

동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR 산정에 관한 연구

Estimation of the Mean CBR for the Subgrade Layer Including the Anti-Frost Layer

민경호* · 이처근** · 허 열***

Min, Gyeong-Ho · Lee, Cheo-Keun · Heo, Yol

Abstract

Generally, the California Bearing Ratio(CBR) for the material of subgrade is estimated without considering the anti-frost layer into the subgrade layer when pavements are designed. A pavement structure is determined according to the CBR. However, recently the design method taking the anti-frost layer into the subgrade layer is getting prevail. It makes the top of the subgrade layer strengthen and the thickness of the road pavement structure decreased. By the way, some confusion may be caused because theoretically the general equation for the mean CBR to combine the material of the subgrade layer and anti-frost layer have not been developed well. In this paper, laboratory and field CBR tests were performed to estimate of the mean CBR for the subgrade layer including the anti-frost layer. From the basis of the test results, modified equation which is calculating the mean CBR of the subgrade layer has been proposed. Finally, economical efficiency was considered by comparing the pavement thickness with the road pavement design using CBR of the subgrade layer alone and the road pavement design using the mean CBR including the anti-frost layer.

Keywords : Mean CBR, Subgrade layer, Anti-frost layer, Road pavement design

요 지

도로포장설계시 일반적으로 동상방지층을 노상층에 포함시키지 않고 단지 노상층의 CBR을 산정하여 그 강도에 적합한 도로포장구조를 결정하고 있다. 그러나, 현재 추세는 동상방지층을 노상층에 포함시켜 포장구조를 설계하고 있다. 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR을 사용하는 경우 노상층만의 CBR에 비해 상대적으로 큰 강도를 나타내므로 포장구조 두께는 감소한다. 그러나, 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR 산정식이 별도로 규정되어 있지 않으므로 CBR 결정에 많은 혼선을 가져오고 있다. 따라서, 본 연구에서는 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR을 산정하기 위하여 실내 및 현장 CBR 시험을 실시하였다. 실험결과를 근거로 노상층의 평균 CBR 산정에 편리한 수정식을 제안하였다. 또한, 노상층만의 CBR을 사용한 포장설계시와 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR을 사용한 포장설계시 포장두께를 비교하여 경제성을 검토하였다.

주요어 : 평균 CBR, 노상층, 동상방지층, 도로포장설계

* (주)홍익기술단 도로부 이사

* 정희원 · 충북대학교 건설기술연구소 연구원, 공학박사

** 정희원 · 충북대학교 토목공학과 교수

1. 서론

CBR 시험은 주로 도로 및 공항분야에서 노체, 노상, 동상방지층, 보조기층의 역학적 성질을 나타내고 AASHTO 도로시험 연구결과를 표준으로 한다. 도로포장설계시 일반적으로 동상방지층을 노상층에 포함시키지 않고, 단지 노상재료의 CBR만을 고려하여 설계 CBR을 산정하였고, 그 강도에 적합한 도로 포장구조를 결정하였으나, 현재 추세는 동상방지층을 노상에 포함시켜 포장구조를 설계하고 있다. 단일 노상재료만을 사용하던 CBR에 비하여 동상방지층을 노상층에 포함한 평균 CBR을 사용시, 동상방지층의 CBR값과 노상재료의 CBR값에 비해 상대적으로 큰 강도를 나타내므로 CBR의 상승이 불가피하며, 이와 반비례하는 포장두께는 감소를 가져올 수 있다.

그러나, 동상방지층 재료 및 노상재료의 CBR값은 KS F 2320에 규정된 CBR 시험결과로부터 결정되나, 동상방지층과 노상재료층으로 구성된 합성노상의 평균 CBR시험은 노상층의 두께가 1.0m이며, 동일 재료가 아니므로 실제 실내 CBR시험이 곤란하다. 그러므로 현재 사용되지 않고 있지만 이러한 문제점을 해결할 수 있는 현장 CBR 시험(KS F 2321)을 위주로 하고 실내 CBR 시험(KS F 2320)을 일부 보완후 병행하여 평균 CBR 계산식을 검토하였다.

평균 CBR에 대한 우리나라의 관련 규정을 검토한 결과 1997년 이전에는 동상방지층은 노상 CBR 산정에서 제외시켰으나, 아스팔트 포장설계·시공지침(한국도로교통협회, 1997)에서 동상방지층도 노상층에 포함시켜 평균 CBR을 산정해야 한다고 규정하였다. 그러나, 평균 CBR 산정식이 별도로 규정되어 있지 않으므로 노상 상부의 CBR 결정에 많은 혼선을 가져오고 있는 실정이다. 일본에서는 평균 CBR 산정에 대한 규정이 마련되어 있으나, 우리나라에서도 이 분야에 대한 연구사례를 찾아볼 수 없으므로 앞으로 많은 연구와 규정정립이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR값을 결정할 수 있도록 층별 CBR 시험과 합성공시체 제작에 의한 실내 CBR 시험 및 현장 CBR 시험을 실시하여 실제 노상의 평균 CBR 산정에 편리한 수정식을 제안하고자 하였다. 또한, 노상층에 동상방지층을 포함할 때의 평균 CBR을 사용한 도로포장 설계시와 노상재료만의 CBR을 사용하여 포장설계시와의 포장두께를 비교·분

석하여 경제성을 검토하였다.

2. 도로포장구조

포장구조는 크게 아스팔트 콘크리트 포장과 콘크리트 포장으로 분류되나 본 연구에서는 국내에서 주로 많이 사용되고 있는 아스팔트 콘크리트 포장을 기준으로 하였다. 아스팔트 포장구조는 그림 1과 같이 일반적으로 잘 다져진 노상면에 놓이는 보조기층, 기층 및 표층의 순서로 구성되는 차도부의 포장층과 이에 접속되는 길어깨로 이루어진다.

노상은 포장층의 기초로서 노면에 작용하는 모든 하중을 최종적으로 지지해야 하는 부분이다. 노상은 상부의 다층구조의 포장층을 통하여 전달되는 하중에 의해서 노상층에서 과잉변형 또는 변위를 일으키지 않는 최적지지조건을 제공할 수 있어야 한다. 노상층은 흙쌓기부에 있어서는 토공의 마무리면에서, 땅깍이부에 있어서는 굴착마무리면에서 아래로 약 1m부분이 이에 해당되며, 흙쌓기부의 노상층 아래 부분을 노체라 부른다. 노상에는 해로운 동결작용의 영향을 완화시키기 위한 동상방지층 또는 차단층을 설치할 수 있다. 포장의 공용성은 노상토의 상태와 물성에 직접 관계되기 때문에 노상토의 강도지수를 기준으로 하여 포장층 두께를 결정하고, 시공품질관리를 통하여 재료시방 기준을 만족하여야 한다.

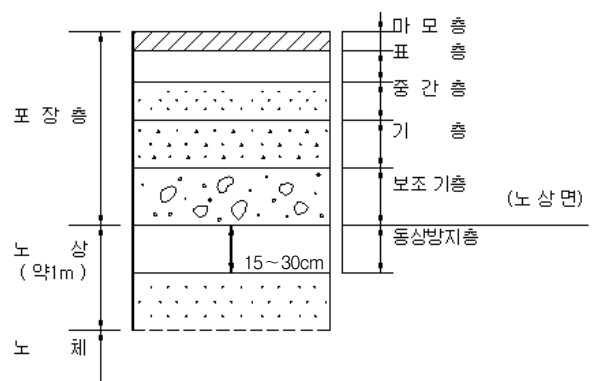


그림 1. 아스팔트 포장의 구성과 각층의 명칭

동상방지층은 포장을 동결로부터 보호하여야 하며, 따라서 그 재료는 자갈 또는 모래와 같은 비동결 재료로서 동결에 의한 분리현상이 생기지 않는 것이어야 한다. 동상방지층을 둘 경우의 노상의 지지력은 노상토의 지지력에 동상

방지층의 지지력을 고려하여 결정하여야 한다.

보조기층 및 기층은 교통하중을 분산시켜서 노상에 균일하게 전달하는 중요한 역할을 하는 부분이다. 따라서 충분한 지지력을 지니고 또한 내구성이 풍부한 재료로 필요한 두께만큼 잘 다져야 한다. 아스팔트 포장에 있어 기층은 상대적으로 얇은 표층 아래 위치하므로, 이 층에 전달되는 하중 압력분포가 높기 때문에 이를 지지할 수 있고 변형에 대한 충분한 저항을 가지는 재료를 사용해야 한다.

중간층은 기층과 표층의 중간에 위치하며, 기층의 요철을 보정하고 표층에 가해지는 하중을 기층에 균일하게 전달하는 역할을 한다. 보통 가열 아스팔트 혼합물을 사용한다. 중간층은 표층의 평탄성을 확보하는 것 외에 표층과 일체로 되어 내유동과 차수기능도 가진다.

표층은 포장의 최상부에 있으며, 가열 아스팔트 혼합물을 사용한다. 표층은 교통차량에 의한 마모와 전단에 저항하고 평탄하여 잘 미끄러지지 않고, 쾌적한 주행이 될 수 있으며, 또한 빗물이 하부에 침투하는 것을 방지하는 기능을 가진다.

3. 평균 CBR의 개념 및 각종 규정검토

3.1 평균 CBR 개념

단일층으로 형성된 노상층의 CBR은 포장구조설계에 직접 사용할 수 있으나, 다른 몇 개의 층으로 구성되어 있는 노상에서는 각 층별 결과를 평균한 평균 CBR 산정을 필요로 한다. 즉, 노상이 깊이 방향에 토질이 몇 개의 층으로 되어있을 때는 노상 상부면으로부터 심도 1m사이의 평균 CBR을 구하여 그 지점의 CBR로 한다. 평균 CBR의 결과로부터 균일한 포장두께로 시공할 구간을 결정한 후 이 구간 내의 각 지점의 평균 CBR중 현저히 다른 값을 제외하고 설계 CBR을 결정하며, 그 결과로 포장구조설계를 실시한다.

3.2 평균 CBR 관련 규정

도로포장설계 시공지침(건설부, 1994) 및 도로공학(천병식, 고용일, 1998)에 의하면 노상이 깊이 방향으로 토질이 다른 몇 개의 층을 이루고 있는 경우에는 노상면부터 1m사이의 평균 CBR을 구하여 그 지점의 CBR로 한다. 단, 평균값을 구할 경우 차단층을 노상에 포함해서는 안되

고, CBR은 다음 식으로 계산한다.

$$CBR = \left(\frac{h_1 CBR_1^{1/3} + h_2 CBR_2^{1/3} + \dots + h_m CBR_m^{1/3}}{100} \right)^3 \quad (1)$$

여기서, CBR_1 은 제 1층 흙의 CBR, h_1 은 제1층의 두께(cm)이고, $h_1 + h_2 + \dots + h_m = 100$ 이다.

아스팔트 포장설계·시공지침(한국도로교통협회, 1997)에 의하면 노상토의 조사는 절토부 조사와 성토일 경우 토취장 조사로 이루어지며, 노상토의 지지력을 나타내는 지표로는 일반적으로 CBR, MR을 사용한다. 노상을 치환하거나 안정처리를 하여 노상을 개량하는 경우에는 개량된 지지력을 사용하여야 한다. 또한, 선택층을 사용할 경우 선택층의 지지력을 노상에 포함하여 고려하여야 한다.

도로포장의 설계(南雲貞夫, 1984)에 의하면 노상이 단일토질로 구성되어 있을 때는 한 지점에서 1회의 시험에 의하여 그 지점의 CBR을 구하게 되나, 노상토의 부분치환을 할 때나 노상의 깊이 방향에 토질이 몇 개 층으로 되어 있을 때는 식 (2)를 사용하여 노상면으로부터 심도 1m사이의 평균 CBR을 구하여 그 지점의 평균 CBR로 한다.

$$\text{평균 CBR} = \left[\sum_{i=1}^n \frac{h_i CBR_i^{1/3}}{100} \right]^3 \quad (2)$$

여기서, h_i 는 제 i 층의 두께(cm), CBR_i 는 제 i 층의 CBR이다.

또한, 노상내 얇은 토층이 존재할 때 이 층은 탄성체로 볼 수 있으며, 계산을 간편하게 하기 위해 두께 20cm 미만의 얇은 층 이하는 상, 하부층에 포함하여 계산한다. 또한 노상토의 치환이나 안정처리를 할 때에는 그 시공두께로부터 20cm 감한 것을 유효한 노상개량의 층으로 한다. 개량한 층의 하부로부터 20cm까지는 치환할 경우에는 재래 노상토와 같은 CBR로 하고, 안정처리할 경우에는 안정처리한 층과 재래 노상토와의 평균값을 그 층의 CBR로 하여 계산을 한다. 이와 같이 노상개량할 때 개량한 층의 하부 20cm에 있어서의 강도의 평가를 내리는 것은 하부가 연약한 노상토일 때 그 일부를 양질토로 치환하여도 다짐효과에 한계가 있으며, 또한 공용후에도 연약한 재래 노상토가 하부로부터 혼입되어 치환한 층의 하부가 연약화될 수가 있으므로, 상부 20cm의 강도의 평가를 재래 노상토와 같이 한다. 또한, 안정처리할 때는 하부의 혼합도 불균일하게

되기 쉽고 밀도가 나타나므로 같은 개념으로 하부 20cm에 있어서도 재래노상토의 CBR과의 평균값을 취하게 하고 있다(그림 2).

치환시 평균 CBR 산정식은 식 (3)과 같으며, 안정처리시의 평균 CBR 산정식은 다음 식 (4)와 같다.

$$\text{평균 CBR} = \left(\frac{(h-20) \text{CBR}_1^{1/3} + (120-h) \text{CBR}_3^{1/3}}{100} \right)^3 \quad (3)$$

$$\text{평균 CBR} = \left(\frac{(h-20) \text{CBR}_1^{1/3} + 20 \left(\frac{\text{CBR}_1 + \text{CBR}_3}{2} \right)^{1/3} + (100-h) \text{CBR}_3^{1/3}}{100} \right)^3 \quad (4)$$

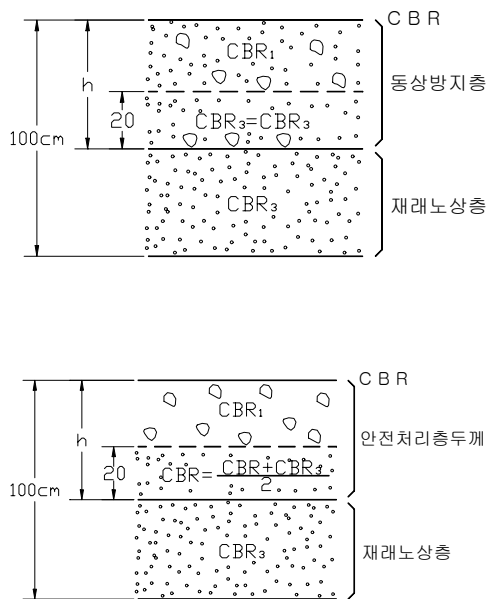


그림 2. 노상개량 지반의 CBR 개요도

4. 실내 및 현장 CBR시험

4.1 실내 평균 CBR 시험

실내 CBR 시험 시 혼합공시체 제작은 노상층의 두께가 1.0m이므로 실내 CBR 시험기구로는 시험이 불가능하므로 동상방지층 및 노상재료를 표 1에 나타난 바와 같이 일

정한 비율로 축소하여 CBR시험을 실시하였다. 이 결과는 이론식 (1)에 의한 결과와 비교하여 이론식의 적합성을 검증하고, 또한, 현장 CBR 시험결과와 비교 분석하였다.

표 1. 노상층별 포장두께 가정

구분	동상방지층 두께(cm)	노상재료 두께(cm)	총노상층 두께(cm)
1	10	90	100
2	20	80	100
3	30	70	100
4	40	60	100
5	50	50	100

4.1.1 노상 및 동상방지층 재료의 CBR 시험결과

표 2는 노상재료에 대한 실내 CBR 시험결과와 CBR 값을 나타낸 것이고, 그림 3은 관입량-하중곡선을 나타낸 것이다. 이로부터, 5mm 관입량에서의 CBR값은 7.68로 관입량이 2mm일 때보다 크게 나타나 5mm일 때의 값을 적용하였다. 한편, 표 3과 그림 4는 동상방지층 재료에 대한 CBR 시험결과를 나타낸 것으로 관입량이 2.5mm일 때의 CBR 값이 75.34로 나타나 이 값을 평균 CBR 계산에 적용하였다.

표 4는 노상재료층과 동상방지층에 대한 실내 CBR 시험결과로부터 계산된 이론적인 평균 CBR을 나타낸 것으로 동상방지층의 두께가 증가함에 따라 평균 CBR값이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다.

표 2. 노상재료의 실내 CBR값

관입량 (mm)	표준하중 (kg/cm ²)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
2.5	70	2.988	4.27	
5.0	105	8.068	7.68	적용

표 3. 동상방지층 재료의 실내 CBR값

관입길이 (mm)	표준하중 (kg/cm ²)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
2.5	70	52.738	75.34	적용
5.0	105	77.912	74.20	

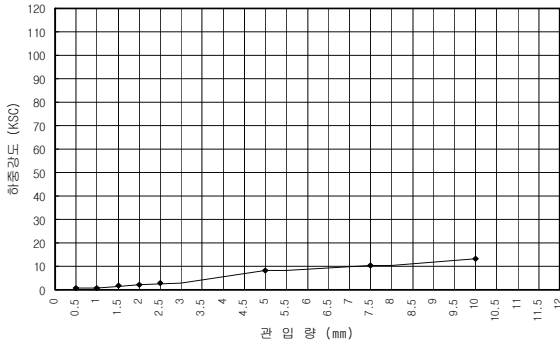


그림 3. 노상재료의 관입량-하중곡선

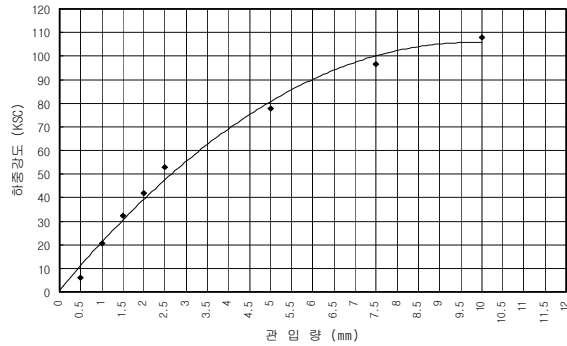


그림 4. 동상방지층 재료의 관입량-하중곡선

표 4. 실내시험결과 평균 CBR값

노상재료층		동상방지층		평균 CBR
층두께(cm)	CBR	층두께(cm)	CBR	
90	7.68	10	75.34	10.624
80	7.68	20	75.34	14.231
70	7.68	30	75.34	18.575
60	7.68	40	75.34	23.724
50	7.68	50	75.34	29.745

4.1.2 합성공시체에 의한 CBR 산정

표 5는 합성공시체에 대한 실내 CBR 시험결과를 나타낸 것으로 동상방지층의 두께가 증가할수록 CBR 값이 증가하며, 5mm 관입량에서의 CBR값이 크게 나타나고 있다.

표 5. 합성 공시체에 대한 CBR시험결과

총두께(cm) (동상+노상)	관입량 (mm)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
10 + 90	2.5	4.2579	6.08	
	5.0	10.6070	10.10	적용
20 + 80	2.5	6.4242	9.18	
	5.0	15.0890	14.37	적용
30 + 70	2.5	12.1010	17.29	
	5.0	21.0650	20.06	적용
40 + 60	2.5	26.2940	37.56	
	5.0	41.6830	39.70	적용
50 + 50	2.5	28.5350	40.76	
	5.0	45.0440	42.90	적용

4.1.3 비교분석

표 6은 실내시험 결과 두께별 이론식에 의한 평균 CBR 과 합성공시체에 의한 평균 CBR을 비교하여 나타낸 것이다. 이로부터 이론식에 의해 평균 CBR을 계산하는 것과 합성 공시체를 제작하여 산정한 평균 CBR이 동상방지층이 30cm까지는 거의 비슷한 결과를 나타내고 있으나, 동상방지층이 40~50cm인 경우는 이론식에 의한 평균 CBR이 합성공시체 시험결과에 비해 너무나 작게 나타나고 있으므로 평균 이론식을 사용하여 도로포장 구조설계를 설계할 경우 과다 포장설계가 될 수 있다. 물론 동상방지층의 두께가 40cm 이상을 사용하는 도로포장설계는 거의 드문 경우에 해당되나 이 경우에는 별도의 이론식이 정립이 필요하다.

표 6. 실내시험결과 평균 CBR의 비교

총두께(cm) (동상방지층+ 노상재료층)	이론식에 의한 평균 CBR	합성공시체에 의한 평균 CBR
10 + 90	10.624	10.10
20 + 80	14.231	14.37
30 + 70	18.575	20.06
40 + 60	23.724	39.70
50 + 50	29.745	42.90

4.2 현장 CBR 시험

현장 CBR 시험은 노상재료층의 시공완료 후 동상방지층을 두께별(10cm, 20cm, 30cm, 40cm, 50cm)로 시공한 후, 그 상부에서 시험을 실시하여 이론식에 의한 평균 CBR값과 실내 CBR 시험결과와 비교 분석하였다. 현장 CBR시험은 공주-중촌 간 36번 국도 확장공사 구간에서 실시하였다.

4.2.1 노상 및 동상방지층 재료의 CBR 시험결과

노상재료층에 대한 현장 CBR 시험결과 CBR 값을 표 7에 나타내었으며, 2.5mm 관입량에서의 CBR 값이 17.39로 이 값을 평균 CBR 계산에 적용하였다. 그림 5는 현장 CBR 시험결과 관입량-하중곡선을 나타낸 것으로 그림 3의 실내시험 결과에 비해 관입량에 따른 하중강도가 큰 값을 나타내고 있다. 한편, 표 8은 동상방지층 재료에 대한 현장 CBR 시험결과 CBR 값을 나타낸 것으로 2.5mm 관입량에서의 CBR 값이 53.67로 5mm 관입량에서의 CBR 값보다 크게 나타나 이 값을 적용하였으며, 그림 6은 동상방지층 재료에 대한 현장 CBR 시험결과 관입량-하중곡선을 나타낸 것으로 그림 4의 실내시험 결과보다 관입량에 따른 하중강도가 작은 값을 나타내었다.

표 9는 현장 CBR 시험결과로부터 구한 이론적인 평균 CBR값을 나타낸 것으로 실내시험결과와 마찬가지로 동상방지층의 두께가 증가함에 따라 평균 CBR값이 비례적으로 증가한다는 것을 알 수 있다.

표 7. 노상재료의 현장 CBR값

관입량 (m)m	표준하중 (kg/cm ²)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
2.5	70	12.176	17.39	적용
5.0	105	15.089	14.37	

표 8. 동상방지층 재료의 현장 CBR값

관입량 (mm)	표준하중 (kg/cm ²)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
2.5	70	37.566	53.67	적용
5.0	105	54.115	51.54	

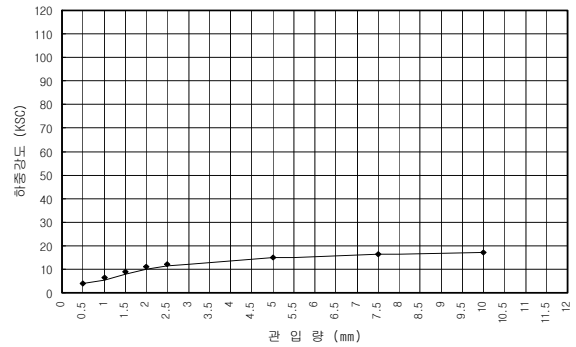


그림 5. 노상층 재료의 관입량-하중곡선(현장)

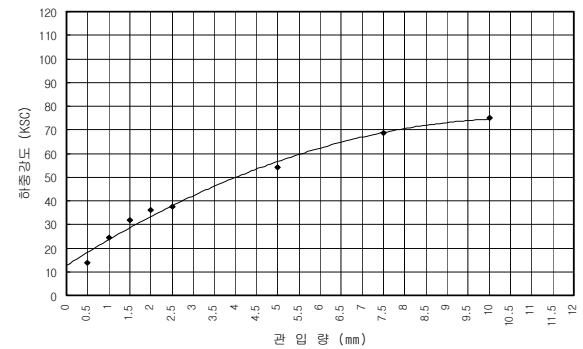


그림 6. 동상방지층 재료의 관입량-하중곡선(현장)

표 9. 현장시험결과 평균 CBR값

노상재료층		동상방지층		평균 CBR
층두께 (cm)	CBR	층두께 (cm)	CBR	
90	17.39	10	53.67	19.883
80	17.39	20	53.67	22.598
70	17.39	30	53.67	25.550
60	17.39	40	53.67	28.748
50	17.39	50	53.67	32.202

4.2.2 혼합층에 대한 현장 CBR 시험결과

표 10은 노상재료와 동상방지층을 시공한 후 상부에서 실시한 현장 CBR 시험결과 CBR값을 나타낸 것으로 실내 CBR 시험결과와 달리 2.5mm 관입량에서의 CBR이 큰 값을 나타내고 있으며, 전체적으로 합성공시체에 대한 실내시험 결과보다 큰 값을 나타내었다.

4.2.3 비교분석

표 11은 현장 CBR 시험결과 두께별 이론식에 의한 평균 CBR과 혼합층에 대한 CBR값을 비교하여 나타낸 것이다. 표 11에 나타낸 바와 같이 이론식으로 구한 평균 CBR 값과 혼합층에 대한 현장 CBR 시험결과와 평균 CBR 값을 비교하면 노상층은 동상방지층의 포함두께에 관계없이 이론식의 평균 CBR에 비해 실제 시험결과가 1.4~1.5배정도 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서, 기존의 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR을 산정하는 이론식의 수정이 필요하다고 생각된다.

표 10. 혼합층에 대한 현장 CBR값

총두께(cm) (토사+쇄석)	관입량 (mm)	시험하중 (kg/cm ²)	지지력비 (CBR)	비고
10+90	2.5	20.393	29.13	적용
	5.0	25.473	24.26	
20+80	2.5	23.531	33.62	적용
	5.0	32.121	30.59	
30+70	2.5	25.772	36.82	적용
	5.0	34.900	33.24	
40+60	2.5	30.651	43.79	적용
	5.0	45.044	42.90	
50+50	2.5	34.511	49.30	적용
	5.0	49.078	46.74	

표 11. 현장시험결과와 평균 CBR의 비교

총두께(cm) (동상방지층+ 노상재료층)	이론식에 의한 평균 CBR	혼합층에 대한 평균 CBR
10+90	19.883	29.13
20+80	22.598	33.62
30+70	25.550	36.82
40+60	28.748	43.79
50+50	32.202	49.30

4.3 실내 평균 CBR과 현장 평균 CBR의 비교

표 12는 실내 평균 CBR과 현장 평균 CBR을 비교하여 나타낸 것이다. 표 12에서 알 수 있는 바와 같이 실내 CBR 시험에서는 이론식과 시험결과가 동상방지층의 두께에 따라 시험결과가 상이함을 나타내며, 이는 실내 시험시

일정한 규모로 축소하여 제작한 합성공시체의 부적합성과 함수비 등이 현장조건과 일치하지 않아 오차를 나타내고 있으므로 실내시험 결과는 본 연구에서는 적용하지 않았다.

표 12. 실내 CBR과 현장 CBR의 비교

총두께 (cm)	실내 CBR 시험		현장 CBR 시험	
	이론식	시험결과	이론식	시험결과
10+90	10.10	10.624	19.883	29.13
20+80	14.37	14.231	22.598	33.62
30+70	20.06	18.575	25.550	36.82
40+60	39.70	23.724	28.748	43.79
50+50	42.90	29.745	32.202	49.30

한편, 현장 CBR 시험에서는 기존의 이론식과 시험결과가 거의 일정한 비율로 증가하고 있음을 보여주고 있다. 이것은 노상재료 및 시방기준, 시공성, 다짐장비 등이 외국의 경우와 다르므로 발생하는 결과이며, 우리 나라에 적합한 평균 CBR 수정 산정식이 요구된다.

상기와 같은 결과로부터 동상방지층을 포함한 노상층의 평균 CBR 수정 산정식을 제안하면 다음 식과 같다.

$$CBR_m = \left(\frac{h_1 CBR_1^{1/3} + h_2 CBR_2^{1/3}}{100 \times t_f} \right)^3 \quad (5)$$

여기서, h_1 은 동상방지층의 두께, h_2 는 노상재료의 두께, t_f 는 동상방지층 두께에 따른 수정계수이다. 표 13은 현장 CBR 시험결과로부터 산출된 동상방지층의 두께에 따른 수정계수를 나타낸 것이다.

식 (5)는 현장 CBR 시험결과 표 11에 나타낸 이론식에 의한 평균 CBR과 혼합층에 대한 평균 CBR 시험결과를 비교한 결과, 즉, 혼합층에 대한 CBR 값이 이론식의 평균 CBR에 비해 1.4~1.5배정도 크게 평가된다는 결과를 근거로 하여 식 (1)을 수정하여 나타낸 것이다. 평균 CBR 수정 산정식으로 계산된 결과와 시험결과를 나타낸 표 14에서 알 수 있는 바와 같이 동상방지층의 두께에 따른 수정계수를 적용하였을 때 이론식에 의한 평균 CBR값이 혼합층에 대한 CBR 값과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

표 13. 동상방지층 두께에 따른 수정계수

구 분	수정계수(t_f)
동상방지층이 30cm 미만일 때	0.89
동상방지층이 30cm 이상일 때	0.87

표 14. 수정 평균CBR과 현장 CBR의 비교

층두께 (cm)	식(5)에 의한 평균 CBR	혼합층에 대한 현장 평균 CBR
10+90	28.20	29.13
20+80	32.05	33.62
30+70	36.24	36.82
40+60	43.66	43.79
50+50	48.90	49.30

5. 포장두께의 경제성 분석

포장구조설계는 8.2ton 단축하중, 누가예상통과회수, 노상 및 보조기층의 지지력 계수(SSV), 지역계수(R)에 의해 결정되며, 본 연구결과의 포장두께 비교검토의 기준으로 교통량은 4차로 국도 교통량을 사용하여 경제성을 분석하였다.

5.1 설계조건

5.1.1 설계교통하중

내구성, 경제성 및 유지보수 측면을 고려하여 20년 교통량에 대하여 설계하였고, 최종서비스지수 P_t 는 2.5이고, 8.2ton 단축하중계수(표 15)는 일반국도의 평균값을 적용하였다(건설부, 1988). 상기 8.2ton 단축하중 환산계수에 의해 산정된 누가 8.2ton 등가 교통하중은 표 16과 같다.

표 15. 8.2ton 단축하중 환산계수

구 분	승용차	버 스		트 릭		
		소형	보통	소형	중형	대형
아스팔트	0.0002	0.001	0.758	0.001	0.601	2.394

표 16. 설계차선 교통하중

계획 년도	일교통량 (대/일)	환산누가 교 통 량 ($\times 10^6$)	차선당 환산 누가 교통량 ($\times 10^6$)	비고
2023	41,730	18,491	8,321	20년

5.1.2 설계 CBR과 노상지지력계수

시험결과로부터 결정된 설계 CBR 기준은 표 17에 나타내었고, 포장구조 설계인자인 노상지지력계수 S 는 설계 CBR에 의거하여 다음 식으로 구하였으며, 그 결과는 표 17과 같다.

$$S = 3.8 \times \log CBR + 1.3 \quad (6)$$

표 17. 노상지지력 계수

구 분	설계 CBR	노상지지력 계수
토 사	17.3	6.00
토사+쇄석	53.7	7.87

5.2 포장설계

5.2.1 지역계수

지역계수 R 은 환경조건을 고려하기 위한 것이며, 이는 연간의 노상지지력 변화를 나타내는 계수로서 본 검토에서는 우리나라 대전 이남에 위치하는 것으로 하여 지역계수는 1.5를 적용하였다.

5.2.2 포장층 상대강도계수

중교통량이 1일 1방향 1000대 이상인 경우 아스팔트 포장층은 소성유동이 우려되므로 마찰안정도 기준값을 500kg에서 750kg으로 개선할 필요가 있는 것으로 판단되므로 본 검토에서 상대강도계수는 마찰안정도 750kg에 대응하는 0.157을 적용하였다.

5.2.3 포장두께의 계산

포장두께지수 SN 은 포장 각층의 두께와 구성재료의 실

협적 상관관계를 나타내는 지수로서 도로를 공용시켜 서비스지수가 2.5이하로 저하할 때의 축하중 통과회수 및 포장 두께지수와의 관계를 나타내는 것이며, 포장단면 계산은 초기 건설투자비가 적게 소요되는 단계건설 개념을 도입하여 아스팔트 포장 공용 2023년을 기준으로 하여 소요 SN을 구하고 각층의 포장두께를 산출하였다(표 18, 그림 7). 표층, 중간층, 기층, 보조기층, 동상방지층 두께는 동결심도를 고려하여 총 두께를 65cm로 검토하였다.

표 18. 포장두께 계산

구분	상대강도 계수	토사			토사 + 쇄석		
		두께 (cm)	계산 SN	소요 SN	두께 (cm)	계산 SN	소요 SN
표층	0.157	5	0.79		5	0.79	
중간층	0.145	6	0.87		6	0.87	
기층	0.145	14	1.54		9	1.305	
보조기층	0.051	20	1.02		10	0.51	
동상방지층	0.051	20			35		
계		65	4.22	4.01	65	3.475	3.16

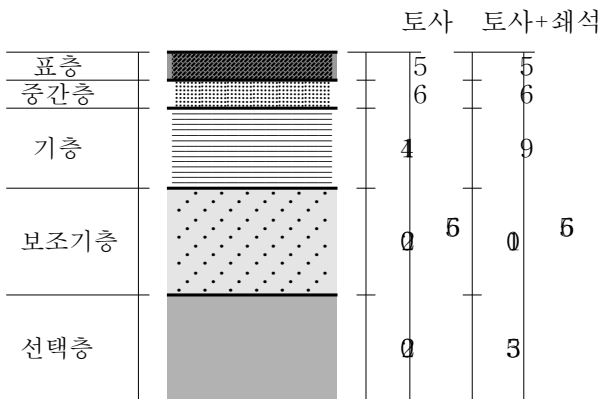


그림 7. 설계포장 단면도

5.3 경제성 분석

노상재료만의 CBR 값을 사용하여 포장설계를 한 경우와 동상방지층을 노상에 포함한 평균 CBR을 반영하여 도로포장구조 설계를 한 결과 기층재가 5cm 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 이것은 4차로 포장시 0.3억원/km의 절감효과를 가져올 수 있다.

6. 결론

노상재료(토사)와 동상방지층(쇄석)을 합성층에 대한 평균 CBR 이론식이 정립되어 있지 않아 포장구조 설계시 혼선을 가져오므로 본 연구에서는 현장 및 실내 CBR 시험을 통하여 기존의 이론식을 수정하였고, 경제성을 분석하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 적정 포장구조를 설계하기 위하여 일반적으로 도로설계시 반영되지 않았던 선택층 재료를 노상층에 포함시켜 평균 CBR을 산정하여야 한다.
2. 기존의 평균 CBR 산정식은 시험결과와 상이하게 나타났으며, 동상방지층을 노상층에 포함한 경우 평균 CBR 산정식을 식 (5)와 같이 수정 제안하였다.
3. 본 연구결과를 토대로 노상재료만의 CBR 값을 사용하여 포장설계를 한 경우와 동상방지층을 포함한 포장구조설계를 비교한 결과 포장두께 감소는 기층두께 5cm에 해당하며, 0.3억원/km의 공사비 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

(접수일자: 2001. 1. 2)

참고 문헌

1. 건설교통부(1980), 건설공사 재료시험방법 해설 : 토질시험편, 정우사.
2. 건설교통부(1980), 도로시험해설, AASHO, 정우사.
3. 건설교통부(1998), 아스팔트 포장공사의 설계와 시공, 대진사.
4. 건설교통부(1994), 도로포장설계, 시공지침(개정판), 원기술.
5. 건설교통부(1998), 도로공사설계기준, 건설교통부.
6. 이상덕(1997), 토질시험, 도서출판 새론.
7. 천병식, 고용일(1998), 도로공학, 도서출판 새론.

8. 한국도로공사(1984), 도로시험법, 한국도로공사.
9. 한국도로공사(1992), 도로설계요령, 한국도로공사.
10. 한국도로교통협회(1997), 아스팔트 포장설계·시공요령, 한국도로교통협회.
11. 山海堂(1982), 道路鋪裝に関する試験法, 道路實務講座 9.
12. 山海堂(1984), 道路鋪裝の設計, 道路實務講座 6.
13. AASHTO(1995), Design, construction & specification for highway construction, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, USA.