

## 수치영상을 이용한 토량환산계수 산정

### The Estimation of Soil Conversion Factor using Digital Imagery

이종출<sup>1)</sup> · 차성렬<sup>2)</sup> · 장호식<sup>3)</sup> · 김진수<sup>4)</sup>

Lee, Jong Chool · Cha, Sung Yeoul · Jang, Ho Sik · Kim, Jin Soo

<sup>1)</sup> 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

<sup>2)</sup> 양산대학 토목과 교수(E-mail:sycha@yangsan.ac.kr)

<sup>3)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:gpsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

<sup>4)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail:pkssurveying@mail1.pknu.ac.kr)

#### Abstract

Design of a rational earth volume conversion coefficient is required as the earth volume conversion coefficient may give great influence on construction work volume and construction costs in the civil engineering works where large-scaled earth volume is excavated. However, there are a great deal of difficulties in the calculation of the exact spoil surface earth and insufficient earth volume by adopting the figures presented on the generally used design specifications which are not the results obtained from the selection tests in calculating the earth volume conversion coefficient. In this connection, it would be desirable to calculate the earth volume conversion coefficient by carrying out large-scaled site test adequate for the relevant environment.

In consequence, this study aims at calculating the exact earth volume conversion coefficient of cutting and banking areas of weathering rocks in large-scaled construction sites where land is being developed into home lots. For this, we have excavated the respective 20 sites of the cutting and banking areas in the said site and then calculated the volume after the excavation. As a result, the relative exactness degree of the crossing was calculated at 0.5% in average. The relative exactness degree of 0.5% in the volume may be judged as an exact measurement as it corresponds to 0.17% of the relative exactness degree in the length measurement.

We have calculated the exact earth volume conversion coefficient by the use of function ratio as per the wet unit weight and the indoor soil quality test as per volume calculated. And then we have found out minor differences as a result of the comparison and analysis with the earth volume conversion coefficient determined by the dry unit weight test as per sand replacement method. This may be judged as a rational design method for the calculation of earth volume conversion coefficient, as well as high reliability of site test as a precision photogrammetry is adopted for volume measurement of the irregular excavating areas.

## 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·성토부 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 이용

하여 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 결정된 토량환산계수와 비교·분석한 결과, 미소한 차이를 나타내었다. 이는 불규칙한 굴착부분의 체적측정을 정밀사진측량 기법을 적용하였으므로, 현장시험의 신뢰성이 높고 토량환산계수 산정을 위한 합리적인 설계방법이라 판단된다.

## 2. 수치사진측량 이론

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 외부투영 중심으로 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 외부표정 요소는 좌표변환이며, 표정각  $\omega, \varphi, \kappa$ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다(Kraus, 1997). 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. 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, 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 방법이다.

## 3. 현장시험 및 체적산정

본 연구는 2003년 5월 경북 구미에 소재한 대규모 토량 절취(약 2,940,000m<sup>3</sup>)가 있는 택지조성공사현장을 대상지로 선정하였으며, 대상지 내의 절·성토부 각각 20개소를 굴착하고 굴착 후의 체적을 계산하기 위하여 그림 1과 같은 일련의 과정을 수행하였다. 수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric<sup>5</sup> 카메라를 사용하였으며, 촬영에 사용될 카메라의 렌즈를 검정하기 위한 작업을 선행하였다.

### 3.1 영상처리 및 자료처리

본 연구에서는 굴착부분의 체적산정을 위해 근거리 수치사진측량과 Total Station 측량을 병행하여 실시하였다. 먼저 정밀한 측정을 위해 굴착부분에 70~100개를 타겟을 설치하고

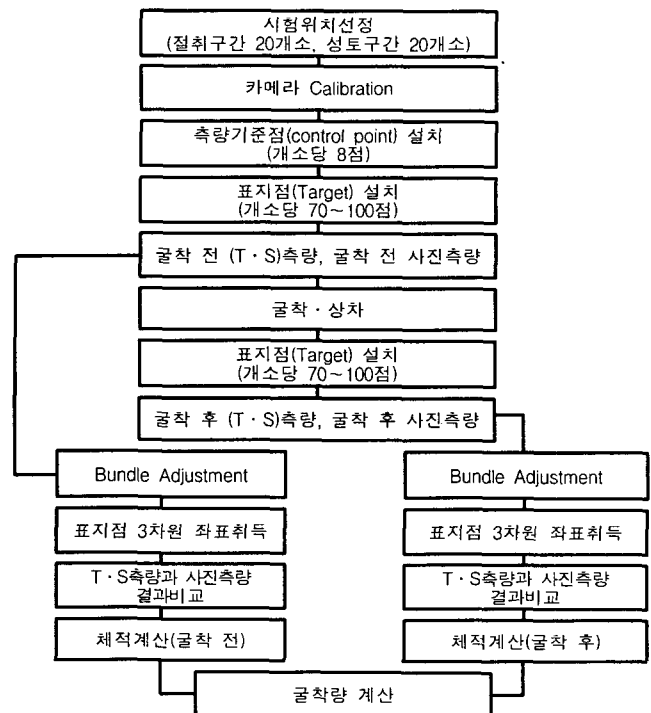


그림 1. 굴착체적 산정과정

각 타겟점에 대한 3차원 좌표를 취득하였다. 근거리 수치사진측량을 나타내는 모식도는 그림 2와 같고, 이러한 일련의 과정들은 그림 3~그림 7에 나타내어진 것과 같다.

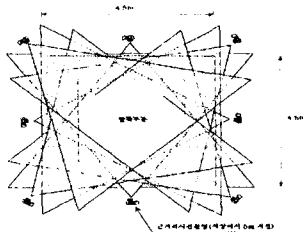


그림 2. 사진측량 모식도

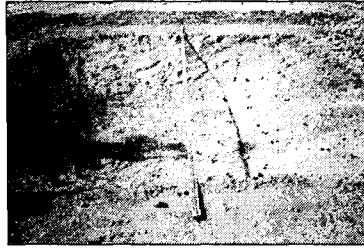


그림 3. 굴착 후 모습



그림 4. 굴착 후 타겟설치 모습



그림 5. 표토제거된 모습



그림 6. T.S를 이용한 지형측량



그림 7. 근거리 사진촬영 모습

또한 자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편이성이 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.

### 3.2 굴착체적 산정

이러한 자료처리기법에 의해 결정된 각 표정점의 3차원 좌표를 입력값으로 하여 40개소의 굴착부분을 규칙적인 간격의 Grid로 나타내고, 선형보간법 중 Triangulation방법을 이용하여 체적을 산정하였으며, 표 1은 산정된 체적을 절토부와 성토부 풍화암으로 구분하여 나타낸 것이다.

표 1. 절·성토부 체적산정 결과

절 토 부 풍 화 암				성 토 부 풍 화 암			
시험위치	체적 (m <sup>3</sup> )	시험위치	체적 (m <sup>3</sup> )	시험위치	체적 (m <sup>3</sup> )	시험위치	체적 (m <sup>3</sup> )
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

또한 Total Station에 의한 방법과 근거리 수치사진측량에 의한 방법의 결과를 상호검증하기 위해 3개소에 대한 결과값을 비교하였다. 그 결과는 표 2와 같으며, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었으며, 체적에서 0.5%의 상대정확도는 길이 측정에서 0.17% 상대정확도에 해당되므로 정확한 측량이라 판단된다.

표 2. Total Station과 수치사진측량에 의한 방법 비교

위 치	Total Station에 의한 방법	사진측량에 의한 방법	평 균	교 차	상대정확도 (%)
TP-21	9.195 m <sup>3</sup>	9.153 m <sup>3</sup>	9.174 m <sup>3</sup>	0.042 m <sup>3</sup>	0.46 %
TP-22	8.756 m <sup>3</sup>	8.716 m <sup>3</sup>	8.786 m <sup>3</sup>	0.040 m <sup>3</sup>	0.45 %
TP-23	8.865 m <sup>3</sup>	8.813 m <sup>3</sup>	8.899 m <sup>3</sup>	0.052 m <sup>3</sup>	0.59 %
평 균					0.50 %

## 4. 토량환산계수 산정

### 4.1 체적을 이용한 토량환산계수 산정

비다짐성토(혼합물)의 건조단위중량을  $\gamma_{ds}$ 라 하고, 자연상태에서 풍화암의 건조단위중량을  $\gamma_d$ 라 하며, V를 비다짐성토(혼합토) 1m<sup>3</sup>를 구성하고 있는 풍화암의 비다짐체적인 0.746m<sup>3</sup> 부분의 자연상태 때의 부피라고 하면, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$0.254 \times 1.827 + V \times \gamma_d = \gamma_{ds} \quad (1)$$

여기서 V를 구하면 식 (2)가 된다.

$$V = \frac{\gamma_{ds} - 0.4641}{\gamma_d} \quad (2)$$

비다짐상태에서 풍화암의 토량환산계수 C는 비다짐성토(혼합물) 중의 풍화암의 부피를 자연상태일 때의 부피로 나누어주면 되므로 식 (3)이 성립된다.

$$C = \frac{0.746}{V} \quad (3)$$

### 4.2 건조단위중량을 이용한 토량환산계수산정

비다짐성토(혼합토) 1m<sup>3</sup>의 건조단위중량은 성토량(혼합토) 1m<sup>3</sup>속의 토사의 무게와 풍화암 무게를 합한 중량이다.  $\gamma_d'$ 를 비다짐성토(혼합토) 중의 비다짐풍화암의 건조단위중량이라 하면,

$$0.254 \times 1.827 + 0.746 \times \gamma_d' = \gamma_{ds} \quad (4)$$

가 된다.

따라서, 비다짐성토(혼합토)상태 때의 토량환산계수를 C라 하면, C는 자연상태의 건조단위중량을 비다짐성토(혼합토)상태의 건조단위중량으로 나누어주면 된다.

$$\gamma_d' = \frac{\gamma_{ds} - 0.4641}{0.746} \quad (5)$$

$$C = \frac{\gamma_d}{\gamma_d'} \quad (6)$$

이렇게 근거리 수치사진측량방법에 의해 산정된 절토부와 성토부의 풍화암 토량환산계수는 표 3과 표

4에서 나타낸 것과 같으며, 이를 평균하면 약 1.289로 나타났다. 또한 이를 건조단위중량을 이용한 토량 환산계수와 비교해 본 결과, 약 0.003의 차이를 나타내었다.

표 3. 절토부 풍화암 토량환산계수(C) 계산결과

명칭 시험위치	구덩이체적	풍화암 또는 혼합토 습윤중량 (t)	습윤단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	함수비 w (%)	건조단위중량 $\gamma_d$ (t/m <sup>3</sup> )	V	C	
	현장측정(A)	계량값(B)	(C) = B/A	현장시험(D)	(E)=c / (1+D/100)	식 (2)	식 (3)	
절 토 부 풍 화 암	TP 1	5.782	14.370	2.485	3.570	2.400	0.510	1.283
	TP 2	6.906	16.420	2.378	3.990	2.286	0.536	
	TP 3	7.611	17.670	2.322	1.750	2.282	0.537	
	TP 4	7.249	15.860	2.188	3.060	2.123	0.577	
	TP 5	7.217	17.780	2.464	2.660	2.400	0.510	
	TP 26	7.062	16.510	2.338	5.880	2.208	0.555	
	TP 27	7.950	15.600	1.962	11.440	1.761	0.695	
	TP 28	8.311	16.510	1.987	5.520	1.883	0.650	
	TP 29	6.909	15.650	2.265	3.950	2.179	0.562	
	TP 30	7.195	15.390	2.139	6.330	2.012	0.609	
	TP 31	7.766	17.200	2.215	4.840	2.113	0.580	
	TP 32	7.223	17.020	2.356	4.840	2.248	0.545	
	TP 33	7.737	16.450	2.126	4.710	2.031	0.603	
	TP 34	6.910	16.050	2.323	4.380	2.225	0.550	
	TP 35	7.895	14.050	1.780	8.080	1.647	0.744	
	TP 36	6.726	15.730	2.339	4.620	2.235	0.548	
	TP 37	6.121	15.400	2.516	2.940	2.444	0.501	
	TP 38	6.962	16.260	2.336	11.920	2.087	0.587	
	TP 39	7.052	14.850	2.106	11.410	1.890	0.648	
	TP 40	7.152	15.430	2.157	2.910	2.096	0.584	
평균	7.187		2.239		2.127	0.581		

표 4. 성토부 풍화암 토량환산계수(C) 계산결과

명칭 시험위치	구덩이체적	풍화암 또는 혼합토 습윤중량 (t)	습윤단위중량 (t/m <sup>3</sup> )	함수비 w (%)	건조단위중량 $\gamma_{ds}$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d'$ (t/m <sup>3</sup> )	C	
	현장측정(A)	계량값(B)	(C) = B/A	현장시험(D)	(E)=c / (1+D/100)	식 (5)	식 (6)	
성 토 부 혼 합 토	TP 6	8.736	15.750	1.803	9.500	1.646	1.585	1.296
	TP 7	9.051	15.720	1.737	8.390	1.602	1.526	
	TP 8	9.727	16.050	1.650	8.940	1.515	1.408	
	TP 9	9.462	16.190	1.711	9.220	1.567	1.478	
	TP 10	8.959	16.040	1.790	9.240	1.639	1.575	
	TP 11	6.979	13.320	1.909	9.320	1.746	1.718	
	TP 12	8.944	16.610	1.857	6.910	1.737	1.706	
	TP 13	8.526	15.940	1.870	7.370	1.741	1.712	
	TP 14	8.479	15.110	1.782	13.060	1.576	1.491	
	TP 15	7.137	13.990	1.960	15.390	1.699	1.655	
	TP 16	7.846	14.830	1.890	10.050	1.718	1.680	
	TP 17	9.335	16.790	1.799	8.370	1.660	1.603	
	TP 18	8.660	15.900	1.836	11.320	1.649	1.589	
	TP 19	8.237	16.520	2.006	8.530	1.848	1.855	
	TP 20	8.609	15.850	1.841	11.170	1.656	1.598	
	TP 21	9.153	16.010	1.749	2.830	1.701	1.658	
	TP 22	8.716	15.210	1.745	10.770	1.575	1.490	
	TP 23	8.813	15.770	1.789	7.130	1.670	1.617	
	TP 24	8.346	16.070	1.925	3.780	1.855	1.865	
	TP 25	7.366	15.310	2.078	5.520	1.970	2.018	
평균	8.554		1.836		1.689			

## 5. 결 론

수치사진측량기법을 이용하여 택지조성공사가 실시되고 있는 대규모 현장을 대상으로 절·성토부 굴착부분의 체적을 결정하고, 결정된 체적과 실내토질시험에 의해 결정된 함수비를 이용하여 토량환산계수를 산정한 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 상호검증하기 위해 3개소에 대한 결과값을 비교한 결과, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었으며, 체적에서 0.5%의 상대정확도는 길이 측정에서 0.17% 상대정확도에 해당되므로 정확한 측량이라 판단된다.
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.
4. 토량환산계수가 공사물량 및 공사비에 미치는 영향이 크므로 이러한 대규모 현장시험을 실시하여 토량환산계수를 산정하는 것이 합리적인 설계라 판단된다.

## 참고문헌

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