

쓰레기 매립지에서 표층고화처리층의 건조수축특성

Characteristics of Desiccation on the Stabilized Layer in Waste Landfill

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 임종윤²⁾, Jong-Yoon Lim, 최창현²⁾, Chang-Hyun Choi, 차용혁²⁾, Yong-Hyuk Cha

¹⁾한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University, Ph.D.

²⁾한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS : With the shortage of the land and NIMBY syndrome, it is issued recently that the capacity of waste-landfill site is needed though the decreasing tendency of waste landfill. From this point, the stability is the most essential problem in the landfill that will be constructed. Advanced design and construction are most important for that.

In this paper, for the study of desiccation, dry-shrinkage crack from drying and chemical reaction in cement hydration, which is occurred when the surface layer stabilization method is applied in wast landfill, laboratory test of the ground and specimen according to the mixture ratio of stabilizer is performed.

From the result, it is notified that the uni-axial strength increases with the stabilizer, but dry-shrinkage increases too, therefore, it is important and the goal of this study to find the optimal mixture ratio of each stabilizer. Analysis of variance for regression with acting variables is performed to find optimal mixture ratio of each stabilizer.

Key words : waste landfill, desiccation, dry-shrinkage crack, stabilizer, optimal mixture ratio

1. 서론

본 연구는 침출수 유출방지를 위한 수평차수 및 상부하중 지지 목적의 표층고화처리공법 적용시 발생 되는 Desiccation 현상 등의 문제점 즉, 건조에 의한 손실과 시멘트 수화반응시에 발생하는 수축균열로 인한 차수효과 및 강도등의 저하 원인을 규명하고 이에 대한 대책을 수립하는 데에 있다.

표층고화처리의 경우 일반적으로 시멘트 첨가량이 많을수록 강도면에서는 우수하나 그 만큼 건조크랙이 많이 발생하여 차수성능이 떨어진다. 그러나 이러한 균열발생을 방지하기 위하여 시멘트 첨가량을 줄이게 되면 오히려 강도는 저하되게 된다. 따라서, 소요 강도를 발현하면서 균열발생을 막기위한 근본적 대책이 없으면 성공적인 표층고화처리가 될 수 없다(社団法人セメント協會, 1994).

따라서, 설계기준강도를 만족하면서 건조균열의 발생을 방지할 목적으로 적정 시멘트량 및 제 2첨가제량을 구하여 시공하는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구는 시험대상 시료토의 제 특성을 파악하고 제 2첨가제의 양을 변화시켜가며 일축압축 강도시험, 건조수축시험 등을 실시하여 건조크랙의 발생을 최소화하면서 강도 및 차수성을 확보할 수 있는 시멘트 및 제 2첨가제의 적정 혼합비, 품질관리 등 대책에 대해 검토한다. 매립지반의 설계기준강도 및 수평차수효과를 발휘할 수 있는 적정 시멘트량 및 제 2첨가제의 적정 혼합비를 도출하기 위하여 제 2첨가제량을 반응변수로 하여 설계강도, 차수성을 만족하도록 각 첨가제별로 회귀분산분석(Analysis of Variance for Regression)을 수행하고자 한다.

2. 실험 배합비 및 함수비

기준 배합비에 대하여 고화재의 양을 1%와 2%씩 증가시키고, 각 배합비에 대하여 함수비를 OMC와 $\pm 3\%$ 로 책정하였다. 각 고화재의 첨가량과 함수비를 나타내면 다음 표 1~2와 같다.

표 1. 원지반토 1745g 당 첨가되는 고화재의 양 (단위 : g)

구 분	고화층		고화층		차수층	차수층
	시멘트	A-고화재	시멘트	B-고화재	C-고화재	D-고화재
기준배합비	90	30	90	22	251	188
고화재의 양을 1% 증가시켰을 때의 배합비	90	50	90	40	270	205
고화재의 양을 2% 증가시켰을 때의 배합비	90	70	90	60	287	225

표 2. 각 배합비의 다짐시험의 결과

구분	A-고화재		B-고화재		C-고화재		D-고화재	
	OMC	γ_{dmax}	OMC	γ_{dmax}	OMC	γ_{dmax}	OMC	γ_{dmax}
기준 배합비	16.34	1.45	17.19	1.48	18.28	1.43	16.13	1.49
고화재의 양을 1% 증가시켰을 때의 배합비	18.59	1.47	17.27	1.45	15.18	1.51	18.05	1.48
고화재의 양을 2% 증가시켰을 때의 배합비	19.02	1.49	17.34	1.44	15.05	1.53	18.89	1.44

3. 각 혼합비와 함수비에 대한 일축압축강도 및 건조수축시험 결과

각 배합비와 고화재의 종류별 다짐시험을 수행한 결과에 따라 일축압축강도시험은 $\phi 50 \times h100$ mm의 공시체를 제작하고 건조수축시험은 $2.54 \times 2.54 \times 28.5$ cm의 공시체를 제작하여 시험을 수행하였다.

각 고화재별 양생일을 28일 기준으로 하여 일축압축강도시험 및 건조수축시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

3.1 일축압축강도시험

표 3. 일축압축강도 시험결과 (단위 : kg/cm^2)

구분	기준배합비			기준배합비+1%			기준배합비+2%		
	OMC	OMC+3%	OMC-3%	OMC	OMC+3%	OMC-3%	OMC	OMC+3%	OMC-3%
A-고화재	14.87	11.35	12.88	21.79	17.36	19.64	28.89	22.28	24.78
B-고화재	18.94	15.52	16.15	23.20	19.58	20.37	42.62	33.17	31.58
C-고화재	4.08	3.86	3.51	5.49	4.53	4.93	6.16	4.88	5.04
D-고화재	5.21	3.91	4.14	6.63	4.47	5.73	6.16	4.56	5.43

강도면에서 보면 A-고화재보다 B-고화재가 약 20%이상 더 큰 값을 보이고 있으며 C-고화재와 D-고

화재는 기준배합비보다 큰 값과 OMC의 경우에서 지반의 허용강도인 5kg/cm^2 을 만족하고 있다. 고화재의 양을 기준배합비보다 증가시키면 강도는 증가하는 경향을 보이며, 함수비 측면에서는 최적함수비인 OMC에서 최대값을 보이며 그 이상 혹은 그 이하의 값에서는 강도가 저하됨을 알 수 있다.

3.2 건조수축시험결과

표 4. 건조수축시험결과

(단위 : mm)

구분	기준배합비			기준배합비+1%			기준배합비+2%		
	OMC	OMC+3%	OMC-3%	OMC	OMC+3%	OMC-3%	OMC	OMC+3%	OMC-3%
A-고화재	0.178	0.225	0.214	0.290	0.306	0.327	0.305	0.339	0.364
B-고화재	0.173	0.219	0.198	0.230	0.288	0.274	0.251	0.284	0.304
C-고화재	0.192	0.237	0.241	0.220	0.268	0.256	0.265	0.294	0.311
D-고화재	0.176	0.225	0.226	0.216	0.275	0.283	0.248	0.309	0.293

건조수축시험결과 고화재별로 약간의 차이는 있으나 고화재의 첨가량은 기준배합비에 가까울수록, 함수비는 최적함수비에 가까울수록 수축량이 작게 발생되어 건조수축균열이 적게 발생될 것으로 판단된다.

4. 실험계획법에 의한 통계적 분석

4.1 실험계획법

실험계획법(Design of Experiment)이란 실험에 대한 계획방법을 의미하는 것으로 해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것이라고 정의할 수 있다.

실험을 실시한 후에 데이터의 형태로 얻어지는 반응치(특성치)에 대해서 이에 영향을 미치고 있는 원인이 어떻게 관계되어 있는가를 이론적 또는 경험적으로 명백히 알아내기는 매우 힘들다. 왜냐하면 일반적으로 특성치에 영향을 미치는 원인이 무수히 있는데 다가 원료, 실험장치, 숙련도 등의 차이에서 오는 산포가 있고 환경조건의 변동, 표본오차(Sampling Error) 등에 의하여서도 영향을 받기 때문이다.

따라서 우리가 실험을 통하여 달성하고자 하는 목적은 실험에 대하여 영향을 미친다고 과학적으로 생각할 수 있는 무수한 많은 원인에 대하여 다음과 같은 것들을 알아내고자 하는 데 있다.

- (1) 어떤 요인이 반응에 유의한 영향을 주고 있는가를 파악하고 그 영향이 어느정도 큰가를 알아내기 위하여(검정과 추정문제)
- (2) 작은 영향밖에 미치지 못하는 요인들은 전체적으로 어떤 영향을 주고 있으며, 측정오차는 어느 정도 인가를 알아내기 위하여
- (3) 유의한 영향을 미치는 원인이 어떠한 조건을 가질 때 가장 바람직한 반응을 얻을 수 있는가를 알아내기 위하여(최적반응조건의 결정문제)

실험에 있어서 데이터의 산포를 준다고 생각되는 무수히 존재하는 원인 중에서 실험에 직접 취급되는 원인을 인자(Factor)라고 부른다. 실험을 하기 위한 인자의 조건을 인자의 수준(Level)이라고 하며, 이 수준으로 취한 값의 수를 인자의 수준수라고 한다(박성현, 1988).

4.2 이원배치법

이원배치법은 관심이 있는 특성치에 대하여 2개의 인자가 어떤 영향을 주고 있으며, 인자들의 어떤

수준조합에서 가장 적절한 특성치를 주는 가를 알아내기 위한 실험계획법으로 반복이 없는 경우와 있는 경우로 구별된다(미원기술정보, 1997). 본 실험에서는 건조수축은 반복이 없는 경우, 일축압축은 반복이 있는 이원배치법을 적용하였다.

4.3 특성치의 선택

표층고화처리층에서 크랙에 영향을 미치는 요인은 지반 경화에 따른 건조수축량과 지반의 개량효과를 확인할 수 있는 일축압축강도이므로 본 실험에서는 특성치로 일축압축강도와 건조수축량으로 선택하였다.

4.4 인자와 수준의 선택

실험의 목적을 달성하기 위해서는 특성치와 관련된 인자는 모두 선택하여 주는 것이 원칙이다. 그러나 과도한 인자의 수는 도리어 실험의 정도(Precision)를 떨어뜨릴 수 있기 때문에 실험의 목적을 달성할 수 있다고 생각될 수 있는 범위내에서 최소의 인자를 택해주어야 한다.

또한 실험을 실시한 후에 데이터의 형태로 얻어지는 반응치(이를 특성치라고 부른다)에 대해서 이에 영향을 미치고 있는 원인이 어떻게 관계되어 있는가를 이론적 또는 경험적으로 명백히 알아내기는 매우 힘들다. 왜냐하면 일반적으로 특성치에 영향을 미치는 원인이 무수히 있는 데다가 원료, 실험장치, 숙련도 등의 차이에서 오는 산포가 있고 환경조건의 변동, 표본오차(Sampling Error) 등에 의하여서도 영향을 받기 때문이다.

본 연구에서는 고화재 첨가량 및 함수량을 주인자로 선정하였으며, 인자의 수준은 고화재 첨가량의 경우 통상적인 기준배합비에 대하여 +1%, +2%수준, 함수량의 경우는 대상시료토의 최적함수비에 대하여 ±3% 수준으로 결정하였다.

5. 통계적 분석

통계적 분석에 따라 A인자와 B인자로 나누어지며 A인자는 함수비로서 A1, A2, A3로 나누어지고, B인자는 배합비로서 B1, B2, B3로 나누어 진다. 여기서 A1은 OMC-3%, A2는 OMC, A3는 OMC+3%이고, B1은 기준배합비, B2는 기준배합비+1%, B3는 기준배합비+2%로 각각 대응된다.

5.1 A-고화재

5.1.1 건조수축

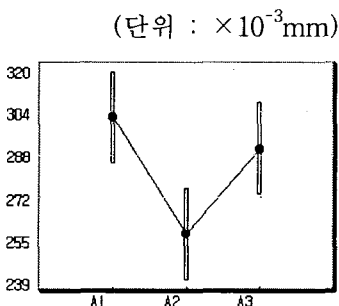


그림 1(a). A인자에 의한 영향

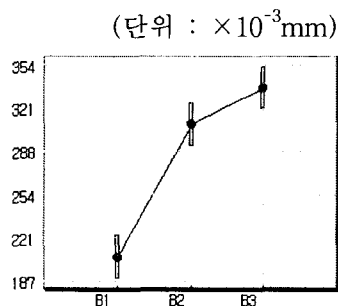


그림 1(b). B인자에 의한 영향

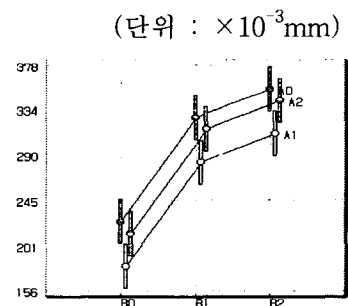


그림 1(c). 모평균과 신뢰구간

위 그림 1(a)를 보면 함수량이 OMC인 경우에 건조수축량은 최소를 보였으며, 고화재량이 증가할수록

건조수축량은 증가함을 알 수 있다. 또한 각 인자의 조합에 의한 수축량을 보면 함수비는 OMC, 고화재의 배합비는 기준배합비에서 최소값을 보인다. 즉 A-고화재의 경우 함수비는 OMC, 배합비는 기준배합비일 때 건조수축에 가장 유리하다고 판단되어 진다.

5.1.2 일축압축

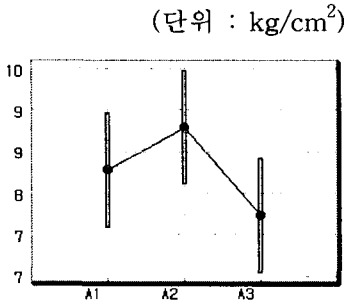


그림 2.(a) A인자에 의한 영향

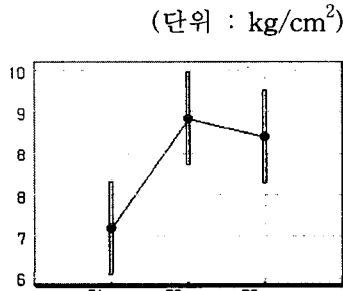


그림 2.(b). B인자에 의한 영향

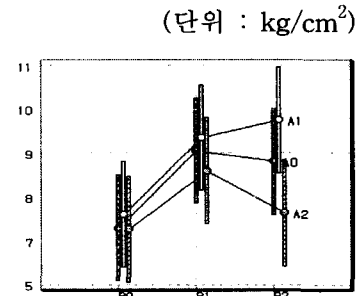


그림 2.(c). 모평균과 신뢰구간

일축압축의 경우 고화재량이 증가할수록 강도는 증가하며 함수비가 OMC인 경우에 최대값을 보인다. 또한 두인자의 조합에 의한 강도면에서도 OMC와 기준배합비의 조합이 가장 유리하게 나타났다.

5.2 B-고화재

5.2.1 건조수축

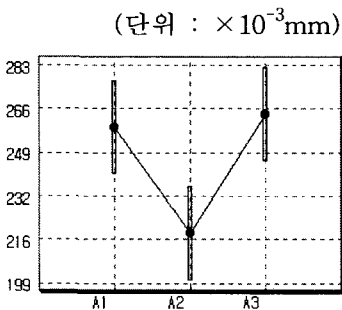


그림 3(a). A인자에 의한 영향

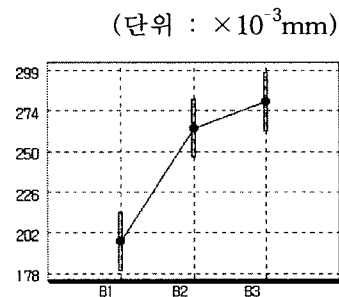


그림 3.(b). B인자에 의한 영향

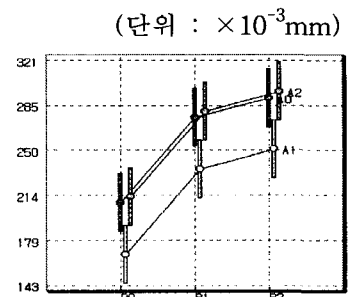


그림 3.(c). 모평균과 신뢰구간

B-고화재의 경우도 A-고화재의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다. 위 그림 3(a)를 보면 함수량이 OMC인 경우에 건조수축량은 최소를 보였으며, 그림 3(b)에서는 고화재량이 증가할수록 건조수축량은 증가함을 알 수 있다. 또한 각 인자의 조합에 의한 수축량을 보면 함수비는 OMC, 고화재의 배합비는 약 기준배합비에서 최소값을 보인다.

5.2.2 일축압축

(단위 : kg/cm^2)

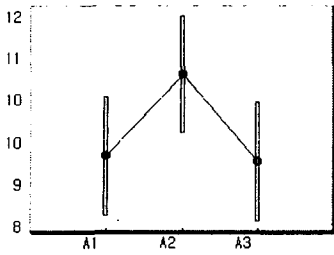


그림 4(a). A인자에 의한 영향

(단위 : kg/cm^2)

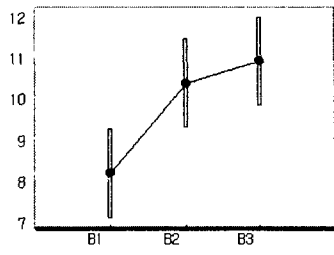


그림 4(b). B인자에 의한 영향

(단위 : kg/cm^2)

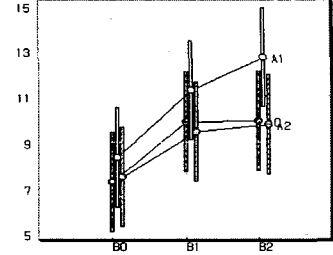


그림 4(c). 모평균과 신뢰구간

B-고화재는 A-고화재와 비슷한 경우로 고화재량이 증가할수록 강도는 증가하며 함수비가 OMC인 경우에 최대값을 보인다. 또한 두인자의 조합에 의한 강도면에서도 OMC와 기준배합비의 조합이 가장 유리하게 나타났다.

5.3 C-고화재

5.3.1 건조수축

(단위 : $\times 10^{-3} \text{mm}$)

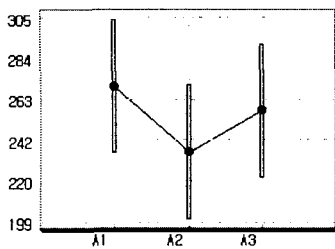


그림 5(a). A인자에 의한 영향

(단위 : $\times 10^{-3} \text{mm}$)

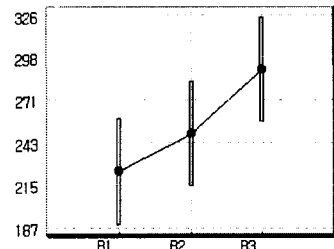


그림 5(b). B인자에 의한 영향

(단위 : $\times 10^{-3} \text{mm}$)

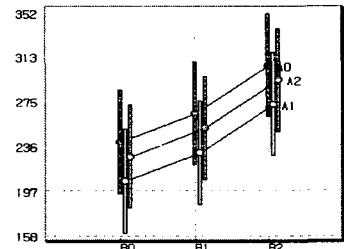


그림 5(c). 모평균과 신뢰구간

고화재량에 대한 건조수축은 선형적으로 증가하는 추세이며 함수비에 따른 영향은 OMC인 경우에 가장 작게 나타났다. 두인자의 조합에 의한 영향을 분석한 결과 OMC와 기준배합비의 경우가 가장 유리한 조건임을 알 수 있다. C-고화재의 경우 시멘트가 혼합되지 않은 이유로 같은 조건의 B-고화재나 A-고화재의 경우와 비교해보면 수축량이 상대적으로 크게 나왔다.

5.3.2 일축압축

(단위 : kg/cm^2)

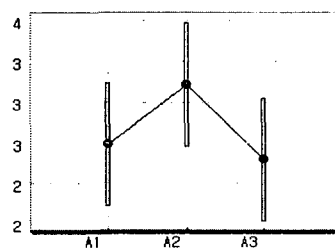


그림 6(a). A인자에 의한 영향

(단위 : kg/cm^2)

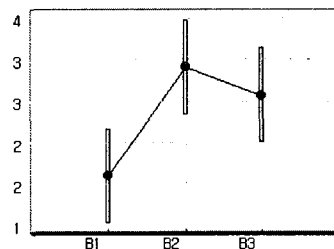


그림 6(b). B인자에 의한 영향

(단위 : kg/cm^2)

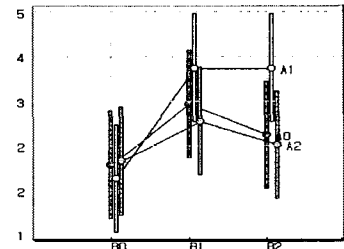


그림 6(c). 모평균과 신뢰구간

차수층에 이용되는 C-고화재, D-고화재의 경우 현장의 요구강도인 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다는 작은 값이 측정되었으며 28일 양생후에나 요구강도를 만족하는 것으로 나타났다. 두인자의 조합에 의한 영향을 분석한 결과 함수비는 OMC, 배합비의 경우는 기준배합비 +1% 와 +2%가 비슷한 강도를 나타내었다.

5.4 D-고화재

5.4.1 건조수축

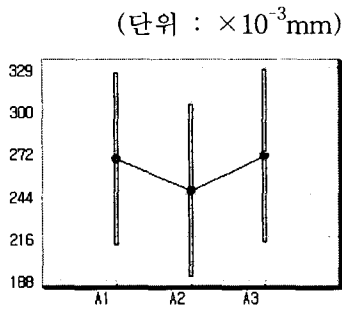


그림 7(a). A인자에 의한 영향

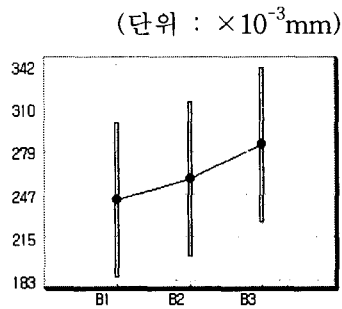


그림 7(b). B인자에 의한 영향

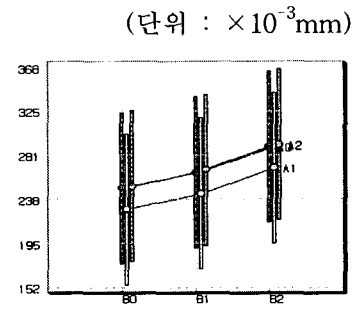


그림 7(c). 모평균과 신뢰구간

고화재량에 대한 건조수축은 C-고화재와 비슷한 추세이며 함수비에 따른 영향은 OMC인 경우에 가장 작게 나타났지만 C-고화재보다는 함수비에 따른 영향이 민감하지는 않은 것으로 나타났다. 두인자의 조합에 의한 영향을 보면 OMC와 기준배합비의 경우가 가장 유리하게 나타났다. D-고화재의 경우 시멘트가 혼합되지 않은 이유로 같은 조건의 A-고화재나 B-고화재의 경우와 비교해보면 수축량이 상대적으로 크게 나왔다.

5.4.2 일축압축

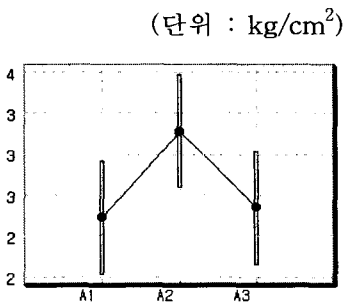


그림 8(a). A인자에 의한 영향

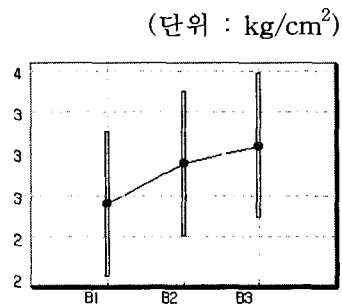


그림 8(b). B인자에 의한 영향

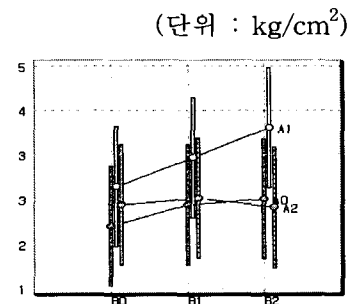


그림 8(c). 모평균과 신뢰구간

차수층에 이용되는 C-고화재, D-고화재의 경우 현장의 요구강도인 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다는 작은 값이 측정되었으나 D-고화재의 경우가 C-고화재의 강도보다는 크게 측정되었으며 이는 화학성분의 차이에서 오는 것으로 보이며, 두인자의 조합에 의한 영향은 함수비의 경우 OMC, 배합비의 경우는 기준배합비 +1%가 가장 유리한 것으로 나타났다.

5.5 건조수축과 일축압축과의 상관관계

일반적으로 시멘트계 고화재를 사용할 경우 건조수축이 발생하는 것은 필연적이므로 이러한 경우 일축압축강도가 허용강도(본 연구의 경우 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 임)를 만족하면서 최소의 건조수축이 발생되도록 하여

야 한다.

본 현장에서 사용되는 A-고화재와 B-고화재는 기준배합비와 OMC에서 허용강도 및 건조수축에 대한 양호한 상관관계를 보이거나, C-고화재와 D-고화재의 경우 기준배합비보다 1~2%정도 고화재를 더 첨가한 상태의 OMC에서 허용강도를 만족시킨 후의 건조수축이 작게 발생되도록 함이 옳을 것으로 판단된다.

6. 결론

○○매립지 제○공구 표층고화처리층의 건조수축에 관한 연구에서 각 배합비와 함수비에 따라 일축압축강도시험과 건조수축시험결과와 통계적 분석에 따른 연구결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- 1) 기준배합비에 대한 일축압축강도 시험결과, 상부하중 지지 목적으로 적용된 A-고화재와 B-고화재는 재령 7일 강도가 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상 발현되었으며 강도발현경향으로 보아 28일 경과 후에도 상당한 강도 발현이 예상된다. 한편, 차수목적으로 적용된 C-고화재 및 D-고화재의 재령 28일 일축압축강도는 약 $5\text{kg}/\text{cm}^2$ 전후로서 B-고화재와 A-고화재의 1/3수준으로 상당히 작은 것으로 평가되었으며 강도발현 경향으로 보아 28일 경과후에도 추가적인 강도발현은 적을 것으로 예상된다.
- 2) 건조수축량과 강도면에서 우수한 실내시험 배합비로써 시공을 하더라도 현장의 양생조건은 실내시험 시와는 많은 차이를 보이므로 표층고화처리공법과 같이 특수한 재료 및 공법의 사용시에는 철저한 습윤양생조건을 유지함이 균열의 발생을 줄일 수 있다. 포설이 완료된 표층고화처리토층이 기후에 의한 건조균열에 안정하도록 보호되기 위해서는, OMC의 1~2%이내이면 문제가 없을 것으로 보이나, 이 범위를 벗어나게 되면 건조수축에 대한 대비를 하여야 한다.
- 3) 통계분석 결과 지지층에 사용되고 있는 A-고화재와 B-고화재의 경우는 현재사용되고 있는 함수비(각 배합토의 OMC) 및 기준배합비가 적정하다고 판단된다. 하지만 차수층에 사용되는 C-고화재, D-고화재의 경우 기준배합비보다 높은 배합비를 사용하여 요구강도를 만족시키는 것이 필요하다고 판단된다.
- 4) 현재 본 현장에서 사용되어지고 있는 각 고화재의 배합비 및 함수비의 경우 실내시험에서 얻어진 적정 배합비 및 함수비와는 약간의 차이를 보이고 있으나 그차이는 양생조건 및 현장상황 등이 일으킬 수 있는 차이에 비하면 극히 미세한 것으로 판단된다. 즉, 현장에서 이용되는 배합비 및 함수비는 적정한 것으로 판단되며 그 보다는 양생조건(적정한 습윤상태 유지, 양생중 고화층에 대한 과도한 하중 금지 등), 고화재의 철저한 배합관리 등이 매우 중요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 천병식(1998), “최신지반주입 -이론과 실제-”, 원기술, pp. 281~300
2. 사단법인 한국지반공학회(1997), “수도권매립지 3공구 기반시설공사 표층고화처리공법 시방서 작성”, pp. 1~61
3. 동아건설산업주식회사, 선진엔지니어링 종합 건축사 사무소(1997), “고화처리 시험시공 결과 보고서”, pp. 1~40
4. 박성현(1988), “현대시험계획법”, 민영사, pp. 110~139
5. 미원기술정보(1997), “품질플러스 사용자 설명서”, pp. 74~76
6. 株式會社 ジスク(1995), “コンクリート混和剤の開発と最新技術”, 株式會社シーエムシー, pp. 201~264
7. 社団法人セメント協會(1994), “セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第二版)”, pp. 50~88