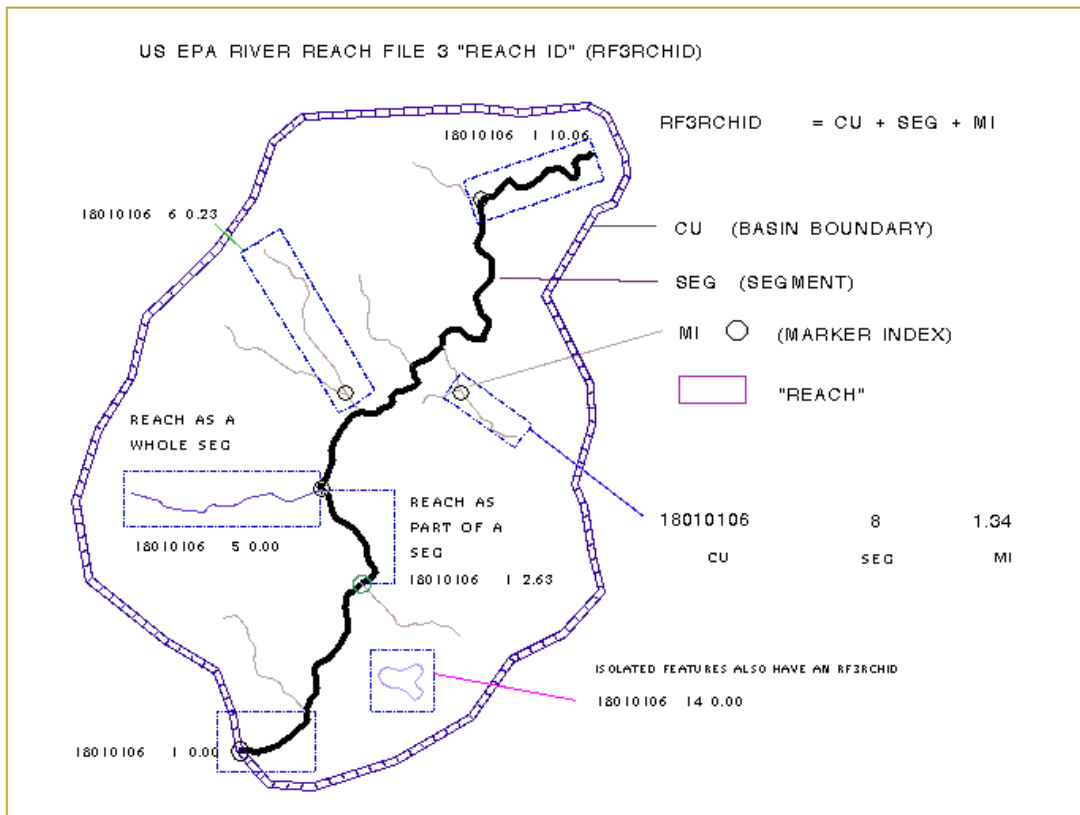


Fig. 3. Reach ID of RF3 : RF3RCHID

이에 한국형 Reach File의 설계에서는 EPA의 Reach File 개념을 도입하여 각 하천의 정보를 Reach 별로 정립하고, CU, SEG, MI와 같은 Reach File의 속성정보 구성에 있어서도 정확한 계산식을 이용하고자 하였다. 아울러 수리계수 및 모델링 입력 데이터 등의 정보도 추가적으로 구성하고 이를 Reach 코드로 연계함으로써 다양한 수질 모델링을 지원할 수 있도록 설계하고자 하였다.

3. GIS 기반의 한국형 Reach File 설계

3.1 도형정보 설계

Reach File은 좌표를 근간으로 하천의 형상을 구현하는 도형정보와 도형과 연관된 제반 속성정보를 이루어진다. 하천의 형상 및 흐름 방향과 수리학적 특성이 동일한 하천 구간을 표현하기 위해서는 선형 데이터의 하천 중심선이 가장 효율적이다. 따라서 도형정보의 설계는 우선적으로 하천도를 기준으로 하천 중심선을 추출하고, 하천 구간 별로 공간을 분할한 후 해당 Reach에 포함되어야 할 세부적인 속성정보를 정의하였다.

하천 중심선은 하천의 형상과 흐름 형태 및 방향을 표현할 수 있어야 하고, 유하 거리 및 위상관계, 각종 오염원

의 유입되는 지점 등의 다양한 위치정보 인자들을 정의할 수 있어야 한다. 또한, 하천중심선은 Reach File의 근본이 되는 도형정보로서 실제 수질모델링에도 많은 영향을 주게 되므로 이를 어떻게 정의하는 방법을 명확히 정의하고 구체화할 필요가 있다. 기존에서 정의되어 사용되고 있는 하천 중심선은 국토지리정보원에서 제작하는 기본지리정보로서 하천법 상의 하천구역, 즉 하천 제방의 중심선으로 정의하고 있다. 이렇게 정의된 하천중심선은 Fig. 4의 (a)와 같이 하천의 일부 구간에서 실폭 하천 범위를 벗어나 있는 것을 확인할 수 있으며, 이는 단순히 하천 제방의 중심선을 기준으로 정의하였기 때문에 하천 구역 내의 시설물과 실제 물이 흐르는 실폭 하천을 고려하지 않아 생기는 오류 사항이다. 따라서 본 연구에서는 실제 물이 흐르는 실폭 하천의 중심을 하천 중심선으로 정의하였으며, 이를 통해 보다 정확한 하천 흐름 형태 및 형상을 표현하였다. 아울러, 수치지도 기반의 국가 표준 하천도를 사용함으로써 데이터에 대한 신뢰도를 고려하였으며, 국가 기반 데이터로서의 기본 형태를 마련하였다. 선형의 하천 중심선은 하천 형태를 표현하고 Reach를 구분하는 것보다 더불어 여러 주제도를 중첩하는 공간검색의 과정을 통하여 Reach에 해당하는 하천단면자료를 파악하는 역할을

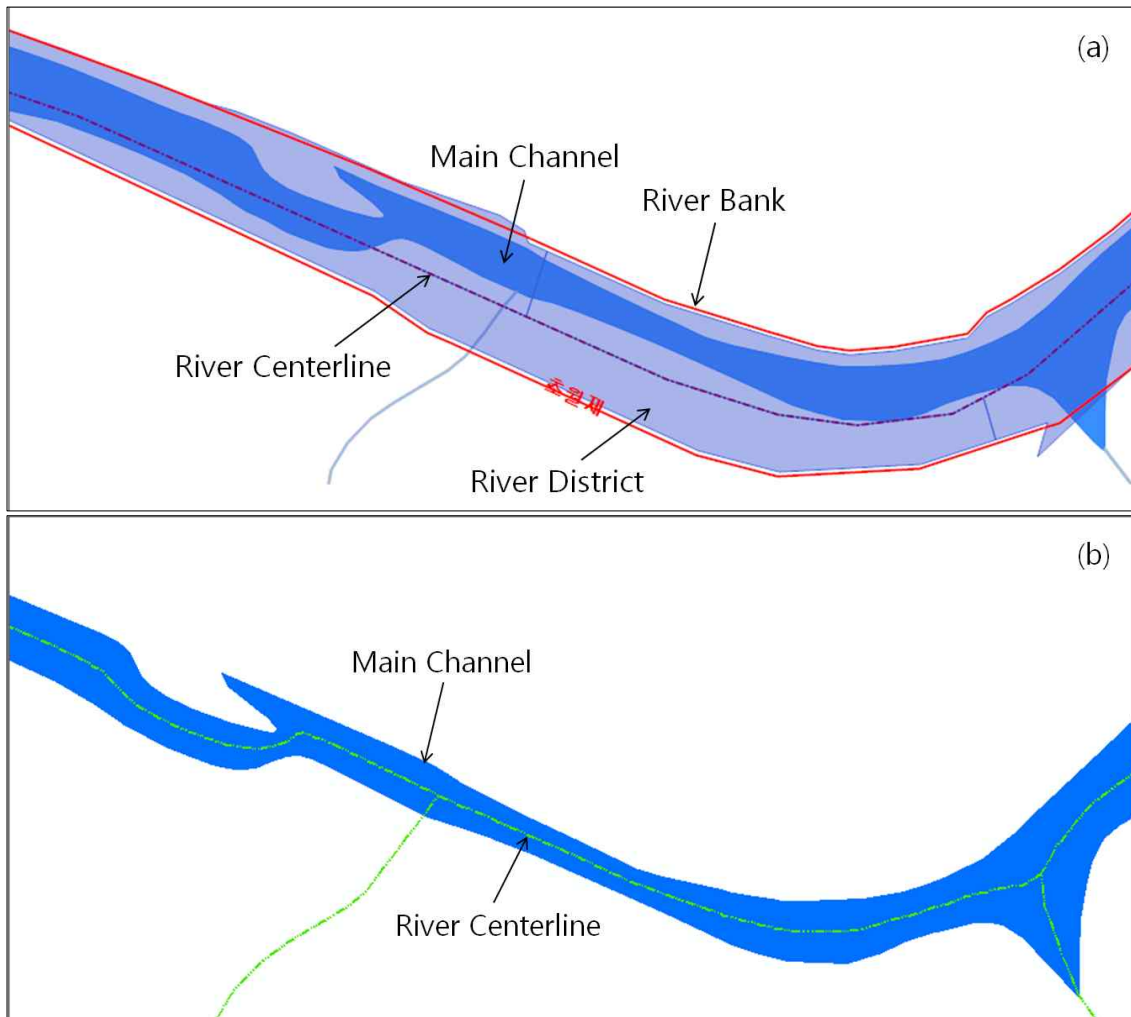


Fig. 4. Existing River Centerline (a) and Redefined River Centerline (b)

한다. 실폭 하천을 기준으로 한 하천 중심선이 하천 유량 또는 수위에 따라 상이하게 나타날 수도 있지만, 하천형상의 표현과 Reach에 해당하는 하천단면자료를 파악해야 하는 Reach File의 하천 중심선 기능에는 무리가 없을 것으로 판단된다. 무엇보다 국가 표준데이터를 하천도를 기반 데이터로 활용함에 따라 정확도 및 신뢰도는 입증되었다고 말할 수 있다.

하천중심선은 Fig. 4의 (b)와 같이 하천 구역 및 제방과는 상관없이 실제 물이 흐르는 영역인 실폭 하천을 대상으로 이철용 등 (2009)이 제안한 스켈레토나이징 (skeletonizing) 기법을 이용하여 하천 중심선을 구축하였으며, 동일한 하천 구간을 기준으로 하천 공간을 분할하였다. 하천 구간은 1)하천의 분기점 및 지류의 유입부, 2)집수구역 및 총량관리단위구역으로 구분되었으며, Reach는 하나의 Shape file 내에서 각각의 레코드로 정의되었다. 하천의 흐름 방향에 따라 위상관계를 정의할 수 있도록 선형 데

이터인 Reach의 방향성을 정의하였으며, 하천 구간의 복잡하거나 섬에 의해 분기된 하천중심선은 도형편집과정을 통해 하나의 중심선으로 편집하였다.

3.2 속성정보 설계

현재 국내에서 통용되고 있는 하천 구역 Shape File로는 대권역과 중권역, 표준구역, 총량관리단위구역 등이 있으며, 각 구역의 속성정보는 각각 Tables 2~5와 같다(경안천 구역 기준). 각 속성정보에는 구역명과 구역코드, 구역면적, 유역둘레 등 구역의 기본적인 정보만이 포함되어 있으며, 구역의 위상관계 및 상·하류의 유역을 파악할 수 있는 정보는 부족한 실정이다. 중권역의 '상류면적', 총량관리 단위구역의 'ADDR_UNIT' 정도만이 구역의 공간적인 위치 및 위상을 표현하는 유일한 속성정보라고 할 수 있다.

한국형 Reach File 속성정보에는 기본적인 하천 정보와 위상정보, 수리계수를 포함하고 있으며, 각 코드는 하

Table 2. Attribute data of River Basin (Kyungan River)

FID	Shape	LW_CODE	LW_NAME	LW_AREA	LW_PERI	AL_CD
0	Polygon	10	한강	34415.73	1331.72	10

Table 3. Attribute data of Subbasin (Kyungan River)

FID	Shape	공통유역_C	공통유역	분할지점	하천명	하천구분	유역면적	유역둘레	상류면적	대권역명	uID	NO
0	Polygon	1016	경안천	경안천-경안천	경안천	국가	561.12	136.78	561.12	한강수계	1	1016

Table 4. Attribute data of TMDL Area (Kyungan River)

FID	Shape	ST_NM	PLA_CD	WS_NM	INST	ADDR_UNIT	SEC_WS
0	Polygon	경안A	H2030001	한강수계	EM01	경기도 광주시 오포읍 매산리 용인-광주	
1	Polygon	경안B	H2030002	한강수계	EM01	경기도 광주시 초월면 서하리 서하보	
2	Polygon	한강F	H2000001	한강수계	EM01	경기도 남양주시 와부읍 팔당리 팔당대교	

Table 5. Attribute data of Standard Catchment (Kyungan River)

FID	Shape	SW_CODE	SW_NAME	MW_NAME	DIVLOC	STR_NAME	STR_LEVEL	SW_AREA	SW_PERI	UPWS_AREA
0	Polygon	101605	경안천하류	경안천	곤지암천하구-경안천하구	경안천	국가	113.86	66.86	561.12
1	Polygon	101604	곤지암천	경안천	곤지암천-곤지암천하구	곤지암천	지방2급	158.51	72.44	158.51
2	Polygon	101603	경안천우표	경안천	오산천하구-곤지암천하구	경안천	국가	90.38	46.69	288.75
3	Polygon	101602	경안천중류	경안천	오산천-오산천하구	오산천	지방2급	48.47	35.81	48.47
4	Polygon	101601	경안천상류	경안천	경안천-오산천하구	경안천	지방2급	149.9	65.93	149.9

폐수 처리시설 및 수질오염측정망과의 연계성을 고려하여 설계하였다 (Table 6). 속성정보는 분할된 Reach 별로 국가수자원관리종합정보시스템 (WAMIS)과 하천관리지리정보시스템 (RIMGIS)에서 사용되고 있는 국가수자원 표준코드체계를 활용하여 정의하였다.

하천 및 Reach의 기본정보는 하천을 정의할 수 있는 하천명, 하천마다 부여된 하천코드, 하천등급, 유수 계통 등의 정보를 포함하고 있다. 하천코드를 이용하여 권역 및 수계를 확인할 수 있으며 (Table 7), 유수 계통을 통해 수원지가 되는 하천을 확인할 수 있다. 특히, 작성 및 수정 날짜 정보를 속성정보로 포함시켜 속성정보가 구축된 시기를 파악할 수 있도록 하였다.

Reach File이 위치 기반의 공간데이터로 만들어진 가장 큰 이유는 위상관계를 정의하기 위함이다. 미국 EPA에서는 Reach 간의 위상관계를 정의하기 위해 CU, SEG, MI 인자를 활용하였다. 이 3가지 인자는 각 Reach가 가지는 포함관계를 정의하는 인자로서 CU는 해당 유역을,

SEG는 해당 하천을, 그리고 MI는 하천 상에서 Reach의 위치를 각각 정의한다. 한국형 Reach File에서는 수질오염총량관리제에 활용되는 유역계획 단위 중에서 가장 큰 영역인 총량관리단위유역을 CU, 하천단위의 집수구역을 SEG, 하천의 유입 및 분기점을 기준으로 분할한 각각의 Reach 단위를 MI로 각각 정의하고 제반 관련 속성값을 입력하였다. CU와 SEG의 속성정보로 사용된 총량관리단위유역 코드 및 하천코드 등은 기존의 코드를 포함하도록 설계하여 기존 데이터와 연계성 및 호환성을 고려하였다.

이중에서도 MI는 전체 하천에서 하천의 분기점과 유입지점, 수리학적 특성이 동일한 Reach를 정확히 파악하기 위하여 설계된 위상정보로서 Reach의 길이와 하천 길이를 기반으로 계산된다. EPA의 Reach File에서는 MI를 개념적인 위상정보로만 활용하고 있어 MI를 정의할 수 있는 명확한 계산식이 부재한 실정이다. 반면, 본 연구에서는 MI를 위상정보를 표현하는 가장 대표적인 인자로 정의하고 하천 길이와 Reach의 누적거리를 이용하여 계산

Table 6. Attribute data of Korean Reach File

No	Field Name	Type	Length	Definition	Note
1	FID	Numeric	5	Primary Key	Stream (Reach) Information
2	Shape	Character	8	Feature geometry	
3	STRNAME	Character	10	Stream name	
4	STRCODE	Character	7	Stream code	
5	TYPE	Character	5	National/Local river	
6	LENGTH	Numeric	10	Stream length	
7	MAINSTR	Character	10	Main Stream	
8	TRBTR_1	Character	10	Tributary 1	
9	TRBTR_2	Character	10	Tributary 2	
10	TRBTR_3	Character	10	Tributary 3	
11	TRBTR_4	Character	10	Tributary 4	
12	EditDATE	Character	10	Making or Editing date	
13	CU	Character	10	Catalog Unit	Topology Information
14	SEG	Numeric	7	Segment Number	
15	MI	Numeric	5	Marker Index	
16	RFCODE	Character	25	Unique reach code	
17	LEVEL	Numeric	1	Stream level	
18	JUNC	Numeric	2	Junction	
19	CATCHMENT	Numeric	5	Catchment area	
20	RTYPE	Numeric	1	Reach type	
21	a	Numeric	5	Hydraulic or Stream Coefficient	Hydraulic Coefficient
22	b	Numeric	5		
23	c	Numeric	5		
24	d	Numeric	5		
25	STRSLO	Numeric	6	Slope of stream	
26	ACCDIS	Numeric	5	Accumulation distance	
27	COR	Numeric	3	Coefficient of roughness	

Table 7. Segment Code

River Code (National/Local river)	Description
<p style="text-align: center;"> Level Code Unique Number </p>	<ul style="list-style-type: none"> - Code : 2 unit of Watershed code - Level : National(0), Local(1 or 2) - Unique Number : Downstream order

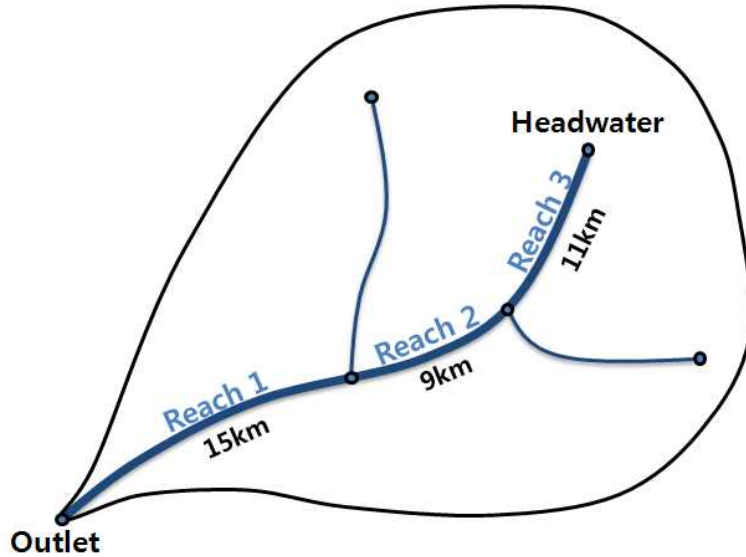


Fig. 5. Calculation of Marker Index

Table 8. Reach Code of Korean Reach File

Reach Code	Description
	<ul style="list-style-type: none"> - Catalog Unit : Watershed code of TMDL - Segment : Stream Code - Marker Index : Ratio of Reach to Segment

식으로 정의하였다 (Eq (1)).

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

여기서, MI_n 은 동일한 Segment 내의 n 번째 Reach의 MI 값이며, R_n 는 n 번째 Reach 길이, S_l 은 동일한 Segment의 전체 길이를 의미한다. 위의 식을 이용하면 위치정보 없이도 해당 Reach가 하천 상에서 위치하고 있는 지점을 찾아낼 수 있다. 예를 들어, Fig. 5와 같이 분기점에 의해 구분된 Reach가 3개인 하천의 경우, Reach 1, 2, 3의 길이가 각각 15km, 9km, 11km라고 하면, Reach 3의 MI값은 69.4%로 계산된다. 이는 전체 Segment에서 69.4% 지점부터 Reach 3이 시작된다는 것을 의미하며, 하천 모식도를 도식화할 때 유용하게 사용될 수 있다. 이렇게 정의된 3가지 위상정보를 조합하여 Reach 코드를 정의하였으며, 그 구성은 Table 8과 같다. Reach 코드는 분석하고자 하는 Reach를 검색하거나 수계망 분석을 수행하는데 있어 보다 빠른 검색을 지원할 수 있도록 설계되었다.

다음으로 위상정보 중에서 Level은 각 하천의 분류 및 지류의 Playfair의 법칙에 따라 각 하천의 계급별 차수 (次數, order)를 의미한다 (권혁재, 2006). 여기서 정의되는 차수는 국가 및 지방하천, 지류 등으로 구분되는 개념과는 별개의 필드이며, 하천 네트워크 검색하천 흐름을 빠르게 파악하기 위해 각 지류의 합류점을 기준으로 하천 계급을 정의한 인자이다. 하나의 지류가 처음 다른 지류와 만나는 합류점까지의 구간을 1차수 하천이라 하고, 두 개의 1차수 하천이 만나면 2차수 하천, 다시 두 개의 2차수 하천이 만나면 3차수 하천이 된다. 이러한 차수를 유역 전체의 수계망에 적용하면 분류의 일정한 구간이 가장 높은 계급의 하천차수가 된다. 동일한 계급의 차수 하천에서는 유량과 하중, 경사, 유역면적 등이 거의 동일한 값을 가지므로 이러한 수계망 분석은 상당한 의미를 내포하며, 이를 토대로 네트워크 분석을 통해 하천 구조의 분석 및 파악이 용이해진다. 한편, Reach Type은 Reach의 형태에 따라 인공호수 (A), 양방향성 하천 (B), 바다로 유입되는 하천 (C), 댐 (D), 호수 (L), 일반하천 (R), 수원점 (S) 등으로 정의하여 'RTYPE'에 해당 값을 가지게 된다.

수질모델링과 가장 직접적인 연관관계를 가지는 수리계수 속성정보는 하천정비기본계획의 측량 결과(하천단면자료)를 이용하였으며, 수질오염총량관리제에 주로 사용되는 QUAL2E에 필요한 인자를 우선 산정하였다(국립환경과학원, 2006). QUAL2E 모형은 물의 흐름을 정상부등류로 가정하며, 수리계수는 Eqs. (2), (3), (4)와 같이 정의된다.

$$Q_{i-1} \pm Q_{x,i} - Q_i = 0 \quad (2)$$

$$V = aQ^b \quad (3)$$

$$H = cQ^d \quad (4)$$

여기서, Q_{i-1} 은 계산요소의 상류부 유량, Q_i 는 계산요소의 하류부 유량, $Q_{x,i}$ 는 계산요소로 유입 또는 유출되는 측방향 유량을 나타낸다. 유량평형이 결정된 후에는 각 요소에 대한 유속, 수심, 단면적 등 수리·수문 특성을 결정해야 한다. 이러한 계산요소들의 수문학적 특성치와 유량과의 관계는 수리계수 산정을 통해 가능하다. Eqs. (3) and (4)에서, V 는 평균유속, H 는 평균수심, a , b , c , d 는

수위-유량 관계곡선으로 결정되는 상수이다. 수리계수는 Hec-RAS 모형을 이용하여 하천의 각 단면에 대한 유량-유속, 유량-수심에 대한 회귀방정식을 작성하여 수리계수를 산정하였다. 해당 Reach에 여러 개의 하천단면자료가 포함되므로, 실제 Reach의 속성값에는 동일 구간에 존재하는 하천 단면별 수리계수를 조화 평균하여 입력하였다.

4. GIS 기반의 한국형 Reach File 시범구축

4.1 연구 대상 지역

경기도 광주시의 경안천을 연구 대상 지역으로 선정하여, 한국형 Reach File 설계안을 시범적으로 개발하여 적용성을 확인하였다(Fig. 6). 경기도 광주시는 한강수계의 중 가장 먼저 수질오염총량관리제를 도입하여 시행하는 지역으로서 연구대상 지역으로 의의가 크다. 아울러 경안천은 수도권 지역의 식수원인 팔당호로 유입되는 지류 중 하나로 남한강과 북한강에 비하여 오염원 유입이 많은 하천이다.

Reach File 구축의 공간적 연구 범위는 경안천 본류 및

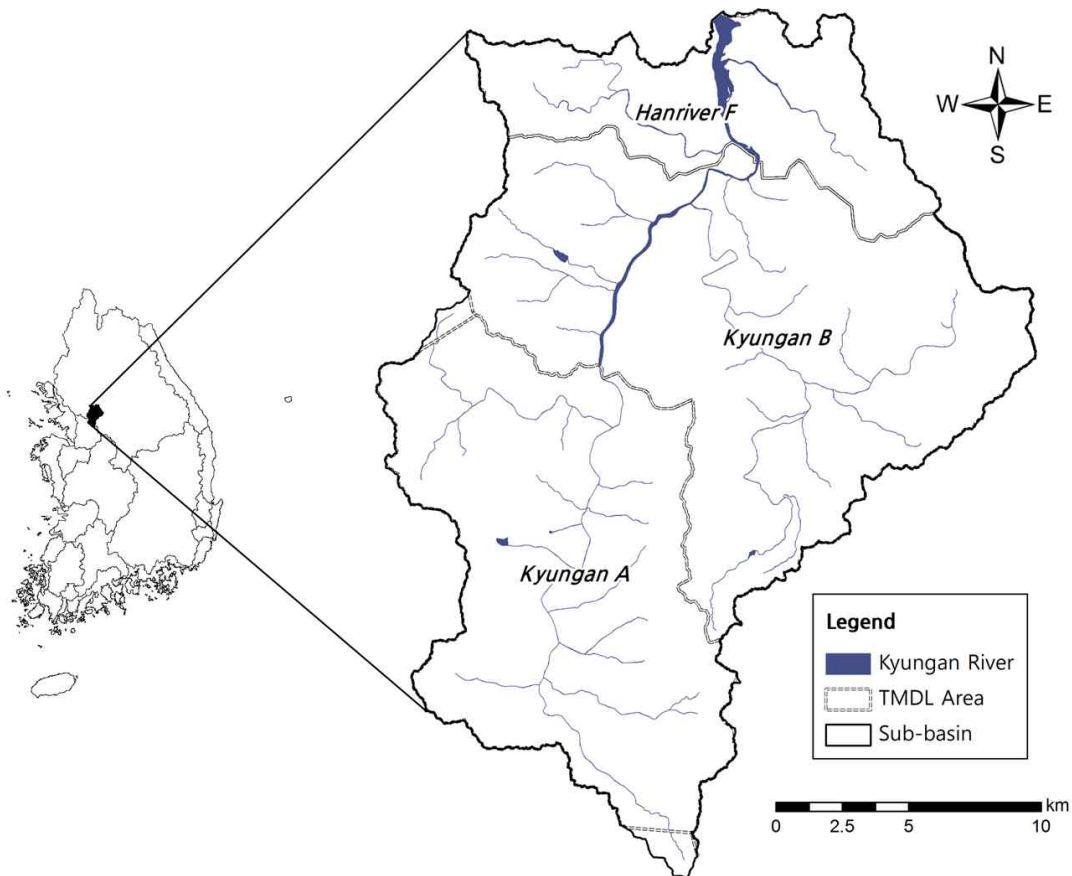
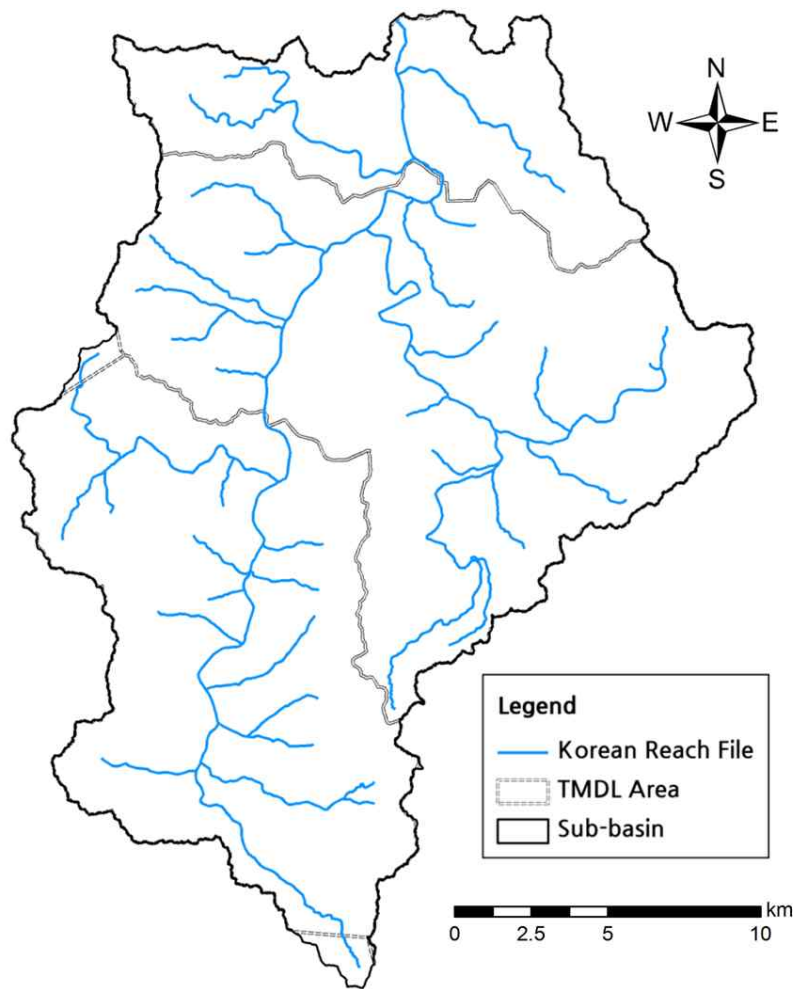


Fig. 6. Study Area : Kyungan River

지류를 대상으로 하였으며, 경안천의 유역면적은 약 561.13 km², 유로연장은 47.38 km에 이른다. 광주시의 오염총량관리지역은 한강F 일부와 경안A, 경안B의 유역으로 구분할 수 있고, 상수원 보호구역인 중부면과 퇴촌면, 남중면, 초월면을 제외한 광주시 전역을 대상으로 하여 서하보 지점을 오염총량관리지점으로 설정하고 있다. 경안천의 말단지점인 서하보의 목표수질은 BOD 4.0 mg/L로 2012년까지 달성하는 것으로 설정하고 있다 (환경부, 2006; 건설교통부, 2001).

4.2 한국형 Reach File 구축 및 고찰

본 연구의 설계에 따라 하천도를 기준으로 하천 중심선을 추출하였으며, 하천 분기점과 집수구역을 기준으로 Reach를 공간적으로 분할하였다. Fig. 7은 하천의 중심선을 기반으로 각각의 Reach가 구분된 Reach File이며, 총량관리단위유역은 CU형태로, 하천마다 정의된 집수구역은 SEG의 속성값으로 Reach에 입력되었다. 수리계수는 하천정비 기본계획이 수립된 일부 구간에 대해서만 산정



FID	Shape *	STRNAME	STRCODE	TYPE	LENGTH	MAINSTR	TRBTR_1	CU	SEG	MI	RFCODE	a	b	c	d	RIVSLO	ACCDIS	COR		
90	Polyline	경안천	1004290	국가	1978.112432	한강	경안천	경안B	1004290	83.50341	경안B	1004290	8	0.428	0.337	0.109	0.572	0.24	0	0
95	Polyline	경안천	1004290	국가	665.062044	한강	경안천	경안B	1004290	39.96372	경안B	1004290	3	0.445	0.357	0.068	0.572	0.57	0	0
96	Polyline	경안천	1004290	국가	2707.085319	한강	경안천	경안B	1004290	43.31512	경안B	1004290	4	0.398	0.364	0.087	0.586	0.43	0	0
97	Polyline	경안천	1004290	국가	1884.556228	한강	경안천	경안B	1004290	56.95676	경안B	1004290	5	0.451	0.346	0.089	0.574	0.36	0	0
98	Polyline	경안천	1004290	국가	3040.931225	한강	경안천	경안B	1004290	66.45347	경안B	1004290	6	0.368	0.336	0.119	0.567	0.16	0	0
99	Polyline	경안천	1004290	국가	342.506681	한강	경안천	경안B	1004290	81.77744	경안B	1004290	8	0.445	0.342	0.098	0.575	0.3	0	0
100	Polyline	경안천	1004290	국가	2424.220447	한강	경안천	경안B	1004290	27.74751	경안B	1004290	2	0.359	0.364	0.072	0.587	0.32	0	0
101	Polyline	경안천	1004290	국가	3239.115809	한강	경안천	경안B	1004290	11.42485	한강A	1004290	1	0.294	0.363	0.082	0.589	0.18	0	0
108	Polyline	경안천	1004290	국가	2267.179749	한강	경안천	한강A	1004290	00.00000	한강A	1004290	0	0.25	0.358	0.098	0.581	0.1	0	0

Fig. 7. Reach File of Kyungan River

되었으며, 그 결과는 Fig. 7의 속성정보와 같다.

한국형 Reach File은 국내 하천의 정보를 체계화한 데이터베이스로서 하천을 Reach로 분할하여 Reach 간의 위상정보, 수리계수, 포함관계 등을 정의하고 있다. EPA의 Reach File과 차별화된 사항은 기본적인 하천정보와 더불어 Reach 별로 수리계수를 산정하여 제시하였다는 것이다. 이는 수질모델링을 직접적으로 지원할 수 있는 큰 장점이 있으며, 하천 수질 분야에 보다 적합하게 설계된 Reach File이라 할 수 있다. 1차원 정상 상태(steady state)와 1차원 가동적 상태(dynamic state)를 모의하는 1차원 수질 예측모형인 QUAL2E의 경우에는 수체의 모식화 및 Reach 분할과 입력자료 및 수리계수 산정에 Reach File이 그 역할을 대신할 수 있다. 하천의 유입 및 분기점을 기준으로 구간별 수리계수가 정의된 본 연구의 Reach는 수리학적 특성이 유사한 구간의 정의에 활용될 수 있으며, Reach 별 길이정보가 속성정보로 포함되므로 동일한 길이를 갖는 Element의 분할에도 활용할 수 있다. 무엇보다 수리계수를 산정하는데 있어 Reach File에 정의되어 있는 수리계수의 활용도가 높다고 할 수 있다. QUAL2E 모델에 입력되는 수리계수는 대상 하천의 유량, 유속 및 수심 자료를 회귀분석하여 구하게 되는데 이러한 수리자료는 실측자료를 이용하거나 수리모델을 이용하게 된다. 일반적으로 수질예측구간의 범위가 광범위할 경우에는 실측 자료를 확보하기 어려우므로 대부분 수리모델을 이용하게 되며, 이와 같은 과정에는 많은 시간과 경비를 소요하게 된다. Reach File을 통해 수리계수를 산정하고 이를 활용한다면 수질모의에 수반되는 많은 시간과 비용을 절감할 수 있게 된다. 아울러, 공간정보 기반의 Reach File을 이용하여 수질모의 결과를 지도에 도식화할 수 있어 데이터의 판독 및 이해력을 높일 수 있다.

EPA의 Reach File은 국가 수로학 기본 데이터베이스로 선정되어 다양한 기존 정보와 연계하여 활용되고 있다. 국내에서도 하천 정보를 체계화하여 정립한 Reach File을 하천 정보의 기본 데이터베이스로 선정하고 표준화하는 방안이 필요할 것으로 판단된다. 아울러 Reach File의 구성에 있어서 보다 많은 수질모델링을 지원할 수 있도록 다양한 수리계수 및 인자들을 포함시켜야 한다. 여기에 수질모델링과 보다 밀접한 연관관계의 구축을 위하여 수질모델 입력자료 생성 모듈을 개발하고, 각종 수질모델링 입력인자를 추출할 수 있도록 다양한 데이터베이스와의 연계도 이루어져야 한다. 나아가 각 Reach로 유입되는 각종 점오염원 및 비점오염원을 파악할 수 있도록 Reach 별 집수구역도 정의되어야 한다.

5. 결론

본 연구에서는 미국 EPA Reach File을 기반으로 한국형 Reach File의 설계안을 제시하고, 경기도 광주시의 경안천을 대상으로 실제 Reach File을 구축하여 관련 내용을 검증하였다. 그 결과, 기존의 하천 중심선보다 하천의 형태와 흐름방향을 정확하게 파악할 수 있는 새로운 하천 중심선을 정의할 수 있었으며, 각 Reach의 위상관계 및 포함관계를 정의할 수 있었다. 무엇보다 Reach File의 속성정보를 통해 수질모델링에 필요한 기초 입력 자료를 체계화하여 보다 정확한 수질모델링을 수행할 수 있는 기반을 마련할 수 있었다. 또한, 기존 표준 하천코드를 활용하여 Reach File의 코드를 정의함으로써 수리와 유량자료, 수질측정자료, 하천기초시설자료 등 기존 데이터베이스와 연계 및 분산된 하천데이터를 통합하여 관리할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 Reach File의 구축을 통해 수질모델링을 수행할 때마다 새로이 입력데이터를 구축하였던 단순 반복 작업을 간소화할 수 있으며, 일관된 데이터의 제공을 통해 주관성을 배제하고 객관적인 결과 도출이 가능할 것으로 예상된다. 이와 함께 Reach File을 통해 수질오염총량관리제의 부하량 산정 및 목표량 산정에 과학적인 기초자료를 제공하여 일관성 있는 결과 도출과 함께 관련 제도의 시행에 있어 신뢰성 제고에도 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

반면, 현재의 Reach File은 수질오염총량관리제에 주로 사용되는 1차원 수질모델인 Qual2E에 초점이 맞춰져 있다. 따라서 향후 연구에서는 최근 증가 추세에 있는 EFDC와 같은 다차원 비정상상태 수질모델을 지원할 수 있도록 하천 횡단면도에 대한 정보가 추가적으로 입력되어야 한다. EPA의 Reach File에 비해 아직까지 한국형 Reach File은 관련 코드가 표준화 되지 않아 기존의 데이터베이스와 연계가 미흡한 실정이지만, 이는 향후 표준화 연구를 통해 개선될 것으로 판단된다. 무엇보다 본 연구에서 도출된 Reach File의 설계안을 이용하여 국내 모든 하천에 대한 Reach File이 구축되어 하천정보의 표준안으로서 그 역할을 제대로 할 수 있도록 지속적 노력이 수반되어야 한다.

감사의 글

이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 건설교통부 (2001). 경안천 수계 하천정비기본계획. 건설교통부, pp. 27-43.
- 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지, <http://www.wamis.go.kr/>
- 국립환경과학원 (2006). 알기 쉬운 수리·수질모델링. 수질총량과 수질총량센터, pp. 3-9.
- 권혁재 (2006). 자연지리학. 법문사, pp. 414-419.
- 김경탁, 최윤석, 김주훈 (2004). “하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프레임워크 공간 DB 구축에 관한 연구.” **한국지리정보학회지**, 한국지리정보학회, 제7권, 제2호, pp. 87-96.
- 김계현 (2007). 환경GIS. 문운당, pp. 201-202.
- 김호용, 남광우, 이성호 (2004). “통합적 도시하천 관리를 위한 Network GIS 활용 방안에 관한 연구.” **대한 국토·도시계획학회지**, 「국토계획」, 제39권, 제2호, pp. 295-307.
- 이철용, 박용길, 김계현 (2009). “스켈레토나이징 기법을 이용한 벡터자료에서의 하천중심선 추출 알고리즘에 관한 연구.” **한국공간정보시스템학회지**, 한국공간정보시스템학회, 2009 GIS 공동추계학술대회, pp. 61-71.
- 환경부 (2006). 물환경관리 기본계획: 4대강 대권역 수질보전 기본계획 ('06-'15), pp. 12-33.
- 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.
- Fürst, J., and Hörhan, T. (2009). “Coding of watershed and river hierarchy to support GIS-based hydrological analyses different scales.” *Computers & Geosciences*, Vol. 35, pp. 688-696.
- 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 River Spill.” *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 Office of Water (1994a). “History of U.S. EPA’s River Reach File: A National Hydrographic 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: 11-076	접수: 2011.07.18
수정일자: 2011.10.04/10.31	심사완료: 2011.10.31