

탄성계수에 근거한 포장하부구조 다짐기준 정립을 위한 기초 연구

A Study for the Development of Compaction Criteria on the Pavement Substructure using the Elastic Modulus Concept

최준성* 김종민** 김부일*** 한진석****

Choi, Jun Seong · Kim, Jong Min · Kim, Bu Il · Han, Jin Seok

1. 서 론

지속적인 도로 건설기술의 발전에 의한 포장설계 및 유지관리의 합리화 일환으로 역학적 특성인 지반 및 포장재료의 강성 개념에 기초한 역학적인 포장설계 기법이 도입되고 있으나, 국내에서는 도로공사의 시공관리에 있어 경험적인 방법에 기초한 평판재하시험 및 들밀도 시험을 사용하고 있어 그 결과, 역학적 포장 해석, 포장단면 설계, 토공 및 포장시공 및 유지관리단계에서 각각 다른 기준을 적용하고 있어 비효율성이 내재되어 있기 때문에 합리적인 관리기법이 필요한 현실이다.

현재 도로의 설계와 유지관리는 탄성계수와 같은 흙의 역학적 특성을 이용하여 수행하는 반면 시공시에는 현장에서의 단위중량을 측정하여 이를 실내다짐시험으로부터 구한 최대건조단위중량과 비교하는 방법으로 시공관리를 하고 있다. 이러한 설계, 시공관리, 그리고 유지관리 간의 개념적 차이는 전체 건설공정의 일관성을 떨어뜨리고 있으며 기술자의 경험적 판단에 크게 의지하는 불합리한 면을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 시공시 현장다짐관리에 있어 단위중량을 이용하는 기존의 방법 대신 탄성계수와 같은 역학적 특성을 이용하는 새로운 다짐기준을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 설계시 고려되는 설계탄성계수를 실제현장에서 구현할 수 있도록 다짐 작업시 탄성계수를 측정할 수 있는 기법기법들의 적용성을 중점으로 검토하고자 한다. 본 연구결과로부터 역학적 특성을 이용하여 현장다짐관리를 수행하게 되는 경우, 설계에서 요구하는 역학정수의 기준값과 시공현장에서 측정한 역학정수값의 직접비교가 가능하게 되어 보다 합리적인 관리가 가능해질 것이다.

2. 다짐기준 정립을 위한 연구흐름 방법 제안

도로포장 설계시 도로설계법에 의한 도로 설계가 실제현장에서 구현되도록, 현장에서 다짐작업시 설계탄성계수 값을 새로운 탄성계수 측정시험을 통해 평가할 수 있는 기준정립을 하고자 한다. 이를 위하여 탄성계수 측정시험의 적용성 및 시험절차법과 분석과정, 그리고 시험빈도 및 측정지침을 연구하여 기존 현장에서 사용되고 있는 현장 다짐도에 의한 포장 하부구조 시공과는 완전히 새로운 개념의 하부다짐 기준을 정립하는 것이다.

따라서 포장하부구조 설계탄성계수의 설계기준에 따른 하부다짐 기준 정립을 위해 연구의 목표로 다음과 같은 목표범위를 설정하였다.

* 정회원 · 인덕대학 건설환경설계과 교수 · 공학박사 · 02-950-7565 (Email : soilpave@induk.ac.kr)
** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · 02-3408-3293 (Email : jonqmin@sejong.ac.kr)
*** 정회원 · 건설기술연구원 선임연구원 · 공학박사 · 032-910-0174 (Email : bikim@kict.re.kr)
**** 학생회원 · 세종대학교 토목환경학과 석사과정 · 02-464-0716 (Email : for1000dayshan@nate.com)

(1) 설계탄성계수를 조사 분석하여 현장시험 측정값과 동탄성계수의 상관관계식의 제안에 필요한 동탄성계수의 기준(referance)값을 결정하며, 동탄성계수 추정을 위한 실내시험방법을 조사한다. 또한 설계탄성계수의 현장작용흐름도를 작성한다.

(2) 탄성계수 측정용 장비활용방안 및 국내 대표적 포장하부 지반 조건에 대한 토질정수 및 지수와 동적탄성계수의 상관관계로부터 현장시험빈도를 결정하기 위해서 자료를 조사한다.

(3) 시험빈도 결정을 위한 각 시험 충격범위 결정 및 현장시험 측정거리 결정을 위해 문헌조사를 실시하고 DCPT의 경우 토조크기에 관한 다양한 제안식들이 나와 있어 이를 근간으로 DCPT의 경우에 대한 토조크기 산정이론들을 분석하여 실내시험용 토조설계 및 현장시험 기본계획을 수립한다.

2.1 연구개념도 및 연구계획 수립

탄성계수를 이용한 하부기준을 정립하기 위해 기존에 나와 있는 연구를 분석하고, 설계탄성계수 조사분석을 통한 시험빈도 결정, 현장시험 기본계획 수립, 측정용 장비 활용방안 계획, 토조시험 계획, 노상·보조기층의 DCPT, CBR의 탄성계수 관계를 정립하고자 한다. 다음 그림 1은 본 연구결과를 활용하기 위한 연구개념 흐름도이다. 이러한 연구 개념흐름도의 실행을 위해 다음과 같은 연구가 진행되어야 할 것이다.

- (1) 기존 실험측정치 - 탄성계수 추정식 조사
- (2) 탄성계수 추정방법 고찰 및 정립
- (3) 탄성계수측정용 장비조사 및 활용방안 수립
- (4) 각 탄성계수측정 실험방법 정리
- (5) 시험을 통한 시험측정치와 탄성계수 추정식 확인 및 비교

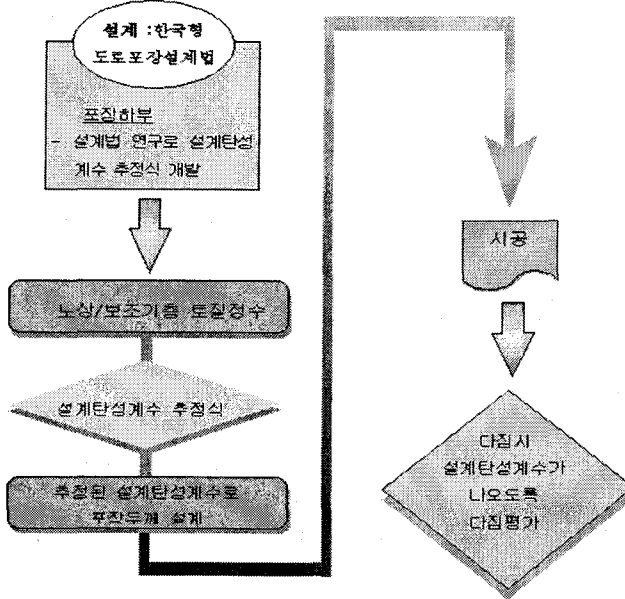


그림 1. 연구개념도

2.2 다짐기준 정립을 위한 방법론 제안

한국형 도로설계법에서는 공사현장의 하부구조 재료로부터 실험된 기본물성으로부터 설계법 연구에서 제시된 설계탄성계수를 추정한다. 따라서 실제 도로현장에서 다짐 후 탄성계수 측정시험으로부터 설계탄성계수가 나오는지 확인하기위해 각 시험방법들의 지침을 작성하여야 하며, 탄성계수 측정시험방법안을 구축하여야 한다.

- (1) 측정변위로부터 역산한 탄성계수 측정시험 : LFWD



- (2) 측정 콘지수로부터 상관관계식에 의한 탄성계수 측정 : DCPT
- (3) 측정도달시간에 의한 파속도를 탄성이론에 의해 탄성계수 측정 : SASW
- (4) 실내시험 CBR치를 통한 상관관계 정립에 의한 탄성계수 추정 : PBT

실제탄성계수는 설계법에서 제시된 설계탄성계수이며, 측정치는 각 시험값으로부터 나온 측정값으로, 본 연구에서는 이러한 측정시험 시험값과 탄성계수의 상관관계 정립을 실내 토조시험으로 구축하는 방법을 제안한다.

이러한 연구결과로부터 실내시험으로부터 상관관계 정립 후 현장시험으로 검증이 필요한 시험은 DCPT, CBR, (SASW)이며, 이러한 측정치와 상관관계를 통한 탄성계수관계를 정립하고, 가해지는 하중의 제한성으로 현장시험으로부터의 상관관계를 정립하여야 하는 LFWD, PBT, SASW 시험은 현장에서 직접 실험실시 후 타현장에서의 현장검증을 실시하여야 한다.

3. 탄성계수 측정용 DCPT 장비활용방안 및 시험방법 정리

본 연구에서는 도로 포장하부의 다짐 후 탄성계수 측정시험으로부터 설계탄성계수가 나오는지 확인하기 위한 시험장비로 DCPT를 정하였으며, 시험장비 세부사항 및 현장 동탄성계수 측정을 위한 방법을 문헌조사 결과를 통해 정리하였다.

(1) 기술

동적관입시험(DCPT:Dynamic Cone Penetrometer Test)은 도로포장과 노상의 지지력을 측정하기 위해 1950년대에 처음 고안된 것으로, 일정 무게의 자유 낙하에 의한 힘이 Cone Tip을 타고 실험 지표면을 뚫고 들어가는 능력을 측정하여 지지력을 계측할 수 있게 한 장비이다. DCPT의 발달은 점성토의 특성을 보다 쉽고 빠르게 계측할 필요성에 의해 이루어졌다. 미국에 DCPT 방법 적용은 1980년대 후반에서야 알려졌다지만, 간단한 시험방법과 다양한 데이터 값의 축적으로 최근엔 몇몇 주의 DOT에서 DCPT 방법을 활성화 시키고 있다. (ASTM, 2003)

(2) 장비의 외형

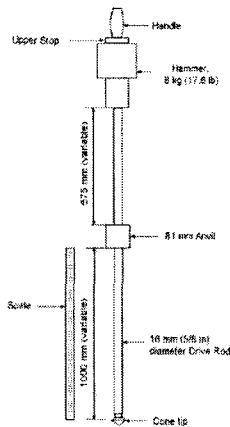
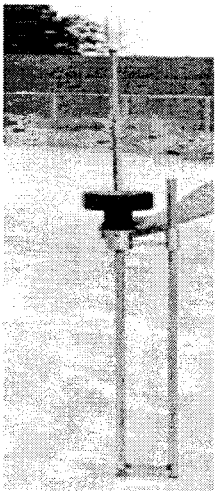


그림 2. DCPT 외형

그림 3. DCPT 시험방법

그림 2에서와 같이 장비의 총 길이는 1792mm이며 크게 상부 로드와 하부 로드로 구분되어진다. 상부 로드



는 Handle 부분과 Upper Stop, Hammer, 그리고 Hammer의 레일 역할을 하는 Slide Road가 있고 하부 로드는 해머가 자유낙하 후 부딪히는 모루(Anvil)와 diameter drive road, Cone tip으로 되어 있다. 각 부분별 사이즈 및 상세 역할은 8kg의 해머가 575mm의 자유 낙하 후 지름 81mm의 모루에 충격을 가할 수 있게 설계 되었으며 모루 밑에는 지름 16mm의 diameter drive road가 있어 해머의 충격에 의해 Cone tip이 들어간 깊이를 측정할 때 쓰이며 맨 하단부의 Cone tip은 지름 20mm에 60도 각도의 원뿔 썰기형으로 되어 있어 해머의 자유 낙하 충격으로 지반을 뚫고 들어갈 수 있게 설계 되었다.

(3) 실험방법

- 소요 인원 : 2명 <그림 3>
 - 한 명은 DCPT Hammer를 올리고 낙하 시킨다
 - 한 명은 penetration의 깊이값을 읽고 기록한다.
- 주의사항 및 Tip
 - 실험 전에 penetration 값을 읽는 사람은 penetration의 지표면으로부터 15cm 지점에 표시를 해두면 실험 측정값 체크에 용이하다.
 - 실험시 DCPT 실험체는 지표면에 수직을 이루도록 주의한다.
 - 수직이 아닌 상태에서 나온 실험값은 신뢰 할 수 없다.
 - 한번의 실험이 끝난 후에는 Cone tip을 교체해 주도록 한다.
 - 실험 후 Cone tip의 마모정도에 따라 실험값에 차이가 날 수 있다.

(4) 예시 결과값

- 단위 : PR (in mm/blow)
- Hammer 의 충격 횟수에 대한 penetration 비례값
- PR값은 CBR, 동적 탄성계수, E 값과 비교 산정할 수 있다.
- 표와 그래프 해석법
 - 그림 4를 보면 평균 Penetration 비는 13 mm/blow 이다.
 - 그러나 250mm 구간과 325mm 구간 사이에서 결과 값은 (~20 mm/blow)를 이룬다.
 - 표 1을 통해 해석하면 MNDOT는 clay/silt subgrade 임을 해석할 수 있다.

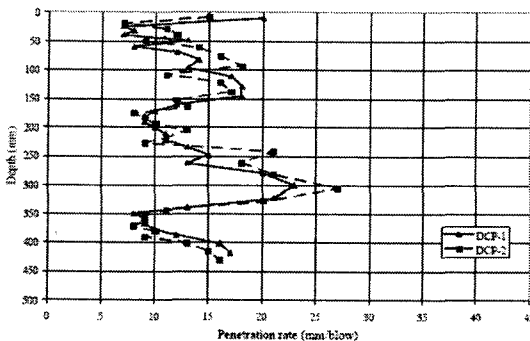


그림 4. DCPT PR값

표 1. 한계 DCPT PR (burnham, 1997)

Material Type	Limiting PR(mm/blow)
Silty/Clay subgrade	< 25
Select Granular Subgrade	< 7
Class 3 Special gradation granular base materials	< 5

4. 시험빈도 결정을 위한 각 시험 충격영향범위 결정 및 현장시험 기본계획 수립

탄성계수 추정방법들의 깊이별 충격영향범위 및 시험구간별 이격거리를 결정하기 위하여 실내시험이 필요하며, 이를 위해 토조설계 및 실험재료의 기초물성시험을 실시한다. 현장시험장비의 토조시험에 필요한 토조 크기를 결정하기 위해 현장시험 하중의 영향범위를 추정해야 하며, 현장시험시 시험빈도에 관한 기준을 조사하여 제안해야 한다.



4.1 충격영향 범위 결정 방안 제안

DCPT의 토조시험을 수행하기 위한 토조제작에 있어 가장 먼저 결정되어야 할 사항은 경제조건을 고려한 토조의 크기이다. 현장 DCPT 시험 상황은 시험대상 지반을 반무한체로 가정할 수 있으며 이를 실내에서 재현하기 위해서는 경제조건외 영향을 받지않는 토조의 형상과 크기를 결정해야 한다. DCPT 토조시험에 관한 현재까지의 문헌조사 결과는 미국 루지애나대학교의 토조시험에 집중되어 있어 보다 심화된 문헌조사가 필요한 것으로 판단된다. 또한 대부분의 토조시험이 정적콘시험(CPT)을 중심으로 하고 있어 충격하중을 가하는 DCPT 시험에의 적용성은 추가적인 연구가 더욱 요구된다. 이를 위해서는 토질별 DCPT 충격하중의 영향범위를 산정해 보는 것이 중요하며, 수치해석기법을 통하여 고려해 볼 수 있을 것으로 사료된다. 수치해석 결과를 기존에 제안된 CPT 토조크기 산정식과 비교/분석하여 DCPT 토조크기를 산정해야 할 것이다.

4.2 토조 제작

Ayer, M. E.(1990)에 따르면, DCPT 토조 시험시 토조의 크기는 DCPT 시험 결과값에 영향을 주며, 지름 304.8mm 이상의 크기를 만족시켜야 한다 하였다. 이를 토대로 그림 5와 같이 내경 0.9m, 높이 0.65m, 두께 5mm의 원통형 토조를 제작하였다.



그림 5. 토조의 외형

4.3 시험빈도 결정 방안 제안

DCPT 시험의 시험횟수, 시험간격, 시험깊이 등에 대한 기준은 아직 확립되어 있지 않으며, 이는 시험목적과 현장여건에 따라 달라진다. 다만 시험대상지반의 균질성에 의해 결정된다고 보는 것이 일반적인 기준이라고 할 수 있다. 우선 조사자료를 바탕으로 취약부 존재 여부와 균질성을 파악하여 시험간격을 결정해야 하며, 역학적 성질이 우수한 균질지반의 경우라도 대상지역 내에서 최소 3개소의 시험결과는 확보해야 한다. 표 2는 기존 자료분석을 통한 본 연구에서 제안하는 DCPT 시험간격에 대한 추천값이다.

표 2. DCPT 시험간격의 추천값

시험 목적	최소 시험 간격
기존 도로의 일상적인 유지관리	500m
기존도로의 파손부 현황파악	100m
비포장도로의 포장도로화	500m
특정 부분의 기능 향상	50m

5. 결 론

본 연구의 목표는 도로포장 설계시 도로설계법에 의한 도로설계가 실제 현장에서 구현되도록 기존 현장에서 사용되던 이쓴 현장 다짐도에 의한 포장하부구조 시공과는 완전 새로운 개념의 다짐관리를 제시하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 동탄성계수 추정을 위한 실내시험방법들의 자료를 수집하여 검토하였으며, 탄성계수 측정용 장비 및 시험방법들을 조사 및 분석하였다. 또한 시험빈도 결정을 위한 각 시험충격범위



를 결정하기 위한 토조크기 및 재질에 관하여 토조설계를 실시하였고, 실내시험 및 분석계획을 구축하였다. 본 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 탄성계수를 이용한 다짐기준 정립을 위한 연구흐름 및 방법론을 제시하였다.
- (2) 실제도로포장 설계시 도로설계법에 의한 포장하부의 탄성계수를 현장에서 구현할 수 있도록 다짐 후 탄성계수 측정시험으로부터 설계탄성계수가 나오는지 확인하기 위한 LFWD, DCPT, SASW, CBR, PBT 시험방법들의 적용성을 검토하고, 현장활용을 위하여 시험방법들을 지침화하고자 분석하였다.
- (3) 국내 하부지반조건에 대한 DCPT 지수와 동탄성계수의 상관관계를 제안하기 위한 현장시험에 앞서 재현가능한, 보다 통제된 조건에서의 시험을 위해 토조시험을 통해 수행하고자 토조설계 기본 계획을 수립하였다.

본 연구의 활용과 추후 연구를 통해 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

- 본 연구는 기존의 다짐도에 의한 다짐관리를 역학적 개념의 다짐관리를 할 수 있도록 하여 역학적 개념의 도로설계를 수행할 수 있도록 한다.
- 본 연구는 실제 도로설계시 사용된 포장 하부의 탄성계수를 현장에서 구현할 수 있도록 제시된 시험지침을 이용하여 시공관리를 실시한다.
- 본 연구는 추후 역학적 도로설계를 실시하기 위하여 기존 시공자들에게 과거 다짐관리를 시행시 중간단계의 완충역할을 수행한다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 국책연구과제인 “한국형 포장설계법 개발과 포장성능개선방안 연구”의 일부결과로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. American Society of Testing Materials (2003). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications. ASTM D6951-03, ASTM International, West Conshohocken, PA
2. Burnham, T. R. (1997). Application of Dynamic Cone Penetrometer to Minnesota Department of Transportation Pavement Assessment Procedures. Report No.MN/RC-97/19, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, MN
3. Chen, D. H., Wang, J-N, and Bilyeu, J. (2001). "Application of Dynamic Cone Penetrometer in Evaluation of Base and Subgrade Layers." TRR 1764
4. Jayawickrama, P. W., Amarasiri, A. L., and Regino, P. E. (2000). "Use of Dynamic Cone Penetrometer to Control Compaction of Granular Fill." TRR 1736
5. 건설교통부, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 2002.10
6. 건설교통부, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 2003.10
7. 건설교통부, 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구, 2004.10
8. 최준성의 2명, 소형 다짐장비를 이용한 최소폭 굴착노면의 다짐기준 연구, 한국도로학회 제 2회 봄학술대회 논문집, 2005. 3
9. 최준성의 4명, 역학적 시험에 의한 다짐방법의 적합성 평가를 위한 기초연구, 한국 도로포장공학회논문집, 2003. 10
10. 류명찬, 포장 동적관입시험기에 의한 보조기층 및 노상지지력 측정, 한국 도로포장공학회논문집, 2003. 3