

굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 공학적 특성 평가

Engineering Characteristics Assessment of Rapid Set Controlled Low Strength Material for Sewer Pipe Using Excavated Soil

김영욱^{1*} · 이봉춘² · 정상화³

Young-Wook Kim^{1*} · Bong-Chun Lee² · Sang-Hwa Jung³

(Received October 12, 2020 / Revised October 28, 2020 / Accepted October 30, 2020)

In this study, engineering characteristics such as flowability, segregation and compressive strength by age to derive fast hardening material mixing proportion using excavated soil. And based on optimal mixing proportion, field simulation experiment conducted in laboratory to examine the effectiveness of the method such as kelly ball drop test and soil penetration test for reviewing the following process. As a result of evaluation, in case of kelly ball drop test and soil penetration test were securing the following process initiation time 3 hours after place CLSM. As results of these assessments, kelly ball drop test and soil penetration test were applicable for reviewing following process in construction field besides unconfined compressive strength method.

키워드 : 굴착토, 유동성 채움재, 속경성, 현장 모사 실험, 후속 공정

Keywords : Excavated soil, Controlled low strength material, Rapid setting, Field simulation test, Following process

1. 서론

유동성 채움재는 별도의 다짐공정이 필요로 하지 않기 때문에 협소한 공간에서 용이하게 적용 가능하며, 균질한 다짐도 및 충전성을 확보할 수 있어 하수관 및 구조물용 뒤채움재로 사용하고자 많은 연구가 수행되고 있다(Kim et al, 2019; Lee et al, 2018; Lee et al, 2011; Cheon 2005).

유동성 채움재를 사용하는 가장 큰 목적은 굴착폭 감소와 별도의 다짐공정이 요구되지 않기 때문에 공사비 및 인건비 감소, 균질한 다짐성 및 충전성 확보에 의의를 두고 있다. 하지만 후속공정 도입을 위한 요구강도 확보 기간이 장기간 소요된다면 공사기간 및 경제성 측면에서 불리하며 또한, 하수관의 경우 주로 도심을 관통하는 지중 구조물로서, 굴착 후 조기 후속공정을 도입하지 못한다면 교통체증 및 각종 민원 발생으로 인해 실용성이 저하되게 된다.

유동성 채움재의 상용화가 이루어진 일본 및 미국의 경우 정량

적인 기준치 및 시험방법, 다양한 경험을 통해 조기 후속공정 도입에 대한 기준이 제시되어 있다.

일본의 경우 유동성 채움재 타설 후 0.13MPa 이상의 압축강도를 확보할 때 후속 공정 도입을 위한 강도 발현이 되었다고 판단하여 조기 후속 공정 도입 및 교통개방 시기를 단축하고 있으며, 미국의 경우 ASTM에서 시험 방법 및 경험에 의한 기준치를 제시하고 있다. 또한, 일리노이주에서 유동성 채움재 타설 후 약 2~3시간 후 사람의 체중을 지지할 수 있는 강도를 확보하여 후속공정인 보조기층 및 아스팔트 포장을 실시한 사례가 있다(ACI 229R, 2005; ASTM D 6024, 2015; Sewerage Unpopularization Technology Utilization Guide 2009).

국내에서도 국외 사례 및 규정과 같이 유동성 채움재의 속경성을 확보하여 조기 후속공정이 도입된다면 교통체증 해소 및 공기 단축 등의 이점으로 유동성 채움재의 실용성이 향상될 것으로 판단된다.

* Corresponding author E-mail: alwayswork@kcl.re.kr

¹(재)한국건설생활환경시험연구원 대전·충남지원 선임연구원 (Daejeon & Chungnam Branch, Korea Conformity Laboratories, Daejeon, 34113, Korea)

²(재)한국건설생활환경시험연구원 내진센터 센터장 (Seismic Safety Center, Korea Conformity Laboratories, Ochang, 28115, Korea)

³(재)한국건설생활환경시험연구원 영남본부 본부장 (Yeongnam Division, Korea Conformity Laboratories, Daegu, 42994, Korea)

따라서 본 연구에서는 공사 시 발생하는 현장 굴착토를 활용한 하수관용 유동성 채움재의 실용화 기술개발의 일환으로 축진제 및 속경성 결합재를 적용한 CLSM의 공학적 특성 평가 및 현장모사 실험을 통하여 현장에서 사용 가능한 후속공정 개시기 평가방법의 유효성을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 굴착토를 활용한 유동성 채움재의 속경성 평가를 위해서 Table 1에 나타난 바와 같이 축진제 및 속경성 결합재를 적용하여 물리·역학적 특성 평가를 실시하고자 하였으며, 도출된 최적 배합비를 대상으로 실내에서 현장모사 평가를 실시하였다.

Table 1. Test plan

Test Step	Test Factors	Test Method
1 Series	accelerator(CSA, CA)	Flow, UCS, Bleeding
2 Series	CSA cement, CA cement(1, 2)	
3 Series	CSA cement	Kelly ball, Soil Penetration

2.2 유동성 채움재 요인별 배합 설계

본 연구에서는 굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 공학적 특성을 검토하기 위하여 축진제 종류 및 혼입률, 속경성 결합재의 종류 및 혼입률을 주요 실험인자로 선정하여 유동성을 충족시키는 배합비를 도출하기 위해 물-결합재비(W/B)를 수정하면서 최적 배합비를 도출하고자 하였다. 굴착토를 대상으로 한 속경성 유동성 채움재 배합 계획은 Table 2 및 Table 3에 나타난 것과 같다.

Table 2. Mix proportions of CLSM(accelerators)

W/B	Unit Weight(kg/m ³)			Accelerators(%)	
	W	OPC	S	CSA	CA
512.5	512.5	100	1098	-	-
				2.5	-
				7.5	-
				-	5.0
				-	7.5
500	500	100	1128	-	-
				-	5.0
475	475	100	1188	-	-
				-	5.0

Table 3. Mix proportions of CLSM(binders)

W/B	Unit Weight(kg/m ³)				
	W	S	Binder		
			CSA	CA-1	CA-2
500	500	1128	100	-	-
			-	100	-
			-	-	100
500	500	1128	-	110	-
			-	-	110
			-	110	-
475	523	1066	-	-	110
			-	120	-
450	540	1016	-	-	120
			-	120	-
425	510	1089	-	-	120
			-	-	120

2.3 사용재료

2.3.1 현장 굴착토

유동성 채움재의 주 사용재료인 굴착토 특성 분석을 위해 KS F 2324에 준하여 공학적 분류를 실시하였다. 굴착토의 대표성 확보를 위해 대상 부지에서 3 포인트 채취를 실시하였으며, 시료는 샘플 3종을 혼합하여 사용하였다. 굴착토의 분류 결과는 Table 4 및 Fig. 2에 나타난 것과 같이 점토질 모래(SC)로 분류되었으며, 분류 과정은 Fig. 1에 나타내었다.



Fig. 1. Excavated soil evaluation

Table 4. Test results of excavated soil

ID	LL (%)	PL (%)	PI	Density (g/cm ³)	Passing ratio (No.200)	USCS
Excavated Soil	30.9	22.0	8.9	2.407	29.7	SC

LL=Liquid Limit, PL=Plastic Limit, PI=Plasticity index

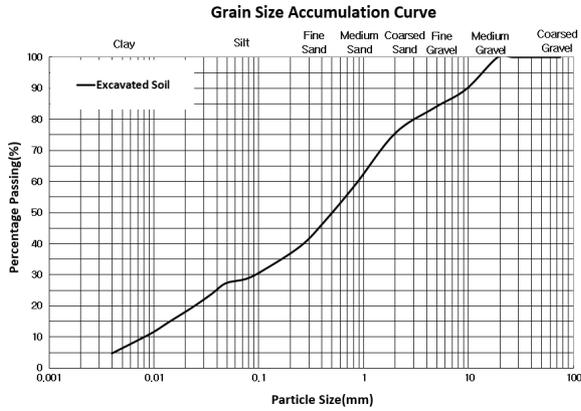


Fig. 2. Excavated soil particle distribution

2.3.2 촉진제

굴착토를 활용한 유동화 채움재의 공학적 특성을 검토하기 위해 사용된 분말형 촉진제는 국내에서 시판되고 있는 CSA계, CA계로 배합 시 외할로 사용하였으며, 촉진제의 화학적 특성은 Table 5에 나타난 것과 같다.

Table 5. Properties of accelerators

I.D	Blaine (cm ² /g)	Chemical compositions(%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃
CSA	4,310	6.0	13.7	0.2	37.5	40.3
CA	5,400	3.2	58.2	0.2	28.4	0.3

2.3.3 결합재

본 연구에서는 유동성 채움재의 속경성 확보를 위해 속경성 시멘트를 대상으로 유동성 채움재의 특성 검토를 실시하고자 하였으며, 이를 위해 사용된 CSA계 및 CA계 시멘트의 특성은 Table 6에 나타난 것과 같다.

Table 6. Properties of binders

I.D	Blaine (cm ² /g)	Chemical compositions(%)				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃
CSA	5,650	13.6	25.6	0.4	34.3	22.5
CA-1	5,700	12.2	25.6	0.4	35.0	23.7
CA-2	5,400	19.7	23.4	0.5	35.8	16.2

2.4 실험방법

2.4.1 유동성

본 연구에서는 현재 유동성 채움재의 유동성 평가방법으로 가

장 널리 사용되고 있는 ASTM D 6103 「Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM)」에 준하여 평가를 수행하였다.

2.4.2 재료분리 저항성

유동성 채움재는 고유동성의 확보를 위한 혼합수량의 증가로 사용재료간의 밀도차이에 따라 블리딩수(bleeding water) 및 재료분리가 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 유동성 채움재에 대한 블리딩 특성을 검토하고자 하였다.

블리딩 시험은 KS F 2433 「주입 모르타르의 블리딩률 및 팽창률 시험 방법」에 준하여 평가를 수행하였다. 또한 블리딩 시험은 유동성(200mm 이상)을 충족시키는 배합에 대하여 확인시험을 실시하였다.

2.4.3 일축압축강도

유동성 채움재의 일축압축강도 측정은 ASTM D 4832 「Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material(CLSM) Test Cylinders」에 준하여 실시하였다. 시험편은 높이와 지름의 비율이 2:1의 실린더 형태인 몰드를 사용하여 높이 100mm, 지름 50mm의 공시체를 제작하여 실험을 실시하였으며, 속경성 검토를 위해 재령 4시간 및 1일 압축강도와 재굴착성에 대한 검토를 위한 재령 28일 압축강도를 측정하였다. 측정장비로는 Zwick/Roell사의 50kN(분해능 0.01kN)의 만능재료시험기를 사용하였다.

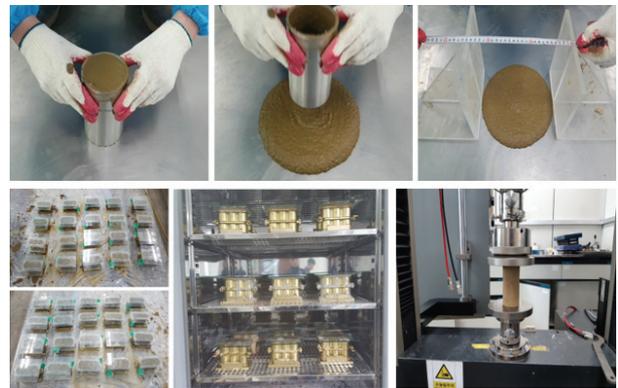


Fig. 3. Evaluation of CLSM characteristics

2.4.4 실내 현장 모사 실험

본 연구에서는 유동성 채움재의 타설 후 현장 모사 실험을 통한 후속공정 도입 시기를 검토하기 위해 1m×1m×10cm의 토조를 제

작하여 ASTM D 6024 「Standard Test Method for Ball Drop on Controlled Low Strength Material(CLSM) to Determine Suitability for Load Application」의 방법과 일본 「동경도 건설국 유동화 처리 토 품질기준」 및 「Sewerage Unpopularization Technology Utilization Guide」에 명시된 산중식 토양 경도계를 활용하여 속경성에 대한 검토를 실시하고자 하였다.

ASTM D 6024의 Kelly ball test는 반구를 일정한 높이에서 낙하시켰을 때 패임 자국이 75mm 이하, 산중식 토양경도계의 경우 아래에 나타난 일본의 토목연구소 제안식에 의해 0.13MPa 이상이 확보될 경우 후속공정 도입을 위한 경도가 확보되었다고 각각의 규정에서 명시하고 있다.

$$Y = 0.4014X^{1.7636} \quad (1)$$

Y : KPa
 X : Penetration resistance depth (mm)

따라서 본 연구에서는 유동성 채움재를 토조에 타설 후 1시간 후부터 경도에 대한 변화를 관찰하고자 하였다.



Fig. 4. Kelly ball drop and soil penetration equipment

3. 실험결과 및 분석

3.1 축진제 활용 유동성 채움재 특성 분석

3.1.1 유동성

현재 유동성 채움재의 유동성에 대한 품질 기준은 미국, 일본의 각종 표준 및 시방에 규정되어 있으며 본 연구에서는 ACI Committee Report 229에서 제시하고 있는 200mm 이상을 목표로 선정하였다.

현장 굴착토를 활용한 유동성 채움재의 속경성 확보를 위해 먼저 축진제를 대상으로 최적 배합비를 도출하고자 하였으며, CLSM의 충전성 및 self-leveling 특성 확보를 위한 유동특성을 분석하였으며 분석 결과는 Table 7에 나타난 것과 같다.

축진제의 혼입 조건에 따른 유동특성은 CSA의 경우 혼입률 증

Table 7. Test results of CLSM(accelerators)

W/B	Accelerators		Flow (mm)	Bleeding (%)	UCS (4 hour)	UCS (1 day)
	CSA	CA				
512.5	-	-	251.4	0.13	-	0.10
	2.5	-	248.6	0.21	-	0.13
	7.5	-	240.7	0.12	-	0.17
	-	5.0	253.8	-	-	0.11
500	-	7.5	199.4	-	-	-
	-	-	240.8	-	-	0.12
475	-	5.0	235.1	-	-	0.15
	-	-	204.0	-	-	0.16
475	-	5.0	192.5	-	-	0.17

가에 따른 유동 특성의 큰 변화는 관측되지 않았으나, CA 축진제의 경우 혼입 또는 혼입량의 증가에 따른 유동성이 감소되는 경향을 나타내어 CA 축진제의 7.5%의 혼입 조건에서는 목표 유동성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 축진제의 분말도의 차이 및 화학적 조성에 따른 급결 반응에 기인한 것으로 판단된다.

3.1.2 재료분리 저항성

유동성 채움재는 유동성 및 충전성 확보를 위해 많은 양의 배합수를 사용하기에 재료분리 저항성을 검토할 필요가 있다.

콘크리트용 혼화제를 사용한 유동성 채움재에 대한 재료분리 저항성을 검토한 결과는 Table 7에 나타난 것과 같이 모두 기준치 이하로 나타났으며, CA계 축진제를 사용한 경우 유동성 감소에 따라 블리딩 수는 발생하지 않는 것으로 나타났다.

3.1.3 일축압축강도

유동성 채움재는 별도의 다짐 공정이 요구되지 않으며, 압축 및 전단 하중을 받았을 때 변형과 파괴가 일어나지 않을 정도의 강도가 요구된다. 속경성을 확보하는 유동성 채움재의 경우 후속공정 도입을 위해 요구되는 강도는 미국의 경우 사람의 체중을 지지할 수 있을 정도의 강도 발현을 요구하고 있으며, 일본의 경우 0.13MPa 이상일 경우 후속 공정 도입이 가능한 것으로 보고되고 있다(ACI 229R, 2005; ASTM D 6024, 2015; Sewerage Unpopularization Technology Utilization Guide 2009).

따라서 본 연구에서는 재령 4시간 및 1일에 대한 일축압축강도 특성을 분석하여 속경성 확보 가능성을 검토하고자 하였으며, 검토 결과 Table 7 및 Fig. 5에 나타난 것과 같다.

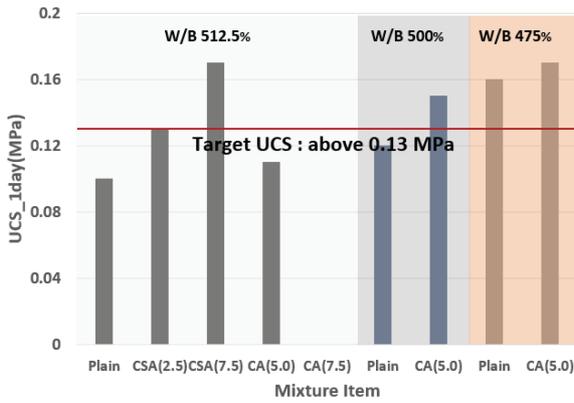


Fig. 5. Test results of UCS(1day)

측정결과를 검토해보면, 콘크리트용 혼화제의 사용에 따른 재령 4시간의 속경성은 확보할 수 없는 것으로 나타났으며, 재령 1일의 경우 W/B 512.5% 에서는 CSA 2.5~7.5%, W/B 500%의 경우 CA 5%에서 0.13MPa 이상을 확보함과 동시에 유동성을 충족시킬 수 있는 것으로 나타났다. W/B 475%의 경우 혼화제의 첨가 없이 재령 1일에서 0.16MPa를 확보하는 것으로 나타났으며, CA 촉진제를 첨가할 경우 강도는 증가되었으나, 유동성을 확보할 수 없는 것으로 나타났다.

따라서 굴착토를 활용한 유동성 채움재의 속경성 확보를 위해서는 결합재를 OPC에서 속경성 결합재로 대체할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2 속경성 결합재 활용 유동성 채움재 특성 분석

3.2.1 유동성

속경성 결합재를 활용한 유동성 채움재의 유동특성 분석을 위해 실험 변수로 속경성 결합재 종류 및 혼입조건을 선정하여 유동성을 평가하고자 하였으며 평가결과는 Fig. 6에 나타낸 것과 같다.

먼저 동일한 물-결합재비 조건에서는 CA-2의 결합재를 사용한 배합체에서 가장 낮은 유동성을 나타내었으며, CSA, CA-1의 순서로 유동성이 높게 나타남을 확인 할 수 있었다.

또한 CSA 및 CA-1의 결합재에서는 적용된 모든 배합비에서 유동성 목표치를 충족시키는 것으로 나타났으나, CA-2의 경우 W/B 425%에서 목표치 200mm를 충족시키지 못하는 것으로 확인 되었다.

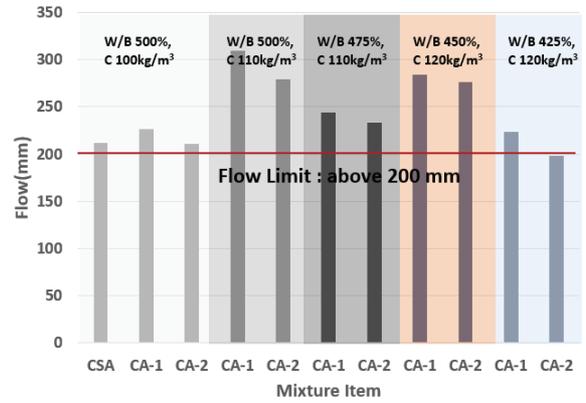


Fig. 6. Test results of flow test

3.2.2 재료분리 저항성

속경성 결합재를 적용한 유동성 채움재의 재료분리 저항성 측정을 위해 KS F 2433에 준하여 블리딩수를 측정하고자 하였으며, Table 8에 나타낸 것과 같이 모든 배합 경우에서 블리딩수는 발생되지 않는 것으로 확인되었다.

이와 같은 결과는 배합수와 결합재 반응의 속경성에 기인한 것으로 판단되며, OPC를 사용한 유동성 채움재 보다 상대적으로 유동성이 감소한 것과 같은 맥락으로 판단된다.

Table 8. Test results of CLSM(binders)

W/B	Binder			Flow (mm)	Bleeding (%)	UCS(MPa)		
	CSA	CA-1	CA-2			4hour	1day	28day
500	100	-	-	211.5	-	0.25	0.33	0.52
	-	100	-	226.5	-	0.13	0.36	0.79
	-	-	100	210.7	-	-	0.11	0.38
500	-	110	-	309.5	-	0.09	0.33	0.71
	-	-	110	279.2	-	-	0.08	0.44
475	-	110	-	244.5	-	0.11	0.36	0.81
	-	-	110	233.5	-	-	0.11	0.56
450	-	120	-	283.7	-	0.12	0.48	1.25
	-	-	120	276.5	-	-	0.11	0.77
425	-	120	-	223.0	-	0.17	0.56	0.99
	-	-	120	198.5	-	-	0.15	0.67

3.2.3 일축압축강도

유동성 채움재의 속경성 확보를 검토하기 위해 재령 4시간, 1일에 대하여 압축강도를 평가하였으며, 재굴착 강도 확보 여부에 대한 검토를 위해 재령 28일에 대한 강도 특성 평가를 실시하였다.

먼저 재령 4시간에 대한 압축강도 특성 평가 결과 W/B 500%

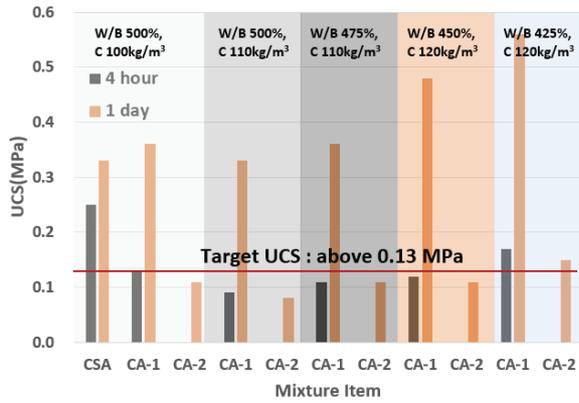


Fig. 7. Test results of UCS(4hour, 1day)

및 단위결합재량 100kg/m³의 조건에서는 CSA와 CA-1의 결합재를 사용한 경우 0.25MPa 및 0.13MPa의 강도를 발현하여, CSA의 경우 CA-1 대비 192% 높은 강도를 확보하는 것으로 확인되었다. CA-1 및 CA-2의 결합재에 대해서는 W/B 와 단위결합재량 변화에 따른 속경성을 추가적으로 검토하였으며, 평가 결과 CA-1결합재의 경우 W/B 425% 및 단위결합재량 120kg/m³의 조건에서 재령 4시간에서 0.17MPa의 강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

속경성 결합재를 활용한 유동성 채움재의 재령 1일 강도 특성은 CSA의 경우 0.33MPa, CA-1의 경우 배합 조건에 따라 0.33~0.56MPa의 강도 특성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 CA-2의 결합재를 적용한 유동성 채움재의 경우 유동성 목표치를 충족시키는 조건에서는 재령 1일에서도 목표 강도인 0.13MPa를 확보하지 못하는 것으로 확인되었다.

재굴착성 확보에 대한 검토로 재령 28일에 대한 압축강도 특성 평가 결과 모든 배합 조건에서 1.4MPa 이하를 충족시키는 것으로 나타났으며, 재령 4시간에서 가장 높은 강도를 발현하였던 CSA의 경우 0.52MPa로 CA-1보다 같은 배합조건에서 오히려 낮은 강도 특성을 발현하는 것으로 확인되었다.

이와 같은 결과는 CSA의 경우 CA-1보다 상대적으로 빠른 수화 반응에 의해 시멘트 화합물의 C-S-H겔 형성이 충분히 형성되지 못한 것에 기인한 것으로 판단되나, 유동성 채움재의 경우 고강도 발현을 요구하지 않기 때문에 별도의 응결 조절제 사용 없이 속경성 유동성 채움재 사용에 적합한 것으로 판단된다.

3.3 실내 현장 모사 실험

속경성 결합재를 활용한 유동성 채움재의 후속공정 개시기 평가의 일환으로 현장 경화도 측정 방법인 ASTM D 6024의 Kelly

ball drop test와 일본 동경도 건설국에서 사용하고 있는 Soil penetration test를 Fig. 8에 나타낸 것과 같이 1m×1m×10cm의 토조를 제작하여 시간 경과에 따른 경도를 평가하고자 하였다. 평가대상으로는 재령 4시간에서 가장 높은 강도 특성을 발현하는 CSA 결합재 100kg/m³ 및 W/B 500%를 적용한 배합비에 대해서 평가를 실시하였다.

실내 현장 모사 실험 조건으로는 20℃, 60% R.H.의 환경조건에서 타설 후 1시간부터 30분 간격으로 측정을 실시하였으며, 평가 결과는 Table 9 및 Fig. 9에 나타낸 것과 같다.

평가결과를 고찰해보면 타설 후 시간 경과에 따라 Kelly ball의 경우 낙하에 의한 패임 자국의 직경이 감소하는 것으로 나타났으며, 산중식 토양경도계의 경우 시간 경과에 따라 경도계 관입 저항치가 증가하는 것으로 확인되었다.

Kelly ball 낙하시험의 경우 미국 ASTM에서 경험에 근거하여 75mm의 패임자국이 발생할 경우 후속공정 도입이 가능한 것으로

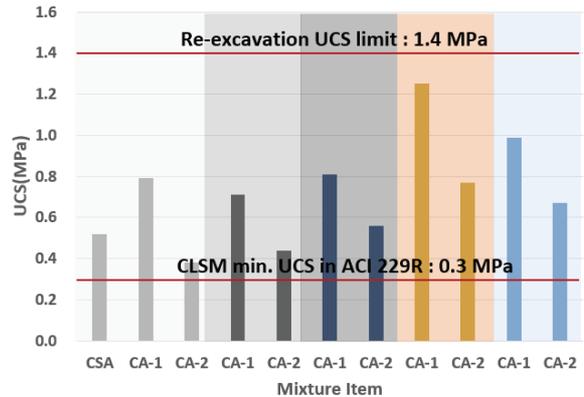


Fig. 8. Test results of UCS(28day)



Fig. 9. Non-destructive test in lab

Table 9. Test Results of field simulation test

Elapsed time (min)	Kelly ball indentation(mm)	Soil penetration depth(mm)
60	90	20
90	86	25
120	80	26
150	78	26
180	75	27
210	71	27
240	70	29
270	69	29
300	62	30

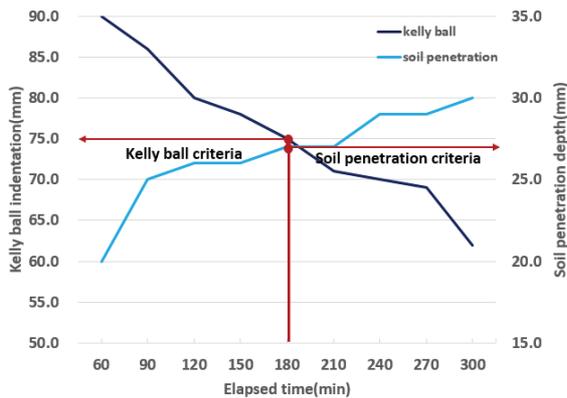


Fig. 10. Field simulation test results comparison

제시하고 있으며, 본 연구에서 실내 현장 모사실험에 Kelly ball 낙하 시험을 실시한 결과 타설 후 180분에서 75mm를 충족하는 것으로 나타났다.

산중식 토양 경도계의 경우 관입 저항치가 27mm일 경우 일본 토목연구소 제안식에 의해 0.13MPa를 충족시키는 것으로 확인되었으며, 본 연구에서 타설 후 시간 경과에 따른 관입 측정결과 타설 후 약 180분에서 27mm의 관입 저항치를 확보하는 것으로 나타났다.

재령 4시간에서 산중식 토양 경도계의 관입저항치는 29mm로 측정되어 식(1)에 의해 0.15MPa의 압축강도로 환산되며, 일축압축 강도 0.25MPa 보다 0.1MPa 낮은 결과를 나타내었다. 산중식 토양 경도계를 활용한 변환식은 경험치를 활용한 것으로 실제 일축압축 강도 측정결과와 다소 차이가 있는 것으로 판단된다.

Fig. 9에 비교 분석한 결과를 나타낸 것과 같이 2가지 방법의 결과는 후속공정 도입시기에 대하여 동일한 결과를 나타내어 타설 후 180분에서 후속공정 도입이 가능한 것으로 나타났다.

앞서 동일한 배합조건에서 일축압축강도를 평가하였을 경우 재령 4시간에서 0.25MPa를 발현하는 것으로 확인되었으며, 현장에서 경화도를 측정하기 위한 Kelly ball 낙하 시험과 산중식 토양경도계의 경우 타설 후 3시간에서 후속공정 도입이 가능한 기준치를 확보하는 것으로 나타나 Kelly ball 낙하 시험 및 산중식 토양경도계의 평가방법이 유효하다는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 종합해본다면 본 연구에서 적용된 배합 조건은 타설 후 3~4시간 후 후속공정 도입이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 유동성, 재료분리 저항성, 후속공정 도입을 위한 조기강도 및 재굴착강도 등의 공학적 특성과 현장모사 실험을 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 물리·역학적 특성 평가를 위해 현장에서 채취한 토사를 대상으로 특성분석을 실시한 결과 점토질모래(SC)로 분류되었다.
2. 굴착토를 활용한 유동성 채움재의 속경성 확보 검토를 위해 촉진제를 적용한 결과 재령 4시간에서 후속공정 개시기 도입을 위한 압축강도 0.13MPa를 확보하지 못하는 것으로 나타났다.
3. 유동성 채움재의 속경성 확보를 위해 국내에서 시판되고 있는 속경성 결합재를 대상으로 W/B, 단위결합재량을 변수로 배합 및 물리·역학적 특성을 평가한 결과 CSA 결합재 및 CA-1 결합재의 경우 W/B 500% 및 단위 결합재량 100kg/m³의 조건에서 유동성, 재료분리 저항성, 재령 4시간 강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
4. CA-2 결합재의 경우 단위결합재량 100~120kg/m³의 범위에서 유동성과 재령 4시간의 강도 목표치를 동시에 충족시키는 결론은 도출되지 않았으며, 재령 1일에서 목표 강도를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.
5. 압축강도 평가 결과 속경성 발현이 우수한 CSA 결합재를 대상으로 실내에서 현장 모사 실험을 실시하였으며, 평가항목으로는 ASTM D 6024에서 규정하고 있는 Kelly ball 낙하 시험 및 일본 동경도 건설국에서 사용하는 산중식 토양경도계를 사용하여 시간 경과에 따른 경도 평가를 실시하였다. 평가 결과 kelly ball 낙하시험과 산중식 토양경도계 모두 타설 후 약 3시간 경과 후에 후속 공정 도입을 위한 기준치를 각각 충족하는 것으로 나타났다.

6. 이상으로 굴착토를 활용한 유동성 채움재의 후속공정 도입을 위한 속경성 평가를 실시한 결과 압축강도와 현장에서 사용 가능한 평가 방법의 결과는 다소 차이가 있는 것으로 확인되었으나, 일정부분 상관성이 있는 것으로 도출되었으며, 현장실험을 통해 후속공정 도입시기를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(No. 2016000700001).

References

ACI 229R (2005). Controlled Low-Strength Materials, ACI Committee 229, USA.
 ASTM D 4832 (2002). Standard Test Method for Preparation and Testing of Controlled Low Strength Material(CLSM) Test Cylinders, American Society for Testing Materials, USA.
 ASTM D 6024 (2015). Standard Test Method for Ball Drop on Controlled Low Strength Material(CLSM) to Determine Suitability for Load Application, American Society for Testing Materials, USA.

ASTM D 6103 (2004). Standard Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material(CLSM), American Society for Testing Materials, USA.
 Cheon, S.H. (2005). Characteristics of Accelerated Flowable Backfill Materials using Surplus Soil for Underground Power Utilities, Master’s Thesis, Yonsei University, Korea [in Korean].
 Kim, Y.W., Lee, B.C., Jung, S.H. (2019). Field applicability assessment of controlled low strength material for sewer pipe using excavated soil, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **7(4)**, 349–357 [in Korean].
 KS F 2324 (2016). Standard Method of Classification of Soils for Engineering Purposes, Korea Standard Association [in Korean].
 KS F 2433 (2018) Standard Test Method for Bleeding and Expansion Ratios of Grouting Mortar, Korea Standard Association [in Korean].
 Lee, J., Kim, Y.W., Lee, B.C., Jung, S.H. (2018). Engineering properties of controlled low strength material for sewer pipe by standard soil classification, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **6(3)**, 182–189 [in Korean].
 Lee, K.H., Kim, S.K. (2011). Backfill materials for underground facility with recycling materials—quantification of design parameters, Korean Society of Hazzard Mitigation, **11(3)**, 91–96 [in Korean].
 Quality Standard for Liquidated Land Treated by the Sonstruction Bureau of Tokyo (2009). Japan.
 Ryu, Y.S., Han, J., Chae, W.R., Koo, J.S., Lee, D.Y. (2015). Development of rapid hardening backfill material for reducing ground subsidence, Journal of Korean Geosynthetics Society, **14(3)**, 13–20 [in Korean].
 Sewerage Unpopularization Technology Utilization Guide (2009), Japan.

굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 공학적 특성 평가

본 연구에서는 현장 굴착토를 활용한 속경성 유동성 채움재의 배합요인별 유동성, 재료분리 저항성, 재령별 압축강도 등의 공학적 특성을 검토하여 속경성을 발현하는 배합비 및 결합재 조건을 도출하였으며, 이를 토대로 현장 모사 실험을 실시하여 현장에서 적용 가능한 후속공정 개시기 검토 방법의 유효성을 검토하고자 하였다. Kelly ball 낙하시험과 산중식 토양 경도계의 평가결과 유동성 채움재의 후속공정 개시기 확보 가능한 시간은 동일하게 약 3시간으로 나타났으며, 일축압축강도 시험의 결과와 비교하였을 때 Kelly ball 낙하 시험 및 산중식 토양경도계의 현장 적용성에 대한 유효성을 확인할 수 있었다.