

매립재로서 포항지역 이암의 유용성에 관한 연구

A Study on the Availability of Pohang's Mudstone as a Reclamation Material

이 규 환¹ Lee, Kyu-Hwan

정 대 석² Jung, Dae-Suck

양 태 선³ Yang, Tae-Sun

Abstract

Recently, the selection of procurement material for reclamation or road at Pohang area is getting harder. so, it is attempted that mudstones are used for road base material and harbor reclamation. But there is no example that use mudstone to reclamation and the features of the reclaimed land using mudstones have not been made clear yet. We will make clear these features-especially the water absorption and softening, slaking behavior and the geological mechanism, so we will obtain the method to forecast a land subsidence and a decline of land strength. In this study, we examined the adaptedness judgment of mudstones as a reclamation material for road basis material or harbor reclamation material through the laboratory test and pilot test.

요 지

최근 들어 포항지역에서 매립이나 도로성토를 위한 양질의 재료 취득이 점점 더 어려워지고 있다. 따라서 이암을 도로나 항만 등의 공사에서 성토재료나 매립재로 활용하려는 시도가 진행되고 있다. 그러나 이암을 매립재로 활용한 예가 없으며 또한, 이암을 이용한 매립지반의 거동 특성에 대해 명확하게 밝혀지지 않았다. 이암을 매립재료로 활용하기 위해서는 이암의 흡수, 연화, 슬레이킹등의 거동특성을 파악하여 향후 발생할 수 있는 침하나 강도저하등에 대한 명확한 정보를 파악해야 한다. 그러나 이에 대한 이암의 공학적 특성이 명료하지가 않다. 본 연구에서는 이암을 도로 기초나 항만 등의 성토나 매립재료로 사용시 그 적합성을 실내시험과 시험시공을 통해 파악코자 하였다.

Keywords : Mudstone, Slaking behavior, Reclamation, Softening, Water absorption

1. 서 론

국내에서도 포항지역을 중심으로 이암지반에서 도로나 항만, 기초공사 등의 토목공사가 날로 증가하고 있다. 최근 들어 도로나 항만 등의 토목공사에서 양질의 매립재료를 취득하기 어렵기 때문에 이암을 성토재나 매립재로 활용하려는 시도가 일부 진행되고 있다.

이암, 셰일 등의 이질암은 점토를 주성분으로 한 퇴적암의 일종으로 풍화 작용을 받은 후에는 흙과 유사한 공학적 성질을 보이는 특징을 가지고 있다. 이러한 이암은 주로 대구 경북지역에 분포한다. 이와 같은 이암 지반에서 토목 공사시 강도 저하에 따른 사면붕괴 문제라든지 지반조사시 연암으로 판정되어 골재원으로 채택되었다가 실제 시공시에 급격한 강도 저하나 토사화 등

1 정희원, 건양대학교 건설시스템공학과 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil System Engrg., Konyang Univ., khlee@konyang.ac.kr, 교신저자)

2 정희원, 중부대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Jungbu Univ.)

3 정희원, 김포대학 건설정보과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engrg., Kimpo Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 2월 29일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

의 문제가 발생하여 재료를 변경한 예가 종종 발생하고 있다. 이와 같이 이암 재료를 이용하여 토목공사를 하는 경우, 그 재료의 특성상 작업이 어려울 뿐만 아니라 성토나 매립재료로 이용하는 경우, 장기 침하특성등의 공학적 성질의 불확실성 때문에 대규모인 토목공사에서는 일반적으로 사용하지 않았다.

일본의 경우, 일부지역에서 재료원의 부족현상으로 그 지역에 풍부한 이암을 재료원으로 사용하려는 연구가 시도되고 있으나 아직도 그 공학적 특성을 명확히 밝혀지는 못하였다. 따라서 일부 성토나 매립 재료로 사용하는 경우 혼합처리 공법 등의 지반 개량공법과 함께 사용되고 있다. 이암, 세일과 같은 암반은 외관상 단단하게 보이는 경우가 많아 초보자들이나 비전문가들에 의한 지질 조사시 착오하기 쉽고 토사보다는 경도가 높아 야외지질 조사시 강도가 과대평가 되는 경향이 있다. 따라서 화강암류 지반에 대한 경험이 풍부한 국내 지질 조사자 들이나 토목기술자들에게 가장 오판하기 쉬운 암중에 해당된다. 이러한 이유로 이암을 이용하여 항만 매립재로 사용한 시공 경험은 국내에서는 없으며 해외에서도 극히 일부분을 제외하고는 거의 전무한 실정이다. 따라서 이암을 성토나 매립재로 활용하는 경우, 그 재료적 특성으로 인하여 많은 문제가 발생할 가능성이 매우 크므로 선정된 재료에 대한 공학적 특성 분석을 통하여 재료로서의 타당성 여부를 충분히 검토 한 후에 사용 유무를 결정해야 한다.

본 연구에서는 이암을 이용하여 도로 기초나 항만 매립재료로 사용토록 설계되어 있는 과업에서 매립재료로서의 이암을 적정성 여부를 실내시험 및 현장시험을 통하여 규명하고자 하였다.

2. 포항지역 이암의 특성

포항지역에는 일명 제 3기층이라고 불리는 퇴적 이암층이 넓게 분포되어 있다. 특히, 이 일대의 지층은 양산과 울산을 가로지르는 주향이동단층에 의한 함몰지에 조류에 의해서 운반 퇴적된 해성퇴적지반이다. 지층 구성은 주로 연약지반, 잔적토층, 풍화암층 및 연암층으로 되어 있으며 연암층은 혈암과 이암이 교호적으로 나타나지만 이암이 훨씬 우세한 편이다. 이암은 특유의 슬레이킹 현상이 발생할 가능성이 많은데 이와 같은 슬레이킹 현상에 의해 이암지역에 시공된 구조물의 경우 지반 침하문제 등으로 피해가 일어난 사례들이 많다.

포항지역에 분포하는 이암의 경우, 위치와 심도에 따라 고결된 이암과 미 고결된 이암이 혼재되어 분포하고 있어 그 공학적 성질도 매우 복잡하다. 특히 이암을 도로기초재료나 항만 매립재로 활용하려고 하는 경우에는 미고결암과 고결암이 혼재되어 사용됨으로 그 공학적 특성은 더욱더 복잡해진다고 볼 수 있다.

포항지역 이암시료에 대한 이영휘(1993)등의 연구에 따르면 각 시험시료마다 XRD 광물분석시험 결과는 약간 차이가 있으나 각 구성광물 성분의 함유율에서 미소한 차이가 있을 뿐 다른 위치에서 시추된 시험시료들 간의 화학성분에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 포항지역에 분포하는 이암은 그 구성광물의 성분은 비슷하지만 채취지역과 채취심도에 따라 이암의 공학적 성질이 차이가 큰 것으로 나타나고 있다. 이는 포항 지역의 이암이 채취 위치나 깊이에 따라서 고결 정도가 다르기 때문으로 판단된다. 즉, 고결된 이암층과 미고결 이암층이 반복적으로 불규칙 적으로 복잡하게 분포 되어 있는 복잡한 지층구조를 형성하고 있음을 알 수 있다.

3. 시추시료 분석

매립재료원으로 사용될 토취장 부지에서 실행된 보오링 주상도와 시추에서 얻어진 시료를 분석하여 보았다. 토질조사 보고서에 제시된 시추 주상도에 의하면 표토층-잔류토층-풍화암층-연암층의 순서로 지층이 구성 되어 있다. 미고결 이암의 특성상 지층에서는 N치나 TCR, RQD 등 암반의 특성을 나타내는 값들이 상당히 양호하게 나타나지만 미고결 이암이 시추되어 지표상에 들어나게 되면 실제 지반조사에서 연암으로 판정된 암석들도 급격히 강도가 저하하거나 물과 접촉하면 연약화 되는 특성이 있다. 토취장 시추 시료에 대한 분석 결과 깊이에 따라 이암의 강도 특성이 매우 달라지는 경향을 보이는 것을 파악할 수 있었다. 깊이에 따라 암석의 강도가 증가하는 일반적인 지층 형상과는 달리 상, 하부에 걸쳐 고결정도가 다른 암이 서로 교호하여 존재하는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 1은 토취장 예정부지의 시추된 시료상자로 심도에 따라 고결정도의 차이가 커서 보오링 주상도에는 연암으로 분류되어 있으나 물을 흡수하면 바로 미립화 되어 토사화 되는 고결정도가 상당히 약한 이암에서부터 고결정도가 상당히 큰 이암까지 혼재되어 분포되어 있다.

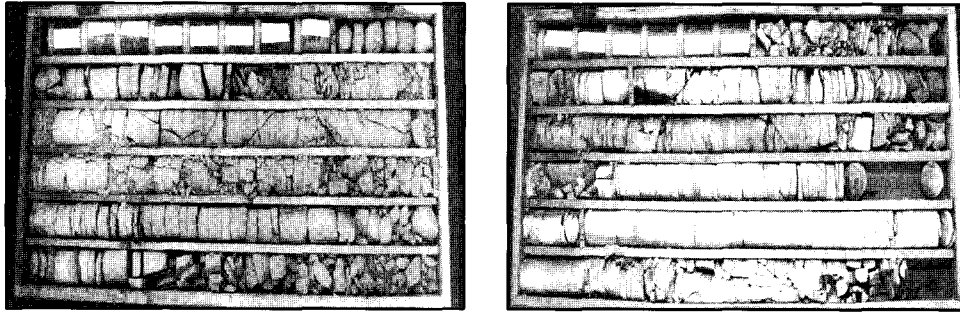


그림 1. 포항 00토취장 부지 시추시료

4. 실내시험

토취장 예정구역의 이암시료에 대한 매립재로서의 적정성 여부를 판단하기 위하여 비중시험, 액·소성시험, 흡수율시험, 점하중 강도시험 등을 비롯한 일련의 실내시험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

4.1 물성 및 액소성 시험

채취시료에 대한 기본 물성시험결과 함수비는 33.9~69.1%, 비중은 2.67~2.70, 액성한계는 59.7~94.5%, 소성지수는 16.2~37.7%로 나타났으며 통일분류법상 점토 및 모래 섞인 실트(MH)로 분류되었다. 토취장 예정구역의 시료상자에서 샘플링한 시료에 대해 노건조 후 손과 해머를 이용하여 분쇄한 후 #200체를 이용하여 싯

기 시험을 한 결과 3가지 시료 모두 #200체 통과율이 95% 이상으로 나타났다. 또한, #200체 잔류시료를 가지고 노 건조한 후 육안과 냄새로 관찰한 결과 유기질의 재 성분이 다량 함유되어 있었다. 표 1은 토취장 부지에서 채취한 시료를 이용한 액·소성 시험결과이다.

4.2 침수 붕괴시험

이암의 붕괴 상황의 관찰을 위해서 침수 붕괴 시험을 하였다. 침수붕괴 시험방법은 토취장에서 채취된 이암을 비이커에 담아 110℃의 노건조기에서 24시간 건조시킨 후, 24시간 침수 시킨다. 이과정이 1사이클로 같은 공정을 5사이클 되풀이 하여 각 사이클 종료시의 붕괴 상황을 관찰하였다. 고결정도가 약한 시료의 경우 수침 후 바로 토사화 되는 현상을 나타내어 사이클을 되풀이

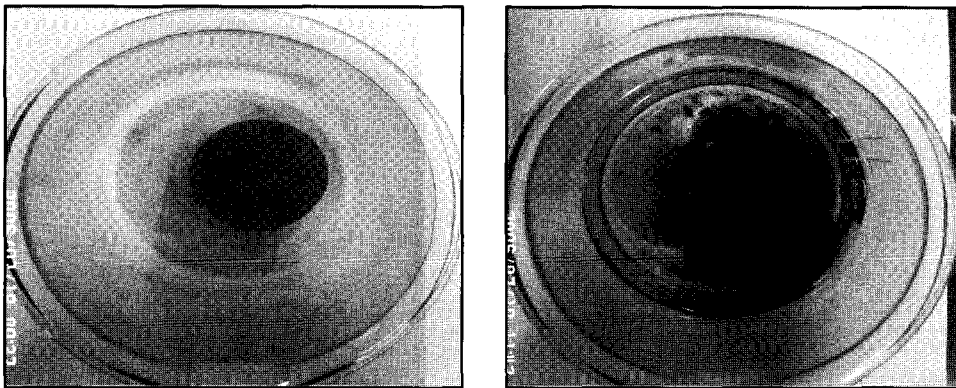


그림 2. 수침 전후의 이암시료

표 1. 액·소성 시험

위치	공번	심도(M)	주상도 분류	액성 한계	소성 지수	비고
포항00단지	B-2	12	연암	63.4	34.5	유기질 함유
포항00단지	B-4	9.5	연암	60.2	33.5	
포항00단지	B-16	15.5	연암	59.6	31.2	
포항00단지	BH-52	25	연암	50.1	24.6	
포항00단지	BH-52	29	연암	51.3	26.1	

할 수 없었다. 비교적 고결정도가 양호한 시료의 경우 바로 토사화는 되지 않았으나 사이클이 반복되면서 균열이 발생하고 조각으로 분리되는 현상을 관찰할 수 있었다. 그림 2는 수침전후의 이암시료로 토사화 현상이 빠르게 나타나고 있음을 관찰할 수 있었다.

4.3 흡수율 시험

흡수율이란, 암석시료의 간극에 물이 어느 정도 침투하는가를 나타내는 것이며 암석의 기본적인 물성의 하나이다. 암석시료가 흡수할 수 있는 최대의 물량이 그 시료의 실질부분의 질량에 대하여 어느 정도인가를 나타내는 비율을 말한다. 경암의 흡수율은 10% 이하이며 신선하고 치밀한 암석에서는 1%에도 달하지 않는 경우가 많다. 따라서 풍화에 따라 흡수율은 증가한다. 연암에서는 수 % 부터 60% 정도에 도달하며 상당히 변화한다. 대략적으로 암석 종류에는 관계없이 흡수율이 5% 이상으로 되면 강도는 낮고, 특히 10% 이상이 되면 대단히 작게 된다.

토취장 표층에서 채취된 8개의 시료에 대한 흡수율 시험 결과 모두 흡수율이 50%를 상회하였으며 그 중 2개 시료는 수침 후 바로 토사화 되는 현상을 보여 주었다. 표 2는 토취장 예정부지에서 채취된 이암시료에 대

한 흡수율시험 결과로 보오링 주상도 상에서는 전부 이암으로 분류가 되었지만 흡수율은 40%이상으로 크게 나타났다. 흡수율은 암석의 풍화정도에 따라 그 정도가 달라지지만 풍화가 심한 경우 수침과 동시에 암석이 간극속으로 물을 흡수하면서 기포발생과 함께 토사화되는 현상을 보였다. 풍화정도가 심한 경우에는 약 3일 경과 후에 시험 막대로 휘저었을때 입자처럼 분리되었다. 풍화 정도가 심하지 않은 암편도 건조 습윤 반복에 의해 약 30일 경과 후에는 암석의 표면이 많이 연약화되어 손톱으로 표면을 긁었을 때 실트나 점토질 입자들이 분리됨을 관찰할 수 있었다.

4.4 SEM 분석

그림 3(a)는 토취장 절취면의 표층시료를 이용하여 SEM 촬영을 한 사진으로 시험샘플은 석영질 광물을 함유한 암석이 밝은 갈색을 띠고 있고 비교적 단단한 이암이다. 그림 3(b)는 토취장 지역의 대부분을 차지하고 있는 이암으로 지반조사 보오링공 B-2(12.5m)에서 채취한 샘플을 이용하였다. 대표적인 미고결 이암으로 보오링 주상도상 연암으로 판정되어 있지만 강도가 상당히 작고 손으로도 파쇄 되는 점토가 주성분인 시료를 이용하였다. SEM 이미지 분석에서도 알 수 있듯이 점토광물

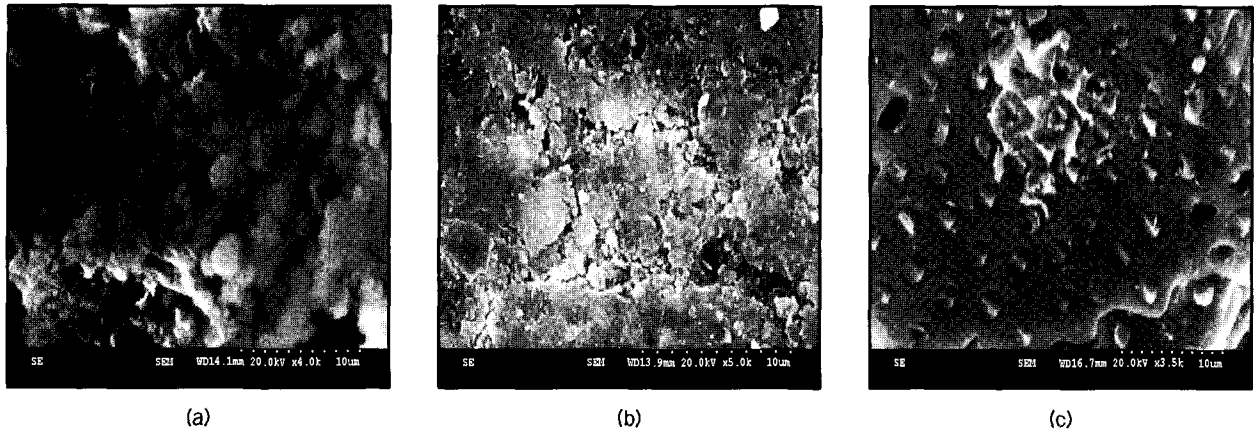


그림 3. SEM 이미지

표 2. 이암시료에 대한 흡수율 시험

위치	공번	심도(m)	주상도 분류	함수비	흡수율	비고
00산업단지	B-2	12	연암	23.7	44.5	수침 후 1일 경과 후 관찰시 조각분리
00산업단지	B-4	9.5	연암	19.7	43.5	
00산업단지	B-16	15.5	연암	3.6	41.2	
00산업단지	BH-52	25	연암	7.0	40.6	수침 후 1일경과 후 형태유지
00산업단지	BH-52	29	연암	6.2	36.1	

에서 일반적으로 나타나는 판상의 구조형태를 보여주고 있다. 그림 3(c)는 시추 주상도상 진류토층으로 분류된 3.4~4.2m에 협제해 있는 맥암층으로 점하중 시험을 통한 환산 일축압축 강도가 약 600kg/cm² 정도로 상당히 강도가 양호한 암석으로 SEM 이미지에서도 그 구성이 매우 조밀함을 알 수 있다.

5. 매립 재료원으로서의 문제점

지반조사 결과 토취장 지역에 존재하는 이암은 포함 지역에 풍부하게 존재하는 신생대 제 3기 퇴적 이암으로 굴착된 후 이암 쇄석의 퇴적물은 흡수에 의해 연화하고 최종적으로 점토화 하는 경향을 보여 주었다. 이러한 현상을 슬레이킹 현상이라고 한다. 이 현상에 의해 매립지반은 지반침하나 강도저하를 일으킬 수 있기 때문에 매립 직후에 연약 지반으로 변화되는 경우가 있다. 그 결과 구조물의 기반이 되는 지반이 불안정하게 되어 구조물의 안전성 심각한 영향을 초래 할 수 있다.

일본에서도 매립재료의 고갈로 이암을 매립재료로 활용하려는 연구와 일부 매립재로서 사용하고 있지만 현재까지도 이암을 주체로 하는 매립지반의 거동, 지지력, 변형 특성에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다. 굴착된 이암은 파쇄암석의 집합체로서 존재하고 매립·성토시에 파쇄된 암석과 세립토가 혼합되어 존재하게 된다. 따라서 그림 4와 같이 이암을 이용한 매립지반은 파쇄암석과 세립토의 혼합체, 파쇄 이암의 흡수 연화 현상이 뒤엎히는 소위 이중 구조 때문에 그 거동은 더욱더 복잡하게 된다.

그림 4의 이암의 이중구조에 나타난 것과 같이 이암

과 같이 점토성분을 많이 함유한 암석은 습한 환경에 놓이거나 건조, 습윤의 반복 작용에 의해 고결력이나 강도가 급격히 저하된다. 따라서 이암을 성토재나 매립재로 활용시 암석의 내구성 문제로 인하여 많은 문제가 발생할 가능성이 상당히 크다. 특히, 시공실적도 없고 검증되지 않아 공사 후 상당한 문제를 일으킬 가능성이 큰 재료를 매립재료로 사용할 경우 매립재료원 변경에 따른 단점보다 더 큰 위험을 감수해야만 한다. 따라서 이암의 매립재료의 적정성 여부에 대한 충분한 연구와 시험시공 등을 통한 검증을 거쳐 성토재나 매립재로서의 적정성 여부를 규명하여 매립재료로의 선택 유무를 판단해야 한다.

6. 시험시공

6.1 매립재료의 시방기준

과업대상 현장에서 매립재료로서의 적합성 유무를 판단하기 위해 시방서에 나타난 매립재료의 물리적, 공학적 성질에 대한 대표적인 시방조건 살펴보면 첫째, 흙쌓기에 사용할 재료는 활성이 없는 무기질의 흙이라야 하며, 유해한 물질이 없어야 하고 살수해서 다졌을 때 공극이 없이 충분히 다져질 수 있는 것이라야 한다. 무기질의 흙은 유기질의 무게로 2%이하인 흙을 말한다. 둘째, 액성한계 50%미만, 소성한계 25%미만, 건조밀도 1.5t/m³ 이상, 간극률 42%미만인 흙을 사용하며 흡수성, 팽창성 및 압축성이 큰 흙과 부식물을 함유한 흙등을 사용해서는 안 되는 것으로 명시되어 있다. 일반적으로 적용되는 성토재료로서의 시방기준은 다음 표 3과 같다.

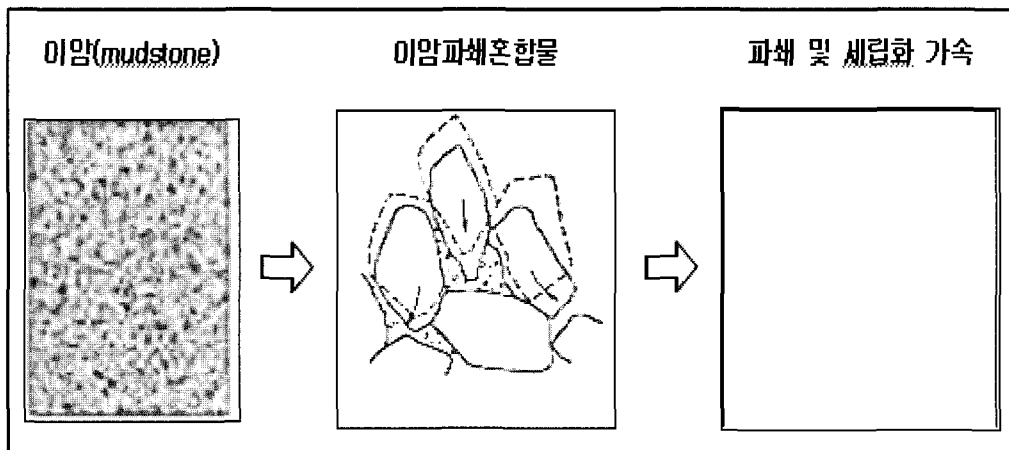


그림 4. 이암의 이중구조

표 3. 매립재료의 시방기준

구분	시방서		
	매립토	노상	노체
재료최대치수	300mm이하	100mm이하	150mm이하
다짐 후의 건조밀도			
5mm(No.4체) 통과분		25~100%	
0.08mm(No.200체) 통과분	15%이내	0~25%	
5mm체 통과분중 0.08mm체 통과분			50%
소성지수	4미만	10이하	20이하
수정 C.B.R		10 이상	5 이상

6.2 성토 및 다짐

포항지역 이암이 가지고 있는 물리적 공학적 특성으로 인하여 이암을 매립재료나 도로의 노상이나 노체 재료로 활용하기 위한 목적으로 사용한 예가 거의 전무하다. 그러나 대단위 항만 매립공사에서 매립재료원 취득

의 한계, 공사기간에 제한 등의 문제로 인하여 과업 대상지역에서 인접한 지역에 풍부한 이암을 매립재료로 활용하기 위한 방안으로 국내 최초로 이암을 이용한 시험성토를 하였다. 표 4는 매립토로 사용된 재료에 대한 실내 토성시험 결과와 시방에서 제시된 기준치를 나타내고 있다. 표 4에서 알 수 있듯이 토취장재료의 최대치수와 0.08mm 통과 분은 시방 기준을 만족하고 있다. 그러나 시방에서 제시된 소성지수 4이하의 기준은 만족하지 못하고 있었다.

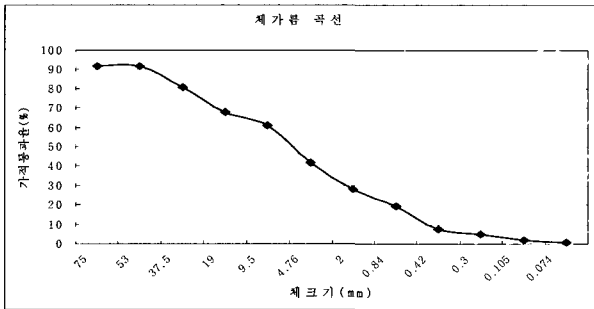
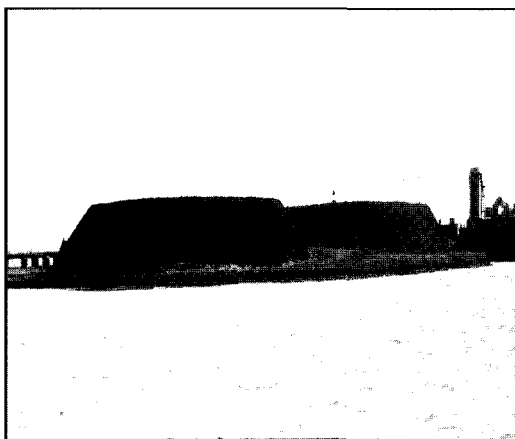


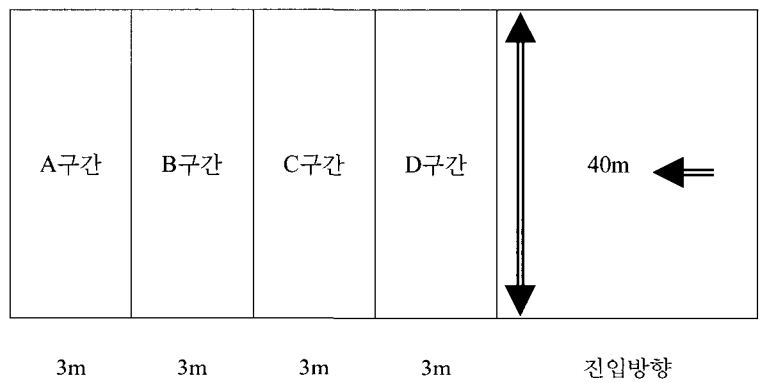
그림 5. 성토제의 체가름 시험

그림 5는 성토제로 사용된 시료에 대한 체가름 시험 결과로 가장 큰 체는 75mm체를 사용하였다. 그림 5에서 알 수 있듯이 입도 분포가 양호한 시료를 사용하여 시험매립을 하였다.

그림 6에서와 같이 이암 재료를 이용한 시험시공은 12m x 40m폭에 대해 실시하였다. 또한, 도로 노상, 노체



(a) 성토전경



(b) 다짐계획

그림 6. 시험성토 계획

표 4. 매립재료의 시험결과

구분	설계	매립토				
		시험 1	시험 2	시험 3	시험 4	시험 5
재료최대치수	300mm이하	104.6	115.5	105.4	147.9	125.1
0.08mm통과분	15%이내	12.17%	9.11%	9.20%	8.44%	14.54%
소성지수	4미만	26.91	24.66	26.61	19.66	18.47

표 5. 다짐조건과 현장밀도 시험

구 분 \ 구 간	A구간	B구간	C구간	D구간
진동롤라(회)	10	15	20	25
함수비(%)	52.60	51.46	51.05	53.88
건조밀도(t/m ³)	0.990	1.000	1.079	1.087
다짐도(%)	89.5	90.4	97.6	98.3
다짐두께(cm)	30	30	30	30
표면관찰	양호	양호	양호	양호



그림 7. 노체 다짐 구간 비온후 상태



그림 8. 노체 다짐구간 비온후 스펀지현상

재료로의 적합성을 판단하기 위해 그림 6(b)와 같이 4개의 구간으로 나누어 다짐을 실시한 후 현장 들 밀도 시험을 통하여 성과 분석을 하였다. 구간별 다짐조건과 현장밀도 시험결과는 다음 표 5와 같다.

구간별 현장 밀도시험 결과 다짐부위의 다짐도가 노체 90%, 노상 95%가 확보될 수 있는 다짐횟수와 시방의 다짐두께를 확보할 수 있는 포설두께로 시험 성토하여 분석한 결과 노체의 경우 다짐횟수 15회, 다짐두께 30cm, 노상의 경우 다짐횟수 20회, 다짐두께 20cm로 나타났다. 그러나 시험시공 구역의 노체구간을 진동로올러로 층 다짐을 한 후 들밀도 시험을 하여 만족한 결과를 얻었으나 그림 7 및 8에 나타난 것과 같이 우천 후 다짐표면에 스펀지 현상이 발생하였으며 백호로 다짐 구간에서 스펀지 현상이 발생 한곳을 치환하려고 굴착한 결과 표면의 물을 모두 흡수한 상태로 다짐이 풀어진 현상을 파악할 수 있었다. 즉, 다짐 직후에는 노체나 노상토로서 만족할 만한 결과를 나타냈지만 이암 매립토에 물이 침투한 후 이암특유의 공화적인 특성으로 인하여 노체나 노상토로 부적합한 성질을 나타냄을 알 수 있었다.

6.3 침하결과

사석으로 매립한 지반에서의 침하량 산정은 다음 식 (1)과 같이 Buisman-de Beer의 제안식을 이용하여 구하는 경우가 일반적이다. 이 경우, 이암을 사석으로 고려하여 매립후 다짐지반에서 실시한 표준관입시험치를 이용하여 구한 예측 침하량이 약 11.5cm로 나타나 컨테이너 부두의 허용 침하량이 5.0cm임을 감안할 때 별도의 지반개량이 필요함을 알 수 있었다.

$$S = 0.4 \cdot \frac{p_o'}{N} \cdot H \cdot \log \frac{p_o' + \Delta p'}{p_o'} \quad (1)$$

식 (1)에서 N은 표준관입시험결과치, p_o' 는 원지반의 유효응력, $\Delta p'$ 은 유효응력 증가분, H는 토층두께를 나타낸다.

층두께를 나타낸다.

$$s_{(다짐층)} = 0.4 \times \frac{0.206}{30} \times 275 \times \log \frac{0.206 + 0.489}{0.206} = 0.39 \text{ cm} \quad (2)$$

$$s_{(비다짐층)} = 0.4 \times \frac{0.719}{7} \times 1225 \times \log \frac{0.719 + 0.475}{0.719} = 11.08 \text{ cm} \quad (3)$$

$$S_{(전체침하량)} = s_{(다짐층)} + s_{(비다짐층)} = 0.39 + 11.08 = 11.48 \text{ cm} > 5.0 \text{ cm} \dots \text{ N.G} \quad (4)$$

이암의 경우 물리적 역학적 특성 때문에 장기침하문제 발생한다. 국내에서도 김교원(2002)등에 의한 이암의 크리프 현상에 대한 연구 결과가 있지만 아직도 이암의 장기침하 거동에 대한 정확한 예측은 어려운 상태이다. 그림 9는 No.7 + 10.0위치에서 측정된 이암 매립재의 침하를 촉진시키기 위한 성토 및 침하판 설치 단면도를 나타낸 것으로 성토고의 결정은 컨테이너 야

드(C.Y)와 기타지역으로 구분하여 압성토의 재하 높이를 산정하였다.

그림 10은 성토후 침하량 측정을 위한 침하판 설치 장면이다. 시험시공현장에서 침하량 계측은 3개의 지점을 선정하여 실시하였다.

그림 11은 이암을 이용한 시험 매립구간중 NO.7+10 위치에서 약 153일간 측정된 침하량 측정 결과를 보여

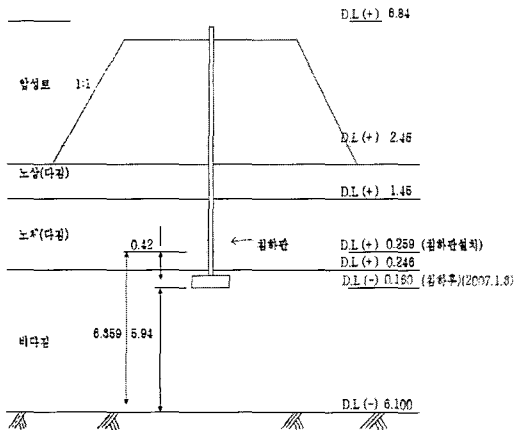


그림 9. 성토 및 침하판 설치 단면도

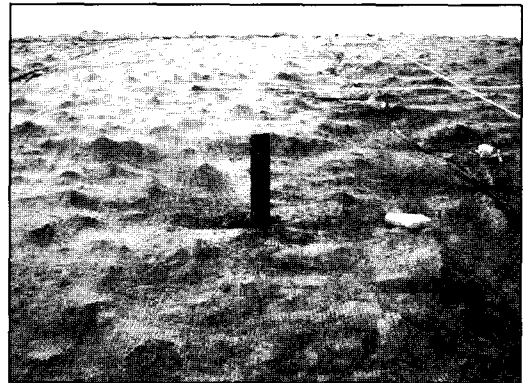


그림 10. 침하판 설치

북측호안 매립구간 침하 현황(계측 No.1)

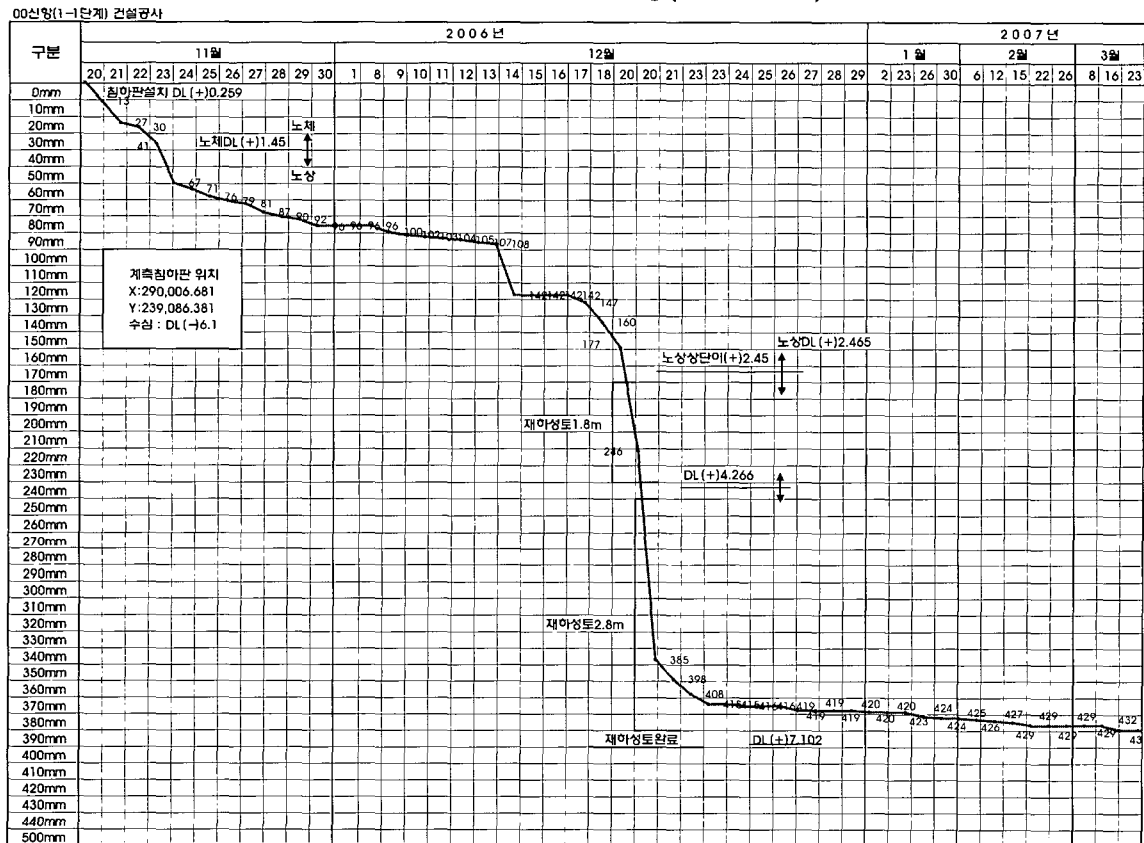


그림 11. 침하량 측정결과

주고 있으며 현재 시험시공공간에서 지속적으로 침하량 측정을 진행 중에 있다. 이 기간 동안 발생한 총 침하량은 약 43cm 정도로 식 (1)을 적용하여 산정한 침하량 11.5cm보다도 매우 크게 침하량이 발생하였다. 이때 발생한 총 침하량은 성토층(다짐층)과 비다짐층의 침하량을 합한 값이다.

그림 11의 침하량 측정결과에서와 같이 N치를 이용한 예상 침하량보다 실제 침하량이 상당히 크게 나타났지만 재하성토 완료 이후 약 3개월간의 침하계측 결과에서 성토 완료 후에는 침하량이 점점 작게 발생되어 일정한 값에 수렴하였다.

그러나 이암의 매립재료로의 적합성을 판단하기 위해서는 장기적인 침하거동과 재하시험등을 통한 보완 연구가 선행되는 경우 매립재료로 활용하는 것도 타당성 유무를 결정해야 한다고 본다.

6. 결론

본 연구에서는 포항지역을 이암을 가지고 실내시험 및 시험성토를 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 포항지역에 분포하는 이암은 그 구성광물의 성분은 비슷하지만 고결된 이암층과 미고결 이암층이 불규칙적으로 복잡하게 분포되어 있음을 알 수 있었다. 따라서 특정지역과 특정심도에서 채취된 이암의 시험결과를 가지고 포항지역 전체 이암의 물리적 공학적 특성을 대표하기는 매우 어렵다고 판단된다.
- (2) 포항지역의 이암을 도로나 항만의 성토나 매립재료로 사용하는 경우, 국부적인 위치에서 얻은 시험결과보다는 전체적인 경향을 나타낼 수 있는 토취장 영역 전 심도에 대한 샘플링 자료 등을 가지고 매립재료로서의 적합성 유무를 판단해야 한다.
- (3) 현재까지 나타난 이암 매립재에 대한 시험시공 결과, 이암 매립지반의 침하량 산정을 위해 사석매립시 사용되는 침하량 산정식을 적용할 수 없고 새로운 산정식을 개발해야 함을 알 수 있었다.
- (4) 이암을 매립 후 다짐시험을 통해서 노체나 노상재료로서 시방기준을 만족하는 것으로 나타났으나 우천으로 인해 물이 흡수되는 경우, 스펀지 현상등 다짐도가 현격히 감소하는 것으로 나타났다.
- (5) 이암재료의 경우, 성토 후 시방기준 이상의 침하를 허용할 수 있는 구조물을 제외하고는 이암매립 성

토재료에 대한 관찰을 통하여 매립재료로서의 적합성 여부에 대한 검증 후 매립재료의 사용이 요구된다. 특히, 이암을 매립재료로 사용하는 경우 장기 침하 특성에 대한 규명이 어려우므로 이에 대한 지속적인 연구가 요망된다. 이에 국내에서는 처음으로 시행된 이암을 이용한 시험시공 현장에 대한 지속적인 연구 관찰을 통하여 이암의 활용성을 높이고자 한다.

참 고 문 헌

1. 강한욱, 곡원준, 정한중, 김영근 (2001), "이암의 공학적 특성과 이암층에서의 터널시공사례", *한국터널공학회지 터널기술*, Vol.3 No.4, pp.99-113.
2. 김광식, 김교원 (2003), "포항분지 제3기 두호층 이암의 크리프 거동", *지질공학회*, Vol.13, No.2, pp.227-238.
3. 김영수 (2002), "세일의 이방성 파괴 특성", *한국지반공학회지*, 제 17권 2호, pp.13-20.
4. 김영수, 김병탁, 이상웅, 김대만 (1997), "이암 풍화토지반에 관입된 강관 단일말뚝의 수평거동 연구", *대한토목학회 학술발표회 논문집*.
5. 서울대학교 에너지 자원 신기술연구소 (1994), *포항지역 이암의 Creep 특성에 관한 연구 보고서*, pp.1-100.
6. 엄상호, 이동우, 박봉순 (1964), *한국지질도 포항도폭 및 설명서*, 국립지질조사소.
7. 영남대학교 토목공학과 (2005), *포항 영일만 신항개발(1-1 단계) 민간투자사업 중 매립재료로서의 이암의 공학적 특성보고서*, pp.1-80.
8. 이승재, 노상림, 윤지선 (2001), "포항지역- Mudstone 및 대구지역-Black Shale의 물리, 역학적 특성에 관한 연구", *한국자원공학회지*, Vol.38, No.4, pp.310-315.
9. 이영휘 (1996), "포항이암층의 슬레이킹, 팽창 및 전단강도 특성", *한국지반공학회논문집*, Vol.12, No.2, pp.33-42.
10. 이영휘, 우문정, 정윤태 (1993), "포항이암의 Slaking 및 팽창특성", *한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회집 제2집*, pp.153-166.
11. 이유대 (1988), "한국 포항분지 신 제3기층의 연구", *Jour. Geol. Soc. Korea*, 24, pp.16-30.
12. 윤지선 (1991), *암석, 암반의 조사와 시험*, 구미서관.
13. 정태중 (1996), "의성 소분지에 분포하는 백악기 사암의 크리프 시험", *Jour. Korean Earth Science Society*, Vol.17, No.2, pp.109-118.
14. 포항시 건설환경사업소 (2005), *포항신항만 배후지방산입단지 조성사업 토질조사보고서*, pp.1-77.
15. 포항영일만주식회사 (2005), *포항영일만 신항개발(1-1 단계) 민간투자사업 실시설계 보고서*, 제2권 지반조사편, pp.1-180.
16. 포항영일만주식회사 (2005), *포항영일만 신항개발(1-1 단계) 민간투자사업 실시설계 보고서*, 제1권 토목부분 실시설계, pp.1-180.
17. 한국지반공학회 암반위원회 학술세미나 논문집 (2002), *이암세일의 공학적 특성 및 문제*, pp.20-120.
18. 한종환, 광영훈, 손진담 (1986), *한국동남부지역 제3기 퇴적분지 내의 지체구조 발달 및 퇴적환경연구*, 한국동력자원연구소, 연구보고서 KR-86-(B)-8. pp.76.
19. Franklin, J.A and Chandra, A. (1972), "Slake-durability Test", *Int. JI Rock Mechanics and Mining Science*, Vol.9, pp.325-341.
20. Griggs, D. T. (1936), "Deformation of rocks under high confining

- pressure”, *J. Geol.*, 44, pp.541-577.
21. Hardy, H. R. (1959), “Time dependent deformation and failure of geological materials”, *Proc. 3rd Symp. Rock Mech., Golden, Colo.*, pp.135-175.
 22. Hardy, H. R., Jr., Kim, R. Y., Stefanko, R., and Wang, Y. J. (1970), “Creep and micro-seismic activity in geological materials”, *Proceedings, 11th Symposium on Rock Mechanics (AIME)*, pp.377-414.
 23. Kaiser P. K. and Morgenstern N. R. (1981), “Phenomenological model for rock with time-dependent strength”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 18, pp.153-165.
 24. Maranini, E. and Brignoli, M. (1999), “Creep behaviour of a weak rock: experimental characterization”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, pp.127-138.
 25. Mitchell, J.K. (1993), “Fundamentals of Soil Behaviour”, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
 26. Morgerstern, N.R. and Eigenbrod, K.D. (1974), “Classification of argillaceous soils and rocks”, *Jl. Geotech. Div., ASCE*, Vol.100, pp.1137-1156.
 27. Okubo, S., Nishimatsu, Y., and Fukui, K. (1991), “Technical note complete creep curves under uniaxial compression”, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, pp.77-82.
 28. Overt, L. (1967), “*Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*”, John wiley and Sons Inc., New York, pp.293-301.
 29. Penny, R. K. and Marriott, D. L. (1995), *Design for creep*, Chapman & Hall.
 30. Richardson, D.N. and Long, J.D. (1987), “The sieved slake durability test”, *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, Vol.24, pp.247-258.
 31. Van Eeckhout, L.V. (1976), “The mechanisms of strength reduction due to moisture in coal mine shales”, *Int. Jl Rock Mechanics and Mining Science*, Vol.13, pp.61-67.

(접수일자 2007. 5. 3, 심사완료일 2007. 8. 28)