항만준설토 혼입콘크리트의 압축강도 및 염소이온 투과저항성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on the Compressive Strength and Chloride Ion Permeability of Concrete with Dredged Materials

오홍섭*

Oh, Hongseob

Abstract

Recently the dredged soil steadily increased due to the expansion and maintenance of harbour, but indirect environmental contamination problem might be raised because the most of dredged soil are dumped at the ocean or used as a backfill material. An utilization of dredged soil as a substitution material of fine aggregate were evaluated experimentally, but it is difficult to generalize the material characteristic of dredged soil depending on the harbor location and seabed ground. Compressive strength test and chloride ion penetration test on the concrete in which two different dredged soils composed with silty sand and inorganic silt, respectively, are used as a substitution material of fine aggregate, are performed. The volume fraction of dredge soil and slag, and cement type are selected as experimental variables. From the test, the 28-day compressive strength of concrete mixed dredged was lower than normal concrete, while the 90-day strength is slightly higher than the normal concrete. The total passed charge of concrete with dredged soil is similar or slightly smaller than it of normal concrete.

Key words : Compressive strength, Chloride ion penetration test, Dredged soil, Slag

요 지

최근 항만의 준설 및 정비 등에 의하여 준설토가 꾸준히 발생하고 있으나, 대부분 해양투기 또는 지반 성토재로 활용하고 있어 이차적인 환경오염 등의 문제가 제기되고 있기 때문에 콘크리트 재료로서의 해양준설토의 활용가능성을 실험적으로 평가하고자 하였다. 항만준설토는 항만의 위치 및 해양 특성에 따라 다양한 형태로 존재하기 때문에 재료 특성을 일반화하기 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 각각 실트질 모래와 무기질실트 성분의 준설토를 콘크리트에 잔골재 대체재로 혼입하여 압축강도 및 염소이온 투과시험을 수행하였으며, 잔골재 대체율과 시멘트 종류, 슬래그 혼입율을 실험변수로 하였다. 압축강도 실험결과, 28일 강도에서는 준설토 혼입 콘크리트의 강도가 낮았으나, 90일 강도는 일반콘크리트보다 약간 높은 것으로 나타났다. 또한 염소이온 투과시험결과 준설토 혼입 콘크리트의 28일에서의 통과전하량은 일반콘크리트와 유사하거나 약간 작은 것으로 관찰되었다.

핵심용어 : 압축강도, 염소이온투과시험, 항만준설토, 슬래그

1. 서 론

항만 및 대형 하천의 하구 등에서는 상류로부터 유입되는 퇴적토를 주기적으로 준설하여야 하며, 특히 지난 몇 년간 신항만 공사 등으로 인하여 그 양은 증가하는 추세에 있다. 그러나 일차적으로 항만 배후지역의 성토재로 활용하거나 해양투기하는 현재의 처리방법은 이차적인 환경오염의 문제가 야기될 수 있다(Lee et al., 1996; Cho et al., 2001). 이에 따라 육상에 투기장을 조성한 후 친수공간 등으로 활용하는

사례도 있으나 악취 및 해충의 발생과 함께 주변지역의 2차적인 환경오염이 발생하는 빈도가 증가하고 있다.

따라서 준설토에 대한 연구는 점토성분의 점착성 및 높은 흡수율 등에 기인하여 국내에서는 대부분 지반 개량재 또는 경량토로의 활용 등에 대한 연구가 중점적으로 이루어지고 있으며(Kim et al., 2005; Shin et al., 2000; Kim et al., 2010), 해외의 경우에는 벽돌과 같은 2차 제품으로의 개발(Samara et al., 2009), 도로건설재료(Siham et al., 2008)에 대한 연구 등이 수행되었다.

*교신저자. 정회원. 경남과학기술대학교 토목공학과 교수(E-mail: opera69@chol.com)

Corresponding Author. Member. Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

항만준설토를 콘크리트 2차 제품으로의 활용가능성을 평가하기 위한 기초연구로서 준설토를 혼입한 모르타르에 대한 물리적, 역학적 성능을 실험적으로 평가하였으며(오홍섭 등 2010), 그 결과를 활용하여 항만준설토를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성과 수밀성을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 사용한 항만준설토는 울산항 정비시 채취한 준설토와 부산신항 건설시 준설된 재료를 사용하였다.

준설토를 혼입한 콘크리트를 항만 및 해안의 테트라포트 또는 월과 방지시설 등의 항만 구조물에 적용하여 위해서는 압축강도와 함께 염해 저항성과 동결융해 저항성과 같은 내구성을 요구하고 있다. 따라서 본 연구에서는 준설토 치환 콘크리트의 압축강도와 염소이온 투과실험을 수행하여 콘크리트의 기본특성을 평가하고자 하였다.

2. 실험개요

2.1 준설시료의 재료적 특성

본 연구에서 사용한 준설토 시료는 울산항의 정기적 항만 준설에 의해 발생한 준설토와 부산신항 건설을 위해 준설된 준설토로서 채취한 위치는 Fig. 1에 나타내었다.

연구에 적용된 울산항과 부산항의 항만준설토는 KS기준에 따라 입도분석과 소성한계 액성한계 시험을 실시하였으며, 통일 분류법에 의하여 각각 실트질 모래와 무기질 실트로 분류되었고 단위중량은 각각 26.2 kN/m³와 24.9 kN/m³로 판정되었다. 또한 울산항과 부산항 준설시료의 200번체 통과량은 각각 28.97%와 80.68%로 나타났으며, 조립율의 경우는 울산항 시료의 경우에는 2.19이며, 부산항 시료는 조립율이 산정되지 않았다. 준설토를 콘크리트에 혼입할 경우의 유해성 등을 평가하기 위하여 울산항 및 부산신항에서 채취한 시료에 대하여 XRF(X-ray fluorescence)와 XRD(X-ray diffractometer) 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 2~4에 나타내었다. XRF 분석 결과 두 시료에 함유되어 있는 중금속은 Fe, Ti, Mn, Zr, Cr, Zn 총 6가지 원소가 함유되어 있는 것으로 나타났다. 철(Fe)이 약 2.21%(울산항 준설토), 7.31%(부산항 준설토)로 가장 많이 검출되었다. 다른 중금속의 경우에는 기존의 연구들과 같이 유해수준을 넘지 않는 것으로 분석되었다.

XRD 분석 결과는 Fig. 3과 4에 나타내었으며, 두 시료 모두 일반적인 잔골재와 유사한 석영(Quartz, SiO₂)와 코런덤(Corundum, Al₂O₃)가 주요 화성조성물인 것으로 분석되었으

Fig. 2. XRF results of dredged materials

Fig. 3. XRD results of dredged material from Ulsan Harbor

Fig. 4. XRD results of dredged material from Busan Harbor

나, SiO₂의 함유량은 잔골재에 상대적으로 낮게 분석되었다. 이외에 Ca가 잔골재에서 일반적으로 나타나는 CaO의 형태가 아닌 석회석(Aragonite, CaCO₃)의 형태로 존재하는 것으로 나타났다.

2.2 준설토 혼입콘크리트 실험변수

본 연구에서는 기존의 연구와의 일관성을 위하여 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하여 1차적인 역학적 성능과 수밀성을 평가하였으며, 그 결과를 바탕으로 1종 포틀랜드 시멘트와 4종 저열시멘트를 사용한 콘크리트의 성능과 고로슬래그를 추가로 치환한 콘크리트의 특성을 같이 평가하였다. 본 연구에서 사용된 시멘트와 고로슬래그의 일반적인 화학조성은 Table 1에 정리하였다. 1차 실험에서는 준설토의 잔골재 치환율만을 변수로 하였으며, 2차 실험에서는 잔골재의 치환율과 슬래그

Fig. 1. Dredging location of Dredged material

Table 1. Chemical properties of cement and furnace slags

	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	SO ₃ [%]	LOI [%]	Insols [%]
Type I	20.1	5.5	3.0	64.3	1.00	2.5	2.4	0.2
Type IV	25.3	3.1	3.6	61.2	2.3	1.9	2.3	0.3
Slag	33.6	12.3	0.3	41.1	8	3	2.5	0.2

의 혼입유무를 달리하여 실험을 수행하였다. 변수별 배합은 Table 2에 나타내었다.

2.3 실험방법

준설토 혼입 콘크리트의 압축강도 실험은 KS F 2405의 규정에 따라 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하여 수중양생 후 각각 재령 7일, 28일과 90일 강도를 측정하였다. 변수별로 총 5개의 실험편에 대하여 강도를 측정하였으며, 실험결과중 가장 큰 값과 작은 값을 제외한 값으로 평균 압축강도를 산정하였다.

콘크리트의 수밀성을 평가하기 위하여 Fig. 5와 같은 방법의 KS F 2711의 염소이온 침투 저항성 실험을 실시하였다. 염소이온 침투저항성 실험을 위해 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하여 각각 7일과 28일 수중양생 후, 두께 50 ± 3 mm로 실험편을 절단하여 두 개의 실험편에 대하여 염

Fig. 5. Test method for chloride ion penetration

소이온 침투실험을 실시하였다. 침투실험시 확산셀에 사용되는 전해질 용액은 (-)전극에 3.0%의 NaCl용액과 (+)전극에 0.3 mol의 NaOH용액을 사용하였으며, (-), (+) 확산셀에 용액을 채우고, 30분마다 저항에 걸리는 전압을 6시간동안 측정하여 기록하였다. 침투저항성을 나타내는 통과 전하량은 측정된 전압을 전류로 환산하여 식 (1)과 같이 산정하며, 판정 기준은 Table 3에 나타내었다.

Table 2. Mix proportion of concrete with dredged materials(unit: kg)

Series		W/C(%)	Water	Cement	Coarse Aggregate	Slag	Fine Aggregate	Dredged. Material	AE
1st	RN-A0	54.5	175.0	321.0	1167.6		775.2	-	-
	RN-U15						658.9	116.3	-
	RN-U30						542.6	232.6	-
	RN-U50						387.6	387.6	-
	RN-B15						658.9	116.3	-
	RN-B30						542.6	232.6	-
	RN-B50						387.6	387.6	-
2st	OPC-I*	38.0	176.5	464.4	974.9		690.3	-	4.6
	OPC-U10						540.3	69.0	
	OPC-U15						505.8	103.5	
	OPC-U10SG20					138.1	483.2	69.0	
	OPC-U15SG20					138.1	367.7	103.5	
	OPC-B10						540.3	69.0	
	OPC-B15						505.8	103.5	
	OPC-B10SG20					138.1	483.2	69.0	
	OPC-B15SG20					138.1	367.7	103.5	
	LHC-I**	36.0	175.9	488.6	989.1		688.9	-	4.9
	LHC-U10						620.0	68.9	
	LHC-U15						585.6	103.3	
	LHC-U10SG20					137.8	482.2	68.9	
	LHC-U15SG20					137.8	447.8	103.3	
	LHC-B10						620.0	68.9	
	LHC-B15						585.6	103.5	
	LHC-B10SG20					137.8	482.2	68.9	
	LHC-B15SG20					137.8	447.8	103.5	

where, opc : ordinary portland cement, LHC : low heat portland cement

Table 3. Requirements for concrete exposed to chloride ion penetration(KS F 2711)

	Total passed charge (Coulomb)	Chloride Ion Permeability
1	≥4000	High
2	2000~4000	Moderate
3	1000~2000	Low
4	100~1000	Very Low
5	≤100	Negligible

$$Q = 900 \times (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

여기서, I_0 : 전압을 가한 직후의 전류, I_t : 전압을 가한 후 t 분 경과 후의 전류

3. 실험결과 분석

3.1 압축강도 특성

재령일수에 따른 변수별 콘크리트의 평균압축강도 결과는 Table 4에 정리하였다. 전체적으로 재령이 증가할수록 강도가 증가하였으나, 준설토의 잔골재 치환율이 증가할수록 강도저하현상이 큰 것으로 나타났다. 또한 점토분이 많이 함유된 부산향준설토의 경우가 강도가 크게 낮은 것으로 관찰되었다.

Fig. 6에는 실트질 모래성분의 준설토를 활용한 콘크리트의 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 준설토가 치환되지 않은 기준콘크리트와 비교하여 15%와 30%까지 치환된 경우에는 7일 강도에서는 크게 강도차이가 발생하지 않았으나, 28일 이후 강도 증진이 거의 이루어지지 않아 강도차이가 크게 나타났으며, 50% 치환의 경우의 강도는 기준콘크리트의 60% 내외의 강도만이 발현되는 것으로 관찰되었다.

Fig. 7에는 무기질 실트성분의 준설토를 혼입한 콘크리트의 강도 특성을 나타내었다. 실트질 모래성분보다 강도가 낮은 것으로 나타났으며, 재령에 따른 강도 증가는 기준콘크리트에 비하여 작으나 선형적인 증가를 나타내는 것으로 관찰되었다.

28일 강도를 기준으로 준설토의 잔골재 치환율 30%까지는 실트질 모래 성분이 강도 발현에 보다 효과적인 것으로 관찰되었으나, 90일 장기강도의 경우에는 무기질 실트의 경우와 압축강도의 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 50% 치환된 경우에는 무기질 실트가 치환된 경우의 강도가 보다 높은 것으로 나타났다. 1차 실험 결과 CaCO_3 함유정도가 상대적으로 높은 울산향의 실트질 모래의 초기 강도가 무기질 실트에 비하여 치환율 30%정도까지는 초기 강도가 높게 나타났으나, 50% 치환의 경우에는 염분 등에 의한 수화반응 억제 등으로 강도의 차이가 거의 나타나지 않았다. 장기 강도의 경우는 높은 물-시멘트비로 인한 자유수의 과다와 염분에 의한

Table 4. Concrete compressive strength test results

Series		Slump (mm)	7 days		28 days		90 days	
			7d (MPa)	St.Dev	28d (MPa)	St.Dev.	90d (MPa)	St.Dev
1st	RN-A0	180	22.10	1.87	28.48	2.85	36.72	0.33
	RN-U15	165	20.97	1.08	26.45	2.47	26.53	1.48
	RN-U30	122	19.68	0.31	23.45	0.97	27.36	1.40
	RN-U50	117	12.63	0.24	17.04	0.54	21.81	1.28
	RN-B15	154	16.33	0.56	20.20	1.05	25.01	0.13
	RN-B30	138	14.4	0.26	19.54	1.53	27.01	0.42
	RN-B50	136	11.51	0.37	17.21	3.33	22.62	0.99
2st	OPC-1	180	29.23	1.31	44.67	0.93	54.96	4.12
	OPC-U10	170	22.99	0.82	34.53	0.71	57.37	4.15
	OPC-U15	110	22.48	0.58	33.56	0.54	55.68	2.72
	OPC-U10SG20	210	23.46	0.59	32.59	0.72	37.69	5.66
	OPC-U15SG20	220	23.21	0.33	30.88	0.59	36.63	4.52
	OPC-B10	156	20.77	0.67	32.42	0.63	44.71	1.69
	OPC-B15	70	19.41	0.88	31.91	0.19	47.99	0.99
	OPC-B10SG20	105	22.80	0.44	29.43	0.48	48.41	3.05
	OPC-B15SG20	40	21.52	1.18	29.02	1.03	41.16	2.96
	LHC-1	170	23.09	0.83	42.45	0.81	46.14	1.59
	LHC-U10	185	26.63	0.84	38.40	0.63	64.54	5.37
	LHC-U15	150	26.51	0.63	35.24	0.68	61.96	3.65
	LHC-U10SG20	110	23.42	1.03	33.11	0.96	43.65	1.12
	LHC-U15SG20	90	22.35	0.75	33.03	0.70	38.33	2.18
	LHC-B10	80	23.24	1.09	33.27	0.87	63.81	1.37
	LHC-B15	55	20.90	1.37	32.56	0.51	53.22	2.81
	LHC-B10SG20	95	23.08	0.52	30.38	1.01	57.97	3.72
	LHC-B15SG20	65	22.21	1.42	29.02	0.73	35.99	1.69

Fig. 6. Compressive strength results of RN-U Series

Fig. 7. Compressive strength results of RN-B Series

수화반응 억제제로 인한 조직의 수화생성물의 치밀성이 떨어졌기 때문인 것으로 판단된다. 또한 배합과 다짐시 실트질 성분이 모세관을 통해 분리되는 현상도 강도에 미세한 영향을 미친 것으로 판단된다.

1차 실험 결과, 실트질 모래의 경우에는 15%정도까지 압축강도 저하정도가 크지 않은 것으로 나타났기 때문에 2차 실험에서는 준설토의 치환량을 15%로 제한하였다. 위커빌리티를 확보하기 위하여 1차 실험에서는 54.5%의 물-시멘트비를 사용하였으나, 실트질 분리에 의한 강도 저하 등이 발생하였기 때문에 물-시멘트비를 낮게 조정하고 감수제를 적용하였다. 또한 고로슬래그를 추가로 치환한 경우에 대해서도 강도를 평가하였다. 실험결과는 Fig. 8~11와 Table 4에 정리하였다.

보통포틀랜드 시멘트를 사용한 OPC 시험변수의 경우 28일 강도에서 기준콘크리트의 평균 압축강도가 44.7 MPa로 관찰되었으며, 90일 강도는 48.5 MPa로 장기강도의 증가는 크지 않은 것으로 나타났다. Fig. 8에 나타난 것과 같이 실트질 모래가 치환된 OPC-U10과 OPC-U15의 경우는 28일 강도가 기준콘크리트의 약 75%내외였던 것에 비하여 장기강도는 기준콘크리트를 약간 상회하는 것으로 나타났다. 슬래그로 첨가된 경우는 28일 강도에서 기준콘크리트의 70%정도의 강도를 발현하였으며, 90일 강도에서도 66%정도의 강도만을 나타내었다.

Fig. 8. Compressive strength results of OPC-U Series

Fig. 9. Compressive strength results of OPC-B Series

무기질 실트로 치환된 OPC-B계열의 28일 강도의 경우도 Fig. 9에 나타난 것과 같이 OPC-U계열과 유사한 강도 발현 특성을 나타내었으나, 기준콘크리트와 비교하여 28일은 70%, 90일은 80% 내외의 강도를 나타내었다. 전체적으로 실트질 모래와 슬래그가 동시에 혼입된 콘크리트의 장기 강도 발현이 낮게 나타났으며, 이는 실트질 모래 성분에 많이 함유된 석회석(CaCO_3)의 영향에 의해 수화반응이 억제되었기 때문인 것으로 판단된다(Lee et al., 1999). 1차 실험에 비하여 준설토만 혼입된 경우의 28일 강도가 낮게 나타난 것은 폴리 카본산계 감수제가 시멘트와 준설토에 함유되어 있는 Albite와 Corundum과 빠르게 반응하여 시멘트와 준설토 사이에 에트링자이트(ettringite)를 생성하고 수화반응을 제어함으로써 초기강도가 낮게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 장기강도의 경우에는 시멘트의 Alite와 Belite와 준설토의 Quartz와 Aragonite가 수화반응에 의하여 C-S-H gel의 응고를 발생시키면서 에트링자이트와 치밀한 망상구조를 만들면서 강도를 발현한 것으로 판단된다(Park et al., 2009).

Fig. 10과 11에는 저열포틀랜드 시멘트를 적용한 경우의

Fig. 10. Compressive strength results of LHC-U Series

Fig. 11. Compressive strength results of LHC-B Series

압축강도 특성을 나타내었다. 7일 강도의 경우에는 준설토의 치환유무에 관계없이 거의 동일한 강도를 갖는 것으로 나타났으나, 28일 강도의 경우에는 실트질 모래의 경우에는 강도 차이가 보통포틀랜드시멘트의 경우에 비하여 약간 감소하는 것으로 나타났고, 무기질 실트의 경우에는 거의 유사하게 관찰되었다. 이에 비하여 90일 장기 강도에서는 준설토만 치환된 경우(LHC-U10과 -15, LHC-B10과 -B15) 강도가 기준콘크리트보다 최대 34% 정도 크게 나타났으며, 슬래그 20% 치환된 경우에는 강도 발현 정도가 감소하는 것으로 나타났다. 특히 준설토 15%와 슬래그 20%가 치환된 경우의 장기 강도는 장기강도 증진 효과가 거의 없는 것으로 관찰되었다.

3.2 염소이온 침투저항 특성

준설토 혼입 콘크리트의 수밀성을 평가하기 위하여 염화물 침투저항성 실험을 KS F 2405에 따라 수행하였으며, 식 (2)에 의하여 총 통과전하량을 Q_s 로 산정하였다. 환산공식은 식 2와 같고, 판정결과는 Table 5와 Fig. 12~14에 나타내었다. 콘크리트 시편에 대한 염소이온 투과량은 각 2개의 시편에

Fig. 12. Chloride Ion Penetrating test results of RN series

Fig. 13. Chloride Ion Penetrating test results of OPC series

Fig. 14. Chloride Ion Penetrating test results of LHC series

대하여 각각 7일과 28일에 측정된 후 투과전하량의 평균을 나타내었다.

$$Q_s = Q_x \times 100 \left[\frac{95}{d} \right]^2 \quad (2)$$

Q_s : 지름 95 mm 실험편에 대한 통과 전하량, Q_x : 지름 xmm 실험편에 대한 통과 전하량, x: 비표준 실험편의 지름
실험결과 1차 실험의 경우에는 Fig. 12에 나타난 것과 같이 준설토가 치환되지 않은 기준콘크리트 A0의 염소이온 투

Table 5. Standard of Chloride Ion Penetrating test

		Total passed charge (Coulomb)		Chloride Ion Permeability	
		7 days	28 days	7 days	28 days
1st	RN-A0	2542.18	1370.18	Moderate	Low
	RN-U15	1278.24	737.9	Low	Very Low
	RN-B15	1438.77	967.05	Low	Very Low
	RN-U30	1383.29	867.83	Low	Very Low
	RN-B30	1369.97	844.71	Low	Very Low
	RN-U50	1739.33	985.44	Low	Very Low
	RN-B50	1722.78	1015.37	Low	Low
2nd	OPC-1	2037.24	1644.77	Moderate	Low
	OPC-U10	3525.45	1378.55	Moderate	Low
	OPC-U15	2650.29	2922.60	Moderate	Moderate
	OPC-U10SG20	1155.10	833.98	Low	Very Low
	OPC-U15SG20	1383.87	850.99	Low	Very Low
	OPC-B10	2514.60	1523.21	Moderate	Low
	OPC-B15	2859.44	1251.68	Moderate	Low
	OPC-B10SG20	1629.74	989.08	Low	Very Low
	OPC-B15SG20	1729.08	790.52	Low	Very Low
	LHC-1	2611.02	1426.31	Moderate	Low
	LHC-U10	2948.71	2948.71	Moderate	Low
	LHC-U15	2423.92	2423.92	Moderate	Low
	LHC-U10SG20	1426.31	975.55	Low	Very Low
	LHC-U15SG20	1165.38	355.85	Low	Very Low
	LHC-B10	2343.54	1428.67	Moderate	Low
	LHC-B15	2980.23	1717.58	Moderate	Low
	LHC-B10SG20	1914.51	594.57	Low	Very Low
	LHC-B15SG20	1423.51	873.53	Low	Very Low

과량이 가장 높은 것으로 나타났으나, 7일에서 28일 이후 감소율은 A0가 가장 크게 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 준설토의 치환율이 증가할수록 통과전하량이 증가하는 것으로 관찰되었으며, 실트질 모래와 무기질 실트성분에 의한 통과전하량의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

Fig. 13과 14에는 보통포틀랜드 시멘트와 저열포틀랜드 시멘트를 사용하고 슬래그의 혼입유무를 변수로 한 2차 실험결과를 나타내었다. 2차 실험에서는 준설토가 치환되지 않은 경우의 통과전하량이 작게 측정되었으며, 저열포틀랜드 시멘트의 경우가 재령일수에 따른 전하량의 감소율이 크게 나타났다. 시멘트의 종류에 관계없이 슬래그가 혼입된 경우의 통과전하량이 혼입되지 않은 경우보다 작게 나타나 미세구조의 치밀성을 향상시키는 것으로 판단되었으며, 28일 양생후의 통과전하량은 슬래그가 혼입된 경우 모두 매우 낮은 상태를 나타내어 조직은 충분히 밀실한 것으로 판단된다.

이에 반하여 준설토만 치환된 경우 모래질 실트의 경우는 재령에 따라 전하량의 감소가 거의 없는 것으로 나타난 반면 무기질 실트성분의 경우에는 약간의 감소가 나타나 수화생성물간의 미세 공극을 채워주는 효과가 모래질 실트의 경우보다 큰 것으로 판단된다. 염소이온 통과전하량의 측면에서는 치환율 15%를 넘지 않는 것이 적절한 것으로 판단되며, 슬래그와 동시에 적용하는 것이 조직의 치밀성을 확보할 수 있

을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 항만준설토 혼입콘크리트의 압축강도와 염소이온 투과 특성을 실험적으로 검증하였으며, 그 결과를 정리하였다.

- 1) 압축강도 실험결과, 준설토의 치환율이 증가할 수록 강도가 저하되었으며, 특히 28일 강도 기준으로 30% 정도의 강도저하가 발생하였다. 따라서 준설토를 잔골재 대체재로서 활용할 경우에는 배합설계시 충분한 검토가 필요한 것으로 판단된다.
- 2) 모래질 실트 치환 콘크리트가 무기질 실트 치환 콘크리트에 비하여 정량적인 압축강도는 높았으나, 28일 이후 장기강도 증가량의 경우에는 무기질 실트와 슬래그가 혼입된 콘크리트의 경우가 조금 크게 나타났다. 이는 실트질 성분과 슬래그가 수화생성물 사이의 미세조직을 치밀화시켰기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) 저열 포틀랜드 시멘트의 경우에는 28일까지의 강도는 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 경우와 유사하였으나, 90일 장기 강도에서는 모래질 실트를 치환한 경우 기준콘크리트보다 크게 증가하는 것으로 나타났다.

- 4) 염소이온투과전하량의 경우 28일에서는 모래질실트만 치환된 경우를 제외하고 미소한 것으로 나타나 조직의 치밀성은 문제가 없는 것으로 판단된다.
- 5) 압축강도와 염소이온 투과량의 측면에서 해양준설토를 콘크리트에 치환할 경우 장기강도 측면에서 콘크리트 배합 설계가 이루어져야 할 것으로 판단되었으며, 무기질 실트계의 준설토가 사용될 경우에는 슬래그와 같이 사용하는 것이 콘크리트의 안정성을 높일 수 있는 방법인 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 경남과학기술대학교의 연구비 지원과 한국해양과학기술진흥원의 첨단항만건설기술개발사업(D11206012-H370000121)의 연구비에 의하여 수행되었습니다. 저자들에게 감사드립니다.

References

- Cho H.Y., Choi, K.H., and Yoon, K.L. (2001) Contaminant Assessment of Dredged Material by Leaching Test - focused on the impact assessment of the coastal environment-, *Journal of the Korea Society of Marine Environmental Engineers*, Vol. 2, No. 2, pp. 5-12.
- Kim Y.T., Ahn J., Han W.J., and Gabr M.A. (2010) Experimental Evaluation of Strength Characteristics of Stabilized Dredged Soil, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 22, No. 5, pp. 539-544.
- Kim, Y.T., Kwon, Y.K., and Kim H.J. (2005) Comparison of Compressive Behavior Characteristics between Unreinforced and Reinforced Lightweight Soils for Recycling of Dredged Soils, *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 19, No. 6, pp. 44-49.
- Korean Agency for Technology and Standards (2012) Testing method for resistance of concrete to chloride ion penetration by electrical conductance KS F 2711.
- Korea Concrete Institute (2006) International symposium on durability of concrete structures attacked by chloride ion, Seoul, Korea, 346p.
- Lee, B.H., Cho, H.J., Lee, S.B., and Ryu, B.S. (1996) Characteristics of Leachate and Ways of Usage of Polluted Dredged Sediments in the Nak Dong River, *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, 16(II-4), pp. 399-409.
- Lee, M.S., Yun, C.H., and Choi, H.K. (1999) Influence of Limestone Powder on the Hydration of slag cement, *Proceedings of fall convention, Korea Concrete Institute*.
- Oh, H., Oh, K.J., and Lee, J.W. (2010) A Fundamental Study for Beneficial Use of Dredged Material as a Concrete Admixture, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 14, No. 6, pp. 132-141.
- Park, J.T. and Oh, H. (2009) Experimental Study on the Material Characteristics of Slag Cement with Various Phosphogypsum Materials, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 21, No. 6, pp. 729-735.
- Samara, M., Lafhaj, S., and Chapiseau, C. (2009) Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks : Factory scale experiment, *Journal of Hazardous Material* 163, pp. 701-710.
- Shin, H.Y., Kim, B.I., Kim, Y.S., and Kim, S.S. (2000) Development of Light-Weight Soil Mixed With E.P.S. Using Dredged Soil± *Proceedings of spring convention, The Korean Society For Railway*, pp. 410-417.
- Siham K., Fabrice B., Edine A. Nor, Patrick D. (2008) Marine dredged sediments as new materials resource for road construction, *Waste Management*, Vol. 28, No. 5, pp. 919-928.
- Song, H.W. Kwon, S.J., Lee, S.W., and Byun, K.J. (2003) A Study on Resistance of Chloride Ion Penetration in Ground Granulated Blast-Furnace Slag Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 15, No. 3, pp. 400-408.

© Received January 7, 2013

© Revised January 9, 2013

© Accepted April 30, 2013