복합지구물리탐사에 의한 매립 문화재 위치 추정 분석

Analysis for Reclaimed Cultural Asset Location Estimation with Complex Seismic Survey

장호식*, 노태호**

경남도립남해대학 조선토목계열*, 부경대학교 건설공학부**

Ho-Sik Jang(gpsjhs@hanmail.net)*, Tae-Ho Roh(rth1348@pknu.ac.kr)**

요약

매립 문화재 위치 추정에 있어서 비파괴검사인 복합지구물리탐사 방법이 최근에 많이 활용되고 있다. 이러한 탐사방법은 건설 현장에서 효율적으로 빠른 시간 내에 매립 문화재 위치를 추정하는데 있어서 가장 합리적인 방법이라 할 수 있다. 본 연구는 과거 매립 문화재가 조성되었을 가능성이 있는 지역을 대상으로 그 분포 영역을 파악하기 위해 자력변화율탐사, 전기비저항탐사, 지하투과레이더탐사 방법을 병행하여 매립 문화재 위치를 추정하였다.

본 연구대상지역에서의 연구성과로는 도면좌표로 X축 방향으로 약 +15m, Y축 방향으로 약 +90m에 위치하고 있으며, 장축으로 북북동방향으로 약 20m, 폭이 약 5m의 형태로 나타났고, 예상 이상대 발달분포의 심도는 약 1.5~3.0m인 것으로 추정되었다. 이와 같은 해석 결과로 향후 매립 문화재 예상 지역 및 발굴 작업에 있어서 지구물리탐사 방법을 이용한다면 보다 효율적으로 정확한 측정방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

■ 중심어 : | 지구물리탐사 | 매립 문화재 | 자력변화율탐사 | 전기비저항탐사 | 지하투과레이더탐사 |

Abstract

A complex seismic survey, which is nondestructive inspection, is used often recently in estimating the location of reclaimed cultural assets. Such a method is the best way to estimate the location of cultural assets most effectively in a short time at a construction site.

This study estimated the reclamation location of a cultural asset by using magnetic gradient survey, earth resistivity survey, and ground penetrating radar survey (GPR) in order to figure out the distribution territory in the area with possibility of creation of reclaimed cultural assets in the past. As a result, it was located at +15m on the X axis and +90m on the Y axis on the floor plane coordinate of the study target area. It was shown that the major axis is about 20m long in the north-northeast direction and the width is about 5m. The depth of development distribution of anomaly zone was estimated as about 1.5~3.0m. Geophysical survey is expected to be used as a efficient and accurate way to excavate the reclaimed cultural assets in future.

■ keyword : | Seismic Survey | Reclaimed Cultural Assets | Magnetic Gradient Survey | Earth Resistivity Survey | Ground Penetrating Radar Survey |

I. 서론

급속한 사회발전과 사회기반시설 확충 사업으로 인한 국토 개발 건설이 활발히 진행됨에 따라 매립문화재에 대한 훼손이 우려되고 있다. 특히, 최근의 건설현장에서는 공사기간의 단축이라는 명목 아래 매립문화재에 대한 사전 조사가 병행되고 있다. 그러므로 매립된 문화재의 위치 추정에 있어서 광범위한 곳에서의 조사는 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 넓은 범위의 적용이 어려우므로 현실적으로 가능성이 높은 지역에 집중될 수밖에 없다. 이와 같은 여건 속에서 신속하게 광역적으로 적용할 수 있는 비파괴 방식인 지하영상획득법이 필요하며[1], 지하영상획득법에는 복합지구물리탐사법이 있으며, 여기에는 자력변화율탐사 및 전기비저항탐사 그리고 지하투과레이더탐사 방법이 있다. 복합지구 물리탐사에 있어서 지하투과레이더탐사 방법으로 장호식 등(2003)은 유적지 위치를 해석[2] 및 손호웅 등(2003)은 고주파수대역 전자탐사법을 개발하여 고심도 지층매설물 및 문화재 조사 등에 적용할 수 있는 방법을 제시하였고[3], 김만일 등(2008)은 석조문화재 기초 지반을 효과적으로 탐지하는 방법을 제시하였다[4]. 그리고 자력탐사에 있어서 임성근 등(2004)은 자력탐사의 효율성에 대해 대자율 대비가 낮은 지역에서 현장자료로 매설물에 대한 정보를 처리하는 연구가 있었으며[5], 여러 탐사로부터 획득한 정보를 복합적으로 해석하는 지구통계학적 방법을 제시하였으며[6][7], 오석훈(2009)도 서로 다른 위치에서 다양한 탐사 방법으로 측정된 자료를 복합적으로 해석할 수 있는 객관적인 절차를 제 공한 바 있다[8]. 또한, 이러한 조사 자료를 바탕으로 변지환(2007)은 문화재발굴조사 보고서를 위한 편집 디자인에 관한 연구[9]와 김성호(2011)는 RTK 시스템을 이용한 실시간 지하매설물 관리 시스템 구축에 대한 연구가 있다[10].

하지만, 현재까지의 연구 성과들을 고찰하여 보면 복합지구물리탐사의 여러 가지 방법들을 병용하고 종합하여 위치 추정을 행한 성과는 미흡하다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 과거 매립 문화재가 조성되었을 가능성이 있는 지역을 대상으로 그 분포에 대한 영

역을 파악하기 위해 복합지구물리탐사 방법인 자력변화율탐사, 전기비저항탐사, 지하투과레이더탐사 방법들을 병행 및 종합하여 문화재의 매립위치를 더욱 합리적이고 정확하게 파악하는데 목적이 있다.

II. 복합지구물리탐사 기법의 원리

1. 자력변화율탐사

그림 1. 자력변화율탐사

자력변화율탐사는 [그림 1]과 같이 지구자장의 변화를 관측하여 자성체의 분포를 알아내는 것이다. 조사구역을 적당한 격자 간격으로 분할하여 그 격자점에 대한 자력값을 관측함으로써 조사구역 내의 자장 변화를 확인하여 지하의 자성체의 분포를 추정할 수 있다[11].

2. 전기비저항탐사

전기비저항탐사는 지반 중에 전류를 흘려보내어 그 전류에 의한 전압 강하를 관측함으로써 지반 내의 비저항값의 분포를 구하는 것이다. 전류를 흘려보내는 순간의 전류전극과 전압 강하를 관측한다[11].

3. 지하투과레이더탐사

지하투과레이더탐사법은 [그림 2]와 같이 전자파가 반사되는 성질을 이용하여 지중의 각종 현상을 밝히는 것으로, 고주파의 전자파를 공기중으로 방사 시킨 후 대상물에서 반사되어 온 전자파를 수신하여 대상물의 위치를 알아내는 레이더시스템과 같다. 레이더는 원래 고주파의 전자파를 수신하여 대상물의 위치를 알아내는 시스템이다[12].

그림 2. 지하투과레이더탐사

III. 복합지구물리탐사 결과

1. 연구대상지역

연구대상지역의 조사범위는 [그림 3]과 같이 경상남도 소재의 ○○ 지역으로 조선시대에 제작된 많은 자기편들이 발굴되며, 또한 자기가마터가 조성되었을 가능성이 높은 지역으로 예상된다.

그림 3. 연구대상지역의 조사범위

또한, 매립 문화재 예상 지역의 지형 및 구조물의 위치 파악을 신속하게 획득하기 위하여 무선헬기를 이용하여 항공사진촬영을 실시하였으며, 대략적 경계를 나타내면 [그림 4]와 같다.

그림 4. 연구대상지역의 항공사진

연구대상지역의 현장 조건은 약 4332.73m²의 면적에 동쪽방향에서 서쪽방향의 하향경사를 가지 있는 구릉사면부에 위치하며, 현재는 계단식 경작과 무덤이 조성되어 있으므로 원지형이 훼손된 상태이다. 하지만, 지표조사시 자기편과 가마벽체편이 채집되어 이 지역 일원에 조선시대 자기가마터가 조성되었을 가능성이 예상되어 그 분포에 대한 공간적 영역을 파악하기 위한 목적으로 복합지구물리탐사를 실시하였다.

2. 연구 방법 및 탐사측선 설정

조사방법으로는 1차 조사 및 2차 조사의 총 2회에 걸쳐서 탐사를 실시하였다. 조사 순서는 우선 연구대상지역에 임의의 기준점을 선정하여 기본 조사인 1차 조사를 수행하였고, 1차 조사에 정밀 조사인 2차 조사 모두 격자로 형성하여 수행하였다. 1차 조사에서의 격자는 [그림 5]와 같이 2×2m로 구성되어 지형경사방향에 수직이 되도록 설치하였고, 2차 조사에서는 1차 조사에서의 이상대로 판단되는 구간에 대해 1×1m의 격자로 세분화하여 수행하였다. 그리고 연구대상지역중 지주의 동의를 얻지 못해 금속물질의 작물지지대를 철거하지 못한 도로 하단부 경작지에서는 자력변화율탐사가 불가능하여 전기탐사 및 GPS 탐사로 대체하여 실시하였다. 조사항목 및 전개 내용을 요약하면 [표 1]과 같으며, 조사에 사용된 장비의 제원은 [표 2]와 같다. 또한, 장비와 측정기법들은 현장여건에 따라 서로 상이한 부분들이 있겠지만, 본 연구에서의 측정 장비의 분해능과 정확도는 일반적으로 실제의 탐사에 많이 사용된다고 판단되는 장비들을 선정하였다.

그림 5. 연구대상지역의 조사 격자망

표 1. 탐사별 측선 간격 및 연장

조사 항목	측선 수	측정간격(m)	측선연장(m)
자력변화율탐사	24 (M00, M16~M33)	1	2119
	15 (M01~M15)	2	
전기비저항탐사	22 (R00~R21)	1	567
지하투과레이다 탐사	27 (G00~G26)	continues	674.19

그림 6. 연구대상지역의 자력변화율탐사 측선도

표 2. 조사장비의 제원

조사 항목	조사 장비	장비 제원	
자력변화율 탐사	G-856 system	Resolution	0.1 nT
		Accuracy	0.5 nT
		Turning	20,000~90,000nT
		Gradient tolerance	1000 nT/meter
		Cycle time	3~999 sec
전기비저항 탐사	UPER STING R1/IP	Out current	1mA~2A
		Out power	200 W
		Cycles	0.4~14.4S
		Measuring resolution	Max 30nV
		Out voltage	800 V
지하투과 레이다탐사	SIR-3000 system	CPU	80686DX
		Electrical Range	6~3000ns
		Pulse Repetition Rate	8~64 KHz
		Sampling	128~2048 samples/scan
		Quantization	16 or 32bit

구체적인 관측을 위하여 A영역과 B영역을 더욱 세분화한 간격으로 측정한 결과 A영역의 자력변화율은 [그림 7], B영역은 [그림 8]과 같이 관측되었다. 관측 결과를 측선 자력변화율 그래프로 나타내면 A영역은 거의 변화가 없었으며, B영역에서는 측선거리 82~90m 구간에서 높은 값이 나타나고 있고, 측선별 이상대 구간을 연결하면 방향성을 띠는 것으로 해석된다.

그림 7. A영역 자력변화율 그래프

3. 자력변화율탐사 결과

본 연구에서의 자력변화율탐사 목적은 자화강도를 측정하여 가마터의 분포를 파악함이다. 자력변화율탐사는 미세한 자력변화량을 측정하기 때문에 주변의 전선, 철조망, 인공 구조물 등에 의한 영향으로 노이즈가 발생할 수 있으므로, 탐사 전에 미리 작물 지지대 및 철조망 등을 제거한 다음에 실시하였다. 탐사 결과는 [그림 6]에서와 같이 A영역 및 B영역에서 이상대가 발생하는 것으로 관측되었고 획득한 자료는 지구통계학적인 방법으로 처리하였다.

그림 8. B영역 자력변화율 그래프

따라서, B영역의 자료획득을 총 값과 변화 값의 두 결과로 비교한 결과 각각 [그림 9] 및 [그림 10]과 같이 나타났으며, 노이즈 제거를 위해 고주파 필터로 자료를 처리하였다. 연구대상지역에 분포하는 자력 총 값의 범위는 48,500~49,500nT이고 자력 변화 값은 -800~

800nT/m 로 분포한다. 자력 총 값 결과에 비해 자력 변화 값의 결과가 분해능이 높게 나타나고 있다. 두 결과에서 이상대가 일치하는 지점은 도면상의 좌표로 환산한다면 (15m, 90m)와 (30m, 55m) 구간으로 해석되었다.

그림 9. 자력 총 값의 결과

그림 10. 자력 변화 값 결과

4. 전기비저항탐사 결과

전기비저항탐사의 목적은 천부에 분포하는 전기비저항의 분포를 파악함이 목적이다. 전기비저항 탐사는 1m×1m 격자 간격으로 Square 배열법으로 자료를 획득하였으며, [그림 11]에서와 같이 1차 조사 이상대 구간과 자력변화율탐사시 지주의 동의를 얻지 못한 C영역을 대상으로 1차 자력변화율 탐사 미 실시 구간에서 탐사를 수행하였다.

그림 11. 전기비저항탐사 축선도

획득한 자료는 자력변화율탐사와 같은 지구통계학적인 방법을 적용하여 해석하였다. 일반적으로 지하공동이나 구성입자의 불균질성이 크면 상대적으로 높은 전기비저항값을 나타내고, 지하수 발달, 점토질 함량이 높은 경우에는 낮은 전기비저항값을 나타낸다. [그림 12]는 C영역 및 B영역에서 실시한 전기비저항탐사 결과로서 심도 약 1m에 해당하는 전기비저항분포값을 평면도로 도시하였다. 전기비저항탐사에서는 같은 구성물료 이루어진 토양에서는 전기비저항값이 일정하겠지만 매립 문화재가 존재할 경우 전기비저항값이 달라진다. 탐사 대상물체에 따라 전기비저항값이 낮게 또는 높게 나올 수 있다. 특히 가마터는 토양을 구성하는 물체가 다양하므로 전기비저항값이 높게 나타날 수 있다.

C영역에서는 20~190Ωm의 전기비저항값이 분포하며, 경작지와 미경작지인 대나무밭 경계가 뚜렷하게 구분되어 발달하고 있음을 알 수 있었으며, B영역에서는 40~470Ωm 범위의 전기비저항 분포로 조사되었다.

그림 12. 전기비저항 탐사 해석 결과

그림 13. B영역의 전기비저항분포 그래프

그림 14. C영역의 전기비저항분포 그래프

또한, [그림 13] 및 [그림 14]는 영역별 전기비저항분포 그래프로서 C영역은 R13, R16 측선을 제외하면 평균 $\pm 50\Omega\text{m}$ 전기비저항값이 분포하고 있는 반면에, B영역에서는 85m 지점에서 측선 모두 $350\Omega\text{m}$ 이상의 전기비저항값으로 발달하며, 이 지점을 경계로 전기비저항분포 특성을 달리하고 있다. 이는 지하 가마터 잔존 구조에 의한 영향일 것으로 예측된다.

5. 지하투과레이더탐사 결과

지하투과레이더탐사의 목적은 가마터의 위치 및 기타 매물 구조물의 파악이 목적이다. 2차 조사의 일환으로 [그림 15]와 같이 1차 조사 이상대 구간과 1차 자력변화를 탐사 미실시 구간에서 지하투과레이더탐사를 실시하였다.

그림 15. 지하투과레이더탐사 측선도

측선 간격은 G26을 제외하고 1~2m로 하였고, 거리 보정은 윤정계를 사용하여 보완하였다. 중심 안테수는 400MHz이며 수집한 데이터 자료처리 bandpass 필터 영역은 하한치 150MHz, 상한치 500MHz로 처리하였다. G00~G16과 G17~G22 구간은 2D 단면도 처리 후 3D 시간 단면(time slice)를 적용하여 시간 구간별로 데이

터를 영상화하여 변화에 따른 자료 분석한 결과 [그림 16]과 같이 G17~G22 구간에 이상 반사 신호가 나타났다.

그림 16. 지하투과레이더 탐사 결과

IV. 복합지구물리탐사 결과 분석

연구대상지역을 대상으로 매립문화재의 존재 여부를 신속하고 더욱 정확하게 판단하기 위하여 복합지구물리탐사를 실시한 결과를 분석하였다.

우선 세 가지의 탐사결과의 측선도를 종합하여 보면 [그림 17]과 같이 나타났다.

그림 17. 각 탐사별 측선 위치도

첫 번째 자력변화율탐사에 의한 관측 결과를 분석해 보면 자력 총 값과 자력 변화 값의 두 결과에서 이상대가 일치하는 지점은 좌표(15m, 90m)와 좌표(30m, 55m) 구간으로 후자의 경우는 실제 경작지 가운데 움막이 있고 움막설치 시 작업에 사용된 못, 철근 등의 영향으로 인한 노이즈로 판단된다.

그 외 이상대 왼쪽에는 마을 간이 상수로도 사용하는 인공구조물 영향에 의한 것으로 판단된다. 따라서, 이상대가 높은 값으로 분포하는 지점은 가마터의 경우 높

은 열에 의해 가마터 벽체 또는 토기가 열잔류자화에 의해 주변보다 높은 자화강도 값으로 나타나므로 탐사 해석 결과로부터 가마터로 추정되는 위치와 연장성이 예측되었다.

두 번째 전기비저항탐사결과를 분석하면 경작지 구간은 녹색~연황색이 상대적으로 낮은 전기비저항대를 나타내며 대나무밭은 주황~빨강색의 높은 전기비저항 분포대가 발달하는 양상을 나타내고 있다.

전체적으로 A영역에서는 뚜렷한 전기비저항 이상대는 발달하지 않는 것으로 해석된다. B영역에서는 40~470Ωm 범위의 전기비저항 분포를 보여주고 있는데, 특히 좌표 (15m, 90m) 지점에서 하부의 가마터 구조물 또는 회원부의 영향일 것으로 예측되는 고비저항대가 북북동방향으로 약 10m, 폭이 약 30m의 형태로 연장되어 분포하는 것으로 판단된다.

세 번째 이상대가 높은 지역을 1m의 간격으로 지하투과레이더탐사 결과 전기비저항탐사결과와 거의 동일한 북북동방향의 길이 약 10m, 폭 약 30m의 이상 반사 신호로서 매립문화재의 분포성을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

따라서 연구대상지역의 복합지구물리탐사를 분석한 다음 다음 [그림 18] 및 [그림 19]와 같이 분석되었다.

그림 18. 매립문화재 예상영역 평면도

그림 19. 매립문화재 예상영역 항공사진 평면도

이와 같은 연구에서의 조사결과별 특징들을 요약하면 다음 [표 3]과 같이 나타낼 수 있다.

표 3. 조사항목 별 조사결과

조사 항목	조사 결과 활용	결과
자력변화율탐사	자화강도로서의 가마터 분포파악	두 지점의 이상대 발견
전기비저항탐사	천부에 분포하는 분포파악	폭 약 30m, 길이 약 10m의 분포 발견
지하투과레이더 탐사	가마터의 위치 및 기타 매물 구조를 파악	폭 약 30m, 길이 약 10m의 분포 발견

본 연구에서의 결과에서 복합지구물리탐사에 경우가 어려울 경우는 비교적 지하투과레이더탐사가 관측 시간은 많이 소요되는 반면 정확도와 분포파악에서는 다른 탐사방법보다는 우수한 것으로 판단되었다.

V. 결론

본 논문은 과거 매립문화재가 조성되었을 가능성이 있는 지역에서 그 분포에 대한 영역을 파악하기 위해 복합지구물리탐사로 관측하여 종합한 결과 가마터로 예상되는 이상대 발달 영역이 특정 구간에 공통적으로 발달되어 있는 것으로 파악되었다. 이는 도면 좌표 (15m, 90m)에 해당하고 장축이 북북동방향으로 약 20m, 폭이 약 5m의 형태로 나타났으며, 예상 이상대 발달분포 심도는 약 1.5~3.0m인 것으로 추정된다.

또한, 이상대 발달 영역 이외에도 가마터의 존재 가능성이 있는 것으로 추정되어지나 인위적인 개발 또는 지형훼손 등의 영향으로 나타난 것으로 판단된다.

따라서, 이와 같은 복합지구물리탐사 방법으로 매립문화재 발굴 및 위치 추정에 있어서 보다 효율적으로 정확한 측정방법을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

향후, 본 연구에서 고려하지 못했던 검증과 객관성 있는 연구 방법 등에 대하여 더욱 심도 있는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 김정호, 손정술, 이명중, 임성근, 조성준, 정지민, 박삼규, “부여지역 유적지 발굴을 위한 3차원 GPR 탐사”, 한국지구물리탐사학회 학술발표회 특별심포지움, pp.49-69, 2004.
- [2] 장호식, 김진수, 이종출, “지하레이더를 이용한 유적지 위치 해석”, 한국지형공간정보학회논문집, 제11권, 제1호, pp.45-49, 2003.
- [3] 손호웅, 이강원, 김형수, “고심도 지중매설물의 지하측량을 위한 비파괴 정밀 전자측량”, 한국측량학회지, 제21권, 제2호, pp.109-121, 2003.
- [4] 김만일, 이창주, 김종태, 김지수, 김사덕, 정교철, “석조문화재 기초지반 파악을 위한 모형지반에서의 탐사기법 적용”, 지질공학회지, 제18권, 제4호, pp.537-543, 2008.
- [5] 임성근, 김정호, 이윤수, 손정술, 송영수, 유기정, “고고학적인 장소에서 자력탐사의 효율적인 적용에 관한 연구”, 한국지구시스템공학회지, 제41권, pp.17-25, 2004
- [6] S. Oh and B. Kwon, “Geostatistical approach to Bayesian inversion of geophysical data: Markov chain Monte Carlomethod,” Earth Planets Space, Vol.53, pp.777-791, 2001.
- [7] S. Oh, H. Chung and D. K. Lee, “Geostatistical integration of MT and borehole data for RMR evaluation,” Environmental Geology, Vol.46, pp.1070-1078, 2004.
- [8] 오석훈, “측정 범위가 다른 다중 물리 탐사 자료의 지구통계학적 복합 해석”, 지구물리와 물리탐사, 제12권, 제4호, pp.309-315, 2009.
- [9] 변지환, “효과적인 문화재발굴조사보고서를 위한 편집디자인”, 한국콘텐츠학회논문지, 제7권, 제11호, pp.167-174, 2007.
- [10] 김성호, “RTK 시스템과 3차원 게임엔진을 이용한 실시간 지하 매설물 관리 시스템 개발”, 한국콘텐츠학회논문지, 제11권, 제8호, pp.51-58, 2011.
- [11] 유복모, 측량공학, 박영사, 2006.

- [12] 이재기, 최석근, 박경식, 측량학II, 형설출판사, 2004.

저 자 소 개

장 호 식(Ho-Sik Jang)

정회원

- 1998년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학사)
- 2000년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학석사)
- 2004년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학박사)

▪ 2004년 8월 ~ 현재 : 경남도립남해대학 조선토목계열 초빙부교수

<관심분야> : 사진측량학, 플랜트 해석, 해양구조물 해석 및 변위계측, 지하탐사

노 태 호(Tae-Ho Roh)

정회원

- 1997년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학사)
- 1999년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학석사)
- 2005년 2월 : 부경대학교 건설공학부(공학박사)

▪ 2007년 3월 ~ 현재 : 부경대학교 건설공학부 토목공학과 강사

<관심분야> : GIS, GPS, 영상해석, 의사결정