

석탄회를 활용한 CLSM의 pH 저감에 관한 연구

A Study on the pH Reduction of Controlled Low Strength Material with Coal Ash

김 영 일¹⁾ · 지 성 현²⁾ · 천 병 식[†]

Kim, Youngil · Jee, Sunghyun · Chun, Byungsik

ABSTRACT : Controlled low strength material(CLSM) is produced by mixing portland cement, fine aggregates, water and chemical admixtures. Sand is the most commonly used as the fine aggregates in the conventional CLSM. It is getting more and more difficult to obtain sand in Korea so it is required that the alternative materials be developed as the replacement of sand. Since the engineering characteristics of coal ash are similar to the sand, it becomes necessary to examine the application of the coal ash as the alternative material for CLSM and as the environment-friendly material. When the results meet the optimum pH level that plants can live, it can be expanded the scale of application of the study on the plant as the important field. This study was subjected to present the method to reduce the pH range of CLSM to a suitable condition that plants can survive. To verify this method, the cure of neutralization was conducted by immersing the specimen to Ammonium monohydrogen phosphate. Before curing and neutralization, the maximum pH of developmental CLSM is approximately 11. However, the pH value of developmental CLSM has under 9.5 after peaceful curing and neutralization management.

Keywords : Contolled Low Strength Material, Coal Ash, Neutralization, Cure method, pH

요 지 : CLSM은 다짐이 필요없고 유동성이 큰 물질로 일반적으로 시멘트, 잔골재, 물, 혼화재 등을 혼합하여 만들어진다. 기존의 저장도고유동화재는 잔골재로 모래를 사용하고 있으나 모래를 구하기 점점 어려워지는 현 시점에서 저장도고유동화재를 대량으로 활용하기 위해서는 모래를 대신할 대체재의 개발이 요구되고 있는 실정이다. 석탄회의 공학적 성질은 모래와 유사하여 모래의 대체재로써의 CLSM에 적용 가능하며 친환경재료로써의 검증이 필요하게 되었다. 이중 식생에 관한 연구는 자연과 화합할 수 있는 중요한 연구분야로써 식생이 가능한 적정 pH를 만족시킬 경우 적용의 확대가 가능할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 목적은 석탄회의 대량유효활용의 일환으로 석탄회를 활용한 CLSM을 pH가 식생이 가능하도록 저감하기 위한 방안으로, 양생방법과 중성화처리 에 따른 pH의 저감효과를 확인하여 식생에 관한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 공시체의 제작은 일축압축강도 0.5~1.0MPa을 만족하며 매립회와 비회의 비율이 70:30인 것을 기준으로 하여 총 5가지 Case로 배합하였으며, CLSM의 알칼리 용출을 억제하기 위해 이인산암모늄 용액에 공시체를 침지하는 방법으로 중성화처리를 실시하였다. 연구결과 중성화처리와 양생에 의한 방법을 적용하기 이전의 CLSM은 pH 11이상의 알칼리성이었으나, 중성화처리와 양생방법을 적용한 이후의 pH는 9.5 이하로 저감시켜 식생이 가능한 조건을 만족하였다.

주요어 : CLSM, 석탄회, 중성화, 양생방법, pH

1. 서 론

최근 급속한 산업발전과 국민 생활수준 향상으로 인하여 에너지 수요는 증가하고 있으며, 이를 극복할 수 있는 대안이 절실한 상황이다. 따라서 정부에서는 지속적이며 안정적인 에너지 공급을 위하여 기존의 화력발전소 이외의 새로운 화력발전소에 대한 건설을 계획·추진하고 있다.

이에 따라 석탄 화력발전소에서 산업부산물로 발생하는 석탄회량도 매년 증가하여, 우리나라의 경우 석탄회 발생량이 2001년에는 연간 490만 톤에서 2010년에는 연간 약 600

만 톤의 석탄회가 발생될 것으로 예상됨에 따라, 상당한 규모의 회처리장 부지가 소요되고 그에 따라 투자비 증가, 환경훼손 및 민원발생 등으로 인해 매립지 확보는 더욱 어려워 것으로 전망된다(김현숙, 2006).

현재 생산되는 석탄회의 재활용을 극대화시키기 위해 기존의 재활용 용도 이외에 대량으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급한 실정이다. 본 논문에서 석탄회 재활용 용도에 추가하고자 하는 CLSM(Controlled Low Strength Material)은 저장도콘크리트 개념을 지반공학분야에 적용하여 만들어진 것으로써 일반적으로 잔골재(모래), 물, 시멘트, 혼화

1) 정희원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 석사과정

2) 정희원, 한양대학교 대학원 건설환경공학과 박사과정

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

재 등을 혼합하여 만들어 진다. CLSM은 자기수평성, 자기 다짐성, 유동성, 인위적인 강도조절, 시공 후 재굴착의 용이성, 시공단계 단축에 의한 시공비 절감 등의 특징을 갖는다 (ACI 229 Committee, 1994). 이러한 특성을 갖는 CLSM은 트렌치, 옹벽, 기초 등의 되메움재, 공동 채움재, 도로노상재 등의 용도로 토사 대신 사용되며 미국 등지에서는 산업화 되어 판매되고 있다. 최근 국내에서도 지반 및 도로분야에 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다(조재운 등, 2000).

그러나 기존의 CLSM은 잔골재로 모래를 사용하기 때문에 모래가 점점 구하기 어려워지고 있으며, 현재 우리나라 실정에는 다소 맞지 않는 면이 있다. 만약 모래 대신 매립회를 이용하여 매립회, 비회, 시멘트, 물의 혼합물로 고강도고 유동화재를 개발하여 공유수면매립재, 각종 구조물 채움재, 공동채움재 등으로 사용한다면 매년 증가하는 매립석탄회량을 재활용할 수 있어 환경을 보호할 수 있고, 매립 및 건설공사에 필요한 토사 대체재를 공급할 수 있을 것이다(공진영 등, 2010).

이러한 환경적 요인과 사회적 요구에 따라 석탄회를 활용한 CLSM의 다양한 용도에 관한 연구가 진행 중에 있으며, 이 중에서도 식생에 관한 연구는 친환경적이며 자연과 화합할 수 있는 연구분야로서 많은 장점을 가지고 있는 분야이다.

하지만 식물이 성장하기 위해서는 여러 가지 요건이 필요하며, 특히 식물의 성장에 필요한 pH 조건을 만족시켜야 한다. 콘크리트 현장에서도 콘크리트 속에서는 식물이 살기 어렵기 때문에 시멘트 콘크리트 2차 제품의 중앙에 흙을 메워 식물이 자랄 수 있는 환경을 만들어 시공하거나 식생 콘크리트에 고로슬래그 미분말이나 실리카흄 등의 혼화재를 혼입함으로써 수화중에 수산화칼슘의 생성량을 감소시키는 방법, 중화제를 이용하여 처리하는 방법 등을 이용하고 있다(조영국, 2008).

석탄회를 활용한 CLSM의 산성도는 pH 11이상의 알칼리성으로 CLSM을 현장에 적용시키기 위해서는 CLSM의 pH가 식물의 성장에 필요한 적정량의 pH(9.5이하)로 낮추어 줄 필요가 있다. 그러나 CLSM 공시체 제작시 직접적인 산성물질의 첨가를 통한 pH 저감은 고결율을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있으며, 고로슬래그 미분말이나 실리카흄 등의 혼화제의 혼입을 통한 pH 저감은 석탄회를 대상으로 한 첨가량과 첨가비율에 대한 정립이 이루어지지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 중화제를 이용하여 처리하는 방법으로 이인산암모늄 10% 용액에 표면건조포화상태의 공시체를 침지하여 공시체에 대한 표면처리를 통해 알칼리 용출을 억제하는 방법으로 pH 저감효과를 판단하고자 한다.

따라서 본 연구는 CLSM의 pH 범위를 식생에 맞는 조건

으로 저감하기 위한 방안으로, 양생방법과 중성화처리에 따른 pH 저감효과를 통해 식생에 관한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 이론적 배경

2.1 석탄회의 발생 및 매립현황

1980년대 수력 및 유류 발전소가 주종이었던 것이 1980년대 후반부터 유연탄화력 발전소를 본격적으로 건설하기 시작하였으며, 최근 전력 사용량이 매년 10% 이상 증가하고 있어, 전력에너지 수요를 충족시키기 위해 지속적으로 대용량 발전소가 건설되고 있는 추세이다.

향후 석탄화력 발전소의 증설로 인하여 석탄회 발생량이 2001년도 연간 491만 톤에서 2010년에는 거의 연간 600만 톤 정도로 급증할 것으로 예상되며, 그림 1과 같이 회처리장에 매립되어 있는 석탄회의 총량은 2008년 기준으로 약 7,200만 톤에 달하는 것으로 추정된다(환경부, 2008).

따라서 현재 생산되는 석탄회의 재활용을 극대화시키기 위해 기존의 재활용 용도 이외에 대량으로 활용할 수 있는 방안 마련이 시급한 실정이다.

2.2 CLSM의 특성

CLSM은 저장도 콘크리트 개념을 지반공학분야에 적용한 것으로, Controlled Low Strength Material, lean mix backfill, controlled density fill, flowable fill 등의 이름으로 이용된다. 미국의 콘크리트 협회(ACI, The American Concrete Institute)의 시방서에는 CLSM을 다음과 같이 정의하고 있다(이관호 등, 2001). 자체 점착성을 가지는 재료로서 초기에는 흐름특성이 중요한 요소이고, 시간에 따라 양생되면서 강도가 증

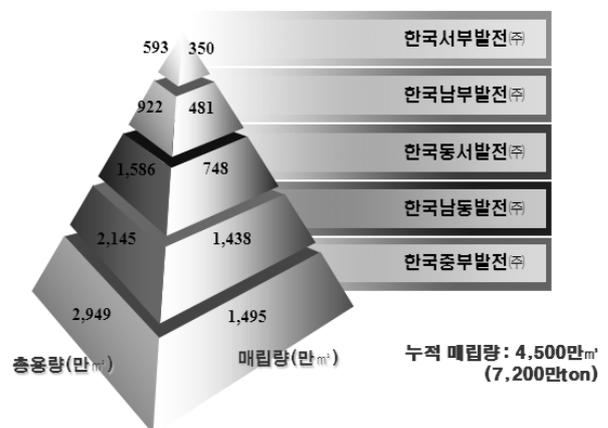


그림 1. 석탄회의 매립현황(환경부, 2008)

가하여, 28일 양생 후의 압축강도가 8.3MPa 보다 작은 재료를 의미한다. CLSM은 구조부재로써 이용하기보다는 주로 하중을 지지하지 않는 채움재로써의 이용이 보편적이다. 유동성 채움재로써의 이용 시 고려하여야 하는 특성이 시공성과 재굴착의 용이성이다. 채움재의 재료특성상 초기 유동성을 가지고 시간에 따라 강도가 발현된다는 것은 기존의 채움재 시공 시 소요의 강도를 얻기 위해 다짐이 필요한데, 유동성 채움재의 이용 시 이러한 다짐과정을 생략할 수 있고, 또한 부적절한 다짐으로 인해 발생하는 문제를 원천적으로 제어할 수 있다(박재현 등, 2004).

3. 사용재료 및 시험방법

3.1 사용재료

3.1.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS F 5201을 만족하는 국내 S사 제품의 보통포틀랜드 시멘트이며, 그 물리적 성질과 화학성분은 표 1 및 표 2와 같다.

3.1.2 석탄회

본 시험에서는 ○○화력본부에서 부산된 석탄회를 사용하였고, 매립회와 비회 시멘트의 경우 석탄회 매립장에 매립되어 있는 회를, 비회의 경우 재활용되는 정제회가 아닌 잔사회를 사용하되 매립되지 않은 석탄회를 대상으로 연구를 진행하였다.

저회와 비회의 공학적 성질은 입도분포, 비중 등에서 다르지만 현재 회매립장에는 저회와 비회를 별도의 구분없이 같이 매립하고 있는 현실을 고려하여 매립회는 4번체(체크기 4.75mm) 통과량만을 잔골재 대용으로 사용하였다. 즉 매립회는 잔골재로 간주하였는데 이는 비회의 경우 포졸란의 특성을 가지고 있는 자경성이 있지만 매립회의 경우 예비시험 결과 자경성이 나타나지 않았기 때문이다.

연구에 사용된 석탄회의 입도분포곡선 및 물리적·화학적 특성을 그림 2와 표 3, 표 4에 각각 나타내었다. 비중, 화학 성분시험은 실험을 통해 결정하였고, 강열감량은 석탄회를

표 1. 시멘트의 물리적 성질

비중	Setting time(min)		압축강도(kPa)		
	초기	최종	3일	7일	28일
3.15	5-7	7-20	19,025	21,182	31,675

표 2. 시멘트의 화학성분

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

제공해준 발전소의 자료를 사용하였다.

3.1.3 이인산암모늄

알칼리 용출을 억제하기 위한 중성화 처리제는 이인산암모늄(Ammonium Monohydrogen Phosphate, (NH₄)₂HPO₄, 순도 99.1%, pH 8.14)을 사용하였으며, 이인산암모늄의 물리적 특성은 표 5와 같다.

3.2 시험방법

3.2.1 공시체 배합

표 6과 같이 본 연구에서 사용한 기준 배합비는 석탄회를 활용한 저강도고유동화재의 일축압축강도 및 플로우 특성에 관한 연구를 진행한 공진영 등(2010)의 논문을 참고하여 산정하였으며, 기준 일축압축강도 0.5MPa~1.0MPa를 만족하며 매립회와 저회의 비율이 70:30인 것을 기준으로 하여 표 6과 같이 총 5가지 case로 나누어 실험을 실시하였다. 매립회와 비회의 상대적 중량비를 70:30으로 고정시켰으며, 시멘트와 함수비의 증감에 따른 배합인자의 중량만을 변화시켰다.

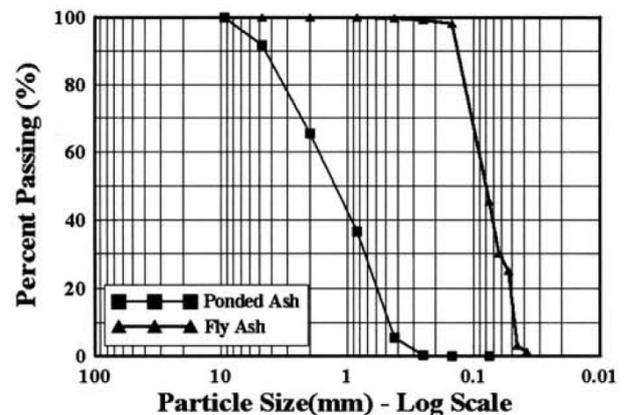


그림 2. 매립회와 비회의 입도분포

표 3. 석탄회의 물리적 성질

비중		강열감량 (%)	
매립회	비회	매립회	비회
1.84	2.23	6.78	3.12

표 4. 석탄회의 화학성분

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	Na ₂ O
매립회	50.6	11.5	1.75	0.85	24.7	5.91	1.72	0.37
비회	52.8	9.28	2.33	1.17	22.7	7.43	1.55	0.57

표 5. 이인산암모늄의 물리적 특성

비중	물 용해도	pH	분자량	분자식
1.619	57.5%	8.14	132.06	(N-H ₄) ₂ -H-P-O ₄

표 6. 저장도고유동화재의 배합비

구분	매립회	비회	시멘트	물
case 1	45.5	19.5	3.2	31.8
case 2	44.7	19.2	4.9	31.3
case 3	43.9	18.8	6.6	30.7
case 4	43.1	18.5	8.2	30.2
case 5	42.3	18.2	9.7	29.8

3.2.2 공시체 제작

CLSM의 비빔은 실험실용 80리터 강제식 믹서를 사용하였으며, 배합별로 계량한 매립회와 비회, 시멘트를 먼저 믹서에 투입하여 1분간 건비빔 한 후, 물 1/2을 믹서에 첨가하여 1분간 2차 비빔하고 마지막으로 나머지 물 1/2을 믹서에 첨가하여 1분간 비빔하였다. 비빔을 완료한 시료를 KS F 2401의 굳지 않은 콘크리트의 시료 채취방법으로 시료를 채취하였으며, CLSM의 pH측정용 공시체는 PVC몰드(∅ 50×100mm)에 제작하였다(그림 3).

3.2.3 중성화 처리

CLSM의 알칼리 용출을 억제하기 위하여 이인산암모늄 10% 용액에 표면건조포화상태의 공시체를 10분간 침지하여 중성화처리를 하였다. 중성화처리 시점과 양생방법에 따른 강도 특성을 파악하기 위하여 중성화처리 시점을 재령 3일, 6일, 13일, 20일 등 4가지로 나누어 진행하였으며, 수



그림 3. 공시체 제작 전경

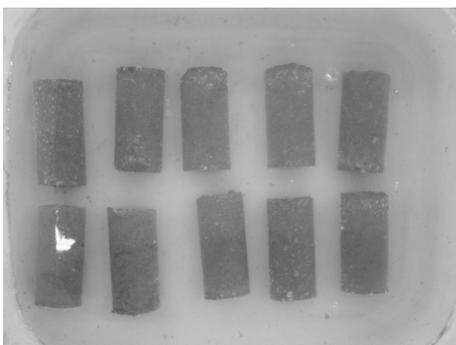


그림 4. CLSM 공시체의 중성화 처리

중양생과 기건양생을 통해 pH 저감에 가장 효과적인 중성화처리 시점을 판단하고자 하였다(그림 4).

3.2.4 pH 측정방법

물붓기에 의한 pH측정과 물속에 담그기에 의한 pH측정법은 기존의 발표된 여러 연구에 의하면 그 측정값의 차이가 미미한 것으로 나타난다. 또한 페이스트 분쇄에 의한 pH측정은 그 시료의 얇은 판상을 따로 제작한다는 것이 실제로 많은 어려움이 있으며, 고상 및 반고상 폐기물에 대한 pH측정시험은 정확한 pH측정값을 얻어내기가 힘들다(이인석, 2004). 따라서 본 연구에서는 pH 측정방법 중 가장 널리 사용되며 편리한 방법인 물속에 담그기에 의한 pH측정법을 채택하여 공시체의 5배 부피의 물에 1일간 침지한 후 물의 pH를 측정하였다. pH 저감실험을 통한 pH 측정값은 기존의 발표된 여러 연구에 의하면 재령 28일 이후의 pH 측정값의 변화가 크지 않으며, 재령 28일 pH 측정값이 식생이 가능한 정도의 pH를 대표할 수 있는 바, 재령 28일 pH 측정값의 평균을 기준으로 양생방법과 중성화처리를 통한 식생의 가능정도를 판단하였다. 또한 중성화처리를 실시하지 않은 공시체에 대한 재령별 pH 측정이 선행되었기 때문에 중성화처리 이전의 pH 측정은 제외하였다(그림 5).

4. 실험결과 및 분석

4.1 양생방법에 의한 pH 저감실험 결과 및 분석

4.1.1 기건양생에 의한 pH 저감특성

그림 6(a)는 양생방법에 따른 pH 측정결과 중 중성화처리를 하지 않은 공시체에 대한 기건양생의 결과를 나타낸 것이다. 중성화처리를 하지 않은 공시체에 기건양생을 실시했을 경우 CLSM의 재령 28일 pH의 범위는 최소 pH 10.44, 최대 pH 10.64로써 초기 pH 범위인 최소 pH 11.21, 최대 pH 11.46과 비교했을 때 재령 2일에 측정된 초기의 pH에

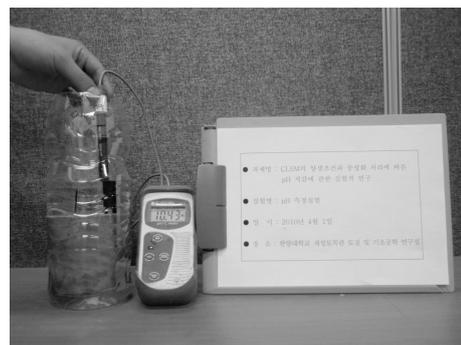


그림 5. pH 측정시험 전경

비하여 크게 감소되지 않은 것으로 나타났다. 이와 같이 기건양생의 경우 수중양생에 비해 pH 저감효과가 적은 이유는 공시체의 제작 이후 내부의 알칼리 이온이 용출되어 pH가 저감될 수 있는 환경적 조건이 주어지지 않았기 때문에 초기의 pH에 비하여 크게 감소되지 않은 것으로 판단된다.

4.1.2 수중양생에 의한 pH 저감특성

그림 6(b)는 양생방법에 따른 pH 측정결과 중 중성화처리를 하지 않은 공시체에 대한 수중양생의 결과를 나타낸 것이다. 수중양생의 경우 중성화처리를 하지 않은 CLSM의 재령 28일 pH의 범위는 그림 6(b)에서와 같이 최소 pH 9.55, 최대 pH 9.86의 범위로 나타났으며, 식생이 가능한 pH 범위는 만족시키지 못했으나 기건양생의 경우보다 상당히 감소된 것으로 나타났다. 이는 CLSM을 수중양생하는 경우 수화반응 시 생성되는 수산화칼슘의 알칼리 이온이 물 분자에 의해 분해되면서 용출되어 지속적으로 밖으로 빠져나오기 때문에 pH가 저감된 것으로 판단된다.

이와같이 중성화처리를 하지 않은 CLSM은 양생방법에 따른 pH 저감특성의 상대적 차이는 볼 수 있었으나, 중성화처리를 하지 않은 CLSM은 식물의 생장에 필요한 적정량의 pH의 범위를 만족하지 못한 것으로 나타났다.

4.2 중성화 처리에 의한 pH 저감실험 결과 및 분석

초기의 중성화처리 시 나타나는 pH의 변화와 일정 재령이 지난 후 중성화처리 시의 pH를 비교하기 위하여 각 양생방법에 따라 중성화처리 조건을 실험계획에서 언급한 바와 같이 양생 2일 후, 양생 6일 후, 양생 13일 후, 양생 20일 후 중성화처리 등 총 4가지로 나누어 실험을 진행하였다.

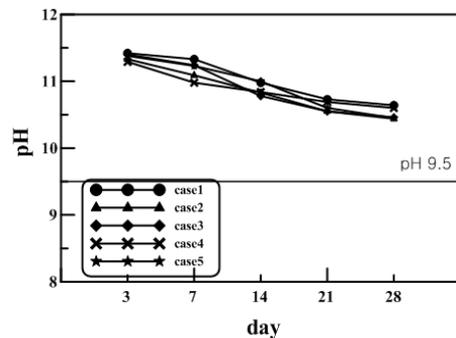
중성화처리 이전의 pH 측정값은 pH 11 이상의 알칼리성을 가지지만 중성화처리 이후의 pH 측정값은 pH 9.5 이하로 측정되어 pH가 상당히 저감되었으며, 그림 6과 같이 기건양생을 실시한 중성화처리를 실시하지 않은 공시체에 비해 수중양생과 중성화처리를 병행한 공시체의 재령 28일 pH 측정값은 약 pH 1.5의 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 수중양생에 비하여 기건양생의 pH 측정값이 상대적으로 높게 측정되는데 이것은 CLSM의 수화반응 시 생성된 수산화칼슘의 알칼리 성분이 지속적으로 용출되어 밖으로 빠져나와야 pH가 감소되는 반면에 기건양생의 경우 생성된 알칼리 성분이 CLSM에서 빠져나오지 못하고 잠재하고 있어 수중양생의 경우보다 pH가 높게 측정된 것으로 판단된다.

수중양생을 하면서 중성화처리를 한 경우 재령 28일에 측정된 pH는 재령 2일 후 중성화처리가 최소 pH 9.16, 최대 pH 9.55, 재령 6일 후 중성화처리가 최소 pH 9.10, 최대 pH

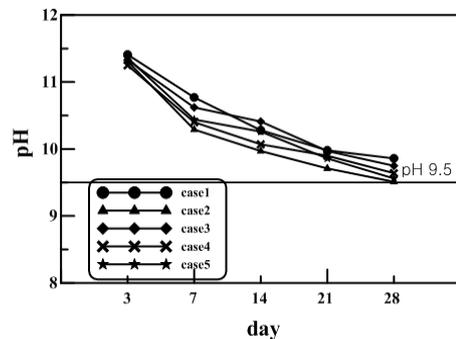
9.41, 재령 13일 후 중성화처리가 최소 pH 8.86, 최대 pH 9.44, 재령 20일 후 중성화처리가 최소 pH 8.87, 최대 pH 9.42로써 중성화처리 시점에 관계없이 식생이 가능한 정도의 pH 값을 나타내었다.

또한 그림 7과 같이 중성화처리를 재령 2일차에 하는 경우 재령이 경과할수록 pH가 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으나, 그림 7~10과 같이 수중양생을 진행하다가 중성화처리를 하는 경우에는 중성화처리 직후에는 pH가 급격히 감소되었다가 점차 증가한 후 재차 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일이 경과된 시점에서는 중성화처리 시점에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다. 이는 중성화처리 직후의 알칼리용출 억제효과가 극대화되어 pH 측정값에 급격한 감소를 보였으나, 시간의 경과와 더불어 pH 측정값이 점차 증가한 후 안정화가 진행되었음을 판단할 수 있다.

중성화처리 시점에 따른 pH 평균값은 수중양생의 경우 재령 2일차는 pH 9.15, 재령 6일차는 pH 9.23, 재령 13일차는 pH 9.18, 재령 20일차는 pH 9.21로 측정되었으며, 기건양생의 경우 재령 2일차는 pH 10.20, 재령 6일차는 pH 9.99, 재령 13일차는 pH 9.92, 재령 20일차는 pH 9.91로 측정되었다. 기건양생의 경우 식생이 가능한 pH를 만족하지 못했으나 중성화처리를 할 경우에는 재령 20일차에 중성화처리를 실시하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되며, 수중양생의 경우에는 재령 2일차에 중성화처리를 실시하는 것이 CLSM의 중성

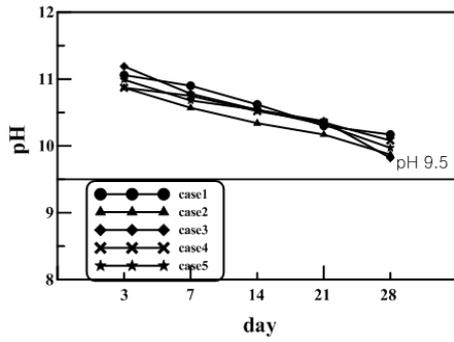


(a) 기건양생

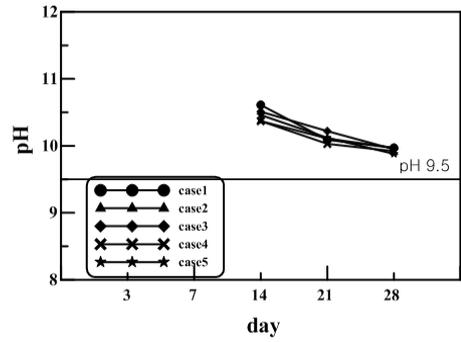


(b) 수중양생

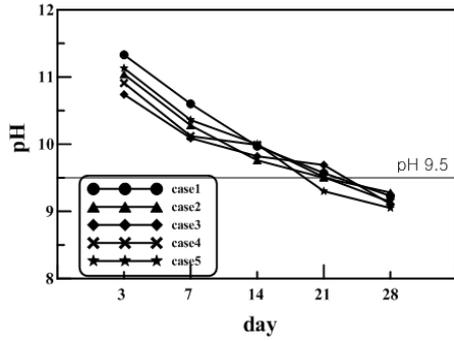
그림 6. 중성화 무처리에 의한 pH 저감실험 결과



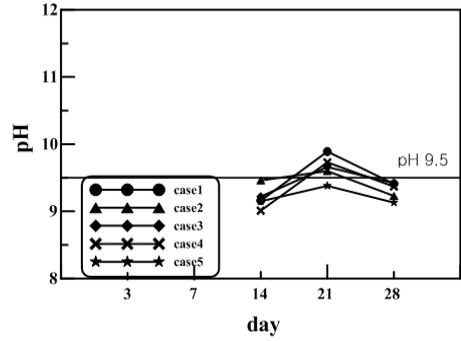
(a) 기건양생



(a) 기건양생



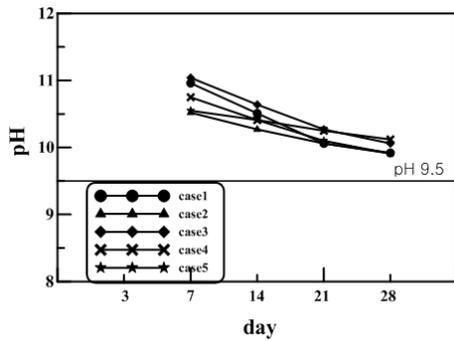
(b) 수중양생



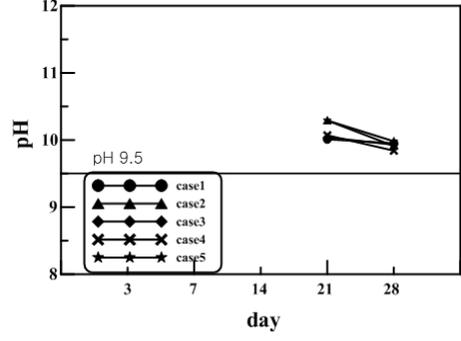
(b) 수중양생

그림 7. 재령 2일차 중성화처리에 의한 pH 저감실험 결과

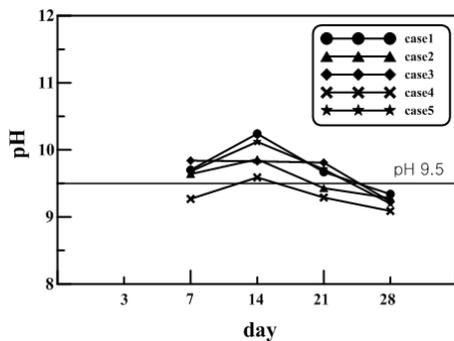
그림 9. 재령 13일차 중성화처리에 의한 pH 저감실험 결과



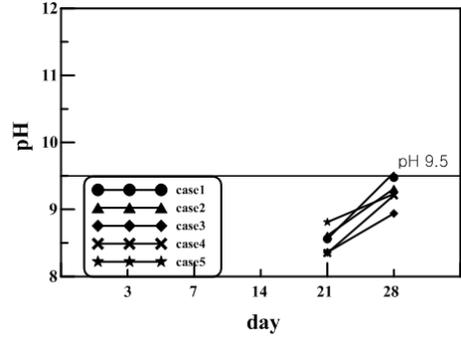
(a) 기건양생



(a) 기건양생



(b) 수중양생



(b) 수중양생

그림 8. 재령 6일차 중성화처리에 의한 pH 저감실험 결과

그림 10. 재령 20일차 중성화처리에 의한 pH 저감실험 결과

화 처리에 있어 가장 효과적인 중성화처리 시점이라고 판단된다. 한편, 수중양생의 경우 중성화처리를 하지 않은 CLSM의 재령 28일 pH 측정값은 pH 9.86으로 오히려 중성화처리

없이 수중양생을 실시하는 경우가 중성화처리 후 기건양생을 실시하는 경우보다 pH 저감에 더 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 식생이 가능한 pH값을 얻기 위한 가장 적합한 방

법은 수중양생과 중성화처리를 병행하는 것이며, 중성화처리에 있어 가장 효과적인 중성화처리 시점은 재령 2일차에 실시하는 것이라 할 수 있다.

4.3 배합비에 의한 pH 저감실험 결과 및 분석

본 연구에서는 매립회와 저회의 상대적 중량비가 70:30인 것을 기준으로 하여 표 6과 같이 CLSM의 배합비를 총 5가지 case로 나누어 실험을 실시하였다. 시멘트와 함수비의 증감에 따른 배합인자의 중량변화를 통해 pH의 변화양상을 분석하여 CLSM의 pH 저감에 가장 효과적인 배합비를 산정하고자 하였다. 실험결과 배합비의 영향은 중성화처리와 양생방법에 따른 pH 저감효과에 비해 그 효과가 미비한 것으로 나타났으며, 시멘트와 함수비의 증감에 따른 배합인자의 중량변화가 재령 28일 pH 측정값의 변화양상에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 CLSM의 양생방법과 중성화처리에 따른 pH 저감효과를 파악하기 위해 매립회와 저회, 시멘트, 물에 대한 혼합비율을 변화시켜가며 실내시험을 실시하였으며, 그 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 중성화처리를 하지 않은 CLSM의 재령 28일의 pH의 범위는 기건양생과 수중양생 모두 식생이 가능한 pH인 pH 9.5이하를 만족하지 못하였으며, 기건양생이 수중양생에 비해 높은 pH의 범위를 갖는 것으로 나타났다
- (2) CLSM의 일축압축강도 및 플로우 특성을 만족하는 최적배합비를 매립회와 저회의 비율이 70:30인 것을 기준으로 하여 총 5가지 case로 나누어 실험을 진행한 결과, 시멘트와 함수비의 증감에 따른 배합인자의 중량변화가 재령 28일 pH 측정값의 변화양상에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.
- (3) 중성화처리 시점을 재령 2일, 재령 6일, 재령 13일, 재령 20일로 구분하여 실험을 진행한 결과, 중성화처리 직후에는 pH가 급격히 감소되었다가 점차 증가한 후 재차 감소하는 것으로 나타났으며, 재령 28일 경과된 시점에서는 중성화처리 시점에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다. 이처럼 중성화처리 직후의 알칼리용출 억제 효과가 극대화되어 pH 측정값에 급격한 감소를 보였으나, 시간의 경과와 더불어 pH 측정값이 점차 증가한 후 안정화가 진행된 것으로 판단된다.
- (4) 기건양생의 경우 식생이 가능한 pH를 만족하지 못했으

나 중성화처리를 할 경우에는 재령 20일차에 중성화처리를 실시하는 것이 가장 효과적일 것으로 판단되며, 수중양생의 경우에는 재령 2일차에 중성화처리를 실시하는 것이 CLSM의 중성화 처리에 있어 가장 효과적인 중성화처리 시점이라고 판단된다.

- (5) 수중양생의 경우 중성화처리를 하지 않은 CLSM의 재령 28일 pH 측정값의 평균은 pH 9.63으로 오히려 중성화처리 없이 수중양생을 실시하는 경우가 중성화처리 후 기건양생을 실시하는 경우보다 pH 저감에 더 효과적인 것으로 나타났다.

본 논문의 연구결과를 통하여 모래를 사용하지 않고 석탄회, 물, 시멘트를 이용하여 개발한 CLSM의 현장적용시 식생이 가능한 pH 범위를 만족함을 알 수 있었다. 이외에도 다양한 생물학적, 화학적 실험을 통한 검증을 통해 현장적용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20091020100060, 석탄회를 활용한 경량 유동성채움재(Flowable Fills) 제조공정 개발).

참 고 문 헌

1. 공진영, 강형남, 천병식(2010), 석탄회를 활용한 저장도교유동화재의 일축압축강도 및 플로우 특성, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 26, No. 1, pp. 75~83.
2. 김현숙(2006), *화력발전소에서 발생한 석탄회의 재활용*, 석사학위논문, 강원대학교, pp. 1~3.
3. 박재현, 이관호, 조재운, 김석남(2004), 현장발생토 CLSM을 이용한 지하매설관의 변형, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 20, No. 3, pp. 129~139.
4. 이관호, 조재운, 신현무, 김남호(2001), 폐주물사 및 방식사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 및 다짐특성 연구, *한국폐기물자원순환학회 논문집*, Vol. 18, No. 4, pp. 389~396.
5. 이인석(2004), *포러스콘크리트의 양생방법에 따른 pH 저감에 관한 연구*, 석사학위논문, 영남대학교, pp. 26~27.
6. 조영국(2008), 시멘트 콘크리트의 배합조건에 따른 pH 저감에 관한 연구, *한국건축시공학회 논문집*, Vol. 8, No. 4, pp. 79~85.
7. 조재운, 이관호, 이인모(2000), 유동특성을 이용한 폐주물사 혼합물의 용벽뒹채움재 연구, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 16, No. 4, pp. 17~30.
8. 환경부(2008), *제4차 자원재활용 기본계획*, 환경부, pp. 100~102.
9. ACI 229 Committee(1994), *Controlled Low Strength Materials (CLSM)*, Americal Concrete Institute, 229R-2, pp. 1~12.

(접수일: 2010. 6. 11 심사일: 2010. 6. 23 심사완료일: 2010. 8. 9)