

피라밋의 日照特性 연구

林志伸

(울산대학교 건축학과 교수)

I. 머리말

1. 기존 피라밋 연구의 한계

“피라밋은 순수한 추상형태의 승리다. 사람이 손으로 쌓아올린 피라밋은 우뚝 솟아 광대무변의 우주공간에 맞선다. 피라밋은 그 상징적 힘을 통하여 영원성에 합일하며 또 거기에 도전한다. 하늘을 향하여 치솟은 고딕의 첨탑들이 그 점에서는 피라밋과 비슷하지만 예술적 표현방법에서는 사뭇 다르다. 사람의 유한한 운명을 영원성과 연결하려는 끈질긴 욕구를 형체화함에 있어 사람은 일찌기 피라밋의 경우처럼 고도의 단순성을 발휘한 적이 없다. 그런 의미에서 피라밋은 매우 특별하다. 수학적 논리를 수수께끼와 신비 속에 싸이게 하는 것은 피라밋의 이러한 절대적 단순성과 완벽한 정밀성 때문이다.”¹⁾

Giedion은 위의 인용에서 피라밋이 사람의 관심을 끄는 가장 중요한 이유인 거대성을 갖지 못하였으나, 이집트인들이 거의 5,000년 전

에 쌓은 피라밋은 고대 그리스인들로부터 시작하여 현대에 이르기까지 수 많은 이집트학자, 천문학자, 점성술가, 건축가, 기술자, 신학자, 신비론자, 수학자, 낭만주의적 몽상가들의 지속적인 관심의 대상이 되어 왔고 그들은 제 나름대로 피라밋의 의미를 추구해 왔다.²⁾

Giedion은 피라밋에 관한 이들의 관점을 두 가지로 분류하였다. 하나는 Petrie로 대표되는 ‘물질적 관점’으로 기술사적 입장에서 피라밋을 보는 것이고, 다른 하나는 Schiaparelli로 대표되는 ‘상징적 관점’으로 피라밋을 특히 태양숭배와 연관하여 의미론적으로 보는 것이다.³⁾ Giedion은 이후의 논조로 보아 다분히 의미론적 접근을 우위에 둔다.⁴⁾ 이 점은 물론 상식적으로 납득이 간다. 의미론적 접근 없이 피라밋의 형태를 아무리 정확하게 조사 분석해도 그것은 ‘거대한 돌로 만

2) 위의 책, P. 341

3) 위의 책, P. 341-348, “materialistic and symbolic points of view”

4) 위의 책, P. 342, “Symbolic ritual begets technical construction, and not contrawise.” 등 이후의 논조를 말함

1) S. Giedion, *The Bginning of Architecture*, Princeton Univ. Press (1981), P. 296에서 번역인용

든 무덤' 이상의 아무것도 아닐것이기 때문이다.

그런데 여기서 Giedion이 간과하고 있는 한가지 중요한 점은 그 역(逆)도 성립할 수 있다는 점이다. 즉, 구체적이고도 정확한 형태분석 없이는 어쩌면 피라미트의 일차적인 의미에도 접근할 수 없을지 모른다는 점이다. 실제로 Giedion은 피라미트의 '정성적(定性的)' 의미를 중요시하고 있으며 피라미트의 일반적이고 유형적인 의미 이외에 개체적인 특성의 차이는 별로 문제시하지 않았다. 그것은 자체로써 하나의 훌륭한 의미론적 접근이기는 하지만 접근의 대상이 피라미트의 추상적 의미에 머문다는 한계를 갖는다. 문제는 그것만으로 피라미트의 집합적인 존재가 설명되지 않는다는 점이다. 예컨대 피라미트가 오베리스크와 함께 태양상징의 일환으로 설명된다고 해서 그것으로 각기 다른 수많은 피라미트의 존재가 설명될 수는 없는 것이다.

한편 Greaves, Newton, Jomard, Howard-Vyse, Taylor, Smith, Petrie, Davidson, Hayford, Borchardt 등 무려 4세기 동안이나 이어내려 온 쟁쟁한 '정량적(定量的)' 분석가들은 피라미트의 첫수 및 각도분석을 통하여 많은 연구업적을 남겼는데 그 내용들은 대체로 '척도(尺度)', '원주율(圓周率)', '황금분할(黃金分割)' 등의 연구범주로 분류할 수 있다.⁵⁾ 이들 '정량적' 연구들은 역시 나름대로의 의의를 지니고 있으나 그 연구대상이 좁게는 쿠푸왕의 대피라미트, 혹은 넓게 잡아도 Giza의 피라미트에 편중되어 있을뿐만 아니라 피라미트 개체의 해석에 그친다는 한계를 지니고 있다. 따라서 이들 연구를 조합해도 역시 수많은 피라미트의 존재가 집합적으로 설명될 수 없는 것이다.

역설적으로 말해서 피라미트에 관한 가장 초보적인 설명, 즉 그것이 영혼불멸을 믿던 고대 이집트인들이 파라오의 육신을 오래도록 보존하기 위

하여 지은 무덤이라는 것이 그나마 논리적으로 방 어될만한 유일한 해석이다. 거기에서 지금까지의 정론으로 보아도 될 마스타바-피라미트-오베리스크로 이어지는 태양상징론적 발전사를 합친것이 피라미트 건축론의 현 상황이다. 물론 이 정도로 만족하기에는 어려운 여러가지 이유가 있다. 첫째로, 피라미트가 단순한 무덤이기에는 그 규모가 너무 크다는 점, 둘째로 피라미트들의 경사각을 포함하는 제원(諸元)들이 제각기 다르다는 점, 셋째로 피라미트들이 정방위로 위치하는 점 등이 그것 만으로는 도저히 설명되지 않기 때문이다.

Petrie, Borchardt 등의 '시험적 접근론'⁶⁾, 즉 초기의 여러 단계의 실패와 성공을 거쳐 점차로 완벽한 피라미트로 발전해 나갔다는 설명이 두번째 이유를 합리화할 수 있을지 모른다. 그러나 소위 '완벽한 피라미트'이라는 쿠푸왕의 대피라미트 이전의 피라미트들이 모두 시험적인 존재라는것도 너무 임의적인 해석일 뿐만 아니라, 그렇다 하더라도 그 이후의 피라미트들의 제원이 또한 제각기 다른 점을 합리적으로 설명하지는 못한다.

2. 기존 '해시계론(Almanac Theory)'의 한계

피라미트, 특히 쿠푸왕의 대피라미트의 '해시계론'은 1853년 프랑스의 천문학자 J. B. Biot으로부터 시작된다. 그는 대피라미트가 의도적이든 아니든간에 춘, 추분, 하, 동지를 알리는 거대한 해시계의 역할을 한다고 했다. P. Smith 역시 대피라미트가 그 그림자로 일년 사시와 길이를 알 수 있도록 설계되었다고 했다. M. B. Cotsworth는 피라미트 모형의 일조실험을 통하여 해시계론을 추구하였고 실제로 대피라미트의 북쪽 바닥면에서 '그림자 판(Shadow-floor)'을 확인하였다고 주장했다. D. Davidson은 한 걸음 더 나아가 '반사(Reflection)론'을 추가했다.⁷⁾

5) P. Tompkins, *Secrets of the Great Pyramid*, Harper Colophon Books(1978), 이 책에서 저자는 수많은 피라미트 연구자 및 연구내용들을 소개하였다. 그 중에는 과학적 연구범주를 벗어나는 소위 '몽상적', '예언적' 연구들도 많이 포함되어 있으나 고려대상에서 제외하기로 한다.

6) 위의 책, P. 341-2, 'tentative approaches'의 번역

7) P. Tompkins, 앞의 책, P. 121-7, '반사론'이란 피라미트 면에 반사되어 지면에 비치는 해의 반사광으로 절기를 판단할 수 있었다는 주장임

요컨대 이들 해시계론자들은 고대 이집트인들이 사시와 일년의 길이를 정확히 측정하기 위한 커다란 그림자, 혹은 반사광을 얻기 위해 대피라미트를 지었다고 주장한 셈이다. 그러나 이 설정에는 몇가지 실제적인 문제점이 있다.

첫째로, 높은 물체의 그림자는 모호하여 오히려 정확한 측정에 불리하다는 점이다. 해는 점이 아닐 뿐만 아니라 빛은 회절하므로 물체가 높아질수록 그림자의 경계는 더욱 모호해 진다. 대피라미트의 약 150 미터 높이에서 비스듬이 던져진 그림자의 경계는 적어도 수 미터 정도 퍼지기 마련이다. 이런 용도로는 고대 중국인이 사용한 표(表, 혹은 비-그림자 막대기)가 훨씬 더 능률적일 것이다.

둘째로, 대피라미트, 혹은 경사각 60도⁸⁾ 미만의 다른 어떤 피라미트도 춘·추분 및 하지에는 북쪽에 그림자를 던지지 않는다는 점이다. 그렇다면 동지에 측정하여야 하는데 동지는 그림자 측정에 가장 불리한 시점이라는 것이 문제다. 동지는 하지와 같이 태양의 일적위(日赤緯) 변화율이 년중 가장 작은 시기로 하루에 고작 0.01도 정도 변한다. 따라서 그림자 측정으로 년시를 알려면 일적위 변화율이 가장 큰 춘·추분 때를 선택하는 것이 당연하다. 이 때의 일적위 변화율은 0.4도 정도로 동·하지 때의 40배에 달한다.

한편 경사도 60도 이상의 피라미트가 있다고 해도 단형 피라미트의 특수한 경우로서⁹⁾ 이들 역시 춘·추분시에 그림자를 던지지 않는다는 마찬가지다.

위에서 소개한 '반사론'은 아마도 '해시계론'의 이러한 결정적 약점을 보완하려는 노력의 부산물인 듯 하다. 현존하는 피라미트 중에 위의 조건에 맞는 것은 하나도 없는 셈이며 또 그런 것이 존재

했다고 믿기도 어렵다. 결국 '해시계론'은 탁상공론이었던 것이다.

3. 본 연구의 관점, 한계, 방법 및 범위

1) 본 연구의 관점

본 연구는 Giedion의 의미론적 접근을 부정하는 관점이 아니라 그와는 별개의 아주 단순하고도 부분적인 관점에서 시작된다.

피라미트들은 하이집트(Lower Egypt)의 Giza로부터 Kahun에 이르는 나일강 서안 경작지 외곽에 선형(線形)으로 분포되어 있다. 그 곳은 고대로부터 이집트인들의 생활터전이었던 나일강 동·서안의 역시 선형인 경작지와 거주지에서 잘 보이는 곳이다. 피라미트들이 원래의 모습대로 매끄럽게 잘 다듬어진 치장면을 유지하고 있을 당시에 이집트인들이 본 것은 멀리 태양 아래 빛나는 피라미트의 경사면들이었을 것이다. 이 경사면들은 하루의 해가 들고, 한 해의 해가 높아지고 낮아짐에 따라 해가 들고 나는 시간과 시기를 달리 했을 것이다. 여기에 혹시 피라미트의 다른 의미가 숨어 있을지도 모른다는 점, 또 그것으로 피라미트의 거대성, 다양한 경사도와 정방위성이 같이 설명될 수 있다는 점이 본 연구의 중요한 관점이 된다.

따라서 본 연구는 기본적으로 2항에서 언급한 '해시계론'에 해당하나 과거의 이론들이 주로 대피라미트의 '그림자' 혹은 '반사광'에 집착한데 비하여 다수의 피라미트의 경사면 자체의 일조(日照) 시기 및 시간을 연구대상으로 삼은 점이 다르다.

2) 본 연구의 한계

본 연구가 자체로서 논리적일 수는 있으나 그렇다 하더라도 5000여 년 전에 피라미트를 지은 고대 이집트인들의 원래의 의도를 확인할 아무런 근거도 없다. 본 연구의 참고문헌은 Giedion과 Tompkins의 두 책에 한정되며 이중 후자는 정확히 말해서 학술서라고 보기는 어렵다. 1항에서 언급한 연구자들의 연구내용 역시 고서(古書)에 속하는 것들이어서 구하지 못하고 Tompkins를 인용하였을 뿐이다. 본 연구는 피라미트에 관한 것이면서 나일강변의 유적현장답사 없이 수행되었

8) 대피라미트는 북위 30도(정확히는 29.98도)에 위치하며 다른 피라미트들도 여기서 많이 벗어나지 않는다. 피라미트의 경사각이 60도일 때 춘·추분의 일적위에 대략 일치하므로 그 때 그림자가 있으려면 경사각이 60도 이상이어야 한다.

9) 3왕조 Zoser왕의 단형 피라미트, Huni왕의 Medum 피라미트의 심부(Core) 등의 경우로서 각각 72.5도, 75도 임

번호 및 명칭	지명	경사(Sj)	위도(Lj)	왕
① Step Pyramid	Saqqara	72.5	29.87	Zoser
② Pyramid at Medum	Medum	51.87	29.39	Sne-feru
③ " (Core)	"	75	"	"
④ Bent Pyramid (하부)	Dashur	54.68	29.8	"
⑤ " (상부)	"	43	"	"
⑥ North Pyramid	"	43.6	"	"
⑦ Great Pyramid	Giza	51.87	29.98	Kufu
⑧ Pyramid of Chephren	"	52.33	"	Chep-hren
⑨ Pyramid of Mykerinos	"	51	"	Myke-rinos

표1 7개 피라미트 9개면의 제원

으므로 도상(圖上) 연구의 한계를 가진다.

3) 연구방법 및 범위

피라미트의 네 면과 해의 년 중 움직임의 관계를 도학적으로 설정하고 그 중 특히 북면의 일조 시간을 구면삼각함수를 이용한 수식으로 산출하여 7개 주요 피라미트의 각기 다른 9개 경사면을 비교하였다. 그림의 정확성을 기하기 위하여 AUTOCAD를 이용하였고 일조 시간 계산도 PC를 이용하였다. 비교대상이 된 피라미트와 그 위도, 경사각 등은 <표-1>과 같다.¹⁰⁾

II. 피라미트의 네 면과 태양궤적과의 관계 도해(圖解)

1. 천구(天球) 상의 관계

천구상에서 피라미트의 네 면과 태양궤적과의 관계를 보면 <그림-1>과 같다. <그림-1>은 천구의 중심을 피라미트의 정점에 놓고 이를 각각 정서, 정남방향에서 본 입면도로 표시한 그림이다. 태양의 적위, 즉 일적위(日赤緯)는 년중 적도면을

중심으로 +23.5도, -23.5도 사이에서 오르내리며 하루에 한번 남북축을 중심으로 회전한다. 그림에서 'A'부분은 해가 피라미트의 북면 밑에 있는 기간(혹은 시간)으로 이 때 북면에는 해가 들지 않는다. 'B'부분은 피라미트 남면에 해가 들지 않는 기간(혹은 시간)이다. 오른 편 그림에서 'C'부분은 피라미트의 동면에 해가 들지 않는 시간이며 'D'부분은 서면에 해가 들지 않는 시간이다.

좀 더 구체적으로 말해서, 'A'부분에서 해가 춘분점 'E'와 'P'점 사이에 있는 기간에는 북면에 하루 중 부분적으로 해가 들며, 해가 'P'점을 지난 기간, 즉 동지점 전후에는 하루 종일 북면에 해가 들지 않는다. 여름 6개월 낮 동안 북면에는 항상 해가 든다. 한편 남면에는 겨울 6개월 낮 동안 항상 해가 들며, 여름 6개월 동안에는 하루 중 일출 후와 일몰 전 얼마 동안 해가 들지 않는다. 피라미트의 동면과 서면의 일조는 비교적 단순하여 이른 오전에는 서면에 해가 들지 않고 늦은 오후에는 동면에 해가 들지 않는다.

피라미트의 네 면의 년중 일조특성을 개괄하면 남.동.서 3개면은 그 경사도에 따라 하루 중 일조시간이 조금씩 달라질 뿐 년중 일조특성에는 별 변화가 없으며 북면은 이와 대조적으로 경사도에 따라 특이한 변화를 보임을 알 수 있다. 그 변화란 북면이 천구의 자오선과 맞나는 'P'점의 위치에 따라 생기는 것이다. 즉 경사도에 따라 'P'점의 위치가 달라지고 해가 동지점을 지나 'P'점에 오는 날 정오 경에 그 피라미트의 북면에 해가 드는 것이다. 이 날은 일적위가 'P'점의 적위(적도면기

10) 경사각 등의 단위는 도인. 경사각은 자료에 따라 조금 다르기도 하나 주로 Tompkins를 참조함. 위도는 북위이며 Britanica World Atlas를 참조하였으나 정교한 수치는 아님.

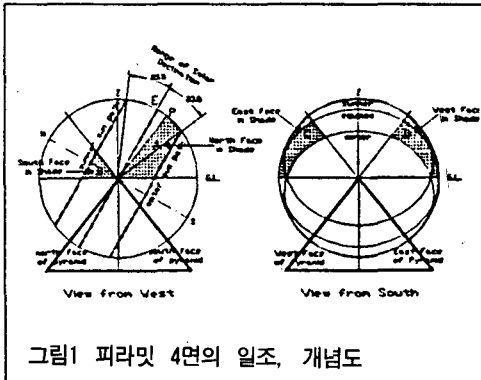


그림1 피라미트 4면의 일조, 개념도

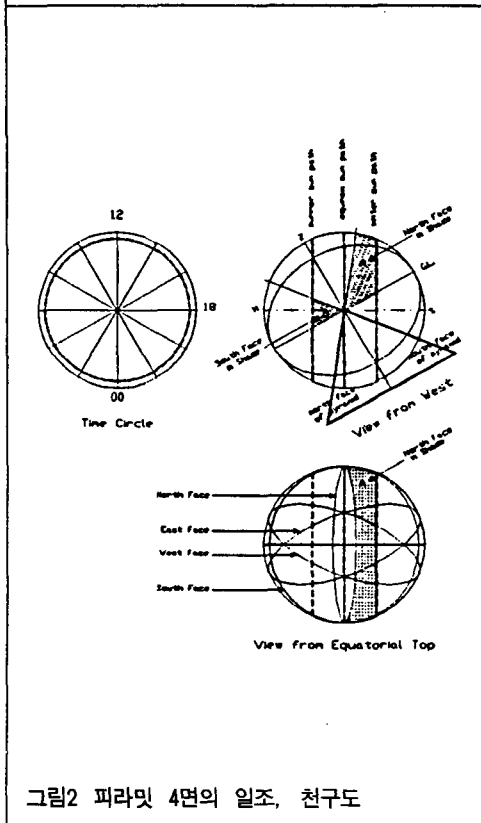


그림2 피라미트 4면의 일조, 천구도

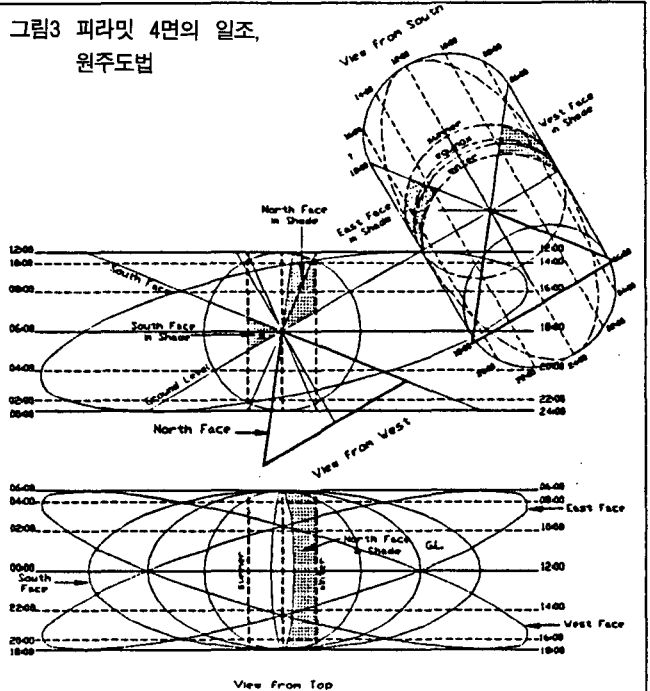


그림3 피라미트 4면의 일조, 원주도법

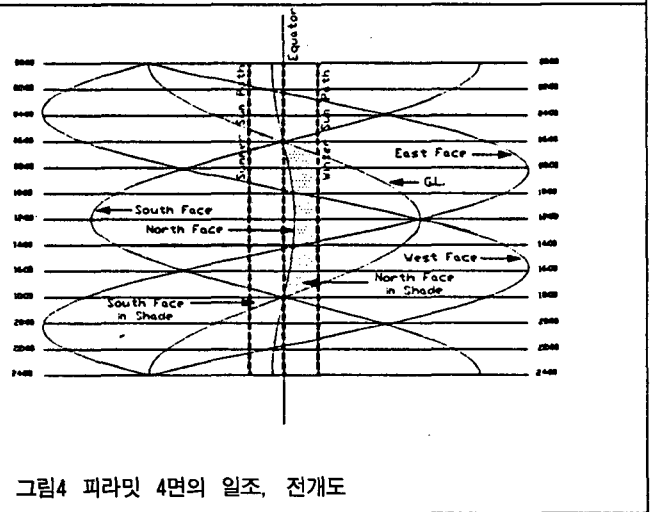


그림4 피라미트 4면의 일조, 전개도

준고도각)와 일치하는 날이다.

〈그림-2〉는 천구상에서 이러한 관계를 도학적으로 더 구체화한 그림이다. 왼쪽 그림은 천구를 지축 방향에서 본 시원(時圓)이다. 아래쪽 그림은 천구를 적도/자오선 교점 방향에서 본 평면도이다.

2. 원주도법(圓柱圖法)에 의한 천구의 전개(展開)

위 1항의 관계를 좀 더 시각적으로 보기 위하여 천구를 원주(Mercator)도법으로 나타낸 것이 〈그림-3〉이며, 이를 원주도법에 의하여 전개한 것이 〈그림-4〉다. 피라미트의 네 면들(의 연장면)과

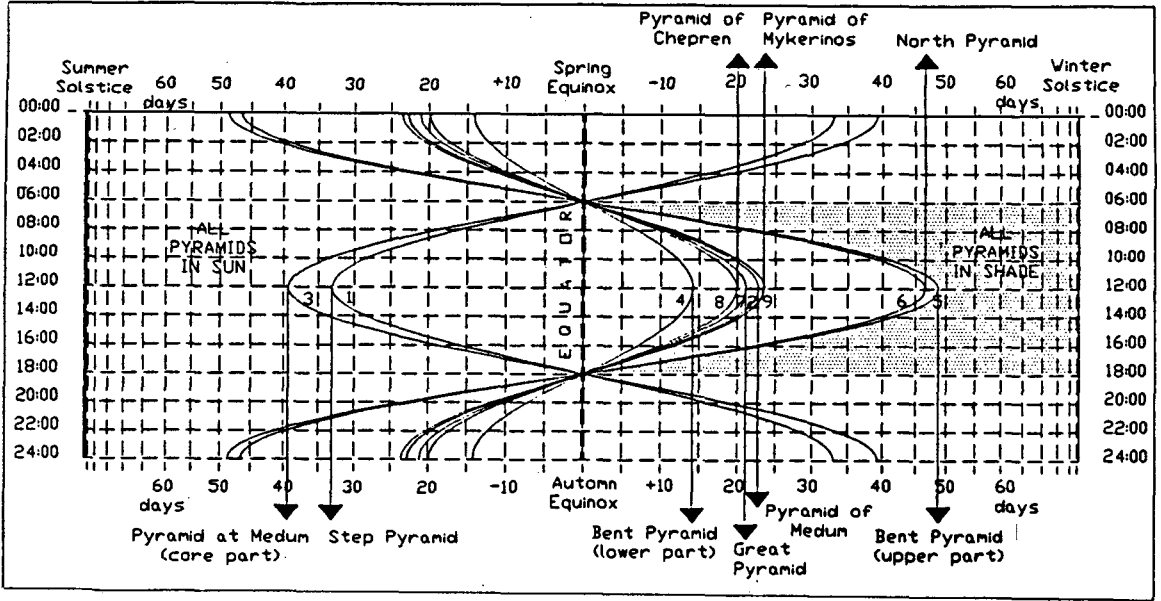


그림5 피라미트 북면의 일조시간

지평면은 모두 원주와 비스듬이 만나므로 그 단면들은 타원을 이루며 따라서 전개도에서는 모두 cosine 곡선으로 나타난다. 해의 일주(日週) 궤적들은 원주와 직교하므로 전개도에서는 직선으로 나타난다. 그림에서 'A'부분은 피라미트 북면에 해가 들지않는 기간(혹은 시간)이고 'B'부분은 남면에 해가 들지않는 기간(혹은 시간)이다.

3. 9개 피라미트 북면의 일조특성 도해(圖解)

앞서 <그림-4>의 전개도에서는 본 연구의 관심의 주 대상인 북면의 곡률이 너무 완만하여 해의 일주선(日週線)과의 교점이 불명확하다. 이 점을 개선하기 위하여 전개도 중 유효한 부분인 년중 일적위 변화 범의 만을 수평축 방향으로 확대한것이 <그림-5>다. 여기에 연구 대상이 된 9개 피라미트 북면의 각기 다른 적위(赤緯) (Pj)¹¹⁾ 값을 대입하여 9개의, 북면 곡선을 그려 넣었다. 9개의

11) (Pj) 값이란 적도면을 기준으로한 북면의 경사각을 뜻한다. 적도면은 천정(天頂) 'Z'점에서 위도 (Lj)만큼 기울어졌으므로, 북면의 경사각을 (Sj)라 하면, (Pj) = 90 - (Lj) - (Sj) 가 된다.

*표는 경사도가 (90-위도)보다 큰 경우

번호 및 명칭	북면적위 (Pj)	tan (Pj)
① Step Pyramid	-12.37	-0.2193*
② Pyramid at Medum	8.74	0.1537
③ " , (core부	-14.43	-0.2573*
④ Bent Pyramid 하부	5.52	0.0966
⑤ " , 상부	17.2	0.3096
⑥ North Pyramid	16.6	0.2981
⑦ Great Pyramid	8.15	0.1432
⑧ Pyramid of Chephren	7.69	0.1350
⑨ Pyramid of Mykerinos	9.02	0.1587

표2 9개 북면의 적위(赤緯) 및 진폭(振幅)

(Pj) 값과 이에 따른 cosine 곡선의 진폭 tan (Pj)의 값들은 <표-2>와 같다.

<그림-5>에서 정점이 춘.추분선 오른쪽에 있는 곡선들은 경사도 약 60도 미만의 피라미트 북면들이며 왼쪽에 있는 곡선들은 경사도 약 60도 이상의 급경사 피라미트 북면들이다. 해는 년중 하지선과 동지선 사이를 왕복하며, 하루 중에는 00:00 시에서 24:00시 방향으로 움직인다. 해가 곡선을 교차하여 곡선의 왼쪽에 오면 그 면에 해가 들

*표는 북면의 경사도가 약 60도(위도의 여각) 이상인 경우임

번호 및 명칭	춘분+추분	주간일조 개시일	주간음영 종료일	주간음영	주간일조 마감일
① Step Pyramid*	+32일		4월 22일	8월 22일	
② Pyramid at Medum	-22일	2월 27일			10월 15일
③ ", core부*	+39일		4월 29일	8월 15일	
④ Bent Pyramid 하부	-14일	3월 7일			10월 7일
⑤ ", 상부	-48일	2월 1일			11월 10일
⑥ North Pyramid	-46일	2월 3일			11월 8일
⑦ Great Pyramid	-21일	2월 28일			10월 14일
⑧ Pyramid of Chephren	-19일	3월 2일			10월 12일
⑨ Pyramid of Mykerinos	-23일	2월 26일			10월 16일

표3 9개 북면의 일조 및 음영 개시일 및 종료일

고, 오른쪽에 오면 그늘진다. 예컨데 동지를 지나 춘분-48일 정오경 해는 ⑤번 피라미트 북면곡선과 교차하여 그 면에 해가 들게한다. 이 현상은 추분+48일경 반대 순서로 일어난다. 즉 그 날 정오경 해가 잠깐 든후 동계의 종일음영에 들어가는 것이다. 60도 이하의 완경사 북면곡선의 정점이 동절기에 해와 교차하는데 비하여, 급경사 북면곡선의 정점은 하절기에 교차한다. 예컨데 추분-39일 정오경 ③번 피라미트 북면에 첫 그늘이 들고 춘분+39일 정오경에는 마지막 그늘이 드는 것이다.

9개 북면에 처음으로 해가 들거나 해가 나기 시작하는 날은 <표-3>과 같다.¹²⁾ 표에서 '주간일조개시일'이란 동지 이후 처음으로 정오 전후의 주간일조가 시작되는 날이며, '주간일조마감일'은 그 날 정오 경 마지막 일조를 끝으로 겨울의 종일음영에 들어가는 날이다. '주간음영개시일'이란 하지 이후 처음으로 정오 전후의 주간음영이 시작하는 날이며, '주간음영종료일'은 그 날 정오 경

마지막 음영을 끝으로 여름의 종일일조에 들어가는 날이다. 결과적으로 각 북면 곡선의 정점과 춘, 추분일은 종일일조와 종일음영의 분계점이 되는 것이다.

Ⅲ. 구면삼각법에 의한 면의 방정식 및 일조 시간 계산

Ⅱ 장의 도해법에 의한 일조변화의 결과를 확인하고 또 그 시기와 시간을 정확히 파악하기 위하여는 일적위, 지면, 피라미트 각 면이 천구와 맞나는 대원의 방정식들을 구할 필요가 있다. 여기서는 방정식을 구하는 과정을 생략하고 그 결과식만을 쓰기로 한다. 또 일조특성에 별 특이한 사항이 없는 동, 서, 남면을 제외하고 북면의 일조시간만을 계산하기로 한다.

1. 일적위 및 각 면의 방정식

2. 북면의 일조시간 계산

1) 일조시간 계산

북면의 일조시간 계산에는 위의 ①일적위식, ②지면방정식, ③북면방정식 등이 필요하다. 북면에 해가 드는 때 북면곡선의 적위가 그 날의 일적위와 일치하므로 ①식=③식으로 하여 (Ci)의

12) 표의 날자들은 몇가지 이유로 하루, 이틀 정도의 오차를 가질 수 있다. 우선 <그림-5>는 지구의 공전을 원운동으로 가정하였고, 또 춘, 추분점이 그 날 정오에 있다고 가정하였기 때문이다. 한편 해를 점으로 가정한것도 오차의 이유가 된다. 해는 실제로 시반경(視半徑) 15' 정도의 구체이고 이 각도는 시기에 따라서는 수일 간의 일적위 변화에 해당한다.

증가에 따른 (T)를 구하면 된다. 이 때 일출 전과 일몰 후의 시간 계산은 무의미하므로 ③식 보다 큰 (D)값 만을 고려하면 된다.

① $D_i = \text{asin} \{ \sin(23.5) * \sin(C_i) \}$

② $D = \text{atan} \{ \tan(90-L_j) * \cos(T) \}$

③ $D = \text{atan} \{ \tan(P_j) * \cos(T) \}$

[이 때 $P_j = (90-L_j-S_j)$, L_j : 피라밋의 위도, S_j : 경사도이며, 피라밋에 따른 (Pj) 값은 <표4>와 같다.]

①=③이면, $\text{asin} \{ \sin(23.5) * \sin(C_i) \} = \text{atan} \{ \tan(P_j) * \cos(T) \}$

따라서, $\cos(T) = \tan \{ \text{asin} \{ \sin(23.5) * \sin(C_i) \} / \tan(P_j) \}$

일적위	① $D_i = \text{asin} \{ \sin(23.5) * \sin(C_i) \}$	D_i : 춘, 추분+, -i일의 일적위 C_i : 춘분+i일의 공전각
지면	② $D = \text{atan} \{ \tan(90-L_j) * \cos(T) \}$	D : 적위, 이하 같음 C_j : 피라밋의 위도, 이하 같음 T : 자시기준 적경, 이하 같음
북면	③ $D = \text{atan} \{ \tan(P_j) * \cos(T) \}$	P_j : 북면의 적위
남면	④ $D = (-) \text{atan} \{ \tan(Q_j) * \cos(T) \}$	Q_j : 남면의 적위
동면	⑤ $D = \text{atan} \{ \tan(P) * \cos(m+T) \}$ $P = \text{acos} \{ \sin(L_j) * \cos(S_j) \}$ $T_m = \text{asin} \{ \sin(S_j) / \sin(P) \}$	P : 동면의 적위(+값) T_m : 동면. 적도교점 적경(+값) S_j : 면의 경사도(+값)
서면	⑥ $D = \text{atan} \{ \tan(P) * \cos(T_m-T) \}$ $P =$ 위와 같음 $T_m =$ 위와 같음	동면과 서면은 천구자오면에 대하여 대칭이므로 (T)값의 부호만 바뀌면 된다.

표4 일적위 및 각 면의 방정식

<표-5>는 공전각 (Ci)가 하루씩 증가함에 따라 변화하는 일적위와, 북면곡선의 적위가 이에 일치하는 시간(T)을 계산한 표이다. ②식의 (D)값보다 작은 (D)값은 제외하였다. 한편 이 계산의 전제가 되는 사항들은 다음과 같다.

① 지구의 공전, 자전 등은 모두 등속 원운동으로 본다.

② 시간은 진태양시(眞太陽時)다.

③ 해는 점으로 본다.

④ 모든 피라밋의 북면들은 정북향이며, 단일 평면으로 본다.

⑤ 춘, 추분일의 일적위(日赤緯)를 0도로 본다.

⑥ 매일의 일적위는 00:00시의 일적위와 같고 본다.

이들 사항들은 계산식을 단순화하기 위해서 필요한 전제들이다.

①항과 ②항에 의한 오차 및 실제의 지방표준시와의 차이는 '설계자료집성' 등의 일조관련항에 있는 진태양시 환산식과 균시차(均時差) 보정표를 이용하여 보정할 수 있다.

③항 역시 계산상의 편의를 위한 전제로서, 실제로 해의 시직경각(視直徑角)은 0.5도 정도이므로 중심을 기준으로한 계산치 보다 전후 0.25도의 차이가 있게 된다. 이 차이는 일적위 계산에서 춘추분 +, - 50일 경에 하루의 차이에 해당한다.

⑤항과 ⑥항에 의한 오차는 최대 0.5일이다. 실제로 1 태양년은 약 365.2422일이므로 지구가 춘추분점을 통과하는 시각은 매년 달라지며, 하루 동안의 일적위도 최대(춘추분시) 약 0.4도 변화한다.

위의 전제들을 총괄할 때 북면의 일조특성 변화의 시점 계산치들은 하루 정도의 오차를 가질 수 있다고 보는 것이 좋을 것이다.

2) 9개 피라밋 북면의 연중 일조변화

<표-5>의 피라밋 북면들의 일조시간 계산결과를 바탕으로 연중 일조특성의 변화를 정리하면

추분 -일	월일	북면의 주간음영 시작 및 존속시간<분>								월일	추분 +일
		①	③								
-93	하지	피라미트 북면 종일일조 기간								하지	+93
-39	8/15		11 : 36 <48>							4/29	+39
-32	8/22	11 : 07 <106>	9 : 44 <256>							4/22	+32
+ -0	추분	종일음영개시일	6 : 00 일출-18 : 00 일몰				종일일조 개시일			추분	+ -0
+14	10/7		8 : 33 <414>	11 : 25 <70>	7 : 11 <578>	7 : 14 <572>	8 : 47 <386>	9 : 00 <360>	8 : 28 <424>	3/7	-14
+19	10/12		9 : 48 <264>		7 : 38 <524>	7 : 42 <516>	10 : 17 <206>	10 : 51 <138>	9 : 37 <286>	3/2	-19
+21	10/14		10 : 31 <178>		7 : 49 <502>	7 : 54 <492>	11 : 35 <50>		10 : 14 <212>	2/28	-21
+23	10/16				8 : 00 <480>	8 : 05 <470>			11 : 13 <94>	2/26	-23
+46	11/8				10 : 51 <138>	11 : 31 <58>				2/3	-46
+48	11/10				11 : 28 <64>					2/1	-48
+93	동지	피라미트 북면 종일음영 기간								동지	-93
추분 일	월일	피라미트 번호	②	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	월일	추분 -일
		북면의 주간일조 시작 및 존속시간<분>									

*모든 시간은 진태양시, 월일은 1991년 기준임

표5 북면의 적위(赤緯)와 일적위가 일치하는 날짜 및 시간

<표-6>과 같다. <표-6>의 일조특성변화는 편위상 공전방향과 같이 반시계(反時計) 방향으로 진행되는 것으로 표시했다.

<표-6>의 변화를 편위상 동지를 기점으로 하여 개괄하면 다음과 같다.

① 동지를 전후한 겨울 동안 모든 피라미트의 북면들은 종일음영 속에 있다.

② 춘분-48일(2월 1일)이 되면 정오를 중심으로 하여 Bent Pyramid 상부 완만한 북면에 년중 처음으로 해가 잠깐 든다. 즉 그 북면에 '불이 쬐인다.' 다음 날 부터 이 1대낮 일조 시간은 급속히 길어진다. 마찬가지로 춘분-46일(2월 3일) 정오 경에는 North Pyramid 북면에 불이 쬐

고……이하 <표-6> 참조

③ 좀 특이하게는 Giza의 3대 피라미트의 경우 춘분-23일(2월 26일)에 Mykerinos의 피라미트로부터 시작하여 이를 간격으로, 2월 28일에는 쿠푸왕의 대피라미트, 3월 2일에는 Chephren의 피라미트 북면에 불이 쬐인다.

④ 춘분일이 되면 위의 경사도 약 60도 미만의 북면들은 일출시 부터 일몰시 까지 종일일조(終日日照)를 받게 되며, 이 현상은 다음 추분일 까지 계속된다. 경사도 60도의 의미는 피라미트들의 위도가 대략 북위 30도에 있으므로 적도면의 경사도가 60도 가량이 되고, 따라서 북면이 적도면과 일치하는 경계각이 된다.

*표는 Giza의 3대 피라밋

추분 -일		월일	피라밋의 복면	월일		추분 +일
-93	하지일	6/22	이 기간 중 모든 피라밋 복면들은 종일일조를 받음	6/22	하지일	+93
-39	주간음영 개시일	8/15	(3)-경사도 75도 Pyramid at Medum (Core)	4/29	주간음영 종료일	+39
-32		8/22	(1)-경사도 72.5도 Step Pyramid	4/22		+32
	이후 경사도 약 60도 이상의 모든 복면의 주간음영시간은 점차로 길어짐		경사도 약 60도 이하의 모든 복면들은 계속 종 일일조	이후 경사도 약 60도 이상의 모든 복면의 주간음영시간은 점차로 짧아짐		
0	춘분일	9/23		3/21	춘분일	0
	이후 경사도 약 60도 이하의 모든 복면의 주간음영시간은 점차로 짧아짐		경사도 약 60도 이상의 모든 복면들은 계속 종일음영	이후 경사도 약 60도 이하의 모든 복면의 주간음영시간은 점차로 길어짐		
+14	주간일조 종료일	10/7	④-경사도 54.68도 Bent Pyramid 하부	3/7	주간일조 개시일	-14
+19		10/12	⑧-경사도 52.33도* Pyramid of Chephren	3/2		-19
+21		10/14	⑦-경사도 51.87도* The Great Pyramid	2/28		-21
+22		10/15	②-경사도 51.87도 Pyramid of Medum	2/27		-22
+23		10/16	⑨-경사도 51도* Pyramid of Mykerinos	2/26		-23
+46		11/8	⑥-경사도 43.6도 North Pyramid	2/3		-46
+48		11/10	⑤-경사도 43도 Bent Pyramid 상부	2/1		-48
			이 기간중 모든 피라밋 복면들은 종일일조를 받음			
+93	동지일	12/22		12/22	동지일	-93

표6 9개 피라밋 복면의 일조변화

⑤ 춘분일이 지나면 경사도 약 60도 이상의 가
파른 복면들의 아침, 저녁의 일조가 시작된다.
이 조석일조(朝夕日照)시간은 이후 서서히 길어지
다.

⑥ 춘분+32일(4월 22일) 정오 경 마지막 주간
음영을 끝으로 Step Pyramid의 복면은 여름 동
안의 종일일조에 들어간다. 마찬가지로 춘분+39
일(4월 29일)에는 Medum의 피라밋 복면이 종일

일조에 들어간다. 이후 추분-39일(8월 15일) 까지 모든 피라미트의 북면들은 종일일조를 받는다.

⑦ 추분-39일(8월 15일) 정오 경에 Medum 피라미트의 북면에 잠시 그늘이 진다. 이 주간음영(晝間陰影)시간은 다음날부터 급속히 길어진다. 마찬가지로 추분-32일(8월 22일) 정오경에는 Step Pyramid의 북면에 주간음영이 시작된다.

⑧ 추분일이 되면 경사도 약 60도 이상의 가파른 북면들은 종일음영에 들어간다. 경사도 약 60도 이하의 북면들의 경우에는 조석음영이 시작되며 이후 조석음영시간은 서서히 길어진다.

⑨ 추분+14일(10월 7일) 정오 경 마지막 주간일조를 끝으로 Bent Pyramid 하부 북면은 겨울 동안의 종일음영에 들어간다. 추분+19일(10월 12일) 정오 경 마지막 주간일조를 끝으로 Chephren의 피라미트 북면이 종일음영에 들어간다. 이후 다른 북면들이 차례로 종일음영에 들어간다.

〈표-6〉 참조

⑩ 추분+48일(11월10일) 가장 완만한 Bent Pyramid 상부 북면을 끝으로, 모든 피라미트 북면은 동지를 지나 다음 해 춘분-48일(2월 1일) Bent Pyramid 상부 북면에 다시 '불이 켜질' 때까지 종일음영에 있게 된다.

IV. 맺음말

피라미트의 거대성, 경사도의 다양성, 그리고 정방위(正方位)를 원래의 설계의도로서 같이 합리화할 수 있는 근거를 찾아 보기 위해 III장에서 9개 북면의 년중 일조특성을 살펴 보았다. 그 결과를 보면 9개 피라미트의 일조를 관찰함으로써 춘추분을 기점으로 전.후 180 여일을 '읽을 수' 있다는 사실을 알 수 있다. 이는 거의 반년(半年)에 해당하는 기간이다. 이 의미를 찾기 위해 고대 이집트의 상황을 살펴볼 필요가 있다.

Herodotus는 B. C. 5세기 경에 이집트의 역법이 30일을 한 달로 하여 1년 12 개월 +5일로 되어 있다고 기록하였다.¹³⁾ 이것은 윤일(閏日)의

개념이 없는, 초보적인 태양력이며 그 보다 수천 년 앞서는 고왕국(古王國) 때는 더 원시적인 역법을 사용하였을 것으로 추정된다. 한편 별의 관찰에 의한 1년의 길이는 이미 B. C. 4200년 경 알고 있었고, B. C. 2800년 경에는 이미 시리우스별(Sirius, 혹은 Sothis)의 관찰에 의한 Sothic 주기를 알고 있었다.¹⁴⁾ 1년을 365일로 한 민간역법의 한계는 명확하다. 즉 이 역법은 4년에 하루 정도씩 태양년에 따르는 실제 계절변화에서 멀어져 40년이 지나면 무려 열흘이나 계절과 어긋나게 된다. 그래서 고대 이집트인들은 시리우스별의 관측에 의하여 나일강의 범람시기를 예측하였다. 이는 일종의 항성년(恒星年) 개념이다. 그러나 이것도 세차(歲差)현상 때문에 오랜 시일이 지나면 계절과 어긋나기는 마찬가지다.¹⁵⁾ 1 태양년은 365.2422일이고 1 항성년은 365.2563일이므로 72년에 하루, 1000년이면 14일이나 어긋나게 된다.

즉 별의 관측도 계절변화를 예측하는 항구적인 방법이 될수 없었던 것이다. 고대 이집트인들은 불행하게도 그 때 까지 정교한 태양력을 마련하지 못했으므로, 그들에게 그토록 중요했던 나일강의 홍수시기를 정확히 예측하는 일은 해, 그 자체를 기준으로 하는 수 밖에 없었다. 그 해결책이 피라미트 건설이었을 것이다.

나일강의 물은 상류 산악지대에 우기가 지난 7월 중순 경 부터 불어나기 시작하여 10월 중순 이후 3주 정도 수위가 고정되고, 11월 경 다시 불었다가 차차 빠진다.¹⁶⁾ Herodotus는 하지(6월 22일 경) 이후 100일 동안 물이 불었다가 빠진다고 했다.¹⁷⁾ 나일강의 홍수 규모는 우리의 상상을 초월할 정도여서 고대에는 Memphis 이하의 하

14) Encyclopedia Britanica, Astronomy 난, 고대 이집트인들은 일출 직전 동쪽 하늘에 시리우스별이 보이는 때를 기준으로 나일강의 범람시기를 예측하였다고 한다.

15) 세차현상이란 지구의 공전궤적 상의 춘분점이 매년 50초 정도 동쪽으로 이동하는 현상이다.

16) 이광주, 세계의 역사, 1권 고대문명의 발견, 유문당(1964), P. 300

17) Herodotus, 앞의 책, P. 130

13) Herodotus, D. Grene역, The History, Univ. of Chicago Press(1987), P. 132

(下)이집트 대부분을 물로 덮을 정도였던 모양이다.¹⁸⁾ 겨울이 되면 불었던 강물이 서서히 빠지고 강물에 실려온 기름진 흙으로 덮인 땅이 새로이 모습을 드러내게 된다. 이듬해 봄이 닥아오면서 고대 이집트인들은 기쁜 마음으로 새 해의 농사 준비를 갖추었을 것이다.

가파른 ①, ③ 피라미트의 북면에 첫 주간음영이 시작하는 8월 중순 경은 홍수위가 높아지는 시기와 일치한다. 나일강의 연안 저지대에서 농사 지으며 살던 농민들에 대한 대피경고야 필요한 시기다. 첫 날 정오 경 잠깐 그늘지고, 다음 날 부터 급속히 늘어나는 주간음영은 매우 실감나는 대피경고였을 수 있다.

④, ⑧, ⑦, ②, ⑨, ⑥, ⑤ 피라미트 북면의 순서로 주간일조가 차례 차례 끝나는 10월~11월은 나일강 홍수위가 최고에 달하고 다시 줄어들기 시작하는 시기에 해당한다. 이들 피라미트 북면들은 동지를 지나고 이듬해 2월 초에서 3월 초 사이에 그

반대 순서로 주간일조에 들어가게 된다. 이들의 일조변화 시기는 오히려 닥아오는 봄을 알리는데 맞추어 진듯 하다. 어느 날 정오 경 피라미트 북면은 마치 수은등이 켜지듯 희미한 빛을 한 동안 발한다. 다음 날은 더 밝게, 더 오래 동안 빛을 발한다. 차례로 켜지는 피라미트 북면들을 보며 고대 이집트인들은 예정된 농사 준비를 할 수 있었을 것이다. 그것은 또한 피라미트 속에 잠들어 있는 파라오들의 크나큰 은덕으로 여겨지기도 했을 것이다.

물론 위의 추론은 5000년 전의 상황에 대한 추정을 근거로 다시 추정한 것에 불과하다. 위의 피라미트의 일조변화 시기들은 어쩌면 종교적 축제일에 맞춘 것일 수도 있다. 어쨌든 파라미트들이 의도적으로 각기 특정한 시기에 특이한 일조변화를 보이도록 설계되었다는 것이 본 연구의 추론이다.

18) 위의 책, P. 136-46, Herodotus는 이 부분에서 나일강의 홍수에 대하여 길게 서술함

Insolation Phase of the Pyramids

Lim, Choong Shin

ABSTRACT

For all the variety of past studies on the pyramids of Old Kingdom of Egypt, they still basically remain in 'enigma and mystery' as Giedion rightly puts in. This paper deals directly with the three most obvious facts about the pyramids : their cardinal orientation, the varying slopes, and above all, their magnitude. The prominent triangles of their once polished faces were there to be seen from the Nile valley as they shined or shaded under the Sun. The northern faces, especially, went in and out of the Sun in accordance with the seasonal variation of the solar declination. The steeper northern faces which turned into shade in high summer noon could have been warning signs of oncoming inundation of Nile, and the milder slopes that suddenly began to shine in some early spring noons could have been the vernal alarms to awaken the peasants to their timely toil on the fresh land. Dates and hours of insolation on the northern faces of pyramids are graphically and numerically computed.