

탄성파탐사를 이용한 공주 공산성 원형연못의 지반조사

오진용^{1*} · 서만철^{1,2}

¹공주대학교 문화재비파괴진단연구실, ²공주대학교 지질환경과학과

Site Characteristics Around the Gongsansung Circular Pond in Gongju Based on the Seismic Methods

Jinyong Oh^{1*} and Mancheol Suh^{1,2}

¹Nondestructive Research Lab. Cultural Property (NRLCP), Kongju National University, Kongju 314-710, Korea

²Department of Geoenvironment, Kongju National University, Kongju 314-710, Korea

We applied the seismic method to investigate the site characteristics around the Circular Pond (top diameter 7.3 m, bottom diameter 3 m, and depth 4.78 m) at the Ssangsujeung Park within the Gongsansung in Gongju. Previous excavations for the cultural assets beneath the Ssangsujeung Park disclosed the assumed site of the Palace of the Beakje Dynasty and the Circular Pond containing the Bakje relics. We demonstrated that the seismic prospecting can be applicable to delineate the underground structure around the cultural properties by the three kinds of seismic approaches: walk-away test, conventional refraction method, and equal-distance refraction survey. The last method which is designed by this work can detect the E-W variations of seismic velocity in the subsurface medium across the Circular Pond on the basis of the difference of the P-wave arrival times between the 1-m-spacing 24 geophones and the corresponding 24 shots parallel with the geophone profile. From the combined results, prominent three-layer velocity structure is observed around the Circular Pond. The bottom layer is interpreted as the basement rock which is exposed near the Ssangsujeung whereas the upper layer with relatively lower velocities is interpreted to be the artificial covering. The basement depth beneath the Circular Pond is deeper than the northern area. The western basement of Circular Pond has the thicker weaker layer compared with the eastern part. Thus, the middle layer could be constructed as the artificial foundation during the Beakje Dynasty. Consequently, the Gongsansung Circular Pond is possibly built upwardly rather than digging.

Key words : site characteristics, Gongsansung Circular Pond, Beakje relics, seismic method, equal-distance refraction survey

충청남도 공주시 공산성 쌍수정 광장 남쪽에 위치한 원형연못(상면직경 7.3 m, 바닥직경 3 m, 깊이 4.78 m) 부근의 천부 지반구조를 밝히기 위하여 탄성파 조사를 실시하였다. 기존의 문화재 발굴조사를 통하여 쌍수정 광장은 백제 추정왕궁지가 위치한 곳으로 알려졌으며, 이 때에 원형연못도 발굴되었다. 문화재 지반조사에 대한 탄성파 탐사의 유용성을 확인하기 위하여 축선이동시험(walkaway test), 전통적인 굴절법 탐사, 그리고 등간격 굴절법탐사를 적용하였다. 등간격 굴절법탐사는 처음 시도한 방법으로서 원형연못 및 주변의 지반을 통과한 선두파들 사이의 도달시간 차이를 측정하여 원형연못의 동쪽과 서쪽 지반의 차이점을 파악하였다. 전반적인 공산성 원형연못 주변 지반의 탄성파 속도구조는 3층 구조이다. 최하부 층은 쌍수정 주변에 노출된 기반암의 연장으로 해석하였으며, 최상부 및 중간층은 인공적인 기초지반으로 해석하였다. 원형연못의 기반암은 쌍수정 광장의 북쪽 지반에 비하여 더 깊은 곳에 위치하며, 원형연못의 서쪽 지반이 동쪽지반에 비하여 더 두꺼운 연약층이 분포한다. 중간층은 백제시대 원형연못을 축조할 때의 다짐층으로 해석하며, 이를 근거로 공산성 원형연못은 파내려 가며 축조된 것이 아니라 쌓아 올려 축조되었을 가능성을 제기한다.

주요어 : 지반특성, 공산성 원형연못, 백제유물, 탄성파 방법, 등간격 굴절법탐사

*Corresponding author: class@kongju.ac.kr

1. 서 론

고고학 및 문화재 관련 분야에서는 발굴 및 보존하기에 앞서 정밀한 진단이 우선적으로 요구되기 때문에 지구물리탐사의 활용 기회는 점점 커지고 있다. 특히, 탄성과 탐사를 비롯한 지구물리탐사는 비파괴 진단이 주요 장점이며, 향상된 성능의 측정계기의 등장으로 고해상(high resolution)의 지반환경 조사가 가능하게 되었다(서만철 등, 2004). 국내에서도 지구물리학적 방법을 이용하여 유적지를 찾아내거나(서만철과 이남석, 2000; 김기현과 서만철, 2001), 유적지에 대한 지속적인 관찰을 하거나(Suh, 2001; Suh *et al.*, 2004), 석조문화재 주변의 지반을 조사하거나(류제라와 서만철, 2001; 오선환과 서만철, 2001; 이성민 등, 2002; 서만철 등, 2002, 2003), 석조물 자체의 물성을 측정하였다(서만철 등, 2001). 최근에는 국내에서 고고학과 분야에 대한 지구물리탐사 적용에 대한 종합적인 연구 발표되었다(한국물리탐사학회, 2004). 외국에서는 유적지 지반에 대한 천부 탄성파탐사는 유용하게 사용된다(Vafidis *et al.*, 2003).

탄성파탐사는 인공 지진원을 이용하여 지하 지질구조나 암석의 물리적 특성을 규명하고 지하에 매장되어 있는 석유, 가스 또는 광물자원을 탐사하는 방법으로 가장 많이 사용되는 지구물리탐사이다. 20세기 초에 처음 소개된 굴절법 탐사는 지하 매질의 속도 정보를 알 수 있어 근래에는 비교적 얇은 지반 탐사에도 적용하여 지하 구조를 건설 및 지하수 오염 등의 민감한 환경문제 해결에 필수적인 정확한 천부구조 파악에 활용되고 있다. 이들을 위한 탄성과 탐사에서 일반적으로 이용하는 발파점(에너지원 위치)-수신기 전개방식에는 끝점발파(end-on shot)와 중간발파(split shot)가 있다. 그러나, 문화재 지반 환경을 위한 탐사는 공학적 탐사보다 조사지역이 비교적 규모가 작은 반면 정밀한 결과를 얻어야 할 필요가 있다. 따라서, 기존의 전개 방법은 물론 여러 가지 방법의 자료취득이 중요한 역할을 할 수 있다. 이번 연구에서는 기존 전개 방법 이외에도 공통수신점 배열과 등간격 배열을 적용하여 문화재 지반조사를 시도하였다. 공통수신점 배열(common receiver point array)은 초창기 해양 굴절법탐사에서 사용되었던 방법으로 수신기 하나를 고정시키고 발파점을 한 방향으로 이동시켜 자료를 취득하는 방법이다. 등간격 배열은 이번 연구를 통해 새롭게 시도하는 방법이다.

이 연구의 목적은 충청남도 공주시 공산성내에 위치

한 쌍수정 광장 (혹은 공산성 운동장) 남쪽에 위치한 원형연못 부근의 천부 지반구조를 밝히는 것이다. 쌍수정 광장은 기존의 문화재 발굴조사를 통하여 백제 추정왕궁지가 위치한 곳으로 알려졌으며, 이 때에 원형연못(상면직경 7.3 m, 바닥직경 3 m, 깊이 4.78 m)도 발굴되었다(안승주와 이남석, 1987). 탄성과 탐사는 2003년 4월과 5월에 쌍수정 광장에서 원형연못을 중심으로 설치한 축선을 따라서 실시하였다. 연구 결과는 쌍수정 광장의 조성 및 공산성 원형연못의 축조에 대한 이해를 높이는 데 도움을 줄 것이다.

2. 쌍수정 광장

충청남도 공주시 금성동, 산성동, 옥룡동에 위치하는 공산성은 사적 12호로 지정된 백제시대의 산성이다(Fig. 1). 해발 110 m의 분지형 야산에 위치한 공산성의 형태는 동서 길이가 약 800 m, 남북 길이가 약 400 m가 되는 포곡형 형태를 띠고 있다. 원래 백제시대에는 토성으로 만들어졌으나 조선시대에 대부분 현재와 같은 석성으로 개축되었다(안승주와 이남석, 1987). 이 산성은 백제시대에는 물론 조선시대까지의 지방행정의 중심지로서 사용되었는데, 성의 명칭은 백제시대에는 웅진성, 고려시대이후에는 공주산성·공산성, 조선시대 인조이후에는 쌍수산성으로 불리기도 하였다. 성내에는 진남루·공북루·쌍수정·명국삼장비·쌍수산성사적비·영은사·연지·임류각·군창지·동문·서문 등의 유적이 있다.

공산성은 인조대왕이 1623년 이괄의 난을 피하여 일시 파천하여 머물렀던 장소였는데 이와 관련하여 영조 10년에 쌍수정이 건립되었다. 쌍수정 앞에 광장은 표고 85 m. 너비 약 6,800의 면적으로, 공산성내에서 비교적 넓고 평평하다(Fig. 1). 쌍수정 광장 전 지역에 걸쳐 1985년과 1986년에 걸쳐 발굴조사를 실시하였다(안승주와 이남석, 1987, 1992). 발굴 결과 건물지를 비롯하여 원형연못과 목곽고 및 저장구덩이 등이 발굴되었고, 일부 건물지는 백제의 추정왕궁지로 알려졌다. 원형연못은 쌍수정 광장의 중앙에서 남쪽으로 치우쳐 위치한다. 원형연못은 위치의 외형상으로 조경 시설 또는 왕궁에서 쓰는 물을 외부에서 길어다 저장하던 시설로 추정하고 있다. 지금까지 규명된 원형연못의 구조는 지면을 깊게 파고 그 안에 자연석의 원형을 쌓아 만든 형태이다(Fig. 2). 발굴 당시 연못 안에는 흙이 완전히 채워져 있었으며, 기와 종류를 비롯하여 토기, 개물, 등잔, 벼루 등 다수의 백제유물들이 출토되었다.

공산성 지역의 노두는 금강을 따라 노출되어 있고, 쌍

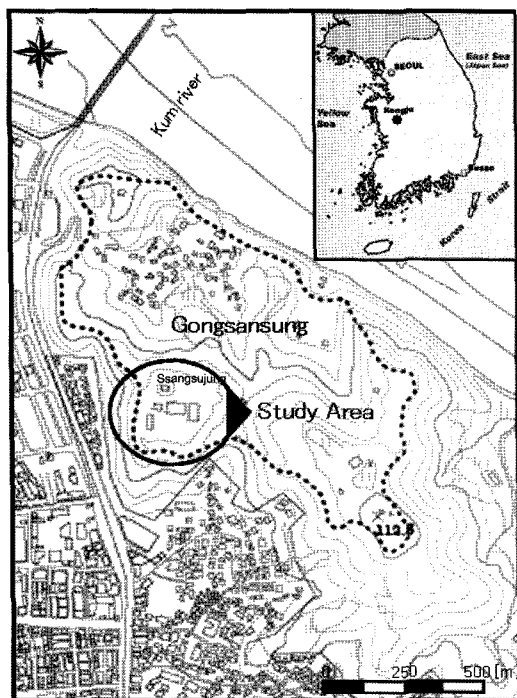


Fig. 1. Location map of the study area.

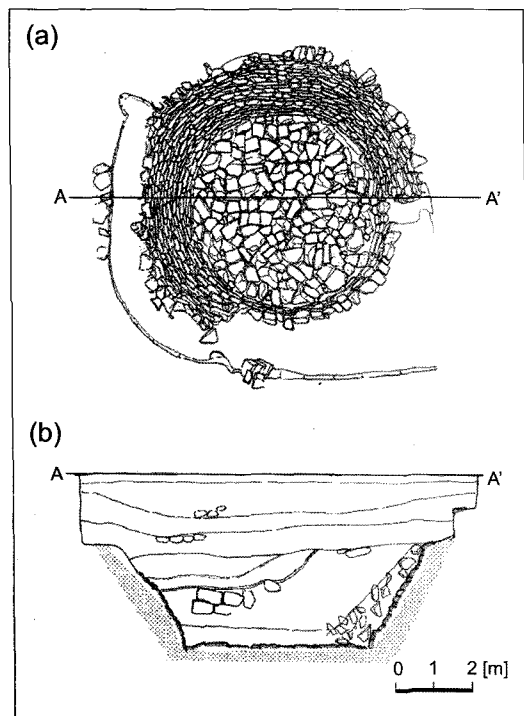


Fig. 2. Gongsansung Circular Pond with (a) plane view and (b) cross section unfolded by the early excavation (modified from Ahn and Lee, 1987).

수정 등 성내에서도 일부가 관찰된다. 김서운 등(1976)에 의하면, 공주지역의 노두는 주로 혼성편마암으로 운모편암이 주로 화강암류의 관입에 의하여 생성된 것인데, 중립 내지 세립의 장석, 석영과 흑운모 그리고 녹니석 등의 유색광물로 이루어져 있다. 운모편암을 관입한 화강암류는 주로 반상암쇄편마상화강암이며, 국부적으로 편마상화강암과 흑운모화강암에 의한 관입의 영향도 받았다.

원형연못이 위치한 쌍수정 광장은 동서로 약 110 m, 남북으로 90 m 정도의 둥그런 형태의 대체로 평탄한 광장이다. 광장의 북쪽에는 광장보다 6~7m의 높은 대지에 쌍수정이 있는데, 광장과는 계단으로 연결되며 계단 주변에 기반암이 노출되어있다. 광장의 남쪽에는 원형연못이 있으며, 그 남쪽의 광장 경계부는 급한 사면이 발달되어 있어 공산성 성벽사이에 소계곡의 형태를 보인다.

3. 탄성과 탐사

공산성 원형연못 주변의 지반 조사를 위한 탄성과 탐사는 먼저 측선이동시험(walkaway test)을 실시하였고, 그후로 전개된 하나의 수신기측선에 대하여 동서 남북 방향의 측선을 따라서 타격을 실시하여 야외자료를 취득하였다(Fig. 3). 수신기측선은 공산성 원형연못에서 북쪽으로 5 m 이격시켜서 24개의 수신기를 동서 방향으로 1 m 간격으로 배열하였고, 측선 중앙은 원형연못의 중심부와 일치시켰다. 사용한 수신기의 고유주파수는 100 Hz이다. 이번 연구에서는 기록된 P파의 초동파를 대상으로 하였다.

발생원측선은 수신기 측선에서 남북으로 각각 21 m 이격시켜 수신기측선과 평행하게 2개 측선을 전개하였고, 동서 방향의 2개 측선은 수신기 측선 방향과 연장하여 전개하였다. 탄성과 에너지원은 2 kg 햄머를 원형철판에 타격하여 얻었다. 탐사자료의 기록은 햄머 1회 타격 후 나타난 탄성과 트레이스의 유용성을 관찰한 후에 저장 유무를 결정하였고, 중합(stack)을 실시하지 않았다. 기록된 탄성과 트레이스는 0.125 ms의 취동 간격으로 0.512초 길이를 갖는다. 기록기는 OYO사의 24채널용 GEO-SPACE DAS-1 system이다. 개인용컴퓨터에 옮겨진 야외자료는 공개소프트웨어인 SU (seismic unix)를 이용하여 자료처리를 실시하였다.

3.1. 측선이동시험(walkaway test)

쌍수정 광장의 천부지반이 갖는 일반적인 속도 정보를 알기위하여 발생원 위치를 고정하고 수신기 배열을 이동시키는 탐사를 실시하였다(Fig. 3). 수신기 간격 1

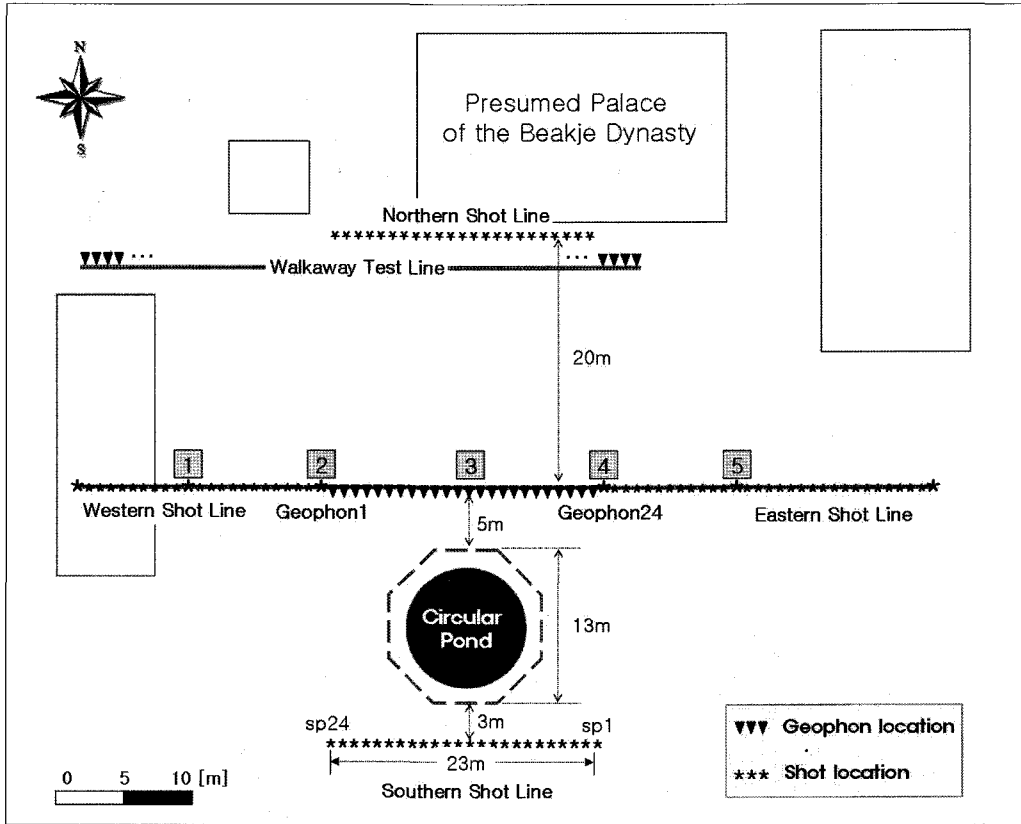


Fig. 3. Configuration of the survey lines. Seismic surveys are divided into two groups. One is for the walkaway test and the other is consisted of one geophone line and four shot lines. Gongsansung Circular Pond is located between the geophone line and the southern shot line.

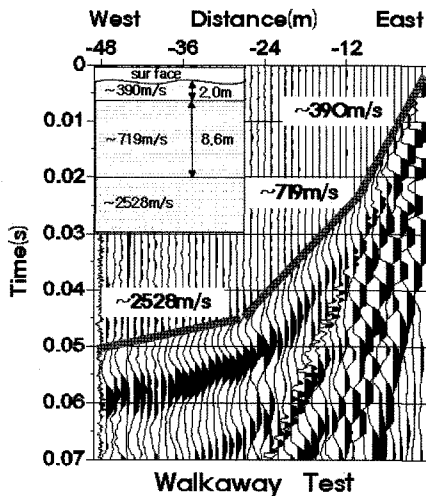


Fig. 4. Field record of upper 0.07s after the walkaway test. Neither filtering nor automatic gain control is applied. First arrivals (thick lines) indicating three apparent velocities can be interpreted as the possible three-layer horizontal structure (in box). See Fig. 3 for the location.

m인 24채널 수신기 그룹에 대하여 1회 타격후 자료를 얻은 후, 수신기 배열을 서쪽으로 24 m를 이동시킨 후 동일한 지점에서 타격을 하여 얻은 자료를 합하면 총 48채널(최대 수신기 이격거리 48m)가 되는 자료가 된다. 취득한 야외자료에 아무런 자료처리를 하지 않은 결과를 Fig. 4에 상부 70 ms만을 제시하였는데, 이 구간에서는 초동파가 쉽게 관찰된다. 초동파의 주시곡 선으로부터 뚜렷한 3개 지층이 쌍수정 광장 천부에 분포함을 알 수 있다. 각층의 겉보기속도는 상부층으로부터 ~390 m/s, ~719 m/s, ~2528 m/s이며, 수평층을 가정하여 계산한 층의 두께는 최상부층은 2m, 그 하부층은 8.6 m이다(Fig. 4). 각 도달파의 정확한 판별을 위하여 야외자료에 필터링을 하였다(Fig. 5). 직접파와 굴절파는 100~200 Hz 필터링을 한 후에 뚜렷하게 관찰되었으며, 공기파와 반사파는 500~800 Hz 필터링한 결과에 선명하게 나타난다. 천부 탄성파탐사에서는 흔히 반사파는 일반적으로 인식하기 어렵지만, 탄성파 도달시간이 Fig. 4와 5에서 확인된 직접파보다 느리기

때문에 반사파로 해석한다.

3.2. 전통적인 굴절법 탐사

원형연못에서 북쪽으로 5m 지점에 설치된 수신기측 선 부근의 천부 탄성과 속도구조를 파악하기 위하여 2 가지 방법의 굴절법 탐사를 적용하였다. 첫 번째 방법에서는 동서 방향의 측선에서 총 5 곳의 타격지점(측선 중앙, 측선 양 끝점, 양 끝에서 12m 이격) 설정하여 얻은 야외자료로부터 굴절파를 분석하였다. Fig. 6에 이들 자료를 나타내었는데, 선두파의 뚜렷한 기울기 변화를 관찰할 수 있으며 이로부터 3층 구조를 쉽게 추정할 수 있다. 이들 자료의 주시곡선의 작성을 위한 초동(first arrival) 분석에서는 탄성과 파형의 미세한 왜곡 가능성 때문에 아무런 자료처리를 하지 않

은 야외자료를 사용하였다. 초동을 분석한 후 상용프로그램(Intelligent Resources사의 RAYFRAC)을 이용하여 수신기 측선하부의 2차원 탄성과 속도분포도를 작성하였다(Fig. 7).

두 번째 굴절법 탐사방법으로 공통수신점 배열을 이용하였다. 수신기 측선의 양 끝에 위치한 수신기를 공통수신점으로 하여 동쪽과 서쪽의 타격측선의 각 측정자료들에서 최근접 트레이스들을 취합하여 굴절법 탐사자료를 제작하였다. Fig. 8은 동쪽끝 수신기(채널 1)와 서쪽끝 수신기(채널 24)에 대한 공통수신점 모음자료를 보여준다. 자료 제시를 목적으로 필터링과 자동이득조절(automatic gain control) 자료처리 기법을 적용하였다. 공통수신점자료에서 일찍진 초동과 도달시각은 기울기가 달라지는 구간을 나누어 최소자승법을 이

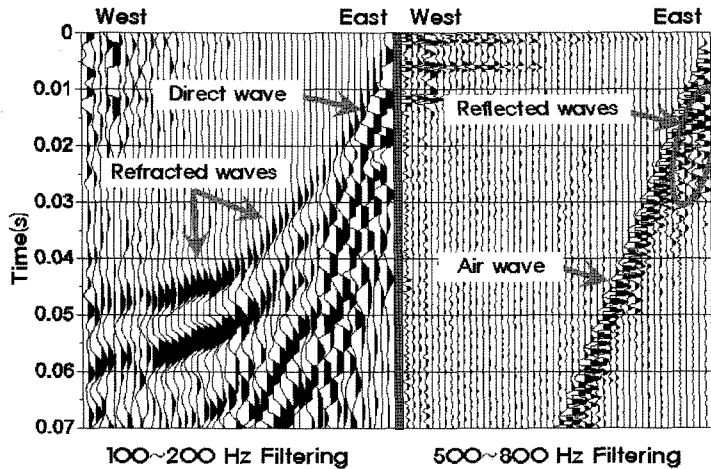


Fig. 5. Seismogram after bandpass filtering for the results of walkaway test. First arrivals are can be easily recognised by lower bandpass (50-100-200-400 Hz) filtering (left). Air waves and possible reflected waves are clearly seen after higher bandpass (250-500-800-1600 Hz) filtering (right).

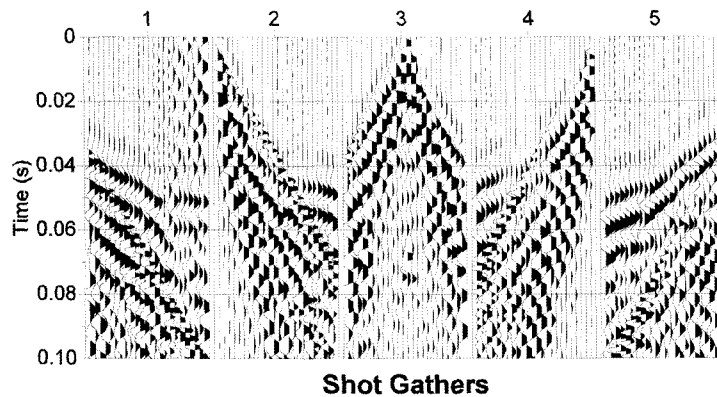


Fig. 6. Five shot gathers are selected for the refraction analysis. Bandpass filtering is applied for display purpose. See Fig. 3 for locations (numbers in rectangular).

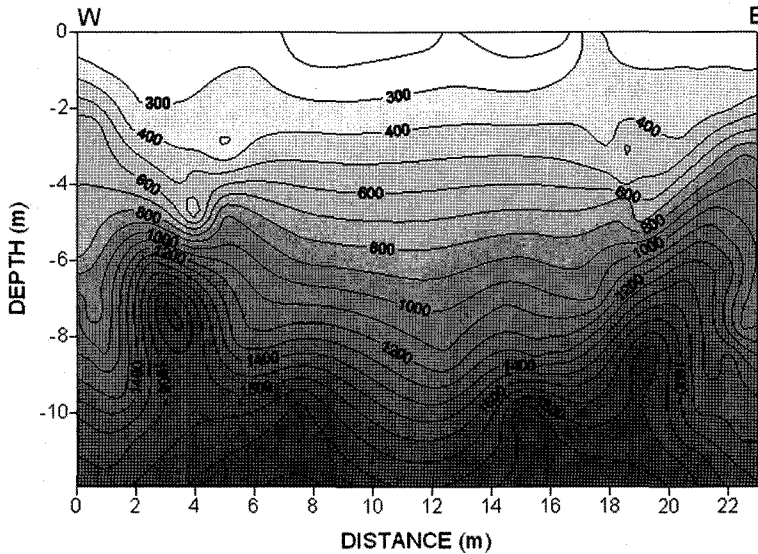


Fig. 7. Velocity structure beneath the geophone line based on the interpretation of five shot gathers of Fig. 6.

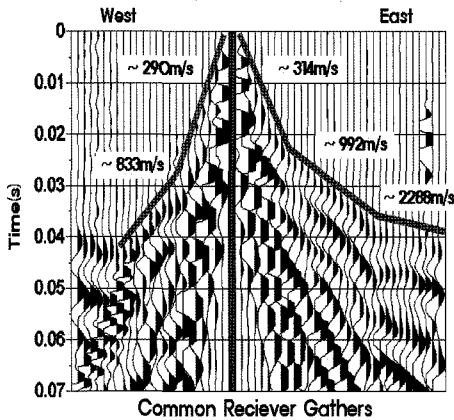


Fig. 8. Common receiver point (CRP) gathers with bandpass filtering for geophones 1 and 24 and the interpretation of the first arrivals (thick lines). CRP gathers 1 and 24 are constructed by the western and eastern shots, respectively. See Fig. 3 for location.

용한 직선 방정식을 얻었다. 이 직선식에서 기울기의 역수를 취하여 각 층의 겹보기속도를 구하였다. 이 결과는 지하매질이 수평층이라고 가정할 때 가능하며, 그 이유는 측정자료와 공통수신점자료의 주시곡선이 동일하기 때문이다. 동쪽측선과 서쪽측선의 하부에서도 3층 구조가 관찰되며, 뚜렷한 차이점은 서쪽 측선하부의 두 번째 층의 속도가 상대적으로 낮다는 것이다(Fig. 8).

3.3. 등간격 굴절법탐사

원형연못 하부의 지반과 주변의 지반을 통과한 도달

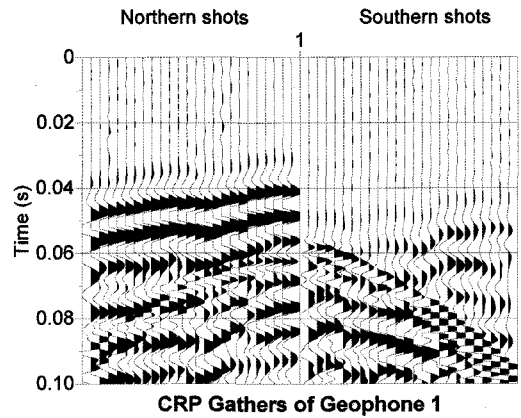


Fig. 9. Two common receiver point gathers of Geophone 1 from the northern and southern shots. Center traces are the nearest offset records and edge traces have the largest offset from both shot lines. True amplitude display without filtering. High-frequency curve events below 0.06s are air waves. See Fig. 3 for location.

파들 사이의 차이점을 알기 위하여 등간격 굴절법탐사를 시도하였다. 수신기측선과 남쪽 타점측선 사이에는 원형연못이 위치하고 있으며 북쪽 타점측선 사이의 지표면 근처에는 아무런 구조물이 없다. 측선사이의 간격은 21m이다. 수신기측선에 1m 간격으로 전개된 24개의 수신기 위치와 대응되게 남북 타점측선을 따라서 각각 24개 위치에서 타격하여 총 24개의 야외자료를 얻었다. 이들 중에서 선택 혹은 조합을 통하여 3종류의 합성자료를 만들었다(Fig. 9, 10, 11, 12). 측선이

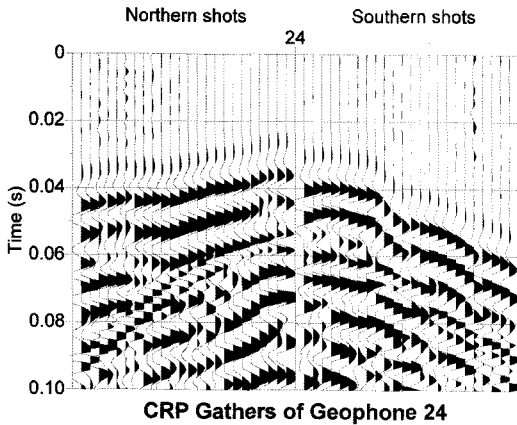


Fig. 10. Two common receiver point gathers of Channels 24 from the northern and southern shots. True amplitude display without filtering. See Fig. 3 for location.

동탐사와 굴절법탐사의 결과에 근거할 때, 야외자료에 나타난 선두파는 두 번째 층의 굴절파로 해석된다.

첫번째는, 공동수신점 모음자료로서, 동쪽끝 수신기(채널 1; Fig. 9)와 서쪽끝 수신기(채널 24; Fig. 10)에 대한 북쪽과 남측 타격측선의 결과를 제시하였다. 각 그림에서 공동수신점은 중앙에 위치하며, 왼쪽은 북쪽 타격 자료조합이며 오른쪽은 남쪽타격 자료조합이다. 뚜렷한 차이는 북쪽에 비하여 남쪽의 선두파의 도달시간이 느리다는 점과 남쪽에서도 서쪽이 동쪽보다 더 느리다는 것이다. 두 번째 자료는 북쪽과 남쪽 측선의 중앙에 위치한 타격에 의한 측정자료 모음이다(Fig. 11). 여기에서도 Fig. 9와 10에서 나타난 결과와 같이 남쪽의 매질이 북쪽보다, 그리고 남쪽이라도 서쪽 매질이 동쪽 매질보다 탄성과 속도가 더 느리다는 것이다. 마지막으로 야외자료 중에서 각 수신기에 1:1로 대응되는 트레이스를 선별하여 남북 측점에 대한 등간격 굴절법 탐사자료를 만들어서 Fig. 12에 제시하였다. 쌍수정 연못을 중심으로 첫 번째 굴절파의 주기가 <math><20\text{ ms}</math>의 차이를 보이는데, 이는 서쪽 지반과 동쪽 지반이 갖는 현저한 탄성과 속도차이 때문으로 해석한다.

4. 토 의

4.1. 탄성과 속도구조

공산성 원형연못의 북쪽 천부지반의 탄성과 속도구조는 특징적으로 3층구조를 갖는다(Figs. 6, 7, 8). 그러나, 원형연못을 중심으로 동쪽지역이 서쪽지역보다 선두파의 도달속도가 상대적으로 빠르며, 첫 번째 굴

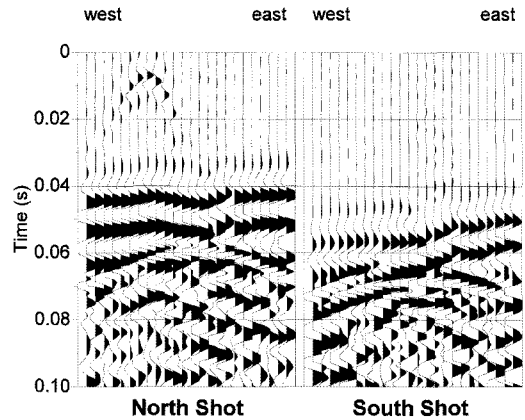


Fig. 11. Two shot gathers of the middle of the north (left) and the south (right) lines, respectively. True amplitude display without filtering. See Fig. 3 for location.

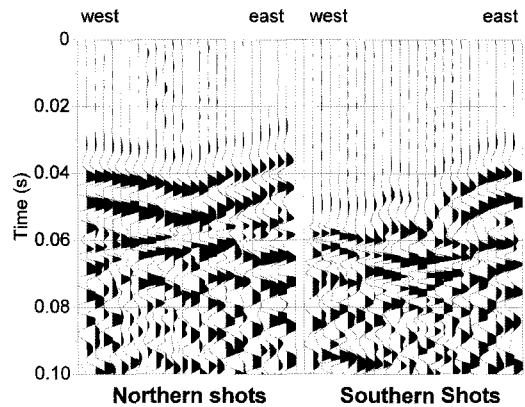


Fig. 12. Assemblage of the nearest shot records from the north (left) and the south (right) lines, respectively. True amplitude display without filtering. See Fig. 3 for location.

절파의 시간절편(intercept time)이 서쪽지역이 더 크다. 이는 연못을 중심으로 서쪽지역의 첫 번째 층의 두께가 두껍거나 두 번째 층의 속도가 크다는 의미이다. 속도단면도(Fig. 7)와 등간격 굴절법탐사 결과(Figs. 9, 10, 11)는 이 해석과 부합한다. 진반적인 속도구조는 첫 번째 층은 약 <math><400\text{ m/s}</math> 속도를 가진 약 <math><2.5\text{ m}</math>의 두께의 층이며, 중간층은 약 <math><1000\text{ m/s}</math> 속도와 약 5~7m 두께를 보인다. 최하부층은 >2000 m/s의 속도를 보여준다. 따라서, 최하부 경계면까지의 깊이는 약 8~10m의 범위를 보여준다.

4.2. 탄성과 속도에 의한 지반특성

공학적으로 지반의 특성은 탄성과 속도 범위를 기준

으로 일반적인 분류가 가능하다. 우리나라 건설교통부 표준분류법에서는 탄성과 속도를 기준으로 하는 암반분류할 때, 약 200~700 m/s의 속도범위는 다져지지 않은 풍화토에 해당하고, 700~1200 m/s의 탄성과 속도범위는 풍화암층으로 분류한다. 그리고, 약 1200~1900 m/s의 속도는 연암층이며 그 이상의 탄성과 속도를 갖으면 보통암층에 해당한다. 이와 같은 탄성과 속도에 의한 공학적 분류기준에서 본다면, 공산성 원형연못 주변 지반의 최상부층은 풍화토에 해당하며, 중간층은 풍화암층, 그리고 최하부층은 연암 혹은 보통암인 기반암으로 대비시킬 수 있다. 그러나, 이러한 분류는 암석의 종류에 따라서 많은 편차가 존재하기 때문에 절대적인 기준이 될 수는 없으며, 단지 자연적인 지반에 대한 일종의 경험적인 분류일 뿐이다.

백제시대에 건립된 공산성은 신라, 고려, 그리고 조선시대에 이르기까지 주요 관공서였으며, 토성에서 오늘날과 같은 석성으로의 대대적인 개축은 선조 35년(1602년)에 있었다. 따라서, 원형연못이 위치한 쌍수정 광장은 시대에 따라 여러 건물이 존립했었다. 1935년 일제시대에 쌍수정 광장에 운동장을 조성하면서 원형연못 주변의 지반원형이 본격적으로 훼손되기 시작하였고, 1985년과 1986년 쌍수정 유적 발굴조사 전까지 계속적인 지표면의 훼손이 있었다고 보여진다(안승주와 이남석, 1987). 이와 같은 역사적 사실과 발굴조사 결과를 근거로 할 때 이번 연구에서 밝혀진 원형연못 주변의 탄성과 속도구조에 대한 다른 해석으로 쌍수정 광장의 기반암 위에 놓인 천부지반의 인공적인 조성 가능성을 제시한다. 최하부층인 약 >2000 m/s의 속도층은 쌍수정 광장 북쪽의 쌍수정 주변에 노출된 기반암의 연장으로 해석한다. 그리고, 약 2~3 m의 두께에 <400 m/s의 속도를 갖는 최상부층의 일부는 일제시대의 운동장 조성 및 발굴조사후 복토에 기인한다고 여긴다. 약 600~1000 m/s 속도의 중간층은 인공적인 다짐층으로 해석한다. 이러한 해석을 뒷받침하는 탄성과 자료로는 전반적인 수평구조인 점과 평탄한 경계면의 특징을 보이는 중간층의 굴절과 등이다. 또한, 이 탄성과 속도 범위는 국내 석탑 문화재에 대한 기존의 조사 결과와 비교하면 석탑 주변 다짐층의 탄성과 속도는 대응한다. 예를 들면 경주 불국사 다보탑 주변 지반의 다짐층은 500~800 m/s의 탄성과속도를 갖는다(서만철 등, 2002, 2003).

4.3. 공산성 원형연못의 축조 방법

1985~1986년 발굴조사에서 밝혀낸 원형연못의 축조

는 생토면을 지름 9.5 m되게 원형으로 파고 내부에 자연석을 석축하였는데, 바닥은 널찍한 판석을 깔았고 벽면은 위로 쌓아 올라 갈수록 지름이 넓게 하였다(안승주와 이남석, 1987). 조사 당시 호안석 중에서 남쪽 구역의 일부가 파괴되어 있었으며, 호안석의 후면은 점토를 1 m 너비 정도로 채워 있었는데 연못물의 누수 방지 역할로써 여긴다. 발굴조사에서는 공산성 원형연못은 지표면에서 파내려갔다고 추정하였다.

그러나, 탄성과 굴절법 조사에서 밝혀진 기반암까지의 깊이가 공산성 원형연못 주변은 >7 m이며, 이는 공산성 원형연못의 깊이보다 2 m 이상의 차이를 보인다. 만일, 기반암위의 천부지층이 인공적으로 형성되었다면, 당연히 공산성 연못도 밑에서부터 쌓아올려서 만들었을 것이다. 등간격 굴절법탐사 결과에서 나타난 원형연못의 동쪽과 서쪽 지반의 차이 즉, 서쪽지반에 낮은 탄성과 속도의 두꺼운 층이 기반암 위에 존재하는 것은 원형연못의 생성이전의 원래 지형의 굴곡과 관련 된다고 본다. 그렇다면 쌍수정 광장은 굴곡지형을 평탄하게 메꾸어 만들어졌다고 해석하며, 나아가 원형연못의 축조는 이러한 지형적 특징을 이용하여 이루어졌을 가능성도 제기한다.

5. 결 론

공산성 쌍수정 광장의 남쪽에 위치한 원형연못 주변에서 탄성과 탐사를 수행하였다. 수신기의 배열을 달리하여 측선이동시험, 굴절법 탐사 및 등간격 굴절법 탐사를 실시하였다. 야외 측정자료에 나타난 주시곡선의 분석결과로 구한 천부지반은 대략적으로 3층으로 구성되어있다. 최상부층은 약 <400 m/s 속도를 가진 <2~3 m 두께의 층으로, 1930년대 운동장 조성 및 이후의 사건 등으로 만들어진 층으로 해석한다. 5~7 m 두께의 중간층은 약 <1000 m/s 속도를 갖는데 백제시대 원형연못을 축조할 때의 다짐층으로 해석한다. 주시곡선 형태와 속도범위가 국내 석탑 문화재 지반의 것과 유사하다. 최하부층은 >2000 m/s의 속도를 갖는데 이는 쌍수정 주변에 노출된 기반암의 연장으로 해석한다. 기반암 경계면까지의 깊이는 약 7~10 m의 범위를 보여준다. 따라서, 공산성 연못 주변은 인공적인 기초지반의 가능성을 제기하며, 그렇다면 공산성 원형연못은 파내려 간 것보다는 쌓아 올렸을 것이다. 연못을 중심으로 서쪽지반이 동쪽지반보다 상부층의 두께가 더 두껍고 탄성과속도는 더 낮은 것은 원형연못의 축조이전의 지형을 반영한다고 해석한다.

사 사

이 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업으로 지원된 공주대학교 자연과학대학 문화재비파괴진단연구실의 재정적 도움으로 수행되었다. 탄성과 자료획득에 참여한 공주대학교 지질환경학과 학생에게 감사드린다. 그림 작성에 도움을 준 문화재비파괴진단연구실의 김희란 연구원에게 감사드린다.

참고문헌

- 김기현, 서만철 (2001) 공주 능치지역 천부 지하구조에 대한 지구물리학적 연구. 대한지구물리학회, 지구물리, 4권, p. 103-111.
- 김서운, 유환수, 우영균 (1976) 한국지질도 공주도폭 1:50000. 자원개발연구소, 29p.
- 류제라, 서만철 (2001) 익산미륵사지 지반특성에 대한 지구물리학적 연구. 대한지구물리학회, 지구물리, 4권, p. 1-10.
- 서만철, 송인선, 최희수 (2001) 암석의 파괴 확률 분석을 통한 불국사 삼층석탑 구조 안전 진단. 지구물리, 4권, p. 57-69.
- 서만철, 오진용, 최희수 (2002) 불국사 석탑의 지반 특성에 대한 지구물리탐사. 지구물리, 5권, p. 143-151.
- 서만철, 최희수, 이찬희, 오진용 (2003) 감은사지 3층석탑(서탑)의 지반특성을 위한 지구물리탐사. 지구물리, 6권, p. 39-46.
- 서만철, 오진용, 김기현 (2004) 지구물리탐사 방법의 석탑 지반 안전진단에의 적용. 한국물리탐사학회 제6회 특별 심포지움, p. 70-83.
- 서만철, 이남석 (2000) 매장문화재 확인을 위한 자력탐사 및 발굴 비교연구: 충남 천안시 두정동 발굴지역. 대한지구물리학회, 지구물리, 3권, p. 175-184.
- 안승주, 이남석 (1987) 공산성 백제추정왕궁지 발굴조사보고서. 공주사범대학 박물관, 320p.
- 안승주, 이남석 (1992) 공산성 건물지. 공주대학교 박물관, 308p.
- 오선환, 서만철 (2001) 방어산 마애여래입상의 안전진단을 위한 지구물리탐사. 대한지구물리학회, 지구물리, 4권, p. 11-20.
- 이성민, 이수곤, 권경원, 백용진, 서만철 (2002) 충주 미륵리 사지내 석굴석축의 구조. 문화재과학기술, 1권, p. 101-115.
- 한국물리탐사학회 (2004) 물리탐사 기술 심포지움-유적조사를 중심으로, 한국물리탐사학회 제6회 특별심포지움, 도서출판 한림원, 189pp.
- Vafidis, A., Manakou, M., Kritikakis, G., Voganatsis, D., Sarris, A., and Kalpaxis, Th. (2003) Mapping the ancient port at the archaeological site of Itanos (Greece) using shallow seismic methods. Archaeological Prospection, v. 10, p. 163-173.
- Suh, M. (2001) Conservation of the Muryong Royal Tomb of Baekje dynasty, Korea. The Ohio State University, on Campus. v. 30, p. 6-10.
- Suh, M., Koo, M.-H., Choi, S.-W. and Song I. (2004) Instability of an underground ancient tomb due to excavation and its relationship to the temperature and ground water. Geotechnical and Geological Engineering, v. 22, p. 269-283.

2005년 5월 3일 원고접수, 2005년 8월 19일 게재승인.