

이산화탄소 포집광물을 활용한 심층혼합처리용 Soil-Cement의 품질 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Quality Characteristics of Soil-Cement for Deep Mixing Method Using Carbon Capture Minerals(CCM)

정우용¹ · 주향종² · 오성록^{3*} · 최연왕⁴

Woo-Yong Jung¹ · Hyang-Jong Ju² · Sung-Rok Oh^{3*} · Yun-Wang Choi⁴

(Received November 13, 2019 / Revised March 27, 2020 / Accepted May 5, 2020)

In this study, the optimum ratio of soil-cement was derived to utilize carbon capture minerals(CCM) as soil-cement for deep mixing method, quality characteristics of soil-cement mixed with carbon capture minerals were evaluated. The CCM is generated in the form of a slurry, and as a result of evaluating water content, it was found to be about 50%. Accordingly, the water content of CCM was removed in the unit water of Soil-cement mix. As a result of field mixing of soil-cement using CCM on field soil, it showed that the design allowable bearing capacity was satisfied by showing 3.0MPa or more as of 28 days of age. As a result of the hazard verification of carbon capture minerals, 0.055mg/L of Cu was detected, but satisfies the acceptance criteria, and no other harmful substances were eluted.

키워드 : 이산화탄소, 이산화탄소 포집광물, 흙-시멘트, 품질 특성, 심층혼합처리

Keywords : CO₂, Carbon capture minerals, Soil-cement, Quality characteristics, Deep mixing method

1. 서론

산업화로 인한 온실가스 배출 증가는 지구 지표 온도 증가, 해수면 상승, 이상기후 발생 등과 같은 기상이변을 초래하고 있다. '기후변화에 관한 정부 간 패널'(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 보고서에 따르면 1880-2012년까지의 기간 동안 0.85℃의 지구 표면 온난화가 나타났고, 해양 상층부의 75m 에서는 1971-2010년에 10년 당 0.11℃가 상승했다(Ko et al, 2019). 북극의 연평균 해양빙(sea-ice) 면적은 1979-2012년 기간 동안 10년당 3.5-4.1% 범위의 속도로 감소해왔다(Ko et al, 2019). 전 지구적 이상기후로 막대한 경제적 피해가 초래될 가능성 또한 예고되는데, 기상이변에 따른 경제적 피해는 2100년까지 세계

GDP의 5~20%에 달할 것으로 보고된다. 온실가스 배출량에서 이산화탄소는 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 화석연료 소모, 시멘트 및 철강 산업 등에서 대부분의 이산화탄소가 배출이 되고 있다(United Nations Environment Program Korea, 2002). 한편 건설 분야에서 주로 사용 중인 시멘트는 클링커 제조 시 고온(약 1500℃)상태에서 제조됨으로써 이 과정에서 시멘트 1톤을 생산하는데 0.7~1.0톤의 이산화탄소를 배출하여 전 세계 온실가스 배출량의 7~8%를 차지할 정도로 심각한 실정이다(Oh 2009). 우리나라에서 시멘트 생산량은 연간 약 6,300만 톤으로 약 5,670만 톤의 이산화탄소를 배출하여 철강산업에 이어 두 번째로 많이 배출하고 있다.

IEA 에너지 기술전망에 따르면 2012년 기준 전 세계 이산화탄

* Corresponding author E-mail: cgdb02@nate.com

¹뉴저스트 연구개발팀 연구소장 (Team of Research and Development, Research Director, Newjust, 55, Hanyangdaehak-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15588, Korea)

²철성건설 영업팀 부장 (Team of Sales, Director, Chilsung Construction, 13, Nambusunhwan-ro 355-gil, Gangnam-gu, Seoul, 06267, Korea)

³세명대학교 건설공학부 공학박사 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

⁴세명대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Semyung University, Jecheon, 27136, Korea)

소 배출량의 2/3가 에너지 분야에서 발생하여 청정에너지 기술개발이 핵심이며, 단기적으로 에너지원 대체 및 효율개선 기술 도입이 최우선 되어야 한다. 장기적으로는 대규모이산화탄소 포집기술(Carbon Capture&Storage, 이하 CCS로 약함) 실증이 필요한 상황이다(Park 2009). 그러나 대규모 CCS 기술의 경우, 플랜트 운영을 위한 투자비가 높으며, 운영비 증가에 따른 발전단가 상승 및 이산화탄소 저장소의 장기 안전성 등 다양한 문제가 발생할 수 있어 다소 늦어지고 있는 실정이다(Lee 2015). 이에 따라 최근 CCS 기술의 단점을 보완한 이산화탄소 활용기술(Carbon Capture&Utilization, 이하 CCU로 약함) 개발에 대한 중요성이 부각되고 있다(Kwon 2016). CCS 기술과 비교하여 CCU 기술의 특징은 종래 CCS 기술이 이산화탄소 저감을 위한 포집공정과 처리를 위한 수송, 압축 및 저장 공정 등이 필요한 반면, CCU 기술은 연소 배가스 중의 이산화탄소를 산업적인 용도로 직접 활용하기 때문에 CCS 기술에서와 같은 저장을 위한 일련의 공정이 불필요하다는 점이 장점이다(Lee 2017). CCU 기술을 통하여 포집된 이산화탄소를 유용한 자원으로 재활용이 가능하고 관련 분야 연구가 활발히 진행되고 있다(Baek 2016; Sim 2016; Kim and Park 2017). CCU 기술을 활용한 이산화탄소 포집광물은 CaO를 물에 혼합하여 용해시킨 뒤 폭기조를 통하여 배출되는 발전소 배출가스의 이산화탄소와 반응시켜 침강성 탄산칼슘이 생성되며, 슬러리 형태의 부산물로서 배출된다. 일반적으로 침강성 탄산칼슘은 비표면적이 10,000cm²/g 이상으로 경질 탄산칼슘보다 비표면적이 높아 시멘트용 충전재료의 활용 가치가 우수할 것으로 분석되고 있다. 또한 점차 대규모로 발생될 경우 처리방안이 없는 실정이기 때문에 이

에 대한 해결이 요구되고 있는 실정이다(Daewoo E&C 2017). 따라서 본 연구에서는 배출 가스 저감 기술인 CCU 기술을 활용해서 포집한 부산물인 이산화탄소 포집광물을 건설재료로 재활용하기 위하여 연약지반 개량을 위한 심층혼합처리용 Soil-Cement로 활용하고자 하였다. 본 연구결과를 통하여 이산화탄소를 영구히 저장하는 동시에 기존 연약지반 개량제의 사용량을 절약하여 직·간접적인 이산화탄소 발생량을 감축시키고 건설시장의 경제성도 확보할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 이산화탄소 포집광물을 활용한 심층혼합처리용 Soil-Cement의 품질 특성을 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 결합재

본 연구에 사용된 결합재는 보통포틀랜드시멘트(이하, OPC로 약함)와 고로슬래그미분말(이하, GGBF로 약함), 플라이애시(이하, FA로 약함) 및 탈황석고(이하, HE로 약함)를 사용하였다. 이산화탄소 포집광물(Carbon Capture Minerals, 이하, CCM로 약함) CCU 기술을 통하여 포집된 슬러리 상태의 침강성 탄산칼슘을 원상태 그대로 활용하였다(Daewoo E&C 2017). 또한 성능비교를 위하여 국내 주요 8개사의 Soil-cement를 입수하여 비교분석을 실시하였다. 사용된 각 분체의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition and physical properties of binders used in the experiment

Type	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	L.O.I (%)	Density (g/cm ³)	Specific surface area(cm ² /g)	
CCM	0.67	0.39	0.51	95.69	1.76	0.17	42.9	2.51	12,239	
OPC	21.60	6.00	3.10	61.40	3.40	2.50	0.03	3.15	3,540	
GGBF	33.33	15.34	0.44	42.12	5.70	2.08	3.00	2.90	4,160	
FA	58.20	26.28	7.43	6.51	1.10	0.30	3.20	2.18	3,550	
HE	3.65	1.39	0.52	64.50	1.43	22.40	2.75	2.97	3,970	
Soil-Cement	A	30.29	12.34	2.83	39.32	4.32	2.83	2.52	2.94	3,850
	B	11.36	16.49	22.06	34.30	5.57	0.15	1.89	2.78	3,742
	C	6.30	0.16	0.36	55.53	0.98	28.22	2.94	2.91	3,988
	D	4.69	0.15	0.43	56.87	0.91	31.92	4.87	2.64	4,022
	E	28.04	11.57	3.04	41.82	4.10	4.06	0.98	3.07	3,549
	F	27.43	11.47	3.46	41.55	3.80	5.19	2.63	2.93	3,802
	G	7.90	0.17	0.29	54.18	1.05	24.52	3.98	2.57	3,952

Table 2. Physical properties of the soil used in the experiment

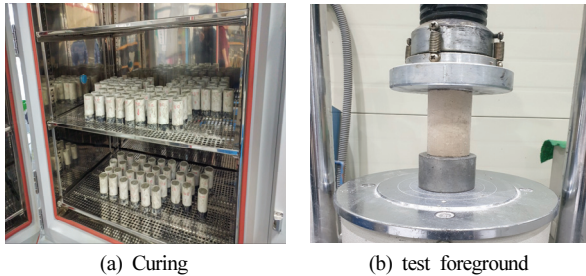
Sampling place of soil	Passing rate ¹⁾ (%)	Liquid limit (LL, %)	Plastic limit (PL, %)	Plastic index (PI)	Water content (%)	USCS ²⁾
Clay soil ³⁾	73.0	29.1	21.6	7.5	18.4	ML ⁵⁾
Sandy soil ⁴⁾	39.25	20.42	NP	-	27.79	SM ⁶⁾

¹⁾ Passing rate of standard sieve of #200(%)
²⁾ USCS : Unified soil classification system
³⁾ Clay soil : Songdo, Incheon ⁴⁾ Sandy soil : Yongin, Gyeonggi-do
⁵⁾ ML : Low Plastic Silt ⁶⁾ SM : silty sand



(a) Clay soil(ML) (b) Sandy soil(SM)

Fig. 1. Field soil used in the experiment



(a) Curing (b) test foreground

Fig. 2. Test specimen of soil-cement with field soil

2.1.2 토양

본 실험에 사용된 토양은 점성토(인천 송도 지역 해상점토) 및 사질토(경기도 용인 지역 육상토)를 채취하여 사용하였다. 사용된 각 토양의 물리적 성질은 Table 2와 같으며, Fig. 1은 실험에 사용된 각 토양을 나타낸 것이다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험계획 및 배합

본 연구에서는 CCM을 활용한 Soil-cement 품질특성을 평가하기 위하여 문헌 및 기존 실험 자료(Kim 2007; Nam 2012; Yun 2017; Yoo 2011; American Concrete Institute Committee 229 2002)를 바탕으로 OPC 사용비율을 20 및 30%로 결정하였다.

Table 3. Experiment plan and method

Experiment plan	Contents
Powder composition ratio selection of soil-cement	Comparison of Physical and Mechanical Performance of Seven Commercial Soil Enhancers
Determination of the optimal mixing rate of the CCM	Selection of optimum mixing rate according to change of mixing rate (6 levels)
Mechanical Evaluation of Field Soils	Mechanical performance evaluation of soil-cement mixed with CCM for field soil

Table 4. Composition ratio of soil-cement

Type	OPC (%)	GGBF (%)	FA (%)	HE (%)
No.1	20	60	0	20
No.2	20	60	10	10
No.3	20	60	20	0
No.4	30	50	0	20
No.5	30	50	10	10
No.6	30	50	20	0

Table 3은 실험계획 및 방법을 나타낸 것이며, Table 4는 CCM을 활용하기 위해 기반이 되는 Soil-cement의 조성비 선정을 위한 배합표를 나타낸 것이다. CCM을 혼합하기 위한 기본 Soil-cement의 배합도출을 위하여 W/B 55%의 페이스트를 제조하여 배합을 선정하였다. 선정된 배합을 대상으로 CCM 혼합률을 선정하였으며, 최종적으로 현장토를 대상으로 CCM 활용 Soil-cement의 품질특성을 평가하였다. 현장토를 활용한 현장배합의 경우 작업성 및 현장토의 불규칙한 함수 비를 고려하여 W/B 를 100%로 결정하였으며, 분체-현장토 비를 13, 15 및 17%로 결정하였다.

분체-현장토 비의 선정은 일반적으로 연약지반 개량의 목적으로 적용되는 심층혼합처리용 Soil-cement의 배합비의 경우 현장 토 단위중량 1.6~1.8t/m³을 기준으로 분체 사용량은 11%~20%내 외에서 결정되는 점을 고려하여 CCM 활용을 위한 범위를 자체적으로 설정하였다. 또한 CCM의 활용에 따른 현장토의 종류에 따른 영향을 평가하기 위하여 동일 배합비를 기준으로 현장토 2수준(점토(Clay soil(ML)) 및 사질토(Sandy soil(SM))에 대한 품질특성을 평가하였다. Table 5는 CCM 활용 Soil-cement의 현장토 배합표를 나타낸 것이다.

Table 5. Mix table of soil-cement with CCM

(Unit : kg/m³)

Type	Field soils	Soil-cement	CCM	Unit mass
13-0	ML	1,249	164	0
13-5		1,248	156	8(5%)
13-10		1,248	148	16(10%)
15-0		1,199	187	0
15-5		1,199	178	9(5%)
15-10		1,198	168	19(10%)
17-0		1,175	198	0
17-5		1,175	188	10(5%)
17-10		1,174	178	20(10%)
13-0		SM	1,249	164
13-5	1,248		156	8(5%)
13-10	1,248		148	16(10%)
15-0	1,199		187	0
15-5	1,199		178	9(5%)
15-10	1,198		168	19(10%)
17-0	1,175		198	0
17-5	1,175		188	10(5%)
17-10	1,174		178	20(10%)

Table 6. The condition of official wastes test method

Item	Official wastes test method
Sample preparation	0.05 ~ 5mm(crushed material)
Preparation of eluate	Pure+HCl (pH=5.8 ~ 6.3)
Solid / liquid ratio	Sample (g): Eluent (ml) = 1:10
Elution time	6 hour
Dissolution	- Horizontal shaking (about 200 times / minute) - Shaking width 4 ~ 5cm, normal temperature, normal pressure
Preparation of sample solution	Filtration with glass fiber filter paper (1 μm)
Application standards	Comparison with soil environmental standards

으며, 낙하 후 퍼짐이 멈추었을 때 중심을 지나는 대각선 3방향의 지름을 측정하여 그 평균값을 테이블 플로 값으로 하였다.

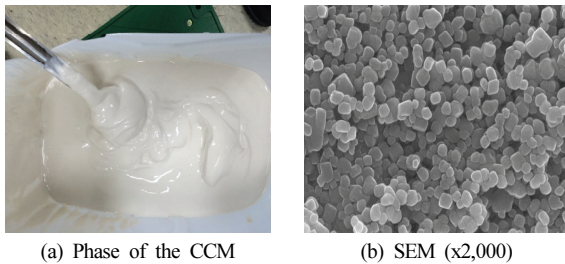


Fig. 3. Type of the CCM

2.2.2 CCM 함수량

CCM은 침강성 탄산칼슘으로 슬러리 형태로 발생되어 다량의 물을 포함하고 있기 때문에 이를 Soil-cement로 활용하기 위해서는 함수량 관리가 품질관리에 있어서 중요한 요소이다. 따라서 CCM의 함수율을 측정한 결과, CCM의 함수율은 약 50%인 것으로 나타났다. 이에 따라 슬러리 상태의 CCM은 Soil-cement에 혼합 시 CCM의 함수량 만큼 배합수에서 제한 후 배합을 실시하였다. Fig. 3은 CCM의 상 및 SEM분석을 통한 입자형태를 나타낸 것이다.

2.2.3 플로우

플로우는 KS L 5111에 규정되어 있는 플로 테이블 및 플로 틀을 이용하여 KS L 5105의 플로의 결정 방법에 준하여 15초동안 25회, 12.7mm의 높이로 낙하시키는 방법으로 테이블플로우를 측정하였

2.2.4 압축강도

압축강도는 KS L 5105에 준하여 50×50×50mm의 공시체를 제조하였으며, CCM 및 현장토를 포함한 Soil-cement의 압축강도를 측정하기 위하여 'KS F 2328 : 흙 시멘트의 압축강도 시험' 및 'KS F 232 : 흙 시멘트의 공시체 제작 및 양생하는 방법'에 준하여 공시체의 지름 70mm, 높이 140mm로 높이가 지름의 2배가 되는 조건으로 제작하여 양생 조건에 맞게 실시하였다. 압축강도 시험은 재령 3일 7일 및 28일에 각각 시편 3개씩 측정하여 평균값으로 산정하였다.

2.2.5 유해성 검증

CCM 활용 Soil-cement의 유해성 검증을 위해 '폐기물공정시험 : 2017' 기준에 의거하여 중금속 용출시험을 수행하였다. Table 6은 폐기물공정시험방법의 조건을 나타낸 것이며, 10가지 항목 (Cd, Cu, Pb, Cr⁶⁺, CN, Hg, As, Organophosphorus compounds, Oil components, Trichloroethylene(TCE), Tetrafluoroethylene (PCE))에 대하여 검증을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 CCM 활용을 위한 Soil-cement의 조성비

Fig. 4는 Table 4에서 제시한 Soil-cement 조성비 조건으로 혼합된 배합의 재령 3일, 7일 및 28일 압축강도 측정결과를 나타낸

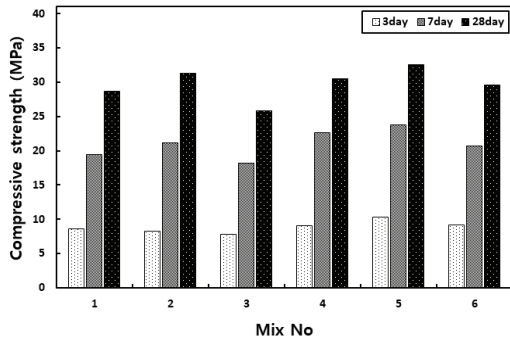


Fig. 4. Compressive strength for optimal composition ratio

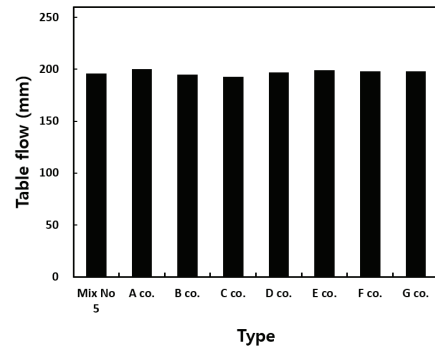


Fig. 6. Table flow of No. 5

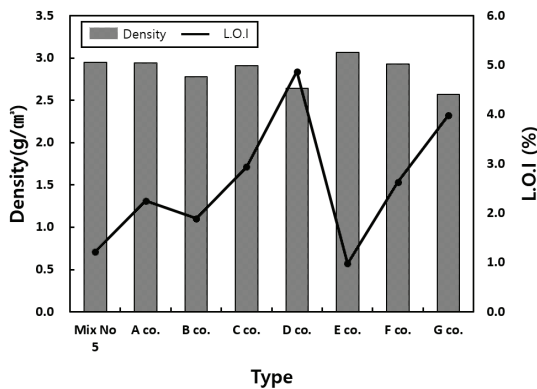


Fig. 5. Density and loss of ignition of No. 5

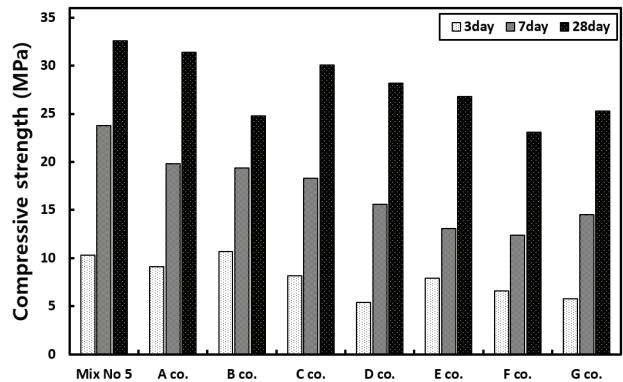


Fig. 7. Compressive strength of No. 5

것이다. Fig. 4의 결과 No. 5의 재령 28일 압축강도는 32.6MPa으로 가장 높게 나타났다. 이러한 원인은 No. 1~3과 비교하여 높은 OPC 사용량과 GGBF, FA 및 HE의 조성비가 1차 수화반응 이후 생성된 수화반응물질과 2차반응 조건에 적합하기 때문에 강도발현 측면에 있어서 유리한 조건이 된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 No. 5의 조성비를 기본 배합으로 선정하여 국내 주요 7개사의 상용화된 Soil-cement와 성능을 비교분석 하였다.

Fig. 5, 6 및 7은 No. 5에 대하여 국내 주요 7개사의 Soil-cement를 대상으로 밀도, 강열감량, 플로우 및 압축강도를 비교 분석한 그래프이다. Fig. 5의 결과 Mix No. 5의 밀도는 E사 다음으로 큰 경향이 나타났으며, 강열감량은 E사의 경우 0.98%로 가장 낮은 결과를 나타냈다. Mix No. 5는 1.22%로 나타났다. 이러한 결과는 강열에 연소되는 물질인 수분, 탄소, 황등의 혼합률이 가장 낮음을 말하며, 이를 요인으로 한 품질변동 확률이 크지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 6의 결과 플로우는 모두 200mm 내외로 유사한 경향으로 나타났으며, Fig. 7의 결과 압축 강도는 No. 5의 경우 32.6MPa로 나타남에 따라 타사의 압축강도와 비교하여 상대적으로 높은 경향이 나타났다.

3.2 CCM 활용 Soil-cement의 품질특성

현장토를 활용한 Soil-cement는 지반 개량 장비의 작업성 및 현장토의 불규칙한 함수비를 고려하여 W/B를 100%로 결정하였으며, 분체-현장토 비를 13, 15, 17%의 비율로 현장토와 배합을 수행하였다. Fig. 8은 점성토에 대하여 CCM 활용 Soil-cement의 압축강도 결과를 나타낸 것이다. Fig. 8의 결과 CCM의 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 CCM의 경우 미반응성 분체에 해당되기 때문에 CCM 증가에 따라 결합체의 감소로 강도가 저가하는 경향이 있는 것으로 판단된다. CCM 혼입률 증가에 따른 압축강도의 감소는 CCM 5% 증가시 약 5%의 압축강도가 감소되었으며, 10% 증가시 약 30%의 압축강도가 감소하는 경향이 나타났다.

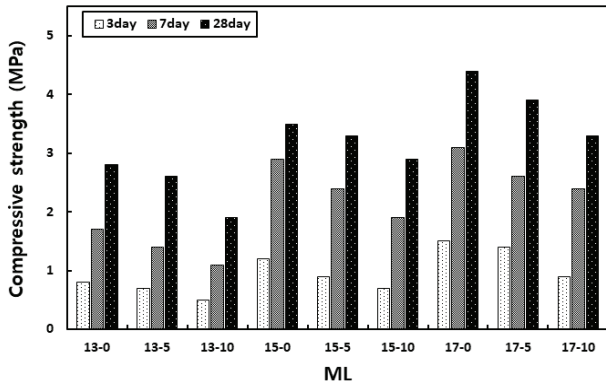


Fig. 8. Compressive strength of soil-cement using CCM mixed with clay(ML)

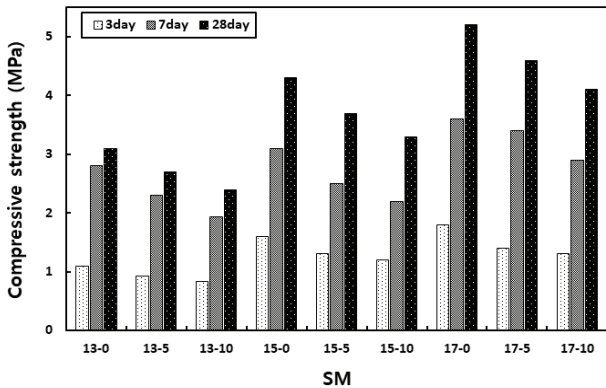


Fig. 9. Compressive strength of soil-cement using CCM mixed with sandy soil(SM)

Fig. 9는 사질토에 대하여 CCM 활용 Soil-cement의 압축강도 결과를 나타낸 것이다. Fig. 9의 결과 Fig. 8의 점성토 조건의 결과와 동일한 경향이 나타났으며, CCM의 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향이 나타났다. 그러나 사질토 조건이 점성토 조건과 비교하여 전반적으로 압축강도 결과 값이 커지는 경향이 나타났다. 이러한 결과는 현장토의 토질의 물리적 특성으로 인한 영향인 것으로 판단된다. 이러한 결과를 통하여 목표 강도인 3MPa 이상을 만족하는 분체-현장토 비는 사질토 및 점성토의 경우 15% 이상일 경우 만족할 수 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 CCM 혼입에 따라 압축강도가 감소하는 경향이 나타나지만 CCM 혼입률을 증가시키기 위해서는 분체-현장토 비를 더욱 증가시킬 경우 CCM 혼입량을 10% 이상으로 혼입 할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 분체-현장토 비 증가에 따른 CCM 혼입량 증가의 효과는 분체-현장토 비 증가에 따른 경제성 감소와 더불어 함께 검토할 필요가 있을 것으로 판단되며, 현장조건에 적합하도록 목표 성능

Table 7. Dissolution test result

Type	Allow criteria	Result
Cd	0.3 (mg/L)	non.
Cu	3.0 (mg/L)	0.055
Pb	3.0 (mg/L)	non.
Cr ⁶⁺	1.5 (mg/L)	non.
CN	1.0 (mg/L)	non.
Hg	0.005 (mg/L)	non.
As	1.5 (mg/L)	non.
Organophosphorus compounds	1.0 (mg/L)	non.
Oil components	5.0%	non.
Trichloroethylene(TCE)	0.3 (mg/L)	non.
Tetrafluoroethylene(PCE)	0.1 (mg/L)	non.

을 만족하는 범위내에서 CCM 혼입율 및 분체-현장토 비의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 유해성 검증

Table 7은 CCM 활용 Soil-cement의 유해성 검증결과를 나타낸 것이다. Table 7의 결과 구리(Cu)의 경우 0.055mg/L 검출되었으나, 허용기준치에 만족하였으며, 외의 유해 물질은 용출되지 않은 것으로 나타났다. 따라서 용출실험의 모든 항목에 적합한 것으로 나타나, CCM을 Soil-cement로 활용하더라도 환경 영향에 문제가 없는 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구에서는 배출 가스 저감 기술인 CCU 기술을 활용해서 포집한 부산물인 이산화탄소 포집광물을 Soil-cement로 활용하기 위한 기초연구의 일환으로 이산화탄소 포집광물 활용 Soil-cement의 품질특성을 평가하였으며, 유해성 검증을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이산화탄소 포집광물 활용 Soil-cement의 품질특성 평가결과 이산화탄소 포집광물 혼입율이 증가할수록 압축강도가 감소하는 경향이 나타났으며, 분체-현장토 비가 증가할수록 이산화탄소 포집광물 혼입율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단되지만 표 성능을 만족하는 범위내에서 CCM 혼입율 및 분체-현장토 비의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

- (2) 이산화탄소 포집광물 활용 Soil-cement는 재령 28일 기준 3.0MPa 이상을 나타냄으로써 설계 허용지지력 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 사질토 및 점성토 조건에서 분체-현장토 비는 15% 이상일 때 목표 강도를 만족할 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 이산화탄소 포집광물 활용 Soil-cement의 유해성 검증을 실시한 결과 구리(Cu)의 경우 0.055mg/L 검출되었지만 허용기준치에 만족하였으며, 이 외의 유해 물질은 용출되지 않은 것으로 나타남에 따라 환경에 유해한 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

이상의 결론을 통해 CCM을 활용한 Soil-cement는 충분히 현장 적용이 가능하다 판단됨에 따라 대량 활용 및 보편화를 위해 인허가 관련한 폐기물 관련법 규제완화가 현실적으로 필요하다 판단되며, 시공성 측면에서 일부 공정에 대한 개선이 이루어진다면 원재료 절감 효과 및 영구적인 이산화탄소 저장에 따른 환경적 이점이 클 것으로 기대된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20152010 201850).

References

American Concrete Institute Committee 229 (2002). ACI 229R-94, Report-Controlled Low Strength Materials(CLSM), **16(7)**, Concrete International.

Baek, J.I. (2016). Global trend of CO₂ capture technology development, KEPCO Journal on Electric Power and Energy, **2(2)**, 143-165 [in Korean].

Daewoo E&C (2017). Development of CO₂ Capture and Mass Storage Technology through Direct Reaction of Power Generation Emissions, Annual Report of Korea Institute of Energy Research [in Korean].

Kim, H.J., Park, C.J. (2017). Adsorption characteristics of activated carbon for the development of carbon dioxide capture and storage(CCS) technology, Proceeding of the Korean Institute of Industrial Engineer, 5613-5613 [in Korean].

Kim, S.G. (2007). A Study of Engineering Characteristics of Soil-Cement, Master's Thesis, Chonnam National University, Korea [in Korean].

Ko, M.H., Jung, S.K., Lee, S.E. (2019). Understanding the EU Climate Change Policy, PAKYOUNGSA Co., Ltd., Seoul [in Korean].

Kwon, Y.K. (2016). Review of CO₂ storage projects and driving strategy of CO₂ storage program in Korea, Journal on Electric Power and Energy, **2(2)**, 170-176 [in Korean].

Lee, S.J. (2015). Legal issues related to carbon dioxide capture and storage - focusing on carbon dioxide capture -, Journal of the Korean Environmental Law Association, **37(1)**, 249-289 [in Korean].

Lee, Y.R. (2017). A Study on Plans for Commercializing the Domestic Carbon Capture and Storage Technology, Master's Thesis, Hanyang University, Korea [in Korean].

Nam, S.K. (2012). Characteristics of Unconfined Compressive Strength of Soil Mixed Stiffness Material for Recycling of Dredged Clay, Master's Thesis, Kyungpook National University, Korea [in Korean].

Oh, S.D. (2009). Compressive Strength 20~80MPa Secured at Room Temperature(<http://www.ctman.kr/news/651>), Construction Technology News [in Korean].

Park, S.D. (2009). Special planning, CO₂ capture technology, News & Information for Chemical Engineers, **27(2)**, 143-143 [in Korean].

Park, S.D. (2009). CO₂ Capture and Storage Technology, Special Article of the Physics & Tecnology [in Korean].

Sim, J.G. (2016). Current status of CCU technology development, KEPCO Journal on Electric Power and Energy, **2(4)**, 517-523 [in Korean].

United Nations Environment Program Korea. (2002). Kyoto Protocol, UNEPPress, 12-18 [in Korean].

Yun, Y.H. (2017). Development of Eco-Friendly Solidification Agent for Improving Engineering Properties of Clay Ground, Ph.D Thesis, Chungbuk National University, Korea [in Korean].

Yoo, G.M. (2011). Strength and Permeability Characteristics of Soil Solidified with Agents Made of Industrial By-products, Master's Thesis, Chonnam National University, Korea [in Korean].

이산화탄소 포집광물을 활용한 심층혼합처리용 Soil-Cement의 품질 특성에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 이산화탄소 포집광물을 심층혼합처리용 Soil-cement로 활용하기 위하여 최적 Soil-cement의 배합비를 도출하였으며, 이산화탄소 포집광물이 혼합된 Soil-cement의 품질특성을 평가하였다. 이산화탄소 포집광물은 슬러리 형태로 발생되며, 함수량 평가결과, 약 50%로 나타났다. 따라서, Soil-cement의 배합시 단위수량에서 이산화탄소 포집광물의 함수량을 제외하였다. 이산화탄소 포집광물 활용 Soil-cement를 현장토에 대하여 현장배합을 실시한 결과 재령 28일 기준 3.0MPa 이상을 나타냄으로써 설계 허용지지력 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 포집광물의 유해성 검증을 실시한 결과 구리(Cu)의 경우 0.055mg/L 검출되었지만 허용기준치에 만족하였으며, 이 외의 유해 물질은 용출되지 않은 것으로 분석되었다.