

지리정보시스템을 이용한 저수지 수심측량자료의 개발과 응용

Geographic Information System(GIS) Application Development and Use of the Reservoir Bathymetry Data

Yuri Gorokhovich*, Gregory Marsh*, Brian Klett**, David Lounsbury***

김성준역****

Kim, Sung-jun

본고는 1996년 7월 14일부터 17일까지 미국 뉴욕주 Syracuse시에서 개최된 미국수자원협회(American Water Resources Association) 심포지엄 "Water Restoration Management-Physical, Chemical and Biological Considerations"의 발표논문 중에서 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용한 저수지의 내용적 분석 및 저수량의 변화를 추정한 논문을 소개하고 간단한 제언을 하고자 한다.

I. 서론

뉴욕시 환경보호청(New York City Department of Environmental Protection, NYCDEP)이 수행하는 환경관련 프로젝트들을 위하여 저수지의 수심측량자료로부터 60일 유하시간(Travel time)의 계산, 저수지 형상매개변수의 추출 및 저수용량의 변화를 가시화하는 매개변수들이 필요하다. 60일 유하시간의 계산은 우선적으로 수질보호를 위한 유역면적의 경계를 정하기 위하여 요구된다. 수면적과 저수량을 포함한 저수지 기하매개변수들은 동수역학적 모델링을 위한 입력자료로 제공된다. 3차원 가시화는 저수량의 변화를 대화식으로 보고 제어하는데 필요하다.

다음은 이러한 응용에 있어서 자료개발과정을 개략적으로 설명하고, ARC/INFO GRID 모듈 및 IBM Data Explorer 가시화 도구의 사용개요를 보여준다.

II. 자료의 준비

GIS의 응용을 위한 저수지 자료는 13개 저수지 지역을 대상으로 하여 AUTOCAD와 ARC/INFO를 사용하여 등고선과 저수지 경계 등을 작성하였다. 자료원은 Angler's Aid 지도, 환경보호국(Department of environmental conservation)에서 발간한 주요 호수의 지형측정 도해서(Morphometric Atlas of Selected Lakes), NYCDEP에서 제작한 지도 등이다. Cannonsville저수지의 수치고도모델(Digital Elevation Model, DEM)을 개발하기 위한 자료는 1964년 USGS 7.5-minute 지형도에서 추출한 등고선으로서 댐 건설전의 20ft 간격 지상등고, 저수지수중등고 및 속성을 입력하였다. 모든 자료들은 ARC/INFO의 Conversion/Interpolation 모듈을 사용하여 격자구조로 전환시켰다.

* GIS전문가, NYCDEP, 465 Columbus Ave., Valhalla, NY 10595

** 연구원, NYCDEP, 465 Columbus Ave., Valhalla, NY 10595

*** 생태학자, NYCDEP, City House #2, Rt. 28A, Shokan, NY 12481

**** 한국수자원공사 수자원연구소

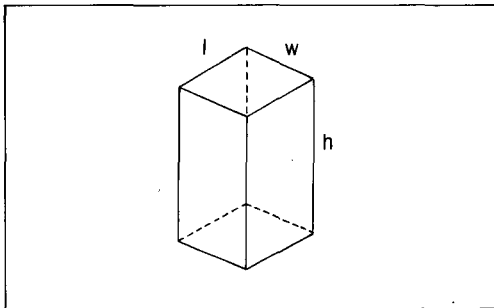
Ⅲ. 자료의 적용

1. 저수지 내용적 측정

GIS 기능은 수심측량자료를 격자자료(Grid data)로 구조화함으로써 저수지 내용적의 측정을 가능하게 한다. 직사각기둥 개념을 이용하여 격자화된 수심측량자료로부터 내용적을 수학적으로 추정할 수 있다. 직사각기둥의 체적은 길이, 폭, 높이의 곱과 같다<그림-1>.

$$\text{체적} = l \cdot w \cdot h$$

여기서 l=길이, w=폭, h=높이



<그림-1> 직사각기둥 체적

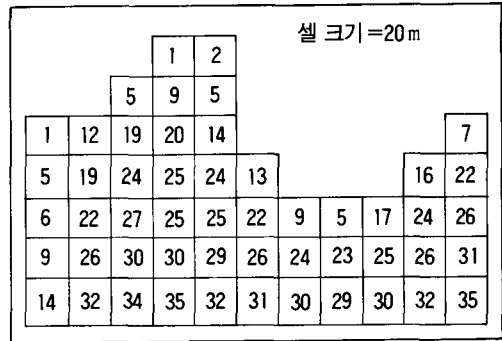
GIS 측면에서 각기둥의 요소들은 격자자료구조의 요소들과 같다. 길이와 폭은 한 격자셀(A grid cell)의 각 면길이에 해당한다. 이 길이는 일반적으로 “셀의 크기(Cell size)”라 한다. 격자화된 수심측량자료에 대하여 각 셀의 값은 전체 셀면적에 대한 저수지의 수심을 나타낸다. <그림-2>는 전형적인 저수지의 일부에 대하여 격자셀들과 이들 셀이 지니는 수심값을 보여준다. 따라서 수심측량 격자셀의 부피방정식은 직사각기둥 방정식으로 대체시켜 사용한다.

직사각기둥 식 : 체적 = l · w · h

여기서 l=격자셀 크기(길이)
w=격자셀 크기(폭)
h=격자셀 값(깊이)

수심측량 격자셀의 체적 :

$$\text{체적} = \text{격자셀 크기(길이)} \cdot \text{격자셀 크기(폭)} \cdot \text{격자셀 깊이}$$



<그림-2> 저수지 수심측량 격자의 일부

저수지의 전체적(Total Reservoir Volume, TRV)은 수심측량 격자에서 각 셀 체적의 합이다.

$$TRV = \sum_{i=1}^n [(\text{격자셀 크기})^2 \cdot (\text{격자셀 값})_i]$$

여기서 n=격자셀의 수

가. 체적 측정치의 이용

NYCDEP는 해당 저수지의 체적보고서를 자동으로 생성시킬 수 있도록 GIS를 이용한 응용 프로그램을 개발하여 왔다. 응용프로그램은 사용자가 쉽게 입력자료와 매개변수들을 조건으로 지정할 수 있도록 ARC/INFO의 “Form menu” GUI(Graphic User Interface)로 통합하였다. 응용프로그램은 격자셀의 체적을 합산하여 그 변화량을 이용하는데, ARC/INFO의 GRID 모듈은 체적계산을 위한 수학적 방법을 제공한다.

다음은 두가지 응용의 예이다.

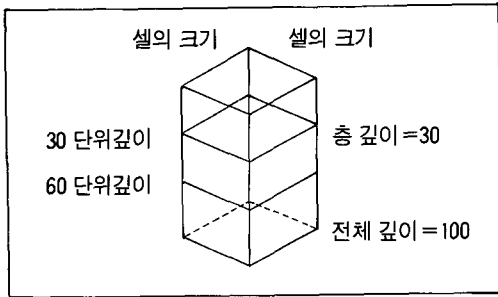
1) 단면에 의한 수심층별 체적

이 응용의 목적은 저수지로 유입하는 화학적 첨가물을 모델링하기 위하여 저수지의 분할체적을 표준화된 보고서로 생성시키는데 있다. 이 연구에서는 해당 저수지를 수직 및 수평차원으로 세분하고, 여러 종의 화학적 물질이 저수지로 이

동하여 영향을 주는 정도를 파악하기 위하여 Box모델을 사용하였다. 사용자가 분할조건을 지정할 수 있도록 하였고, 각 단면을 저수지의 수심 측량 격자위에 겹쳐놓을 수 있도록 GIS기법을 사용하였다.

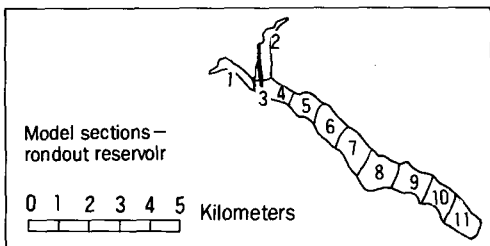
저수지내에서 임의의 층 또는 수층(Limnion)에 대한 분석이 필요할 경우에는 수직차원이 요구된다. 각 층은 30~60ft 깊이구역과 같이 층의 표면과 바닥 표고에 의하여 정의된다. 여기서는 한 셀의 체적을 계산하기 위하여 셀의 전체깊이를 무시하고 사용자가 제시하는 층의 두께만을 고려한다<그림-3>.

$$\begin{aligned} \text{체적} &= (\text{셀의 크기})^2 \cdot \text{층 깊이} \\ &= (\text{셀의 크기})^2 \cdot 30 \end{aligned}$$



<그림-3> 층 깊이에 따른 셀의 체적

층의 특정화는 각각의 수평분할구역내에서는 고정치로 처리하였으나<그림-4>, 구역별로는 다를 수 있다. 보고서의 생성시에는 이와 같은 수평분할을 인식하여 각 구역별 격자셀들의 층부피를 합산하도록 하였다. <표-1>은 전형적인 최종보



<그림-4> 저수지 수평분할 구역

고서 예를 보여주고 있다. 각 구역의 총표면에 대한 면적의 합은 중복계산된다.

<표-1> 구역별 총체적 보고서

NYC-DEP, 음용수 수질제어부 GIS
5/ 17/ 95
층 체적
RONDOUT저수지 온도 연구결과, EAST DELAWARE RUN
만수위 표고, 840 FEET MSL

입력자료
수심측량격자 : / disk2/ ron3bath
구역격자 : / disk2/ ronsectg
층깊이파일 : / disk2/ ronedelcdm517. input

구역	층 깊이	
	표면 깊이(ft)	바닥 깊이(ft)
3	13	26
4	13	45
5	13	60
6	13	65
7	15	69
8	17	83
9	17	101
10	17	92
11	17	110

구역별 총체적
파일 : / disk2/ ronedelcdm517. txt

구역	면적(m ²)	체적(m ³)	체적(gal)
3	278658	941181.652	248660192.441
4	479844	3789186.528	1001103080.828
5	698553	8521049.680	2251261325.448
6	893646	11772496.495	3110293573.971
7	971226	13918548.004	3677280382.572
8	1160892	20293003.048	5361411405.239
9	820611	17879546.480	4723776179.942
10	760374	15157500.457	4004611620.789
11	968301	23021113.990	6082178316.057

상기 구역 및 층에 대한 총체적
m³ : 115293626.333
gal : 30460576077.280

단위환산계수 :
1 m³ = 35.31 ft³
1 m = 3.281 ft
1 m³ = 264.2 gal

2) 수위하강시 체적계산

이 응용의 목적은 저수지 수심과 수위의 변동에 따른 저수지 내용적을 산정하는 표준보고서를 생성시키는데 있다. 여기서는 단계별로 수위를 하강시키면서 저수지의 수직배수과정을 모의발생시켰다. DEP는 뉴욕시의 생활용수 배분시스템에서 60일-음용수 이동구역(60day water-borne travel zone)을 설정하기 위하여 이 보고서를 요구하였다. 60일 이내의 저수지 수체는 음용수에서 병원균의 농도를 줄이기 위한 하수처리장의 건설을 줄여주는 역할을 하기 때문에 규칙적으로 보호·운영되어 왔다. 이러한 과정의 일부로서 모든 저수지를 대상으로 체류시간(Residence Time, RT)을 계산하였다. 다음 식은 체류시간을 개략화한 것이다.

$$RT = \frac{\text{가용 저수지 체적}}{\text{생활용수 방류량}}$$

가용체적은 ① 저수지 운영수위의 변화 ② 수온 성층 ③ 일부 저수지에서 도수관의 위치로 인하여 생활용수의 흐름과 관련되어 배제하는 구역 등 3가지 요인에 의하여 그 계산이 쉽지 않다. 처음 두가지 요인은 임의의 수위에 대한 상하 가용체적의 계산에 영향을 주게 되고, 세번째 요인은 <그림-4>에서와 같이 저수지의 일부분에 대하여 2~3개의 수평단면을 생성시킨다. 과거에 뉴욕시의 여러 저수지들을 대상으로 저수지 수위와 내용적 곡선이 작성되었지만, 여기서는 저수지를 분할하여 해당구역에 대한 내용적 곡선만을 작성할 수 있도록 개발하였다.

보고서를 생성시키는 과정중에서 사용자가 수위하강 깊이를 지정하도록 하였다. 예를 들어 사용자가 1ft간격 또는 20ft간격으로 배수되는 저수지를 모의발생시키기를 원한다면, 이 깊이를 셀들의 깊이값에서 제한 후 모든 저수지 셀들에 대한 체적을 계산한다. 이 과정은 저수지의 수심측량격자가 유효한 깊이까지 배수될 때까지 계속된다. <표-2>는 전형적인 최종보고서를 보여준다. 각 하강수위별 저수지 면적의 합은 중복계산된다.

<표-2> 수위하강에 따른 체적보고서

NYC-DEP, 음용수 수질제어부 GIS				
01/ 12/ 96				
수위하강체적				
KENSICO저수지				

입력자료				
수심측량격자 : / disk2/ ken3bath				
수심측량격자의 최대깊이(ft) : 166				
수위하강깊이(ft) : 20				
수위하강에 따른 수면적 및 체적				
파일 : / disk2/ kendrdwn. txt				
	수위하강	면적(㎡)	체적(㎡)	체적(gal)
	누가깊이			
	0	8372682	157542676.623	41622775163.740
	20	6903648	110905066.138	29301118473.710
	40	5263893	73665855.837	19462519112.030
	60	3788163	45956419.384	12141686001.340
	80	2374983	27410733.008	7241915660.771
	100	1691289	14982462.664	3958366635.783
	120	1030833	6538476.684	1727465539.897
	140	522009	1999681.500	528315852.179
	160	73701	91514.173	34178044.377
단위환산계수 :				
1m =3.281ft				
1㎡ =35.31ft²				
1㎡ =264.2gal				

2. Cannonsville 저수지 수치고도 모델(DEM)

다음은 Cannonsville 저수지를 대상으로 등고자료로부터 DEM을 생성하는 과정과 수면적, 내용적, 길이, 폭, 깊이 등 저수지의 형태를 계산하는데 있어 DEM을 활용하는 과정을 개략적으로 설명한다. 이 매개변수들은 1m 수위하강깊이의 간격으로 56개의 구역에 대하여 각각 구축하였다. 이 자료들은 동수역학적 모델링을 위한 입력자료로 제공된다.

Cannonsville 저수지는 뉴욕시에 생활용수를 공급하는 저수지로서 뉴욕주의 북부 West of Hudson지역에 있는 6개 저수지 중의 하나이다. 저수지의 수면적은 18.5km²이다.

3m의 셀크기를 갖는 저수지 DEM을 생성하는 과정은 ARC/INFO명령어인 TOPOGRID(메뉴방식은 TOPOGRIDTOOL)를 이용하여, 사용자가 하천, 합몰지역 및 경계와 관련된 정보를 입력하면서 점, 선, 면으로 이루어진 도면들로부터 수문학적으로 허용되는 고도격자를 발생시킨다. ARC/INFO의 온라인 문서정보는 TOPOGRID명령어의 사용방법과 내삽알고리즘에 대한 자세한 정보를 제공한다.

저수지 DEM은 방대한 셀의 갯수, 처리시 요구조건, 제한된 디스크용량으로 4개의 구역으로 분할하여 생성시켰다. 저수지의 연안선을 이은 도면을 4구역(한 구역은 저수지를 구성하는 USGS도면 중의 하나)으로 구분하기 위하여 SPLIT명령어를 사용하였다. 각 구역은 수심측량 등고와 저수지를 둘러싸고 있는 지상등고를 추출해내기 위하여 사용되었다. 저수지 연안선을 따라 생성시킨 완충지역은 내삽을 위한 경계자료(연안선)로 제공하기 위하여 사용되었다. 4개의 구역을 합성시킨 등고도는 TOPOGRID명령어를 반복수행하기 위한 입력자료로 사용하였다.

저수지 바닥표고에서의 3m간격 격자들 중에서 구역간 인접격자들이 중첩되는 면적을 처리하기 위하여 GRID명령어인 MOSAIC을 사용하였다. DEM의 지상부를 NO DATA로 처리하기 위하여 저수지 연안선의 격자들을 대상으로 CON함수를 사용하였다. 내삽알고리즘으로는 저수지 연안선에서 수표면위의 표고를 생성시킬 수 없는 지역과 충분한 등고자료가 없는 협소한 지역에서는 셀깊이를 1ft로 할당하였다. VAT파일을 생성시킬 수 있도록 격자의 값에 100을 곱하고 나머지는 무시하였다. 저수지 바닥표고와 깊이를 ft와 m로 계산할 수 있도록 항목을 추가하였다.

가. 저수지 구역별 형상매개변수의 추출

Cannonsville 저수지 수심측량 정보격자는 저수지를 56개의 구역으로 구분한 모델링에 사용되었다. 이 응용의 두번째 단계로써 1m의 수위강하조건이 주어지면 이 구역의 형상을 계산하기

위하여 AML(ARC/INFO Macro Language)에서 GRID 'ZONALSTATS'명령어를 사용하였다.

저수지의 초기구역도는 동수역학적 모형의 전문가와 협의하여 1:24,000 축척으로 도안하였다. 횡단의 위치는 저수지의 형태와 지류의 입구 및 저수지 모니터링 지점들을 근거로 하여 저수지 연안선과 교차시켰다. 최종도면은 각 셀의 값이 저수지의 특정구역 또는 지역에서의 구성요소가 되도록 격자화하였다.

1m 간격으로 저수지 수위를 하강시켜 새로운 저수위 격자를 유도하고, 물이 빠진 면적은 'NO DATA'로 전환시켜 새로운 저수지 연안선 도면을 생성시키고, 'ZONALSTATS'함수를 사용하여 각 지역(Zone)에 존재하는 셀의 갯수와 이들 값의 합을 구하기 위한 일련의 과정을 AML로 개발하였다. 각 지역은 지역입력격자에서 셀의 값으로 동일시한다. 지역인식번호(VALUE), 지역에 존재하는 셀의 갯수(COUNT), 지역을 동일시하여 수위하강시 수면적과 내용적을 계산하기 위한 지역 셀값들의 합(SUM) 등을 AML에서 사용하였다.

두번째 AML은 저수지 연안선을 재생성할 때마다 저수지 횡단선을 오려내는 것(Clipping)이다. 이 횡단선의 감소길이는 수위하강 단계마다 구역의 평균폭을 결정하는데 사용되었다. 분할 길이는 각 구역의 중심선을 따라 작성한 저수지의 선형 횡단선을 분할시켜 결정하였다. 이러한 과정들은 Cannonsville 저수지의 3m DEM을 생성시키고 동수역학적 모델링에서 주요 입력매개변수들을 추출하기 위하여 개발되었다.

3. 저수지 체적변화의 3차원 가시화

저수지에서 체적의 변화를 가시화하기 위하여 IBM Data Explorer를 사용하였다. 이 소프트웨어는 ARC/INFO로 넘겨받은 DEM을 묘사하는데 있어서 객체지향 프로그래밍이 가능하며, 저수지 수위를 대화식으로 증감시킬 수 있다. 수위를 변화시킬 때 수면적과 체적도 자동변환된

다. 사용자는 저수지에 물이 차고 빠질 때의 양상, 그리고 이에 따른 값의 변화를 관찰할 수 있다. 이러한 일련의 과정은 동화상으로 구성이 가능하며, 여러 가지 목적의 모델링 자료로 사용할 수 있다.

IV. 결 론

뉴욕시에 생활용수를 공급하는 19개의 저수지가 있다. 저수지의 내용적 분석과 모델링을 위하여 수심측량자료를 사용하였다. 13개의 저수지에 대한 등고선도를 작성하였다. 이 디지털 데이터 베이스는 보간에 유용하게 사용되었고, DEM을 성공적으로 생성시켰다. ARC/INFO와 IBM Data Explorer 가시화도구를 이용하여 저수지에서 저수량 변화에 대한 정보들을 제공하기 위한 응용프로그램들을 개발하였다.

V. 제 언

이상에서 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 저수지의 수심측량자료로부터 저수지 구역별로 내용적 곡선을 작성하고 저수지의 수위를 하강시키면서 저수량의 변화를 계산하는 과정을 살펴 보았다.

이와 같은 기법의 적용은 우리나라에서도 그 시기가 적합하다고 생각된다. 특히 농업토목분야는 타 분야보다 앞서서 80년대 후반에 지리정보시스템을 도입하여 현재는 자료의 구축 및 분석 기반을 마련한 상태라고 말할 수 있다. 다만 이와 같은 기반위에 농촌유역에서의 수문, 수질과 관련된 다양한 자료의 모니터링이 지속적으로 이루어진다면 향후 자료활용의 범위는 무궁무진하다고 할 수 있겠다.

본 기법은 ① 저수지내의 공간적 퇴사분포를 가시화할 수 있고 ② 저수지의 이수 및 치수능력을 판단하는 저수용량의 재평가가 기회가 되며 ③ 저수지내의 수리학적 혼합기작을 모델링할 경우 그 정확도를 향상시킬 수 있으며 ④ 저수지 구역별 또는 수심별 생태환경 및 수질의 관리가 가능하며 ⑤ 댐 계획 또는 운영시, 본 기법과 함께 GIS와 결합시킨 격자형 유역 유출 및 침식모델을 이용하면 저수지로의 유입유사량 및 퇴사량의 시간적·공간적 분포를 추정하는데 있어 그 정확도를 향상시킬 수 있다고 생각된다.

약 력

김 성 준



- 1985. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1987. 서울대학교 대학원 농학석사
- 1991. 서울대학교 대학원 농학박사
- 1995. 서울대학교 농업개발연구소
특별연구원
- 1996. 미국 코넬대 농업생명공학과
방문연구원
- 현재 한국수자원공사 수자원연구소 선임
연구원