

서해안 고속도로의 노상처리를 위한 Soil-cement 적용 사례연구

장용채* · 김홍종** · 전한용***

* 목포해양대학교 해양시스템공학부 해양토목공학전공 조교수

** 한국도로공사 도로교통기술원 지방연구그룹장

*** 전남대학교 공과대학 응용화학공학부 교수

A Case Study on the Adaptation of Soil-cement for the Subgrade Treatment in the Seohean-Expressway

Yong-Chai Chang* · Hong-Jong Kim** · Han-Yong Jeon***

* Assistant Professor, Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University

** Chief Researcher, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Cooperation

*** Professor, Faculty of Applied Chemistry, Chonnam National University,

요약 : 우리나라 서남권에 해당하는 서해안고속도로가 통과하는 전라북도 고창지역은 점토분이 많이 내포되어 있는 황토가 많다. 황토는 수박이나 고구마 같은 작물의 재배에는 양질의 토사이지만, 도로를 구축하기 위한 노상재료로 사용하는데는 원하는 강도값을 얻기가 힘들 토사였다. 이 연구 대상구간의 지역은 절토부의 노상재료가 원하는 재료의 품질기준을 충족시키지 못하였다. 노상층의 재료 특성을 보면, #200번체 통과량이 25~82% 정도로 지하수위가 거의 노상면과 일치하여 자연함수비 과다로 시공시 노상도의 지지력 확보가 불가능한 것으로 판단되었다. 본 연구는 이와 같이 지지력이 부족한 현장에 적절한 절토부 노상지지력의 확보방안을 수립하여 원하는 공정을 추진함으로써 보다 안전하고 튼튼한 고속도로를 건설하는데 있었다.

핵심용어 : 노상재료, 절토부, 품질기준, 지하수위, 자연함수비, 노상지지력

Abstract : The region of Kochang (Chollabuk-Do) located in the west-southern area of the Korea and passed by the West Coast Expressway has the yellow collar soil(Hwang-To) primarily containing clay. Hwang-To serves as a soil appropriate for growing the watermelon and yam, but as a subgrade material not strong for constructing the roads. Particularly, the subgrade material of this study site was not qualified for the standard of the subgrade material quality. The properties of the subgrade layer showed that the strength of the subgrade material was not strong enough to sustain the subgrade strength in constructing the roads since the passing ratio of the No. 200 sieve was about 25% to 82% and the ground water level was nearly equal to subgrade one. Thus, the objective of this study was to present the methods obtaining the proper subgrade strength of cutting area to construct the secure and solid expressways in the fragile area.

Key words : Subgrade material, Cutting area, Standard of material quality, Ground water level, Moisture contents, Subgrade strength

1. 서론

국토의 균형발전을 위해 꾸준히 시공되는 고속도로의 건설은 2002년을 기해 2,400km에 이르는 대단위의 도로가 연결되었다.

서해안고속도로는 목포에서 인천까지 연결하는 고속도로로서 국내 최대 교량으로 잘 알려진 서해대교가 바다를 가로지르고 있다. 고속도로상에서 연약지반의 분포도를 분석해보면, 서해안고속도로가 위치하고 있는 목포, 군산, 평택, 인천과 남해고속도로가 위치하고 있는 부산, 김해, 하동, 광양, 그리고 동해고속도로는 여타 고속도로와 달리 유기질토인 Peat층이

주분진 쪽에 분포하고 있다. 고속도로 노선 상에서 전라북도 고창지역은 아래 Fig 1에 나타난 바와 같이 수박으로 유명한 지역이며, 토양은 우리가 흔히 말하는 황토이다. 이러한 황토는 보기에는 양질의 토사처럼 보이지만, 비가 오거나 지하수위가 높은 지역에서는 다짐이 잘 안되고, 다짐 시에 스펀지 현상이 나타나 도로 노체나 노상 다짐 시에 어려움이 많다. 특히, 서해안고속도로 군산-무안간 ○○공구 건설공사를 시행함에 있어서 연구대상지역의 절토층 노상부가 한국도로공사 전문시방서에서 정한 노상층의 시방기준을 충족시키지 못하였다. 현지 토질의 공학적 특성을 살펴보면 #200번체 통과량이 25~82% 정도로 나타났으며, 지하수위가 노상층에 가까워 노

* 대표저자 : 장용채(중신회원), geo@mmu.ac.kr, 061)240 7218

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

*** hychon@chonnam.ac.kr, 062)530-1775

상면의 자연함수비 과다로 시공시 노상토의 지지력 확보가 불가능하였다.



Fig. 1 The map of construction site

당초 서해안고속도로는 시공 당시에 2002년 말 개통을 목표로 공사에 착공하였으나, 서해안 시대를 맞이하여 물동량의 급증에 따른 도로의 조기 개통이 불가피하게 되었다. 따라서, 이 연구는 절토부 도로의 노상지지력 확보를 위해 Soil-cement(이하, 소일시멘트)를 현지 발생토와 혼합하여 지반의 지지력을 확보함으로써 소요 기간 내에 안전한 고속도로를 건설하는데 있었다.

2. 현황과 토질특성

2.1 현황

연구대상 지역은 도로의 절토부 노상층 시공을 위해 구릉의 원 지반으로부터 깊이 D=5~10m정도를 굴착하여 노상층을 형성한 상태이다. 그러나, 절취한 절토부에 용수가 발생하는 등 지반 지지력이 소요의 조건을 만족시키지 못해 지지력 향상을 위해 도로의 종·횡방향으로 맹암거를 시공하여 용수를 유도하였다. 하지만, 연구 대상 지역은 절토부의 노상층의 지하수위가 높아 자연함수비가 높고, 점토질을 많이 함유하고 있어 한국도로공사 흙쌓기 재료의 품질기준을 만족시키지 못한다.

이에 따라 본 연구에서는 노상층 시공시 노상토의 지지력 확보가 불가능한 것으로 판단되어, 현장의 공사여건을 감안한 표층 지반 개량공법인 소일시멘트 혼합처리공법을 적용하여 지반의 안정을 기하고자 한다.

2.2 토질특성

소일시멘트를 현장에 적용한 장소는 특수농작물의 재배를 위한 농경지로 대부분 절토부 구간이다. 절토 인접지역은 전답지역으로 형성되어 있어 강우 또는 농업용수로 인하여 지하수위가 지표면에 가깝게 형성되어 있었다. 실시 설계시 본 검토 대상지역의 토질특성을 한국도로공사 전문시방서의 품질

기준과 비교하면 Table 1과 같다. 현장에서는 공사의 원활한 진행을 위해 절토부의 토사를 유용하고자 흙의 적합성을 검토한 결과, 토질특성이 노체 형성을 위한 시방기준에는 적합하나, 노상재료의 시방기준에는 다소 부적합한 것으로 나타났다. 해당지역의 대표적인 토질특성은 Table 2와 같고, 이 값은 노상계획고까지 절토한 후 노상면에서 채취하여 필요한 실내의 실험을 실시하여 얻어낸 값이다. 본 연구에서는 이중 대표적인 토질특성을 나타내고있는 STA. 9+050~9+120과 STA. 10+870~10+980을 중심으로 제반 실험을 실시하여 현장 배합 시험을 결정해 나머지 구간에 대해 효과적인 표층 강화공법을 적용하고자 한다.

Table 1 Soil property of cutting area

항 목	도로공사도로 설계요령규격	노상재료의 실내시험 결과	판 정
	노 상		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

* N.P : Non-Plastic

3. 현장 시험시공

3.1 소일시멘트혼합처리공법

소일시멘트 혼합처리를 위한 대표적인 지점의 실내 배합시험 결과는 다음 Fig. 1과 같다. 실내배합 결과를 분석해보면, 시멘트 혼합비율에 따른 강도발현 효과가 대상토질의 점토분 함유량에 따라 다소 차이가 발생하였으나 모든 지점에 있어서 일정 이상의 강도 값이 나타나 양호한 것으로 판단된다.

현장에 소일시멘트를 적용하기 위해서는 먼저 실내에서 다짐시험법에 의해 흙과 시멘트의 배합비에 따른 강도 특성을 파악하여야 한다. 이렇게 해서 시멘트 혼합비에 따른 CBR 값을 분석하여 원하는 현장 배합비를 구하는데 Fig. 2는 서로 다른 두 지점에 대한 시험결과이다. 먼저 STA. 9+050~9+120 지점은 #200번체 통과율이 25%정도 나타나 흙과 시멘트의 중량비를 2%로 하면 수정CBR 값이 47정도로 최소 설계기준 값인 실내배합시험 CBR 값 40(현장 목표 CBR=20)을 만족시켰다. 통상적으로 소일시멘트를 배합할 경우 실내배합시험에서 구한 CBR값은 현장 목표 CBR값의 두배 이상이 되어야 현장의 배합강도를 만족시키기 때문에 40이상을 기준값으로 정했다. STA. 10+870~10+980지점은 #200번체 통과율이 50%정도 나타나 흙과 시멘트의 중량비를 3%~4% 증가하여 수정 CBR 값을 구한 결과 40~46정도로 나타났다. 미립분이 50%정도

포함된 상기지점에서는 시공성을 고려하여 흙과 시멘트의 중량비를 중간값인 3.5%를 적용한 결과 실내배합시험의 수정 CBR값이 40(현장 목표 CBR=20)이상을 만족한 것으로 나타났다. 여기서, 수정 CBR값의 산정은 다짐곡선과 다짐물드에서 각각 10회, 25회, 55회 층 다짐하여 소요기간동안 수침시킨 후 다짐곡선으로부터 CBR값을 구한 것이다.

Table 2 Soil property of subgrade

항목 위치 및 연장	자연 함수비(%)	#200번체 통과량(%)	수정 CBR(%)	현장 CBR(%)
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

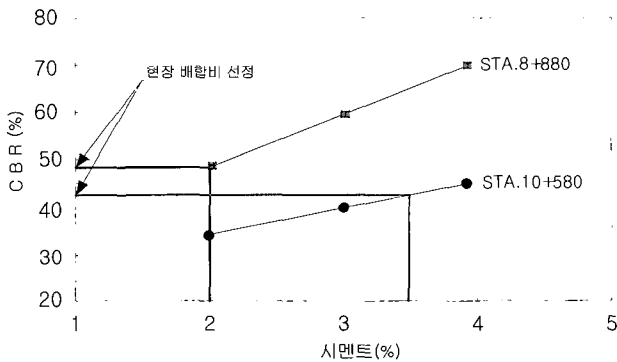


Fig. 2 Soil-cement mixed ratio and CBR(%)

실내배합시험 결과는 도로설계요령의 토질별 첨가량의 기준에서 제시한 흙의 건조단위 중량에 대한 2~4% 범위 내에 있어 상기 조건을 충족시킨다. 배합기준은 본 검토구간이 점토분(#200 통과량)이 다량 함유된 점을 고려하여 실내배합시험 결과에 따른 안전측 값을 적용하면 원하는 지지력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다(Fig 3, Fig 4 참조).

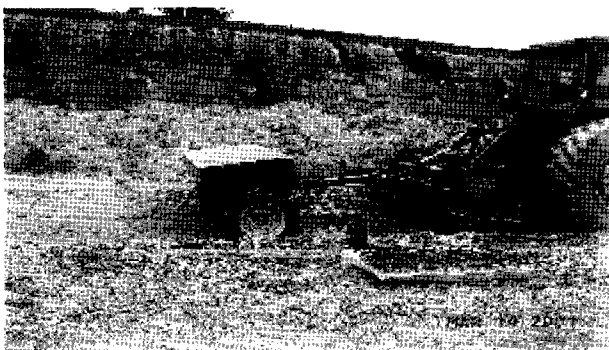


Fig. 3 Laying of Soil-cement and Soil

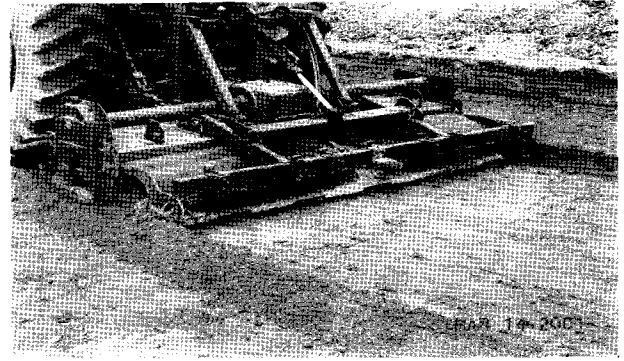


Fig. 4 Mixed Soil-cement and Soil

3.2 절토부의 노상층 지지력 확보

실험을 위한 현장조사는 Table 2에서 나타낸 바와 같이 ○공구 절토부 5개소의 노상층에 대해 실시하였다. 본 현장은 절토부 노상층의 함수비가 높아 도로 중?횡방향으로 배수로를 설치하여 지하수위를 낮춰 놓은 상태이다. 현장에 대해 실내실험을 실시한 결과 대부분 구간의 흙이 #200번체를 25~82%정도 통과시켜 노상층의 시방기준을 충족시키지 못하였다. 본 연구에서는 실내실험을 통한 현장배합비를 적용하여 노상층의 지지력 증가를 위해 소일시멘트 표층혼합처리공법을 적용하고자 한다.

Table 3 Engineering characteristics of subgrade soil

항목 위치 및 연장	자연 함수비 (%)	#200 번체 통과량 (%)	현장 CBR(%)	평판 재하시험 (kg/cm ²)	비 고
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	

시험시공은 실내 배합시험에 의해 결정된 현장배합비를 이용하여 대표단면에 대해 혼합처리 깊이별(20, 40, 60cm 등)로 실시한다. 표층 지반의 처리는 현지토의 토질 공학적 특성에 따른 적절한 배합비와 처리깊이를 결정하여 시공한다. 시험시공의 대표단면은 Table 3에 나타낸 바와 같이 절토부 일부 구간의 노상층 토질특성중 소일시멘트 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 시험결과는 Table 3과 같다.

Fig. 5와 Fig. 6은 #200번체 통과율이 서로 다른 두 지점 값을 중심으로 소일시멘트 혼합개량지반의 경과시간에 따른 CBR값을 비교 분석한 것이다. 여기에서 검토하는 두지점의 토질은 미립분의 통과율이 2배 정도 차이가 나타나기 때문에, 각각에 대한 소일시멘트의 혼합개량시험을 실시한 결과 혼합비율을 2%와 3.5%로 구분하여 비교 분석하였다.

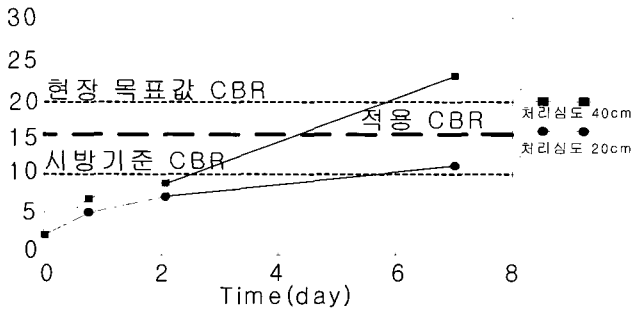


Fig. 5 Soil-cement elapsed time and CBR value(mixed ratio 2%) (STA.9+050~STA.9+120)

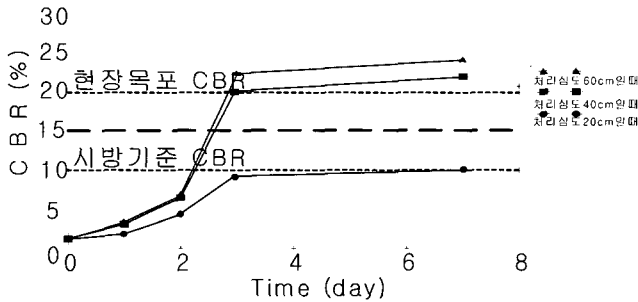


Fig. 6 Soil-cement elapsed time and CBR value(mixed ratio 3.5%) (STA. 10+870~10+980)

두 그림에서 알 수 있듯이 시방기준 CBR값을 10, 현장 목표 CBR값을 20으로 할 경우, 모두다 양생 기간이 증가함에 따라 CBR값이 증가함을 알 수 있었다. 상대적으로 미립분이 적어 혼합비를 2%적용한 Fig. 5의 경우는 양생일 수의 증가에 따라 CBR 강도 값도 일정하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 하지만, 미립분을 상대적으로 많이 함유하고 있는 Fig. 6의 경우는 3일까지는 일정하게 증가하다가 3일이 지나고 부터는 강도의 증가가 둔화되는 경향을 나타내고 있었다. 이는 혼합비율이 상대적으로 많기 때문에 지반이 일찍 고결이 되어 조기에 일정한 강도를 발현한 것으로 생각되어진다. 상기 두 경우 모두 양생기간이 7일 지났을 때에 CBR 강도 값이 원하는 시방기준 값인 10을 상회하여 품질관리기준을 충족시킴을 알 수 있었다.

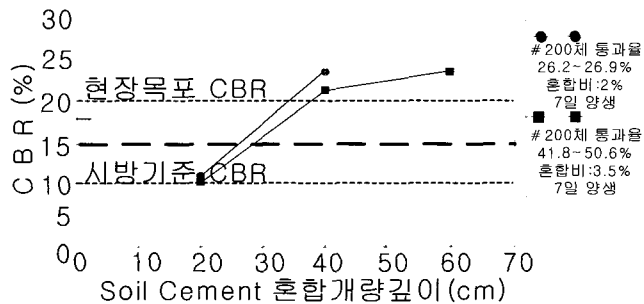


Fig. 7 Soil-cement mixed treatment depth and CBR(%) value

Fig. 7은 Fig. 5와 Fig. 6을 중심으로 두 경향을 Soil-cement의 혼합개량깊이에 따른 CBR 강도 값의 변화양상을 나타낸 것이다. 혼합비를 2%적용한 #200번체 통과율이 25%대와 혼합비를 3.5%적용하여 #200번체 통과율이 50%대인 두 경우 모두 상기 그림에 나타낸 바와 같이 시방기준 CBR 값을 충족시킨다.

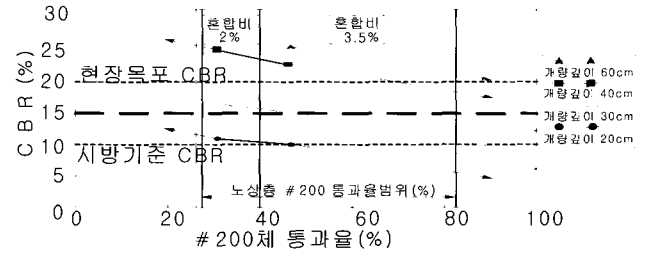


Fig. 8 Soil-cement mixed treatment depth and CBR(%) value by #200 passing ratio



Fig. 9 Soil-cement compaction

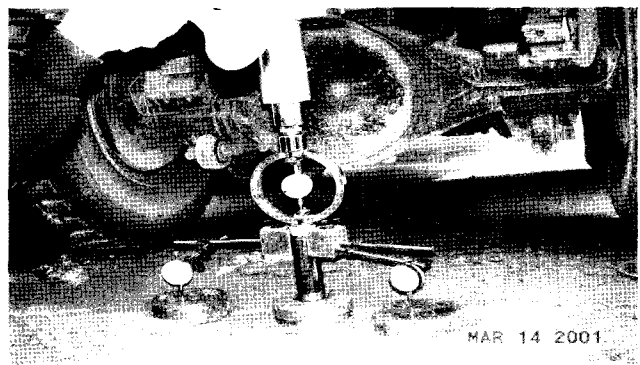


Fig. 10 Field CBR test

Fig. 8은 체분석을 시행한 결과 #200번체 통과율의 변화에 따른 소일시멘트 혼합개량지반의 CBR 값을 나타낸 것이다. 또한 이 그림에서는 이들을 표현할 때 혼합비의 변화에 따른 개량깊이의 변화도 함께 표현하였다. 즉, #200번체 통과율이 20~40%를 나타내 혼합비 2%를 적용한 첫 번째 경우는 개량깊이가 20~30cm 정도이면 품질관리 조건을 충족하고, #200

번째 통과율이 40~80%정도까지로 혼합비 3.5%를 적용한 두 번째 경우는 개량깊이가 30~40cm 정도이면 상기조건을 충족시킨 것으로 나타났다(Fig. 9, Fig. 10 참조).

이상과 같은 검토내용에 따라 현장의 적용기준은 원지반의 #200번체 통과율을 중심으로 시멘트의 중량비는 2%와 3.5%로 고정하고, 개량깊이는 20~40cm까지 Table 4에 나타난 바와 같이 다양하게 변화시켰다.

Table 4 Adaptation standard of Soil-cement mixed treatment method

구 분		적 용 기 준		비 고
		시멘트 중량비	개량깊이	
대상지반 원지반의 #200 통과량(%)	25~30%	2%	20cm	
	31~40%	2%	30cm	
	41~60%	3.5%	30cm	
	61%이상	3.5%	40cm	

Table 5는 이상의 결과를 중심으로 #200번체 통과율의 차이와 시멘트의 중량비에 따라 소일시멘트 혼합처리공법을 적용하는 전체 현장에 대해 Table 4의 개량깊이를 중심으로 정리한 것이다. 이상의 값은 매 구간의 연장이 각기 다르기 때문에 세세하게 구분하기가 매우 어려워 대표적인 시험값에 따라 해당하는 시멘트 중량비와 개량깊이를 결정하였다.

Table 5 Field mixed ratio and treatment depth

절토부 (개소)	적 용 구 간 세부적용구간 (연장)	노상지지력 확보를 위한 현장 적용 방안				비 고 (적용행선)
		2%, 20cm	2%, 30cm	3.5%, 30cm	3.5%, 40cm	
1	7+380~7+720 (L=340m)			적용		상, 하행선
2	8+450~8+550 (L=100m)	적용				상, 하행선
3	8+650~8+720 (L=70m)	적용				상, 하행선
	8+770~8+900 (L=130m)		적용			상, 하행선
4	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
5	9+750~10+250 (L=500m)			적용		상, 하행선
	10+360~11+020 (L=660m)			적용		상행선
	10+350~10+400 (L=50m)			적용		하행선

4. 결 론

- 1) 연구 대상 공구의 절토부 5개소에 대해 노상층에 대한 현장 조사를 실시한 결과, 절토부 노상층 용수처리구간의 배수가 도로 종횡방향에 설치된 배수로로 통하여 원활히 이루어지고 있는 것을 알 수 있었다.
- 2) 소일시멘트의 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, 혼합비율 2%적용한 #200번체 통과율이 25%대와 혼합비율 3.5%적용하여 #200번체 통과율이 50%대인 두 경우 모두 CBR 값이 시방기준 값인 10을 상회하여 충족시킴을 알 수 있었다.
- 4) 소일시멘트의 개량깊이는 #200번체 통과율이 20~40%를 나타내 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 필요로 하는 강도조건을 충족시킨 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 권호진의 1인(1998) “최신도로공학”, 기문당
- [2] 남영국의 1인(1997) “최신 도로공학총론”, 청문각
- [3] 도로교통협회(1998) “아스팔트 포장 설계 시공요령”
- [4] 동아건설터트(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-

원고접수일 : 2003년 3월 31일
 원고채택일 : 2003년 7월 8일