

基層의 시멘트 安定處理에 關하여

林 采 中

〈東義工業專門大學助教授〉

1. 공법의 개요

우리나라의 시멘트 콘크리트 포장은 1981년 부마고속도로, 1984년 88올림픽 고속도로에 시행되었고 현재는 호남고속도로 확장 공사와 중부고속도로 건설에 시공 중이다.

그런데 아직 도로포장의 기층, 보조기층, 노반 또는 표층에 시멘트 안정처리공법을 이용하려는 경향은 적다.

이 공법은 1920년대 미국에서 시작된 이래 세계 각국에서 각종 시험과 연구를 거쳐 타당성을 널리 인정받아 많이 사용되어 왔으나 국내에서는 1963년 처음으로 국립건설 연구소에서 보조 기층용으로 연구소내 시험포장을 시도했으며 1975년 충남 해미-서산간, 강원 현리-속사리간, 1981년 대전 오가-덕산간, 1982년 경북 선산-김천간에 Soil-cement 를 시험 포장했을 뿐이다.

실상 파괴된 포장도로를 조사해보면 그 원인이 포장 그 자체의 결함 외에도 노반, 노상 및 기층 등의 파손에 기인한 것이 많다. 더구나 최근 급격히 증가된 교통차량 및 과중한 중량에 견디기 위해서는 기층, 노반 및 노상에 대해서도 신중한 고려를 해야된다고 생각된다.

기층, 노반과 노상은 그 재료를 양호하게 충분히 다짐을 행하면 상당한 지지력을 가지도록 조성할 수 있는 경우도 장차 지하수나 표면수

의 침입을 받을 때나 그 수분의 증발이 鋪裝板에 방해되어 基層과 路盤의 含水比는 현저하게 높아져 지지력의 저하, 때로는 凍結現象 등에 의해 파괴로 발전하는 경우가 많다.

그래서 이를 방지하기 위해 기층과 노반재료의 흙에 특정한 첨가제를 가(加)해 혼합해서 필요한 耐水性 및 凍上에 대한 저항성을 갖는 안정한 포장체를 만들 수 있다.

안정처리공법으로 포장의 기초가 되는 노반이나 기층을 안정처리하는 목적은

첫째로 노반과 기층의 강도를 증가시켜 지지력을 증가시키고 특히, 함수량에 의한 지지력의 변화를 가능한 한 적게 할 것이며

둘째로 노반과 기층의 不浸透性を 증대시켜 특히 한냉지에 대한 동해를 방지하고

셋째로 건조, 습윤 및 동결, 융해 등의 기상 변화가 심한 곳에 저항성을 가지게 하는데 목적이 있다고 하겠다.

2. 시멘트 안정처리의 종류

안정처리공법에는 주입공법, 압밀공법, 전기침투공법, 화학공법 등이 있지만 여기서는 첨가제를 사용한 안정처리공법에 대해 살펴본다.

첨가제를 사용한 재료에 따라 나누면

① 기계적 안정처리

(Mechanical soil stabilization)

② 역청계 재료에 의한 안정처리

(Bituminous stabilization)

③ 시멘트에 의한 안정처리 (Soil-cement stabilization)

④ 화학적 안정처리 (Chemical soil stabilization)

등이 있으며 이중 ③ 시멘트에 의한 안정처리 공법을 상세히 분류하면

- ① 흙 - 시멘트 안정처리 (Soil-cement)
- ② 시멘트에 의한 흙의 개량 (Cement-Modified soils)
- ③ 기층용 시멘트 안정처리 (Cement treated for base)

등이 있으나 본 연구에서는 기층용 시멘트 안정처리에 대해 상세히 조사하고 그 관계의 실험을 실시했다.

3. 시멘트 안정처리공법의 장점

모래와 자갈, 쇄석에 시멘트를 첨가하면 인장응력과 휨응력을 증가시켜 입자들을 더 강하게 결합시키면서 우수한 방수효과를 가져오며 콘크리트에 비해 상대적으로 낮은 강도와 탄성계수를 갖게 되어 패적성을 높이고 가용성이 있고 균열 틈이 좁아서 노상의 침하를 줄일 수 있으며 쇄석기층에 비해 지하수의 펌핑(pumping) 작용을 감소시켜 침식작용을 막아주는데 도움이 된다.

4. 재 료(materials)

1) 흙의 성질

노반 또는 기층 재료로서 사용되는 흙의 성질은 그 설계와 시공에 있어 현저하게 영향을

미치는 요소이다.

일반적으로 잘 분쇄되고 균일하게 혼합해서 충분히 다져질 수 있는 요건을 갖춘 재료를 선택해야 한다.

미국 포틀랜드 시멘트 협회에서는 「어떠한 흙이라도 분쇄 가능한 것이면 시멘트 안정처리는 가능하다」고 하였으며 미국 도로연구소(Highway Research Board)에서는 경제적인 안정처리를 할 수 있는 흙으로서는 <表-1>과 같이 규정하고 있고, <表-1>을 그림으로 나타내면 <그림-1>과 <그림-2>로 나타낼 수 있다.

<그림-2>에서 나타낸 것과 같이 액성 한계(L.L.)가 45%까지는 다행정식에 의한 현장혼합방식(Road mixing of multiple pass mixer, Seaman제의 pulvimixer 등)으로 하고 L.L.가 60%까지는 단행정식 이동 플랜트 방식(Road Mixing single pass mixer, Wood, Gardner형의 mixer 등)을 사용하고 L.L.가 60% 이상의 점성토에는 정지플랜트방식(stationary central mixing plant)을 사용하면 가능하다고 보고 있다.

일반적으로 소성지수(P.I.)가 적은 사질토에서는 굵은 골재를 포함한 입도배합이 좋은 흙이 바람직하다.

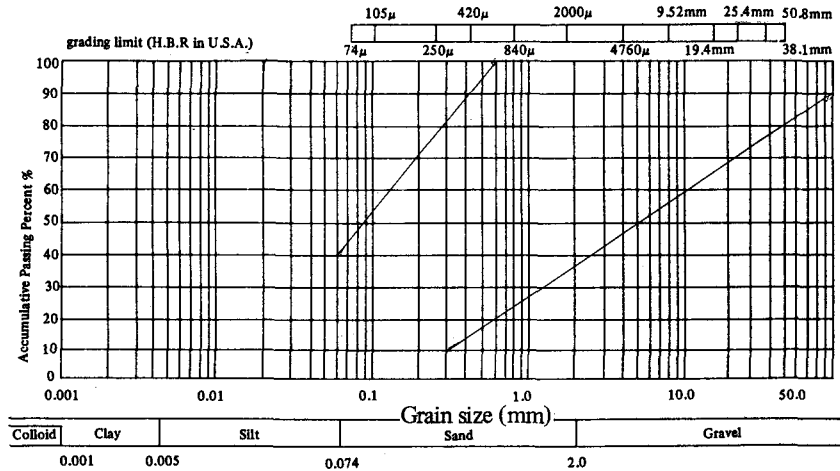
점토 및 실트(silt)의 함유량이 많은 세립토는 일반적으로 함수비가 높고 어느 정도 입도 개량을 하지 않으면 다량의 시멘트가 필요하다. 일반적으로

$$0.4 \geq \frac{200 \text{번체}(0.074 \text{ mm}) \text{ 통과량}}{30 \text{번체}(0.59 \text{ mm}) \text{ 통과량}} \geq 0.15$$

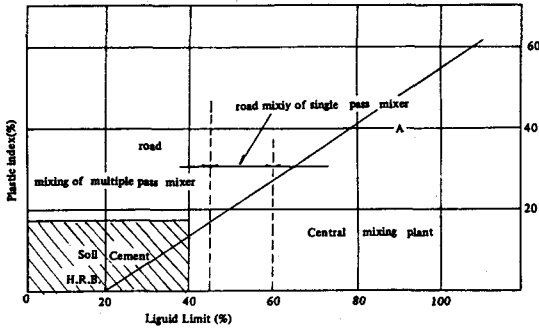
의 입도가 있으면 비교적 소량의 시멘트로서 안정처리를 할 수 있다. 한편 흙의 함수량은 최적함수비(Optimum moisture content, O.M.C)

<表-1> Soil classification for economical soil stabilization

Size Limit	Atterberg Limit
Max. Size 75 mm	
Passing Amount of 5 mm sieve > 50%	
Passing Amount of 0.42 mm sieve > 15%	Liquid Limit < 40
Passing Amount of 0.074 mm sieve < 50%	Plastic Limit < 18



〈그림 - 1〉 Grain size accumulation curve for economical soil stabilization



〈그림 - 2〉 Atterberg Limit for economical soil stabilization

에서 O.M.C. - 5%까지의 함수량의 범위내에서 안정도가 최대가 된다. 또 부순 자갈을 혼합한 자갈 등에는 O.M.C.가 명료하지 않은 경우가 많은데 이경우는 수침한 단축 압축강도가 최대가 되는 함수량일 때 일반적으로 내구성이 양호하므로 이 함수량을 O.M.C.로 간주한다. 따라서 O.M.C. 부근에서 다짐할 때 최대건조밀도 ($\gamma_{d\ max}$), 최대의 안정도 및 최대의 내구성을 갖는다.

즉 시멘트 안정처리의 시공에 있어서 실내시험에서 얻은 흙의 O.M.C.로부터 O.M.C. - 5%의 범위내에서 다짐하도록 수량의 조정, 관리를 하는 것이 가장 좋다고 하겠다.

2) 시멘트의 종류 및 량

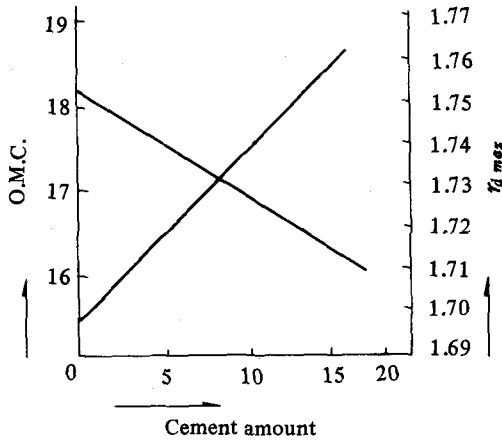
보통 포틀랜드 시멘트, 고로시멘트, 실리카시멘트 등이 시멘트 안정처리에 미치는 영향이 현저하지는 않으나 일반적으로 보통 시멘트와 실리카 시멘트가 고로시멘트에 비해 조기강도(σ_7)는 약간 높지만 충분히 양생한 후 장기강도(σ_{28})는 그 차이가 아주 작다.

따라서 시멘트의 종류에 따른 안정도의 변화는 거의 없다고 생각하며 더우기 조강포틀랜드 시멘트, 중용열 시멘트 등은 특수한 조건외에는 잘 사용하지 않는다.

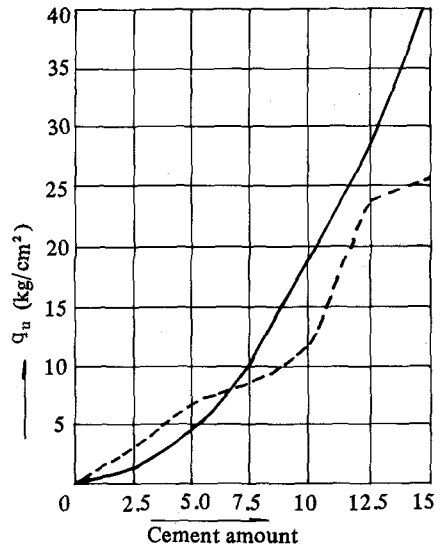
다음으로 시멘트량은 실내 실험 결과에 의해 〈그림 - 3〉에 나타난 것과 같이 어떠한 특정함수에 첨가한 시멘트량이 많을수록 그 흙의 안정처리에서 최대건조밀도는 증가하고 O.M.C.는 감소하는 경향이 있다. 시멘트량이 많으면 안정도는 증가하지만 한편 균열이 발생하기 쉽고 강도가 높기 때문에 반사균열(Reflection Cracking)을 일으킬 위험이 있다.

〈그림 - 4〉는 포틀랜드 시멘트협회(P.C.A)에서 일반적으로 입도분포가 띠(Band) 내에 있을 경우 최소 시멘트량을 요구하게 되며 〈그림 - 5〉는 입도와 첨가 시멘트량과의 관계를 나타내고 있다.

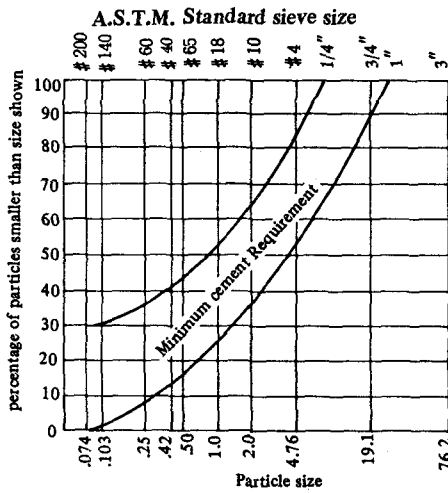
〈그림 - 6〉은 시멘트량에 따라 사질토와 실트에 있어서 일축 압축강도 q_u (kg/cm^2)의 변화를 나타내고 있다.



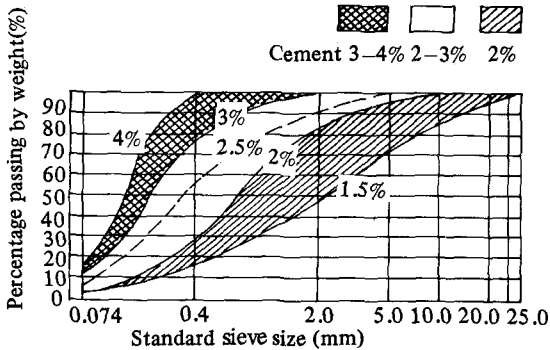
〈그림 - 3〉 Relation between cement amount and $\gamma_{d \max}$ O.M.C. in soil-stabilization



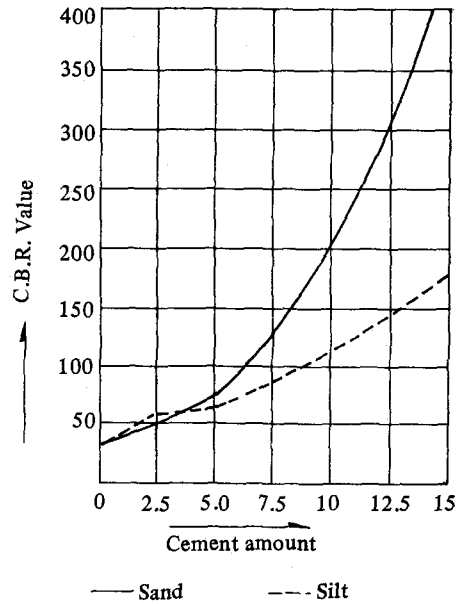
〈그림 - 6〉 Relation between cement amount and compression strength



〈그림 - 4〉 Graduation for Minimum cement Requirements



〈그림 - 5〉 Relation between particle size and cement amount



〈그림 - 7〉 Relation between cement amount and C.B.R.

따라서 미국 캘리포니아주에서 아스팔트의 기층 또는 상·하부 노반은 6~7%, 시멘트 콘크리트 포장의 노반에는 2.5~5%의 시멘트량을 표준으로 정하고 있다.

3) 굵은 골재 (Coarse Aggregates)의 양과 최대 입경

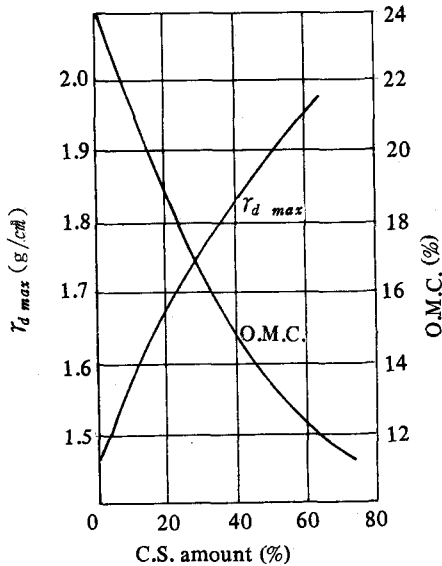
재료로서 강자갈, 부순 자갈, 슬래그(slag) 화산재 등의 굵은 골재를 넣으면 다짐 효과가 현저하게 달라지는 결과를 가져온다.

〈그림-7〉은 시멘트량에 따른 사질토와 실트에 대한 C.B.R.값의 관계를 나타낸 것으로, 시멘트량의 증가에 따라 안정도가 비례해서 증가함을 보여주고 〈그림-6〉에서와 마찬가지로 사질토가 더 유리함을 알 수 있다.

〈그림-8〉은 굵은 골재의 첨가량을 노반 재료의 60% 정도까지 혼입하면 양에 거의 비례해서 $T_d \max$ 는 증가하고 O.M.C.는 감소하는 것을 나타낸다.

〈그림-9〉는 시멘트량과 압축강도 및 C.B.R. 값의 관계를 나타낸 것으로 시멘트량이 5% 이상인 경우 굵은 골재의 양에 거의 비례해서 압축강도 및 C.B.R. 값이 증가하고 있다.

이상과 같이 굵은 골재의 첨가량에 의해 강도 및 다짐효과는 증대하게 되며 입도배합이 좋고 나쁨에 따라 현저히 좌우되므로 굵은 골재를 첨가할 때는 양호한 입도배합을 하는 것이 좋다.



〈그림-8〉 Relation between Crushed Stone and $T_d \max$, O.M.C.

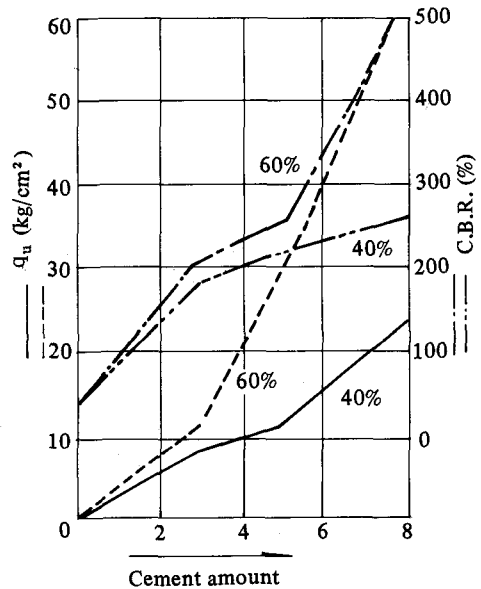
일반적으로 동일 시멘트양을 첨가한 동일 재료의 흙에 대해서 골재입경은 25 mm를 표준으로 하되 50 mm, 80 mm와 같이 입경이 큰 경우는 그 정도에 따라 지지력 K값과 하중 분포 효과가 감소된다고 본다.

미국에서는 안정처리 노반의 두께의 1/3 이하를 표준으로 하도록 하고 있으나 근래의 경향은 최대입경을 40 mm 이하로 억제하고 있다.

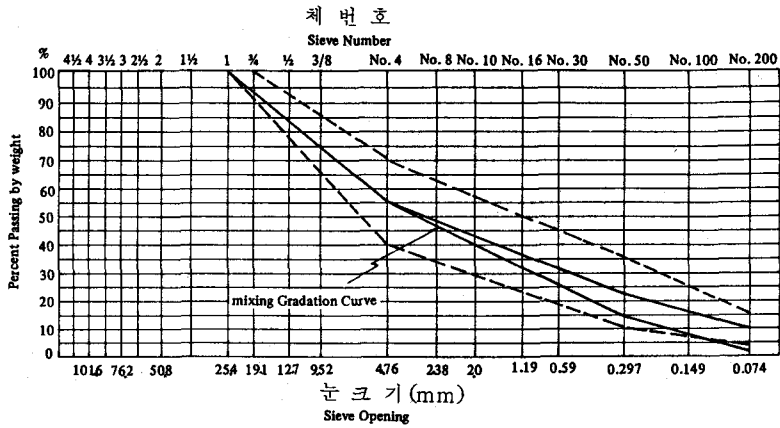
5. 재료시험 및 결과

1) 관련 규정

- KSF 2301 : 흙의 입도 및 물리적 성질
- " 2303 : 흙의 액성 한계 시험방법
- " 2304 : 흙의 소성 한계 시험방법
- " 2312 : 노상토의 지지력 (C.B.R.) 시험방법
- " 2328 : 흙-시멘트의 압축강도 시험방법
- " 2329 : 시험실에서 흙-시멘트의 압축 및 휨강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법
- " 2330 : 다져진 흙-시멘트 혼합물의 추김과 말림 시험방법



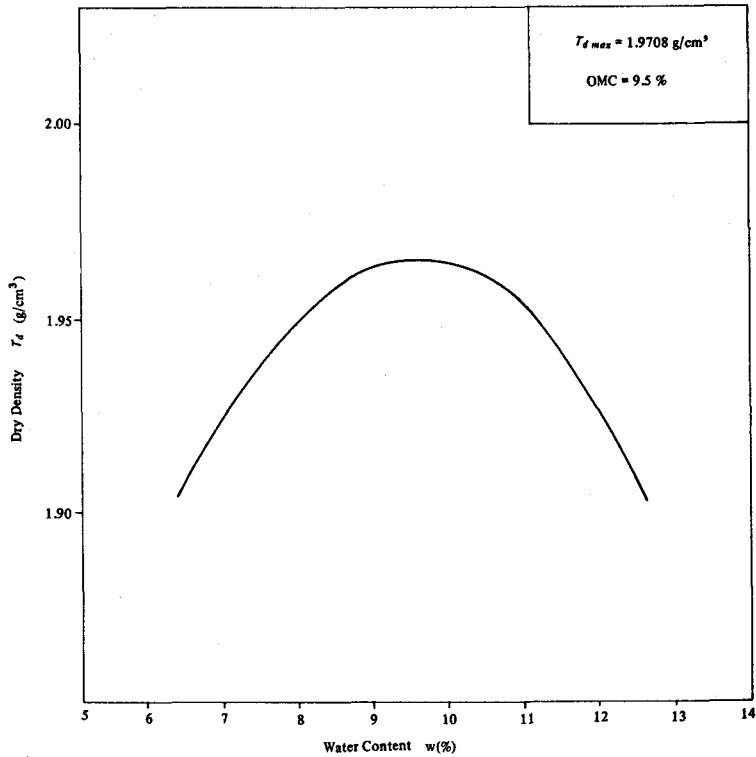
〈그림-9〉 Relation between cement amount and C.B.R., q_u .



부순자갈 : 잔골재 = 42 : 58

〈그림 - 10〉 Gradation Curve of sieve Analysis

Trial No.	1	2	3	4	5
Dry density γ_d (g/cm^3)	1.906	1.938	1.960	1.964	1.935
Average w (%)	6.400	7.400	8.600	10.100	11.700



〈그림 - 11〉 Compact Test

KSF 2331 : 흙-시멘트 혼합물의 함수량과 밀도관계 시험방법

" 2502 : 골재 분석

" 2503 : 굵은 골재의 비중 및 흡수량시험

" 2528 : 보조기층 및 표준용 흙 골재 재료 등의 K. S. 규정과 A. A. S. H. O. 규정에 따라 시편을 제작하여 시험을 실시했다.

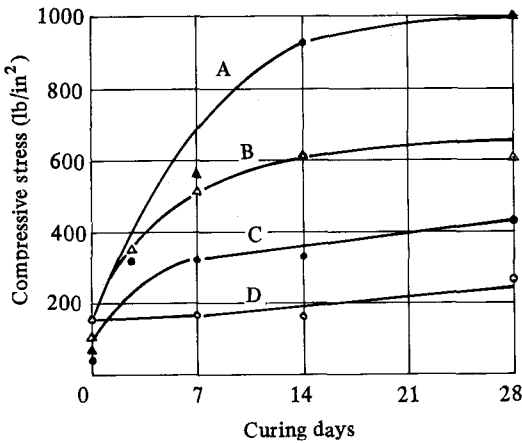
2) 재료의 배합설계 예

<그림-10>은 혼합입도 곡선과 시공배합 곡선을 나타낸 것이며 <그림-11>은 건조밀도와 최적 함수비의 시험결과를 나타낸 것이다. 즉 최적 함수비 부근까지 충분히 다져 양호한 노반이나 기층을 만들어야 한다.

영국의 도로연구소에서 행한 시험결과에 의하면 건조밀도 1 lb/ft³의 감소는 단축 압축강도를 20 ~ 40 lb/ft³의 감소를 가져온다고 했다.

3) 시멘트양에 따른 압축강도시험

일반적으로 압축강도와 양생일수에 따른 관계를 시멘트 첨가량에 의해 나타내면 <그림-12>



	Cement	W	r_a (lb/ft ³)
A	30%	17%	180
B	15%	20%	104
C	10%	22%	101
D	5%	19%	105

<그림-12> Relation between compressive stress and curing days according to cement amount

와 같다.

본 실험에서는 시멘트양 4%, 5%, 6%, 6.5%, 7.5%, 8%로 하여 각각 6개씩의 공시체를 제작, 7일강도(σ_7)를 평균하여 계산했다.

시멘트 안정처리 기층의 시멘트양의 결정은 7일간 양생한 후 얻은 공시체의 강도시험결과는 1종인 경우 35 kg/cm², 2, 3종인 경우 17.5 kg/cm²를 초과해야 한다. 따라서 본 시험에서 시멘트양은 <그림-13>과 같이 $\sigma_7 = 35$ kg/cm² 되는 6.5%로 결정했다.

6. 시공법

일반적으로 다음의 3가지가 있다.

① 현장혼합법 (Mixed in-place Method)

② 이동식 플랜트 방식

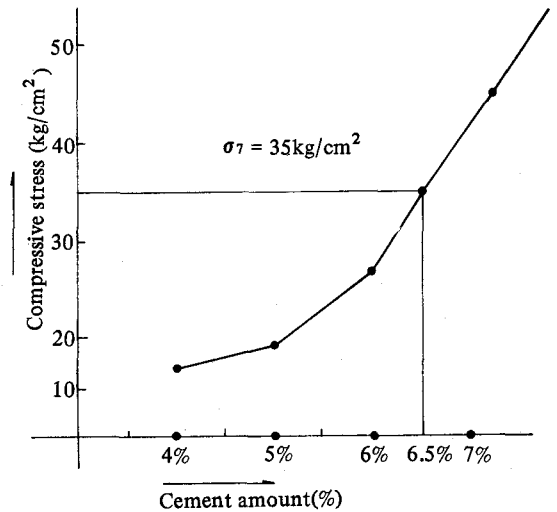
(Travelling plant Method)

③ 정지 플랜트 방식 (Stationary plant Method)

이들 중 미국, 영국 및 독일 등에서는 현장 혼합방식을 널리 사용하고 있으나 최근 미국은 이동식을, 영국은 정지식을 또는 중앙혼합식을 이용하기도 한다.

여기서 현장혼합법의 시공순서를 간단히 기술해 보면

① 노반을 필요한 깊이까지 파고 흙을 잘게 분쇄한다.



<그림-13> Relation between compression strength and cement amount

<表 - 2 >

시공법의 장단점

구 분	현 장 혼 합 방 식	이 동 플 랜 트 방 식	정 치 플 랜 트 방 식
장 점	1) 플랜트가 간단해서 값이 싸고 운반이 용이 2) 공사 규모에 따라 투입 대수를 조절할 수 있다. 3) 평균 시공량이 많다.	1) 물(水)의 첨가량을 정확히 할 수 있다. 2) 비교적 균일한 혼합 가능 3) 혼합시간 단축, 시공능력 증대	1) 혼합재료의 배합을 정확하게 2) 시공 두께의 관리가 용이 3) 보통 Con.의 믹서로 사용 가능
단 점	1) 두께의 균일한 시공이 곤란 2) 다른 두 방법에 비해 균일한 혼합이 곤란 3) 홍수가 날 경우 전시공 부분이 유실된다.	1) 최초의 구입가격이 비싸다. 2) 일부분의 작은 고장에 의해 서도 전체의 기능이 정지된다.	1) 현장 흙을 그대로 처리하면 공비가 비싸다. 2) 혼합재료의 운반, 다짐이 필요하고 전구간의 일시 다짐이 불가능하다. 3) 시공 능력이 적다.

② 그레이더(Moter grader)로 균일하게 고른 후 흙의 함수비를 측정한다(소정의 함수비보다 2% 이상 부족한 경우는 스프레이어(sprayer)로 살수해서 흙의 함수비를 소정의 함수비로 한다).

③ 인력 또는 기계로 시멘트를 균일하게 살포한다.

④ 뿌린 후 즉시 회전 경토기 또는 소일믹서(Soil-Mixer)에 의해 혼합을 개시해서 혼합물의 색깔이 같을 때까지 계속해서 실시한다.

⑤ 혼합이 끝난 후 그레이더로 평평하게 고르고 다짐을 개시한다.(다짐기계로는 타이어 로울러, 탠덤 로울러, 마카뎀 로울러 등)

⑥ 다짐이 끝나면 7일간 습윤 양생한다(다짐 직후 역청재로 푸라임 코팅을 살포하는 방법이 있지만 영국에서는 표면이 분해 될 위험이 있어 경고하고 있다).

이상과 같은 작업과정은 5시간 이내에 실시되어야 하며 특히 다짐을 충분히 하여야 한다.

7. 결 론

본 연구는 시멘트를 이용한 안정처리 중 노반과 기층에 한해서 주로 다루었으며 시멘트 안정처리를 한 포장체의 응력해석과 포장체의 구조설계 등은 차후 유한요소법으로 탄소성 해석코자한다.

이상에서 본 바와 같이 시멘트 안정처리 공법은 석유자원이 부족한 지역이나 산악 지대로서

현지에서 쉽게 골재를 공급할 수 있는 지역에서 유리하다고 생각되며 특히 우량이 많고 동해가 예상되는 지역에 저항성이 큰 시멘트 안정처리공법을 이용한다면 안정된 포장체를 시공할 수 있을 줄 믿는다. 실험과 조사를 통해 입도율에 따른 적절한 시멘트량을 결정하였고 쇄석혼합량에 따른 Q.M.C.와 r_{dmax} 을 잘 나타내고 있다.

<參 考 文 獻>

- 1) セメント協會, “道路舗装のエネルギー消費量と經濟性” セメント・コンクリート No 382 p34~46, (1979).
- 2) Eberhard E. Knoll, “Economic Comparison of Pavement” IRF XIIIth. p. 42~44, (1978).
- 3) Edward L. Kawala, “Cement-Treated Sub-base Practice in U.S. & Canada” A.S.C.E. Vol 92, No HW 2, p 75~80, (1966).
- 4) E. J. Yoder & M. W. Witzak “Principles of pavement Design” John Willey & Sons, (1975).
- 5) 高橋國一郎, “セメントを用いた路盤の安定処理工法 (I), (II)” セメント・コンクリート, p. 2~17, (1959).
- 6) 上田長平, “火山灰質砂質土のセメント安定処理路盤工”, 舗装 15-5, p. 7~13, (1980).
- 7) 崔 彈, “시멘트 콘크리트 舗装에 關한 小考”, 시멘트, 한국양회공업협회, p. 42~46, (1985).
- 8) 建設部, ‘흙의 安全處理工法’ (1980).
- 9) 建設部, ‘AASHO 道路試驗解説’ (1980).
- 10) 建設部, ‘콘크리트 舗装의 設計’ (1980). ♣