

# 1차원 수질모의를 위한 한국형 Stream Reach File의 설계†

## Designing Korean Stream Reach File for One-Dimensional Water Quality Modeling

권문진\* · 김계현 · 이철용 · 박용길

Moonjin Kwon\* · Kye Hyun Kim · Cholyoung Lee · Yonggil Park

인하대학교 지리정보공학과

mjkwon@inhaian.net, kye Hyun@inha.ac.kr, khsakura82@inhaian.net,

shakunetsu@inha.edu

### 요 약

수질모의에는 유속, 유량, 저수량, 체류시간의 자료를 비롯한 수심, 하폭, 유하거리, 수 표면적과 등 다양한 수리학적 정보를 필요로 하며, 이러한 자료들은 수질모의의 기초자료로서 그 중요도와 활용도가 높게 나타나고 있다. 하지만 기초자료의 구축 방안 및 기준이 표준화되지 않아 각 기관별로 상이한 데이터를 보유하고 있으며, 기초자료의 선정에 따라 연구 결과가 달라지는 등 관련 연구의 신뢰도와 정확도에까지 영향을 미치고 있다. 이에 본 연구에서는 수질모의에 주로 쓰이는 1차원 수질모의에 필요한 수리학적 기초자료의 체계화된 구축방안을 마련하고, 이를 GIS 데이터로 정의한 한국형 Stream Reach File의 구축방안을 제시하고자 한다. 우선 기존에 구축된 미국 EPA Reach File 구축사례를 기초로 하여 관련 자료의 분석과 속성 내역을 파악하고 국내 실정에 적합한 방안을 제시하였다. 본 설계안에 사용되는 기초자료는 기존에 구축된 자료를 최대한 활용하였으며, 필요에 따라 데이터 편집 과정을 수행토록 하였다. 본 연구 결과를 따라 실제 Stream Reach File을 구축할 수 있으며, 이를 통해 관련 연구의 체계화된 기초자료의 제공이 가능할 것이다. 또한, 향후 오염원데이터와 연계하여 수질오염총량관리제를 지원할 수 있으며, 다양한 정보와 결합하여 다차원적인 수질모의도 가능할 것이다. 나아가 Reach File에 대한 지속적인 연구를 통해 개선사항 및 보완점을 도출하여 보다 발전되고 완성된 한국형 수리기초자료를 구축하여야 할 것이다.

### 1. 연구배경 및 목적

최근 하천과 관련한 대규모 국책사업이 진행되면서 하천과 환경오염에 관한 사회적 관심이 증대됨에 따라 하천 관리와 수질 오염에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 수질과 관련한 연구에는 수질오염인자를 비롯하여 하천지형정보, 수리·수문, 수질정보 등 다양한 자료를 필요로 하게 된다. 그 중에서도 하천에 대한

수리학적 기초 정보는 수질모의에 있어 필수적인 요소이나 연구 기관 마다 각기 다른 방법론에 의해 구축되어 있고 산재되어 있어 관련 자료의 수집 및 활용에 한계점이 존재하고 있다.

이러한 문제를 해결하고자 미국 환경청(EPA, Environmental Protection Agency)에서는 Reach File에 하천을 가장 잘 표현하는 수리학적 정보를 표준화하여 저장

† 이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임

하고 있다. Reach File은 하천연구를 비롯한 기상, 해양 연구 등 하천 정보를 필요로 하는 모든 연구에 활용될 수 있도록 제반기능을 갖추고 있다. 이렇게 표준화된 하천의 기초정보를 제공함으로써 관련 연구의 일관된 결과 도출 및 연구결과에 대한 신뢰도 향상 등에 기여하고 있다.

이에 본 연구에서는 국내 하천의 기초정보를 체계화한 한국형 Reach File의 구축방안에 대해 고찰하고, 그 중에서도 1차원 수질모델인 Qual2E 모델에 필요한 수리학적 기초정보 및 수리계수를 산정하여 한국형 Reach File의 설계안을 도출하고자 한다.

## 2. 미국 EPA의 Reach File

### 2.1 미국 EPA Reach File의 개발

미국 EPA의 Reach File은 미국 하천의 특성을 지형학적으로 데이터베이스화한 프로그램으로, 수문정보 체계를 수립하고 수문학적으로 모델링의 적용방안을 제시하였다. Proof-of-concept 파일과 함께 1970년대에 계획되었으며, 현재까지 RF1A, RF1, RF2, RF3의 4가지 버전으로 업데이트 되어 왔다.

#### 1) RF1A

1973년에 개발이 시작되어 1975년에 완성된 RF1A 버전은 Reach File의 첫 번째 버전으로 데이터베이스 디자인 설계의 시범을 위해 국가적 범위로 구축되었다. 하천의 합류지점, 하구역 출구에서 종료되는 자연유역을 이용하여 EPA와 USGS에 의해 1:2,500,000의 해상도로 구축되었다.

#### 2) RF1

1978년 완전자동화 데이터베이스에 넣기 위해 시작된 버전으로 1:250,000의 해상도로 구축되어 약 68,000개의 하도를 포함하고 있다. NOAA(National Oceanographic & Atmospheric Administration)의 항공사진을 이용하여 디지털화하여

1982년에 완성되었으며, 1988년까지 유일한 Reach File로서 국가적 프로젝트를 지원하였다.

#### 3) RF2

1980년대 말, RF2는 USGS의 지명정보시스템(Geographic Names Information System)에서 추출된 수리학적 Feature명을 RF1에 중첩하는 형식으로 약 170,000개의 하도를 포함하도록 개발되었다. 1:100,000 축척의 DLG(Digital Line Graph) 데이터를 사용할 수 없게 됨에 따라, 1988년부터 1992년 RF3이 발표되기 전까지 수질관리를 위한 하천자료를 표준화하는데 사용되었다.

#### 4) RF3

다양한 수문자료의 데이터베이스화 요구와 필요성의 증대와 DLG 데이터를 사용할 수 있게 됨에 따라 1988년 RF3 프로젝트를 시작하였다. RF3은 국가적으로 일관된 데이터베이스를 제공하기 위하여 EPA의 Office of Water에 의해 개발된 데이터베이스로서 약 3,200,000개의 Reach를 포함하고 있으며 하천의 흐름, 하천, 저수지, 호수 등 여러 가지 수문학의 특징에 대한 속성정보를 포함하고 있다.

### 2.2 미국 EPA Reach File의 구성

Reach File은 속성이 연결된 하계망을 정의한 지표수 특성의 지형학적 데이터베이스로써 각각의 Reach 고유의 식별자와 속성, 위도, 경도 등의 정보를 제공한다. 또한, 수문학적으로 서로 연결되어 형성된 구조로 지표수 배수시스템의 분기 패턴을 나타내며, 수문학적 연결은 각각의 고유 식별자를 가진 Reach들에 의해 저장된다.

배수시스템 내의 Reach-to-Reach는 상류와 하류에 대한 수문학적 흐름이 수학적인 모형으로 구축될 수 있게 하며, 해안선과 같이 배수시스템 특성이 없는

Reach-to-Reach는 각지의 저수지, 호수 그리고 하구 주변에 대한 정보를 제공할 뿐만 아니라 지형학적 분석을 용이하게 한다. Reach File의 주요 목적 중 하나는 공통적인 지형학적 데이터베이스를 구축함으로써 각 Reach 간의 환경적 상호관계를 정의하는 데이터를 제공하는데 있다 (그림 1).

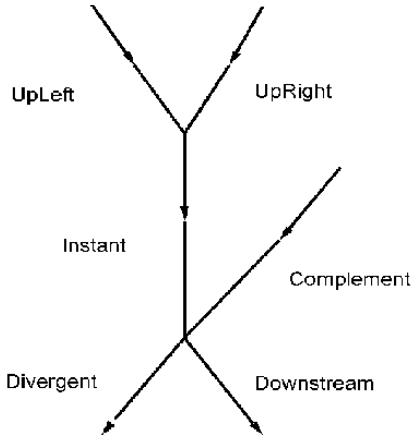


그림 1. Navigation Attributes

Reach File의 최종버전인 RF3의 경우, 미국의 수로 공간 데이터베이스에 대해 EPA와 다른 연방정부기관의 요구사항을 충분히 수용할 뿐만 아니라 새롭게 개발된 USGS DLG Enhanced data와 호환성 또한 우수하다. 게다가 개인용 컴퓨터의 GIS 관련 툴을 이용하여 관련 정보를 확인 및 사용할 수 있으며, 고유의 식별자를 지원하는 최초의 수리학적 데이터 셋으로써 National Spatial Data Infrastructure Framework Dataset)의 중요한 역할을 하고 있다.

### 2.3 미국 EPA Reach File의 활용

미국에서는 표준화된 Reach File의 코드를 이용하여 50개주 각각에 대한 Reach File을 구성하였고, EPA에서 GIS Data를 비롯한 다양한 속성정보를 Web 상으로 제공하고 있다. 하나의 예로, Nevada

State의 경우 141,145개의 Reach를 가지고 있으며 하천과 관련하여 86개의 속성정보를 포함하고 있다(그림 2).

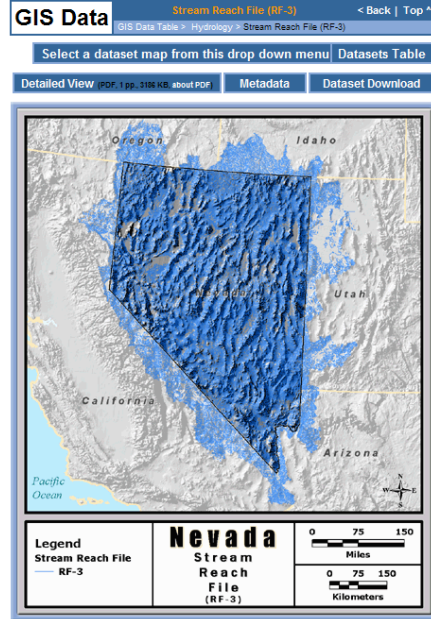


그림 2. Nevada State의 Stream Reach File(RF-3)

현재, 미국에서 구축된 Reach File (RF1A, RF1, RF2, RF3)은 오염총량관리를 지원하고 있는 BASINS(Better Assessment Science Integrating Point & Non-point Sources)의 기초 데이터로 활용되고 있다.

### 3. 한국형 Reach File 설계

본 연구에서는 GIS 환경에서 수질모형을 지원할 수 있도록 한국형 Reach File을 설계하였으며, 미국의 개발 사례를 기반으로 하여 국내 하천에 필요한 정보를 기본으로 하여 속성정보를 구축하였다.

수질 모델에는 수심, 하폭, 유하거리, 수표면적 등과 같은 지형자료와 수리계산에 의해 얻어지는 유속, 유량, 저수량, 체류시간 등과 같은 수리수문 자료가 필요하다. 이 중 하천의 폭이나 수심 등은 변

화의 주기는 길지만 자연적 요인에 의해 시기별로 상당한 차이를 보이고 있다. 이와 같은 요인은 수질모의에도 영향을 주고 있어 보다 정확하고 수질모의에 적합한 방법론을 활용하여 수치화하는 것이 중요하다.

이러한 수리정보에서 가장 중요한 것이 하천의 수문정보 체계를 나타내는 위상관계(Topology)이며 미국의 Reach File에서는 Arc-Node 모델을 이용하여 구축하고 있다. 이러한 위상 정보는 AAT(Arc Attribute Table)로 정의되었으며, 가장 기본적인 공간 단위인 Arc와 FromNode와 ToNode로 구성되어진다. Arc의 방향은 노드의 방향에 의하여 명시되며, 이를 기반으로 하천의 좌우를 구분하여 Left Polygon과 Right Polygon을 구분할 수 있다. 이와 같은 Arc의 상하관계나 Network Navigation 등과 같은 하천의 위상정보는 Reach File의 속성정보를 통해 확인할 수 있으며, 특정 하천의 영향권 분석을 빠르게 검색할 수 있도록 지원한다.

Reach File의 Entity는 하천의 기하학적 정보(Geometric Information) 이외에 하천명, 유역명, 수리-수질 정보 등 다양한 속성정보를 포함한다. 본 연구에서는 수질과 관련한 모든 속성을 다루기보다는 1차원 수질모델에 반드시 필요한 정보를 한국형 Reach File의 속성으로 정의하였다.

### 3.1 Reach File의 구성

#### 1) 공간 데이터

미국은 국토 면적이 넓고 자연하천인 경우가 많기 때문에 1:100,000 축적의 DLG 데이터를 활용하여도 Reach File의 하천망도 구축이 가능하다. 하지만 우리나라의 경우는 좁은 국토와 높은 인구밀도, 인위적으로 만들어진 제방하천 등의 영향으로 상대적으로 높은 정확도의 하천망도가 요구된다. 이에 우리나라에서는 하천망도 제작에 있어서 비교적 높은 해상도의 DEM을 이용해야 한다. 하지만 기

존에 제작된 하천망도를 우선적으로 활용할 필요가 있다. 그 중 국토해양부에서 제작한 하천관리지리정보시스템(RIMGIS)과 환경부의 물 환경정보시스템의 하천망도를 활용할 수 있다. 하지만 기존에 작성되어져 있는 자료는 조금씩의 오류를 가지고 있다.

수질모의에 있어서 하폭의 중심선을 활용하는 것이 높은 정확도의 결과를 도출할 수 있지만, 국토해양부의 하천관리지리정보시스템(RIMGIS)의 경우에는 하폭의 중심이 아닌 최심하상선이 하천중심선으로 정의되어 있다. 또한, 하천의 일부 구간에서는 하천중심선이 하천경계를 벗어나는 등 자료의 정확도가 낮았고, 수질모의에 활용하기에는 적합하지 않았다. 이에 기존에 구축된 자료를 활용하기 위해서는 높은 해상도의 DEM을 활용하여 보완 및 수정 작업을 반드시 거쳐야 한다. 기존의 자료 중에서 하천중심선과 같이 새로운 정의와 방법론을 적용해야 할 경우에는 필요에 따라 관련 자료를 직접 제작해야 할 것이다.

이와 같은 방법에 의해 작성된 하천망도는 하천의 각 분기점과 수질모의에 필요한 집수구역의 기준으로 Reach를 구분한다. 각각의 Reach 분기점에는 고유의 ID를 부여하여 Reach의 Topology를 정의하고, 다양한 속성과의 연계가 가능하도록 Primary Key를 부여한다. 하천망도와 더불어 행정구역별로 수질모의가 가능하도록 동리별 행정구역도와 집수구역도를 포함하여 Reach File의 공간데이터를 구성한다.

#### 2) 속성 데이터

한국형 Reach File의 속성 목록은 미국 EPA의 Reach File 속성을 기반으로 1차원 수질모델에 적합한 항목으로 구성되었다. 속성 데이터는 각 Reach의 Primary Key와 행정구역도, 하천명과 같은 기본 지리정보, 각 Reach의 위상을 정의한 Topology

정보, 수질모의에 필요한 수리계수, 하수 종말처리시설과 같은 오염원 정보 등 크게 3가지로 구분되어 구성된다. 여기에 사용되는 수리계수는 수심과 유속, 하폭의 변화, 즉 유량의 변화를 나타내는 Leopold and Maddox(1953)가 제시한 식을 활용하여 정의하였으며, 수식은 다음과 같다.

$$V = a \cdot Q^b$$

$$D = c \cdot Q^d$$

$$W = e \cdot Q^f$$

이 식에서 V, D, W는 각각 수로 평균 유속, 수심, 하폭을 나타내며, a, b, c, d, e, f는 대상 수로의 수리계수(Hydraulic Coefficient)를 나타낸다. 이와 같은 변수들은 Reach File의 속성정보로 구성된다. 이 밖에 1차원 수질모델에는 모델 구동을 위한 제어자료 및 하천 천제 구조자료, Reach의 구분 및 하류로부터의 길이자료, Reach별 소구획 구분자료, 수리계수 자료 등이 속성정보로 포함될 수 있다.

속성정보의 구성 목록은 표 1에서 상세히 확인할 수 있으며, 필요에 따라 구성 항목과 수리계수 및 위상정보 등은 수정 및 추가될 수 있다.

표 1. 한국형 Stream Reach File의 속성데이터

No	필드명	설명
1	FID	Primary Key
2	Shape	Feature geometry
3	Boundary	행정경계
4	StreamName	하천명
5	FNode#	From Node
6	TNode#	To Node
7	Lpoly#	Left Polygon
8	Rpoly#	Right Polygon
9	Length	Reach 길이

10	CU	Cataloging Unit
11	Segment	Segment Number
12	MI	Marker Index
13	Up	위상구조(상류)
14	Down	위상구조(하류)
15	ReachType	Reach type code
16	Level	Stream level
17	HW	수원점
18	Junction	합류점
19	Divergence	분기점 code
20	Catchment	집수구역
21	STslop	하도경사
22	BasinArea	유역면적
23	LandUse	토지이용현황
24	WQpoint	실측수질측정지점
25	HDpoint	실측유량측정지점
26	Tr	유하시간
27	Td	체류시간
28	Velocity	평균 유속
29	Depth	수심
30	Width	하폭
31	HC_a	수리계수 a
32	HC_b	수리계수 b
33	HC_c	수리계수 c
34	HC_d	수리계수 d
35	HC_e	수리계수 e
36	HC_f	수리계수 f
37	SewPoint	환경기초시설
38	WAcontrol	수질모델 제어자료
39	ReachCell	Reach별 소구획

### 3.2 한국형 Stream Reach File

정의된 공간데이터와 속성데이터의 구성을 따라 한국형 Stream Reach File을 구축하게 되면 가장 중요한 것이 하천의 Reach의 위상관계를 정의하는 것이다. 이는 공간데이터 상에서 집수구역 별로 각각의 Reach를 구분하는 것부터 시작된다.

공간데이터는 기본적으로 같은 수리형상을 가진 구간을 하나의 Reach로 구분하게 된다. 하천의 합류점과 하수처리장과 같은 환경기초시설의 유입지점 등을 기준으로 구분하며, 이를 다시 행정구역과 집수구역을 기준으로 구분하여 수질모의를 지원하게 된다. 속성데이터에서 가장 중요한 것의 위상관계의 정의이다. 향후 오염원 데이터와 연계가 가능하도록 Primary Key를 이용하여 속성데이터를 설계해야 하며, CU(Cataloging Unit), Segment, MI(Marker Index)를 통해 위상관계를 정의한다. CU를 통해 유역과 집수구역 정보를 나타내고, 정해진 CU 안에서 동일한 수리학적 형상의 Segment(Element)를 정의하여 고유 ID를 부여한다. MI의 값은 새로운 지류가 생겼을 때 Segment에서 정의하며 하나의 Reach로 통합되며, 하류에서 상류로 갈수록 거리에 비례하여 점차 증가하는 값을 갖도록 설계하였다.

한국형 Reach File의 설계안에는 기본적인 하천 정보와 수리계수를 결합하여 1차원 수질모의에 활용할 수 있도록 구축 및 설계하였다. 미국의 Reach File에 비하여 수질모의에 필요한 데이터들이 추가로 구성되었으며, 한국의 제방하천을 고려하여 새로운 하천중심선을 정의하여 기초자료를 구축하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 일관되고 체계화된 기초 수리자료의 구축과 신뢰도 높은 수질모형링을 위해 한국형 Reach File을 설계안을 제시하였다. 기존에 구축된 미국 EPA의 Reach File의 구축과정과 속성을 분석하여 공간데이터와 속성데이터를 구성하였으며, 우리나라의 하천 형상을 고려하여 하천의 중심선을 재 정의하고 집수구역에 따라 Reach를 구분하는 등 수질모의를 위한 한국형 공간데이터를 구성하였다. 또한, 위상관계 및 길이정보 등 기본적인

하천정보와 1차원 수질모의에 필요한 수리계수를 포함하여 Reach File의 속성 정보 목록을 구성하였다. 이와 같은 설계안을 바탕으로 구축된 한국형 Reach File은 1차원 수질모의를 비롯한 수질모의에 활용할 수 있으며, 향후 다양한 정보를 추가 구축하여 다차원적인 수질모의 또한 지원할 수 있다. 본 연구를 통해 수질모의를 위한 기초자료를 체계화할 수 있으며, 일관된 데이터의 수집으로 수질 및 지리정보의 데이터베이스 구축이 가능하다. 또한, 기초 수리자료의 공유체계 마련을 통하여 자료의 활용성을 극대화하고, 수질 관련 연구자의 수리·수질모의 업무 간편화로 업무 효율성을 높일 수 있으며, 오염총량관리제의 공통 기초자료로서 활용할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 김계현, 2007, 환경GIS, 문운당
- [2] 박석순, 2009, 수질관리학 원리와 모델, 해치
- [3] 국립환경과학원 수질총량과 수질총량센터, 2006, 알기 쉬운 수리·수질모형링
- [4] 이철용, 박용길, 김계현, “스케레토나이징 기법을 이용한 벡터자료에서의 하천중심선 추출 알고리즘에 관한 연구”, 2009 GIS 공동추계학술대회, pp61-71
- [5] C. Robert Horn and Sue Ann Hanson, 1994, “History of U.S.EPA’s River Reach File: A National Hydrographic Database Available for ARC/INFO Applications, US EPA
- [6] ESRI, 2003, ESRI Profile of the Content Standard for Digital Geospatial Metadata, An ESRI Technical Paper