

## 실무에서의 N치 적용 및 문제점 (연약한 해성점토층의 경우)

### The Problem of using N-value to assume the displacement depth

이충호<sup>1)</sup>, Choong-Ho Lee

<sup>1)</sup> 동일기술공사 전무, Executive Managing Director, Dong Il Engineering Co. Ltd, P.E

**SYNOPSIS** : N-value is usually used to assume the displacement depth of embankment on the soft marine clay. But N-value of the soft marine clay tend to underestimate unlike overestimating of general cases. In general case, if the length of rod is more long then N-value is more large because it is under the influence of energy loss of hammer blow. So it is reasonable to correct N-value down. But in the case of soft marine clay, N-value must not be correct down. Especially to assume the displacement depth of embankment on the soft marine clay, it must be used laboratory test results or CPT, Vane Test than N-value. In this study, it is compared with two field cases that design displacement method of embankment.

**Key words** : SPT, marine clay, displacement, embankment

## 1. 서 언

일반적으로 현장에서 가장 많이 사용되는 현장시험은 표준관입시험이다. 그러나 표준관입시험은 시험 방법의 편리성에 비해 여러 가지 많은 문제점을 내포하고 있다. 본 고는 특별히 연약한 해성점토층에서 측정된 N치를 이용하여 강제치환공법을 설계하였을 경우의 문제점과 그 대책에 대하여 논의한다.

## 2. 해상조사에서의 N치 측정

### 2.1 개 요

우리나라 서해와 남해의 대부분은 연약한 해성점토층이 분포하여 있으며, 이와 같은 해성점토층의 조사에서는 육상에서의 조사와는 달리 별도의 작업대(이하 Barge)를 사용하여 조사를 실시하고 있다. 해상에서 Barge를 사용하여 N치를 측정할 경우에는 여러 가지의 불확실 요인이 존재하게 된다.

### 2.2 Barge 종류에 따른 N치의 영향

일반적으로 해상조사에서 사용하는 Barge 는 현장에서 간단하게 조립하여 사용하는 Drum Barge 와 해저면에 착지된 Leg를 이용하여 Barge를 수면위로 들어올려 작업을 실시하는 SEP (Self Elevating Pontoon) Barge 가 있다.

Drum Barge 는 신속하게 조립, 해체할 수 있는 장점은 있으나 작업대가 뗏목처럼 떠있는 상태가 되

어 조류나 파랑에 의해 항상 움직이게 되므로 육상에서와 같이 정확한 N치의 측정은 불가능하다. 따라서 Drum Barge 는 항내이거나 수심이 얇고 파도가 거의 없을 경우에 한하여 사용된다.

SEP Barge 는 Barge의 stud를 해저면에 고정시키고 몸체를 해면 위로 들어올리므로 조류나 파랑의 영향을 거의 받지 않으나 Barge 의 규모가 커서 장비의 운용에 많은 비용이 소요된다. 그러나 이제는 해상에서의 조사시에 SEP Barge를 사용하여 조류나 파랑의 영향을 배제한 N치를 측정하는 것이 필수적이라 판단된다.

일반적으로 국내에서 시추조사 작업에 사용가능한 SEP Barge 는 표1 에 나타난바와 같다.

SEP Barge 에는 조류나 파랑의 영향이 큰 항외에서 조사 및 시험이 가능한 대규모의 SEP Barge 와 비교적 정온한 항내에서 연약지반의 교란을 최대한 방지하며 시험을 실시할 수 있는 소규모의 SEP Barge 가 있으므로 조사위치 및 목적에 부합되도록 적절한 장비를 선정할 수 있도록 하여야 한다.

표1 국내 SEP Barge 현황

구 분	작업대 크기	Leg		Barge 조작	비 고
		직경	길이		
동아호	18.0x20.0x2.4	∅1000	35M	유압식	
파이오니아호	15.0x19.5x2.2	∅500	24M	유압식	
화성5호	24.0x12.0x1.7	∅800	35M	Winch Type	현재 침몰상태
거진301호	14.4x9.8x2.0	∅500	25M	Winch Type	
동아컨호	10.0x6.0x1.5	∅350	21M	유압식	
MI-75	54m <sup>2</sup>	∅320	18M	유압식	
MI-85	78m <sup>2</sup>	∅410	24M	유압식	
MI-100	120m <sup>2</sup>	∅460	36M	유압식	

### 2.3. Rod 길이의 증가에 따른 N치의 보정

일반적인 N치의 보정방법중 하나인 Rod의 길이에 대한 보정은, Rod 길이가 길어짐에 따른 해머와 Rod 중량의 불균형 및 Rod 의 변위등으로 해머의 효율이 저하되어 크게 측정된 N치를 보정하여 작은 값으로 만들어 가는 일련의 과정을 말한다.

$$N = N' \left( 1 - \frac{\text{Rod 길이}}{200} \right), \quad N: \text{보정 N치}, N': \text{실제 N치} \quad (1)$$

그러나 국내 해성점성토의 대부분이 분포하고 있는 서해와 남해안의 연약 점성토층에서는 일반적인 Rod 의 보정방법을 적용하기 곤란한 경우가 있다.

국내의 해성점성토층은 대부분의 경우 N치가 0~4 정도로 분류되는 CH 또는 CL 로 구성되어 있으며 이러한 해성점성토의 특징은 토층자체의 전단강도가 작고 예민비가 비교적 큰 상태이다.(한국건설기술연구원, 1994) 이와 같은 연약 점토층에 대한 Rod 길이의 영향은 연약지반이 아닌 경우와는 상당히 다른 경향을 보인다.

해상조사는 육상조사와는 달리 수심과 Barge 높이만큼의 Rod 가 더 길어지게 되므로 SPT Sampler 선단에 작용되는 Rod 자중의 영향을 무시할 수 없게 된다. 지반의 전단강도가 비교적 큰 토층에서와는 달리 해성점성토처럼 Rod의 자중을 부담할 수 없을 정도로 연약한 토층에서는 Rod 길이가 증가할수록 N치가 오히려 감소하는 경향을 보인다.

예를 들면 일반적으로 사용하는 Rod 의 무게는 아래의 표와 같으며 SEP Barge를 사용하여 시추조사를 실시한다고 가정할 경우, SPT Sampler 선단에 작용되는 하중은 육상에서와는 달리 수심보다 약간 긴 Rod 의 자중만큼 증가하게 된다.

표2 ROD 제품규격

제품규격	무게
국산 3m	16 ~ 18 kg
일산 3m	10 kg

SEP Barge 의 경우 통상 해면에서 3 ~ 5m 정도 떠있는 상태가 된다. 따라서 수심이 10m 이고 국산 Rod를 사용할 경우에는 약 69kg ~ 90kg 의 하중이 SPT Sampler 의 선단에 작용하는 것이 되므로 내경이 3.5cm 인 Sampler 선단에는  $6.3\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 8.2\text{kg}/\text{cm}^2$  의 하중이 더 작용하게 된다. 이 경우 지반의 전단강도가 Sampler 선단에 작용하는 하중을 지지할 수 없을 경우에는 Rod 의 자중에 의해 Sampler가 지반에 관입되어 N치가 "0"으로 나타나는 현상이 발생된다. 이 경우 지반의 N치는 실제 원지반의 N치에 비해 과소측정된다. 따라서 비교적 정확한 시험이 가능한 SEP Barge에서조차도 해상에서 연약지반의 N치를 측정할 경우에는 어쩔 수 없는 오차가 발생된다.

이와 같이 연약한 해성점성토층에서는 일반적으로 적용하는 Rod 길이에 대한 보정방법을 적용할 경우 지반의 전단강도를 오히려 과소평가하는 경우가 발생할 수 있으므로 보정방법의 적용에 신중한 검토가 필요하다.

필자의 판단으로는 조사의 여건에 따라 Rod길이에 대한 보정방법을 구분하여,

1. 육상에서 조사시 초기에 Rod 와 Sampler 의 자중을 충분히 지지할 수 있는 보통지반에서는 Rod 길이가 길어짐에 따라 타격에너지 손실이 주 요인이 되어 지반의 전단강도가 과대평가되므로 Rod 길이에 대한 보정을 실시하여 과대평가된 전단강도를 줄여야 하겠으나,
2. 해상에서 육상조사보다 자유장이 긴 Rod를 사용하여 조사할 경우 해성점성토층과 같이 지반의 전단강도가 작아 초기에 무거운 Rod 와 Sampler 의 자중을 지지할 수 없는 연약지반은 타격에너지의 손실보다는 Rod 자체의 무게가 더 큰 요인이 되어 전단강도가 과소평가되는 경향이 있으므로 Rod 길이에 대한 보정방법 자체를 바꾸어야 할 것으로 판단되며 이에 대해서는 별도의 연구가 필요할 것이다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 경남 ㄱ항 방파제 축조공사

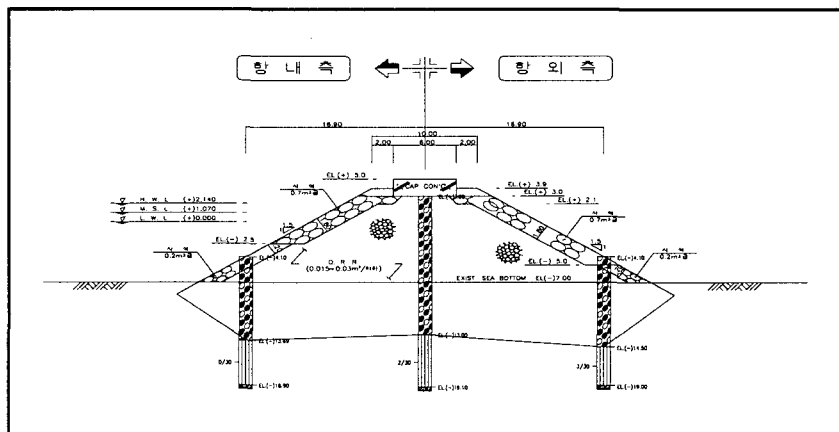


그림 1. 경남 ㄱ항 표준단면도

위의 현장은 설계시 CL 및 CH 로 분류된 해성점토층이 약 12m 의 두께로 분포하고 있었으며 10m의 깊이까지는 N치가 모두 “0”으로 린드 및 해머의 자중에 의해 Sampler가 관입되는 구간이고 11.5m 깊이 에서 N치가 “1”로 나타났다. 설계시 N치를 이용하여 지반의 강제치환 깊이를 산정한 결과 해저면 아래 12m까지 강제치환이 발생하는 것으로 설계되었다.(마산지방해양수산청, 2000)

강제치환의 발생은 임의의 깊이에서의 지지력과 작용하중을 비교하여 지지력이 작용하중보다 작으면 강제치환이 발생하는 것으로 한다.(Brand, E.W. & Brenner, R.P., 1981)

$$q_u = C \cdot N_c + \gamma' \cdot \text{연약층깊이} \quad (2)$$

$$P = P_s + P_d + P_t \quad (3)$$

여기서  $q_u$  : 지지력,  $P$  : 작용하중  
 $P_s$  : 성토하중  
 $P_d$  : 치환된 중량  
 $P_t$  : 장비중량

식 (2), (3)에 의해 강제치환량을 구해보면 아래의 표와 같다.

표3 경남 ㄱ항 강제치환 계산결과

연약층 깊이	지반 지지력 (t/m <sup>2</sup> )	작용하중 (t/m <sup>2</sup> )			비 고
		성토하중	치환중량	계	
5	4.69	15.73	1.70	17.48	치 환
10	7.50	13.42	3.40	16.82	치 환
12	7.92	11.53	4.08	15.61	치 환

그러나 시공 후 확인시추 결과에 의하면 치환깊이는 6.0 ~ 7.5m 에 불과하였다. 그리하여 미치환 점토층 에서 자연시료를 채취하고 실내시험을 실시한 결과를 N치와 비교한 결과 N치가 “0” 인 내항측에서 전 단강도가 2.1t/m<sup>2</sup>로 나타났고 N치가 “2”인 중앙부에서는 2.3t/m<sup>2</sup>로 나타나 N치와 실내시험 결과가 상이 하게 나타났다.

### 3.2 전남 ㄴ항 방파제 축조공사

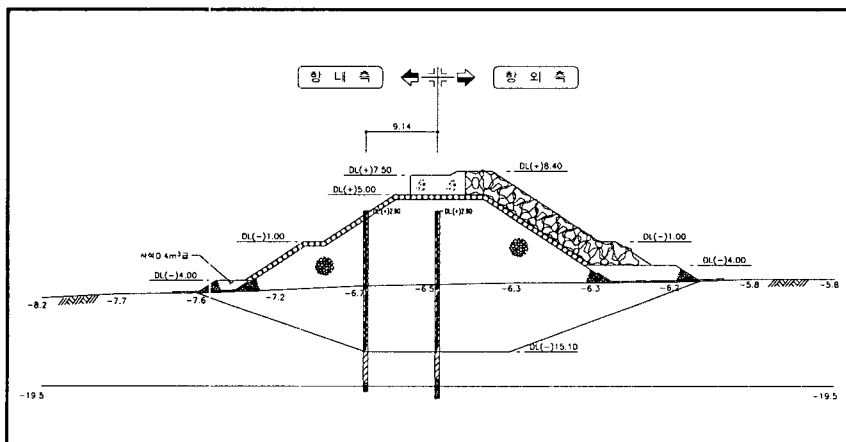


그림 2. 전남 ㄴ항 표준단면도

위의 현장은 설계당시 CH로 분류된 연약 점토층이 DL(-)19.7m 까지 약 13.5m 의 두께로 분포하는 지역으로 점토층의 N치는 전층에서 “0” 으로 확인된 지역이다.(여수항건설사무소, 2001)

N치 결과에만 의하여 지반의 강제치환 깊이를 결정해 보면 일반적인 경우 N치가 “0”인 지반은 전단강도가 없는 것으로 추정이 가능하므로 N치가 “0”인 점성토층의 바닥까지는 강제치환이 발생되어야 한다.

그러나 연약 점토층에서 채취한 자연시료에 대한 실내 역학시험 결과에 의하면 지반의 비배수 전단강도는 아래의 식과 같이 나타나 표층에서는 1t/m<sup>2</sup> 정도이고 하부로 갈수록 증가하여 연약층 종료 심도에서는 약 3.0t/m<sup>2</sup> 에 이르는 경향을 보이고 있었다.

$$S_u = 0.13 \times \text{연약층깊이} + 1.12 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (4)$$

설계시 N치를 사용하지 않고 실내시험 결과에 의거하여 강제치환 깊이를 추정한 결과 아래의 표3에서 나타난 바와같이 연약층깊이 9 ~ 10m 사이까지 강제치환이 발생하므로 약 DL(-)15.5m 까지 강제치환이 발생하는 것으로 설계되었으며, 시공종료 후 확인시추를 실시한 결과는 DL(-)15.1m 까지 강제치환이 발생된 것으로 확인되어 어느 정도 유사한 결과를 보였다.

표4 전남 ㄴ항 강제치환 계산결과

연약층 깊이	지반 지지력 (t/m <sup>2</sup> )	작용하중 (t/m <sup>2</sup> )			비 고
		성토하중	치환중량	계	
5	10.75	18.36	1.65	20.01	치 환
9	14.74	14.25	2.97	17.22	치 환
10	18.08	12.23	3.30	15.53	미치환
13.5	19.23	10.12	4.46	14.58	미치환

따라서 3.1의 사례에서와 같이 연약한 해상점성토층에 대한 강제치환량을 추정할 때, N치에 의존할 경우에는 강제치환량이 과다하게 계산되어 실제 시공시 예측했던 깊이만큼 치환이 이루어지지 않는 경향이 있다.

만일 호안에서 이러한 현상이 발생되었다면 시공직후 호안의 자체 안정성은 확보되더라도 추후 후면이 매립되는 경우에는 활동파괴면이 호안 하부에 남아있는 미치환층을 통과하여 파괴가 일어날 수 있다. 반면에 3.2의 사례와 같이 실내시험 결과에 의하여 설계를 실시할 경우 약간의 오차는 발생할 수 있으나 시공결과와 유사한 경향을 보였다.

이상과 같이 여러 해상 현장에서 측정된 확인시추결과 N치는 실내시험결과와 다른 결과를 보이는 경우가 많으며, 그와 같은 차이를 보이는 이유는 시험 여건의 문제나 시험원의 숙련도, Rod 의 수직도 및 길이의 영향등 여러 가지 이유를 들 수 있다.

따라서 해상점토층에 대한 강제치환공법을 설계하는 경우에는 표준관입시험결과를 이용하기보다는 실내시험결과를 이용하여 강제치환 깊이를 추정하여야 하겠다.

#### 4. 결론

표준관입시험은 저렴한 비용으로 비교적 간단히 지반의 제반 물성치를 추정할 수 있는 시험으로 현재 지반조사시 일반적으로 시행되는 시험이다. 그러나 표준관입시험, 특히 연약지반에 대한 해상에서의 표준관입시험은 시험의 간편함에 비해 여러 가지 많은 불확실 요인을 내포하고 있으므로 현장에서 조사된 N치를 설계에 그대로 적용하는 것은 곤란할 것으로 판단된다.

따라서 이와 같이 많은 불확실성을 극복할 수 있는 방법은 시험방법 및 장비에 대한 상세한 규격화, 교육 등을 통한 시험원의 자질향상, 실내시험 결과와의 비교 분석을 통한 국내 지반에 대한 N치와 물성치 사이의 관계파악 등 여러 가지 방법이 있을 수 있으며 계속 연구되어야 할 문제이다.

현실적으로는 여러 현장에서의 자료를 토대로 N치와 실내시험 결과와의 상관성을 파악하고 시공결과와의 피드백을 통한 분석작업을 거쳐 N치와 제반 물성치들의 상관관계의 자료를 수집하는 일련의 작업이 필수적일 것이지만 N치를 활용하기보다는 조사비용의 현실화를 통해 콘관입시험(CPT or CPTU)이나 베인테스트와 같이 점성토에 부합하는 현장시험을 실시하여 그 결과를 적용하는 것이 최선의 방안이라 판단된다.

## 참고문헌

- 1) ㄱ항 사석침하량 확인 지반조사 보고서, 마산지방해양수산청, 2000.12.
- 2) ㄴ항 방파제 축조공사 지반조사 보고서, 여수지방해양수산청 여수항건설사무소, 2001.9
- 3) 한국건설기술연구원(1994), 국내 해안연약지반의 공학적 특성 평가
- 4) Brand, E.W. & Brenner, R.P.(1981), Method of improving the engineering properties of soft clay, Soft Clay engineering