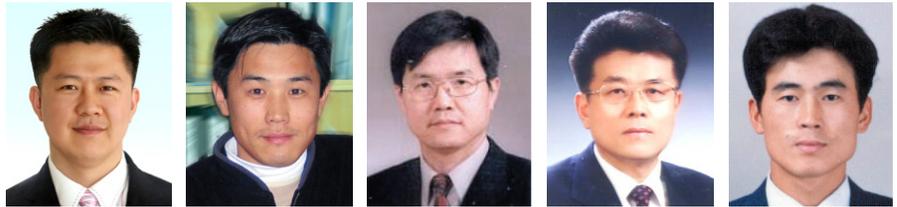


FWD를 이용한 도로 동상방지층의 지지력 분석



이 문 섭 | 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원
 김 부 일 | 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원
 이 성 준 | 정회원 · 국토해양부 간선도로과 과장
 임 광 수 | 정회원 · 국토해양부 간선도로과 사무관
 김 상 규 | 비회원 · 국토해양부 간선도로과 담당주무관

1. 개요

국내 도로포장 두께 설계는 미국에서 개발된 AASHTO 설계법, 일본에서 사용하고 있는 T_A 설계법 등을 주로 사용하고 있다. 그러나 이들 설계법은 각국의 기준에 맞추어 개발되었기 때문에 우리나라 실정에 잘 맞지 않아 설계수명이 실제 도로수명과 차이를 보이고 있다. 특히, 동결깊이의 결정에 있어 기온자료를 분석하여 만든 동결지수를 근간으로 하여 동결지수와 동결깊이의 상관관계식으로부터 동결깊이를 산정하고 있다.

우리나라는 겨울철 시베리아기단의 영향으로 한랭한 북서풍이 불기 때문에 지역별 기온차가 매우 크며, 봄철에는 그 영향이 약해져 기온이 상승한다. 동토지역의 지역적 기후 조건 특성으로 국내 도로분야에서는 동결융해(Freezing and Thawing)로 인한 피해를 줄이기 위하여 도로포장구조를 설계할 때 노상이 동결하는 것을 방지하기 위하여 동상방지층

(Anti-Freezing Layer)을 노상위에 별도로 설치하도록 하고 있다.

그러나 도로는 다양한 재료와 단면으로 구성된 구조물이기 때문에 계절적 및 재료 물성특성 뿐만 아니라 포장체 각 층의 구조적 적정성 또는 지지력 정도를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 현재 기존 동상방지층 설계법에 따르면, 동상방지층은 포장체의 구조적 적정성과는 무관하게 온도조건에 따른 동결깊이에 따라 일률적으로 결정되고 있다. 이러한 동결깊이를 포장구조설계에 적용하다 보니 과다설계 등 부적절한 포장설계의 가능성이 상존한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2008년부터 국가 R&D인 “도로 동상방지층의 효용성 검증 및 설치 기준 연구”에서 동상방지층의 지지력분석 연구가 수행되고 있다. 본고에서는 “도로 동상방지층의 효용성 검증 및 설치 기준 연구”에서 설치한 시험포장의 현황을 소개하고, 동상방지층의 구조적인 역할을 규명하기 위한 FWD평가 기법 및 현재까지의 현장조사 결과를 소개하고자 한다.

2. 시험포장 구간

도로 동상방지층의 효용성 검증 및 설치 기준 연구에서는 시험포장 구간을 국내 전지역에 걸쳐 구축하였으며, 북부지역과 남부 지역으로 구분하여 구축하였다. 북부지역의 동결지수 650℃/일 미만에 대하여 표 1에서와 같이 350℃/일~450℃/일 3개 지역과 450℃/일~550℃/일 3개 지역, 550℃/일~650℃/일 3개 지역에 대하여 25개 단면(절토부 9개 단면, 절성경계부 9개 단면 및 저성토부 7개 단면)을 구축하였다. 남부지역은 동결지수 350℃/일 미만에 대하여 표 2와 같이 200℃/일 이하 3개 지역과 200℃/일~350℃/일 3개 지역에 대하여 16개 단면(절토부 6개 단면, 절성경계부 6개 단면 및 저성토부 4개 단면)을 구축하였다.

FWD 시험은 각 구간에 설치된 계측센서를 기준으로 양쪽 2m 구간에서 시험을 수행하였다(그림 1).

표 1. 현장 계측시스템 구축 지역(북부지역)

동결지수 구분	원주청	서울청	대전청
550℃·일 - 650℃·일	무릉-사북 귀래-매지 웅진리	-	-
450℃·일 - 550℃·일	-	용인-서울 서울-춘천 현리-신팔	-
350℃·일 - 450℃·일	-	-	수안보IC 진천IC 성환-입장

표 2. 현장 계측시스템 구축 지역(남부지역)

동결지수 구분	대전청	익산청	부산청
200℃·일 이하	-	보성-이양 장성-야은	-
200℃·일 - 350℃·일	홍산-구룡	-	양천-월곡
350℃·일 - 400℃·일	-	-	서후-평은

3. FWD 평가

FWD(Falling Weight Deflectometer) 처짐량을 통하여 산정될 수 있는 FWD 지수는 시간에 따른 포장체의 거동변화를 관측하기 위해 사용되었다. 표 3은 미국 LTPP(Long Term Pavement Performance) 연구에서 검토한 다양한 FWD 지수를 나타내고 있다. AREA는 처짐에 의한 면적을 D_0 로 정규화한 단면적을 나타내며, 가장 외측의 센서 D_{1524} 에서의 처짐은 노상의 상태를 나타내기 위하여 가정되었다. SCI는 상부기층과 보조기층을 대표하기 위한 것인데 반하여 BDI는 상부 노상을 대표한다. 또한 SDI는 D_{610} - D_{1524} 로서 정의되며, SI는 D_{305} - D_{1524} 로 정의된다. 이는 기층으로부터 노상까지 전체 표면층 아래의 상태를 대표하는 것으로 생각할 수 있다. 그림 2는 처짐 평가지수에 대한 형태와 개념도를 나타내고 있다.

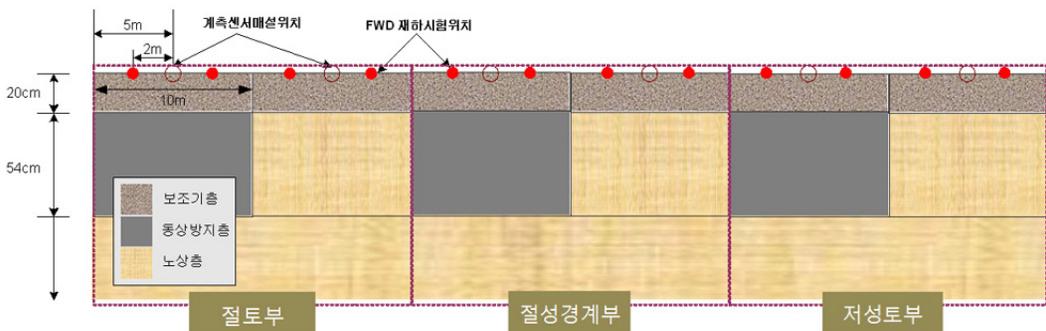


그림 1. 시험포장 구간(예)

표 3. FWD 지수

FWD 지수	공식
AREA	$6 \times [(D_0/D_0) + (2 \times D_{305}/D_0) + (2 \times D_{610}/D_0) + (D_{914}/D_0)]$
Deflection at Load Plate(D ₀)	D ₀
Deflection at 1524mm(D ₁₅₂₄)	D ₁₅₂₄
Base Curvature Index(BCI)	D ₆₁₀ -D ₉₁₄
Surface Curvature Index(SCI)	D ₀ -D ₃₀₅
Basin Damage Index(BDI)	D ₃₀₅ -D ₆₁₀
Partial Area(PA), m ²	$[(D_{457}/D_{610})/2 \times 0.153] + [(D_{610} + D_{914})/2 \times 0.304] + [(D_{914} + D_{1524})/2 \times 0.610]$
Subgrade Damage Index(SDI)	D ₆₁₀ -D ₁₅₂₄
Subsurface Index(SI)	D ₃₀₅ -D ₁₅₂₄

D_x는 하중판으로부터 이격된 거리 X_{mm}에서 측정된 표면치침
일반적인 이격거리는 0, 203, 305, 457, 610, 914, 1524mm

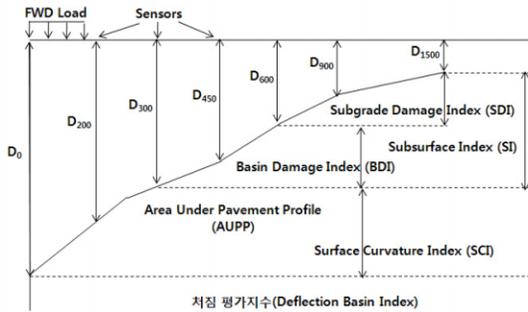


그림 2. FWD 치침 평가지수 개념도

이러한 각각의 치침 지수들은 일반적으로 동결기 동안 감소되며(동결현상) 봄철 융해기 동안 증가하다가(융해현상) 일정한 값으로 회복된다. 이러한 통상적인 반응이 그림 3에 나타나 있다.

그림 4는 미국 LTPP FWD 시험결과인 센서 위치별 치침곡선으로 융해기간 중 함수비의 증가로 인한 치침값이 증가함을 보여주고 있다.

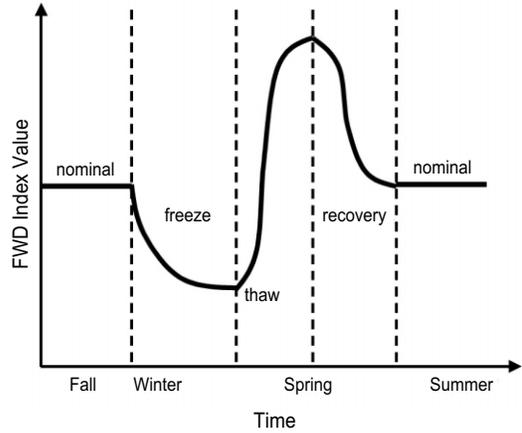


그림 3. FWD 지수의 통상적인 계절적 변화

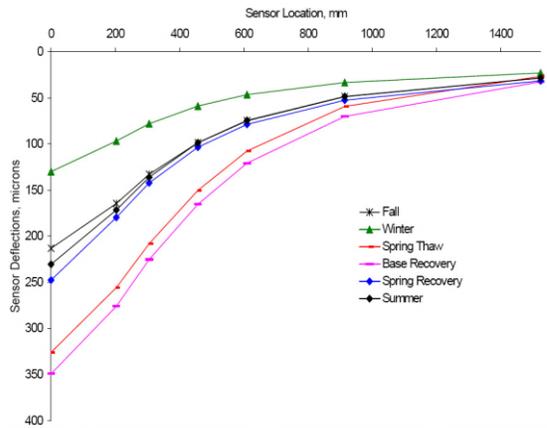


그림 4. 계절변화에 따른 전형적인 FWD 치침곡선

4. 현재까지의 결과

앞서 선정 한 시험포장구간에 대하여 FWD 조사를 수행하였다. 본 조사는 1단계로 각 구간별 시공단계에서 포장하부구조의 물성추정을 위해 보조기층 상단에서 FWD 시험을 수행하게 되며, 2단계로 포장 시공완료 후 계절변화에 따른 포장각층의 물성추정을 위해 FWD 시험을 수행하게 된다. 총 15개 시험 구간 중 현재까지 10개구간에 대하여 보조기층 상단

에서 FWD 시험을 수행하였다.

그림 5는 시험포장구간 중에서 부여 구간을 보여주고 있다. 동상방지층이 있는 단면이 동상방지층이 없는 단면에 비해 처짐량이 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 동상방지층이 어느 정도 구조적 역할을 담당하고 있음을 의미한다. 또한 성토부의 동상방지층이 있는 단면이 절토부와 절성경계부의 동상방지층이 없는 단면과 거의 유사한 처짐량 추이를 나타내고 있다.

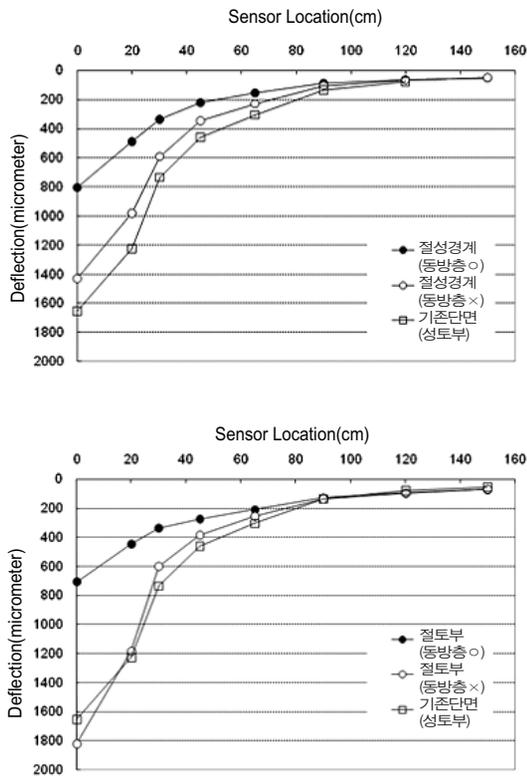


그림 5. FWD 처짐량 데이터 비교(부여)

5. 향후 계획

현재까지는 시험포장 구간에 대하여 보조기층 면이 마무리된 10개 현장에 대하여 FWD시험을 통한 처짐량에 대한 분석을 수행하였다. 전반적으로 동상방지층이 있는 경우가 없는 경우에 비해 처짐량이 작게 측정되어 동상방지층이 포장체에서 구조적 역할을 담당하는 것으로 나타났다.

현재 우리나라 도로포장설계에서의 동상방지층은 환경적 측면에서만 고려되고 있으며, 동상방지층의 구조적인 효과는 설계에 반영시키지 않고 있다. 따라서 동결-융해에 따른 포장체의 계절적 변동성을 분석하고, 동상방지층이 구조적으로 필요한 것인지 또한 동상방지층의 구조적인 효과는 어느 정도인지를 정량화 하는 것이 필요하다. 향후 본 연구에서는 아스팔트 포장 면에서 FWD 시험을 수행할 것이며, 계절적 변동성을 위하여 결빙기 및 해빙기에 중점적으로 시험을 수행할 계획이다. 또한, 수집된 데이터 분석을 통하여 하부구조 지지력 평가 및 구조적 특성 분석을 수행할 계획이다.