

시험방법에 따른 액성한계치의 비교 연구 A Comparative Study on Liquid Limit Value

장정욱¹⁾, Jang-Jeong Wook, 박춘식²⁾, Park-Choon Sik, 하주화³⁾, Ha-Joo Hwa,

¹⁾국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

²⁾국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 부교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

³⁾국립 창원대학교 공과대학 토목공학과 석사과정, Graduate Student of Civil Engineering, of Changwon National Univ.

개요(SYNOPSIS) : This study, Using Pusan clay, examined a relationship between Dynamic and Static Liquid Tests. The Static Liquid Tests were carried out based on BS and JIS. The results of the study are summarized as follows.

(1) The result of the Dynamic Liquid Limit Test showed that the liquid limit values of air-dried soil were greater than those of oven-dried soil by 4%~15%

(2) The liquid limit value of the Static Liquid Limit Test was greater than that of the Dynamic Liquid Limit Test by 2%~9%. The following equations show the relationship between the two values

$$WL, Fall(JIS) = 0.961 \cdot WL, Cas. + 4.209$$

$$WL, Fall(BS) = 0.969 \cdot WL, Cas + 5.024$$

(3) The liquid limit value of BS was greater than that of JIS by 1%~6%. The following equation shows the relationship between the two values.

주요어(Key words) : Liquid Limit Tests, Fall Cone Test, Liquid Limit

1. 서론

실트 입자나 점토입자를 많이 함유한 세립토는 함수량에 따라 액체에서 고체까지 그 상태가 변화된다. 비벼진 세립토의 함수비를 인위적으로 변화시키는 경우 함수비가 매우 높으면 연질로 유동화가 생기는 액체가 되고, 함수비를 저하시켜 힘을 가하면 변형하지만 힘을 제거하면 변형이 잔류하는 소성체가 된다. 이와 같은 각 상태의 변이점을 Atterberg는 함수비로 나타내고, 제각기 액성한계, 소성한계, 수축한계로 정의했다. 여기서 액성한계는 흙이 액체에서 소성상태로 이동하는 경계의 함수비를 의미하며, 일반적으로 다량의 수분을 함유한 흙이 소성체로서 최소의 전단강도를 나타내는 함수비이다.

액성한계를 구하는 시험방법은 충실히 구체화되어 있다고 말하기는 어렵고 그 결점이 많이 지적되고

있다. 즉, 액성한계는 함수비 변화에 수반하는 흙의 상태이며, 어느 정도의 전단강도를 나타내는 사항이라고 여기며 배인시험, 점성저항시험, 콘시험 등에서 구하는 것이 적절하다는 지적이 있다. 특히 정적인 상태의 액성한계를 동적인 시험방법에 의해 구하려고 하는 점에 무리가 있는 지적도 있다. 때문에 이를 대신하는 액성시험 방법으로 폴콘시험을 생각 할 수 있다.

폴콘시험은 1910년대 스웨덴에서 연질 흙의 전단저항을 콘의 관입시험에서 구한 것이 시초이며 스웨덴 국철의 토질위원회가 컨시스턴시를 구하기 위해 폴콘의 시험방법을 검토하고, 10mm 관입에 필요한 콘의 질량을 strength number로서 예민비를 구했다. 그 후 선단각 60° , 질량 60g의 콘이 자유낙하에 의해 10mm 관입 될 때의 함수비를 파이네스 넘버로 하고, 이것이 거의 액성한계와 대응하는 것을 알고, 액성한계의 측정방법으로 사용하게 되었다. 1950~1970년에 각국에서 액성한계와의 대응뿐만 아니라 소성한계나 강도 등과의 관계에 대해 활발히 연구가 진행되었다. 그러나 아직 국제적으로 통일되어진 기준은 없고 각 나라마다 조금씩 시험방법을 달리하고 있는 실정이다. 이는 콘 관입 시험법의 기준 설정에 사용되어진 시료가 각 나라마다 다르기 때문이라 여겨진다. 그러나 국내에서는 아직까지 정적 액성한계 시험법인 Cone 관입법에 대한 연구가 미흡한 실정이며 시험 규정 또한 제정되어져 있지 못한 상태이다. 따라서 우리 나라의 토질특성에 적합한 Cone 관입 시험법의 제정은 시급한 문제라고 생각된다.

본 연구는 국내 토질특성에 적합한 Cone 관입 시험법 제정의 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었으며, 부산 점토를 이용하여 정적 액성 한계 시험과 동적 액성 한계 시험의 상호관계를 규명하고자 하였다. 또한 정적 액성 한계 시험법에 있어서는 일본 규정과 영국 규정에 의한 시험을 동일 시료에 대하여 각각 수행하여 비교 검토하였다.

2. 시험방법

2.1 시료의 조제

시료의 조제 방법에 따른 액성관계치를 비교하기 위하여 시료의 건조 과정을 자연건조와 노건조로 달리하여 시료를 준비하였다. 자연건조시료는 자연 함수비 상태의 시료를 공기 건조시켜 분쇄한 후 40번 체로 쳐서 준비하였다. 시료를 건조시킬 때에 부분적으로 과도한 건조를 방지하기 위해 가끔 혼합하여 동일한 조건의 시료가 될 수 있도록 하였다. 그리고 노건조 시료는 건조로(105°C)에 24시간 건조시켜 분쇄한 후 40번 체로 쳐서 준비하였다.

2.2 액성한계의 결정방법

2.2.1 동적액성한계시험(Casagrande's Method)

액성한계는 흙이 유동상태에서 나타내는 최소의 함수비를 말하며 KS F2303에서는 황동접시에 경사 60° , 높이 1cm의 인공사면을 조성한 후, 시료를 넣은 접시를 1cm의 높이에서 1초에 2회의 비율로 25회 낙하시켰을 때에 양분된 흙이 유동하여 약 1.5cm의 길이로 합류될 때의 함수비로 정의되고 있다. 그러나 정확하게 25회에 맞추기가 어렵기 때문에 낙하횟수 10~25회 범위에서 2개, 25~40회 범위에서 2개 등 최소한 4개의 시험을 함수비를 조절하면서 수행하였다. 그 결과로부터 25회에 해당하는 함수비를 역추적 하여 액성한계를 구하였다.

2.2.2 정적액성한계시험(Fall Cone Test)

가) BS 규정

선단의 각도가 30°이고, 콘과 수직관의 무게가 80g으로 표준화된 콘을 점성토 위에 올려놓으면 흙의 컨시스턴스에 따라 관입량이 달라지는 원리를 이용하여 흙의 액성한계를 구하는 시험이다. 액성한계값은 표준콘이 5초 동안에 약 관입량 20mm 일때의 함수비이다. 따라서 15~25mm 범위에서 4회 이상 즉, 15~20mm에서 2회, 20~25mm에서 2회 이상 실시하여 관입량 20mm일때의 함수비를 역추적 하였다.

나) JIS 규정

10mm 관입에 필요한 질량을 Strength Number, 함수비를 파이네스 넘버라 한다. 이것이 거의 액성한계와 대등하다는 것을 알고 액성한계 측정 방법으로 사용하게 되었다. 액성한계와 파이네스 넘버와의 대응을 그림 2.1에 나타 내었다. JIS 규정에서 콘의 선단 각도가 60°이고, 콘과 수직관의 무게가 60g이다. 액성한계 값은 표준콘의 순간적 관입량이 약 10mm 일 때이고, 소성한계는 2mm일 때이다. 표 2.1은 각국의 폴콘 시험 규정을 비교하여 나타낸 것이다.

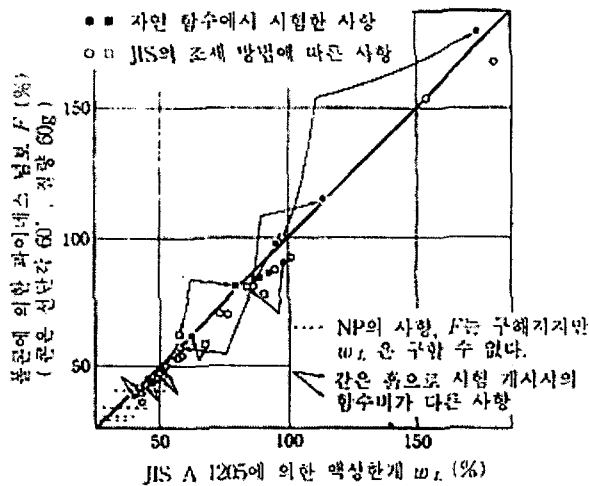


그림 2.1 파이네스 넘버와 액성한계의 관계

표 2.1 폴콘 시험 방법의 비교

	콘		관입 시간 (s)	LL에 대응한 관입량(mm)	비 고
	선단각(도)	질량(g)			
BS	30±1	80±0.5	5±1	20	15~25mm에서 4점
Sowers USA	30	75	5	10	
Sweden	60	60	5	10	
USSR	30	76	5	10	
India	31	148	5	25.4	
箭内, 五味	60	60	순간적	10	
左野他	90	200	30	13.5	LL, PL를 동시측정

3. 결과분석 및 고찰

3.1 시험 개요

본 연구에서는 부산신항 북컨테이너 터미널 배후부지를 대상 지반으로 선정하여 시험을 수행하였다. 총 86개 시료에 대하여 정적 및 동적 액성한계시험을 수행하였다. 정적 액성한계시험인 Fall Cone 시험은 BS규정과 JIS규정의 두 가지 규정에 대하여 수행되었다. 두 시험은 각각 동일 함수비에서 이루어졌으며 함수비를 변화시켜 동일 시료에 대하여 각각 4회씩 수행하였다. 동적 액성한계시험인 Casagrande 방법은 KSF의 규정에 따라 시험을 수행하였으며, 시료의 건조상태가 다른(자연건조와 노건조) 두 종류 시료를 준비하여 각각에 대하여 시험을 수행하였다.

본 연구에서 사용된 각 시료의 자연 함수비는 40%~70% 이었고, 비중은 2.690~2.715에 분포하였다. 사용된 시료를 통일 분류법으로 분류한 결과 CL, ML, CH, MH로 분류되었다.

3.2 시험 결과

그림 3.1~그림 3.4는 시험방법과 시료제조 방법에 따른 심도별 액성한계치의 결과를 나타낸 것이다.

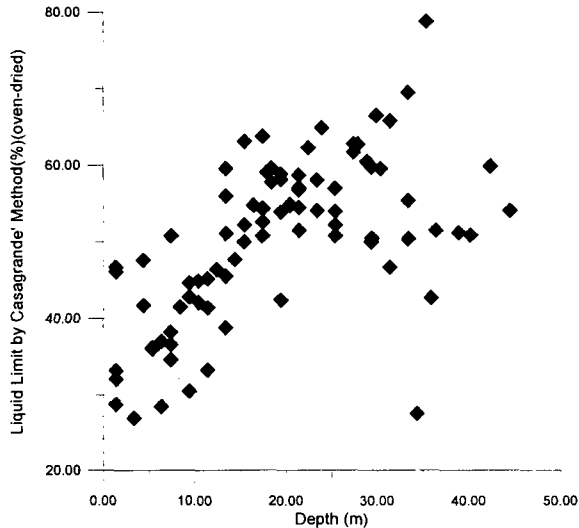


그림 3.1 Casagrande방법따른 노건조시료의 액성한계

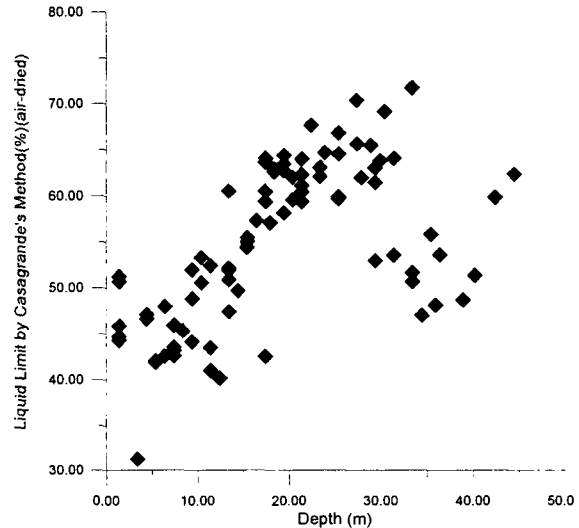


그림 3.2 Casagrande방법따른 자연건조시료의 액성한계

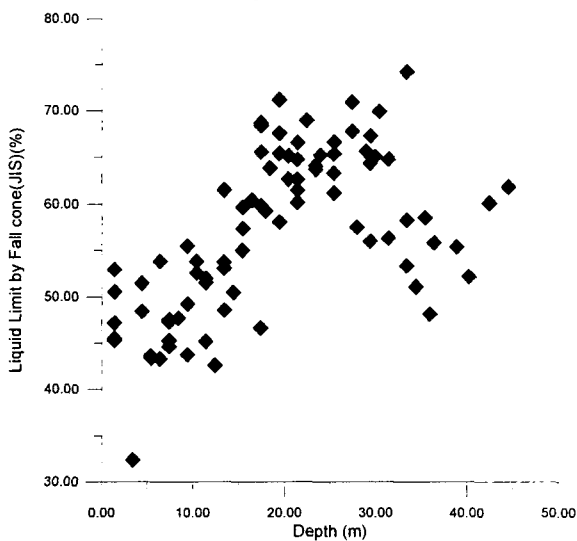


그림 3.3 Fall cone(JIS)에 따른 액성한계

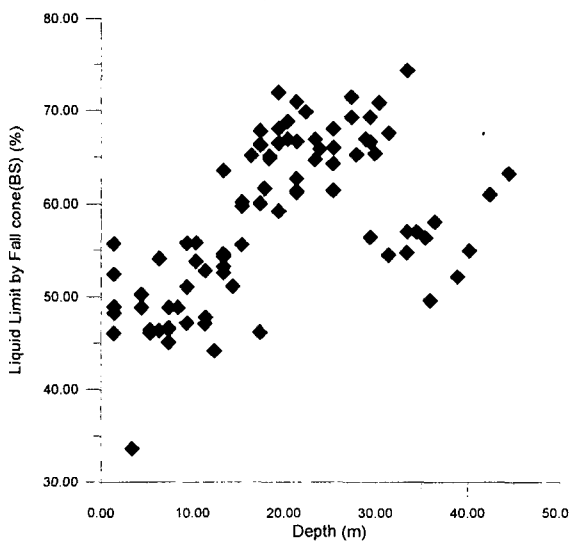


그림 3.4 Fall cone(BS)에 따른 액성한계

3.3 결과분석

그림 3.5는 자연 건조 시료와 노건조 시료에 대한 동적 액성한계시험 결과를 정리한 것이다. 시료의 건조상태에 따라 액성한계치가 달라짐을 알 수 있었다. 몇몇 Data를 제외한 대부분의 Data에 있어서 자연 건조 시료를 사용한 액성한계치가 노건조시료를 사용한 액성한계치보다 약 4%~15%정도 크게 나타났다. 그림 3.6은 동적 액성한계시험과 BS 규정에 의한 정적 액성한계시험의 결과를 상호 비교한 것이고 그림 3.7은 동적 액성한계시험과 JIS 규정에 의한 정적 액성한계시험의 결과를 상호 비교한 것이다. 그림 3.6과 그림 3.7로부터 자연건조 시료를 사용한 동적 액성한계시험 결과는 정적 액성한계시험 결과와 비교적 좋은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 그리고 정적 액성한계시험에 의한 액성한계치가 동적 액성한계시험에 의한 액성한계치보다 2%~9% 정도 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 3.8은 동적 액성한계시험과 정적 액성한계시험(JIS + BS)의 결과를 비교한 것이다.

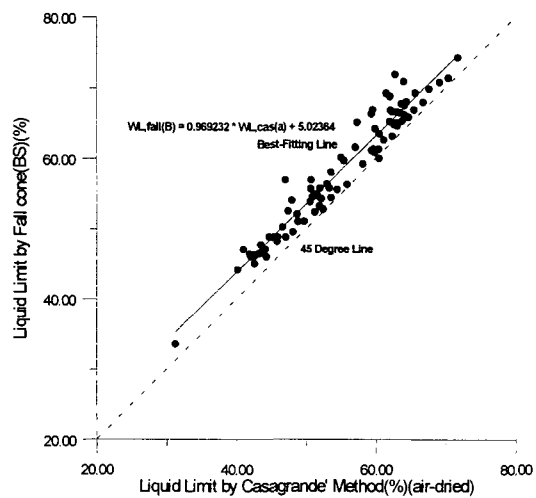
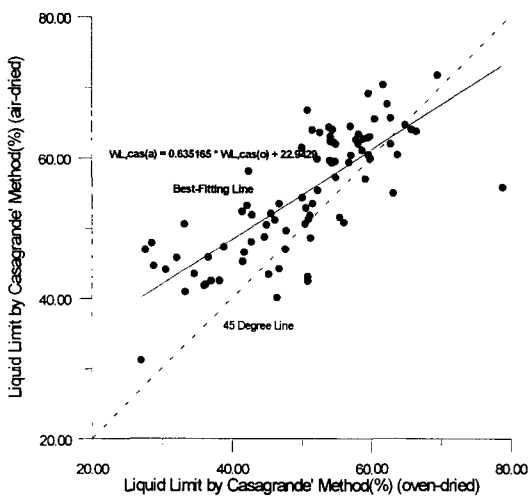


그림 3.5 노건조시료와 자연건조시료에 대한 동적액성한계치의 비교

그림 3.6 Fall cone(BS)~Casagrande 액성한계 비교

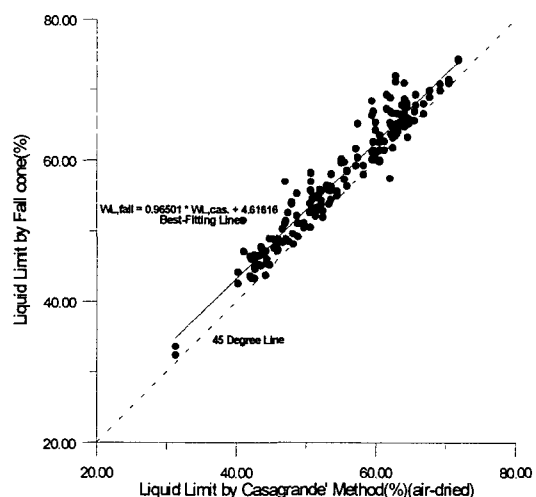
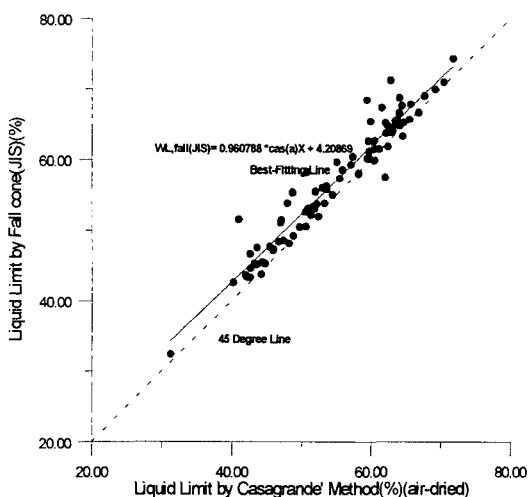


그림 3.7 Fall cone(JIS)~Casagrande 액성한계 비교

그림 3.8 Fall cone 액성한계와 Casagrande 액성한계 비교

그림 3.9는 정적 액성한계 시험법에 있어서, BS 규정에 따른 시험결과와 JIS 규정에 따른 시험결과를 비교한 것이다. Fall cone(JIS)의 액성한계는 Fall cone(BS) 액성한계와 유사한 값을 갖지만, Fall cone(BS)의 액성한계가 1%~6% 정도 큰 값을 가지는 것을 알 수 있다.

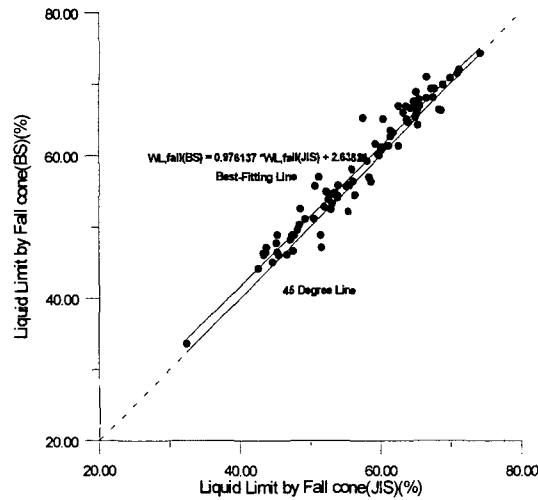


그림 3.9 Fall cone JIS ~ BS 액성한계 비교

3.4 기존 연구 결과와의 비교

표 3.1은 동적·정적 액성한계시험에 대한 기존의 연구 결과를 정리한 것이다. 그리고 표 3.2는 본 시험결과에서 얻어진 동적·정적 액성한계시험의 상호 관계식을 정리한 것이다.

표 3.1 각국의 동적·정적 액성한계의 상관 관계

Source	Type of Cone	Casagrande Device Base	Least Squares Relationship
Matschak and Rietschel	Russian	Unknown	$WL_{fall}=0.883WL+3.1$
Skopek and Ter-Stepanian	Russian	Soft base	$WL_{fall}=0.710WL+6.9$
Uppal and Aggarwal	Indian	Hard base	$WL_{fall}=0.930WL+3.2$
Flaate(1964)	Indian	Soft base	$WL_{fall}=0.952WL$
Sower et al.	Georgia	Hard base	$WL_{fall}=0.797WL+7.5$
Sherwood and Ryley	British	Soft base	$WL_{fall}=0.909WL+2.7$
Litteton and Farmilo(1977)	British	Soft base	$WL_{fall}=0.97WL+1.6$
Budhu(1985)	British	Soft base	$WL_{fall}=0.935WL+4.02$
Belviso et al.(1985)	British	Hard base	$WL_{fall}=0.999WL+4.29$
Wasti(1986)	British	Hard base	$WL_{fall}=1.0056WL+4.9$

표 3.2 본 연구 결과에 의한 동적·정적 액성한계의 상관 관계

Type of cone	Least Squares Relationship
JIS	$WL_{fall} = 0.961WL + 4.21$
BS	$WL_{fall} = 0.969WL + 5.02$
JIS+BS	$WL_{fall} = 0.965WL + 4.62$

표 3.1에서 알 수 있듯이 기존 연구 결과들의 상호관계식에 있어서 그 기울기는 0.710~1.0056의 범위에 있으며, 절편 값은 1.6~7.5의 범위에 있다. 본 시험 결과에서 얻어진 상호 관계식의 기울기는 약 0.96이며, 절편의 값은 약 4~5로 나타나 표 3.1의 기존 연구 결과 값의 범주에 포함됨을 알 수 있다. 이와 같이 여러 시험의 결과가 다른 이유는 실험에 사용된 시료의 차이, 시험방법 및 시험기구의 상이함이 복합적으로 작용했기 때문이라 생각된다.

그림 3.10은 기존 연구결과와 본 연구결과를 비교한 것이다. 기존의 연구 결과가 BS 규정에 의해 수행된 것이므로 BS 규정에 의해 수행된 정적 액성한계시험 결과만을 비교 대상으로 하였다.

그림 3.10으로부터 본 연구에서 수행된 시험 결과는 Budhu(1985), Belviso et al.(1985), Wasti(1986)의 시험결과와 상당히 유사함을 알 수 있으며, 특히 Belviso et al.(1985)의 시험결과와는 거의 일치함을 알 수 있다.

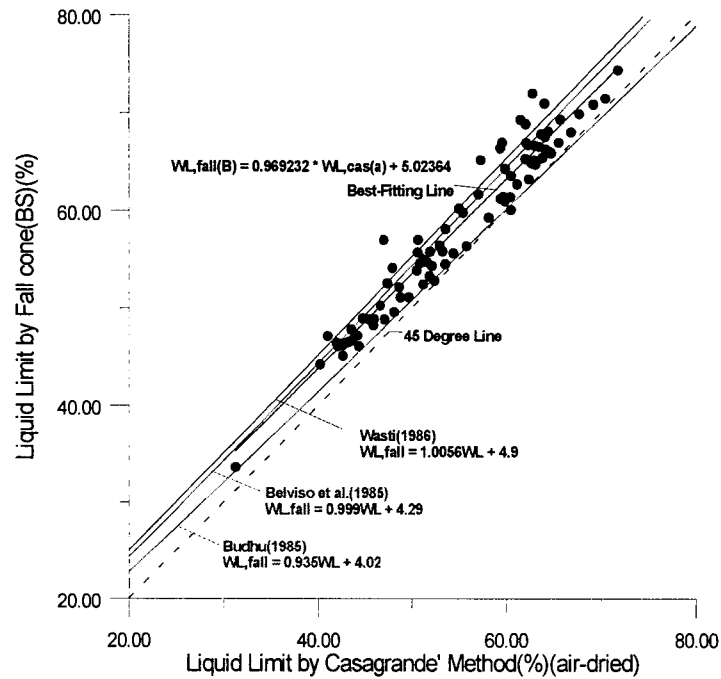


그림 3.10 기존 Fall cone 액성한계와 Casagrande 액성한계의 상관 관계비교

4. 결론

본 연구는 국내 토질특성에 적합한 Cone 관입 시험법 제정의 기초자료를 제공할 목적으로 수행되었으며, 부산 점토를 이용하여 정적 액성 한계 시험과 동적 액성 한계 시험의 상호관계를 규명하고자 하였다. 또한 정적 액성 한계 시험법에 있어서는 일본 규정과 영국 규정에 의한 시험을 동일 시료에 대하여 각각 수행하여 비교 검토하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 건조상태가 다른 두 종류의 시료에 대한 동적 액성한계 시험결과, 자연건조시료를 사용하여 구한 액성한계 값이 노건조시료를 사용한 액성한계 값보다 4% ~ 15% 크게 나타났다.
- ② 동적액성한계시험과 정적 액성한계시험으로 구한 액성한계 값을 상호 비교한 결과, 정적 액성한계시험으로 구한 액성한계 값이 동적액성한계시험으로 구한 액성한계 값 보다 2% ~ 9% 크게 나타났다. 상호 관계식은 식(1), 식(2)와 같다.

$$WL, Fall(JIS) = 0.961 \cdot WL, Cas + 4.209 \quad (1)$$

$$WL, Fall(BS) = 0.969 \cdot WL, Cas + 5.024 \quad (2)$$

상기 결과는 Belviso et al.의 연구 결과와 상당히 일치함을 알 수 있었다.

③ 정적 액성한계 시험에 있어서 BS 규정과 JIS 규정으로 산출된 액성한계 값을 상호 비교한 결과, BS 규정에 의해 산출된 액성한계 값이 JIS규정에 의해 산출된 액성한계 값보다 약 1% ~ 6% 크게 나타났다. 상호 관계식은 식(3)과 같다.

$$WL, Fall(BS) = 0.976WL, Fall(JIS) + 2.638 \quad (3)$$

본 연구 결과 상기한 바와 같은 결론을 얻었으나, 본 연구에 사용한 시료의 종류와 수가 그리 많지 않고 지역적으로 편중되어 있어 위 결론을 완전히 신뢰할 수는 없을 것으로 사료된다. 그러므로 추후 더 많은 시험 data의 축적으로 위 결론을 재검증하여야 할 것이다.

현재까지 제안되어 있는 시험 방법은 콘의 선단 각도나 질량, 관입 시간 등 각 방법간에 약간의 차이점을 보이고 있으며 그에 따라 결정되어지는 액성한계 값에도 서로간에 차이를 보이는 것으로 생각된다. 따라서 장래의 기준화를 위해서는 콘의 형상과 질량, 관입 시간, 용기의 크기 등에 대한 영향을 한층 명확히 할 필요성이 있으며, 이를 위해서는 보다 조직적인 데이터의 축적과 검토가 필요하다고 생각된다.

참고문헌

1. 김상철, 유남재(2000), “동적 액성한계 시험과 정적 콘 관입시험 결과의 상관관계” 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(II), pp.233~236.
2. 정승원, 정성교(2000), “부산점토의 Fall Cone 시험에 의한 지수 및 강도특성”, 석사논문, pp.79~85.
3. 안상로, 유신우(2001), 토질시험의 방법과 해석(상), 과학기술, pp.164-167
4. BRAJA M.DAS(1999), 토질역학원론, 구미서관, pp.30~84.