

Full Scale 포장가속시험기 개발 연구

Development of Full Scale Accelerated Pavement Testing Facility

서영찬* · 양성철** · 고지훈*** · 곽 동****

Suh, Young Chan · Yang, Sung Chul · Ko, Ji Hoon · Kwak, Dong

1. 서론

도로에서 발생하는 교통·환경 하중과 포장 공용성의 복잡한 관계를 규명하기 위해서 과거 많은 연구가 진행되었으며 그 결과 다양한 연구방법이 개발되었다. 현재 가장 많이 사용하고 있는 연구방법은 컴퓨터 시뮬레이션, 실내/실외 실험, 포장가속시험기, 시험도로, 실제 경험으로 나눌 수 있다. 이런 연구는 대부분 포장의 공용성을 예측함으로써 포장설계법의 개발 또는 수정, 도로 신재료의 적용성 등을 평가하는 데 목적이 있다.

그러나 각 연구방법으로 예측되는 포장 공용성은 연구시간/비용에 따라 예측 결과의 신뢰도가 많은 차이를 나타내고 있다. 포장가속시험기는 시간 또는 비용에 따른 연구결과의 신뢰도 측면에서 시험도로나 컴퓨터 시뮬레이션보다 효율적인 방법으로 알려져 있다(그림1 참조)(1).

포장가속시험기는 20여년간의 차량하중을 수개월 내에 모사(simulation)할 수 있는 장비로서 이미 선진국에서는 포장공용성 평가에 필수적으로 사용되고 있다. 본 연구는 full scale 직선형 포장가속시험기를 개발하는 것으로 full scale로는 국내 최초이며 2001년 12월에 완성 예정이다. 장비개발이 완료되면 건설폐기물을 포함한 다양한 도로 신재료들의 실제 적용성을 평가하는 등 국내 도로분야의 연구수준을 국제적인 수준으로 끌어올릴 뿐만 아니라 국가 도로 건설예산 절감의 핵심역할을 할 것으로 기대된다.

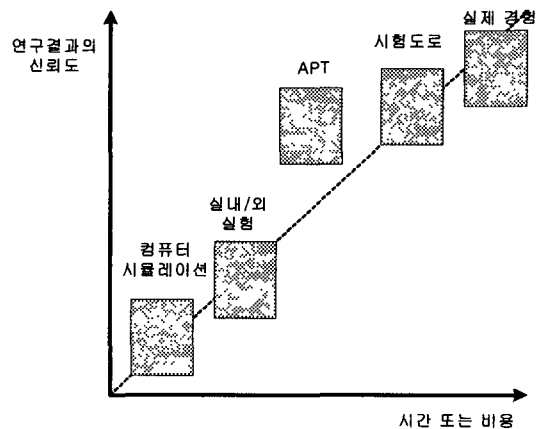


그림 1. 포장공용성 평가를 위한 연구방법의 종류와 신뢰도

* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 부교수 · 031-400-5155 (E-mail: suhyc@hanyang.ac.kr)

** 정회원 · 홍익대학교 건축공학과 교수 · 018-259-2665 (E-mail: sungyc@hitel.net)

*** 정회원 · 한양대학교 첨단도로연구센터 연구원 · 031-400-4238 (E-mail: go99@shinbiro.com)

**** 범우엔지니어링 천무 · 055-375-6789 (E-mail: bumwoo@chollian.net)



2. 사례연구

2.1 개요

APT는 크게 test road와 test track으로 나뉜다. test road는 실제 교통하중으로 시험도로를 주행하면서 포장 파손을 가속시키는 시험시설로 1919년에 미국의 Arlington, Virginia에서 최초로 시행되었다. 그 후 여러 곳에서 test road가 건설되었으며 가장 최근에 시공된 시설로는 1995년에 Nevada의 WesTrack이다.

Test track은 임의 하중으로 원형, 직선형의 주행형태로 포장을 가속 파괴시킨다. test track의 최초 장비는 1909년 Detroit에 설치한 원형의 test track이다(2).

2.2 Test Road

Test road는 포장의 공용성을 평가하기 위한 방법 중에서 가장 확실한 방법으로 알려져 있으나 환경적 요인과 하중을 제어하기가 어려우며 비용이 너무 많이 소요된다. 표 1, 2는 test road의 장, 단점과 현재 사용중인 test road를 나타낸 것이다.

표 1. Test road의 장, 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 실제 교통하중 적용 • 시공이 평이하다 • 포장의 공용성 평가에서 신뢰성이 높다 • 테스트 구간을 다양하게 할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경적인 요인을 제어하기 어렵다 • 하중이나 속도제어에 한계가 있다. • 실험 장소가 항상 일정하다.

표 2. 현재 사용중인 test road

test road	위치/날짜	계원				
		test length (km)	test section	wheel load (ton)	속도(km/h)	환경제어
MnROAD	Minnesota, 1993	9.6	40개	35.6, 45.3	56-104	None
NARDO	Italy, 1979	12.5	40×4 m	N/A	30	Partial
PTI	Pennsylvania, 1971	1.6	17개	7.1-12	36	None
PWRI	Japan, 1979	1.5	67개	6-16	40	None
WesTrack	Nevada, 1995	2.8	27개	50	65	None

2.3 Test Track

2.3.1 Circular Track

Circular track은 여러 test 구간을 빠른 속도로 운영할 수 있는 장점이 있다. 그러나 하나의 구간이 파괴되면 그 영향이 다른 구간에도 미칠 수 있으며 track이 충분한 반경을 확보하지 못한다면 전단력



이 문제가 될 수 있다. 포장의 시공에도 일반적인 방법이나 장비로는 힘든 경우가 많으며 circular track의 장단점은 다음과 같다.

표 3. Circular Track의 장, 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 빠른 속도로 운영할 수 있다. • 하중제어를 완벽하게 할 수 있다. • 포장의 가속파괴를 빠르게 한다. • 기계적으로 단순하다. • 여러 구간을 실험할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 반경이 작은 경우 전단력이 문제가 될 수 있다. • 하나의 구간이 파괴되면 주위의 다른 구간에 영향을 미칠 수 있다. • 시공이 어렵다. • 한정된 지역에서 실시된다.

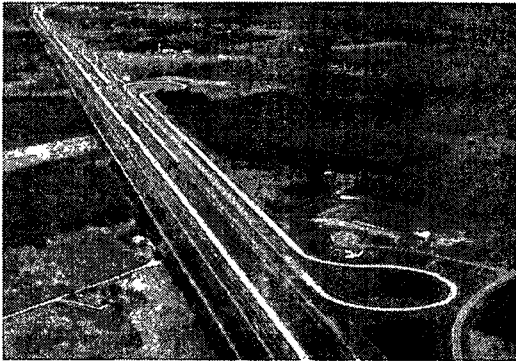


그림 2. Test Road (MnRoad)

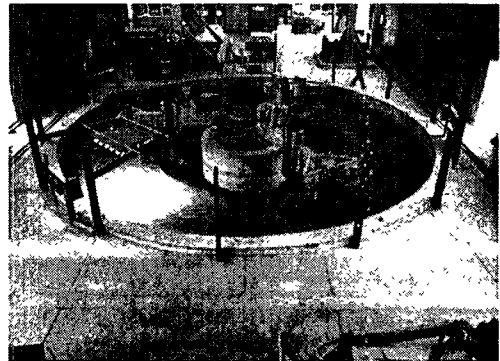


그림 3. Circular Track (UNAM)

현재 사용중인 circular track은 다음과 같다.

표 4. 현재 사용중인 Circular Track

test road	위치/날짜	제원					환경제어
		test diameter(m)	test section	wheel load (ton)	속도 (km/h)		
C-TIC	SasKatchewan, 1978	12	5개	4-6	12	온도, 습도, 동결융해	
CAPTIF	New Zealand, 1987	18.4	4×45m	2.1-6	50	Partial	
ISETH	Switzerland, 1979	32	1.3×100m	5-8	80	온도	
IUT	Illinois, 1963	4.8	2×15	3	15	None	
JHPC	Japan, 1979	6	12개	3	60	온도(물로 조절)	
LCPC	France, 1978	38	6×120	4-14	100	온도, 우수, 지하수위	
Road Machine	United Kingdom, 1963	34	N/A	4.9	N/A	온도	
RRT	Romania, 1982	16.4	N/A	4.55	40	온도	
Shell	Netherlands, 1967	3	0.9×9.4m	2	20	Partial	
S-KSD	Slovakia, 1994	32	100m	8.3-13	50	None	
UCF	Florida, 1988	15.6	N/A	4.5-13.6	48	None	
UNAM	Mexico, 1970	13	3×9m	8-10	40	온도	
WSU	Washington, 1965	26	4×81	5	N/A	None	



2.3.2 Linear Track

Linear track은 몇 가지 경우를 제외하고는 대부분 속도가 제한적이며 양방향으로 하중을 가하는 경우, 포장의 공용성 예측에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 이동식 장비는 실제 도로에서도 측정이 가능하다. 현재 사용중인 linear track은 다음과 같다.

표 5. 현재 사용중인 Linear Track

test road	위치/날짜	제원				
		test length (m)	test section	wheel load (ton)	속도 (km/h)	환경제어
ALF	Australia, 1984	12	이동식	4-8	20	None
FHWA-PTF	Washington DC, 1986	12	12개	4-11	20	None
RIOH-ALF	China, 1990	12	12개	4-8	20	None
PRF-LA	Louisiana, 1995	12	9개	4-8	20	None
DRTM	Denmark, 1973	9	9×2.5m	6.5	30	온도
EPFL	Switzerland, 1977	4	4×3	12	10	Partial
HVS	South Africa, 1971	8	이동식	20	12	온도, 표면습도
CAL-APT	California, 1994	8	이동식	2-10	12	온도, 표면습도
LINTRACK	Netherlands, 1991	11.5	18×4	1.5-10	20	온도
PTF	United Kingdom, 1984	10	10×2.5	10	20	온도
INDOT	Indiana, 1992	6	6×6	9	8	온도
TxMLS	Texas, 1995	11.1	이동식	3.5-19.1	41	온도
CEDEX	Spain, 1987	300	6개	5.5-7.5	60	공기
한양대	Korea, 2001	12m	2-3개	11ton	20km/h	온도, 습도

표 6. Linear Track의 장, 단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> 이동식은 공용중인 도로에도 사용 가능하다 포장의 시공이 쉽다. 환경적 제어가 가능하다. 한 구간이 파괴되어도 다른 구간에 영향을 주지 않는다. 	<ul style="list-style-type: none"> 속도가 제한적이다. 기계적인 측면에서 장비가 복잡하다. 시공이 어렵다. 한정된 지역에서 실시된다.



그림 4. Linear Track (Lintrack)

2.4 해외 주요 포장가속시험기

2.4.1 ALF

1984년 호주의 ALF 프로그램에 의해 개발된 ALF는 직선형 포장가속시험기로서 공용중인 도로에서

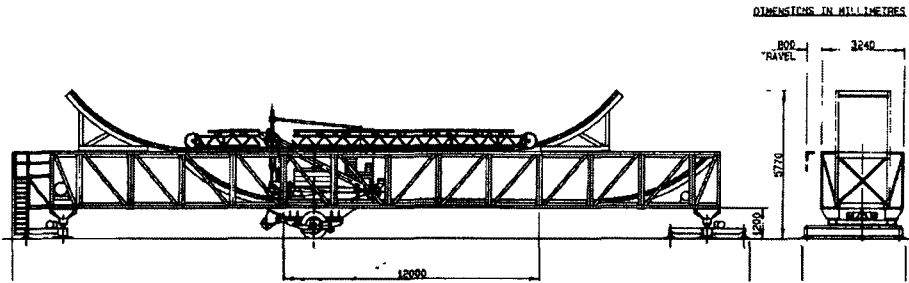


그림 5. 호주의 ALF

직접 실험 가능한 이동식 장비이다. 이는 mainframe에 의해 전체가 지지되며 하중을 가하는 바퀴는 test 구간 양끝에서 이탈하여 진자식으로 작동하게 된다. 즉, 한번 주행후 바퀴는 반원형으로 위로 올라가면서 주행속도를 감속시키며, 다시 떨어지는 중력과 전기모터의 힘으로 test 구간을 주행하게 설계되어 있다.

ALF는 4~8ton의 하중으로 12m의 test 구간을 평균 20km/h로 주행하며 1회 주행 cycle은 약 9초로 시간당 380 cycle, 일주일 평균 50,000 cycle로 실험한다. 최근 ALF는 heating 시스템과 자체적으로 이동 가능한 시스템으로 개발되고 있다(3).

2.4.2 LINTRACK

LINTRACK은 네델란드 Delft 대학에서 개발한 직선형 포장가속시험기로 온도조절장치(heating system) 작동시, 외부 온도를 차단할 목적으로 실험동 전체가 rail에 따라 이동 가능하게 설계되어 있다. Test 구간의 길이는 11.5m이며 타이어는 single, dual, super single 타이어를 사용하여 1.5~10 ton의 하중을 가한다. 양방향 또는 일방향으로 하중을 가하며 양방향으로 주행시 시간당 1,080회 주행하고 일방향으로 주행시 주행후, 수압에 의해 타이어를 들어서 이동시키며 포장의 온도조절은 48개의 적외선 히터를 종방향으로 배치하여 사용한다.

2.4.3 HVS

HVS는 남아프리카 공화국 CSIR(Council for Scientific and Industrial Research)에서 개발한 이동식 포장가속시험기로 매우 다양한 포장구조에서 500개가 넘는 test section을 실험하였다. 최대 15km/h의 속도와 15ton의 하중으로 8m의 test 구간을 시간당 최대 1,000회의 반복하중으로 실험한다. 이는 2~3개월 내에 고속도로에서 20년 정도의 하중효과를 시뮬레이션하는 것이다(4).

3. 개발현황

3.1 개요

본 연구에서 개발하는 포장가속시험기는 국내 최초의 full scale 직선형 포장가속시험기으로써 포장체

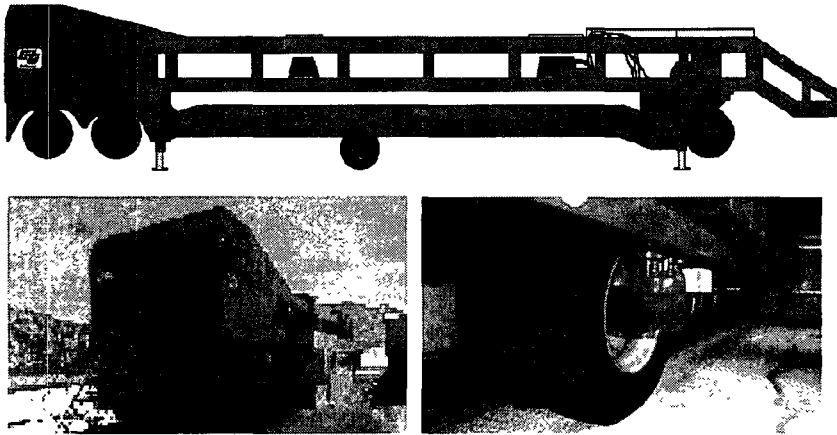


그림 6. 남아프리카 공화국의 HVS

에 실제와 유사한 환경하중과 교통하중을 실험실내에서 단기간에 모사하여 도로 신소재의 적용성과 기존 설계방법이나 재료의 공용성을 평가하는 데 목적이 있다. 따라서 직선형 포장가속시험기는 다음과 같은 내용으로 개발한다.

- (1) 20년 이상의 장기공용성을 단기간 내에 모사할 수 있도록 최소한의 주행속도와 운하중을 확보토록 한다.
- (2) 단기간에 수백~수천만회의 하중작용 및 하중효과를 수행하기 위해서는 내구성, 유지보수성, 경제성을 확보토록 한다.
- (3) 시스템의 불안정요소나 소음 등을 최소화하여 설계한다.
- (4) 실제 도로와 유사한 환경하중(온도, 습도)을 모사한다.

3.2 시스템 구성

53.2.1 하중부가

최대 하중은 11ton까지 가할 수 있으며 하중부는 기본적으로 주행 cart의 전체 무게와 bellows의 공기압에 의해 결정된다. 부가되는 하중의 검증은 bellows에서 검출되는 공기압에 의해 계산되는 하중과 별도로 설치된 중량계에서 측정된 하중으로 검증한다.

3.2.2 주행부

주행로는 직선형으로 최대 주행속도 20km/h, 정격속도 8~15km/h로 주행하며 주행구간은 11m(등속 7m, 가속 2m, 감속 2m)이다. 주행부는 크게 주축, 주행타이어, bellow 장치 및 상/하강 유압 cylinder, 상부 guide roller 및 frame으로 구성되어 있다.

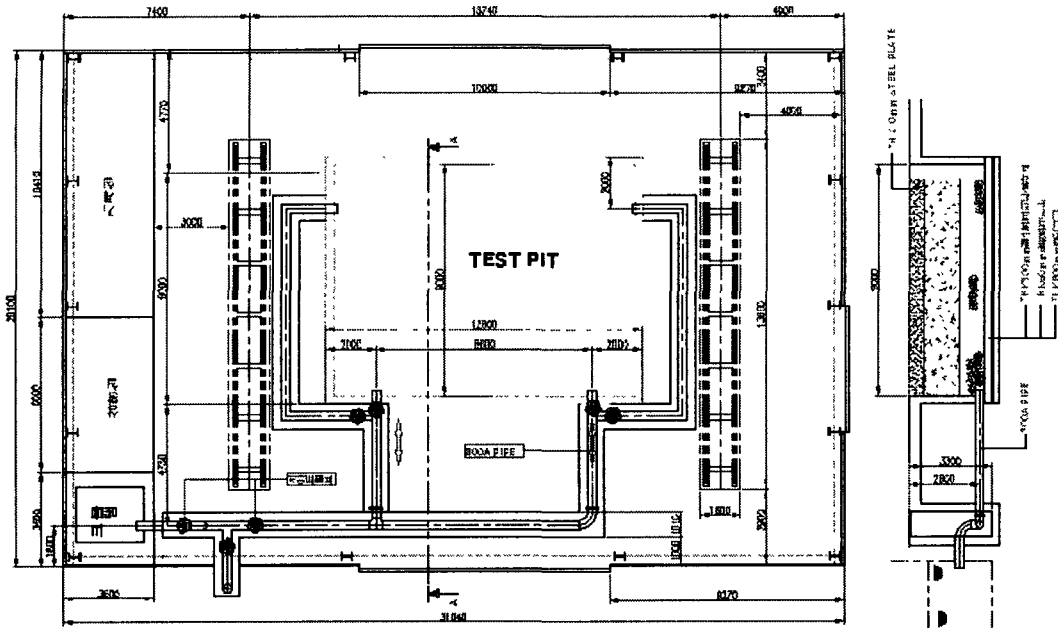


그림 8. 실험동 Layout

하였다.

3.2.3 횡주행부

횡주행부는 rail 위를 주행하면서 전체 주행부를 횡방향으로 이동시키거나 wandering을 모사하는 시설이다. Rail은 주행 주축의 양 끝에 장착되어 있으며 주행위치(횡방향)를 감지하기 위한 encorder가 설치되어 있다. 횡주행부는 포장면의 높이가 변화하였을 경우 상부 girder를 4개의 유압 실린더를 이용하여 수평 및 높이를 조절한다.

3.2.4 구동부

구동부는 cart를 주행시키는 동력을 발생하고 cart와 연결된 wire의 장력을 일정하게 유지시킨다. wire 장력에 문제가 발생시에는 1차 센서에 의해서 감지되어 경고 및 운전정지가 되며 만약 cart가 충돌시에는 2개의 강력한 shock absorber에 의해서 충격을 최소화하도록 하였다.

3.2.5 제어계측시스템

제어계측시스템은 크게 두가지로 나뉜다. 첫 번째는

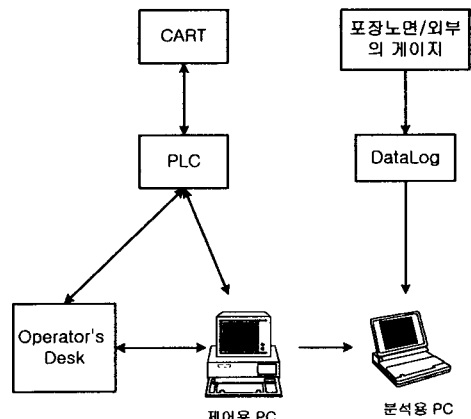


그림 9. 제어계측시스템



cart의 운영을 제어하고 운영에 따른 각종 정보(주행속도, 주행위치, 주행형태, 하중 등)를 수집하는 시스템이며 두 번째는 포장체 내/외부에 설치된 각종 계측기에서 나오는 정보(stress, strain, 온도 등)를 관리하는 시스템으로 그림 9와 같다. 본 연구에서 개발하는 장비는 이 두가지 시스템의 정보가 실시간으로 조합되어 저장·분석하게 개발된다.

3.2.6 온도조절장치

포장체의 온도를 실제 조건과 유사하게 유지하기 위해 heating system을 설치한다. heating system은 원적외선 heater를 사용하여 girder 상부에 설치되며 필요시 상승/하강하여 포장노면을 가열하며 온도측정장치에 의해 목표 온도까지 자동적으로 가열하게 된다. 목표 온도에 도달시 가열된 포장노면의 면적에 대한 온도의 오차범위를 횡단방향(8m)×종단방향(1.5m)내에서는 ±1℃로 한다.

3.2.7 수위조절장치

포장체 내부의 수위를 조절하는 장치이며 이는 Test Pit과 연결된 외부 물탱크의 수압에 의해서 수위를 조절하게 된다.

4. 요약

국내 포장가속시험기의 개발은 도로신소재 개발, 중차량 교통하중의 영향분석, 온도·습도에 따른 포장체의 거동분석 등을 현장조건과 유사한 조건에서 실험 가능하게 함으로써 국내 도로분야의 연구수준을 향상시킬 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행결과입니다.

참고문헌

1. Frederick Hugo, B.Frank McCullough and Barry van der Walt, "The Development of a strategy for the implementations of full scale accelerated pavement testing for the Texas Highway Department", Research Report 1246-2F, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, 1990.
2. John B. METCALF, Ph.D., "Application of full-scale accelerated pavement testing", NCHRP 235, National Cooperative Highway Research Program, 1996.
3. K.G.Sharp, J.R.Johnson-Clarke, D.W.Fossey, "A review of the Australian ALF program", Accelerated Pavement Testing International Conference, Reno Nevada, 1999.
4. Larry Lynch, Vincent Janoo and David Horner, " U.S army corps of engineers experiens with accelerated and full scale pavement investigations", Accelerated Pavement Testing International Conference, Reno Nevada, 1999.