

공주 능치지역 천부 지하구조에 대한 지구물리학적 연구

김기현 · 서만철

공주대학교 문화재비파괴진단연구실

요 약

공주시 능치 지역에 지구물리탐사 방법을 적용하여 비파괴적으로 천부지하에서의 이상체의 존재 유무에 관한 정보를 유추하였다. 적용되어진 지구물리학적 탐사 방법은 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사, 자력탐사, 중력탐사를 실시하였다. 이들 각 탐사는 고해상의 정보를 제공하는 것으로 해석된다. 전기 비저항탐사 해석결과 주위보다 고비저항을 보이는 이상구간이 나타났으며, 이상구간 중 'M'형태의 이상을 보이고 구간은 지하에 지하 공동이나 그 밖의 지하구조물 및 지질 이상체가 존재할 가능성이 있는 것으로 해석된다. 탄성파탐사 해석결과 저속도층이 지하 심부까지 분포함을 알 수 있다. 이는 지하에 매장되어 있는 지하공간을 지남으로써 나타나는 현상으로 해석되어진다. 탄성파 자료해석에서 이상을 보이는 구간은 비저항 이상을 보였던 구간에 포함되는 범위로 두 탐사 방법의 결과가 잘 일치한다. 자력탐사 결과 전기비저항탐사와 탄성파 탐사에서 이상을 보이는 지역에서 원형의 쌍극자장의 이상을 보이고 있다. 중력탐사 구간에 대해 하부에 주위와 밀도가 다른 이상체가 지하 하부에 존재할 것으로 해석된다. 이상의 각 탐사의 자료 해석을 통하여 천부지하의 정보를 유추한 결과 연구지역 내에서 공통적으로 이상체가 존재하는 것으로 해석되었다.

주요어: 지구물리 탐사, 전기 비저항 탐사, 탄성파 탐사, 자력탐사, 중력탐사, 저속도층, 쌍극자장

Kihyun Kim and Mancheol Suh, 2001, A Geophysical Study of Subsurface Structure at Reung-chi area in Kongju. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 4, n. 2, p. 103-111

ABSTRACT: Geophysical survey was carried out to derive some information on the existence of near-surface anomalous body at Reung-Chi area in Kongju. Resistivity, seismic, magnetic and gravity method were applied. Geophysical survey that was applied was the electrical resistivity survey, seismic survey, magnetic survey, gravity survey. These surveys are analyzed to provide data of high resolution. As a result of analysis of resistivity survey, anomalies showing high resistivity anomaly than around appeared, and the one showing M-shape out of those explains the possibility that underground common or other underground structure or geographical anomalous zone could exist in the underground. As a result of analysis of seismic survey, it is clear that the low velocity layer is spread as far as the bottom of the underground. It is possible to presume that it is a phenomenon appearing while going through the underground space where it is lying in the underground. Area that shows unusual situation in interpretation of data on seismic waves are included into the area that once showed resistivity anomaly, the results of both seismic surveys come in accord. As a result of magnetic survey, a circle-shape of twin magnetic fields in the area where abnormalities are shown between electrical resistivity survey and seismic survey is appeared. Given the area of gravity survey, abnormalities whose density is different from the one around the bottom of the underground. As a result of analogizing the data of underground of the subsurface based on analysis of data from each survey, it was interpreted that anomalous zone exists commonly in the research areas.

Key words: geophysical survey, electrical resistivity survey, seismic survey, magnetic survey, gravity survey, low-velocity layer, twin magnetic field

(Kihyun Kim, Mancheol Suh, Nondestructive Research Lab. Cultural Property, Kongju National University, Kongju, 314-701, Chungnam, Korea, e-mai: geokh@kongju.ac.kr, mcsuh@kongju.ac.kr)

1. 서 언

물리탐사의 최근 주된 관심 분야는 대상지역에 대한 각종 탐사 자료를 복합적으로 해석하여 탐사대상의 지하 구조를 3차원적으로 정확히 규명하는 방법이다.

지반의 상태와 지질조건을 파악하는 방법은 지반 시추가 있으나, 이는 수직적인 정보만을 제공하고, 지반의 중요한 수평정보는 제공하지 못하고 있다. 반면 지구물리탐사는 지하 이상체의 탐지, 지반구조 파악, 지반의 간접 물성치를 산정하며, 지반의 수평적 구조를 영상화하고 더 많은 지하정보를 얻을 수 있다. 또한 문화 유적 발굴 및 보존 측면에서 고해상의 지구물리 탐사 방법이 요구되고 있다. 고고학(Archaeology)에 지구물리탐사 방법이 적용되어진 역사는 우리나라에서는 사례가 미미하지만, 세계 각국에서 1940년대 이후로 고고학 분야의 연구에 지구물리학적 방법이 적용되어 크고 작은 고고학적 발굴에 일조를 하여 왔다. 유럽과 북미에서는 최근 10년 동안 유적지의 위치에 대한 지도 작성에 있어서 지구물리학적 방법에 대한 가치 인식이 급격히 성장해 왔고 또한 빈번하게 적용되어져 왔다. 지구물리탐사는 고고학적 유적지를 찾을 때 조속한 기간 내에 비파괴적 방법으로 유적매장 가능성이 있는 지역을 찾을 수 있다는 장점이 있다.

본 연구의 대상지역인 능치지역은 공주시 금학동과 신기동의 경계지역으로 공주시의 남쪽으로 공주를 둘러싼 산지 중에 위치한 지역으로 고문헌 및 풍수설에 의거 고고학적인 이상체의 존재 가능성이 있는 지역이다. 본 연구에서 이용된 지구물리학적 방법은 고고학적 장소나 유적을 탐사하는데 가장 많이 이용되어지고 있는 전기비저항 탐사, 탄성파 탐사, 자력탐사, 중력탐사를 수행하여 획득되어진 자료들을 처리하고 해석하여 지하의 지질학적 및 고고학적 정보를 유추하였다.

2. 자료취득 및 자료처리

2.1. 탐사 개요

연구지역에 대해서 남북방향으로 12개의 설정

된 측선에서 전기비저항 탐사를 실시하였으며, 해석과정을 통해 이상값을 보이는 구간에 대해 탄성파 굴절법 및 반사법 탐사, 자력탐사, 중력탐사를 수행하였다.

탐사의 기본측선 배열은 지 지역의 능선을 따라 먼저 NS방향으로 능선을 설치한 측선 중 기선을 설정한 후 광파거리측량기(SET II-B, SOKKIA)를 이용하여 동일한 길이와 방향을 유지하면서 지형을 따라 2m 간격으로 측선을 동쪽으로 12m(6개 측선), 서쪽으로 8m(4개 측선)을 설치하였다.

연구지역의 지형고도를 각 측선의 측점에서 광파거리 측량기(SET IIB, SOKKIA)를 이용하여 상대고도를 측정된 결과, 고도는 184.5 ~ 192.3m로 최대 고도차는 7.8m로 고도차가 크지 않은 지역이다.

2.2. 지구물리탐사

2.2.1. 전기비저항 탐사(Resistivity Survey)

연구지역에 대하여 NS 방향으로 능선을 따라 기선을 설정한 후 동일한 길이와 방향을 유지하면서 동·서쪽으로 측선을 2m씩 유지하면서 Line 1~11 까지 설정하였다. 또한 Line 1~11(각 40m)의 중심을 가로지르는 EW방향의 Line 12(20m)를 추가로 설정하였다.

Line 05, Line 12에 대해 전극배열이 1, 2, 3, 4, 5m, 전극간격 1m로 웨너배열(Wenner Array) 탐사를 실시하였으며, Line 1 ~ Line 4, Line 6 ~ 11에 대해서는 전극배열간격이 3m, 전극간격이 1m인 웨너배열 탐사를 실시하여 겐보기 비저항치를 획득하고 비저항치를 산출하였다.

겐보기 비저항치(Apparent Resistivity) 자료들을 각 측선별로 정리하여 전기 비저항도를 작성하여 자료처리 하였다. 또한, Line 05, Line 12 측선에서 실시한 수직탐사 자료에 대하여 지하 지질 구조에 대한 2차원 전기비저항 모델을 결정하기 위하여 RESIX IP2DI 프로그램을 이용하였다.

2.2.2. 탄성파 탐사(Seismic survey)

탄성파 탐사는 전기비저항 탐사결과 이상대로 해석되는 지역에 대하여 SLine 01, SLine 02 측선을 설정하여 굴절법 탐사 및 반사법 탐사를 실시

Table. 1. Data acquisition parameter of seismic reflect survey.

Number of Channel	24 Channel
Natural Frequency of Geophone	14 Hz
Geophone Interval	1 m
Near Trace offset	1 m
Record Length	250 ms
Sample Rate	0.125 ms
Notch Filter	Out

Table. 2. Definitive geomagnetic reference field of the base point of the study area.

	Latitude	Longitude	Elevation
DATE	36° 26 ' 25 "	127° 08 ' 15 "	190.50 m
DGRF			
2001. 11. 13.	49715.05 nT		

하였다. 에너지원-수진기 배열방식은 끝점 발파배열(Off-end Push Spread) 방법을 이용하였으며, 수진기 간격은 1m, 오프셋(Offset)간격 1m로 하였다. 사용된 에너지원은 14 Kg Sledge Hammer를 이용하였으며, 수진기(Geophone)는 고유주파수가 14 Hz인 OYO Geospace사의 수진기(Geophone)를 사용하였다. 탄성과 기록은 OYO Geospace사의 DAS-1 System(48 Channel)을 사용하여 3 ~ 4회 타격 후 도달된 파형을 관찰하여 반사파와 굴절파를 관찰할 수 있는 자료를 기록하였다.

굴절법탐사 해석은 Rayfract을 이용하여 자료처리를 수행하였다.

반사법 탄성파탐사 자료의 처리는 SEISTRIX-J 프로그램을 이용하였으며, 트레이스 편집, 공심점 분류(CMP sorting), 스펙트럼 분석, 필터링, 이득 조절, 뮤트(Mute), 속도분석, 수직경로시차 보정(NMO Correction), 고도보정, 중합(Stack) 등의 과정을 거쳤다.

2.2.3. 자력탐사(Magnetic Survey)

자력탐사는 전기비저항 탐사결과 이상대로 해석되는 지역에 대하여 Mline 01 ~ Mline 29 축선을 설정하여 실시하였다. 각 축선간격, 측정간격은 0.5m × 0.5m로 설정하였으며, 각 측점에 대하여 Geometrics사의 G-856 핵자력계(Proton-Precession

Magnetometer)를 이용, 전자력세기(Magnetic Intensity)를 측정하였다.

측정된 자료에 대하여 일변화 보정을 한 후 정규보정을 실시하였다. 정규보정(Normal Correction)은 전 세계적으로 측정된 지자기장의 표준값을 10 nT 간격의 등자기선으로 나타낸 자기 분포도를 이용하여 각 측정에서의 측정치에서 그 지점의 표준치를 빼주어야 하는데, 정규자력치 계산에 있어서는 표준 자기 분포도를 대신하여 미국국립지구물리자료센터(NGDC)에서 공개한 프로그램(Definitive Geomagnetic Reference Field Version 1.4)을 이용하여 표준값을 구한 후, 일변화 보정 자력값에서 표준값을 빼 주었다. 프로그램을 이용하여 얻은 표준자력값은 Table 2와 같다.

일변화 보정후의 자력치를 통하여 등자력분포도(Magnetic Intensity Contour Map)를 작성하고, 일변화 보정과 정규보정 후의 자력치를 통하여 등자기이상분포도(Magnetic Anomaly Contour Map)를 작성하여 자료해석에 이용하였다.

2.2.4. 중력탐사(Gravity Survey)

중력탐사는 전기비저항 탐사결과 이상대로 해석되는 지역에 대하여 Gline 01, Gline 02 축선을 설정하여 실시하였다. 각 축선간격, 측정간격은 1.0m로 설정하였으며, 각 측점에 대하여 Autograv

CG-3 중력계를 이용하여 상대중력을 측정하였다.

측정된 중력값으로 중력값에 영향을 미치는 여러 요인들에 의한 중력효과를 제거해주는 중력보정을 하였다. 중력기점에서의 절대 중력값은 공주대학교 교내에 위치한 중력기점의 중력값인 979857.8 mgal을 이용하였다.

3. 물리탐사 자료해석

3.1. 전기비저항탐사 자료해석

전기비저항 탐사는 측선 Line 1 ~ 12에 대하여 전극간격(a) 3 m, 측정간격을 1 m로 유지하고 웨너 전극배열법을 사용하여 전기탐사를 실시하였다. 측정된 전극간격에 따른 전기비저항 수평분포를 Fig. 1에 도시하였다. 측선 Line 5, 12에서는 전극간격(a)를 1, 2, 3, 4, 5 m로 하여 각 측정에서 전기 비저항 탐사를 수행하였다. 또한 정확한 비저항 자료 해석을 위하여 전극간격에 따른 비저항 분포도를 작성하였으며, 수직탐사 해석 프로그램인 RESIX IP2DI 프로그램을 이용하여 단면도를 작성하였다(Fig. 2).

조사지역의 전반적인 전기비저항 분포는 전반적으로 685 ~ 7,911 ohm-m 범위를 보인다. 모든 측선의 측정에서의 전기비저항 분포를 보면 각 측선의 20 ~ 22 m를 경계로 하여 전기비저항치가 경계되어지는 특징을 보여주고 있다(Fig. 2). 조사지역의 전체적인 비저항 분포를 볼 때, Line 3(25 ~ 40 m)와 Line 7(25 ~ 40 m) 구간에서 비교적 높은 비저항분포(4,011 ~ 7,011 ohm-m)를 보이

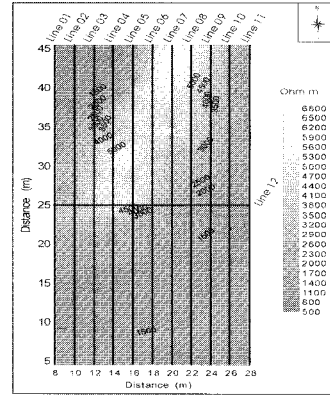


Fig. 1. Resistivity contour map of the study area using wenner array(Current electrode spacing = 3 m).

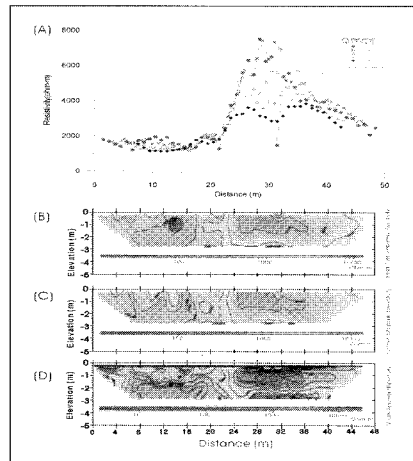


Fig. 2. Resistivity data for Line 5; (A) Profile distribution for the electrode spacing of $a=1, 2, 3, 4, 5$ m in wenner array, (B) Field data apparent resistivity, (C) Synthetic apparent resistivity, (D) Model apparent resistivity.

Table 3. Initial constants sheet for CG3 Autograv gravimeter(SN 9908477).

April 20, 2000		
Gravity constant #1	GCAL 1	6303.089
Gravity constant #2	GCAL 2	0.0
Temperature constant	TEMPCO	-0.1316
Tile X sensitivity	TILTX	268.0
Tilt Y sensitivity	TILTY	280.3
Drift constant	DRIFT	0.49

고 있다(Fig. 1). 이는 고지형적인 영향으로 지하수 유출에 의해 고비저항을 나타낼 수 있다. 그러나 측선 Line 4(25~30m), 5(25~30m)의 구간에서는 고고학적인 증거를 보이는 M형태의 이상으로 보이는데, 이 부분은 지하에 고고학적으로 의미 있는 비저항 이상체가 있을 것으로 사료된다. 또한 측선 Line 7(45m)구간에서도 높은 비저항치를 보이거나 이는 급경사로 인한 토양 및 암반층의 지하수가 유출된 원인 때문으로 해석된다.

수직비저항탐사를 실시한 측선 Line 5에서 전극간격 1, 2, 3, 4, 5 m, 측정간격 1 m를 유지한 웨너전극 배열법을 사용하여 전기탐사를 실시하였으며, 전반적인 비저항치는 1,125~7,522 ohm-m의 분포를 나타냈다. Line 12를 기준으로 남쪽은 상대적으로 비저항치가 낮은 1,125~3,544 ohm-m 분포를 보여주고 있다. 또한 측선 Line 12에서도 전극간격 1, 2, 3, 4, 5 m, 측정간격 1 m를 유지한 웨너전극배열법을 사용하여 전기탐사를 실시하였으며, 전반적인 비저항치는 1,240~6,730 ohm-m의 분포를 나타냈다.

측정된 전기 비저항치로부터 RESIX IP2DI 프로그램을 실행시켜 3차원 모델링을 작성하여 Fig. 2의 단면도를 얻었다. Fig. 2에서 (B)는 탐사자료를 가지고 산출된 겉보기 비저항 단면도(Data Apparent Resistivity), (C)는 탐사 자료에 대한 역산결과 산출된 이론 겉보기 비저항 단면도(Synthetic Apparent Resistivity), (D)는 두 단면도의 역산과정을 통해 얻어진 비저항 모델링 단면도(Model Apparent Resistivity)로 (D)는 두 모델링 (B), (C)의 역산과정을 통해 비저항 모델링 3차원 단면도를 얻었다.

역산과정을 통해 얻어진 비저항 단면도는 측선거리와 깊이에 대해서 지하구조가 모델링화 되어 있으며, 측선 Line 5을 볼 때, 25~36 m, 심도 지표하 1.0~2.5 m 구간, 측선 Line 12의 6~16 m, 심도 지표하 1.0~2.5 m 구간에서 5,000 Ohm-m 이상의 고비저항치를 보이고 있다. 이는 전기비저항 수평탐사와 비교하여 볼 때, 같은 지역에서 비저항 이상을 보이고 경향을 보이고 있다. 이러한 경향으로 볼 때 이 이상구간에 지하 공동이나 그 밖의 지하구조물 및 지질 이상체가 존재할 가능성이

있는 것으로 해석된다.

Line 5, Line 12의 모든 측정점에서 볼 때 일반적으로 전극간격(a)이 작을수록 비저항치가 큰 경향을 보이고 있다. 그러나 Line 12의 21~28 m 구간에서 역전 현상이 발견된다. 즉, 전극간격 $a=4$ m일 때 가장 큰 비저항치를 보이고, $a=1$ m일 때 가장 작은 비저항치를 보인다. 또한 이 구간은 전기탐사 구간에 대하여 비저항치가 주위보다 낮은 현상을 보인다. 이는 구간의 지형 고도가 주위보다 낮아서 수분의 함량이 다른 곳보다 많이 함유하고 있기 때문으로 해석된다. 비저항 분포의 역전현상은 전극간격이 좁을 경우 표층의 비저항이 측정되므로 토양으로 이루어진 표층부의 함수량이 전극간격이 넓을 때 측정되는 심층부 암반의 함수량보다 많아서 나타나는 현상으로 해석된다. 또한 이는 표층부와 심층부 토양의 성질이 다른 것으로 해석된다.

3.2. 탄성파탐사 자료해석

3.2.1. 탄성파 탐사 굴절법 해석

굴절법 탄성파 탐사는 전기비저항 탐사결과 이상을 보이는 측선 Line 4(15~40 m), Line 5(15~40 m)에 대해 SLine 1, SLine 2를 설정한 후 수행되었다. 탐사개론 및 탐사방법에서 설명한 바와 같이 탄성파 굴절법 원리를 적용하여 분석한 각 층에 대한 속도분포를 요약하면 다음과 같다.

1) SLine 1 (5 ~ 40 m)

측선 SLine 1의 탄성파 굴절법탐사 결과, P파의 속도로 볼 때, 5층 구조가 발견되었다. 제 1층의 경우 속도가 120~697 m/s의 범위를 갖는 전석등을 포함한 표토층(Soil) 및 풍화암층(Weathered Soil)이 최고 지하 8.6 m까지 분포한다. 제 2층은 735~1,152 m/s의 탄성파 속도를 갖는 풍화암(Weathered Rock)으로 지하 3.46 m~10.09 m까지 분포한다. 제 3층은 1,309~1,642 m/s의 속도 분포를 갖는 연암(Soft Rocks)으로 지하 8.39~13.24 m까지 분포함을 알 수 있다. 제 4층의 경우 2,161~2,720 m/s의 속도를 보이는 보통암(Good Rock)으로 지하 14.85~16.49 m까지 분포함을 알 수 있다. 제 5층의 경우 3,076~3,338

m/s의 속도를 보이는 경암으로 구성되어 있다.

2) SLine 2 (5 ~ 40 m)

측선 SLine 2의 탄성과 굴절법탐사 결과, P파의 속도로 볼 때 3층 구조가 발견되었다. 제 1층의 경우 속도가 102~675 m/s의 범위를 갖는 전석등을 포함한 표토층(Soil) 및 풍화암층(Weathered Soil)이 최고 지하 6.64 m까지 분포한다. 제 2층은 722~1,081 m/s의 탄성과 속도를 갖는 풍화암(Weathered Rock)으로 지하 2.94 m~9.08 m까지 분포한다. 제 3층의 경우 1,320~1,821 m/s의 속도를 보이는 연암(Soft Rock)으로 구성되어 있다 (Fig. 3).

Fig. 3에서와 같이 SLine 1, SLine 2의 18~33 m 구간에 대해 저속도층이 지하 심부까지 분포함을 알 수 있다. 이는 전기비저항 탐사결과의 고비저항치(Line 3(25~40 m)와 Line 7(25~40 m) 구간중, Line 4, 5(25~30 m))를 보이는 지역과 일치함을 볼 수 있다. 전기비저항탐사와 탄성과 굴절법 탐사결과를 볼 때, 이 이상구간에 지하 공동이나 그 밖의 지하구조물 및 지질 이상체가 존재할 가능성이 있는 것으로 해석된다. 또한 이 이상구간에 대하여 자력탐사와 중력탐사를 추가로 수행하였다.

3.2.2. 탄성과 탐사 반사법 해석

본 탐사는 능치 조사지역에 대해 총 2개 측선에 대하여 반사법탐사를 실시하였다. 반사법 탐사 단면은 실진폭 단면도(Trace-Max 단면도)를 작성

하여 해석하였다.

탐사 측선에서 취득한 공발점 기록(Shot Gather)에 대한 트레이스 편집을 거친 후 공심점 분류(CMP Sorting)를 거쳐 공심점 모음(CMP Gather)에 대하여 속도자료를 이용하여 NMO 보정된 각각의 자동이득조절(AGC)된 탄성과 단면도와 실진폭 단면도(Real Amplitude Section)를 작성하여 해석하였다. 천부에서의 진폭의 상대적인 변화는 지하 천부 경계면에서의 반사계수를 반영하여 진폭이 작은 경우는 상하층간의 밀도 및 속도 변화가 비교적 작으며 진폭이 큰 경우는 상하층간의 밀도 및 속도 변화가 매우 큰 것을 의미한다.

Fig. 4은 SLine 2에 대한 실진폭 단면도(Trace-max)이다. 반사파 단면도상에서 볼 때 본 구간은 Fig. 4에서와 같이 이상구간이 분포함을 알 수 있다. 측선중 20.0~31.0 m 구간에서 굴절법 탐사결과와 같이 탄성과 반사단면이 주위보다 심부에 존재하는 것을 볼 수 있다. 이는 구간 하부에 주위와 다른 이상체가 있는 것으로 해석할 수 있다.

3.3. 자력탐사

자력자료의 처리는 불량 자료의 검색 및 제거, 일변화 보정의 과정을 거쳐 조사지역의 전자력치와 자력이상치를 구하였다.

조사지역내의 전자력치의 분포는 40655 nT ~ 502022 nT의 범위의 값으로 최 대 자력치와 최소 자력치의 차는 554 nT이다. 또한 자력 이상치의 분포는 -59.99~493.88 nT 이고 이상치 평균값은 292.24 nT이다(Fig. 5).

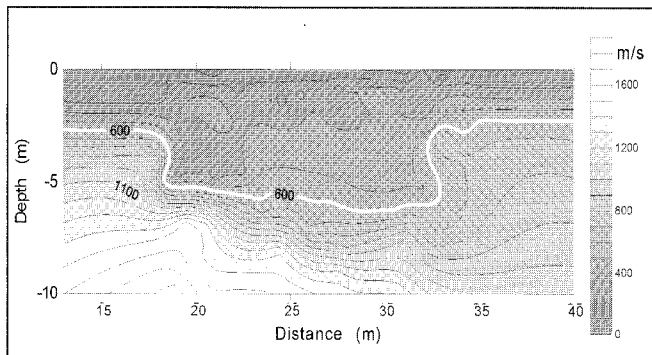


Fig. 3. Distribution of P wave velocity for the SLine 2.

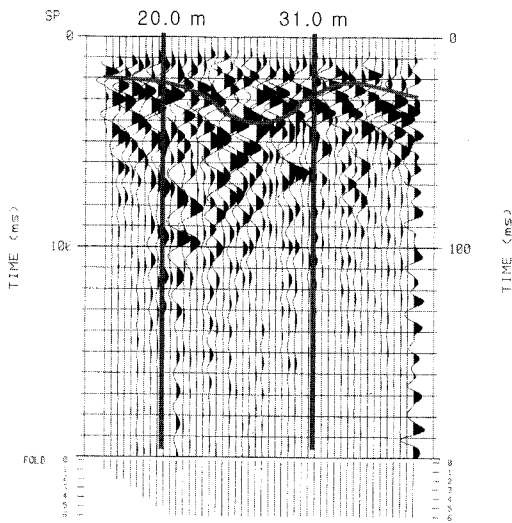


Fig. 4. SLine 2 (15 ~ 40 m) Trace-max seismic section.

자기이상은 주위 물질과 자성의 차가 있는 물질에 의하여 나타나는데, 매우 높거나 낮은 자기값이다. 자기이상을 좌우하는 요인은 자기이상의 근원이 되는 물질의 형태, 그 지역의 자기 위도에 따른 자자기장의 방향, 물질의 자화 방향, 그리고 축선의 방향 등이며, 이들은 서로 복합되어 자기이상을 일으킨다.

자기이상은 동일한 구형의 자성체라도 자성체가 위치한 자기 위도에 따라 자기 이상이 다르게 나타나는데, 이는 자기 위도에 따라 지자기장의 방향이 달라지기 때문이다. 즉, 지자기의 극 부근에서는 자기이상의 형태가 구의 중심축에 대하여 대칭이고 중심축 상에서 총자기강도는 최대치가 된다. 그러나, 저위도로 갈수록 최대치의 위치는 이동하면서 그 값은 점점 감소하는 반면 음의 이상치는 증가하며, 지자기의 적도에서 지자기장의 방향은 수평하기 때문에 자기이상은 최소치가 된다. 등자력선의 분포를 보면 남북방향으로 분포하고 있으며, 북쪽으로 갈수록 전자력치가 감소함을 볼 수 있다.

자기이상분포는 조사지역내에서 -59.99~493.88 nT 사이의 분포를 보이고 있다. 자기이상분포도 (Magnetic Anomaly Contour Map)를 보면 좌표 (15~20, 23~30 m) 구간에서 원형의 자기 이상

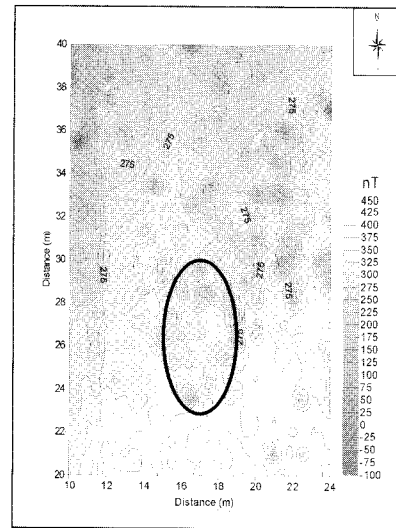


Fig. 5. Magnetic anomaly contour map of the study area.

을 보여주고 있는데, 이 구간은 전기탐사, 탄성파 굴절법, 반사법 탐사에서 지적된 이상구간과 일치함을 알 수 있다.

3.4. 중력탐사

본 연구지역의 중력치는 979825.0~979827.5 mgal 범위의 값으로 최대 중력치와 최소 중력치의 차가 2.42 mgal로 중력값의 차가 비교적 작다.

축선 Gline 1의 측정 20~40 m까지의 후리-에어 이상을 보면 남에서 북으로 갈수록 중력치가 증가하는 경향을 보이고 있다. 축선 Gline 1의 평균 이상값은 -30.3353 mgal이며, 측정 25 m에서는 주위보다 상대적으로 이상치가 -30.1894 mgal의 높은 이상값을, 측정 30, 33 m에서는 -32.10 mgal, -32.65 mgal의 상대적으로 낮은 값으로 보이고 있다.

축선 Gline 2의 측정 8~24 m까지의 후리-에어 이상을 보면 서에서 동으로 갈수록 중력치가 작아지는 경향을 보이고 있으며, 측정 Gline 2의 -30.6817 mgal의 평균값을 보이고 있다(Fig. 6).

후리-에어 이상은 일반적으로 지하 밀도에 의한 영향을 고려하지 않은 경우이므로 고도가 높은 측정일수록 양의 값으로 증가하는 경향을 보이는데 이 지역은 고도가 낮은 측정에서는 후리-에어

이상치가 크고 고도가 높은 측점에서는 후리-에어 이상치가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 중력탐사 구간 하부에 밀도가 큰 이상체가 존재하는 것으로 해석된다.

4. 결론

본 연구는 공주 능지지역에서 비파괴적으로 천부지하에서의 이상체의 존재 유무를 밝힐 목적으로 전기 비저항 탐사, 탄성과 탐사, 자력탐사, 중력탐사의 지구물리 탐사를 수행하였다. 각 탐사 자료의 해석 결과 전기비저항탐사, 탄성과 탐사, 자력탐사, 중력탐사의 고해상의 정보를 제공하여 주는 것으로 해석되었다.

전기비저항탐사 중 수평전기비저항탐사 해석결과 Line 3(25~40 m)와 Line 7(25~40 m) 구간에서 비교적 높은 비저항분포를 보이고 있으며, 특히 Line 1, 5(25~30m)의 구간에서는 고고학적인 증거를 보이는 M형태의 이상을 보이고 있으며, 또한 수직비저항탐사 결과 Line 5의 25~36 m, 심도 지표하 1.0~2.5m 구간, 측선 Line 12의 6

~16 m, 심도 지표하 1.0~2.5m 구간에서 이상을 보이고 있다. 이 부분은 지하에 주위보다 비저항이 높은 지하 공동이나 그 밖의 지하구조물 및 지질 이상체가 존재할 가능성이 있는 것으로 해석된다.

탄성과 굴절법탐사 해석결과 SLine 1, SLine 2의 18~33 m 구간에 대해 저속도층이 지하 심부까지 분포함을 알 수 있다. 또한, 반사법 탐사결과 반사파 단면도상에서 볼 때 20.0~31.0 m 구간에서 굴절법 탐사에서와 같이 탄성과 반사단면이 주위보다 심부에 존재하는 것을 볼 수 있다. 이는 지하에 매장되어 있는 지하 공간이나 이상체에 의한 현상으로 해석된다. 탄성과 자료해석에서 이상이 있는 것으로 해석된 구간은 비저항 이상으로 보이는 측점 구간과 일치한다.

전기 비저항의 이상을 보이는 지역에 대하여 전자력의 크기를 측정된 결과 좌표(15~20, 23~30 m) 구간에서 원형의 자기 이상을 보여주고 있다. 지상의 인공 구조물의 존재와 일치하지 않는 곳에서 원형의 쌍극자장의 이상을 보이는데, 이 지역은 전기 비저항 및 탄성과 자료의 이상지역과 동일하다.

전기 비저항의 이상을 보이는 지역에 대하여 중력을 탐사 결과 본 중력탐사 구간에 대해 하부에 주위와 밀도가 다른 이상체가 지하 하부에 존재할 것으로 해석된다.

이상의 각 탐사의 자료 해석을 통하여 천부지하의 정보를 유추한 결과 연구지역 Line 3(25~40 m)와 Line 7(25~40 m)에서 공통적으로 이상체가 존재하는 것으로 해석되었다. 향후 지하 이상체에 대한 보다 정밀한 지구물리탐사가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업으로 지원된 공주대학교 문화재비파괴진단연구실의 지원을 받았음을 명기하며 이에 감사한다.

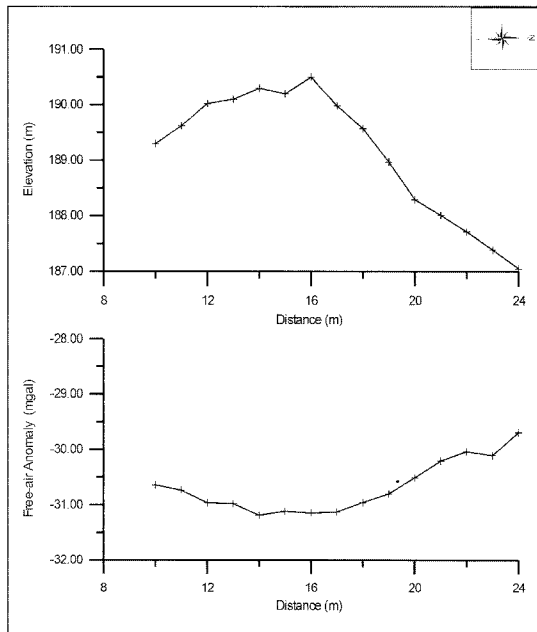


Fig. 6. Elevation and Free-air anomaly along Gline 2.

참고문헌

김경진, 1998, 중원미륵사지 석불입상 보호석실 구조안 전진단, 충청북도 조사연구보고서.

김경환, 2000, 영월터널 설계시 지반탐사 결과의 적용에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문.

김서운, 유현수, 우영균, 1976, 공주지질도폭 설명서, 한국자원연구소.

김정호, 1987, 이차원 전기비저항 탐사자료의 역산, 서울대학교 박사학위논문.

류제라, 2000, 익산미륵사지 서탑의 부재물성과 지반특성에 대한 지구물리학적 연구, 공주대학교 석사학위논문.

민경덕, 서정희, 권병두, 1987, 응용지구물리학, 우성문화사.

서만철, 1999, 경북포항시 일일동 택지개발지구의 지반상태 파악을 위한 탄성과 탐사, 지구물리, 2(1), 45-56p.

서만철, 1997, 중원 미륵사지 석불입상 보호석실 구조안 전진단, 공주대학교 기초과학연구소.

서만철, 2000, 부여 능안골 고분군 비파괴유적조사, 부여군조사보고서.

신희순, 이병주, 선우춘, 임무택, 이희일, 송운호, 김유성, 김정호, 이상규, 황세호, 정현기, 김종열, 박남서, 신중호, 신희순, 최성웅, 한공창, 송원경, 김기석, 1999, 한국암반공학 건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술, 암반공학기술강좌, 125-133p.

이상헌, 박경립, 1993, 석조문화재 보존에 관한 지질학적 연구, 문화재연구소.

오순옥, 1995, 공주 상왕동 지역의 유적 존재 가능성에 대한 지구물리학적 연구, p.85

최석원, 서만철, 2000, 구미 황상동 마애여래입상 안정성 검토 및 보강대책, 구미시조사보고서.

현전기, 이한영, 1996, 석재자원산업화기술연구, 한국자원연구소.

현전기, 1986, 한국 석재(화강암류)의 광물조성과 물리적 특성 연구, 10-12, 40-43.

物理探査學會, 1990, “土と岩”의 彈性波速度 -測定と利用-, 93p.

Clark, A. J., 1986, Archaeological geophysics in Britian, Geophysics, 51(7), 1404-1413.

Hesse, A3, Joliver, A., and A. Tabba호, 1986, New prospects in shallow depth electrical surveying for archaeological and pedological applications, Geophysics, 51(3), 585-594p.

Interpex Kimited Golden Co., 1992, Resixplus Users manual.

Loke, M. H. and Barker, R. D., Res2Dinv ver 3.33 software.

Ozdogan Yilmaz, 1987, Seismic data processing, Society of exploration geophysics, 155-229p.

Sanyo, 1978, 三洋試驗機工業株式會社 検査室 資料.

M.C. Suh, 1994, A study on attenuation of ground vibration using seismic wave, J. Nat. Sci, 3, 107-114p.

Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff R. E. and Keys, D. A., 1976, Applied geophysics, Cambridge Univ. Press.

Trllard, S., 1994, Radar experiments in isotropic geological formations(granite and schists). Geophysical Prospecting. Vol. 42, 615-636p.

Wynn, J. C., and D. I. Sherwood, 1984, The self-potential (SP) method-an inexpensive reconnaissance and archaeological mapping tool: J. of Field Archaeology, 11, 195-204p.

2001년 9월 25일 원고접수
 2001년 12월 20일 원고채택