

해상풍력발전단지 건설 시 해양미고결지반 물성 파악을 위한 실험 연구

유현중* · 임중세† · 신성렬* · 장원일* · 윤지호*
(원고접수일 : 2008년 2월 13일, 심사완료일 : 2008년 3월 7일)

An Experimental Study on Properties of Seabed Unconsolidated Sediment for Wind Power System Construction

Hyun-Jong Yoo* · Jong-Se Lim† · Sung-Ryul Shin* · Won-Yil Jang* · Ji-Ho Yoon*

Abstract : When the wind power system is planned to construct, it is important to understand the physical, chemical and mechanical properties of sediment. Especially, if it is the seabed unconsolidated sediment, we need to experiment on sediment through seabed unconsolidated sediment test and sediment survey. Because the sediment's properties are different as its formation, accumulation and load, unconsolidated sediment is difficult to be expected to its behavior. So we can estimate suitability for mechanical material and decrease the uncertainty through seabed unconsolidated sediment test. Seabed unconsolidated sediment test can be experimented in laboratory or in-situ as purpose, in-situ condition, economic problem. In this study, we sampled the seabed unconsolidated sediment at offshore around Korea Maritime University and measured properties of sediment through the laboratory test, showed the effect on physical properties of seabed unconsolidated sediment when the wind power system is planned to construction.

Key words : Offshore structure(해양구조물), Wind power system(해상풍력발전시스템), Seabed unconsolidated sediment(해양미고결지반), Sampling(채취)

1. 서 론

해상풍력발전은 육상에서와 달리 분포가 균일하고 대형부지확보가 용이하여 초대형 풍력발전시스템 건설이 가능하며 거주환경문제(소음, 그림자, 전파방해 등)의 제한 조건이 발생하지 않는다. 게다가 내륙에 비해 풍속이 20%정도 높고 따라서

70% 더 많은 전기를 생산하게 되므로 에너지 밀도가 매우 높다^[1]. 최근 유럽 각 국에서는 풍력발전단지 개발에 많은 투자와 연구를 함에 따라 격자 인프라, 기초의 건설, 운영 그리고 유지 등에 대해서 기술적인 연구가 활발히 진행되고 있으며, 사업 규모도 다양화, 대형화가 되고 있는 추세이다^{[2],[3]}. 반면에 해상토목기초가 필요하고 설치비용이 고가

† 교신저자(한국해양대학교 해양개발공학부), E-mail: jslim@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4682

* 한국해양대학교 해양개발공학부

이며 각 부품의 염분에 대한 방식처리 해저 전력선 그리고 관리 및 운영의 어려움 등의 단점도 있다.

해상풍력발전단지 건설 시 기초지반이 해양미고결지반일 경우에는 그 성질이 매우 다양하고 복잡하기 때문에 해양미고결시료 시험 및 지반조사를 실시하여 흙의 물리적, 화학적 성질과 역학적 성질을 파악하는 것이 매우 중요하다. 미고결지반은 생성과정에 따라 흙의 공학적 성질이 다르고, 퇴적환경이나 하중 등의 변화로 인해 거동을 예측하는 것이 어렵다. 이는 해양미고결시료 시험을 통해 기초지반으로써의 적합성 여부를 판단할 수 있으며, 그 결과를 해석하여 확실성을 검증시킬 수 있다.

해양미고결시료 시험은 실내시험과 현장시험으로 구분되는데 시험목적, 현장여건, 경제적인 측면 등을 고려하여 상호보완적인 관계가 되도록 실시하는 것이 바람직하다. 현장시험에 비해 실내시험은 시험동안 비교적 정확한 값들을 측정할 수 있고 시간과 경제적인 측면에서 유리하며 현장과 다른 조건 하에서 시험이 가능하기 때문에 구조물을 시공중이거나 시공완료 후 흙의 거동을 예측하는데 필요한 자료를 제공할 수 있다.

이 연구에서는 해상풍력단지 건설 시 기초지반이 미고결지반일 때의 물리적 특성에 대한 영향을 알아보기 위해 부산시 영도구 동삼동에 위치한 한국해양대학교 부근 연안의 미고결지반을 대상으로 시

험을 하였다. 피터슨 그랩(perterson grab)을 이용하여 Fig. 1과 같이 4곳에서 교란된 저질시료를 채취하였으며, 실내시험을 통해 흙의 성질을 나타내는 토질정수를 구함으로써 해양지반에 대한 시험방법 및 결과해석방법에 적용성을 확인하고자 하였다

2. 시료의 준비

2.1 시료의 채취

해양미고결시료 시험에 사용되는 재료로는 교란된 시료와 교란되지 않은 시료(불교란시료)가 있다. 교란시료는 자연적인 흙의 상태나 구조가 교란된 시료로 흙을 분류 및 관별하거나 다짐성질을 조사하는데 사용되고, 불교란시료는 자연적인 흙의 상태나 구조를 그대로 보존하고 있는 시료로 흙의 강도나 압축성을 조사하기 위해 사용된다. 시료의 교란 여부에 따라 다양한 시료채취 기구가 있으며 이 연구에서는 Fig. 2와 같이 피터슨 그랩을 이용하여 시료를 채취하였다^[4].



Fig. 2 The sampling by peterson grab

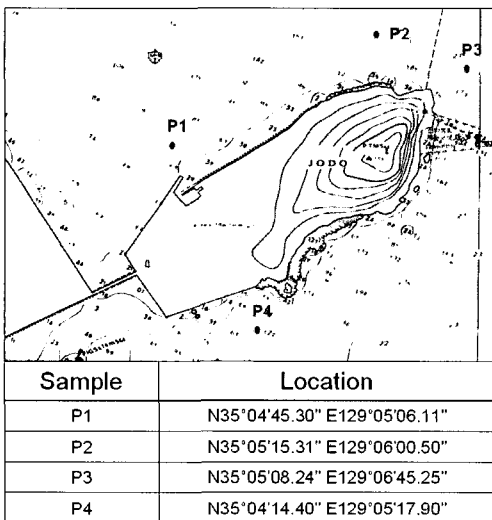


Fig. 1 The sampling point

2.2 전처리

시험에 앞서 시료 속에 포함된 유기물과 탄산염 등의 영향을 배제하기 위해 증류수, 염산 그리고 과산화수소수를 이용하여 전처리를 실시한다. 우선 염분을 제거하기 위해 비커에 퇴적물을 넣고 증류수를 넣은 다음 입자가 손실되지 않도록 사이펀(siphon)을 이용해 불갈이를 한다. 다음으로 시료 내에 있는 탄산염을 제거하기 위해서 염산 10% 수

용액을 만들어서 시료를 넣고 반응이 끝날 때까지 반복하는데 염산 수용액을 더 넣어도 기포가 일어나지 않으면 탄산염이 대부분 제거된 것이다. 탄산염 제거가 끝나면 유기물 자체의 점성으로 인해 세립질 입자들이 응집되는 것을 방지하기 위해서 과산화수소 10% 용액을 넣어 유기물을 제거한다 (Fig. 3).

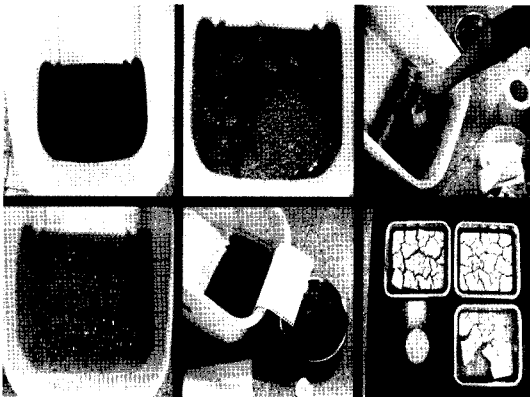


Fig. 3 The preparation of sample

2.3 시료의 조제

교란된 흙을 대상으로 해양미고결시료 시험을 수행하기 위해서는 흙을 각각의 시험목적에 맞는 상태가 될 때까지 분취, 함수비조정, 입도조정 등의 과정을 통하여 조절할 필요가 있다. 채취된 시료는 4분법에 의해 분취할 수 있으며, 각 시험에 필요한 시료의 최소분량과 입도조정에 사용되는 체는 Table 1과 같다.

3. 물성시험법

흙의 상태를 구하고 분류특성을 조사하는 물성시험에는 함수비시험, 비중시험, 액성한계 및 소성한계 시험, 입도시험이 있으며 각각의 시험은 다음과 같은 절차와 방법을 통해 이루어진다^[5].

3.1 함수비시험(KS F 2306)

3.1.1 시험목적

흙은 흙 입자, 물, 공기의 3요소로 구성되어 있

고, 흙의 성질은 그 속에 포함되어 있는 물의 양에 따라 크게 변한다. 함수비시험은 흙에 함유되어 있는 물의 양(함수량)을 구하기 위한 시험으로 함수량은 일반적으로 함수비로 나타내고 함수비는 흙의 건조중량에 대한 흙의 함유수량을 백분율로 표시한 것이다.

3.1.2 시험원리 및 방법

함수비는 다음의 (1)과 같은 원리로 구할 수 있다.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100(\%) = \frac{W_a - W_b}{W_b - W_c} \times 100(\%) \quad (1)$$

용기의 중량 W_c 과 (습윤시료+용기)의 중량 W_a 를 측정하고, 시료를 용기체로 항온건조로에 넣고 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 일정 중량이 될 때까지 건조시킨다. 건조된 시료를 용기체로 데시케이터 속에 넣고 실온이 될 때까지 식힌 후 (건조시료+용기)의 중량 W_b 를 측정한다.

이 시험으로부터 얻어진 함수비는 흙의 액소성한계시험에 이용되고 흙의 상태를 표시하는 토질정수(간극비, 포화도, 건조단위중량 등)를 구하는데 필요하다. 또한 실내시험이 아닌 토공 등의 시공관리시 시공 도중 현장 흙의 함수비를 신속히 측정해야 할 경우에는 전자레인지 사용하거나 알코올 연소법 등을 이용할 수 있다.

3.2 비중시험(KS F 2308)

3.2.1 시험목적

흙의 비중이란 4°C 증류수의 단위중량에 대한 흙 입자의 단위중량의 비로 정의된다 따라서 그 흙을 조성하는 광물질의 단위중량과 관계되므로 철분과 같은 성분을 포함하고 있으면 비중의 값이 커지고 흙의 간극비, 포화도와 함께 비중을 알면 전체단위중량, 건조단위중량 등을 구할 수 있으며 단위중량의 값은 지반의 침하량이나 토압 등을 계산하는데 쓰인다. 일반적으로 주성분이 석영으로 구성되어 있는 밝은 색깔의 모래의 비중은 대략 2.65이고, 점토질과 실트질의 흙의 비중은 대략 2.6 ~ 2.9이다.

3.2.2 시험원리 및 방법

흡입자의 비중 G_s 는 (2)와 같은 원리로 구할 수 있다.

$$G_s = \frac{W_s}{\gamma_w V_s} \quad (2)$$

비중을 측정하기에 앞서 비중병을 검정해야한다. 우선 잘 건조된 비중병의 중량 W_f 를 측정한 뒤 비중병에 증류수를 가득 채우고 스톱퍼를 확실히 닫는다. 전체중량(증류수+비중병) W_a' 을 측정하고, 비중병 내의 증류수 수온 T' 를 잰 후 비중병 내의 물을 버림으로써 비중병을 검정할 수 있다.

비중병 검정이 끝난 후 준비한 시료와 증류수를 비중병에 넣고 Fig. 4와 같이 비중병을 10분 이상 가열한다. 가열한 시료를 실온이 될 때까지 식힌 뒤 증류수를 가득 채우고 스톱퍼를 닫은 상태에서 전중량(시료+증류수+비중병) W_b 과 내용물의 온도 T 를 잰다. 비중병의 내용물을 증발접시 또는 비커에 꺼내 담아 전량을 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 일정한 무게가 될 때까지 건조시킨다. 건조된 시료를 데시케이터 내에서 실온이 될 때까지 식힌 후 노건조중량을 측정하여 흡입자 중량 W_s 를 구하여, 위에서 구한 각 값들을 통해 시험의 결과를 (3), (4)와 같이 흡입자의 비중 G_s 를 구할 수 있다.

$$W_a = \frac{G_w(T)}{G_w(T')} \times (W_a' - W_f) + W_f \quad (3)$$

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + (W_a - W_b)} \times K \quad (4)$$

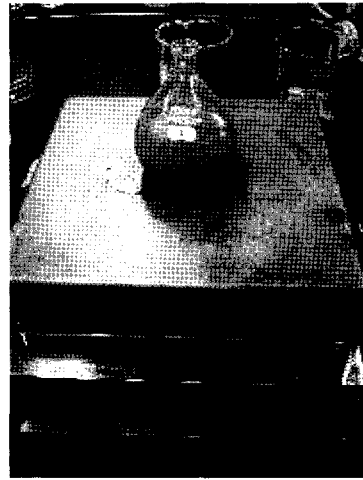


Fig. 4 The pycnometer

흡입자의 비중은 흡입자를 구성하는 광물조성에 따라 다르지만 일반적으로 유기물을 많이 함유하는 흙일수록 작다. 흙을 구성하는 주요 광물의 비중은 Table 2와 같다.

Table 2 Specific gravity of minerals

Mineral	Specific gravity	Mineral	Specific gravity
Quartz	2.65	Kaolinite	2.60
Orthoclase	2.57	Montmorillonite	2.65~2.80
Plagioclase	2.62~2.76	Illite	2.80

3.3 액성한계시험(KS F 2303)

3.3.1 시험의 목적

세립토는 함수비의 변화에 따라 고체 상태에서

Table 1 The separated quantity for soil test

Method	Maximum size of sample(mm)							
	0.425	2	4.75	9.5	19	26.5	37.5	75
Water content	10~30g		30~100g	150~300g		1kg		2kg
Specific gravity	20g(pycnometer capacity is less than 100ml)				40g(pycnometer capacity is more than 100ml)			
Distribution	200g		500g	1.5kg		4.5kg		6kg
Liquid limit · Plastic limit	230g	-						

반고체 상태, 소성 상태, 액체 상태로 변화하는데 이때 소성 상태와 액체 상태의 경계가 되는 함수비를 액성한계(liquid limit), w_l 라고 정의한다. 액성한계는 입자의 치수는 물론 흙의 화학성분과 광물성분 입자에 흡착되어 있는 이온 등에 따라 그 값을 달리한다.

액성한계의 값과 동일한 함수비를 가지고 있는 흙은 어떤 흙이든 최소값의 전단강도를 가진다. 따라서 자연함수비가 액성한계를 넘어서면 그 흙의 전단강도는 거의 무시할 수 있다.

3.3.2 액성한계의 결정

함수량에 따라 Fig. 5와 같이 흙의 상태 변화와 애틀버그한계(Atterberg's limits)를 정의할 수 있다.

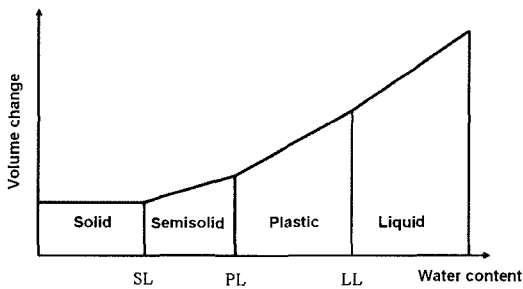


Fig. 5 The consistency of soil

세립토는 함수비에 따라 4가지 상태로 변한다. 건조된 흙에 물을 첨가하면 고체→소성→액체의 상태로 변한다. 반대로, 액체 상태에서 탈수시키면 가역 반응은 일어나지만, 원래의 상태로 회복되지는 않는다. 건조된 흙에 다시 물을 섞으면 흡수력의 매트릭 포텐셜이 감소되어 액·소성 한계는 점점 감소한다.

3.3.3 시험방법

우선 자연 함수비 상태의 흙을 시료로 하여 유리 판 위에 놓고 충분히 반죽한다. 시료의 수분상태는 버터 상태가 되는 정도로 하고 시료의 함수비가 낮은 경우는 증류수를 가하고 또한 함수비가 너무 높은 경우는 자연 건조에 의해 탈수한다.

준비된 시료를 황동 접시에 담아 잘 고른 뒤 접

시의 대칭축을 따라 흙과기 날을 이용해 접시 속의 흙을 양쪽으로 가른 후 액성한계측정기의 손잡이를 1초 동안에 2회의 속도로 회전시킨다. 흙을 담은 접시를 고무대에 낙하시키면서 흙의 밑부분에 있는 흙이 약 1.5 cm정도 함유할 때의 낙하횟수를 구한 후, 양쪽 흙이 합쳐진 부분의 흙을 따내서 함수비를 측정한다. 낙하횟수가 10 ~ 25회인 함수비 2개, 25 ~ 35회인 함수비 2개가 얻어지도록 시료의 함수비를 달리하여 위의 과정을 반복한다.



Fig. 6 The liquid limit tester

이때 Fig. 7과 같이 반대수용지의 대수눈금에 낙하횟수를, 산술눈금에 함수비를 기록하여 이들의 점에 가까운 회귀선을 구하여 이를 유동곡선이라고 하고 이 선의 경도를 유동지수라고 한다. 이때 유동곡선에서 낙하횟수 25회에 상당하는 함수비를 액성한계로 한다. 단, 액성한계가 앞의 시험방법으로 구해지지 않을 경우에는 비소성(NP)으로 분류한다.

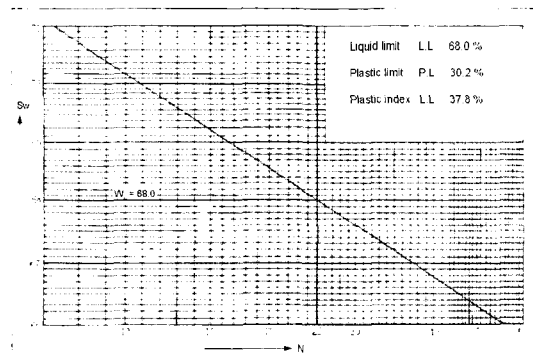


Fig. 7 Flowcurve

3.4 소성한계시험(KS F 2304)

3.4.1 시험목적

소성한계는 흙의 소성상태와 반고체 상태의 경계를 나타내는 함수비를 말하고 KS F 2304에서는 『흙덩어리를 손으로 밀어 직경 3mm의 국수모양으로 만들어 부슬부슬해질 때의 함수비』라고 정의되어 있다. 소성한계는 소성도를 이용한 세립토의 분류와 흙의 공학적 성질 판정에 이용된다.

3.4.2 소성한계의 결정

액성한계에서 언급했듯이 함수량에 따라 흙의 상태변화와 애터버그한계를 정의할 수 있으며 흙의 소성지수 I_p 는 흙의 액성한계 ω_L 와 소성한계 ω_p 와의 차를 말하며 (5)에서 구할 수 있다.

$$I_p = \omega_L - \omega_p \quad (5)$$

다만, 다음의 경우는 비소성(NP)으로 분류한다.

- ① 소성한계를 구할 수 없는 경우
- ② 소성한계가 액성한계와 같거나 또는 소성한계가 액성한계 보다 큰 경우

시험에서 구해진 소성지수는 통일분류법에 의해 분류되어 향후 역학시험 계획에 활용되며 개략적인 투수성, 압축성, 전단특성과 같은 공학적 성질과 토공재료로서의 품질, 다짐 특성들을 판단하는데 사용되어 시공계획에 유용하며 업무의 효율성에 기여할 수 있다.

0.002mm 이하의 점토의 중량백분율에 대한 소성지수 I_p 의 비를 활성도라 하고 (6)과 같이 구할 수 있으며 활성도에 따라 점토광물을 분류하고 퇴적과정을 추정할 수 있다.

$$Activity = \frac{I_p}{\text{Percent of clay less than 0.002mm}} \quad (6)$$

3.4.3 시험방법

No.40체를 통과한 시료 약 15g을 증발접시에 넣고 흙이 쉽게 구형으로 될 수 있을 때까지 분무기로 증류수를 가한다. 준비된 시료를 유리판 위에 놓고 Fig. 8과 같이 손바닥으로 밀어 균일한 굵기의 국수모양으로 만든다. 이때 함수비가 많아 지름 3mm이하로 가늘게 되면 다시 뭉쳐 비빈 후 다시 밀

고 이 과정을 시료의 굵기가 3mm의 굵기에서 부슬 부슬하여 부서질 때까지 반복해서 함수비를 구하여 소성한계로 한다.

시험에서 얻어진 액성한계와 소성한계, 자연함수비로부터 각종 지수들을 구함으로써 흙의 물리적 특성을 추정할 수 있다. 우선 자연함수 상태에서 세립토의 상대적인 안정성을 나타내는 지수로서 콘시스턴시(consistency)는 (7)과 같이 나타낼 수 있으며, 이때 콘시스턴시가 1보다 큰 경우 자연함수비가 소성한계보다 작은 경우를 의미하므로 상대적으로 안정된 상태를 나타낸다.

$$I_c = \frac{\omega_L - \omega_n}{\omega_L - \omega_p} = \frac{\omega_L - \omega_n}{I_p} \quad (7)$$

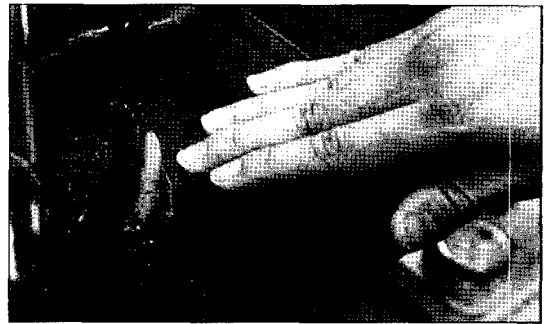


Fig. 8 The plastic limit test

3.5 입도시험(KS F 2302)

3.5.1 시험목적

흙의 입도는 조립토 분류 및 흙의 공학적 성질을 판단하는데 이용된다. 흙입자의 입경별 함유율 분포를 입도(gradation)라 하며, 이 분포상태는 전체 흙 중량에 대한 입경별 중량 백분율로 나타낸다. 흙의 입도를 알면 그 흙이 사질토인지 점성토인지, 즉 흙의 공학적 분류가 가능하게 된다. 흙의 공학적 분류목적은 재료로서의 적정성 등 그 흙의 공학적 성질을 판단하는데 있다.

3.5.2.1 2mm잔류분에 대한 체분석시험

2mm체에 시료를 넣고 물로 씻어 잔류한 시료를 노건조시켜 중량 W_{os} 을 측정하고, Fig. 9와 같이 표준체를 순서대로 조립하여 상부에 노건조시료를

넣는다. 조립된 체에 진동을 가하여 입경별로 각 체에 잔류한 양 W 를 측정하고 각 체에 잔류한 시료의 중량을 측정한다.

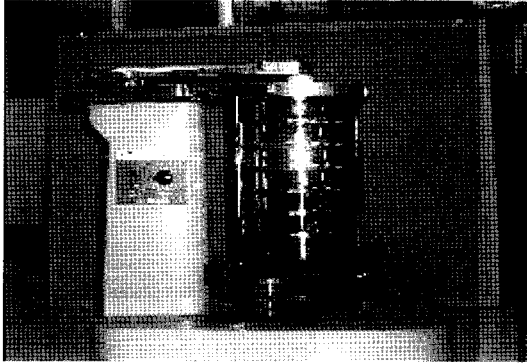


Fig. 9 The sieve shaker

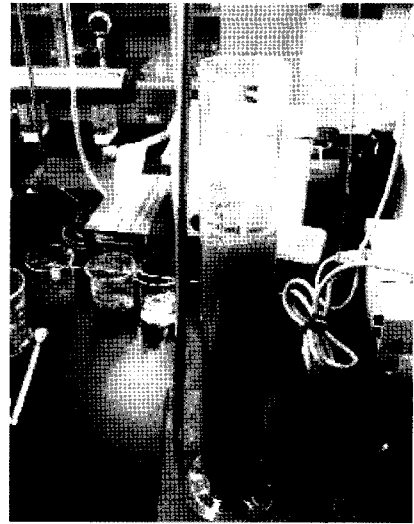


Fig. 10 The hydrometer test

측정된 중량값을 이용하여 입도분포곡선을 그릴 수 있으며 이를 통해 유효입경과 균등계수, 곡률계수를 구할 수 있다. 유효입경(D_{10})이란 입도분포곡선에서 통과중량백분율 10%에 대응하는 입경을 유효입경으로 D_{10} 으로 표시한다. 균등계수(C_u)는 유효입경에 대한 통과중량백분율 60%에 대응하는 입경 D_{60} 의 비를 말하며 균등계수가 큰 흙은 일반적으로 입도분포가 양호하고 작으면 입경이 균등에 가깝다. 곡률계수(C_g)가 $1 < C_g < 3$ 이면 입도분포가 좋은 흙이다.

3.5.2.2 2mm통과분에 대한 침강분석(비중계시험)

준비된 시료는 소성지수에 따라 분산시켜야 하며 분산작업을 마친 후 분산용기 내의 내용물을 1,000ml용량의 메스실린더에 넣고 증류수를 가하여 전체 용량이 1,000ml가 되게 한 후 Fig. 10과 같이 경과시간 1, 2, 5, 15, 30, 60, 240, 1,440 분마다 비중계를 넣어 그 비중계 읽음값 γ 을 읽고 수온을 측정한다.

3.5.2.3 74 μ m체 잔류분에 대한 체분석시험

침강분석 후의 메스실린더의 시료를 74 μ m체에 불로 세척하고 잔류시료를 110 \pm 5 $^{\circ}$ C의 온도로 노건조한다. 노건조 후 노건조시료를 체로 분석하여 각 체의 잔류분의 중량 $W(d)$ 를 측정한다.

4. 결과 및 고찰

4.1 흙의 분류

네 지점에서 채취된 시료는 통일분류법(USCS)에 의해 Fig. 11과 같이 분류하였다. 네 지점 모두 No.200체(Φ 200) 통과율이 50%이하로 조립토이며 조립토 중에서도 No.4체(Φ 4.75)를 통과하는 입자의 비율이 50%이상이므로 S(모래)로 분류되었다. 그 중 P1과 P3은 No.200체를 통과하는 비율이 5%이하이며 균등계수(C_u)가 6이상으로 SW(입도가 좋은 모래)로 분류하였고, P2와 P4는 No.200체를 통과하는 비율이 12%이상이며 소성지수(C_p)가 7이상으로 SC(점토질이 섞인 모래)로 분류하였다.

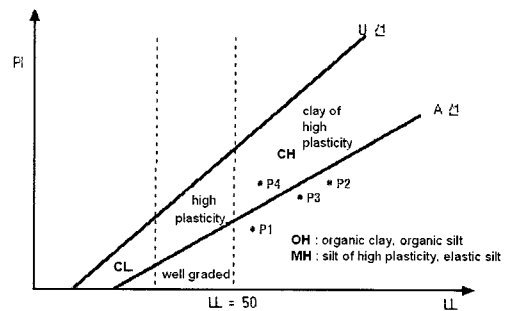


Fig. 11 The classified soil by USCS

4.2 측정별 지반특성

실험결과를 Fig. 12와 Table 3과 같이 정리하였다. 자연상태에서 함수비를 측정된 결과 4지점 모두 충분히 높은 함수비를 나타내었고, 비중분석 시에는 P4 지점(하리항)의 경우 패류와 같은 유기물이 다량 함유되어 있어 비중분석 시 다소 낮게 나왔다. 입도분석 결과 통일분류법에 의해 #200체 통과율이 50 %가 넘지 않으므로 조립토로 분류되었고, 특히 P4 지점의 시료가 가장 조립질의 광물이 다량 함유되어 있는 것으로 나타났다. 콘시스턴시 분석 시에는 P1, P4 지점에 비해 P2, P3 지점이 소성지수가 상대적으로 높게 나온 것으로 보아 점토질 성분이 더 많이 있는 것으로 추정되었다.

P1의 경우 실습선과 탐사선의 입·출항과 매립지의 토사가 유입되어 사질토가 많이 함유되어 있는 것으로 파악되었다. P2, P3 지역은 상대적으로 육지와 떨어져있어 P1, P4에 비해 토사의 유입이 적고, 콘시스턴시 분석 결과 소성지수가 상대적으로 높게 나와 함수비의 변화에 따른 부피 변화가 크기 때문에 해양풍력발전단지 건설 시 기초 지반으로써의 적정 강도를 확보하기 위한 개량공법이 적용되어야 할 것이다. P4의 경우에는 하리항 부근이기 때문에 어선의 잦은 입·출항으로 인하여 토사가 다량 유입되었고 시료가 많이 교란되었고, 패류와 같은 유기물이 다량 함유되어 있었다.

5. 결 론

이 연구에서는 해양미고결지반에서의 해상풍력발전단지 건설 시 기초지반의 물리적 특성에 대한 영향을 규명하기 위해 부산시 영도구 동삼동에 위치한 한국해양대학교 부근 연안을 표본지역으로 선정하여 시험을 하였다. 해양미고결지반의 경우 육상과는 시료를 채취하고 물성을 분석하는 방법이 다르기 때문에 실내시험을 통해 흙의 성질을 나타내는 토질정수를 구할 수 있으며 이 연구를 통하여 적용성을 확인하였다.

향후 국내에서 해상풍력발전단지 건설을 위해서는 우선적으로 대상지반의 특성 연구가 수행되어야 하며, 해양물리환경과 연관시켜 지반특성을 평가해야 할 것이다. 또한 국내 해양의 특성 파악과 지반의 물리적 특성 이외에도 화학적·역학적 특성에 대한 영향에 대한 추가연구도 수행하여 흙의 공학적인 거동을 종합적으로 분석하는 것이 중요할 것이다.

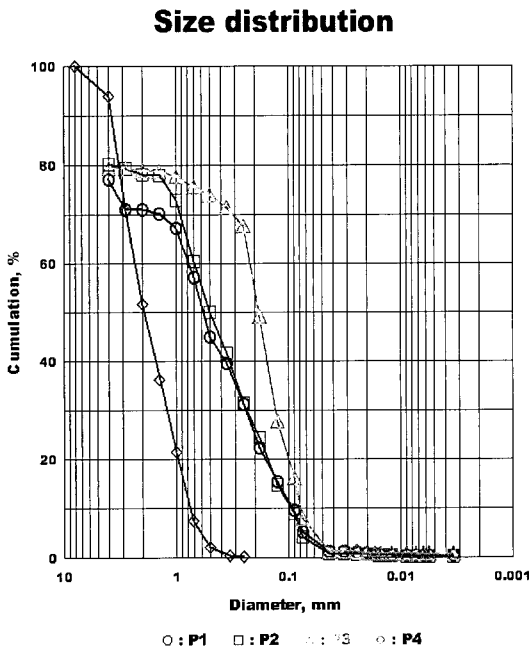


Fig. 12 The size distribution

Table 3 Result of soil test

Sample	Water content(W)	Specific gravity(G _s)	Liquid limit(W _L)	Plastic limit(W _P)	Plastic index(I _P)
P1	65.089	2.868	55.237	34.151	21.086
P2	69.737	2.857	67.258	36.451	30.807
P3	40.816	2.788	61.657	34.221	27.436
P4	55.924	2.471	57.512	24.699	17.732

후 기

“본 과제는 해양수산부 영남씨그랜트 대학사업단 지원금(YSG-RC0608)에 의해 수행되었습니다”

참고문헌

- [1] 경남호, “해상풍력발전기술”, 한국태양에너지학회, Vol. 3, No. 3, pp. 56-68, 2005.
- [2] W. Musial, W. Butterfield and B. Ram, “Energy from Offshore Wind: Preprint”, Offshore Technology Conference, 2006.
- [3] 서동일, 장원일, 신성렬, 임종세, 윤지호, “해상 풍력시스템의 기초침하에 관한 연구”, 마린엔지니어링학회, Vol. 31, No. 8, pp. 1020-1027 (ISSN 1226-9549), 2007.
- [4] E. F. DOYLE, H. P. VAN DOKKUM, C. J. W. VERMULST, D. L. ANDERSON, J. MOSSA, “Device for sampling unconsolidated soft-bottom sediments in moderately deep waters”, Journal of environmental quality, Vol. 24, No. 4, pp. 786-788(ISSN 0047-2425), 1995
- [5] M. Das Braja, Soil Mechanics Laboratory Manual(6th ed.), Oxford University Press Inc., 2002.



신성렬(辛誠烈)

1987년 서울대학교 자원공학과 졸업, 1990년 동 대학원 석사과정 졸업(공학 석사), 1994년 동 대학원 박사과정 졸업(공학박사) 주요경력 : (주)한화, 서울대학교 에너지자원신기술연구소 특별연구원, (주)쌍용건설 기술연구소 책임연구원 현, 한국해양대학교 해양개발공학부 부교수



장원일(張元一)

1977년 서울대학교 자원공학과 졸업, 1980년 동 대학원 석사과정 졸업(공학 석사), 2008년 전남대학교 대학원 박사과정 졸업(공학박사) 현, 한국해양대학교 해양개발공학부 교수



윤지호(尹志豪)

1990년 한국과학기술원(KAIST) 화학공학과 졸업, 1992년 동 대학원 석사과정 졸업(공학석사), 1996년 동 대학원 박사과정 졸업(공학박사) 주요경력 : 한전 전력연구원 선임연구원, AIST(일본) JSPS Fellow, LG화학기술연구원 차장 현, 한국해양대학교 해양개발공학부 조교수

저 자 소 개



유현중(劉賢鍾)

2007년 한국해양대학교 해양개발공학부 졸업, 현, 한국해양대학교 대학원 해양개발공학과 석사과정



임종세(林鍾世)

1991년 서울대학교 자원공학과 졸업, 1993년 동 대학원 석사과정 졸업(공학 석사), 1998년 동 대학원 박사과정 졸업(공학박사) 주요경력: 서울대학교 공학연구소 연구원, 한국과학기술연구원 연구원 현, 한국해양대학교 한국해양개발공학부 부교수