

보고서[6](이하, 발굴조사보고서)가 작성되었다. 기존의 많은 연구가 주로 유적이나 유물을 통한 금석학문적 입장에서 역사적 사실 추정을 시도하였으나 본 연구에서는 최근의 연구[3][4]와 같이 어떤 기존 지식에 대한 선입감 없이 단순히 수리고고학적 입장에서 관측된 자료의 과학적 분석을 통해 내재된 과학적 사실 추구를 목적으로 서술 되었다. 그리하여 본 논문은 시초에 기존의 발굴조사보고서를 보지 않고 거의 수학적인 사실만을 근거로 작성하였다. 그 뒤 기 작성된 발굴조사보고서와 엄밀히 비교하여 분석하여 확인하여 본 바 서편 장대석에 대한 출처를 잘못 해석한 것 이외 발굴조사보고서와 모순되는 점을 거의 발견하지 못했다. 즉, 처음 논문 작성 시에 서편 장대석이 원래 서편에 위치한다고 생각했지만, 발굴보고서를 통해 1993년 아래쪽 연못에서 발견된 태극 장대석을 서편에 인위적으로 놓았다는 사실을 알고 이에 맞게 정정하게 되었다. 그리하여 최초의 동일서월의 철학적 사상이 상일하월 사상으로 바뀌었지만 서편 태극 장대석이 달과 관련 있음이 전혀 바뀌지 않음을 알 수 있다.

이 논문은, 최근 첨성대의 기능에 대한 논문[3]을 바탕으로 하여, 사람들의 관심밖에 있던 감은사지의 太極 長臺石에 대한 관련성을 연구함으로써 그 당시의 지식 사회의 철학적 바탕을 추론하고자 한다. 본문에서는 첨성대의 수리철학에서 나타나는 구체적인 증거들을 太極 長臺石에서 나타나는 이등변삼각형과 태극문양에서 찾는다. 또한 첨성대에서 나타나는 黃道 및 白道 정보를 태극 장대석의 태극 설계도와 연결하고자 한다. 이처럼 사찰에서 책력 및 위도와 관련된 천문학적인 도형을 가지고 있는 석조물은 역사적으로 볼 때 그 유래를 찾아볼 수 없는 유일무이한 귀중한 사료임을 알 수 있다.

또한 본 논문에서 제시한 연구방법으로 기존의 금석학문적 입장에서 탈피하여 수리고고학적 입장에서 융합 정보(convergence information)를 이용한 새로운 접근을 시도한 한 바 기존의 참고할 선행 연구라 할 만한 자료는 없지만 방법적으로 첨성대의 수리 천문학적 의미를 과학적으로 분석한 논문[3]과 궤를 같이 한다고 할 수 있다.

II. 태극 장대석 鋸齒文樣의 기하학적 분석

感恩寺址에는 左右雙塔이 현존한다. 감은사지 축조 시기인 神文王 2년(A.D. 682년)보다 먼저 文武王 19년(A.D. 679년)에 건축된 사천왕사의 일사이탑인 목탑이 있긴 하지만 현재는 그 자취만 남아 있다. 따라서 感恩寺址는 一寺二塔의 형태가 現存하는 것으로는 最初인 절터이다. 그 곳 金堂터에는 동편 및 서편에 太極 長臺石이 각각 한 개씩 배치되어 있다. 동편 태극 장대석과는 달리 서편 태극 장대석은 앞에서 말한 바와 같이 인위적인 배치이다[6]. 동편은 해에 관한 장대석이고, 서편은 달에 관한 장대석이다. 그러나 서편 장대석은 아래의 연못에서 발견된 것으로 어떻게 해석하면, 西月 보다는 下月사상과 일치한다. 마찬가지로 동편은 東日 및 上日사상과 일치한다. 동편 장대석에는 태극을 중심으로 원편에 이등변 삼각형(鋸齒文)의 형태가 새겨진 양각 8개 및 음각 8개가 있고 오른쪽에 이등변 삼각형의 형태가 새겨진 양각 7개 및 음각 7.5개가 있다. 그리고 중앙에는 해의 운행과 관련 있는 1개의 원을 갖는 4 태극이 있다. 서편 장대석에는 태극을 중심으로 원편에 이등변 삼각형의 형태가 새겨진 양각 7개 및 음각 7.5개가 있고 오른쪽에 이등변 삼각형의 형태가 새겨진 양각 7개 및 음각 8개가 있다. 그리고 중앙에는 달의 운행과 관련 있는 태극이 있다. 특히 中央의 太極은 四分中 春分과 秋分點에 해당하는 곳이다. 이미 瞻星臺의 數理的 哲學[3]에서 소개했듯이 동지에 해당하는 日出 보정 方位角과 역시 冬至點에 해당하는 月出 보정 方位角은 각각 12° 및 18°이다. 그런데 이때 이러한 365일에 해당하는 각 날짜의 방위각을 계산하는 두개의 公式은 본질적으로는 그 證明 方法이 같지만 그 알고리즘(algorithm)은 무척 다르다. 즉, 다른 공식으로 계산을 해야 하는데, 이때 그 방위각을 구하는 공식에서 춘분점과 추분점은 臨界點(critical point)으로 나타난다. 상세히 설명하면, 계산 프로그램에서 춘분점과 추분점 고도를 중심으로 0에 가까운 미세한 각도 차이에도 방위각이 90°에서 -90°로 바뀌는 특이한 현상을 보여준다. 방위각은 서로 다른 춘분/하지/추분 공식 및 추분/동지/춘분 공식에 주어진 고도를 입력함으로써 얻어진다. 즉, 춘분(추분)

고도는 음에서 양으로 이동하는(양에서 음으로 이동하는) 경계치에 해당하는 태극의 본질과 일맥상통한다고 볼 수 있다. 첨성대에서 달의 四分을 하필 왜 강조했는지의 이유와도 연결되는 부분이다. 太陽의 四分만이 世上을 主管하는 것이 아니고 달의 四分 역시 세상에 필요한 존재임을 보여주는 중요한 증거임을 알 수 있다.

아래 [그림 1]은 감은사발굴조사보고서[6] 216쪽 삼도 117의 ③과 유사하지만 아래의 바로 선 왼쪽 이등변 삼각형의 개수가 서로 다르다. [그림 1]에서 보듯이, 왼쪽 이등변삼각형의 개수는 7개이다. 따라서 조사보고서의 왼쪽 이등변삼각형의 개수 8개는 오류임을 알 수 있다. 우리는 [그림 1]을 달의 운동을 나타내는 太極 長臺石 모형으로 다음과 같이 설명한다. 먼저 아래 그림에서와 같이, 왼쪽 西쪽 끝의 이등변 삼각형(冬至點)에서 출발하여 7일 후 태극의 변화를 거쳐 거꾸로 선 이등변 삼각형을 따라 東쪽 끝의 이등변 삼각형 지점(夏至點)에 15일만에 도달한다. 그리고 東쪽 끝의 이등변 삼각형(夏至點)에서 출발하여 다시 왔던 지점을 바로 선 이등변 삼각형을 따라 7일 후 태극의 변화를 거쳐 거꾸로 선 이등변 삼각형을 따라 西쪽 끝의 이등변 삼각형 지점(冬至點)에 14.5일만에 돌아온다는 사실을 알 수 있다. 그렇게 계산한다면 滿月週期(29.5日)를 설명할 수 있다. 숫자가 쓰인 날은 陰曆 日數에 해당하는 날이다.

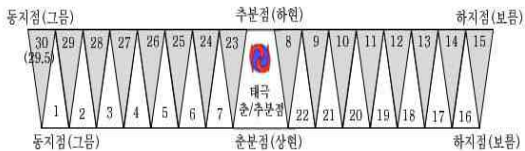


그림 1. 감은사지 서편 태극 장대석의 抽象的 模型(달)

15일에서 16일로 바뀌는 부분은 첨성대의 관측에서 나타나는 달의 출현과 밀접한 관련이 있다. 15일째 거꾸로 선 이등변을 따라 가장 오른쪽에 이르러(달이 서편으로 지고 난 후에) 다음 날 16일째 달은 동편에서 뜨는데 16일 바로 선 이등변의 오른쪽에서 달이 뜨는 것을 형상화 한다. 위의 모형은 편의를 위해서 만든 것이다. 사실상 번호 15와 번호 30에 해당하는 부분은 온전한 음각을 1로 두었을 때, 각각 0.2와 0.3 정도의 음각이

과여져 있다. 편의를 위해서 가장 왼쪽에 그 합인 $0.2+0.3=0.5$ 를 두었다. 이렇게 본다면 요즈음 사용하고 있는 滿月週期(29.5日)와 조금도 어긋나지 않음을 확인할 수 있다. 雙對性을 이용해서 그 반대인 그림에서도 같은 원리가 적용된다.

위의 달의 운동은 해의 운동에도 적용되는데 이때는 [그림 2]와 같은 약간 다른 모형을 사용한다. [그림 2]는 감은사발굴조사보고서 216쪽 삼도 117의 ①과 같다. 태극을 중심으로 [그림 1]과 [그림 2]에서 나타나는 번호의 상하 진행방향이 다른 이유는 뒤에 설명하기로 한다.

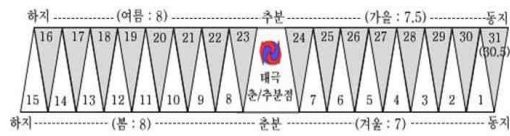


그림 2. 감은사지 동편 태극 장대석의 抽象的 模型(해)

이 동편 장대석의 모형에서는 서편 태극 장대석과는 달리 오른쪽 東쪽 끝의 이등변삼각형에서 동지가 시작된다. 그리고 해의 운동은 다음과 같이 설명된다.

- (1) 동지에서 춘분까지: 2월 28일로 인해 가장 짧다. $12월\ 31일+1월\ 31일+2월\ 28일=90+1+1=92$ 일이다. (겨울:7)
- (2) 춘분에서 하지까지: 3월 31일+4월 30일+5월 31일 $=90+1+1=92$ 일이다. (봄:8)
- (3) 하지에서 추분까지: 7,8월 연속 31일로 인해 가장 길다.: $6월\ 30일+7월\ 31일+8월\ 31일=90+1+1=92$ 일이다. 제일 길다. (여름:8)
- (4) 추분에서 동지까지: $9월\ 30일+10월\ 31일+11월\ 30일=90+1=91$ 일이다. (가을:7.5)

이때, 가을을 7.5로 둔 것은 아래의 [그림 4]에서 보듯이 동편 끝의 음각은 그 오른쪽에 양각의 이등변 삼각형이 없으므로 그 반인 0.5밖에 취할 수 없다. 이렇게 본다면 요즈음 사용하고 있는 달력과 조금도 어긋나지 않는 놀라운 결과를 얻을 수 있는 것이다.

이러한 숫자의 합은 $7+8+8+7.5=30.5$ 이다. 30.5에 12

(황도 12궁)를 곱하면 366일, 즉 지구 공전주기인 365일 5시간 48분 46초에 매우 근사한 값을 얻을 수 있다.

다음 그림은 남쪽 정면에서 찍은 감은사지 동편 태극 장대석 사진이다.



그림 3. 감은사지 동편 태극 장대석

다음 그림은 남쪽 정면에서 찍은 감은사지 서편 태극 장대석 사진이다.



그림 4. 감은사지 서편 태극 장대석

III. 태극 장대석의 太極文樣의 기하학적 분석

먼저 감은사지 태극 장대석에 그려진 이등변삼각형의 꼭지각을 살펴보면 35.8°를 이루고 있음을 알 수가 있다. 이때의 각은 특히 경주의 위도와 일치하게 된다. 이로 미루어 아마 당시의 신라인들은 경주의 위도가 북위 35.8°임을 어떤 방법으로든 인식하고 있었다는 것을 유추할 중요한 증거가 될 수가 있다. 다음은 직접 각도기를 사용하여 각도를 잴 수 있도록 보조 선분을 넣은 동편 태극 장대석의 사진이다. 선분이 없는 원래 그림은 [그림 3]이다.

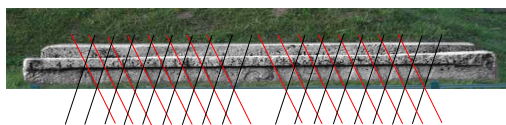


그림 5. 이등변삼각형의 꼭지각(경주 위도 35.8°)

다음으로 감은사지 태극 장대석에 그려진 감은사지 태극의 기하학적 구조를 살펴봄으로 첨성대 구조에서 은닉된 것처럼 이곳에서도 黃道경사(obliquity of

ecliptic) 각도[9]인 23.5°가 내재되어 있음을 파악하게 되었다. 뿐만 아니라 비대칭성을 이용해 白道 경사각(약 18.5°)도 함의할 수 있게 되었다. 이러한 결과 유추를 위하여 아래의 서편 태극 장대석의 태극[그림 7]의 기하학적인 평면 모형인 [그림 6]으로 다음을 설명하고자 한다.

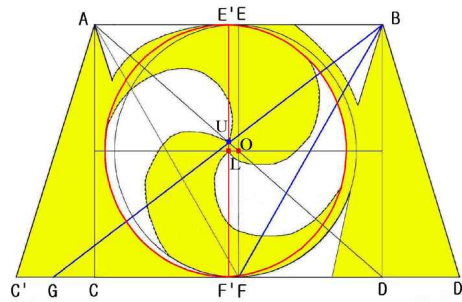


그림 6. 감은사지 서편 태극의 탁본에 의한 모형

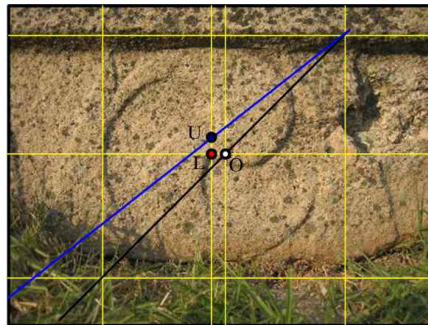


그림 7. 감은사지 서편 태극의 상태극점(U), 하태극점(L) 및 태극의 중심(O)

- (1) 선분 AB의 길이는 1자(30.3cm)이다.
- (2) $\angle BAF = \angle ABF = (\text{경주의 위도}) + (\text{황도경사각}) = 35.8^\circ + 23.5^\circ = 59.3^\circ$ 가 되는 점 F를 잡고 선분 AB의 중점을 E라 둔다. 선분 EF의 중점은 원의 중심 O라 둔다. 이때, $\angle FAC$ 및 $\angle FBD$ 는 90° 에 대한 59.3° 의 여각 30.7° 이므로 경주의 동치고도와 일치한다. 이는 당시에 날짜를 이용한 태양고도에서 자신의 위치가 속한 위도를 찾는 讀海圖法을 알고 있다는 증거를 보여준다.
- (3) 뿔처럼 생긴 좌우의 꼭지각이 있는데, 좌측 꼭지

- 각 및 우측 꼭지각은 모두 경주의 위도 35.8°이다.
- (4) $\angle GBF$ 는 지축경사 또는 황도경사인 23.5°이고, $\angle FAD(19.2^\circ)$ 는 백도경사인 18.5°에 가깝다. 실제 정확히 백도 경사인 18.5°가 되기 위해서는 위도가 북위 21.8°이거나 39.7°가 되어야만 한다. 특히 북위 39.7°는 천상열차분야지도와 관련성이 있다[2]. 하지만 이 문제는 다른 논문[5]에서 따로 다루므로 여기서 상세히 다루지 않는다.
 - (5) 선분 GB와 선분 AD의 교점 U가 상태극점이고 상태극점에서 원의 중심 O를 지나는 수평선에 내린 수선의 발 L이 하태극점이다.
 - (6) 위의 [그림 6] 및 [그림 7]에서 보듯이 상태극점은 선분 EF의 중점인 태극의 중심 O를 원점으로 하는 사분면의 제 2 사분면에 놓인다. 한편 하태극점은 제 2 사분면과 제 3 사분면을 가르는 직선 위에 놓인다. 따라서 비대칭성(asymmetry)을 준다. 즉, [그림 6]은 비대칭 도형이다.
 - (7) 비대칭성은 두 개의 원에서도 또한 관찰된다. [그림 6]에서 보듯이 선분 EF를 지름으로 하는 원 대신에 그 좌측에 동일한 길이를 갖는 선분 E'F'을 지름으로 하는 원을 발견할 수 있다.
 - (8) 최초의 원은 양각이 된 테두리와 일치하고, 좌측으로 선분 F'F'의 길이만큼 평행이동 된 원은 음각이 된 태극의 테두리와 일치한다.

한편 동편 태극 장대석의 태극[그림 9]의 기하학적인 평면 모형인 [그림 8]은 다음과 같이 설명된다. 즉 [그림 6]을 바탕으로 다음과 같이 작도하면 동편 태극의 설계도를 얻을 수 있다.

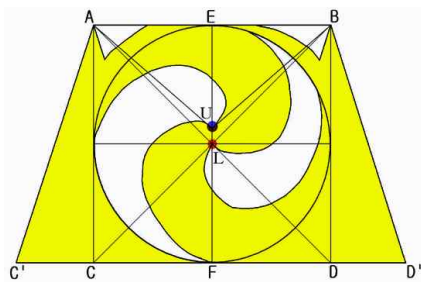


그림 8. 검은사지 동편 태극의 탁본에 의한 모형

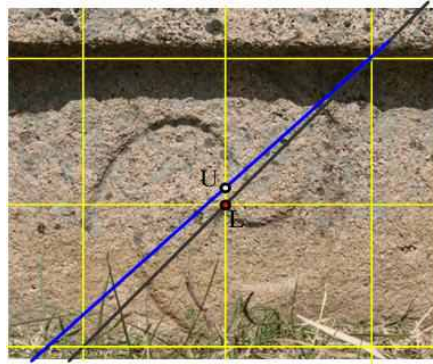


그림 9. 검은사지 동편 태극의 상태극점(U), 하태극점(L)

그림의 설명에 앞서 먼저 위의 [그림 6]에서, $\angle BAD=40.1^\circ$ 와 $\angle ABG=35.8^\circ$ 는 서로 다름을 유의한다.

- (1) 서편 태극을 밑그림으로 둔다.
- (2) [그림 6]의 선분 BG의 G에서 상태극점까지의 거리인 23cm를 새로운 기준선 AB([그림 6]의 선분 AB에 대응)로 정한다. 이것은 마치 어머니(여자: 달) 뱃줄에서 아들(남자: 태양)이 태어나는 형국이다. 상태극점은 상일하월의 상인 해를 의미한다.
- (3) 새로운 기준선 선분 AB를 꼭지각 40.1°([그림 6]에서 $\angle BAD$)의 한 변으로 하고, 우측 뿔 및 좌측 뿔의 끝 점을 각의 꼭지점으로 하는 다른 한 변을 그으면, 두 각의 두 변이 만나는 교점 U, 즉 동편 태극의 상태극점을 얻는다. 즉, 새로운 기준선을 변으로 하는 각 40.1°의 꼭지각을 작도하면 동편 태극의 상태극점 U를 얻는다.
- (4) 상태극점을 지나는 수선을 긋는다.
- (5) 기준선의 선분을 밑변으로 하는 정사각형 ABCD를 만든다.
- (6) 정사각형 ABCD의 대각선의 교점 L은 동편 태극의 하태극점이 된다.
- (7) 상태극점 U와 하태극점 L을 통과하는 직선은 상태극점에서 내린 수선과 일치한다.
- (8) 하태극점을 원의 중심으로 하여 반지름이 하태극점에서 기준선에 내린 수선의 발까지의 거리로 하여 원을 그린다.
- (9) 이렇게 하면 [그림 8]과 같이 동편 태극의 기본 설

계도가 완성된다.

이때 유의할 점은 LFD를 포함하는 정사각형 안에는 우측 아래부분에 음각이 새겨져 있지 않다는 점이다. 또한 서편 태극의 두 개의 원과 동편 태극의 한 개의 원은 [그림 1]과 [그림 2]에서 태극을 중심으로 진행하는 변호의 교차와 관련이 있음을 유의한다. [그림 1]은 변호 1에서 출발하여 7번까지 아래로 진행하다가 태극을 통과하면서 8번부터 위로 교차해서 진행하여 돌아 나와 다시 22번까지 아래로 진행하다가 태극을 통과하면서 23번부터 위로 교차해서 진행하여 돌아 나와 1번으로 돌아간다. 이것을 선으로 연결하면 태극을 교점으로 교차하는 ∞ 모양의 한붓그리기로 만들 수 있어 결과적으로 두 개의 원을 만들어 낸다. [그림 2]도 같은 방법으로 한붓그리기를 하면 하나의 원을 만들어 낸다. 이때에 나타나는 두 원과 한 원은 각 태극에서 나타는 원의 개수와도 일치한다.

그리고 앞에서 정의된 서편 태극 및 동편 태극의 상태극점(U: Upper Taegeuk point)과 하태극점(L: Lower Taegeuk point)은 태극을 이루는 음각에서 나타나는 눈썹 모양의 꼭지점의 역할을 함과 동시에 서편 태극 및 동편 태극에서 나타나는 원의 중심으로서 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 원은 양각이나 음각의 테두리와 일치하기 때문이다. 그리고 동편 태극에서는 한 개의 원의 중심이 나타남에 비해 서편 태극에서는 두 개의 원의 중심이 나타남을 유의한다.

IV. 조사후기

조사 분석을 통해서 우리는 태극 장대석이 첨성대와 밀접한 또 하나의 수학 및 천문 교과서적 의미를 지니고 있음을 알 수 있다. 작은 석조물에 이토록 많은 정보를 담고 있는 태극 장대석은 주자학의 태극사상보다 이미 400년 앞서 태극의 원리를 설명하고 있다[8]. 한편 [그림 7]에서 알 수 있는 바와 같이 일부에서 장대석 태극의 마모 및 훼손이 발견 되었다. 빨의 각도가 마모되었고 태극의 동쪽 빨이 있는 삼각형에 훼손이 있었지만

다행히 측면의 선분이 그대로 살아있었기 때문 [그림 6]을 완성하는 작업에는 크게 무리가 없었다. 또한 사진 찍는 각도에 의해 태극은 약간의 다른 모습을 보일 수 있음에 가장 정확한 방법으로 탁본에 의한 모형[그림 6][그림 8]을 채취하고 이러한 근거 자료를 바탕으로 중요하게 증명해야 할 부분은 수학적 방법을 동원함으로 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결론

본 논문을 기존의 고고학적 분석에서 벗어나 수리 고고학이란 자연과학적 방법을 통해 감은사지 태극 장대석의 의미를 먼저 파악하고 이를 기존의 발굴 조사보고서 등의 자료와 비교하여 사실의 신빙성을 높이고자 하였다. 결론적으로 감은사지 태극 장대석이 나타나는 수리 천문학적 사실로 7세기 당시 신라인들의 응집된 과학 수준을 오늘에 보여주는 것이라 하겠다. 비록 萬波息笛이나 眞平王 玉帶라는 보물이 현재 보존되어 있지 않지만, 첨성대나 감은사지 태극 장대석은 그러한 보물에 못지않다고 본다. 이러한 과학적 철학을 담고 있는 문화재를 그냥 버려두지 말고, 그 속에 살아있는 과학 정신을 찾아서 후손에게 설명하는 것이, 물질적 보물을 후손들에게 물려주는 것보다 더 중요하다고 본다. 또한 이 논문을 통해서 감은사지 태극은 사찰에 존재하는, 전 세계에서 유일무이한 과학적인 유물일 뿐만 아니라, 자연현상을 설명하는 매우 오래된 천문교과서임을 알 수 있다. 참고로 최근에 감은사지 태극보다 약간 앞선 백제 시대 태극 유물이 발견되었으나 이것과는 근본적인 차이가 있다. 특히, 첫 번째 비밀인 35.8°는 그 당시 천문학 및 과학 수준을 알 수 있는 자료이고, 태극 속에 숨어있는 두 번째 비밀인 숨겨진 23.5° 및 18.5°는 당시의 수학의 수준을 알 수 있는 중요한 자료라고 할 수 있다. 1300여년 동안 풍상에 노출되어 각도를 얼른 알아볼 수 없을 정도로 마모가 심하지만 첨성대와 관련된 음양사상에 기초한 접근으로 그 비밀이 쉽게 풀렸다는 사실은 앞으로의 역사적 발굴에 그 이정표를 제시한다고 할 수 있다. 逆으로 첨성대의 동지 일출 및 동지점

월출각에 대한 정보의 방위각 표기의 연유를 위에서 설명한 동편 태극 장대석(해) 및 서편 태극 장대석(달)의 日數 계산의 출발점(모두 동지점에서 출발함)에서 찾을 수 있다는 점을 주목한다. 첨성대, 감은사지 태극 장대석은 우리 고유의 문화유산이며 정신적 유산이다. 따라서 이러한 신라의 찬란한 유산을 국민들에게 인식시키는 작업도 병행되어야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 김장훈, 박상훈, “첨성대 건립에 관한 시공방법론-첨성대의 일개를 통한 논증-”, Mun Hwa Jae, 제42권, 제2호, pp.40-61, 2009.

[2] 박창범, *하늘에 새긴 우리역사*, 김영사, 2003.

[3] 백인수, 김태식, “瞻星臺의 數理的 哲學”, 慶州史學, 제31권, pp.129-150, 2010.

[4] 백인수, 김태식, “황룡사지 목탑의 비례”, 慶州史學, 제 32권, pp.23-47, 2010.

[5] 백인수, 김태식, “감은사지 태극 장대석의 또 다른 함의”, preprint.

[6] 신창수, *감은사발굴조사보고서*, 국립경주문화재연구소, 1997.

[7] 이종학, “문무대왕과 신라해상세력의 발전”, 慶州史學, 第11輯, 제12권, pp.57-90. 1992.

[8] 조민환, “태극음양론과 한국전통예술의 미의식”, 미학 예술학 연구, 제17권, pp.93-111, 2003.

[9] 조유진, “감은사지 발굴조사 개요”, 고문화 제19권, pp.28-44, 1981.

[10] J. H. Kim and S. H. Park, “Mathematical Interpretation of a Thirteen Hundred Year Old Stone Masonry Observatory,” Nexus Network Journal, Vol.11, No.1, pp.23-34, 2009.

저 자 소 개

백 인 수(In-Soo Baik)

정회원



- 1981년 2월 : 경북대학교 사범대 수학교육과(이학사)
- 1983년 2월 : 경북대학교 대학원 수학과(이학석사)
- 1991년 8월 : 경북대학교 대학원 수학과(이학박사)

▪ 1994년 9월 ~ 현재 : 부산외국어대학교 정보수리학과 교수

<관심분야> : 프랙탈 기하, 금융수학 및 수리고고학

김 태 식(Tae-Sik Kim)

정회원



- 1982년 2월 : 경북대학교 수학과(이학사)
- 1984년 2월 : 경북대학교 수학과(이학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 수학과(이학박사)

▪ 2004년 3월 ~ 현재 : 경주대학교 군정보학과 교수

<관심분야> : 프랙탈 기하 및 영상처리