

한국형 Reach File을 이용한 1차원 수질모델 모식도 자동생성 알고리즘 개발

Developing Algorithm of Automated Generating Schematic Diagram for One-dimensional Water Quality Model using Korean Reach File

박용길* · 김계현** · 이철용*** · 이성주****

Yong Gil Park · Kye Hyun Kim · Chol Young Lee · Sung Joo Lee

요약 우리나라는 2004년부터 오염총량관리가 가능한 수질오염총량관리제를 도입하였으며 지방자치단체는 수질 모델을 이용하여 소유역별 기준배출부하량을 산정하고 있다. 그러나 수질모델의 입력자료 중 하천 모식도 작성은 대부분 수작업으로 이루어지고 있어 많은 시간과 비용이 투자된다. 따라서 본 연구에서는 하천 네트워크 분석이 가능한 한국형 Reach File을 이용하여 수질모델의 모식도 작성을 자동화하는 알고리즘을 개발하고자 하였다. 또한 GIS를 활용하여 직선형태의 기존 모식도 대신 하천형태를 가지고 있는 모식도를 작성하였다. 이것은 오염원, 취수원 등 다양한 공간 정보와 중첩하여 분석이 가능하다. 본 연구에서는 우선적으로 한국형 Reach File의 선형 도형자료를 이용하여 동일한 거리를 가진 요소를 분할할 수 있는 요소 자동 분할 알고리즘을 개발하였다. 이후 한국형 Reach File의 점형 도형자료를 이용하여 수질모델 모식도의 순서와 유형을 자동으로 입력할 수 있는 요소 속성 자동입력 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘을 검증하기 위해 개발된 알고리즘을 경안천 유역에 적용하고 그 결과를 확인하였다. 본 연구 결과 모식도 작성의 자동화가 가능하였으며 이는 수질모델링의 비용과 시간을 절약할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 모식도를 이용한 수질 모델 입력자료 자동작성 시스템 개발이 이루어진다면 빠르고 편리한 수질모델링이 가능할 것으로 판단된다.

키워드 : 수질오염총량관리제, 수질모델 모식도, 한국형 Reach File, GIS, 알고리즘

Abstract Government introduces a Total Maximum Daily Loads(TMDL) which can be implemented for total pollutant amounts in 2004. Normally, the local governments have been calculated the amounts of pollutant discharge of each watershed using a water quality model. However, among the input data to use the water quality model, creating a schematic diagram of the stream or the modeling usually requires considerable amount of time and efforts due to the manual work. Therefore, this study tried to develop an algorithm which automates the creation of a schematic diagram for water quality modeling using the Korean Reach File capable of river network analysis. Further, this study creates a schematic diagram with the shape of a stream utilizing GIS capabilities. The diagram can be easily analyzed with overlapping various spatial information such as pollution sources and discharge points. This study mainly has automated element segmentation algorithm to divide streamflows into equal distance using line graphic data of Korean Reach File. Also, automated attribute input algorithm has also been developed to enable to insert element order and type into elements using point graphic data of Korean Reach File. For the verification of the developed algorithm, the algorithm was applied to kyungan stream basin to see the acceptable results. To conclude, it was possible to automate generating of schematic diagram of water quality model and it is expected to be able to save time and cost required for the water modeling. In future study, it is necessary to develop an automatic creation system of various types of input data for water quality modeling and this will lead to relatively easier and simple water quality modeling.

Keywords : Total Maximum Daily Loads, Schematic Diagram, Korean Reach File, GIS, Algorithm

1. 서 론

하천의 허용 오염부하량을 고려하지 않는 배출허용

기준 중심의 농도 규제는 배출허용기준 이하 오피수의 양적 팽창에 따른 오염총량을 통제할 수 없어 수질 개선에 한계가 있다. 또한 하천의 중, 하류에 인구 및

* Park Yonggil, Ph.D's Student, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. shakunetsu@inha.edu

** Kim Kye Hyun, Professor, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. kye Hyun@inha.ac.kr (Corresponding Author)

*** Lee Cholyoung, Ph.D's Student, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. khsakura82@inhaian.net

**** Lee Sungjoo, Ph.D's Student, Dept. of GeoInformatic Engineering, Inha University. leejoo6638@inhaian.net

산업시설이 과도하게 밀집되어 있는 우리나라 수계 특성상 농도 규제 방식은 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 한계가 있다. 우리나라는 이 문제를 해결하기 위해 목표수질 한도 내에서 오염물질 배출총량을 할당하고 환경과 개발을 함께 고려하여 지속가능성을 확보할 수 있는 수질오염총량관리제를 도입하였다. 환경부는 2004년부터 한강수계를 제외한 3대강 수계에 대하여 TMDL(Total Maximum Daily Loads, 수질오염총량관리제도)을 시행하였으며, 2011년부터 2015년까지 제2단계 TMDL을 시행중이다[5].

수질총량관리제도의 목표수질은 오염총량관리 목표설정을 위한 기준치로서 하천의 용도, 오염원 밀도, 지역개발정도, 환경기초시설 투자정도, 수량 및 수질, 수중생태계의 건전성 등을 고려하여 설정되며, 총량관리단위유역별로 오염부하량이 할당된다. 지방자치단체장은 총량관리단위유역별 할당부하량을 만족하는 소유역별 기준배출부하량을 산정해야 하는데, 이때 소유역에서 배출되는 오염물질이 목표수질설정지점에 도달할 때의 오염물질량을 계산하기 위해 수질모델의 활용은 필수적이다[5].

수질총량관리제에서 주로 활용되고 있는 수질모델은 활용이 용이한 동시에 정확도도 높은 편이라 전 세계적으로 널리 활용되고 있는 QUAL2E 계열의 모델이다. QUAL2E 외에 QUALKO, QUALKO2, QUALNIER 등 여러 수질모델이 있으며 이것은 1986년 미국 EPA에서 만들어진 QUAL2E 모델을 국내 실정에 적합하게 변경하여 사용하고 있다. QUALKO 모델은 QUAL2E 모델의 단점인 조류 생산 및 사멸에 의한 내부생산 유기물 증가를 반영한 모델이다[6]. QUALNIER 모델은 조류 대사과정을 세분화하고 유기물질 계산 시 물질의 세부 구분을 위한 분리계수를 도입하였으며 유기물 지표항목으로서 TOC 항목을 추가한 모델이다[9].

기본적으로 QUAL2E 모델은 모델에 적용시킬 대상 하천을 n개의 구간(reach)으로 나누고 각 구간을 같은 길이를 가지는 요소(element)으로 나누어 각 수질항목의 농도를 구간별, 시간별로 계산하기 때문에 수질모델의 대상하천 구간의 선정과 요소 분할에 의한 모식도 작성이 반드시 필요하다[8].

모식도 작성은 하천의 길이나 지천, 오염원의 위치 등을 파악하고 요소를 분할하는 과정을 거치게 되는데 이것은 대부분 수작업에 의존하고 있어 많은 시간과 비용의 투입이 불가피하였다. 이러한 수질모델 입력자료 작성 시간의 대부분을 소모하는 모식도 작성을 빠르고 쉽게 작성할 수 있다면 수질모델링을 수행

하기 위한 비용을 크게 절감할 수 있다. 또한 지금까지의 수질 모식도 작성은 곡선형태의 하천을 사용자가 알아보기 쉽도록 직선형태의 모식도로 작성하였다. 그러나 GIS 기술이 발전함에 따라 지도상에 취수원, 오염원 등의 정보를 표출할 수 있게 되었으며, 모식도를 실제 하천과 같은 형태로 지도상에 나타낼 수 있다면 수질모델 입력자료 작성 시 오염원 정보의 입력을 편리하게 할 수 있을 것이다.

국립환경과학원은 이러한 문제를 인식하고 수질모델링을 자동화하기 위한 연구를 지속적으로 수행하여 4대강 수계 및 주요 하천에 대한 하천 기본 공간자료인 한국형 Reach File 구축하고 수질모델 입력자료 자동생성 모듈을 개발하였다[7].

본 연구에서는 수질모델 입력자료 자동생성 모듈 중 QUAL2E 모델의 실행을 보다 쉽고 간편하게 할 수 있으며 수질모의에 소요되는 시간을 단축할 수 있도록 수질모의의 일련의 과정 중 하천 모식도 작성과정을 자동으로 수행할 수 있는 GIS 기반의 하천 모식도 자동 생성 알고리즘을 개발하였다. 또한 모식도를 실제 하천의 형태로 작성하여 수질모델에 필요한 정보를 지도상에서 함께 조회할 수 있도록 하였다. 하천의 길이 측정 및 대상하천의 요소 분할을 위해 본 연구에서는 하천의 형상을 대표적으로 나타내며 하천의 네트워크 분석 및 연결성 분석이 가능하도록 국립환경과학원에서 구축한 하천 기본 도형자료인 한국형 Reach File을 활용하였다[7].

2. 알고리즘 개발

2.1 QUAL2E 모델 모식도 구성

GIS 기술을 이용하여 모식도를 자동으로 작성하기 위해 QUAL2E 모델의 일반적인 모식도 작성 과정을 확인하였다. QUAL2E 모델은 하천에만 적용할 수 있는 1차원 수질모델이기 때문에 모델에 적용할 하천 모식도 작성은 하천을 따라 일정간격을 가지는 요소로 분할하고 각 요소에 대한 다양한 속성을 정의함으로써 이루어진다[8]. 각 요소는 수리학적 또는 지형학적 특성과 화학적 분해속도가 일정하다는 가정 조건을 가지고 있으며 모든 요소는 같은 길이를 가져야 한다. 요소의 속성으로는 요소 번호와 유형, 대구간 분할 정보 등이 포함된다. QUAL2E 모델 모식도의 구성은 Figure 1과 같으며 요소의 기본 유형은 Table 1과 같다. 이러한 QUAL2E 모델 모식도의 구성은 GIS를 이용한 하천 네트워크 추적 및 거리 측정을 이용한

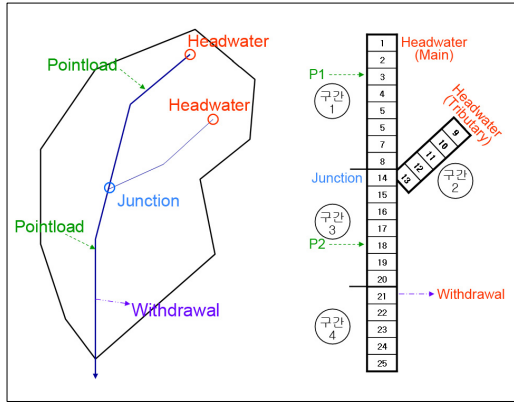


Figure 1. QUAL2E model schematic diagram

Table 1. QUAL2E model element type

No.	Element type
1	Headwater element
2	Standard element
3	Element just upstream from a junction
4	Junction element
5	Last element in system
6	Pointload input element
7	Withdrawal element

요소 분할 자동화가 가능하였다.

2.2 한국형 Reach File

미국에서는 유역 및 하천환경정보의 효율적인 관리를 위해 EPA Reach File과 같은 공간 프레임워크 데이터를 기반으로 데이터베이스 관리시스템(DBMS; Database Management System)을 체계적으로 구축하여 공간정보 및 환경정보를 결합하여 수질관리에 적극 활용하고 있다. 이를 참조하여 국내에서도 수질관리를 위한 하천 네트워크 공간자료 및 데이터베이스 구축을 시도하였으며 EPA Reach File을 국토 면적이 작고 소하천 관리가 필요한 한국 하천과 유역 실정에 맞게 재설계하여 4대강 및 주요하천에 대해 한국형 Reach File을 구축하였다. 구축된 한국형 Reach File은 각 부처의 다양한 데이터베이스와 연동이 가능하도록 표준화된 고유 식별자를 가지고 있으며 네트워크 분석도 가능하도록 위상 속성을 속성정보로 구축하였다[4].

한국형 Reach File은 아크-노드 모델 기반으로 구축된 공간자료로서 선형과 점형의 도형자료와 속성자료로 구성된다. 선형 도형자료는 환경부의 전국하천도



Figure 2. Korean Reach File and stream map

를 이용하여 하천의 중심선을 추출한 후 하천의 분기점 및 수리학적 특성이 변하는 지점에서 분할한 Stream Reach들로 구성된다[10]. 또한 하천의 상류, 하류, 지류를 추적할 수 있도록 위치정보 및 위상정보가 각 Stream Reach의 속성정보로 포함된다. 점형 도형자료는 선형 도형자료의 분할지점과 하천의 시작지점, 종료 지점을 나타내는 점으로 이루어져 있으며 선형 도형자료와 점형 도형자료는 각각의 고유 식별자를 이용하여 연결된다[7].

이와 같이 아크-노드 모델로 구성된 한국형 Reach File은 선형 도형자료의 속성정보와 점형 도형자료의 연결성을 이용하여 하천의 분류, 지류의 연결성을 분석하고 하천의 흐름을 추적할 수 있었다. 아울러 선형 도형자료의 경우 하천의 중심선을 도형으로 구축한 것이므로 하천의 길이 측정이 가능하였다. 이러한 특징은 모식도 작성 시 하천의 분류, 지류 추적 문제와 요소를 동일한 길이로 분할해야 하는 문제를 동시에 해결할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 하천의 요소 분할 및 속성 입력에 한국형 Reach File을 활용하였다.

아울러 모식도를 직선형의 배열형태가 아닌 실제 하천 형태로 작성하기 위하여 하천의 형상을 나타내는 지도가 필요하다. 환경부에서는 전국하천도를 제작하여 배포하고 있으며 한국형 Reach File이 환경부의 전국하천도를 이용하여 작성되었기 때문에 본 연구에서는 이것을 이용하여 모식도를 작성하도록 하였다. Figure 2는 전국하천도와 한국형 Reach File을 중

첩한 모습을 나타내고 있다.

2.3 요소 자동분할

수질모델 모식도 작성 과정은 다음과 같이 구분할 수 있다. 우선적으로 수행할 과정은 수질모의 대상이 되는 하천구간을 선택하는 것이다. 수질모의 대상구간이 선택되었다면 두 번째는 모의구간을 동일한 길이의 요소로 분할한다. 마지막으로 분할된 요소에 대하여 요소 번호 및 유형을 정의한다. 상기 과정 중 하천 모식도 분할에서 가장 중요한 과정은 각 요소를 동일한 길이로 분할하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 요소의 길이를 사용자로부터 입력받아 모의구간을 동일한 길이의 요소들로 분할할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

요소 분할은 한국형 Reach File의 선형 도형자료를 따라 사용자가 입력한 분할간격만큼 분할지점을 이동하며 모의구간 하천 폴리곤을 분할함으로써 이루어진다. 이 과정은 모의구간의 본류와 지류에 대해 차례대로 수행된다. 요소 자동 분할 알고리즘의 순서도는 Figure 3과 같다.

우선 요소 분할을 위해 전국하천도에서 수질모의 대상구간을 클립(Clip)한 하천 폴리곤과 한국형 Reach File을 중첩해야 한다. 요소 자동 분할 알고리즘은 요

소 분할 시작 시 현재 분할지점을 본류의 배출구(Outlet)지점으로 설정한다. 이후 한국형 Reach File의 선형 도형자료를 따라 분할지점을 상류방향으로 입력 받은 분할간격만큼 이동하며 수원(Headwater)지점에 도달할 때까지 요소 분할을 반복함으로써 요소를 자동으로 분할한다.

현재 분할지점으로부터 모의구간 본류의 상류방향으로 분할간격만큼 이동한 분할지점이 수원지점이 아닐 경우 하나의 요소를 생성할 수 있다. 이를 위해 한국형 Reach File의 선형 도형자료와 수직인 법선을 생성하여 모의구간 하천 폴리곤을 분할(Cut)한다[1]. 분할간격을 1km로 하였을 때의 분할된 요소는 Figure 4와 같다.

분할이 완료되었다면 이동한 분할지점을 현재 분할지점으로 설정한 후 수원지점 이전까지 본류의 분할을 수행한다. 분할지점이 본류의 수원지점에 도달하였을 경우 요소 분할은 더 이상 이루어질 수 없으므로 본류의 분할을 종료하고 지류의 분할을 시작한다. 지류의 분할을 위해 지류 합류점을 현재 분할지점으로

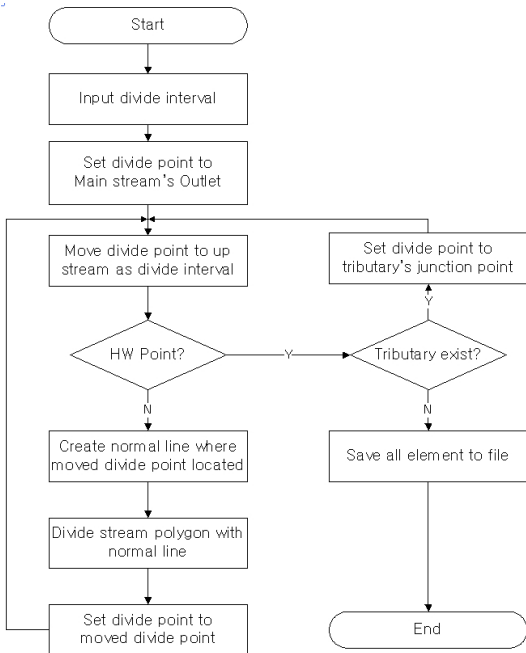


Figure 3. Flowchart of element division

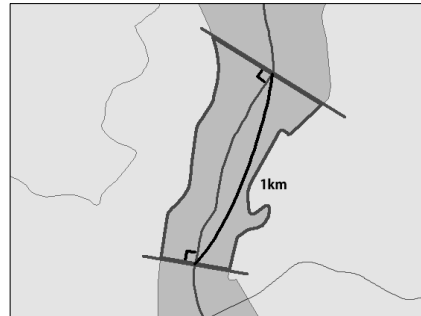


Figure 4. Example of element division

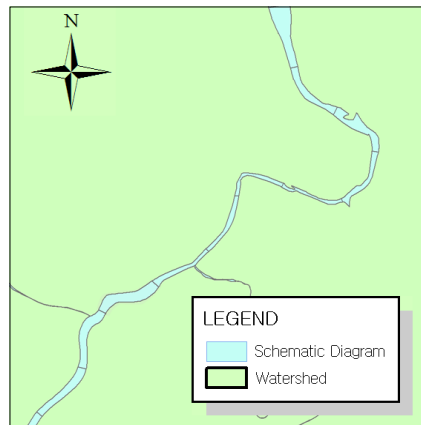


Figure 5. Result of element division

설정한 후 같은 과정을 반복하여 지류의 요소 분할을 수행하며 지류의 차수에 관계없이 모든 지류에 동일한 방법을 적용한다. 모의구간의 모든 하천에 대하여 요소 분할이 완료되면 분할된 요소를 모식도로 저장한 후 요소 분할을 종료한다. 요소 분할이 완료된 모식도는 Figure 5와 같다.

2.4 속성 자동입력

요소 분할을 수행한 후 각 요소의 속성인 요소 번호와 유형을 정의해야 한다. 요소 번호는 본류의 수원지점의 요소가 1번이 되며 지류의 수원지점의 요소 번호는 지류 합류점 이전 요소 번호의 다음 번호로 입력되어야 한다. 또한 각 요소에 대하여 오염원지점과 취수지점인 ‘6’, ‘7’번 유형을 제외한 다섯 가지 기본 유형을 정의해야 한다.

본 연구에서는 이러한 속성정의 과정을 자동으로 수행할 수 있도록 속성 자동입력 알고리즘을 개발하

였다. 속성입력은 한국형 Reach File의 선형 도형자료를 따라 이동하며 분할된 요소를 검색하고 순서에 따라 요소 번호 및 유형을 입력함으로써 이루어진다. 속성 자동입력 알고리즘은 메인 알고리즘과 서버 알고리즘으로 구성되어 있으며 순서도는 Figure 6, 7과 같다.

요소 속성 자동입력 알고리즘은 요소 자동분할 알고리즘과 반대로 알고리즘 시작 시 현재 검색지점을 본류의 수원지점으로 설정한다. 이후한국형 Reach File의 선형 도형자료를 따라 하류 방향으로 검색지점을 분할간격만큼 이동시키며 본류의 배출구지점에 도달할 때까지 검색지점과 중첩되는 요소의 번호 및 유형 입력을 반복함으로써 속성을 자동으로 입력한다. 이 때 한국형 Reach File의 점형 도형자료를 이용하여 지류가 본류로 합류하는 지점의 요소를 판단하여 올바른 요소 순서 및 유형을 입력할 수 있도록 하였다.

최초로 검색된 요소는 모식도의 시작 요소이므로 번호 1번과 요소 유형 ‘1’을 입력한다. 현재 검색지점으로부터 모의구간 본류의 하류방향으로 분할간격만큼 이동한 검색지점이 배출구 지점이 아니라면 검색지점과 중첩되는 요소 한 개가 반드시 존재한다. 이 때 지류를 고려한 순서 및 유형을 입력하기 위해 중첩된 요소가 한국형 Reach File의 점형 도형자료인 하천 분기점을 포함하고 있는지 확인한다[3]. 중첩된 요소가 점형 도형자료를 포함하고 있지 않다면 해당 요소의 번호를 순차적으로 입력하고 요소의 유형으로 ‘2’를 입력한다(Figure 8).

중첩된 요소가 점형 도형자료를 포함하고 있다면 해당 요소는 지류가 합류하는 요소이므로 순서는 입력하지 않으며 요소 유형으로 ‘4’를 입력한다. 동시에 바로 이전에 입력한 요소의 유형을 ‘3’으로 변경한다. 그리고 본류의 속성입력을 중지하고 분기점의 지류에 대하여 속성입력을 수행하도록 한다.

지류의 속성입력은 본류와 동일한 과정으로 이루어진다. 단, 지류의 첫 번째 요소의 번호는 본류의 마지막 번호에서 연속된 번호로 입력한다. 지류의 속성입력 중 2차 지류 합류지점이 검색된다면 재귀적으로 지류의 속성입력을 수행한다. 본류 합류점까지 속성입력을 완료하였다면 현재까지 입력한 요소 번호를 반환하여 합류지점 요소의 번호를 이어서 입력할 수 있도록 한다. 최종적으로 검색지점이 모의구간 본류의 배출구지점에 도달했을 때 검색지점과 중첩된 요소의 순서를 입력하고 요소 유형을 ‘5’로 입력한 후 새로운 모식도로 저장하고 요소 속성 자동입력을 종료한다[1].

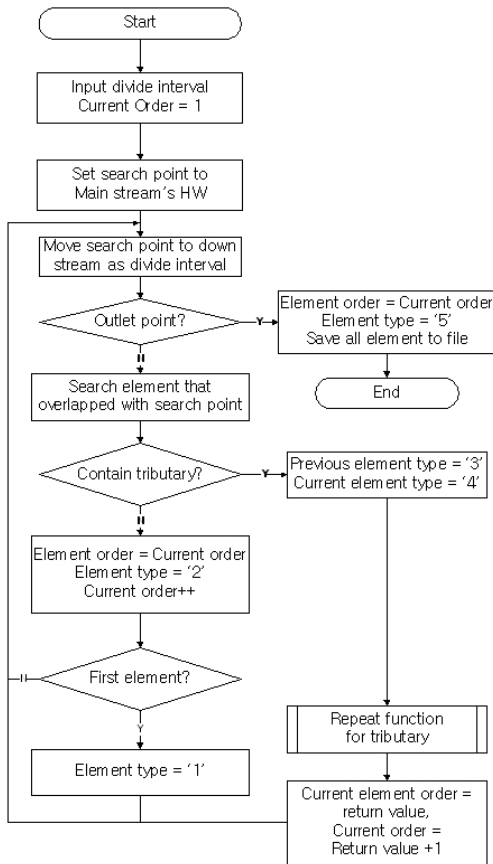


Figure 6. Flowchart of attribute data insert of main stream

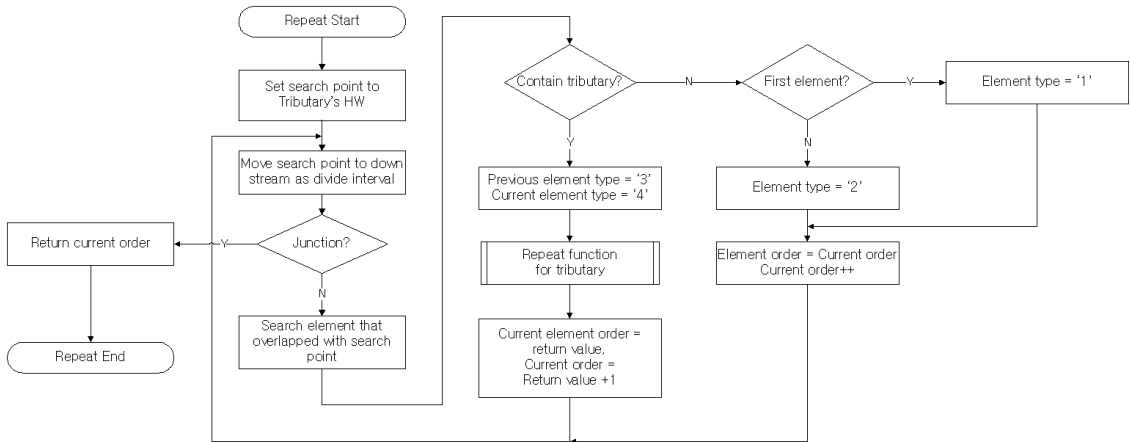


Figure 7. Flowchart of attribute data insert of tributary

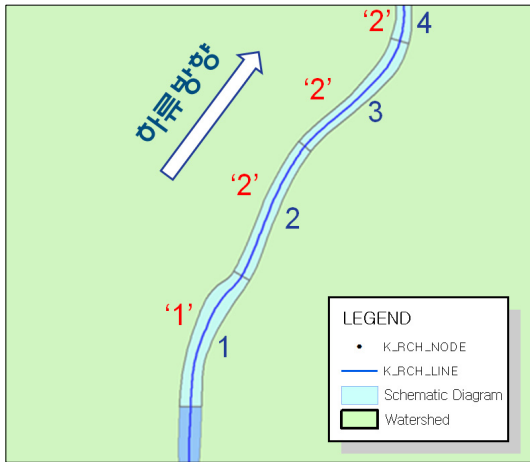


Figure 8. Attribute data of headwater

3. 연구 결과

본 연구에서 제안된 알고리즘을 검증하기 위하여 실제 프로그램을 개발하여 한강수계의 중권역 중 하나를 선택하여 요소 분할과 속성입력 알고리즘을 적용하였다. 연구 대상지역은 한강수계 중 경안천 유역으로 선정하였다. 경안천 유역은 경안천, 곤지암천 등의 하천을 포함하고 있는 유역이며 특히 경안천은 하천 유입량이 한강 수계의 1.6%이나 오염부하량은 남북한강보다 많은 16%를 차지하는 하천이다. 경안천의 유역면적은 561.1km²이며 하천연장은 약 70.351km이다[2].

Figure 9는 프로그램의 실행화면이며 본류와 지류의 요소 분할 및 순서 입력이 정확히 이루어지는 것을

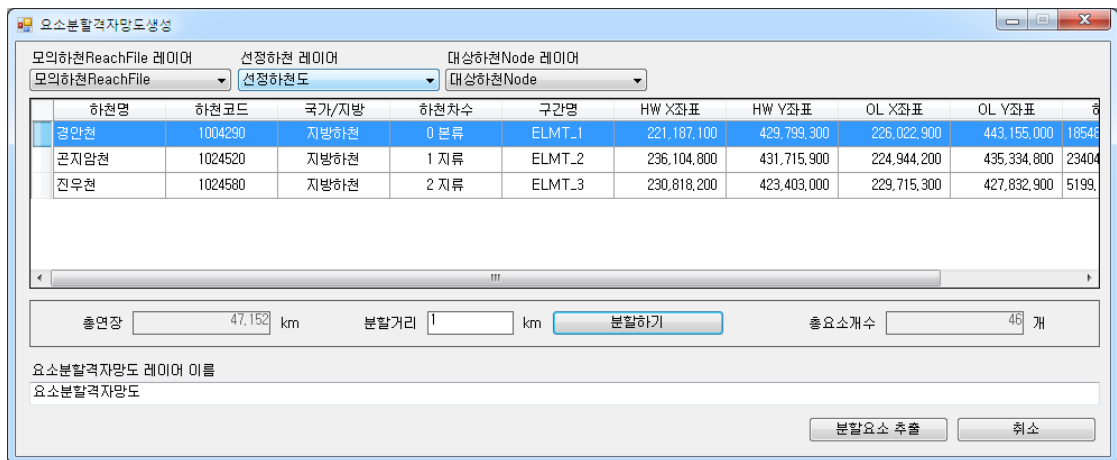


Figure 9. Element division program

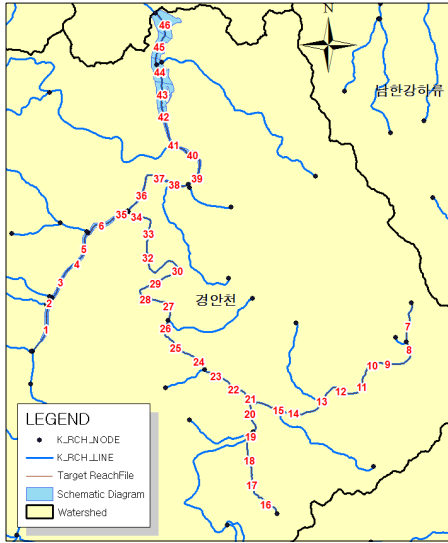


Figure 10. Result of element order insertion

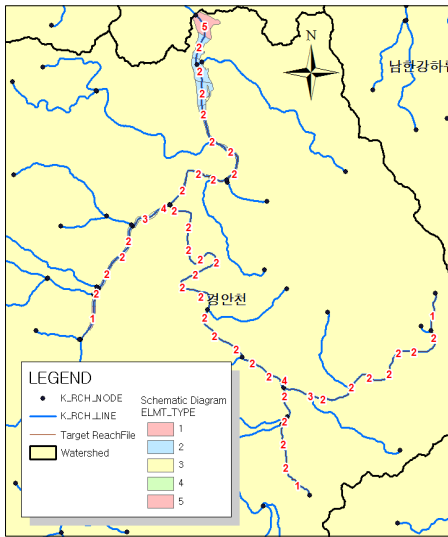


Figure 11. Result of element type insertion

검증하기 위해 본류를 경안천, 1차 지류로 곤지암천, 2차 지류로 진우천을 수질모의 대상구간 하천으로 선정하였다. 분할간격은 1km로 설정하였으며 수원지점은 국가하천 경안천과 지방하천 경안천의 경계로 설정하고 배출구지점은 경안천 유역 경계로 설정하였다. 모의구간은 총 길이는 47.152km이다. Figure 10은 요소의 속성 중 요소 번호를 자동으로 입력한 결과를 보여주고 있으며, Figure 11은 요소의 유형을 자동으로 입력한 결과를 보여준다.

요소의 길이는 한국형 Reach File의 선형자료인 하

천 중심선을 따라 1km씩 동일한 길이로 분할되었으며, 전체 모의구간은 46개의 요소로 분할되었다. 이것은 3개의 모의 하천이 1km의 배수 길이가 아님으로써 발생한 문제이다. 요소 분할 시 수원 지점에 도달했을 때 분할할 모의구간의 길이가 분할간격인 1km보다 작을 경우 모의구간에서 제외하도록 하였기 때문에 모의구간의 전체 길이는 47.152km이지만 분할된 요소의 개수는 47개가 아닌 46개였다.

요소의 순서는 지류 합류점 이전에서 본류의 번호 다음 번호로 정확히 부여된 것을 확인할 수 있었다. 요소의 유형은 본류와 지류의 수원지점이 '1'로 입력되고 본류의 배출구지점이 '5'로 입력되었으며 지류 합류점 직상류 요소는 '3'으로, 지류 합류점 요소는 '4'로 입력된 것을 확인하였다. 또한 1차 지류 및 2차 지류에 관계없이 지류의 차수가 증가하여도 요소의 분할 및 속성 입력이 정확히 수행되었음을 확인하였다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구를 수행한 결과 QUAL2E 수질모델의 모식도를 자동으로 작성할 수 있는 요소 자동 분할 알고리즘과 요소 속성 자동입력 알고리즘이 개발되었다. 개발된 알고리즘은 사용자가 수질모델링을 수행하려는 수질모의 대상구간을 정의하면 사용자 임의의 분할간격으로 요소를 자동으로 분할하고 요소 번호 및 유형을 자동으로 입력하였다. GIS 공간분석 기술과 하천 네트워크 추적이 가능한 한국형 Reach File을 활용함으로써 모식도 작성을 자동화할 수 있었으며 대부분 수작업으로 수행되고 있었던 모식도 작성에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

기존의 직선형태의 모식도와 달리 지도상에 하천의 형상을 그대로 이용한 모식도의 작성은 오염원 및 수질측정 지점 등 다양한 공간정보를 중첩하여 조회 및 분석이 가능할 것이며, 이것은 수질오염총량관리제도의 총량관리단위유역별 할당부하량을 만족하는 소유역별 기준배출부하량 산정을 지원할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 본 연구의 최종 산출물인 요소 분할 및 속성 입력이 완료된 모식도 자료를 이용하여 QUAL2E 수질모델 입력자료 작성을 지원하는 시스템 개발이 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 해양환경기술개발사업의 일환인 “하구역 종합 관리시스템 개발연구(No. 20100051)”

의 지원과 공간정보 전문 인력 양성사업의 지원 및 인하대학교의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] ESRI Korea, 2009, Introduction to Programming ArcObjects Using .NET Framework.
- [2] Jang, J. H; Kim, H. C; Lee, S. B; Lee, S. J; Shin, A. H. 2007, Estimation by Assessing the Load Reduction Scenarios in Kyungan Stream Basin, Paper presented at the autumn meeting for The Korean Society of Water and Wastewater, November 737-744.
- [3] Kim, K. H. 2010, Spacial Analysis, Munundang.
- [4] Lee, C. Y; Kim, K. H; Park, Y. G; Lee, H. 2013, A Study to Improve the Spatial Data Design of Korean Reach File to Support TMDL Works, Journal of Korea Water Resources Association, 46(4):345-359.
- [5] Ministry of Environment, 2013, Total Maximum Daily Loads Management Basic Policy.
- [6] Nakdong River Management Committee, 2004, Development of Water Quality Model in Nakdong River Basin.
- [7] National Institute of Environmental Research, 2010, Design of Reach File in Han River Basin and Automatic Generation Module for Water Quality Model's Input Data.
- [8] National Institute of Environmental Research, 2006, Easy-to-understand Hydraulics and Water Quality Modeling.
- [9] Park, J. D; Shin, D. S; Kim, M. S; Kong, D. S; Rhew, D. H; Jung, D. I; Na, E. H. 2008, Development of a Stream Water Quality Model (QUAL-NIER) for the Management of Total Maximum Daily Loads, Journal of Korean Society on Water Quality, 24(6):784-792.
- [10] Park, Y. G; Kim, K. H; Lee, C. Y. 2010, Study on GIS based Automatic Delineation Method of Accurate Stream Centerline for Water Quality Modeling, Korea Spatial Information Society, 18(4):13-22.

논문접수 : 2013.08.07

수정일 : 2013.12.27

심사완료 : 2013.12.31