

항만준설토의 콘크리트 혼합재료의 활용을 위한 기초적 연구

A Fundamental Study for Beneficial Use of Dredged Material as a Concrete Admixture

오 홍 섭^{1)*}

오 광 진²⁾

이 주 원³⁾

Oh, Hong seob

Oh, Kwang Jin

Lee, Ju Won

Abstract

Recently dredged material generation has a tendency to increase since harbor construction are under progress. In this study, an experiment had been carried out which replacement of dredged material of Busan and Ulsan port as concrete mixing material. For this experiment, physical and chemical test of dredged material was carried out, and compressive strength test of mortar specimen with dredged material in scale, as aggregate replacement, was carried out. Compressive strength of Busan and Ulsan was both increased when the ratio of mixing materials was 10%. Compressive strength of Dredged material from Busan with about 70% of mineral silt showed increase when the ratio of aggregate replacement in 30%. In addition, in the result of the ICP test, both dredged materials satisfied the waste's marine discharge treatment and soil contamination concern and measures criterion on that using dredged material as a concrete material can influence on application of concrete positively.

Keywords : compressive strength, mortar specimen, dredged material, XRD, ICP, SEM

1. 서론

최근 4대강 정비사업 및 신항만 공사를 통해 발생하는 준설토의 발생량은 2007년 대비 2008년에 약 35% 증가를 나타내며 급속히 증가하는 추세이다. 폐기물로 분류되는 준설토의 처리는 대부분 해양투기로 이어지며 해안 매립재 및 성토재로서 사용되는 양은 전체량의 일부분에 그치고 있다. 또한 준설토의 적치장이 늘어남에 따라 환경에 대한 관심이 확대되고 환경보호 정책이 강화되어 폐기물 재활용 기술 개발과 재활용 자재의 사용을 위한 노력이 더욱 필요한 실정이다.

국내의 준설토 활용을 위한 연구를 살펴보면, 준설토를 재활용하기 위한 시멘트 혼합 경량토의 특성 연구(김운태 등, 2006)와 굴폐각 고화제를 혼합한 준설토의 특성 연구(이상진 등, 2007) 및 준설토를 이용한 단섬유 보강 혼합 경량토 특성 연구(김운태 등, 2008) 등이 진행되고 있으며 최근에는 연안준설 및 준설토의 해양투기에 대한 환경평가(엄기혁 등, 2009)와 준설토사의 유효활용을 위한 오염도

평가(윤길림 등, 2008), 버팀에쉬를 이용한 준설토의 안정 처리에 관한 연구(김종윤 등, 2008), 등에 관한 연구가 증가하면서 해양투기 및 적치에 따른 환경오염 심각성이 대두되고 있다. 반면 해외에서는 시멘트 특성을 가지는 재료(Agostini et al., 2007)를 개발하거나 침전물의 가공을 통한 벽돌제작(Samara et al., 2009), 인공골재 제작(Huang et al., 2005) 등에 관한 연구가 진행되고 있다. 그리고 준설토를 도로 건설에 사용(Rachid Zentar et al., 2008) 함으로서 국내보다 비교적 다양하게 활용되고 있다.

이처럼 문제가 제기되는 준설토는 풍화생성물이 유수에 의해 침식, 운반되어 하상 또는 해안에 퇴적된 것으로 충적토에 속한다. 본 연구에서 사용한 준설토는 울산항과 부산항의 항만정비 및 신설 공사 중에 발생한 것이다. 두 가지 준설토를 대상으로 하여 기본적인 물리적 및 화학적 시험을 수행한 결과, 준설한 위치의 지형적 조건에 특성과 성분적 차이가 비교적 많은 차이를 나타내었다.

본 연구에서는 준설토의 기본적인 물리적 및 화학적 시험 결과를 바탕으로 콘크리트 재료로의 활용을 위하여 준

1) 정회원, 진주산업대학교 교수

2) 정회원, 한국시설안전공단 기술본부 기술개발팀

3) 준회원, 진주산업대학교 석사과정

* Corresponding author : hongseob@jinju.ac.kr 055-751-3299

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Physical properties of cement

Blaine [cm ³ /g]	Soundness (Autoclave Expansion) [%]	Time of Setting		Compressive strength [MPa]		
		Initial [min]	Final [hr]	3d	7d	28
20.10	5.50	3.00	64.30	24.8	33.5	46.1

Table 2 Chemical properties of cement

SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	AO ₃ [%]	LOI [%]	Insol-re' [%]
20.10	5.50	3.00	64.30	1.00	2.50	2.40	0.20

설토의 오염평가와 준설토의 대체량 증가에 따른 모르타 압축강도 시험을 수행하였다. 그리고 준설토에 함유되어 있는 오염물질 및 증금속과 시멘트와 준설토의 결합으로 인한 영향을 정확히 규명하고자 하였다.

2. 사용재료 및 시험

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서 준설토를 혼입한 시멘트 매트릭스 시험체 제작을 위하여 사용된 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성 및 화학적 특성은 Table 1, Table 2에 나타내었다.

2.1.2 준설토

본 연구에서는 울산항과 부산항 항만공사에 수반하여 발생한 준설토를 사용하였다. 각 준설토의 물리적 시험은 KS 기준에 의하여 수행하였으며, 그 결과는 Table 3에 나타내었다. 각 준설토의 대표성을 가지는 시료를 채취하

여 체분석한 결과 울산항 준설토의 경우 약 70% 정도 잔골재의 입도 분포를 가지며 점토 및 실트 성분이 약 27% 정도 함유되어 통일 분류법에 의하여 SM 즉, 실트질 모래로 분류 되었다. 경우 무기질 실트 성분이 대부분 이므로 흙의 비중시험법에 준하였으며, 울산항 준설토의 경우 잔골재 성분이 대부분이기 때문에 잔골재의 비중시험법에 준하였다.

반면 부산항 준설토의 경우 약 80% 정도가 점토 및 실트 성분이고 액성한계가 50% 미만이었기 때문에 통일분류법에 의하여 ML 즉 무기질 실트로 분류하였다. 단 체분석에서 울산항 준설토의 경우 굵은 골재 25mm 이상의 입도 분포를 가지는 어패류, 암석 등은 제외하였다.

비중 시험에서는 체분석 결과를 토대로 부산항 준설토의 경우 흙의 비중시험법에 준하여 시험한 결과 비중 2.49t/m³로 나타내었고, 울산항 준설토의 경우 잔골재 비중시험법에 준하여 시험 한 결과 비중 2.62t/m³를 나타내었다. 부산항 항만공사를 통하여 발생한 인근 지역의 준설토(김윤태 등, 2006)의 경우 무기질 점토 성분(CL)이 대부분이며 비중이 2.60t/m³으로 나타나 본 연구에서 사용한 부산항 준설토와의 차이를 나타내었다.

2.1.2 준설토 오염물질 분석

본 연구에서는 울산항과 부산항 준설토에 함유되어 있는 오염물질을 확인하기 위하여 XRD(X-ray Diffractometer), ICP(ICP spectrometer) 및 SEM(전계방사형 주사전자현미경) 분석을 수행하였다.

XRD 분석과 ICP 분석은 준설토를 건조로에서 절대건조 상태로 만든 후 분쇄기를 통하여 준설토를 미분말 상태로 만들어 분석을 하였다. 이는 준설토가 물을 흡수하여 체적이 팽창한 상태가 아닌 건조 상태에서의 입자 크

Table 3 Basic physical properties of Dredged Material

Testing method	Busan dredged material	Ulsan dredged material
Unified Soil Classification System	ASTM D2487	ML
Percentage of aggregate	KS F 2502	1.79
Percentage of sand	KS F 2502	18.40
Percentage of silt and clay	KS F 2502	81.60
Passing #200 Sieve, [%]	KS F 2511	80.68
Liquid limit, [%]	KS F 2303	46.62
Plastic limit, [%]	KS F 2304	33.31
Specific gravity, [t/m ³]	KS F 2308 ¹⁾ , KS F 2504 ²⁾	2.49 ¹⁾
Fineness modulus, [FM]	KS F 2502	2.62 ²⁾
Loss ignition, [%]	KS F 2104	14.45

1) Busan Dredged Material, 2) Ulsan Dredged Material

Table 4 Mineralogical identification of Dredged Material samples, by X-ray diffraction

Mineral	Busan ¹⁾	Busan ²⁾	Busan ³⁾	Ulsan ¹⁾	Ulsan ²⁾	Ulsan ³⁾
Quartz SiO ₂	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Aragonite CaCO ₃	xx	-	-	xx	-	-
Corundum Al ₂ O ₃	x	-	-	x	-	-
Albite NaAlSi ₃ O ₈	-	xx	xx	-	xx	xx
Calcite CaCO ₃	-	x	x	-	x	-
Kaolinite Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-	x	-	-	x	-
Biotite K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	-	x	-	-	-	-
Hematite Fe ₂ O ₃	-	-	x	-	x	x
Gehlenite Ca ₂ Al ₂ SiO ₇	-	-	-	-	-	x

1) xxx : major components, 2) xx : secondary components, 3) x : minority component or possible.

Table 5 ICP spectrometer analysis result

Element [mg/kg]	Natural DM		200°C plastic DM		900°C plastic DM	
	Busan	Ulsan	Busan	Ulsan	Busan	Ulsan
Cr, <4 ¹⁾ , <10 ²⁾ , <80 ³⁾	0.03	-	30.30	0.87	20.80	13.55
Zn, <300 ¹⁾ , <700 ²⁾ , <410 ³⁾	89.90	66.67	96.10	63.80	13.75	62.25
Ni, <40 ¹⁾ , <100 ²⁾ , <35 ³⁾	24.63	8.27	21.35	2.70	7.00	3.10

1) Soil pollution concern identification, 2) Soil pollution measure criterion, 3) Marine discharge treatment criterion of waste.

기를 가정하기 위함이다. 그리고 준설토의 소성으로 인한 중금속의 함유량 변화를 고찰하기 위하여 소성로에서 200°C 와 900°C 에서 소성시킨 시료에 대한 분석도 같이 수행하였다.

XRD 분석은 X-ray를 조사시켜 나타내는 회절패턴(diffraction pattern)을 X-선 회절분석기를 통하여 시료의 원자 배열과 금속 및 종합물질의 물리적 성질을 확인하였으며, 그 결과는 Table 4에 나타내었다. 부산항 준설토와 울산항 준설토는 자연상태에서 Quartz, Aragonite, Corundum이 순서대로 많이 형성되었고, 자연상태의 시료와 소성시료 모두 Quartz가 가장 많이 형성됨을 나타내었다. 석영은 주로 이산화규소(SiO₂)로 구성되어 육각기둥 모양의 결정을 나타내며 비중이 2.65t/m³ 정도로 쪼개짐이 없는 광물로서 모르타 압축강도에 긍정적인 영향을 미치는 광물이다. 각 시료의 소성에 따라 생성되는 광물의 차이가 있다.

Albite와 Aragonite 등 굳기와 비중이 뛰어난 광물의 형성과 중금속 Cr, Zn, Ni이 함유된 광물은 생성되지 않아 오염물질에 의한 강도저하는 발생하지 않은 것으로 사료된다.

ICP 분석은 유도결합플라즈마 분광계를 통하여 토양오염공정처리기준 제6항~제11항에 의거하여 수행하였다. 시험 방법은 유도결합전류에 형성된 고온(6,000K)의

Argon plasma에 실용액을 분무하면 시료의 원자는 들뜨게 되고, 이때 방출되는 빛을 분광시켜 광전증배관에서 검출하여 시료속의 원소를 분석하였다. 그 결과가 콘크리트 재료로의 사용을 위한 적용 범위가 폐기물 해양배출처리기준과 토양오염 우려기준 대책기준(토양오염우려기준법)에 적합해야 하고, 두 기준에서 가장 문제가 되고 있는 중금속은 Cr, Zn, Ni 이므로, 이 3가지 중금속만을 비교하여 Table 5에 나타내었다.

준설토를 콘크리트에 혼입하여 해양구조물과 지중구조물에 사용함에 있어 중금속의 함유량의 법적 기준에 만족하는 결과를 나타내었으므로 콘크리트 혼입 재료의 사용을 기대할 수 있었다.

SEM 분석은 준설토의 오염물질이 압축강도에 미치는 영향과 준설토와 시멘트 및 혼화제의 사용 유무, 준설토의 대체량 증가에 의한 수화반응을 고찰하고자 수행하였다. 전계방사형 주사전자현미경을 통하여 최소 3,000에서 최대 2,5000배까지 확대하여 고배율 관찰을 수행하였다.

2.2 시험

2.2.1 흐름시험

흐름시험에서는 준설토에 함유되어 있는 점토 및 실트 성분의 특성을 고려하여 시료의 상태를 울산항 준설토는

Table 6 Typical mix proportion of cement mortar included 10% dredged material as a replacement material

D.M. in 10% by mass of aggregate	Flow [mm]	C [g]	S [g]	D.M.+w [g]	
				D.M.	w
Ulsan D.M. plastic limit	55~60	255	583.1	41.9	20.6
Ulsan D.M. dry(1:2.37)				-	-
Ulsan D.M. dry(1:2.45)				62.5	-
Busan D.M. liquid limit				-	11.9
Busan D.M. dry(1:2.40)				50.5	-
Busan D.M. dry(1:2.45)				62.5	-

액성한계, 부산항 준설토는 소성한계 상태로 가정하여 흐름시험을 수행하였다. 두 시료를 대상으로 하여 액성한계 및 소성한계 시험 결과 울산항 준설토는 대부분 잔골재 성분으로 이루어져 있으므로 소성한계 시험이 불가능하였고, Table 3에 나타난 바와 같이 부산항 준설토는 두 가지 시험 모두 가능 하였다. 시료의 상태를 액성한계 및 소성한계 상태로 가정한 것은 점토 및 실트 성분이 물을 흡수하여 체적의 팽창과 분자간의 응집력이 작용하므로 각 시료별 시멘트의 수화반응에 미치는 영향이 충분히 반영되도록 흐름시험은 흐름값이 55~60mm의 범위에 속할 때를 나타내었고, 시험 변수를 살펴보면 다음과 같다. 시료의 상태를 액성한계 및 소성한계 상태로 가정하고 시멘트와 잔골재의 비 1:2.45에 맞추어 흐름시험을 수행하였다.

시료의 상태를 가정하기 위한 물의 양이 포함된 변수(Ulsan D.M. plastic limit, Busan D.M. liquid limit), 울산항 준설토의 경우 시멘트와 잔골재의 비율이 1:2.37 인 것은 시료의 상태를 액성한계로 가정하지 않을 경우 물을 양을 제외한 변수이고, 시멘트와 잔골재의 비율이 1:2.40 인 부산항 변수도 동일하다. 그리고 잔골재를 대체하여 준설토를 혼입하여 시멘트와 잔골재 비 1:2.45로 맞춘 변수이다. 세 가지 변수를 토대로 시료의 상태와 혼입량의 일정한 증가에 따른 w/c의 변화를 고찰하고자 하였다.

2.2.2 모르터 압축강도시험

모르터 압축강도시험은 KS L 5105에 준하여 각각의 시료에 대한 중량비(시멘트:잔골재=1:2.45)로 배합을 하였다.

흐름시험을 결과를 바탕으로 하여 부산항 준설토는 소성한계, 울산항 준설토는 액성한계로 시료의 상태를 가정하여 배합하였으며 변수와 배합표는 Table 7에 나타내었다. 압축강도는 초기재령 7일과 28일, 그리고 장기강도의

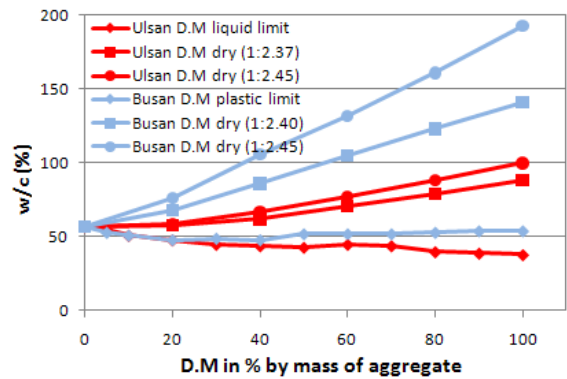


Fig. 1 Flow test result

변화를 고찰하고자 90일 강도를 측정하였다.

시험변수는 Table 7과 같다. 잔골재를 세척한 후 100% 대체하고 w/c를 120%로 고정시켜 제작한 AN-B,U-A100 Series(All Replacement of aggregate with Natural Untreated material), AN-B,U-A100 Series에서 준설토를 세척하지 않은 AN-B,U-B100 Series, AN-B,U-B100 Series에서 w/c를 고정하지 않고 흐름시험 값 55~60mm에 맞추어 제작한 RN-B,U-C100 Series, 0%, 5%, 10%, 30%, 50%, 70% 비율로 잔골재를 대체하고 w/c를 45%로 고정하여 제작한 RN-B,U-A Series(Replacement of aggregate with Natural untreated material), RN-B,U-A Series에서 w/c를 고정하지 않고, 흐름시험값 55~60mm에 맞추어 제작한 RN-B,U-B Series, 폴리카본산계와 나프탈렌계 고성능 감수제 및 감수제를 사용하여 잔골재의 10%, 30% 대체한 RN-B,U-C,D,E,F Series, 준설토를 200°C와 900°C에서소성한 뒤 잔골재를 10%, 30% 대체한 RT-B,U-A,B Series(Replacement of aggregate with Treated material), 마지막으로 준설토를 채움재로서 시멘트 양의 5%, 10%, 30% 혼입한 NF-B,U-A Series(Natural untreated dred material as Filler)이다.

AN series의 w/c를 120%로 고정한 것은 준설토의 잔골재 대체량이 100% 이므로, 동일한 w/c에서의 강도와 많은 양의 물의 함유에 의한 강도 변화를 고찰하고자 하였기 때문이다. 그리고 w/c를 45% 고정과 흐름 결과 값 55~60mm의 범위에 속하도록 하여 시험체를 제작한 것은 흐름 시험 결과를 바탕으로 최적의 w/c로 판단하였기 때문이다.

3. 실험결과

3.1 흐름시험 및 압축강도 시험

3.1.1 흐름시험

본 연구에서 사용한 준설토에 함유되어 있는 점토 및 실트 성분의 특성을 파악하고자 수행한 흐름시험 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 준설토 시료의 상태가 액성한계 및 소성한계 상태일 경우 준설토의 양이 증가하더라도

55~60mm의 흐름값을 유지하기 위한 w/c의 변화는 크게 나타나지 않았다. 두 시료 모두 대체량이 약 40~50% 까지 증가 할 경우 w/c는 감소하는 경향을 나타내었고, 약 40% 이후부터 부산항 준설토의 경우 w/c가 증가하였으나 울산항 준설토의 경우 반대의 경향을 나타내었다. 이는 시료가 완전건조(수축한계) 및 분쇄상태이기 때문에 건조시료가 포화상태로 변화하는 과정에서 물의 흡수로 인한 점토 및 실트 성분의 응집력이 발생한 것으로 판단된다. 또한 두 시료에 함유되어 있는 점토 및 실트 성분

Table 7 Compressive Strength test mix proportion

Series	w/c [%]	Flow [mm]	a:c=1:2.45		w [g]		c	S	Total D.M1)	Remarks		
			s [%]	D.M [%]	Ulsan	Busan						
As a replacement material	AN-B,U-A100	120	-	-	100	306	306	255	-	625	Washing	
	AN-B,U-B100					79	110				Natural condition	
	AN-B,U-C100	-	55~60	-	-	79	110	255	-	625	Natural condition	
	RN-B,U-A0	45	-	100	-	0	0	255	625	-	Natural condition	
	RN-B,U-A5			95	5	25	21		594	31		
	RN-B,U-A10			90	10	51	42		562	63		
	RN-B,U-A30			70	30	152	126		437	188		
	RN-B,U-A50			50	50	251	209		312	313		
	RN-B,U-A70			30	70	354	293		187	438		
	RN-B,U-B0	-	55~60	100	-	0	0	255	625	-	Natural condition	
	RN-B,U-B5			95	5	25	21		594	31		
	RN-B,U-B10			90	10	51	42		562	63		
	RN-B,U-B30			70	30	152	126		437	188		
	RN-B,U-B50			50	50	251	209		312	313		
	RN-B,U-B70			30	70	354	293		187	438		
	RN-B,U-C10	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent	Polycarboxdate
	RN-B,U-C30			70	30	152	126		437	188		Naphthelene
	RN-B,U-D10	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent for high Stregnth	Naphthelene
	RN-B,U-D10			70	30	152	126		437	188		Polycarboxdate
	RN-B,U-E30	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent for high Stregnth	Naphthelene
RN-B,U-E10	70			30	152	126	437		188	Polycarboxdate		
RN-B,U-F30	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent for high Stregnth	Naphthelene	
RN-B,U-F10			70	30	152	126		437	188		Polycarboxdate	
RT-B,U-A10	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent for high Stregnth	Calcination [900°C]	
RT-B,U-A30			70	30	152	126		437	188		Calcination [200°C]	
RT-B,U-B10	-	55~60	90	10	51	42	255	562	63	Agent for high Stregnth	Calcination [900°C]	
RT-B,U-B30			70	30	152	126		437	188		Calcination [200°C]	
As admixture material	NF-B,U-A5	-	55~60	95	5	12.8	12.8	255	625	12.8	Dried D.M.	
	NF-B,U-A10			90	10	25.5	25.5					25.5
	NF-B,U-A30			70	30	76.5	76.5					76.5

1) ex) RN,RT-B,U-A5

	Dredged material				
	Total D.M [g]	Dry D.M [g]	w [g]	liquid limit [%]	Plastic limit [%]
Ulsan	31.0	20.68	10.32	27.08	-
Busan	31.0	22.61	8.39	-	33.31

Table 8 Compressive strength of cement mortar

Specimen	w/c [%]	Flow [mm]	7days [MPa]	28days [MPa]	90days [MPa]	Specimen	w/c [%]	Flow [mm]	7days [MPa]	28days [MPa]	90days [MPa]
AN-B-A100	120	6.47	9.43	11.42	14.72	AN-U-A100	120	18.67	18.90	23.95	28.35
AN-B-B100		8.30	9.34	11.74	16.02	AN-U-B100	31	21.20	17.48	20.61	37.51
AN-B-C100	43	58.48	9.99	11.84	15.42	AN-U-C100	45	57.63	19.43	22.30	26.79
RN-B-A0	45	17.27	25.01	34.09	-	RN-U-A0	45	17.27	25.01	34.09	-
RN-B-A5		40.10	29.14	33.13		RN-U-A5		23.20	34.56	35.71	
RN-B-A10		53.82	26.69	34.03	41.14	RN-U-A10		43.87	30.98	34.10	39.65
RN-B-A30		57.87	20.25	24.31	28.48	RN-U-A30		83.80	25.75	32.61	35.74
RN-B-A50		57.77	15.36	19.04	23.57	RN-U-A50		103.8	22.66	25.09	30.09
RN-B-A70		66.03	11.42	14.60	-	RN-U-A70		116.6	18.62	19.00	-
RN-B-B0	55	58.03	24.59	31.37		RN-U-B0	55	58.03	24.59	31.37	
RN-B-B5	51	56.37	26.23	28.78		RN-U-B5	55	57.97	26.90	31.59	
RN-B-B10	49	57.73	25.65	25.82	35.72	RN-U-B10	52	59.30	26.67	32.31	38.80
RN-B-B30	44	57.30	25.47	27.45	33.41	RN-U-B30	40	56.73	26.89	30.39	40.03
RN-B-B50	44	57.93	19.28	19.68	23.13	RN-U-B50	34	56.50	26.22	29.79	38.58
RN-B-B70	43	57.67	13.78	15.11	-	RN-U-B70	32	57.10	25.68	28.97	-
RN-B-C10	41	57.08	25.70	30.90	34.64	RN-U-C10	41	57.11	26.45	32.49	37.11
RN-B-C30	43	60.13	21.76	24.41	29.16	RN-U-C30	37	58.28	23.12	26.34	32.19
RN-B-D10	41	56.13	28.83	35.23	39.15	RN-U-D10	45	58.03	28.79	34.37	40.32
RN-B-D30	35	56.74	24.37	33.19	36.41	RN-U-D30	38	58.89	26.54	33.73	38.59
RN-B-E10	39	57.20	27.96	33.46	38.82	RN-U-E10	43	60.00	28.95	36.94	43.68
RN-B-E30	33	55.70	24.12	30.20	36.34	RN-U-E30	37	59.00	25.98	31.79	38.50
RN-B-F10	37	56.23	27.47	33.78	42.44	RN-U-F10	39	59.60	37.15	40.77	50.60
RN-B-F30	35	55.63	22.55	26.81	36.37	RN-U-F30	32	56.38	29.12	35.20	45.34
RN-B-A10	55	58.63	27.27	34.21	-	RN-U-A10	54	58.70	26.88	33.60	-
RN-B-A30	43	56.94	25.68	34.59		RN-U-A30	47	58.70	24.45	35.87	
RT-B-B10	47	59.17	25.76	32.73	38.36	RT-U-B10	47	57.60	26.87	29.59	38.25
RT-B-B30	43	57.70	20.57	24.82	29.57	RT-U-B30	41	56.03	27.12	29.63	34.10
NF-B-A5	55	58.24	23.83	30.29	-	NF-U-A5	55	59.37	28.25	30.67	-
NF-B-A10	56	57.90	24.02	29.59		NF-U-A10	57	57.20	26.00	28.94	
NF-B-A30	67	59.57	19.73	23.72		NF-U-A30	59	57.63	25.38	26.07	

의 함유량 차이 또한 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 준설토 시료의 상태가 건조상태일 경우 대체량이 증가할수록 w/c가 증가하는 경향을 나타내었으며, 동일한 대체량에서 준설토의 양이 많이 함유되어 있을수록 w/c가 더욱 높게 나타내었다.

3.1.2 모르타 압축강도 시험

준설토를 잔골재의 대체재, 채움재로서 혼입하여 제작한 모르타 시험체의 압축강도 시험 결과는 Table 8에 나타내었고, 압축강도의 대부분 표준편차는 0.16~2.00의 범위에 속하였으나 몇 개의 변수는 표준편차 2.00을 초과하는 결과를 나타내었다. 준설토를 세척하여 잔골재 대체재로서 100% 혼입한 AN-B-A100은 준설토를 세척하지 않은

AN-B-B100 보다 초기재령에서는 강도의 증가를 나타내지 않았지만, 28일과 90일 강도에서는 흐름시험 값의 감소와 함께 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 w/c를 120%에 고정하지 않고 흐름시험 값 55~60mm에 맞추어 제작한 AN-B-C100의 압축강도가 AN-B-B100 보다 7일, 28일 강도에서는 강도가 감소하였지만, 90일 압축강도에서는 증가하는 경향을 나타내었다. 반면 울산향 준설토를 혼입한 시험체의 경우 준설토의 세척에 따른 변화와 w/c의 변화에 따른 압축강도가 일정하게 나타나지 않았다. w/c를 45%로 고정 시킨 후 5%, 10%, 30%, 50%, 70%의 비율로 잔골재를 대체하여 준설토를 혼입한 RN-B,U-A Sereis의 압축강도 시험 결과 준설토의 혼입량이 증가할수록 흐름 값은 증가하는 경향

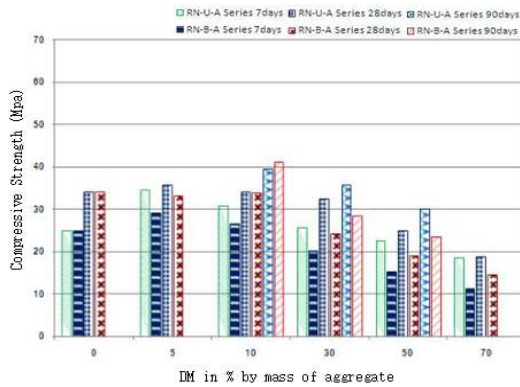


Fig. 2 The compressive strength results of RN-U,B-A series

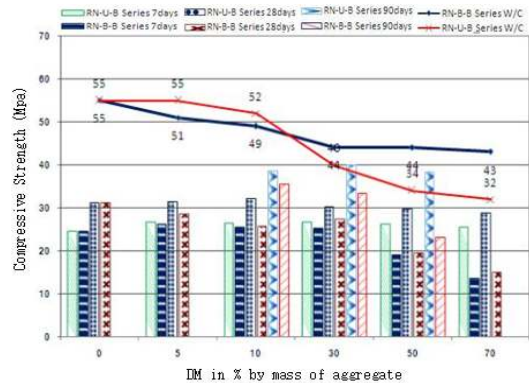


Fig. 3 The compressive strength results of RN-U,B-B series

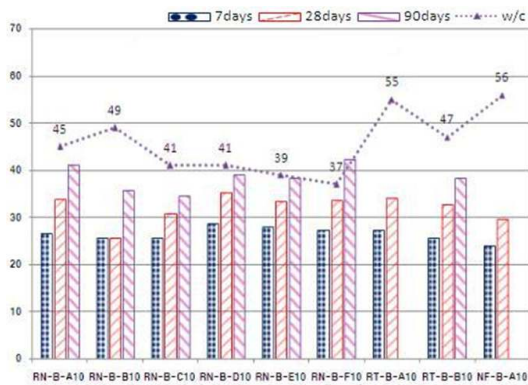


Fig. 4 The compressive strength results of RN-B-A10, B10, C10, D10, E10, F10 and RT-B-A10, B1 and NF-B-A10 series

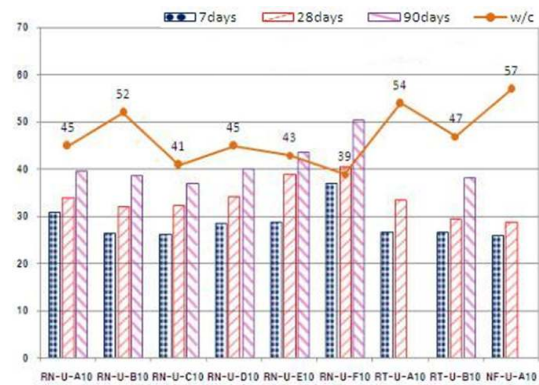


Fig. 5 The compressive strength results of RN-U-A10, B10, C10, D10, E10, F10 and RT-U-A10, B1 and NF-B-A10 series

을 나타내었고, 두 가지 준설토의 잔골재 대체량이 5%와 10%일 때 최대 압축강도를 나타내었다. 하지만 부산항 준설토의 경우 대체량이 5%, 울산항 준설토의 경우 대체량이 30% 일 때의 압축강도는 준설토를 혼입하지 않은 RN-B,U-A0 보다 높게 나타나 준설토의 사용에 있어 강도에 일정부분 긍정적인 영향을 미치는 것으로 사료되며, 그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 또한 울산항 준설토가 혼입된 시험체의 압축강도가 대부분 높게 나타났지만, 부산항 준설토를 10% 혼입한 RN-B-A10의 경우 90일 압축강도에서 RN-U-A10 보다 1.49 MPa 높게 나타났다.

모르터 시험체를 제작할 때 w/c를 고정하지 않고 흐름 값이 55~60mm의 범위에 속하도록 하여 RN-B,U-A Series와 같이 준설토의 잔골재 대체량이 동일하도록 제작한 RN-B,U-B Series의 압축강도 시험 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 흐름 값에 맞추어 모르터 시험체를 제작한 경우 최대 w/c는 55%를 나타내었고, 대체량이 증가할수록 w/c는 감소하는 경향을 나타내었다. 압축강도에서는 RN-B,U-A Series 보다 대부분 낮게 나타났고 최대 압축강도를 발현한 시험체는 준설토의 혼입량이

RN-B,U-A Series와 동일한 5%와 30%일 때 나타내었다. 울산항 준설토의 경우 준설토의 잔골재 대체량이 30%일 때 RN-U-A30 보다 RN-U-B30이 7일 강도에서 4.09 MPa 높게 나타났고, 부산항 준설토의 경우 RN-B-A10 보다 RN-B-B5가 7일 강도에서 2.91 MPa 높게 나타났다. 하지만 RN-B,U-B Series가 RN-B,U-A Series 보다 준설토의 혼입량이 증가 할수록 압축강도의 감소폭이 낮게 나타났으며, RN-U-B30의 90일 강도가 RN-U-A10 보다 0.38 MPa 높게 발현됨으로서 각 시료에 대한 시험체 제작 방법의 차이에 따른 결과로 판단된다. 또한 이는 준설토를 콘크리트 혼합재로의 활용에 있어 중요한 변수로 작용할 것으로 사료된다.

준설토에 함유되어 있는 점토 및 실트 성분으로 인한 높은 w/c와 강도 저하의 요인으로 판단되어 나프탈렌계 및 폴리카본산계 혼화제를 혼입한 RN-B,U-C,D,E,F Series의 압축강도 시험결과는 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 부산항 준설토의 경우 폴리카본산계 감수제를 사용한 RN-B-C10의 경우 혼화제를 사용하지 않은 RN-B-B10 보다 강도가 7일 강도에서 5.08 MPa 높게

나타났지만 w/c를 45%로 고정하여 제작한 RN-B-A10 보다 3.14 MPa 낮게 나타나 혼화제의 사용에 따른 강도 증가 효과를 기대할 수 없었다. 하지만 나프탈렌계 감수제를 사용한 경우 압축강도의 향상과 w/c의 최대 10% 감소를 나타내었다. 울산항 준설토에 두 가지의 감수제를 혼입한 RN-U-C,D Series의 7일 강도에서는 부산항 준설토와 비슷한 경향을 나타내었지만, 28일 강도에서는 서로 다른 경향을 나타내었다. 무기질 실트 성분이 대부분을 차지하는 부산항 준설토의 경우 나프탈렌계 감수제가 효과적이고 잔골재 성분이 많은 울산항 준설토의 경우 폴리카보산계 감수제가 효과적으로 나타났다. 고성능 감수제를 혼입하여 w/c의 감소와 압축강도 향상을 기대하고자 한 RN-B,U-E,F Serie의 경우 감수제를 혼입한 RN-B,U-C,D와 반대의 결과를 나타내었다. 울산항 준설토의 경우 폴리카보산계 고성능 감수제를 사용 하였을 경우 최대 13%의 w/c 감소를 나타내었고, RN-U-A10 보다 RN-U-F10의 7일 압축강도가 6.17 MPa 향상됨을 나타내었다. 부산항 준설토의 경우 나프탈렌계 감수제를 사용할 경우 준설토의 혼입량이 30% 일 때 폴리카보산계 감수제를 사용한 경우 보다 압축강도가 비교적 높게 나타났고, 혼입량이 10% 일 경우는 이와 반대의 경향을 나타내었다. 따라서 준설토를 콘크리트 혼입재로 활용을 하고자 할 경우 혼화제의 사용에 있어서 적용을 통한 가장 효율적인 종류를 선택하는 것 또한 중요하다고 판단된다.

3.2 SEM 분석

SEM 분석은 각 재령일에 따른 변수별 압축강도 시험 후 분쇄한 시료를 대상으로 수행하였다. 이는 준설토의 혼입량에 따른 시멘트와의 수화반응과 혼화제의 사용으로 인한 수화반응, 준설토와 시멘트의 혼합으로 인한 광물의 생성 등 압축강도에 미치는 영향을 파악하고자 함이며, 그 결과는 Table 9에 나타내었다. 시멘트와 염분이 만나면 C3S의 수화반응이 촉진되고 규산칼슘 수화물의 석출(결정화)이 왕성해지며 응결을 촉진함과 동시에 초기강도를 크게 한다.

하지만 준설토를 100% 혼입한 AB-B,U-B Series의 경우 염분에 의하여 수화반응이 억제됨으로서 초기재령의 압축강도가 낮게 나타났으나 28일, 90일 강도에서는 그 차이가 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다. 그리고 w/c의 고정 또는 흐름값에 맞추어 제작한 시험체의 압축

강도에서의 차이 또한 염분의 수화반응 억제 때문에 발생한 것으로 사료된다.

폴리카보산계 감수제를 혼입하여 제작한 RN-B-C10의 경우 다른 변수의 시험체와 달리 감수제가 시멘트와 준설토에 함유되어 있는 Albite와 Corundum과 빠르게 반응하여 에트린자이트(ettringite)를 생성하고, 생성된 에트린자이트는 시멘트와 준설토 입자 주위에서 생성되어 수화반응을 제어함으로써 초기강도가 낮게 나타났다.

또한 시간의 경과에 따라 에트린자이트 생성량이 점차 증가하면서 시멘트 광물의 Alite와 Belite 그리고 준설토 광물의 Quartz와 Aragonite가 수화에 의해 C-S-H gell의 석출 및 응고가 일어나면서 후기강도 발현에 영향을 준 것으로 판단된다(박종탁 등, 2009).

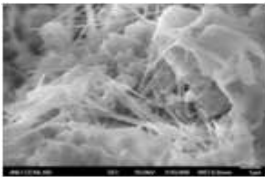
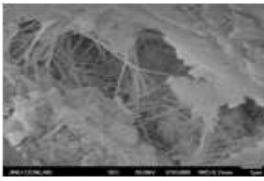
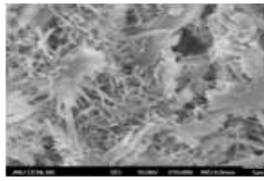
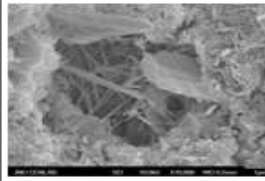
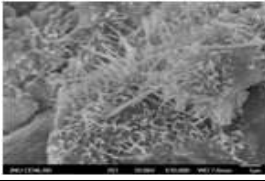
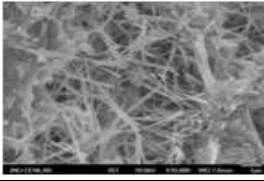
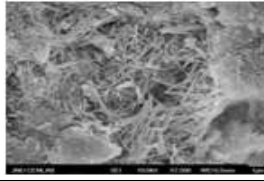
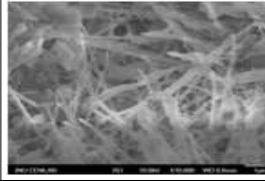
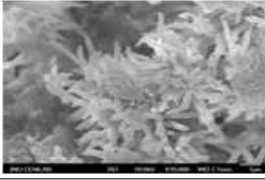
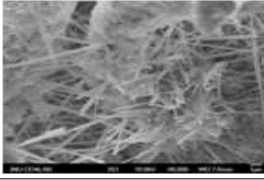
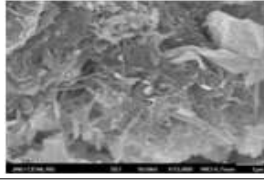
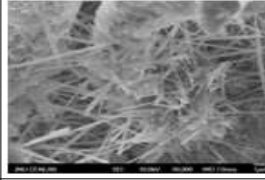
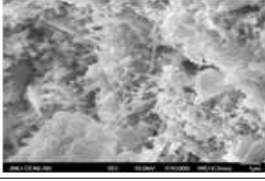
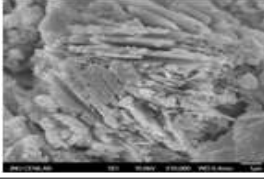
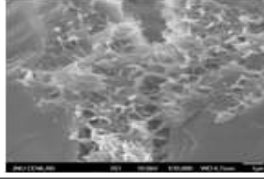
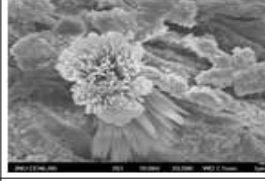
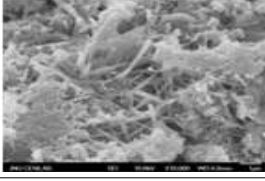
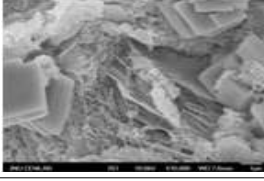
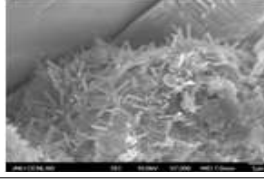
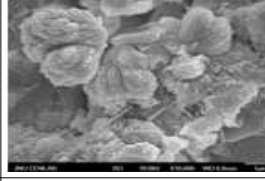
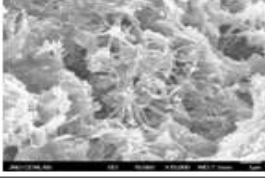

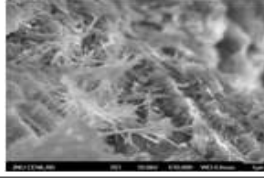

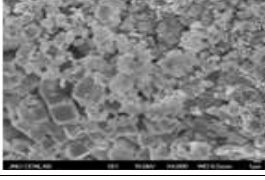
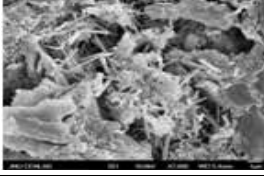
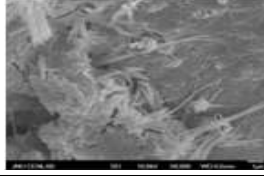
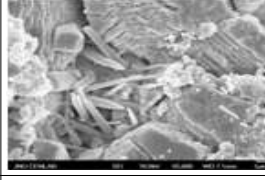
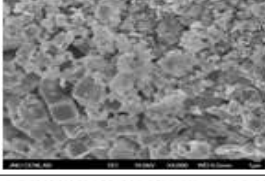
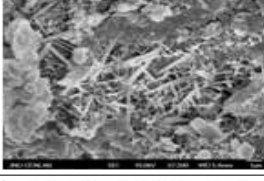
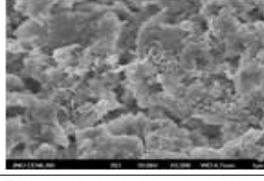
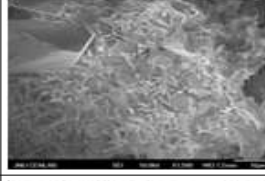
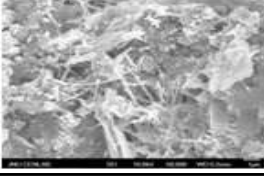
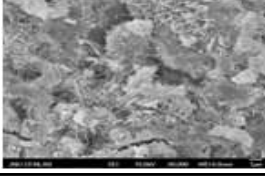
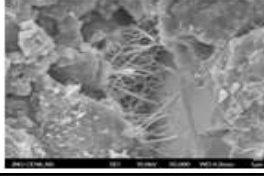
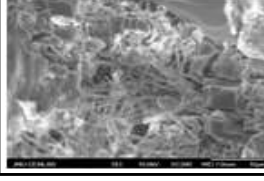
C-S-H gell은 에트린자이트를 감싸며 재령이 경과함에 따라 생성량이 지속적으로 증가하고, C-S-H gell이 경화된 페이스트 공극을 밀실하게 채우게 되어 에트린자이트와 치밀한 네트워크식 망상 구조를 형성하면서 지속적으로 높은 강도 발현을 한다(문경주 등, 2006). 나프탈렌계 감수제와 고성능 감수제를 사용한 RN-U-D10, E10의 재령일 28일에서 일반적으로 알칼리-실리카 반응에 의한 겔의 형태로 알려진 장미모양(rosette morphology)의 반응 생성물이 형성된 것을 확인할 수 있었다(전쌍순 등, 2009). 또한 대부분의 시험체 SEM 사진에서 준설토에 가장 많이 함유되어 있는 육각기둥 모양의 Quartz이 형성됨을 나타내었다. 부산항 준설토를 소성시킨 후 혼입하여 제작한 RT-B-A10,B10의 초기 재령에서 사장석과 같은 결정구조를 가지는 삼사정계에 속하는 광물인 조장석이 형성되었다. 조장석(albite)은 나트륨장석 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 로 구성되어 있으며 입상 또는 판상의 형태를 가진다. 이는 온도 조건에 따라 저온형 조장석과 고온형 조장석을 구성되며 시료의 소성으로 인하여 생성된 광물로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 항만공사에 수반하여 발생한 두 곳의 준설토를 대상으로 하여 콘크리트 혼합재료의 활용을 위한 기초적 연구를 수행하였다.

또한 준설토의 혼입으로 인한 시멘트와의 수화반응이 강도에 미치는 영향의 범위를 파악하고자 하였고, 준설토를 혼입하여 콘크리트 구조물을 만들고자 할 경우 준설토에 함유되어있는 오염물질에 대한 평가를 하였다. 그 결

Table 9 SEM analysis result

Specimen	Busan Dredged Material		Ulsan Dredged Material	
	(a) 7 days	(b) 28 days	(a) 7 days	(b) 28 days
AN-B-B100 AN-U-B100				
RN-B-B10 RN-U-B10				
RN-B-C10 RN-U-C10				
RN-B-D10 RN-U-D10				
RN-B-E10 RN-U-E10				
RN-B-F10 RN-U-F10				
RT-B-A10 RT-U-A10				
RT-B-B10 RT-U-B10				
NF-B-A10 NF-U-A10				

과는 다음과 같다.

- 1) 준설토를 혼입하여 모르터 압축강도 시험 결과, 준설토의 잔골재 대체량이 10%일 때 대부분의 변수 압축강도가 향상됨을 나타내었다. 또한 대체량이 30%일 경우 역시 압축강도가 저하되지 않음으로 콘크리트 혼합재로의 사용에 긍정적인 경향을 나타내었다.
- 2) 각 재령일에 따른 SEM을 통하여 분석한 결과 중금속에 의한 유해한 광물의 생성은 발견되지 않았으며, 알칼리-실리카 반응에 의한 장미모양의 겔의 생성과 에트르나이트의 생성이 많이 발생하였기 때문에 압축강도의 증가를 나타낸 것이라 판단된다.
- 3) 해양준설토의 물리, 화학적 특성은 항만의 지역적 특성과 항만의 종류 등에 따라 많은 차이를 갖게 된다. 따라서 두 항만준설토로부터 도출된 본 연구의 결과는 제한적일 수 있으나, 준설토의 콘크리트 활용가능성에 대한 기초연구로서 향후 활용가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 기초연구지원사업(2010-0024085과 2010-0015212)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 저자들은 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. [대한토목학회] 김종윤, 안동욱, 한상재, 임남웅, 김수삼, "버팀대석을 이용한 준설토의 안정처리에 관한 연구." 대한토목학회 2008년 정기학술대회, pp.2127-2130
2. [한국지반공학학회] 김윤태, 한우중, "준설토를 이용한 단섬유

- 보강 Bottom ash 혼합 경량토의 역학적 특성에 관한 실험적 연구", 한국지반공학학회논문집, 제24권, 1호, 2008, pp.101-110.
3. [한국지반환경공학학회] 이상진, 윤길림, 이윤규, 이기동, 강인규, 김홍택, 백승철, "굴폐각 고화재를 혼합한 준설토의 전단 특성," 한국지반환경공학학회논문집, 제8권 1호, 2007, pp.27-36.
4. [한국해양공학학회] 김윤태, 김홍중, 권용규, "낙동강 하구역 준설토 재활용을 위한 시멘트 혼합 경량토의 압축강도 특성 연구", 한국해양공학학회논문집, 제20권, 1호, 2006, pp.7-15.
5. [한국환경영향평가학회] 엄기혁, 이대인, 박달수, 김귀영, "우리나라 연안준설 및 준설토 해양투기 현황 진단", 한국환경영향평가학회논문집, 제18권, 3호, 2009, pp.185-193.
6. [토양오염우려기준법] 토양오염우려기준 제4조의 2규정
7. [ELSEVIER] C. Huang, J. R. Pan, Y. Liu, "Mixing water treatment residual with excavation waste soil in brick and artificial aggregate making", Journal of Environment Engineering, 131, 2005, 1.
8. [ELSEVIER] F. Agostini, F. Skoczlas, Z. Lafhaj, "About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment", Cement and Concrete Composites, vol. 29, Issue 4, 2007, pp.270-278.
9. [ELSEVIER] Mazen Samara, Soubeir Lafhaj, Christophe Chapiseau, "Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks : Factory scale experiment", Journal of Hazardous Material 163, 2009, pp.701-710.
10. [ELSEVIER] Rachid Zener, Vincent Dubois, Nor Edin Abriak, "Mechanical behaviour and environment impact of a test road built with marine sediments", Resource, Conservation and Recycling, 52, 2008, pp.947-954.
11. Karsten Millrath, "Modifying concrete matrices with beneficiated dredged material or other clayey constituents, Columbi university", 2003.

(접수일자 : 2010년 2월 2일)

(1차수정일자 : 2010년 7월 7일)

(2차수정일자 : 2010년 8월 23일)

(심사완료일자 : 2010년 8월 25일)

요 지

최근 준설토의 발생량은 항만공사를 통하여 급격히 증가하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 울산항과 부산항 준설토를 콘크리트 혼합재로의 혼입을 위한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 준설토의 물리적 및 화학적 시험을 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 하여 잔골재 대체재로서 준설토를 일정한 비율로 증가시켜 혼입한 모르터 시험체의 압축강도 시험을 수행하였다. 울산항 및 부산항 준설토 모두 혼입비율이 10%일 때 압축강도가 향상됨을 나타내었고, 무기질 실트 성분이 약 70% 함유되어 있는 부산항 준설토의 경우 잔골재의 대체량이 30% 일 때 압축강도가 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 ICP 분석결과, 두 시료 모두 폐기물 해양배출처리기준과 토양오염 우려기준 및 대책기준에 만족하는 결과를 나타내어 콘크리트 재료로의 사용에 있어서 긍정적인 영향을 기대할 수 있었다.

핵심 용어 : 압축강도, 모르터 시험체, 준설토, XRD, ICP, SEM