

液性限界試驗의 標準法과 一點法과의 比較研究

A Study on the General and One Point Method of Tert for Liquid Limit Procedure

金 周 範*
Joo Bum Kim

Summary

Although standard method of test for liquid limit procedure is issued under the fixed designation KSF-2303 in 1968, for both of general method and on point method, the latter of which is not still favorably used among laboratory engineers with its deficiency of adequate informations.

This study intended as to furnish proper information to the laboratory engineers for the use of one point liquid limit test with its full advantages of time-saving and labor-saving. further more, the following conversion formula to the one point method VS. general method is presented by the results of analytical study on 1017 Soil sampls existing liquid limit test data

The formula is;

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.118}$$

The conversion factor (table-4) is also attached for the convenience of the users.

I. 서 언

액성한계시험은 한국 공업규격 K S F 2303 으로 제정고시(告示)되어 있으나 이중에서 일점법에 쓰이는 환산계수는 미국 A S T M D-423-66 을 그대로 옮기어 현재 실용하고 있는 실정이다.

실제 실험에서 표준법인 액성한계 시험은 상당히 어렵고 숙련을 요하며 시료 취급오차나 개인의 시험오차

도 무시할 수 없는것으로 이를 간단히 하기 위하여 A. Casagrande 가 일점법을 고안한 것으로서 “지질학적 성인이 같은 흙의 액성한계 시험에서는 함수비와 그에 대응하는 타격수(N)는 양 대수방안과표 상에서 일정한 경사를 갖는 직선이 된다.”는 이론에 근거를 두고 있다. 1949년 이후 주로 미국, 영국, 캐나다 및 일본 등지에서 실용되고 있다. 우리나라에서는 일점법이 KSF 2303으로 제정고시되어 있으나 아직 이의 검토를 위한 연구보고는 없는것으로 알고있다. 본 연구는 지질학적 성인이 동일한 일점 지역이 아닌 우리나라 전역에 걸쳐 약 3년간 시험한 1017점 시료에 대한 시험을 대상으로 한 것이며 우리나라 흙에 합당한 일점식 액성한계시험의 유도식을 만드려 쓰고저 하는데에 주안(主眼)한 것이다. 그럼으로 시험에 사용한 흙의 성원은 각종 모암의 풍화잔적토(residual soil), 하성퇴적토(sedimentary soil) 및 해상퇴적토(marine deposit soil)에 극하며 채취심도는 0~30m 범위에 달한다. 사용한 흙의 분류(통일분류)는 CL, ML, SC, SM, CH, MH 의 여섯가지로 대별할 수 있으며 이들 분류의 시료는 1017점중 14 점에 불과하며 이중 CL-ML 와 GC 가 12점으로 이는 CL 분류에 포함하였고 기타분류로는 SP, 1 점과 SW, 1 점이 었다.

II. 연구사

액성한계 일점결정법이라 불리우는 시험방법은 1949년 A. Casagrande 의 제안에 따라 고안된 이래 W. J. Eden⁶⁾, L. E. J. Norman⁴⁾ 등이 일점법 이용과 결정에 대하여 발표하였고 일본에서는 토질공학회에서 발행한 “土質試驗法”⁵⁾에 표준법과 더불어 일점법

* 農業振興公社 農工試驗所

시험에 대하여 상세히 기술하였으며 藤本広²⁾의 “액성한계 일점 결정법을 위한 실험식”과 横瀬広司⁴⁾의 “액성한계의 일점식 결정법에 대하여”등 연구보고가 있으며 ASTM¹⁾과 KSF³⁾에서는 실험식을 규정하여

실용에 공하고 있다. 위의 각종 연구 및 시험기록에서 실험식 $W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{\tan \beta}$ 은 $\tan \beta$ 의 값이 0.081에서 0.12까지 사이에서 다양하게 변하고 있음을 볼 수 있으며 이들의 변화를 종합하여 보면 다음과 같다.

제안자	소속	연도	제안식	N의범위	비고
W. E. S.		1949	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$	20~31	
J. H. Cooper & K. A. Johnson	Washington State Hight Way Dept.	1950		17~36	도표로 작성
F. R. Olmstead & C. M. Johnston	Bureau of Public Roads	1954	$W_L = \frac{W}{1.419 - 0.3 \log N}$	22~28	
W. J. Eden	National Research Council of Canada	1955	W. E. S 식에서 $\tan \beta = 0.100$	15~35	
AASHO		1957	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$	±5% 정도에서 15~40 정확히는 22~28	
L. E. J. Norman		1959	$W_L = \frac{W}{1.388 - 0.277 \log N}$ $W_L = W \left(\frac{N}{35} \right)^{0.092}$	L. L. < 50, 17~25 50 < L. L. < 120 20~30	주로 영국 흙에 대한 것임.
H. Y. Fang	AASHO Road Test	1959	$W_L = W + I_f \log \frac{N}{25}$	17~36	
ASTM		1961	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$	20~30	
BS		1961	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.092}$	15~35	
藤本 広	宮崎大學	1964	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.081}$		宮崎縣內 路床土 105개 中火山灰土半, 冲積土半
横瀬 広司	香川大學	1966	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.080}$	15~35	徳島縣下の 冲積土
김주범	농업진흥공사	1973	$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.118}$	20~30 (15~35)	한국내 모든 흙에 적용됨.

定富六郎⁷⁾에 의하면 액성한계 시험은 개인차, 시료의 조건, 취급 및 주수방법등에 의하여 그 값의차는 8%에서 무려 20%에 까지 이룬다고 보고 되어 있는 바 이에 비하면 상기 계수치의 차는 근소하며 이들은 각기 그 나라 흙의 특성에 의한 $\tan \beta$ 값임으로 오차라고는 할수 없다고 보겠다.

기초지반흙은 구조물 설치에서 문제시 되고있는 연약토층의 흙이 대부분을 차지하고 있으며 토공재료에서도 사용목적에 따라서 다양한 흙에 응하였으며 그 내역은 다음과 같다.

Ⅲ. 시험재료 및 방법

1. 사용시료의 종류와 빈도

시험에 사용한 흙은 농업토목 구조물의 토공 재료로서 선정된 흙과 구조물의 기초지반을 형성하고 있는 흙으로 대별할 수 있다.

표-1 흙분류의 발생 빈도

시료의 종류	CL	ML	SC	SM	CH	MH	기타	비고
시험 점수	369	180	114	118	149	55	14	기타는 CL-ML
율(%)	36.9	18.1	11.4	11.8	15.5	5.5	1.4	SP, SW 임

표-1에서 흙의 분류 CL이 가장 많은 것은 댐의 코아용 재료의 시험이 가장 많았든 까닭이며 ML, SC, SM, 는 주로 댐의 포트용 재료로서 시험된 것

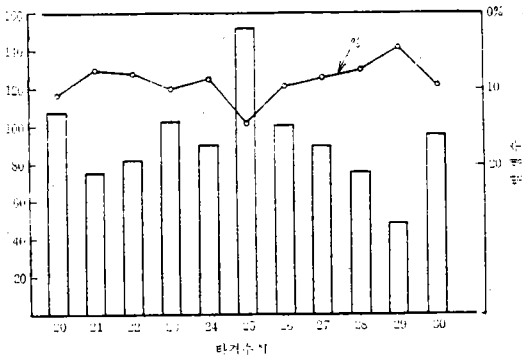


그림 1. 타격수의 발생 빈도 (총괄)

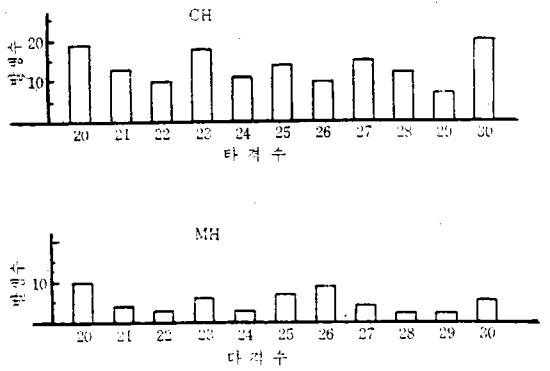


그림 2. 타격수의 발생 빈도 (분류별)

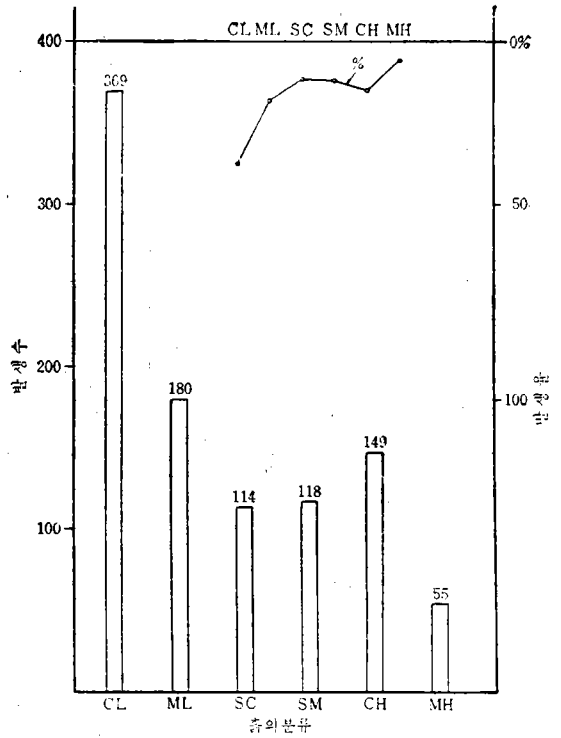
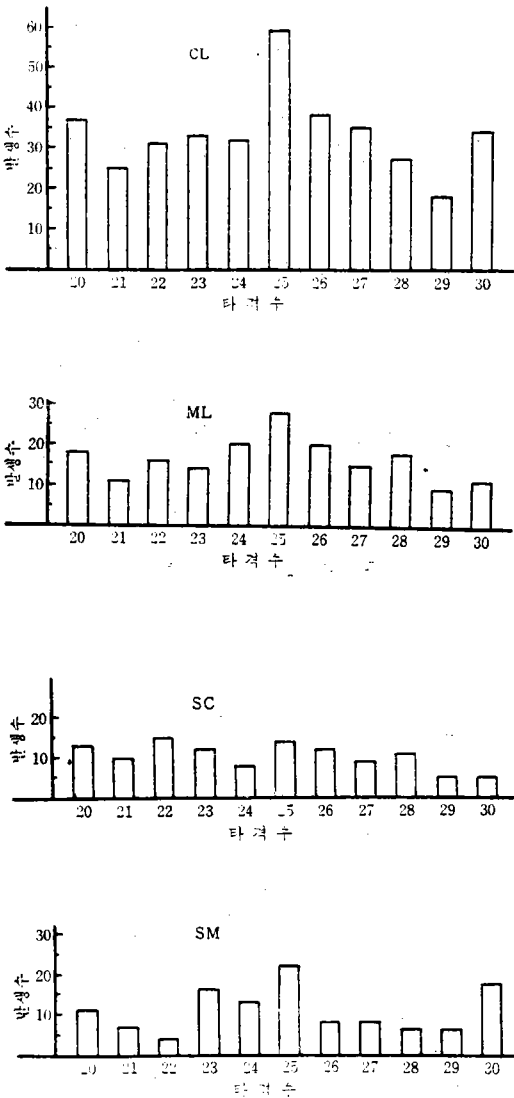


그림 3. 흙 분류의 발생 빈도

이다. CH, MH의 흙의 수가 적지 않은 것은 근래에 와서 저습지와 해안 및 하안 연안 개발이 활발히 진행되어 이러한 경우에 연약지반에서의 구조물설치를 위한 지반 지지력조사가 빈번하여 이곳에서 얻어진 불교란시료가 대부분이었다. (그림 1, 2, 및 3 참조)

2. 시험방법 및 일점법의 설명

본 연구에 자료로 사용한 액성한계 시험은 한국공업규격 KSF 2303에 준하여 실시된 것이다. 액성한계 시험은 40번체를 통과한 흙시료에 함수량을 몇단계로 변화하여 각 함수량 단계에서 규정된 유동상태로 되는데 소요된 타격수 N 를 반 대수좌표에 그린 유동곡선에서 25회 타격에 해당하는 함수비를 액

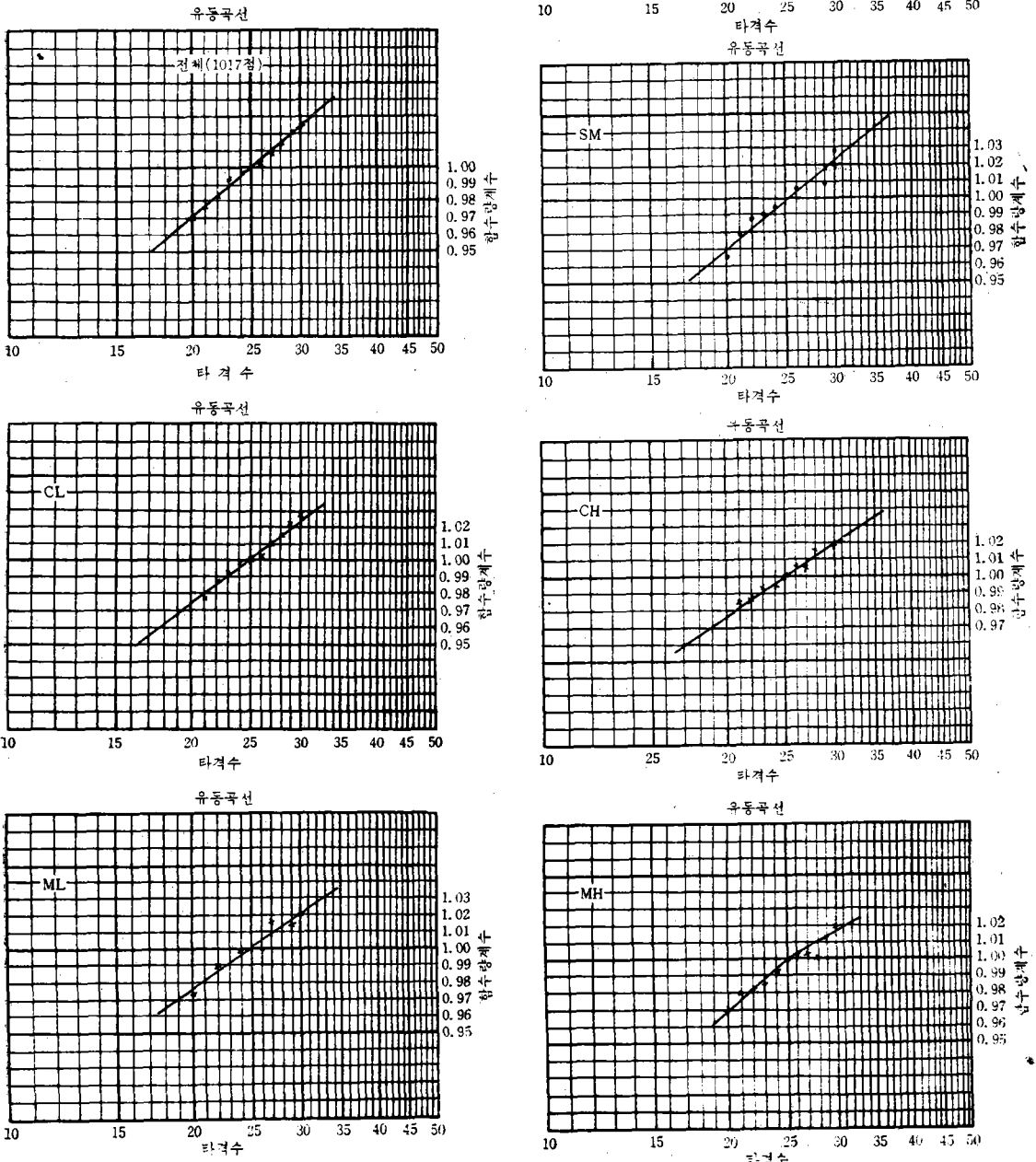


그림 4. 타격수와 함수량과의 관계

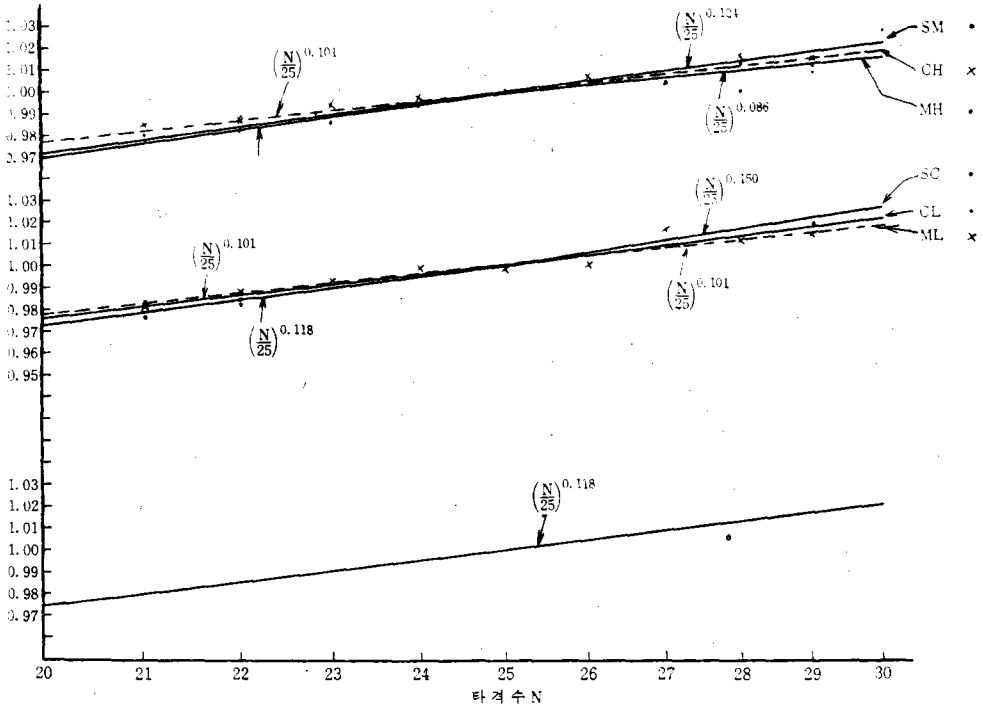


그림 5. 타격수 N과 L.L 비율과의 관계

성한계로 정의한 것이다.

이 함수비 W와 타격수 N의 관계는 그림 4와 같이 반 대수 방안과표상에서 직선이 되며 그림 5의 양 대수방안과표 상에서도 역시 직선이 된다.

유동곡선의 경사 $\tan \beta$ 는 임의의 함수비에 대응하는 타격수 N와 액성한계 함수비에 대응하는 타격수 $N=25$ 와의 관계에서 다음과 같은 식으로 구할수 있다.

$$\tan \beta = \frac{\log W_L - \log W_x}{\log N - \log 25}$$

이 식을 정리하면

$$W_L = W_x + I_f \log \frac{N}{25}$$

여기서

$$I_f = \frac{-\Delta \omega}{\Sigma \log_{10} N} = -\frac{d\omega}{\Delta(\log_{10} N)}$$

로 이것이 유동곡선의 경사를 나타낸다.

표-2

타격수와 액성한계에 대한비 (계수)

처리구분		N	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	비	고
총	괄		0.973	0.981	0.987	0.994	0.998	1.000	1.004	1.010	1.015	1.021	1.027		
분	CL		0.969	0.976	0.982	0.993	0.996	1.000	1.002	1.008	1.014	1.020	1.024		
	ML		0.975	0.981	0.988	0.992	0.999	1.000	1.001	1.017	1.012	1.015	1.022		
류	SC		0.975	0.983	0.984	0.992	1.005	1.000	1.001	1.011	1.017	1.019	1.035		
	SM		0.966	0.978	0.988	0.991	0.995	1.000	1.005	1.009	1.013	1.009	1.028		
별	CH		0.976	0.985	0.986	0.993	0.996	1.000	1.006	1.005	1.015	1.015	1.019		
	MH		0.969	0.979	0.982	0.985	0.993	1.000	1.003	1.003	1.000	1.012	1.019		

IV. 시험결과 및 고찰

1. 실험식 산정

실험식산정의 자료로는 1017점의 표준 액성한계 시험결과를 사용하였으며 액성한계 $N=25$ 를 1로 하여 이를 기준으로 25회 이하에서 20회까지의 타격과 25회 이상에서 30회까지의 타격때의 각각의 함수비를 계수로 산정하여 이들을 타격수별로 모아 산출

표-3

tanβ의 값

구분	처리	총괄	분류별					비고
			CL	ML	SC	SM	CH	
tan	0.118	0.118	0.101	N=25-30	0.124	0.101	N=25-30	$(\frac{N}{20})\tan\beta$
				0.150			0.086	
				N=20-25			0.124	

표-4

타격수에 대한 수정 계수

처리구분	N	25	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	비고
		총괄	CL	ML	SC	SM	CH	MH					
총괄		0.975	0.980	0.986	0.991	0.996	1.000	1.005	1.009	1.014	1.018	1.022	
분류	CL	0.973	0.978	0.984	0.989	0.995	1.000	1.005	1.009	1.014	1.018	1.022	
	ML	0.978	0.983	0.987	0.992	0.996	1.000	1.004	1.008	1.012	1.016	1.019	
별	SC	0.976	0.981	0.986	0.991	0.995	1.000	1.006	1.012	1.016	1.023	1.028	
	SM	0.972	0.978	0.985	0.989	0.994	1.000	1.004	1.009	1.014	1.018	1.023	
별	CH	0.977	0.982	0.986	0.991	0.995	1.000	1.003	1.008	1.012	1.015	1.019	
	MH	0.970	0.976	0.982	0.987	0.994	1.000	1.003	1.006	1.010	1.013	1.016	

평균으로 평균치를 계산하였다. 이 평균치는 1017점의 시료를 전체적으로 다루었을때 (총괄처리)의 것과 분류별로 다루었을때 (분류별처리)의 것으로 구분하였으며 그 내용은 다음과 같다.

여기서 N=25의 함수비를 1로 취한것은 액성한계가 25회 타격의 함수비로 정의되기 때문이다.

총괄처리 및 분류별처리의 tanβ곡선식(양대수 방안 좌표상)을 계산한 결과는 다음 표-3 과 같다.

※ SC와 MH는 N=25를 변곡점으로 좌우의 곡선 구배가 각기 다르게 나타났다.

2. 표준시험과 알립법과의 비교

표-4에서 보면 타격수 25회때의 함수비를 1로 하였을때 20회 타격때와 30회 타격때의 함수비의 차를 보면 전체적인 수치에서 20회 타격에서 2.5%, 30회 타격에서 2.2%로 ±2.2% 범위이내에 들며 흙의 분류별 수치에서는 20회 타격시 최대 3%, 30회 타격에서 최대 2.8%로 ±3%의 차이만을 보여준다. 이는 전기한 安富六郎의 1966년 발표 논문중 "액성한계의 시험방법에 의한 시험치의 차이"에서 동일시료에 있어서도 생토(生土)와 풍건토(風乾土) 또는 이 개는 정도에 따라 시험치에 8~20%의 차가 나타났다고 하는 기록에 비하면 상당히 적은 차라 할수 있다. 그러므로 타격수 20~30사이에서는 엄밀한 시험이 아닌 경우에는 일점법을 그대로 사용하여도 무방할 것이라 여겨진다.

또 시험 시료가 많이 있을 경우에는 일점법 시험으로 처리하여도 상당한 정밀도를 갖을 수 있다는 것이 본 분석결과로도 확인되었다. 藤本 廣의 보고에 의하면 105점의 시초로 분석한 결과 일점법시험의 오차는 최대 1.9%라고 하였다.

3. 실험식의 비교

외국의 많은 실험식의 예와 본 연구결과 얻은 실험식을 비교하면 다음과 같다.

- 1) Waterwy Experiment Station 식 (ASTM, AASHO에서 채용)

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

- 2) National Research Council of Canada (by W. J. Eden) 식

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.108}$$

- 3) British Standard (by. L. E. J. Norman)

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.093}$$

- 4) 후지모도 식

(ㄱ) 전기시료에 대하여

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.098}$$

(ㄴ) 유기질 화산회토

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.097}$$

(ㄷ) 총적층토

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.081}$$

3) 필자의 식

ㄱ) 전체 시료에 대하여 (1, 017점)

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.118}$$

ㄴ) CL 시료에 대하여

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.118}$$

ㄷ) ML 시료에 대하여

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.101}$$

ㄹ) SC 시료에 대하여

(i) $N=25 \sim 30$ 에서

$$W_L \sim W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.15}$$

(ii) $N=20 \sim 25$ 에서

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.101}$$

ㅁ) SM 시료에 대하여

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.124}$$

ㅂ) CH 시료에 대하여

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.101}$$

ㅅ) MH 시료에 대하여

i) $N=25 \sim 30$ 에서

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.086}$$

ii) $N=20 \sim 25$ 에서

$$W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.124}$$

위의 식은 전체적으로 미국 ASTM에서 채용한 식이 근사하다.

여기서 藤本廣의 (ㄴ)과 필자의 (ㄷ), (ㄹ)과는 근사하다. (ㅂ), (ㅅ)에 사용한 시료의 대부분이 유기질흙에 속하는 것으로 생산지는 하성 내지 해성 층적층이다.

V. 결 론

액성한계시험의 일점법은 한국공업규격으로 제정 고시되어 있으나 아직 널리 사용되고 있지않은 것은 등 효과에 대한 보급이 불충분한데 있는것으로 생각한다. 현재 외국에서는 각자의 합당한 일점법 실용식을 만들어 실용하고 있다.

본연구는 액성한계시험 일점법의 실용화를 위한 분석검토이다. 본 분석의 액성한계시험 타격수의 범위는 20회에서 30회로 하였으며 여기서 실험식 $W_L = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.118}$ 을 유도하였다.

앞으로는 액성한계시험의 작업량을 간소화 하고 노력을 절감하기 위하여 일점법시험을 널리 활용하는 것이 좋겠다.

여기 흙의 분류별 수정계수도 별도 산정하여 첨가하였다. (표-4 참조)

인용문헌

- 1) ASTM: Standard Method of Test for LIQUID LIMIT OF SOILS (D423-66 p. 225)
- 2) 藤本廣: 液性限界 一點決定法のなぬの實驗式. "土と基礎" 1964. 9
- 3) 한국공업규격: 흙의 액성한계 시험방법 (KSF 230)
- 4) L. E. J. Norman: The One-point Method of Determining the Value of the L. L of a soils Géotechnique, Vol. 9. No. 1. 1959.
- 5) 土質試驗法: 土質工學會發行
- 6) W. J. Eden: Use of a one Point Liquid Limit Procedure, ASTM, "Papers on soils" 1959
- 7) 安富六郎: アツターベルガ 試驗方法による値のバラッキについて.
- 8) 横瀬廣司: 液性限界の一點式決定法について"土と基礎" 1966. 6