

## 수치사진측량을 이용한 토공량 산정 적용

### An Application of earth-volume Calculation Using Digital Photogrammetry

이종출<sup>1)</sup>, Jong-Chool Lee · 김희규<sup>2)</sup> Hee-Gyoo Kim · 김대현<sup>3)</sup> Dae-Hyun Kim · 노태호<sup>4)</sup> Tae-Ho Roh

<sup>1)</sup> 부경대학교 건설공학부 교수, Professor, Division of Construction Eng., Pukyong National Univ.

<sup>2)</sup> 경남정보대학 조형건설학부 건설환경계열 교수, Professor, Kyungnam College of Information & Techonology

<sup>3)</sup> 동의공업대학 토목과 교수, Professor, Dongeui Institute of technology.

<sup>4)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료, Ph. D. Candidate, Dept. of Pukyong National University

**SYNOPSIS :** There are lots of ways to measure earth-volume, but recently Total Station and GPS are more frequently used. According to the advance of science, acquisition and processing of image by camera are also going to make great progress. So that, in this study, we search the efficiency for earth-volume calculation using digital photogrammetry.

**Key Words :** Digital photogrammetry, Earth-Volume, Interpolation Methods

## 1. 서론

토공량을 측정함에 있어서 많은 측정방법이 응용되고 있으며, 현재는 Total Station, GPS 등과 같은 장비들이 사용되고 있는 실정이다.

과학의 발달과 더불어 사진기에 의한 영상 취득 및 처리 또한 많은 발전을 거듭하고 있으며, 그 분야는 교통사고 차량의 분석, 구조물의 변형 및 변위해석, Mobile Mapping System 등 아주 많은 분야에서 적용되며 활용범위가 점점 증대되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 근거리 수치사진측량을 이용하여 토공량 산정의 효율성을 실험적으로 연구하였다.

## 2. 수치사진측량 및 보간법

수치사진측량은 사진과 렌즈의 투영중심 그리고 대상물간의 기하학적 관계를 이용하여 대상물이 지니고 있는 특성을 정량·정성적으로 해석하는 학문으로써, 사진의 기하학적인 원리는 중심투영을 이용한 원리이며, 사진과 대상물간의 상관관계는 공선조건식, 광속조정법, 에피폴러 기하학 등의 이론에 의해 해석된다.

### 2.1 사진측량의 기하학적 이론

대상 공간상의 임의점( $X_p, Y_p, Z_p$ )과 그에 대응하는 사진상의 점 ( $x_p, y_p, z_p$ ) 및 사진기의 촬영중심 ( $X_0, Y_0, Z_0$ )이 동일직선상에 있어야 하는 조건을 공선조건(Collinearity Condition)은 다음 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

수치사진측량에서 가장 기본적인 처리과정 중의 하나는 둘 또는 그 이상의 영

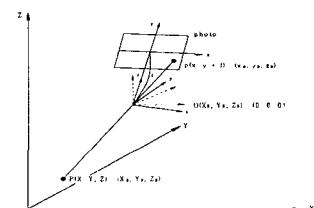


그림 1. 공선조건

상에서 공액점(Conjugate Point)을 찾고 관측하는 것이며, 영상정합(Image Matching)이라는 처리과정에 의해 자동으로 그 문제를 해결하려고 시도하고 있다. 또한 수치사진측량 기술의 발달과 더불어 입체사진에서 공액점을 찾는 공정은 점차 자동화되어 가고 있으며, 공액요소 결정에 에피폴러 기하를 이용하고 있다. 그림 2는 에피폴러 기하(Epipolar Geometry)를 이루고 있는 각각의 투영중심이  $C'$ ,  $C''$  인 입체쌍을 나타내고 있으며, 에피폴러면은 2개의 투영중심과 대상점  $P$ 에 의해 정의된다. 또한, 에피폴러선  $e'$  와  $e''$  는 에피폴러면과 영상면의 교차점으로써, 공액점은 에피폴러선상에 반드시 있어야 하며 이러한 에피폴러선은 탐색공간을 많이 감소시킨다.

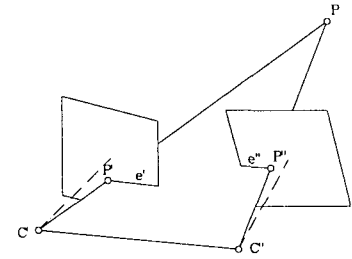


그림 2. 에피폴러 기하

다중영상정합의 표정(Orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\omega, \varphi, \kappa$ )에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로, 주점의 위치( $X_0, Y_0$ )와 주점거리( $cK$ )를 결정하는 것이고, 외부표정은 카메라 시스템과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영중심으로 절대좌표계  $X, Y, Z$ 에 관계되는 촬영점 좌표  $X_c, Y_c, Z_c$ 에 의해 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전  $\omega, \varphi, \kappa$ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각  $\omega, \varphi, \kappa$ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.

다중영상정합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(Space Intersection)과 공간 후방교회법(Space Resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진좌표와 스케치에 의해 입력된 대략의 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다.

## 2.2 보간법

보간법은 관측을 통해 얻어진 관측값을 이용하여, 관측이 실행된 영역 내에서 조사되지 않은 변수값을 평가하는 과정이다. 보간법의 종류에는 여러 가지가 있지만 그 중 많이 사용되는 것들을 간략하게 소개한다면, 첫 번째는 크리징 보간법을 들 수 있다. 크리징(Kriging)은 광산업에서 사용하기 위한 최적의 보간법으로 개발되었다. 크리징 보간법의 기초는 점들 사이의 분산이 공간에 걸쳐 변화하는 비이다. 이것은 점에서의 값 사이의 평균차가 점 사이의 거리에 따라 어떻게 변화하는 가를 보여주는 분산도를 표현된다. 두 번째는 역거리 보간법(Inverse Distance to a Power : I.D.P)으로 토폴러(doppler)의 법칙을 바탕으로 하며, 이는 절대위치의 값을 계산할 때 측정거리보다 가까운 이웃점들의 값이 더욱 영향력이 있다는 직관적인 개념이다. 끝으로 불규칙 삼각망(Triangulated Irregular Network : TIN)은 수치모형이 가지는 자료의 중복을 줄일 수 있으며, 지형공간정보체계와 자동지도제작, 그리고 등고선 처리 프로그램과 같은 여러 분야에서 많이 사용되고 있는 방법이다. 표고행렬과 달리 불규칙 삼각망은 기복의 변화가 작은 지역에서는 절점의 수를 적게하고, 기복의 변화가 심한 지역에서는 절점의 수를 증가시킴으로써 자료량을 조절하는 장점이 있다.

## 3. 자료관측 및 분석

### 3.1 자료촬영

토공량의 촬영을 위하여 2003년 3월경에 비교적 경사가 없는 평지를 선택하여 약  $9 \times 5m$  장소에 포크레인을 이용하여 토량을 채취하였다.

현장의 전경은 그림 3과 같으며, 측정에 사용된 장비는 3차원 좌표를 최소 0.5" 독 Total Station과 촬영에 사용된 카메라는 Rollei d7 metric<sup>5</sup>를 사용하여 촬영하였으며, 카메라의 모습과 제원은 그림 4 및 표 1과 같다.



그림 3. 현장 전경

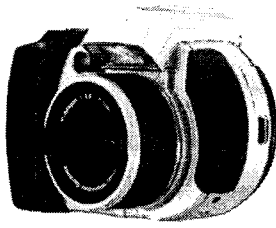


그림 4. 관측 카메라

표 1. 카메라의 제원

Classification	Rollei d7 metric <sup>b</sup>
Recording mode	CCD record
shutter	1/8,000 sec
Focal Length	7mm
Dimensions	151×102×106mm
Weight	650g(without batteries)
Pixel in X	2,552
Pixel in Y	1,920
Sensor in X	8,932
Sensor in Y	6,720

측정방법은 좌·우 기준점을 설치하고 Total Station을 이용하여 두 점간의 거리를 관측하여 이 거리를 기선으로 결정하였다. 그리고 좌·우측 기준점에 각각 Total Station을 설치하여 기준점과 대응점간의 수평각과 고저각을 관측하였다. 우선 Total Station으로 토량을 측정하였으며, 같은 측정지점에 targeting을 하여 토량의 주위를 돌며 중복 촬영을 실시하여 비교하였다.

### 3.2 분석

CCD Camera로 획득한 3차원 좌표값을 도화한 결과는 그림 5와 그림 6과 같이 나타났으며, Surfer program 8.0을 이용하여 Kriging, D.I.P, T.I.N의 3가지의 보간법으로 산정한 결과는 표 2와 같으며, 그림 7 및 그림 8과 같은 형태로 나타났음을 알 수 있었다.

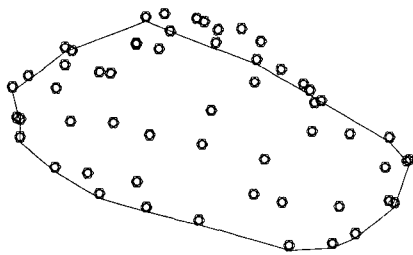


그림 5. 측정결과  
(S-E View)

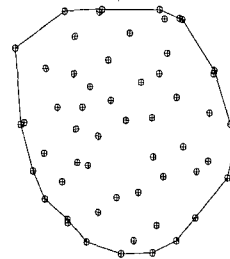


그림 6. 측정결과  
(Top View)

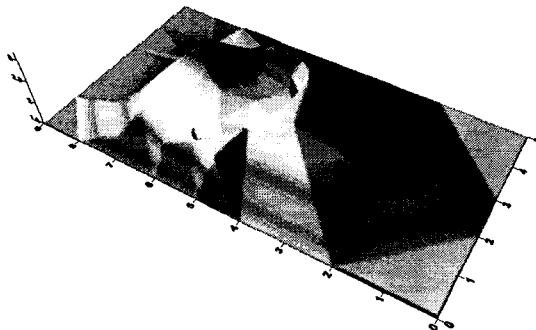


그림 7. 측정결과  
(S-E View)

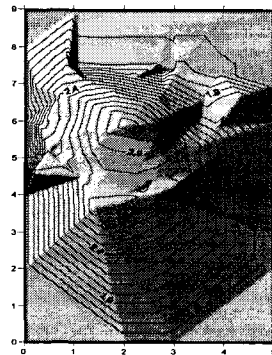


그림 8. 측정결과  
(Top View)

표 2. 보간법별 산정값

Surveying Method	Interpolation Method	Volumes(m <sup>3</sup> )	Remark
CCD Camara	Kriging	22.731	
	Inverse Distance to a Power	28.846	
	Triangulated Irregular Network	23.270	
Total Station	Kriging	22.208	
	Inverse Distance to a Power	27.325	
	Triangulated Irregular Network	22.180	

CCD Camera로서 토공량을 촬영하여 획득한 3차원 좌표값을 Total Station으로 측정된 3차원 좌표값과 비교한 결과 CCD Camera를 기준으로 했을 경우 Kriging 보간법에서는 2.3%, I.D.P 보간법에서는 5.27%, T.I.N 보간법에서는 4.68%의 차이로 평균 약 4.1%의 차이를 보였다. CCD Camera의 측정값에 비해 Total Station의 측정값이 다소 적게 나타남을 알 수 있었으며, 표 2를 그림으로 나타내면 그림 9와 같다.

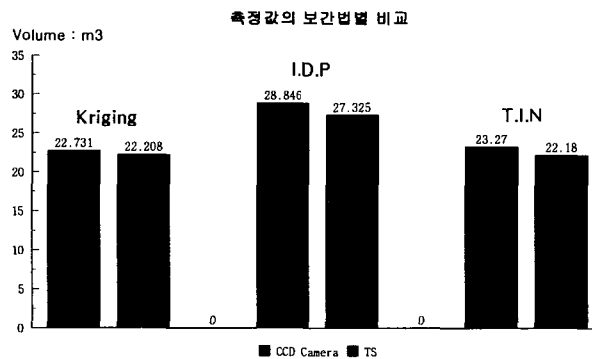


그림 9. 측정값의 보간법별 비교

#### 4. 결론

CCD Camera로서 토공량을 촬영하여 획득한 3차원 좌표값을 Total Station으로 측정된 3차원 좌표값과 비교한 결과 평균 4.1%의 차이를 보였고, 소규모의 토공량을 산정함에 있어서 실용성이 충분히 있다고 판단된다. 또한, CCD Camera의 측정값에 비해 Total Station의 측정값이 다소 적게 나타남을 알 수 있었으며, 이 차이는 같은 대상물에서 자료취득점의 수가 다른데 큰 원인이 있다고 판단된다. 향후 비측량용 카메라나 비디오 카메라로서 연구가 된다면 정확도를 크게 요하지 않는 토공량 산정에 경제성과 실용성이 있다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 유복모(2000), 지형공간정보론, 동명사, 서울, pp.338~343.
2. 이인수, 박운용, 이기부, 배경호(2002), "RTK GPS 측량에 의한 보간 기법별 토공량 산정에 관한 연구", 대한토목학회 2002년 학술발표회, pp.226~229.
3. John C. Davis, *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, pp.146~148.
4. Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt, *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, McGraw Hill pp.74~76.