

## 고속도로 노상처리를 위한 소일시멘트 적용

장용채\* · 김홍종\*\*

\* 목포해양대학교 해양시스템공학부 해양토목공학전공 조교수

\*\* 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구그룹장

# Adaptation of Soil Cement for Sub base Treatment in Highway

Chang, Yong-Chai\* · Kim, Hong-Jong\*\*

\*Mokpo National maritime University, Division of Ocean System Engineering

\*\* Korea Highway Cooperation, Highway & Transportation Technology Institute

**요 약** : 우리나라 서남권에 해당하는 서해안고속도로의 한 부분에 해당하는 전라북도 고창지역은 점토분이 많이 내포돼 있는 황토가 많다. 황토는 수박이나 고구마 같은 작물의 재배에는 양질의 토사이지만, 도로를 구축하기 위한 노상재료로 사용하는데는 원하는 강도값을 얻기가 힘들어 많은 애를 먹인다. 본 연구 대상구간의 지역은 절토부의 노상재료가 원하는 재료의 품질기준을 충족시키지 못하였다. 노상층의 재료 특성을 보면, #200번체 통과량이 25~82%정도이며 지하수위가 거의 노상면과 일치하여 자연함수비 과다로 시공시 노상토의 지지력 확보가 불가능한 것으로 판단되었다. 본 연구는 이와 같이 지지력이 부족한 현장에 적절한 절토부 노상지력의 확보방안을 세워 원하는 공정을 추진함으로써 보다 안전하고 튼튼한 고속도로를 건설하는데 있다.

**핵심용어** : 노상재료, 절토부, 품질기준, 지하수위, 자연함수비, 노상지력

**Abstract** : Kochang (Chollabuk-Do) located in the west-southern area of the Korea and passed by the West Coast Highway has yellow collar soil(Hwang-To) pertaining primarily clay. Hwang-To serve as a great soil for growing watermelon and yam but are not strong enough to be used as subgrade material for constructing roads. Subgrade material of the study site was not qualified for standard of material quality. Properties of subgrade layers showed that strength of subgrade material is not strong enough to sustain the subgrade strength in constructing roads since No. 200 passing ratio is 25 - 82% and ground water level is nearly equal to subgrade level. The objective of this study is to present the methods obtaining proper subgrade strength of cutting area to construct secure and solid highways in the fragile area.

**Keyword** : Subgrade material, Cutting area, Standard of material quality, Ground water level, Moisture contents, Subgrade strength

### 1. 서 론

국토의 균형발전을 위해 꾸준히 시공되는 고속도로의 건설은 2002년을 기해 2400km에 이르는 대단위의 도로가 연결되었다. 서해안고속도로는 국내 최대 교량으로 잘 알려진 서해대교가 바다를 가로지르며, 국토의 서부지역을 연결하다보니 연약지반이 매우 많이 나타나 시공에 있어서 많은 어려움이

있었다. 고속도로 노선 상에서 전라북도 고창지역은 수박으로 유명한 지역으로 토양이 우리가 흔히 말하는 황토이다. 이러한 황토는 보기에는 양질의 토사처럼 보이지만, 비가 오거나 지하수위가 높은 지역에서는 다짐이 잘 안되고 다짐시에 스펀지 현상이 나타나 도로 노체나 노상 다짐시에 애를 먹는 경우가 허다하다.

서해안고속도로 군산-무안간 ○○공구 건설공사를 시행함에 있어서 절토부 STA 7+380~7+720(L=340m), STA 8+470~8+550(L=80m), STA 8+650~8+720(L=70m), STA 8+770~10+240(L=1470m), STA 10+360~11+010(L=650m)구간의 노상부가 노상층의 시방기준(토공재료, 한국도로공사 전문시방서 토목편, 표 4-2 흙쌓기 재료의 품질기준)을 만족하지 못하였다.

\* 통신회원, geo@mmu.ac.kr, 061)240 7218

\*\* kimhj@freeway.co.kr, 031)371 3375

현지 토질의 공학적 특성을 살펴보면 #200번체 통과량이 25~82%정도로 나타났으며, 지하수위가 노상층과 거의 동일하게 높아 노상면의 자연함수비 과다로 시공시 노상토의 지지력 확보가 불가능한 것으로 판단되었다.

서해안고속도로는 시공 당시에 2002년 말 개통을 목표로 공사에 착공하였으나, 서해안 시대를 맞이하여 물동량의 급증에 따른 도로의 조기 개통이 불가피하게 되었다. 이에 따라 현장은 개통을 앞둔 조속한 공정추진 및 적정 품질 확보를 위해 해당 노상층에 대해 실시한 토질시험 결과와 노상지지력 확보방안(Soil-Cement 표층혼합처리공법 적용성을 검토를 위한 시험시공 결과)을 수립해야 하였다. 본 연구는 이와 같은 현장확인을 실시한 결과, 적정한 절토부 노상지지력의 확보방안을 강구하여 원활한 공사추진을 도모함으로써 공사 구간의 조기개통에 기여하고자 한 것이다.

## 2. 공사추진과 토질특성

### 2.1 공사추진 사항

본 현장은 도로의 절토부 노상층 시공을 위해 구릉의 원 지반으로부터 깊이 D=5~10m정도를 굴착하여 노상층을 형성한 상태이다. 절취한 절토부의 지반 지지력이 소요의 조건을 만족시키지 못해 현장에서는 다음과 같은 대책을 1차적으로 세웠다. 이러한 절토부는 총 6개구간이 있는데 이 중 5개구간에 대해서는 절토부 용수처리 대책 방안에 따라 도로의 종·횡방향으로 맹암거를 시공 완료한 상태이다. 현재는 도로의 종·횡방향으로 맹암거를 설치하여 절토부로부터 유입되는 용수를 처리하였기 때문에 노상층 상단부로의 용수에 의한 영향은 없는 것으로 판단된다. 하지만, 절토부의 노상층이 높은 지하수위로 인하여 자연함수비가 높고, 또한 많은 점토질을 함유하고 있어 한국도로공사에서 규정하는 흙쌓기 재료의 품질기준을 만족시키지 못한다.

이에 따라 본 공사현장은 노상층의 시공시 노상지지력 확보가 불가능한 것으로 판단되어 현장의 공사여건을 감안한 표층지반 개량공법인 Soil-cement 혼합처리공법에 대한 시험시공을 수행한 후 보다 적합한 처리대책을 수립하고자 한다.

### 2.2 토질특성

시험시공을 실시한 장소는 절토부로서 호남지역의 특수농작물의 재배를 위한 농경지를 대부분 포함하고 있다. 따라서 절토 인접지역은 전답지역으로 형성되어 있어 강우 또는 농업용수로 인하여 지하수위가 지표면에 가깝게 형성되어 있다. 이와 같은 특성이 심한 곳은 절토고가 최대 10m정도로 풍화토층(실트질 모래층 또는 점토층)이 두껍게 형성됨에 따라, 계획고를 기준으로 그 하부 깊게 불투수층이 형성되어 있는 실정이다. 실시 설계시 본 검토 대상지역의 토질특성은 다음 Table 1과 같다. 이러한 토질을 갖고있는 절토부의 토사를 유용하고자 적합성을 검토한 결과 토질특성은 노체 형성을 위한 시방기준에는 적합

하나, 노상재료의 시방기준에는 다소 부적합한 것으로 나타났다. 해당지역의 대표적인 토질특성은 다음 Table 2와 같이 나타났다. 이 값은 노상계획고까지 절토한 후 노상면에서 채취하여 필요한 실내의 실험을 실시하여 얻어낸 값이다. 이는 앞의 Table 1에서 나타낸 한국도로공사 전문시방기준인 흙쌓기 재료의 품질기준을 충족시키지 못한다. 본 연구에서는 이중 대표적인 토질특성을 나타내고있는 STA. 8+880과 STA. 10+580을 중심으로 제반 실험을 실시하여 현장 배합시험을 결정해 효과적인 표층 강화공법을 수행하고자 한다.

Table 1 Soil property of cutting area

항 목	도로공사도로 설계요령규정	노상재료의 실내시험 결과	판 정
	노 상		
최대입경 (mm)	100mm 이하	0.43-12.7mm	O.K
#4번체 통과율	25-100%	95.2-100%	O.K
#200번체 통과율	0-25%	12.1-65.5%	N.G
소성지수	10 이하	N.P-12.7	O.K~N.G
수정 CBR	10 이상	7.2-12.6	N.G

## 3. 현장 시험시공

### 3.1 Soil-cement혼합처리공법

현 지층상태는 앞 절에서 기술한 바와 같이 절토부의 노상층이 과도한 자연함수비와 현장 특성상 노상토의 지지력 확보가 불가능함에 따라 현장에서 검토한 표층혼합처리공법인 Soil-cement 표층 혼합공법의 적용성을 검토하였다. 전체 구간 중 대표적인 지점의 실내 배합시험 결과는 다음 Fig. 1과 같이 나타났으며, 시멘트 혼합비율에 따른 강도발현 효과는 대상토질의 점토분 함유량에 따라 다소 차이가 발생하였으나 양호한 것으로 판단된다.

실내에서 현장배합비 결정을 위한 Soil-cement의 첨가량은 Fig. 1의 대표단면으로부터 STA. 9+050~9+120지점에서는 대상토질의 중량비 2%일 때 수정CBR 값이 약 47정도로 나타나 설계에 필요한 최소값인 실내배합시험 CBR 값 40(현장 목표 CBR=20)을 만족하는 것으로 나타났다. STA. 10+870~10+980 지점은 시멘트 첨가량이 대상토질의 중량비 3%~4%일 때 수정 CBR 값이 약 40~46정도로 나타나 실제 현장적용시 원만한 시공성을 고려하여 중간값인 3.5%를 현장에 적용할 경우 실내 배합시험의 수정 CBR값이 40(현장 목표 CBR=20)이상을 만족한 것으로 나타났다.

Table 2 Soil property of subgrade

항목 위치 및 연장	자연 함수비 (%)	#200번체 통과량 (%)	수정 CBR (%)	현장 CBR (%)	비고
STA 7+380~7+720 (L=340m)	26.8~39.3	60.5~64.5	8.0	1.5~2.0	
STA 8+450~8+550 (L=100m)	20.9~26.7	25.5~27.9	-	4.2~5.8	
STA 8+650~8+720 (L=70m)	20.8~22.0	26.1~27.0	-	3.0~3.5	
STA 8+770~10+250 (L=1,480m)	21.4~23.0	26.2~26.9	7.6~9.7	2.4~2.5	
STA 10+350~11+020 (L=670m)	20.0~29.6	48.4~50.6	3.5~4.8	3.4~4.2	

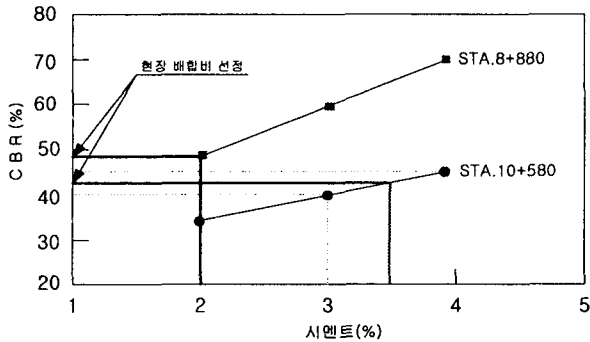


Fig. 1 Soil-cement mixed ratio and CBR(%)

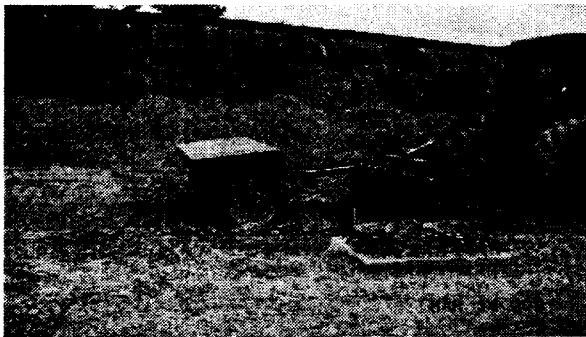


Fig. 2 Soil-cement laying

상기의 실내배합시험 결과는 노상의 안정처리를 위한 혼합방식을 채택할 경우 도로설계요령 제2권 토공 및 배수편의 표 5.5 토질별 첨가량의 기준(상부노상)에서 제시하고 있는 풍화토(SM)에 해당하는 시멘트 첨가량(%)의 제시 값인 흙의 건조단위 중량에 대한 2~4% 범위 내에 있다. 따라서 본 대상구간이 일반적인 풍화토(SM) 보다 지점별로 다소 차이는 있으나 점토분(#200 통과량)이 다량 함유된 점을 감안하면 실내배합시험 결과에 따라 어느 정도 보수적인 방향으로 현장 적용할 경우 소요의 지지력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

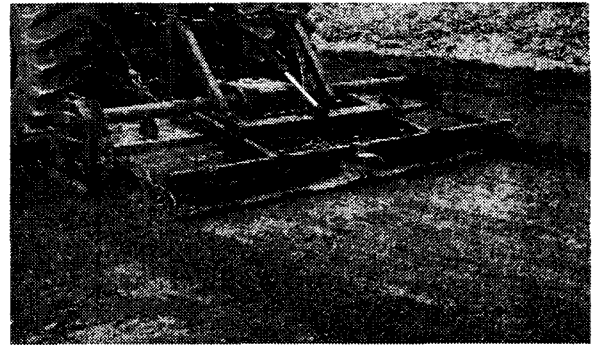


Fig. 3 Mixture of Soil-cement

3.2 절토부의 노상층 지지력 확보

앞서 언급한 바와 같이 ○○공구 절토부 5개소에 대하여 노상층에 대한 현장 조사를 실시하였으며, 절토부 노상층 용수처리구간의 배수상태를 확인한 결과 도로 중·횡방향에 설치된 배수로를 통하여 원활히 배수가 이루어지고 있는 것을 확인하였다. 그에 따라 장기적인 지하수의 영향으로 인한 노상부의 약영향은 없을 것으로 판단되며, 현장 검토 결과 대부분의 구간의 흙이 #200번체를 25~82%정도 통과시켜 노상층의 시방기준을 충족시키지 못한 것으로 나타났다. 이에 따라 앞에서 결정된 현장배합비를 적용하여 노상층의 Soil-cement 표층혼합처리공법에 대한 현장시험시공을 실시하고자 하며, 이를 통하여 실제 시방기준에 적합한 노상토의 지지력을 확보하고자 한다.

Table 3 Engineering characteristics of subgrade soil

항목 위치 및 연장	자연 함수비 (%)	#200번체 통과량 (%)	현장 CBR (%)	평판 재하시험 (kg/cm <sup>2</sup> )	비고
Sta. 9+050 ~9+120	21.4~23.0	26.2~26.9	2.4~2.5	6.8~7.5	
Sta. 10+870 ~10+980	20.0~29.6	48.4~50.6	3.0~4.2	7.7~8.6	

본 현장의 시험시공은 실내 배합시험(원지반 혼합토의 시험결과)에 의해 결정된 현장배합비를 이용하여 대표단면에 대해 혼합처리 깊이별(20, 40, 60cm 등)로 시험시공을 실시하고자 한다. 그 결과에 따라 적절한 노상지지력을 만족하는 구간별 처리 깊이를 결정하고, 토질의 공학적 특성에 따른 적절한 배합비와 처리깊이를 결정하고자 한다. 현장에서 실시한 시험시공의 대표단면은 다음 Table 3에 나타난 바와 같이 절토부 노상층의 토질특성중 Soil-Cement 혼합개량시 #200번체 통과량이 상이하여 상대적으로 강도발현 효과가 클 것으로 판단되는 2개소에 한하여 실시한다. 본 시험시공 구간에 대한 대표적인 깊이에

따른 CBR 값 및 평판 재하 시험결과를 Table 3과 같다.

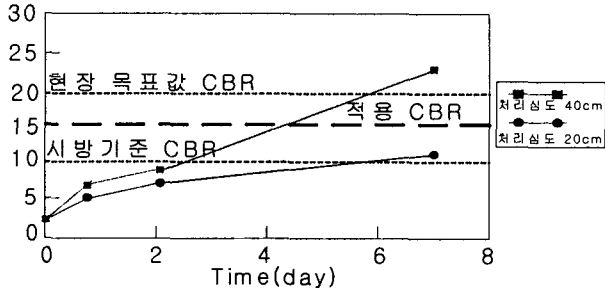


Fig. 4 Soil-cement and CBR value by elapsed time (mixed ratio 2%) (STA.9+050 ~ STA.9+120)

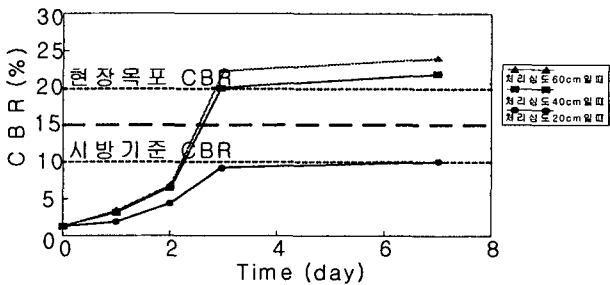


Fig 5 Soil-cement and CBR value by elapsed time (mixed ratio 3.5%) ( STA. 10+870~10+980 )

Fig. 4와 5는 Soil-cement 혼합개량지반의 경과시간에 따른 CBR값을 #200번체 통과율이 서로 다른 두 지점의 값을 중심으로 비교 분석하였다. #200번체 통과율은 흙의 미립분 함유율하고 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서 검토하고 있는 토질은 미립분의 통과율이 서로 2배 정도 차이가 나타나기 때문에, 본 연구에서는 각각에 대하여 Soil-cement의 혼합개량시험을 통하여 이들의 혼합비율을 2%와 3.5%로 구분하여 비교 분석하였다 (Fig. 4, 5참조).

두 그림에서 알 수 있듯이 시방기준 CBR값을 10, 현장 목표 CBR값을 20으로 할 경우, 모두다 양생 기간이 증가함에 따라 CBR값이 증가함을 알 수 있다. 상대에 비해서 미립분이 적어 혼합비를 2%적용한 Fig 4의 경우는 양생일 수의 증가에 따라 CBR 강도 값도 일정하게 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, 미립분을 상대적으로 많이 함유하고 있는 Fig. 5의 경우는 3일까지는 일정하게 증가하다가 3일이 지나고 부터는 강도의 증가가 둔화되는 경향을 나타내고 있다. 이는 혼합비율이 상대적으로 많기 때문에 지반이 일찍 고결되어 조기에 일정한 강도를 발현하는 것을 알 수 있다. 상기 두 경우 모두 양생기간이 7일이 지났을 때에는 CBR 강도값이 원하는 시방기준값인 10을 상회하여 품질관리기준을 충족시킴을 알 수 있다.

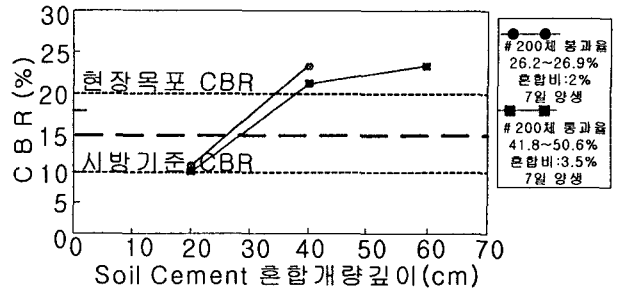


Fig. 6 Soil-cement mixed treatment depth and CBR(%) value

Fig. 6은 Fig. 4와 5를 중심으로 두 경향을 Soil-cement의 혼합개량깊이에 따른 CBR 강도 값의 변화양상을 나타낸 것이다. 혼합비를 2%적용한 #200번체 통과율이 26%대와 혼합비를 3.5%적용하여 #200번체 통과율이 45%대인 두 경우 모두 Fig에 나타낸 바와 같이 시방기준 CBR 값을 충족시킴을 알 수 있다.

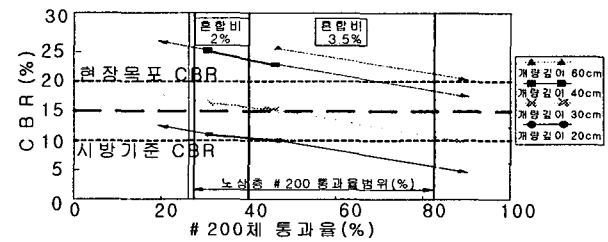


Fig. 7 Soil-cement mixed treatment depth and CBR(%) value by #200 passing ratio

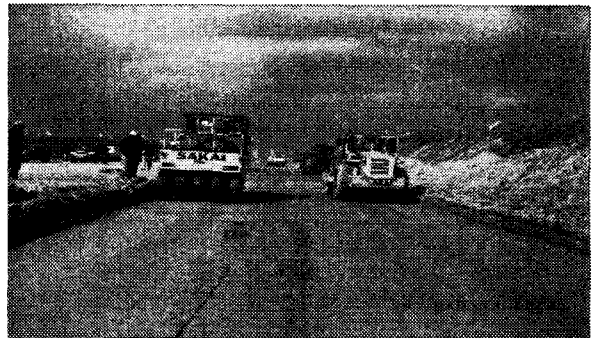


Fig. 8 Soil-cement compaction

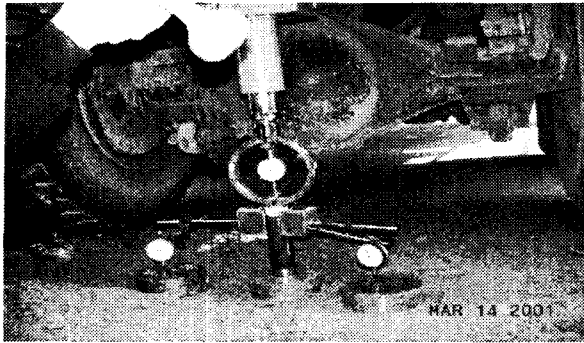


Fig. 9 Field CBR test

Fig. 7은 체분석을 시행한 결과 #200번체 통과율의 변화에 따른 Soil-cement 혼합개량지반의 CBR 값을 나타낸 것이다. 또한 이 그림에서는 이들을 표현할 때 혼합비의 변화에 따른 개량깊이의 변화도 함께 표현하였다. Fig에서 알 수 있듯이 #200번체 통과율이 20~40%를 나타내 혼합비 2%를 적용한 첫 번째 경우는 개량깊이가 20~30cm 정도이면 품질관리 조건을 충족하고, #200번체 통과율이 40~80%정도까지로 혼합비 3.5%를 적용한 두 번째 경우는 개량깊이가 30~40cm 정도이면 상기조건을 충족시킨 것으로 나타났다.

이상과 같은 검토내용에 따라 현장에서 수행된 지점별 시험결과(원지반 함수비, #200 통과율, 현장 CBR 값 등)에 의한 구간별 노상층의 지지력 확보를 위한 Soil-cement 표층혼합처리공법의 적용을 위한 현장 배합비 및 개량심도 적용 기준은 다음 Table 4와 같다.

Table 4 Adaptation standard of Soil-cement mixed treatment method

구분	적용 기준		비고
	시멘트 중량비	개량깊이	
대상지반 원지반의 #200 통과율(%)	25~30%	2%	20cm
	31~40%	2%	30cm
	41~60%	3.5%	30cm
	61%이상	3.5%	40cm

이상의 결과를 중심으로 Table 2에 나타난 #200번체 통과율의 차이와 기타 조건들을 종합하여 비교 분석한 결과 절토부의 구간별 현장 Soil-cement 배합비 및 처리깊이는 다음 Table 5와 구분하여 적용성이 가능하다.

Table 5 Field mixed ratio and treatment depth

절토부 (개소)	적용 구간	노상지지력 확보를 위한 현장 적용 방안				비고 (적용행선)
		2%, 20cm	2%, 20cm	2%, 20cm	2%, 20cm	
1	7+380~7+720 (L=340m)				적용	상, 하행선
	8+450~8+550 (L=100m)	적용				상, 하행선
2	8+650~8+720 (L=70m)	적용				상, 하행선
	8+770~8+900 (L=130m)		적용			상, 하행선
3	8+900~8+960 (L=60m)				적용	상, 하행선
	8+960~9+120 (L=160m)	적용				상, 하행선
	9+120~9+750 (L=630m)		적용			상, 하행선
	9+750~10+250 (L=500m)				적용	상, 하행선
4	10+360~11+020 (L=660m)			적용		상행선
	10+350~10+400 (L=50m)			적용		하행선

4. 결론

- 1) 연구 대상 공구의 절토부 5개소에 대해 노상층에 대한 현장 조사를 실시한 결과, 절토부 노상층 우수처리구간의 배수가 도로 종·횡방향에 설치된 배수로를 통하여 원활히 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.
- 2) Soil-cement의 첨가량은 STA. 9+050~9+120지점의 경우 대상토질의 중량비 2%일 때 수정CBR 값이 약 47정도, STA. 10+870~10+980지점은 대상토질의 중량비 3%~4%일 때 수정 CBR 값이 약 40~46정도로 나타나 3.5%를 현장에 적용하면 실내배합시험의 수정 CBR값이 40(현장 목표 CBR=20)이상을 만족한 것으로 나타났다.
- 3) 상기 지점에 대한 실험결과, 혼합비를 2%적용한 #200번체 통과율이 26%대와 혼합비를 3.5%적용하여 #200번체 통과율이 45%대인 두 경우 모두 CBR 값이 시방기준 값인 10을 상회하여 충족시킴을 알 수 있다.
- 4) 소일시멘트의 개량깊이는 #200번체 통과율이 20~40%를 나타낸 혼합비 2%를 적용한 첫 번째 경우는 개량깊이가 20~30cm 정도, #200번체 통과율이 40~80%정도까지로 혼합비 3.5%를 적용한 두 번째 경우는 개량깊이가 30~40cm 정도이면 강도조건을 충족시킨 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] 권호진의 1인, (1998) "최신도로공학", 기문당
- [2] 남영국의 1인, (1997) "최신 도로공학총론", 청문각
- [3] 도로교통협회, (1998) "아스팔트 포장 설계 시공요령"
- [4] 동아컨설팅, (1998) "영구도로 대로 1-1"

- [5] 민원,(2001) “도로공학”, 구미서관
- [6] 박병기,(1992) “토질안정처리공법에 의한 도로기층시공의 실험연구”., 전남대학교
- [7] 일본 토질공학회,(1990) “조립재료의 현장다짐”
- [8] 장용채외 1인,(1995) “연약지반에서의 토질공학”, 도서출판 새론
- [9] 장용채외 14인,(1995) “토질공학 핸드북”, 도서출판 새론
- [10] 장용채외 다수,(1998) “고속도로공사 전문시방서”, 한국도로공사
- [11] 한국도로공사,(1992) “제2권 토공 및 배수”, “제5권 포장”., 도로설계요령
- [12] 한국도로공사,(1997) “도로설계실무편람” -포장공-