

북동태평양 대한민국 단독광구 지역 표층퇴적물의 광구별 지질공학적 특성

이현복^{1)*} · 지상범¹⁾ · 고영탁¹⁾ · 박정기¹⁾ · 오재경²⁾

1. 서 론

심해저 망간단괴 개발사업에서 표층퇴적물의 지질공학적 특성연구는 크게 두가지 관점에서 매우 중요하다. 첫째, 해저면 위에서 단괴를 대량으로 채취하게 될 채광장비의 설계 및 운영을 위해 매우 중요한 정보를 제공한다. 채광기는 안전성과 이동성을 고려하여 제작되어야 하는데 표층퇴적물의 물성에 따라 채광기의 크기, 무게, 마력수 등이 다르게 제작될 수 있다. 둘째, 교란되지 않은 표층퇴적물의 퇴적학적이고 토질역학적인 자료는 망간단괴 지역에서 퇴적물의 기계적인 성질 평가와 미래 해양 채광시에 발생하는 환경충격의 물리적, 수치 모델링을 위한 필수적인 기초자료를 제공한다. 망간단괴 채광시에 심해의 표층은 심각한 교란이 있을 것이다. 표층퇴적물은 기계적으로 교란되고, 퇴적물 입자의 구름은 부유되었다가 재퇴적된다. 환경보존 측면을 고려할 때 채광활동으로 인한 표층퇴적물의 교란이 저서생물을 포함한 해양생태계를 파괴할 수 있는 위험요소로 판단되므로 개발전에 적절한 평가가 이루어져야 한다.

본 연구 분야에서는 분석에 이용된 퇴적물은 일부 항목에 따라 분석 수량차이는 있으나 우리나라 광구지역 내에서 퇴적물 다중채취기에 의해 채취된 225점점의 시료의 측정결과가 활용되었으며, 0-40 cm 까지의 표층퇴적물에 대하여 입도분석에 따른 입자크기별 함량, 평균입도, 함수율, 입자의 밀도, 전밀도, 공극률, 액성 및 소성한계, 그리고 전단강도 측정치 등의 자료를 제공한다.

2. 본 론

연구지역의 퇴적상은 지역에 따라 뚜렷하게 변화 한다. 즉, 북쪽지역에 원양성 적점토 (pelagic red clay), 중앙지역에 규질연니(siliceous ooze), 그리고 남쪽지역에 석회질연니 (calcareous ooze)가 분포한다고 알려져 있다. 광구지역에서 채취된 주상 퇴적물에 의해 확인된 광구지역의 퇴적상은 KR1, 2지역에서 원양성 적점토, KR3-7지역에서 규질 퇴적물 (siliceous sediment), 서경 131.5도를 중심축으로 북위 5-6도 지역의 퇴적상은 석회질연니가 지배적으로 분포하는 것이 확인되었다. 특히 KR5-7지역 퇴적물은 대부분 매우 높은 함수율, 낮은 투수율, 높은 전단강도를 갖는 소성이 높은 생물기원의 무기질 실트로 구성된 규질 원양성 점토(siliceous pelagic clay)로 특징된다. 퇴적물의 구성물질은 생물기원의 규질 파편, 자생 (authigenic) 그리고 육성(terrigeneous)기원의 점토광물, 장석류, 철-망간 산화물 등으로 구성 되어 있다.

퇴적물 입도조성은 실트와 점토가 우세하고(70~90%) 모래와 실트 크기의 입자는 대부분 방산층이나 규조류 잔해로 이루어져 있다. Shepard의 분류에 따르면 KR5-7지역이 적점토가 분포

주요어 : 북동태평양, 표층퇴적물, 지질공학

1) 한국해양연구원 심해연구사업단 (hblee, sbchi, ytko, ckpark@kordi.re.kr)

2) 인하대학교 해양과학과 (jkoh@inha.ac.kr)

하고 있는 KR1, 2 지역보다 조립질인 특성을 보인다. 즉 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역은 전체평균 모래크기입자(sand) 1.6%, 실트크기입자(silt) 42.7%, 점토크기입자(clay) 55.8%로 구성되어 평균입도는 8.02 ϕ (4.02 μm)이다, 또한 KR6 지역은 모래크기입자 0.4%, 실트크기입자 45.7%, 점토크기입자 53.9%로 구성되어 평균입도는 7.80 ϕ (4.89 μm)이다.

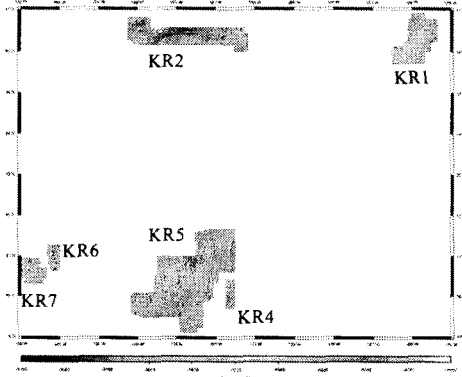


Fig. 1. 우리나라 광구의 지형

그리고 KR7 지역은 모래크기입자 0.5%, 실트크기입자 46.9%, 점토크기입자 52.6%로 구성되어 평균입도는 7.88 ϕ (5.08 μm)이다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1 지역은 모래크기입자 0.1%, 실트크기입자 43.3%, 점토크기입자 56.5%로 구성되어 평균입도는 8.34 ϕ (3.10 μm)이며, KR2 지역은 모래크기입자 0.2%, 실트크기입자 41.4%, 점토크기입자 58.4%로 구성되어 평균입도는 8.21 ϕ (3.44 μm)이다. 조사지역에서 채취한 표층 퇴적물의 함수율은 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7지역이 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역보다 월등히 높은 특성을 보인다. 즉, 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역은 전체평균 함수율이 280.8%, KR6지역은 294.0%, 그리고 KR7 지역은

292.2%의 높은 값을 보인다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1 지역과 KR2 지역은 각각 163.4%와 166.2%의 낮은 값을 보인다.

Table 1. 단독개발광구지역 표층퇴적물의 광구별 지질공학적 특성 평균값

area		KR1	KR2	KR5	KR6	KR7	Total
amount of stations		(17)	(25)	(163)	(6)	(14)	225
grain composition	sand(%)	0.1	0.2	1.6	0.4	0.5	1.2
	silt(%)	43.3	41.4	42.7	45.7	46.9	43.0
	clay(%)	56.5	58.4	55.8	53.9	52.6	55.8
mean grain size	(μm)	3.10	3.4	4.0	4.9	5.1	4.0
	(ϕ)	8.34	8.2	8.0	7.8	7.9	8.1
water content(%)		163.4	166.2	280.8	294.0	292.0	260.1
bulk density(g/cm^3)		1.347	1.340	1.219	1.219	1.216	1.242
grain density(g/cm^3)		2.589	2.580	2.464	2.414	2.428	2.483
Porosity(%)		79.7	80.1	86.7	86.3	86.6	85.4
plastic limit(%)		37.7	32.5	62.2	68.4	75.2	58.0
liquid limit(%)		107.3	121.2	150.2	171.5	173.1	147.1
*shear strength type		1.3	1.9	2.9	2.8	3.0	2.6

* shear strength type: 1: ≤ 5 kPa, 2: 5-7 kPa, 3: 7-10 kPa, 4: ≥ 10 kpa

연구지역에서 채취한 퇴적물의 입자의 밀도 분석결과, 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역 퇴적물의 입자 밀도는 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7지역보다 월등히 높은 특성을 보인다. 즉, 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역의 전체평균 입자밀도는 2.464 g/cm^3 , KR6지역은 2.414 g/cm^3 , 그리고 KR7 지역은 2.428 g/cm^3 의 낮은 값을 보인다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1 지역과 KR2 지역은 각각 2.589 g/cm^3 와 2.580 g/cm^3 의 높은 값을 보인다. 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역 퇴적물의 전밀도는 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7지역보다 월등히 높은 특성을 보인다. 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역의 전체평균 전밀도는 1.219 g/cm^3 , KR6지역

은 1.219g/cm³, 그리고 KR7 지역은 1.216g/cm³의 낮은 값을 보인다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역은 각각 1.347g/cm³와 1.340g/cm³의 높은 값을 보인다. 조사지역에서 채취한 표층 퇴적물의 공극률은 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7지역이 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역보다 뚜렷하게 높은 특성을 보인다. 즉, 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역은 전체평균 공극률이 86.7%, KR6지역은 86.3%, 그리고 KR7 지역은 86.6%의 높은 값을 보인다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역은 각각 79.7%와 80.1%의 낮은 값을 보인다. 광구지역 퇴적물의 전단강도 측정결과, 원양성 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2지역의 퇴적물은 표층 0 cm 에서 40 cm 깊이까지 0.5 kPa에서 6 kPa로 완만하게 점진적으로 증가하는 양상을 보인다. 이들 측정치는 규질 퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7 지역에 비하여 낮은 값을 보인다. 또한 기존에 보고된 1~3 m 깊이 원양성 적점토 퇴적층의 전단강도 자료에 비추어 보아 본 연구지역 원양성 적점토 시료의 대부분은 0.5~3 m 이하의 깊이에서도 전단강도의 급격한 증가는 없을 것으로 판단된다. 반면에 규질 퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7지역의 퇴적물의 경우, 전단강도는 표층에서 1 kPa 미만으로 낮은 값을 보이지만 하부로 가면서 급격히 증가하여 퇴적층 13 cm 깊이에서는 5 kPa 이상의 값을 보인다. 또한 대부분의 정점은 13 cm 이하의 깊이에서 전단강도는 40 cm 깊이까지 점진적으로 증가하여 7 kPa 이상의 높은 값을 보인다. 그 결과 KR1, 2 지역에 비하여 월등히 높은 값을 보인다. 기존에 보고된 규질 연니(10-19 kPa)와 방산층 연니(3.5-7 kPa) 퇴적층(1-3 m)의 전단강도 자료에 따르면 유사한 특성을 지니고 있는 본 연구지역 퇴적물 시료의 대부분은 0.5-3 m 이하의 깊이에서도 7 kPa 이상의 높은 전단강도를 보일 것으로 판단된다. 연구지역 표층 퇴적물의 액성한계는 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5-7 지역이 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역보다 월등히 높은 특성을 보인다. 즉, 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5 지역의 평균 액성한계는 150.2%, KR6 지역은 171.5%, KR7 지역은 173.1%의 높은 값을 보인다. 반면에 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역은 각각 107.3%와 121.2%로 상대적으로 낮은 값을 보인다. 소성한계도 액성한계와 마찬가지로 KR6, 7지역이 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역보다 높은 특성을 보인다. 규질퇴적물이 분포하고 있는 KR5지역의 평균 소성한계는 62.2%, KR5-7지역의 평균 액성한계는 68.4%, KR7 지역은 75.2%의 높은 값을 보인다. 상대적으로 적점토가 분포하고 있는 KR1, 2 지역은 각각 37.7%와 32.5%로 낮은 값을 보인다.

3. 결 론

현재까지의 분석 결과를 토대로 우선 채광지역 선정시 반영되어야 할 항목은 표층퇴적물의 전단강도 특성이다. 특히 전단강도 특성은 현재 지형요소와의 관계가 불분명한 것으로 나타나 있으므로 보다 정밀한 위치에서의 잠수정 등을 이용한 지형기복에 따른 시료의 채취 분석이 요구되며, 특히 개발등급이 보다 구체화되어 개발도면상의 채광라인 선정시에는 현재보다 많은 시료의 채취 분석이 요구된다. 이밖에 향후 개발 시 환경충격 측면에서 입도특성이 고려되어야 할 것이다. 이밖에 함수율, 공극률, 입자의 밀도, 전밀도 그리고 액성 및 소성한계는 망간단괴 부존특성과 전단강도 특성과는 상관관계를 보이지는 않으나 향후 퇴적환경연구에 반영되는 사항이다.