

아스팔트 포장단면설계의 최적화 연구

A Study on Optimization of Thickness Design of Asphalt Concrete Pavement

이광호

(한국도로공사, 도로연구소 수석연구원)

이경하

(한국도로공사, 도로연구소 책임연구원)

목 차

- I. 연구배경 및 목적
 - II. 포장재료의 회복탄성계수
 - III. 아스팔트 포장단면의 구조해석
 - IV. 아스팔트 포장설계 표준단면
 - V. 결 론
- 참고문헌

I. 연구배경 및 목적

본 연구에서는 포장재료의 회복탄성계수 시험을 통하여 포장을 구성하는 각 층의 대표적 탄성계수 값을 결정하여 상대강도계수 결정의 이론적 근거를 만들고자 한다. 또한 노상토 및 각 포장재료의 탄성계수 값을 입력변수로 하여 다층탄성이론에 의한 포장구조해석과 점탄성해석에 의한 공용성 예측을 통하여 물성 및 단면요인 변화에 따른 민감도 분석을 실시하여 경제성과 피로수명 및 소성변형에 대한 저항성이 우수한 단면을 결정한다. 이렇게 결정된 단면은 다양한 노상 지지력 조건과 교통량 조건을 변수로 하여 아스팔트 포장설계의 최적단면을 제시하고자 한다.

II. 포장재료의 회복탄성계수

회복탄성계수는 아스팔트 포장단면 설계시 주요입력변수로 사용하고 있으며 포장평가 및 유지관리시에도 회복탄성계수를 측정하여 잔존

수명을 예측하고 덧씌우기 설계의 기초자료로 활용하고 있으나, 현재 국내에서는 회복탄성계수 시험자료가 구축되어 있지 않아 이를 활용할 수 없었다. 본 연구에서는 고속도로 건설현장의 보조기층 및 아스팔트 혼합물용 골재를 채취하여 보조기층재료는 반복삼축압축시험에 의해 회복탄성계수를 구하고, 아스팔트 혼합물은 표층 및 기층용으로 구분하여 240개의 마샬시편을 제작하여 간접인장 반복재하시험에 의해 회복탄성계수를 측정하였다. 표 1은 각 포장재료의 회복탄성계수 시험결과를 구하여 신뢰수준 95%에서의 신뢰구간을 나타낸 것이다. 표 1로부터 상대강도계수를 구할 수 있는데, 상대강도계수는 표 1에서 설계의 안전성 측면에서 회복탄성계수의 하한치로부터 구하여 표 2에 나타냈다.

표 2에서 회복탄성계수시험에서 구한 상대강도계수는 현재 설계에 적용하고 있는 상대강도계수와 비교하면 표층과 기층은 본 연구에서 구한 상대강도계수가 현행 설계적용 상대강도계수보다 약간 크게 나타났고 보조기층은 거의 같은 것으로 나타났다.

<표 1> 회복탄성계수 시험결과 신뢰구간

층 구분	회복탄성계수 (kg/cm ²)		
	상한치	평균	하한치
표층	31,934	30,857	29,780
기층	26,974	26,097	25,220
보조기층	1,473	1,407	1,289

<표 2> 본 연구에서 구한 상대강도계수(a_i)

층 구분	현행 설계적용 a _i	본 연구 a _i
층	0.145	0.159
기층	0.11	0.12
보조기층	0.051	0.051

III. 아스팔트 포장단면의 구조해석

포장재료의 회복탄성계수 시험으로부터 구한 회복탄성계수를 입력변수로하여 다층탄성이론에 의한 구조해석과 점탄성이론에 의한 공용성 예측을 실시하였고 구조해석을 위한 입력변수인 회복탄성계수는 표 1의 회복탄성계수 하한치를 적용하였다.

구조해석결과를 바탕으로 소성변형에 대한 저항성 및 피로수명을 증대시키며 경제성을 만족시킬 수 있는 단면을 결정하고자 하였다. 현재 국내 고속도로 아스팔트 포장이 시공중이거나 시공이 완료된 포장단면의 설계 SN치는 3.4~6.75의 범위에 있는 것으로 나타났다. SN치의 최소치 3.4와 중앙치 4.78, 그리고 최대치 6.75의 3수준 요인에 대한 동일한 SN치를 줄 수 있는 단면을 설정하여 다층탄성이론을 이용한 구조해석을 실시하였다.

포장단면설계는 같은 SN치라 하더라도 포장단면이 다양하게 나올 수 있다. 이 중 아스팔트 포장의 표면처짐에 대한 저항성이 큰 단면과 인장균열에 대한 저항성이 큰 단면, 그리고 노상의 지지력이 큰 단면이 여러종류로 나올 수 있으므로 위의 세가지 조건에 적합한 단면

을 찾을 수 있다.

포장구조해석시 다층탄성해석은 Elsym 5를 이용하였으며 탄성계수는 본 연구에서 구한 물성요인 A와 현재 설계에 적용하고 있는 상대강도계수를 역산하여 구한 물성요인 B로 구분하여 구조해석을 하였고, 복륵하중 중심에서 표면처짐과 아스팔트층 하단 인장변형률, 그리고 노상의 압축변형률을 구하고자 하였다. 점탄성해석은 VESYS 프로그램을 사용하였고 공용경과 10년후의 공용성으로 소성변형 깊이, 균열면적, 공용성지수인 PSI를 예측하였다. 포장단면의 경제성을 검토하기 위해 각 포장단면의 공사비효과를 산출하였다.

본 연구에서는 아스팔트 포장에서 포장수명을 지배하는 인장균열의 척도인 아스팔트층 하단 인장변형률과 소성변형에 대한 저항성, 그리고 공사비효과를 모두 만족하는 단면을 구하기 위해 차원이 서로다른 세가지 요인의 상대적인 평가척도로서 상대지수를 구하고자 하였다.

상대지수는 0부터 1까지 범위로 나타나며 상대지수가 클수록 효과적인 단면이 된다. 표 3은 각 포장단면의 상대지수를 나타낸 것이다. 표 3에서 아스팔트층 하단 인장변형률의 상대지수는 물성요인 두가지의 평균값을 적용하도록 하였다. 표 3의 결과를 토대로 상대지수의 합이 가장 큰 단면을 최적단면으로 결정하였으며 최적단면을 표 4에 나타냈다.

표 4에서 표층은 최소 규정두께인 5cm를 적용하고 SN치가 증가함에 따라 기층의 두께를 증가시키는 것이 균열 및 소성변형에 대한 저항성과 경제성효과를 모두 만족하는 단면임을 알 수 있다.

점탄성 해석에 의한 공용성 예측에서 아스팔트 층의 두께를 너무 얇게 하는 경우에는 균열문제가 발생하며 표층 두께 증가시에는 소성변형에 취약함을 알 수 있다. 따라서 다층탄성 해석 결과와 마찬가지로 표층은 최소규정 두께를 적용하고 기층 두께를 증가시키는 것이 소성변형에 대한 저항성을 만족시키는 단면으로

나타났다.

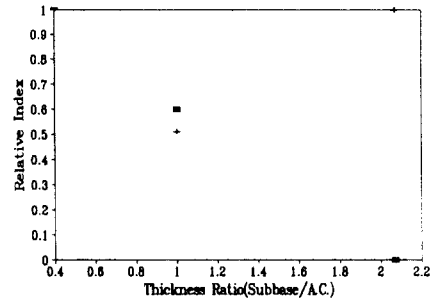
아스팔트 포장단면은 아스팔트 혼합물층과 쇄석보조기층의 비에 따라서 포장수명 및 경제성이 상반되는 결과를 초래하게 된다. 즉, 아스팔트 층의 두께가 증가할수록 피로수명은 증가하나 건설비용이 증대되고 아스팔트 층의 두께가 감소할수록 건설비용은 감소하나 피로수명에 취약한 점이 있다.

<표 3> 상대지수 (SN=4.78)

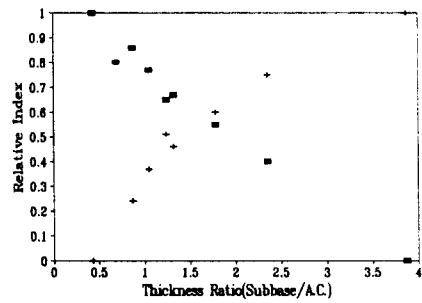
포장단면(cm)			아스팔트층 하단 인장 변형률			소성 변형	경제성
표층	기층	보조기층	물성 요인A	물성 요인B	평균		
5	10	58	0.00	0.00	0.00	0.88	1.00
5	15	47	0.40	0.40	0.40	0.82	0.75
5	20	31	0.65	0.65	0.65	0.97	0.51
5	25	26	0.86	0.86	0.86	1.00	0.24
5	30	15	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
7.5	15	40	0.54	0.55	0.55	0.72	0.60
7.5	20	29	0.77	0.77	0.77	0.88	0.37
10	15	33	0.66	0.68	0.67	0.62	0.46
10	20	22	0.73	0.86	0.80	0.54	0.22

<표 4> 최적단면

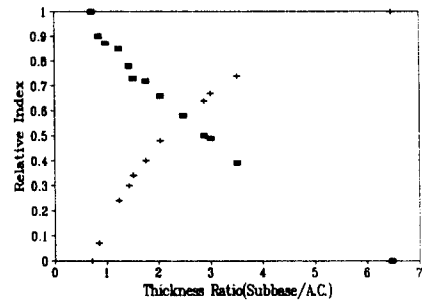
SN	표층 (cm)	기층 (cm)	보조기층 (cm)
3.4	5	10	31
4.78	5	20	31
6.75	5	40	32



(a) SN= 3.4



(b) SN=4.78



(c) SN=6.75

<그림 1> 단면비에 따른 상대지수

따라서 각 SN치에서 피로수명을 지배하는 인자인 아스팔트층 하단 인장변형률에 대한 상대지수와 경제성의 상대지수를 비교하여 이 두가

지를 모두 만족하는 최적단면비를 찾고자 하였다. 인장변형률곡선과 비용곡선이 만나는 점의 단면비는 그림 1에서 SN=3.4에서는 1.0, SN=4.78에서는 2.0, SN=6.75에서는 2.5로 나타났으며 이 점을 단면구성의 최적화점이라고 정의하였을 때 SN 치 범위에 따라 아스팔트 포장의 최적단면은 두께비의 범위가 1.0~2.5인 것으로 나타났다. 따라서 아스팔트 포장단면 설계시 입상토 보조기층과 아스팔트 표층과 역청 안정처리 기층을 합한 아스팔트층의 두께비를 1.0~2.5 사이로 결정하면 경제성과 피로수명을 모두 만족하는 단면을 구할 수 있을 것이다.

IV. 아스팔트 포장설계 표준단면

다층탄성이론에 의한 구조해석과 점탄성해석에 의한 공용성 예측, 그리고 경제성분석을 통하여 표층의 단면과 최적 단면비를 구하였다. 이상의 결과를 토대로 '72AASHTO 잠정설계지침의 설계절차에 의하여 다양한 교통량 및 노상지지력조건에 대응하는 포장설계 표준단면을 구하였다.

포장단면 설계에서 최종 서비스 지수(P_f)는 2.5, 지역계수(R_f)는 2.0으로 가정하였고 노상토의 CBR 과 교통량을 입력변수로하여 SN 치를 구하였다. 소요 SN 치를 만족하는 단면중에서 표층 단면과 보조기층과 아스팔트층의 단면비를 만족하는 단면을 구하였다. 그런 후에 노상토의 지지력 및 교통량에 따라 구하여진 SN 치와 소요 SN 을 만족하는 단면에 의하여 노상토의 CBR 과 교통량으로부터 표 5와 같이 표준단면을 바로 구할 수 있도록 하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 포장 재료의 물성치를 가장 적절하게 평가할 수 있는 회복탄성계수시험을 통하여 각 포장재료의 대표적 회복탄성계수 값을 구하고 여기에서 결정된 탄성계수를 입력변수로 하여 다층탄성이론에 의한 구조해석과 점

탄성 이론에 의한 공용성 예측을 통하여 다양한 설계조건에 대응하는 아스팔트 포장설계의 표준단면을 제시하였다. 본 연구결과를 토대로 간편하게 아스팔트 포장설계를 할 수 있고 국내 고유의 아스팔트 포장설계법을 구축할 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

<표 5> 아스팔트 포장설계 표준단면

설계차선 교통량 (×10 ³ ESAL)	단 면 (cm)	노상토의 설계 CBR (%)			
		4~7미 만	7~10 미만	10~13 미만	13~16 미만
100 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	10	10	10	10
	보조기층	20	15	15	15
	계	35	30	30	30
100 ~ 700 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	15	10	10	10
	보조기층	30	30	25	20
	계	50	45	40	35
700 ~ 2,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	20	15	15	15
	보조기층	30	30	25	20
	계	55	50	45	40
2,000 ~ 4,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	20	15	15	15
	보조기층	40	35	30	30
	계	65	55	50	50
4,000 ~ 8,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	25	20	20	15
	보조기층	40	40	30	40
	계	65	65	55	60
8,000 ~ 20,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	30	25	25	20
	보조기층	50	40	30	40
	계	85	70	60	65
20,000 ~ 40,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	30	25	25	25
	보조기층	50	50	40	40
	계	85	80	70	70
40,000 ~ 70,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	35	30	25	25
	보조기층	50	50	50	45
	계	90	85	80	75
70,000 ~ 100,000 미만	표 층	5	5	5	5
	기 층	35	30	30	25
	보조기층	55	55	45	50
	계	95	90	80	80

참고 문헌

1. AASHTO, AASHTO Guide for Design of

- Pavement Structures, AASHTO 1986.
2. C.J. Van Til, B.F. McCullough, B.A. Vallerga, and R.G. Hicks, Evaluation of AASHTO Interime Guides for Design of Pavement Structures, NCHRP, Report.128, 1972.
 3. Eisenmann, J. and Hilmer, A., Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt-Pavements-Experiments and Theoretical Investigations, Proceedings of Sixth International Conferance on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol.1, Ann Arbor, 1987.
 4. Hofstra, S., Permanent Deformation of Flexible Pavements Under Simulated Road Traffic Conditions, Proceedings, of Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol.1, London, 1977.
 5. Kenis, W.J. and May, R., "Report on the Design Concept", Proceedings of the Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Abor, Michigan, July, 1987.
 6. Kenis, W.J., "A Design Method for Flexible Pavements Using the VESYS Structural Subsystem", Proceedings of the Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol 1, Ann Abor, Michigan, 1977.
 7. Per ullidtz, Pavement Analysis, Elsevier, 1987.
 8. Uge, P. and van de Loo, P.J., Pavement Deformation of Asphalt Mixes, Koninklijke/Shel Laboratorium, Amsterdam, 1974.
 9. 日本 アスファルト 協會, アスファルト, Vol.35, No.173, 平成 4年. 10.
 10. 한국건설기술연구원, 도로포장설계 입력변수의 산정기법에 관한 연구, 건기연 89-H-1, 1989. 12.
 11. 한국도로공사, 고속도로 아스팔트 포장설계법 개선에 관한 연구, 도로연-94-15-6, 1994. 12.
 12. 한국도로공사, 아스팔트 포장구조해석 연구, 도로연-92-13-6, 1992. 12.
 13. 이경하, 이광호, "다층탄성 및 점탄성 해석을 이용한 아스팔트 포장단면의 개선에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 16권, III-1호, 1996. 1.
 14. 한국도로공사, "아스팔트 포장설계의 표준화 연구", 도로연-96-46-20, 한국도로공사, 1996. 12.