

영상선점 기법에 의한 3차원 측위 시스템 구현 The Implementation of 3D Measurement System by Image Pointing Method

송승호* · 김용배** · 주영은*** · 임대용***

Song, Seung-Ho · Kim, Yong-Bae · Joo, Young-Eun · Um, Dae-Yong

요 旨

최근 컴퓨터 관련분야의 눈부신 발전과 더불어 고해상도 디지털 카메라의 개발은 수치사진측량분야에서도 보다 정확한 위치측정을 가능하게 하였으며, 이의 활용에 관심이 집중되고 있다. 본 연구는 사진실측을 통해 근대문화유산 건축물의 수치도면을 작성함에 있어서 수치영상을 이용한 영상선점 기법을 토대로 보다 손쉽게 3차원 위치측정이 가능한 알고리즘을 개발하고 시스템을 구축하여 기준점 측량작업 및 촬영조건 제약을 획기적으로 줄일 수 있었으며 보다 효율적으로 건축물의 수치도면화 및 3차원 모델을 구축할 수 있었다.

ABSTRACT

Recently, with the eye-opening progress in the related field of computer, the development of high resolution digital camera enables more precise positioning in digital photogrammetry, and a lot of interest has been concentrated on its application. In this study, the algorithm and system which enable the measurement of 3D point more easily was developed by image pointing method using digital image, when the digital map of the Cultural Properties of Architectures in Modern Ages is drawn by photogrammetry. As a result, we can reduce the limitation of surveying control point, exposure condition, and construct the digital map and 3D model of architecture more efficiently.

1. 서 론

사회 여러 분야에서 정보의 수치화 작업이 가속화되면서 서 토목·건축 분야에서도 수치자료를 활용한 각종 구조물들에 대한 도면의 전산화 작업, 시설물의 유지관리 및 구조물의 해석과 안전성 검토 등에 수치사진측량의 활용에 관심이 모아지고 있다.^{1,2)} 또한 고고학 분야에서도 종래의 실측방법에서 탈피하여 영상해석에 의한 문화재의 데이터 베이스 구축이 가시화되고 있다.³⁾

사진측량을 이용한 3차원 실측기법에 있어서도 고해상도의 CCD 카메라와 디지털 카메라의 개발에 힘입어 기존의 필름을 기초로 한 아날로그 방식에서 수치영상을 이용한 수치사진측량 기법으로 발전되었다.⁴⁾ 아날로그 방식의 사진측량에서는 중복된 영상을 도화기를 통해 표정 과정을 거쳐 입체모델을 생성하고 이를 바탕으로 도화과

정을 수행하므로써 최종 수치도면을 획득하였으나 수치 사진측량은 이러한 전처리 과정을 컴퓨터를 통해 일괄 처리하므로써 처리과정의 자동화를 꾀할 수 있으며 입체 모델을 생성하지 않고 해석적인 방법을 통해 3차원 수치 자료를 획득할 수 있다.⁵⁻⁸⁾

본 연구는 사진실측을 통해 근대문화유산 건축물의 수치도면을 작성함에 있어서 수치영상을 이용한 영상선점 기법을 토대로 보다 손쉽게 3차원 위치측정이 가능한 알고리즘을 개발하고 시스템을 구축하여 기준점 측량작업 및 촬영조건 제약을 획기적으로 줄임으로써 보다 효율적으로 건축물의 수치도면 및 3차원 모델을 구축하고자 하였다.

2. 3차원 좌표측정 알고리즘

영상선점 기법에 기초한 3차원 좌표측정은 영상에서 정보를 깊이정보로써 사용하지 않고 각의 정보로 이용하는데 그 특징이 있다. 따라서 촬영기선을 기준으로 한 평면상에서 영상내의 미지점들은 카메라 렌즈의 중심점으

*주성대학교 토목공학과 조교수

**주성대학교 전기공학과 부교수

***충남대학교 대학원 박사수료

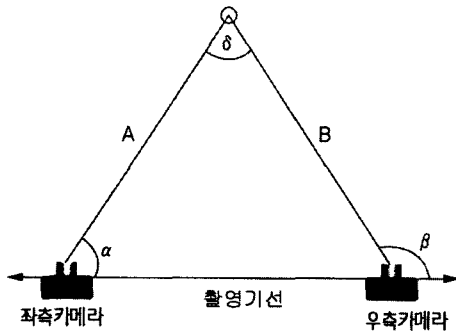


그림 1. 평면 투영 삼각형

로부터 구면상에 존재하게 되며 구면 좌표계를 따르게 된다. 영상내 임의의 축점을 그림 1과 같이 촬영기선과 좌측 카메라의 광축을 기준으로 한 평면상으로 투영하면 이를 기준으로 한 평면상에서 2차원 좌표를 구할 수 있다.

그림 1로부터 카메라의 원점과 객체와의 사잇각 δ는 다음과 같으며

$$\delta = \beta - \alpha \quad (2-1)$$

카메라와 객체간의 거리 A, B는 다음의 관계가 있다.

$$\frac{BL}{\sin \delta} = \frac{A}{\sin \beta} = \frac{B}{\sin \alpha} \quad (2-2)$$

여기에서, 촬영기선과 α, β를 기지값이라고 가정하면 A, B의 거리는 식 (2-2)에 의해 계산된다. 그러나 미지점과의 각 α, β는 촬영기선과 좌측 카메라의 중심축을 기준으로 한 면에 투영된 각이므로 좌측 카메라를 기준으로 외부표정을 그림 2와 같이 수행하여야 한다. 좌측 카메라의 중심축과 촬영기선 기준면상으로 투영된 좌표계로 변환하기 위해서는 영상 기준좌표는 촬영기선의 X축과 직교하도록 회전하여야 하며, 우측영상은 공액선(epipolar line)이 일치하도록 영상 기준좌표축으로 회전하여야 한다. 이는 사진측량시 중복영역 내에 있는 두 개의 미지점과 촬영기선축과 이루는 각이 동일하여야만 영상내의 좌표들을 3차원 공간좌표로 변환할 수 있게 된다. 이렇게 되면 3차원 공간상에서의 촬영기선축과 좌측 카메라의 중심축과의 평면으로 공간투영된 X, Y 좌표를 얻을 수 있으며, 이 평면에 수직인 Z 좌표를 얻을 수 있다. 이때 촬영기선 평면상에서의 좌측영상의 중심각을 α로, 우측영상의 중심각을 β로 정의하며 좌, 우측 카메라의 중심거리인 촬영기선과 함께 외부 표정요소로써 입력된다. 3차원 좌표추정 과정을 간략하게 흐름도로 나타내면

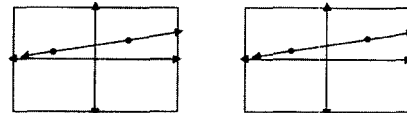
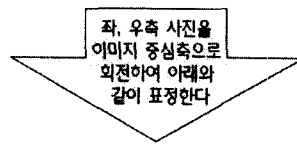
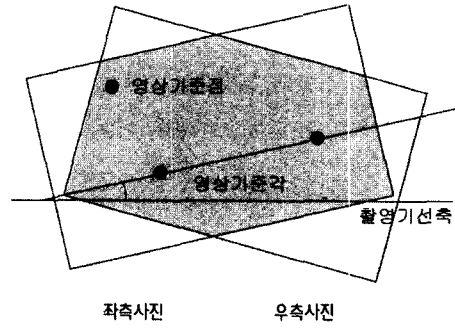


그림 2. 공액 영상으로의 변환

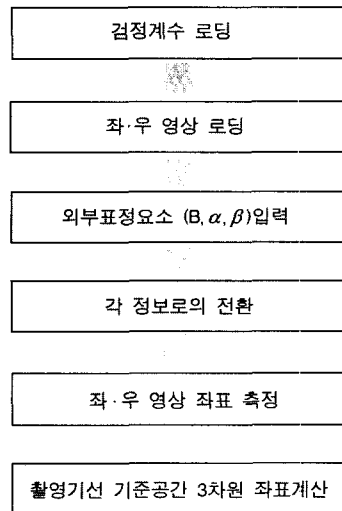


그림 3. 3차원 좌표추정 흐름도

그림 3과 같다.

본 시스템의 중요한 특징은 영상측정 과정에서 카메라 중심축으로부터의 각 정보를 바탕으로 3차원 좌표를 계산하는 것이다. 따라서 전체적인 흐름은 영상정보의 획득시 촬영기선과 좌측 카메라의 중심축 평면을 기준으로 각 카메라 영상 좌표축의 각 정보가 표정요소로써 입력

되어야 한다. 이 기준평면과 수직이 되도록 획득한 영상을 표정하게 되면 좌, 우측 영상은 공간상에서의 3차원 좌표계를 갖게 된다. 따라서 좌, 우측 영상에서 측정하고자 하는 객체에 대한 수평좌표 X, Y 좌표를 계산할 수 있으며, 수직 각 정보로부터 Z축의 좌표를 계산할 수 있다. 따라서 공간상의 미지점들에 대한 공간길이를 계산할 수 있다.

또한 카메라의 렌즈나 구조적 특징으로 인하여 영상의 왜곡이 발생되는데 이를 보정하기 위한 왜곡보정은 반드시 필요하다.⁴⁹⁾ 이를 위해 본 연구에서는 3040×2016 화소의 비정방형 카메라를 사용하여 이에 적합한 새로운 보정식을 개발, 적용하였다.

3. 카메라 검정

본 측정시스템에서는 영상의 좌표로부터 카메라 중심 좌표의 각을 측정하기 위한 검정판(calibrator)을 제작하였다. 카메라 검정 결과로부터 근사식을 사용하였으며,

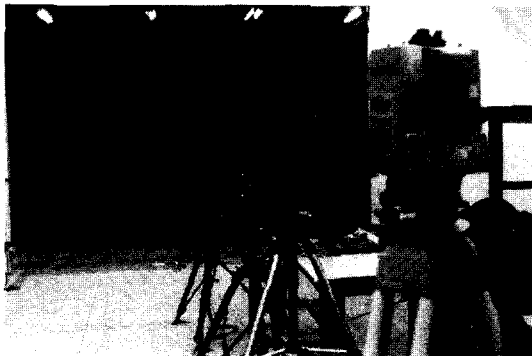


그림 4. 카메라 검정 실험광경

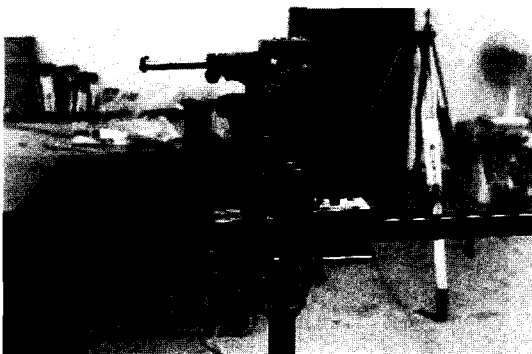


그림 5. 선형이동장치와 각도 조절기

근사식은 수직, 수평으로 분리하여 각각에 대해 3개의 근사식을 사용하여 영상좌표에 따른 왜곡량을 계산하였다. 그림 4는 카메라 검정 실험광경을 나타낸 것이다.

카메라의 화각을 측정하기 위해 선형이동장치를 사용하였으며 검정판과 선형이동장치가 연속수평 상태가 되도록 조정하기 위해서 그림 5와 같이 선형이동장치의 하부에 연직수평을 조절하기 위한 각도조절기와 슬라이더를 장착하였다. 연직수평은 토털스테이션을 사용하여 설정하였다.

3.1 수평측 왜곡량 근사화

일반적으로 정방형 카메라에는 수직측과 수평측 왜곡량이 동일하게 되나 비정방형 카메라에 있어서의 왜곡량 보정은 수직측과 수평측의 구조적 차이 때문에 각기 다른 보정식을 사용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 그림 6과 같이 수평측 왜곡량을 보정하기 위하여 수평, 장대각, 대각의 3방향으로 분류하여 근사식을 도출하였다. 수평측의 왜곡량은 영상 수직축의 위치에 따른 수평,

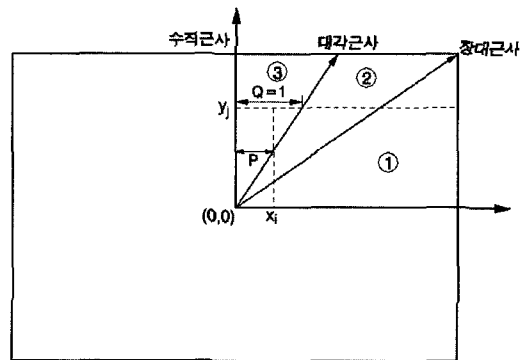


그림 6. 수평 근사식의 적용 방법

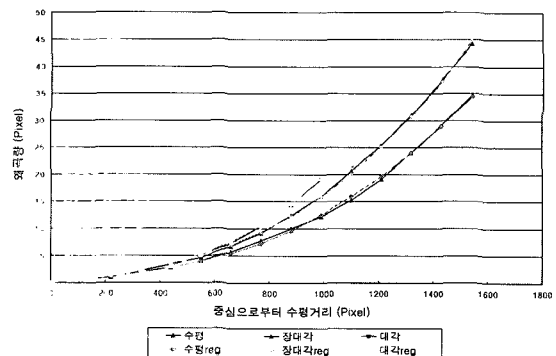


그림 7. 수평측 왜곡량

장대각, 대각방향의 왜곡량을 도시하면 그림 7과 같이 각각 다르게 나타나게 되는데 이들에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$X_i = (x_i \times K_1) + (a_i \times K_2) \quad (3-1)$$

여기에서 X_i = (수평축, 장대각, 대각)의 왜곡량

x_i = 영상 수평 좌표

$$a_i = \tan^{-1} \left(\frac{3040}{x_i} \right)$$

K_1, K_2 = 왜곡계수(수평, 장대각, 대각의 1차, 2차 계수)

영상의 수직축의 위치에 따른 각 근사식을 근접도에 따라 그 비율을 적용하여 왜곡량을 계산하게 되는데 그림 6과 같이 영상축(대각선, 장대각선, 수평축선) 상에 존재할 때는 하나의 근사식이 사용되지만 ① 영역에서는 수평축 근사식과 장대각 근사식이, ② 영역에서는 대각 근사식과 장대각 근사식이 함께 사용되며, ③ 영역에서는 대각 근사식만이 사용된다. 즉, 영상내에서 미지점이 위치하는 영역의 접근도에 따라 경중률을 고려하여 왜곡량을 계산하였다.

그림 6과 같이 영상 x_i, y_i 의 적용방법은 ① 영역, ② 영역, ③ 영역에 따라 각각 나누어 다른 근사식을 사용한다. ① 영역의 경우는 y_i/x_i 값 $Q = 2/3$ 이하인 영역을 말한다. Q 값이 $2/3$ 인 경우는 장대 근사식으로 오차가 결정되며, Q 값이 0인 경우는 수평 근사식에 의하여 오차가 계산된다. 그러나 Q 값이 0보다 크고 $2/3$ 보다 작은 영역에서는 장대 근사식과 수평 근사식의 사이에서 결정된다. 이때 선형 보간법을 사용하여 계산의 정확도를 향상 하도록 하였다. 식 (3-2)는 영역 ①에서의 선형 보간법을 사용한 식을 나타내었다.

$$\text{수평 왜곡량} = \text{장대각 근사식} \times P + \text{수평축 근사식} \times (1-P) \quad (3-2)$$

카메라 검정결과 원시 영상의 최대 수평축 왜곡량은 45 화소로 나타났다.

3.2 수직축 왜곡량 근사화

수직축의 왜곡량을 도시하면 그림 9와 같으며 이에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$Y_i = (y_i \times K_3) + (b_i \times K_4) \quad (3-3)$$

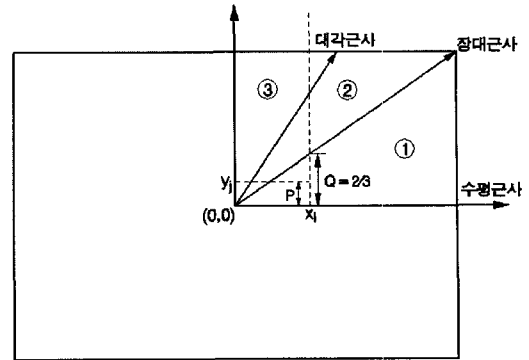


그림 8. 수직 근사식의 적용 방법

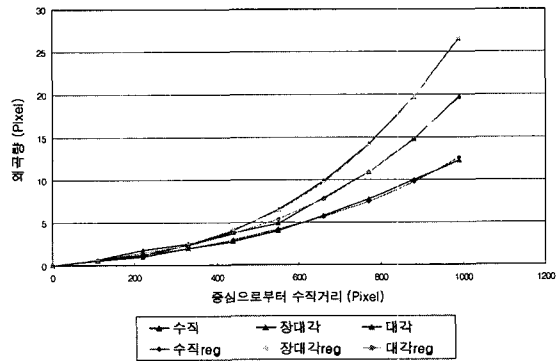


그림 9. 수직축 왜곡량

여기에서 Y_i = (수직축, 장대각, 대각)의 왜곡량

y_i = 영상 수직 좌표

$$b_i = \tan^{-1} \left(\frac{2016}{y_i} \right)$$

K_3, K_4 = 왜곡계수(수직, 장대각, 대각의 1차, 2차 계수)

수평축에서와 마찬가지로 영상 수평축의 위치에 따라 수직, 장대각, 대각방향의 왜곡량을 적용한다. ① 영역에서는 장대 근사식만 사용되며 ② 영역에서는 대각 근사식과 장대 근사식이 함께 사용된다. ③ 영역에서는 수직 근사식과 대각 근사식이 사용된다.

그림 8과 같이 영상 x_i, y_i 의 수직 근사식 적용방법은 y_i/x_i 값이 Q 일 때 P 값이 1이 되도록 근사식을 세우면 수직축 왜곡량은 식 (3-3)과 같다.

수직축 왜곡량의 계산 결과 수평축 왜곡량 보다 적게 나왔으며 최대 왜곡량은 27화소로 나타났다.

수직축 왜곡량의 근사화 방법도 수평축과 동일한 식이 사용되며 사용되는 계수만 다르다. 이때 사용되는 계수

표 1. 카메라 검정계수(Fuji S1-Pro)

수평축 근사계수	수평근사	장대근사	대각근사
1차계수×1	-13.64012	-18.29553	-25.75586
2차계수×2	0.26155	0.35015	0.48959
수직축 근사계수	수직근사	장대근사	대각근사
1차계수×1	-12.64399	-39.04633	-25.14596
2차계수×2	0.24335	0.74010	0.47891

들은 카메라 검정 결과로부터 회귀분석을 통하여 계수값을 구하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

3.3 카메라 검정 편차

근사식에 의한 왜곡량과 실제의 영상 왜곡량의 편차를 수평축과 수직축에 대하여 도시하면 그림 10, 11과 같다. 수평축의 왜곡량과 회귀분석결과의 근사식과의 편차를 계산하면 전체 편차량이 0.7 화소 범위 안에서 결정되었으며 수직축의 편차범위는 최대 0.5 화소로서 수평축보다 편차량이 작게 나타났다. 따라서 근사식을 사

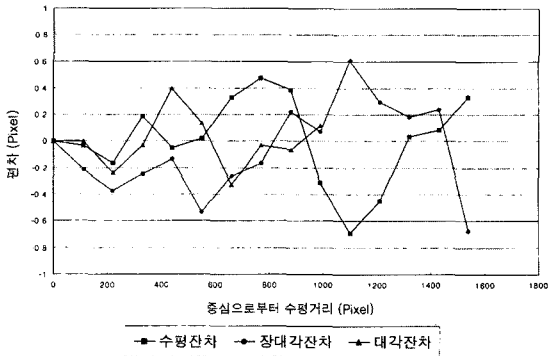


그림 10. 수평축 왜곡량 근사식의 편차

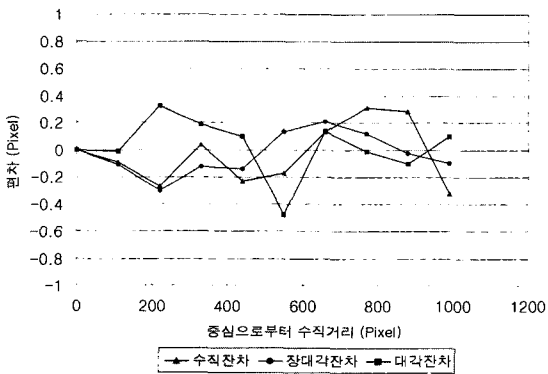


그림 11. 수직축 왜곡량 근사식 편차

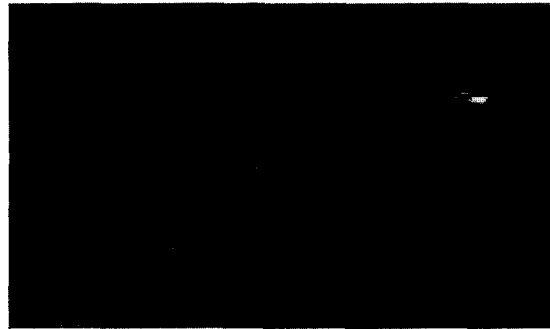


그림 12. 촬영기선 고정형 시스템

용하더라도 수평축, 수직축 모두 약 1화소 범위 안에서 왜곡보정이 이루어짐을 알 수 있었다.

4. 촬영 시스템 구축

영상선점기법을 이용한 영상측정 시스템의 특징은 촬영기선과 카메라 중심축과의 공간좌표계에서 영상을 외부표정하는데 있어 필요한 촬영기선, 투영된 각 α , β 정보가 반드시 필요하다. 따라서 실제 측정에 있어 촬영기선과 α , β 정보를 외부표정요소로 항상 측정하여야 하는데 이러한 번거로움을 줄이기 위하여 그림 12와 같이 카메라 고정 선형이동장치(linear motion)를 이용하여 외부표정요소 값을 미리 결정한 촬영기선 고정형 시스템을 구축하였다.

5. 3차원 좌표측정 S/W

고정된 촬영기선과 각 정보 α , β 를 이용하여 영상에서 3차원 좌표측정을 할 수 있는 S/W를 그림 13과 같이 개발하였다. 이 프로그램은 외부표정에 있어 영상 자체의 회전이나 변환방법을 사용하지 않고 좌표값만의 변환기법을 사용하였다. 따라서 영상의 변환에 사용되는 시간을 절감할 수 있는 장점이 있으나, 눈으로 직접 변환된 영상을 확인할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 영상 내에서 직접 미지점을 선점하여 좌표를 입력하도록 하였으며, 이렇게 입력된 좌표축으로부터 촬영기선축을 기준으로 한 공간상의 3차원 좌표를 계산하도록 하였다. 또한 각각의 미지점들에 대한 거리정보도 함께 출력하도록 하였다. 영상내의 미지점에 선점 위치를 확인하기 위하여 그림 14와 같이 표시(mark)를 선점된 위치에 삽입하

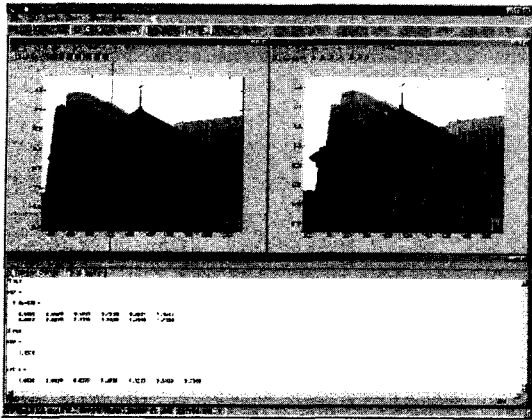


그림 13. 영상선점 프로그램

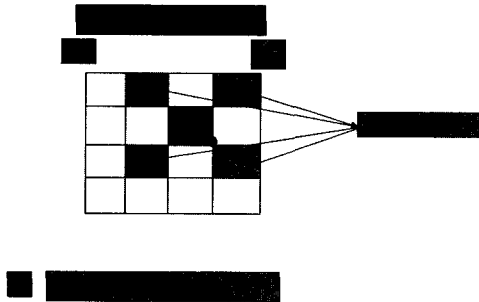


그림 14. 부화소(sub-pixel) 선점 표시

도록 하였으며, 이때 가운데의 점이 선점 위치이며 부화소(sub-pixel)의 위치는 색깔로써 나타내도록 하였다. 따라서 청색은 0의 위치에 가까우며, 적색은 1의 위치에 가까움을 나타낸다.

6. 건축물 실측에의 적용

구축된 시스템의 적용 및 활용성 검토를 위해 건축물을 대상으로 3차원 수치자료를 구축하고 이를 바탕으로 도면화와 3차원 모델링을 수행하고자 1920년대 준공되어 현재 서울시 유형문화재로 지정되어 있는 서울 성공회성당(서울시 유형문화재 제35호)을 대상으로 선정하였다. 현재도 성당으로 사용중인 이 건축물은 면적이 약 300평 정도이며 지하 1층, 지상 3층 그리고 옥탑 1층으로 구성된 로마네스크식의 거대한 건축물이다. 건물의 전면(全面) 해석을 위해 총 13개의 해석면으로 구분하여 촬영계획을 수립하였으며, 전체 피복을 위해 약 40모델의 영상을 촬영하였다. 또한 각 모델들의 해석결과들을 동

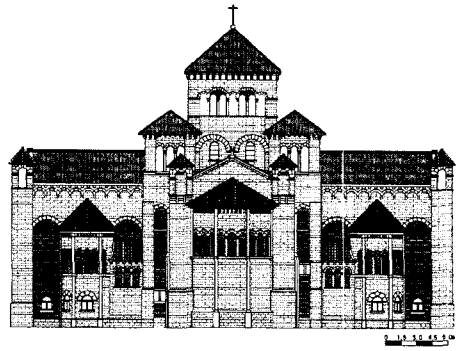


그림 15. 서울 성공회성당 정면도

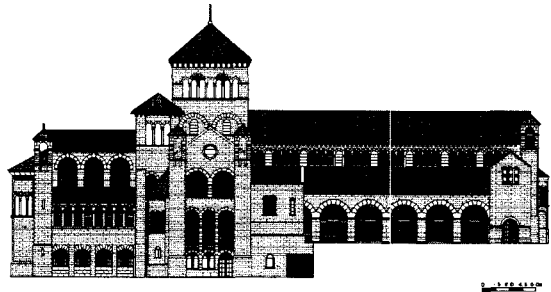


그림 16. 서울 성공회성당 우측면도

일한 좌표계 내에서의 구현을 통한 도면화 및 모델링을 수행하기 위해 토탈스테이션(total station)을 이용하여 기준점 측량을 수행하였다.

획득된 각 모델별 영상들은 영상선점 프로그램을 이용하여 촬영기선, α , β 정보를 입력하여 외부표정을 수행한 후 미지점들에 대한 영상선점을 수행하여 3차원 좌표와 거리 정보를 획득하였다. 이와 같이 각 모델별로 필요한 부분들에 대한 영상선점 결과는 자료변환을 통해 AutoCAD를 이용하여 도면화 작업을 수행하였다. 그림 15, 16은 서울 성공회성당에 대한 정면도와 우측면도를 나타낸 것이다.

각 입면 방향에 따라 작성된 입면도를 기초로 하여 대상물에 대한 3차원 모델링을 수행하였다. 3차원 모델링 소프트웨어인 3D Studio Max를 이용하여 각각의 입면도들을 동일 좌표계로 연계시켰으며 또한 부재별로 그 재질에 맞게 렌더링을 수행하여 그림 18과 같이 대상물 전체에 대한 모델링을 수행하였으며 이와 같은 결과물은 시뮬레이션을 통해 시각적 분석자료를 제공할 수 있었다.

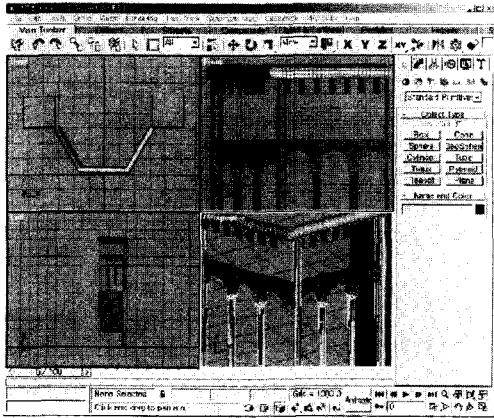


그림 17. 3차원 모델링 편집과정



그림 18. 서울 성공회성당 3차원 모델링

7. 결 론

영상선점 기법을 이용한 영상측정을 위해 카메라 검정을 실시하고 시스템을 개발하여 건축물의 도면화 및 모델링을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 촬영기선(BL)과 각(α , β) 정보를 이용한 영상선점 시스템을 구축하므로써 기준점 측량 및 촬영제약 조건을 현저히 줄일 수 있었다.

2. 렌즈왜곡 보정을 위해 수평축과 수직축으로 나누어 카메라 검정을 수행한 결과 수평축 최대 왜곡량은 약 45 화소, 수직축 최대 왜곡량은 27화소로 나타났으며, 근사

식을 이용한 왜곡량과의 편차는 약 ± 1 화소 이내의 정밀도로 렌즈 왜곡보정을 할 수 있었으므로 근사식의 적용에 무리가 없음을 알 수 있었다.

3. 본 연구의 결과는 문화재 건축물 등 각종 구조물의 3차원 수치자료를 효율적으로 획득하는데 기여할 수 있으며, 이를 토대로 3차원 모델링을 보다 쉽게 구현하여 대상물의 시각적 분석에 활용할 수 있었다.

참고문헌

1. 강준목, 주영은, 엄대용, 김위현, "교량의 안전진단을 위한 3차원 변위해석", 한국측량학회지, 제19권, 제1호, 2001, pp. 47-53.
2. 강준목, 송승호, 배상호, "윈도우 환경을 이용한 수치사진측량시스템 구축", 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제19권, 제III-2호, 1999, pp. 325-334.
3. 강준목 외 11인, "근대문화유산 건축물 사진실측 조사 보고서", 연구보고서, 행정간행물 11-1550000-000048-10, 2001, 문화재청.
4. K. B. Atkinson, "Close Range Photogrammetry and Machine Vision", Whittles Publishing, 1996.
5. 강준목, 배연성, 엄대용, 이주대, "수치사진측량에 의한 대형 문화재 건축물의 정밀 실측", 2000년도 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, 2000, pp. 717-720.
6. Kang Joon-Mook, Bae Sang-Ho, Lee Sung-Soon, "The Spatial Analysis and Acquisition of Precision Digital Data due to Cultural Properties", ISPRS, Vol. 33, Part B5, 2000, pp. 422-427.
7. Pierre Grussenmeyer and Franck Perdrizet, "Archaeological Photogrammetry with Small Format Cameras", ISPRS, vol. 31, Part B5, 1996, pp. 200-204.
8. Pierre Grussenmeyer and Mathieu Koehl, "Architectural Photogrammetry with the Tiphon Software towards Digital Documentation in the Field", ISPRS, Vol. 32, Part B5, 1998, pp. 549-556.
9. Paul R. Wolf and Bon A. Dewitt, "Elements of Photogrammetry with Application in GIS", McGraw-Hill, 2000, pp. 52-80.

(2002년 2월 5일 원고접수)