

흙의 특성과 CBR과의 상관성에 관한 실험적 연구

A Study of Correlation between Soil Characteristic and CBR value by Experimented Method

박흥규* · 김경록**

Park, Heung-Gyu · Kim, Kyung-Rok

Abstract

This study analyzed the correlation between the engineering characteristics of soils, and the CBR values in order to figure out the eligibility of quality criteria as construction materials, by attempting to reduce time and costs for the CBR testing and predicting the results of the CBR testing.

The study also analyzed the correlation between the percent passing of No.200 sieve, liquid limit and compaction characteristics, on the basis of the soil testing data conducted at the Yeongdong construction area. This study will provide necessary data for road pavement plans and designs by analyzing the correlation between the percent passing of No.200 sieve, the degree of activity and the swelling rate, and suggest the correlation formula with each soil.

Keywords : CBR, Liquid limit, Compaction characteristics, Activity, Swelling

요 지

본 연구는 도로설계를 위한 CBR시험 수행에 따른 시간과 비용절감을 도모하고, CBR시험 전에 미리 결과를 예측함으로써 공사용 재료의 품질기준의 적부를 파악하고자 흙의 공학적 성질과 CBR값과의 상관관계를 분석·검토하였다.

영동지역 건설공사시 실시한 토질시험 자료를 토대로 No.200체 통과율, 액성한계 및 다짐특성과 CBR값과의 관계를 분석하여 상관관계식을 구하였고, 점성도에 대하여 No.200체 통과율 및 활성도와 팽창비의 관계를 분석하여 토질별 상관관계식을 제시하므로써 도로포장 계획 및 설계를 수립하는데 필요한 자료를 제공하고자 한다.

주요어 : CBR, 액성한계, 다짐특성, 활성도, 팽창비

* 정희원 · 관동대학교 이공대학 토목공학과 교수

** 정희원 · 관동대학교 대학원 석사과정

1. 서론

도로건설공사 계획 및 설계에 있어서 도로건설 예정구간의 지반과 성토재료에 대한 CBR(California Bearing Ratio)시험은 도로의 포장두께 산정을 위한 중요한 시험이다. 포장구조의 설계시 흙의 성질에 의하여 경험적으로 정하는 PRI법, 굳지수(GI)에 의한 방법은 비교적 간편하나, 흙의 물리적 성질만 고려하므로 교통하중이나 그 지역의 기상상태에 따른 경험에 의하여 적절히 수정을 가하여야 한다. 또한, 평판재하시험을 이용한 방법은 신설도로구간인 경우 시험의 시행이 어렵다. 따라서 관입저항시험의 일종인 CBR시험결과를 이용한 미 공병단 방법이 널리 사용되며, 우리나라에서도 역청재 포장 및 콘크리트포장 설계시 사용되고 있다. CBR값은 포장 아래에 있는 노상 및 보조기층의 지지력과 팽창성을 나타내는 반경험적 수치이므로, 예상되는 교통하중과 관련시켜 각 재료의 두께를 산정하는 자료가 되고, 흙의 전단강도를 간접적으로 측정하는 방법 등으로 그 적용성이 광범위하여 점성토에서 자갈질흙에 이르기까지 거의 모든 토질에 적용할 수 있는 장점이 있다. 도로 시공후의 기상조건에 따라 노상토의 함수비가 포화상태가 되는 경우 지지력이 급격히 감소되므로 노상토의 지지력을 추정하기 위하여 여러나라에서 도로포장 설계시 CBR값을 적용하고 있는 실정이며, 국내에서도 KS F 2320으로 규정하고 있다. 그리고 공사용 재료의 품질기준으로서 CBR의 최소값을 규정하고 있다. 그러나 CBR시험은 실내다짐시험을 행한 후 시료를 최적함수비 상태로 하여 각층 10회, 25회, 55회 다짐을 하여 제작한 공시체를 4일간 수침시킨 후 CBR시험을 행하므로 시간과 노력이 많이 소요될 뿐만 아니라 소요경비도 많다. 따라서, 본

연구는 도로설계를 위한 CBR시험 수행에 따른 시간과 비용절감을 도모하고, CBR시험 전에 미리 결과를 예측함으로써 공사용 재료의 품질기준의 적부를 파악하고자 흙의 공학적 성질과 CBR값과의 상관관계를 분석하여 상관관계식을 제시하여 도로포장 계획 및 설계를 수립하는데 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험개요

본 시험에 사용한 시료는 영동지역의 건설공사시 105개의 현장시료를 한국산업규격(KS F 2302, 2303, 2304, 2312, 2320)에 의거하여 실시한 토질시험 자료를 토대로 No.200체 통과율, 액성한계 및 다짐특성과 CBR의 관계, 그리고 No.200체 통과율 및 활성도와 팽창비의 관계를 분석하여 상관관계식을 제시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 시료토의 공학적 성질

토질별 시료토의 공학적 성질은 표 1과 같다. 사용한 시료토의 비중의 범위는 2.60~2.84, 액성한계는 NP 또는 28.1~180.4%, 소성지수는 NP 또는 7.4~102.5%이며, No.200체 통과율은 0.2~95.0%, D다짐시험결과 최대건조단위중량은 0.774~2.083kg/cm³, 최적함수비는 6.1~44.6%의 범위로 점성토에서 자갈까지의 시료이다.

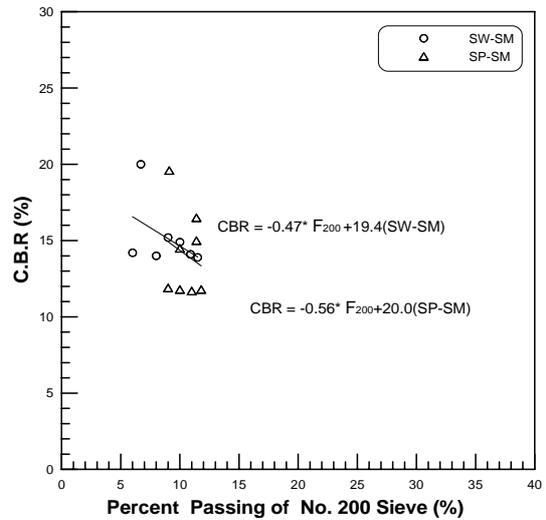
통일분류법(USCS)에 의해 GM, GC, GW-GM, GP-GM, SW, SP, SM, SC, SW-SM, SP-SM, ML, CL, OL, OH로 분류된다.

표 1. 시료토의 공학적 성질

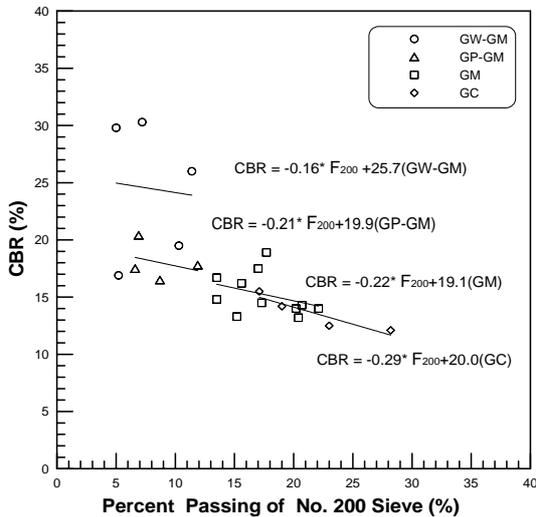
시료	Atterberg Limit		Percent Passing No.200 (%)	Compaction Test		CBR (%)	개수
	LL (%)	PI (%)		OMC(%)	r _{dmax} (kg/cm ³)		
GM	NP	NP	13.5~22.1	6.8~12.3	1.885~2.061	13.2~18.9	11
GC	30.8~39.6	12.1~18.7	17.1~28.2	7.1~12.8	1.880~1.982	12.1~15.5	4
GW-GM	NP	NP	5.1~11.4	6.1~11.1	1.899~2.083	16.9~30.3	5
GP-GM	NP	NP	6.6~11.9	6.8~11.9	1.895~1.992	16.5~20.4	4
SW	NP	NP	0.2~4.9	7.9~12.3	1.850~2.015	12.8~15.0	4
SP	NP	NP	3.5~4.8	9.7~12.4	1.842~1.984	12.9~13.8	5
SM	NP	NP	13.3~25.0	10.9~13.9	1.830~1.970	9.2~12.3	15
SC	28.1~49.4	7.4~22.0	25.6~40.6	12.0~19.0	1.721~1.940	4.7~12.2	15
SW-SM	NP	NP	6.7~11.5	10.7~13.4	1.824~2.004	13.9~20.0	7
SP-SM	NP	NP	9.0~11.8	9.5~12.8	1.818~2.010	11.7~19.6	8
ML	36.5~45.7	10.2~17.6	50.3~70.4	14.1~25.0	1.648~1.846	5.0~8.0	9
CL	29.8~47.3	8.1~30.1	69.5~90.0	16.5~35.0	1.636~1.784	4.2~7.6	10
OL	33.7~62.8	8.1~13.6	58.0~72.0	15.6~26.4	1.454~1.602	2.3~4.9	4
OH	103.3~180.4	47.1~102.5	70.0~95.0	33.2~44.6	0.774~0.965	2.0~2.3	4

3.2 No.200체 통과율과 CBR의 관계

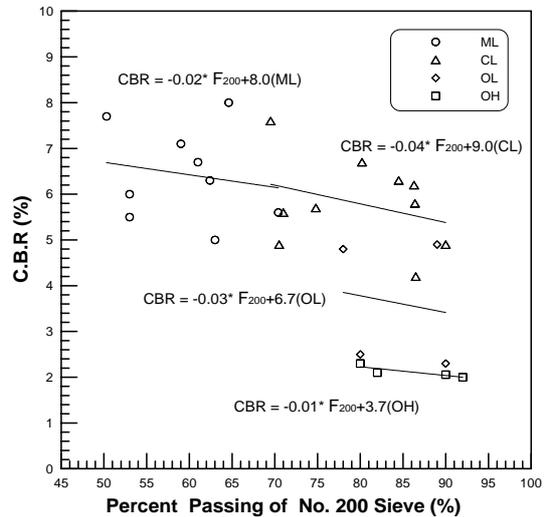
No.200체 통과율과 CBR값의 관계는 그림 1과 같다. 모든 토질에서 No.200체 통과율이 많을수록 CBR값은 작아지고, No.200체 통과율이 적을수록 CBR값의 크기는 큰 경향을 보였으며, GW-GM, SW, SW-SM처럼 입도분포가 양호한 토질인 경우 CBR값이 크고 No.200체 통과율의 증가에 따른 CBR값의 감소율은 적었다. 이러한 경향은 No.200체 통과율이 적고 입도분포가 양호할수록 단위체적당 함수량이 작아지므로, 상대밀도가 증가되어 다짐성이 양호하기 때문에 CBR값이 커지는 것으로 판단된다. 즉, 입도분포의 상태가 CBR값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.



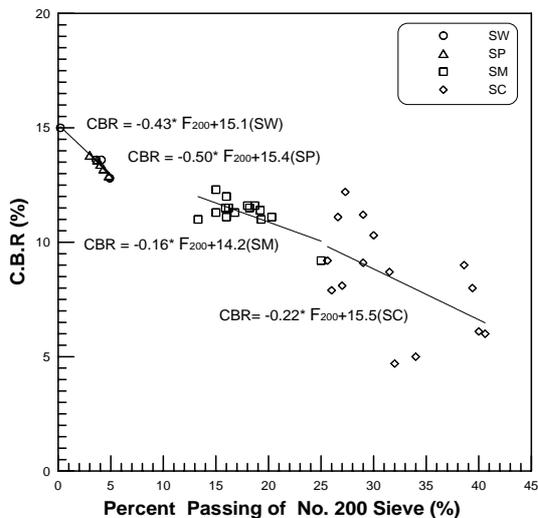
(c) SW-SM, SP-SM



(a) GM, GC, GW-GM, GP-GM



(d) ML, CL, OL, OH



(b) SW, SP, SM, SC

그림 1. No.200체 통과율과 CBR값의 관계

3.3 액성한계와 CBR의 관계

점성토에 대한 액성한계와 CBR값의 관계는 그림 2와 같다. 점성토의 모든 토질에서 액성한계가 클수록 CBR값은 작아지는 경향을 보였으며, 동일 액성한계의 CBR값은 ML, CL, OL, OH순으로 크게 나타났다. 그 원인은 액성한계가 클수록 함수량이 많아지기 때문에 단위체적당 함수량과 밀접한 관계가 있는 No.200체 통과율의 증가에 따라 CBR값이 감소하기 때문이다. 즉, 액성한계는 CBR값에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

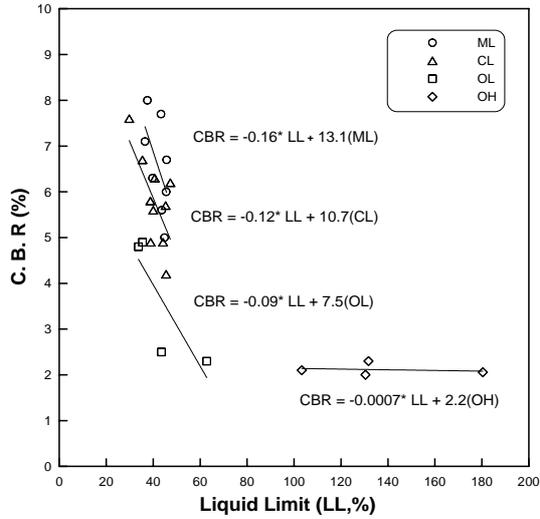
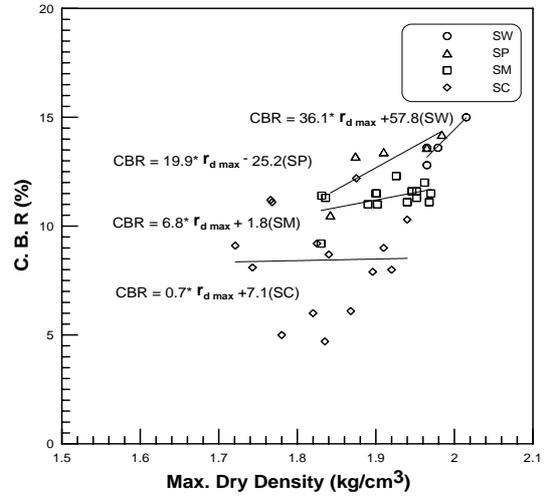


그림 2. 액성한계와 CBR값의 관계

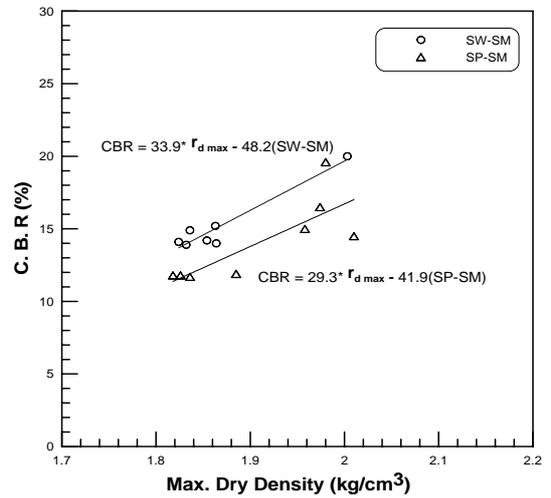
3.4 최대건조단위중량과 CBR의 관계

그림 3은 토질별 최대건조단위중량과 CBR값과의 관계를 나타냈다. 모든 토질에서 최대건조단위중량이 클수록 CBR값이 커지는 경향을 보였으며, 입도분포가 양호한 토질이 불량한 토질보다 CBR값이 컸으며, 건조단위중량 증가에 따른 CBR값의 증가율도 크게 나타났다. 이는 최대건조단위중량이 클수록 흙의 밀도가 조밀하여 관입저항력이 커지기 때문에 CBR값이 커짐을 알 수 있다.

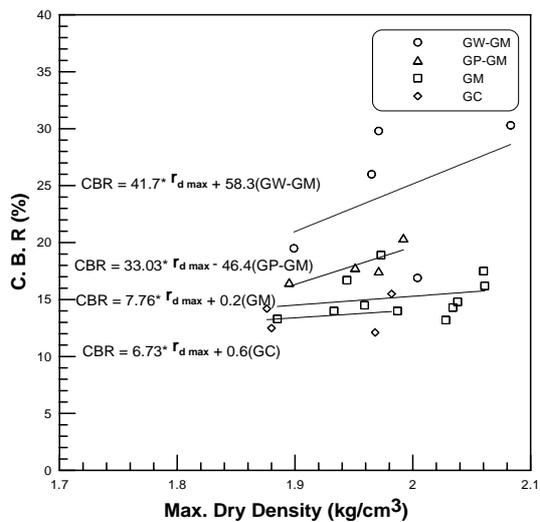
Gibbs & Holtz(1957)의 상대밀도에 따른 표준관입시험값(N)의 변화의 연구에서 상대밀도가 클수록 N값이 증가됨을 알 수 있다.



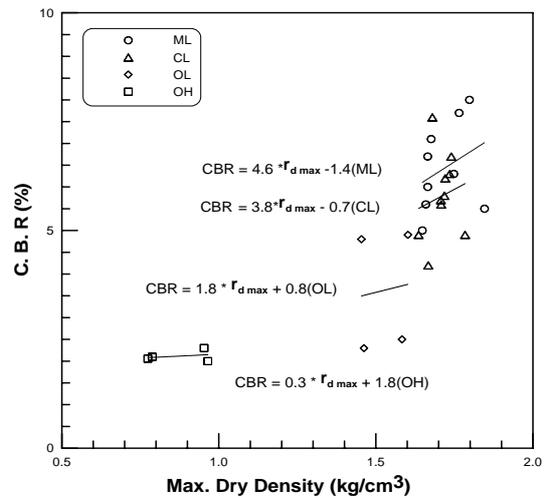
(b) SW, SP, SM, SC



(c) SW-SM, SP-SM



(a) GM, GC, GW-GM, GP-GM

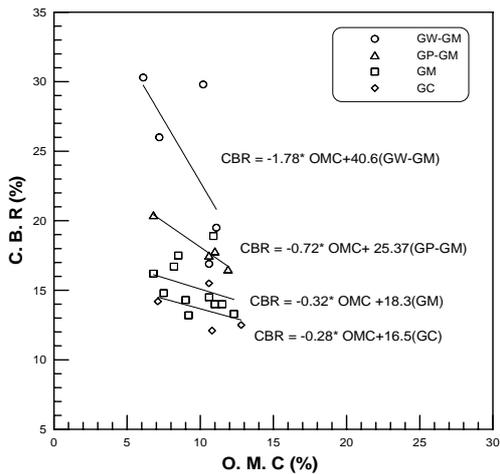


(d) ML, CL, OL, OH

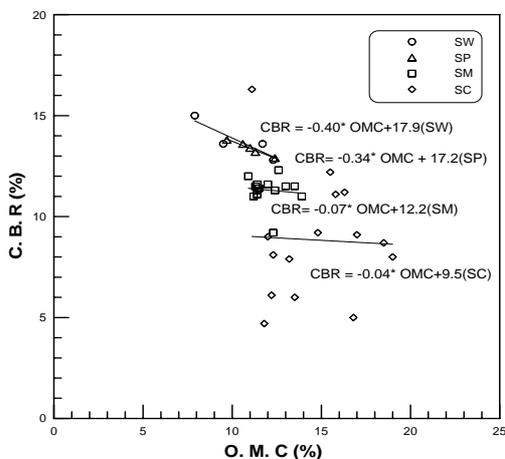
그림 3. 최대건조단위중량과 CBR값의 관계

3.5 최적함수비와 CBR의 관계

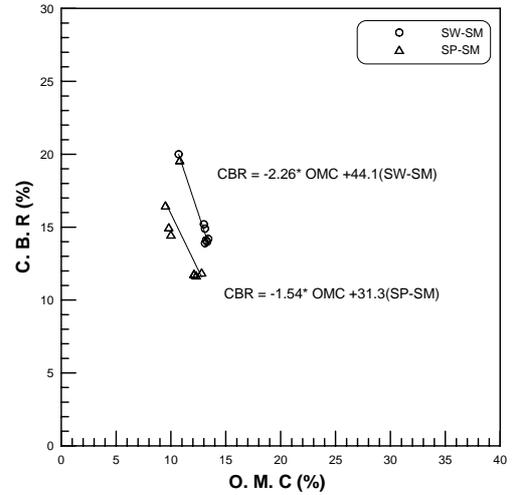
그림 4는 토질별 최적함수비(OMC)와 CBR값의 관계를 나타냈다. 모든 토질에서 최적함수비가 클수록 CBR값은 감소하는 경향을 보였으며, GW-GM, SW, SW-SM처럼 입도분포가 양호할수록 최적함수비 증가에 따른 CBR값의 감소율은 크게 나타났다. CBR값의 크기는 자갈, 모래, 점성토 순으로 나타났으며, 자갈에서는 GW-GM, GP-GM, GM, GC 순으로 나타났고 모래에서는 SW, SP, SM, SC 순이며 점성토에서는 ML, CL 순으로 나타났다. 최적함수비의 증가에 따라 단위체적당 함수량이 많아지기 때문에 다짐특성에 따라 최대건조단위중량이 감소함으로서 CBR값이 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 Johnson & Sallberg(1960)가 발표한 토질별 건조단위 중량과 함수비의 곡선과 O.J. Procter(1933)의 다짐곡선에서도 알 수 있다.



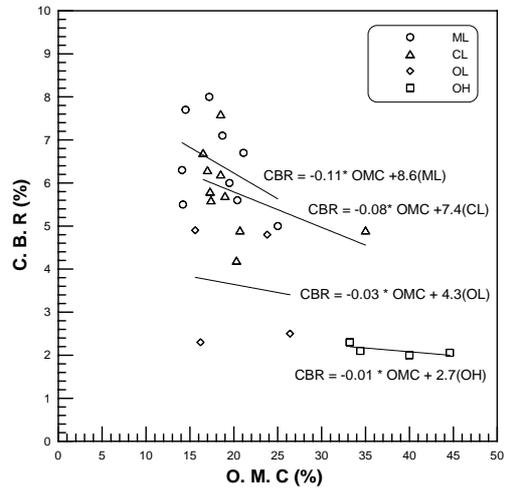
(a) GM, GC, GW-GM, GP-GM



(b) SW, SP, SM, SC



(c) SW-SM, SP-SM



(d) ML, CL, OL, OH

그림 4. 최적함수비와 CBR값의 관계

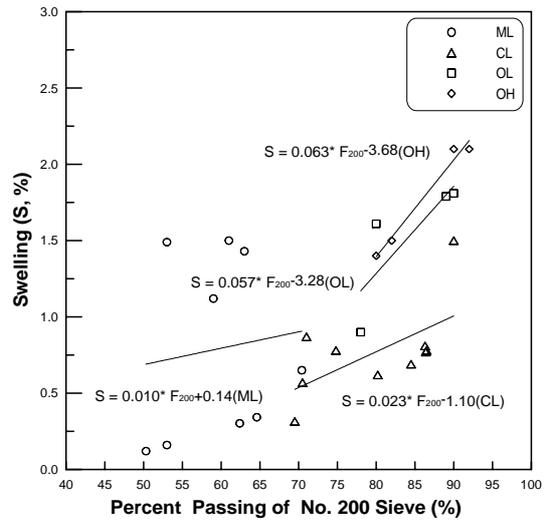
3.6 No.200체 통과율과 팽창비의 관계

점성토를 다짐시험에서 구한 최적함수비 상태로 각층마다 10회, 25회, 55회로 5층 다짐하여 제작한 공시체를 4일간 수침시키며 측정된 팽창비와 No.200체 통과율과의 관계를 그림 5에 나타냈다. No.200체 통과율이 많을수록 즉 세립토분이 많은 토질인 경우 세립토분이 적은 토질보다 팽창비가 크게 나타났다. No.200체를 통과하는 토립자의 흡착수와 모관작용이 팽창비에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한, 다짐회수에 따른 팽창비는 다짐회수가 많을수록 다짐특성에 따른 건조단위중량의 증가와 입자 배열의 조밀로 인해 팽창비가 감소하는 것으로 나타났다.

표 2는 토질별 다짐회수에 따른 팽창비를 나타냈다. 유기질토의 팽창비가 무기질점토보다 1.03~11.6배 정도로 크게 나타났으며 다짐회수에 따른 팽창비의 감소율의 크기는 ML, CL, OL, OH의 순으로 나타났다.

표 2. 다짐회수에 따른 팽창비

시료	Swelling(%)		
	10회	25회	55회
ML	0.60 ~ 2.53	0.16 ~ 2.00	0.12 ~ 1.50
CL	0.49 ~ 2.90	0.35 ~ 2.00	0.31 ~ 1.50
OL	1.50 ~ 2.63	1.10 ~ 2.21	0.90 ~ 1.81
OH	2.00 ~ 3.10	1.71 ~ 2.62	1.40 ~ 2.11

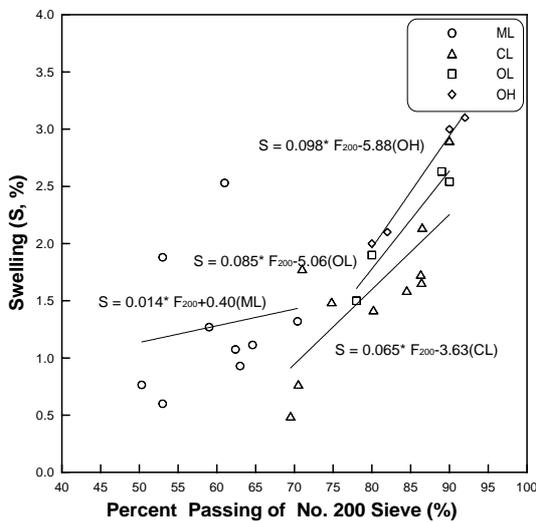


(c) 다짐회수 55회

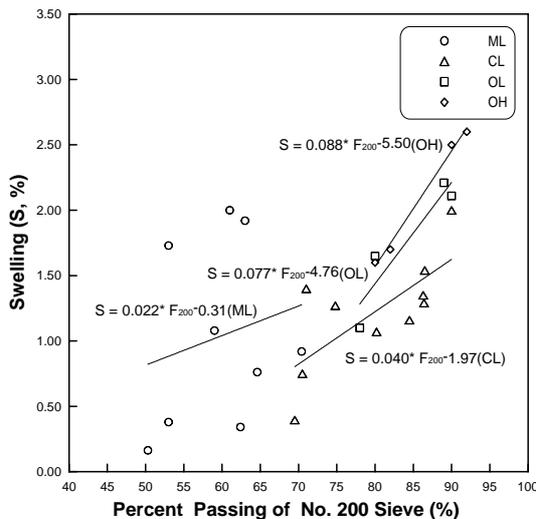
그림 5. No.200체 통과율과 다짐회수에 따른 팽창비의 관계

3.7 활성도와 팽창비의 관계

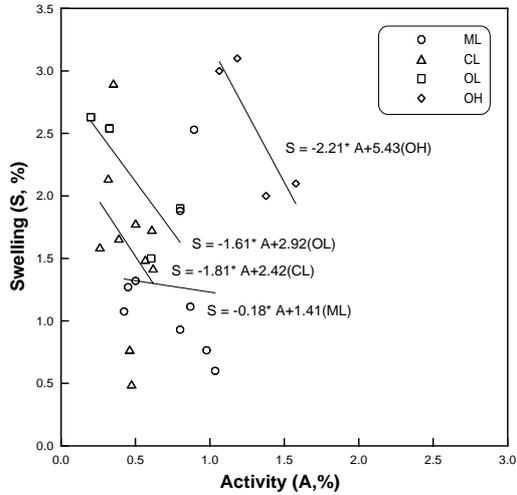
점성토의 팽창성을 판단하는 기준인 활성도와 다짐회수에 따른 팽창비의 관계를 그림 6에 나타냈다. 10회 다짐시에는 활성도가 증가할수록 팽창비는 감소하는 경향을 보였으나, 다짐회수 25회와 55회의 팽창비는 불규칙한 변화를 나타내었다. 이러한 원인은 점성토의 활성도는 애터버그한계와 밀접한 관계가 있는데, 광물에 따라 액성한계는 수십에서 수백 %까지 변하나 소성한계의 변화는 수십 %에 불과하므로, 소성지수의 변화는 결국 액성한계의 변화에 크게 영향을 받는다고 볼 수 있다. Seed, Woodward & Lundgren(1964)은 모래와 점토의 혼합비를 변화시킨 혼합물에 대한 소성 성질을 연구한 결과, 비록 직선일지라도 그 직선이 항상 원점을 통과하지 않는다는 결론을 얻었다. 활성도는 점토광물의 자체 성분과 관련되기 때문에 팽창비와 활성도의 변화에는 규칙적인 변화를 나타내지 않는 것이다. 즉, 활성도는 팽창비에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.



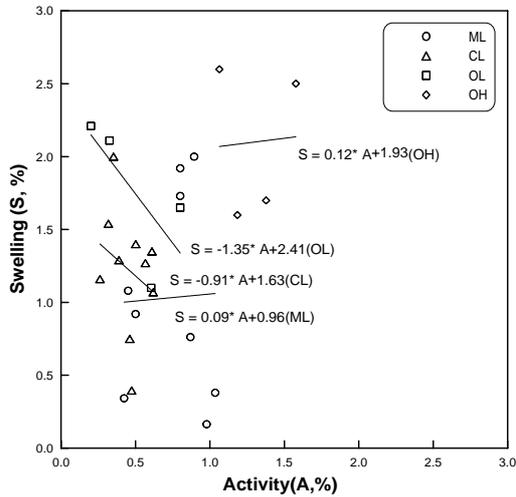
(a) 다짐회수 10회



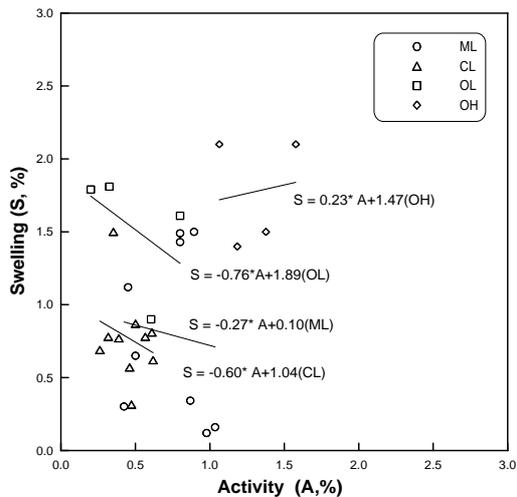
(b) 다짐회수 25회



(a) 다짐회수 10회



(b) 다짐회수 25회



(c) 다짐회수 55회

그림 6. 활성도와 다짐회수에 따른 팽창비의 관계

4. 결론

영동지역 건설공사시 실시한 토질시험 자료를 토대로 흙의 공학적 성질과 CBR값과의 상관관계를 분석·검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 모든 토질에서 No.200체 통과율이 적을수록 GW-GM, SW, SW-SM처럼 입도분포가 양호한 토질일수록 CBR값은 큰 경향을 보였다.
2. 액성한계가 클수록 CBR값은 작아지는 경향을 보였으며, 동일 액성한계의 CBR값은 ML, CL, OL, OH순으로 크게 나타났다.
3. 최대건조단위중량이 클수록 최적함수비가 작을수록 CBR값은 커지는 경향을 보였으며, 동일 단위중량에서 입도 분포가 양호한 토질이 CBR값이 컸다.
4. No.200체 통과율이 많을수록 팽창비가 크게 나타났고, 활성도는 점토광물의 자체 성분과 관련되기 때문에 팽창비와 활성도의 관계는 규칙적인 변화를 나타내지 않았다. 즉, 활성도는 팽창비에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김종국의 4인(2001), 인천국제공항 연약지반처리 사례연구, 한국지반공학회지, 한국지반공학회, Vol. 17, No. 11, pp. 20~34.
2. 김영수, 이상복, 정성관(1995), 퇴적암 풍화토의 공학적 특성, 한국지반공학회 논문집, 한국지반공학회, Vol. 11, No. 4, pp. 63~74.
3. 김영수, 정성관, 박강우, 김병탁(1994), 이암 풍화토의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국지반공학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 5~16.
4. 손태균, 권무남(1996), 농촌도로 노상토 재료의 공학적 특성과 CBR값의 관계분석, 대한농공학회지, Vol. 38, No. 4, pp. 89~98.
5. Gibbs, H. J., Holtz, W. G.(1957), Research on Determining the Density of Sand by Spoon Penetration Test, Proc. 4th ICSM, Vol. 1, pp. 35~39.
6. HMSO(1952), Transport and Road Research Laboratory, Soil Mechanics of the Road Engineers.
7. Jean-Pierre Giroud, M. Asce and Laure Noiray(1981), Geotextile Reinforced Unpaved Road Design, Journal of Geotechnical Engineering Division, Vol. 107.
8. Johnson, A. W. and Sallerg, J. R.(1960), Factors That Influence Field Compaction of Soils, Highway Research, Bulletin, No. 272.
9. Skempton, A. W.(1953), The Colloidal Activity of Clays, Proceedings 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. 1, pp. 57~66.
10. Seed, H. B., Woodward, R. J. and Lundgren, R.(1964a), Clay Mineralogical Aspects of Atterberg Limits, Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 90, No. SM4, pp. 107~131.