

수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정

The Estimation of Soil Conversion Factor Using Digital Photogrammetry

김진수¹⁾ · 서동주²⁾ · 이종출³⁾

Kim, Jin Soo · Seo, Dong Ju · Lee, Jong Chool

Abstract

This study aims at calculating the exact soil conversion factor 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 accuracy of the difference was calculated at 0.5% in average. We have calculated the exact soil conversion factor 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 soil conversion factor 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 soil conversion factor, as well as high reliability of site test as a precision photogrammetry is adopted for volume measurement of the irregular excavating areas.

Keywords : Digital Photogrammetry, Soil Conversion Factor, Relative Accuracy

요 지

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 계산하였다. 그 결과, 교차에 대한 체적의 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었다. 또한, 계산된 체적에 의한 습윤단위중량과 실내토질시험에 의한 함수비를 이용하여 정확한 토량환산계수를 산정하였다. 산정된 토량환산계수를 모래치환법에 의한 건조단위중량시험에 의해 결정된 토량환산계수와 비교·분석한 결과, 미소한 차이를 나타내었다. 이는 불규칙한 굴착부분의 체적측정을 정밀수치사진측량기법을 적용하였으므로 현장시험의 신뢰성이 높고 토량환산계수 산정을 위한 합리적인 설계방법이라 판단된다.

핵심용어 : 수치사진측량기법, 토량환산계수, 상대정확도

1. 서 론

대규모 토량 절취가 있는 토목공사에서 토량환산계수는 공사물량 및 공사비에 미치는 영향이 크므로 합리적인 토량환산계수의 산정이 요구된다. 그러나 토량환산계수의 산정에 있어서 선정시험에 의한 결과치가 아닌 통상적으로 사용하고 있는 설계기준서에 제시된 값을 적용함으로

써 정확한 간토 및 부족토량의 산정에 있어서 많은 어려움이 따르며, 이러한 경우 현장여건에 적합한 대규모 현장시험을 실시하여 토량환산계수를 산정하는 것이 바람직하다. 일반적으로 지형상태를 측정하는 방법에는 중형단측량법, 토탈스테이션에 의한 경사변환점의 표고를 측정하는 방법, RTK GPS에 의한 방법 등이 응용되고 있으며, 현장에서의 굴착부분은 지형이 아주 불규칙하게 변화되어 있

1) 연결저자 · 정희원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: pksurveying@mail1.pknu.ac.kr)

2) 정희원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail: dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)

3) 정희원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail: jcllee@pknu.ac.kr)

는 상태이므로 정확한 체적산정을 위해 경사변환점을 많이 선정하여야 하고 이러한 경우에 근거리 수치사진측량 기법을 활용하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 지형에 대한 특징을 수치 및 수학적으로 표현하는 수치지형모델을 이용한 토공량 결정 및 정확도를 비교하는 연구는 이미 수행된 바 있으며(유복모, 1990 ; 문일석, 1995), 국부지형모형의 생성에 있어서 근거리 수치사진측량기법을 이용한 연구가 최근에 수행된 바 있다(이재원, 2003).

본 연구에서는 택지조성공사가 실시되고 있는 대규모 현장을 대상으로 대상지 내의 절·성토부 각각 20개소를 굴착하고 굴착 후의 체적을 근거리 사진측량기법을 이용하여 결정하였으며, 이렇게 결정된 체적을 이용하여 정확한 토량환산계수를 산정함으로써 현장에서의 신뢰성 있는 토량환산계수 산정방법을 제시하고자 한다.

2. 수치사진측량 이론

다중영상접합의 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 것이다. 그리고 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.

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(이칠우, 2000).

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.

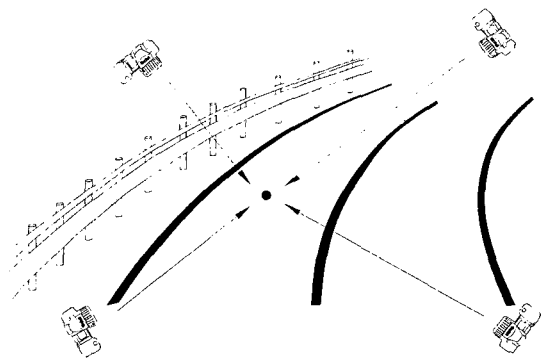


그림 1. 공간전방교회법

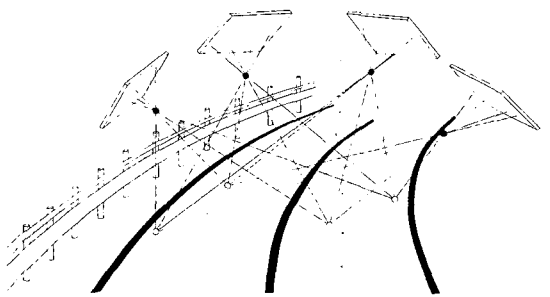


그림 2. 공간후방교회법

3. 현장시험 및 체적산정

본 연구는 2003년 5월 경북 구미에 소재한 대규모 토량 절취(약 2,940,000m³)가 있는 백지조성공사현장을 대상지로 선정하였으며, 대상지 내의 절·성토부 각각 20개소를 굴착하고 굴착 후의 체적을 계산하기 위하여 그림 3과 같은 일련의 과정을 수행하였다.

3.1 카메라 검정

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric⁵ 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 4와 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 4. Rollei d7 metric⁵ Camera

표 1. 카메라 제원

제 원		Rollei d7 metric ⁵
기록장치		CCD recode
셔트속도		1/8,000 sec
초점거리		7mm
유효화소수	X	2,552
	Y	1,920
센스크기	X	8.932
	Y	6.720

표 2. 카메라 검정에 의해 보정된 자료

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

1. 검정된 초점거리
2. 주점좌표
3. 방사방향 왜곡수차
4. 방사왜곡이 0이 되는 주점으로부터의 반경

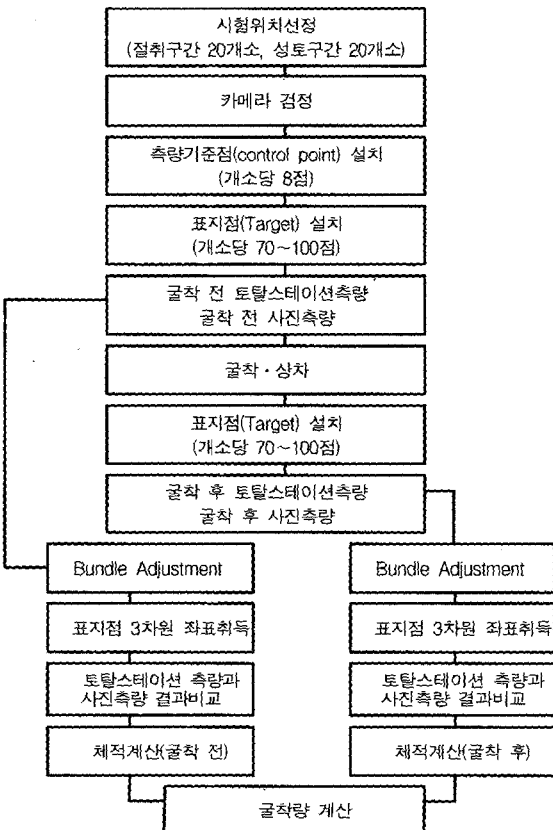


그림 3. 굴착체적 산정과정

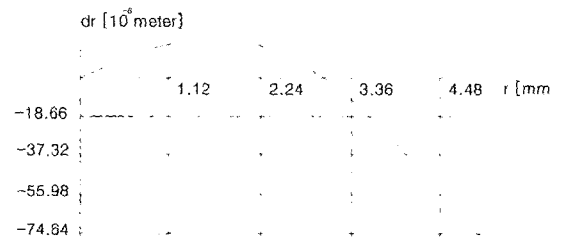


그림 5. 카메라 검정에 의한 시스템의 왜곡 매개변수

표 2는 카메라 검정에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이며, 카메라 검정결과 시스템의 왜곡 매개변수들을 도식적으로 나타내면 그림 5과 같다(이효성, 2000).

3.2 영상획득 및 자료처리

본 연구에서는 굴착부분의 체적산정을 위해 근거리 수치사진측량과 토탈스테이션 측량을 병행하여 실시하였다. 먼저 정밀한 측정을 위해 굴착부분에 70~100개를 타겟을 설치하고 각 타겟점에 대한 3차원 좌표를 취득하였다. 근거리 수치사진측량을 나타내는 모식도는 그림 6과 같고, 이러한 일련의 과정들은 그림 7~그림 11에 나타난 것과 같다.

또한 자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편이성이 있고, 다양한 분야

에서 많이 활용되고 있는 Rollei Metirc CDW(Close Range Digital Workstation)를 이용하여 획득된 대상물의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 광속조정법에 의해 결정하였다(Fraser, 1998). 이러한 RolleiMetirc CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처

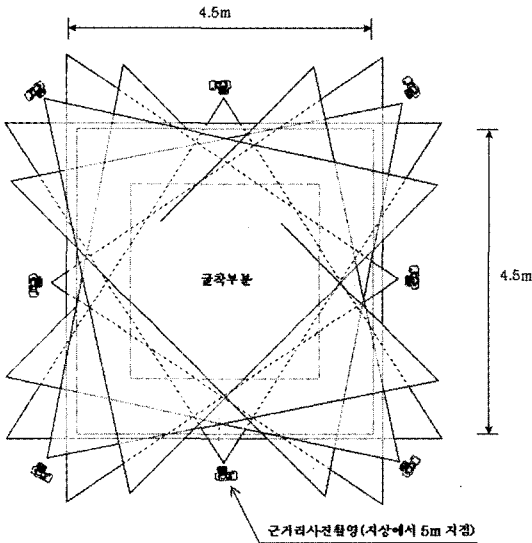


그림 6. 사진측량 모식도

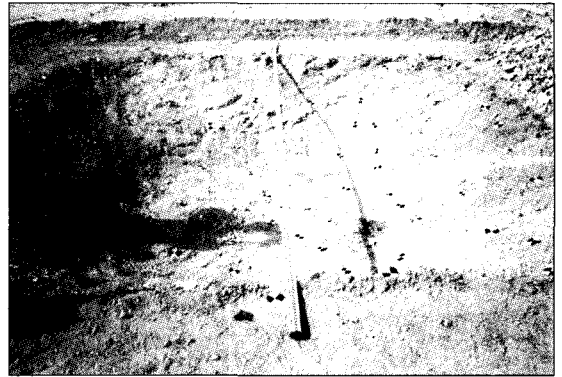


그림 8. 굴착 후 모습

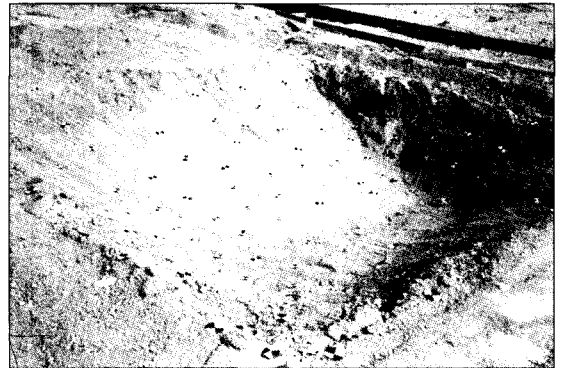


그림 9. 굴착 후 타겟설치 모습

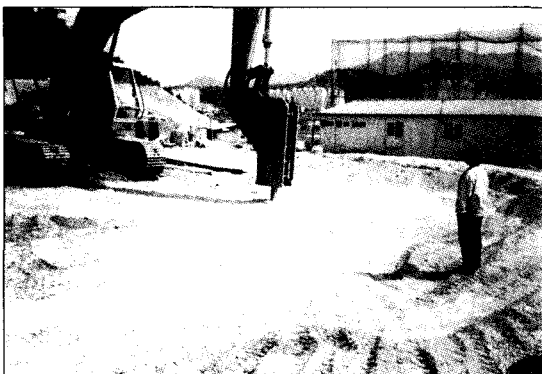


그림 7. 표토제거된 모습



그림 10. 토탈스테이션을 이용한 지형측량

리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 정확한 표정점의 계산이 가능하다.

먼저, 카메라 검정에 의해 결정된 내부표정요소와 촬영시 대략적으로 메모된 카메라 노출위치를 입력하고 획득된 연속된 영상에 있어서 각 개소당 70~100개의 상좌표를 측정하였으며, 연속된 6장의 영상에 대한 상좌표 측정 모습은 그림 12에 나타난 것과 같다.

이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회

법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다.

또한, 본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 토달 스테이션에 의해 측정된 기준점 좌표성과와의 차이로 비교하였다. 40개소에 있어서 기준점의 잔차에 대한 RMSE를 산정한 결과, 표 3에 나타난 것과 같이 X방향으로 1.085 mm~4.512 mm, Y방향으로 1.058mm~4.440mm, Z방향으로 1.213 mm~4.441mm의 RMSE 분포를 나타내었다.



그림 11. 근거리 사진촬영 모습

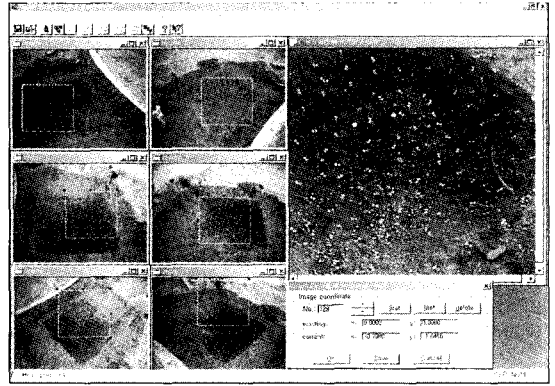


그림 12. 상좌표 측정모습

표 3. RMSE 결과값

구간	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	구간	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	2.516	4.125	4.001	21	2.005	3.164	3.124
2	2.784	4.015	3.587	22	1.963	2.887	3.058
3	3.512	4.003	4.025	23	1.547	2.547	2.956
4	3.333	3.598	3.660	24	1.332	4.440	3.125
5	3.527	3.678	3.128	25	1.113	3.005	2.887
6	3.332	3.885	3.458	26	1.085	2.125	3.666
7	4.412	4.424	3.125	27	0.996	1.058	4.031
8	3.985	4.055	3.664	28	2.421	1.889	4.441
9	4.001	3.631	4.112	29	2.598	1.635	4.226
10	4.512	3.457	2.999	30	3.547	2.488	3.956
11	3.911	3.558	2.775	31	3.215	1.336	3.578
12	3.162	4.021	2.645	32	2.951	2.009	3.100
13	3.032	3.446	3.212	33	2.885	2.012	3.008
14	2.577	3.872	2.657	34	2.645	3.087	3.655
15	2.669	4.123	3.587	35	3.057	2.645	3.258
16	2.535	3.465	2.001	36	3.621	2.453	3.002
17	2.121	3.127	2.018	37	4.013	3.085	2.557
18	1.817	2.884	1.578	38	3.463	2.776	2.613
19	1.906	3.557	2.057	39	3.057	3.425	2.966
20	2.063	3.996	1.213	40	2.559	4.059	3.225

3.3 굴착체적 산정

이러한 자료처리방법에 의해 결정된 각 표정점의 3차원 좌표를 입력값으로 하여 40개소의 굴착부분을 규칙적인 간격의 격자로 나타내고, 선형보간법 중 불규칙 삼각망을 이용하여 체적을 산정하였으며, 표 4는 산정된 체적을 절토부와 성토부 풍화암으로 구분하여 나타낸 것이다.

또한 토탈스테이션에 의한 방법과 근거리 수치사진측량에 의한 방법의 결과를 상호검증하기 위해 3개소에 대한 결과값을 비교하였다. 그 결과는 표 5와 같으며, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었다.

4. 토량환산계수 산정

본 연구를 위한 실험대상지역은 공사가 90%정도 진척되었으므로, 표 6에서 나타낸 것과 같이 토사에 대해서는 이미 정산된 값을 적용하였으며, 풍화암의 건조단위중량 및 비다짐 성토구간의 토량환산계수를 산정하였다.

4.1 체적을 이용한 토량환산계수 산정

비다짐성토(혼합물)의 건조단위중량을 γ_{ds} 라하고, 자연 상태에서 풍화암의 건조단위중량을 γ_d 라 하며, V를 비다짐성토(혼합물) $1m^3$ 를 구성하고 있는 풍화암의 비다짐체

적인 $0.746m^3$ 부분의 자연상태 때의 부피라고 하면, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 V를 구하면 식 (2)가 된다.

$$V = \frac{\gamma_{ds} - 0.464}{\gamma_d} \quad (2)$$

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

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

표 6. 토량환산계수 산정시 적용기준

구분 흙의 종류	비다짐성토 부분의 부피비	건조단위중량 (t/m^3)	비다짐성토 구간의 토량환산계수
토 사	25.4%	1.827	1.0
풍화암	74.6%	산정	산정

표 4. 절·성토부 체적산정 결과

절 토 부 풍 화 암				성 토 부 풍 화 암			
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 5. 토탈스테이션과 수치사진측량에 의한 방법 비교

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

표 7. 절토부 풍화암 토량환산계수(C) 계산결과

시험위치	명칭	구덩이체적 (m ³)	풍화암 또는 혼합토 습윤중량 (t)	습윤단위중량 (t/m ³)	함수비 w (%)	건조단위중량 γ_d (t/m ³)	바다짐체적부분의 자연상태의 부피 V	토량 환산계수 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	1.462
	TP 2	6.906	16.420	2.378	3.990	2.286	0.536	1.393
	TP 3	7.611	17.670	2.322	1.750	2.282	0.537	1.390
	TP 4	7.249	15.860	2.188	3.060	2.123	0.577	1.293
	TP 5	7.217	17.780	2.464	2.660	2.400	0.510	1.462
	TP 26	7.062	16.510	2.338	5.880	2.208	0.555	1.345
	TP 27	7.950	15.600	1.962	11.440	1.761	0.695	1.073
	TP 28	8.311	16.510	1.987	5.520	1.883	0.650	1.147
	TP 29	6.909	15.650	2.265	3.950	2.179	0.562	1.328
	TP 30	7.195	15.390	2.139	6.330	2.012	0.609	1.226
	TP 31	7.766	17.200	2.215	4.840	2.113	0.580	1.287
	TP 32	7.223	17.020	2.356	4.840	2.248	0.545	1.369
	TP 33	7.737	16.450	2.126	4.710	2.031	0.603	1.237
	TP 34	6.910	16.050	2.323	4.380	2.225	0.550	1.356
	TP 35	7.895	14.050	1.780	8.080	1.647	0.744	1.003
	TP 36	6.726	15.730	2.339	4.620	2.235	0.548	1.362
	TP 37	6.121	15.400	2.516	2.940	2.444	0.501	1.489
	TP 38	6.962	16.260	2.336	11.920	2.087	0.587	1.271
	TP 39	7.052	14.850	2.106	11.410	1.890	0.648	1.152
	TP 40	7.152	15.430	2.157	2.910	2.096	0.584	1.277
평균		7.187		2.239		2.127	0.581	1.296

표 8. 성토부 풍화암 토량환산계수(C) 계산결과

시험위치	명칭	구덩이체적 (m ³)	풍화암 또는 혼합토 습윤중량 (t)	습윤단위중량 (t/m ³)	함수비 w (%)	건조단위중량 γ_{ds} (t/m ³)	γ_d' (t/m ³)	토량 환산계수 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	1.342	
	TP 7	9.051	15.720	1.737	8.390	1.602	1.526	1.394	
	TP 8	9.727	16.050	1.650	8.940	1.515	1.408	1.510	
	TP 9	9.462	16.190	1.711	9.220	1.567	1.478	1.439	
	TP 10	8.959	16.040	1.790	9.240	1.639	1.575	1.351	
	TP 11	6.979	13.320	1.909	9.320	1.746	1.718	1.238	
	TP 12	8.944	16.610	1.857	6.910	1.737	1.706	1.246	
	TP 13	8.526	15.940	1.870	7.370	1.741	1.712	1.242	
	TP 14	8.479	15.110	1.782	13.060	1.576	1.491	1.427	
	TP 15	7.137	13.990	1.960	15.390	1.699	1.655	1.285	
	TP 16	7.846	14.830	1.890	10.050	1.718	1.680	1.266	
	TP 17	9.335	16.790	1.799	8.370	1.660	1.603	1.327	
	TP 18	8.660	15.900	1.836	11.320	1.649	1.589	1.339	
	TP 19	8.237	16.520	2.006	8.530	1.848	1.855	1.147	
	TP 20	8.609	15.850	1.841	11.170	1.656	1.598	1.331	
	TP 21	9.153	16.010	1.749	2.830	1.701	1.658	1.283	
	TP 22	8.716	15.210	1.745	10.770	1.575	1.490	1.428	
	TP 23	8.813	15.770	1.789	7.130	1.670	1.617	1.315	
	TP 24	8.346	16.070	1.925	3.780	1.855	1.865	1.141	
	TP 25	7.366	15.310	2.078	5.520	1.970	2.018	1.054	
	평균		8.554		1.836		1.689		1.305

4.2 건조단위중량을 이용한 토량환산계수 산정

비다짐성토(혼합토) 1m³의 건조단위중량은 성토량(혼합토) 1m³속의 토사의 무게와 풍화암 무게를 합한 중량이다. γ_d' 를 비다짐성토(혼합토) 중의 비다짐풍화암의 건조단위중량이라 하면,

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

가 된다

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

$$\gamma_d' = \frac{\gamma_{ds} - 0.464}{0.746} \quad (5)$$

표 9. 모래치환법에 의한 현장건조단위중량 시험결과

TP No.	현장건조 단위중량 γ_d , g/cm ³	자연함수비 w, %	평균건조 단위중량 γ_d , g/cm ³	평균함수비 w, %	토량환산계수 C
절토부의 풍화암	TP- 1	2.479	1.54	2.318	3.48
	TP- 2	2.473	2.11		
	TP- 3	2.622	0.79		
	TP- 4	2.602	1.58		
	TP- 5	2.440	0.65		
	TP-26	2.036	5.91		
	TP-27	2.440	6.35		
	TP-28	2.343	4.31		
	TP-29	2.106	4.57		
	TP-30	2.080	4.49		
	TP-31	2.206	1.50		
	TP-32	2.188	2.24		
	TP-33	2.382	0.62		
	TP-34	2.230	1.60		
	TP-35	2.246	7.73		
	비다짐 성토부의 풍화암	TP-36	2.101		
TP-37		2.152	4.78		
TP-38		2.447	8.83		
TP-39		2.048	5.68		
TP-40		2.743	1.63		
TP- 6		1.790	6.28		
TP- 7		1.722	6.84		
TP- 8		1.827	3.66		
TP- 9		1.764	5.08		
TP-10		1.749	4.97		
TP-11		1.620	5.54		
TP-12		1.751	8.99		
TP-13		1.658	5.64		
TP-14		1.843	8.09		
TP-15		1.820	14.33		
TP-16		1.776	7.03		
TP-17	1.790	9.71			
TP-18	1.742	8.17			
TP-19	1.843	5.93			
TP-20	1.800	5.00			
TP-21	1.820	6.43			
TP-22	1.996	10.40			
TP-23	1.955	8.74			
TP-24	1.892	8.64			
TP-25	1.897	3.51			

$$C = \frac{2.318}{1.803} = 1.286$$

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

이렇게 근거리 수치사진측량방법에 의해 산정된 절토부와 성토부의 풍화암 토량환산계수는 표 7과 표 8에서 나타낸 것과 같으며, 이를 평균하면 약 1.3005로 나타났다. 또한, 근거리 수치사진측량에 의해 산정된 토량환산계수를 표 9에 나타낸 것과 같이 모래치환법에 의한 현장건조단위 중량 시험결과와 비교한 결과, 약 0.0145의 차이를 나타내었다.

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 격자로 나타내고, 선형보간법 중 불규칙 삼각망을 이용하여 체적을 산정한 결과, 불규칙한 굴착부분의 체적을 산정할 수 있었으며 정밀사진측량기법을 적용하였으므로 현장시험의 신뢰성이 높다고 판단된다.

2. 토탈스테이션과 근거리 수치사진측량에 의해 결정된 체적 결과를 상호검증하기 위해 3개소에 대한 결과값을

비교한 결과, 교차에 대한 상대정확도는 평균 0.5%로 산출되었다.

3. 근거리 수치사진측량방법에 의해 산정된 절토부와 성토부의 풍화암 토량환산계수를 평균하면 약 1.3005로 나타났다. 이를 건조단위중량에 의해 결정된 토량환산계수와 비교한 결과, 약 0.0145의 차이를 나타내었다. 이는 토량환산계수를 결정함에 있어 근거리 수치사진측량기법의 적용이 합리적인 공사물량 및 공사비 산정에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 문일석, 전재홍, 조규전 (1995), DTM에서 토공량의 산정방식에 따른 정확도 비교, 한국측량학회, 제13권 제2호, pp. 277-283.
- 유복모, 윤용택, 이현직 (1990), 사진측량을 이용한 토공량 결정에 관한 연구, 한국측량학회, 제8권 제1호, pp. 41-50.
- 이재원, 홍순현, 김정희, 정공운 (2003), 근거리 수치사진측량을 이용한 국부지형모형의 생성, 한국측량학회지, 제21권 제2호, pp. 147-154.
- 이철우 (2000), 수치사진측량을 이용한 Fender의 3차원 수치모형 생성, 공학석사학위논문, 충북대학교, p. 12, 25.
- 이효성 (2000), 수치근접사진측량에 의한 조경석의 표면거칠기 정밀측정, 공학박사학위논문, 경상대학교, pp.64-68.
- Kraus, Karl (1997), *Photogrammetry I*, 4th edition, Ferd. Dummlers Verlag, Germany, pp. 114-143.
- Fraser. C. S (1998), Automated processes in digital photogrammetric calibration, orientation, and triangulation, Digital Signal Processing, Vol. 8, pp. 277-283.

(접수일 2003. 12. 9, 심사일 2004. 3. 15, 심사완료일 2004. 12. 22)