

# 동적관입시험과 소형충격재하시험을 이용한 보조기층의 지지력 평가

## Evaluation of Pavement Subgrade Quality using DCP and LFWD

김기현\* · 양성린\*\* · 김용주\*\*\* · 김영민\*\*\*\* · 황성도\*\*\*\*\*

Kim, Ki Hyun · Yang, Sung Lin · Kim, Yong Joo · Kim, Yeong Min · Hwang, Sung Do

### 1. 서론

‘드림파크로’는 인천시와 김포시의 경계인 수송도로삼거리에서 인천광역시 내의 수도권 매립지까지 총 13.6km 연장을 가지는 도로로 1994년 ‘수도권 매립지 수송 도로’로 건설된 이래 15년 이상의 공용기간 동안 수도권에 폐기물을 수송하는 중차량 하중이 통과하는 도로로 공용중이다. 교통하중이 매우 큰 노선의 특성상 전체 구간에 걸쳐 다양한 파손이 발생하고 있으며, 일부 지점에서는 반복적으로 발생하는 조기파손에 대한 원인분석이 필요하였다. 본 연구에서는 연약지반에 의한 지지력부족이 의심되는 구간과 중차량의 정체로 반복적인 소성변형이 발생하는 교차로구간, 절토구간 중 심각한 소성변형이 발생한 구간에 대하여 보조기층의 지지력을 평가하기 위해 동적관입시험 및 LFWD 시험을 실시한 결과 보조기층 이하의 지지력에는 크게 문제가 없으며, 두 시험의 결과가 양호한 상관성을 가지는 것으로 나타났다.

그림 1에서 붉은 실선으로 나타난 것이 드림파크로이다. 파란색, 초록색 실선으로 표시한 구간이 FWD를 이용한 예비조사에서 지지력이 낮게 평가된 구간이며 이 중 특히 소성변형 및 거북등균열 등 심대한 파손이 발생한 구간 두 개소와 중차량의 정체로 인한 반복적인 소성변형이 발생하였고, 노면 배수가 원활하지 못해 수분손상이 우려되는 장기사거리 교차로구간을 시험위치로 선정하였다.



그림 1. 드림파크로 및 시험개소 개략 위치도

- \* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 전임연구원 · 공학박사수료 · 031-910-0434(E-mail: kihyun@kict.re.kr)
- \*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 전임연구원 · 공학석사 · 031-910-0615(E-mail: siyang@kict.re.kr)
- \*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0248(E-mail: yongjook@kict.re.kr)
- \*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 전임연구원 · 공학박사과정 · 031-910-0148(E-mail: choozang@kict.re.kr)
- \*\*\*\*\* 정희원 · 한국건설기술연구원 도로연구실 · 연구위원 · 공학박사 · 031-910-0180(E-mail: sdhwang@kict.re.kr)

## 2. 소형충격재하시험(LFWD)

LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)는 도로 포장구조의 성능을 간편하게 현장에서 평가할 수 있는 비파괴시험장비이다. LFWD 시험은 현장에서 기층과 노상에 탄성계수를 역산하여 적절한 지지력을 가지는지를 평가할 수 있는 방법으로 최근 포장의 유지관리 및 신설포장의 품질관리에 많이 사용되고 있다. 기존의 FWD에 비해 장비의 가격이 저렴하고 휴대가 간편할 뿐만 아니라 현장에서 기층이나 노상의 탄성계수 결과를 직접적으로 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재 상업적으로 판매되고 있는 LFWD는 Dynatest에 3031 LWD, CarlBro에 Prima 100, 독일의 Ligh Drop Weight, 핀란드의 Loadman 등이 있다. 본 연구에서는 Dynatest에서 개발한 3031 LFWD를 사용하여 보조기층에서의 처짐을 측정하여 탄성계수를 계산하였다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 3031 LFWD는 10kg (또는 5kg)의 추를 자유 낙하시켜 이 때 발생하는 포장의 처짐량을 측정하도록 구성되어 있다.

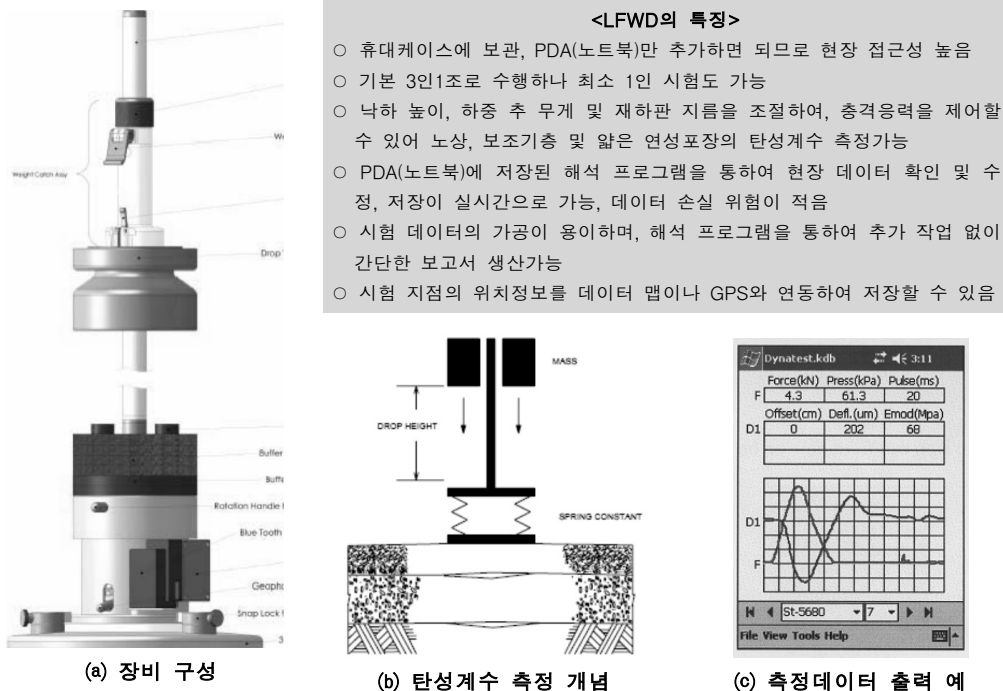


그림 2. LFWD 개요



그림 3. 현장시공 후 LFWD 시험 전경

## 2.1 LFWD 시험 방법

총 3개 구간을 선정하여 그림 3과 같이 아스팔트 포장층을 제거한 후 보조기층 면 위에서 LFWD 시험을 실시하였다. 각 구간은 그림 4에서와 같이 연약지반에 성토구간으로 소성변형과 박리가 발생하였고 배수가 문제되는 구간, 포장과손구간으로 포장에 소성변형, 거북등 균열이 발생한 구간, 교차로 구간을 선정하여 LFWD를 사용하여 처짐을 측정하였다. 처짐량 측정은 차로의 휠패스, 차로의 중앙 부분에서 수행하였다.

연약지반 (성토구간)	연약지반 (절토구간) -포장파손구간-	연약지반 (성토구간) -교차로구간-
<ul style="list-style-type: none"> <li>소성변형,</li> <li>박리발생,</li> <li>배수에 취약</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>소성변형,</li> <li>거북등 균열</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>심한 소성변형,</li> <li>쇼빙</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wheel Path (안쪽)</li> <li>중앙</li> <li>Wheel Path (바깥쪽)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wheel Path (안쪽)</li> <li>중앙</li> <li>Wheel Path (바깥쪽)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wheel Path (안쪽)</li> <li>중앙</li> <li>Wheel Path (바깥쪽)</li> </ul>

그림 4. LFWD 시험구간 선정

## 2.2 LFWD 시험 결과

그림 5는 구간별 측정된 처짐값을 이용하여 보조기층에 역산 프로그램을 이용하여 탄성계수를 계산한 결과이다. 그림에서와 같이 구간에서의 보조기층에 탄성계수는 거의 유사한 결과 값을 나타냈다. 이는 FWD 조사 결과, 역산 프로그램을 이용한 추정된 탄성계수와 거의 유사한 결과를 나타내며 일반국도에 사용되는 보조기층의 탄성계수와도 거의 유사한 결과를 나타내어 하부층의 공용 능력이 유지되는 것으로 파악되었다. 단지 교차로 구간의 휠패스에서는 중앙부와는 달리 낮은 탄성계수값을 나타내어 중차량의 정지하중이 반복적으로 작용하는 구간에 있어서는 보조기층이 손상을 입을 수 있음을 확인하였다.

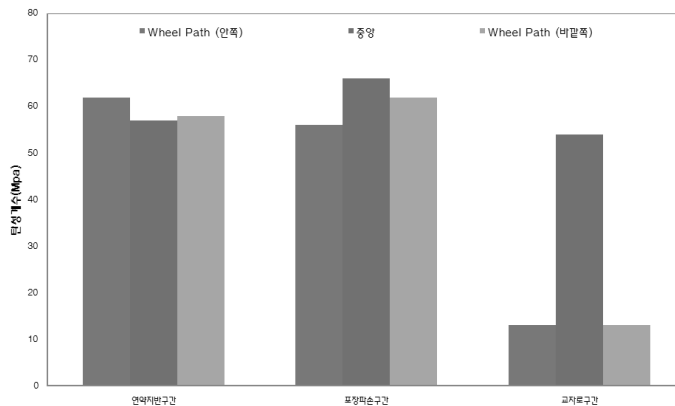


그림 5. LFWD에 의한 지점별 보조기층의 탄성계수 산정 결과

### 3. 동적관입시험(DCP 시험)

드림파크로의 하부지반(토공부 : 보조기층 및 노상)의 포장두께 및 포장층의 지지력을 조사하기 위해 현장에서 동적관입시험(Dynamic Cone Penetration Test)을 수행하였다. 동적관입시험은 포장의 기층, 보조기층 및 노상에서의 구조적인 상태를 평가하기 위한 방법으로 기존의 방법보다 상대적으로 저렴하고 이동성이 편리해서 그 사용이 국외의 경우 증가하고 있다. 은 연구자들에 의해서 동적관입시험(이하 DCPT)은 steel rod 하단에 팽이 모양의 콘(cone)을 부착하고 상부에 있는 해머(hammer)를 통해 노상 또는 보조기층(입상재료층)에 낙하/관입하여 콘의 관입량에 달하는 타격회수를 연속적으로 실측하는 시험이다. 그림 6은 DCPT 장비의 형상과 제원을 나타낸 것이다. 동적관입시험은 각 조사대상구간별로 코어를 채취하거나 현장시굴한 부분에서 실시하였으며 현장시험 전경을 그림 7에 나타내었다.

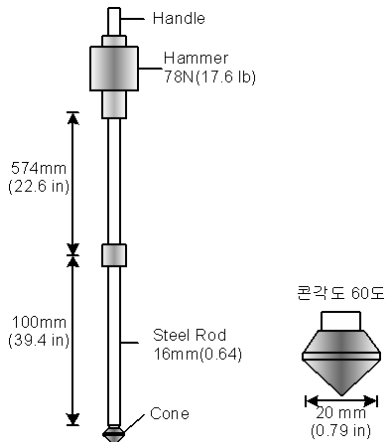


그림 6. DCPT 장비 제원



그림 7. DCPT 전경

#### 3.1 DCP 시험 및 분석 방법

DCP 시험 결과를 이용하여 토공부의 지지력을 분석하기 위해 DCP 지수를 결정하였다. DCP 지수는 1회 타격시 관입깊이로 현장 조사 자료를 관입깊이를 타격회수를 나누어 계산한다. 이 DCP 지수는 그림 7에서와 같이 타격회수와 관입깊이의 기울기를 의미한다. 이와 같이 계산된 DCP 지수는 CBR로 환산하는데 활용되며, CBR 환산식은 다음 식 1과 같다. 그림 8과 같이 보조기층 및 동상방지층의 두께는 타격회수와 관입깊이의 관계에서 변곡점이 발생하는 지점에서의 누적관입깊이가 된다. 이는 각 층의 지지력 차이로 인해 발생하게 되는 것이다.

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}} (\%) \dots\dots\dots (식 1)$$

여기서,  
DCP : DCP 지수(1회 타격시 관입깊이)

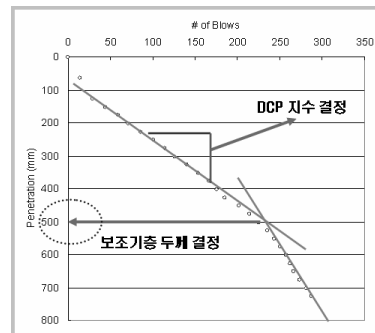


그림 8. DCP 지수 결정 및 보조기층 두께 결정 방법

### 3.2 DCP 시험 결과

그림 9는 현장 DCP 시험 분석결과를 나타낸다. 그림 9의 (a)에서와 같이 연약지반구간 및 교차로구간의 보조기층과 노상의 구분은 약 40cm에서 나타났으며 그때의 타격횟수는 약 370회로 나타났다. (b)의 특수포장구간은 보조기층과 노상의 구분이 약 35cm에서 나타났으며 그때의 타격횟수는 약 180회로 나타났다. 그림 10은 일반국도(남부지방)에서의 DCP 시험 분석결과로서 보조기층과 노상의 구분이 약 40cm에서 나타났으며 이때의 타격횟수는 170회이다. 드림파크로의 하부층(보조기층 및 노상)의 지지력이 일반국도와 유사하거나 더 높은 지지력을 가지는 것을 확인할 수 있다.

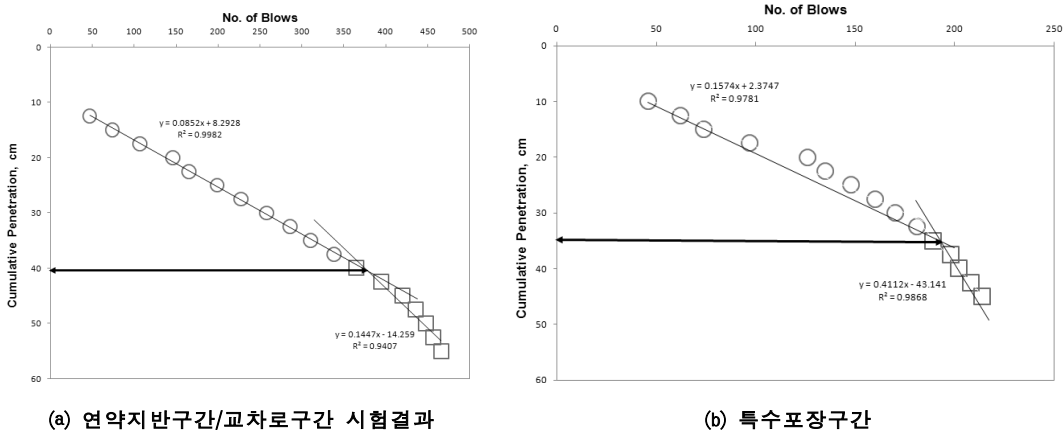


그림 9. DCPT 분석결과(드림파크로)

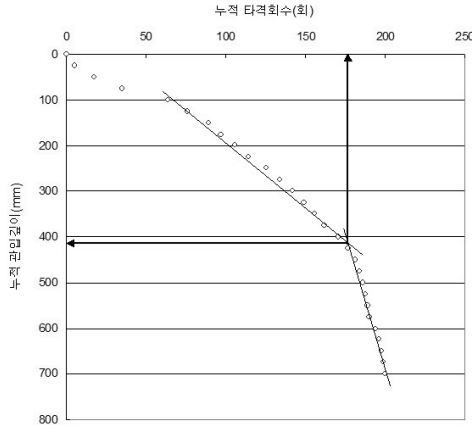
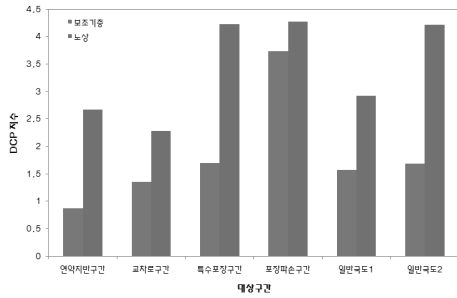
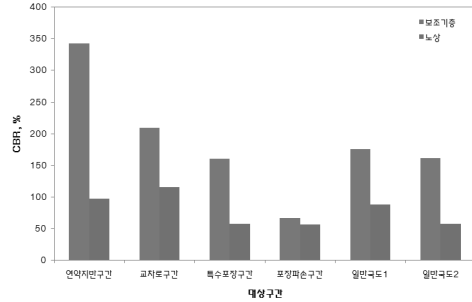


그림 10. DCP 분석결과(일반국도)

DCPT 분석 결과에서 도출된 DCP 지수는 한국건설기술연구원에서 수행중인 “한국형 포장설계법 개발 및 성능개선방안 연구”에서 결정된 환산식을 이용하여 CBR 값으로 환산/적용하였다. 그림 11의 (a)는 DCP 지수를 나타낸 결과이며 (b)는 환산식을 이용한 CBR 값을 나타낸다. 그림에서와 같이 DCP 지수는 연약지반구간의 보조기층이 가장 낮은 기층기 값을 나타내었으며 일반국도보다도 높은 지지력을 가지는 것으로 나타났다. 교차로 구간과 특수포장구간은 일반국도와 거의 유사한 결과를 나타냈으며 포장과손구간만이 일반국도의 2배 정도 높은 DCP 지수 값을 가지는 것으로 나타났다. 또한 환산식을 이용한 CBR 결과 값도 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있었다. 표 1은 일반국도 두 개 구간을 포함한 각 구간별 보조기층의 두께, DCP 지수 및 환산 CBR 결과 값을 나타낸다.



(a) DCP 지수 분석결과



(b) 환산식을 이용한 CBR 값 계산결과

그림 11. DCP 시험 분석결과

표 1. DCP 지수 및 환산 CBR 결과

구 분	DCP 지수		보조기층두께 (mm)	CBR(%)	
	보조기층	노상		보조기층	노상
연약지반구간	0.8657	2.6685	400	343	97
교차로구간	1.3462	2.276	400	209	116
특수포장구간	1.6981	4.2259	350	161	58
포장파손구간	3.7349	4.2727	400	67	57
일반국도1	1.5698	2.9154	310	176	88
일반국도2	1.6877	4.2151	410	162	58

#### 4. 결 론

파손발생구간을 제외한 드림파크로 보조기층 이하의 구조적 지지력은 일반국도와 유사하거나 보다 높은 탄성계수를 가지는 것으로 파악되었다. 동적관입시험 및 LFWD 시험 결과, 일반국도 신설구간 보다 높은 지지력을 가지는 것으로 나타났다. 이는 보조기층과 노상의 지지력 및 구조적인 능력이 유지되는 것으로 판단된다. 또한 시추조사 결과 기층이하에서 변형 및 파손이 발생되지 않았음을 확인하였으므로 아스팔트 포장층(기층 윗)만을 보수하면 되지만, 아스팔트층의 파손의 정도와 공용기간, 불량한 배수조건 등을 고려하여 수분손상이 우려되는 기층상부의 일정부분까지 절삭하는 보수공법을 적용해야 한다. 탄성계수와 CBR이 낮게나온 구간(포장파손구간)에는 구간 연장(약 10m)이 짧지만 소파보수 등 부분보수 수행 시에도 표면적으로 드러난 파손부위만을 절삭하지 말고 전체 차로 폭에 대하여 파손이 발생한 아스팔트층 전체를 절삭하여 덧씌우기 보수 공법을 적용해야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 인천광역시 종합건설본부의 「드림파크로 도로파손원인평가 및 포장설계 방안연구」의 수행결과와 일부로서, 연구지원에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. 한국건설기술연구원(2009), 도로포장관리시스템 최종 연구보고서, 국토해양부
2. 한국건설기술연구원(2007), 한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구-아스팔트 포장 재료 생산 및 시공 품질관리 정립 연구, 건설교통부
3. 건설교통부(1999), 도로포장유지보수실무편람