

해외건설시장에서 포장하부구조 안정처리기법의 적용가능성



황 규 영 | 정회원 · (주)건화 도로공항부 부장 · 공학박사
박 성 완 | 정회원 · 단국대학교 토목환경공학과 교수

1. 서론

현재, 우리의 건설 산업 기술경쟁력은 선진국의 70~80% 수준으로 평가되고 있고, 저임금 노동력을 기반으로 한 중국과 동남아 등 후발국가와의 가격경쟁에서도 우위를 점하기 어려운 "Nut-cracker" 현상이 심화되고 있는 국면에 처해있다. 따라서 이를 조기에 극복하기 위해서는 보다 전문화된 방식으로 국내에서의 다양한 경험을 토대로 신흥 해외시장에서 필요로 하는 특화된 기술을 적시에 제공하는 전략을 가질 필요가 있다. 우리나라가 저개발 국가 혹은 신흥개도국의 인프라건설 시장을 주도 한다면 그 나라 사회기반 시설의 기준은 한국형이 될 연계성이 매우 높으며 시설을 운영하는 과정에서 문제가 발생하거나 확장 및 노후시설을 개량해야 할 경우에도 관련된 공정들을 국내 기업들의 참여 가능성이 높아질 것으로 예상된다. 그러므로 해외건설산업의 성장세를 꾸준히 이어가고 보다 높은 성과를 달성하기 위해서는 새로운 성장 동력이 될 수 있는 관련 공종들을 발굴하여야 한다. 이러한 신성장 동력 공종들은 양적인 금액의 성과뿐만 아니라 수익률 및 외화가득률(rate of foreign exchange earning)향상

등 다양한 질적 성과들을 도출할 수 있어야 하며 무엇보다도 미래 성장가능성이 높아야 할 것이다.

최근 국토해양부에서 개발된 포장하부구조 안정처리 지침은 보조기층과 노상층에 안정처리공법을 적용함으로써 포장상부층의 두께를 감소시키면서 보조기층용 골재의 사용량을 줄여 도로 공사비를 절감하는 것을 목적으로 하므로 포장하부구조 안정처리기법은 여건상 양질의 아스팔트 및 콘크리트포장의 적용이 어려운 저개발 국가의 포장공법에 적극적으로 활용이 가능한 기법이라 판단된다.

본 기사에서는 우선 포장하부구조 재료의 변형 특성과 안정처리 공법을 중심으로 기술하고 동남아시아 국가들을 예로 포장하부구조 안정처리기법의 해외 도로건설 적용가능성을 살펴보고자 한다.

2. 포장 하부구조재료의 변형 특성

도로포장 구조체에서 하부구조에 활용되는 재료는 전체적인 포장체의 거동에 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 합리적인 포장 설계와 시공에 대한 기준을 정립하기 위해 포장 하부구조재료의 거동을 고려

해야 하는 것은 필수적이다. 전형적인 연성포장 (Flexible Pavement)의 대표적인 파손형태는 영구 변형 (Permanent Deformation)과 피로균열 (Fatigue Crack)로서 특히 영구변형을 억제하는 것이 포장체의 공용성을 확보하는데 있어 중요하다. 반복하중으로 인한 포장 하부구조에는 회복변형 (Resilient Strain)과 영구변형 (Permanent Strain)이 동시에 발생하게 되는데, 회복변형은 포장 구조체에서 하중분산능력을 분석하는 중요한 요소이며 영구변형은 반복하중에 의한 회복될 수 없는 처짐 발생량으로 포장구조 설계시 장기 공용성을 예측하는 매우 중요한 요소이다. 과거부터 포장 하부 구조재료의 복잡한 탄소성거동 (Elasto-Plastic Behavior)은 중요한 연구 분야의 하나였다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 다양한 교통하중 및 반복하중 하에서 포장 하부구조재료의 변형은 포장 체에서 구조적 능력을 나타내는 회복변형과 포장체의 장기 공용성을 나타내는 영구변형으로 나누어진다. 포장체가 반복하중을 받을 때 회복변형과 영구 변형이 발생하는데 영구변형은 회복될 수 없는 상태로서 포장체 하부의 누적변형에 의해 포장체 표면에 나타나게 된다. 그러므로 포장체의 유지보수 및 비용측면에서 영구변형의 예측은 매우 중요하다.

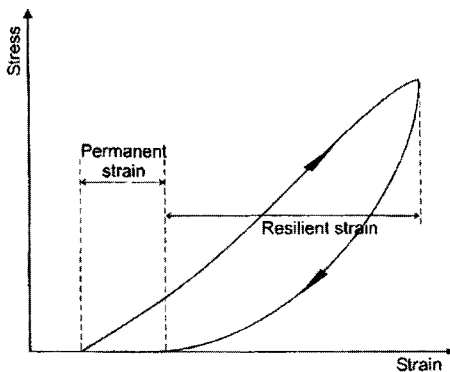


그림 1. 포장 하부구조재료의 응력-변형률 관계 (Lekarp, 2000)

그림 2는 포장 하부구조재료의 전형적인 거동특성을 나타내는데 응력이 증가할수록 재료의 저항강도

는 줄어드는 경향을 나타내고 있다. 낮은 응력조건에서는 하중의 크기가 증가할수록 재료의 강성이 증가하는 변형률 경화 (Strain Hardening) 현상이 발생하는데, 이는 하중의 크기가 증가할수록 입자간의 맞물림 (Interlocking) 효과가 증대하기 때문에 발생하는 현상이다. 파괴직전까지 응력이 계속하여 증대하면 재료의 강성이 감소하는 변형률 연화 (Strain Softening) 현상이 발생하여 재료는 결국 파괴에 이른다. 교통량증가 및 공용시간증가에 따라 포장체에는 과도한 영구변형이 발생하며 이후 표면균열이 발생하게 되어 승차감이 저하되는 현상이 발생한다. 표층 균열이 발생함에 따라 강수 등이 포장하부로 침투되며 이로 인하여 포장 하부구조재료의 연약화가 발생되므로 포장체의 파괴가 가속화될 수 있다. 경험적인 설계법에서 아스팔트 포장체의 영구변형은 노상층 상부에서 압축변형률을 고려하는 간접적인 방식으로 포장체 거동을 예측하고 있으나, 이러한 접근은 노상층 상부에서는 영구변형이 전혀 발생하지 않는 것으로 가정한 결과이지만 실제로 영구변형은 노상층을 포함한 포장 하부구조에서 발생한다.

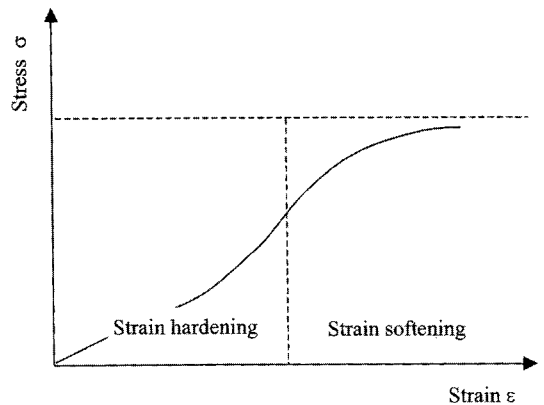


그림 2. 포장 하부구조재료의 거동특성 (Werkmeister, 2003)

반복 하중 하에서 발생하는 영구변형은 중요한 파괴형태 중에 하나로서 차량진행 방향을 따라 영구변형은 발생하며 점진적으로 발전하여 안전성과 종단 평탄성이 불량하게 되어 공용성이 저하된다. 또한

표면에서 배수능력을 저하시키며 Wheelpath에 물이 고여 수막현상이 발생하여 마찰저항이 감소되며, 추운 지역의 경우 결빙이 되어 위험하므로 안전성을 저하시킨다.

표 1에 나타난 여러 현장시험을 통하여 Kenis & Wang(1997)은 3층구조의 아스팔트 포장체에서 약 70%의 영구변형이 기층과 노상층에서 발생한다고 하였으며, 특히 박층 포장(Thin Pavement)일 경우 노상에서 발생하는 영구변형은 다른 포장체에 비해 비교적 크다고 제안하였다.

표 1. 포장체 층별 영구변형 발생비율 (Kenis & Wang, 1997)

구 분	표층	기층	보조기층	노상
AASHO Test Pavement	32	14	45	9
ALF Thick Pavement	28	68	-	4
ALF Thin Pavement	30	50	-	17

ALF Pavement(FHWA) : Accelerated Loading Facility

3. 포장 하부구조 안정처리 공법

포장 하부구조 안정처리는 보조기층 또는 노상층 원재료에 다양한 혼화제를 혼합 및 양생하여 지지력을 증가시킴으로서 상부구조층의 두께를 감소시키며, 또한 골재의 수급이 어려운 구간 및 포장하부 재료의 품질기준에 부적합한 경우에 사용하여 시방서에서 제시하고 있는 기준을 만족시키기 위한 공법이다.

3.1 안정처리 기법의 종류

포장 하부구조재료에 사용되고 있는 대표적인 안정처리 공법은 (1)석탄회 안정처리 (2)시멘트 안정처리 (3)석회 안정처리공법 등이 있다. 실제로 여러 가지 안정처리 공법들이 사용되어 질 수 있으나 경제성과 시공성 등을 판단하여 적용한다. 그림 3은 흙의 입도분포와 소성지수에 따른 안정처리 공법의 적용범위

로써 주로 입도분포와 소성지수 같이 물리적인 분류에 따라서 적합한 안정처리공법이 선정된다.

Plastic Index	More than 25% passing 75µm			Less than 25% passing 75µm		
	PI < 10	10 < PI < 20	PI ≥ 20	PI ≤ 6 PI x % passing 75µm ≤ 60	PI ≤ 10	PI > 10
Form of stabilization						
Cement and cementitious blend	■			■		
Lime		■				■
Bitumen				■		
Bitumen/Cement blends	■			■		
Gracular	■			■		
Miscellaneous chemicals		■				■

key: Usually suitable ■ Doubtful □ Usually not suitable □

그림 3. 안정처리공법의 적용 범위(NASRA, 1998)

3.2 안정처리 효과

연성 포장체의 대표적인 파손형태인 영구변형과 피로균열을 억제하기 위해 안정처리기법을 포장 하부구조재료에 적용하는 경우 양질의 평탄성을 제공하는 기능적 공용성(Functional Performance)과 포장의 구조적 공용성(Structural Performance)을 모두 충족해야 한다.

그림 4는 포장체 강성에 따른 노상상부에서의 응력 분포로서 안정처리기법을 적용함에 따라 강성이 증가하여 노상에서 받는 압축응력은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 응력집중을 분산함으로써 포장 상부구조의 영구변형도 감소시킬 수 있음을 보여주고 있다.

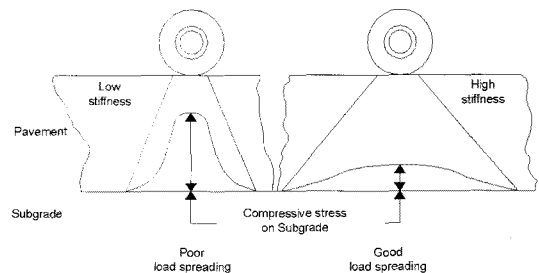


그림 4. 포장체 강성에 따른 노상 상부에서의 응력분포

영구변형은 포장구조체의 모든 층에서 발생될 수 있으나, 포장 하부재료를 안정처리하면 보조기층과 노상의 압밀(Consolidation)현상을 방지할 수 있으므로 포장상부층에서만 영구변형이 발생한다. 따라서 포장체의 공용기간동안 영구변형이 발생하여도 포장하부층이 안정처리되어 있다면 이의 변형은 상대적으로 줄어 포장상부층만 재포장을 실시하면 되므로 경제적인 시공이 가능하다. 또한 차량 반복하중에 의해 아스팔트층 하부에서 많은 인장변형률(Tensile Strain)이 발생하여 피로균열이 발생할 수 있으나, 포장하부재료에 대한 안정처리 적용으로 인장변형률이 감소하여 포장체의 수명 연장을 기대할 수 있다(그림 5).

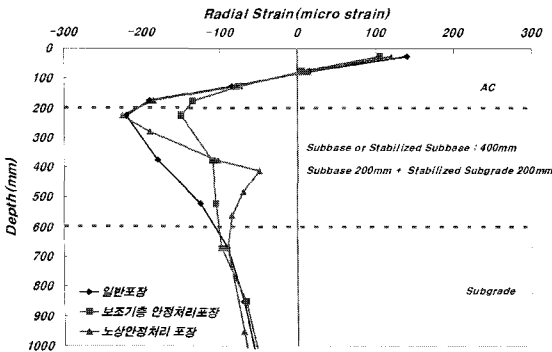


그림 5. 포장하부구조 형태별 인장변형률 분포

4. 동남아시아 국가의 도로포장 현황

동남아시아 국가 중 저개발 국가인 캄보디아, 미얀마, 라오스 및 방글라데시의 도로 포장률은 각각 8%, 12%, 13%, 그리고 10%로서 우리나라의 도로 포장률 78%(2007년 기준)보다 현저히 낮은 상태이다. 그림 6은 캄보디아의 도로 등급별 포장방식을 나타낸 것으로 2등급도로와 지방도는 대부분 비포장 상태로 1등급도로 이외에는 포장률이 매우 열악한 상황이다. 이러한 낮은 도로 포장률에도 불구하고 포장되어 있는 도로마저도 대부분 표층만 처리된

(DBST, Double Bituminous Surface Treatment) 포장이다.

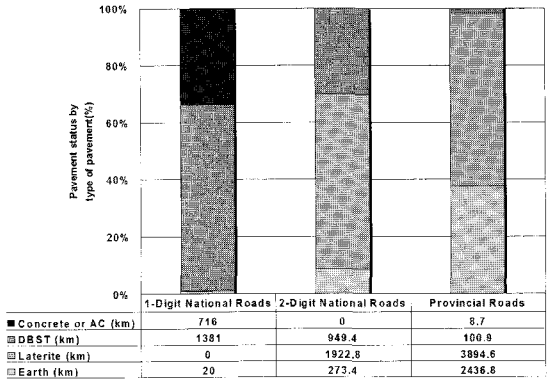


그림 6. 캄보디아의 도로 등급별 포장방식(MPWT, 2009)

DBST방식의 도로포장은 철근 콘크리트나 아스팔트 콘크리트 포장이 아니라 골재를 깔고 그 위에 아스팔트 유제를 뿌려놓은 SEAL COAT 및 아마코우트와 같은 표면처리공법의 일종으로서 차량이 통행을 함으로서 단단하게 다져지는 포장형태이다. DBST포장은 저비용이고 시공이 쉬운 반면에 안정성에 있어 큰 약점이 있다. 특히 지속적으로 비가 내리는 우기에 무리한 차량 하중을 받을 경우 쉽게 소성변형(Rutting)이 발생한다. 또한 박리(Stripping) 현상이 발생하여 쇄석이 아스팔트 유제와 분리되어 굴러다니면 빙판 길보다 더 위험하여 달리던 차량의 제동력이 급격히 떨어지면서 슬라이딩 현상이 발생하고 차량의 브레이크는 무용지물이 된다.

DBST 포장방식보다 더 많이 활용되고 있는 Laterite에 기반을 둔 포장은 단순한 비포장 도로건설에 적용되는데 Laterite를 포장재료로 사용하는 경우 표층안정처리제를 사용한 것과 같이 다짐에 의한 강도가 크게 나타나는 특성이 있어 보조기층재료 비포장도로에 적극적으로 적용되고 있다. 일반적으로 Laterite는 적은 양의 석회나 시멘트로 안정처리할 경우 공학적인 특성을 크게 향상시킬 수 있는 특징이 있다.

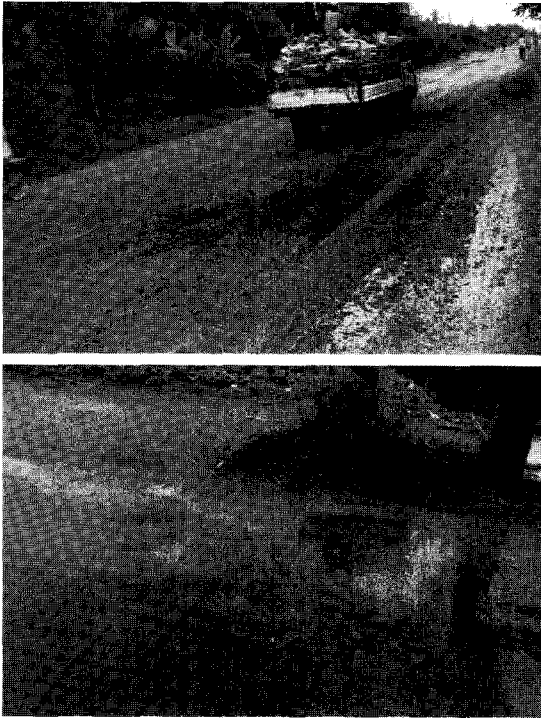


그림 7. DBST포장의 파손 상태(예)

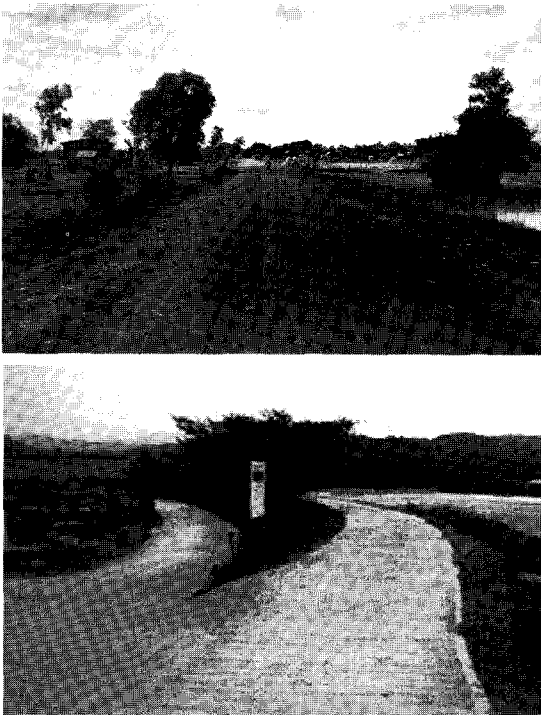


그림 8. Laterite 포장

5. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 포장하부구조 안정처리공법은 아스팔트 재료 및 보조기층재료의 수급이 어려운 구간, 보조기층 및 노상재료의 품질 및 입도가 기준에 부적합 구간, 저 교통 도로구간 및 연약지반 구간에서 노상의 품질의 향상이 필요한 구간에서 적절하게 적용할 경우 그 효과가 극대화되리라 판단된다.

현재 해외건설시장에서 경쟁력 강화를 위한 타국 업체와의 경쟁은 어느 때보다 기술력과 가격 경쟁력의 향상으로 인해 매우 치열한 실정이다. 이러한 국내의 업체 간 경쟁은 수익성이 확보되지 않은 프로젝트를 수행하는 결과를 동반하기 때문에 해외건설시장에서 우위를 점하고 기대수익률을 확보할 수 있는 다양한 기술 개발 및 그 나라 실정에 적합한 공법 적용은 매우 중요한 과제이다. 따라서 공적개발원조(ODA, Official Development Assistance)중의 하나인 구축성 원조(Tied Loan)인 국내의 대외경제협력 기금(EDCF, Economic Development Cooperation Fund)을 중심으로 특화된 기술을 적용하고 많은 경험을 바탕으로 하여 향후 다국적 개발은행(MDB)의 사업에서도 신기술 적용을 위한 더 많은 연구와 대비가 필요한 실정이다. 이러한 관점에서 최근 국토해양부에서 개발된 포장하부구조 안정처리지침과 같은 관련된 경험과 기술들이 고효율 저비용의 기반시설 확충을 요구하는 신흥개도국들의 도로 및 포장공법에 적극적으로 활용된다면 신흥시장에서의 시장, 기술 및 국가경쟁력을 확보하는데 큰 도움이 되리라 기대하는 바이다.

참고 문헌

1. 박성완, 박희문, 박덕호 (2011), "포장하부구조 안정처리 잠정지침 소개" 도로학회지 제13권 제2호 통권 48호 pp.53-55.
2. 박성완, 황규영 (2008), "반복재하시험에 의한 도로기초의 변형특성 평가" 한국도로학회논문집 제10권

제1호 pp.49-62.

3. Kenis, W. and Wang, W.(1997), "Calibrating Mechanistic Flexible Pavement Rutting Models from Full Scale Accelerated Tests" Proceedings, 8th International Conference on Asphalt Pavements, Seattle, Washington, USA, pp. 663-672.
4. Kunhwa Consulting & Engineering Co., Ltd. and Korea Eximbank. (2010), Feasibility Study for Rehabilitation of National Road No.21 Project in Cambodia. Final Report.
5. Lekarp, F., Isacsson, U., and Dawson, A. (2000), "State of the Art II : Permanent Strain Response of Unbound Aggregates" Journal of Transportation Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 1, pp.76-83.
6. MPWT. (2009), Overview on Transport Infrastructure Sectors in the Kingdom of Cambodia.
7. NAASRA. (1998), Guide to Stabilization in Roadworks. Sydney : National Association of Australian Road Authorities.

학회지 원고접수 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, 국내외 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	
국내외 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 찬평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 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

* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net