

지구물리탐사를 이용한 경산시 환성사 일주문 지반조사

김기현¹⁾, 서만철²⁾

¹⁾(재)한얼문화유산연구원, geokh@kongju.ac.kr

²⁾공주대학교 지질환경과학과

Geophysical exploration for the Site Characteristics of Iljumun Gate in Hwanseongsa Temple

Kihyun Kim¹⁾, Mancheol Suh²⁾

¹⁾Hanul Cultural Heritage Institute

²⁾Dept. Geoenvironmental sciences, Kongju National University

요약 : 일주문 주변 지반의 지반 구조 및 상태를 파악하고 복원시 보존, 보수 방향 및 설계자료를 제공하기 위해, 탄성과 탐사, 전기비저항탐사, 평판재하시험 등의 비파괴 지구물리탐사를 수행하였다. 전기비저항탐사결과, 전반적인 전기비저항분포는 50-1300 ohm-m의 범위를 보여주고 있다. 또한 일주문 석주 남쪽 1m, 석주 3번과 4번 사이, 석주 2번과 3번 북쪽 1m 위치에서 주위보다 비교적 낮은 전기비저항 이상을 보여주고 있다. 석주 3번과 4번 사이에서 나타나는 낮은 전기비저항 이상은 탄성과 반사법 탐사결과에서 나타나는 이상구간과 일치함을 보여주고 있다. 평판재하시험 결과 허용지지력은 10.70tf/m² 이상이며, 이때의 침하량은 19.635mm로 산정되었다. 일주문 복원시 설계하중은 가정치를 적용하여 계산한 결과 16.37t/m²로 계산되었으며, 이는 허용지지력을 훨씬 상회하므로 기초지반에 대한 강화대책이 반드시 필요한 것으로 판단된다.

주요어 : 지구물리탐사, 탄성과 탐사, 전기비저항탐사, 평판재하시험

Abstract : We performed a non-destructive geophysical survey such as an elastic wave survey, electric specific resistance survey, plate loading test, etc. in order to grasp the structure and status of the ground around the pillar gate and to provide the directions and design data for preservation and maintenance during reconstruction. The result of electric specific resistance survey shows 50-1300 ohm-m range of general electric specific resistance distribution. Besides, the positions around 1m south of stone pillars, between stone pillar No.3 and 4, and 1m north of stone pillar No.2 and 3 show abnormality of relatively lower electric specific resistance than their surroundings. The abnormality of low electric specific resistance appearing between stone pillar No.3 and 4 shows consistency with the abnormal section appearing from the result of elastic wave reflection survey. The result of a plate loading test shows that allowable bearing force is over 10.70tf/m², and the settlement

amount at this time was calculated as 19.635mm. The design load during reconstruction of pillar gates was calculated as 16.37t/m² by applying assumption values, which is far more than the allowable bearing force, so it is judged that a measure to strengthen the foundation ground is necessary.

Keywords : geophysical survey, seismic survey, electrical resistivity survey, plate bearing test

1. 서론

일주문은 환성사의 사역 입구에 대웅전과 수월관을 연결하는 연장선상에 남향으로 돌기둥 네 개와 그 아래의 초석, 그리고 기단 일부가 남아 있는 상태이다. 현존하는 유구로 보아 정확한 건축연대를 비롯한 연혁의 추정은 불가능한 상태이다. 다만, 조선 인조 13(1635)년에 신감대사가 환성사를 중창하였다¹⁾는 기록과 더불어 건축양식으로 보아 대웅전이 이 시기에 조영되었을 가능성이 높다는 점을 고려할 때 일주문 역시 이 때 중창되었을 가능성이 있다고 생각된다. 창건연혁의 불확실성과 함께 일주문이 언제 소실되었는지도 정확히 알 수 없다. 다만 1872년에 작성된 하양현 지방도에 환성사의 배치를 보여주는 그림이 포함되어 있고, 그 속에 일주문으로 보이는 건물이 묘사되어 있는 것으로 보아 이때까지 일주문이 존속되어 있었던 것으로 생각된다. 이후 1962년 동아대학박물관의 최남주씨가 환성사를 조사²⁾했을 때는 이미 일주문은 소실되고 석주 4개만 남아 있는 상태였다. 현재까지 환성사 일주문은 없는 상태였으며, 2005년에 들어와서 환성사 대웅전 주변정비의 일환으로 일주문을 복원하기에 이르렀다.

석조유물의 지반환경을 밝혀내는 수단인 하나로써 비파괴 진단의 지구물리학적 접근방법이 있다. 석조문화재에 대한 지구물리학적 접근은 석조물을 중심으로 지구물리탐사를 통하여 지반 구조와 지층 상태를 파악한다(류제라, 서만철, 2001; 최희수, 서만철, 오진용, 2003). 본 연구는 일주문 주변 지반의 지반 구조 및 상태를 파악하고 복원시 보존, 보수 방향 및 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 기초야외자료는 일주문 주변의 지반의 특성을 파악하기 위하여 탄성과 탐사, 전기비저항탐사, 평판재하시험 등의 비파괴 지구물리탐사를 수행하였다.

2. 자료획득 및 처리과정

환성사 일주문 지반에 대한 정보를 얻기 위해 전기비저항 탐사, 탄성과 굴절법탐사, 반사법 탐사를 수행하였으며, 지반의 허용지내력 및 설계자료를 위해 평판재하시험을 수행하였다.

(1) 전기비저항탐사

환성사 일주문 부지의 전반적인 전기비저항 분포도를 파악하기 위해 일주문 석주를 중심

1) 權相老, 『韓國寺刹全書 下』 및 『太古寺寺法』

2) 고고미술동인회, <고고미술 뉴스 팔공산 불굴사 환성사의 조사> 『고고미술』 제3권 제12호, 통권 24호, 서울;고고미술동인회, 1962

으로 E1, E2, E3, E4, E7의 측선(남북방향)을 설치하고, 또한 부지 외곽에 동서방향 E5, E6, E8을 설치하여 수평 탐사 웨너배열(Wenner Array)을 실시하였다. 각 측선에 대해서 전극간격은 0.5m, 측정점간의 간격은 0.5m로 유지한 후, 이동하는 전류전극(C1, C2) 전위전극(P1, P2)을 실시하였고 자료의 신뢰성을 높이기 위해 한 측정점에서 4 회씩 반복 측정하였으며, 측정수치가 일정치 않을 경우 8회 반복 측정으로 조사의 정확성을 기하였다. 수직탐사에서 전극간격을 0.5~3.5m로 점차 증가시키는 웨너배열법을 활용하여 일주문 지하의 2차원 전기비저항 분포를 파악하였다.

탐사자료의 분석은 앞서 언급한 웨너배열에 맞는 겉보기 비저항(apparent resistivity) 공식을 유도하여 측정값을 겉보기비저항치로 전환하고, 전환된 값들을 이용하여 심도별 비저항의 분포와 지하의 물성 변화경향을 도시함으로써 이루어진다(김기현, 오진용, 김희란, 2005). 또한 겉보기 비저항치를 각 측선별로 정리하여 전기비저항도를 작성하였다(김기현, 서만철, 2001).

(2) 탄성과탐사

탄성과 탐사에 이용된 에너지원-수진기 배열방식은 end-on spread방법을 이용하였으며, 굴절법 탐사 R1, R2, R3, R4, R5, R6(남북방향) 및 반사법 탐사는 r7, r8(남북방향)를 설정하였으며, 각 측선에 대한 전체 Spread(발파점-최종수진기) 길이는 12 m로 설정하였다. 수진기 간격은 0.5m로 하였으며, 발파점과 최초수진기간의 거리 또한 R1~R6은 3m, r7, r8은 0.5m로 하였다(Table 1). 사용된 에너지원은 2kg 해머를 사용하였으며, 1회 타격 후 도달되는 파형을 관찰하고 자료를 기록하여 속도분석에 활용하였다. 수진기는 100 Hz의 수신기(geophone)을 이용하였으며 탄성과기록은 Geometrics사의 STRATA View system(24 channel)을 이용하였다. 탐사에 적용된 자료획득변수는 Table 1에 정리하였다. 탄성과 측선에 따라 얻어진 정방향과 역방향의 야외자료는 현장에서 디지털 자료로 저장된다(최희수, 서만철, 오진용, 2003). 굴절법 자료는 각각의 측정점자료를 실내에서 적절한 크기로 출력하여 각각의 초동시각(first arrival time)을 읽어 주시곡선을 작성하였다. 측정별 주시곡선에서 기울기가 달라지는 구간을 나누어 최소자승법을 이용한 최적 직선의 기울기와 절편을 구하여 측정 구간의 탄성과 속도와 각 층의 두께를 구하였다. 또한, 본 연구에서는 상용프로그램을 이용하여 연속 측정점들의 주시곡선으로부터 전체 측선의 2차원 탄성과 속도분포도를 작성하였다(류제라, 서만철, 2001; 류제라, 서만철, 2003; 최희수, 서만철, 오진용, 2005). 단일채널 탄성과 반사단면도 작성을 위한 자료처리에 앞서 우선 모든 탄성과 측정자료에서 0.5m의 송수신 간격을 갖는 트레이스를 취합하였다. 취합된 자료에 대하여 이득 조절과 필터링을 통하여 일주문 주변 지반에 대한 단일채널 반사파단면도를 제시하였다.

(3) 평판재하시험

환성사 일주문 주변의 지내력을 파악하기 위해 전기비저항 탐사 결과, 상대적으로 저비저항의 이상을 보이는 4개소에 대하여 평판재하시험을 수행하였다. 평판재하시험을 수행하기 위해 조사위치의 유기물이 번성하여 있는 표토층을 약 10~15cm 걷어낸 후 재하시험이 되지 않을 정도의 두께를 가진 원형의 30cm인 재하판을 설치하였으며, 재하장치로 포크레인을 사용하였다. 평판재하시험을 시행하기 위한 제반 준비가 끝나면 재하판을 지반에 밀착시키기 위하여 약간의 압력(0.5t/m²)을 재하판에 가했다가 제거한 후 다이알 게이지의 영점을 조정한다. 재하판에 하중을 가하는 방법은 여러 가지가 사용되고 있으나 본

연구에서는 하중을 일정하게 증가시키며 침하량을 측정하는 등시차 재하법을 사용한다. 이때 침하량 측정은 재하 직후 1, 2, 4, 8, 15, 30, 45, 60분마다 측정하며 각 단계별로 침하량의 증분이 거의 정지되었다고 판단될 때 이를 종료시점으로 하였다.

Table 1. Acquisition parameters for the seismic survey

acquisition parameter	환성사 일주문 복원 부지
source type	2 kg hammer
number of channel	24 CH
natural frequency of geophone	100 Hz
geophone Interval	0.5 m
near trace offset	3m(R1~R6) / 0.5m(r7, r8)
record length	0.512 s
sample rate	0.125 s
notch filter	Out
spread type	End-on Shot, Pushing the Cable

3. 지반환경해석

(1) 전기비저항탐사

일주문을 중심으로 8축선을 설치하여 일주문 부지의 전반적인 전기비저항 수평적 변화를 살펴보기 위해서 수평 탐사 웨너배열을 수행하였다. 전기비저항탐사결과, 전반적인 전기비저항분포는 50~1300 ohm-m의 양상을 보여주고 있다. 또한 일주문 돌석주 남쪽 1m, 돌석주 3번과 4번 사이, 돌석주 2번과 3번 북쪽 1m 위치에서 주위보다 비교적 낮은 전기비저항 이상으로 보여주고 있다. 돌석주 3번과 4번 사이에서 나타나는 전기비저항 이상은 탄성과 반사법 탐사결과에서 나타나는 이상구간과 일치함을 보여주고 있다(Fig. 1).

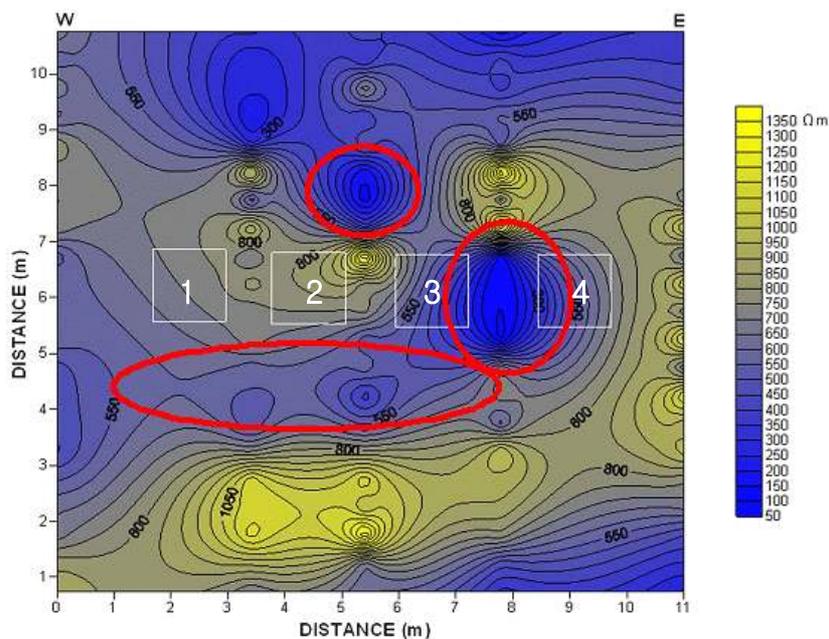


Fig. 1. Resistivity map using the wenner array with pole interval 0.5m

(2) 탄성과탐사

탄성과 굴절법탐사의 결과, 환성사 일주문 지반의 분포 양상을 보면 1 층은 104~698 m/sec의 풍화토층에 해당하는 탄성과속도를 가지며, 2 층은 701~1176m/sec의 탄성과 속도를 갖는 풍화암(Weathered rock)층, 3 층은 1212~1890m/s의 탄성과 속도를 갖는 연암(Soft rock)층에 해당하며, 4 층은 1904.0~m/s의 탄성과 속도를 갖는 보통암층에 해당한다. 층간 경계면 분포를 살펴보면 1층과 2 층간 경계면은 지표하 0.10~5.44 m, 2 층과 3층간 경계면은 지표하 1.39~5.63m 깊이, 3 층과 4 층간 경계면은 지표하 1.59~7.29m 깊이에서 확인된다(Table 2).

Table 2. The Velocity structure of the subsurface of Iljumun Gate

Line (SN)	P-wave velocity of layer (m/s)				Boundary depth(m)		
	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd
R1	198~700	711~1157	1251~1878	2160~	0.14~3.78	2.38~4.31	3.32~6.79
R2	124~606	740~1142	1212~1868	1904~	0.26~5.44	1.74~5.63	2.31~7.34
R3	113~579	714~1142	1212~1860	1904~	0.21~3.27	1.65~4.91	2.37~5.22
R4	126~689	754~1000	1337~1818	1904~	0.10~3.60	1.68~4.95	3.01~6.50
R5	117~666	741~1176	1212~1632	-	0.65~3.26	1.39~5.38	-
R6	104~689	701~1176	1212~1890	1999~	0.40~3.28	1.99~5.45	1.59~7.29

(3) 평판재하시험

일주문 주변지반의 지지력 및 침하량을 산정하여 구조물 기초설계 하중에 대한 지내력 확인 및 기초공사의 제반자료를 제공하기 위해, 일주문 복원부지에 대한 허용지지력은 하중(P)-침하(S) 곡선법을 사용하여 산정하였다. 분석결과 상재하중을 42.46tf/m² 까지 단계적으로 재하하여도 절점압력을 보이지 않고, 일정한 침하율로 총 19.635mm의 침하량을 보이므로 본 기초지반에서의 항복하중을 측정하지 못하였다. 따라서 본 기초지반의 최종하중을 항복하중으로 할 경우 허용지지력은 10.70tf/m² 이상으로 판단되며, 이때의 침하량은 19.635mm로 측정되었다.

4. 결론

본 연구는 문화재라는 대상에 지구물리학적 탐사를 적용하여 우리 문화유산의 보존, 보수의 방향 및 설계자료로 활용을 목적으로 하였다(류제라, 서만철, 2001). 일주문 주변 지반의 지반 구조 및 상태를 파악하고 복원시 보존, 보수의 방향 및 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 기초야외자료는 일주문 주변의 지반의 특성을 파악하기 위하여 탄성과 탐사, 전기비저항탐사, 평판재하시험 등의 비파괴 지구물리탐사를 수행하였다.

1. 환성사 일주문 주변의 토질의 색은 흑갈색을 띠고 있으며, 토양입자는 비교적 사질이 많이 포함되어 있으며, 트렌치 조사 결과는 다음과 같다.

일주문기둥	①	②	③	④
	Trench A		Trench B	
시굴크기	340 × 100 cm		357 × 60 cm	
토질상태	- 색은 흑갈색을 띠고, 토양입자는 비교적 사질을 많이 포함 - 유기물 다량 포함 - 토양내에 자기와 기와 조각 등 포함			
초석깊이	평균 36 cm 깊이로 분포 밀면이 불규칙한 모양		평균 73 cm	평균 62 cm
기초지반	화강암질 암석으로 이루어진 촘촘한 다짐		Trench A와 다른 듬성듬성한 잡석다짐	
토양단면	시굴 토양단면은 한층으로 이루어져 다른 변화는 보이지 않음			

2. 탄성과 굴절법탐사의 결과, 환성사 일주문 지반의 분포 양상을 보면 1층은 104~698 m/sec의 풍화토층에 해당하는 탄성과속도를 가지며, 2층은 701~1176m/sec의 탄성과 속도를 갖는 풍화암(Weathered rock)층, 3층은 1212~1890m/s의 탄성과 속도를 갖는 연암(Soft rock)층에 해당하며, 4층은 1904.0~m/s의 탄성과 속도를 갖는 보통암층에 해당한다. 층간 경계면 분포를 살펴보면 1층과 2층간 경계면은 지표하 0.10~5.44m, 2층과 3층간 경계면은 지표하 1.39~5.63m 깊이, 3층과 4층간 경계면은 지표하 1.59~7.29m 깊이에서 확인된다.
3. 전기비저항탐사결과, 전반적인 전기비저항분포는 50-1300ohm-m의 범위를 보여주고 있다. 또한 일주문 석주 남쪽 1m, 석주 3번과 4번 사이, 석주 2번과 3번 북쪽 1m 위치에서 주위보다 비교적 낮은 전기비저항 이상을 보여주고 있다. 석주 3번과 4번 사이에서 나타나는 낮은 전기비저항 이상은 탄성과 반사법 탐사결과에서 나타나는 이상구간과 일치함을 보여주고 있다.
4. 평판재하시험 결과 허용지지력은 10.70tf/m²이상이며, 이때의 침하량은 19.635mm로 산정되었다. 일주문 복원시 설계하중은 가정치를 적용하여 계산한 결과 16.37t/m²로 계산되었으며, 이는 허용지지력을 훨씬 상회하므로 기초지반에 대한 강화대책이 반드시 필요한 것으로 판단된다.
5. 탄성과 탐사, 전기비저항탐사, 평판재하시험 결과, 일주문 복원시 기초지반에 대한 문제점이 나타났으며, 이에 따른 기초지반에 대한 보강기초공법이 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한 보강기초공법 적용시, 전통양식을 계승하여야 하는 문화재인 점을 감안하여 전통기초보강방식인 터다지기(입사지정, 관축지정, 강회다짐) 등을 적용해야할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김기현, 서만철, 2001, 공주 능치지역 천부 지하구조에 대한 지구물리학적 연구, 지구물리, 4(2), 103-112
- 김기현, 오진용, 김희란, 2005, 전기비저항탐사법을 이용한 공주 공산성 쌍수광장 지반조사, 문화재과학기술, 4(1), 29-36
- 류제라, 서만철, 2001, 익산미륵사지 지반특성에 대한 지구물리학적 연구, 지구물리, 4(1), 1-10
- 류제라, 서만철, 2004, 춘궁리오층석탑 지반특성에 대한 지구물리탐사, 문화재과학기술, 3(1), 21-28
- 최희수, 서만철, 오진용, 2003, 불국사 석탑의 물성 및 지반특성 조사, 문화재과학기술, 3(1), 141-154