

투영 모아레 기법을 이용한 Mapping에 관한 연구

A Study on Mapping using Projection Moiré Technique

柳 福 模* 李 成 玉**
Yeu Bock-Mo Lee Sung-Ok
柳 光 浩***
You Kwang-Ho

要 旨

모아레는 음영 모아레와 투영모아레로 나뉘어지는데, 본 연구에서는 일반적인 지상 사진 측량에 의한 결과와 비교하므로써 투영모아레 system의 기준면 방향의 결정 방법을 제시하는 데 목적을 두었다.

본 연구를 위해 기준점 측량을 행하였고, 이로부터 얻은 결과와 모아레 사진에 의한 좌표값을 비교 분석하였다. 투영 모아레 기법에서는 투영점과 촬영점을 이동하지 않고도 대상물상에 생기는 주격자와 보조격자의 격자 간격을 달리하므로써, 각각 다른 기준면 방향의 모아레 등고선을 용이하게 얻을 수 있으며, 대상물과 평행한 기준면 방향의 모아레 등고선도는 대상물 상에서의 두 격자 간격이 같을 때 얻어 짐을 알았다.

ABSTRACT

Moiré technique is generally divided into shadow Moiré Technique and Projection Moiré Technique. In this paper, determinating the direction of reference planes for this system, by comparing the results of this system with those of general terrestrial photogrammetry, is an objective of this paper. For the objective, control surveying is done and the results of control surveying are compared with those of moiré photograph. In this technique, it is found that though the positions of a projector and a reference grid are not moved, a desired moiré contour whose the reference plane is different respectively is easily obtained by changing the pitches of a master grid and a reference grid on an object. Also it is found that when the pitches of the two grids on an object are equal, a moiré contour which has the reference plane parallel to the object can be obtained.

1. 序 論

3차원 대상물의 형태나 변형을 mapping 하는 기법인 모아레(Moire)는 크게 음영 모아레 기법(Shadow moiré technique)과 투영 모아레 기법(Projection moiré technique)으로 나뉜다. 음영 모아레 기법은 대상물에 격자를 통해 빛을 투영시키는 것으로, 이때 대상물의 표면에 가능한

* 延世大學校 工科大學 教授
** 漢陽大學校 工科大學 教授
*** 延世大學校 工科大學院

가까이 격자를 위치 시키며, 평행광선이나 발산광선을 사용하여 등고선이 생기도록 하는 기법인, 반면 투영 모아레 기법은 주격자(master grating)을 투영렌즈(projecting lens)을 통해 대상물 표면에 비추고 보조격자(reference grating)를 통해 보므로써 등고선을 얻는 기법이다.^{1),2),3)}

음영 모아레 방법의 두드러진 특징으로는 관측의 단순성을 들 수 있으며²⁾ 최소한 대상물 만한 크기의 격자가 필요한 단점이 있다. 이에 비해 투영 모아레 방법은 주격자를 투영기(projector)을 통해 대상물에 비추므로 격자의 크기가 대상물과 같은 크기로 할 필요가 없는 대신 system 자체가 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 대상물의 모아레 등고선을 비측정용 카메라로 측정하는 데 있어서, 대상물의 3차원 측정방법으로써 투영 모아레 기법을 사용하였으며, 이때 얻어지는 사진과 기준점 측량에 의해 얻어지는 절대 좌표를 비교하므로써, 투영 모아레 system의 기준면 결정 방법을 제시하는 데 그 목적이 있다.

본 연구에서는 모아레 기법중에서 투영 모아레 기법을 사용하였다. 몇 개의 격자를 제작하여 관측에는 2개의 격자(주격자와 보조격자)를 사용하였으며 대상물로는 석고로 만든 비너스와 원기둥을 사용하였다. 기준점 측량 결과와 비교하기 위해 대상물에 표정점을 부착하여 Theodolite T-2로 측량했으며, 이때 얻어지는 상대높이의 차와 모아레 등고선도로 부터 구한 상대높이차를 비교하여 투영 모아레 system의 기준면 방향을 결정하였다.

2. 모아레의 해석이론

2.1 모아레의 개요

모아레(Moiré)는 일상 생활에서 흔히 볼수 있는 현상으로, 일정한 간격으로 조밀하게 짜여 있는 천이나 망등이 겹쳐져 있는 곳에 빛이 비추지면 생기는 무늬로, “물결 무늬”라는 뜻의 프랑스어이다. 동일 평면 내에 평행한 격자선으로 짜인 격자에 빛을 비추면, 빛의 간접 현상과 격자와의 중첩에 의해 밝고 어두운 부분, 즉 모아

레가 생기게 된다.” 이것을 이용하는 방법에는 크게 2가지 방법이 있다. 근본적인 원리는 비슷하지만 사용하는 격자가 음영 모아레 방법에서는 대상물 만한 크기의 격자가 필요한 반면, 투영 모아레 방법에서는 주격자와 보조격자의 2개의 격자를 사용 한다는 점에서 다르다.²⁾

격자선들 간의 간섭에 의하여 모아레가 형성되는 것이므로 격자선으로는 통상 직선을 많이 사용하나, 동심원 격자나, 곡선 격자, 또는 직선과 곡선을 동시에 사용한 격자를 이용해도 모아레를 얻을 수 있다.¹⁰⁾ 그러나 보다 정확한 모아레를 얻기 위해 중요한 것은 정밀한 격자의 제작이다. 현재의 격자 제작 방법에는 Merton - N. P. L법, 사진법 등이 있다.”

모아레 기법은 대상물에 관한 3차원 측정에 있어서, 한쌍의 입체 사진을 찍고 기준점 측량을 하여 정밀 입체 도화기에 의해 등고선도를 얻는, 지상 사진 측량에 비해 작업이 간단하며, 시간이 적게 소요되므로 경제적이다. 또한, 촬영하는 위치를 변화 시킴으로써 여러 다른 형태의 등고선도를 얻을 수 있고 직접적인 측정이 가능하다.¹⁰⁾ 더우기, 투영 모아레법에서는 대상물 만한 크기의 격자가 필요한 음영 모아레법의 단점을 해소할 수 있다. 특히 음영 모아레 방법에서는 원하는 등고선도를 얻기 위해 격자 간격이나 투영 위치와 촬영위치를 변화 시켜야 하는 반면, 투영 모아레 방법에서는 같은 위치에서도 투영 렌즈의 초점 거리를 조정함으로써 구할 수 있다.

2.2 음영 모아레의 원리

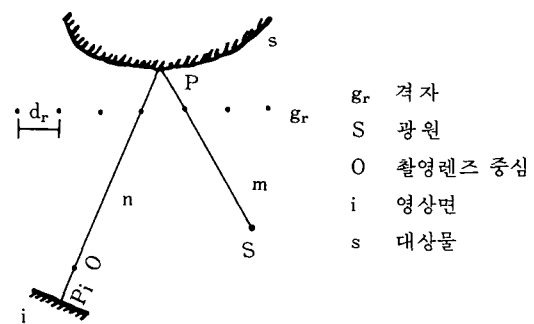


그림 2-1. 음영모아레의 설명도

P점과 같은 모든 점들은 격자선과 평행한 선들로 이루어지는 원주면(cylindrical surface)을 형성한다. 같은 방법으로 $2d_r, 3d_r$ 떨어진 격자선들을 지나는 직선들 n과 m에 의해서도 또 다른 원주면들이 생기는데, 이 면들을 등고면이라 한다.(그림 2-2) L. Pirodda가 발표한 논문에 의하면 그림 2-2와 그림 2-3으로부터 k 번째 등고면의 방정식은 다음과 같이 된다.²⁾

$$Z_k^2(b - kd_r) + Z_k \{bl + x(l_2 - l_1) - kd_r(l_1 + l_2)\} - kd_r l_1 l_2 = 0 \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (2-1)$$

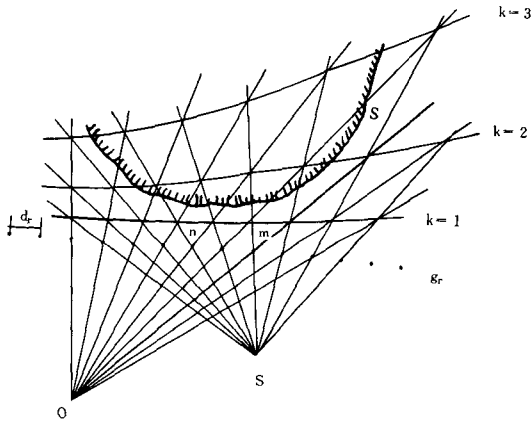


그림 2-2 음영모아레의 일반도

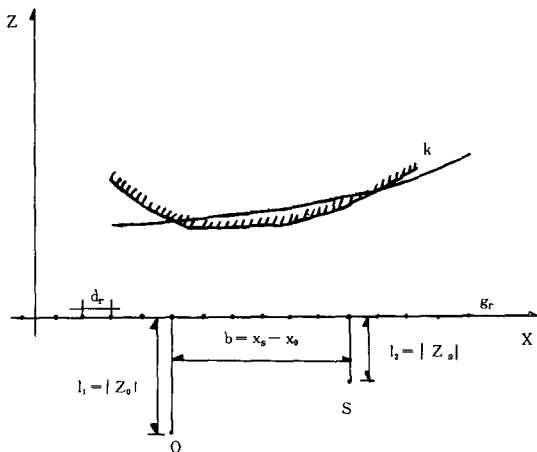


그림 2-3 음영모아레의 좌표계와 독립변수들

만약 $l_1 = l_2 = l$ 이라면, 식(2-1)은 다음과 같이 간단해진다.

$$Z_k = l \frac{k d_r}{b - k d_r} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (2-2)$$

인접 등고면 사이의 거리 ΔZ , 감도 요소는

$$\Delta Z = \frac{d_r l}{b} \frac{\left(1 + \frac{Z_k}{l}\right)^2}{1 + \frac{d_r}{b} \left(1 + \frac{Z_k}{l}\right)} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (2-3)$$

이다. 일반적으로 $\frac{Z_k}{l} \ll 1$ 이고 $\frac{d_r}{b} \ll 1$ 이므로, 감도 요소는 다음과 같은 일정한 값을 갖는다.

$$\Delta Z = d_r \frac{l}{b} \quad (2-4)$$

2.3 투영 모아레

투영기로 등간격의 주 격자를 대상물에 투영하고, 이 대상물을 보조렌즈를 통해 관측한다. 이때 이 렌즈의 영상면에 보조격자가 위치한다. 이 보조격자는 대상물 상에 생긴 선들의 像과 간섭을 일으켜서 모아레를 생기게 한다. 모아레가 생기는 원리는 음영 모아레와 같다. 즉, 그림 2-4의 격자와 보조면이 평행하다면 이 두 system은 완전히 동일하며, 따라서 투영 모아레 sys-

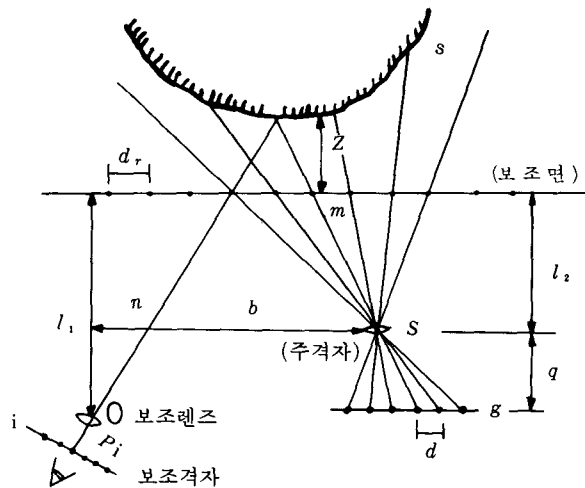


그림 2-4 투영모아레의 설명도 (I)

tem에 영향을 주는 독립변수는 음영모아래의 독립 변수와 같은 b_1, l_1, l_2 와 d_7 이다. 따라서 음영모아래의 경우에 유도된 식들이 유용하다.

투영모아래 기법은 음영 모아래 기법에 비해 지상 사진측량을 위한 기선의 설정이 보다 복잡하므로 독립 변수들을 보다 측정하기 쉬운 격자의 간격들 (P_1, P_2)과 투영축과 시축이 이루는 각도 (α)로 사용한다.

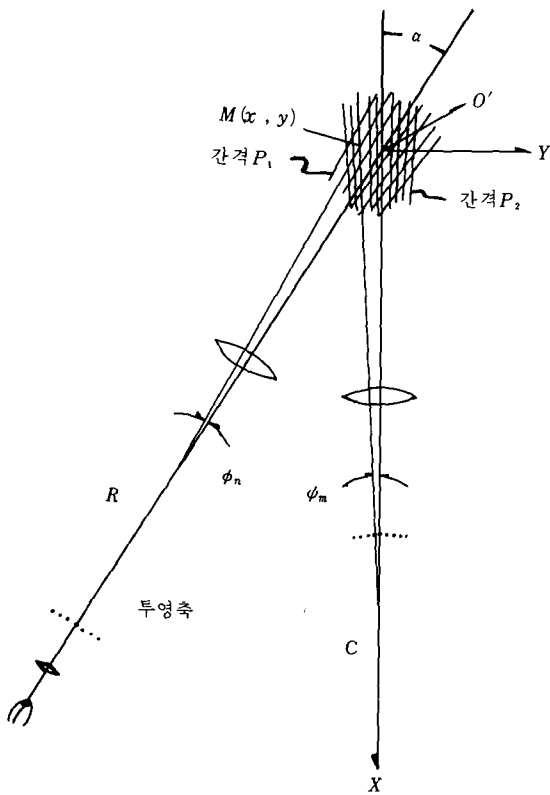


그림2-5 투영모아래의 설명도(II)

그림2-5로부터

$$\tan \phi_n = \frac{n P_1}{O'R} \quad (2-5)$$

$$\tan \phi_m = \frac{m P_2}{O'C} \quad (2-6)$$

여기서 P_1 과 P_2 는 원점 O' 근처에서 주격자와 보조격자의 격자 간격이다.

한국측지학회지

또한

$$\tan \phi_n = \frac{-x \sin \alpha + y \cos \alpha}{O'R - x \cos \alpha + y \sin \alpha} \quad (2-7)$$

$$\tan \phi_m = \frac{y}{O'C - x} \quad (2-8)$$

이다.⁹⁾

모아래 등고선에 관한 식에 의해, 점 M은 k 번째 등고선상에 놓인 것이다.

$$k = m - n \quad k, m, n, = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2-9)$$

식(2-6)에서 식(2-9)로부터 m, n 의 값을 식(2-10)에 대입하면 다음식을 얻게 된다.

$$Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F = 0 \quad (2-10)$$

여기서

$$A = P_2(O'R \sin \alpha - k P_1 \cos \alpha)$$

$$B = O'C P_1 \sin \alpha$$

$$C = (O'R P_2 - O'C P_1) \cos \alpha + k P_1 P_2 \sin \alpha$$

$$D = P_1[k P_1 (O'R + O'C \cos \alpha) - O'R \cdot O'C \sin \alpha]$$

$$E = O'C[O'R(P_1 - P_2 \cos \alpha) - k P_1 P_2 \sin \alpha]$$

$$F = -k P_1 P_2 O'C \times O'R$$

이다.

윗식에서 $O'R$ 과 $O'C$ (약 10cm)는 P_1 과 P_2 (약 0.01cm)보다 대단히 크므로, 고차항을 무시하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$y = \frac{P_2 \sin \alpha}{P_1 - P_2 \cos \alpha} x - \frac{k P_1 P_2}{P_1 - P_2 \cos \alpha} \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

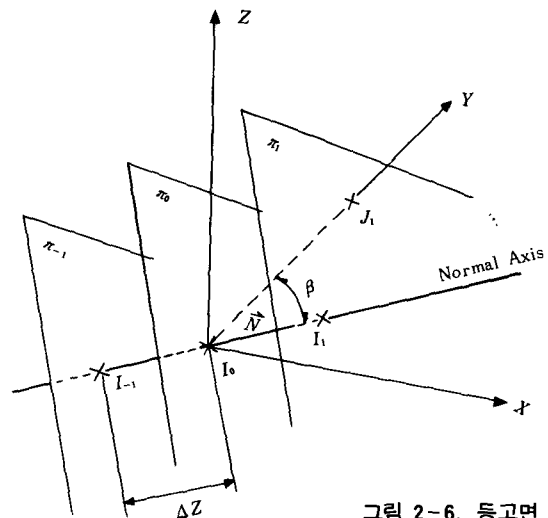


그림 2-6. 등고면

그림 2-6에서 등고면의 Normal vector는 다음과 같다.

$$\vec{N} = \frac{P_2 \sin \alpha}{P_1 - P_2 \cos \alpha} \vec{i} - \vec{j} \quad (2-12)$$

$$\vec{N} \text{은 } I_0 I_1 = \Delta Z = I_0 J_1 \cos \beta$$

여기서 $\cos \beta = \frac{\vec{N} \cdot \vec{j}}{|\vec{N}|}$

$$I_0 J_1 = \frac{P_1 P_2}{P_1 - P_2 \cos \alpha}$$

$$|\vec{N}| = \frac{(P_1^2 + P_2^2 - 2P_1 P_2 \cos \alpha)^{\frac{1}{2}}}{P_1 - P_2 \cos \alpha}$$

따라서 인접 등고선간의 간격은

$$\Delta Z = \frac{P_1 P_2}{(P_1^2 + P_2^2 - 2P_1 P_2 \cos \alpha)^{\frac{1}{2}}} \quad (2-13)$$

이다.⁶⁾

2.4 투영 모아레의 기준면 결정을 위한 좌표 변환식

원점을 0로 하고, 기선방향을 X축으로 하는 기준점 측량에 사용된 좌표계와 투영모아레 기준면을 X'축, 심도방향을 Y'축, 지상으로부터 높이 방향을 Z'축으로 하는 좌표계를 나타내면 그림 2-7과 같다.

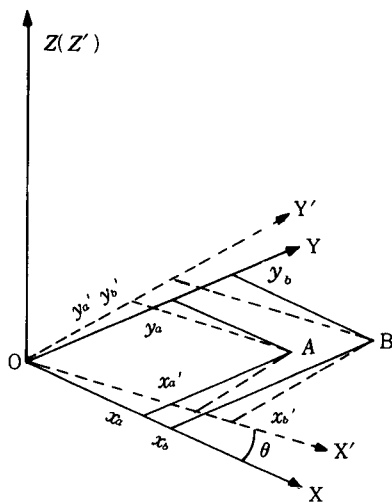


그림 2-7. 좌표변환

Z축을 중심으로 θ 만큼 회전했을 때의 두점 A와 B의 변환된 좌표 x_a', y_a' 와 x_b', y_b' 는 다음과 같이 된다.^{11), 12), 13)}

$$\begin{aligned} x_a' &= x_a \cos \theta + y_a \sin \theta \\ y_a' &= -x_a \sin \theta + y_a \cos \theta \end{aligned} \quad (2-14)$$

$$\begin{aligned} x_b' &= x_b \cos \theta + y_b \sin \theta \\ y_b' &= -x_b \sin \theta + y_b \cos \theta \end{aligned}$$

식(2-14)의 둘째식과 넷째식으로부터 다음과 같이 된다.

$$y_a' - y_b' = \sin \theta (-x_a + x_b) + \cos \theta (y_a - y_b) \quad (2-15)$$

이때 $y_a' - y_b'$ 는 투영아모레 System상의 A, B 두점의 심도차이다.

기준점 측량 좌표계상의 두점의 좌표와 이에 대응하는 점들의 투영 아모레 System상의 심도차를 알면 이 두 좌표계의 회전각 θ 를 구할 수 있으며, 따라서 투영아모레의 기준면 방향을 결정할 수 있다.

3. 관측 및 결과분석

3.2 관측 기구

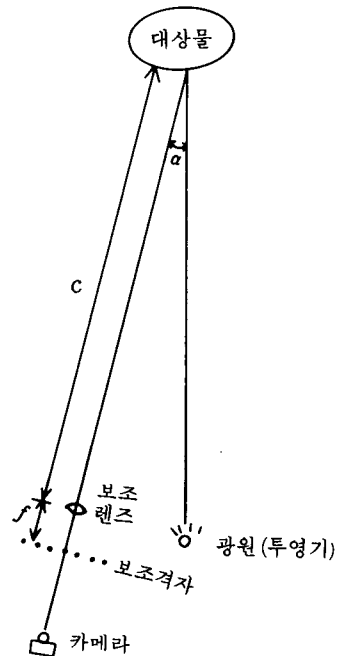


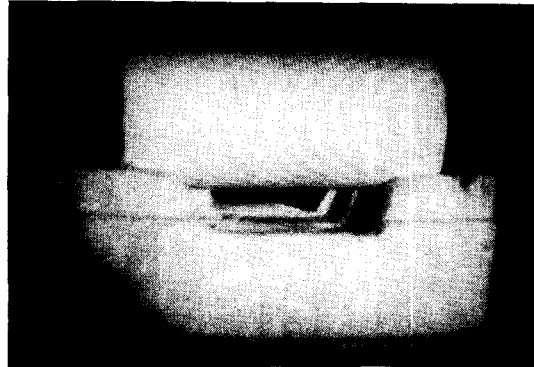
그림 3-1. 촬영위치

본 실험을 위해 4cm×4cm의 크기에 200개의 선이 들어간 주격자와 8cm×8cm에 200개 선이 들어간 보조격자를 제작하였으며 보조격자들은 렌즈와 보조격자를 고정할 목적으로 제작하였고, 조립식으로 두부분으로 구성되어 있다.

렌즈는 렌즈1(초점거리: 23.5cm, 직경: 9cm)과 렌즈2(초점거리: 35.5cm, 직경: 11.5cm)의 두개의 렌즈를 사용하였으며, 대상물로는 석고로 제작된 비너스와 원기등을 사용하였다.

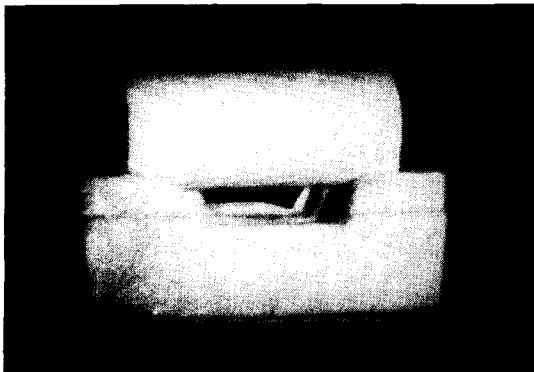
3.2 사진촬영

본 연구에서는 일반 사진기인 Nikon F2와 Zoom lens (70mm~210mm)을 사용하여 촬영하였으며, 필름은 일반 흑백 필름인 Kodak Plus-



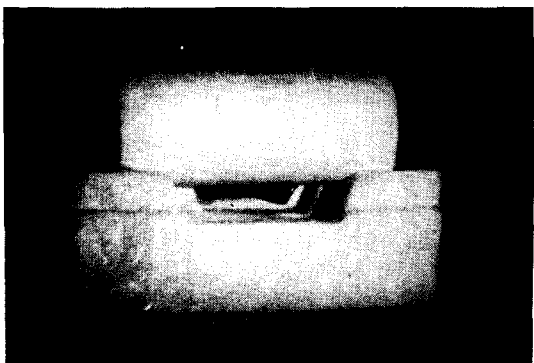
$\alpha = 15^\circ$, $f = 30.4\text{cm}$, $N = 40.5\text{개}$
노출(t): 1/4초
조리개($f/$): 11
렌즈 1 사용

그림3-4.
촬영된 3번사진



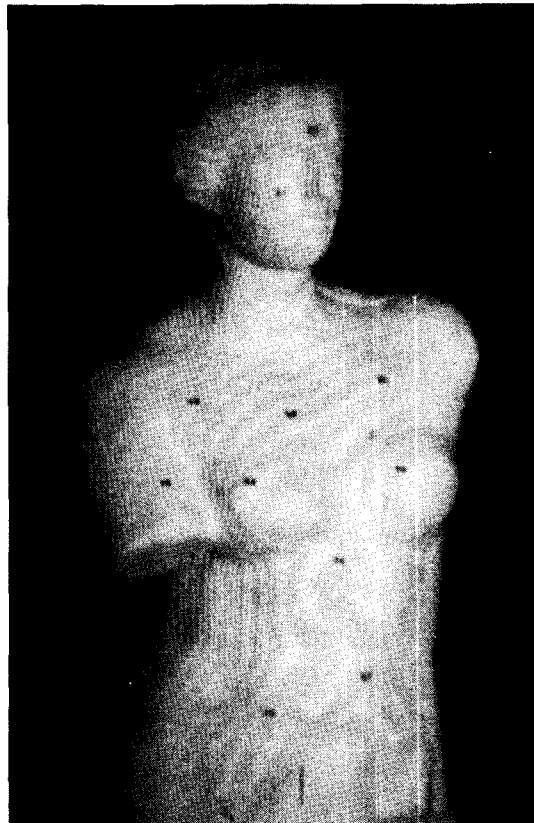
$\alpha = 15^\circ$, $f = 28.7\text{cm}$, $N = 40.5\text{개}$
노출(t): 1/4초
조리개($f/$): 11, 렌즈 1사용

그림3-2.
촬영된 1번 사진



$\alpha = 15^\circ$, $f = 28.5\text{cm}$, $N = 40.5\text{개}$
노출(t): 1/4초, 조리개($f/$): 11
렌즈 1사용

그림3-3.
촬영된 2번사진



$\alpha = 15^\circ$, $f = 36\text{cm}$, $N = 35\text{개}$
노출(t): 1/4초
조리개($f/$): 11
렌즈 2 사용

그림3-5.
촬영된 4번 사진

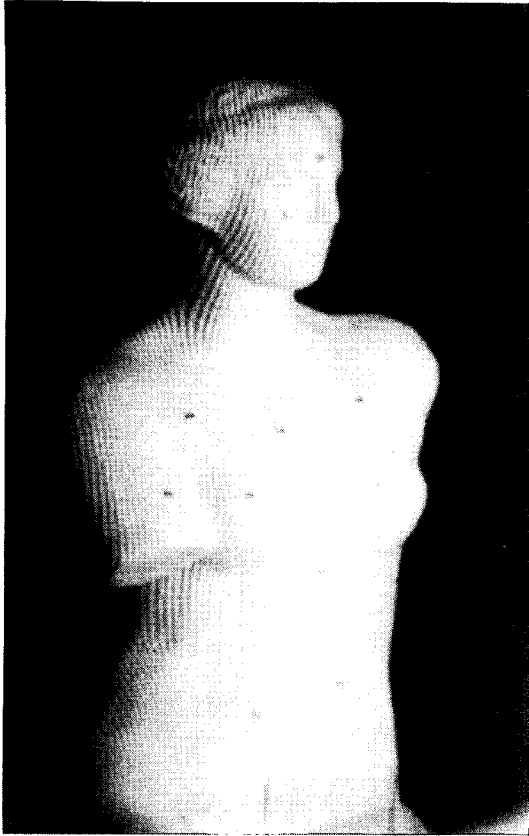


그림 3-6. 촬영된 5번사진
 $\alpha = 30^\circ$, $f = 35.5\text{cm}$, $N = 32\text{개}$
 노출 : 1/4 초
 조리개 (f) : 11
 렌즈 2 사용

Xpan 35mm (ASA125)을 이용하였다. 광원으로는 Slide Projector인 Kodak Carousel Custom 850H-K (102mm - 150mm, $f/2.8$)을 사용하였다. 대상물 상에 생기는 격자선의 간격을 나타내기 위해 대상물 상에 생기는 10cm 안에 들어가는 주 격자선의 수를 N 으로 나타내었으며 석고 원통은 지상 사진 측량 기선에 평행하도록 설치하여 촬영하였고, 비너스는 촬영조건 (c, f, α)을 달리하여 촬영하였다.

3.3 결과분석

1) 격자 간격과 등고선 간격 계산

대상물 상에 생기는 주 격자의 간격(P_1)과 보조격자가 대상물 상에 렌즈를 통해 투영 되었다

고 가상할 때의 격자 간격(P_2)을 계산하고, 식 (2-13)을 사용하여 심도를 계산하여 정리하면 다음과 같다.

표 3-1. 촬영된 사진의 격자간격과 심도 계산 (단위 : mm)

사진번호	P_1	P_2	α	심도 (ΔZ)
1	2.469	2.573	15°	9,537
2	2.469	2.451	15°	9,420
3	2.469	2.024	15°	6,809
4	2.482	2.857	15°	8,978
5	2.616	3.125	30°	5,223

사진 1, 2, 3 으로부터 대상물 상에 생기는 주 격자와 보조격자의 간격을 같게 조건을 조정하므로써 ($P_1 = P_2$), 대상물과 평행한 기선에서 기준점 측량하여 얻어지는 등고선도와 동일한 등고선도를 얻을 수 있음을 알았다.

2. 기준점 측량

대상물인 비너스에 11개의 표정점을 붙였으며, 이들을 1" 독 Theodolite T-2로 각 표정점들의 좌표 (x, y, z)를 측량했다.

구하면 표 3-2와 같다.

표 3-2. 기준점 측량 좌표계 상의 표정점들의 좌표 (단위 : cm)

표정점번호	x 좌표	y 좌표	z 좌표
1	236.742	348.046	- 4.080
2	246.540	348.968	- 3.145
3	239.874	350.542	0.150
4	246.320	352.243	2.498
5	233.972	351.631	0.848
6	231.779	349.480	- 4.168
7	243.016	350.198	- 8.848
8	245.151	351.078	-16.302
9	238.471	349.604	-18.498
10	239.485	344.877	17.388
11	237.898	345.960	13.506

3. 투영모아레의 기준면 방향 결정

식 (2-15)을 이용하여, 기준점 측량을 행한기 선방향과 투영 모아레의 기준면 방향 사이의 각

θ 를 Iteration Method중 Bisection Method 를 사용하여 구했다. 단 이때 등고선 갯수의 구별이 명확한 쌍들의 표정점들을 사용하였으며, 이것들 중에서 수치 해석적으로 수렴해를 주는 쌍들의 표정점만을 사용하였다. 이것을 표로 나타내면 표 3-3과 3-4와 같다.

표3-3. 사진4의 기준면 방향(θ)의 결정

사 용 표정점의쌍	등 고 선 수(개)	표정점간의 높이차(cm)	계 산 된 θ (°)
1, 2	3.0	2.6934	21.2593415
1, 3	1.5	1.3467	18.9033367
1, 4	1.0	0.8978	18.7378000
1, 7	0.5	0.4489	22.8127851
2, 3	4.0	3.5912	18.3366413
2, 5	8.0	7.1824	19.3981000
3, 4	0.5	0.4489	18.6439838
4, 5	4.0	3.5914	19.7251600
5, 6	1.5	1.3467	18.4438794
평 균			19.5845586

따라서 사진4의 기준면은 실험에서 행한 기준점 측량의 기선과 반시계 방향으로 19.5845586° (19°35'04")의 각도를 이루는 것을 알 수 있다.

표3-4. 사진 5의 기준면 방향(θ)의 결정

사 용 표정점의쌍	등 고 선 수(개)	표정점간의 높이차(cm)	계 산 된 θ (°)
1, 3	3.0	1.56690	15.5206920
1, 4	3.5	1.82805	13.5948753
1, 7	1.0	0.52230	14.4156890
1, 8	2.5	1.30575	11.4280661
2, 3	5.0	2.61150	9.1274058
2, 5	9.5	4.96185	10.7565296
3, 4	0.5	0.26115	12.5374984
3, 5	4.5	2.35035	12.6009882
4, 5	4.0	2.08920	12.5662768
평 균			12.5053357

사진 5의 투영 모아레 기준면은 실험에서 행한 기준점 측량의 기선과 반시계 방향으로 12.5053357 (12°30'19")의 각도를 이루는 것을 알 수 있다.

따라서, 기준면의 방향을 알기가 어려운 투영 모아레 방법에서는 일정한 방향에서 기준점 측량을 행한 결과와 얻어진 사진을 비교함으로써, 식(2-15)을 사용하여 이미 행한 기준점 측량의 기선 방향으로 부터 회전된 투영 모아레 system의 기준면 방향을 구할 수 있다.

4) 기준점 측량 결과와의 비교

기준점 측량 결과와의 비교를 위해 먼저 표3-2의 표정점 좌표를 이용하여 19°35'04" (사진4

表3-5. 4번 사진의 경우 변화된 좌표 및 정확도 비교

(단위 : cm)

표정점번호	x 좌 표	y 좌 표	비고(I)*	등고선수(개)	비고(II)**	오 차
1	339.710	248.555	2.415	3.0	2.693	-0.278
2	349.250	246.140	0	0	0	0
3	343.498	249.857	3.717	4.5	4.040	-0.323
4	350.141	249.299	3.159	4.0	3.591	-0.432
5	338.302	252.862	6.722	8.0	7.182	-0.460
6	335.515	251.570	5.430	6.5	5.836	-0.406
7	346.343	248.480	2.340	2.5	2.245	-0.095
8	348.649	248.593	2.453	3.0	2.693	-0.240
9	341.861	249.444	3.304	3.5	3.142	0.162
10	341.232	244.650	0	0	0	0
11	340.100	246.203	1.553	2.0	1.796	-0.243
				평균	제공근 오차	±0.316cm

表 3-6. 5번 사진의 경우 변화된 좌표 및 정확도 비교

(단위 : cm)

표정점번호	x 좌 표	y 좌 표	비고(I)*	등고선수(개)	비고(II)**	오 차
1	306.488	288.527	1.221	2.0	1.045	0.176
2	316.253	287.306	0	0.0	0	0
3	310.086	290.286	2.980	5.0	2.612	0.368
4	316.748	290.551	3.245	5.5	2.873	0.372
5	304.560	292.627	5.321	9.5	4.962	0.359
6	301.953	291.002	3.696	7.0	3.656	0.040
7	313.079	289.269	1.963	3.0	1.567	0.396
8	315.354	289.666	2.360	3.5	1.828	0.532
9	308.513	289.674	2.368	3.5	1.828	0.540
10	308.480	284.839	0	0	0	0
11	307.165	286.240	1.401	3.0	1.567	-0.166
평균 제곱근 오차						±0.364 (cm)

의 경우) 만큼 좌표계가 반시계 방향으로 회전 되었을 때, 즉 투영 모아레의 좌표계 원점과 기준점 측량의 좌표계 원점이 일치하며, 또한 투영 모아레의 기준면이 기준점 측량의 기선과 일치 되었을 때의 표정점의 변환된 좌표를 식 (2-14) 을 이용하여 구하였다. 특히 표정점들의 높이를 비교하기 위해 표정점 2와 10을 기준으로 하여 상대높이차를 구하였다.

따라서 변환된 기준점 측량의 좌표로부터 구한 상대높이와 투영 모아레 사진으로부터 구한 상대 높이와의 오차는 사진 4와 사진 5의 경우 각각 ±0.316cm, ±0.364cm였다.

이 오차는 투영모아레 system 이 가지고 있는 자체오차와 사진 판독시 등고선 수를 정확히 측정할 수 없는 데에서 오는 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구를 통해 투영 모아레 기법을 이용한 mapping 을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 투영점과 촬영점을 이동하지 않고도 대상물상에 생기는 주격자와 보조격자의 격자 간격을 달리하므로써 각각 다른 기준면 방향의 모아레를 얻을 수 있으며, 대상물 상에 생기는 주

격자와 보조격자의 격자 간격을 같게 하므로써 대상물과 평행한 기준면 방향의 등고선도를 얻을 수 있다.

둘째, 임의의 기준면으로 mapping 된 투영 모아레 사진의 기준면 방향은 소수의 표정점을 이용한 기준점 측량의 결과에 의하여 결정될수 있다.

셋째, 기준점 측량의 좌표로부터 구한 표정점들간의 상대높이와 투영 모아레 사진으로부터 구한 상대높이와의 평균 제곱근 오차는 ±0.32~0.36cm였으며, 사진 판독시 등고선 수를 정확히 측정할 수 있다면, 그 정확도는 향상될 것으로 사료된다.

參考文獻

1. 日本圖學會編, 圖形科學ハンドブック, 森北出版 株式會社. 1980. pp. 856-875.
2. Pirodda, L., "Shadow and Projection moire techniques for absolute or relative mapping of surface shapes," Optical Engineering, vol. 21, No. 4, July/August 1982, PP. 640-649.
3. Frobin, W. and Hierholzer, E., "Calibration and Model Reconstruction in Analytical Close-Range Stereophotogrammetry, Part II : Special Evaluation Procedures for Rasterstereography and Moiré Topography," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 48, No. 2, February 1982, pp. 215-220.

- 4 . Meadows, D. M, Johnson, W. O., and Allen, J. B., "Generation of Surface Contours Moire Patterns," *Applied optics*, vol. 9, No. 4, April 1970, pp. 942-947.
- 5 . Takasaki, H., "Moiré Topography," *Applied Optics*, vol. 9, No. 6, June 1970, pp.1467-1472.
- 6 . Srinivasan, R., Hartley, C. S., Raju, B. B., and Clave, J., "Measurement of neck development in tensile testing projection moire," *Optical Engineering*, vol. 21, No. 4, July/August 1982, pp. 655-662.
- 7 . Takasaki, H., "Simultaneous all-around measurement of a living body by moiré topography," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 41, No. 12, December 1975, pp. 1527-1532.
- 8 . Takasaki, H., "Moiré Topography," *Applied optics*, vol. 12, No. 4, April 1973, pp.845-850
- 9 . A. S. P., *Manual of Photogrammetry*, 4th ed., A. S. P., 1980, pp. 867-873.
10. 조병덕, "인체 모형의 3차원 측정에 있어서 Moiré Contour에 관한 연구," 연세대학교 산업대학원 석사학위논문, 1985년 6월.
11. Ghosh, S. K., *Analytical Photogrammetry*, Pergamon Press, 1979. pp.53-58.
12. Wolf, P. R., *Elements of Photogrammetry*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1983, pp.577-580, pp. 587-592.
13. Moffitt, F. H., *Photogrammetry*, 3rd ed., Harper & Row, 1980, pp. 589-592.