

콘크리트鋪裝의 設計方法

金 周 元

〈韓國鋪裝建設(株) 常務理事〉

目 次

1. 設計法の 分類
 - 가. 經驗的 設計法
 - 나. 構造解析的 設計法
 - 다. 供用實績에 기초를 둔 設計法
2. AASHTO의 設計方法
 - 가. 콘크리트슬래브의 두께設計
 - 나. 補助基層의 設計
3. 日本콘크리트鋪裝要綱의 設計方法
 - 가. 콘크리트슬래브의 設計
 - 나. 補助基層, 基層의 設計

머 리 말

1962~63년에 永登浦로터리로부터 金浦空港에 이르는 金浦街道를 폭 15m(포장폭 7m×2+분리대 1m), 연장 12km의 콘크리트鋪裝을 시공한 것이 우리나라에서는 도로포장공사에 적용한 최초의 콘크리트포장이었다. 콘크리트벤키플랜트를 설치하고 레미콘트럭과 콘크리트피니셔를 사용하여, 두께 20cm의 슬래브에 철망을 넣은 그 당시에는 최신키의 대규모공사이었다.

최근에 몇차례의 原油價 인상에서 오는 공사비 상승과 국산원자재인 시멘트의 활용이라는

정책적인 배려로 釜山-馬山間 고속도로 확장공사에 콘크리트포장을 채택하였다. 그러나 시공 장비와 시공기술상의 문제점을 고려하여 일부 시험구간을 제외하고는 표층을 아스팔트혼합물로 덧씌운 것이 되어 이른바 화이트 베이스포장이 되었고, 본격적인 표층으로 콘크리트포장을 시공한 것은 금년에 개통을 본 전장 175.3km의 88고속도로의 포장공사이다. 콘크리트 포장이 아스팔트포장에 비하여 어떠한가 하는 것은 논외로 하고 우리나라에서의 콘크리트포장에 대한 평가는 수년이 지난 후 이야기가 거론되리라 보며 여기에서는 이 콘크리트포장에 대한 설계법을 소개하고자 한다.

1. 設計法の 분류

경화된 콘크리트는 引張力에 대해서 매우 약하기 때문에 콘크리트鋪裝体안에 콘크리트의 건조수축에 의한 應力, 또는 온도변화와 荷重에 의한 應力이 引張應力으로 작용하여 이것이 콘크리트의 引張強度(또는 韌인장강도)를 초과하면 콘크리트는 파괴에 이르게 되고 균열이 발생하게 된다.

일단 발생한 균열은 포장구조 전체를 파괴하는 원인이 되기 쉬우므로 균열이 발생하여도 크게 해롭지않은 구조로 미리 만들어둘 필요가 있다. 應力계산면에서 보면 슬래브(版) 두께가 두

꺼워지면 荷重應力은 줄어드나 溫度應力은 크게 되고, 또한 슬래브가 길게되어도 온도응력은 크게 된다. 따라서 콘크리트슬래브의 구조로서 슬래브의 크기를 어느 정도로 제한하거나 또는 응력을 부담시키기 위해 철근을 넣는 등의 방법을 취하고 있는 것이다.

이와 같이 콘크리트포장의 설계에서는 슬래브의 두께뿐 아니라 균열의 대책으로서 슬래브의 길이, 균열이 들어갈 위치를 지정하여 보강하고 있는 줄눈의 설계 등이 포함되는 것이다.

콘크리트포장의 실용적인 설계법으로 쓰이고 있는 방법에는 몇가지 종류가 있으나 그의 발전된 순서로 보면 다음과 같이 나눌 수 있다.

- ① 경험적설계법
- ② 구조해석적설계법
- ③ 供用실적에 기초를 둔 설계법

그 밖에 컴퓨터의 발달로 有限要素法 등을 이용하여 콘크리트포장을 彈性體로 보아 이론적으로 해석하는 방법도 연구되고 있으나 아직 실용화단계에 이르지 못하고 있다.

가. 經驗的設計法

이 방법은 기왕의 施工例 가운데 성공한 예를

이용하는 방법으로 초기에 있어 콘크리트포장의 설계와 시공에서 보아왔던 방법이다. 현재 우리가 많이 참고하고 있는 일본의 콘크리트鋪裝要綱의 설계법에도 경험에 바탕을 두고 결정된 요소가 많다. 그러나 현재는 경험만으로 설계하는 방법은 쓰지않고, 여기에 구조적인 검토를 가하여 설계하고 있다.

나. 構造解析的設計法

이 방법은 구조적으로 가장 취약한 지점을 찾아내고, 그 부분의 응력이 부재의 강도를 초과하지 않도록 슬래브두께 등을 결정하는 방법이다. Older의 隅角公式 등은 이러한 설계법의 초기방법에 해당한다. 이 가운데 대표적인 것으로 표-1과 같이 PCA(Portland Cement Association)設計法, 일본의 鋪裝要綱의 설계법 등을 들 수 있다.

이들의 설계법의 순서는 기본적으로는 그림-1과 같이 먼저 슬래브두께를 가정하고 가장 취약한 지점의 應力과 반복회수를 계산하고, 주어진 疲勞曲線으로부터 피로저항을 구하여 피로저항이 1 이하가 되도록 슬래브두께를 반복계산에 의하여 결정한다.

표-1. 콘크리트鋪裝슬래브의 구조해석적 설계법

		Older의 隅角公式	PCA의 설계법 (1966)	日本道路公園의 설계법 (1979)
응 력	취 약 지 점	隅 角 部	自由段部	中央部 또는 세로自由段部, 또는 세로줄눈 段部
	荷 重 應 力 式	각 공 식	Westergaard 식	Westergaard 식
	溫 度 應 力 式	고려치 않음	고려치 않음	日土木研究所공식
콘 크 리 트 의 피 로 곡 선		콘크리트의 강도를 고려함.	PCA 곡선(改訂分)	(上 同)
교 통 조 건	輪 荷 重 빈도분포	최대 하중만	○	○
	車輪주행위치분포	고려치 않음	고려치 않음	○
	多軸차량의 고려	單 軸 만	復軸도 고려	軸數환산
지 역 특 성		고려치 않음	고려치 않음	온도응력에 있어 지역성 고려
슬래브길이(가로 줄눈 간격)와 두께의 관계		슬래브길이는 두께와는 별도로 경험적으로 정함.	(左 同)	온도응력식 가운데 비틀림 拘束係數가 슬래브길이에 관계함.

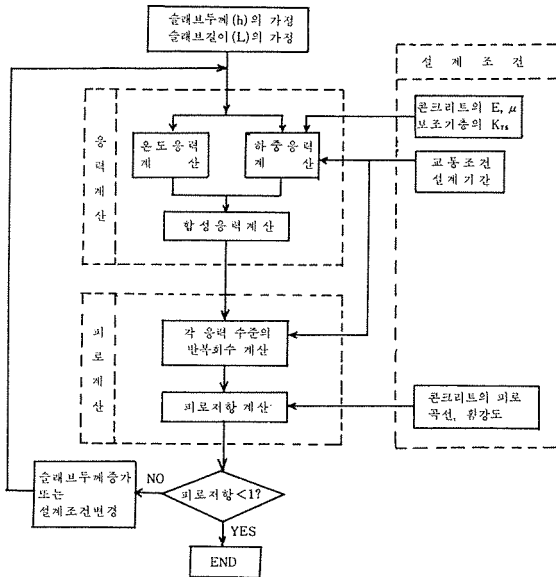


그림-1. 콘크리트슬래브두께의 구조해석적 설계법의 개념

다. 供用實績에 기초를 둔 設計法

이 방법은 콘크리트포장도로의 供用性を 조사하고 그 결과를 이용하여 구조해석을 실시하고 정립한 설계법이다.

그 가운데 가장 알려진 것이 AASHTO의 잠정지침의 방법(AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structure), 英國의 Road Note 29, 西獨의 콘크리트鋪裝要綱 등이 있다. 우리나라의 88고속도로의 콘크리트鋪裝의 설계역시 AASHTO의 방법에 따랐다.

여기에서는 이 방법과 금년초에 개정된 日本 콘크리트鋪裝要綱의 방법을 소개한다.

2. AASHTO의 設計方法

이 설계법에서는 $pt=2.5$ 와 $pt=2.0$ 의 경우에 대하여 각각 노모그래프(설계도표)를 제시하고 있다. 이 도표 가운데 콘크리트의 작용응

력(ft)과 路床의 反力係數(k)의 스케일은 슬래브 내의 應力분포에 대한 Westergaard 이론을 Spangler에 의해 수정되어 얻어진 것이다.

가. 콘크리트슬래브의 두께設計

AASHTO 道路試驗의 성과에 기초를 둔 이 설계법은 다음과 같은 몇가지 가정을 근거로 하여 설계도표를 제시하고 있다.

① 기본식은 供用性(serviceability)의 저하, 교통량 및 포장두께 사이의 相互關係의 표시이다. 이들 기본식에서 供用性의 저하는 서어비스指數의 감소라는 말로 표시되며, 교통량은 8.2t 換算單軸荷重通過數로 환산되며 슬래브두께는 직접 콘크리트판의 두께(인치)로 표시된다.

② 단일종류의 路床土에 대한 AASHTO 도로 시험으로부터 얻어진 기본식은 地盤支持力係數(k)의 스케일에 의해 어느 노상토에도 확대환산할 수 있다.

③ 균일한 교통하중의 반복통과는 8.2t 換算單軸荷重으로 환산하므로써 혼합교통에도 확대 적용할 수 있다.

④ AASHTO 도로시험에서의 2년의 시험기간 동안에 累加 교통량 통과수로 얻어진 기본식은 20년으로 확대한 기간의 교통량으로 확대 적용할 수 있다.

⑤ 단일종류의 콘크리트포장 슬래브에 대한 AASHTO 도로시험에서 얻어진 기본식은 콘크리트의 韌強度(ft)의 스케일에 의해서 그와 다른 종류의 포장슬래브에도 확대 적용할 수 있다.

설계도표를 사용하기 위해서 다음과 같은 조건들을 평가하여야 한다.

- ① 최종 서어비스指數(pt)
- ② 8.2t 換算單軸荷重通過數
- ③ 地盤支持力係數(k)
- ④ 콘크리트의 韌強度(ft)

(1) 최종 서어비스指數

신설포장의 서어비스指數가 대략 5 정도로부터

터 도로교통의 공용에 이바지하면서 점차 저하하여 최종적으로 $pt=2.5$ (고급포장), 또는 $pt=2.0$ (저급도로의 포장)까지 되면 설계기간이 다 되어 대규모의 보수가 필요한 포장이 된다고 본다. 설계도표는 이들 각각에 대한 도표를 제시하고 있다.

(2) 地盤支持力係數

AASHTO 道路試驗의 결과로부터 유도된 기본식은 도로시험현장의 토질의 특성에 맞는 것이기 때문에 다른 노상토에 적용하기 위해서는 토질변화에 따라 地盤支持力係數스케일에 의해서 변환시키게 된다.

地盤支持力係數(k)는 시험하는 위치에 있어 평방인치에 대한 작용하중(파운드)을 침하량(인치)으로 나눈 값으로 나타낸다. 설계도표의 k-스케일은 AASHTO T 222의 시험방법에 따라 직경 75cm의 원판을 사용하여 시험한 평판

재하 시험결과로 환산하여 적용한다.
($1\text{lb}/\text{in}^3 = 0.02768\text{kg}/\text{cm}^3$)

(3) 콘크리트의 휨強度

AASHTO 道路試驗에 사용된 콘크리트의 28일 평균 휨強度는 690psi ($48.5\text{kg}/\text{cm}^2$)였다. 이와 상이한 휨강도의 콘크리트를 사용하는 포장의 설계에 확대적용하기 위해서 설계도표에서 콘크리트의 휨強度(ft) 스케일이 사용된다.

(4) 8.2t 換算單軸荷重 通過數

설계기간 동안(20년)에 통과가 예상되는 전체 교통량을 차종별로 구분하여 대표되는 軸荷重으로부터 8.2t 單軸荷重으로 환산한 전체통과수를 구한다.

각 軸荷重에 따라 8.2t 單軸荷重으로의 환산에는 AASHTO의 잠정지침에서는 표-2를 제시하고 있으며 88고속도로의 포장설계에서는 표-3과 같은 환산계수를 사용하였다.

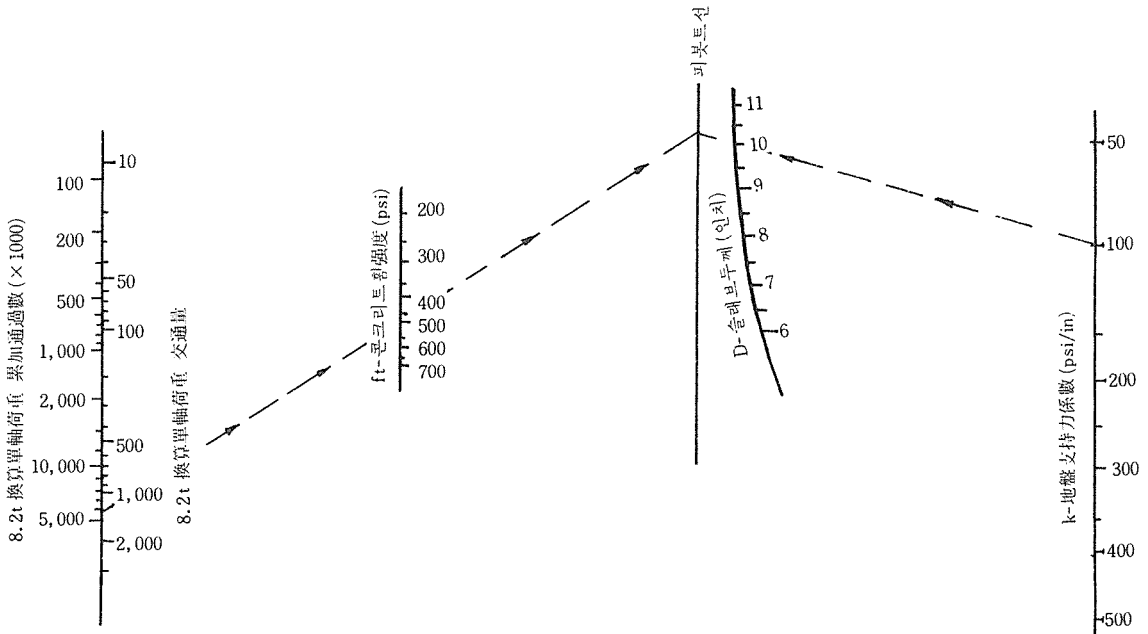


그림-2. 콘크리트슬래브두께 설계용 도표 ($pt=2.5$, AASHTO 잠정지침)

표-2. AASHTO 잠정지침의 축하중 환산계수 (단축, pt = 2.5)

축 하 중		콘크리트 슬래브두께별 환산계수					
t	Kips	6in, 15.2cm	7in, 17.8cm	8in, 20.3cm	9in, 22.9cm	10in, 25.4cm	11in, 27.9cm
0.91	2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
1.81	4	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
2.72	6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3.63	8	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
4.54	10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
5.44	12	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18	0.17
6.35	14	0.38	0.36	0.35	0.34	0.34	0.34
7.26	16	0.63	0.62	0.61	0.60	0.60	0.60
8.16	18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
9.07	20	1.51	1.52	1.55	1.57	1.58	1.58
9.98	22	2.21	2.20	2.28	2.34	2.38	2.40
10.89	24	3.16	3.10	3.23	3.36	3.45	3.50
11.79	26	4.41	4.26	4.42	4.67	4.85	4.95
12.70	28	6.05	5.76	5.92	6.29	6.61	6.81
13.61	30	8.16	7.67	7.79	8.28	8.79	9.14
14.52	32	10.81	10.06	10.10	10.70	11.43	11.99
15.42	34	14.12	13.04	12.94	13.62	14.59	15.43
16.32	36	18.20	16.69	16.41	17.12	18.33	19.52
17.23	38	23.15	21.14	20.61	21.31	22.74	24.31
18.14	40	29.11	26.49	25.65	26.29	27.91	29.90

표-3. 차종별 축하중 환산계수

승용차	버 스	輕量트럭	重量트럭	특수트럭
0.0008	1.27	0.0451	0.879	2.972

이상과 같은 주어진 조건을 고려하여 그림-2의 설계도표를 이용하여 슬래브두께를 결정한다. 다만 잠정지침에서는 슬래브두께가 20cm 미만으로 결정될 때에는 환경조건과 시공조건을 고려하여 상당히 주의를 기울여야한다고 지적하고 있다. 물론 較交通道路에서는 20cm 이하 두께의 슬래브로서도 만족할 수 있는 것이다.

나. 補助基層의 설계

콘크리트슬래브와 路床과의 사이에 다음과 같

은 목적으로 粒狀재료나 安定處理 재료로 다져서 하나 또는 그 이상의 층으로 보조기층을 둔다.

① 균일하고 안정되며 영속적인 支持力을 제공하기 위하여,

② 地盤支持力係數(k)를 높이기 위하여,

③ 凍上作用에 대한 피해를 줄이기 위하여,

④ 줄눈, 균열 및 슬래브단부에서 세립토의 펌핑현상을 방지하기 위해서,

⑤ 균열과 결함을 줄이기 위해서,

⑥ 포장장비에 대한 작업장을 제공하기 위해서.

물론 路床土의 품질이 補助基層에 적합할 경우는 별도의 보조기층이 필요치 않다. 표-4는 보조기층으로 사용할 수 있는 각 재료에 대한

표-4. 보조기층의 종류

규격		타이프 A 개립도	타이프 B 밀립도	타이프 C 시멘트처리	타이프 D 석회처리	타이프 E 역청처리	타이프 F 입상
입도 (통과백분율)	40mm	100	100	100			100
	19mm	60~90	85~100	—			—
	NO. 4	35~60	50~80	65~100	*	*	65~100
	NO. 40	10~25	20~35	25~50			25~50
	NO. 200	0~7	5~12	5~20			0~15
압축강도 (kg/cm ²)				28~53	7		
마아살안정도 (kg) 마아살플로우 (l/100cm)						227 이상 50 이하	
토성	액성한계 (%)	25 이하	25 이하				25 이하
	소성지수 (%)	N. P.	6 이하	10 이하**		6 이하**	6 이하

주) *安定처리 혼합물이 슬래브 이하의 침식에 저항할 수 있는 능력을 고려하여 실험분석으로 결정한다.

**安定처리재와 혼합하기 이전의 재료에 적용한다.

*** 각 타입의 입도는 NO. 200 체통과량이 최소가 되도록 하는 것이 좋다.

규격이다. 현지재료를 사용한 다른 규격이 있고 그의 사용실적이 만족하다면 사용할 수 있다. 표-4의 타입 A, B, C, D 및 E의 재료는 보조기층의 맨 상부층 10cm에 사용할 수 있으며, 타입 F는 상부층 10cm의 바로 밑층에 사용할 수 있다. 타입 A를 사용할 경우는 路床의 세립토가 보조기층으로 침투하지 않도록 주의하여야 한다. 凍上을 받는 지역에서는 타입 A, B 및 F의 보조기층재료는 세립분이 최소가 되도록 하여야 한다. 또한 배수시설을 고려해야 하며 측구구간에서는 타입 A는 피하는 것이 좋다.

3. 日本 콘크리트鋪裝要綱의 設計方法

日本道路協會에서 발간한 콘크리트鋪裝 要綱은 1955년에 초판이 나왔고 그 뒤 공용실적에 따라 4번째의 개정판으로 1983년판이 금년 2월에 출간되었다. 여기에서는 이 개정판을 중심으로 슬래브두께와 보조기층의 설계를 소개한다.

가. 콘크리트슬래브의 설계

콘크리트슬래브의 설계에 사용하는 콘크리트의 設計基準 韌強度는 45kg/cm²으로 하며, 콘크리트슬래브의 두께설계는 공용개시 5년후의 대형차 1일 1방향당의 추정교통량에 따라 표-5와 같은 두께를 표준으로 하고 있다.

표-5. 交通量區分과 콘크리트슬래브 두께

교통량구분	대형차교통량 (대/일·1방향)	슬래브두께 (cm)
L 교통	100 미만	15(20)
A 교통	100 이상 250 미만	20(25)
B 교통	250 이상 1,000 미만	25
C 교통	1,000 이상 3,000 미만	28
D 교통	3,000 이상	30

주) () 안은 L, A 교통에서 韌強度를 40kg/cm²로 할 경우이다.

대형차란 보통화물자동차, 버스, 특수자동차를 말한다.

콘크리트슬래브에는 원칙으로 鐵網과 段部補強鐵筋을 사용하는 것으로 하며, 鐵網의 철근량은 1m²당 약 3kg을 표준으로 하고 통상 직경 6mm의 이형철근을 사용하는 것으로 하고 있

다. 철망의 위치는 표면으로부터 슬래브두께의 거의 1/3 위치에 두며, 슬래브의 縱段部에는 직경 13mm의 이형철근 3 본을 보강근으로 넣도록 하고 있다.

나. 補助基層, 基層의 설계

補助基層 및 基層의 두께설계는 路床의 設計 支持力係數 또는 설계 CBR 을 기초로 하여 시행한다. 동결응해를 받는 한냉지에서는 凍結깊이로부터 置換깊이를 구하여 위에서 구한(보조기층+기층)두께에 콘크리트슬래브두께를 가한 것과 비교하여 置換깊이가 클 때에는 그 차이만큼 凍上을 일으키지 않는 재료로 凍上抑制層을 둔다.

(1) 支持力係數에 의한 두께설계

支持力係數(K_{30})의 측정은 平板載荷시험(KS

F 2310)에 의하여, 직경 30cm의 원판을 사용한 다.

지지력계수에 의해 보조기층 또는 기층의 두께를 구하는 때에는 그 윗면에서의 지지력계수가 B, C, D 교통에서는 $K_{30}=20\text{kg/cm}^3$ 이상, L, A 교통에서는 $K_{30}=15\text{kg/cm}^3$ 이상이 되도록 설계한다. 이때 그림-3을 이용하며 그림에서 얻어진 두께는 5cm 단위로 절상하여 설계두께로 한다.

설계에 사용하는 K_{30} 은 거의 동일한 재료의 路床구간에 대하여 절토, 성토구간 각 3개소 이상의 실측치를 가지고 다음 식에 의해 구한다.

$$\text{설계 } K_{30} = \frac{\text{각 지점의 } K_{30} \text{의 평균}}{\text{C}} \times \frac{K_{30} \text{의 최대치} - K_{30} \text{의 최소치}}{\text{C}}$$

여기서 C는 표-6의 계수를 사용한다.

표-6. 설계 K_{30} 의 계산에 사용하는 계수

계 수	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
C	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

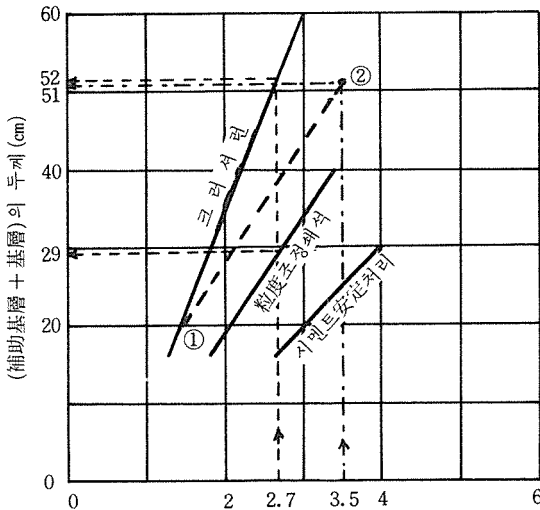


그림-3. 補助基層 및 基層의 설계곡선

예제 1 : 노상의 K_{30} 을 6개소 측정하여 9.6, 12.1, 11.3, 8.9, 6.6 및 8.7을 얻었다. 교통량으로 보아 보조기층의 $K_{30}=20\text{kg/cm}^3$ 으로 하려고 한다.

$$\text{路床의 설계 } K_{30} = 9.5 - \frac{12.1 - 6.6}{2.67} \approx 7.4$$

$$\text{支持力效果} = \frac{\text{補助基層의 } K_{30}}{\text{路床의 설계 } K_{30}} = \frac{20}{7.4} \approx 2.7$$

그림-3에서 크러셔런補助基層으로 하면 $K_1/K_2=2.7$ 의 점에서 垂線을 올려 그어 52cm가 되며, 粒度조정쇄석으로 하면 29cm가 구해진다. 이로부터 설계두께는 각각 55cm, 30cm로 된다.

예제 2 : 노상의 설계 $K_{30}=5.7$ 이다. 보조기층을 크러셔런층으로 20cm 두께로 하려고 하면 K_1 을 20kg/cm^3 로 되게 하기 위해서는 기층에

粒度조정쇄석층으로 얼마의 두께가 필요한가?

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{20}{5.7} = 3.5$$

이므로 그림-3에서 중축의 20cm에서 수평선을 그어 크리셔런의 선과 만나는 점을 ①점이라 한다. 이 점에서 粒度조정쇄석의 선과 평행선을 그어 $K_1/K_2 = 3.5$ 에서의 垂線과 만나는 점 ②를 구하면 (보조기층 + 기층) 두께 51cm를 얻는다.

(보조기층 + 기층) 두께 = 51cm

보조기층두께 = 20cm

기층두께 = 51 - 20 = 31cm → 35cm

로 되어 粒度조정쇄석기층은 35cm로 된다.

(2) CBR 에 의한 두께설계

노상의 CBR 에 의하여 보조기층 및 기층의 두께를 설계하려고 할 때는 먼저 노상의 설계 CBR 을 구한다. 다음에 설계 CBR 에 따라 표-7과 같이 (보조기층 + 기층)의 두께를 구한다. 이 표에서 구한 두께는 粒度조정쇄석을 사용할 경우의 두께이며, 다른 공법의 재료층으로 나눌 때에는 앞 예제 2와 같은 방법을 사용한다.

(3) 보조기층 및 기층용 재료

각 층에 사용하는 재료는 시공법, 현장조건 및 경제성 등을 종합적으로 비교하여 결정한다.

과거에는 보조기층과 기층으로 구분하지 않고

표-7. 설계 CBR 과 (보조기층 + 기층) 두께 (cm)

노상의 설계 CBR / 교통량 구분	2	3	4	6	8	12 이상
L, A 교통	50	35	25	20	15	15
B, C, D 교통	60	45	35	25	20	15

한가지 재료로 전층을 시공하기도 하였으나 최근에 重交通도로의 포장에서는 이를 나누고 있다.

기층에는 粒度조정쇄석, 시멘트安定處理층등이 사용되며, 粒度조정쇄석과 같은 粒狀재료를 사용하는 경우에는 최대입경을 40mm 이하로 하고, 修正 CBR 80 이상, PI 4 이하로 한다. 시멘트안정처리의 배합은 6일 양생, 1일 수침후의 一軸壓縮強度가 20kg/cm²이 되도록 결정한다.

보조기층에는 修正 CBR 20 이상으로 PI가 6 이하의 粒狀재료(막자갈, 크리셔런, 모래, 슬래그 등)를 사용한다. 또한 이때의 최대 입경은 50mm 이하로 하는 것이 좋다. 부득이한 경우 1층 완성두께의 1/2 이내로 100mm까지 허용된다. 보조기층에 시멘트안정처리 재료를 사용할 경우의 배합은 6일 양생, 1일 수침후의 一軸壓縮強度가 10kg/cm²가 되도록 한다.*

바른마음 바른자세 다져지는 신뢰사회