

고속철도 토공구간 쌓기 재료의 다짐함수비 조건에 따른 장기침하 특성 Long-term Settlement of High Speed Railway Embankment Compacted under Dry/Wet Condition

이성진¹⁾, Lee Sung Jin, 이일화¹⁾, Lee Il Wha, 이진욱¹⁾, Lee Jin Uk

¹⁾ 한국철도기술연구원 철도구조연구실 선임연구원

Senior Researcher, Railroad Structure Research Department KRRRI

개요(SYNOPSIS) : Recently, the high speed railway comes into the spotlight as the important and convenient traffic infrastructure. In Korea, Kyung-Bu high speed train service began in about 400km section at 2004, and the Ho-Nam high speed railway will be constructed by 2017. The high speed train will run with a design maximum speed of 300-350km/hr. Since the trains are operated at high speed, the differential settlement of subgrade under the rail is able to cause a fatal disaster. Therefore, the differential settlement of the embankment must be controlled with the greatest care. Furthermore, the characteristics and causes of settlements which occurred under construction and post-construction should be investigated.

A considerable number of studies have been conducted on the settlement of the natural ground over the past several decades. But little attention has been given to the compression settlement of the embankment.

The long-term settlement of compacted fills embankments is greatly influenced by the post-construction wetting. This is called 'hydro collapse' or 'wetting collapse'. This wetting collapse problem for the compressibility of compacted sands, gravels and rockfills, has been recognized by several researchers.

For this wetting settlement problem, we showed the test results carried out with 4 fill materials. These tests were performed under the condition that the fill materials were inundated at the first wetting. Subsequently, in this study, we investigated the long-term settlement characteristics of the fill materials under the repeated partial wetting and rising of the ground water table happen by rainfall.

주요어(Key words) : Embankment, Rockfill, Wetting-Collapse, High speed railway slab track, Repeated Wetting, Long-term settlement

1. 서론

고속철도는 300km/h 이상의 고속으로 운행되기 때문에 노반의 부등침하는 큰 사고를 야기시킬 수 있어 주의를 기울여 관리되어야 한다. 일반적으로 침하는 두 층(성토체, 하부 원지반)에서 발생될 수 있다. 이 중 원지반에 대한 연구는 많이 수행되어 왔으나, 성토체 자체의 압축침하에 대한 연구는 그 크기가 상대적으로 작기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다. 하지만 잔류침하량이 약 30mm까지 허용되는 콘크리트궤도의 고속철도 구간에서는 이로 인한 영향은 무시할 수 없을 것이며 이에 대한 원인 규명이 요구된다.

성토체의 압축은 다양한 원인에 의해서 발생될 수 있다. 그 중에서도 성토체 자체의 장기적인 압축침하특성은 공사 완료 후에 지하수위 상승이나 강우로 인한 습윤화 과정(Wetting)에서 크게 발생될 수 있으며, 이러한 Wetting Collapse 문제에 대한 연구가 많이 이루어지지 않고 있지만, 이로 인한 모래,

자갈, 암석 등의 다짐 성토체의 압축발생은 여러 연구자들에 의해 인지되어지고 있다. 이에 본 연구진은 선행연구로서 4가지 쌓기 재료에 대한 지하수위 상승을 모사한 최초 수침 시 Wetting Collapse 특성을 대형오이도미터 시험으로 검토하여 그 결과를 제시한 바 있다(이성진 등, 2008). 이어서 본 연구에서는 강우로 인한 Wetting과 지하수위 상승을 고려한 반복된 Wetting 시의 침하특성, 다짐 시의 함수비가 미치는 특성, 장기침하특성 파악을 위한 실험을 수행하여 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 암석/흙 성토체의 붕괴(Collapse) 메커니즘

붕괴성 토질(Collapsible soils)은 건조한 점토나 실트 등의 점성 재료와 조립재료가 느슨하게 결합되어 있는 것으로 설명되어 왔다. 이러한 흙의 구조는 Casagrande(1932)가 소개한 다음 그림 1과 같은 개념으로 설명될 수 있다. 여러 고성토체가 붕괴를 경험하였으며, 이러한 일련의 현상들은 붕괴성 토질의 정의에 대해 보다 넓은 해석이 가능하도록 했다.

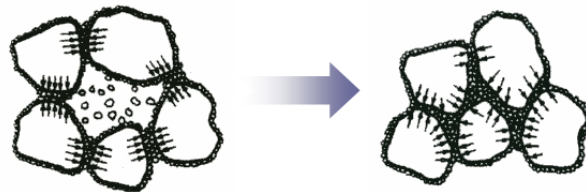


그림 1. 침수 전후의 흡입자 구조(Houston et al. 1993)

다짐모래, 자갈 암성토체의 압축성에 대한 연구는 Marachi 등(1969), Nobari & Duncan(1972) 등의 연구자들에 의해 수행되어 왔다. 이러한 연구들은 비점성토와 암성토체가 낮은 응력수준에서 낮은 압축성을 보이지만 높은 응력수준에서는 입자파쇄에 의해 상당한 압축성을 보일 수 있다는 것을 지적하고 있다. 점성의 성토체의 경우 wetting에 의한 부피변화가 응력수준에 따라 팽창이나 압축이 모두 발생할 수 있다. Burland(1965)와 Mitchell(1993) 등이 지적한 바와 같이 부분 포화된 점성의 토질은 다른 조립체의 접촉점 사이에 세립분의 “packets”을 갖게 되며, 이러한 packets은 음의 간극수압을 갖고 있어 낮은 응력수준에서 물을 흡수했을 때 팽창할 수도 있다. 하지만 높은 응력수준에서는 미끄러짐이나 변형이 발생하여 조립재료의 전체적인 부피 감소(Collapse or hydrocompression)가 발생할 수 있다. 따라서 Wetting에 의한 유효응력의 감소가 세립분의 미시적인 팽창과 함께 조립재료의 접촉점의 미끄러짐으로 거시적 부피감소로 이어지게 된다.

이러한 팽창/붕괴의 메커니즘은 단단한 퇴적암으로 구성된 성토체에서 강조될 수 있다. 즉 이러한 종류의 암석과 단단한 흙덩어리는 현장의 다짐상태에서 적절하게 부서지지 않고 시공 완료 이후 Wetting에 의해 약화되고 붕괴될 수 있는 것이다(Sherard 1963, Rogers 1992).

입자의 붕괴메커니즘으로 다음 그림 2와 같이 설명될 수 있다.

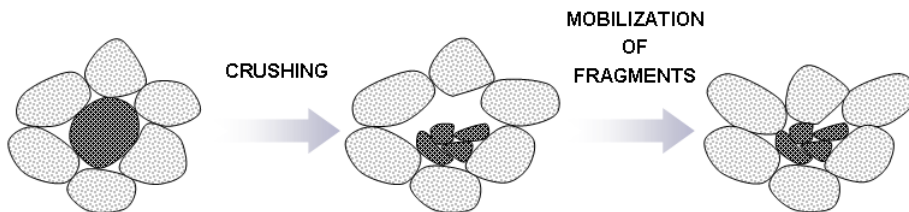


그림 2. 입자파쇄에 따른 흡입자 구조 변화(Feda, 2000)

그림은 입자파쇄에 따른 흡입자 구조 변화의 두 단계를 보여주고 있다. 첫 번째 단계로서 가장 약한 입자가 응력 집중에 의해서 깨지게 된다. 이러한 입자 조각들은 더 이상 하중을 받을 수 없게 되면서 변형을 유발시키고 다음 단계로 흡입구조의 압축과 함께 깨진 입자들도 다시 하중을 받는 구조로 입자가 재

배열된다. 이 과정에서 전체적인 흙구조의 부피가 감소하게 되며, 이러한 현상은 연속적으로 이어질 수 있을 것이다.

3. 실험 재료

본 실험에 사용된 재료로는 암석 종류와 세립분 함량 정도가 다른 4개의 성토현장에서 실제 사용되고 있는 암석 및 흙을 활용하여 실험을 수행하였다.

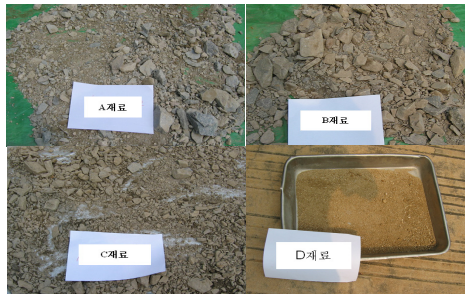


그림 3. 4종류(경암, 보통암, 연암, 화강풍화토)의 실험 재료

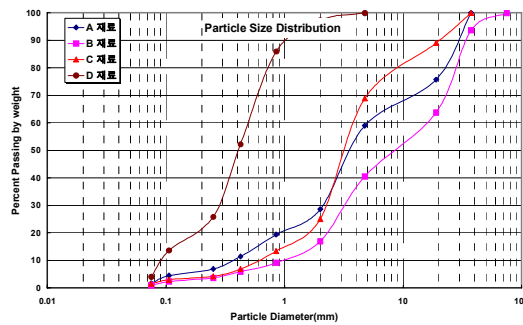


그림 4 실험 재료별 입도분포곡선

실험 재료들은 현장에서 각각 경암(A재료), 보통암(B재료), 연암(C재료), 화강풍화토(D재료)으로 분류되어 시공되고 있는 재료로써 그림 4와 같은 입도를 나타내고 있었다.

고속철도 설계기준에 의하면 다짐도의 품질기준으로 상부노반은 최대건조밀도의 95% 이상, 하부노반은 최대건조밀도의 90% 이상으로 제시되어 있다. 따라서 본 연구의 실험에서도 재료에 따른 상대밀도 실험을 위해 다짐몰드에 기건상태의 시료를 투입한 후 소정의 다짐층수와 다짐횟수를 변화시키면서 밀도를 측정하여 최소/최대건조밀도를 얻었다(이성진 등, 2008). 각 시료의 최대건조밀도는 $2.06(\text{tf}/\text{m}^3) \sim 2.13(\text{tf}/\text{m}^3)$ 이었으며, 본 실험에서는 재료 최대건조밀도의 95% 수준으로 $2.0(\text{tf}/\text{m}^3)$ 을 선정하여 재료별로 일관된 밀도로 실험을 수행하였다.

4. 대형 오이도미터 실험

4.1. 실험 방법

본 실험에서는 실험 대상의 조건에 따라 하중에 따른 침하가 완료된 후 살수장치를 통해 물을 침투시켜 시료를 포화시킴으로써 물의 침투(혹은 포화)가 재료의 변형에 미치는 영향(Wetting Collapse)을 관찰하고자 하였다. 포화로 인한 영향 검토 후에도 마지막 하중단계까지 하중에 의한 영향을 검토하여 침수 유무에 따른 각 하중 단계에서의 재료 압축성을 파악하였다(이성진 등, 2008).

4.2. 실험 결과

본 실험의 주된 관심사는 Wetting Collapse에 의한 암성토체의 압축침하특성에 관한 내용이다. 이러한 Wetting Collapse를 발생시키는 요인으로는 강우 시 침투에 의해 부분포화상태에서 함수비가 증가하거나 완전 포화상태에 이르는 경우와 지하수위가 상승하여 완전 침수 포화되는 경우가 포함된다. 즉 강우 시 침투에 의해서는 성토체의 투수특성에 따라 함수비 증가가 불균일하게 발생되고 이에 따른 Collapse의 불균일성에 의한 중방향 및 횡방향에서의 부등침하가 발생할 수 있으며, 지하수위 상승에 따라 침수된 성토체 단면의 침하발생으로 부등침하가 발생할 수 있을 것이다.

함수비 증가에 따른 암성토체의 압축침하 특성에 미치는 영향인자로는 실험 재료, 다짐 함수비, Wetting 조건, 응력 수준 등이 있을 것이며, Wetting Collapse에 대한 정량적 평가를 위해서는 이러한 영향인자들에 대한 다양한 조합의 연구가 필요할 것이지만 본 연구에서는 이에 대한 발생정도를 파악하고 그 대책을 검토할 수 있는 기초연구자료로 활용하는 결과 도출까지를 그 연구범위로 설정하였다.

즉 앞서 언급한 바와 같이 경암, 보통암, 연암으로 분류되는 암석재료와 화강풍화토를 대상으로 암중 및 입도분포에 따른 특성, Wetting이 이루어지는 응력수준에 따른 특성, 그리고 전체적으로 암석재료를 활용한 성토체에서 발생할 수 있는 함수비증가에 따른 압축침하 변형률의 범위를 검토하였다.

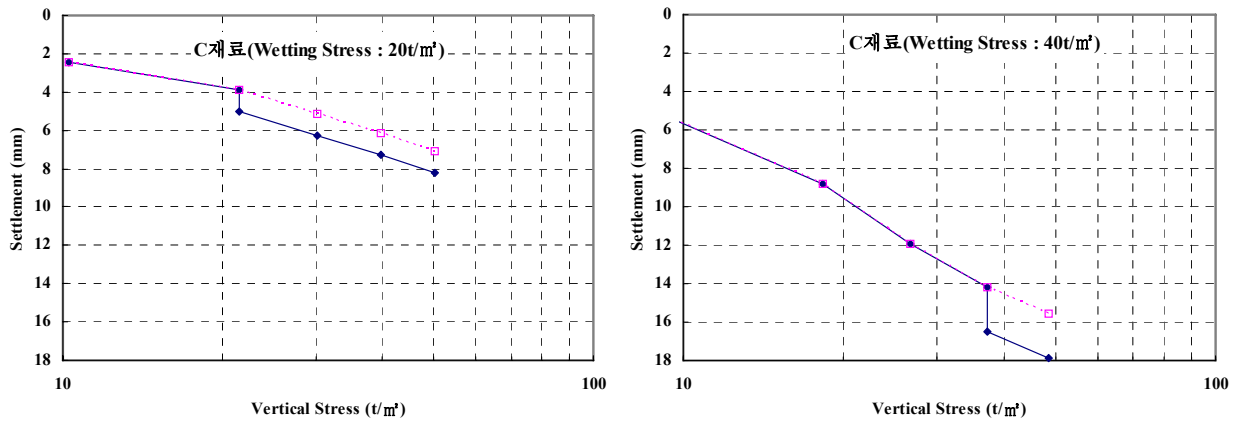


그림 5 응력 침하곡선

표 1. 대형오이도미터 실험 결과

Wetting Collapse Test Results						Wetting Collapse에 의한 수직변형률
재료	wetting 하중단계 (tf/m ²)	wetting 침하량,(mm)	하중단계, (tf/m ²)	wetting침하 무시,(mm)	wetting침하 고려,(mm)	
A재료	20	2.58	10	10.66	10.66	0.57%
			20	16.6	19.18	
			30	21.16	23.74	
			40	25.81	28.39	
			50	29.1	31.68	
B재료	10	3.28	10	4.31	7.59	0.73%
			20	8.13	11.41	
			30	11.67	14.95	
			40	15.05	18.33	
			50	17.34	20.62	
B재료	20	2.71	10	1.65	1.65	0.60%
			20	4.28	6.99	
			30	7.21	9.92	
			40	9	11.71	
			50	10.99	13.7	
C재료	10	1.29	10	3.88	5.17	0.29%

D재료			20	6.23	7.52	
			30	8.3	9.59	
			40	10.24	11.53	
			50	11.71	13	
	20	1.14	10	2.45	2.45	0.25%
			20	3.89	5.03	
			30	5.12	6.26	
			40	6.14	7.28	
	40	2.32	10	4.46	4.46	0.51%
			20	8.83	8.83	
			30	11.91	11.91	
			40	14.18	16.5	
	10	1.65	10	4.78	6.43	0.37%
			20	7.01	8.66	
			30	8.8	10.45	
			40	10.27	11.92	
20		1.78	10	4.36	4.36	0.40%
			20	7.75	9.53	
			30	9.84	11.62	
			40	11.77	13.55	
			50	13.38	15.16	

실험 결과의 그림과 표에서 볼 수 있는 바와 같이 실험 대상 재료와 Wetting 응력 수준에 따라 Wetting Collapse에 의한 압축침하량은 약 0.2-0.8%의 범위에서 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 변형률은 10m 성토 시, 약 20mm-80mm에 이르는 침하로써 허용 잔류침하량을 30mm까지 엄격하게 제한하는 콘크리트궤도의 고속철도에서는 상대적으로 매우 큰 침하를 유발시킬 수 있는 크기이다.

본 연구의 실험결과에서 낮은 응력수준(상재하중 $10\text{tonf}/\text{m}^2$)에서의 침하량이 클수록 함수비 상승에 의한 Wetting Collapse와 최종 하중단계 즉 높은 응력수준에서의 침하량이 크게 발생되고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 성토체의 다짐은 상부의 성토높이가 증가함에 따라 작은 응력부터 최종적인 높은 응력상태까지 경험하게 되는데 이때 시공 시 다짐상태에 따라 작은 응력조건에서 침하발생이 크게 나타나는 구간에서는 최종적인 성토에 따른 응력상승에 의한 침하발생 뿐만 아니라 Wetting에 의한 압축 침하발생도 크게 나타날 것으로 예상된다.

같은 재료의 성토재료일 경우에도 다짐 응력 및 입도, 함수비에 따른 밀도 등의 불균일성에 따라 위치별로 부등침하가 발생할 수 있다. 본 실험에서도 같은 재료에서 같은 목표 다짐밀도를 갖고 시료를 만들어 실험을 수행하였으나 동일한 조건의 낮은 응력수준에서부터 다른 침하량이 발생됨을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 실내에 비해 다짐관리가 더욱 어려운 현장에서는 더 크게 발생할 수 있는 요인으로 판단된다. 따라서 고속철도 노반에서 토공구간의 다짐관리가 매우 엄격히 이루어져야 할 것으로 사료된다.

Wetting Collapse에 의한 부피감소와 침하발생은 크게 세립분의 포함정도에 따른 조립재의 미끌림이나 재배열과 암석의 종류에 따른 접촉점에서의 입자변형에 의해 영향을 받는 것으로 예상할 수 있었다. 따라서 입도분포에서 큰 차이가 없는 3가지 암석/흙 혼합재료(A, B, C재료)의 실험에서 상대적으로 암석의 종류 즉 암석 자체의 강도가 큰 경암에서 침하발생량이 적고, 연암의 침하발생량이 클 것으로 예상되었으나, 본 연구의 실험에서는 그러한 경향은 확인할 수 없었다. 이에 대한 원인으로서는 연암의 경우 다짐 과정이나 실험이 수행된 상재하중 하에서 이미 암석 접촉점의 파쇄가 발생하여 Wetting 과정에서의 강도감소로 인한 파쇄율을 감소시켰을 가능성이 가장 큰 것으로 파악된다.

이번 대형 오이도미터 시험에서는 재료가 하중 단계별로 안정화된 다음 물을 공급하고 하부 배수라인에서 물이 배출되기 시작하면 배수라인을 막고 완전 수침상태로 Wetting에 의한 침하를 검토하였다.

즉 본 실험 결과는 완전 수침 상태의 최종 포화 시의 Wetting Collapse 양을 평가한 결과로 실제 현장에서는 하부노반의 지하수위 상승 등의 조건에서 발생할 수 있는 극한 상태의 결과일 수 있다. 따라서, 실제 현장에서 지하수위 상승과 강우 등의 요인으로 발생하는 노반의 포화상태 정도에 따라 침하량을 평가하기 위해서는 완전 침수 대비 부분 포화 정도에 따른 침하특성을 분석하여 압축침하특성을 예상하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다. 또한 부분 포화 정도에 따른 성토체의 투수특성 결과와 성토체 내부로의 침투 결과를 통해 성토체의 압축 침하정도를 예측하여 성토 과정 및 방치 기간 동안 강우에 노출되어 침하되는 양을 파악하여 잔류침하량 고려 시 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 장기 사하중 재하 및 반복 Wetting 시험

이상 대형오이도미터를 이용한 실험은 4가지 재료들에 대해 하중 증분에 대한 침하특성과 수침 시 즉 지하수위 상승을 모사한 경우의 Wetting Collapse 특성을 검토하였으며, 이를 통해 함수비 증가를 통해 발생할 수 있는 침하량이 고속철도의 콘크리트레도 하부 성토재료에서는 상대적으로 큰 침하가 발생할 수 있음을 확인할 수 있었다.

따라서 조립재료로 이루어진 성토체의 장기적인 침하특성 및 경향을 보다 현실적인 조건을 반영한 실험을 통해 검토하고 이에 대한 장기적 잔류침하량 예측과 대책 수립에 필요한 정보를 축적할 필요가 있다. 이를 위해 대형오이도미터 실험을 통해 확인할 수 없었던 다짐함수비 조건과 반복되는 수침과 건조 과정에서의 Wetting Collapse 발생 가능성과 그 경향에 대한 검토를 위해 사하중을 재하하면서 함수비 조건을 제어할 수 있는 실험장비를 제작하여 실험을 수행하였다.

5.1. 실험 개요

먼저 장기적인 하중을 가하면서 실험을 수행하기 위해서는 유압장비의 장시간 가동이 불가능하기 때문에 사하중을 이용한 하중 재하방식이 필요하였다.

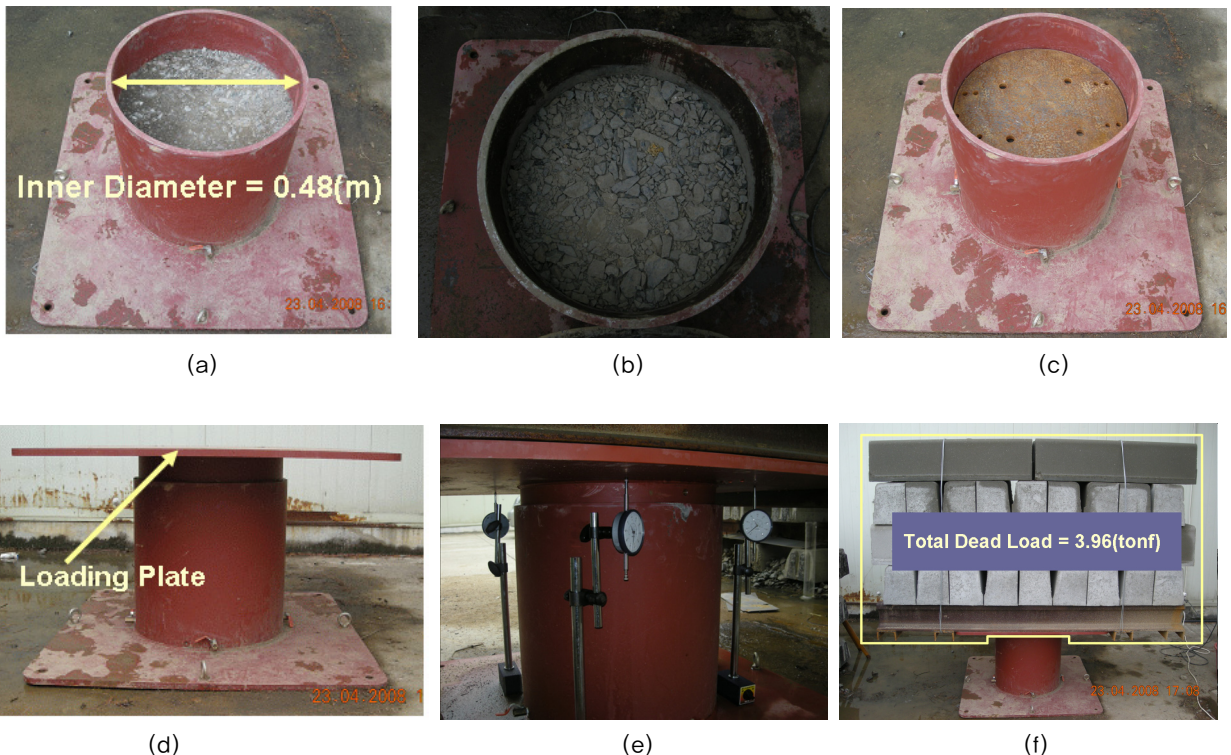


그림 6. 장기 사하중 재하 시험 장비

따라서 본 연구에서는 실험 재료에 일정 사하중(Dead Load)을 가하고 재하판 하부 급수라인을 통해

시료 상부로의 급수와 오이도미터 하부 배수라인을 만들어 배수와 비배수 상태를 제어할 수 있는 장비를 제작하여 실험을 수행하였다. 앞선 대형 오이도미터와 같은 원리의 실험을 위해 다음 그림과 같이 내경 48cm, 높이 50cm의 오이도미터에 사하중을 재하할 수 있는 재하판(Load Plate)을 제작하였다.

5.2. 실험 조건 및 결과

Wetting에 의한 침하 발생은 앞선 실험에서 확인된 바 있다. 이어서 본 연구에서의 주된 관심사는 암성토 및 지반 성토재료가 장기적으로 발생될 수 있는 침하경향이기 때문에 Wetting조건과 관련된 침하에 미치는 영향 인자들을 가정하고 실험 결과를 분석함으로써 장기침하에 대응하는 중요한 정보를 확보하는 것이 요구된다. Wetting과 관련된 침하영향 인자로는 성토재료 종류, 입도분포 조건(세립분함유량), 다짐밀도, 다짐함수비, 응력조건, Wetting 정도, 반복 Wetting 조건, 배수조건 등이 예상된다. 본 연구에서는 이 중에서 먼저 같은 밀도의 같은 조건에서 다짐 시 건조상태와 습윤상태일 경우 침하 특성을 비교하였다.

5.2.1. 건조 다짐 시료

대형오이도미터 실험에서 사용한 C재료(연암)를 건조한 상태로 다음 표와 같이 시료를 조성하여 실험을 수행하였다.

표 2. 건조다짐 시료 조건

연암(C재료)	다짐조건	시료무게	시료 단면적	시료 높이	단위 중량	사하중	응력조건
	건조상태	130(kg)	0.18(m ²)	0.365(m)	1.97(tf/m ³)	3.96(tf)	22(tf/m ²)

먼저 시료를 조성하고 사하중을 재하한 후 22988min(15.96day)에 1차 Wetting을 위해 시료 상부를 통해 살수하고 하부 배수라인으로 배수상태를 유지하였다. 이 때 물의 공급량이 배수량보다 큰 상태로 시료 상부로 물이 넘치는(Overflow) 시점까지 20분동안 물을 공급하고 시료 하부 배수라인도 Open상태로 배수 조건을 유지하였다.

결과는 다음 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 초기 건조상태에서 하중 재하 시 즉시 침하 이후에도 큰 침하가 발생하고 이후 일정한 기울기로 creep 현상을 보이며 완만하게 침하하며 서서히 안정화되는 경향을 보이고 있다. 그러나 1차 Wetting 시점에서 급격한 침하를 보이고 있다. 1차 Wetting 후에는 Wetting 전 건조상태의 creep 기울기보다 큰 기울기로 침하를 보이다 서서히 안정화되는 경향을 보였다.

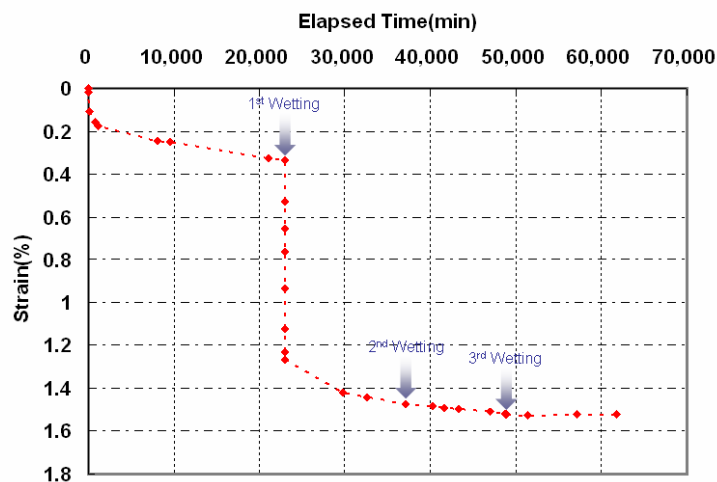


그림 7. 건조다짐 시료의 장기 침하거동

본 실험은 약 42일동안 수행된 실험으로 일정한 응력수준 즉 22(tf/m²)의 사하중 하에서 함수비 조건만 변화시키면서 수행된 실험으로 본 실험 조건이 모사할 수 있는 조건의 침하경향을 판단할 수는 있지만 다른 응력이나 Wetting정도, 하중 Wetting 순서 등의 영향은 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 실험에서 모사된 Wetting 조건은 107.9(ml/sec)의 유량속도로 20분간 물이 공급되면서 Overflow 상태를 약 15분 이상 유지할 정도로 매우 강한 1차 Wetting 상태에서 많은 침하가 발생한 결과를 보이며 2차, 3차 Wetting의 침하에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났으나 1차 Wetting의 정도에 따라서는 반복적인 Wetting에 의한 침하가 발생할 수도 있으므로 이에 대한 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

5.2.2. 습윤 다짐 시료

앞선 실험재료와 같은 C재료(연암)를 초기에 표면 습윤 상태로 조성하고 다음 표와 같은 시료 조건으로 실험을 수행하였다.

표 3. 습윤다짐시료 조건

연암(C재료)	다짐조건	시료무게	시료 단면적	시료 높이	단위 중량	사하중	응력조건
	습윤상태	120(kg)	0.18(m ²)	0.340(m)	1.96(tf/m ³)	3.96(tf)	22(tf/m ²)

먼저 시료를 조성하고 사하중을 재하한 후 Creep에 의한 침하가 거의 안정화되는 시점인 14240min(9.89day)에 1차 Wetting을 위해 시료 상부를 통해 약 1분 30초 동안 살수하고 하부 배수라인으로 배수상태를 유지하였다. 이후 약 24시간 방치하는 동안 Wetting에 의한 침하발생 경향이 크게 나타나지 않았다. 이는 조립재료 입자 모서리부분의 강도가 이미 약해져 있는 습윤상태로 다져지면서 입자파쇄와 침하에 대한 Potential이 초기 조성 단계에서 이미 줄어들어 있던 것으로 판단된다. 특히 본 실험에서는 1차 Wetting이 배수상태로 1분 30초동안 짧게 이루어져서 Wetting 침하를 발생시킬 수 있는 추가적인 입자 강도저하가 발생하는 정도가 작았을 것으로 예상된다. 따라서 이어지는 단계에서는 약한 Wetting이 아닌 지하수위 상승을 모사할 수 있는 완전침수상태(Inundation)로 조성하기 위해 시료 상부로 물이 넘치는(Overflow) 시점에 시료 하부 배수라인도 닫아 비배수 조건으로 물이 시료 전체에 차있는 상태로 유지하였다.

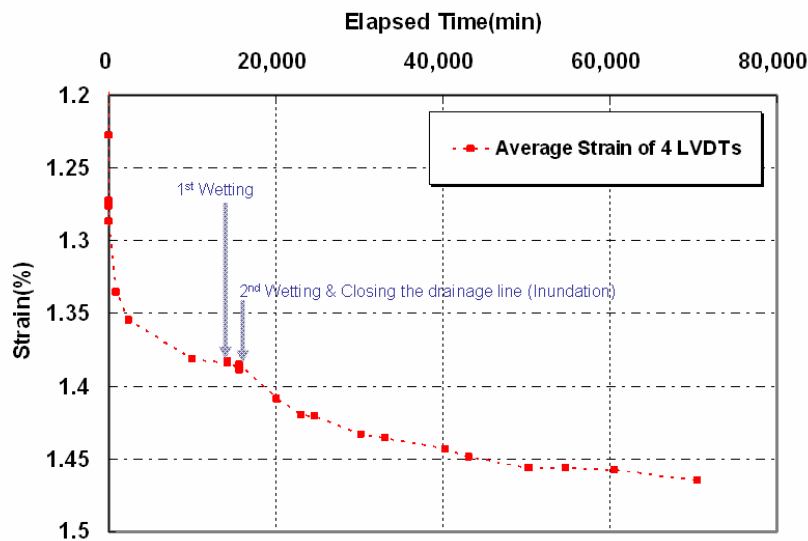


그림 8. 습윤다짐 시료의 장기침하 거동

이후 침하 경향은 그래프에서도 볼 수 있듯이 약한 강도의 Wetting에 따른 침하속도와 달리 약 5일 동안은 보다 급한 경사로 침하를 보였으며, 이후에도 지속적인 Creep 침하 경향을 보였다.

5.3. 장기침하 실험 소결론

이상의 사하중을 재하한 장기 침하실험에서 초기 다짐함수비에 따른 장기침하 경향과 Wetting 조건 및 배수조건에 따른 경향을 검토할 수 있었다. 초기에 건조한 상태로 다져진 시료에서는 1차 Wetting에서 큰 Collapse를 보이면서 큰 침하가 발생하였으나 습윤한 상태로 다져진 시료의 경우 급격한 Collapse의 경향은 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 장기적인 침하발생을 억제하기 위해서는 초기 다짐조건에서 습윤상태를 유지하면서 다지거나 장기간 방치하면서 강우에 노출시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

그러나 습윤한 상태로 다져진 시료에서도 비배수조건으로 지하수위 상승에 따른 침수조건을 모사했을 때는 침하가 보다 급격한 속도로 발생하다가 일정한 기울기로 지속적인 침하가 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 보다 다양한 조건에서 실험을 추가해서 이에 대한 경향을 관찰하고 예상할 수 있는 자료를 확보하는 것이 요구된다.

6. 결론

실험 대상 재료와 Wetting 응력 수준에 따라 Wetting Collapse에 의한 압축침하량이 약 0.2-0.8%의 범위에서 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 변형률은 10m 정도 시, 약 20mm-80mm에 이르는 큰 침하량을 유발시킬 수 있는 크기이다. 그러나 대형오도미터실험 결과는 완전 수침 상태의 최종 포화시의 Wetting Collapse 양을 평가한 결과로 실제 현장에서는 하부노반의 지하수위 상승 등의 조건에서 발생할 수 있는 극한 상태로 과대평가된 결과일 수 있다. 따라서, 실제 현장에서 지하수위 상승과 강우 등의 요인으로 발생하는 노반의 포화상태 정도에 따라 침하량을 평가하기 위해서는 완전 침수 대비 부분 포화 정도에 따른 침하특성을 분석하여 압축침하특성을 예상하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다.

장기침하특성과악을 위한 사하중 재하시험에서는 초기에 건조한 상태로 다져진 시료에서 강한 1차 Wetting에서 큰 Collapse를 보이면서 매우 큰 침하가 발생하였으나 습윤한 상태로 다져진 시료의 경우 초기 하중 재하 시에 상대적으로 큰 즉시침하량이 발생하였으나 추가적인 Wetting이나 Inundation (침수) 조건 하에서 급격한 Collapse의 경향은 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 장기적인 침하발생을 억제하기 위해서는 초기 다짐조건에서 습윤상태를 유지하면서 다지거나 장기간 방치하면서 강우에 노출시키는 것이 필요할 것으로 판단된다. 그러나 습윤한 상태로 다져진 시료에서도 비배수 조건으로 지하수위 상승에 따른 침수조건을 모사했을 때는 침하가 보다 크게 발생하다가 일정한 기울기로 지속적인 침하가 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 보다 다양한 조건에서 실험을 추가해서 이에 대한 경향을 관찰하고 예상할 수 있는 자료를 확보하는 것이 요구된다.

결국 이상의 연구 결과와 추가적인 다양한 조건에서의 실험을 수행함으로써 암석 또는 흙으로 축조된 성토체 내부에서의 함수비 조건 변화에 따른 침하 특성을 파악해서 이에 대비하는 설계, 시공에 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(AH08004A)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김범주, 김용성, 신동훈(2005), “화강편마암 댐 축조재료의 전단강도 및 일차원 압축특성”, Journal of the KGS, Vol.21, No.7. September 2005, pp.31-42

2. 이성진, 이일화, 임은상, 신동훈, 조성은(2008), "고속철도 콘크리트레도 흙쌓기 재료의 Wetting Collapse에 관한 연구", 한국지반공학회논문집, 제24권, 4호, pp.79-88.
3. Burland. J.B(1965), "Some aspects of the mechanical behavior of partly saturated soils" Moisture Equilibria and Moisture Changes in the Soils beneath Covered Areas, Butterworth, Sydney, Australia, pp.270-278
4. Casagrande. A.(1932), "The structure of clay and its importance in foundation engineering," J. Boston Soc. of Civil Engrs., 19(4), pp. 168-209.
5. Feda J.(2000), "Modelling grain crushing and debonding of soils", Geotechnical Measurements - Lab and Field, ASCE Geotechnical Special Publication No. 106, Proceedings of Sessions of GEO-DENVER 2000, pp.56-64
6. Houston. W.N, Mahmoud. H.H, and Houston. S.L(1993), "A Laboratory Procedure For Partial-Wetting Colapse Determination", Geotechnical Special Publication No.39.
7. Marachi. N.D, Chan. C.K, Seed. H.B. and Duncan. J.M(1969), "Strength and deformation characteristics of rockfill materials," Reports No. TE-69-5, Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Calif. at Berkeley, Berkeley, California.
8. Mitchell. J.K(1993), "Fundamentals of Soil Behavior", 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.
9. Nobari. E.S and Duncan J.M(1972), "Effect of reservoir filling on stresses and movements in earth and rockfill dams:" Report No. TE-72-1, Dept. of Civl Engrg., Univ. of Calif. at Berkeley, Berkeley, California.
10. Noorany. I, Stanley. J.V(1994), "Settlement of Compacted Fills Caused by Wetting"
11. Wu. J.Y(2004), "The settlement behaviors of granular backfill materials for high speed rail embankment", Geotrans 2004, pp.1584-1591