

연구논문

GIS에 의한 댐 유역 수질오염사고 평가

명광현 · 정종철

남서울대학교 GIS공학과

(2011년 5월 28일 접수, 2011년 8월 12일 승인)

The Assessment of Water Pollution Accident on Dam Watershed using GIS

Myeong Gwang Hyeun, Jeong Jong Chul

Dept. of Geoinformatics, Namseoul University

(Manuscript received 28 May 2011; accepted 12 August 2011)

Abstract

The water pollution such as oil spill from stream and river because of car accidents have been frequent cases in the watershed of Dam. However we don't have any simulation methods about flow modeling on the watershed and stream tree. In this study aims to analyze water pollution accidents area on impact range for ANDONG-Dam. The focused watershed and the risk range of path analysis model was designed by GIS database. The frequency of transportation accidents which may occur from road accidents in the level of quantitative and qualitative analysis to map flow analysis using ArcHydro Model and Open Geospatial Consortium(OGC) API. and the path way from the accident point to the reservoir stayed on the path was simulated. The area of risk assessment index was displayed with cell and grid of dam area.

Keywords : GIS, Map Flow analysis, Water Pollution, Watershed

1. 서 론

1. 연구배경 및 목적

하천의 수질오염사고는 자연현상에 의한 수질오염사고로 부영양화에 의한 녹조발생과 토사에 의한 물고기 폐사 등과 인위적 수질오염사고로 공장의 불법배출이나 화재발생이나 이송차량의 전복사고

등에 의한 유독물, 기름 유출사고의 경우 등으로 구분할 수 있다. 이러한 수질오염사고는 수생태환경의 급격한 변화를 유발하여 물고기 폐사와 같은 수질오염사고로 언론에 소개되고 있다. 또한 정유수송차량의 전복사고 등으로 하천에 기름이 유출되어 하천생태계에 급격한 피해가 발생하는 사고가 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 수질오염사고에 따른

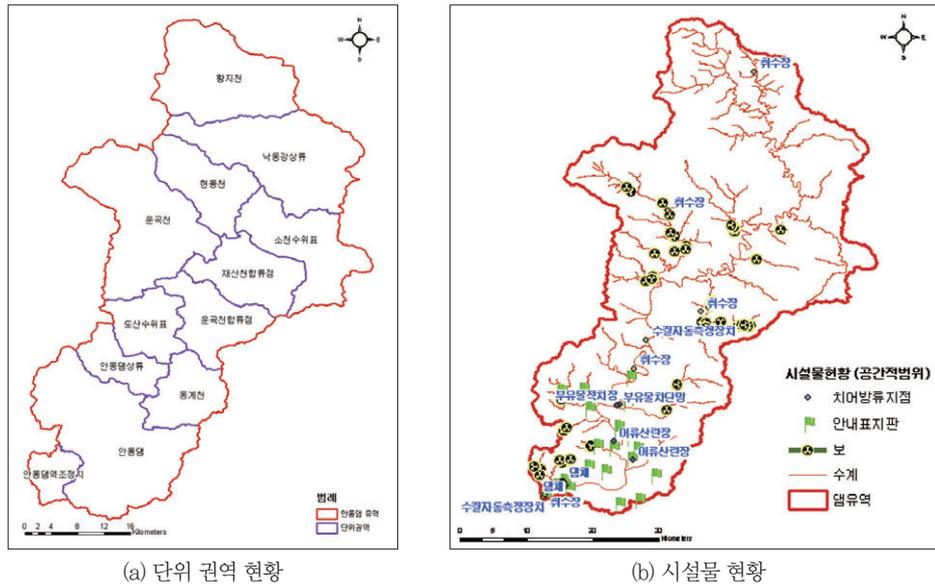


그림 1. 연구대상지역인 안동 댐 유역

수질오염 피해방지 및 수질사고 발생 시 효율적인 방제활동을 위한 개별 오염원의 정보관리가 필요한 실정이다. 수자원공사와 국립환경과학원에서는 토사유출과 유독물 누출사고와 같은 수질오염사고를 신속하게 대응하고 관리하는 시스템을 구축하였고, 체계적인 현장관리를 통해 오염원 및 사고정보를 공간정보로 관리하고 있다(국립환경과학원 수질오염방제센터, 2010).

유독물 누출에 의한 수질오염사고로는 1990년 낙동강 폐놀오염사고와 같은 유독물 유출사고가 보고된 바 있고, 이러한 사고는 한번 발생하면 대규모의 생태계 파괴 및 경제적 손실을 발생시키기 때문에 초기 대응 대책이 중요하다. 2006년 시정개발연구원 친수하천의 수질사고 발생시 대응방안 연구보고에 따르면 1999년부터 2004년까지 집계결과 평균 유형별 수질오염사고는 35.5건, 원인별 수질오염사고는 31건으로 운전 및 취급부주의를 주요 원인으로 보고한 바 있다(조용모, 2006).

이러한 하천의 수질오염사고 문제를 신속하게 다루기 위해서는 사고지점 및 수계 내 오염물질 거동이 정확히 파악되어야 한다(윤동구, 2003). 현재 수자원관리 및 공간분석을 이용한 연구분야와 관련된

GIS프로그램으로 ArcHydro Model이 개발되었으며, ArcHydro Model은 ESRI와 CRWR (Center for Research in Water Resource)에 의해 개발된 것으로 수자원에 관한 시·공간 자료를 저장하기 위한 데이터 모델을 기반으로 하여 구축되었다. 이 모델은 ESRI의 응용프로그램에 의해 지형공간 DB로 제공되고, 하천망을 통해 선형참조가 될 수 있다. 또한, 수리·수문에 관련된 동적인 모델링이 가능하도록 개발되었다(한국수자원공사, 2003).

본 연구에서는 안동 댐 유역 내 사고에 의한 오염물질 이동경로 분석을 위해 현재 미국의 USGS (United States Geological Survey)에서 활용 중인 ESRI의 ArcHydro Model을 이용하여 유하경로 및 사고위험범위에 대한 데이터베이스를 분석할 수 있는 모델을 구축하고, 분석결과를 통해 사고 지점으로부터 오염물질의 거동을 해석할 수 있는 유하경로분석 모듈을 개발하여 시뮬레이션하고, 도로로부터 발생될 수 있는 사고위험 범위를 분석하였다.

2. 연구의 범위 및 내용

1) 공간적 범위

본 연구의 대상유역은 안동 댐 유역으로 면적은

약 1,626.5Km²이다. 해당 대상유역은 안동댐, 재산천 합류점, 황지천, 도산수위표, 동계천, 안동댐 상류, 운곡천, 현동천, 안동댐역조정지, 낙동강상류, 소천수위표, 운곡천 합류점을 포함하는 중권역이다.

이곳에는 방재자재 1곳, 부유물 적차장 1곳, 부유물 차단망 1곳, 수용가 1곳, 어류산란장 2곳, 일시배제시설 2곳, 취수장 5곳, 취수구 1곳이 있으며, (국가수자원관리종합정보시스템, 수자원공사) 치어방류지점 1곳, 보 44곳, 안내표지판 26곳이 위치해 있다.

2) 내용적 범위

본 연구에서는 오염물질 이동경로 분석을 위하여 분석 대상항목으로 Grid 형태의 자료 격자는 5M의 해상도를 갖은 DEM(Digital elevation model)을 이용하였다. DEM으로 부터 추출된 대상항목은 흐름지도, 흐름누계지도 등이 있으며, ArcHydro Model을 이용하여 흐름선에 대한 순서를 정의하고, 흐름선 순서에 따라 흐름선을 표출하였다.

안동 댐 유역을 대상으로 관련 연구동향 및 이론검토를 통하여 분석 대상 데이터 및 오염물질 유하경로 분석에 대한 알고리즘을 정립하고 해당 자료를 수집하였다. 또한 수집한 자료를 토대로 분석모형을 설계하였고 유하경로분석 모듈을 개발하여 시뮬레이션 하였다. 수질오염사고에 대한 공간정보의 해석은 정량적, 정성적 결과로 도출하기 위해 분석 대상 공간범위를 1km 격자망으로 구축하고 공간연산을 통하여 오염 확산범위와 저수지로 유입되는 위험수준을 분석하였다(Tarboton, 1991).

II. 관련 연구동향

우리나라의 국내수질오염사고는 2008년의 경우 총 53건이 발생하였으며, 수계별로는 한강수계의 사고발생건수가 전체에서 38% 이상을 차지하는 것으로 보고 되었다. 특히 한강수계에는 안양천, 중랑천, 굴포천 등 도심 통과 하천이 많고 상류지역에는 축산시설, 군부대 등으로 비교적 수질오염사고에

의한 영향이 크게 나타나는 사고발생이 많았다. 사고유형별로는 유류·화학물질 유출 및 수환경변화 등으로 수질오염사고가 매년 증가하는 수준이다(환경부, 2009). 최근 4대강 살리기 공사는 공사중 또는 공사 이후 수질오염사고의 발생이 증가할 수 있어서 수질오염사고에 대응하기 위해서 주요 하천에 대한 수질오염사고 예방·방재의 필요성이 크다고 할 수 있다. 유역의 수질인자에 영향을 분석하는 연구로 김성준(2007)은 SMS의 RMA-2를 이용한 하천흐름 해석에서 WMS HEC-1으로 모의된 하천분류 및 지류의 수리량을 동적인 경계 입력 자료로 다양한 시나리오별로 하천내의 흐름 영향을 파악하고자 하였다.

홍종광(2004)은 하천에 대하여 SMS (Surface-water Modeling System) 모델링프레임워크 내의 RMS-2 모델을 이용하여 2차원 수리모형을 분석하고 하천의 흐름에 대한 결과를 도출한 후, 이와 연계하여 오염물의 확산·이송을 분석할 수 있는 RMS-4 모델을 사용하여 하천의 수질사고에 대한 오염물질의 확산범위를 예측하였다.

박대희 외(2006)는 지형공간 자료와 GIS의 공간분석기능을 연계하여 기존의 오염유출모델링을 위해 수행하던 자료수집, 정보연계, 모형운영 등의 각각 분산되었던 과정을 통합하는 정보 시스템을 개발하였다. 개발된 KBASIN-HSPF는 EPA에 의해 개발된 BASIN의 유역분할, 하천망생성, 지형특성계수 산정 기능과 함께 우리나라의 지형, 오염원, 기상정보의 저장구조를 고려한 데이터 모델링, 티센망(Thiessen)에 준한 강우자료 보정 그리고 HSPF 모형운영정보 생성 및 전환기능을 포함하고 있다. 윤동구(2003)는 GIS를 사용하여 해당 유역에 적절한 배수구역을 설정함으로써 종전의 구분자의 주관에 따라 결정되던 배수구역 구분을 보다 객관화하였다. 신사철(2002)은 ArcView 및 VB를 이용하여 각기 다른 기관에서 관리하는 수자원 및 수질분야의 정보자료를 수집하여 유역의 특징과 여건을 반영한 유역단위 수자원정보 통합관리 시스템을 구축하였고, 정성관(2000)은 GIS와 다변량통계기법

을 이용하여 낙동강 유역의 도시적 오염인자, 농업적 오염인자, 공업적 오염인자를 추출하여 분석함으로써 낙동강 수계에 직간접적으로 영향을 미치는 오염원을 분석하였다. 최종욱(1998)은 GIS와 수질 모델을 이용하여 안양천의 수질오염을 해석하고자 연구를 수행하였는데, 도형정보를 수치지도화하고 오염원과 오염원 원단위를 속성정보로 데이터베이스화하여 소유역별 오염부하량을 산정하였다. 박근애(2007)은 ESRI의 ArcHydro Model을 통하여 수리시설물의 공간위치를 가시적으로 표현함으로써 특정 시설물의 위치파악이 쉽고, 순차적인 물수지의 체계를 이해하기 쉽도록 연구하였고, 권오준(2005)은 ESRI의 ArcHydro Model을 이용하여 수자원에 대한 시·공간자료를 저장하고 효율적인 하천주제도(공통분야 6개, 이수분야 4개, 치수분야 6개, 하천생태 5개, 하천문화공간 4개) 관리방법을 연구하였다. 김정탁(2004)은 수자원 공간자료 생성 및 수자원 시스템 개발 모듈인 HyGIS를 이용하여 수문학적 지형특성인자 및 공간자료를 추출하고 이들 자료를 유역 프레임워크 공간자료를 구축하는 데이터로 이용하였다.

III. 유하경로분석

본 연구에서는 유하경로 시뮬레이션을 위한 분석 모델 기초 자료를 구축하였다. 첫 번째로 본 연구에서 정의한 오염원은 물의 흐름에 따라 상관관계를 갖는 대상을 오염물의 이동이 상위에서 하위로 흐르고, 사고발생 지점으로부터 물이 모이는 안동댐까지로 하였다. 기초자료는 채움정보, 흐름방향정보를 활용하였고 흐름연결, 흐름순서정렬 과정을 통하여 흐름지도를 구축하였다.

흐름분석 시뮬레이션에 대한 기초자료는 흐름정보 연결 시 DEM 해상도로 인해 연결흐름이 중단될 수 있는데 이 때문에 흐름에 대한 연결을 보완하기 위하여 고도의 가장 가까운 정수 값으로 반올림하여 저지대 및 흐름정보를 정렬하여 채움정보를 생성하였다.

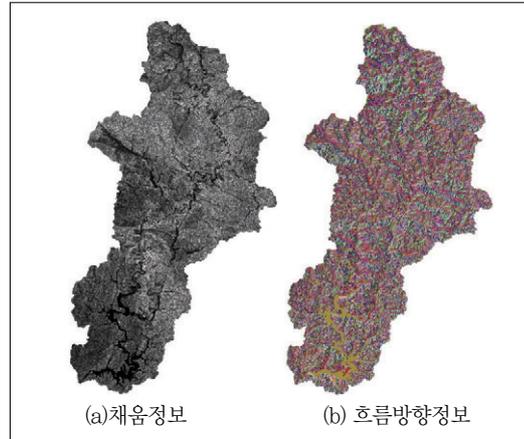


그림 2. 기초데이터

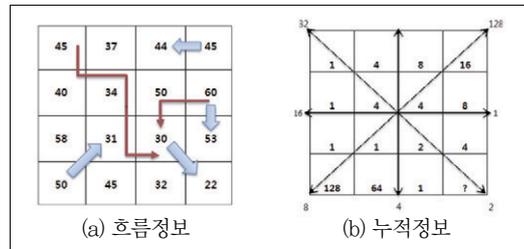


그림 3. 흐름 및 누적정보 추출과정

Grid 형태의 DEM은 지형의 위치에 대한 고도를 일정 간격으로 배열한 수치정보를 갖고 있다. 이는 광범위한 지형정보를 쉽게 얻을 수 있으며, 수치정보로부터 그림 3의 흐름 및 누적정보 추출과정을 통해 기초정보를 생성하였다. 유하경로분석 시뮬레이션을 위한 기초데이터 구축을 위해 그림 4의 기초데이터 생성 모델을 설계하였다. 모델은 안동댐유역과 고도에 대한 공간정보를 통하여 흐름정보를 추출하고, 시점에서 종점까지의 유하경로를 분석할 수 있도록 절차를 설계하였다. 영향요인 중 경사지도는 DEM에서 흐름지도를 생성하는 인자로 활용하였다. 최종 기초데이터 생성 모델은 ArcGIS Model builder를 이용하여 흐름지도를 구축 하였다.

기존에 활용되는 트리구조 형태의 경로분석은 단방향의 분석은 가능하나 양방향의 분석은 불가능하였다. 이러한 구조는 유하경로를 분석하는 방법으로는 적합하지 않다고 판단되었다. 하천에서는 상위에서 하위로 반대로 하위에서 상위로 향시 변형이

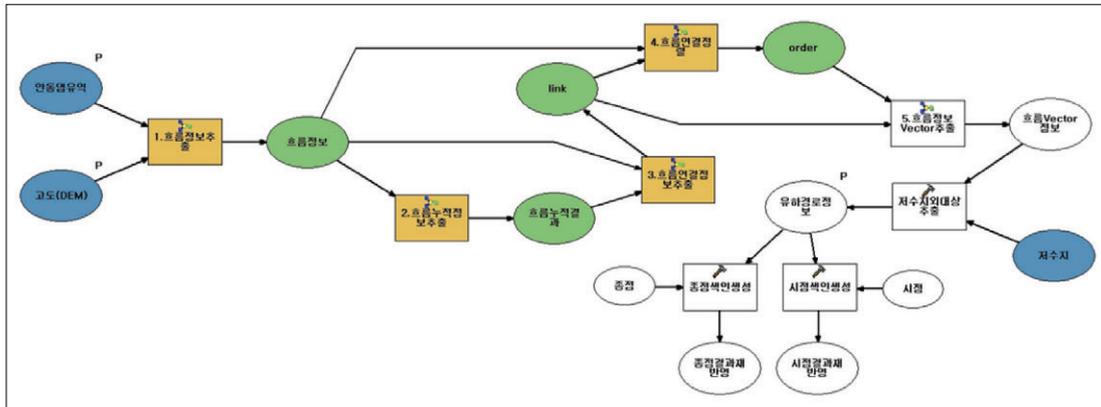


그림 4. 기초데이터 생성 모델

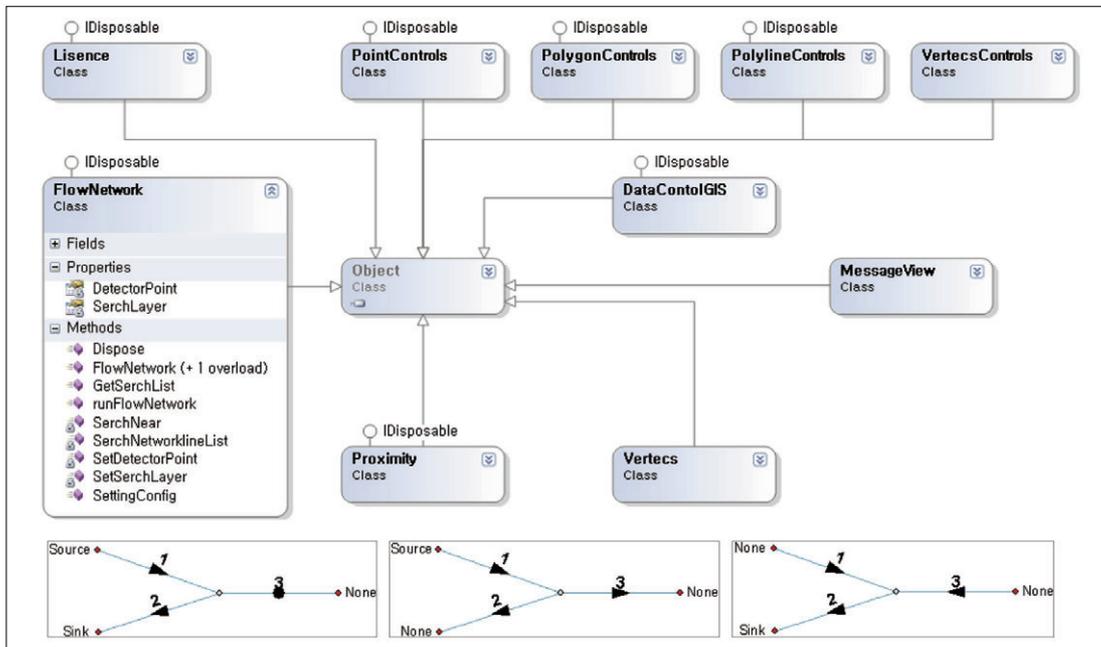


그림 5. 유하경로분석 모듈

생길 수 있다. 이를 보완하기 위하여 유하경로를 분석할 수 있는 그림 6의 유하경로분석 모듈을 개발하였다. 이 모듈은 사고 지점으로부터 유하경로에 대한 양방향과 단방향의 분석을 가능하게 하였다.

시물레이션을 위하여 임의의 사고 지점을 선정하였다. 소권역인 운곡천의 한 도로 지점으로 부터의 사고발생을 가정하여 하천으로 물질이 유입되었다는 상황으로 거동을 분석하였다. 시물레이션 결과 사고 시작지점부터 이동할 수 있는 지형거리는 약

6,024m라는 것을 알 수 있었으며 하천 흐름 상황에 따라 여러 형태의 경로 분석이 가능하였다. 하지만 여러 형태의 복잡한 관계데이터를 만드는 과정이 어렵고 분석속도가 기존 경로분석 방식에 비하여 속도가 느린 단점이 있다.

IV. 오염 확산 사고위험수준 분석

인위적으로 발생하는 오염사고는 대부분 도로로

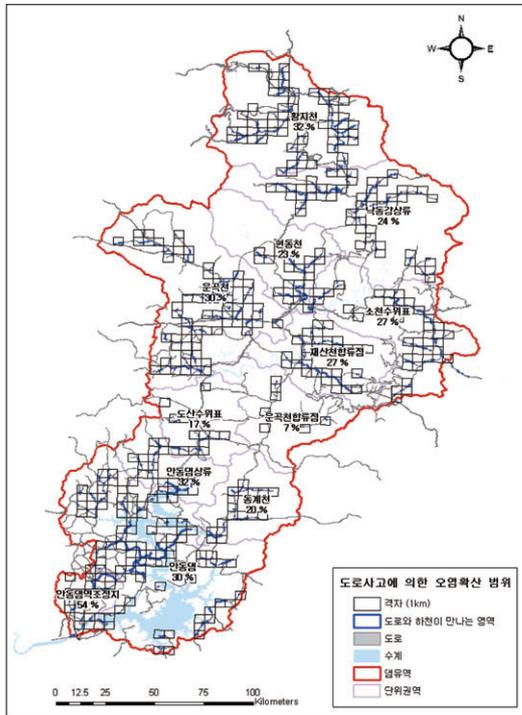


그림 6. 오염 확산범위

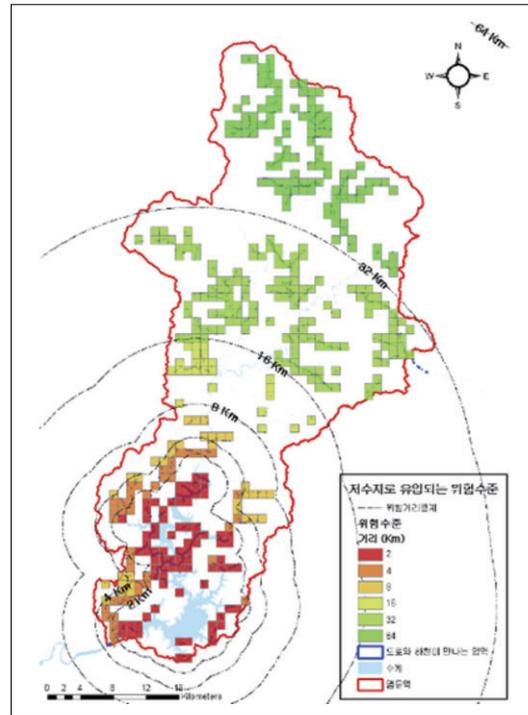


그림 7. 저수지로 유입되는 위험수준

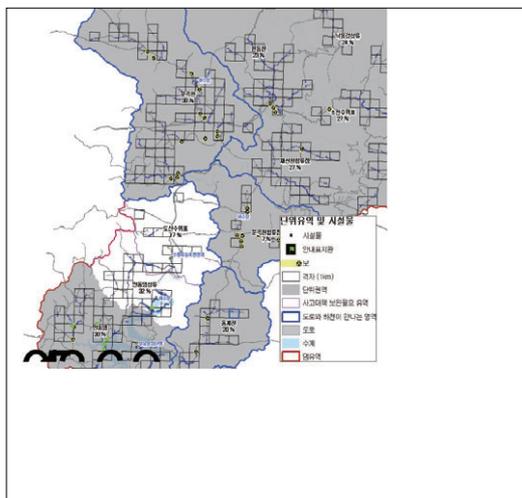


그림 8. 운곡천, 운곡천 합류점, 동계천 유역 내 시설물 “보” 설치 현황

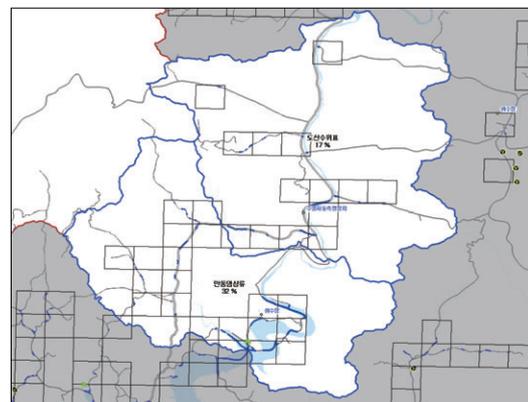


그림 9. 안동댐 상류, 도산 수위표 유역 내 시설물 설치 현황

부터 발생하는 사고가 원인인 경우가 대부분이다. 본 연구의 대상 범위인 안동댐 유역 내 도로사고 시 발생할 수 있는 위험범위를 산출하기 위해 도로와 수계의 중첩 부분을 이용하여 분석하였고, 안동댐

유역의 분석영역을 1km×1km로 나누어 격자지도로 구축하였다. 안동댐유역의 위험범위를 분석하기 위하여 그림 8의 도로(국도, 지방도, 시군도, 세도로) 및 수계 중첩 부분의 면적을 구하고 격자지도로 제시하였다.

격자지도를 활용하여 분석결과를 위험범위로 설정한 결과, 그림 6의 오염 확산 위험범위를 단위권

역별 영역으로 구분하여 권역범위와 위험범위를 도출하고 권역영역 안에서 위험범위를 포함하는 위험범위포함율을 얻었다. 오염확산 위험범위 대상 중 안동댐역조정지 54%, 황지천·안동댐상류 32%, 안동댐 31%, 운곡천 30% 등 순으로 높게 분석되었다. 이를 공간적으로 표현하면 그림 6과 같다.

또한 위험수준을 도로로부터 저수지까지 거리관점으로 분석을 시행하였다. 이 결과 위험범위가 가장 높은 안동댐조정지로 부터 도로와 하천이 만나는 영역과 저수지와와의 거리를 기준으로 설정할 때 그림 7의 저수지로 유입되는 위험수준에 대한 결과를 얻었다.

위험범위로 설정된 지형 중 그림 8과 같이 설치된 시설물(보) 설치현황을 시각화 해본 결과 운곡천, 운곡천 합류점, 동계천 유역 내 시설물(보) 설치현황 수가 약 27개가 설치된 것으로 파악되었다.

특히 안동댐 상류지점의 경우 사고지점인 도로로부터 하천으로 직결 될 수 있는 범위가 약 32%이다. 그림 9의 안동댐 상류 및 도산수위표 유역은 유류 및 독극물 등에 해당하는 오염물 유출사고의 대비책으로 취약한 주변 환경시설 보완이 필요하고, 위험범위에 있는 도로는 오염물 탑재차량에 대한 이동 재제가 필요하다고 판단된다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 안동댐유역을 대상으로 도로사고로 인한 하천으로 유입되는 오염물질을 경로분석하기 위해 현재 미국의 USGS에서 활용 중인 ESRI의 ArcGIS hydro data model을 이용하여 기초 데이터 모델설계를 통해 흐름지도를 구축하였다.

또한 첫 번째로 하천을 대상으로 분석 할 수 있는 모듈을 개발하였고 오염물이 임의 사고 지점으로부터 저수지까지 유입되는 시뮬레이션을 실시하였다. 가상 사고지점으로 부터 유하경로분석을 한 결과 유하의 길이정보와 상황에 따른 오염정보 표현을 할 수 있었다. 이 연구에서는 물질의 특성이나 유속 등의 정보를 고려하지 못하였지만 하천흐름의 방향

에 따라 변화되는 유하경로분석 결과를 얻었다.

두 번째로 도로로부터 사고가 발생되어 하천에 유입될 수 있는 오염 확산 범위를 구하기 위하여 도로와 수계를 중첩하여 격자지도를 활용한 오염 확산 사고위험 수준을 분석하였다. 이 결과 도로에서 발생될 수 있는 사고에 따른 소권역의 오염범위는 안동댐역 조정지 54%, 황지천·안동댐 상류 32%, 안동댐 31% 등으로 높게 측정되었다.

세 번째로 위험범위를 거리 기준으로 분석한 결과 저수지로 유입되는 위험수준을 분석하였고, 지형의 시설물현황에 대한 시각화로 이에 비례되는 취약 대상 지형을 살펴 볼 수 있었다.

ArcHydro data model을 통하여 얻어 낸 결과는 오염사고에 대한 대응대책에 필요한 요소로서 사고예방과 방재효과를 가져 올 것으로 판단되며, 향후 이와 같은 부분이 고려되어 연구되어야 할 것이다.

경로분석의 속도를 높이기 위해서는 좀 더 정교한 데이터설계와 경로분석 알고리즘의 보완이 필요하다. 물질의 이동거리 및 방향은 물질의 특성, 토양의 특성, 하천관련 시설물 및 유속정보 등으로 부터 유하이동거리가 변화되기 때문이다.

참고문헌

- 김경탁, 최윤석, 김주훈, 2004, 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프레임워크 공간 DB 구축에 관한 연구, 한국지리정보학회지 7(2), 87-97.
- 권오준, 김계현, 송도, 2005, GIS를 이용한 효율적인 하천주제도 관리 방법에 관한 연구, GIS/RS 공동 춘계학술대회, 189-194.
- 박근애, 박민지, 장중석, 김성준, 2007, ArcHydro를 이용한 GIS기반의 관개시스템 네트워크 모델링, 한국지리정보학회지 10(1), 73-83.
- 박대희, 하성룡, 2006, 유역오염원 수질거동해석을 위한 GIS기반 정보시스템 개발, 한국지리정보학회지 9(4), 34-44.

- 박민지, 박근애, 김성준, 2007, GIS 기반의 하천흐름 해석모형 RMA-2와 유역유출모형 HEC-1을 이용한 하천의 수리학적 특성 분석 연구, 한국지리정보학회지 10(1), 124-135.
- 박진혁, 이근상, 고덕구, 김계현, 김성준, 2005, 하천주제도 관리시스템 시범구축, 한국지리정보학회지 8(2), 95-102.
- 신사철, 김성준, 채효석, 권기량, 이윤아, 2002, 공간정보를 활용한 유역관리시스템 개발, 한국지리정보학회지 5(3), 33-44.
- 윤동구, 김경섭, 2003, GIS 및 QUAL2E 모델을 이용한 안양천 유역의 수질관리, 환경대학교 논문집 제35회, 139-140.
- 정성관, 박경훈, 2000, 지리정보시스템을 이용한 낙동강 유역권의 광역환경분석, 한국지리정보학회지 3(1), 12-22.
- 조용모, 김소희, 양지희, 이해영, 2006, 친수하천의 수질사고 발생시 대응 방안 연구, 서울시정개발연구원.
- 최종욱, 정권, 김동일, 1997, GIS를 이용한 하천의 오염도 예측, 서울특별시보건환경연구원, 312.
- 홍종광, 2004, SMS 및 WASP5모형을 이용한 하천 및 인공호 수질예측에 관한 연구, 상명대학교 대학원 석사학위 논문.
- 환경부, 2009, 수질오염사고 발생현황 및 분석·평가, 물환경정책국 수생태보전과.
- 환경부, 2009, 수질오염사고 예방·방재 매뉴얼, 물환경정책국 수생태보전과.
- Tarboton D. G., R. L. Bras, I. Rodriguez-Iturbe, 1991, On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrological Processes, 5: 81-100.