

미고결 퇴적층의 재료원 평가

Usability Evaluation of Tertiary Unconsolidated Sediments for Reclamation

김성욱¹⁾, Sung-Wook Kim, 최은경²⁾, Eun-Kyung Choi, 이규환³⁾, Kyu-Hwan Lee

¹⁾ (주)지아이, 지반정보연구소, Geo-Information Research Group Co., Ltd..

²⁾ (주)지아이, 지반정보연구소, Geo-Information Research Group Co., Ltd.

³⁾ 건양대학교 건설시스템공학부 부교수, Associate professor, Dept. of Civil Engineering, Konyang Univ.

SYNOPSIS : Tertiary unconsolidated mudstones spread throughout the eastern coast of Pohang area. Recently, the demand for high quality filling materials is increasing due to harbors and large-scale residential land development. But the features of the reclaimed land using soft mudstones have not been made clear yet. Unconsolidated rocks are diversely considered according to a different method of the applied geotechnical investigation. This study is examined that the applicability of mudstone as a harbor reclamation material through the laboratory test and pilot test. Expecially, it must be considered that the environmental characteristics of mudstone as a reclaimed materials.

Keywords : Tertiary, unconsolidated soft mudstones

1. 서론

한반도의 제3기층은 동해안을 따라 제한적으로 분포하며, 포항지역은 마이오세의 해성층으로 구성되어 있다(그림 1). 암반의 분류는 지속적인 물리·화학적 풍화에 작용으로 경암, 연암, 풍화암으로 구분되는 것이 일반적이거나 제3기층의 이암은 속성과정(다짐작용, 교결작용, 재결정화작용) 중에 완전히 고화되지 않은 상태에서 지반의 용기로 형성되어 암반 분류에서 문제시되고 있다.

본 연구는 항만이나 도로 성토재로 사용되는 포항지역 미고결 이암층을 대상으로 현장조사와 실내시험을 통해 암반을 구분하고 도로 성토재나 매립재로 사용하는 경우 발생할 수 있는 문제점에 대해서 고찰하고자 한다.

2. 일반지질

연구지역은 포항분지에 속하며(그림 1) 신생대 제3기 연일층군의 상부지층에 해당하는 담회색~암회색의 이동층과 두호층으로 이루어져 있다. 두 지층은 150~200m 정도의 두께로 정합적인 관계를 보이며, 고화된 정도가 상이한 사암과 이암이 호층으로 발달하고 있어 층리의 발달 정도에 따라 공학적 성질이 매우 복잡하다(그림 2, 3).

분포 범위가 가장 넓은 두호층의 이암은 점토광물의 구성비가 50% 내외가 매우 높고, 특히 팽윤성의 몬모릴로나이트가 많이 포함되어 있어 슬레이킹 현상에 의한 지반의 붕괴와 부등침하 등의 피해가 빈번하게 발생한다.

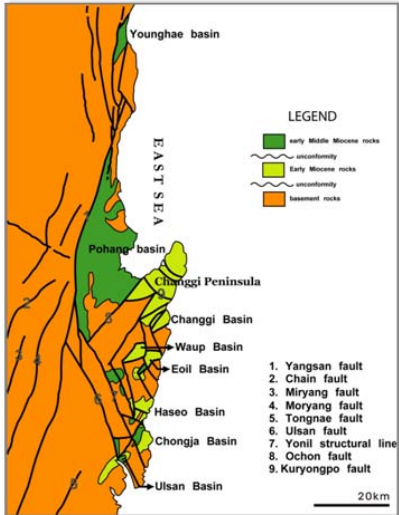


그림 1. 포항분지의 위치

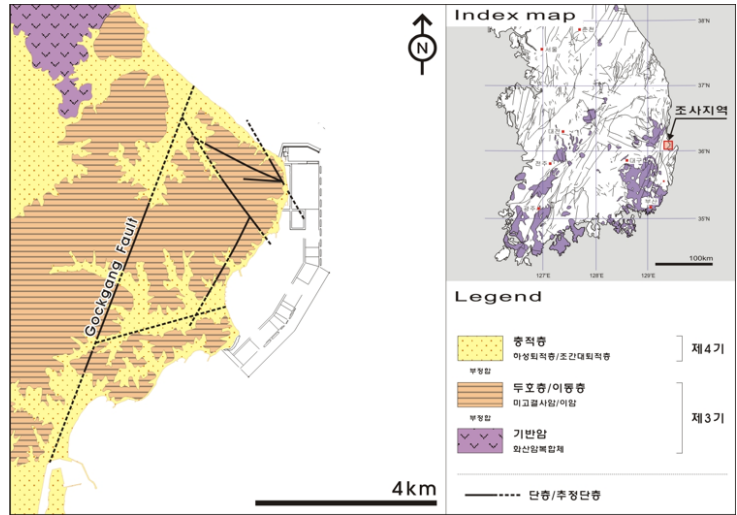


그림 2. 연구지역의 지질



그림 3. 두호층의 시추코어와 노두

3. 암반분류

3.1 현장 실험

연구지역의 현장조사는 지표조사, 시추, S-PS 검증, 전기비저항탐사, 굴절법탄성파탐사를 실시하였다. 노두의 상태(그림 3)와 코어회수율이(TCR)이 양호한 지층의 30~100%의 범위로 매우 양호하며 연암으로 분류된다(표. 1).

표 1. 시추코어의 RQD

구분	공번	지층	심도 (GL- m)	두께 (m)	암종	N치		지반고 (EL,m)
						TCR	RQD	
1지구	PJ-1	연암	0.0-20.0	20.0	신생대 제3기 미고결층 암회색의 이암류	100%	30-100%	38.837
	PJ-2	연암	0.0-8.5	8.5	신생대 제3기 미고결층 암회색의 이암	92-100%	40-90%	33.50
2지구	PJ-3	풍화토	0.0-1.8	1.8	황갈색의 실트질	28회/30회		39.70
		풍화암	1.8-16.5	14.7	황갈색의 실트질	54-100%	0-31%	
		연암	16.5-24.5	8.0	신생대 제3기 미고결층 암회색의 이암	100%	55-96%	

표 2. 이암의 탄성파속도 분포와 동적물성치 산정결과

탄성파속도 (범위)		탄성파속도 (평균)		동적물성치 (범위)				동적물성치 (평균)			
Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)	Ed (kgf/cm ²)	Gd (kgf/cm ²)	Kd (kgf/cm ²)	Vd	Ed (kgf/cm ²)	Gd (kgf/cm ²)	Kd (kgf/cm ²)	Vd
1,724 ~ 1,852	909~962	1,779	934	4.85E+04 ~ 5.46E+04	1.85E+04 ~ 2.08E+04	4.01E+04 ~ 4.99E+04	0.29~0.32	5.13E+04	1.96E+04	4.50E+04	0.31

S-PS검층에서 측정된 두호층 이암의 동탄성계수, 동전단계수, 동체적계수 및 동포아송비는 연암에 해당하며, 굴절법탄성파탐사의 P파 전파속도는 1,200m/sec 이상으로 연암 및 보통암에 해당한다. 전기비저항은 해성층에서 기원된 염분이 잔류된 염분도(0.4~6.0 PPT)로 인해 낮은 비저항분포를 지시한다.

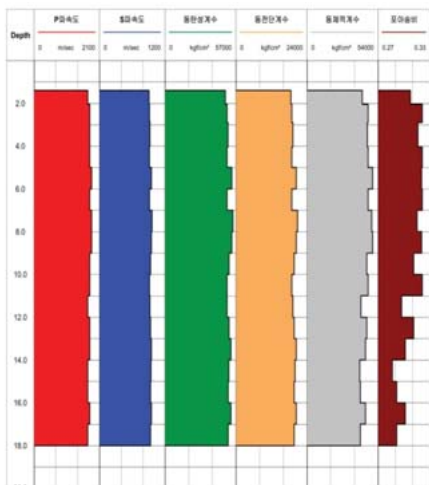


그림 4. 탄성파속도 분포와 동적물성치

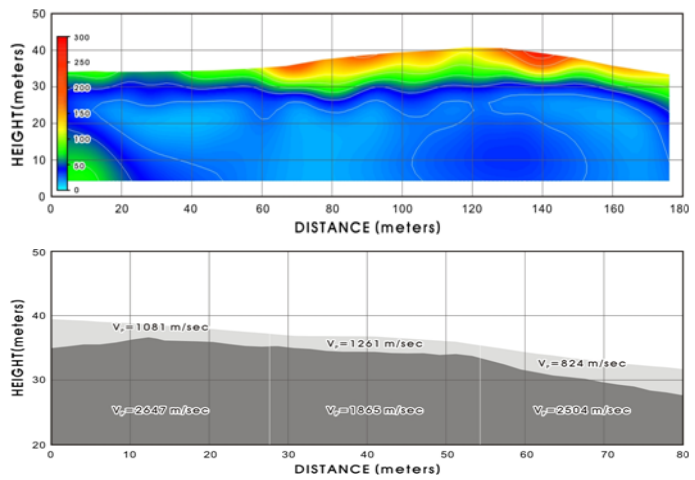


그림 5. 전기비저항 및 탄성파 속도 단면

3.2 실내 암석실험

두호층 이암과 사암의 일축압축 강도는 각각 평균 13.7MPa, 24.4Mpa로 측정되어 연암으로 분류된다. 되었다. 일축강도와 동일한 시료에 대해 실시한 점하중 강도 측정에서 이암은 하중이 작용하기 이전에 파쇄되어 측정이 불가능하였다.



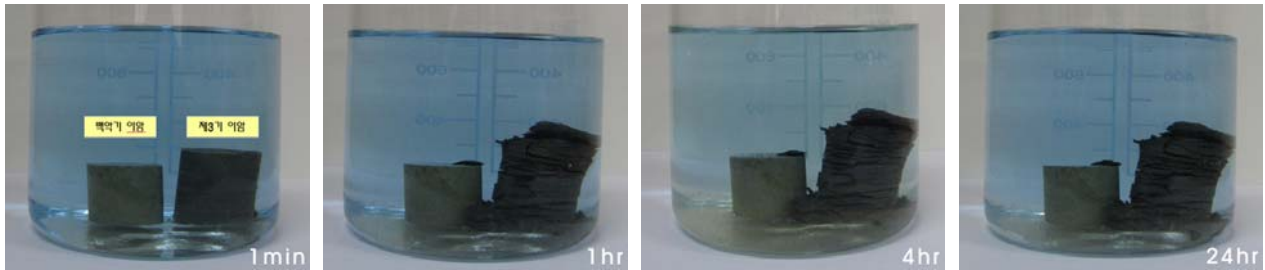
그림 6. 일축강도 실험



그림 7. 점하중강도 실험

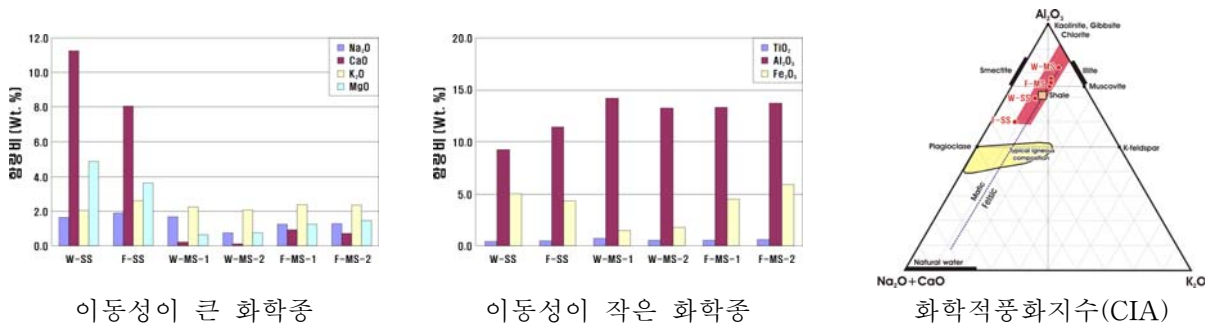
자연 상태의 이암은 10~20%의 함수비를 보이며, 흡수율은 35~47%의 범위를 보였다. 두호층 사암의 슬레이킹 내구성은 2회 반복 후 잔류량이 98.03%로 고내구성에 해당하며, 이암은 잔류량이 73.60%로 중정도 내구성에 해당한다. 지반이 습윤, 건조가 반복되는 환경에 노출된 경우 이암의 기계적 경우 기계적 풍화 정도가 매우 높을 것으로 예상된다.

두호층 이암은 팽윤성광물의 함량이 높고, 일부는 팽창성 시험기에서의 시험이 불가능하여 수침 후 변화과정을 관찰하였다. 포항분지의 기반암에 해당하는 백악기 이암의 경우 수침 실험에서 전혀 변화가 나타나지 않는 반면 두호층 이암은 수침 초기부터 팽창이 시작하여 4시간 이후 대부분의 층리면에서 박리현상이 관찰되었다(그림 8).



수침 1분 후 1시간 후 4시간 후 24시간 후
그림 8 두호층 이암의 수침실험

화학적 풍화에 의해 용탈되는 원소의 비율을 측정함으로써 풍화지수와 저항력을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 X-선 형광분석으로 측정된 원소의 무게비(wt.%)를 이용하여 풍화지수를 산정하였다. 연구 지역의 이암의 풍화지수는 74.49~75.85의 값으로 연암 정도에 해당하며, 풍화가 진행된 이암의 경우에도 점토광물의 풍화단계에까지는 이르지 못하는 것으로 나타났다. 풍화의 진행경로는 대부분 기반암 → 일라이트 → 카올린의 경로로 진행될 것으로 예상된다(그림 9). Profile model을 적용하여 산정한 이암의 풍화속도는 0.177 kEq/ha/yr이며, 매우 느린 풍화속도에 해당한다.



이동성이 큰 화학종 이동성이 작은 화학종 화학적풍화지수(CIA)
그림 9 이암의 이동성에 의한 화학종과 화학적 풍화지수(CIA)

3.3 용출실험

증류수를 이용한 용출실험으로 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC), 총고용물질량(TDS), 염도(Salinity)의 변화를 관찰하였다. 이암 시료 중 일부는(BH-35) pH가 7.75로 약알카리성이 증가한 반면, 다른 일부는(BH-55) 2.66-2.76의 pH로 강산성을 보였다. EC와 TDS는 매립예정지와 토취장 시료 모두에서 EC와 TDS는 3,083-3,333($\mu S/cm$)과 2,200-2,300(ppm)으로 25배 정도 증가하였다. 시험시료의 염도는 1.8-2.0(‰)로 측정되어 해성 퇴적된 두호층 이암에 남아 있는 것으로 분석되었다. 용출수의 양이온은 Na > Ca > Mg > K 크기로 함유되며, Na와 K는 심도가 증가함에 따라 감소하며, Ca는 증가하는 경향을 보였다. 강산성의 용출수가 관찰되는 토취장의 이암(BH-55)과 시료를 해수와 반응한 결과는 초기

pH 8.07의 해수는 2.56으로 강산성을 변화되었으며, 두호층 이암의 일부는 산성암석배수를 수반하는 것으로 판단된다. 이상의 실험에서 두호층 이암의 일부는 광화작용에 의해 형성된 산성배수 유발 물질을 포함하며, 단기간 내에 수산화철의 침전이 발생하므로 매립재 선정 시 광화대에 대한 검토가 선행되어야 한다. 또한 이암이 완전하게 고결된 암석이 되지 못해 치환되지 못한 염이 잔류하여 육상의 토목재료원으로 사용 시 잔류염에 의한 재해가 예상되므로 설계 및 시공 시 이에 대한 대책이 필요하다.

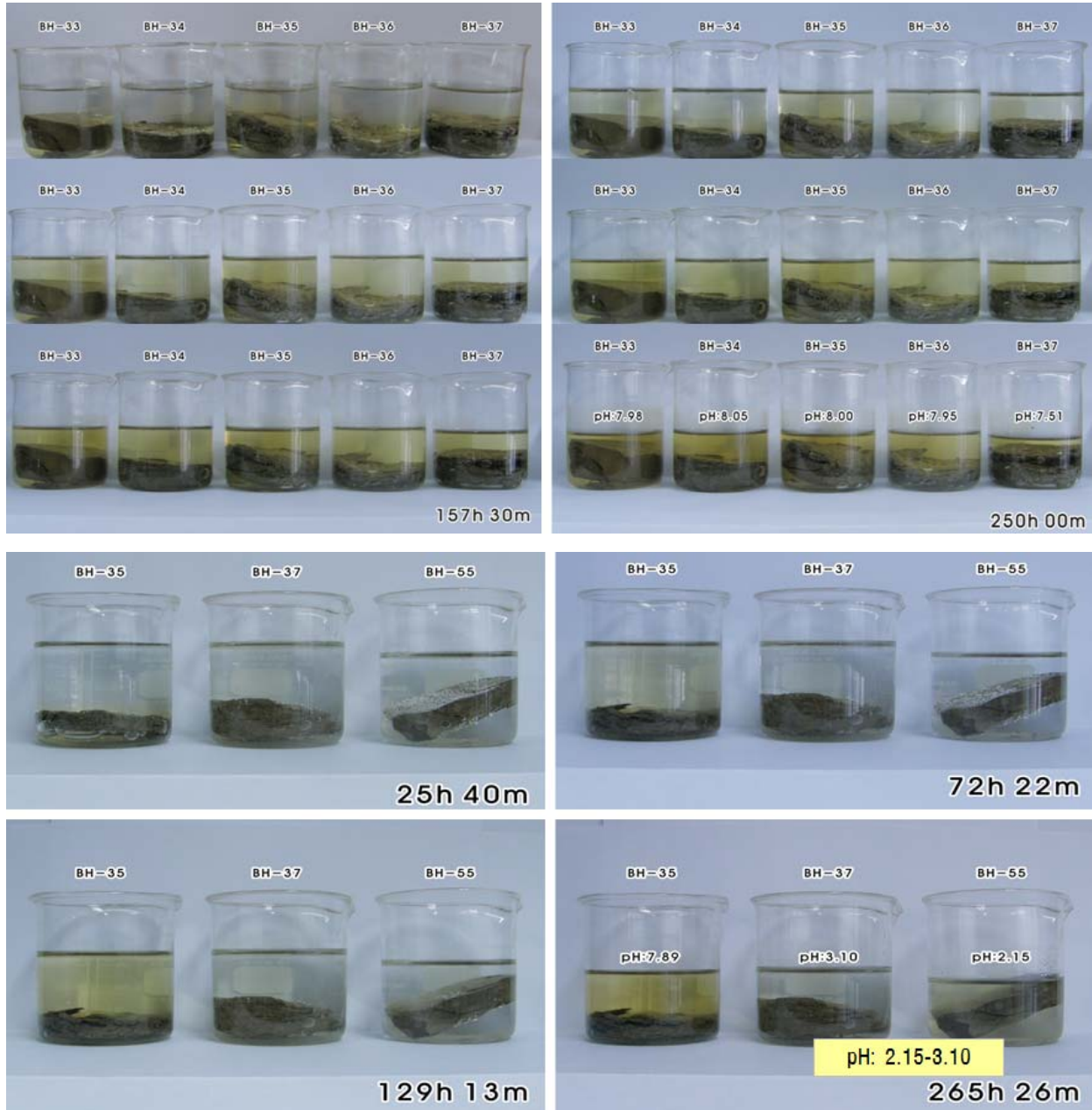


그림 10 반응 시간에 따른 용출수의 색도 변화와 수소이온 농도 변화

4. 토의 및 결론

포항지역에 분포하는 신생대 제3기 이동층과 두호층은 미고결 상태의 사암과 이암으로 구성되며, 암석으로 고화과정 중에 지반의 용기로 인해 지표로 노출되어 형성되었다. 일반적인 암반은 물리·화학적 풍화정도에 따라 경암, 연암, 풍화암, 풍화토로 구분되는 것에 반해 속성과정(다짐작용, 교결작용, 재결정

화작용) 중에 노출되어 완전히 고화되지 못한 상태로 분류방법에 따른 상이한 암반등급을 보여준다. 특히 이암은 지반조사 분야에 광범위하게 적용되는 RQD와 일축강도 등의 특성은 연암으로 분류되나, 점하중강도는 풍화암으로 분류된다. 비파괴지반조사로 이용되는 탄성파의 이동속도는 연암 내지 보통암으로 분류되는 반면 비저항은 완전히 풍화된 지반에 해당하므로 측정하는 방법에 따라 상이한 암반 분류가 가능하다. 이암을 구성하는 화학종에 의한 풍화저항력과 내마모성은 양호한 암반으로 분류되며, 수침시 일부는 박리현상으로 풍화변질된 암반의 특성이 관찰된다. 따라서 미고결 상태의 이암은 토공작업성과 설계, 시공 후 지반의 조건을 고려하여 암반을 분류하는 것이 타당하다.

포항지역 미고결 이암의 분포지는 화산대지에 해당하며, 광화작용으로 원지반 암석은 황(S)의 농도가 높고, 산성배수에 의해 용해되어 토양 및 물 환경을 오염시키는 금속의 농도가 높아 매립지반의 주변으로 오염원 확산이 예상된다. 이암을 성토재나 매립재로 활용하는 경우, 원지반의 산성배수의 생성 현황과 매립지반에서 오염원의 확산과 정도에 대한 정밀한 조사가 필요하다고 판단되며, 이암 내부에 치환되지 못한 잔류염으로 인한 재해가 발생할 수 있으므로 육상재료원으로 사용 시 이에 대한 검토가 필요하다.

1. 이영휘(1996), “포항 이암층의 slaking, 팽창 및 전단강도특성”, **한국지반공학회**, 제12권, 제2호, pp.33~42.
2. 이영휘, 박영목, 김용준, 금병술(1998), “퇴적암의 풍화도에 따른 특성과 일축압축강도와 제반지수와의 상관성”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.131~134
3. 이영휘, 김용준, 박준규(2000), “압축강도와 풍화도에 관련된 퇴적암의 공학적 특징”, **한국지반공학회**, 제16권, 제1호, pp.5~18.
4. 이진수, 이강일, 김경완(2002) “이암 퇴적토의 slaking에 따른 전단 및 압축 특성”, **한국지반공학회**, 제22권, 제4호, pp.453~460.
5. 김광식, 김교원(2003), “포항분지 제3기 두호층 이암의 크리프 거동”, **대한지질공학회**, 제13권, 제2호, pp.227-238.
6. 박형동(2002), “이암과 세일의 지질공학적 특성”, **한국암반공학회 암반역학위원회**, pp.20~30.