

수치사진측량기법을 이용한 토공량 산정

The Evaluation of Earth-Volume using Digital Photogrammetry

이종출¹⁾ · 김남식²⁾ · 김진수³⁾ · 남신⁴⁾

Lee, Jong Chool · Kim, Nam Sik · Kim, Jin Soo · Nam, Shin

¹⁾부경대학교 공과대학 건설공학부 교수 · 공학박사, jclee@pknu.ac.kr

²⁾창원전문대학 지적정보과 교수 · 행정학박사, nskim@changwon-c.ac.kr

³⁾부경대학교 대학원 토목공학과 · 박사과정, pksurveying@mail1.pknu.ac.kr

⁴⁾부경대학교 대학원 토목공학과 · 석사과정, southgodno1@korea.com

Abstract

대규모 토목공사에서 토량환산계수는 공사물량 및 공사비에 미치는 영향이 크므로 합리적인 토량환산계수의 설계가 요구된다. 그러나 토량환산계수의 산정에 있어서 선정시험에 의한 결과치가 아닌 통상적으로 사용하고 있는 설계기준서에 제시된 값을 적용함으로써 정확한 잔토 및 부족토량의 산정에 있어서 많은 어려움이 따르며, 이러한 경우 현장여건에 적합한 대규모 현장시험을 실시하여 토량환산계수를 산정하는 것이 바람직하다. 또한 대규모 현장시험에 있어서 굴착부분의 체적은 토량환산계수 산정에 있어 매우 중요한 요소가 된다. 따라서, 본 연구에서는 대규모 현장을 대상으로 절·성토부 풍화암의 굴착부분의 체적을 정확히 산정하기 위하여 수치사진측량기법을 적용하였으며, 이를 Total Station에 의한 측량방식과 비교·분석하였다. 그 결과, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었으며, 체적에서 0.5%의 상대정확도는 길이 측정에서 0.17% 상대정확도에 해당되므로 정확한 측량이라 판단된다.

1. 서론

대규모 토량 절취가 있는 토목공사에서 토량환산계수는 공사물량 및 공사비에 미치는 영향이 크므로 합리적인 토량환산계수의 설계가 요구된다. 그러나 토량환산계수의 산정에 있어서 선정시험에 의한 결과치가 아닌 통상적으로 사용하고 있는 설계기준서에 제시된 값을 적용함으로써 정확한 잔토 및 부족토량의 산정에 있어서 많은 어려움이 따르며, 이러한 경우 현장여건에 적합한 대규모 현장시험을 실시하여 토량환산계수를 산정하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 택지조성공사가 실시되고 있는 대규모 현장을 대상으로 절·성

토부 풍화암의 정확한 토량환산계수를 산정하고자 한다. 이를 위해, 먼저 대상지 내의 절·성토부 각각 20개소를 굴착하고 굴착 후의 체적을 계산하였으며, 계산된 체적에 의한 습윤단위중량과 실내토질시험에 의한 함수비를 이용하여 정확한 토량환산계수를 산정하였다. 일반적으로 지형상태를 측정하는 방법에는 Total Station에 의한 경사변환점의 표고를 측정하는 방법과 RTK GPS에 의한 방법 등이 응용되고 있으나, 본 연구에서는 정확한 체적 산정을 위해 경사변환점의 3차원 좌표를 근거리 수치사진측량방법으로 취득하였다(유복모, 1990).

또한, 산정된 토량환산계수를 모래치환법에 의한 건조단위중량시험에 의해 결정

된 토랑환산계수와 비교·분석한 결과, 미소한 차이를 나타내었다. 이는 불규칙한 굴착부분의 체적측정을 정밀사진측량기법을 적용하였으므로 현장시험의 신뢰성이 높고 토랑환산계수 산정을 위한 합리적인 설계방법이라 판단된다.

2. 다중영상표정

다중영상정합의 표정(Orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(ω, φ, κ)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 외부투영 중심으로 절대좌표계 X, Y, Z 에 관계되는 촬영점 좌표 X_c, Y_c, Z_c 에 의해 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 ω, φ, κ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각 ω, φ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다(Kraus, 1997). 다중영상접합에서는 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. 공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이며, 이를 도식화하면 그림 1과 같다.

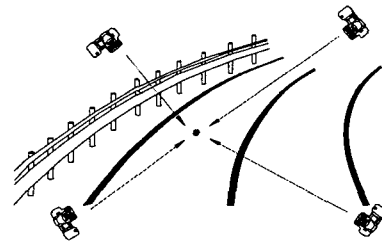


그림 1. 공간전방교회법

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시킴으로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이를 도식화하면 그림 2와 같다.

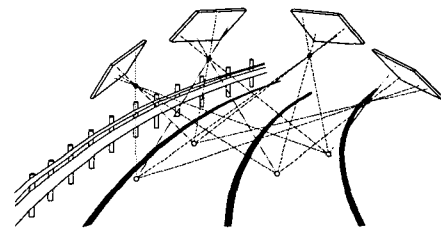


그림 2. 공간후방교회법

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서 $60 \sim 90^\circ$ 의 각도가 이루어지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 공간 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다.

3. 현장시험

본 연구는 2003년 5월 경북 구미에 소재

한 대규모 토량 절취(약 2,940,000m³)가 있는 택지조성공사현장을 대상지로 선정하였으며, 대상지 내의 절·성토부 각각 20개소를 굴착하고 굴착 후의 체적을 계산하기 위하여 일련의 과정을 수행하였다.

3.1 카메라 Calibration

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric⁵ 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 3과 표 1과 같고, 촬영에 사용될 카메라의 렌즈를 검정하기 위한 작업을 선행하였다. 방사방향 왜곡 수차와 편심방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 편심방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하므로 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

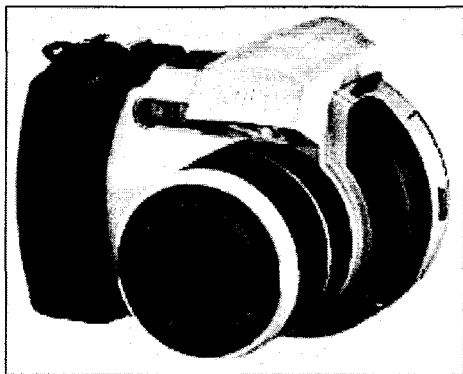


그림 3. Rollei d7 metric⁵ Camera

표 1은 카메라 Calibration에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이며, 이러한 카메라 검정결과 시스템의 왜곡 매개변수들을 도식적으로 나타낼 수 있다(Fraser, 1997).

표 1. Calibration에 의해 보정된 자료

Calibration [Rollei d7 metric ⁵ Camera]		
Interior Orientation	cK ¹	-7.422 mm
	xH ²	0.6875 mm
	yH ²	0.0998 mm
	A1 ³	-2.1884e-003
	A2 ³	3.5727e-005
	R0 ⁴	3.00 mm

1. Calibrated Focal Length
2. Coordinates of Principal Image Point
3. Parameters of Radial-Symmetric Distortion
4. Radius from Principal Point when Radial Distortion is zero

3.2 영상획득 및 자료처리

본 연구에서는 굴착부분의 체적산정을 위해 근거리 수치사진측량과 Total Station 측량을 병행하여 실시하였다. 먼저 정밀한 측정을 위해 굴착부분에 70~100개를 타겟을 설치하고 각 타겟점에 대한 3차원 좌표를 취득하였다. 근거리 수치사진측량을 나타내는 모식도는 그림 4와 같고, 이러한 일련의 과정들은 그림 5~그림 9에 나타내어진 것과 같다.

또한 자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편의성이 있고, 다양한 분야에서 많이 활용되고 있는 RolleiMetric CDW(Close Range Digital Workstation)를 이용하여 획득된 대상물의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 광속조정법에 의해 결정하였다. 이러한 RolleiMetric CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 높은 정확도의 해석이 가능하다.

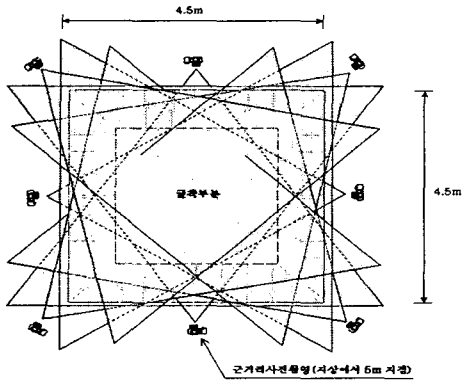


그림 4. 사진측량 모식도

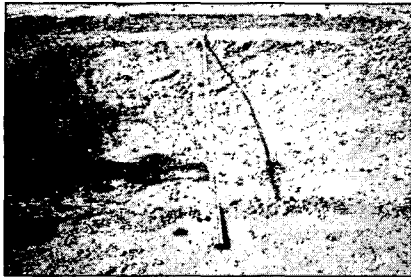


그림 5. 굴착 후 모습



그림 6. 굴착 후 타겟설치 모습



그림 7. 표토제거된 모습



그림 8. T.S를 이용한 지형측량



그림 9. 근거리 사진촬영 모습

4. 굴착체적 산정

이러한 자료처리기법에 의해 결정된 각 표정점의 3차원 좌표를 입력값으로 하여 40개소의 굴착부분을 규칙적인 간격의 Grid로 나타내고, 선형보간법 중 Triangulation 방법을 이용하여 체적을 산정하였으며, 표 2는 산정된 체적을 절토부와 성토부 풍화암으로 구분하여 나타낸 것이다.

또한 TotalStation에 의한 방법과 근거리 수치사진측량에 의한 방법의 결과를 상호검증하기 위해 3개소에 대한 결과값을 비교하였다. 그 결과는 표 3과 같으며, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었으며, 체적에서 0.5%의 상대정확도는 길이 측정에서 0.17% 상대정확도에 해당되므로 정확한 측량이라 판단된다.

이렇게 근거리 수치사진측량방법에 의해 결정된 굴착부분의 체적을 이용하여 대상지역내의 토량환산계수를 산정한 결과, 평균 1.289로 나타났다. 또한 이를 건조단위중량을 이용한 토량환산계수와 비교해 본 결과, 약 0.003의 차이를 나타내었다.

표 2. 절·성토부 체적산정 결과

절 토 부 풍 화 압				성 토 부 풍 화 압			
시험위치	체적 (m ³)	시험위치	체적 (m ³)	시험위치	체적 (m ³)	시험위치	체적 (m ³)
TP 1	5.782	TP 31	7.766	TP 6	8.736	TP 16	7.846
TP 2	6.906	TP 32	7.223	TP 7	9.051	TP 17	9.335
TP 3	7.611	TP 33	7.737	TP 8	9.727	TP 18	8.660
TP 4	7.249	TP 34	6.910	TP 9	9.462	TP 19	8.237
TP 5	7.217	TP 35	7.895	TP 10	8.959	TP 20	8.609
TP 26	7.062	TP 36	6.726	TP 11	6.979	TP 21	9.153
TP 27	7.950	TP 37	6.121	TP 12	8.944	TP 22	8.716
TP 28	8.311	TP 38	6.962	TP 13	8.526	TP 23	8.813
TP 29	6.909	TP 39	7.052	TP 14	8.479	TP 24	8.346
TP 30	7.195	TP 40	7.152	TP 15	7.137	TP 25	7.366

표 3. TS와 수치사진측량에 의한 방법 비교

위치	TS에 의한 방법	사진측량에 의한 방법	평균	교 차	상 대 정확도 (%)
TP21	9.195 m ³	9.153m ³	9.174m ³	0.042m ³	0.46%
TP22	8.756 m ³	8.716m ³	8.786m ³	0.040m ³	0.45%
TP23	8.865 m ³	8.813m ³	8.899m ³	0.052m ³	0.59%
평균					0.50%

5. 결 론

대규모 현장을 대상으로 절·성토부 풍화암의 굴착부분의 체적을 정확히 산정하기 위하여 수치사진측량기법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수치영상처리기법을 이용하여 결정된 각 표정점의 3차원 좌표를 입력값으로 하여 40개소의 굴착부분을 규칙적인 간격의 Grid로 나타내고, 선형보간법 중 Triangulation방법을 이용하여 체적을 산정한 결과, 불규칙한 굴착부분의 체적을 산정할 수 있었으며 정밀사진측량기법을 적용하였으므로 현장시험의 신뢰성이 높다고 판단된다.
2. Total Station과 근거리 수치사진측량에

의해 결정된 체적 결과를 상호검증하 위해 3개소에 대한 결과값을 비교한 결과, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었으며, 체적에서 0.5%의 상대정확도는 길이 교 해 본 결과, 약 0.003의 차이를 나타내었다.

3. 근거리 수치사진측량방법에 의해 산정된 절토부와 성토부의 풍화암 토량환산계수를 평균하면 약 1.289로 나타났으며, 이를 건조단위중량에 의해 결정된 토량환산계수와 비교해 본 결과, 약 0.003의 차이를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 유복모, 윤용택, 이현직(1990), 사진측량을 이용한 토공량 결정에 관한 연구, 한국측량학회지, 제8권 제1호, pp41-50.
2. Karl Kraus(1997), *Photogrammetry I, II*, 4th edition, Ferd. Dummlers Verlag, Germany.
3. Clive S. Fraser(1997), Digital camera self-calibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 52, pp.149-159.