

폐석회 매립지반의 지반공학적 특성 및 압밀침하량산정

Geotechnical Engineering Characteristics and Consolidation Settlement Estimation of Waste Lime Landfill

신은철^{1*}, 이애영²

Eun-Chul Shin^{1*}, Ae-Young Lee²

¹Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, Republic of Korea

²Ph. D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, 119 Academy-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 22012, Republic of Korea

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the consolidation characteristics of waste landfill from sodium carbonate production. The waste lime is a byproduct from the production of soda ash. The consolidation settlement of waste lime landfill was determined for waste lime specimen which obtained from the field boring. The consolidation tests are conducted for determination of the primary and secondary consolidation settlements. The waste lime is classified as an organic soil with high plasticity. As a result of an organic content test, the contents of organic matter in waste lime is much higher than that of normal clay. Finally, the total consolidation settlement of waste lime landfill is calculated by using a theoretical method and computer program for the given initial void ratio, compression index, and embankment height.

요 지

이 연구의 목적은 소다회 생산과정에서 발생한 매립지의 압밀특성을 연구하는데 있다. 소다회를 생산하는 과정에서 발생하는 부산물의 주요성분은 대부분 석회석이다. 이 연구는 우선 폐석회의 압밀특성을 파악하기 위해 시추조사를 통한 불교란 시료를 채취하여 실내실험을 실시하였다. 실험결과 폐석회는 소성이 큰 유기질토로 분류되었으며, 유기물 함유량 시험결과 폐석회에 함유된 유기물 함량은 일반 점토에 비하여 높게 나타났다. 또한, 이론적인 방법과 압밀해석 프로그램에 의하여 폐석회의 압밀 침하량과 이차침하량을 산정하였다.

Keywords : Consolidation settlement, Waste lime landfill, Secondary consolidation, Organic soil

1. 서 론

우리나라에 산재되어 있는 폐석회는 소다회 생산과정에서 발생되어 생산위주의 공장운영과 관리소홀 등으로 석회 산업의 부산물인 부산석회 즉 폐석회가 적당한 대책이 없이 방치되어온 실정이다. 우선 폐석회의 발생현황을 살펴보

면 일반적으로 시멘트공장, 생석회공장, 비료공장, 화학공장 등에서 발생한다. 그러나 발생량에서 화학공장에서 발생되는 폐석회의 양이 95%이상을 차지한다. 국내의 사업장에서 발생되는 폐석회는 주로 소다회 생산공정에서 배출되는 폐석회(CaCO₃)로 적당한 처리기술의 미비로 공장주변에 방치되어온 실정이다. 외국의 경우 폐석회의 처리방안을 살펴보면 대부분 내륙매립과 석회비료로 사용되고, 건축재료, 지반안정제, 염분 토양의 중화제, 폐기물 매립장의 복토재 등으로 많은 연구가 진행되고 있다. 국내의 화학공장이나 비료공장에서 발생된 폐석

Received 22 Jul. 2016, Revised 1 Nov. 2016, Accepted 10 Nov. 2016

*Corresponding author

Tel: +82-32-835-8466; Fax: +82-32-835-0817

E-mail address: ecshin@inu.ac.kr (E. Shin)

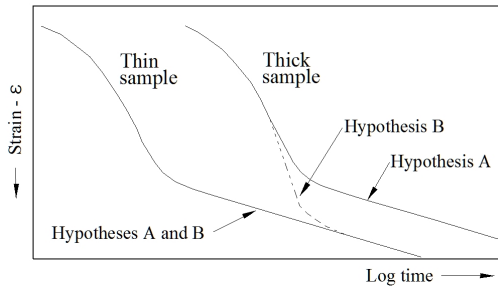


Fig. 1. Creep deformation of clay for elapsed time(Ladd et al., 1977)

회는 재활용이 극히 미미한 수준이고 대부분이 인근부지에 아직 된 상태로 주변미관의 파괴와 토지이용계획에 문제점으로 대두되고 있다. 최근 친환경 및 지속가능한 개발이라는 패러다임에 따라 폐자원의 처리와 그 활용 방안이 있어서 다양한 기술과 방법에 있어서 많은 변화를 보이고 있다. 최근에는 화학공장에서 발생된 폐석회를 매립 후 주변과의 조화와 효율적인 토지이용을 위하여 최적의 처리시스템을 이용하여 이를 공원이나 체육부지로 개발하는 매립공사가 활발히 진행 중에 있다. 따라서, 폐석회 매립지가 안정화되는 동안 매립지의 침하 및 지반계수 등의 지반 공학적 특성에 관한 보다 많은 연구가 필요하다. 매립지를 건설부지로 재활용할 경우에는 폐기물 공학적 특성에 보다 많은 이해와 지반을 개량하는 공법들에 대한 연구들도 병행되어야 한다. 따라서, 이 연구에서는 폐석회로 구성된 지반에서 폐석회의 압밀특성과 강도특성을 정확히 파악하고, 그 결과를 이용하여 폐석회 지반의 침하량을 산정하고자 하였다.

2. 폐석회의 지반공학적 특성에 관한 연구 동향

2.1 압밀특성

현재 폐석회에 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 폐석회와 관련한 연구는 대부분이 폐석회 재활용 및 특성에 관련된 내용이 대부분으로 폐기물 매립지반에 대한 연구는 진행되고 있으나 폐석회 매립지반의 침하특성에 대한 연구는 아직 미미한 상황이다. 이 연구에서는 폐석회 매립지반의 압밀 침하특성과 유사한 특성을 나타내는 점성토 지반의 압밀침하특성에 대한 연구동향 및 폐석회 특성에 대한 기존의 연구에 대하여 고찰하였다. 점성토지반의 압밀거동은 1923년 Terzaghi(1948)의 압밀 이론 발표이후 현재까지 많은 논문이 발표되고 연구되었다. 이차압밀거동을 설명하는 이론은 Mesri and Choi(1985)는 일차압밀이 끝난 시점에서의 변형은 유일하다고 보고하였다. 또한, 이차압축지수에 대한 압축지수의 비는 주어진 점토에 대하여 일

정하다고 하였다. 국내에서 Shin et al.(1996)은 부산석회의 토질역학적 특성에 관한 연구를 통하여 도로의 기층재로의 활용가능성을 제시하였다. 또한, 석회안정처리공법에 근간을 두고 부산석회를 준설토와 혼합하여 연약지반 개량재로 활용하는 방안을 제안하였다. 현장 실험을 통해 부산석회와 점토 혼합토는 혼합비 20%에서 가장 큰 강도를 보였으며, 시간이 경과함에 따라 강도는 증가하는 것을 연구하였다. 그러나 현재까지도 폐석회 매립지반의 장기 침하양상이나 메커니즘을 명확히 규명하지 못하고 있다. 따라서, 폐석회의 지반공학적 특성에 대한 이해가 필요하고, 기존 압밀이론의 활용 및 보완할 수 있는 연구가 필요하다.

2차 압밀은 1차 압밀 동안의 체적변형의 연속이며, 상당히 느린 속도로 진행된다. 또한 과잉간극수압이 소산된 이후에도 일정한 유효응력이 계속 유지된다는 점에서 1차압밀과는 크게 다르다. 이러한 2차 압밀의 발생은 각각의 입자의 변형에 대하여 입자들의 상대적인 변위로 정의되는 것이 일반적이다. 이러한 이유로 즉시침하량이나 1차압밀 침하량이 큰 흙일수록, 또는 높은 예민비를 보이는 점토일수록 상대적으로 큰 2차 압밀 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다(Ladd et al., 1977; Jamiolkowski et al., 1985; Kim, 2005).

2.2 강도특성

비배수전단강도(S_u)는 흙의 고유특성은 아니나 점토의 연경도를 나타내는데 이용되며 시험형태, 경계조건, 재하율, 초기응력상태 등에 영향을 받는다(Bjerrum, 1967). 비배수전단강도가 응력 의존성이므로 일반적으로 비배수전단강도가 측정되는 연직 유효 상재압력(S_u/σ_{v0}')로 표현된다. Skempton et al. (1957)은 정규압밀 점토의 현장 베인 시험에서 결정된 비배수전단강도와 소성지수의 관계를 식 (1)과 같이 제안하였다. 높은 액성지수의 예민 점토는 식 (1)의 비배수전단강도와 소성지수의 관계가 잘 맞지 않으며 강도증가율은 액성지수와 관계가 더 바람직하다고 보고된다. 정규압밀점토의 삼축압축 시험에서 평가된 비배수 전단강도로부터 산정된 강도증가율과 소성지수의 관계는 Fig. 2와 같다. 또한, Hansbo(1981)는 액성한계를 이용하여 식 (2)와 같이 제안하였다.

$$S_u/\sigma_{v0}' = 0.11 + 0.0037PI \quad (1)$$

$$S_u/\sigma_{vp}' = 0.0045LL \quad (2)$$

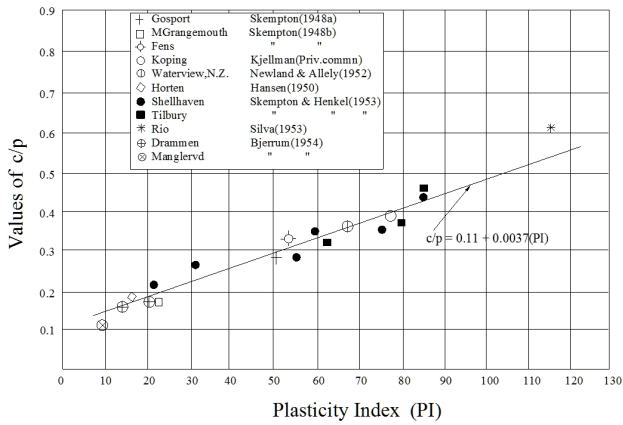


Fig. 2. Undrained shear strength for plastic index in normally Consolidation Clay (Bjerrum, 1967)

$$m = \frac{\sin\phi}{1 + \sin\phi} \quad (3)$$

여기서, S_u : 비배수전단강도, PI : 소성지수, LL : 액성한계, σ_{vo}' : 초기유효응력, m : 강도증가율, ϕ : 내부마찰각(°)

3. 폐석회의 지반공학적 특성분석

3.1 물리적특성

이 연구는 폐석회 매립지반에 대하여 지층의 연속적인 지반 상태를 나타내기 위하여 매립중의 현장에서 시추조사를 실시하였으며, 자연상태의 불교란시료를 채취하여 한국공업규격에 명

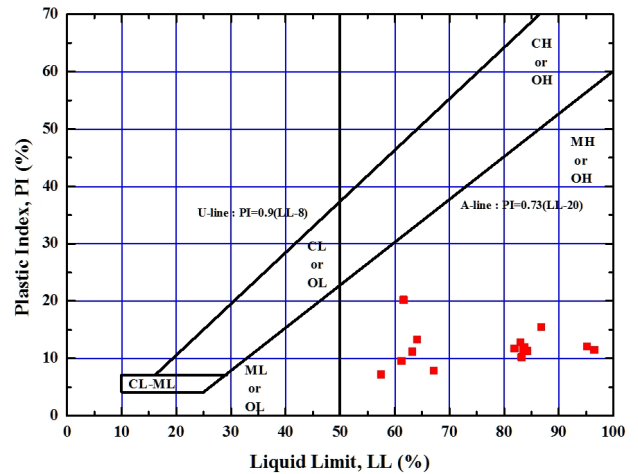


Fig. 3. Plastic chart of waste lime

시된 표준시험방법(KS F)에 의거해 물리적 특성과 역학적 특성에 대한 연구를 수행하였다. 불교란 시료는 4~6개소의 샘플을 채취하였으며, 매립상태를 초기간극비로 가정하여, 느슨하고 단단한 정도에 따라 구분하였다. 이 연구에서 수행한 실내시험 중 물성시험은 5가지의 시험을 수행하였다. 시험결과는 압밀 시험에서 도출한 초기간극비를 기준으로 구분하였다. Table 1은 실내시험을 통한 폐석회의 물리적 특성을 나타내며, Fig. 3은 소성도 표에 의한 폐석회의 분류를 나타내고 있다. 또한, 추가적으로 폐석회의 압밀특성에 영향을 미칠것으로 예상되는 유기물 함량 시험을 수행하였다. 유기물 함유량 시험 결과 폐석회의 유기물함유량은 18.85%로 도출되었다.

Table 1. Result of physical experimental for waste lime

Item		w_n (%)	G_s	LL (%)	PI (%)	Passing by No.200 (%)	U.S.C.S.
Below initial void ratio 1,5	C1	54,40	2,05	57,50	7,20	95,40	MH-OH
	C2	59,80	2,16	63,20	11,20	94,90	MH-OH
	C3	56,50	2,07	64,10	13,26	95,80	MH-OH
	C4	65,10	2,13	67,10	7,85	96,10	MH-OH
	C5	53,90	2,07	61,20	9,55	96,20	MH-OH
Below initial void ratio 1,8	C6	55,10	2,13	61,60	20,23	95,40	MH-OH
	C1	78,80	2,23	81,94	11,72	96,50	MH-OH
	C2	79,30	2,26	84,22	11,26	94,80	MH-OH
Over initial void ratio 1,8	C3	69,10	2,21	83,18	10,21	96,80	MH-OH
	C4	67,80	2,21	83,00	12,78	95,60	MH-OH
	C5	68,50	2,24	83,77	11,92	95,70	MH-OH
	C1	90,50	2,25	95,20	12,10	95,10	MH-OH
	C2	92,30	2,21	96,50	11,48	95,80	MH-OH
	C3	94,80	2,19	86,80	15,50	94,80	MH-OH
	C4	81,90	2,22	83,48	11,63	93,90	MH-OH

3.2 압밀특성 분석

이 연구에서는 폐석회 지반의 압밀특성을 정확하게 파악하여 지반을 효율적으로 개량하고자 연구대상 폐석회 매립지반에서 채취한 불교란 시료를 대상으로 압밀시험을 실시하였다. 압밀 시험은 KSF 2316에 따라 실시하였으며, 압밀시험에 의한 선형 압밀압력과 압축지수, 이차압축지수, 초기간극비는 연약지반의 침하특성을 살펴보는 데 매우 중요한 자료가 된다. Table 2는 폐석회의 표준압밀시험의 결과를 나타낸 것이다. 이 연구에서는 초기간극비가 이차압축지수에 어떠한 영향을 미치는지에 중점을 두었다. 2차압축비($C_{\alpha c}$)는 Mesri(1973)가 제시한 함수비와 이차압축비와의 관계를 도시한 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 폐

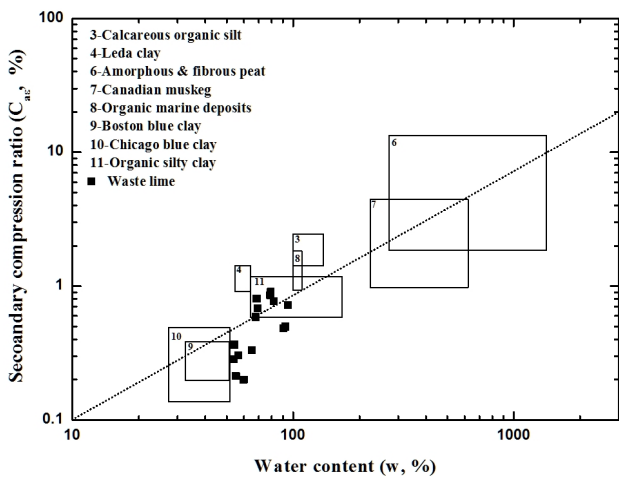


Fig. 4. Relation of water content and secondary compression ratio(Ladd et al., 1977)

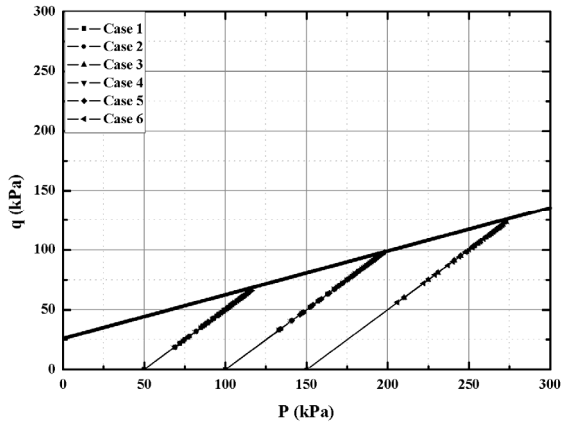
석회의 특성은 대부분 유기질 실트질 점토, 보스톤청색 점토의 특성을 가지는 것으로 판단된다.

3.3 강도특성 분석

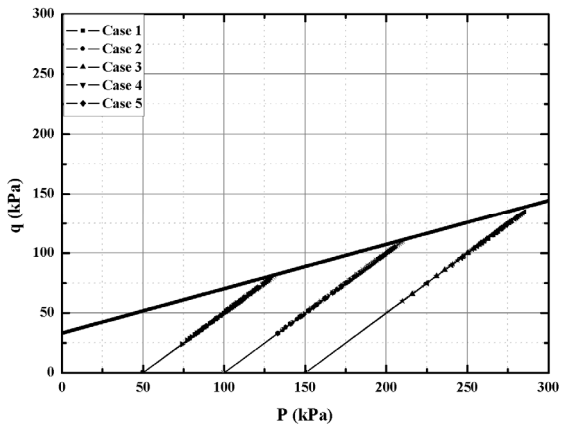
이 연구에서는 폐석회의 강도특성을 분석하기 위하여 삼축압축 시험기를 사용하였다. 강도 특성 실험은 비배수압밀(CU) 실험을 수행하였으며, 실험 방법은 시료를 우선 압밀시킨 후에, 비배수상태에서 압축하여 파괴하였다. 하중재하시 시료내부에서 과잉간극수압이 등압이 되도록 충분히 느린 속도로 재하였다. 재하중에 주응력과 시료의 압축량을 측정하였다. 내부마찰각은 초기간극비가 증가할수록 약간 감소하는 경향을 나타내었으며, 18.50~22.64°의 분포를 나타내고 있다. Fig. 5는 초기간극비에 따른 전응력 경로를 나타낸 것이다. 응력경로는 모어-쿨롱(Mohr-Coulomb) 응력원의 꼭지점을 연결한 것이다. 이렇게 연결한 선은 파괴포락선이 된다. 압밀비배수시험의 전응력 경로는 기울기 1:1이 되는 직선임을 확인할 수 있다. 전응력 경로의 직선수는 구속응력의 변화횟수와 같게 되므로 실험시 구속응력을 3번 변화하였으므로 직선의 개수는 3개가 된다. 정규 압밀점토의 경우 파괴포락선은 원점을 지나게 되나, 이 연구에서 수행한 폐석회의 파괴포락선은 Y축의 절편을 가지고 있으나 기본 물성 실험결과와 압밀실험 결과를 종합하여 볼 때 이 연구대상 지역에 매립되어 있는 폐석회는 정규압밀 상태임을 확인할 수 있다. 강도증가율은 Skempton의 제안식(식 (1)), Hansbo의 제안식(식 (2))과 비배수압밀(CU) 삼축압축시험결

Table 2. Result of consolidation test for waste lime

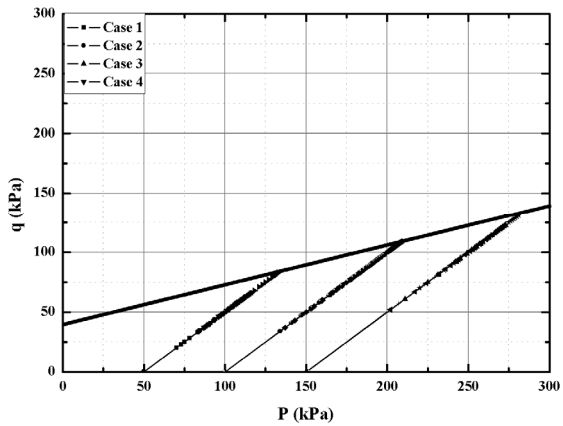
void ratio	Item	P_c (kPa)	C_c	e_0	C_{α}	OCR	γ_{sat} (kN/m ³)
Below initial void ratio 1.5	C1	33	0.257	1.203	0.00643	0.766	14.37
	C2	38	0.301	1.433	0.00386	0.893	14.19
	C3	43	0.429	1.303	0.00514	1.019	14.07
	C4	32	0.28	1.398	0.00643	0.752	14.19
	C5	31	0.26	1.229	0.00514	0.729	14.17
	C6	28	0.263	1.276	0.00386	0.662	14.10
Below initial void ratio 1.8	C1	45	0.610	1.695	0.01671	1.365	14.21
	C2	42	0.603	1.672	0.01671	0.424	14.12
	C3	44	0.594	1.663	0.01285	1.363	14.03
	C4	36	0.60	1.608	0.01028	0.684	14.23
	C5	40	0.602	1.606	0.01414	0.479	14.16
Over initial void ratio 1.8	C1	41	0.621	1.951	0.01028	1.129	13.85
	C2	48	0.725	2.010	0.01028	0.855	13.75
	C3	38	0.685	1.968	0.01414	0.441	13.59
	C4	53	0.691	1.905	0.01542	0.953	13.91



(a) Stress path at below initial void ratio 1,5



(b) Stress path at below initial void ratio 1,8



(c) Stress path at over initial void ratio 1,8

Fig. 5. Stree path of waste lime

과 마찰각을 이용하는 방법(ϕ 방법, 식 (3))으로부터 산정하였다. 각 방법에 의한 폐석회 매립지반의 평균 강도증가율은 0.151(Skempton 식), 0.346(Hansbo 식), 0.264(ϕ 방법)로 나타났다. 3가지 방법 중에서 Hansbo의 제안식에 의한 방법이 가장 크게 평가되는 것으로 나타났다. 이는 매립된 폐석회 대부분 액성한계가 50%이상의 고소성을 나타내기 때문이며, 일반적으로 Hansbo의 방법은 저소성에 대해서는 과소평가되는 것으로 알려져 있다.

4. 폐석회 매립지반의 압밀침하 특성

4.1 이론식에 의한 압밀침하량 산정

이 연구에서는 실내에서 수행한 물성실험과 압밀시험의 결과를 이용하여 연구 대상 지반의 침하량을 산정하였다. 침하량 산정은 1차 압밀침하량과 2차 압밀침하량을 각각 계산하여 총침하량을 산정하였다. 침하량 산정에 필요한 물성은 초기간극비에 따라 구분하여 적용하였으며, 상재하중은 매립 완료 후 성토높이가 1.0~5.0m일 때를 고려하여 적용하였다. 성토체의 단위중량은 일반적으로 성토체로 사용되는 풍화토의 단위중량(18kN/m^3)을 적용하였다. Table 3은 압밀도와 침하량 계산시 적용한 폐석회의 압밀특성이다. 침하량 산정결과 1차 압밀침하량은 성토높이의 영향을 받는 것을 알 수 있다. 2차 압밀침하량이 1차 압밀침하량에 비하여 크게 산정된 것은 폐석회에 함유된 유기물 함량(18.85%)이 높기 때문으로 판단된다. Table 4는 이론식 (4)과 식 (5)에 의하여 산정된 총 압밀침하량을 나타낸 것이다.

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \left(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0} \right) \quad (4)$$

Table 3. Characteristics consolidation applied to settlement estimate (C_s : swelling index)

Condition	No of layer	P_c (kPa)	P_0 (kPa)	e_0	C_c	C_s	C_α
Below initial void ratio 1,5	1	34.17	303.5	1.307	0.298	0.034	0.00514
	1	44.5	104.5	1.679	0.602	0.0635	0.01478
Below initial void ratio 1,8	2	36	147.2	1.608	0.6	0.042	0.01028
	3	41	302.7	1.639	0.603	0.051	0.01542
Over initial void ratio 1,8	1	41	102.5	1.951	0.621	0.052	0.01028
	2	50.5	144.0	1.958	0.708	0.051	0.01285
	3	38	293.5	1.968	0.685	0.055	0.01414

Table 4. Total consolidation settlement for theoretical estimation (unit : mm)

Condition	Embankment height Settlement	1m	2m	3m	4m	5m
		Below initial void ratio 1.5	1st settlement	161	306	440
	2nd settlement	85	84	84	83	83
	total settlement	246	390	542	647	761
Below initial void ratio 1.8	1st settlement	395	725	1,014	1,273	1,508
	2nd settlement	237	233	230	227	224
	total settlement	632	958	1,244	150.0	1,732
Over initial void ratio 1.8	1st settlement	470	863	1,204	151.0	1,789
	2nd settlement	206	202	199	196	194
	total settlement	676	1,064	1,403	1,706	1,983

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} H_p \log \frac{t_2}{t_1} \quad (5)$$

여기서, S_s : 압밀침하량, C_c : 압축지수, H : 지층두께, e_0 : 초기간극비, P_0 : 초기응력

ΔP : 응력증가량, C_α : 2차 압축지수, H_p : 1차압밀 완료 후 연약층 두께

e_p : 1차압밀 완료 후 간극비, t_1 : 2차압밀 시작시간, t_2 : 2차압밀 종료시간

4.2 수치해석에 의한 압밀침하량 산정

이 연구에서 사용한 압밀해석 프로그램(K-Embank)은 원도 우용의 종합적인 연약지반 설계프로그램을 사용하였다. 해석 시 배수조건은 일면배수조건으로 해석을 수행하였다. 해석지반 모델링 하는 과정에 있어서 폐석회가 매립되고 있는 실제 현장의 단면을 모델링 하였으며, 심도 21.4m, 폭은 300m의 단면을 구성하였다. 압밀해석 프로그램에서 총하중법 및 개별하중법의 2종류를 선택할 수 있다. 총하중법(Total Load Method)은 각 단계별 지반조건은 초기 원지반 상태로 규정하고, 1단계 하중 재하시 원지반조건에 대해 침하 및 시간 계산, 2단계 하중 재하시 원지반조건에 대해 침하 및 시간 계산, 1단계 침하곡선과 2단계 침하곡선이 2단계 하중 재하 시작일에서 동일한 발생 침하량으로 교차하도록 침하곡선을 작성하는 방법으로 이 연구에서는 총하중법을 적용하였다. 수치해석에 적용한 물성값은 폐석회 물리적 공학적 시험결과를 적용하였다. Fig. 6~7은 해석 대상지반을 모델링한 것이다. 모델링시 성토높이를 1.0~5.0m로 변화시키면서 모델링을 실시하였다. 이는 실제 매립 완료 이후 복토높이를 가정하여 적용하였다. 해석 프로그램에

의한 총 침하량 산정결과는 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 9와 같이 이론적 방법에 의하여 산정된 압밀 침하량과 압밀해석 프로그램에 의하여 산정된 압밀 침하량을 비교 분석하였다. 이론에 의한 결과와 압밀해석 프로그램에 의한 총 침하량 결과가 동일하게 산정되었다.

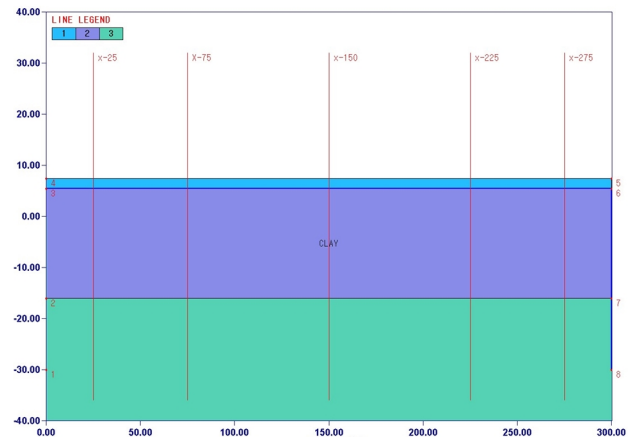


Fig. 6. Modeling of 1-layer waste lime

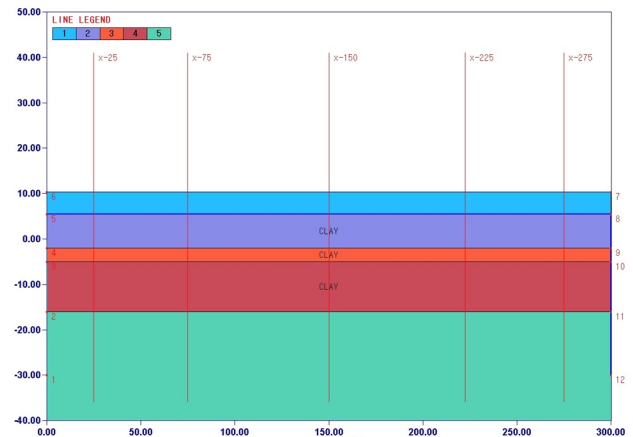


Fig. 7. Modeling of Multi layer waste lime

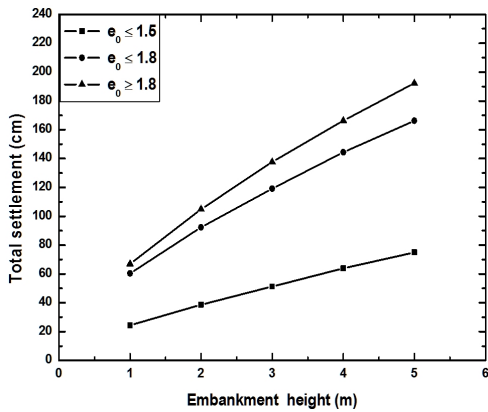


Fig. 8. Numerical analysis for total settlement

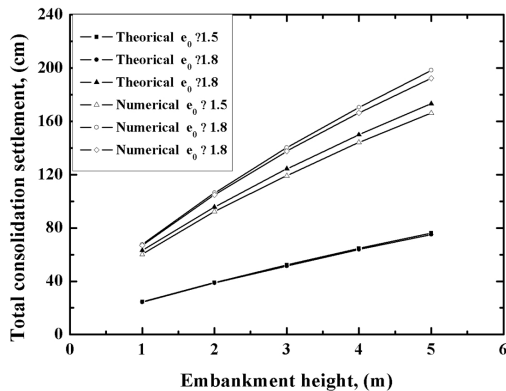


Fig. 9. Comparison of theoretical and numerical analysis for total settlement

5. 결론

이 연구는 소다회 생산과정에서 발생한 폐석회의 지반 공학적 특성 분석과 압밀침하량을 산정하기 위하여 시추조사, 실내 기본물성시험, 그리고 압밀시험과 삼축압축시험을 수행하였다. 압밀 시험 산정 결과를 바탕으로 이론적인 방법으로 압밀침하량을 산정하였으며, 또한 압밀해석 프로그램을 사용하여 폐석회 매립지반의 침하량을 산정하였다. 이와 같은 연구결과를 바탕으로 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 압밀비배수 삼축압축시험 결과 폐석회의 파괴포락선은 Y축의 절편을 가지고 있으나 압밀 시험 결과와 기본 물성시험 결과를 종합하여 볼 때 폐석회는 정규압밀 상태를 확인할 수 있었다. 이를 통하여 폐석회는 압밀 점토와 유사한 특성을 가지는 것으로 사료된다.
- (2) 실내시험 결과를 이용한 폐석회 매립지반의 총 압밀침하량을 산정하면, 초기간극비가 1.5이하일 때 성토높이에 따라 24.6cm~76.1cm이며, 초기간극비가 1.5이상에서 1.8이하 범위일 때 성토높이에 따라 63.2cm~173.2cm이

고, 초기간극비가 1.8이상일 때 성토높이에 따라 67.6cm~198.3cm로 산정되었다. 총 압밀침하량은 성토높이에 따라 증가하였고, 초기간극비가 증가하였을 경우 총 압밀침하량은 증가하는 것으로 분석되었다.

- (3) 성토높이가 증가할수록 침하량이 증가하는 것은 이론적 방법과 프로그램해석에 의한 방법이 동일한 결과를 나타냈다. 초기간극비의 변화에 따른 압밀 침하량은 이론에 의한 결과와 프로그램해석결과 모두 초기간극비가 증가할수록 침하량은 증가하는 것으로 분석되었다. 총 압밀침하량 또한 이론에 의한 결과와 압밀해석 프로그램에 의한 결과가 동일하게 산정되었다.
- (4) 이 연구결과를 바탕으로 현재 연구 대상지역은 폐석회 매립이 진행중에 있으므로 향후 매립이 완료된 후 압밀 침하에 대한 계측을 실시하여 장기적인 압밀침하특성에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

References

1. Kim, Y. T. (2005), "Axisymmetric Nonlinear Consolidation Analysis for Drainage-installed Deposit Considering Secondary Compression", *Journal of Korea Geotechnical Society*, Vol.21, No.3, pp.133-140.
2. Shin, E. C., Oh Y. I. and Kim S. H. (1996), "Development of technology soft ground improvement method using waste lime", *Proceeding of Korean Society of Civil Engineers*, pp.487-490.
3. Bjerrum, "Engineering geology of Norwegian normally consolidated marine clays as related to settlements of building", *Geotechnique*, Vol.17, No.2, pp.81-118.
4. Hansbo, S. (1981), "Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains", *Proc.10th International Conference Soil Mechanics Eng.* Stockholm, Vol.3, paper 12/22.
5. Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T. and Lancellotta, R. (1985), "New developments in field and laboratory testing of soils", *Proceedings of 11th ICSMFE*, San Francisco, Vol.1, pp.57-153.
6. Ladd, C. C., Foott, R., Ishihara, K., Schlosser, F. and Poulos, H. G. (1977), "Stress-deformation and strength characteristics", General report, *Proceedings, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo. Vol.2, pp.421-494.
7. Mesri, G. (1973), "Coefficient of secondary compression" *ASCE, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol.90, NO.SM5, pp.133-156.
8. Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985). "Settlement analysis of embankments on soft clays", *ASCE, Journal of Geotechnical Engineering*, pp.441-464.

9. Mesri, G. and Choi, Y. K. (1985). "The uniqueness of end-of primary(EOP) void ratio effective stress relationship", Proceedings, 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, Vol.2, pp.587-590.
10. Skempton, A. W. and Bjerrum, L. (1957), "A contribution to the settlement analysis of foundation on clay", Geotechnique, Vol.7, pp.168-178.
11. Terzaghi, K. (1948), Theoretical Soil Mechanics, Jhon Wiley & Sons, New York.