

디지털사진측량 및 3D 레이저스캐너를 이용한 토량환산계수의 산정

A Estimation of Soil Conversion Factor Using Digital Photogrammetry and 3D Laser Scanner

이재기¹⁾ · 정성혁²⁾ · 이계동³⁾

Lee, Jae Kee · Jung, Sung Heuk · Lee, Kye Dong

Abstract

Ministry of construction & transportation is operating for the soil and rock information system and is considered to accurate application of soil conversion factor that is essentially necessary for accurate calculation of earth volume. Since the balance of cutting earth in public work, the plan of spoil bank or borrow pit are directly related to construction costs, accurate calculation of earth volume and efficient scheme of haul are important. As such, this study has provided methods that can acquire information that is more rapid, applicable to job sites, and trustworthy by comparing resultant values of photogrammetry, laser scanning, or inside job site experimentations, and calculated soil conversion factor by applying photogrammetry and laser scanning methods for hard rock that has difficulty in calculating soil conversion factor. The study can provide alternatives that can resolve the problems of unbalanced earth volume that may arise in applying to plans the earth conversion factor that relies on planning books and experience without considering the characteristics of job site earth, and can establish its relevancy by calculating soil conversion factor for hard rock that has relative difficulties in doing inside or job site testing.

Keywords : soil and rock information system, soil conversion factor, laser scanning, Digital Photogrammetry

초 록

건설교통부에서는 예산절감을 위해 토석정보시스템을 운영하고 있으며, 시스템 운영에 기본적으로 고려되어야 할 사항은 원지반의 토량을 기준으로 산정되는 토량 변화율인 토량환산계수의 정확한 적용이다. 토공사의 절성토량의 균형, 사토장 및 토취장의 계획은 공사비와 직접적인 관계를 가지고 있기 때문에 정확한 토공량 산정 및 효율적인 토공유동이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 그러나 현장에서의 비합리적인 토량환산계수의 적용으로 토공유동이 효과적이지 못한 점이 있으며, 정확한 공사비 산정 및 투입에도 지장을 초래할 수 있다. 이와 같이 효율적인 토공유동계획은 토공량 산정의 정확도에 기인한다고 할 수 있으며, 정확한 토량환산계수의 적용이 토공량 산정에 절대적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 대규모 토공사가 실시되는 현장을 대상으로 대상지 내의 임의지점 절·성토부를 굴착하고 굴착 전후 및 다짐후의 체적을 사진측량기법 및 레이저스캐닝기법으로 정밀한 수치표고모형을 제작하여 토량환산계수를 산정하고, 동시에 절·성토부 건조밀도시험을 통해 산정되는 토량변화율의 결과값과 비교 분석하여 신뢰성 있는 토량환산계수의 산정방법을 결정하고자 한다.

핵심어 : 토석정보시스템, 토량환산계수, 레이저스캐닝, 디지털사진측량

1) 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejk@chungbuk.ac.kr)
2) 정희원 · 충북대학교 토목공학과 공학박사(E-mail:idealharry@gmail.com)
3) 정희원 · 충북대학교 토목공학과 박사수료(E-mail:kedol14@gmail.com)

1. 서 론

대규모 토공사의 경우 해당공사현장 내에서 가급적으로 절성토량이 균형을 이루도록 계획하고 있으나, 그렇지 못할 경우는 사토장이나 토취장을 만드는 것이 필요하다. 또한 토공사의 절성토량의 균형, 사토장 및 토취장의 계획은 공사비와 직접적인 관계를 가지고 있기 때문에 정확한 토공량 산정 및 효율적인 토공유동이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

대부분의 토목공사 현장에서 적용되는 토공유동의 토량 환산계수는 대규모 공사의 경우 기존의 공사결과로부터 측정된 지반종별에 따른 토량 환산계수의 평균값을 이용하고 있으며, 소규모 공사의 경우 실사자료가 많지 않아 일본에서 사용된 자료를 인용한 건설 표준품셈의 토량환산계수를 이용하고 있는 실정이다. 이러한 비합리적인 토량환산계수의 적용은 효율적인 토공유동이 이루어지기에 부족한 점이 많으며, 정확한 공사비 산정 및 투입에도 지장을 초래할 수 있다. 따라서, 효율적인 토공유동계획은 토공량 산정에 기인한다고 할 수 있으며, 정확한 토량환산계수의 적용이 토공량 산정에 절대적이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 대규모 토공사가 실시되는 현장을 대상으로 대상지 내의 임의지점 절·성토부를 굴착하고 굴착 전후 및 다짐후의 체적을 사진측량기법 및 레이저스캐닝기법으로 정밀한 수치표고모형을 제작하여 토량 환산계수를 산정하고, 동시에 절·성토부 건조밀도를 통해 산정되는 토량변화율의 결과 값과 비교 분석하여 신뢰성 있는 토량환산계수의 산정방법을 결정하고자 한다.

2. 토량환산계수

2.1 토량환산계수 산정

토량은 원지반에 있을 때, 그것을 흐트러 느슨하게 했을 때 또는 다짐했을 때 각각의 상태에 따라 체적이 다르다. 각각의 토량은 원지반의 토량을 기준으로 한 체적비로 나타내고 이것을 토량의 변화율, 또는 토량환산계수라 한다. 성토공법은 토량환산계수를 산정하고 계획을 수립, 시공시에 성토재료의 과부족이 생기지 않도록 하는 것이 매우 중요하다. 토량환산계수는 L, C 로 표시하며, 그 정의는 식 (1) 및 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L = \frac{\text{흐트러진상태의 토량}(m^3)}{\text{자연상태의 토량}(m^3)}$$

$$= \frac{\text{자연상태의 건조밀도}(t/m^3)}{\text{흐트러진상태의 건조밀도}(t/m^3)} \quad (1)$$

$$C = \frac{\text{다져진상태의 토량}(m^3)}{\text{자연상태의 토량}(m^3)}$$

$$= \frac{\text{자연상태의 건조밀도}(t/m^3)}{\text{다져진상태의 건조밀도}(t/m^3)} \quad (2)$$

여기서, 자연상태의 토량은 굴착하는 토량, 흐트러진 상태의 토량은 굴착된 또는 운반시의 토량이며, 다져진 상태의 토량은 다짐이 이루어지고 난 후의 성토의 토량을 말한다. 즉, 원지반의 토량을 1이라고 했을 때 이를 굴착해서 흐트러진 상태의 토량을 L , 다시 흐트러진 상태의 흙을 다졌을 때의 토량을 C 라 한다.

2.2 실내시험에 의한 산정

연구대상지역의 토량환산계수 산정을 위해 본 연구에서는 다짐도에 의한 다져진 상태의 값을 실내시험을 통해 분석 수행하였다. 실내시험을 통한 토량환산계수(C) 산정은 자연상태 건조밀도 측정값을 한국표준 다짐시험인 KSF 2312 A다짐 시험방법의 85%에 해당하는 값과 KSF 2312 D다짐 시험방법의 90%에 해당되는 값을 비교하여 산출하는 것이 가장 합리적인 것으로 연구 결과가 보고되어 본 연구에서도 이를 적용하였다.

2.2.1 다짐방법의 종류

실내시험에서 사용되는 다짐방법은 래머의 질량, 몰드의 안지름, 다짐층수 및 1층당의 다짐횟수에 따라 Table 1과 같이 A,B,C,D,E의 5가지로 분류되며, 다짐방법별 다짐에너지를 비교하면 $A \approx B, C \approx D \approx E$ 의 결과 값을 보인다.

Table 1. Type of compaction method

다짐 방법의 호칭명	래머 질량 (kg)	몰드 안지름 (cm)	다짐 층수	1층 당의 다짐횟수	허용최대 입자지름 (mm)
A	2.5	10	3	25	19
B	2.5	15	3	55	37.5
C	4.5	10	5	25	19
D	4.5	15	5	55	19
E	4.5	15	3	92	37.5

$$\text{다짐에 너지 } E(\text{kg/cm}^2) = \frac{\text{래머중량}(\text{kg}) \times \text{낙하높이}(\text{cm}) \times \text{다짐회수}(\text{회}) \times \text{다짐층수}(\text{층})}{\text{몰드 부피}(\text{cm}^3)}$$

$$A\text{방법} = \frac{2.5 \times 30 \times 25 \times 3}{1000} = 5.625 \text{ kg/cm}^2$$

$$B\text{방법} = \frac{2.5 \times 30 \times 55 \times 3}{2209} = 5.602 \text{ kg/cm}^2$$

$$C\text{방법} = \frac{4.5 \times 45 \times 25 \times 5}{1000} = 25.312 \text{ kg/cm}^2$$

$$D\text{방법} = \frac{4.5 \times 45 \times 55 \times 5}{2209} = 25.201 \text{ kg/cm}^2$$

$$E\text{방법} = \frac{4.5 \times 45 \times 92 \times 3}{2209} = 25.301 \text{ kg/cm}^2$$

2.2.2 다짐시험기구

실내 다짐시험 수행을 위해서는 시료, 몰드, 스페이서 디스크, 래머 및 건조로 등이 필요하며, 본 연구에서는 Fig. 1, Fig. 2 등의 시험기구를 이용하여 토량환산계수산정에 필요한 습윤밀도 및 건조밀도를 측정하였다.

2.2.3 다짐시험방법 및 결과

본 연구에서 수행한 다짐시험방법은 일반적인 건조법

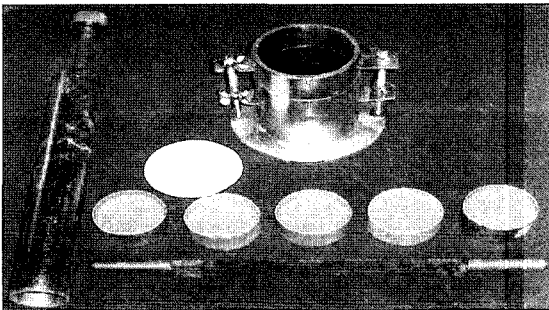


Fig. 1. Test instruments for "A" compaction

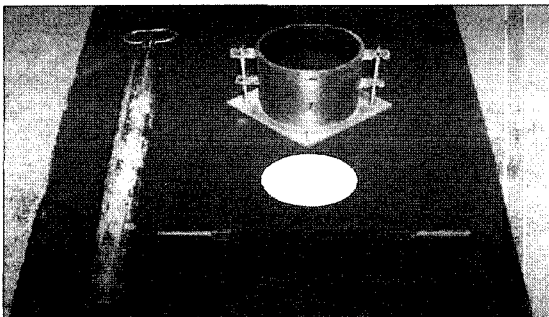


Fig. 2. Test instruments for "D" compaction

및 비반복법으로 시험을 실시하였으며, 실내 다짐시험을 통해 본 연구에서 필요한 다진 흙의 습윤밀도, 다진 흙의 건조밀도 등의 측정을 위해 다음의 계산식에 의거하여 그 결과 값을 산출하였다.

(1) 다진 흙의 습윤밀도

$$\text{다진 흙의 습윤밀도}(\text{g/cm}^3) \quad \rho_t = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

m_2 : 다진 후의 전체 중량(g)

m_1 : 몰드와 밀판의 중량(g)

V : 몰드의 용량(cm^3): 10cm 몰드 $V=1,000\text{cm}^3$

(2) 다진 흙의 건조밀도

$$\text{다진 흙의 건조밀도}(\text{g/cm}^3) \quad \rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}}$$

w : 함수비(%)

(3) 건조밀도를 세로축에, 함수비를 가로축에 취하여 측정치를 기입하고, 이들을 매끈한 곡선으로 연결하여 건조밀도-함수비 곡선 작도

(4) 영공기 간극상태에서 함수비(w)에 대한 건조밀도 (ρ_{dsat}) 결과를 건조밀도-함수비 곡선에 명기하고 매끈한 곡선으로 연결한 것을 영공기 간극곡선으로 한다.

영 공기 간극상태의 건조밀도(g/cm^3)

$$\rho_{dsat} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{100}}$$

ρ_w : 물의 밀도(g/cm^3)

ρ_s : KS F 2308에 따라 구한 흙 입자의 밀도(g/cm^3)

3. 실험 및 자료처리

3.1 대상지역 선정

본 연구에서는 토공현장에서 토공량 산정계수를 정확하고 신속하게 산출하기 위하여 지상사진측량 기법과 레이저 스캐너 측량 기법을 이용하였다. 실험대상지역은 토사와 발파암이 분포되어 있는 충북 보은군 회북면에 위치한 도로공사 현장을 선정하였으며, 노선현황 및 대상지점은 Fig. 3과 같다.

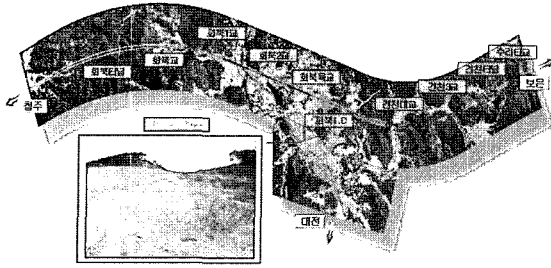


Fig. 3. Location of test field

실험방법으로 우선 토사에 관한 사진측량 및 레이저스캐너 측량 결과를 현장 실내실험결과와 비교를 통해 정확도를 분석하고, 발파암에 관하여 실험을 실시하였다.

두 가지 기법으로 실험하기 위해 본바닥, 느슨, 다짐토량을 측정하기 위하여 굴착전 지표상태 즉, 수치표고모형을 우선 측정하고, 굴착후 수치표고모형을 측정하여 두 수치모형의 차이를 본바닥 토량으로 계산하였다. 또한, 굴착토량의 수치모형을 통해 느슨 토량을 계산하고, 마지막으로 진동롤러를 이용하여 다짐을 한 후 수치모형을 통해 다짐토량을 계산하였다.

3.2 사진측량에 의한 자료처리

본바닥 토량을 산출하기 위하여 비교적 평평한 토사지반을 백호로 굴착하여 굴착전후의 수치표고모형을 측정하고 본바닥토량을 계산하였으며, 현장사진은 Fig. 4와 같다.

굴착된 토사는 바로 덤프트럭에 상차함으로써 토사의 유출 또는 유입을 방지하였으며, 바닥이 비교적 평평하고 단단한 지반에 하차한 뒤 토사표면에 타겟과 스케일바를 설치한 뒤 사진을 촬영하여 느슨토량을 측정하였다.

느슨 토량 산정을 위한 사진촬영이 완료된 이후 진동롤러를 이용하여 다짐을 실시하였으며, 다짐이 완료된 이후 다시 타겟을 설치하고 사진촬영을 실시하였다.

촬영된 사진은 타겟 자동인식을 통해 타겟의 상좌표를 취득하고, 다중영상매칭, 표정, 광속조정의 과정을 통해 3차원 포인트 데이터를 취득할 수 있었으며, 보다 정밀한 데이터를 위하여 Table 2와 같이 2개의 스케일바 값을 초기값으로 입력하고 광속조정을 다시 실시하였다. 광속조정의 횟수는 일반적으로는 4~5회로 결정되지만, 본 연구에서는 필요로 하는 정확도 20 μ m내에 수렴하도록 10회까지 반복 계산하였다.

표정과 광속조정의 반복 계산을 통해 최종적으로 얻어

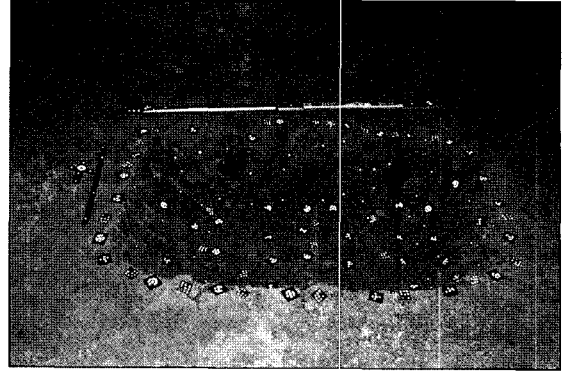


Fig. 4. Installed Targets for The Calculation of Original Ground Soil Volume

Table 2. Value of scale bar (unit : mm)

Name of Scale Bar	Distance
Scale Bar 1	1657.910
Scale Bar 2	586.428

Table 3. The accuracy of object coordinates

	X	Y	Z
RMS	0.049mm	0.037mm	0.034mm
Max	0.718mm	0.534mm	0.448mm

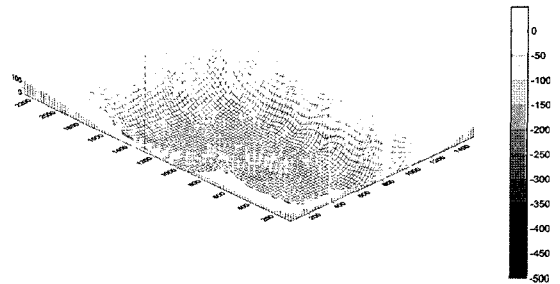


Fig. 5. The digital elevation model for calculation of natural soil volume

진 표정점 3차원 좌표값의 정확도는 Table 3과 같으며, 스케일바의 길이를 측정하여 확인한 측정 정확도는 0.04mm 이었다.

측정된 타겟의 포인트 데이터로부터 수치표고모형을 제작하기 위하여 Surfer 7.0을 이용하였으며, 보간법은 지형분석에 적합한 Kriging 보간법을 이용하였다. 제작된 수치표고모형은 Fig. 5, 6, 7와 같다.

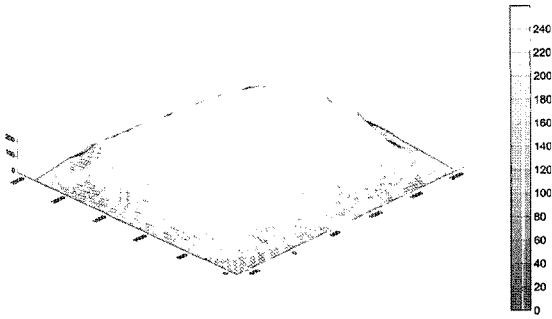


Fig. 6. The digital elevation model for calculation of loosed soil volume

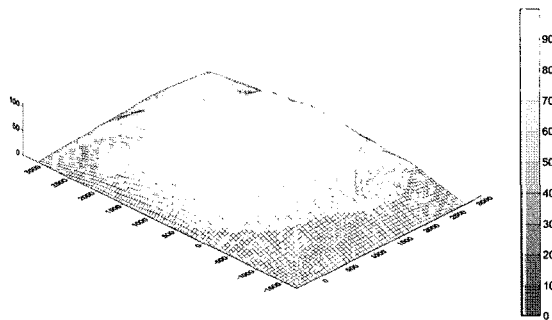


Fig. 7. The digital elevation model for calculation of compacted soil volume

3.3 레이저 스캐너에 의한 자료처리

실험에 사용된 레이저스캐너는 Konica Minolta에서 제작한 VIVID910이며, 대상지역을 10부분으로 나누어 스캐닝한 뒤 하나의 모델로 병합하고 수치표고모형을 제작하였다. 스캐닝 데이터는 노트북에서 확인과정을 거쳐 Fig. 8과 같이 각각 독립된 파일로 저장하였다.

10부분으로 나누어진 데이터는 노이즈 제거 등 전처리 과정을 실시하고, Fig. 9와 같이 프로그램에서 하나로 병합(merge)하여 수치표고모형을 제작하였다.

수치표고모형을 보다 정밀 측정하기 위해서 약 1~2mm의 간격으로 스캐닝 하였으며, 스캐닝에 소요된 시간은 총 150분이 소요되었다. 스캔시간과 얻어진 포인트 데이터의 수에 있어 차이가 나는 것은 대상물의 크기가 다르기 때문에 스캔대상의 범위를 정하는데 있어서 차이가 있기 때문이다. 취득된 3차원 점 데이터는 ASCII 파일로 export하였으며, 점 데이터를 3D 모델링 작업을 수행하였다.

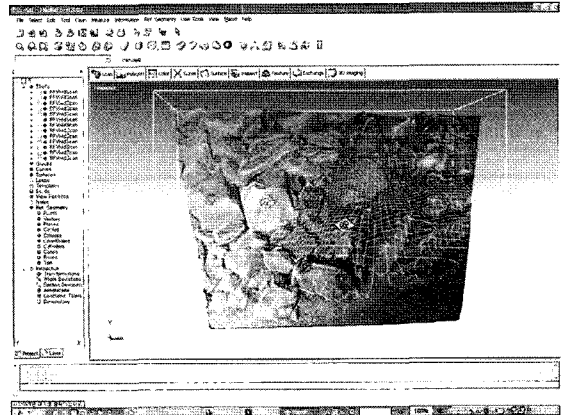


Fig. 8. The generated digital model rendering by laser scanning method

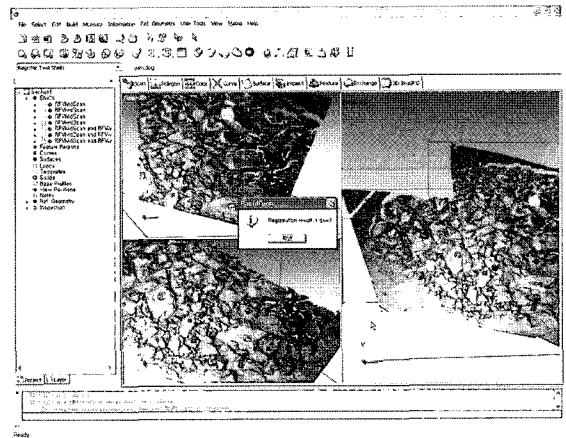


Fig. 9. Merge process

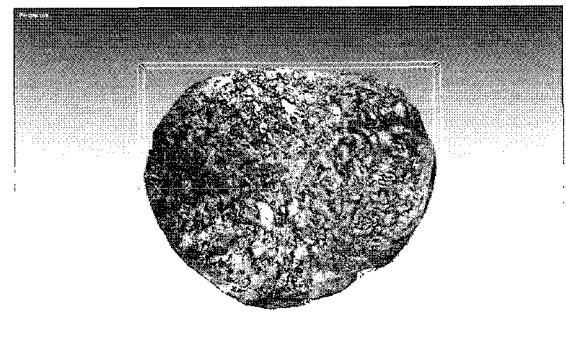


Fig. 10. Merged model

3.4 실내시험을 통한 토랑환산계수(C)

실내 다짐시험을 통해 계산된 연구대상지역 건조밀도,



Fig. 11. Digital elevation model

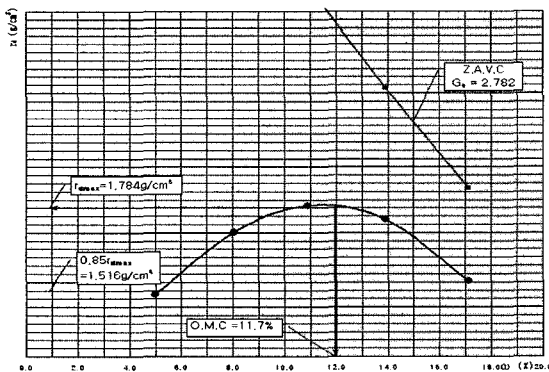


Fig. 12. The Calculation of $\gamma_{dA} 85$ in Test Field

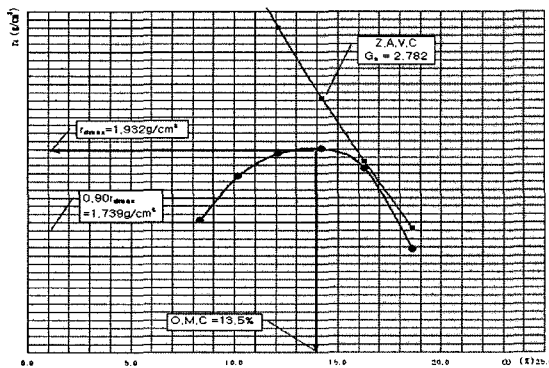


Fig. 13. The Calculation of $\gamma_{dD} 90$ in Test Field

KSF 2312 A다짐 시험방법의 85%에 해당하는 건조밀도 측정값($\gamma_{dA} 85$) 및 KSF 2312 D다짐 시험방법의 90%에 해당하는 건조밀도 측정값($\gamma_{dD} 90$)을 이용하여 토량환산계수(C)를 산정하였다. 대상지역 I은 본 연구의 공사구간 중 회북.I.C Ramp-A(STA.0+780)에 해당되며, 실내다짐 시험을 통한 $\gamma_{dA} 85$, $\gamma_{dD} 90$ 측정값은 Fig. 12 및 Fig.

Table 4. Table of soil conversion factor(c) in test field

구분	γ_{dn} (g/cm ³)	$\gamma_{dA} 85$ (g/cm ³)	CA 85	$\gamma_{dD} 90$ (g/cm ³)	CD 90	(C) (CD90/ CA85)
평균	1.623	1.516	1.071	1.739	0.933	0.871

13과 같다. 또한 실내다짐시험의 결과 값을 통해 산정된 토량환산계수(C) 값은 Table 4와 같다.

$\gamma_{dA} 85$: KSF 2312 A다짐 시험방법의 85%에 해당하는 건조밀도

$\gamma_{dD} 90$: KSF 2312 D다짐 시험방법의 90%에 해당하는 건조밀도

CA 85 : A다짐 시험방법의 85%에 해당하는 토량환산계수(C)

CD 90 : D다짐 시험방법의 90%에 해당하는 토량환산계수(C)

3.4.1 현장시험을 통한 토량환산계수(L)

절토부에서 토량환산계수 L값 산정시 일반적으로 1m×1m×1.5m의 사각철제 탱크를 제작하여 굴착체적에 대한 흐트러진 상태의 토량을 측정하여 산정하기에, 본 연구에서도 이를 응용하여 1m×1m×1.5m의 절취구간을 선정 단위질량용기를 통한 흐트러진 상태의 토량을 측정하여 L 값을 산정하는 것으로 하였다. 현장시험의 결과값을 통해 산정된 토량환산계수(L) 값은 Table 5와 같다.

Table 5. Table of soil conversion factor(c) in test field "I"

구분	Natural Volume (V ₁)	Loose Volume (V ₂)	Conversion Factor (L)
평균	1.500m ³	1.836m ³	1.224

4. 비교 분석

이상과 같은 실험을 통하여 연구대상지역내 토사에 관한 사진측량 및 레이저스캐너에 의해 측정된 토량 및 발파암의 체적은 Table 6과 같으며, 이것을 이용한 토량환산계수와 실내실험에 의해 산정된 토량환산계수는 Table 7과 같다.

사진측량에 의해 본바닥, 느슨, 다짐상태별로 얻어진 수치표고모형을 통해 취득된 각각의 환산계수는 L=1.2117, C=0.8671이며, 동일한 방법에 의해 레이저스캐너에 의해

Table 6. The result of volume survey (unit : m³)

구 분	본바닥 토량		느슨 토량		다짐 토량	
	발파암	토사	발파암	토사	발파암	토사
사진 측량	0.701119	0.806478	1.250037	0.977241	0.969204	0.699297
레이저 스캐너	0.701085	0.806479	1.249491	0.977007	0.968726	0.699248

Table 7. The calculation of soil conversion factor

구 분	L	C	ΔL	ΔC
시험값(사진측량)	1.2117	0.8671	0.0003	0.0001
시험값(레이저 스캐너)	1.2114	0.8670	-	-
시험값(시험실과 현장테스트)	1.2240	0.8710	0.0126	0.004
설계값	1.2800	0.9000	0.0686	0.0330

계산된 값은 L=1.2114, C=0.8670으로 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

두 가지 측량방식의 실험결과에 차이가 발생하는 이유는 사진측량 실험에는 약 10~20cm 간격으로 설치된 각각의 타겟을 기준으로 Kriging 보간법에 의해 수치표고모형을 생성하였고, 레이저스캐너의 약 1~2mm 간격으로 매우 조밀한 점군 데이터를 취득한 후 수치표고모형을 생성하였기 때문에 발생한 것으로 분석되었다. 즉, 수치표고모형을 생성하기 위한 점데이터의 조밀한 정도에 따라 측정된 체적에 다소 차이가 있기 때문이지만, 계산된 토량환산계수에는 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

따라서, 세 가지 실험방법중 레이저스캐너에 의한 결과가 밀도가 높기 때문에 가장 정밀한 것으로 분석되었으며, 이 값을 최확값으로 사진측량, 실내 및 현장시험, 현장 설계값과 편차를 비교하였다. 실내 및 현장시험값과 비교한 결과 L값에서 0.0126, C값에서 0.0280 정도 차이가 발생하였고, 현장 설계값과 비교한 결과 L값에서 0.0686, C값에서 0.0330 정도 차이가 발생함을 알 수 있었다. 설계도 서상에는 C값을 토사의 경우 0.9, 리핑암은 1.1, 발파암은 1.28로 명시하고 있으며, 이 값을 현장 특성을 고려하지 않고 일률적으로 고려하여 설계에 적용할 경우 토공량 불균형의 원인이 될 수 있음을 알 수 있다.

현재 대규모 토공현장에서 실내 및 현장 시험을 위해 많은 시간이 소요되고 있으며, 이를 극복할 수 있는 대안으로 사진측량 및 레이저스캐너를 활용하는 방안을 제시할 수 있었다. 또한, 정확한 토량환산계수 산정을 위하여 본 연구에서 제시한 기법의 타당성과 정확성을 입증할 수



Fig. 14. Dump loading of rocks by excavator

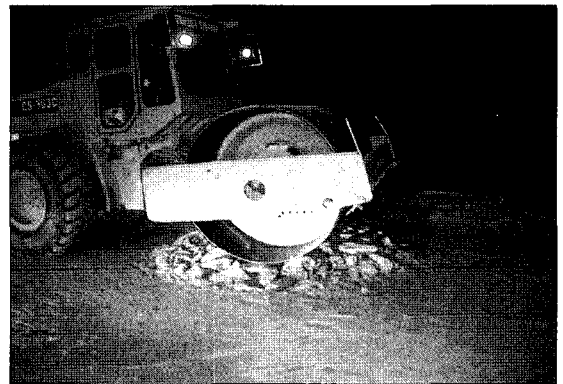


Fig. 15. Compaction of hard rock by vibro-roller

Table 8. The result of calculation of rock conversion factor

구 분	L	C
사진측량 실험값	1.7829	1.3824
레이저스캐너 실험값	1.7822	1.3818

Table 9. The analysis of required times

구 분		소요시간
토사	사진측량	2시간
	레이저스캐너	7시간
	실내 및 현장시험	24시간
발파암	사진측량	2시간
	레이저스캐너	7시간

있었으며, 실내 및 현장 시험이 매우 어려운 발파암을 대상으로 동일한 실험을 진행하였다.

실험은 대상지역의 발파암을 굴착하고, 이를 덤프에 상차하여 다짐현장으로 운반하였으며, 토사실험과 같은 과정으로 사진측량 및 레이저스캐너를 이용하여 토량환산

계수를 계산하였다.

그 결과 Table 8과 같이 토량환산계수를 취득하였다. 데이터 취득에 소요된 시간은 Table 9와 같다. 토사 및 발파암의 경우 사진측량에 소요된 시간은 타겟설치 20분, 사진촬영 10분, 데이터처리 1시간 30분이 소요되어 총 2시간의 작업시간이 소요되었으며, 레이저스캐너의 경우 스캐닝 시간이 2시간 30분, 후처리시간이 4시간 30분 소요되어 총 7시간의 작업시간이 소요되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 비합리적인 토량환산계수의 적용을 지양하고, 효율적인 토공유동계획 및 설계를 위하여 대규모 토공사가 실시되고 있는 현장 내의 임의지점 절·성토부의 굴착 전후 및 다짐후의 체적을 사진측량기법 및 레이저스캐닝기법으로 측량함으로써 토량환산계수를 산정하고, 실내 및 현장시험을 실시하여 산정된 값과 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사진측량을 통해 계산된 좌표값의 RMS는 최대 0.4~0.7mm로 이는 정확한 토량산정을 위한 정확도내에 충분히 수렴됨을 알 수 있었으며, 레이저스캐너는 1~2mm 간격으로 조밀한 점데이터를 취득함으로써 매우 정밀한 수치표고모형을 생성할 수 있었다.
2. 토사 실험에서 사진측량을 이용한 경우 $L=1.2117$, $C=0.8671$, 레이저스캐너를 이용하여 측정된 결과 $L=1.2114$, $C=0.8670$ 으로 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었으며, 실내 및 현장시험값과 비교한 결과 L값에서 0.0126, C값에서 0.0280, 현장 설계값과 비교한 결과 L값에서 0.0686, C값에서 0.0330 정도 차이가 발생함을 알 수 있었다.
3. 현장 지반의 특성을 고려하지 않고 설계도서 및 경

험에 의존한 토량환산계수를 설계에 적용함으로써 발생할 수 있는 토공량 불균형의 문제를 해결할 수 있는 대안을 제시할 수 있었으며, 실내 및 현장 시험이 비교적 어려운 발파암을 대상으로 토량환산계수를 산정함으로써 본 연구의 타당성을 입증할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2005학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김진수, 서동주, 이종출 (2004), 수치사진측량기법을 이용한 토량환산계수 산정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권 제4호, pp. 339-347.
- 유복모, 유용택, 이현직 (1990), 사진측량을 이용한 토공량 결정에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제8권 제1호, pp. 41-50.
- 이종출, 김희규, 김대현 (2003), 수치사진측량을 이용한 토공량 산정 적용, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 211-214.
- 임창규, 정진호, 이병길 (2003), 대규모 현장 실험을 통한 토량환산계수 산정 연구, 춘계학술대회 논문집, 대한토목학회, pp. 3706-3710.
- 정성혁, 임인섭, 함창학, 최석근 (2002), 수치사진측량기법에 의한 레이저 스캐닝 정확도 검증, 춘계학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp. 81-84.
- Huang, Y. (1997), *Industrial Monitoring with Digital Photogrammetry*, Trans Tasman Surveyor, pp. 32.1-32.8.
- Sanchez, F. M. (1999), *Laser Application in Industrial Close-range Photogrammetry*, The International Society for Optical Engineering, Vol.- No.3835.
- Schenk, T. (2000), *Object Recognition in Digital Photogrammetry*, The Photogrammetric record, Vol.- No.95.
- Zicarelli, P. C. (1997), *Industrial Close-Range Photogrammetry: A Dormant Technology Erupts*, Chemputers, pp. 229-234.

(접수일 2006. 6. 2, 심사일 2006. 6. 23, 심사완료일 2006. 6. 23)