

GPR탐사와 GIS기법을 이용한 부여 금강사지 입지 연구

오현덕 · 김성태 · 이상은 · 조용일

국립부여문화재연구소

국/문/초/록

최근의 백제사찰 재조사에서 기존 가람의 양식과는 다른 가람배치 양상이 확인되면서 금강사지의 가람에 대하여 다시금 조사의 필요성을 가지게 한다.

본 연구는 GPR탐사법을 이용하여 금강사지의 잔존 유구 및 사역전체의 건물배치 양상을 확인하고자 하였으며, GIS기술을 이용하여 항공사진을 분석하고 수치지형도를 활용한 토양유실량(RUSLE)을 분석하여 금강사지의 입지와 지형변화를 파악하고자 하였다.

GPR탐사 결과, 사역의 북편과 서편에서 기 발굴조사에서 미처 확인되지 않았던 건물지가 추가로 확인되어 사역의 범위는 추정 가람보다 더 넓었을 것으로 보인다.

또한 금강사지는 하안 단구면에 위치하고 있고 토양유실량이 매우 적은 안정된 지형장에 위치하며 자연발생적인 배수체계를 기반으로 하는 최적의 입지를 보이고 있음을 알 수 있었다.

주제어 금강사지, GPR, GIS, 토양유실량, RUSLE, 항공사진

투고일자 : 2014. 09. 26 | 심사일자 : 2014. 10. 15 | 게재확정일자 : 2014. 10. 29



서론 및 연구지역 개관

부여 금강사지(사적 제435호)가 있는 은산면 금공리는 부여군의 서북쪽에 위치하며 금강의 지류인 지천을 중심으로 좁은 곡지평야들이 발달해 있는 곳이다. 이 지역 일대는 화강편마암으로 구성된 산지가 우세하며 표고가 높고 사면의 경사가 급하며 연구지역 부근에는 애추(talus) 혹은 암괴류(block stream)로 판단되는 고지형이 확인된다. 또한 금강사지가 위치한 지형면에는 원력(圓礫)이 분포하며 배후 구릉과는 상이하게 낮은 사면경사도, 지천 일대의 하안에 비해 상대적으로 높은 표고로 인해 발생하는 계단상의 지형면 등이 확인된다. 이를 통해, 금강사지가 위치한 지형면은 온난기의 기후변화에 의한 하천의 하방 침식력 부활에 기인하는 기후변동 단구면으로 특정할 수 있다.⁰¹

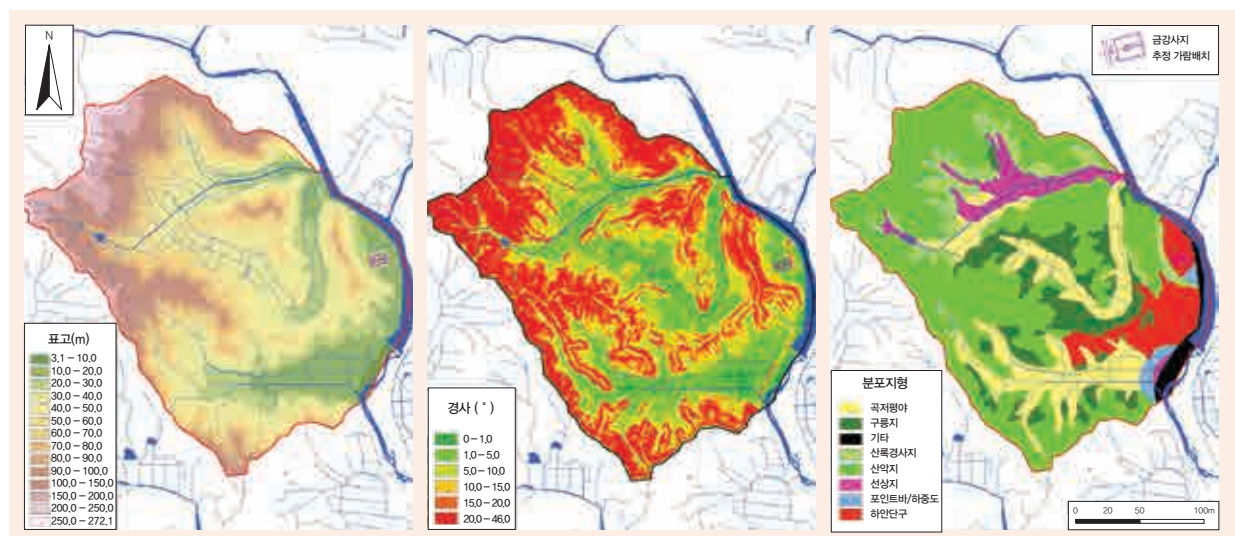
연화문수막새와 건물의 초석 등 많은 유물이 금강사지 주변에서 채집되면서 국립박물관은 1964~1966년에 2차례에 걸쳐 발굴조사를 실시하였고 백제 사찰의 1탑 1금당 가람배치로 추정된 바 있다. 하지만 당시의 발굴조사는 목탑지와

금당지를 중심으로 이루어졌고 강당지, 승방지, 회랑지 등은 서너 개의 탐색조사에 그쳐 조사에 아쉬움이 남는다.

특히 최근의 정립사지⁰² 및 제석사지⁰³ 등의 백제 사찰 재조사에서 기존의 전형적인 가람배치인 탑-금당-강당을 회랑으로 둘러싼 양식과는 다른 가람배치양상(부속건물지)이 확인되는 점을 볼 때 금강사지의 가람배치에 대하여 다소 의문이 생기게 된다.

본 연구는 물리탐사법의 하나인 GPR탐사를 이용하여 금강사지의 지하 매장유구를 탐지하여 불확실한 부분에 대한 가람배치를 재확인하고자 하였으며, GIS기술을 이용하여 항공사진을 분석하고 수치지형도 등을 이용한 토양유실량을 분석하여 금강사지의 입지와 분수계를 중심으로 한 지형변화를 정량적으로 분석하고자 하였다.

부여 금강사지 발굴조사보고서의 도면에서 알 수 있듯이 중심 건물지들을 제외하고는 매우 소략한 발굴이었으며 가람배치는 기존의 연구자들에 의하여 정립사지를 참고하여 추정하였다. 보고서의 기술내용을 기준으로 발굴도면을 보완하여 <그림 3>과 같이 재편집하였다.

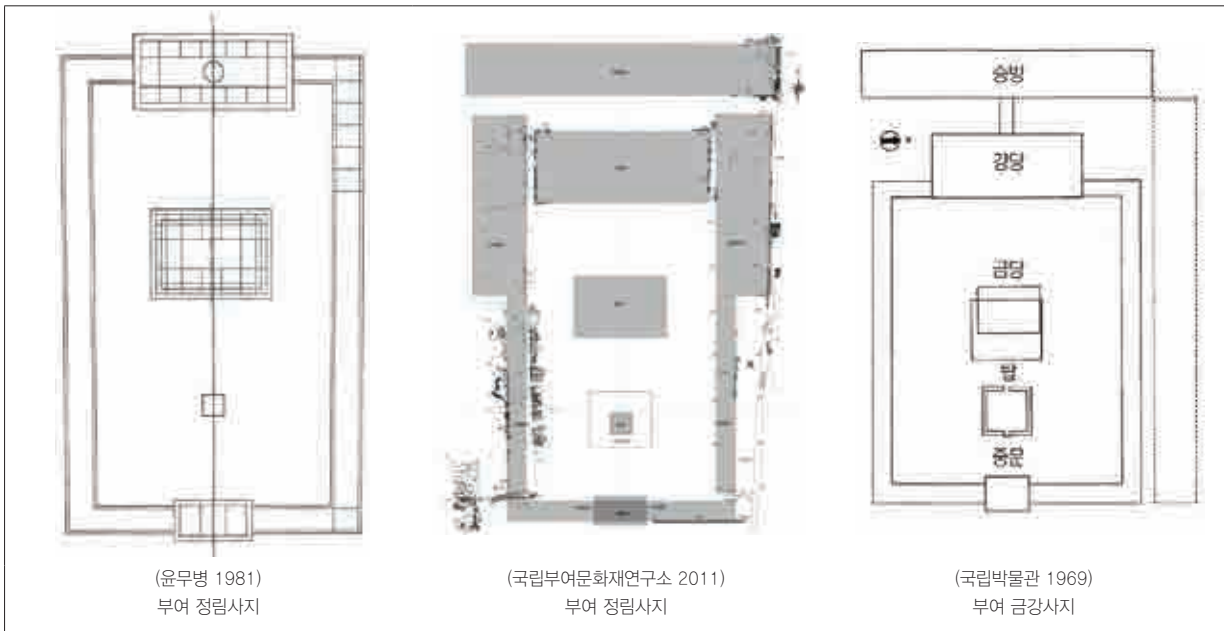


【그림 1】 부여 금강사지 및 분수계 내의 표고, 경사 및 분포지형

01 분포지형: 토양환경정보시스템(<http://soil.rda.go.kr/>), 지질: 지질정보시스템(<http://mgeo2.kigam.re.kr/>).

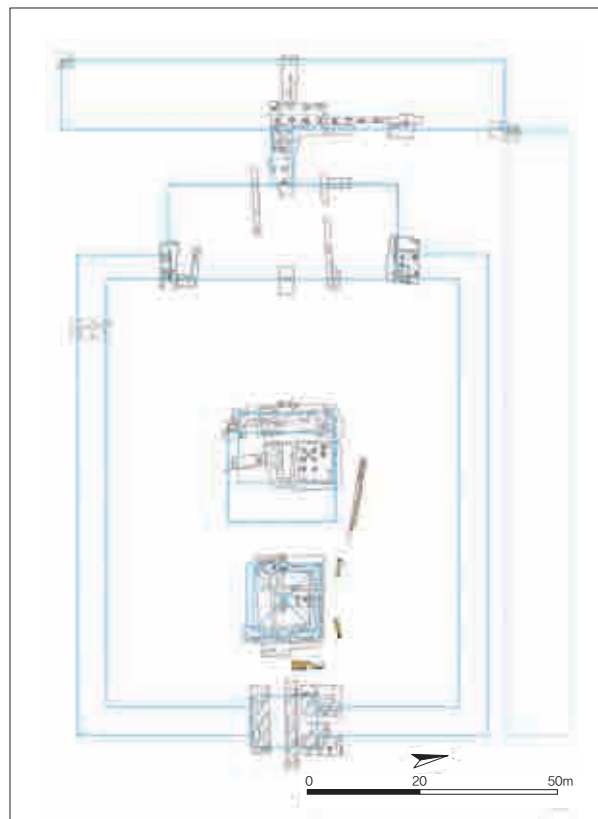
02 국립부여문화재연구소, 2011, 『정립사지 발굴조사보고서』.

03 국립부여문화재연구소, 2013, 『제석사지 발굴조사보고서 II』.



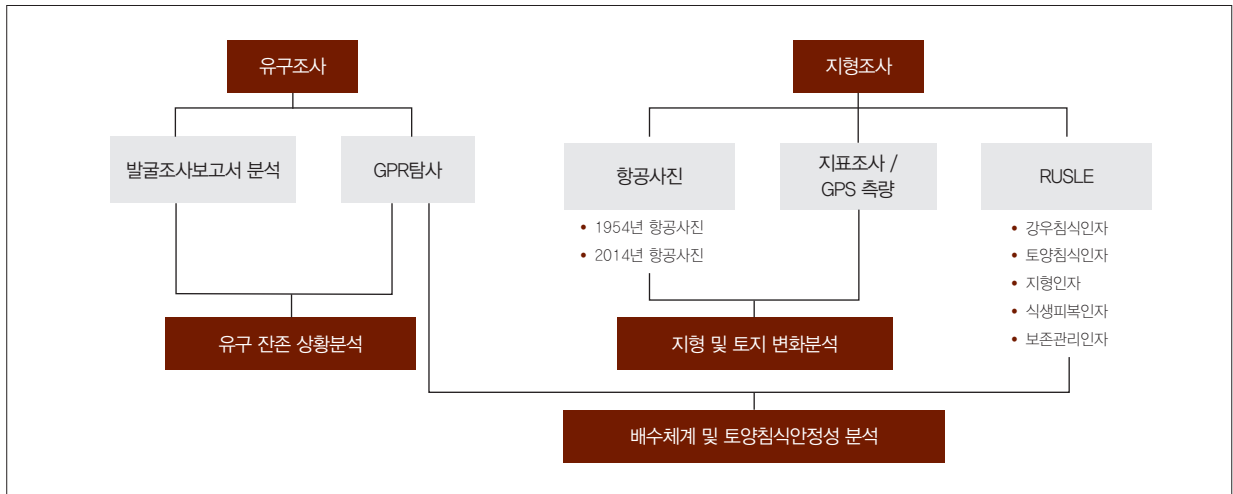
【그림 2】백제사찰 가람배치도 비교 (정림사지와 금강사지)

금강사지의 발굴조사 결과를 요약하면,⁰⁴ 금당지는 창건층, 재건층, 부분 보수층의 총 3차례의 변화를 갖는다. 창건층은 남북길이 21.21m, 동서길이 17.88m, 재건층은 남북길이 19.1m, 동서길이 13.94m이다. 목탑지 역시 3차례의 변화를 보이는데, 창건기단은 한 변이 14.24m, 2차 기단은 창건기단을 보수한 것이며, 3차 기단은 한 변이 11.82m이며 동과 서면 중앙에 계단지가 확인된다. 강당지는 잔존유구가 거의 없으나 기단토의 잔존 두께는 0.39m이며, 기단석 빠진 자리로 규모를 추정했을 때 남북 45.45m, 동서 19.09m이고 가람중심선을 보았을 때 창건 건물로 보인다. 서승방지는 초석은 모두 유실되었지만 적심석이 잘 남아 있으며 적심간 거리는 남북방향 2.88m, 동서방향 2.56m이며 기단의 남북길이는 88.48m, 동서길이 13.94m이다. 중문지는 판축기단으로 지하 0.76m 깊이에서 구축하였으며 석재가 남아있지 않다. 규모는 남북 13.33m, 동서 10.6m이다. 금강사지 가람은 자북을 기준으로 96.56°서편 하였으며, 자북은 진북으로부터 7.68°서편 한다. <그림 3>의 북은 자북이며, 그 외의 북은 본문에서 진북으로 표현하였다.



【그림 3】금강사지 발굴조사 결과 세부 (국립박물관 1969 재편집, 자북)

04 國立博物館, 1969, 『金剛寺』, 國立博物館 古蹟調查報告 第七冊, pp.1~40.



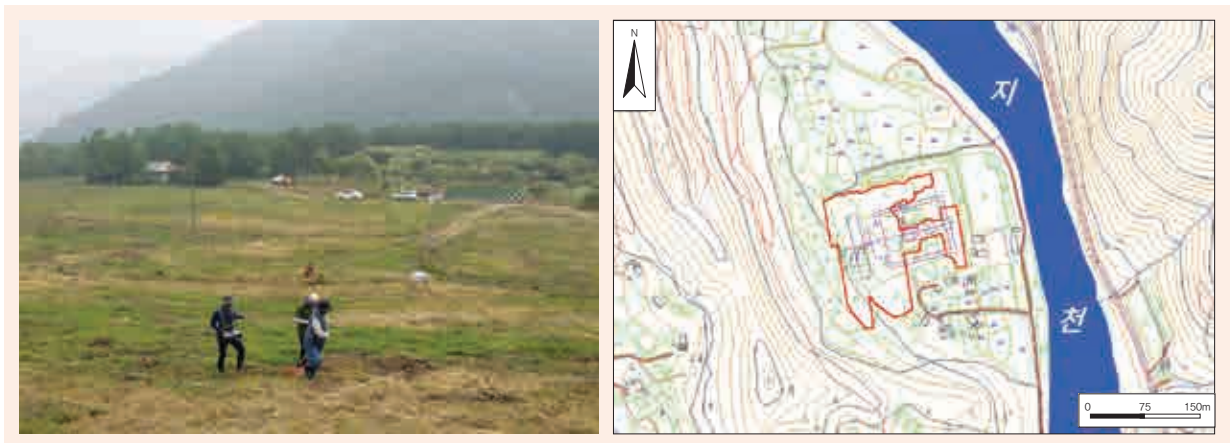
【 그림 4 】 연구 체계도

연구방법

1. GPR탐사

본 연구지역에서 실시한 물리탐사는 전자기파를 지하로 송출하여 반사파를 분석하는 방법인 GPR(Ground Penetrating Radar)탐사이다. 지하의 물체를 탐지하는데 매우 유용한 조사법으로서 금강사지와 같은 지하에 잔존해 있는 건물지 유구 조사에 적합하므로 기존의 고고학적 조사 결과를 보완 또는 추가할 수 있는 정보를 얻을 수 있으리라 기대한다. 탐사장비는 미국 GSSI사의 SIR3000을 사용하였

으며 중심주파수가 400MHz인 안테나를 이용하여 지하 약 2.4m(time window는 70 ns)까지 조사하였다. 탐사 축선은 0.5m 간격으로 남북방향이며 조사는 가옥과 농경지를 제외한 20,511m²의 면적에 대하여 3차원 탐사를 하였다. 즉, 축선을 따라 수직단면으로 획득한 지하영상을 깊이별 수평단면으로 변환하는 time slice 기법을 이용하였다. 이때 수평단면도는 지하를 5cm 두께 단위로 얇게 잘라 유구의 미세한 변화를 감지하고자 하였다. 이렇게 생성된 수평단면도는 다시 고고학적인 의미가 있을 것으로 추정되는 깊이 0.3 ~ 0.7m의 반응물을 하나의 도면에 중첩시키는 slice overlay 분석법으로 최종 결과 도면을 산출하였다.



【 그림 5 】 금강사지 GPR탐사 장면(GSSI, SIR3000, 400MHz) 및 탐사구역

2. 항공사진 분석

우리나라 발굴 초창기 때인 1970년 무렵의 발굴조사보고서는 일반적으로 수록된 사진과 도면이 미흡하여 과거와 현재의 지형 변화를 정량적으로 파악하기 어렵다. 본 연구지역은 2014년 조사당시 발농사와 두층나무 경작이 이루어지고 있었으나 1969년 발굴당시에는 보리밭이었으며 동편에 인삼밭이 있고 4채의 민가가 산재해 있었다.

금강사지 일대의 지형적 변화 상황을 정량적으로 파악해 보기 위하여 1954년 항공사진⁰⁵과 벌목 및 벌초작업을 실시한 후의 2014년 항공사진을 비교 분석하였다.

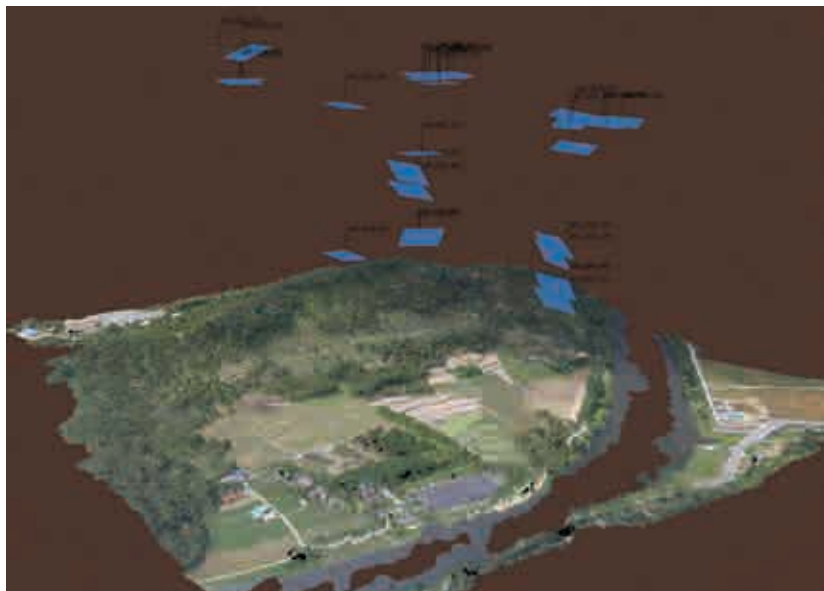
한 지역을 60~80% 중첩한 2장 이상의 항공사진을 이용하여 3차원으로 추출한 후 정사영상으로 변환하였다.⁰⁶ 이렇게 하면 렌즈에 의한 왜곡된 사진을 바로 잡을 수 있으며 수치지형도와의 비교 또는 과거와 현재 사진을 거리의 왜곡 없이 비교할 수 있다. 이러한 방법은 사진 상에 GCP(Ground Control Point)를 입력하여 사진측량에 이용하고 있으며 3차

원 항공사진으로부터 DEM(Digital Elevation Model)을 추출할 수 있어 정밀 지형 측량이 가능하다.

3. GIS와 RUSLE 모델

GIS(Geographic Information System)는 공간을 구성하는 물질적·비물질적 속성을 데이터베이스(Database)화 하여 가상과 현실에 구현하는 모든 기술을 아우르는 개념이다. 이러한 GIS는 공간을 다루는 모든 기술과 학문에 있어 효율적 도구로 자리매김 하였으며, 공간의 특성을 도출하는 분석기법으로 다양한 방면에 활용이 가능하다. 이러한 GIS분석기법을 응용하여 연구지역의 토양의 유실을 정량적으로 분석하고자 RUSLE⁰⁷ 모델을 적용하였다.

RUSLE 모델은 산사태와 같은 자연재해에 대한 위험관리의 영역과 토지관리에 있어 필요한 보존계획 수립 등 지형 환경에서 토양의 유실이 미치는 영향 분석에 활용되고 있는 방법이다.



【 그림 6 】 3차원 분석을 위한 항공사진 alignment

⁰⁵ 부여지역의 해방무렵 과거 항공사진은 국방정보본부의 육군지형정보단이 제공하였다.

⁰⁶ 분석 프로그램은 러시아 Agisoft사의 Agisoft PhotoScan Professional이다.

⁰⁷ Revised Universal Soil Loss Equation, 수정된 범토양유실공식.



본 연구는 “환경부고시 제2012-124호 표토의 침식 현황 조사에 관한 고시”에 기재된 특정인자 값과 선행연구의 적용 사례를 준용하여 유역내에서의 정량적 토양유실량 분석을 시도하였으며 금강사지가 이 지역에 입지하는데 있어서의 지형적 환경, 지질적 안정성 등을 파악하고자 하였다.

이러한 RUSLE는 다음과 같은 수식으로 설명된다.⁰⁸

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

A : 연평균 토양유실량(ton/ha/yr) R : 강우침식인자
 K : 토양침식인자 LS : 지형인자
 C : 식생피복인자 P : 보존관리인자

강우침식인자(R)는 강우에너지에 의한 토양의 침식량을 나타내는 값이며 본 연구에서는 국내의 강우침식과 유사한 값을 나타내는(이근상 외 2004; 오경원 2013) 것으로 보고된 Toxopeus A.G.(1996)의 식⁰⁹을 적용하였다.

토양침식인자(K)는 토양의 분류학적 특성에 따른 침식의 정도에 대한 값을 나타내며, 이는 농촌진흥청 국립농업과학원의 webGIS(<http://soil.rda.go.kr>)에서 제공하는 수치정밀 토양도(1 : 25,000)를 이용하여 구축하였다.

【 표 1 】 연구지역 분포 토양통에 대한 토양침식인자(K)
(ton · hr / Mj · mm)

토양통	토양침식인자(K)	토양통	토양침식인자(K)
각화	0.0184	신흥	0.052
강동	0.0276	외산	0.0296
달천	0.0367	용지	0.0357
무등	0.0388	이현	0.0643
반산	0.0357	지산	0.0316
반천	0.0306	토계	0.0194
삼각	0.0265	호계	0.0439
석토	0.0245	화동	0.0337
송정	0.0194		

지형인자(LS)는 경사장 및 경사도를 인자로 하며 해당인자를 산출하기 위해 Mitas, L., & Mitasova, H., (1998)의 식¹⁰을 GIS의 지도대수기법(map algebra)을 통해 구현하였다. 지형인자는 식을 통해 산출되는 무차원 상수이다.

식생피복인자(C)와 보존관리인자(P)는 각각 식생과 지형장의 경작 형태에 따른 토양 침식에 대한 값으로서, 이는 환경부 환경공간정보서비스(<http://egis.me.go.kr>)의 webGIS에서 제공하는 중분류 토지피복분류도(1 : 25,000)을 이용하여 구축하였으며 두 값은 모두 무차원 값이다.

본 연구에서 활용한 인자들은 금강사지가 조성되었을 당시의 환경(약 6세기 후반 ~ 7세기 전반)을 반영한 것은 아니다. 그러나, RUSLE 공식의 인자들 가운데 현재와 당대의 다른 환경에 의해 차이가 발생하는 것은 식생피복인자와 보존관리인자에 해당하며, 이들 값은 연평균 토양유실량에서 소숫점 이하의 값으로서 변동 값이 작아 토양침식등급에 미치는 영향이 작다. 또한, 지형인자와 토양침식인자는 각각 사면지형의 형상과 토양모재의 특성에 기인하므로 변동의 폭이 역사시대의 time scale 관점에서 크지 않다. 아울러 강우인자의 경우, 본 연구의 대상 지역이 소규모 유역으로 연구 지역 내에서 강우인자 수치의 국지적 변동이 크지 않다고 볼 수 있다. 따라서, 경향성의 관점에서 현재의 환경을 공식에 반영하여도 연구지역의 지형장이 가지는 토양침식의 정량적 특성을 논하는데 무리가 없다 판단된다.

분석결과

1. GPR탐사 결과

GPR탐사 결과, 금강사지 사역은 가람 중심선을 기준으로

08 분석프로그램은 미국 ESRI사의 ArcGIS 10.2이다.

09 $R = 38.5 + 0.35 \times P$, 강우침식인자의 P는 연평균 강우량(mm/yr)에 해당한다. 본 연구에서는 기상청(<http://www.kma.go.kr>)에서 제공하는 1981년~2010년간 관측된 부여 지역의 평균 강수량 1349mm/yr를 활용하였다.

10 $LS = (Flow\ Accumulation \times Cellsize / 22.13)^{0.6} \times (\sin(slope \times 0.01745)) / 0.0896^{1.3}$. Flow Accumulation과 slope는 각각 GIS를 통해 산출한 지형면의 누적된 물의 흐름(누적흐름도)과 경사도로서 DEM을 통해 구현된 지형정보를 기반으로 하여 생성한 raster 데이터이다. 누적흐름도란, 지형정보에서 지형면의 기복과 방향성을 통해 강수시 지형면에 존재하는 물의 거동을 예측해 내어 집수 및 유출경로를 표현한 것이다. 아울러, 본 연구에서 활용한 raster 데이터의 cell size는 5m이다.

오른편인 북쪽 지역에 유구의 잔존상황이 비교적 양호하며, 반대편인 남쪽은 잔존상황이 좋지 않음을 알 수 있었다.

그 결과를 <그림 7>에 나타내었는데, 파란색 지역은 토양과 같이 반사강도가 약하거나 매장물이 없는 곳이며, 붉은색 지역은 단단한 석재이거나 다른 성질의 토양으로 간주할 수 있다. <그림 7>의 세부 그림위에 표시한 보라색 실선은 발굴 결과에 의한 추정가람이며, GPR탐사에 의하여 확인된 반응은 주황색 실선으로 표시하였다.

서승방지에서 기 발굴조사시 확인된 8개의 남북방향 적심이 약 3m 간격으로 GPR탐사에서도 같은 위치에서 확인되고 있으며 약 2.5m 이격된 서편에 3개의 적심이 추가로 확인된다. 서승방지는 가람 중심선을 기준으로 오른쪽인 북편에 동서기단석렬로 보이는 반응이 48m 가량 확인되며, 기단간 거리는 14m로서 발굴결과의 서승방지의 규모와 상호 일치한다. 그리고 GPR 반응이 뚜렷하지는 않으나 서승방의 북편에 2.4m 인접하여 남북길이 8m, 동서길이 14m 규모의 건물 1채가 있을 것으로 추정된다.

강당지는 GPR탐사에서 기단석렬이나 적심적으로 보이는 반응이 거의 확인되지 않으나 남동모서리에 1개, 북동모서리에 2m와 4m 간격으로 3개의 적심이 확인된다. 반면에 강당지의 좌우측에 연결되는 회랑에 적심렬이 확인되는데, 강당의 남편에 연결된 서회랑지에서는 약 2.5 ~ 3m 간격의 적심 7개가, 강당 북편에 연결된 서회랑지에서는 6개 및 2개의 적심렬이 두 줄지어 나타나고 있다. 하지만 특이한 점은, 이 적심렬 외에 회랑지의 기단석렬은 전혀 확인되지 않는다.

금당지는 최상층에 발굴보고서에서 언급한 재건 판축기 단층이 0.5m 깊이의 탐사결과에서 확인되고, 그 하부에 창건 기단층으로 보이는 반응이 일부 확인된다. 그러나 이보다 더 하부층인 0.7m 깊이에서 주황색으로 표시한 부분에 한 번의 길이 17m의 정방향 반응이 나타나고 있어 또 다른 건물이 있음을 추정해 볼 수 있다(그림 7, 금당지 세부 참조). 중심축은

기존의 금당지와 시계방향으로 약 6° 차이가 있다.

목탑지는 지표고가 해발 23.76m로 주변보다 약 0.5m 정도 높은 볼록한 지형을 하고 있으며 판축기단토층으로 구성되어 있음에도 불구하고 GPR에서 강한 반응을 보이지 않는 점은 향후 심도 있게 재확인해 보아야 할 요소로 보인다. 목탑지의 중심에서 적심적으로 추정할 만한 반응은 확인되지 않으며, 중심에서 북편으로 4m 지점, 깊이 0.5m에서 남북 길이 3m 크기의 물체가 보이고 있다. 또한 목탑지의 북편에 3m 이격해서 유구와 관련할 것으로 보이는 반응이 확인되었으나 동, 서, 남편에서는 확인되지 않는다.

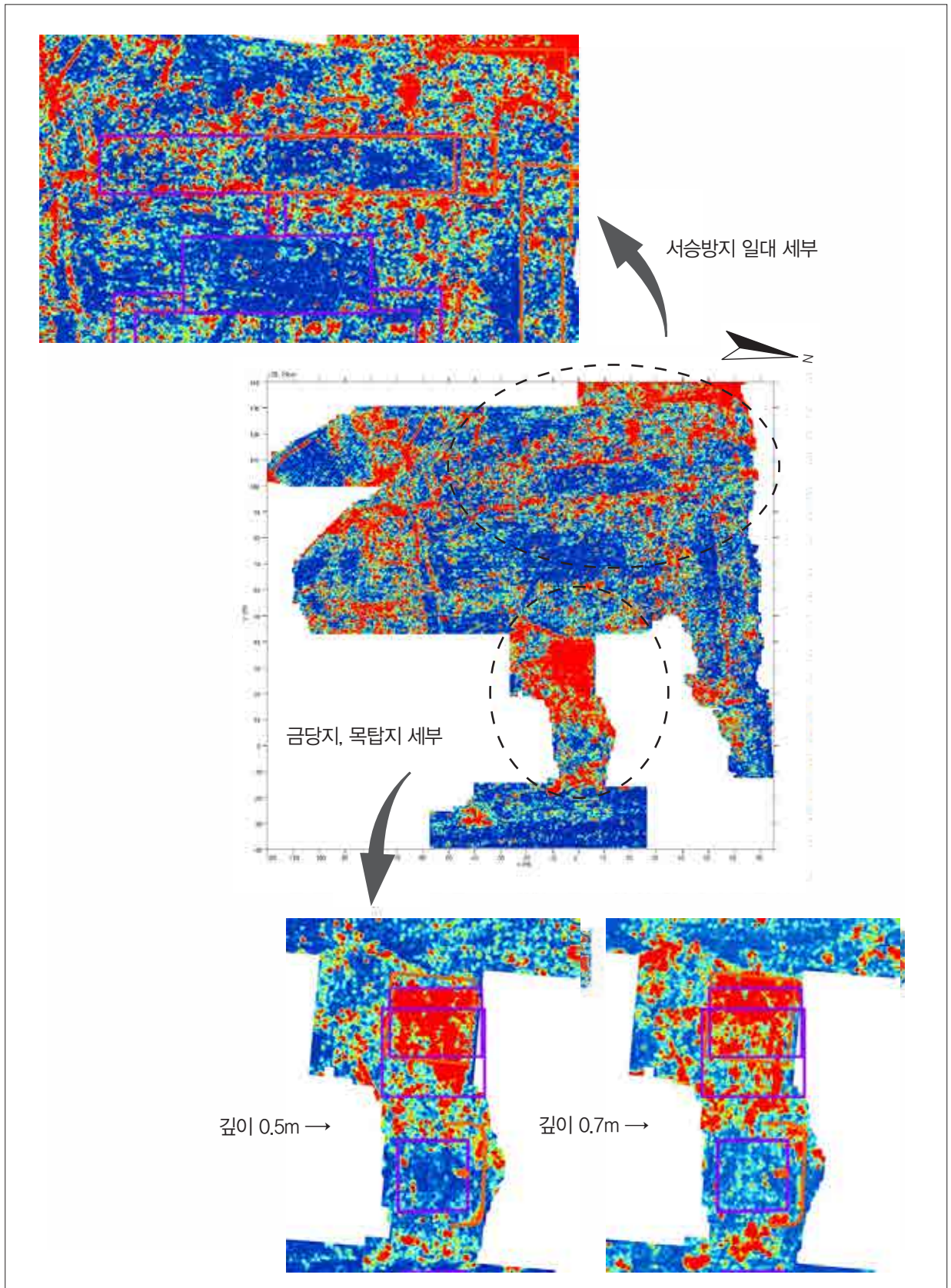
발굴보고서에서 언급한 북회랑 밖의 기단은 GPR탐사에서 북회랑과 서회랑을 연결하는 지점의 북편에서 약 5.5m 길이만 확인되었다.

이번 GPR탐사에서 주목할 만한 반응은 북회랑지의 북쪽 기단선에서 20m 북쪽으로 동서길이 61.7m의 대형 장방형 유구가 발견되었으며 그 폭은 10.1m이다. 또한 이 대형 장방형 유구의 서쪽 끝에는 남북길이 12.2m, 동서길이 18.2m의 유구가 연결하여 있는 것으로 보이며 서승방의 중간지점에서 끝나고 있다. 이 대형 장방형 유구의 반대쪽인 동쪽 끝은 북편의 기단렬이 중간에 사라지나 남편의 기단렬이 직각하여 남쪽으로 꺾여 17.7m까지 확인되었다. 탐사범위를 확대하면 더 연장될 가능성이 있다.

또한 서승방지의 서편에 21m 이격된 지점은 해발 25.8m 이상으로 서승방지보다 약 2m 이상 높은 곳으로 건물의 기단 또는 축대 정도로 추정 가능한 반응이 29m 가량 확인되었다.

중문지에서는 GPR탐사에 특이한 반응이 확인되지 않았다.

서승방지의 서편, 남편, 북편의 경사지와 평지에서 지형을 따라 굴곡진 실선 형태의 반응이 확인되었는데 연두색 실선으로 표현한 것은 지표에서도 확인되는 최근의 배수로로 추정되며, 파란색 실선으로 표현한 것은 지하에 존재하는 배수로 정도로 추정된다.



【 그림 7 】 GPR탐사 결과 세부 (깊이 0.3 ~ 0.7m)

2. 항공사진 분석결과

항공사진을 비교 분석한 결과, 금강사지 일대의 과거지형 변화를 알 수 있었다. 금강사지 내에 현재는 북편 회랑지에 가옥 1채가 있는데 1969년 발굴조사보고서에는 4채가 언급되어 있으며 1954년 사진에는 금당지와 강당지에 각각 1채씩 더 발견되어 원래는 6채였음을 알 수 있었고, 이 가옥들이 금강사지 중심건물지 위에 자리하고 있어 유구가 상당부분 교란되었을 가능성을 보여주고 있다.

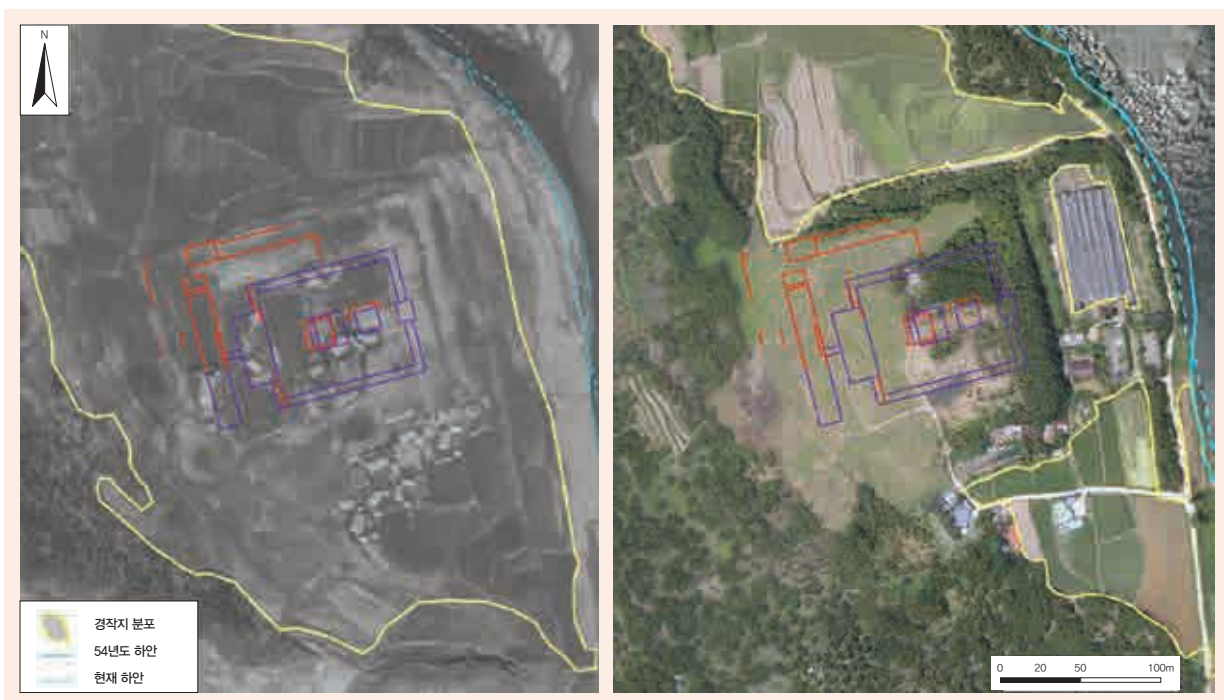
금강사지 동쪽에 위치한 지천은 하천의 유로변동이 확인되며, 금강사지의 동편에 위치한 하안에서 하안선의 후퇴(최대 11.8m)가 관찰된다. 이는 하상 부유물이 특정한 지역에 쌓여서 발생하는 포인트바(point bar)의 생성 및 해체와 관련이 있는 것으로 판단되며 하천의 유체적 특성에 기인하는 역동성에 의한 일시적 변화로 해석할 수 있다. 사역을 둘러싼 지역에서 54년 당시 광범위한 논밭의 토지이용 양상이 확인되며 현재 사역의 내부와 남편, 서편에서 54년 대비 64%의 경작지 축소 양상이 관찰된다. 북편과 동편의 직사각형 형태

의 단은 과거 항공사진에서도 확인되어 최근에 조성된 인위 개변적인 지형이 아님을 알 수 있다.

3. RUSLE 모델 분석결과

각 인자들을 통해 연평균 토양유실량을 산출해 내었다. 공식에 적용되는 연평균 토양유실량의 단위는 ton/ha/yr이나, 이해의 편의성을 위해 kg/m²/yr로 환산하였다. 연구에 활용된 각 인자별 분포 면적 및 누적흐름도, 연평균 토양유실량은 <표 2>와 같다.

강우침식인자(R)는 510.65 J/m²를 연구지역 전체에 사용하였다. 토양침식인자(K)는 0 ~ 0.0643의 분포를 나타내고 있으며, 최저값은 하천, 최고값은 토양통중 이현통에 해당하며 평균값은 0.0281 ton · hr/Mj · mm이다. 이현통에 해당하는 토양은 유역 남동쪽의 지천과 접한 하안에서 관찰되고 있다. 연구지역에 해당하는 유역의 총면적 가운데 44.3%를 차지하는 0.0192 ~ 0.0275은 송정, 토계, 석도, 삼각통에 해당한다. 이들 토양통은 유역의 북쪽 구릉의 남동사면을 제외한



【 그림 8 】 금강사지(좌 : 1954년, 우 : 2014년)의 토지이용 및 하천유로 변화양상



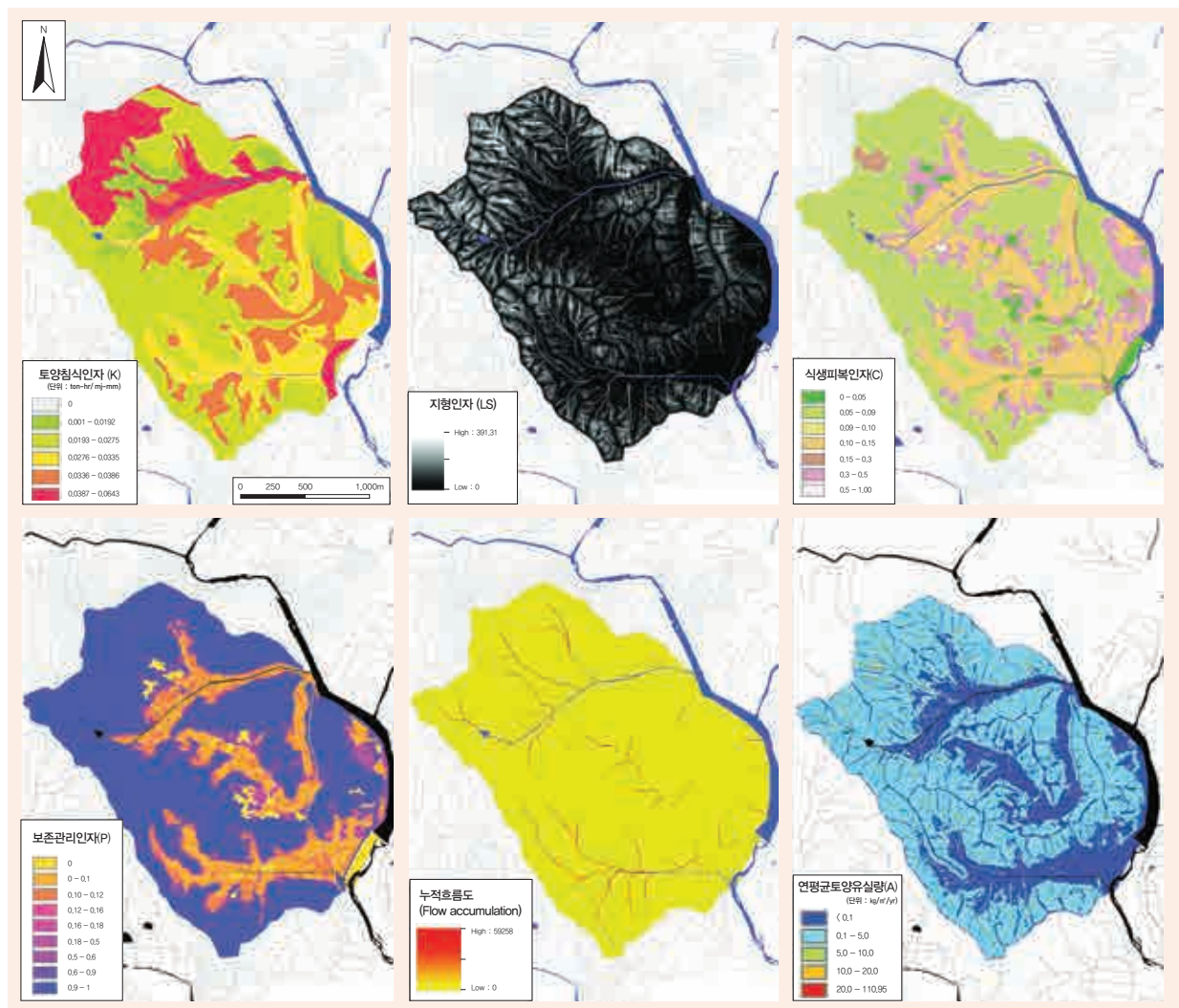
유역내 대부분의 구릉에 분포하고 있다. 금강사지 사역의 배후에 존재하는 구릉 역시 송정통과 삼각통이 우점하는 양상을 보이고 있다.

지형인자(LS)는 0 ~ 391.31의 값을 가지며 평균값은 5.76, 누적흐름도는 0 ~ 59258의 분포를 나타내며 평균값은 96.86이다. 누적흐름을 제외한 전술한 인자들을 모두 곱한 연구지역 전체 연평균토양유실량(A)은 0 ~ 110.95 kg/m²/yr의 분포를 보이면서 평균값은 0.59 kg/m²/yr이다. 유역 전체에서 평균과 유사한 양상을 나타내며 유역 북쪽 구릉의 남동사면에 발달한 곡에서 최대값 30 kg/m²/yr이상의 값을 나타낸다.

식생분포인자(C)는 0 ~ 1.0의 값을 가지며 평균값은 0.10

이다. 인자 값의 구분은 토지이용 양상을 따르고 있으며 산림에 해당하는 0.05 ~ 0.09에서 55.3%의 면적 비율을 보이고 있다. 이는 전술한 보존관리인자에서 유역내 구릉이 우세한 지형양상과 관계가 있는 것으로서, 구릉의 사면부터 말단 그리고 곡저의 순으로 모식적인 토지이용양상의 변화를 보이고 있다. 금강사지 사역이 위치한 지형면은 0.3의 수치를 보이고 있다.

보존관리인자(P)는 0 ~ 1.0의 값을 가지며 구릉의 사면을 따라 말단, 곡저 순으로 수치가 낮아지며 평균값은 0.71이다. 전체면적 가운데 0.90 ~ 1.00에 해당하는 면적이 63.2%로 가장 큰 비율을 보이고 있는데, 구릉의 분포가 압도적인 연구



【 그림 9 】 연구에 활용된 각 인자와 이들을 통해 산출한 연평균 토양유실량

지역의 유역특성을 반영하는 것으로 판단된다. 또한, 0.12 ~ 0.16, 0.50 ~ 0.60은 해당 인자가 존재하지 않는 것으로 나타났다. 이는 연구지역 내에서 4.00 ~ 16.7°의 경사도와 1.15 ~ 8.53°의 경사도를 가진 지형면에는 각각 논과 밭이 위치하지 않음을 알 수 있다. 한편, 금강사지 사역이 위치한 지형면은 0.5 ~ 0.6의 수치가 관찰되고 있다.

【 표 2 】 연구지역에서의 각 인자별 결과 및 연평균 토양유실량

인자	값	면적(m ²)	비율(%)
토양침식인자(K) 단위 : ton · hr/ Mj · mm	0	190,800	3.2
	0.001 ~ 0.0192	336,375	5.6
	0.0192 ~ 0.0275	2,666,150	44.3
	0.0275 ~ 0.0335	1,009,125	16.8
	0.0335 ~ 0.0386	950,625	15.8
	0.0386 ~ 0.0643	859,225	14.3
	평균값 = 0.0281		
지형인자(LS)	0 ~ 391.31		
	평균값 = 5.76		
식생피복인자(C)	0 ~ 0.05 (기타)	284,975	4.7
	0.05 ~ 0.09 (산림)	3,201,575	53.3
	0.09 ~ 0.10 (과수원)	7,600	0.1
	0.10 ~ 0.15 (논)	1,324,950	22
	0.15 ~ 0.30 (초지)	185,850	3.1
	0.30 ~ 0.50 (밭)	1,003,425	16.7
	0.50 ~ 1.00 (나지)	3,925	0.1
	평균값 = 0.10		
보존관리인자(P)	0	289,850	4.8
	0 ~ 0.10	727,675	12.1
	0.10 ~ 0.12	520,375	8.7
	0.12 ~ 0.16	-	-
	0.16 ~ 0.18	76,900	1.3
	0.18 ~ 0.50	151,300	2.5
	0.50 ~ 0.60	-	-
	0.60 ~ 0.90	446,850	7.4
	0.90 ~ 1.00	3,799,350	63.2
	평균값 = 0.71		
누적흐름도 (Flow accumulation)	0 ~ 59258		
	평균값 = 96.86		
연평균 토양유실량(A) 단위 : kg/m ² /yr	< 0.1 (1등급)	2,224,525	37
	0.1 ~ 5.0 (2등급, Slight erosion)	3,712,775	61.8
	5.0 ~ 10.0 (3등급, moderate)	54,500	0.9
	10.0 ~ 20.0 (4등급, High)	15,350	0.3
	> 20.0 (5등급, Severe)	5,150	0.1
		평균값 = 0.59	

Gupta, H.S.(2001)는 각 인자들을 기반으로 산출한 연평균 토양유실량을 가지고 침식위험도 등급을 제시한 바 있다. 그러나 국내에서는 아직 통일된 등급 용어를 사용한 사례가 없으므로 임의로 침식위험도가 낮은 1등급부터 침식위험도가 높은 5등급으로 재구분하였다.

연구지역 내에서 가장 우점하는 토양침식등급은 토양유실량 0.1 ~ 5.0 kg/m²/yr의 slight erosion인 2등급이다. 뒤를 이어, 0.1 kg/m²/yr이하의 연평균 토양유실량을 나타내는 1등급 지역의 면적이 37.0%의 비율을 보이고 있다. 이 둘을 합하면 전체 면적의 98.8%에 해당하여 유역의 토양침식양상은 매우 안정된 모습을 보이고 있다고 말할 수 있다. 3등급 이상의 지역은 유역내 구릉의 꼭에서 일반적으로 관찰되고 있다.

한편, 금강사지가 위치한 특정 지형면에서의 토양침식등급 분포 양상은 발굴조사 당시 확인된 유구를 기반으로 재구성한 추정 가람배치 양상과 토양침식등급의 분포 간에 일정한 상관성이 확인된다. 금강사지가 전술한 유역전체와 유사한 양상을 보이는 가운데, 입지한 지형면의 중심부에서 0.1 kg/m²/yr 이하인 1등급을 나타내며 주변부에서는 2등급을 보이고 있다. 그 중, 1등급 지형면 위로 추정 가람배치가 자리 잡고 있어 금강사지가 입지한 유역의 토양침식에 대한 안정성이 매우 높음을 확인하였다.

결론

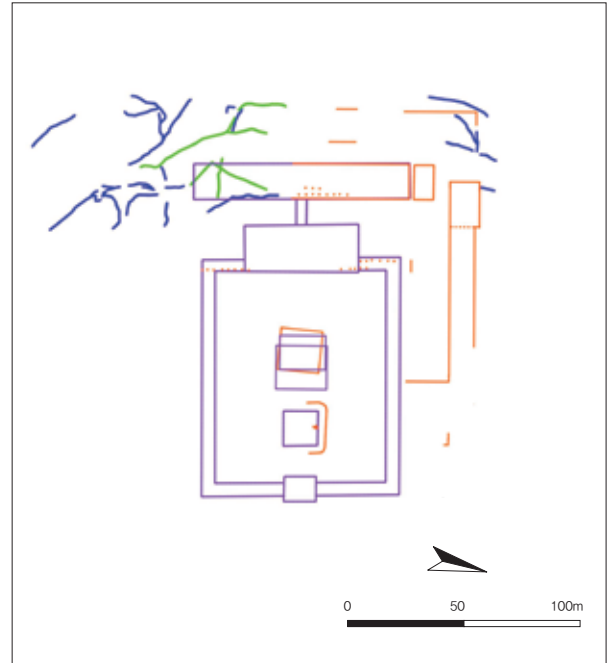
본 연구는 부여 금강사지에서 고고학적 발굴 외의 방법으로, GPR탐사와 GIS기술을 이용하여 항공사진을 분석하고 수치지형도를 활용한 토양유실량(RUSLE)을 분석, 지표조사 등을 통하여 금강사지의 입지와 지형변화를 파악하고자 하였다.

GPR탐사 결과 건물의 기반으로 추정되는 반응이 사역의 북편과 서편에서 나타나고 있어 금강사지와 관련된 사역은 기존 가람보다 더 넓은 것으로 추정된다. 반면에 사역의 남편은 GPR에 반응하는 물체 중 유구로 짐작할 수 있는 반응이 거의 없어 잔존유구가 불량한 것으로 보인다.

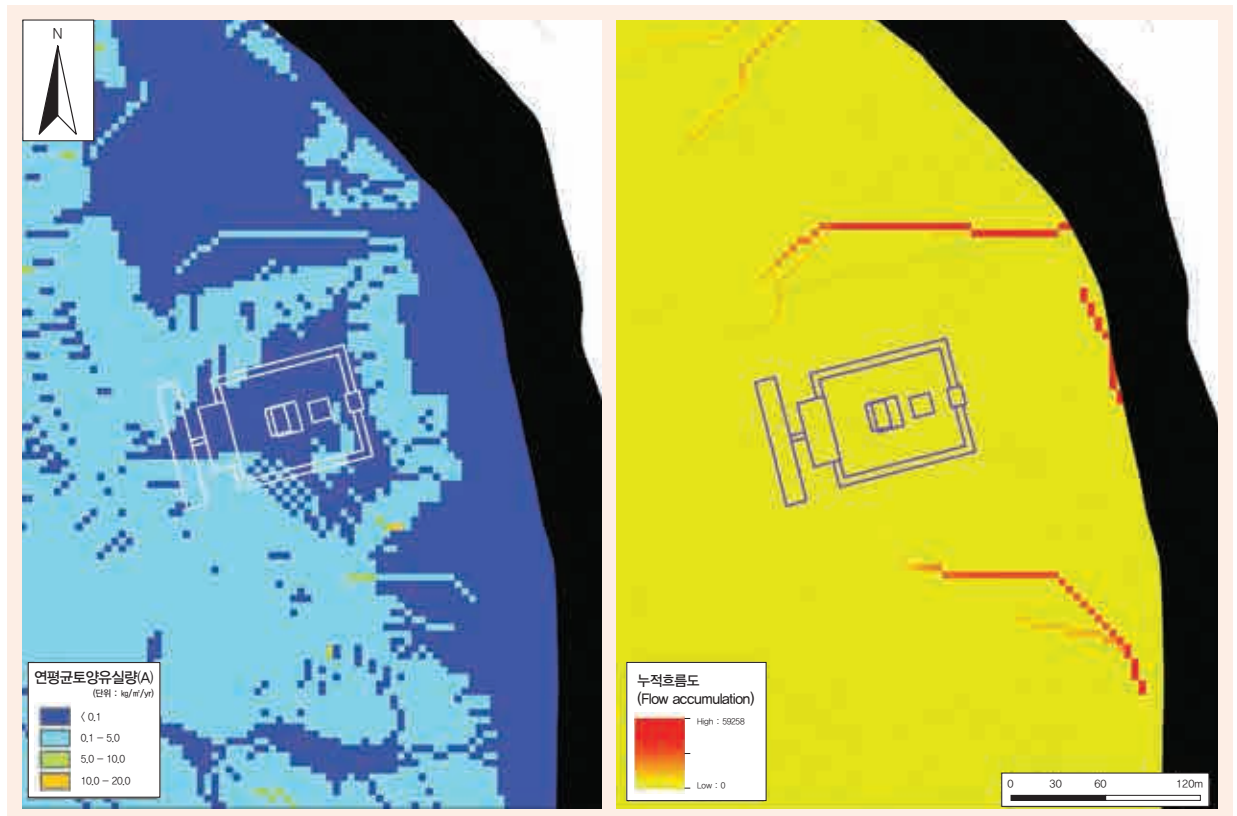


사역에서 추가로 확인된 건물지는 발굴조사에서 확인된 가람의 중심축과 같은 방향이다. 이것은 기존의 건물을 고려하여 건축을 설계하였다는 것을 의미하나, 가람의 시기별 변화와 건물의 상호 연관성, 건물의 사용용도 등에 대하여는 발굴조사에서 확인하여야 할 것이다.

금강사지의 추정가람배치와 누적흐름도를 중첩시켜 이를 연평균 토양유실량과 결합하여 보면 자연적으로 지표면에 발생할 수 있는 배수체계의 형태가 시각적으로 구현된다. 강당지의 좌·우측에서 자연적인 배수체계의 가능성이 확인되는데, 이것은 연평균 토양유실량의 양상과도 매우 유사하며 자연적으로 발생하는 배수체계, 즉 우곡으로 인한 하방 침식의 발생가능성이 금강사지가 입지한 지형면에서는 낮음을 의미한다. 우곡(gully)은 강우의 침식작용에 의해 형성되어 강우시에만 물이 흐르는 작은 곡을 이르며, 누적흐름도의 수치가 높은 부분을 우곡으로 볼 수 있다.



【 그림 10 】 금강사지의 가람(보라색 실선)과 추가 확인된 건물지(주황색 실선), 추정 배수로(파란색, 연두색 실선)



【 그림 11 】 금강사지 추정가람배치를 중심으로 본 연평균 토양유실량과 누적흐름도

또한, 본 연구의 GPR탐사를 통해서 확인된 배수로 양상
과도 높은 상관성을 띄고 있어, 금강사지는 자연발생적 우곡
을 최대한 활용하여 배수를 처리하였을 가능성이 높다.

따라서, 금강사지는 기후변동 단구면 위에 위치하며 침
식에 대해 안정된 지형장에 입지를 한 가운데 자연발생적인
배수체계를 기반으로 한 입지를 선택하였고, 이를 통해 백제
의 건축기술이 토양 침식에 대한 안정성과 효율적 배수체계
를 고려한 최적의 입지를 선별할 수 있는 능력이 있었음을
알 수 있었다.

사사

본 논문은 「백제도성 연구정보 협력을 위한 협약」에 따라
백제고도문화재단의 GPR장비 협력과 국립부여문화재
연구소가 실시하는 '백제 고도보존지역 문화유산 활용을 위한
학술조사' 및 '백제불교문화 복원을 위한 백제사지 학술조사'의
일환으로 실시한 연구 결과임을 밝힌다.

또한 고고학적 분석에 여러모로 도움을 주신 심상욱, 양숙자
님께 고마움을 표한다.



참고문헌

- 강영미 · 강준목, 2006, 「표토의 정밀 모니터링을 위한 유실 및 퇴적량 산정」 『대한토목학회논문집』 D, 26(1D)
- 국립문화재연구소, 2006, 『유적발굴과 물리탐사』
- 國立博物館, 1969, 『金剛寺』, 國立博物館 古蹟調查報告 第七冊
- 국립부여문화재연구소, 2013, 『백제사찰 연구』
- 국립부여문화재연구소, 2013, 『제석사지 발굴조사보고서Ⅱ』
- 국립부여문화재연구소, 2011, 『정림사지 발굴조사보고서』
- 오경원, 2013, 「변형 RUSLE 모델을 이용한 전라북도 산림유역의 토사생산량 추정」, 전북대학교 석사학위논문
- 오현덕 · 신종우, 2010, 「GPR탐사를 통해 본 경주 월성의 유적 분포현황 연구」 『문화재』 제43권 제3호
- 이근상 · 박진혁 · 황의호 · 고덕구, 2004, 「GIS 기반 토사유실모델을 이용한 저수지 사면의 토사유실 영향 분석」 『한국지리정보학회지』 제7권 제3호
- 이두용, 2009, 「RUSLE기법을 이용한 창춘유역의 토양침식량 추정」, 경상대학교 석사학위논문
- 조원창, 2011, 「부여 금강사의 축조시기와 당탑지 기단구조의 특성」 『문화사학』 제36호
- 환경부, 2012, 「환경부고시 제2012-124호 표토의 침식 현황 조사에 관한 고시」
- Desmet, P. J. J., & Govers, G., 1996, 'A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units' *Journal of soil and water conservation* 51(5)
- Gupta, H. S., 2001, 'Terrain evaluation for eco-restoration using remote sensing and GIS', *In Proceedings of the 4th AGILE conference on GIScience*
- Mitás, L., & Mitasova, H., 1998, 'Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention' *Water Resources Research* 34(3)
- Toxopeus, A. G., 1996, 'ISM: an interactive spatial and temporal modelling system as a tool in ecosystem management'
- Wischmeier, W. H., SMITH, DD, 1965, 'Predicting Rainfall-Erosion Losses from Cropland East of the Rocky-Mountains' *Agriculture Handbook*
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D., 1978, 'Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning' *Agriculture Handbooks (USA), No.537*
- <http://www.kma.go.kr> 기상청
- <http://soil.rda.go.kr> 농촌진흥청 국립농업과학원 토양환경정보시스템
- <http://mgeo2.kigam.re.kr> 한국지질자원연구원 지질정보시스템
- <http://egis.me.go.kr> 환경부 환경공간정보서비스

A Study on the Location of Buyeo Geumgangsaji (Temple Site) through GPR and GIS

Oh Hyun-dok · Kim Sung-tae · Woo Sang-eun · Jo Yong-il

Buyeo National Research Institute of Cultural Heritage

Abstract

There is a necessity of re-research about Geumgangsaji temple site as reviewed recently confirmed typical temple arrangement of Baekje.

The purposes of this study are, determine that building remains and layout patterns using Ground Penetrating Radar, and identify that the location and terrain changes of Geumgangsaji using aerial photographs and a numerical map by GIS.

In the GPR result, it was confirmed that new building sites in the west and the north area which in Geumgangsaji is more wide.

In addition, it was found that the temple is located on stable river terrace with low soil loss. And this site has spontaneous drainage system for the optimum position.

Key Words Geumgangsaji Temple Site, GPR, GIS, Soil Loss, RUSLE, Aerial Photograph



MUNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies Vol. 47. No. 4