

ArcView GIS의 Avenue™ Language를 활용한 수문지질도 작성 알고리즘 개발 및 적용 사례 연구

김규범^{1*} · 손영철¹ · 김종욱¹ · 이장룡²

Development of Algorithms for the Construction of Hydrogeologic Thematic Maps using Avenue™ Language in ArcView GIS

Gyoo-Bum Kim^{1*} · Young-Chul Son¹ · Jong-Wook Kim¹
Jang-Yong Lee²

요 약

지하수 조사 및 개발에 필수적인 수문지질도 및 부속도면의 작성은 표준화와 함께, 도면 작성의 전산화가 요구되고 있는 분야이다. 본 연구에서는 수문지질도의 주요 도면인 stiff diagram 분포도와 우물(지하수위) 분포도 작성의 전산화를 위한 알고리즘 개발과 부속도면인 지질구조선 분포도의 작성과 분석에 필요한 알고리즘을 개발하는데 목적을 두었다. 일반적으로 지하수 유동통로 또는 부존 지점으로서의 역할을 담당하는 지질구조선(lineament)은 항공사진이나 위성영상 판독을 통하여 추출한다. 지하수 조사 및 연구에 있어서 GIS를 활용한 지질구조선의 통계적 해석은 성과의 정확도를 제고할 뿐 아니라 신속한 과업수행에도 도움을 준다. 지질구조선의 분석은 지하수 조사, 개발과 관리를 위한 필수 항목으로서 지질구조선의 추출, 방향별 통계 계산, 단위면적내 지질구조선 밀도(길이밀도, 교차점밀도 등) 계산 등이 신속하고 용이하게 이루어져야 한다. 이를 위하여 ArcView GIS 3.x의 Avenue™ script를 활용하여 지질구조선 분석 프로그램을 개발하였다. 단위면적내의 지질구조선 밀도 통계 계산에서 격자형 단위 셀을 적용할 경우 격자의 모서리 방향에 따른 지질구조선 길이의 가중현상이 발생하게 되어 분석결과의 왜곡을 발생시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 방향별 가중을 일으키지 않는 원형 셀을 적용하여 지질구조선 분석을 수행할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 영암 및 강진지역을 대상으로 본 프로그램의 적용성을 검토한 결과 매우 유용하게 활용될 수 있음이 확인되었다. 아울러, 본 프로그램은 지질구조선뿐만 아니라 디지털이징된 선형구조에 대한 통계 및 밀도분포를 계산하는데 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 본다.

주요어: 지질구조선, ArcView GIS, Stiff 다이어그램, 지질구조선밀도분포도, 크리깅

2005년 7월 24일 접수 Received on July 24, 2005 / 2005년 8월 26일 심사완료 Accepted on August 26, 2005

1 한국수자원공사 국가지하수정보센터 National Groundwater Information Management and Service Center, KOWACO

2 지오드림(주) GeoDream Co., Ltd.

* 연락처 E-mail: gbkim@kowaco.or.kr

ABSTRACT

In Korea, MOCT and KOWACO published a standard for lineament map drawings, "The Handbook for the Drawing and Management of Hydrogeologic Map" in 2003. According to this guideline, hydrogeologic and related thematic maps should include characteristics of groundwater quality and quantity. These maps are generally drawn with ArcView GIS 3.x software. The activities of well notation on groundwater level map and Stiff diagram drawings on groundwater quality map require a great deal of efforts because hundreds or thousands of well data, water level data and hydrogeochemical data are produced through many kinds of investigations. As well, lineament density map is very important to survey and explore groundwater in a deep aquifer. In this study we developed some modules for well notation, Stiff diagram drawings, and lineament density value calculation with Avenue™ script and it was revealed that they can be very useful and easy for drawing groundwater thematic maps.

KEYWORDS : *Lineament, ArcView GIS, Stiff Diagram, Lineament Length Density Map, Kriging*

개 요

지하수법 제5조에 의하여 지하수 기초조사는 지하수 조사 전문기관(한국수자원공사, 광업진흥공사, 한국자원연구소, 농업기반공사)에서 수행하고 있으나, 조사 수행기관이 다양함으로 인하여 지하수 기초조사 절차와 성과물인 "보고서" 및 "수문지질도(hydrogeologic map)"의 작성 내용이 달라질 수 있고 이로 인하여 일반 국민이 성과물을 활용함에 있어서 효율적이지 못하며, 체계적이고 종합적인 관리가 이루어 질 수 없게 된다. 이에 따라 지하수 기초조사 방법 뿐 아니라 수문지질도(hydrogeologic map) 및 부속 도면(이하 수문지질도로 총칭)의 제작 기준과 수치지도화를 위한 전산입력 표준 지침이 필요시 되어 2003년 12월 건설교통부·한국수자원공사에서는 "지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침"을 마련하게 되었다.

수문지질도에 표현되는 일부 다이어그램 및 심볼은 상용 GIS tool에서 규격화 되어 있지 않은 관계로 전산 입력이 용이하지 않다. 이에 따라, 본 연구에서는 ArcView GIS 3.x software를 활용한 수문지질도의 수치지도화 작업시 입

력이 수월하지 않았던 우물·지하수위 주기 및 stiff diagram에 대한 효율적인 전산입력을 위한 Avenue™ script 코드 개발 및 그 활용성을 검토하였다. 또한, 지질구조선(lineament)은 지하수 부존 및 유동에 중요한 역할을 하는 것으로서 수문지질도의 부속 도면으로서 작성된다. 지질구조선의 통계 분석 결과는 지하수 조사 및 개발시 광역적인 분석을 위하여 최우선적으로 검토되는 자료로서 지질구조선의 방향별 통계, 방향별 지질구조선의 추출 및 분석, 지질구조선 밀도 통계 분석 등이 각종 지하수 조사 및 개발시 필수적으로 수행된다.

수문지질도의 작성 기준

지하수 기초조사는 표 1에서 보는 바와 같이, 유역권 단위로 수행하는 광역 지하수 기초조사와 행정구역 단위로 수행하는 정밀 지하수 기초조사로 분류된다. 광역 지하수 기초조사는 전국을 금강, 한강, 낙동강 및 섬진-영산강 유역권별로 나누어 각각 조사하며, 조사 기간은 각 권역별로 2~3년, 조사 성과로서 1:250,000 축척의 광역 수문지질현황도를 작성, 발간하고

특히 지하수관리 기본계획의 수정, 보완 시에 활용한다. 정밀 지하수 기초조사는 행정구역 단위를 기본으로 하며 필요시 도엽과 유역을 동시에 고려하여 설정한다. 또한, 해당 지역의 조사면적이 작을 경우, 조사의 효율성을 위하여 인접 시군간 수문지질 상관성이 높거나 기타 인접한 시군을 함께 조사해야할 필요성이 높은 때에는 인접 시군을 병행하여 조사를 실시할 수 있다. 정밀 지하수 기초조사의 조사기간은 1개 지역당 2년이며, 조사성과로서 지질 및 지하수위 분포, 대수층의 수리적 특성, 수질과 산출 특성을 종합적으로 조사·분석한 1:50,000 축척의 수문지질도를 발간하게 된다 (건설교통부와 한국수자원공사, 2003).

수문지질도와 주제도는 수문지질도, 지하수 수질현황도, 지질구조선(lineament) 분포도, 지

하수 심도 분포도, 지하수 유동체계도, 지하수 오염취약성도 및 기타 주제도로 구성된다. 수문지질도(주 도면, 이하 “수문지질도”라 한다.)에는 기본적으로 조사지역의 수리 수문 현황과 지질현황을 수록하여 지하수의 부존 특성에 관한 사항을 수록, 표현함을 원칙으로 한다. 수문지질도에 수록하여야 할 사항은 기본적으로 지형 및 지질, 수문지질학적 특성(지하수 등수위선(단위: El.m), 지하수 유동방향, 지표수 분수령, 자분정 및 용천 등) 및 대수층의 특성 자료가 포함된다 (Erdelyi와 Galfi, 1988; Vrba와 Zoporozec, 1994; Struckmeier와 Margat, 1995; 한국수자원공사, 1997).

세부 주제도로서 지하수 수질현황도에는 조사 지역의 우물현황, 수질현황, 화학분석 결과, 전기전도도 및 오염원 등을 수록하여 수질전반에 대한

TABLE 1. 광역 지하수 기초조사와 정밀 지하수 기초조사의 비교(건설교통부와 한국수자원공사, 2003)

구 분	광역 지하수 기초조사	정밀 지하수 기초조사
조사성격	○ 유역권 단위 지하수 관리를 위한 기초조사	○ 지역(시·군 및 광역시)단위의 지하수 이용·개발 및 보전·관리를 위한 기초조사
조사방법	○ 기존자료 수집, 분석 위주 ○ 현장조사 병행	○ 현장조사 위주 ○ 기존 자료 수집, 분석 병행
조사단위	○ 1개 유역권별로 연차별 조사 - 영산강-섬진강권, 낙동강권, 금강권, 한강권 순으로 실시	○ 연차별 시행계획에 의거, 각지역별 실시 - 개발이용이 시급한 지역 - 보전관리 필요성이 높은 지역 - 물이용량이 많은 지역
조사기간	○ 유역권별로 2~3년 소요	○ 지역별 2년 소요
조사면적	○ 매년 1개 유역권 범위 : 약 10,000~30,000km ²	○ 매년 약 3,000~4,000km ² 범위 - 1개 도엽면적 : 약600km ²
조사빈도	○ 각 권역에 대한 광역지하수 수문지질현황도 작성 및 전권역 완료후 매 5년마다 반복-보완조사 실시 ○ 조사성과는 전산관리	○ 수문지질도 작성 완료후, 인위적·자연적 조건 변화에 따라 보완조사 실시 ○ 수문지질도 작성이후 체반자료를 전산관리하여 자료분석을 지속시행하고 이를 토대로 도면을 수정 편집토록 추진
활용분야	○ 지하수관리기본계획 보완시 수정 및 보완을 위한 기초자료로 활용 ○ 개발이용,보전관리가 시급한 지역을 선정, 정밀기초조사 대상지역 등을 제시	○ 지역별로 지하수 탐사·개발시 활용 - 개발가능지구, 개발가능량 등 제시 ○ 지하수개발허가심의시 기본자료 제공 ○ 지역별 보전관리 정책 수립에 활용
성과도면	○ 수문지질현황도(1:250,000)	○ 수문지질도(1:50,000)
발간도면수	○ 2~3년에 1도엽	○ 연간 약 5~10도엽

TABLE 2. 수문지질도와 각 주제도의 주요 수록 내용

구 분	기본 개념	주요 수록 내용
수문 지질도	○ 조사지역 수리 수문 현황과 지질현황을 수록하여 지하수의 부존 특성에 관한 사항을 표현	○ 지질 분포 및 지질구조 발달 상태 ○ 수문지질학적 특성, 대수층의 분류 ○ 지하수 개발가능량 ○ 지하수 부존성 표현에 유용한 자료
지하수 수질 현황도	○ 조사지역 수질전반에 대한 현황을 표현	○ 주요 관정 및 조사공 위치 ○ 수질 분석 결과 및 전기전도도 분포 ○ 잠재오염원 분포 및 수질 관련 현황
지질 구조선 분포도	○ 부존 및 유동과 관련된 구조선의 분포와 밀도 수록	○ 지질구조선(lineament) 분포 ○ 지질구조선(lineament) 밀도 분포 ○ 주요 관정 및 조사공 위치
지하수 심도 분포도	○ 지역별로 지하수위가 존재하는 지표 하 깊이를 표현	○ 주요 관정 및 조사공 위치 ○ 지하수 심도 분포선 ○ 기반암 분포심도, 대수층 단면 분포
기타 주제도	○ 지하수 오염취약성도 ○ 지하수 수리시설물 위치도 ○ 지하수 유동체계도 ○ 수질항목별 분석결과도 ○ 지하수 이용현황도 ○ 충적층 대수층 두께 분포도 ○ 지구물리탐사 위치 및 결과 ○ 수문현황도(hydrographic map) ○ 기상분포도(강수량, 온도 등) ○ 토양도, 토지이용도, 임상도, 식생도	○ 지역 특성상 필요한 경우 기타 주제도를 작성 ○ 기타 주제도는 소축척으로 작성하여 주요 각 주제도의 여백에 부속도면으로 함께 수록 가능

현황을 표현한다. 지질구조선(lineament) 분포도에는 수문지질단위(암상분포), 지질구조선 분포, 지질구조선 밀도분포(소축척의 부속도면으로 표현 가능), 주요 지하수 우물 및 조사공 위치 및 관정 현황 등이 포함된다. 지하수 심도 분포도에는 주요 지하수 관정 및 조사공 위치, 지하수 심도 분포선, 지하수 유동방향, 대수층 단면 분포 및 지구물리탐사 위치 및 결과 등이 포함된다. 지하수 유동체계도란 지하수의 배출·함양에 관한 사항을 토대로 지하수의 유동특성을 표현한 도면을 말하는 것으로서, 대수층 분류, 수문지질학적 특성, 지하수 함양 및 배출성 등이 포함된다. 지하수 오염취약성도는 지역별 오염에 대한 노출의 정도 및 취약성을 평가한 내용을 표현한 도면으로서 오염취약성 등급, 주요 하천, 지표수 분수량, 토양형 분포, 주요 지하수 관정 및 조사공 위치, 지표수

관측지점 위치 등이 포함된다. 이외에도 필요에 따라 기타 주제도를 작성하게 되며, 지하수 수리시설물 위치도(조사지역내 모든 우물 등을 표현), 수질항목별 분석결과도(TDS 분포도, pH분포도, EC분포도 등), 지하수 이용현황도, 충적층 대수층 두께 분포도, 토양도 및 임상도 등 다양한 도면이 작성 가능하다(표 2).

또한, “지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침”에서 정한 수문지질도의 규격과 구성, 수문지질도 관련 도면의 제작 기준 뿐만 아니라, 도면의 전산화 기준 및 각종 도식·주기 기준 등을 수립하였다. 수문지질도의 수치지도 입력 기준에는 수치화 작업의 원칙, 장비 및 입력 기법, 최종 입력 성과물의 format 및 layer의 대중소 분류, 각 항목별 전산입력 세부 기준으로서 코드 분류, 도형 타입, 규격, RGB Color,

Pattern/Symbol 등을 정의하였으며, 도식 및 주기 작성 세부기준에는 도식 및 주기의 색상, 규격, 기호, 무늬 및 기타 기준들을 정의하였다.

본 연구에서는 본 지침에서 정한 수질현황도의 화학분석 결과인 Stiff diagram 작성, 지질구조선 밀도분포도 작성 및 지하수 심도 분포도의 우물 및 지하수위의 주기 표현 기법을 ArcView GIS 3.x에서 자동으로 작성할 수 있도록 Avenue™ script를 활용한 프로그램을 개발하였으며 (Environmental Systems Research Institute, Inc., 1996a; Environmental Systems Research Institute, Inc., 1996b), 실제 지하수 기초조사 지역에 적용함으로써 활용성을 검토하였다.

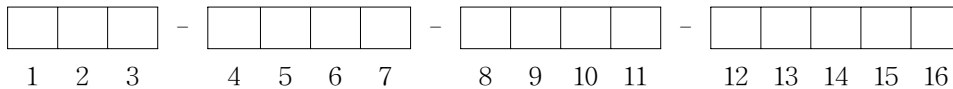
우물 및 지하수위 주기 작성

우물은 자연적인 지하수계에 영향을 주는 인공구조물(수리시설물)로서 각종 우물, 조사공,

관측공 등을 총칭한다. 일반적으로 우물은 다음과 같이 코드로 분류된다.

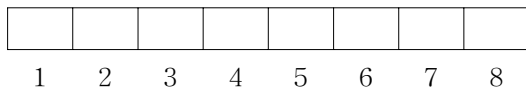
- 조사시추공(조사착정공을 포함하며 조사시 시험용으로 굴착된 우물) : E
- 관측공(장기적으로 운영, 관리하는 국가 또는 보조 지하수 관측망) : M
- 자분하는 우물(우물군) : A
- 용천수 양수공 : S
- 광천수 우물(우물군) : N
- 열광천수 우물(우물군) : H
- 온천공 : T
- 주입공 : I
- 양수장, 양수공 장 : P
- 집수암거 : G
- 지하댐 : U
- 재래식 우물(일명 인력 정호를 말함) : D
- 관정(상기에 열거된 항목에 해당되지 않는 모든 정호) : W

1) 정식 명명법



- 1, 2 : 시군구 영문표기의 첫 단어 첫 문자와 둘째 단어 첫 문자를 대문자로 표기한다.
- 3 : 우물구분코드를 대문자로 표시한다.
- 4, 5 : 경도의 분을 표시한다.
- 6, 7 : 경도의 초를 표시한다.
- 8, 9 : 위도의 분을 표시한다.
- 10, 11 : 위도의 초를 표시한다.
- 12 ~ 16 : 전체 우물자료를 대상으로 일련번호를 부여하여 표시한다(00001부터 99999까지 숫자로 표시하며 5자리를 모두 채우도록 "0"을 표기한다).

2) 약식 명명법



- 1, 2 : 시군구 영문표기의 첫 단어 첫 문자와 둘째 단어 첫 문자를 대문자로 표기한다.
- 3 : 우물구분코드를 대문자로 표시한다.
- 4 ~ 8 : 일련번호를 표시한다(1부터 99999까지 숫자로 표시하며 5자리 자리를 채우기 위하여 사용하는 숫자 "0"의 표기는 생략한다).

FIGURE 1. 우물의 명명법

지하수 기초조사를 통하여 조사되는 일체의 우물은 그림 1과 같이 16 자리의 코드로 표현되며, 수문지질도 도면상에는 공간상의 문제를 고려하여 약식 명명법을 사용한다. 또한, 수문지질도 부속도면인 지하수 등수위선도 또는 지하수 심도분포도에서는 우물과 우물지점에서의 지하수위가 표현된다. 그림 2는 우물과 지하수위를 동시에 표기하는 기준을 나타낸 것이다.

그림 2에서 보는 바와 같이 우물 심볼 옆에 지하수위 심도(또는 지하수위) 및 우물 깊이를 함께 표기하도록 하고 있다. 이와 같은 우물 심볼과 지하수위는 수문지질도내에서 수백개 내지 수천개가 표기되어야 하기 때문에 표현 방법의 자동화가 이루어지지 않으면 도면 작업에 수많은 시간이 소요되게 된다. 또한, 우물과 지하수위가 표준화된 전산 작업 기법 내에서 작성되어야만 도면의 정도를 높일 수 있게 된다. 현재까지 우물 주기는 이미지로 처리하여 도식화한 관계로 데이터의 용량이 과다해 지고 관리에 비효율성을 초래하였다. 또한, 우물의 속성 자료와 연계되지 않은 주기 표현으로 인하여 도면의 수정 편집시 어려움이 있었다.

1) 지하수 등수위선도에 우물을 표현할 경우

$$\text{우물의 명칭} \quad \circ \quad \frac{\text{자연수위(El.m)}}{\text{우물깊이(Depth,m)}}$$

2) 지하수 심도 분포도에 우물을 표현할 경우

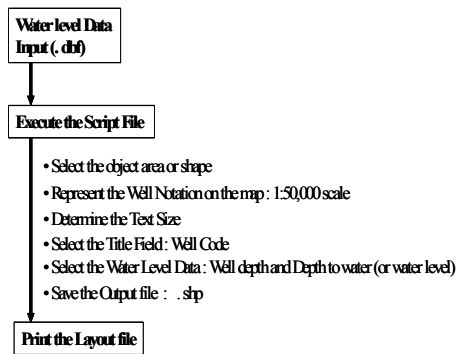
$$\text{우물의 명칭} \quad \circ \quad \frac{\text{지하수면 깊이(m)}}{\text{우물깊이(Depth,m)}}$$

FIGURE 2. 우물과 지하수위의 도면상 표기 방법

일반적으로 현장에서 취득되는 수백~수천 건의 우물과 지하수위 자료는 그림 3의 도표와 같은 형식으로 조사되어 작성되게 된다. 각 우물과 관련된 지하수위 자료를 Database 형식으로

저장하고 본 database를 활용하여 ArcView GIS 3.x에서 자동으로 지하수위 심도 분포도 또는 지하수 등수위선도에 우물과 지하수위의 주기를 표시할 수 있는 프로그램을 구성한다면 매우 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 우물과 지하수위 주기의 자동 표기를 위하여 Avenue™ script로 작성된 "Well-notation" 알고리즘을 개발하였다. 그림 3은 ArcView GIS 3.x의 메뉴에 포함된 Well-notation과 처리 과정을 보여준다. 본 Well-notation을 사용함으로써 지하수위 심도 분포도 또는 등수위선도 제작시 대상지역내 분포하는 수백 건 이상의 우물에서의 지하수위 값의 수정과 편집을 매우 용이하게 할 수 있게 되었다. 본 프로그램에서는 TM 좌표를 사용하며 1:50,000 축척에서 적용 된다 (그림 4).

1) 우물 주기 표현 과정



2) 우물 주기 표현에 사용되는 데이터베이스 기본 구조

Well Number	Welldepth	Depthwater	Nat.W	X	Y
KJE256	65.0	5.6	23.5	180881.26	118562.25
KJE257	82.5	8.2	88.6	182024.24	130168.84
KJE258	23.5	12.3	79.1	181952.13	120956.34

FIGURE 3. "Well-notation" 스크립트를 활용한 우물 주기 표현 과정과 데이터베이스

stiff diagram 작성

지하수 수질현황도에는 조사지역의 우물현황, 수질현황, 전기전도도 및 오염원 등을 수록하여 수질전반에 대한 현황을 표현한다. 지하수 수질현황도에 수록하여야 할 사항은 주요 지하수 관정 및 조사공 위치, 지표수 관측 지점 위치, 수질 분석(화학분석) 결과, 전기전도도 분포, 잠재오염원 분포, 주요 하천, 지표수 분수령 및 기타 수질 관련 현황 등이 해당된다. 특히, 양이온과 음이온의 화학분석 결과는 수질 샘플링이 실시된 지점에 stiff diagram으로 표현하게 되는데, ArcView GIS 3.x에서 stiff diagram의 표현은 용이하지 않다. 우물의 주기와 마찬가지로, 기존의 Stiff diagram 작성 방법은 stiff diagram을 이미지로 작성한 후 해당 지점에 구현하는 방식으로 이루어져 왔다. 이로 인하여 데이터베이스의 용량이 크게 증가하게 되고 데이터베이스와 연동되지 않는 이미지 작업으로 인하여 도면의 수정과 편집이 용이하지 않았다. 그림 5에서 보는 바와 같이, stiff diagram의 각 변의 길이는 지하수내에 포함된 양이온과 음이온의 농도 함량을 의미하는 것으로서 각 샘플링 지점에서 그 값이 매우 다양하게 나타난다. 기존에는 ArcView GIS 3.x를 사용하여 stiff diagram을 수록하는 수질분포도의 작성은 stiff diagram의 Image자료를 활용하여 도시하였으나, 본 연구에서는 그림 6의 도표와 같은 화학분석 자료의 database를 활용하여 ArcView GIS 3.x에서 stiff diagram을 자동적으로 생성하여 수질분포도를 작성할 수 있도록 Avenue™ script를 사용하여 프로그램을 구성하였다.

대상지역내 stiff diagram을 작도할 data file을 선택하고, 철 성분과 탄산 성분의 포함 여부에 따라 2가지 형태의 diagram을 작도할 수 있

다 (그림 7). 본 프로그램은 Well-notation과 마찬가지로 TM 좌표를 사용하며 1:50,000 축척에서 적용된다.

- 1) Groundwater Utility 메뉴의 Well-notation 스크립트

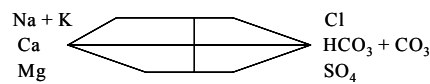


- 2) Well Data 및 지하수 심도분포도 작성 사례 (강진군 지역)



FIGURE 4. "Well-notation" 스크립트를 활용한 우물 주기 표현 사례

- 1) Stiff diagram without Iron and Carbonate



- 2) Stiff diagram with Iron and Carbonate

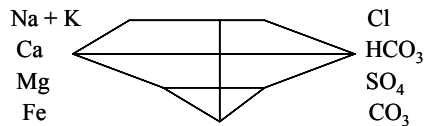
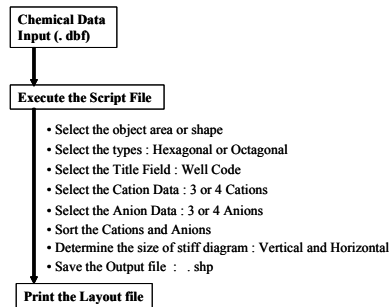


FIGURE 5. 화학분석 결과의 Stiff diagram 표기 기준

1) Stiff diagram 작성 과정



2) Stiff diagram 작도에 사용되는 데이터베이스 기본구조

Well Number	NaK	Ca	Mg	Cl	HCO3	SO4	Fe	CO3	X	Y
KJE256	0.59	0.71	0.37	0.66	0.84	0.27	0.02	0.17	180881.26	118562.25
KJE257	0.46	0.66	0.59	1.00	0.61	0.33	0.17	0.25	182024.24	130168.84
KJE258	1.01	1.15	0.95	1.56	0.98	0.20	0.10	0.23	181952.13	120956.34

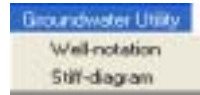
FIGURE 6. "Stiff-diagram" 스크립트를 활용한 Stiff diagram 작성 과정과 데이터베이스

지질구조선 분포도 작성

지질구조선은 지하수 부존과 유동에 중요한 역할을 담당한다. 지질구조선은 지질작용에 의하여 형성되는 선형 구조로서 단층, 절리, 파쇄대, 습곡축 등을 나타낸다. 지하수 조사 및 개발에 있어서 지질구조선을 활용하는 방안으로는 지질구조선 자체에 대한 조사, 지질구조선의 방향에 대한 분석, 지질구조선의 밀도에 대한 분석 등이 다양하게 연구될 수 있다.

지하수 부존 및 유동성과 지질구조선은 밀접한 관련이 있는 것으로 연구되어 왔다 (Lattman과 Parizek, 1964; Mabee 등, 1994; Hardcastle, 1995; Sander 등, 1997; Magowe와 Carr, 1999). 이와 같은 지하수와 지질구조선과의 관계 규명을 위하여, 지질구조선 추출 및 통계처리를 위한 알고리즘과 관련 프로그램들이 개발되어 왔다. Casas 등(2000)은 위성 영상으

1) Groundwater Utility 메뉴의 Stiff-diagram 스크립트



2) Quality Data 및 Stiff diagram 작성 사례(영암군 지역)



FIGURE 7. "Stiff-diagram" 스크립트를 활용한 Stiff diagram 작성 사례

로부터 지질구조선을 추출하고 단위면적당 지질구조선의 개수를 계산하는 fortran 프로그램 (명칭: LINDENS)을 개발한 바 있다. Mabee 등(1994)는 위성영상이나 항공사진으로부터 지질구조선을 추출하는 것은 해석 전문가의 능력이거나 지질구조선 추출 알고리즘 자체에 의하여 영향을 받기 때문에 유의하여야 한다고 기술하고 있다. 즉, 지질구조선 추출은 해석 시점을 다양화하거나 다수의 해석 전문가가 참여하는 등 오류를 줄이기 위한 방법들이 병행되어야 한다. 국내의 경우에도 Kim 등(1999)이 위성영상으로부터 지질구조선을 추출하기 위한 알고리즘을 개발하여 의성지역에 적용한 바 있다.

본 연구에서는 이와 같은 지질구조선에 대한 다양한 연구를 보다 용이하게 하기 위하여 디지털 타이핑된 지질구조선을 토대로 지질구조선 밀도를 계산할 수 있는 기법을 ArcView GIS 3.x를

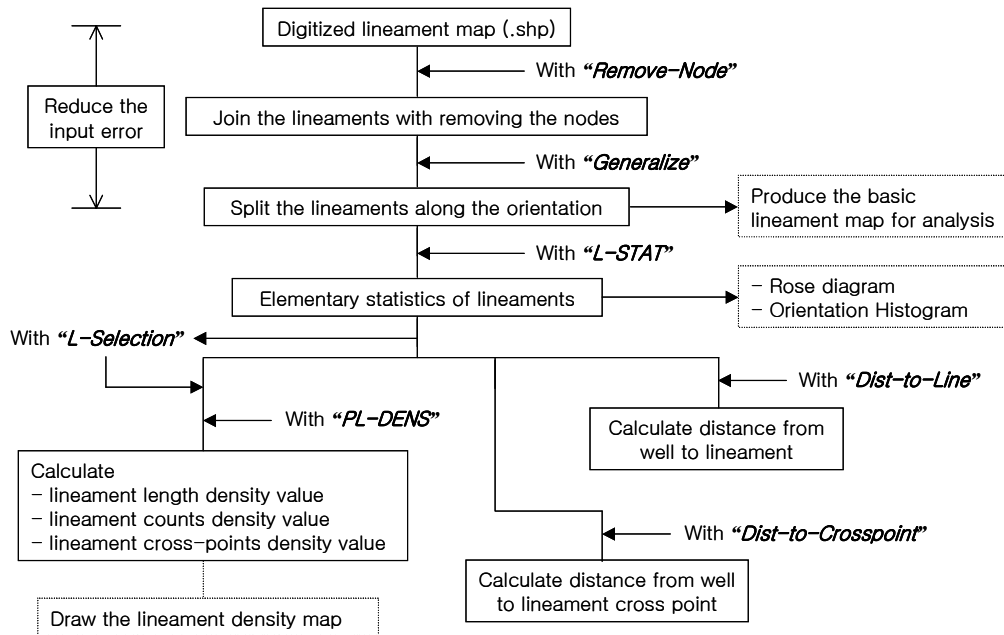


FIGURE 8. 지질구조선 분석을 위한 Avenue script 및 분석 흐름

활용하여 개발하였다. 본 연구에서는 Avenue™ language를 활용하였으며 총 7개의 스크립트를 개발하였다 (그림 8).

그림 8에서 보는 바와 같이 "remove-node"와 "generalize"는 입력원의 실수로 인하여 발생할 수 있는 지질구조선의 디지털화 과정에서 발생하는 오류를 최소화하기 위한 스크립트이다. 입력과정에서 짧은 지질구조선이 입력원의 실수로 중복 입력되거나 불필요한 노드를 발생시킬 수 있기 때문에 이들 오류를 최소화하기 위한 최적화 기법이 필요하다. 즉, "remove-node"는 디지털화된 후 shape 파일로 변환된 지질구조선을 대상으로 불필요한 노드를 제거하고 "generalize"를 활용하여 생성 메커니즘이 상이한 지질구조선을 분리하는 과정을 거치게 된다. 이 2가지 스크립트를 거친 지질구조선 자료는 추가적인 분석에 활용되는 기초자료가 된다.

"L-STAT"은 대상 지역내 분포하는 지질구

구조선의 방향별 통계를 계산해 준다. 본 스크립트를 통하여 얻어지는 테이블은 사용자가 입력한 방향 구간 간격(예를 들면, 10°간격, 20°간격 등)에 따라 지질구조선의 개수 합, 지질구조선의 길이 합 등을 출력하게 해준다. 이 결과 테이블을 활용하여 지질구조선의 방향별 특성을 파악하게 되며, rose diagram 작도 등 추가적인 분석 작업에 활용된다.

"L-Selection"은 지질구조선을 방향별로 추출함으로써 원하는 방향의 지질구조선만을 대상으로 추가 분석에 활용할 수 있는 별도의 Shape 파일을 생성하게 한다. 지질구조선은 지각의 compression(①)과 extension(③)의 메커니즘에 의하여 형성된다. 일반적으로 compression 방향으로 발달된 지질구조선은 개구성 특성을 보이고, extension 방향으로 발달된 지질구조선은 폐쇄성 특성을 보인다. 이와 같은 지질구조선의 개구성 특성은 지하수, 지반 등의 다양한 조사, 연구에 주요

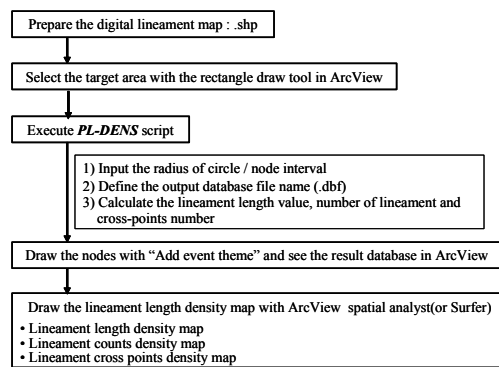
인자로 사용이 된다.

“PL-DENS”는 일정 간격의 노드에서 단위 면적내에 분포하는 지질구조선의 길이밀도, 개수밀도 및 교차점밀도를 계산하게 함으로써 추가 작업인 지질구조선 밀도 분포도를 작성하는 자료로 활용할 수 있도록 한다. 본 스크립트를 실행하면 각 노드를 중심으로 일정 반경내에 분포하는 지질구조선의 개수, 길이, 교차점 및 관련 밀도를 산정할 수 있고 방향 구간에 따른 지질구조선이 개수와 길이 등을 구할 수 있다(그림 9). 지질구조선의 밀도 계산에서 사용되는 단위면적 셀의 모양은 일반적으로 격자형을 채택하고 있으나, 그림 10에서 보는 바와 같이 격자형의 셀을 채택할 경우 모서리 방향에 따라 발달하는 지질구조선은 그 길이가 가중되는 효과를 초래하게 되어 길이밀도 등에 오류를 초래할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 단위 면적 셀의 모양을 원형을 채택하였으며, 스크립트 구동을 통하여 원형 셀내에 분포하는 지질구조선만을 추출하여 밀도를 계산하도록 하였다(Kim 등, 2004). 그림 11은 “PL-DENS” 스크립트의 주요 기능에 대한 소스 코드를 수록한 것이다.

또한, “Dist-to-Line” 및 “Dist-to-Crosspoint”는 지질구조선과 점 데이터(예를 들면, 관정) 간의 거리를 계산하거나 지질구조선 교차점과 점 데이터 간의 거리를 자동으로 계산해주는 기능을 갖는다.

그림 12는 “PL-DENS” 스크립트를 활용한 지질구조선 현황도 및 지질구조선 밀도 분포도를 작도하는 사례를 수록한 것이다. 본 연구에서는 각 셀별 지질구조선 밀도를 계산한 후 각 셀 point에서의 값을 이용하여 Kriging 기법에 의한 밀도 분포도를 작도하였다. Kriging 기법에 의한 밀도 분포도의 작도를 위하여 Kriging Interpolator version 3.2 for ArcView Spatial Analyst (Marco Boeringa, 2001)를 활용하였다.

1) 지질구조선 밀도 계산 과정



2) 지질구조선 밀도 계산 후 데이터베이스 출력 구조

Shape	ID	X	Y	LEN-SUM	LEN-DENS	CNT-SUM	CNT-DENS	INTER-SUM	INTER-DENS	90	80	...	-70	-80
Point	1	141136.4	125923.4	435.1	0.02	1	0.04	0	0.00	0	0	...	1	0
Point	2	141136.4	128923.4	909.3	0.03	2	0.07	1	0.04	1	0	...	0	1
...
Point	252	192136.4	164923.4	1099.0	0.04	3	0.11	1	0.04	0	2	...	0	0

FIGURE 9. “PL-DENS” 스크립트를 활용한 지질구조선 밀도 계산 과정과 출력 데이터베이스 구조

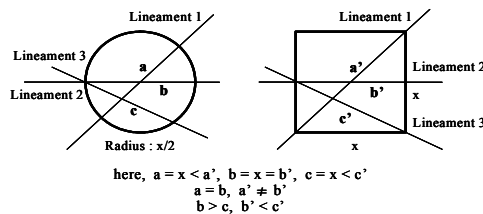


FIGURE 10. 격자형 셀과 원형 셀에서의 지질구조선 길이 밀도 계산 차이

결 언

본 연구를 통하여 수문지질도의 주요 도면인 Stiff diagram 분포도와 우물(지하수위) 분포도 작성시 ArcView GIS 3.x를 활용한 자동 도면 작성 기법이 개발되었으며, 지질구조선 분포도

```

1) Select target are using Rectangle draw in ArcView and compute horizontal and vertical
length using rectangle apexes)
    therect = theview.getgraphics.get(0)
    thereclist = therect.getbounds
    rectminy = thereclist.getbottom
    rectminx = thereclist.getleft
    rectmaxx = thereclist.getright
    rectmaxy = thereclist.gettop
    xlength = rectmaxx - rectminx
    ylength = rectmaxy - rectminy

2) Input radius of circle (node space)
    kkdist = msgbox.input("X-Distance of selected area is " + xlength.asstring + "Meter" + nl +
        "Input the Radius of Analyze circle ", "Radius Input", "500")

3) Define start point of node and add 1 to length and height
    startpini = rectminx@rectminy
    xint = (xlength / kkdist.asnumber).abs + 1
    yint = (ylength / kkdist.asnumber).abs + 1

4) Construct circle with center of startp and radius of kkdist
    kkcircle = circle.make(startp, kkdist.asnumber)
    gc = graphicshape.make(kkcircle)
    gc.SetSelected(TRUE)
    gc.setdisplay(thedisp)
    theView.GetGraphics.Add(gc)

5) Store the circle to variable theSRCshape and select thematic element (lineament)
    theSRCshape = gc.getshape
    thetheme.SelectbyShapes(theSRCshape, #VTAB_SELTYPE_NEW)
    theftab.updateselection

6) Segment to sum up the lineament length within the circle
    for each Selrec in theftab.getselection
    av.showmsg("On processing lineament Analyzer.....")
    av.setstatus((recordCount / theftab.getselection.count) * 100)
    SelectedShape = theftab.returnvalue(shpfld, Selrec)

7) The first "if statement" is for all the lineaments are within the circle, and the second "else
statement" is for intersection between the circle and lineament exists
    if (SelectedShape.iscontainedin(theSRCShape)) then
        alineshp = SelectedShape
    else
        alineshp = SelectedShape.LineIntersection(theSRCshape)
    end

8) Count the intersecting points of lineaments within each circle
    for each rn in theftab.getselection
    if (selrec <> rn) then
        yhslines = theftab.returnvalue(shpfld, rn)
        if (yhslines.iscontainedin(theSRCShape)) then
            yhslines = yhslines
        else
            yhslines = yhslines.LineIntersection(theSRCshape)
        end
        if (alineshp.intersects(yhslines)) then
            intersectnum = intersectnum + 1
        end
    end
end
end

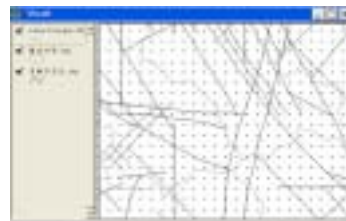
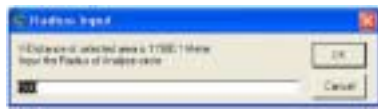
```

FIGURE 11. "PL-DENS" 스크립트 주요 기능에 대한 프로그램 소스 코드

- 1) Lineament Analysis 메뉴의 구성 2) 강진지역 지질구조선 분포도



- 3) 지질구조선 밀도 계산시 분석 셀의 반경 입력 화면 및 셀 분포도(n=500)



- 4) 각 셀별 지질구조선 밀도 계산 결과(길이밀도, 교차점밀도, 개수밀도)

Point	X	Y	길이밀도	교차점밀도	개수밀도
Point 1	122258.7	127274.2	0.80	0.00	0
Point 2	122258.7	127674.2	0.80	0.00	0
Point 3	122258.7	128074.2	1.00	1.01	2
Point 4	122258.7	128474.2	1.00	2.17	2
Point 5	122258.7	128874.2	1.00	0.00	1
Point 6	122258.7	129274.2	1.00	0.00	1
Point 7	122258.7	129674.2	1.00	0.00	1
Point 8	122258.7	130074.2	1.00	0.00	1
Point 9	122258.7	130474.2	0.80	0.00	0
Point 10	122258.7	130874.2	0.80	0.00	0
Point 11	122258.7	131274.2	0.80	0.00	0
Point 12	122258.7	131674.2	0.80	0.00	0
Point 13	122258.7	132074.2	0.80	0.00	0

- 5) Kriging Interpolator를 활용하여 작도한 강진지역 지질구조선 밀도 분포도(Ordinary kriging with exponential semivariogram)

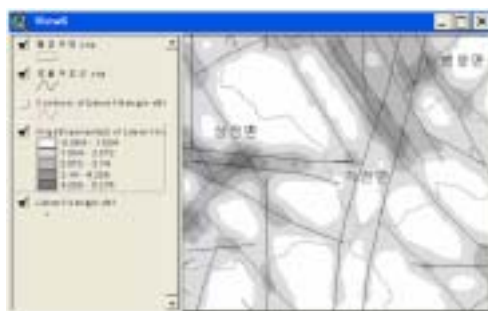



FIGURE 12. “PL-DENS” 스크립트를 활용한 지질구조선 밀도분포도 작성 사례

를 작성함에 있어서 필요한 속성 데이터(지질구조선 길이밀도, 교차점밀도, 개수밀도 등)가 ArcView GIS 3.x를 활용하여 매우 손쉽게 자동 생성할 수 있게 되었다. 2002년 이후 현재까지 12개 시군 지역(포항, 경산, 부산, 남원, 군산, 서천, 밀양, 고흥, 대구, 울산, 대전, 포천 등)에 대한 지하수 기초조사 사업 수행시 지질구조선 밀도 분포도를 작성함에 있어, 본 연구의 자동 생성 스크립트를 적용한 결과 도면 작성이 매우 용이하게 이루어졌고 도면의 수정 작업 또한 속성 데이터와 연동됨으로서 속성 데이터의 수정에 따른 도면 개선이 용이해졌다. 또한, 이상 과정을 통하여 작성된 수문지질도 밀도 분포도는 1:50,000 축척의 지도로 제작되어 배포, 활용되고 있으며, 현재 본 연구에서 개발된 3가지 유형의 프로그램은 실무에서 수문지질도 제작시 활용이 되고 있다. 앞으로, 지질구조선 밀도 분포뿐 아니라 다양한 Layer를 보유한 수문지질도를 보다 용이하게 작성하고 관리하기 위한 다양한 Tool들이 개발되길 기대해 본다. 본 연구를 통하여 개발된 ArcView GIS 3.x용 스크립트는 국가지하수정보센터 홈페이지(www.GIMS.go.kr) 및 ESRI 홈페이지(www.ESRI.com)를 통하여 Download 받을 수 있다. 

참고문헌

- 건설교통부, 한국수자원공사. 2003. 지하수 기초조사 및 수문지질도 제작·관리 지침. 126쪽.
- 한국수자원공사. 1997. 수문지질도 작성 기준에 관한 연구. 148쪽.
- Casas, A.M., A.L. Cortes, A. Maestro, M.A. Soriano, A. Riaguas and J. Bernal. 2000. LINDENS: A program for lineament length and density analysis. *Computers and Geosciences* 26(9/10):1011~1022.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1996a. Using ArcView GIS: The Geographic Information System for Everyone. 340pp.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. 1996b. Using Avenue: Customization and Application Development for ArcView GIS. 239pp.
- Erdelyi, M. and J. Galfi. 1988. Surface and Subsurface Mapping in Hydrogeology. *Academiai Kiado, Budapest, Hungary.* 384pp.
- Hardcastle, K.C. 1995. Photolineament factor: A new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61:739~747.
- Kim, S.W. J.S. Won, W.K. Kim and K.D. Min. 1999. Lineament analysis in the Euseong area using automatic lineament extraction algorithm. *Econ. Environ. Geol.* 32:19~31.
- Kim, G.B., J.Y. Lee and K.K. Lee. 2004. Application of representative elementary area (REA) to lineament density analysis for groundwater implications. *Geoscience Journal* 8:27~42.
- Lattman, L.H. and R.R. Parizek. 1964. Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks. *Journal of Hydrology* 2:73~91.
- Mabee, S.B., K.C. Hardcastle and D.U. Wise. 1994. A method of collecting and analyzing lineaments for regional-scale fractured-bedrock aquifer studies. *Ground water* 32:884~894.
- Magowe, M. and J.R. Carr. 1999. Relationship between lineaments and ground water occurrence in western Botswana. *Ground water* 37:282~286.
- Marco Boeringa. 2001. Kriging Interpolator version 3.2 for ArcView Spatial Analyst.

the hydrology department of Amsterdam Water Supply (Gemeentewaterleidingen Amsterdam). the Netherlands.

Sander, P., T.B. Minor and M.M. Chesley. 1997. Ground water exploration based on lineament analysis and reproducibility tests. *Ground water* 35:888~894.

Struckmeier, W. F. and Jean Margat. 1995. *Hydrogeological Maps: A Guide and a Standard Legend*. Vol. 17 : International Association of Hydrogeologists. 177pp.

Vrba, J. and A. Zoporozec. 1994. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. Vol. 16 : International Association of Hydrogeologists. 