

2002 추계 학술 발표회
한국원자력학회

원전부지의 지질학적 평가기반을 위한 지질정보 Database 시스템(I)
Database System of Geological Information for Geological Evaluation Base of
NPP Sites(I)

임창복, 최강룡, 심택모, 노명현, 이현우, 김태경
한국원자력안전기술원

임용수
한국수력원자력(주) 원자력환경기술원

황상기
배재대학교

요 약

국내 원자력발전소 부지 및 주변 지역에 대한 지질정보를 원전부지의 지질학적 적합성 평가 및 관련 기술기준 개발에 효과적으로 이용 가능한 데이터베이스 구축 시스템을 개발하고 최근까지의 지질정보를 입력하여 향후 원전부지에 대한 지질학적 평가기반을 구축하였다. 데이터베이스 처리는 Spread 3.5 OCX기반으로 개발하였으며, 도면 제작 알고리즘은 MapObject 컴포넌트를 이용하였다. 시스템의 주요기능으로는 벡터와 레스터 형태의 다양한 크기의 전산지형도 및 지질도 입력, 지질정보의 데이터베이스 제작 및 활용, 지질자료의 도면제작과 제작된 전산도면의 탐색 및 출력, GPS를 이용한 위치판독과 위치입력 기능, 기존 조사자료의 탐색기능 등이 있다. 또한 최근 국제적으로 널리 이용하고 있는 선구조 추출기법과 구조지질 자료의 통계적 처리기법에 관한 알고리즘을 적용하여 HSI 지형도 작성과 투영망 분석기능을 포함시켰으며, 현장에서 얻은 지질정보를 실내에서는 물론 현장에서 직접 입력하고 분석할 수 있도록 하였다.

Abstract

This study aims to provide database system for site suitability analyses of geological information and a processing program for domestic NPP site evaluation. This database system program includes

MapObject provided by ESRI and Spread 3.5 OCX, and is coded with Visual Basic language. Major functions of the systematic database program includes vector and raster format topographic maps, database design and application, geological symbol plot, the database search for the plotted geological symbol, and so on.

The program can also be applied in analyzing not only for lineament trends but also for statistic treatment from geologically site and laboratory information and sources in digital form and algorithm, which is usually used internationally.

1. 서 론

국내 원전부지에 대한 지질조사는 1971년 고리원전 1호기 조사를 시작으로 그동안 많은 지질학적 조사가 수행되어왔으며, 현재 신고리 원전 및 신월성 부지조사가 진행 중에 있다. 원전 부지의 지질학적 관점에서 볼 때 국내 지질학적인 조사 및 분석수준에 있어서도 과거 조사수준과는 비교하지 못할 정도로 획기적인 발전을 이룩하였다.

하지만, 이들 원전주변지역에서 얻은 지질정보에 대하여 체계적으로 데이터베이스화하는 기술분야는 상대적으로 미흡한 것이 사실이다. 이를 위해 한국원자력안전기술원에서는 2000년 3월부터 원자력중장기 연구개발사업으로 『원전부지 지진안전성 평가기반 기술개발』 과제의 일환으로 활성단층 평가기반을 위한 지질자료의 전산화 연구를 수행 중에 있다. 이는 원전부지의 지질학적 적합성 평가 및 관련 기술기준 개발에 효과적으로 이용 가능한 데이터베이스 시스템을 우선 구축하고, 기존 및 최근의 지질정보를 입력하여 향후 원전부지에 대해 지질학적 관점에서의 효과적인 평가기반을 구축하는데 목적이 있다. 지질정보는 대부분이 도면과 함께 제공되어야 하므로 이번 데이터베이스 시스템에는 도면활용을 위해 미국 ESRI사의 MapObject 2.0을 이용한 GIS 어플리케이션을 포함시켜, DB제작의 효율성을 높였다. 시스템의 주요기능으로는 벡터와 레스터 형태의 다양한 크기의 전산지형도 및 지질도 입력, 지질정보의 데이터베이스 제작 및 활용, 지질자료의 도면제작과 제작된 전산도면의 탐색 및 출력, GPS를 이용한 위치판독과 위치입력 기능, 선구조 추출기법과 구조지질 자료의 통계적 처리기법 알고리즘을 적용한 HSI 지형도 작성과 투영망 분석기능이 있다.

2. 지질정보 데이터베이스 시스템

가. 지질자료의 전산화

원전부지의 지질학적 평가를 위한 야외조사 자료들은 대부분이 도면상에 표현되어야 할 자료들이며, 평가에 있어서도 매우 중요한 자료들이다. 따라서 이런 지질자료들을 전산화 하기 위하여 GIS의 컴포넌트를 이용하여 도면위에서 직접 지질정보를 입력할 수 있는 인터페이스를 채택하였으며, 이렇게 입력된 자료들은 시스템 내에 Microsoft Jet 형식으로 DB화 하여 저장된

다. 도면은 국립지리원에서 발행하는 수치지도와 래스터 형식의 지도를 각 도엽별로 좌표화하여 어느 도면에서도 GPS를 이용하여 정확한 지점을 표현할 수 있도록 하였다(그림 1, 그림 2).

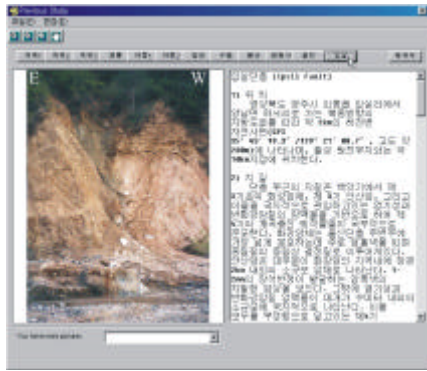


그림 1. 연구지역 내에 발달하는 제 4기 단층들 중 입실단층의 대표노두사진과 단층 DB를 근거로 한 상세 설명

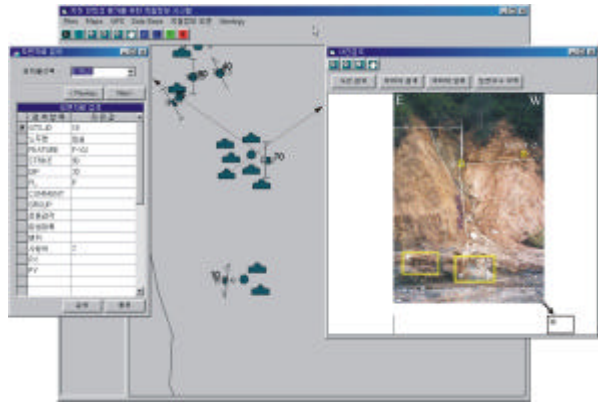


그림 2. GPS 좌표값에 근거한 각 노두들의 지질정보예.

이 프로그램이 다루고 있는 데이터베이스 목록은 아래와 같다.

- 위치(GPS 포함) 및 발전소부지로부터의 거리
- 단층지역 및 주변지역 모암의 지질 및 지질환경
- 단층의 기하학적 특성
- 단층의 운동연대 분석을 위한 시료위치가 표시된 노두사진 및 분석결과
- 단층비지의 성분 및 미세구조
- 관련 참고문헌

나. 선구조 추출기법

지질학적 측면에서의 선구조면은 주로 단층, 절리에 의해 구성된다. 그러나 암상에 따라서는 엽리나 층리도 중요한 선구조면대를 구성하는 경우가 있다. 암반의 노출이 충분할 경우 선구조 분포에 관한 조사는 지표조사를 통해 수행하는 것이 가장 확실한 방법이다. 그러나 노출이 충분치 않을 경우 시추, 탐사와 같은 보조수단을 활용하고 있으며, 최근에는 위성자료나 DEM(Digital Elevation Model)과 같은 지형자료를 바탕으로 한 분석도 선구조 조사의 보조수단으로 널리 사용되고 있다.

최근 컴퓨터에 의한 자동분석 방법이 흔히 사용되는데 이는 작업이 상대적으로 편리할 뿐 아니라 일정한 기준에 입각한 객관적인 분석결과를 도출하리라는 기대에 의한 것이라 사료되나, 전문가에 의한 육안분석에 비해 월등한 결과를 도출하는 것은 아니다. 자동추출의 가장 큰 문제점으로는 크게 2가지를 지적할 수 있다. 첫째는 분석에 활용된 음영기복도의 형태가 태양의 입사각에 따라 크게 변할 수 있고, 이 경우 넓은 계곡과 같은 구조는 판별이 어려울 경우가 있다. 두 번째의 문제는 선분을 추출하는 방법에 있다. 자동추출의 경우는 음영의 차이가 뚜렷

한 위치들이 직선으로 이어지는 부분을 **Hough Transform**과 같은 기법을 통해 선으로 추출하는 기법을 사용한다. 그러므로 직선의 구조들은 잘 추출되나 곡선을 이루는 지각구조는 선구조로 인식되기가 어렵다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 새로운 면구조의 분석기법을 시도하였다. 시도된 분석기법의 첫번째는 지형의 분석에 음영기복도를 활용하는 대신에 지형의 경사방향을 투영망에 투시한 결과를 색상으로 처리하여 지형경사분석도를 작성한 후 여기에서 도출되는 선구조를 분석하는 방법이다. 두 번째는 현장에서 조사된 엽리, 절리, 단층의 면구조가 굴곡된 지형과 교차할 때 평면도에 표현되는 곡선을 도면화하는 방법이다.

1) 지형경사 분석도

지형경사 분석도는 도면의 모든 위치에 해당되는 경사의 방향을 색상으로 나타낸 것이다. 경사방향의 색상을 결정하기 위해서는 먼저 그림 3의 우측 상단부에 도식된 바와 같은 색상 투영망이 제작되어야 한다. 투영망의 색상을 설정하는 방법은 색의 표현기법인 **HSI(Hue, Saturation, Intensity)**를 사용하여 주향값의 변화를 **Hue(색조)**의 강도로, 경사값의 변화를 **Saturation(채도)**의 강도로 표현하는 것이다. 즉, 투영망의 각 화소에 해당되는 주향과 경사값을 해당 색조와 채도로 변환한 색상을 설정하여 도면화한 것이다.

평면도에 해당하는 각 화소의 주향과 경사값의 설정은 **DEM**을 이용한다. **DEM**은 등간격으로 지형의 고도를 표현한 자료로서 하나의 셀 주변에는 4개의 지형 고도값이 존재한다. 그러므로 이 4개의 고도값을 이용하면 셀의 배열을 추정할 수 있다.

일반적으로 3개의 점은 하나의 면을 정의한다. 그러나 **DEM**의 경우 4개의 꼭지 좌표에 위치한 자료를 이용하여 하나의 면을 정의하여야 하므로 간단한 보간법이 필요하다. 본 연구에서 활용된 보간법은 아래와 같은 최소 자승법이다.

$$\begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n x_k^2 & \sum_{k=1}^n x_k y_k & \sum_{k=1}^n x_k \\ \sum_{k=1}^n x_k y_k & \sum_{k=1}^n y_k^2 & \sum_{k=1}^n y_k \\ \sum_{k=1}^n x_k & \sum_{k=1}^n y_k & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^n x_k z_k \\ \sum_{k=1}^n y_k z_k \\ \sum_{k=1}^n z_k \end{pmatrix}$$

위에서 x^k, y^k, z^k 는 k 위치의 3차원 좌표이고, n 은 자료의 개수이며, a, b, c 는 구하고자 하는 면의 법선 벡터의 좌표다.

지형의 분석 방법 중 주향과 경사를 분리하여 각기 도면화하는 기법은 일반화되어 있다. 그러나 이러한 방법으로는 경사의 변화에 따른 지형의 변화가 생략되는 단점이 있다. 그러므로 지질구조 분석을 위한 지형자료의 처리는 주향과 경사를 고려한 그림 3과 같은 도면이 활용되어야 한다.

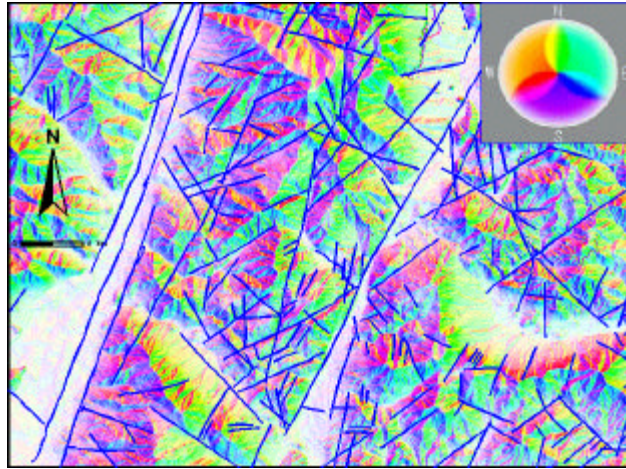


그림 3. 주향과 경사를 이용한 지형분석 결과. 지형의 경사방향과 경사값이 사진의 우측 상단에 표시된 투영망의 색상으로 표현되어있다. 조사방향에 민감한 음영도와 달리 본 도면은 모든 방향의 선구조를 모두 반영하고 있다.

2) 시범지역의 선구조 분석

본 연구에서는 지형의 분석을 이용한 선구조 추출 기법의 적용과 활용결과를 파악하기 위하여 양산 지역의 일원을 선택하여 선구조 분석을 수행하였다. 그림 4는 시범지역에 대한 인공위성 자료에 선구조 분석자료와의 합성사진을 보여준다.

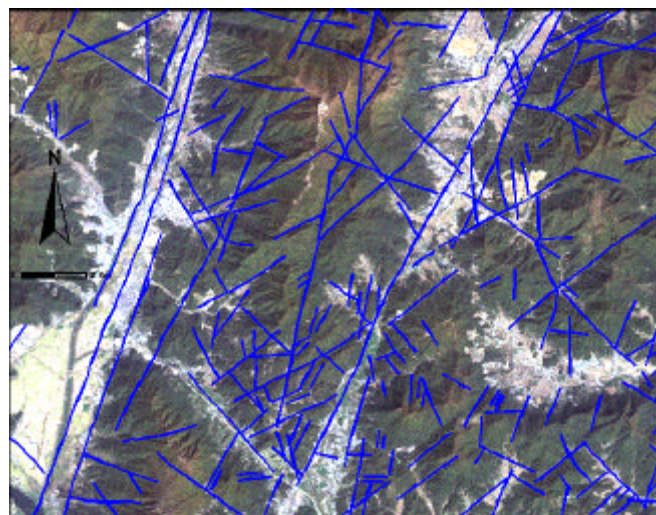


그림 4. 시범지역(양산일원)에 대해 적용한 인공위성 영상사진과 선구조 분석자료를 합성한 결과.

지형분석을 통한 선구조 추출을 위해서는 일반적으로 두 가지의 자료를 활용한다. 첫 번째는

인공위성 자료이며 두 번째는 지형의 고도를 등간격으로 기록한 DEM(Digital Elevation Model)이다. 위성자료는 광역적인 지형자료를 동일한 기준으로 획득할 수 있다는 장점으로 인해 흔히 사용된다. 그러나 위성자료를 이용하기 위해서는 자료의 특성을 정확히 이해하여야 한다. 위성 사진은 자료가 획득될 시점에서의 태양에 의한 지표의 그림자들이 분광자료에 반영되는데 이를 응용하여 선구조 분석에 활용한다. 예를 들어 그림 5는 TM의 4번 밴드로서 위성이 지나가는 시간(오전 10시경)의 태양 위치에 의해 그림자가 나타나 음영도와 동일한 형상을 갖고 있다. 따라서, 영상에서 인접화소와의 화소값 차이를 비교하면 갑작스런 음영의 변화를 등급으로 인식할 수 있기 때문에 이와 같은 음영도를 분석하여 선구조를 파악하는 것은 간단하다. 즉 화소의 주변값에 대한 미분값으로 새로운 영상을 제작하면, 이 영상은 음영의 변화 정도를 표현하는 새로운 정보가 된다는 의미이다. 한편 이 미분된 영상을 한 번 더 미분하여 미분의 값이 0이 되는 지점은 음영의 변화가 인식되는 변곡점이 된다. 이러한 점을 찾는 기법중 하나가 Laplacian Filter에 의한 영상의 변환이며, 이를 위한 Operator는 아래와 같이 정의된다.

Laplacian Operator

$$\Delta f(x_0, y_0) = f_{xx}(x_0, y_0) + f_{yy}(x_0, y_0)$$

$$\approx \frac{1}{h^2} [f(x_1, y_0) + f(x_0, y_1) + f(x_{-1}, y_0) + f(x_0, y_{-1}) - 4f(x_0, y_0)]$$

위의 Operator에 의해 계산된 결과는 필터로 정의되며 이를 각 화소에 적용한 결과는 그림 6과 같다.

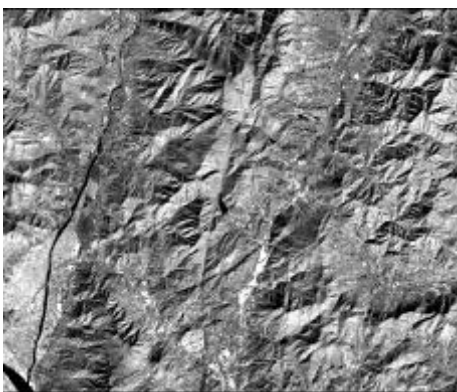


그림 5. TM 4번 밴드.

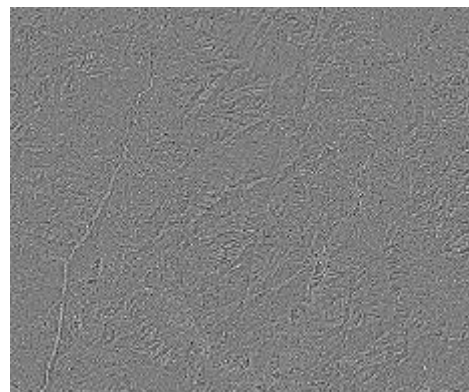


그림 6. TM 4번 밴드에 Laplacian Filter를 적용한 결과.

자동화된 선구조의 추출방법은 그림 6과 같은 영상에서 선구조로 인식되는 선분을 자동으로 추출하는 것이다. 물론 이러한 추출이 진행되기 이전에 변화를 좀 더 확실히 파악하기 위한 몇 가지 영상강조 기법을 적용하여야 한다.

이런 선구조 추출 방법은, 지표의 굴곡이 선상으로 표현되고 이러한 굴곡은 지형의 굴곡으로 표현되기 때문에 그림자와 같은 수단을 이용하는 것이다. 그러므로, 위성자료와 같이 태양의 그림자가 드리워진 사진보다는 지형의 고도를 등간격으로 표현한 DEM을 활용하는 것이 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있다. 태양의 그림자는 태양의 위치에 따라서 결정되며 그에 따른 그림자로 반영되는 선구조 역시 태양의 위치에 따라서 달라지는 문제를 갖고 있다. 그러므로 DEM을 활용할 경우 이를 이용하여 특정 태양각도와 고도에서의 음영도를 쉽게 제작할 수 있으므로 모든 방향의 선구조를 파악하기 위해서는 지형의 고도 자체를 활용하는 것도 매우 효율적이라 할 수 있다.

그림 7은 인위적인 조광 방향에 의해 작성된 음영기복도로서, 조사각도는 30도로 설정하고 조사방향을 0도(북쪽)에서 45도 간격으로 회전하며 음영기복도를 작성한 것이다. 일반적으로 0, 45, 90, 135, 180, 225도 방향의 음영기복도를 사용하며 각 기복도는 조광방향의 수직되는 선구조를 강조하여 보여준다. 이와 같이 작성된 각 도면을 지질도와 중첩하고 광역 지질 정보의 분석 결과를 고려하여, 각 방향에서 추출된 선구조를 종합하여 그림 8과 같은 선구조 분포도를

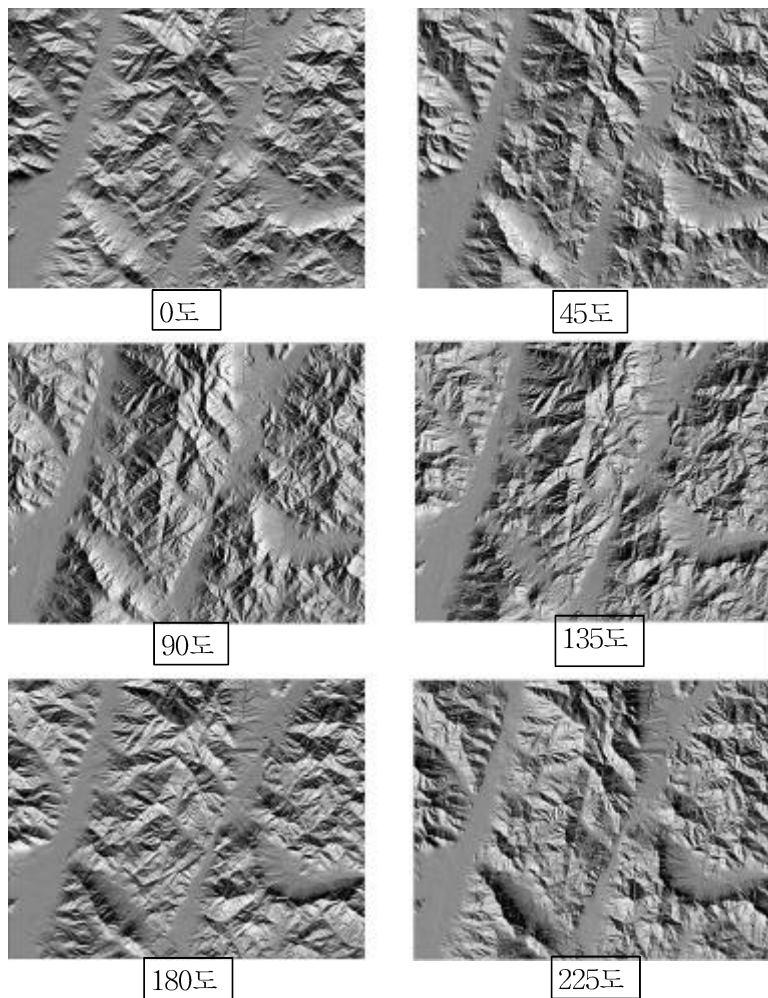


그림 7. 인위적인 조광방향에 따른 선구조 분석. DEM을 이용하여 조광방향을 30도 하향으로 각기 0, 45, 90, 135, 180, 225도 주향으로 조사한 음영 기복도. DEM은 10m 간격의 자료를 이용하였음.

작성할 수 있다.

이와 같이 음영 기복도를 이용하면 태양의 조사각도에 따라 각기 다른 선구조가 강조됨으로 파생되는 문제를 판단하기 곤란하다. 물론 태양의 위치를 음영의 강도에 반영하는 기법을 적용할 수도 있으나, 이러한 문제를 간단히 해결하는 방법이 있다. 지형의 배열을 주향과 경사로 표현하면, 모든 지형을 주향과 경사값으로 표현할 수 있다. 이 주향과 경사를 색상으로 표현하는 것이다. 색상은 일반적으로 RGB의 삼원색으로 분해되어 표현할 수 있다. 다른 한가지의 표현법은 Hue, Saturation, Intensity로서, Hue는 색도를 Saturation은 채도를 나타내며 Intensity는 단순히 명암을 표현한다. 그러므로 Hue와 Saturation만으로도 색상 표현이 가능하다. 그러므로 주향을 Hue로 경사를 Saturation으로 표현하면 지형의 모든 방위가 각기 다른 색상으로 표현되며(그림 3), 색상의 갑작스런 변화는 지형경사의 갑작스런 변화를 의미하는 것이다. 이렇게 작성된 도면은 태양의 위치와 같이 특정 요인에 의해 작성된 음영 기복도가 아니므로 모든 방향에서의 지형의 굴곡변화를 알아볼 수 있는 장점을 갖고 있다.

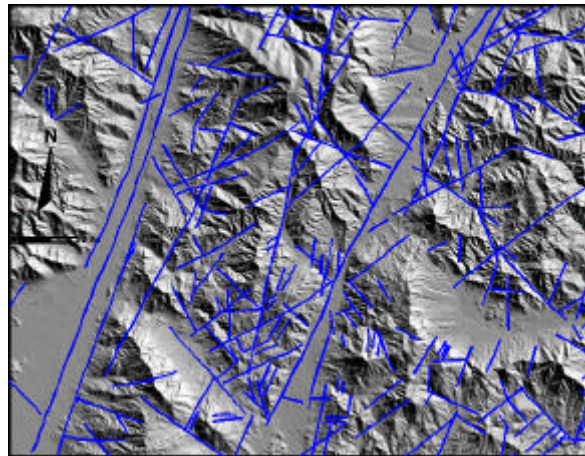


그림 8. 음영기복도와 선구조의 중첩결과.

다. 투영망 분석을 위한 자료의 통계적 처리기법

투영망 분석은 암석의 내부에 존재하는 선과 면구조를 통계적으로 처리하기 위하여 지구과학에서 널리 사용되는 기법이며, 최근에는 다양한 전산 프로그램이 상용화되어 활용되고 있다. 본 연구에서도 구체적인 구조지질 자료가 전산화되므로, 이 자료들에 대한 통계처리 및 공간 분석기법이 필요하다. 투영망 분석이 필요할 경우, 전산시스템의 자료를 상용 프로그램으로 옮겨 처리할 수 있으나 이미 전산화된 자료를 옮기는 불편함과 공간적 의미가 중요한 지질자료의 특성을 고려한 분석에 어려움이 있다.

투영망 분석은 면의 3차원 배열을 반드시 기하학적인 방법으로 계산할 이유는 없다. 삼각함수가 포함되어 단순 계산이 아니므로 투영망 분석을 수치계산으로 수행하는 경우가 불편하였을 뿐이지 계산 과정과 수식은 잘 알려져 있다. 최근 컴퓨터의 발달로 계산과정과 계산기의 접근성이 용이함에 따라 수치계산에 의한 선 및 면구조의 분석방법도 기하학적 방법만큼 용이하다. 그러므로 본 연구에서는 수치계산에 의한 투영망 분석이론을 정리하고 이를 이용하여 시스

템에 투영망 분석 도구를 포함하였다.

3. 지질정보 데이터베이스 시스템 제작

1) 데이터베이스 구축 인터페이스

지질정보 데이터베이스 시스템은 MS Visual basic 6.0을 이용하여 개발하였다. MapObject 2.0 컴포넌트를 이용하여 시스템에서 도면을 출력하게 하였으며, 확보된 다양한 지질정보를 도면에 직접 입력하고, 입력된 자료는 Microsoft Jet DB 형태로 변환되어 실내 작업시 편집이 가능하도록 하였다. 또한 데이터베이스에 새로운 테이블을 입력하는 디자인 변경도 수행하며 엑셀이나 문서편집기로 작성된 자료를 불러들이거나, 데이터베이스에서 작성된 자료를 문자로 출력하는 등의 기능도 포함한다.

2) 지질분석 도구

가) 투영망 분석(Stereonet)

투영망 분석 도구는 데이터베이스내에 저장된 면과 선구조를 선택적으로 불러와 투영망에 plot하는 기능과 면이나 선의 사이각과 Pitch를 측정하는 기능을 갖고있다. 또한 도면에서 직접 표시된 지질구조에 대해서도 투영망 분석이 가능하도록 개발하였다.

나) 선구조(Lineament)

지형분석을 위한 도구로서 지형의 주향과 경사를 각기 Hue와 Saturation으로 변경하여 색상 투영망을 작성하고 이를 기준으로 지형의 각 지점(30m × 30m 크기)으로부터 계산된 주향과 경사를 색상으로 표현하는 도면을 제작할 수 있다. 이 기능을 사용하기 위해서는 DEM자료가 용량이 커서 별도의 CD로 준비하여 활용되도록 하였다.

4. 결론 및 토의

원전부지의 지질학적 적합성 평가 및 관련 기술기준 개발을 위해 원전 부지 및 주변 지역에 대한 지질정보를 효과적으로 활용하기 위한 데이터베이스 구축 시스템을 구축하였다. 데이터베이스 구축시스템은 MS Visual Basic을 이용하여 개발하였으며, 도면 활용을 위해 GIS 컴포넌트를 사용하였고, MS Jet DB를 활용하도록 설계하였다. 벡터와 레스터 형태의 다양한 크기의 전산지형도 및 지질도를 입출력 가능하도록 하여, 도면위에서 직접 지질정보를 입력할 수 있도록 하였고, 입력된 지질정보의 데이터베이스화 하여 지속적으로 활용이 가능하도록 하였다. 그 외 지질자료의 도면제작과 제작된 전산도면의 탐색 및 출력, GPS를 이용한 위치판독과 위치입력 기능, 그리고 선구조 추출기법과 구조지질 자료의 통계적 처리기법에 관한 알고리즘을 적용하여 본 시스템으로 지질정보의 분석 및 활용이 가능하며, 현장에서 직접 지질정보를 입력하고, 분석할 수 있는 기능도 포함시켰다.

다만, 이들 연구는 본 연구를 통해 처음으로 원전부지에 시도되는 데이터베이스 시스템으로

지속적으로 미비한 사항에 대해서는 보완할 예정으로 있다. 이들 시스템이 완성되면 향후 산·학·연에서 생산될 많은 자료의 양을 효과적으로 분석할 수 있으며, 신뢰성 있는 지질구조 분석의 방안이 마련될 수 있을 것이다.

5. 참 고 문 헌

활성단층 평가기반을 위한 지질자료의 전산화연구, KINS/HR-393, 1차년도 보고서, 2001. 4, 한국원자력안전기술원.

활성단층 평가기반을 위한 지질자료의 전산화연구, KINS/HR-473, 2차년도 보고서, 2002. 3, 한국원자력안전기술원.