암버력이 혼재된 토사의 토랑환산계수 변화에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Change of Bulking Coefficient of Soils Mixed with Rock Blades

박영목*

Park, Yeong Mog

Abstract

Field and laboratory tests were performed to investigate the swelling(L value) and shrinkage modulus (C value) of soil and rock mixtures using 2 sites. According to test results, when disturbed soil and rock were mixed with same amount (5:5), the maximum density was achieved and showed 19% and 18% increased at each site comparing with the unit weight of rock only. Since measured L values of mixtures were overestimated about 4 to 11% compare to estimated values based on the conventional method. While C values were underestimated about 13~20% compare to conventional values due to the development of compacting equipments and effective construction management. When rock and soil were mixed in the ratio of 5 to 5, the unit weight of the mixture was higher than that of other mixtures and rock or soil only.

Keywords : *bulking coefficient, swelling modulus (L value), shrinkage modulus (C value), soil and rock mixture unit weight*

요 지

본 연구는 밀양과 울산지역에 건설 중인 2개소의 도로현장을 택하여 현장시험을 통한 암석과 토사가 혼재되어 있는 경우에 대한 토랑환산계수의 측정 및 단위중량의 변화 등을 검토한 것이다. 시험결과, 암석과 토사가 동등한 비율로 혼합한 경우에 최대 단위중량을 얻을 수 있었으며, 암석만의 경우와 비교한 결과 2개소의 현장에서 각각 19%와 18%의 단위중량이 증가되었다. L값은 표준품셈에서 제시된 값보다 4~11% 크게 나타났으나, C값은 약 13~20% 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이는 최근 다짐장비의 대형화 및 다짐작업의 합리화에 기인되는 현상이므로 토공작업에서 이에 대한 고려가 있어야 할 것으로 판단된다. 또한 운반 시 암석과 토사가 5:5로 혼합되었을 때 가장 높은 단위중량을 나타내어 유리한 조건이 됨을 알 수 있었다.

핵심용어 : 토랑환산계수, L값, C값, 토사와 암석 혼합단위중량

1. 서 론

급속한 산업 사회의 발달로 국토확장을 위한 단지조성과 도로, 철도의 수요가 급증함에 따른 대형장비를 이용한 대규모의 깎기 작업과 쌓기 작업으로 대별되는 토공작업이 증가하는 추세이다. 토목 구조물은 지반에 고착되어 설치되므로 모든 공사의 시작단계에서 착수하는 공정이 토공이다. 토공작업을 계획 시공함에 있어서는 토목구조물이 요구하고 있는 각 조건을 만족하는 적절한 재료의 선정, 기초의 처리, 시공관리 등을 통하여 충분한 품질을 확보하고 능률적, 경제적으로 시공 가능하도록 계획을 세울 필요가 있다. 이를 위해서는 토공작업에서 취급하는 토사 및 암석재료의 특성을 충분히 이해할 필요가 있다.

토공작업은 여건에 따라 전체공사비의 절반 이상을 차지할

정도로 중요한 공정이다. 따라서 공사비의 적절한 산정과 공사물량, 장비대수의 결정 및 적정 공기의 예측을 위하여 토랑환산계수의 합리적인 설정은 매우 중요하다. 일반적으로 현장에서는 토공작업 수행 시 중장비의 대수산정과 토공설계를 위해 건설연구원(2012)의 표준품셈에서 제시된 토사 및 암석종류별 토랑환산계수 값 또는 다짐시험결과를 이용하여 산정된 값을 적용하고 있는 실정이다. 그러나 최근에는 대형장비를 이용한 대규모 토공작업수행이 지배적이므로, 현장의 복잡한 상황을 한정된 자료를 이용하여 적용하는 것은 공사기간과 공사비의 큰 차이를 나타낼 수 있다.

그러므로 보다 실제현장에 부합하는 토랑환산계수의 적용을 위해 합리적인 연구의 수행이 요망된다. 국내에서 이와 같은 현장토랑환산계수의 변화특성을 검토한 대규모 연구로 주재우 등(2007)의 대형현장밀도시험을 통한 토랑환산계수의

*정회원 · 영남대학교 건설시스템공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Yeungnam Univ., E-mail : ympark@ynu.ac.kr)

적용성 검토와 임차규 등(2003)이 택지조성현장에서 대규모 현장실험을 통한 토랑환산계수 산정연구 등이 있다. 또한 흙에 관련된 토랑환산계수 산정에 관련된 연구로는 한국토지개발공사(1987), 김정선과 이상일(1996), 임병홍(2002), 이중출 등(2003), 박석순(2004) 및 김종진(2006) 등의 연구가 수행되었으나 대규모 깎기 작업에 기인하여 암석과 토사가 혼재된 상태의 특성을 정량적으로 검토한 사례를 찾기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 2개소의 현장에서 대규모 깎기 작업에 기인하여 토석이 혼재되어 있는 경우의 암석과 토사의 혼합비와 공극 채움 효과에 따른 단위중량의 변화, 현장에서의 다짐작업 시 다짐횟수에 따른 체적감소량 및 단위중량의 변화 등을 측정하여 암석과 토사가 혼재된 상태의 현장여건이 고려된 토랑환산계수를 평가하였다.

2. 시험을 통한 토랑환산계수의 평가

2.1 개요

토랑환산계수를 평가하기 위하여 흐트러진 상태의 토랑과 자연상태 토랑의 비인 토랑환산계수 L 값과 다짐작업에 의해 다져진 후의 토랑과 자연상태 토랑의 비인 토랑환산계수 C 값을 적용한다(윤충섭 등, 1998). 표 1은 건설연구원(2012)에서 제시하는 표준품셈의 토랑환산계수를 나타낸다. 조건에 따라 다양한 토랑환산계수를 제시하고 있으나 정량적인 암석과 토사의 혼합비 변화에 따른 토랑환산계수의 평가는 곤란한 상태임을 알 수 있다.

주재우 등(2007)은 대규모 암성토 현장에서 발파암의 평균 C 값을 1.055로 제시하고 있으며, 임차규 등(2003)은 40개소의 현장시험결과, 풍화암의 C 값은 1.288로 건설연구원(2012)의 표준품셈에서 제시하는 값보다 높은 값을 나타냄을 알 수 있다. 한국토지공사(1987)는 지역별로 토랑환산 계수를 제시하고 있으며, 경상도 토사의 C 값은 0.996을 나타내어 표준품셈의 제시 값과 유사한 특성을 나타내는 등 현장여건에 따라 많은 차이가 나타남을 알 수 있다. 따라서 현장시험을 통하여 합리적인 토랑환산계수의 평가가 필요한 것으로 판단된다.

2.2 현장시험

현장에서의 토랑환산계수(L 값, C 값)의 측정 및 토사와 암석의 혼합비 변화에 따른 단위중량의 변화 등을 검토하기 위하여 밀양현장(경남 밀양시 청도면 소테리)과 울산현장(경남 울주군 두서면 합천리) 등 2개소의 도로현장을 택하여

현장시험을 실시하였다. 현장시험은 현장 들밀도시험, 암석과 토사의 혼합비 변화에 따른 중량변화 측정, 다짐횟수에 따른 체적변화량과 단위중량의 변화 측정 등이 수행되었다.

토랑환산계수(L , C 값)는 각 현장에서 자연상태, 흐트러진 상태 및 다져진 상태의 체적과 무게를 측정하여 구하였으며, 시험시행 방법은 다음과 같다.

먼저, 자연상태의 체적은 표면의 잡초뿌리를 제거하고 본 바닥을 최대한 수평하게 고른 후에 백호우를 이용하여 굴착하였다. 굴착된 부분의 체적을 구하기 위하여 사진 1(a)와 같이 줄자로 본바닥의 치수(가로, 세로 및 높이)를 측정하였다. 흐트러진 토사의 체적은 사진 1(c)에 나타난 바와 같이 가로 1m, 세로 1m, 높이 1.2m의 용접된 철재상자를 이용하여 측정하고, 중량은 경상남도 과적 단속팀의 도움을 받아 측정하였다. 다져진 상태의 체적 측정을 위하여 흐트러진 토사를 고르게 편 후 각 현장에서 수급 가능한 다짐장비를 이용하여 일정한 방향과 속도로 다짐 작업을 수행한 후, 줄자와 스태프(staff)를 이용하여 다져진 토사의 체적을 구하는 순으로 측정하였다.

암석과 토사가 혼합된 상태에 정량적인 단위중량변화의 평가와 최대의 단위중량을 나타낼 수 있는 최적의 암석과 토사의 혼합비를 측정하기 위하여 암석과 토사와 혼합비를 변화시켜가며 시험이 실시되었으며, 암석과 토사의 혼합비율은 10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10의 5가지의 조건을 이용하였다. 중량의 측정은 사진 1(d)에 나타난 바와 같이 공차의 중량과 암석과 토사를 조건에 맞도록 혼합한 후의 중량을 비교하여 측정되었다. 암석과 토사의 혼합된 체적의 측정은 철재상자와 덤프트럭의 적재함을 이용하였다. 또한 토사의 함수비를 측정하여 단위중량의 계산에 이용하였다.

현장에서 다짐작업 시 다짐횟수에 따른 체적변화량과 단위중량의 변화를 측정하기 위하여, 다짐횟수에 따른 체적변화와 단위중량 측정을 실시하였다. 현장시험에 사용된 다짐장비로 밀양현장에서는 폭 40 cm, 길이 45 cm인 G200 HONDA 5.5의 탬핑장비를, 울산 현장에서는 104 kN, 폭 2.1 m인 CS-533 CATERPILLAR의 로드 롤러가 사용되었다. 체적변화의 측정은 각 다짐횟수마다 줄자를 이용하여 그 변화를 측정하였으며, 단위중량의 변화는 물치환법에 의한 현장밀도시험을 통하여 측정하였다.

2.3 실내시험

밀양과 울산 시료의 개략적인 물리·역학적 특성을 알아보기 위하여 밀양과 울산 토취장의 대표적인 시료들을 대상

표 1. 실험 대상 시료의 기본물성시험 결과

		기 호	U.S. C.S	G _s	w _L (%)	I _p (%)	#200 통과량 (%)	γ _{dmax} (kN/m ³)	OMC (%)	C _u	C _c
밀양현장	밀양(A)	M-A	SM	2.67	40.2	NP	48.0	20.1	10.8	23	1.32
	밀양(B)	M-B	SM	2.67	40.2	NP	46.2	20.1	10.9	23	1.32
	적색토	M-C	SC	2.68	43.7	18.3	29.2	17.9	14.5	200	0.07
	회백색토	M-D	MH	2.66	65.	28.2	82.0	18.2	13.6	7.3	1.14
	연주황토	M-E	ML	2.65	37.2	NP	52.0	18.2	13.6	6.3	1.89
울산(A)		U-A	SM	2.66	25.6	NP	27.9	19.0	12.6	272	0.37
울산(B)		U-B	SM	2.66	22.1	NP	27.0	19.2	12.4	260	0.25

(a) 굴착지반 체적 측정 전경

(b) 다져진 토사의 체적 측정 전경

(c) 암석과 토사의 중량 및 체적 측정 전경

(d) 혼합된 암석과 토사의 계급 전경

사진 1. 토랑환산계수 측정을 위한 현장시험전경

표 2. 토랑환산계수 산정에 사용된 암석 및 토사시료의 물성치

	밀양 A, B	울산 A	울산 B
암석의 흡수율 (%)	11	0.87	-
암석의 일축압축강도 q_u (MPa)	20.1	135.4	-
흙의 함수비 (%)	13.7	16.7	14.7
흙의 분류	실트질 모래 (SM)	실트질 모래 (SM)	실트질 모래 (SM)
암석의 분류	풍화암, 셰일	경암, 셰일	-

으로 KS F규정에 의거한 시험을 실시하였으며, 표 1은 토사에 대한 시험 결과를 나타내고 있다.

표 1에서 나타난 바와 같이 밀양 토취장의 토사시료들은 통일분류법(U.S.C.S)상 실트질 모래인 SM이 다수를 차지하였고, 저소성 실트인 ML과 고소성 실트인 MH 등으로 분류되었다. 울산 토취장의 토사 시료는 SM이 주종을 이루고 있으며 시료의 비중은 2.65~2.68의 범위를 나타내었다. 실내 다짐시험에 의해서 구한 최대건조단위중량(γ_{dmax})과 최적함수비(OMC)는 밀양현장 시료의 경우 평균 20.1kN/m³, 10.5%였으며, 울산시료의 경우 19.1kN/m³, 12.5%를 각각 나타냈다. 또한 표 2에서 알 수 있듯이 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_c)가 클수록 최대건조단위중량은 높고 최적함수비는 낮게 나타났다.

울산과 밀양현장에서의 암석의 분류를 하기 위해 흡수율 시험과 점재하 시험결과는 표 2와 같다. 밀양은 대체로 셰일의 풍화암이며, 울산은 셰일의 경암으로 분류되었다.

그림 1은 각 시료의 입도분포곡선을 나타내고 있다. 밀양 시료(M)는 각각의 입도분포가 상이한 4종류를 나타내었으며, 울산은 채취된 2개소 시료(U)가 유사한 입도특성을 가진 것으로 측정되었다.

그림 1. 대상시료의 입도분포곡선

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 암석과 토사의 혼재로 인한 단위중량 변화

표 3은 흐트러진 상태의 암석자체와 암석과 토사를 5:5로 혼합시의 단위중량(γ_t)을 각각 나타낸다. 이때 사용된 암석의 크기는 직경이 약 15~30cm인 것과 직경 약 5~15cm인 것의 2종류이다. 직경이 약 15~30cm인 흐트러진 상태의 암석만의 γ_t 는 10.9kN/m³로 상당히 낮았으나, 토사와 5:5로 혼합했을 때의 γ_t 는 17.2kN/m³로 급격히 상승하였다. 직경이 약 5~15cm인 암석만의 γ_t 는 직경이 15~30cm의 암석만의 γ_t 보다 약 40% 높은 15.2kN/m³의 값을 나타내었으며, 토사와 5:5로 혼합했을 때의 γ_t 값은 직경 15~30cm의 암석과 토

표 3. 토사의 공극 채움으로 인한 γ_t 의 변화

암석 직경	15~30 (cm)		5~15 (cm)	
	암석	암석(5): 토사(5)	암석	암석(5): 토사(5)
γ_t (kN/m ³)	10.9	17.2	15.2	16.4

표 4. 암석과 토사의 혼합비에 따른 γ_t 와 γ_d 변화 시험결과 [공차체적=10.241m³ (밀양, 울산), 공차중량=12.3ton (밀양), 12.8ton (울산)]

암석 : 토사	밀 양				울 산			
	총중량 (kN)	적재중량 (kN)	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	총중량 (kN)	적재중량 (kN)	γ_t (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
10 : 0	259.5	136.5	13.3	12.2	272.0	144.0	14.1	14.1
7 : 3	288.0	165.0	16.1	14.4	288.5	160.5	15.7	15.1
5 : 5	268.5	145.5	14.2	12.6	298.5	170.5	16.6	15.6
3 : 7	270.0	147.0	14.4	12.7	293.5	165.5	16.2	14.7
0 : 10	259.5	136.5	13.3	11.5	289.5	161.5	15.8	13.7

그림 2. 암석과 토사의 혼합비에 따른 γ_t 와 γ_d 변화

사를 혼합했을 때의 γ_d 값보다 오히려 작은 약 16.4kN/m³로 혼합에 따라 약 8%의 단위중량이 증가되었다. 이는 암석의 직경이 클 때는 공극 속으로 토사의 혼입이 쉬운 반면 직경이 작은 암석의 공극 속으로의 토사의 혼입은 상대적으로 어려웠기 때문이라 사료된다. 따라서 현장시공여건상 암석만으로 운반되는 경우와 암석 속에 토사를 혼합했을 경우 암석의 직경에 따라 흐트러진 상태의 단위중량이 크게 달라짐에 유의할 필요가 있다.

암석과 토사가 혼재된 재료의 운반 시 공기단축과 공사비 절감을 위하여 가능한 규격이 큰 덤프트럭을 이용하여 최대한 단위중량을 높이는 것이 이론적으로 유리한 방법이다. 표 4와 그림 2는 밀양과 울산 현장에서 15ton 덤프트럭을 이용하여 암석과 토사의 혼합비를 변화시키면서 단위중량을 측정한 시험결과를 나타낸다.

그림 2에서 밀양시료와 같이 암석이 풍화암인 경우 암석과 토사를 7:3으로 적재하는 것이 유리하며, 울산과 같이 경암인 경우는 암석과 토사가 5:5일 때 가장 유리한 특성을 나타낸다. 이들의 차이는 경암인 경우 암석의 모서리가 강하여 공극형성이 크게 이루어지고 풍화암인 경우는 적재 시에 모서리가 쉽

그림 3. 다짐횟수에 따른 다짐층높이 변화

게 손상되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 전반적으로 암석과 토사가 일정비율로 혼합된 상태로 운반하면 암석 또는 토사만을 적재한 것보다 더욱 유리하다는 것을 알 수 있다.

3.2 현장 다짐 시험 결과

흐트러진 상태의 토사(실트질 모래, SM)를 밀양시료와 울산시료를 각각 15cm와 30cm의 높이로 균등하게 펴 고른 후, 다짐장비로 다지면서 다짐횟수에 따른 토사의 높이변화를 측정하여 그림 3에 병행하여 나타냈다. 그림에서 각 현장의 평균치는 실선으로 나타냈다. 그림 3, 4에서 알 수 있듯이 초기 1회의 다짐작업으로 다짐장비에 무관하게 높이와 밀도에 큰 변화가 발생하였다. 최종 다짐 후의 높이변화는 밀양과 울산의 각 2개소씩 4군데 시험에서 모두 초기높이의 약 53~56%를 나타내어 절반정도의 압축이 일어났음을 알 수 있다. 이는 다짐작업 전, 후의 면적이 동일하다고 가정할 때 흐트러진 상태에서 다져진 상태로의 토랑환산계수 C/L값과 동일하며 C/L값의 평균은 밀양시료가 0.47, 울산시료가 0.45를 각각 나타낸다.

밀양시료와 울산시료에 대한 누적압축량과 누적높이변화를 표 5에 나타냈다. 1회 다짐작업 수행 시 밀양, 울산시료의 체적이 각각 30%, 34% 감소하였으며 최종적으로 7회(밀양)와 10회(울산)의 다짐작업 후에 각각 체적이 53%와 56% 감소하는 것으로 나타나 초기 1회 다짐작업의 영향이 상대적으로 크게 나타남을 알았다. 그림 4에는 다짐횟수별 단위중량을 나타내었다. 적정 다짐이 된 후에는 단위중량 값이 더 이상 증가하지 않고 수렴함을 볼 수 있다.

표 6은 밀양현장과 울산현장시료의 D다짐법에 의한 실내 다짐시험결과와 현장에서 다짐 종료 후의 단위중량을 비교하여 다짐도를 평가한 것이다. 표 6에서 알 수 있듯이 현장 다짐도는 약 94~98%를 나타내어 본 다짐시험에 의한 C값의 산정에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

그림 4. 다짐횟수에 따른 단위중량 변화

표 5. 다짐횟수~높이 변화

다짐횟수 (cm)	밀양			울산		
	A시료 누적높이변화	B시료 누적높이변화	평균누적 높이변화	A시료 누적높이변화	B시료 누적높이변화	평균누적 높이변화
0회	14.8	14.1	14.5	30	33	32
1회	9.7	10.7	10.2	20.3	21.7	21
3회	8.3	9.0	8.7	17.7	19	18.4
7회	6.7	6.85	6.8	17.5	18	17.8
10회	6.2	6.3	6.3	16.4	15.5	16.0

표 6. 현장다짐과 실내다짐시험의 비교

위치	W ^{Field} (%)	OMC	γ _{tField}	γ _{dField}	γ _{tmax}	다짐도 (%)
			(kN/m ³)			
M-A	11.1	10.2	21.0	18.9	20.1	94
M-B	10.8	10.9	22.0	19.9	20.2	98
U-A	11.8	12.6	21.0	18.8	19.0	98
U-B	16.1	12.4	22.0	18.9	19.2	98

3.3 토랑환산계수 L, C 값의 측정 결과

자연상태 토취장의 단위중량을 측정하기 위하여 밀양과 울산의 토취장 현장의 대표적인 위치에서 물치환법에 의한 들밀도 시험을 시행하였고, 각각의 들밀도 시험 평균값은 토취장 전체의 단위중량과 같다고 가정하였다. 이는 임창규 등(2003)이 대규모현장에서 실시한 40개소의 단위중량 측정값이 거의 유사하다는 것을 참고하였다. 밀양에서 4개소와 울산에서 2개소의 토취장에서 현장단위중량을 측정한 결과, 밀양과 울산의 자연상태 토사의 평균 단위중량은 각각 18.6kN/m³과 18.5kN/m³을 나타냈다.

암석과 토사의 혼합비에 따른 L값의 변화를 알아보기 위하여 10:0, 7:3, 5:5, 3:7, 0:10의 5가지로 혼합되어 있는 시료에 대하여 중량을 측정한 후, 각각의 중량을 토취장에 따른 평균 단위중량으로 나누어 자연상태의 체적을 구하였다. 그림 5는 암석과 토사의 혼합비를 바꾸어 가면서 흐트러진 상태의 토랑환산계수 L값을 나타낸 것이다. 암석 100%일 때의 L값인 밀양 1.25, 울산 1.31을 기준으로 하여, 암석과 토사의 혼합비가 5:5일 때 L값은 1.13(밀양), 1.11(울산)로 L값이 각각 15%와 17%로 감소하였고, 토사 100%일 때는 1.18(밀양), 1.15(울산)로 각각 11%, 16% 감소된 값이 나타났다. 밀양과 울산현장 모두 토사 100%의 L값이 암석과 토사가 5:5로 혼재된 경우의 L값보다 각각 5%와

4% 높은 값을 나타내어 암석과 흙이 5:5로 혼재된 경우 L값이 최소화될 수 있음을 알 수 있다.

암석과 토사가 혼재된 깎기 작업에서 현장여건 및 깎기 부위에 따라 암석 100%, 토사 100% 및 일정비율로 암석과 토사가 혼재될 경우 등으로 사토재료를 대별 할 수 있다. 이러한 각각의 상태에 대하여 단순히 건설연구원(2012)의 표준품셈에서 제시한 값들 중 하나를 적용하여 L값을 결정할 경우, 시험에서 나타난 바와 같이 공사물량, 중기대수 및 공사비 산정에 크게 차이가 발생함을 알 수 있었다.

C값을 구하기 위해 밀양현장과 울산현장에서 각각 2개소씩 모두 4개소에서 시험을 실시하였다. 특히, C값을 구하기 위한 시험에 있어 다짐횟수에 따른 높이변화량을 측정하여 다짐횟수마다 체적을 산정하고, 다짐횟수마다 C값의 변화를 계산하여 그림 6에 나타냈다. 그림에서 나타난 바와 같이 1회 다짐작업에 의한 C값의 변화가 상대적으로 크게 나타나며 그 이후로는 다짐횟수에 대해 직선적으로 C값이 감소해감을 알 수 있다. 본 시험의 최종단계 다짐 후 C값은 밀양이 약 60%, 울산이 약 59%로 측정되었으며, 토질조건이 유사한 이들 두 현장에서 C값의 차이는 다짐장비의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. 밀양현장에서의 다짐작업은 편도 7회가 실시되었고, 울산현장에서는 왕복 5회(총 10회)의 다짐작업이 이루어졌다.

C값에 대한 표준품셈과의 비교, 검토는 현장상황을 고려하여 밀양현장시험에서는 다짐횟수 7회시의 C값과 울산현장시험에서는 다짐횟수 왕복 3회시의 C값을 통하여 수행되었으며, 그 결과는 표 7과 같다. 건설연구원(2012)의 표준품셈표는 모래에 사용되는 L, C값을 취하였다.

현장시험결과와 표준품셈의 L값을 비교하면 M-B는 측정값이 표준품셈에서 제시하는 값의 범위 안에 해당하였으나, M-A, U-A는 표준품셈에서 제시된 상한 값보다 약 4% 큰

그림 5. 암석에 대한 토사의 혼합비에 따른 L값 변화

그림 6. 다짐횟수에 따른 C값 변화

표 7. 토량환산계수 시험 값 및 표준품셈

L, C값 위치		시험결과		제시값 (모래) 건설연구원(2012) 표준품셈	
		L	C	L	C
M-A		1.25	0.68	1.10~1.20	0.85~0.95
M-B		1.14	0.67	1.10~1.20	0.85~0.95
U-A		1.25	0.78	1.10~1.20	0.85~0.95
U-B		1.33	0.72	1.10~1.20	0.85~0.95

값이 나타났으며 U-B는 표준품셈에서 제시하는 상한 값보다 약 11% 큰 값이 나타났다. C값은 M-A와 M-B는 표준품셈에서 제시하는 값의 하한 값보다 20% 정도 작은 값이 나타났고, U-A, U-B는 각각 13%, 15% 정도 작은 결과를 보였다. 이러한 결과 중 L값은 현장시험에서 호트러진 상태의 시료에 대하여 체적이 감소할 수 있는 외력이 전혀 작용하지 않게 하는데 역점을 두었기 때문에 L값이 표준품셈 값과 비교해 다소 컸다고 사료된다. C값에 대한 비교결과는 최근 다짐장비의 대형화, 다짐작업의 합리화에 기인되는 현상으로 판단된다. 따라서 향후 성토작업 시 토량의 부족이 발생될 가능성이 있음을 알 수 있었고, 이에 대한 대책이 강구될 필요가 있으며, 가장 유리한 방법으로 현장에서 직접 대형시험을 실시하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

밀양과 울산의 2개 도로축조현장에서 토량환산계수의 적정성 검토를 위해 암석과 토사의 혼합비를 변경하면서 다양한 현장시험을 실시하였으며 대표적 시료를 채취하여 실내에서 보충시험을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2개현장의 시험결과 L값은 표준품셈에서 제시된 상한값보다 약 4~11%의 큰 값을 나타냈으나, C값은 하한값보다 약 13~20% 낮은 값을 나타냄을 알 수 있었다. 이는 최근 다짐장비의 대형화 및 다짐작업의 합리화에 기인되는 현상이므로 흙쌓기 작업에서 이에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.
2. 깎기부에서 발생한 암석과 토사를 쌓기부에 유용하는 경우, 현장여건에 따라 암석과 토사가 다양한 혼합비로 혼재될 수 있으며, 이 경우 L값에 차이를 나타내므로 현장

여건에 맞는 합리적인 L값의 적용이 요망된다.

3. 암석과 토사가 혼재되는 경우 5:5의 혼합비율일 경우 가장 큰 단위중량을 나타내며 L값이 가장 작게 나타났다. 또한 혼합된 암석의 직경이 클수록 단위중량의 차이가 더 크게 나타났다. 따라서 암석과 토사를 혼재하여 운반하는 경우 혼합비가 5:5인 것이 가장 유리한 것으로 판단된다.
4. 다짐작업에 기인한 체적은 처음 펴고른 상태에서 1회 다짐 시 약 30~34% 감소하였으며, 최종적으로 약 59~60%의 체적감소를 나타냈다. 또한 균등계수(C_u)와 곡률계수(C_g)가 클수록 최대건조단위중량(γ_{dmax})은 높고 최적함수비(OMC)는 낮게 나타났다.

본 연구는 시험 지역과 시험 조건이 제한적이므로 실제 현장성을 충분히 고려한 토량변화계수의 제시를 위해서는, 보다 많은 시험지역과 다양한 시험 조건하에서의 추가 연구 수행이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- 건설연구원(2012) **건설공사 표준품셈**, p. 71.
- 김정선, 이상일(1996) **현장과 부합되는 토량환산계수 조사에 관한 연구**, 토지연구원, No. K-2349.
- 김종진(2006) **현장 성토재의 토량변화를 시험방법에 대한 연구사례**, 부산대학교 공학석사학위논문, pp. 1-113.
- 박석순(2004) **도로성토시 공사비에 미치는 영향요인 분석에 관한 연구**, 연세대학교 공학석사학위논문.
- 윤충섭, 권무남, 성찬용, 장병욱, 고흥석, 김광우, 송창섭, 최수명(1998) **토목시공학**, 반도출판사, p. 22.
- 이종출, 이영대, 정진호, 김진수(2003) 수차사진측량기법을 이용한 토량환산계수산정, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 4459-4464.
- 임병흠(2002) **우리나라 흙의 토량환산계수에 관한 연구**, 연세대학교 공학석사학위논문.
- 임창규, 정진호, 이병길(2003) 대규모현장실험을 통한 토량환산계수 산정 연구, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 3706-3710.
- 주재우, 박종범, 마명수, 나현호(2007) 대형현장밀도시험을 이용한 토량환산계수 산정에 관한 연구, **대한토목학회 정기학술대회 논문집**, 대한토목학회, pp. 4339-4343.
- 한국토지개발공사(1987) **풍화잔적토의 토량환산계수 연구시험**, 기술연구소 기술연구, 87-12호.

(접수일: 2012.6.7/심사일: 2012.6.26/심사완료일: 2012.7.6)