

## 다중영상시스템을 이용한 건축물의 도형정보취득 Graphic Information Acquisition of Architectures using Multi-Image System

이재기\* · 박경식\*\* · 정성혁\*\*\*

Lee, Jae-Kee\* · Park, Kyeong-Sik\*\* · Jung, Sung-Heuk\*\*\*

### 요 旨

최근까지는 건축물을 정확히 기록·보존하는 방법으로 실측에 의한 방법이 주로 이용되어 왔으나, 노력과 시간이 많이 소요되고 숙련도에 따라 정확도가 좌우되는 단점이 있다. 또한 최근에 이르러 정보산업의 급속한 발달로 지형정보체계의 자료기반구축 및 갱신에 있어서 빠르고 정확한 정보의 취득이 요구되는 실정이지만 기존의 방법으로는 신속·정확한 갱신이 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 보다 간편하고 경제적이며 정확한 근거리 사진측량기법을 이용하여 건축물을 정밀관측하고, 획득된 영상을 다중영상접합기법을 이용하여 처리함으로써 3차원 수치모형을 생성하고자 한다. 또한 완성된 건축물의 입면, 평면등을 다중영상접합에 의해 정밀도화 할 수 있는 기법을 제시하고, 해석적 방법을 정립하여 각 부재의 정확한 치수와 3차원 좌표를 결정하므로써 필요시 건축물의 정확한 준공도면 등의 자료로 제공할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

### ABSTRACT

In order to conserve architecture accurately as original feature, we need to get the data which is measured in detail about the information of size, position, type, shape, and other terms for architectures. Recently, we need to get data fast and correctly, to compose and to update the database of geographic information system, but using existing method, it is difficult to update the data effectively in the rapid development of information industry. In this study, therefore, It is measured precisely architecture using accurate close-range photogrammetry. The aims of this study are real-measured plan by processing acquired image through multi-image matching method of photogrammetry, suggesting the method which is able to draw in detail front plane and plane of well-established architecture, and giving data to obtain accurate size and 3-D coordinate using analytical method.

### 1. 서 론

건축물을 정확히 기록·보존하는 방법으로서 최근까지는 실측에 의한 방법이 주로 이용되어 왔으나, 노력과 시간이 많이 소요되고 숙련도에 따라 정확도가 좌우되는 단점이 있다. 또한 최근에 이르러 정보산업의 급속한 발달로 지형정보체계의 자료기반구축 및 갱신에 있어서 빠르고 정확한 정보의 취득이 요구되는 실정이지만 기존의 방법으로는 신속·정확한 갱신이 어려운

실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 이러한 문제점을 해결하기 위하여 보다 간편하고 경제적이며 신속·정확한 근거리 사진측량기법을 이용하여 건축물의 입면도, 측면도, 상세도, 3차원 입체도 및 건축물 내외부를 연계시킨 평면도 등의 건축물에 관한 도형정보취득 기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서 기준점은 인공표정점을 제작하여 전면부에 12개, 내부에 1개를 부착하였으며 1초독 대오돌라이트(Wild T-2)를 이용하여 기준점측량을 실시하였다. 기준점측량의 결과값은 사진측량의 초기값으로 이용되며, 한편 사진측량의 결과와 비교·분석하기 위한 자료로서 이용하였다.

\* 충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 석사과정

사진촬영은 대상물의 한 면이 최소 3장의 사진에서 100%중복으로 이루어지도록 촬영계획을 수립하여 자유수렴촬영방법을 이용하였다.

3차원 좌표의 위치결정을 위하여 다중영상복원시스템에 연결되어 있는 디지털저위에 촬영된 영상을 부착하고, 격자와 표정점의 상좌표 및 야장상의 촬영점 위치와 외부표정요소에 관한 자료를 입력함으로써 모델계산 및 다중영상표정을 하였다. 표정시 계산값이 수렴이 될 때까지 반복계산함으로써 표정점의 원 좌표에 대한 최적값을 계산하였다. 이들 계산된 표정점의 3차원 좌표값중 기준점에 대한 좌표값을 삼각수준측량에 의해 측정된 좌표값과 비교함으로써 영상접합을 통해 결정된 좌표의 정확도를 분석하였다.

또한 대상물의 형상을 도화하기 위한 영상접합시 획득된 표정점들을 이용하여 표정을 수행하였고, 최소 3장 이상의 사진상에 나타나있는 공통된 점을 디지털저로 입력하고 다중영상복원시스템의 CAD기능을 이용하여 대상물의 형상 및 내부의 형상을 정밀도화하였다.

이상과 같이 본 연구에서는 대상물을 근거리사진측량을 통하여 정밀 관측하고 다중영상접합을 이용하여 분석 및 정밀도화함으로써 건축물 외부 및 내부까지도 정밀도화하고자 한다. 도화된 자료는 그 파일형식을 벡터 자료의 표준형식인 DXF로 저장하므로써 AutoCAD, 지형공간정보의 자료기반 등에 이용할 수 있도록 하였다.

## 2. 다중영상접합 이론

사진측량은 사진과 렌즈의 투영중심 그리고, 대상물간의 기하학적인 관계를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량적·정성적으로 해석하는 학문이다.<sup>1)</sup> 사진의 기하학적인 원리는 중심투영이며, 사진의 상은 대상물로부터 반사된 빛이 렌즈의 중심을 통하여 필름면에 투영되어 나타나게 된다. 이러한 사진과 대상물간의 상관관계는 다음의 이론들에 의해 해석된다.<sup>2)</sup>

### 2.1 공선조건

공선조건(collinearity condition)의 기본적인 변환식은 사진좌표계와 대상물좌표계 사이의 관계로부터 나타낼 수 있다. 대상물의 어떤 한점은 그림 1에서 보는바와 같이 렌즈의 투영중심을 직선으로 통과하여 이에 대응하는 한점을 필름면에 맺는다는 기하학적 관계를 이용하

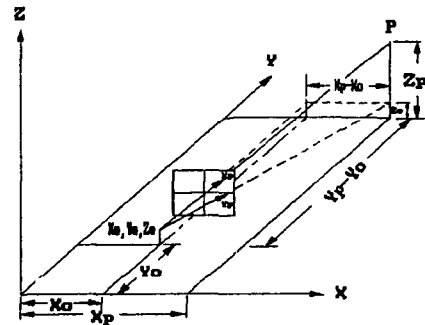


그림 1. Collinearity condition

여 수학적으로 표현한 것이 식 (1)의 공선조건식이다.

$$\begin{aligned} x_p - x_0 &= -f \frac{m_{11}(X_p - X_0) + m_{12}(Y_p - Y_0) + m_{13}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \\ y_p - y_0 &= -f \frac{m_{21}(X_p - X_0) + m_{22}(Y_p - Y_0) + m_{23}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

사진측량에서는 일반적으로 최소제곱법을 이용하여 우연오차를 조정하고 있으나, 관측값에는 우연오차외에 정오차도 포함되어 있기 때문에 이 정오차에 의해 공선조건식이 완전히 만족되진 않는다. 이 정오차는 렌즈의 왜곡과 대기굴절 등의 원인에 의해 실제 광선이 공선에서부터 이탈되어 있고 이것이 어떤 일정한 형식을 갖고 있으므로 이 정오차( $\Delta x, \Delta y$ )를 조정계산모형에 첨가하여 공선조건식을 만족시킨다. 따라서, 식 (1)이 성립될 수 없으므로 공선조건을 적용시키기 전에 다음과 같이 보정하여 이용한다.<sup>3,4)</sup>

$$\begin{aligned} x_p + \Delta x - x_0 &= -f \frac{m_{11}(X_p - X_0) + m_{12}(Y_p - Y_0) + m_{13}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \\ y_p + \Delta y - y_0 &= -f \frac{m_{21}(X_p - X_0) + m_{22}(Y_p - Y_0) + m_{23}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)를 행렬형태로 나타내면 다음과 같다.

$$X = -f \frac{\vec{M}_1 X}{M_3 X}, \quad Y = -f \frac{\vec{M}_1 X}{M_3 X} \quad (3)$$

실제 해를 구하기 위해서는 Taylor 급수를 이용하여 선형화하며, 최소제곱법을 이용하여 잉여 관측자료를 해결해야 한다. 선형화된 관측방정식으로 나타내면 다

음과 같다.

$$V + B\Delta + E = 0 \quad (4)$$

여기에서  $V$ 는 잔차벡터,  $B$ 는  $\Delta$ 는 외부표정 요소의 보정량벡터,  $E$ 는 교차(Discrepancies)벡터이다.

식 (4)를 최소제곱법에 의해 조정하면 정규방정식은 다음과 같이 된다.

$$(B^T W B)\Delta + (B^T W E) = 0 \quad (5)$$

따라서, 외부표정요소의 보정량 벡터( $\Delta$ )는 다음과 같다.

$$\Delta = -(B^T W B)^{-1} (B^T W E) \quad (6)$$

여기에서  $|B^T W B| \neq 0$ ,  $W$ 는 경중률이다.

조정된 외부표정요소값은 초기값에 보정량을 더해서 얻을 수 있고, 실제 계산에서는 보정량이 수렴한도 내에 포함될 때까지 위의 과정들을 반복계산한다.<sup>9)</sup>

## 2.2 다중영상 접합의 기본원리

근거리 사진측량에서 다중영상접합이란 여러장의 사진을 기하학적 원리를 이용하여 접합하므로써 대상물의 3차원좌표를 획득하는 것이다.

### 2.2.1 표정

다중영상접합의 표정(orientation)은 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\kappa, \psi, \omega$ )에 대한 계산이며 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것이다.

다중영상접합에서는 표정을 위해 전방교회법과 후방교회법을 동시에 이용한다.

전방교회법(intersection)은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이다.

후방교회법(resection)은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에 적어도 3개의 지지방향으로 교차시키므로써 공간위치를 결정하는 것이며 지지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정한다.

그리고, 다중영상접합은 3차원 공간에서 광속의 교

차에 의해 표정점의 좌표를 얻기 때문에 각 사진들의 표정 순서가 표정점의 위치결정에 상당한 영향을 준다. 따라서, 각 사진의 표정순서는 그림 2와 같은 다음과 같은 규칙에 의해 실시된다.

우선, 공선변환에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점이 표정순서에서 최소 3장의 사진이 나타나야 한다. 맨처음 두 장의 사진은 전방교회법으로 모델좌표를 계산한다. 이 두장의 사진방향은 3차원공간에서 60°~90°의 각도가 이루어 지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고, 결과 값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다.

표정을 위한 초기값으로 촬영시 이용된 사진기의 초점거리, 렌즈중심의 위치 등을 포함하는 내부표정요소와 촬영위치, 촬영고도, 촬영각도 등의 외부표정요소가 필요하다. 또한, 기준좌표계를 설정하기 위해 최소 6개의 좌표(기준점에 대한 X좌표 3개, Y좌표 2개, Z좌표 1개)와 축척결정을 위한 1개의 실측 평면거리가 필요하며, 특히 실측평면거리는 반복계산시 수렴하는데 있어서 중요하므로 반복관측하여 최확값을 사용한다.

### 2.2.2 다중영상 접합의 자료 처리 과정

다중영상접합을 위한 다중영상복원시스템은 수치계산기(코프로세서)가 내장된 퍼스널 컴퓨터와 40 cm × 60 cm크기에 25 μm의 해상력을 가진 디지털타이저 그리고, 출력을 위한 프린터 및 플로터로 구성되어 있으며, 소프트웨어로는 MR2 (multi-image restitution system) 와 도화를 위한 CAD로 구성되어 있다.

본 연구의 자료처리 시스템은 10단계의 처리과정으로

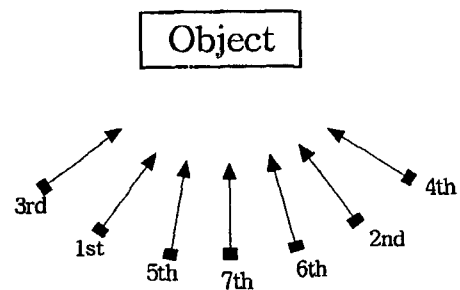


그림 2. Photo orientation sequence

로 되어 있고 그 단계는 표 1과 같다.

입력 자료는 디지털타이저를 이용하여 현장에서 스케치된 야장의 외부표정요소를 입력하고, 상의 왜곡을 보정하기 위한 보정계수를 결정하기 위하여 사진상에 나타난 격자마크(reseau mark)를 입력한다.

사진상의 표정점을 디지털타이저로 입력하므로써 상좌표를 획득할 수 있으며, 획득된 상좌표와 기준점좌표 및 근사값으로 입력된 외부표정요소, 내부표정요소를 이용하여 자료를 처리한다. 자료처리는 주어진 자료를 이용하여 1차적으로 전방교회법과 후방교회법을 이용한 표정을 수행하고 획득된 3차원 좌표는 광속조정을 위한 초기값으로 이용된다. 광속조정에서 반복 계산됨으로써 더욱 정확하게 계산되어, 최종적으로 대상물의 3차원 절대좌표값을 얻게 된다.

### 2.2.3 잔차

다중영상접합에서의 잔차(residual error)는 x,y 사진좌표와 표정점의 대상물좌표로부터 광속조정에 의해 계산된 x,y 사진좌표간의 차를 의미한다. 광속조정에 의해 계산된 잔차  $V_x, V_y$ 는 계산된 표정점과 관측된 표정점간의 거리와 같고 측정된 표정점에 대해 계산된 표정점의 정확한 위치를 추측할 수 있다. 그 값을 비교하기 위하여 전방교회법과 후방교회법으로 계산된 사진좌표의 잔차는 다음과 같은 식에 의해 계산된다.

$$V_{xy} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (7)$$

따라서, 이 식으로부터 측정된 표정점이 계산된 대상물 표정점 좌표와 얼마나 잘 일치하는가를 나타내는 것이므로 사진좌표에 관한 확실한 측정 정확도를 나타내는 척도가 된다.

## 2.3 사진측량의 보정

자료를 처리하는 과정에 있어서 기본적인 조건은 사진상의 점과 투영중심 및 상점에 대응하는 대상점이 동일직

표 1. Data processing of multi-image matching

키	내용	키	내용
F1	초기값 설정	F6	광속 조정
F2	촬영현황입력	F7	다중영상계산
F3	영상좌표측정	F8	자료저장
F4	자료화일편집	F9	CAD자료변환
F5	다중영상표정	F10	작업종

선상에 있어야 한다는 공선조건식을 기초로 하며, 사진기의 렌즈조건에서 이상적인 사진기 렌즈의 경우는 이들 조건을 만족하지만, 실제로 사용되는 렌즈는 이상적인 렌즈 조건을 갖고 있지 않으므로 이에 대한 보정이 필요하다. 이러한 보정에는 렌즈왜곡에 대한 보정 및 주점에 대한 보정이 필요하며, 이 밖에도 필름의 신축 및 편평도, 대기의 굴절, 지표좌표의 보정, 기타 여러가지 조건 등이 고려될 수 있으나 근거리 사진측량에서는 이들의 영향이 극히 작으므로 일반적으로 고려되지 않는다.<sup>6)</sup>

렌즈의 왜곡에는 광축과 렌즈의 중심이 정확히 일치하여 광축에 대칭으로 나타나는 대칭렌즈왜곡과 렌즈의 합성 및 제작과정에서 렌즈의 중심이 정확히 일치하지 않고 편심되어 나타나는 비대칭렌즈왜곡의 두가지 성분으로 나타낸다.

## 3. 관측 및 결과분석

### 3.1 대상물선정 및 사진촬영

본 연구를 수행하기 위한 대상물은 그림 3, 그림 4와 같다.

근거리 사진측량에서는 자료획득을 위하여 정밀한 측량용 사진기를 이용하여 왔으나, 정밀 측량용 사진기는 너무 고가이고 또한 조작이 매우 불편한 단점을 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 우리가 요구하는 정확도를 충분히 가지고 있고 가격이 저렴하며 조작이 간편한 장점을 가지고 있는 준측량용 사진기인 Rollei 6006사진기를 이용하여 대상물을 촬영하였다.

Rollei 6006사진기는 렌즈와 필름사이에 있는 유리판(Glass plate)에 5 mm간격의 격자형태로 가로, 세로 각각

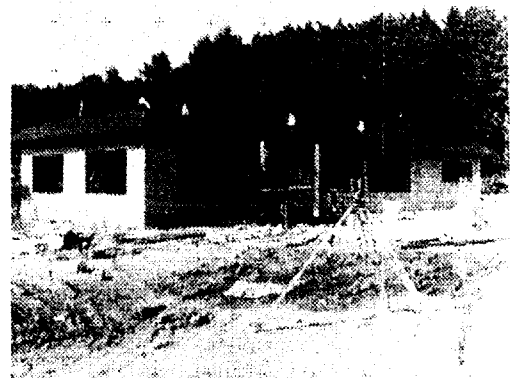


그림 3. Photograph of the object (outside)

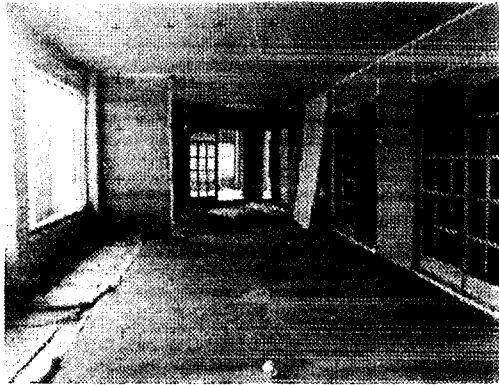


그림 4. Photograph of the object (inside)

11개씩 총 121개의 격자(reseau mark)가 새겨져 있으며, 이것은 촬영후의 필름 현상처리 과정에서 일어나는 필름신축에 의한 오차와 사진의 확대과정에서 발생하는 상변형을 수치적으로 보정이 가능 하도록 되어 있다.<sup>7)</sup>

촬영시 각 면에 대하여 최소 3장의 사진이 한 모델을 이루도록 중복도를 주어 전면부터 반시계방향으로 수렴 촬영 하였으며, 좌표가 서로 연속될 수 있도록 건물의 전면 창문을 통하여 내부까지 사진의 표정점들을 배치함으로써 대상물의 외부는 물론 내부까지도 3차원으로 재현할 수 있도록 13개의 인공 표정점을 균등배치 하였다. 촬영에 사용된 사진기의 주요 촬영조건은 표 2와 같으며, 사진기의 내부표정요소값은 표 3과 같다.

여기에서 사진기의 주점거리 Ck값은 대상물과의 거리에 따라 다르게 나타나므로, 대상물촬영시 이용된 Click-stop ∞에 대해서는 이미 제공된 값을 이용하고 있으나 내부 및 근접 촬영시 click stop값이 다르게 사용된다면 주점거리 값을 보정하여 사용해야 하며, 그 보정식은 다음과 같다.

$$CK = ck(\infty) - C(\infty) + C(\text{clickstop}) \quad (8)$$

여기서, CK : 보정된 초점거능

표 2. Camera features(Rollei Semi-Metric 6006)

Classification	Features
Principle distance	40.78 mm
lens aperture	f 1.2~f 22
Shutter speed	1~1/500
Lens resolution	30 μm
Film formate	6 * 6

표 3. Calibration data of the camera(40 mm)

Norm	Calibrated value	Remark
Nr	40	Camera number
Ck	-40.78	Principle distance
Xh	0.051	X coordinate of principle point
Yh	-0.168	Y coordinate of principle point
A1	-1.06E-004	First distortion correction
A2	1.23E-007	Secondary distortion correction

C(∞) : ∞거리에서의 click stop값

C : 촬영당시 해당되는 click stop값

이다.

사진의 외부촬영 조건은 표 4와 같고, 각 대상물의 외

표 4. The exposure condition to object

Condition Object	Number of exposure	Lens	Reseau no.
Building	48	40 mm	725

부촬영위치 및 내부촬영위치는 그림 5, 그림 6과 같다

### 3.2 기준점 측량

본 연구에서 각 표정점에 대한 절대좌표를 결정하기 위하여 1초독 테오도라이트(Wild T-2)를 사용하여 삼각수준측량방법에 의한 기준점의 수평각 및 연직각을 정밀 관측하였고, 측척요소가 되는 기선길이는 쇠줄자를 이용하여 반복 관측하였다. 좌표측은 X축을 기선방향, Y축을 촬영방향, Z축을 연직방향으로 하였으며, 좌측 테오도라이트의 위치를 절대좌표계의 원점으로

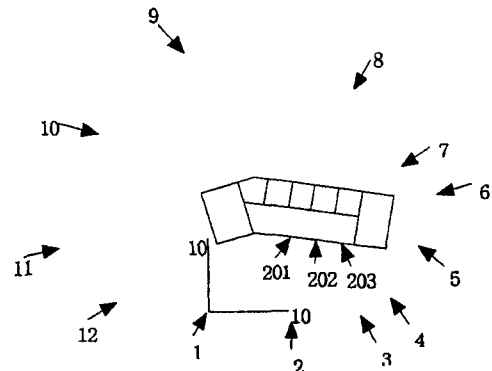


그림 5. The positions of exposure to object for external

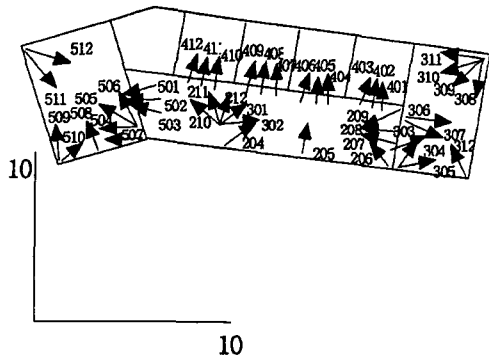


그림 6. The positions of exposure to object for internal

하였다.

본 연구에서는 건물의 외부뿐만 아니라, 내부까지 세 부적으로 계산하는데 있어서, 처리해야 할 사진매수와 인공표정점 및 자연표정점수가 너무 방대해지므로 정확도를 높이기 위하여 건물의 외부와 건물내부를 두 부분으로 구분지어 세부분으로 나누어 처리하였다. 대상물에 대한 삼각수준측량 결과 성과중 다중영상복원 시스템의 표정시 기준이 되는 표정점의 절대좌표는 표 5와 같다.

### 3.3 자료처리 및 계산결과

촬영된 사진상에 나타나는 인공표정점과 자연 표정점들은 디지털라이저를 사용하여 정확도 20  $\mu\text{m}$  이내로 입력되며, 기존에 알고있는 사진기의 내부표정요소와 야장의 외부표정요소로 먼저 전방교회법과 후방교회법을 이용하여 표정을 실시한다. 자료처리 시스템의 표정결과 획득된 3차원 좌표를 초기값으로 하여 결과값이 20  $\mu\text{m}$ 이내에 수렴될 때까지 광속조정을 반복 계산한다. 광속조정이 수행되면 내부표정인자, 외부표정인자 및 3차원 위치 등의 값들이 최종적으로 정밀하게 결정된다. 또한, 이러한 과정은 건물의 외부와 내부 두 부분으로 총 세 부분에 걸쳐 반복되게 된다.

상기의 처리과정을 거쳐 재결정된 내부표정요소는 표 6과 같다.

표 5. The absolute coordinate of control point

No.	X	Y	Z
4	2.5537	10.0640	1.1900
7	14.8895	9.7457	-
8	16.9122	-	-

표 6. The element of interior orientation

Lens	$C_k$	$X_b$	$Y_b$	$a_1$	$a_2$	RO
40	-40.780	-0.020	0.150	-3.427E-005	2.136E-008	20.00

외부표정요소값은 초기입력값으로 야장에 기록된 개략적인 근사값을 이용하여 계산하지만 최종 계산후 대상물을 재현하기 위해서는 정밀한 외부표정요소값이 요구되므로 정확한 외부표정요소를 결정하는 것이 중요하다. 이를위하여 검정된 내부표정요소와 근사값인 외부표정요소, 상좌표값, 절대좌표값 등을 이용하여 최종 광속조정과정에서 정확한 외부표정요소값이 결정된다.

여기에서 결정된 내부표정요소와 외부표정요소 및 상좌표값을 최종 광속조정의 초기값으로 입력하여 계산을 수행한 결과 5회반복 계산만에 필요로하는 정확도 20  $\mu\text{m}$ 내에 수렴되었다. 이때 다중영상접합의 기준

표 7. 3D-coordinate and standard deviation

No	X	Y	Z	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$
1	1.3172	9.6499	2.3553	0.0066	0.0127	0.0063
2	1.3115	9.6316	1.5704	0.0066	0.0085	0.0062
4	2.5537	10.0640	1.1900	0.0000	0.000	0.0000
5	11.9595	10.2882	2.9370	0.0038	0.0054	0.0046
6	11.9503	10.2624	1.1738	0.0045	0.0115	0.0048
7	14.8895	9.7457	2.9575	0.0000	0.0000	0.0000
8	16.9122	9.3716	2.7769	0.0000	0.0059	0.0042
10	19.9119	8.7970	1.7265	0.0059	0.0178	0.0081
12	5.3360	8.6660	1.4106	0.0074	0.0070	0.0111
15	17.9563	12.7039	5.2054	0.0095	0.0186	0.0243
101	12.5003	14.2828	2.6949	0.0103	0.0200	0.0358
103	14.2214	13.9663	3.1160	0.0120	0.0186	0.0335
105	14.8986	13.8290	3.1165	0.0130	0.0181	0.0326
107	13.6550	14.0514	1.5102	0.0105	0.0206	0.0342
201	20.2050	10.7787	2.4210	0.0087	0.0158	0.0104
203	20.9675	14.1418	1.4677	0.0134	0.0276	0.0361
205	21.3607	16.1319	1.3348	0.0159	0.0325	0.0517
301	5.5954	19.0844	2.7176	0.0314	0.0300	0.0713
303	-1.2006	16.6480	2.8380	0.0204	0.0315	0.0510
305	19.9251	16.2965	1.4011	0.0171	0.0308	0.0525
307	15.1872	17.1950	2.5768	0.0253	0.0271	0.0583
309	-0.9134	15.8612	2.5513	0.0193	0.0284	0.0451
311	0.2713	12.5099	1.1387	0.0118	0.0156	0.0197
313	0.8777	8.7590	3.3557	0.0080	0.0220	0.0127

점으로 사용되는 표정점들의 3차원 절대위치값이 최종적으로 정확하게 계산되었으며 결과는 표 7에 그 일부를 나타내었다.

### 3.4 정밀 실측도화

근거리 사진측량의 자료처리과정에서 촬영시 현황입력, 상좌표 측정, 다중영상 표정, 광속조정 등을 수행하므로써 인공 및 자연 표정점들에 대한 3차원좌표를 결정하였다. 이들 좌표값이 반복계산횟수 5회내에서 수렴되었으며 이것은 표정점들이 기대정확도내에 정확하게 표정이 되었다는 것을 의미한다. 즉, 기준점측량, 상좌표측정, 외부표정요소 및 왜곡인자 등의 여러가지 값들이 정확하게 관측되었다는 의미하므로 지금까지 사용된 표정점 이외의 다른 표정점들 역시 정확한 계산이 이루어진다는 것을 의미한다. 따라서 여러 장의 사진을 영상접합하기 위하여 이미 계산된 표정점들을 기준점으로 동일점들에 대하여 상 전체가 정밀하게 접합을 이루도록 한 후에 대상물의 형상을 이루는 점들을 선별하여 각각 입력하고 선분화 시킴으로써 대상물의 형상을 정밀도화 하였다. 또한, 도화시 각 사진의 디지털 입력값을 비교하여 20  $\mu\text{m}$  이상을 벗어나게 되면 재측함으로서 모든 대상점들을 정확하게 하였다. 대상물의 특성에 따라 선의 색, 또는 형태를 각각 달리하여 자료층(layer)을 구성함으로써 필요한 부분만을 나타낼 수 있고, 필요한 부분의 갱신을 용이하게 함은 물론, 지형정보체계에 이용시 각각의 커버리지를 이룰 수 있도록 하였다.

여기서 도화된 대상물의 형상은 수치로 저장되고, 그 파일형식을 벡터자료의 표준 형식인 DXF로 저장하였으며, CAD상에서 디스플레이와 편집을 할 수 있도록 하였다. 또한 CAD의 질의 기능을 이용한 세부정보획득 및 지리정보시스템으로 전송시켜 속성자료와 연계시킴으로써 보다 효율적으로 이용 할 수 있도록

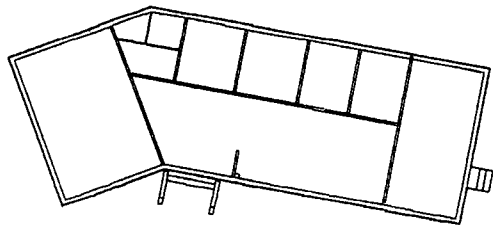


그림 7. Drawing of the object (ground plane)

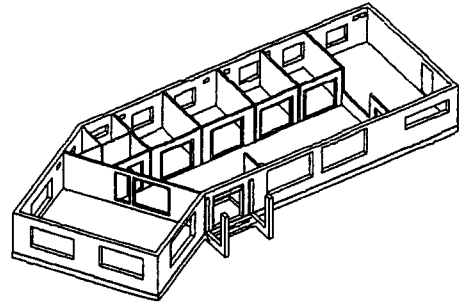


그림 8. Drawing of the object (floor perspective)

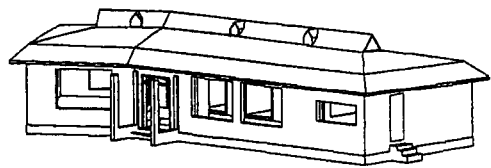


그림 9. Drawing of the object (perspective)

하였다. 다음의 그림들은 대상물의 평면도와 3차원 단면도 및 입면도를 각각 나타낸 것이다(그림 7, 그림 8, 그림 9).

## 4. 비교고찰

본 대상물의 인공표정점들을 1"독 데오돌라이트(Wild 3T-2)로 관측한 각으로부터 삼각수준측량방법에 의해 계산된 좌표값과 사진으로부터 획득된 좌표들에 대한 잔차는 표 8과 같다.

그리고 좌표별 잔차의 크기를 확인하기 위하여 각각 X, Y, Z 별로 잔차를 평균하여 표 10에 나타내었다. 이때 두 좌표중 삼각수준측량에 의하여 획득된 좌표는 정확하므로 하고, 사진측량에 의해 획득된 좌표를 관측값으로하여 잔차를 계산하였다.

각각의 표정점에 대한 잔차의 경우 그림 10에 나타낸 바와 같이 다른 좌표와 비해 촬영방향과 같은 방향 성분을 지닌 Y좌표값이 큰 오차를 나타냈음을 알 수 있다. 이것은 사진촬영시 대상물을 수렴촬영을 하는데 있어서 촬영방향을 대상물 방향인 Y축 방향으로 촬영했기 때문이며 만약 촬영지점의 높이를 높게 하여 Z축에 대하여 수렴촬영이 이루어진다면 Y축 역시 보다 정확한 값을 가지게 될 것이다.

여기서 4번 표정점의 X, Y, Z 좌표와 7번 표정점의

표 8. Residuals of coordinate between object and image

Axies	No.	최확값	관측값	잔차
X	1	131.3203	1.3172	3.1E-03
	2	1.3128	1.3115	1.3E-03
	3	2.5431	2.5452	-2.1E-03
	4	2.5537	2.5537	0.0E-03
	5	11.9657	11.9595	6.2E-03
	6	11.9514	11.9503	1.1E-03
	7	14.8895	14.8895	0.0E-03
	8	16.9122	16.9122	0.0E-03
	9	19.9109	19.9083	2.6E-03
	10	19.9074	19.9119	-4.5E-03
	11	13.9768	13.9803	-3.5E-03
	12	5.3384	5.3360	2.4E-03
	13	8.6416	8.6385	3.1E-03
Y	1	9.6465	9.6499	-3.4E-03
	2	9.6290	9.6316	-2.6E-03
	3	10.0944	10.0988	-4.4E-03
	4	10.0639	10.0639	0.0E-00
	5	10.2842	10.2882	-4.0E-03
	6	10.2669	10.2624	4.5E-03
	7	9.7457	9.7457	0.0E-03
	8	9.3763	9.3716	4.7E-03
	9	8.8253	8.8214	3.9E-03
	10	8.8033	8.7970	6.3E-03
	11	14.0038	14.0062	-2.4E-03
	12	8.6690	8.660	3.0E-03
	13	8.4110	8.4077	3.3E-03
Z	1	2.3493	2.3553	-0.6E-03
	2	1.5690	1.5704	-1.4E-03
	3	2.9403	2.9363	4.0E-03
	4	1.1897	1.1897	0.0E-03
	5	2.9380	2.9370	1.0E-03
	6	1.1754	1.1738	1.6E-03
	7	2.9602	2.9572	3.0E-03
	8	2.7746	2.7769	-2.3E-03
	9	2.8419	2.8434	-1.5E-03
	10	1.7235	1.7265	-3.0E-03
	11	2.5543	2.5510	3.3E-03
	12	1.4077	1.4106	-2.9E-03
	13	1.4065	1.4096	-3.1E-03

X, Y좌표, 그리고 8번 표정점의 X좌표는 사진측량의 절대 기준점으로 입력하였기 때문에 오차가 없는 것으로 나타나게 된다.

표 10 .Mean residual of X, Y, Z

Coordinate	X	Y	Z
Mean of residual	2.3E-03	3.3E-03	2.5E-03

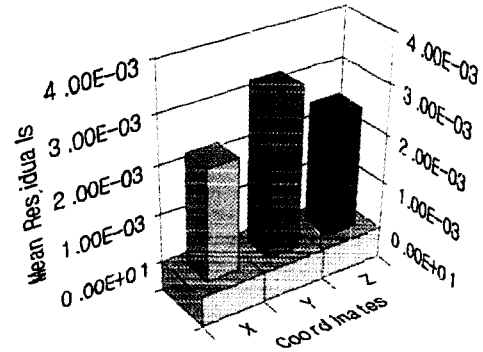


그림 10. Mean residuals of coordinate X, Y, Z each

## V. 결 론

본 연구는 다중영상접합을 이용하여 건축물의 외부 및 내부를 정밀도화하고 해석하므로써 실측도면을 작성한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 제시된 다중영상접합기법은 기 건축된 건축물의 도면을 구축하는데 있어서 신속·정확하게 이용할 수 있음은 물론, 정밀도화를 통하여 대상물의 도형 및 수치도면을 얻을 수 있었다.

2. 건축물의 준공시의 정확한 도형정보를 수치자료로 취득하여 컴퓨터에 저장·보관하므로써 재난예방을 위한 건축물 안전점검에 크게 기여함은 물론 후후 보수시 참고, 또는 갱신자료로 편리하게 이용할 수 있을 것이다.

3. 대상물의 3차원좌표 위치오차를 분석한 결과 기대 정확도 내에서 정확한 값을 얻을 수 있었고, 자료 수집 및 처리, 계산, 저장 등이 시스템내에서 처리되므로 자료처리과정이 편리할 뿐만 아니라 개인오차 및 과대오차를 제거할 수 있었다.

4. 준측량용 카메라 및 486급 개인 컴퓨터 등 경제적이고 소규모의 장비를 이용하므로 건축 전문 엔지니어링, 문화재 관리기관 또는 중요 건축물과 관계된 기관에서 편리하게 이용할 수 있다.

이상과 같이 건축물을 정밀 분석하고 도면을 수치적으로 획득하며 도화하는데 있어서 본 연구에서 제시한 다중영상접합기법이 매우 효과적임을 알 수 있었다.



## 감사의 글

본 연구는 충북대학교 국책 자유공모과제 (과제번호 : 96F-10)의 지원으로 수행된 것임.

(This paper was supported (in part) by NON-DIRECTED RESEARCH FUND, National Special Support Project (project No.96F-10) of Chungbuk National University.)

## 참고문헌

1. F.H. Moffitt, and E.M. Mikhail, "Photogrammetry," Harper & Row, Inc. 1980. pp. 150-170.
2. P.R.Wolf., "Elements of Photogrammetry," 2nd ed, MCGRAWHILL Inter. Book Company, 1983, pp.1-19, 41-59, 477-513, 603-610.
3. Changyun, L.C., "Statistical Inverstigation of the Propagation of Random and Non- Random Errors in Block Aerotri angulation Systems," University of California, ph. D. Dissertation, 1979,pp.42-55.
4. Halim, R.A., "The Finite Element Applications in Photogrammetry," University of Washington, ph.D. Dissertation, 1982, pp.26-28.
5. Hallent, B., "Photogrammerty," New York. Mcgraw-Hill Book Co. Inc., 1960, pp.15-19.
6. Brown, D.C., "Close-Range Camera Calibration," Photogrammetric Engineering, 1971, pp. 98-106.
7. Rollei fototechnic, Multi-image Evaluation system.