

재생아스팔트 포장의 구조설계 기술

최준성*

1. 서론

포장구조설계는 포장구조체에서 요구되는 강도나 강성을 제공하는 설계적인 측면을 고려한다. 이러한 방법은 공학적 판단의 적용에서부터 점차적으로 역학적 또는 반역학적(semi-mechanistic) 과정으로 발전해왔다. 현재 포장재료들은 회복탄성계수와 피로특성에 의하여 분류되고, 각각 다른 포장재료의 강도와 포장구조가 다른 포장 재료는 적절한 포장두께지수(structural number)에 의하여 나타낼 수 있다. 본 고에서는 미연방도로국에서 발간된 "Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments"라는 보고서중 재활용포장 구조설계에 관한 내용을 국내에 소개하고자 한다.

재생 아스팔트재료로 시공된 포장은 기존의 가열 아스팔트 혼합물을 이용한 포장과 유사하거나 때로는 더 우수한 성능을 보이기도 한다. 그러나, 재료와 시공방법의 변화로 인한 재생혼합물의 넓은 물성범위는 재생 포장구조설계에서 반드시 고려되어야 한다. 보통 재생표층과 재생기층의 상대강도계수는 AASHO 도로시험에서 결정된 각각의 기존 혼합물의 상대강도계수보다 큰 것으로 알려져 있다. AASHO 지침서에서는 본질적으로 가열 재생 HMA 재료와 신재 HMA 재료간의 차이가 없음을 지적한 후, 기존 HMA 재료에 사용되는 덧씌우기설

계법의 구조회복 해석방법(structural rehabilitation analysis method)을 재생포장설계에도 권장하고 있다. 그러나, 재생혼합물에 대한 장기 공용성 자료가 없으므로, 이러한 재생 혼합물의 설계시 항상 공학적 판단이 적용되어야 함을 잊어서는 안될 것이다. 본 고에서는 주로 AASHTO와 AI(Asphalt Institute)가 권장하는 설계 지침에 대하여 소개하고자 한다.

2. 재생 가열아스팔트 포장의 구조설계

2.1 AASHTO 설계법

AASHTO 지침서에서는 주로 포장두께지수, 하부층의 두께, 그리고 배수계수(drainage coefficient)에 기초한 덧씌우기 설계법을 제시한다. 재생포장설계도 같은 방법에 기초를 둘 수 있다. 기본적으로 전체 포장단면에 대한 전체포장두께지수를 계산할 때는 공용기간, 교통량, 측정시 서비스지수(PSI, Present Serviceability Index)변화에 기초한 도표가 사용된다. 포장두께지수(SN)는 각 포장층의 두께, 포장두께지수, 그리고 배수계수의 곱의 조합으로 나타낼 수 있다. 요구되어지는 재생층의 포장두께지수는 재생층을 포함하는 새로운 포장에

* 정회원 · 인덕대학 건설환경설계학과 교수

요구되는 포장두께지수와 기존 포장의 유효포장두께 지수와의 차이로부터 구해진다. 기존 포장의 유효포장두께지수는 기존포장의 잔존 수명률에 의해서 조정된다. 이는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SN_{OL} = SN_Y - (F_{RL} \times SN_{Xeff})$$

여기서:

- SN_{OL} = 아스팔트 콘크리트 덧씌우기에 필요한 포장두께지수
- SN_Y = 일반적 노반 지지(roadbed soil support)조건에서 추정된 장래 교통량을 담당하는데 필요한 새로운 포장의 포장 두께지수
- F_{RL} = 잔존수명계수
- SN_{Xeff} = 덧씌우기 시행시 기존 포장의 유효포장 두께지수

또한 포장두께지수(SN)은 다음과 같이 정의된다.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

여기서 :

- a₁, a₂, a₃ = 표층, 기층, 보조기층의 상대강도계수 (layer coefficients)
- D₁, D₂, D₃ = 표층, 기층, 보조기층의 실제 두께
- m₂, m₃ = 안정처리되지 않은 기층과 보조기층의 배수계수

AASHTO 설계법에서의 한가지 중요한 특징은 교통량과 공용성 예측에 있어서 신뢰성의 개념이 포함된다는 것이다. 신뢰설계인자(reliability design factor)는 교통량 예측(해석기간동안 8.2 ton 등가 단축하중으로 환산한 하중 통과횟수)과 공용성 예측(지정된 최종 서비스수준에 도달하게되는 등가단축 하중 통과횟수)에서 우연분산(chance variation)을 고려한다. 신뢰수준(reliability level, R)과 전체 표준편차(S₀)는 신뢰성을 계산하기 위해 필요한 입력

치이다. R값이 크다는 것은 설계기간동안 공용성에 대한 보장을 확실하게 한다는 것이며, 더 두꺼운 포장두께와 고비용을 의미한다. S₀의 값은 포장의 종류에 따라 결정되며 연성포장과 강성포장에 이용된다. 설계방법의 세부사항은 AASHTO 설계지침서에 명시되어 있다. AASHTO 설계지침서를 단순화한 순서도는 <그림 1>에 나타내었다.

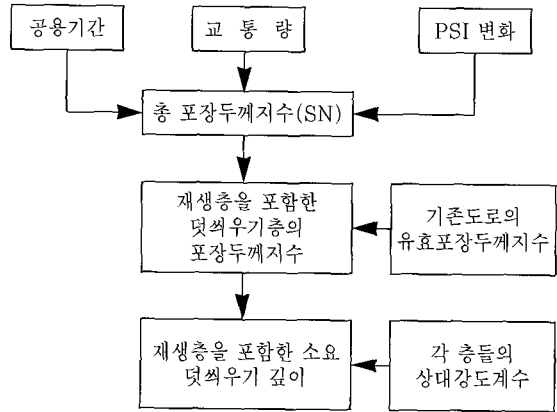


그림 1. AASHTO 설계법 순서도

2.2 AI 설계법(Asphalt Institute Method)

가열 재생 아스팔트 포장공법에 대하여 아스팔트 협회(이하 AI)는 기존의 혼합물과 같은 설계절차를 제시하고 있다. 아스팔트 협회에서 발간한 '두께 설계 - 고속도로와 일반도로의 아스팔트 포장'에 제시된 방법의 사용이 제시되었다. 포장두께설계를 위해 필요한 변수들은 다음과 같다.

① 등가단축하중(ESAL)의 적용

아스팔트협회지침의 고속도로 및 일반도로의 두께설계(MS-1)에 따라 교통량 분석 및 설계 절차가 사용되어야 한다. 그러나 많은 경우에 있어서 단지 제한된 정보를 이용하여 교통량을 예측할 필요가 있다. 그런 경우 교통량은 간단하게 차로(roadway) 유형에 따라 추정하기 위한 표가 제시되어 있다. 정밀해석은 차량의 종류, 각 차량의 트럭계수, 단일 후

은 다중 증가계수(single and multiple growth factors)에 기초하여 수행되어질 수 있다.

② 노상의 회복탄성계수(M_R)

노상토의 하중지지 특성의 평가를 위해서는 실내 시험을 실시하는 것이 타당하다. 그러나, 실내시험 장비의 이용이 어려울 경우를 대비하여 노상토분류에 관한 표를 제시하고 있고, 제시된 표를 이용하여 CBR값과 R값의 상관관계 등 노상토를 결정할 수 있는 기술자의 세심한 현장 평가에 기초하여 설계가 결정된다:

③ 표층과 기층의 종류

요구되는 전체포장두께는 설계 도표에서 설계 교통량과 MR값을 이용하여 계산할 수 있다. 재생 재료와 새로운 재료의 물성을 비교할 때 재생재료는 설계절차에 있어 기존의 재료와 동등하게 고려될 것이다.

AI 시방서의 '고속도로와 일반도로의 유지관리를 위한 아스팔트 덧씌우기'에 나타난 것처럼, 덧씌우기 설계절차는 두께설계에 사용된다. 덧씌우기 두께는 설계교통량인 ESAL에 상응하는 신설포장에 요구되는 두께와 기존 포장의 유효두께의 차로 계산된다.

기존 포장의 유효두께는 두 방법 중 하나로 결정된다. 첫 번째 방법은 상태등급(condition rating)과 PSI(Present serviceability index), 그리고 다양한 포장재료를 아스팔트층(그림 2와 표 1)의 등가 두께(equivalent thickness)로 환산하기 위한 등가 지수(equivalency factor)를 사용하는 방법이다. 두 번째 방법은 각 층을 아스팔트층(표 2)의 등가 두께로 직접 환산하기 위하여 각 포장층(각층이 덧씌우기층보다 먼저 시공된다는 조건일 때)에 대한 변환 계수(conversion factor)를 사용하는 것이다. <그림 3>은 신설 시공에 대한 전체 두께의 HMA 포장의 두께를 결정하기 위해 제시된 표이다. 기존 도로의 유효두께는 재생층의 두께로부터 빼어진다. 아스팔트협회 설계법의 간략화한 순서도를 <그림 4>에 나타내었다. 독자의 이해를 돕기 위해 재생층의 두께를 결정하기 위한 예제를 제시하였다.

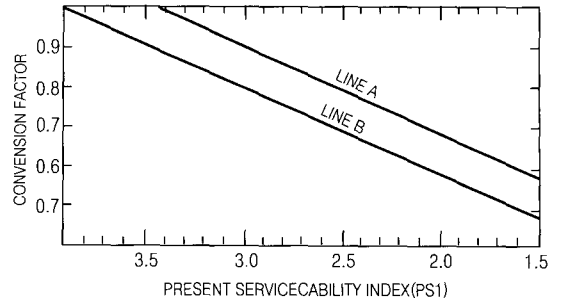


그림 2. 변환계수

표 1. 다양한 포장재료를 아스팔트층의 등가두께로 전환하기 위한 등가지수

재 료 의 종 류	등 가 지 수 (E)
아스팔트 콘크리트	1.00
Type I 유화 아스팔트 기층	0.95
Type II 유화 아스팔트 기층	0.83
Type III 유화 아스팔트 기층	0.57

Type I - 가공되고, 밀입도의 골재(dense-graded aggregates), 아스팔트 콘크리트와 유사한 특성을 갖는 공장 배합 유화 아스팔트 혼합물.
 Type II - semi-processed crusher-run, pit-run, or bank-run 골재로 만들어진 유화 아스팔트 혼합물.
 Type III - 모래나 실트질 모래의 유화 아스팔트 혼합물.

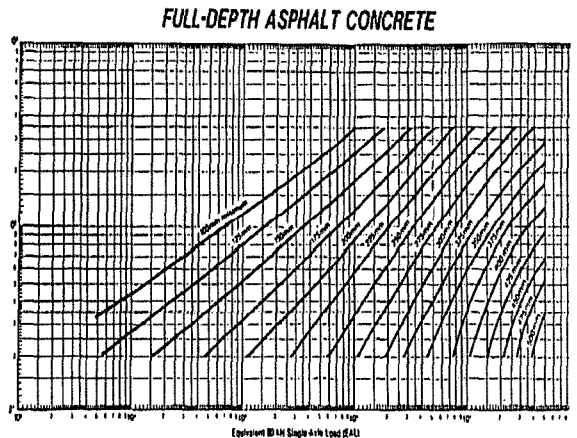


그림 3. full-depth 아스팔트 콘크리트의 설계도표

표 2. 기준포장요소를 유효 두께(Tc)로 전환하기 위한 변환 계수

재료등급	재 료 종 류	변환계수*
I	a) 모든 자연상태의 노상 b) 개량된 노상”(주로 입상 재료)은 약간의 실트와 점토를 함유할 수도 있지만 소성지수는 10 이하를 갖는다. c) 소성지수 10 이상의 고소성 흙으로 시공된 석회안정처리 노상	0.0
II	약간의 소성 세립분과 CBR이 20 이상의 양입도의 견고한 골재로 된 입상 보조기층과 기층. 소성지수가 6 이하이면 상한치(0.2)를 사용하고, 6보다 크면 하한치(0.1)를 사용한다.	0.1 - 0.2
III	소성지수 10 이하의 저소성 흙으로 시공된 시멘트나 석회 플라이 애쉬로 안정처리된 보조기층과 기층**	0.2 - 0.3
IV	a) 광범위한 균열과 상당한 라벨링(raveling) 및 골재의 degradation, 차륜진행 경로(wheel paths)에 따른 변형, 그리고 안전성의 저하를 보이는 유화 또는 컷백 아스팔트 표층과 기층 b) 덧씌우기 시공전에 최대치수가 0.6m(2ft)보다 작게 파괴된 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장. 슬래브가 노상위에 있을 때 상한치(0.5)를 사용한다. c) 반사 표면균열에 의한 패턴 균열(pattern cracking)이 진행된 시멘트 또는 석회 플라이애쉬로 안정처리된 기층”. 균열이 가늘고, 아주 촘촘하면 상한치(0.5)를 그리고 균열이 크거나, 펌핑(pumping), 불안정한 현상이 나타날 땐 하한치(0.3)를 사용한다.	0.3 - 0.5
V	a) 상당한 균열과 crack patterns을 보이는 아스팔트 콘크리트 표층과 기층. b) 약간의 미세균열, 약간의 라벨링(raveling)이나 골재의 붕괴(aggregate degradation), 그리고 차륜진행 경로(wheel paths)의 작은 변형이 있지만 안전한 상태를 보이는 유화 또는 컷백 아스팔트 표면과 기층. c) 효과적으로 표면처리할 수 없는 뚜렷한 균열인 발생한 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장(아스팔트 표면 아래 것을 포함). 대략 1-4 m ² (yard)정도의 크기이고 중량의 공기타이어 롤러로 다져진 노상위에 잘 포설된 슬래브	0.5 - 0.7
VI	a) 약간의 미세균열을 보이고, 간헐적 racking pattern과 차륜진행 경로에 작은 변형이 있지만 안전한 상태의 아스팔트 콘크리트 표면과 기층. b) 안정적이고, 일반적으로 균열이 없고, 블리딩 현상을 보이지 않고, 차륜진행 경로에서 거의 변형을 보이지 않는 유화 또는 컷백 아스팔트 표면과 기층. c) 안정적이고 표면처리된, 일부 균열이 있지만 1 m ² (year) 보다 작은 조각이 없는 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장(아스팔트 표면 아래의 것을 포함)	0.7-0.9
VII	a) 일반적으로 균열이 없고, 차륜진행 경로에 변형이 거의 없는 아스팔트 콘크리트 기층을 포함한 아스팔트 콘크리트. b) 안정적이며 표면처리된, 일반적으로 균열이 없는 포틀랜드 시멘트 콘크리트. c) 안정적이고, 펌핑현상이 없으며, 반사표면균열이 거의 나타나지 않는 아스팔트 표면 아래에 있는 포틀랜드 시멘트 콘크리트 기층.	0.9-1.0

* 변환계수의 값과 범위는 기준 도로층의 두께의 변환계수를 아스팔트 콘크리트의 등가 두께로 증가시키고 있다.

** 원래 대부분 주도로국에서 최소강도와 다짐을 하여 만족시킴.

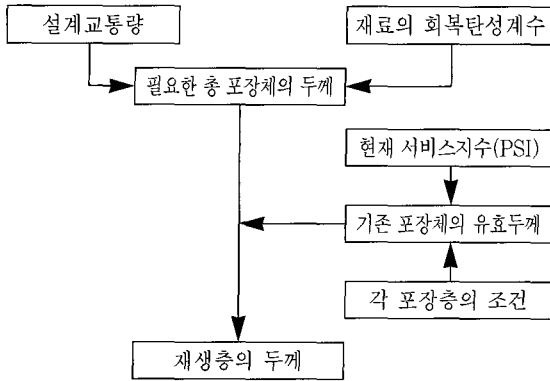


그림 4. AI 설계법의 순서도

예제 :

PSI = 2.3인 2층 full-depth 아스팔트 포장체의 유효두께를 결정하라. 균열은 있지만 크게 영향을 미치지 않아 포장체는 안정한 상태이다. 포장체는 두께가 50mm(2in)인 아스팔트 표층재료와 150mm(6in)인 Type II 유화(emulsified) 아스팔트 기층재료로 구성되어 있다.

풀이 : 그림 2에서 변환계수(Conversion factor) C=0.70을 선정하고, <표 1>로부터 Type II의 유화된 아스팔트 기층재료에 대해 등가지수(Equivalent factor) E=0.83이 결정한다. 따라서,

$$T_e(AC) = 50(2) \times 0.70 \times 1.00 = 35\text{mm}(1.4 \text{ in})$$

$$T_e(\text{Type II}) = 150(6) \times 0.70 \times 0.83 = 87\text{mm}(3.5 \text{ in})$$

$$T_e(\text{All Layer}) = 122\text{mm}(4.9 \text{ in})$$

<그림 3>은 재생층의 두께를 결정하기 위하여 기존 포장체의 유효두께를 빼줌으로서, 새로운 full-depth 아스팔트 콘크리트 포장체의 두께를 결정하는데 사용된다.

2.3 기타 설계법

National Stone Association 방법도 가열 재생 혼합물의 설계에 사용될 수 있다. 이 방법은 미육군

공병단방법(Corps of Engineers Method)과 역학적 설계절차에 기초를 두고 있다. 역학적 설계과정에서는 포장이 탄성이나 점탄성의 기초 위에 시공되는 다층탄성이나 점탄성 구조처럼 설계될 수 있고, 응력, 변형률과 변형이 그에 따라 계산된다고 보고 있다.

많은 컴퓨터 프로그램이 차륜하중자료, 탄성계수, 포아송비, 층 두께와 같은 재료의 특성을 이용하여 여러 위치에서의 포장응답(응력-변형률)을 결정하는 것이 가능하다. 이러한 프로그램들로는 CHEV5L(Chevron Research Co.), BISTRO와 BISAR(Shell Oil Co.), ELSYM5 (University of California at Berkeley), PDMAP(NCHRP 1-10B), 그리고 DAMA(아스팔트협회) 등이 있다. 연방 도로국에서 개발된 VESYS 프로그램은 포장응답 계산을 위하여 점탄성적 접근방법을 사용한다. 미국 각 주 도로국(DOT)에서도 역학적 설계절차를 포함한 포장설계법을 개발해 왔다.

현재 한국형 도로포장설계법 연구에서도 국내사용자를 위해 다층탄성해석프로그램을 개발하여 다축 트럭의 해석 등 다양한 기능의 적용성을 검토중에 있으며, 추후 이를 배포할 것이다. 자세한 사항은 www.pavementinfo.com에서 정보를 얻을 수 있다.

3. 상온 재생 아스팔트(Cold-Mix Asphalt) 포장의 구조설계

상온 재생층의 설계에 있어 두 가지 주요한 설계법이 적용된다. 첫 번째 방법은 포장체에 상대강도계수(layer coefficient)를 이용하는 방법이고, 두 번째 방법은 다층탄성구조(multi-layered elastic system)로 포장체를 특징짓는 방법이다. 본 절에서는 상대강도계수를 이용한 AASHTO 설계법과, 다층탄성구조방법으로 접근한 AI 설계법에 대하여 설명하고자 한다.

3.1 AASHTO 설계법

1986 AASHTO 설계지침서에서는 포장체를 구성하는 다양한 층에 대해 상대강도계수와 층 두께의 조합으로 구성된 포장두께지수(SN; Structure Number)를 이용한 설계법을 제시하였다. 특징신뢰도(R)와 전체 표준편차(S_o)에 대해서 요구되는 포장두께지수(SN), 설계기간에 대하여 추정된 교통지수(ESAL), 노상토의 유효회복탄성계수, 그리고 PSI(Present Serviceability Index)관점에서의 서비스지수 저하(serviceability loss)가 필요하며, 이는 도표를 이용하여 결정할 수 있다. 또한 각 비구속층에 대한 배수조건의 영향을 포함한 인자들도 필요하다. 설계절차는 재생 가열혼합 아스팔트와 동일하다.

〈표 3〉은 몇가지 종류의 재생재료(상대강도계수 참조)를 사용한 다양한 재생 시험단면(recycled test section)으로부터 얻어진 전형적인 AASHTO 구조상대강도계수(structural layer coefficients)를 나타내고 있다. 이러한 값들은 AASHTO 도로시험과 다층 탄성프로그램(layered elastic program)으

로부터 산정되었다. 상온재생혼합물의 상대강도계수는 이러한 값들로부터 얻어진다. 거품 아스팔트(foamed-asphalt)재생층의 상대강도계수들은 1984년에 보고된 연구에 따라 중간값이 0.31이고 0.20~0.42의 범위를 갖는다고 알려져 있다. 유제 재생층(emulsion recycled layer)의 범위는 중간값이 0.29이며 0.17~0.41의 범위를 갖는다. 한편 가열 혼합아스팔트(HMA : Hot Mix Asphalt)콘크리트가 0.44의 값을 갖는 것과 비교하여 상온 재생층의 경우 0.30~0.35 사이의 값을 갖는다고 고려할 수 있다. 그러나, 상온재생혼합물의 구조계수(structural coefficient)는 양생속도와 같은 다른 몇몇 요소들의 영향을 받으므로, 공학적 판단을 통해 산정되어야 할 것이다.

3.2 AI 설계법

상온재생에 관하여 아스팔트협회(Asphalt Institute)의 설계지침서에서 제시된 두께 설계법은 유화(emulsified)아스팔트 혼합물의 사용에 근거하

표 3. 일반적인 AASHTO의 구조상대강도계수(structural layer coefficients)

사용된 재생재료의 종류	사용된 층	계산된 a_i 의 범위	평균 a_i	시험 단면수	AASHTO 도로시험에 상응하는 층과 재료에 대한 a_i
공장에서 재생한 아스팔트 콘크리트 표층	표층	0.37~0.59	0.48	14	0.44
공장에서 재생한 아스팔트 콘크리트 표층	기층	0.37~0.49	0.42	3	0.35
아스팔트나 아스팔트 개질제로 안정화한 재생아스팔트 콘크리트를 시공한 상태	기층	0.23~0.42	0.31	4	0.15~0.23
재생아스팔트 콘크리트와 기존의 기층재료를 시멘트로 안정화하여 시공한 상태	기층	0.40	0.40	1	0.15~0.30
아스팔트로 안정화한 재생아스팔트 도로 혼합물로 시공한 상태	표층	0.42	0.42	1	

(주) : a_i - 상대강도계수(Layer Coefficient)

였지만 아스팔트 시멘트와 같은 다른 종류의 아스팔트 결속재(binder)로 생성된 상온재생혼합물(cold-recycled mixtures)에도 적용성이 검토되었다. 필요한 입력 파라미터로는 예상되는 설계교통량수준(design traffic level)과 노상의 강도가 필요하다. <그림 5>와 <그림 6>에 나타낸 설계도표(design chart)는 재생층의 두께를 결정짓는데 사용할 수 있다.

교통량은 일반도로(street)나 고속도로의 종류에 따른 ESAL, 또는 중차량의 차량대수(volume)에 의

해 분류된다. 노상의 지지력은 노상의 종류에 의해 구분되거나 회복탄성계수와 CBR 또는 R치 시험자료로부터 결정된다. 혼합물은 Type A와 Type B 두 가지 종류로 분류된다. Type A는 반가공된 crusher run, pit run 또는 bank run 골재가 중앙 플랜트나 이동식 플랜트에서 혼합된 혼합물이다. Type B는 중앙플랜트나 회전식 혼합기 또는 모터 그레이더를 이용한 이동식 플랜트에서 모래나 실트질 모래를 사용한 혼합물이다. 여기에는 Type A 골재(표 4)를 회전식 믹서나 모터 그레이더로 혼합하였을 경우도 해당된다.

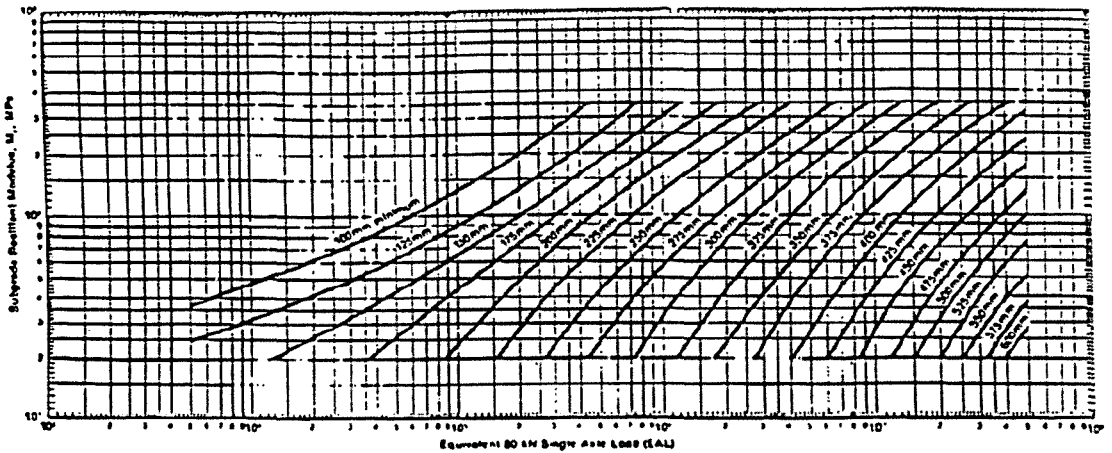


그림 5. 상온 재생 아스팔트 혼합물 Type A의 설계도표 (단위 m)

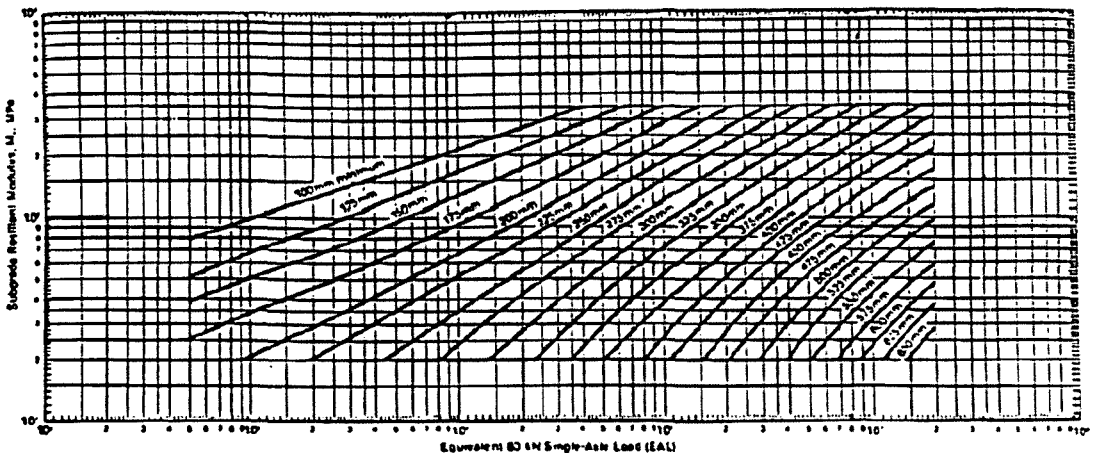


그림 6. 상온 재생 아스팔트 혼합물 Type B의 설계도표 (단위 m)

설계도표로부터 얻는 결과는 재생 상온-혼합기층과 아스팔트 표층이 결합된 두께를 제공한다. <표 5>는 상온 아스팔트 재생기층(cold-mix recycled base) 위의 아스팔트 표층의 권장두께를 나타내었다. 아스팔트 콘크리트의 표층재료 또는 유화아스팔트 혼합물 Type I (실험실에서 설계하여 공장에서 혼합된 밀입도(dense graded) 골재로 구성된 아스팔트 콘크리트와 유사한 물성을 가진 유화아스팔트 혼합물)은 설계도표로부터 얻게 되는 유화아스팔트 Type A 또는

Type B 혼합물 두께의 일부로 치환할 수 있다. Type I 유화아스팔트 혼합물이 사용될 때 단일 또는 이중 표면 처리(single or double surface treats)는 덧씌우기 재료로 사용될 수 있다. 그러나 이것은 설계도표로부터 얻게 되는 어떠한 두께로도 치환되지 않을 것이다. ESAL(등가단축하중)이 10⁴ 보다 작을 정도로 교통량이 적은 경우, 표층에 대한 처리는 층 위에 직접 시공될 것이지만, 이 경우도 설계도표에서 얻게 되는 유화아스팔트 Type A나 B 혼합물 두께의 일부로

표 4. 상온 재생아스팔트 혼합물의 입도분포 지침

체 눈 크기	통과중량의 백분율(%)						
	입도분포가 다양한 경우 (Open-Graded)			입도분포가 조밀한 경우 (Dense-Graded)			
	A	B	C	D	E	F	G
38.1mm (1½ in)	100			100			
25.0mm (1 in)	95~100	100		80~100			
19.0mm (¾ in)		90~100					
12.5mm (½ in)	25~60		100		100	100	100
9.5mm (3/8 in)		20~55	85~100				
4.75mm (No. 4)	0~10	0~10		25~85	75~100	75~100	75~100
2.36mm (No. 8)	0~5	0~5					
1.18mm (No. 16)			0~5				
300µm (No. 50)						15~30	
150µm (No. 100)							15~65
75µm (No. 200)	0~2	0~2	0~2	3~15	0~12	5~12	12~20

표 5. 상온 재생아스팔트 기층적용 시 표층의 최소두께

교통지수 (ESAL) ^a	최 소 표 층 두 께	
	mm	(in)
< 10 ⁴	x ^b	x ^b
10 ⁴	50 ^c	(2) ^c
10 ⁵	50 ^c	(2) ^c
10 ⁶	75 ^c	(3) ^c
10 ⁷	100 ^c	(4) ^c
>10 ⁷	130 ^c	(5) ^c

(주) : a 80 kN (18,000 lb) 등가단축하중(EASL) 적용
 b 단일 또는 이중 표면 처리
 c 아스팔트 콘크리트 또는 표면 처리된 Type I 유화아스팔트 혼합물

표 6. 상온 재생 아스팔트 포장의 설계 예

예제 1 :
 가장한 조건은 다음과 같다.
 노상 : 회복탄성계수(Mr) = 30 MPa (4,500 psi)
 CBR = 3, R치 = 6
 설계교통량 : ESAL = 10⁵
 혼합골재등급 : Type A 범위내 (semi-processed, crusher, pit or bank run)

[풀이]
 설계도표로부터, 표층과 기층이 결합된 두께 : 190 mm (7.5 in)
 표 5로부터, 표층의 최소두께는 ESAL = 10⁵ 인 경우 50 mm (2 in)
 결합된 두께와 표층의 최소두께의 차이가 상온혼합 재생기층의 두께이다.
 190 mm (7.5 in) - 50 mm (2 in) = 140 mm (5.5 in)

만약 기존의 조립기층의 일부가 재생 기층 아래에 남아있다면 조립기층재료의 물성은 계산할 수 있을 것이고, 두께설계시 적절한 층의 등가량(layer equivalencies)을 선정할 수 있다. 변환계수(conversion factor)는 아래 표에 나타내었다. 기층과 보조기층의 잔존골재는 재다짐될 것이고, 골재기층으로 남아 있다면 프라임 코팅(primed) 될 것이다. 또한 기존의 포장체의 어떠한 배수결함도 재 시공과정 전에 수정되어야 한다.

재 료 분 류	재료의 상태	변 환 계 수*
A	모든 자연상태의 노상	0.0
B	개량된 노상(주로 조립질 재료로 구성)은 PI≤10 인 약간의 실트와 점토를 포함할 수도 있다(개량된 노상 = 천연노상과 포장구조체 사이의 개량된 재료로 이뤄진 단층 또는 다층).	0.00
C	조립질 노상 또는 기층 - 약간의 소성입자와 CBR이 20보다 작지않은 골재들로 상당히 입도분포가 양호한 경우, PI≤6인 경우 상한치인 0.2를, PI>6인 경우는 하한치인 0.1을 사용.	0.1~0.2

이 변환계수는 단지 상온혼합 재생의 포장재료 선정시 적용된다. 어떠한 경우에 있어서도 변환계수가 기존의 두께설계 방법에 적용될 수 없다.

* 기존의 구조층에 상온혼합 재생기층의 등가두께의 두께변화에 대한 변환계수의 값과 범위들은 복합적인 계수이다.

예제 2 :
 상온혼합 재생 설계시 재생기층은 150mm (6 in)가 필요하다. 100mm (4 in)의 입도분포가 양호하고, 소성지수(PI)가 5 인 견고한 골재는 재생기층 아래에 남아있다. 골재층에 대한 변환계수는 0.2 이고, 잔존 조립기층의 유효두께는 100mm (4 in)×0.2 = 20mm (0.8 in). 그러므로, 재생기층의 두께는 150mm (6 in)에서 130mm (5 in)로 감소된다.

치환할 수 없다. 두 가지 설계 예는 <표 6>과 같다.

3.3 현장 가열 아스팔트 포장공법의 구조설계

아스팔트 표층 재생 방법은 포장의 깊이가 50mm

(2 in)나 그보다 작은 경우에 사용되기 때문에 기존 포장체의 하중 지지능력(carrying capacity)은 개선되지 않을 수도 있다. 단지 기존의 HMA 혼합물의 개선에 의한 효과만을 기대할 수 있다. 이러한 방법에 의해 구조적 또는 노상의 문제로 생기는 응력

감소는 제거할 수 없지만, 표층의 응력감소는 제거할 수 있다. 한편, 덧씌우기층 두께는 재생의 목적에 따라 달라질 것이다. 만약 그 목적이 상부층 기존재료의 재생형과 구조적으로 적당한 포장체의 승차감 개선이라면, 최소두께는 덧씌우기 혼합물에 사용되는 골재의 최대치수에 근거하여 고려되어야 할 것이다. 일반적으로 덧씌우기층의 두께는 새로운 혼합물의 최대입자크기의 1.5배보다 작지 않을 것이다. 반면에 기본적인 목적이 혼합물의 하중 지지능력 향상에 있다면, 덧씌우기층은 항복 소요강도의 전형적인 방법에 따라 설계되어야 한다. 덧씌우기층의 특정 요구에 대해서, 그 두께는 25mm에서 100mm까지의 범위를 가질 수 있다.

추가로 구조 용량이 다음의 세 가지 방법에 의해서 증가될 수 있기 때문에 덧씌우기층의 두께는 시공 방법에 따라서도 영향을 받는다. 첫째, 재생혼합물을 가열, 파쇄, 재생형(rejuvenating) 그리고 다짐을 실시한 덧씌우기층, 둘째, 다짐전 파쇄된 재생혼합물과 새 혼합물을 혼합하는 방법(re-mixer process), 그리고 셋째, 느슨하게 파쇄되어 재생형된 재생혼합물을 느슨한 새 혼합물과 동시에 다져서 덧씌우는 방법(re-paving process) 등이 있다. 위에서 언급한 세 가지 방법 모두 만족스러운 포장표면을 얻을 수 있다. 만약 두 가지 혼합물을 함께 혼합하지 않으면 추가적인 구조적 장점을 얻을 수 있으나, 새로운 혼합물만이 덧씌우기층을 구성한다고 볼 수 있다. 허용한도는 유효두께를 정하거나 공용중인 포장의 잔존수명을 결정할 때의 재생공정에서의 재생형효과로 사용될 수 있다. 설계자에 의하여 재생된 재료는 응력을 경감시키는 층으로서 작용하는 연성 포장체 구실을 할 수 있다. 이러한 층은 특히 얇게 새로 덧씌운 포장표면을 통하여 발생하는 균열 전파를 방지하는데 사용된다. 25mm 이상의 재생된 재료 위에 25mm 두께를 갖는 덧씌우기층은 65mm 두께를 갖는 새로운 덧씌우기층보다 더 나은 성과를 가져올 수도 있다. 만일 재생된 재료가 새로운 골재나 아스팔트 콘크리트 혼합물과 혼합된다면, 추가적 두께는 덧

씌우기로 볼 수 있다. 배합설계와 구조설계 모두 재생 가열혼합재료로서 같은 결과가 나오게 된다.

4. 요약

포장구조체에서 요구되는 강도를 갖게 하는 구조설계의 방법은 경험적 절차부터 반역학적 절차까지 발전되어 왔다. 재생 가열아스팔트혼합물이 기존의 가열아스팔트혼합물(HMA)과 비교하여 비슷하거나 때에 따라 더 좋은 성능을 가져오므로, AASHTO 설계지침서에서는 본질적으로 재생(recycled) HMA 재료와 신생(virgin) HMA 재료간의 차이가 없다고 기술하고 있으며, 기존 HMA 재료에 사용되는 덧씌우기설계법의 구조회복 분석방법(structural rehabilitation analysis method)을 재생포장설계에도 권장하고 있다.

재생 가열아스팔트의 설계를 위한 AASHTO 방법은 설계교통량, 교통량 및 수행능력예측의 신뢰수준, 공용기간, 그리고 포장상태 평가지수에 의하여 결정된 포장구조체에서 요구되는 포장두께지수(SN)에 기초한다. 포장두께지수(SN)는 포장층 두께, 상대강도계수, 각 층의 배수조건들의 곱의 조합으로서 나타내어질 수 있다. 덧씌우기로 간주될 수 있는 재생된 층의 포장두께지수(SN)는 기존 포장에서의 포장두께지수와 보강된 포장에서 요구되는 포장두께지수의 차이에 의하여 계산되어질 수 있다. 상대강도계수의 값은 AASHTO 설계지침에 명시되어 있다. AI 방법은 교통량, 노상의 회복탄성계수, 그리고 설계두께를 계산하기 위한 표층과 기층의 종류를 사용한다. 이 방법은 재생된 가열혼합물질과 기존의 가열혼합물질과는 거의 비슷한 성능을 나타낸다고 본다. 또다른 AI 방법에 의하면 재생된 층은 덧씌우기층이라고 간주하고, 현재의 포장두께와 요구되어지는 포장두께 사이의 차를 이용하여 재생될 층의 두께를 산정한다. 소요되는 덧씌우기 두께는 포장의 현장 상태지수(condition rating)와 각 종류에 따른 포장체와 포장재료가 아스팔트 콘크리트층

의 등가두께로 전환되어 나타나는 방법에 근거하여 결정될 수 있다. 또 다른 방법은 포장체 각 층의 물성과 하중을 이용한 컴퓨터 프로그램에 의하여 산정된 하중-변형 응답에 의한 설계 방법을 포함한다. 이런 방법들에서는 포장체는 탄성이나 점탄성층 위에서 탄성이나 점탄성 거동을 보인다고 가정한다.

재생 상온혼합물에서의 AASHTO 설계 방법은 가열혼합물의 설계방법과 유사하다. 그러나, 재생 상온혼합물에서의 상대강도계수는 시공방법에 좌우되므로, 기술자의 판단을 근거로 하여 결정되어야 한다. AI 방법에서는 포장구조체를 다층탄성구조라고 보고, 노상의 강도와 설계 교통량을 근거로 요구

되는 포장두께를 결정한다. 재생 상온혼합물 기층의 두께와 표층의 두께의 합은 표를 이용하여 산정한다. 재생 상온혼합물 기층의 두께는 재생 상온혼합물 기층 위에서 가열아스팔트혼합물에 대하여 산정된 덧씌우기 두께를 이용하여 결정할 수 있다.

아스팔트 표면의 재생은 기존 포장의 구조적 능력을 정상적으로 개선할 수 없으므로, 표면 재생의 두께를 설계하는 방법은 없다. 그러나, 임의의 덧씌우기 두께는 기존의 덧씌우기 설계법에 기초하여 산정할 수 있다. 만약 덧씌우기가 승차감만을 개선시킨다고 여겨진다면, 혼합물에서 사용되어지는 최대 골재 크기에 기초한 최소 두께를 결정할 수 있다.

학회지 원고모집 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내의 관련연구소 소개 등	심의 후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내의 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	게재원고료 지급 심의후 게재
국내외 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

E-mail : kospe@hanmail.net