

Fall Cone Test의 일점법을 이용한 액성한계 추정

Estimation of Liquid Limit by a Single-point Method of Fall Cone Test

손영환^{*}·장병욱·원정윤·김성필(서울대)

Son, Young Hwan · Chang, Pyoung Wuck · Won, Jung Yun · Kim, Seong Pil

Abstract

The liquid limit(LL) test is universally used as a standard test for determining one of the index properties of a clay. There are two methods of determining the LL, Casagrande method and cone penetration method that is fall cone test. The interpretation of the Casagrande method of obtaining the LL is not obvious, but it has been suggested that the fall cone test is essentially a strength test and that the LL test simply ascertains the moisture content at which a clay has a certain standard undrained shear strength. This paper presents a determination of the LL by a single-point method. Results obtained from fall cone that is general method and a single-point method are analyzed by comparison.

I. 서론

흙의 연경도(consistency)에서 액성한계를 결정하는 방법은 주로 두 가지 방법을 사용하고 있다. 하나는 국내에서 널리 쓰이고 있는 Casagrande(1932)가 제안한 percussion method이고 최근 많이 사용하는 Fall cone test가 그것이다. Hansbo(1957)가 제안한 Fall cone test는 유럽에서 많이 사용되고 있으며, cone의 선단각과 무게에 의해 여러 가지가 제안되어 있다. 주로 사용되는 방법은 영국식과 스웨덴식이며 선단각, 무게가 각각 다르며, 액성한계를 규정하는 관입깊이가 다르다. 한편, 기존의 Fall cone test는 시료에 따라 3개 이상의 관입량이 필요하며, 이를 사용하여 규정된 관입량에서의 액성한계를 구한다. 최근 이를 보다 간편하게 하기 위하여 캐나다에서 1개의 관입량으로 액성한계를 구하는 식이 제안되었다. 본 논문에서는 여러 개의 관입량을 이용하여 구한 액성한계와 1개의 관입량을 이용하여 구한 액성한계의 상관성을 확인하고자 한다. 또한, 자연함수비와의 관계, 관입량과의 관계, clay fraction($<2\mu\text{m}$)와의 관계를 확인하고자 한다.

II. 재료 및 시험방법

가. 재료

본 연구에서 사용한 재료는 전남 진도에서 채취한 흙을 사용하였다. 통일분류법에 의하면 대부분의 재료는 MH였으며, ML, CH, CL로 나타났다. 그 물리적 특성은 Table 1과 같으며, 자연함수비의 범위는 31.9~126.6%, 비중은 2.699~2.729, 200번체 통과량은 93.82~100.0%였다.

$2\mu\text{m}$ 통과율인 점토의 양은 21.9~59.0%의 범위로 나타났다.

Table 1 Physical properties of soils

No.	Wn (%)	Gs	LL (G.M*)	LL (S.M**)	U.S.C.S	Grain size distribution(%)	
						No.200	0.002mm
1	37.4~126.6	2.699~2.729	51.1~106.3	49.3~107.8	MH	98.15~100.0	21.9~59.0
2	31.9~54.0	2.708~2.717	35.7~49.7	35.2~50.0	ML	93.82~99.11	21.9~31.2
3	43.8	2.713	59.4	55.2	CH	99.56	35.40
4	39.4~50.5	2.703	35.1~47.7	33.9~48.1	CL	99.24~99.88	26.9~27.1

* : General fall cone test에 의해 구해진 액성한계

** : Single-point method에 의해 구해진 액성한계

나. 시험방법

본 연구에 사용한 fall cone은 스웨덴 식이며, 콘의 선단각은 60° 이며, 축을 포함한 무게가 60g이다. 시료를 혼합하여 공극이 생기지 않도록 용기에 담은 후 콘의 선단과 시료의 상부 표면이 일치하도록 고정시킨다. Gauge의 초기값을 기록한 후 관입시킨 다음 약 5초가 경과 후 다시 gauge의 값을 읽어 관입량을 계산한다.

스웨덴식 fall cone test의 경우 측정 수는 3개 이상이므로 본 연구에서는 각 시료에 대하여 4번의 fall coneet test를 실시하였다. 처음 test를 시행 후 증류수를 첨가하여 함수비를 증가시키면서 시험을 반복, 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

가. 상관성

각 시료에 대하여 일반적인 fall cone test를 이용하여 구한 액성한계와 일점법(single-point method)에 의해 구해진 액성한계의 상관성을 살펴보았다.

Fig. 1에서와 같이 측정 수 4개를 이용하여 구한 액성한계와 아래 식과 식에서 제안한 범위 안에 있는 하나의 관입량을 이용하여 구한 액성한계의 상관도는 0.9934로 상당히 높은 것으로 나타났다.

일점법을 적용하기 위한 식은 아래와 같으며 이때 적용되는 관입량의 범위는 8~12mm로 제안되어 있다.

$$LL(\%) = \frac{20(\omega - 15)}{P + 10} + 15$$

여기서, P : 관입량(mm) (선단각 60° , 무게 60g)

ω : P만큼 관입될 때의 함수비

Fig. 2는 일점법을 사용한 액성한계 추정시에 적용한 관입량을 도시한 것이다. 추정시 기존의 경험식에서 제안한 범위를 만족시키지 못하는 관입량 8mm 이하와 12mm 이상의 값은 배제하였으며, 추정에 사용한 대부분의 관입량은 9.0~11.0mm 범위에서의 함수비를 적용하여 액성한계를 구하였다.

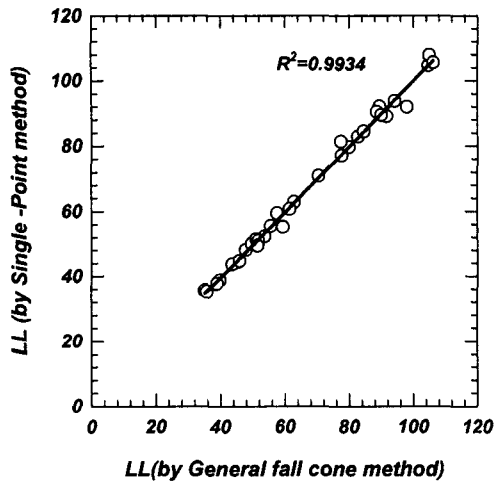


Fig. 1. Relationship between the Single-point method and General method

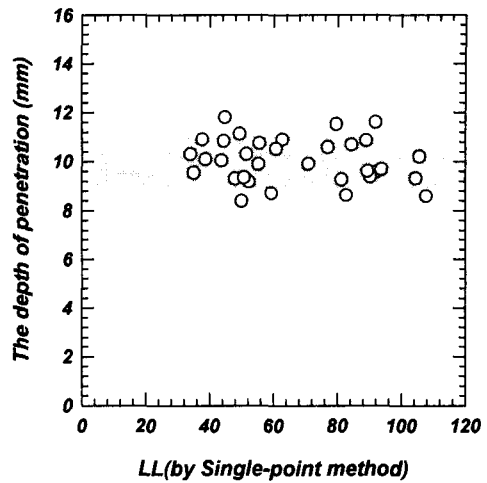


Fig. 2. Relationship between the LL and the depth of penetration

나. 자연함수비, 관입량, Clay fraction($<2\mu\text{m}$)와 오차

측점 수 4개를 이용하여 구한 액성한계와 일점법에 의해 구해진 액성한계의 오차(측점 수 4개를 이용하여 구한 액성한계를 기준)와 33개 시료의 물성시험에서 구한 자연함수비, 관입량 그리고 Clay fraction($<2\mu\text{m}$)와의 관계를 살펴보았다.

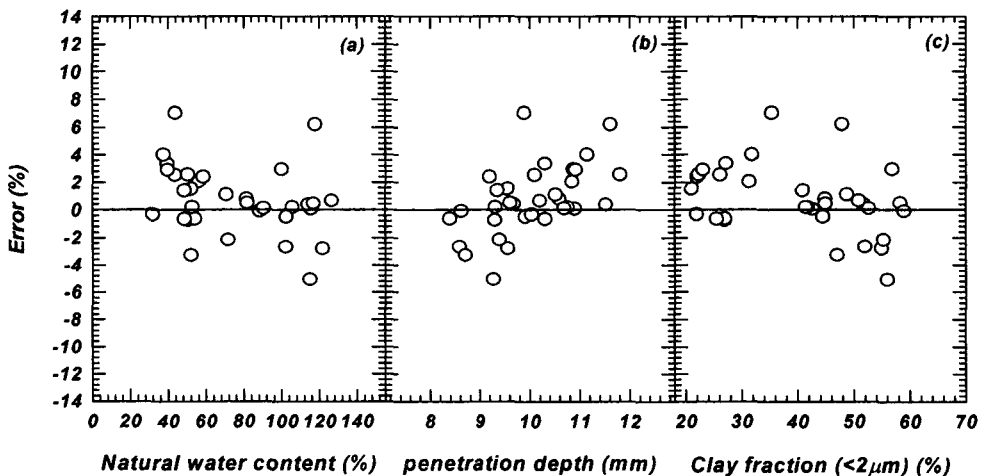


Fig. 3. Relationship between the Error and (a) Natural water content, (b) The depth of penetration, (c) Clay fraction($<2\mu\text{m}$)

Fig. 3.(a)와 같이 자연함수비의 범위가 75~110% 범위 내에서의 오차가 적었으나, 50% 미만과 110% 이상의 함수비에서는 상대적으로 오차가 크게 나타났다. Fig. 3.(b)와 같이 관입량의 범위는 9.5~11.0mm의 범위에서 오차가 적었으나, 9.0mm 이하와 12.0mm 이상에서는 상대적으로 오차가 큰 것으로 나타났다. Fig. 3.(c)와 같이 clay(2 μ m)의 함유량이 40~50%의 범위에서 오차가 적었으며, 40%미만과 50% 이상에서는 상대적으로 오차가 큰 것으로 나타났다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 fall cone test의 일점법을 통하여 기존 3개 이상의 측정 수를 통하여 구한 액성한계의 값과 비교해 보았다. 토질과 함수비 등에 따른 특성을 비교·분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 일반적으로 사용되는 fall cone test를 이용하여 구한 액성한계와 일점법을 이용하여 구한 액성한계의 상관도는 높은 것으로 나타났다.
이 때 일점법을 적용하기 위한 관입량의 범위는 8~12mm로 제한하여 적용하였다.
2. 일점법으로 구한 액성한계와 측정 수 4개를 이용하여 구한 액성한계를 기준으로 한 오차의 분포를 살펴본 결과 자연함수비는 75~125%의 고퇴수비에서 오차가 적었으며, 관입량은 9.5~11.0mm에서 오차가 적었다. 또한, clay의 함유량이 40~50% 범위에서 오차가 적은 것으로 나타났다.
3. 본 연구에 사용된 시료의 종류에 따른 trend는 나타나지 않았다.
4. 일점법의 적용은 관입량의 제한범위내에서 사용이 가능할 것으로 판단되며, 고퇴수비의 점토질 흙에서 활용이 가능할 것으로 판단된다. 특히 관입량의 범위가 9.0~11.0mm의 범위일 경우 측정 수 4개를 이용하여 구한 액성한계와 거의 일치하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Leroueil, S. and Le Bihan, J. P. 1996. Liquid limits and fall cones. Canadian Geotechnical Journal, Vol.33. pp 793-798
2. Sridharan, A. and Prakash, K. 1998. Liquid limits and fall cones:Discussion¹. Canadian Geotechnical Journal, Vol.35. pp 407-408
3. Wood, D. M. 1985. Some fall-cone tests. Geotechnique, Vol.35, No.1, pp 64-68