

다당류 친환경 지반개량재를 이용한 지반강도 증대 효과

Effects of Ground Strength Increase using Polysaccharide Environmentally Friendly Soil Stabilizer

김 선 태¹⁾ · 도 종 남²⁾ · 조 현 수²⁾ · 천 병 식[†]

Kim, Suntae · Do, Jongnam · Jo, Hyunsoo · Chun, Byungsik

ABSTRACT : To recover basic functions of river such as water control, irrigation, environment, culture, a national river improvement project, the four river restoration projects were currently planned and under construction in Korea. This project is designed to preserve cultural assets and ecosystem from flooding, for that reason, environmentally friendly materials of construction are strongly emphasized. In this study, the soil and cement admixtures are developed. And, the compaction test and the unconfined compressive strength test to evaluate applicability of probiotics as environmentally friendly materials are conducted the soil and cement admixtures. As a result, the probiotic culture was not active in completely dried specimen to obtain accurate mixing proportion. It indicates that the probiotics cannot influence on the development the soil and cement admixtures. A further research will focus on the effect of response between polysaccharide environmentally friendly soil stabilizer and natural specimen.

Keywords : Four river restoration project, Polysaccharide environmentally friendly soil stabilizer, Compaction test, Permeability test, Unconfined compression strength test

요 지 : 하천의 기본기능인 치수, 이수, 환경 및 문화 등을 되살리기 위한 국가적 사업인 4대강 국가하천 정비사업은 홍수에 안전한 문화 및 생태가 살아있는 친환경 하천 공간을 정비하기 위한 것으로 건설재료의 친환경성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 다당류 친환경 개량제인 콘알파를 활용한 토양 및 시멘트 혼화제를 개발하여 다짐시험, 투수시험 및 일축압축강도시험을 통하여 친환경 하천 공간을 위한 건설재료로의 적합성을 평가하고자 하였다. 일축압축시험의 결과로는 다당류 지반개량제가 강도 증진에 큰 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 이에 대한 원인을 분석한 결과, 일반적으로 자연 상태에서 토사에 서식하고 있는 각종 균들이 본 연구에서 정확한 배합비를 얻기 위해 건조로에서 고온으로 건조를 시키는 과정에서 활동성이 극 저하되어 강도증진 효과에 반영되지 않은 것으로 나타났다. 향후, 다당류 친환경 지반개량제와 관련된 시험에서는 각 시료를 자연상태에서 함수비를 측정하여 적정함수비로 다진 뒤, 다당류 지반개량제를 혼합하여 공학적 시험을 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

주요어 : 4대강 국가하천 정비사업, 다당류 친환경 지반개량제, 다짐시험, 투수시험, 일축압축강도시험

1. 서 론

4대강살리기 사업은 범정부차원에서 하천별 종합계획을 수립, 단기간에 예산을 집중 투입함으로써 물 문제를 해결함은 물론 하천 중심으로 국토를 재창조하고자 하는 종합 프로젝트로서, 미국이 테니스장 개발사업으로 대공황을 극복하였고 인도는 다모다르강 유역개발사업으로 국가 신성장 동력을 확보하였듯이 하천 중심의 지역개발 사업을 통해 경제를 부흥시키고자 하는데 그 취지가 있다. 사업의 배경으로는 첫째, 우리나라가 기후변화 등으로 홍수 및 가뭄 피해가 빈번해짐에 따라 홍수 사전 예방투자 부족에 의한 수해복구에 과다한 비용이 발생하고 있으며, 주기적인 가뭄 발생으로 지역적 물부족 심화 및 하천의 건천화가 발생하는

문제점이 있다는 점이다. 둘째, 국민소득 증대로 수상레저 등 문화활동 수요가 급격히 증가하고 있으나 이를 충족시킬 만한 다양한 공간 및 프로그램이 부족한 실정이며, 셋째, 하천에는 이수·치수·생태·환경 등 다양한 기능이 있어서 각 기능 간에 연계성을 고려한 종합계획 수립이 필요하다는 측면이다. 마지막으로 침체된 실물경기 회복을 위해 4대강살리기를 통한 일자리 창출 및 지역경제 활성화 대책이 필요하다는데 그 배경이 있다(곽승주, 2009). 특히, 하천의 기본기능인 치수, 이수, 환경, 문화 등을 되살리기 위한 국가적 사업인 4대강 국가하천 정비사업은 홍수에 안전한 문화 및 생태가 살아있는 친환경 하천 공간을 정비하기 위한 것으로 건설재료의 친환경성이 강조될 수 밖에 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 다당류 친환경 개량제인 콘알파

1) 학생회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정

2) 정회원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

† 정회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

공법의 적용 분야로 하천제방이 적합할 것으로 판단되어 콘알파 공법의 하천제방 재료로서의 적용성을 평가하고자 콘알파 및 흙 시료(화강풍화토, 모래, 폐콘트리트, 점토)에 대한 기본물성시험, 다짐시험, 일축압축강도시험 및 투수시험을 실시하여 강도특성 및 투수특성을 분석하였다.

2. 이론적 배경

2.1 콘알파의 특성

콘알파란 식품첨가물 유기산으로부터 만들어진 지반 개량제이다. 일본, 미국, EU, 중국에서 특허를 가지고 있으며, 콘알파를 이용하여 지반, 노상개량, 토질개량, 도로포장 등 다양한 용도로 콘알파를 사용 중에 있다.

콘알파의 특성을 알아보면 콘알파를 첨가함으로써 흙의 점착력이 증가하고 전압에 의한 압밀을 가속시켜 미생물에 의해 안전하게 흙을 굳히는 재료로써 무공해 지반압밀 개량제이며, 사과산·구연산·포도당 등이 주성분으로 이루어져 있고 유기산 식품첨가물로 토양오염의 걱정이 없다. 표 1은

표 1. 콘알파의 구성성분

구연산 citric acid	포도당 D-glucose	사과산 malic acid	염화나트륨 sodium chloride	식물엑기스 plant extract
식품 첨가물로서 사용				사탕수수 등을 사용하여 효소를 이용하여 추출

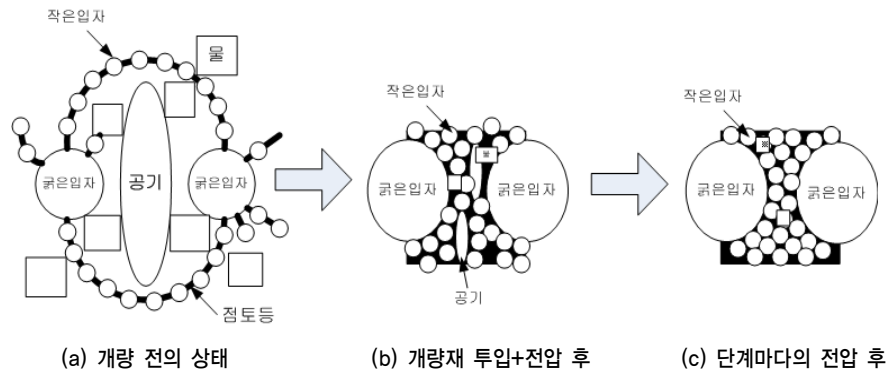
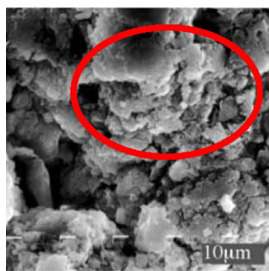
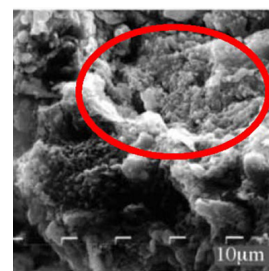


그림 1. 콘알파 개량이미지



(a) 처리 전



(b) 처리 후

그림 2. 콘알파 처리 전, 후의 SEM촬영 사진(相澤政明 등, 2008)

콘알파의 구성성분을 나타내고 있다.

콘알파 개량흙의 잔토는 일반잔토로 처리할 수 있어 산업 폐기물로 처분할 필요가 없다. 또한 기존 고화재와 다른 개량법으로 압밀을 가속시켜 필요 강도를 확보, 유지하여 주며 가속적 압밀효과로 흙이 조밀해져 개량한 흙 양을 감소시켜주는 효과도 있다. 콘알파에 의해 개량된 토양의 초기 pH값은 4~6이며, 유산균의 증식으로 인해 식물이 최상의 상태를 유지하도록 도와주는 역할도 한다. 그림 1을 보면 콘알파를 이용한 개량 이미지를 볼 수 있다.

2.2 콘알파의 지반개량 메커니즘

콘알파를 지반에 첨가하게 되면 흙에 포함되는 수분에 의해 겔화현상이 발생하여 흙입자에 부착된다. 이 때, 얽힌 입자들이 부착되면서 쉽게 떨어져 나가는데 그때의 상태로 고정, 굳게하여 입자사이에 있던 여분의 수분이나 공기가 제거되고 이때 밀도가 증가되어 강도를 발휘하게 된다. 겔화된 콘알파는 흙안의 미생물을 늘려 입자의 사이에 있는 겔화된 콘알파에 옮겨져 지반을 안정시켜준다.

그림 2는 콘알파 처리 전, 후의 효과를 비교하기 위해서

SEM촬영을 한 결과이다. 처리 전 사진을 보면 흡입자가 숨털구조를 형성하고 있으며, 공극이 비교적 크다는 것을 볼 수 있다. 그리고 처리 후 사진은 공극이 작아지는 형상을 볼 수 있다(相澤政明 등, 2008).

3. 실내시험 방법

본 연구에서는 표 2와 같이 다당류 친환경 개량재와 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토의 적정 배합비를 도출하기 위하여 시험을 계획하여 실시하였다. 다짐시험을 통하여 다짐도 95%에 해당되는 최적함수비를 산정하여 일축압축강도 시험, 투수시험의 공시체 제작 시 활용하였다.

3.1 기본물성시험

본 연구에 사용된 대상시료는 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트 및 점토이며 각 재료의 특성을 파악하고자 KS F 2301, KS F 2302, KS F 2324에 의거하여 기본물성 시험을 실시하였다. 각 시료는 정확한 배합비를 산정하기 위하여 건조로에 건조하여 사용하였다. 또한, 흙은 여러 가지 모양과 크기를 가진 흡입자들로 구성되어 있어 이들 입자간의 입도분포

를 각 크기의 집단으로 분류하고, 건조중량에 의해서 각 입자크기의 상대적인 비율을 결정하기 위해 체분석을 실시하여 입도분포곡선에서 누가통과율을 구하여 입도분포의 좋고 나쁨을 판단하고, 자갈, 모래, 실트, 점토 등의 구성비율을 결정하였다.

3.2 다짐시험

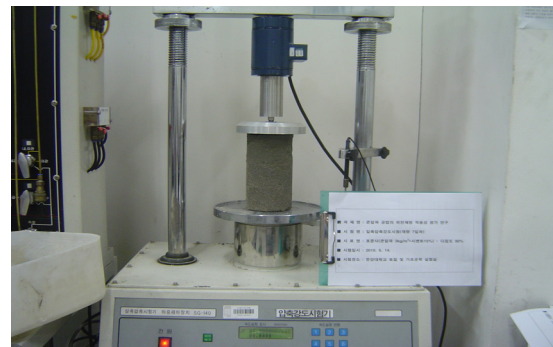
본 연구에서는 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 재료의 다짐도 95%에 해당하는 적정 함수비를 산출하기 위하여 다짐시험을 실시하였다. 입도분포에 따라 다짐시험 규격인 JIS A 1210과 KS F 2312에 근거한 다짐시험법으로 함수비를 크게 변화시키지 않고 간극 내의 공기를 배출시켜 입자간의 결합을 치밀하게 함으로써 단위중량을 증가시키는 과정이며, 흙을 일정한 방법으로 다져 다짐곡선을 결정한다. 이러한 다짐효과는 흡입자 상호간의 간극을 좁히고 흙의 밀도가 높아져 투수성만이 감소되는 것뿐만 아니라 그에 못지 않게 입자 사이의 맞물림이 양호해지고, 부착력이 증대하므로 역학적 안정도를 높이는데 있다. 이때 다짐효과는 토질 종류, 다짐에너지의 크기, 흙의 함수량에 영향을 받는다. KS F 2312에 따르면 몰드크기와 래머 무게의 조합에 따라 5가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 D다짐시험법을 실시하였다.

표 2. 각 시험별 배합비

시험항목	시험 변화요소
다짐시험	<ul style="list-style-type: none"> • 흙종류: 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 • 개량재첨가량(kgf/m³) : 0, 1, 3, 3+시멘트 5%, 10%, 15%, 20%
일축압축강도시험	<ul style="list-style-type: none"> • 흙종류 : 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 • 다짐도 : 90%, 95% • 개량재첨가량(kgf/m³) : 0, 1, 3, 3+시멘트 5%, 10%, 15%, 20% • 재령일수: 3일, 7일, 10일, 28일 ※ 점토(다짐도 95%, 개량재 첨가량(kgf/m³)) : 0, 1, 3, 3+시멘트5%, 10%, 15%, 20%, 재령일수: 7일, 10일
투수시험	<ul style="list-style-type: none"> • 흙종류 : 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 • 다짐도 : 95% • 개량재첨가량(kgf/m³) : 0, 1, 3, 3+시멘트최적혼합율 • 재령일수: 7일, 10일



(a) 일축압축강도 시험용 공시체 제작



(b) 일축압축강도 시험 전경

그림 3. 일축압축강도용 공시체 및 시험 전경

3.3 일축압축강도 시험

일축압축강도 시험은 디지털형 만능 재료시험기를 이용하여 KS F 2314의 방법에 의거하여 측정하였다. 각 배합비 별로 제작된 공시체의 일축압축강도시험은 그림 3과 같이 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 원형시편으로 공시체를 제작하여 배합비 별, 재령별 일축압축강도를 산출하였다.

3.4 투수시험

투수계수는 흙의 종류에 따라서 그 범위가 대단히 넓으며 댐, 하천 제방, 기초구조물의 침투 및 지하수위 아래에 위치한 구조물 등에 미치는 영향을 파악하여 설계 및 시공 시 매우 중요하게 이용되는 인자이다. 따라서, 본 연구에서는 적용된 지반의 종류별로 투수시험을 실시하였다. 실내투수시험은 정수위투수시험(KS F 2322)과 변수위투수시험(KS F 2322)으로 나누어 실시하였으며, 전자는 투수계수가 비교적 큰 사질토에 적용하였고 후자는 투수계수가 작은 점

성토지반에 적용하였다.

3.5 공시체 제작

본 연구에서는 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 재료의 다짐도 90%와 95%에 해당되는 배합비를 다짐시험을 통하여 각각의 재료별로 표 3~표 6과 같이 산정하여 재령 7, 10, 28일에 해당되는 공시체 $\phi 100 \times 300\text{mm}$ 의 크기로 제작하였다.

4. 시험결과 분석 및 고찰

4.1 기초물성시험결과

본 시험 대상 흙시료인 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트, 점토 그리고 친환경 다당류 혼화재인 콘알파에 대한 기본물성시험으로 건조단위중량, 입도분석을 실시하였다. 그 결과,

표 3. 사질토(표준사) 지반에 대한 배합비

CASE	구분	시료	물	콘알파	시멘트	TOTAL
S-1-A	배합량(gf)	30,000.00	5,700.00	0.00	0.00	35,700.00
	배합비율(%)	84.03	15.97	0.00	0.00	100.00
S-1-B	배합량(gf)	30,000.00	4,700.00	0.00	0.00	34,700.00
	배합비율(%)	86.46	13.54	0.00	0.00	100.00
S-2-A	배합량(gf)	30,000.00	6,400.00	18.75	0.00	36,418.75
	배합비율(%)	82.38	17.57	0.05	0.00	100.00
S-2-B	배합량(gf)	30,000.00	5,400.00	18.75	0.00	35,418.75
	배합비율(%)	84.70	15.25	0.05	0.00	100.00
S-3-A	배합량(gf)	30,000.00	6,300.00	56.25	0.00	36,356.25
	배합비율(%)	82.52	17.33	0.15	0.00	100.00
S-3-B	배합량(gf)	30,000.00	5,400.00	56.25	0.00	35,456.25
	배합비율(%)	84.61	15.23	0.16	0.00	100.00
S-4-A	배합량(gf)	30,000.00	5,700.00	56.25	1,500.00	37,256.25
	배합비율(%)	80.52	15.30	0.15	4.03	100.00
S-4-B	배합량(gf)	30,000.00	4,800.00	56.25	1,500.00	36,356.25
	배합비율(%)	82.52	13.20	0.15	4.13	100.00
S-5-A	배합량(gf)	30,000.00	5,200.00	56.25	3,000.00	38,256.25
	배합비율(%)	78.42	13.59	0.15	7.84	100.00
S-5-B	배합량(gf)	30,000.00	4,300.00	56.25	3,000.00	37,356.25
	배합비율(%)	80.31	11.51	0.15	8.03	100.00
S-6-A	배합량(gf)	30,000.00	5,400.00	56.25	4,500.00	39,956.25
	배합비율(%)	75.08	13.51	0.14	11.26	100.00
S-6-B	배합량(gf)	30,000.00	4,800.00	56.25	4,500.00	39,356.25
	배합비율(%)	76.23	12.20	0.14	11.43	100.00
S-7-A	배합량(gf)	30,000.00	5,700.00	56.25	6,000.00	41,756.25
	배합비율(%)	71.85	13.65	0.13	14.37	100.00
S-7-B	배합량(gf)	30,000.00	5,100.00	56.25	6,000.00	41,156.25
	배합비율(%)	72.89	12.39	0.14	14.58	100.00

표 4. 화강풍화토 기반에 대한 배합비

CASE	구분	시료	물	콘알파	시멘트	TOTAL
WG-1-A	배합량(gf)	30,000.00	4,200.00	0.00	0.00	34,200.00
	배합비율(%)	87.72	12.28	0.00	0.00	100.00
WG-1-B	배합량(gf)	30,000.00	3,900.00	0.00	0.00	33,900.00
	배합비율(%)	88.50	11.50	0.00	0.00	100.00
WG-2-A	배합량(gf)	30,000.00	4,200.00	56.25	0.00	34,256.25
	배합비율(%)	87.58	12.26	0.16	0.00	100.00
WG-2-B	배합량(gf)	30,000.00	3,900.00	56.25	0.00	33,956.25
	배합비율(%)	88.35	11.49	0.17	0.00	100.00
WG-3-A	배합량(gf)	30,000.00	3,900.00	56.25	0.00	33,956.25
	배합비율(%)	88.35	11.49	0.17	0.00	100.00
WG-3-B	배합량(gf)	30,000.00	3,600.00	56.25	0.00	33,656.25
	배합비율(%)	89.14	10.70	0.17	0.00	100.00
WG-4-A	배합량(gf)	30,000.00	3,900.00	56.25	1,500.00	35,456.25
	배합비율(%)	84.61	11.00	0.16	4.23	100.00
WG-4-B	배합량(gf)	30,000.00	3,300.00	56.25	1,500.00	34,856.25
	배합비율(%)	86.07	9.47	0.16	4.30	100.00
WG-5-A	배합량(gf)	30,000.00	3,900.00	56.25	3,000.00	36,956.25
	배합비율(%)	81.18	10.55	0.15	8.12	100.00
WG-5-B	배합량(gf)	30,000.00	3,300.00	56.25	3,000.00	36,356.25
	배합비율(%)	82.52	9.08	0.15	8.25	100.00
WG-6-A	배합량(gf)	30,000.00	5,400.00	56.25	4,500.00	39,956.25
	배합비율(%)	75.08	13.51	0.14	11.26	100.00
WG-6-B	배합량(gf)	30,000.00	4,200.00	56.25	4,500.00	38,756.25
	배합비율(%)	77.41	10.84	0.15	11.61	100.00
WG-7-A	배합량(gf)	30,000.00	6,000.00	56.25	6,000.00	42,056.25
	배합비율(%)	71.33	14.27	0.13	14.27	100.00
WG-7-B	배합량(gf)	30,000.00	4,500.00	56.25	6,000.00	40,556.25
	배합비율(%)	73.97	11.10	0.14	14.79	100.00

표 5. 페콘크리트 기반에 대한 배합비

CASE	구분	시료	물	콘알파	시멘트	TOTAL
WC-1-A	배합량(gf)	30,000.00	1,400.00	0.00	0.00	31,400.00
	배합비율(%)	95.54	4.46	0.00	0.00	100.00
WC-1-B	배합량(gf)	30,000.00	1,200.00	0.00	0.00	31,200.00
	배합비율(%)	96.15	3.85	0.00	0.00	100.00
WC-2-A	배합량(gf)	30,000.00	1,200.00	18.75	0.00	31,218.75
	배합비율(%)	96.10	3.84	0.06	0.00	100.00
WC-2-B	배합량(gf)	30,000.00	1,400.00	18.75	0.00	31,418.75
	배합비율(%)	95.48	4.46	0.06	0.00	100.00
WC-3-A	배합량(gf)	30,000.00	1,200.00	56.25	0.00	31,256.25
	배합비율(%)	95.98	3.84	0.18	0.00	100.00
WC-3-B	배합량(gf)	30,000.00	1,400.00	56.25	0.00	31,456.25
	배합비율(%)	95.37	4.45	0.18	0.00	100.00
WC-4-A	배합량(gf)	30,000.00	1,100.00	56.25	1,500.00	32,656.25
	배합비율(%)	91.87	3.37	0.17	4.59	100.00
WC-4-B	배합량(gf)	30,000.00	1,300.00	56.25	1,500.00	32,856.25
	배합비율(%)	91.31	3.96	0.17	4.57	100.00
WC-5-A	배합량(gf)	30,000.00	1,300.00	56.25	3,000.00	34,356.25
	배합비율(%)	87.32	3.78	0.16	8.73	100.00
WC-5-B	배합량(gf)	30,000.00	1,500.00	56.25	3,000.00	34,556.25
	배합비율(%)	86.81	4.34	0.16	8.68	100.00
WC-6-A	배합량(gf)	30,000.00	1,600.00	56.25	4,500.00	36,156.25
	배합비율(%)	82.97	4.43	0.16	12.45	100.00
WC-6-B	배합량(gf)	30,000.00	1,800.00	56.25	4,500.00	36,356.25
	배합비율(%)	82.52	4.95	0.15	12.38	100.00
WC-7-A	배합량(gf)	30,000.00	1,800.00	56.25	6,000.00	37,856.25
	배합비율(%)	79.25	4.75	0.15	15.85	100.00
WC-7-B	배합량(gf)	30,000.00	2,000.00	56.25	6,000.00	38,056.25
	배합비율(%)	78.83	5.26	0.15	15.77	100.00

표 7에 나타난 바와 같이 흙의 분류는 통일분류법(USCS)상 모래(주문진표준사)는 SP, 화강풍화토는 SW, 폐콘크리트는 GP, 점토는 CL로 분류할 수 있다. 또한 전체단위중량은 모래의 경우 18.1kN/m³, 화강풍화토 16.0kN/m³, 폐콘크리트 13.2kN/m³, 점토 14.5kN/m³, 콘알파 10.1kN/m³ 를 나타내었다.

4.2 다짐시험 결과

4.2.1 화강풍화토 혼합토

화강풍화토 혼합토의 다짐시험 결과는 그림 4와 같으며, γ_{dmax} 는 19.8kN/m³, W_{opt} 는 6%로 나타났다.

4.2.2 모래 혼합토

모래 혼합토의 다짐시험 결과는 그림 5와 같으며 γ_{dmax} 는 16.8kN/m³, W_{opt} 는 8%로 나타났다.

4.2.3 폐콘크리트 혼합토

폐콘크리트 혼합토의 다짐시험 결과는 그림 6과 같으며 γ_{dmax} 는 19.1kN/m³, W_{opt} 는 11.5%로 나타났다.

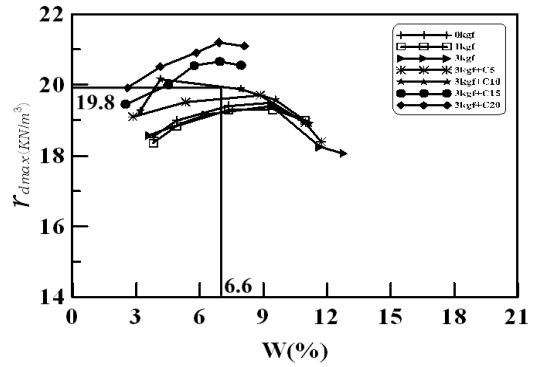


그림 4. 화강풍화토 혼합토의 다짐시험 결과

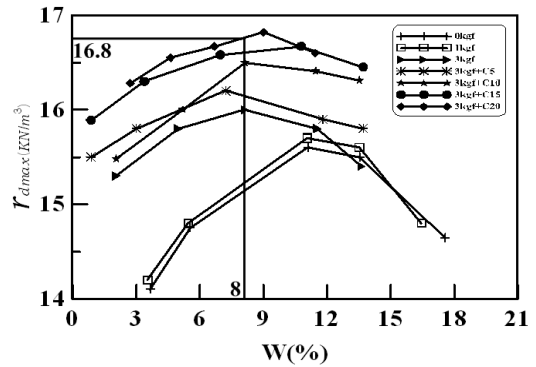


그림 5. 모래 혼합토의 다짐시험 결과

표 6. 점토에 대한 배합비

CASE	구분	시료	물	콘알파	시멘트	TOTAL
C-1-A	배합량(gf)	15,000	2,600	0	0	17,600
	배합비율(%)	85	15	0	0	100
C-2-A	배합량(gf)	15,000	2,400	9	0	17,409
	배합비율(%)	86	14	0	0	100
C-3-A	배합량(gf)	15,000	2,200	28	0	17,228
	배합비율(%)	87	13	0	0	100
C-4-A	배합량(gf)	15,000	2,600	28	750	18,378
	배합비율(%)	82	14	0	4	100
C-5-A	배합량(gf)	15,000	2,800	28	1,500	19,328
	배합비율(%)	78	14	0	8	100
C-6-A	배합량(gf)	15,000	3,000	28	2,250	20,278
	배합비율(%)	74	15	0	11	100
C-7-A	배합량(gf)	15,000	3,200	28	3,000	21,228
	배합비율(%)	71	15	0	14	100

표 7. 기본물성시험결과 요약

구분	전체단위중량 (kN/m ³)	함수비 (%)	액성한계 (%)	소성지수	균등계수 (Cu)	곡률계수 (Cg)	통일분류
모래 (주문진표준사)	18.1	0	-	NP	1.9	1.11	SP
화강풍화토	16.0	5.9	-	NP	7.78	1.11	SW
폐콘크리트	13.2	0	-	-	1.35	1.20	GP
점토	14.5	17.3	30.9	20.1	17.0	1.41	CL
콘알파	10.1	0	-	NP	2.22	0.87	-

4.3 일축압축강도시험 결과

일축압축강도시험은 디지털형 만능 재료시험기를 이용하여 KS F 2314의 방법에 의거하여 수행하였으며, 시험결과는 그림 7~그림 10과 같다.

그림 7에서 보듯이 화강풍화토 혼합토의 경우 콘알과 혼합에 따라 다짐도 95%, 재령 10일 기준, 콘알과 무첨가대비 첨가 시(1kgf, 3kgf) 강도가 약 1.25배 증가하는 효과가 나타났으며, 재령일별 강도 증가효과를 살펴보면 다짐도 95%, 재령 7일 대비 재령 10일 강도는 콘알과 무첨가 시 약 1.42배, 1kgf 첨가 시 2.08배, 3kgf 첨가 시 1.56배 증가하는 경향을 나타내었다.

이는 콘알과 3kgf/m³, 시멘트 10% 이상, 재령 7일 이후 도로공사 표준시방서에서 규정된 포장구성각층에 사용되는 재료품질기준 만족하는 것으로 나타났다(시멘트 안정치리 기준 : 아스팔트 포장용 일축압축강도 $\sigma_f=3\text{MPa}$ / 콘크리트 포장용 일축압축강도 $\sigma_f=2\text{MPa}$, 도로공사 표준시방서, 2009).

그림 8에서 나타난 모래(표준사) 혼합토의 경우 도로공사 표준시방서에서 규정된 포장구성각층에 사용되는 재료품질기준을 모두 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

그림 9의 폐콘크리트 혼합토의 경우 최소 콘알과 3kgf/m³ +시멘트 15%+재령 28일, 콘알과 3kgf/m³ +시멘트 20%+재

령 7일의 경우 도로공사표준시방서에서 규정된 포장구성각층에 사용되는 재료품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

그림 10의 점토 혼합토의 경우 콘알과 3kgf/m³+시멘트 20%+재령 10일의 경우도로공사표준시방서에서 규정된 포장구성각층에 사용되는 재료품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

상기 결과에서 보듯이 콘알과 혼합만으로는 강도증진효과는 세립분(200번체 통과분 3.65%)이 포함되어 있는 화강 풍화토에서 볼 수 있었으며, 모래(주문진표준사), 폐콘크리트의 경우 몰드성형이 불가능하여 콘알과에 의한 일축압축 강도시험 자체가 불가하였다.

이와 같이 일축압축강도시험에서 일부 시험 Case에서 콘

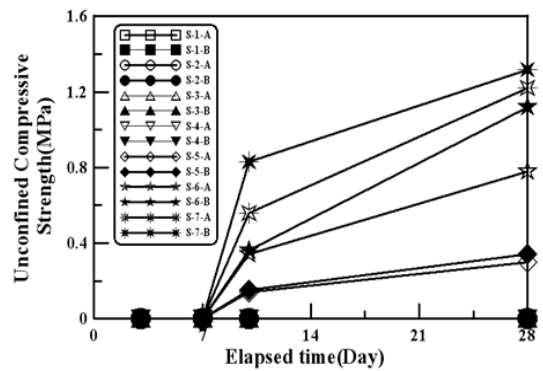


그림 8. 모래 혼합토의 일축압축강도 시험 결과

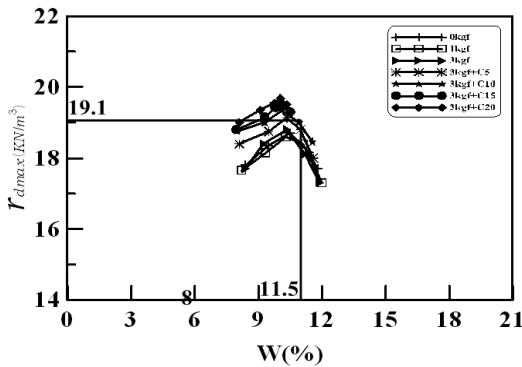


그림 6. 폐콘크리트 혼합토의 다짐시험 결과

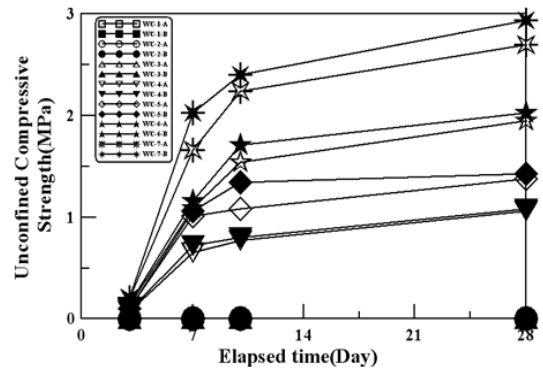


그림 9. 폐콘크리트 혼합토의 일축압축강도 시험 결과

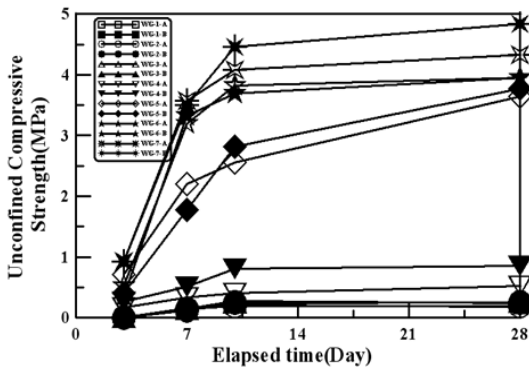


그림 7. 화강풍화토 혼합토의 일축압축강도 시험 결과

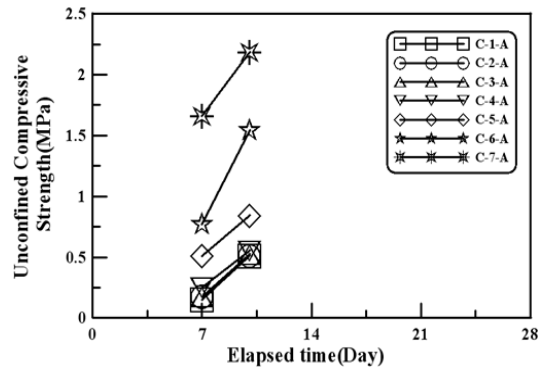


그림 10. 점토 혼합토의 일축압축강도 시험 결과

표 8. 투수시험 결과

(단위: cm/sec)

	콘알파 0%		콘알파 1%		콘알파 3%		콘알파 3%+시멘트	
	7일	10일	7일	10일	7일	10일	7일	10일
표준사	1.2×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	8.7×10^{-3}	9.2×10^{-3}	8.5×10^{-3}	1.8×10^{-3}	1.1×10^{-3}
화강풍화토	6.9×10^{-3}	8.0×10^{-3}	9.1×10^{-3}	8.1×10^{-3}	6.7×10^{-3}	5.7×10^{-3}	9.0×10^{-4}	6.8×10^{-4}
폐콘크리트	1.9×10^{-2}	2.0×10^{-2}	1.8×10^{-2}	1.5×10^{-2}	1.3×10^{-2}	1.7×10^{-2}	2.5×10^{-3}	2.2×10^{-3}

※ : 변수위 투수시험 : 정수위 투수시험

알파의 강도증진 효과는 나타났으나, 전체적으로 강도증진이 미미하게 나타났다. 이에 대한 원인을 분석하면 두 가지 사항으로 요약할 수 있을 것으로 판단된다. 첫째, 일반적으로 자연상태에서 토사에 서식하고 있는 각종 균들이 본 연구에서 정확한 배합비를 얻기 위해 건조로에서 고온으로 건조를 시키는 과정에서 균의 활동성이 저하되어 강도증진 효과에 반영되지 않은 것으로 사료된다. 둘째, 일정 세립분(점토, 실트)이 포함되어 있고 입도분포가 양호하여 공극율이 적고 일정 함수비가 있는 시료에서 콘알파에 의한 균 번식 및 토양의 발수(發水)효과가 있는 것으로 사료된다. 그러나, 이러한 원인에 대한 신뢰성 있는 검증을 위해서는 반드시 추가 보완시험을 필요하며, 향후 시험 수행 시 시료를 자연 상태에서 함수비를 측정하여 적정함수비로 다진 뒤, 콘알파를 혼합하여 장기 재령일로 공학적 시험을 통하여 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.4 투수시험 결과

콘알파 혼합토에 대한 투수시험은 정수위 및 변수위 투수시험으로 실시하였으며, 그 결과는 표 8과 같다. 표에서 보듯이 콘알파 혼합량에 관계없이 흙시료만의 투수계수 범위 내에 특성을 나타내어 투수특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 콘알파 혼합토를 투수성 기층 및 노상재료로 사용 가능할 것으로 예상되나, 이에 대한 객관적인 검증을 위해서는 반드시 대상시료 및 배합비 조건 변화, 실내 모형시험(도로포장 구조) 등의 추가 보완시험을 수행하여야 할 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 친환경적 재료인 콘알파를 이용하여 하천 제방 재료로서의 활용성을 분석하기 위하여 기본물성시험 및 다짐시험, 일축압축강도시험 및 투수시험을 수행하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 콘알파 공법 적용대상 흙 시료는 모래, 화강풍화토, 폐콘크리트 및 점토를 사용하였으며, 콘알파 및 흙 시료에 대한 기본물성시험을 실시한 결과, 통일분류법상 모래는 SP, 화강풍화토는 SW, 폐콘크리트는 GP, 점토는 CL로 분류되었으며 콘알파는 미세입자로 분류되었다.
- (2) KS F 2312의 D다짐 시험법을 이용한 다짐 시험을 실시한 결과, 화강풍화토, 모래, 폐콘크리트의 최적함수비는 각각 6%, 8%, 11.5%로 나타났으며 γ_{dmax} 의 값은 각각 19.8, 16.8, 19.1kN/m³로 나타났다.
- (3) 콘알파 혼합토에 대한 일축압축시험결과, 화강풍화토의 경우 콘알파 혼합에 따라 무첨가대비 약 1.25~2.08배 강도가 증가하는 경향을 나타내었으며, 콘알파 3kgf/m³, 시멘트 10% 이상, 재령 7일 이후 도로공사 표준시방서(2009)에서 규정된 포장구성각층에 사용되는 재료품질 기준(시멘트 안정처리기층 : 아스팔트 포장용 일축압축강도 $\sigma_r=3MPa$ / 콘크리트 포장용 일축압축강도 $\sigma_r=2MPa$)을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 그 외 흙 시료의 경우, 콘알파 혼합에 따른 강도증가 경향이 미미한 것으로 나타났는데 이는 대상시료의 입도특성 및 함수특성에 기인한 것으로 사료되며, 콘알파의 강도증진 효과를 위해서는 적용 대상 시료토에 일정 세립분(점토, 실트)이 포함되어 있어야 하고, 입도분포가 양호하고, 적정 함수비를 가지고 있어야 할 것으로 판단되며, 이러한 조건이 만족될 경우 콘알파에 의한 균 번식 및 토양의 발수(發水) 효과가 예상된다. 그러나, 이러한 원인에 대한 객관적인 검증을 위해서는 반드시 추가 보완시험을 필요하며, 향후 시험 수행 시 시료는 자연상태에서 함수비를 측정하여 적정함수비로 다진 뒤, 콘알파를 혼합하여 장기적으로 재령일을 두어 공학적 시험을 통하여 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (4) 콘알파 혼합토에 대한 투수시험은 정수위 및 변수위 투수시험으로 실시하였으며, 그 결과 콘알파 혼합량에 관계없이 재령별 투수계수는 기존 흙 시료가 가지는 투수계수를 나타내었다. 이는 콘알파 혼합토를 투수성 기층

및 노상재료로 사용 가능할 것으로 예상되나, 이에 대한 객관적인 검증을 위해서는 반드시 대상시료토 및 배합비 조건 변화, 실내 모형시험(도로포장 구조) 등의 추가 보완시험을 수행하여야 할 것이다

- (5) 향후, 콘알파 적용이 효과적인 대상지반에 대한 신뢰성 있는 기준을 확립할 수 있는 추가 보완시험이 필요할 것으로 판단되며, 또한 하천정비사업 중 발생하는 준설토의 안정화를 위한 콘알파의 적용성을 검토하여 콘알파공법의 적용대상을 확장해 나가는 것도 바람직할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 박승주(2009), 4대강살리기 사업;다기능보의 역할, *한화건설 기술지*, Vol. 2, pp. 54~59.
2. 한국도로공사(2009), *시멘트 안정처리 기층*, 한국도로공사 표준시방서, pp. 54~59.
3. 한국표준협회(2005), *흙의 입도 시험 및 물리 시험용 시료 조제 방법*, KS F 2301, pp. 1~3.
4. 한국표준협회(2002), *흙의 입도 시험 방법*, KS F 2302, pp. 1~10.
5. 한국표준협회(2001), *흙의 다짐 시험 방법*, KS F 2312, pp. 1~6.
6. 한국표준협회(2001), *흙의 일축압축 시험 방법*, KS F 2314, pp. 1~5.
7. 한국표준협회(2006), *흙의 공학적 분류 방법*, KS F 2324, pp. 1~6.
8. 相澤政明, 宮田 彰(2008), “*湧水利用公園造成で環境に配慮したバイオ系土質改良方法*”, 応用地質株式会社, pp. 1~4.

(접수일: 2011. 4. 11 심사일: 2011. 7. 25 심사완료일: 2011. 10. 25)