

## 세계의 시험도로 현황

류 명 찬\* · 최 준 성\*\*

국내 도로포장 분야의 발전사를 돌아보면, 1932년 부산과 서울의 한강로에 워빗(Warbit)포장이 처음 시공되었고, 이후 서울-부산간 고속도로와 서울-인천간 고속도로가 건설되면서 포장에 대한 관심이 본격화되었다. 1945년 해방이 되던 해의 도로의 포장연장은 1,000km에 불과하였다. 하지만, 1967년 ADB차관과 1971년의 IBRD 차관 도입으로 고속도로가 건설되기 시작하면서 본격적으로 고급 포장공법이 적용되기 시작하였다. 1998년 기준의 통계자료를 보면 약 87,000km 도로연장에 약 75%의 포장률을 가지고 있을 만큼 포장분야에 커다란 발전을 이룩하였다. 그러나 국내 포장의 현황은 외국의 포장 설계법을 검증 없이 적용하였고, 산업발달에 의한 물류량의 증가와 중차량의 증대로 인해 포장의 조기파손이 나타나기 시작하였다. 이것은 도로의 유지보수 비용의 급격한 증가를 가져왔고, 이로 인해 우리나라 실정에 맞는 포장설계법의 개발이 제기되었는데, 설계법 개발을 위한 기초연구로써 시험도로의 운영 필요성이 대두되었다.

본 기사에서는 이러한 최근의 추세에 따라 현재 국내에서 건설중인 중부내륙고속도로 1공구 시험도로와 비교되는 국외 시험도로의 건설 및 유지내용을 기술하여 회원 여러분의 도로포장공학에서의 시험도로의 역할과 특징에 대한 이해를

돕고자 한다.

### 1. 영국의 시험도로 현황

영국의 경우 1930년대부터 도로 포장을 설계하는데 영향을 미치는 여러 요소들의 영향 정도를 실제 도로공용 조건하에서 시험을 하기 위하여 여러 곳에서 시험도로를 건설하여 운영하였으며, 대부분은 현재까지도 그 시험의 목적을 이어가고 있다. 영국에서 그 동안 시행한 여러 곳의 시험도로에 관한 내용을 전부 소개할 수는 없어서 몇 군데 주요한 곳에 대해서만 간략히 소개하고자 한다. 먼저 표 1과 표 2에서 주요한 아스팔트포장 시험도로와 콘크리트포장 시험도로의 내용을 간략히 소개하였다.

시험주로는 대부분 중교통량이 통과하고 중분대 부분이 분리된 2차선 고속도로에 각 섹션 길이 60~80m, 2차선 전폭에 걸쳐 건설이 되었다. 공용성 평가를 위한 소성변형 측정은 섹션의 길이에 따라 3곳 혹은 5곳에서 전차선 폭에 대해 300mm 간격으로 측정하였으며, 6,350kg 축 하중에 의한 노면 처짐은 벤켈만 빔(Benkelman beam)을 이용하여 매년 2회, 봄·가을로 소성변형을 측정할 위치와 근접한 곳에서 측정을 하였다.

\* 정회원 · 명지전문대학 토목과 (mcroo@mail.mjc.ac.kr)

\*\* 정회원 · 인덕대학 건설환경설계전공 (soilpave@induk.ac.kr)

### 1.1 Borough-bridge 시험주로-1946

이 시험주로의 건설은 표 1에도 기술되어 있는 바와 같이 입도조정기층과 타르 안정처리기층 위에 포설된 불투수성 아스팔트 표층과 투수성 역청 마카담 표층의 공용성을 검토해 보고자 하는 목적으로 만들어졌다. 노상의 CBR값이 비교적 높아 보조기층은 사용이 되지 않았다.

결과는 롤드(rolled) 아스팔트 표층을 가진 섹션이 타르 마카담 표층을 가진 섹션보다 우수한 공용성을 보여주었는데, 이것은 롤드 아스팔트 표층의 보다 나은 스티프니스에도 기인하지만 불투수성이 더 많은 영향을 미친 것으로 판단되었다.

### 1.2 Nately Scures 시험주로-1963

이 시험주로는 21개의 섹션으로 구성되어 비안정처리 및 시멘트 안정처리 기층과 다양한 두께의 dense coated 마카담 기층 등 당시 주로 사용되던 기층재료의 공용성을 비교하기 위하여 실시되었다. 상세한 단면구성은 그림 1에 나타내었다. 노상의 평균 CBR은 5% 였으며, 150mm 두께의 입상보조기층이 사용되었다.

결과는 안정처리 기층이 비안정처리 기층에 비하여 공용성 면에서 우월함을 실증적으로 보여주었다.

표 1. 주요 아스팔트 포장 시험도로 관련 내용

건설년도	위치	주요 변수 및 건설 상세	노상 종류 및 강도	초기교통량 (트럭/일)	연간 교통량 증가율 (%)
1949	A1 (요크셔 북부)	1. 기층종류-골재, 타르마카담 2. 기층두께-200~430mm 3. 표층종류-역청마카담, 롤드아스팔트 4. 표층-100mm 두께 5. 보조기층 없음	Silty sand CBR 10%	1000	4
1957	A1 (캠브리지서)	1. 표층-아스팔트, 역청마카담-38~100mm 2. 기층-wet-mix, 소일시멘트, 린콘크리트, 타르마카담, 롤드아스팔트-75~230mm 3. 보조기층-sand-100~350mm	Silty clay LL 57%(평균) PL 21%(평균) CBR 4%	1400	5
1963	A30 (햄프셔)	1. 기층-wet-mix, 린콘크리트, dense -coated macadam, 롤드아스팔트-80~300mm 2. 보조기층-자갈-150mm	Silty clay LL 60% PL 21% CBR 3.5%	1500	5
1963	A40 (옥스포드 동부)	1. 200mm 두께 시멘트처리 기층 2. 200mm 두께 역청 안정처리 기층 3. 표층-아스팔트-100mm 4. 보조기층-자갈-150mm	Silty clay LL 57% PL 20% CBR 5.5%	850 -1300	3
1964	A1 (캠브리지서)	1. 150~250mm 시멘트, 역청 안정처리기층 2. 표층-롤드아스팔트, 역청마카담-100~200mm 3. 보조기층-자갈-150 혹은 300mm	Silty clay LL 51%(평균) PL 20%(평균) CBR 5%	1300 -2200	3
1965	A1 (캠브리지서)	1. 100mm 아스팔트표층 아래 200mm wet-mix 기층 2. 100mm 롤드아스팔트 표층 아래 150mm 역청안정처리 기층 3. 보조기층-자갈-150mm	Silty clay LL 50% PL 20% CBR 4%	2400	3

표 2. 주요 콘크리트 포장 시험도로 관련 내용

건설 년도	위치	주요 변수 및 건설 상세	노상 종류 및 강도	초기교통량 (트럭/일)	연간 교통량 증가율 (%)
1930	A3 (Middx.)	조인트와 하중전달장치의 설계에 관한 정보 획득 목적 슬래브두께-230mm(철근보강) 압축강도-21.4 MN/m <sup>2</sup> (28일) 보조기층-clinker-75mm 슬래브길이-6.1m	Silty clay와 자갈	500	4
1933	A309(Surrey)	위와 같고 슬래브길이만 9.1m로 증가시킴	자갈	300	4
1946	A6097 (Notts.)	1. 슬래브두께-100~200mm 2. sand-시멘트 보조기층-50~150mm 압축강도-37MN/m <sup>2</sup>	Sandy gravel	200	10(평균)
1948	B379 (Middix.)	1. 비보강 콘크리트 슬래브의 공용성 2. 조인트 거동에 대한 팽창조인트 간격의 영향 슬래브 두께-200mm 압축강도-39MN/m <sup>2</sup> 슬래브 길이-4.6m 보조기층 없음	자갈 축소 제방	500	4
1955	A48(Glams.)	1. 콘크리트 강도가 보강콘크리트의 공용성에 미치는 영향 슬래브 두께-200mm 슬래브 길이-37m 보강-3.5kg/m <sup>3</sup> 보조기층-clinker-150mm 두께	자갈	450	5
1957	A1 (Cambs.)	1. 보강 및 비보강 슬래브의 두께가 공용성에 미치는 영향 2. 콘크리트 강도가 공용성에 미치는 영향 3. 보강 철근량이 공용성에 미치는 영향 4. 보조기층 두께 및 형식이 공용성에 미치는 영향 슬래브 두께-125~200mm 슬래브 길이-4.5m(비보강), 37m(보강) 압축강도-44MN/m <sup>2</sup> , 66MN/m <sup>2</sup>	Silty clay	1400	5
1961	A46 (Notts.)	1. 프리스트레싱 얇은 콘크리트 슬래브의 공용성 슬래브두께-125 및 178mm 압축강도 보조기층-린콘크리트-100mm 두께	수입 입상 재료	500	4
1962	A1 (Lincs.)	1. 슬래브(CRCP 포함)의 길이와 철근량 및 형식이 공용성에 미치는 영향 2. 콘크리트 슬래브와 보조기층 사이 sliding layer를 사용시 공용성에 미치는 영향 슬래브 두께-230mm 압축강도-38 MN/m <sup>2</sup> (28일) 보조기층-린콘크리트-75mm 두께	silty clay에서 석회석 쇄석까지 다양	1200	5

### 1.3 Wheatley 시험주로-1964

Wheatley 시험주로의 건설 목적은 (1) 골재 입도, (2) 바인더 량, (3) 두께가 역청 및 시멘트 안정처리 기층의 공용성에 미치는 영향을 연구하기 위하여 시행되었다. 몇몇 섹션은 비교를 위하여 비안정처리 입상기층이 적용되었다. 골재는 자갈과 쇄석이 사용되었고, 입도는 역청 안정처리의 경우는 세 가지, 시멘트 안정처리의 경우는 네 가지의 입도가 적용되었다. 포장 각 층의 두께는 일률적으로 기층의 경우는 200mm, 입상보조기층 150mm, 100mm 롤드 아스팔트 표층이 적용되었다. 각 섹션에 적용된 기층의 종류는 그림 2에 나타나 있다. 한 섹션의 연장은 52m가 적용되었다.

공용성의 평가는 횡방향 변형에 대하여 매년 2회씩 한 섹션 당 5군데에서 측정이 되었으며, 균열 발생 패턴이 기록되었고 22년간 시행이 되었다. 낮은 강도의 시멘트 안정처리 기층의 경우는 거북등균열이 발생하였고, 공용성의 변화가 비안정처리 입상기층과 유사하게 진행되었다. 높은 강도의 시멘트 안정처리 기층의 경우는 기층에서 발생한 폭 넓은 균열이 교통과 온도의 영향으로 표층으로 발전되어 올라왔다. 모든 섹션은 22년 후에도 만족할만한 수준의 공용성을 나타내었으며, 역청 안정처리 기층의 경우는 적용된 모든 범위의 아스팔트량에서 유사한 공용성(소성변형 및

균열)을 보여주어 가장 뜻밖의 결과를 보여주었다. 또한 같은 두께의 기층에서 역청 안정처리 기층이 시멘트 안정처리 기층에 비하여 월등한 공용성을 보여주었다. 더군다나 빈배합 역청 안정처리 기층의 뛰어난 공용성은 경제적인 시공이 가능하도록 하였다. 그 결과 현재 영국에서는 주요 간선도로의 건설에서 시멘트 안정처리 기층의 사용은 아주 드문 편이다.

### 1.4 Oxtou 시험주로-1946

영국에서 최초로 시행된 콘크리트포장 시험주로서 무근 및 철근콘크리트포장에 대하여 교통량과 슬래브 두께와의 관계를 조사하기 위하여 실시되었다. 콘크리트의 28일 압축강도는 37N이었으며, 두께는 75에서 200mm까지가 적용되었다. 철근콘크리트포장은 슬래브 길이 9m, 철근량 4.1kg/m<sup>2</sup>이 적용되었으며, 무근콘크리트포장의 길이는 4.5m가 적용되었다. 노상은 입상토로서 CBR값은 약 15%였다. 슬래브는 그림 3에 나타난 것과 같이 두께 0~150mm의 시멘트 안정처리 모래 기층 위에 포설되었다.

각 섹션의 공용성은 발생 균열량으로 평가되었다. 30년 이상의 공용성 평가 결과 해당 지점의 교통량을 수용하기 위하여는 200mm의 슬래브 두

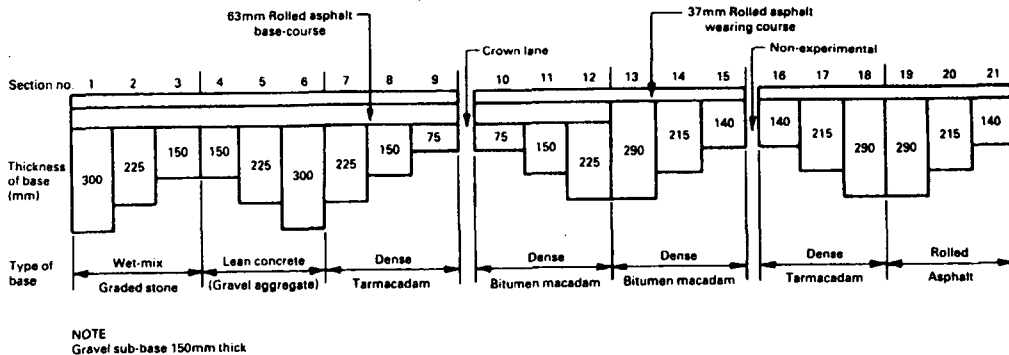


그림 1. Nately 시험주로 섹션 배치도

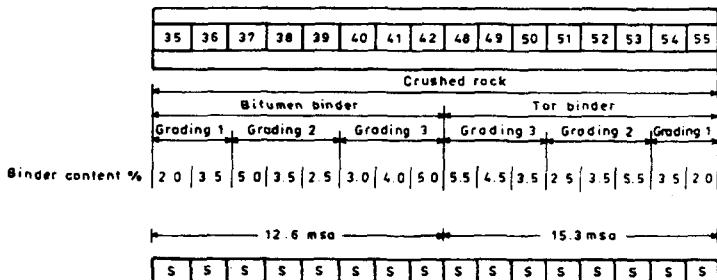
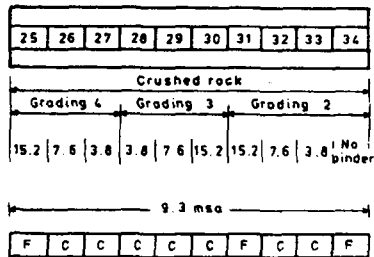
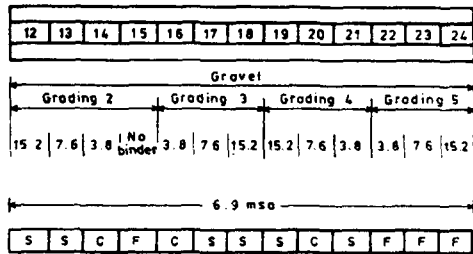
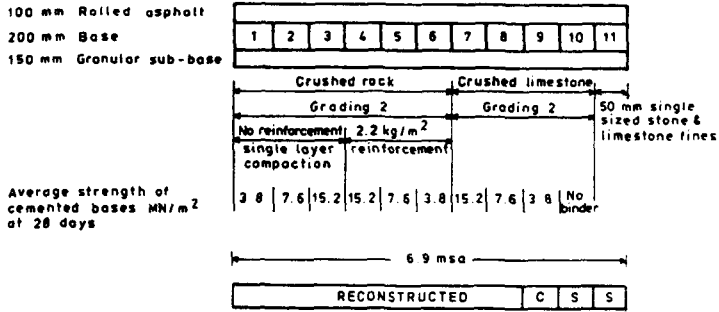


그림 2. Wheatley 시험주료: 공용 22년 후 섹션 상태: S=만족; C=critical; F=파손

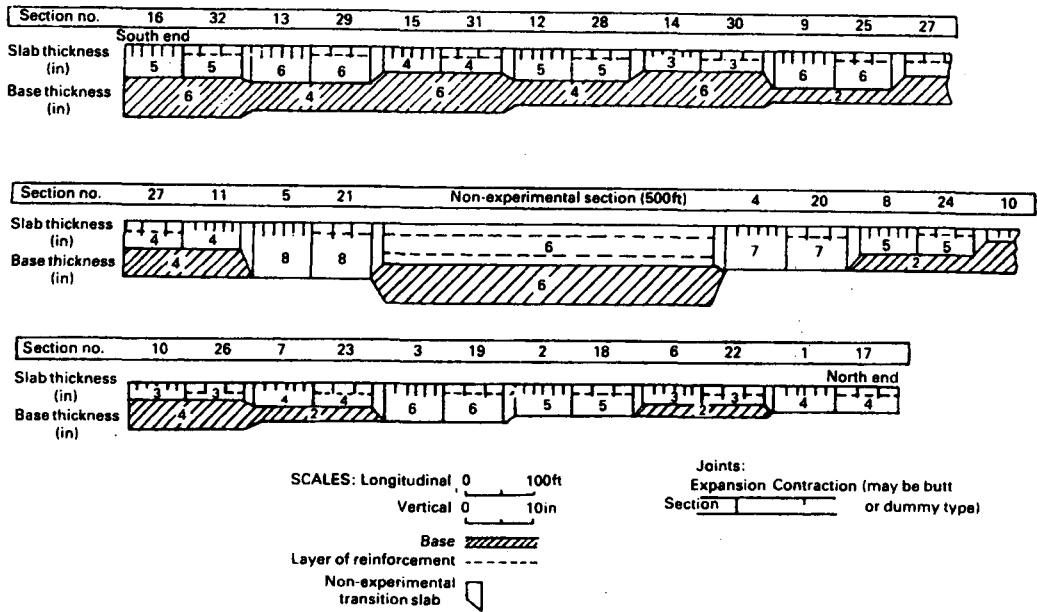


그림 3. Oxtun 시험주로 건설 상세도

개가 필요하며, 철근 보강이 필요하다는 것이 분명하게 밝혀졌다.

### 1.5 Llangyfelach 시험주로-1955

이 시험주로의 건설 목적은 콘크리트포장의 장기 공용성에 콘크리트 혼합물의 압축강도 및 휨강도가 미치는 영향에 대하여 규명하고자 시행되었다. 7가지 종류의 콘크리트 혼합이 그림 4에 보이는바와 같이 800m 연장의 시험주로를 만드는 데 사용되었다. 자갈로 세 가지의 혼합물을, 쇠석으로 네 가지의 혼합물이 만들어졌다. 슬래브의 두께는 200mm가 일률적으로 적용되었고, 슬래브는 3.5kg/m<sup>2</sup>의 철근으로 보강이 되었으며 길이는 37m, 폭 4.6m로 타설이 되었다.

12년간의 균열 발생을 관찰 결과 쇠석 색선이 높은 휨강도 값을 발휘함에 따라 자갈 색선에 비하여 우수한 공용성을 보임을 알 수 있었다.

	To Morriston										
Slab no.	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Mix	A	E	B	E	B	G	A	F	C	D	
Slab no.	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	
Mix	C	D	A	F	A	E	C	E	B	G	
Slab no.	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	
Mix	F	C	F	B	E	G	A	D	C	D	
Slab no.	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	
Mix	D	B	E	A	D	F	C	F	B	G	
	To Penllergær										

	Mix	Proportions by weight		Mix	Proportions by weight
Thames Valley gravel aggregate	A	1:9.2/0.69	North Wales porphyry aggregate	D	1:8.7/0.66
	B	1:7.2/0.55		E	1:7.6/0.58
	C	1:4.0/0.4		F	1:8.7/0.54
			G	1:4.5/0.45	

그림 4. Llangyfelach 시험주로: 시험에 사용된 콘크리트 혼합에 대한 상세 내용

## 2. 미국의 시험도로 현황

미국의 경우 도로포장공학에서 도로설계 및 유지관리 측면에서의 시험도로 중요성에 대해 기술자와 학자들이 인식을 같이 하여, 1959년 AASHO 시험도로를 대규모로 건설하여 모니터링하였고, 여기서 축적된 자료는 미국의 포장설계법의 기본 데이터로 활용되었다. 1990년에 들어서면

서 기존 개발된 AASHTO 설계법의 문제점이 인식되면서 많은 주에서 새로운 시험도로를 건설하여 각 주에 맞는 설계법 개발에 주력하였다. 대표적인 시험도로는 아스팔트 및 콘크리트 포장도로의 기본연구의 시험도로와 AASHTO 설계법의 기본이 된 AASHTO 시험도로와 최근 건설된 미네소타주의 Mn Road, 오하이오주의 Ohio Road, 버지니아주의 Smart Road, 네바다주의 WesTRACK, 알라바마 주의 NCAT Test Track 등을 들 수 있다. 본 기사에서는 시험도로 명명대로 특징과 현황을 간단히 설명하고자 한다.

### 2.1 Maryland Road Test

콘크리트 포장구조체에서의 4가지 다른 축하중 조건에 대한 상대적 효과를 결정하기 위한 목적으로 1941년 총 길이 1.76km, 3.66m 폭을 가지는 2개 차선, 단면두께 229-178-229 mm를 가지는 콘크리트 포장구조로, 중차량의 바깥차로 주행에 의한 영향을 감소시키기 위하여 각 차선의 양쪽 끝부분을 두껍게 한 포장도로로 건설되었다. 실제 시험도로에 가해진 축하중조건은 80kN과 100kN을 가지는 단축하중과 142kN과 200kN을 가지는 삼축하중으로 1950년 6월부터 12월까지 운행되었다. Maryland TestRoad의 총 비용은 \$ 245,000가 소요되었다.

### 2.2 WASHO Road Test

WASHO(Western Association of States Highway Officials)에 의하여 Idaho주에 건설된 연성포장구조체로서, 공사기간은 1952년 4월부터 10월까지 건설되었으며, 시험기간은 1952년 11월부터 1954년 5월까지 수행되었다. 축하중조건은 80kN과 100kN을 가지는 단축하중과 142kN과 178kN을 가지는 삼축하중으로, 102-51mm 단면과 51-102mm 단면(아스팔트층, 쇠석기층)을 가지는 2가지 단면과 자갈 보조기층의 두께에 따라 5

개의 단면을 설정하여 두께가 각각 다른 10개 단면 설정하였고, 각 단면의 길이는 98m이고 각 단면사이에는 30m의 변이구간을 가지는 원형 시험도로이다. WASHO TestRoad의 총 비용은 \$ 840,000가 소요되었다.

### 2.3 AASHO Road Test

1956년 8월 착공하여 1958년 10월15일 개통한 AASHO TestRoad에서 1958년 10월15일부터 1960년 11월30일까지 축하중 반복회수 1,114,000대에 해당하는 하중재하 시험이 실시되었다. 특정한 크기가 다른 축하중의 반복회수와 두께가 다른 연성과 강성포장의 구성조건과 공용성과의 관계를 밝히기 위하여 총 연장 9.8km, 6개의 트랙에 아스팔트 468구간과 콘크리트 288구간을 총 비용 \$ 27,000,000로 건설된 AASHO TestRoad에서는 도로공용성개념(Pavement Serviceability Concept)이 처음으로 도입되었다. 추후 본 시험도로 시험을 통하여 AASHTO 포장설계법이 개발되었다.

### 2.4 WesTRACK

네바다주에 건설된 WesTRACK 시험주로는 미국 연방 도로청 (Federal Highway Administration)의 연구과제인 Accelerated Field Test of Performance-Related Specifications for Hot-Mix Asphalt Construction"을 수행하기 위해 1994년에 시작하여 1999년에 모니터링을 마친 시험주로이다. 2.9km에 걸친 26개의 아스팔트 포층 구간에 의해 이루어진 시험주로는 직선구간 두 군데와 그것들을 연결하는 곡선구간으로 된 타원형이다. 모든 시험구간은 직선구간에 설치되어 있으며, 도로폭은 10.4m이고, 3.7m의 두께 차선과 1.2m 외부 아스팔트 노면, 그리고 0.6m 내부 자갈 노면으로 구성되어 있다. 바깥쪽 차선은 실험차선이고 안쪽 차선은 노면의 역할과 아스팔트 포설법을 위한 실험장소로 쓰였

다. 모든 단면들은 70m 길이이고 중간에 25m의 전이구간, 40m의 관측구간, 그리고 5m의 표본 구간으로 구성되어 있다.

그림 5의 WesTRACK은 PRS(performance related specification) 개념을 검증하기 위해 아스팔트 시험주로를 건설하였는데 그 목적을 크게 네 가지로 분류할 수 있다.

- 아스팔트 함량, 공기량, 골재성질의 영향 평가
- 실험변수별로 도로파손 양상 평가
- SHRP Superpave에 포함된 Level 3 배합 설계를 신속히 현장에 적용하기 위한 시험
- PRS 보완

WesTRACK 시험주로를 이용한 PRS 연구는 아스팔트 포장의 영향만을 고려한 것이 특징이다. 시험차량은 무인자동차를 이용하여 차로 바깥부분만을 하루 22시간, 일주일에 7일간, 2년동안 운영하여 교통량 80 kN (18 kip) 등가 단축하중을 10,000,000번 반복재하 하였다.

계측장비로는 일반적으로 사용되는 LVDT(linear variable differential transformers)나 변형률 게이지로 변형률을 측정하고, FWD(falling weight deflectometer)장비를 이용한 처짐 자료를 구하였고, 공용성 자료를 수집하기 위해서는 육안조사를 실시하였다. 앞서 언급하였듯이 바인더 함량의 변화, 공기량의 변화, 입도 차이에 의한 러팅과 피로균열의 발생 상태를 파악하는 것이 모니터링의 주요 목적이었다. 현장에서 직접 행해지고 있는 시험은 센서에 의한 데이터의 자동계측 이외에도 다음과 같이 다양하게 진행되어지고 있다.

- 지반조사 : 공사 시작전 시험공 시추
- 모든 재료의 시공전 실험실 시험과 시공후 현장시험
- SHRP 슈퍼페이브TM 바인더와 체적 배합

설계에 따른 시험

- SHRP 슈퍼페이브 TM의 배합분석 시험
- 변형률 센서, 온도와 수분 센서
- 공용성 조사(육안조사, 중 횡단 요철조사, FWD시험, 미끄럼저항시험)를 하중재하 기간 중 2주 혹은 4주에 한 번 실시
- 동적하중의 데이터를 얻기 위한 변형률 측정기와 가속계를 트럭 축에 장착



그림 5. WesTrack 시험주로 전경

## 2.5 Ohio Road Test

오하이오 주 시험도로는 1994부터 1996년 동안 오하이오 주 델라웨어 카운티 US Route 23에 오하이오 주 도로국에 의해 건설되었다. 총 투자액 104억원으로 아스팔트 및 시멘트포장 40개 단면을 총연장 4.8km 걸쳐 시험도로를 건설하였고, 변형, 작용하중, 변위, 조인트 벌어짐 등을 자동 및 수동 계측을 통하여 측정하고 있다. 시험 단면들은 기존도로의 51m폭 중앙 분리부에 건설하였고 개통과 동시에 모든 교통은 새 시험 도로 쪽으로 통과하게 되었다. 원래의 도로는 보조적인 서비스 도로로 이용되다가 시험 도로 쪽이 실험, 보수 등의 이유로 폐쇄되었을 때에 이용된다. 오하이오주 내 6개 대학과 공동으로 연구가 진행 중이며 FWD와 하중을 알고 있는 다양한 트럭을 이용하여 각 단면의 공용 기간 중 거동을 조사하고 있다.



오하이오 시험도로의 건설 목적은 세 가지로 나누어 생각할 수 있다.

- 아스팔트 포장과 콘크리트 포장체의 재료와 두께변화에 따른 동적하중에 의한 구조적 특성 파악
- 중 차량이 없을 때 환경적 영향 평가
- 아스팔트 포장의 현장 적용성 평가

이 시험도로는 도로공사에서 현재 진행중인 시험도로와 유사한 하중형태를 띄고 있으며 SHRP(strategic highway research program)에서 진행하고 있는 LTPP-SPS 구간으로 SPS-1, SPS-2, SPS-8, SPS-9을 포함하고 있다.

Ohio TestRoad의 계측장비 및 모니터링 설비는 최소한의 목적으로 설계되었다. 포장의 구조적 거동에 대한 측정에는 변형률 게이지를 이용한 변형률 측정과 처짐의 측정 그리고 포장층 사이의 압력을 측정하여 데이터를 수집하고 있으며, 환경영향에 대해서는 기층과 보조기층의 온도, 포장의 온도, 함수비, 그리고 동결심도를 측정하고 있다. 콘크리트 포장보다 아스팔트 포장에서 다양한 종류의 계측기를 사용하여 변형률을 계측하고 있다. 오하이오 시험도로에서 사용한 계측요소와 계측장비는 표 3과 같다. 이렇게 다양하게 측정된 자료는 향후에 포장 공용성 모형개발과 LTPP 자료 축적의 근간으로 사용되어질 것이다.

### 2.6 Smart Road Test

스마트 시험도로는 버지니아 주의 남서부에 있는 I-81과 Blackburg 사이의 9.6km의 연결부 도로를 가리키는데 처음 2.7km를 시험도로 구간으로 사용하였다. 첫 단계의 시공은 1997년에 시작하여 1999년에 완료되었다. 이 도로는 편도 2차선

표 3. 오하이오 시험도로 계측기의 종류

범위	계측종류	사용된 계측기
구조적 거동 측정	변형률(아스팔트 구간)	Dynatest Past-2 AC
	변형률(콘크리트 구간)	Dynatest Past-2 PCC TML KM-100B, TML PMR-60 Carlson A-8, Geokon VCE-4200
	처짐	Schaevitz GPD 121-500 DC-LVDT
	압력	Geokon Model 3500 Pressure Cell
환경인자 수집	기층과 보조기층 온도	MRC Thermistor Probes
	포장 온도	MRC Thermistor Probes T-Type Thermocouples
	함수량 측정	TDR Probes
	동결깊이	CRREL Resistivity Probe

으로 구성되었으며 도로의 양쪽에 3m의 길어 깨를 두었다. 이 시험도로는 기본적으로 교통하중과 환경하중이 포장에 미치는 영향을 파악하기 위한 것으로서 교통하중과 속도는 조건에 따라 제한을 두었고 환경의 변화에 대해서는 제약을 두지 않았다. 특히 자연 상태의 기후조건을 모사하기 위해 76개의 기후탑을 설치하여 다양한 기상조건을 구현하였는데 100mm/hr의 강설량과 50mm/hr의 강우량을 모사하여 도로의 환경조건을 임의로 선정할 수 있는 특징이 있다. 그림 6의 스마트 시험도로 건설은 다음과 같은 목적으로 시작하였다.

- 슈퍼패이브 배합에 대한 검증
- FWD시험을 통한 포장구조체의 반응을 계산하고, 초기의 포장 공용성 예측
- ITS(Intelligent Transportation System)와 연관하여 도로의 안전성과 관련된 기술 개발 검증

시험구간은 아스팔트 포장과 연속철근콘크리트 포장(CRCP)으로 설계하였다. 12개의 아스팔트 포장구간과 2개의 CRCP구간으로 구성되었는데 각 구간의 길이는 약 100m정도이다. 한 구간 내에서 처음 10m는 전이구간으로 설정하고, 두 번째 10m는 제척기 매립구간, 그 다음 10m는 FWD 시험구간, 다음 10m구간은 GPR(ground penetrating radar)구간으로 선정하였다.

각 구간의 제척 부분은 전이 구간을 기준으로 20m 떨어진 곳에 설치하였고, 데이터 수집은 두 구간 동시에 실시할 수 있도록 하였다. 아스팔트 포장의 12개 구간 중 7개 구간은 성토구간이며, 나머지 5개 구간은 절토 구간으로 되어있다. 12개 구간 모두에 포장의 거동을 측정하기 위한 센서가 시공 중에 매립되었으며, 포장층의 두께는 버지니아 교통국의 시방에 따라 각 구간마다 5~6

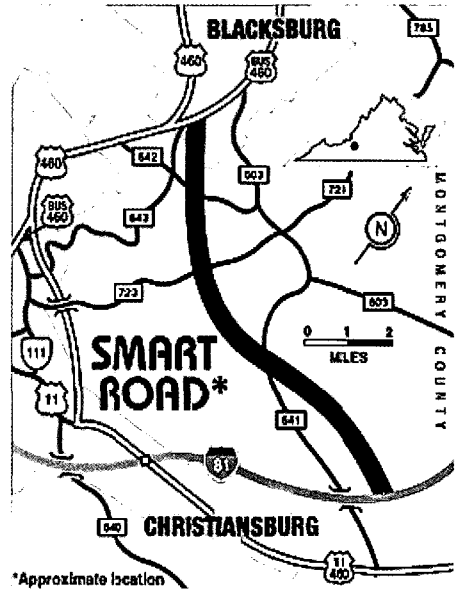


그림 6. Smart 시험도로의 위치

표 4. 최근 미국내에 건설된 시험도로

	WesTrack	OHIO	Smart Road	Mn Road	NCAT Test Track
목적	*슈퍼페이즈 level3 검증 *실험변수와 파손관계 규명	*아스팔트/콘크리트 포장구조적 특성 평가 *중차량이 없을 때 환경영향 평가	*슈퍼페이즈 배합 연구 *공용성 평가 모형 연구	*중차량과 저급도로 영향평가 *설계수명에 따른 도로등급 분류	*아스팔트 배합 공용성 특성 평가
구간	*총 2.7km *AP 구간 26구간 (70m)	*총 4.8km(40구간) *구간 당 100m *AP - 19구간 PCC - 21구간	*총 2.7km- 100m (총연장 9.6km) *AP - 12구간 CRCP - 2구간	*시험도로 5.4km - 23구간 *시험주로 4km - 17구간	*총 2.7km(60m) *AP - 26구간
실험변수	*아스팔트 표층재료 변화	*AP/PCC 포장층 두께 등의 변화	*AP/PCC 포장층 두께 및 종류변화 *절성토 구간선정	*설계수명에 따른 교통량의 변화 *AP : 전단면 포장과 일반포장 두께변화 *JCP : 배수여부, 단면 등	*슈퍼페이즈 표층재료 변화 (골재크기, 바인더 함량 등)
특징	*Performance Relate Specification에서 특성 평가	*LPTT-SPS 구간	*Snow-tower를 이용한 다양한 기상환경 구현	*설계수명에 따른 단면설계 (교통특성 고려)	*8개 주와 FHWA 참가 -골재와 바인더 주마다 다름
Monitoring	*PRS 프로그램개발 *실험변수에 따른 파손정도 분석	*LTPP 자료를 통한 포장 공용성 모델 개발	*다양한 기상조건에 따른 거동분석	*WIM을 이용한 차량하중 측정과 포장체 거동분석	*정적하중과 동적하중의 크리프 분석

개의 다른 층으로 설계하였다. 교통하중과 환경하중에 의한 포장반응을 평가하기 위한 계측을 실시하였고, 변형률 계측기나 압력 측정기는 차량하중이 지나가는 부근(wheel path)를 측정하였고, 환경인자 센서는 차량의 중앙부에 설치하였다. 특이한 사항은 골재층에 대한 변형률을 측정하기 위해 특별히 제작된 변형률 측정기를 사용했다는 점이다. 이러한 계측장비를 통해 얻고자 하는 것은 동적하중에 대한 포장체의 영향을 고려하여 장단기 공용성의 예측 모델을 개발하고, 궁극적으로 포장수명을 예측기 위한 데이터를 수집하기 위함이다.

### 2.7 Mn Road Test

1990-1994년 미네소타주 도로국에 의해 2천5백 억원을 투자하여 아스팔트 및 콘크리트 포장 시험도로와 시험주로를 건설하였다. 현재 공용중인 고속도로 Interstate 94와 평행하게 시험도로를 배치하여 실제교통을 공용시키고 있다. 실제 고속도로에 포함된 시험도로는 5.6km 이고 별도로 4km의 루프구간(시험주로)이 건설되어 시험트럭에 의한 주행시험이 실시되고 있다. 17종 4,572개의 계측 센서를 이용하여 작용압력, 변위, 온도, 습도, 동결깊이 등이 자동으로 측정되고 있으며 광통신 케이블을 통하여 연구소까지 전송되고 있다. 미네소타 시험도로는 다음과 같은 네 가지의 목적으로 처음 시작하였다.

- 포장층의 두께와 구성 변화로 포장 공용성을 평가
- 사리도 구간을 계획하여 AASHTO 설계법 검증
- 저급 교통량 도로의 설계 공용성 향상
- 포장재료의 계절적 영향 평가

이 시험도로의 가장 큰 특징은 교통량의 특징에 따라 중교통량하에서 10년, 5년의 설계수명 포

장체, 저교통량하에서의 3년의 설계수명 포장체, 무교통량의 포장체를 설계, 시공하였다는 점이다. 이와 같이 그림 7의 미네소타주 시험도로에서는 시험구간 모두 아스팔트, 콘크리트 포장으로 구성 되어 있다.



그림 7. 미네소타주 시험도로의 전경

의도적으로 문제를 일으키기 위한 구간의 아스팔트 혼합물은 층 두께를 작게 만들었으며, 문제를 일으키는 이유는 공극률과 아스팔트함량에 문제가 있기 때문이다. 또한 타이바가 설치된 폭 40ft의 슬래브가 현재기준인 폭 36ft 표준형(중단 줄눈에 자유단을 설치하지 않은 경우)보다 더 오래갈 수 있는가를 시험하기 위한 목적으로 건설된 콘크리트 구간도 있다. Mn TestRoad에서는 비록 실제 차량 통행량이나 중량이 똑같이 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 가해지지만, 포장의 형식에 따라서 다른 하중균등계수가 적용되기 때문에 등가단축하중에 차이가 나타난다. 저교통량 시험장에서는 인위적으로 차량주행을 모사하며, 각 시험 주로의 레벨별로 연간 50,000 ESAL에서 100,000 ESAL을 모사하고 있다.

Weigh-In-Motion (WIM) 시스템은 시험시설의 시작부분에 위치하여 축하중을 연속적으로 또는 원하는 시간간격으로 모니터링 하고 있다.

Mn TestRoad에서는 포장의 상태와 모니터링

에 많은 비용을 투입하고 있다. 콘크리트 포장에는 슬래브의 아래에 스트레인 게이지를 설치하여 온도나 습도의 변화에 따라 얼마만큼의 슬래브의 용기(curling)가 일어나는지 조사하고 있다. 이 스트레인 게이지는 슬래브의 용기가 일어난 상태에서 차량이 통과 할 때의 슬래브의 상태에 대한 정보를 제공한다. 슬래브와 슬래브의 사이의 하중 전달 상태는 변위 측정기를 통하여 조인트의 간격이 얼마나 벌어지는지를 조사하여 관측하고 있다. 보조기층과 노상재료의 응력도 압력 측정기를 이용하여 측정되고 있다. 아스팔트 포장에는 각 층마다 수평 응력과 수직 변위를 측정하는 장치를 부착하였는데 수평 응력은 H형의 응력 게이지가 사용되며 수직 변위는 LVDT(linear variable displacement transducer)로 측정된다. 이 장치는 또한 이축 응력 게이지로 비틀림 응력을 측정하는데도 사용되어지는데, 이축 응력 게이지는 서로 다른 방향에서 오는 응력을 동시에 측정할 수 있는 장치이다. 환경 하중에 대한 측정은 지중 4ft깊이의 온도는 I-94의 서쪽과 동쪽방향 차선에서 측정되며, 지표와 지중의 온도는 실험기간 중에 계속 체크한다. 대기중의 온도를 측정하기 위한 측후소는 연방 항공국(FAA)의 지침대로 건설되었다. 이 측후소는 풍향, 풍속, 지표면 바로 위의 대기온도와 20ft(6m)위의 대기온도, 습도, 강수량, 기압과 일조량을 측정한다. 지중 12ft(3.7m)아래의 온도는 온도계(thermocouple)등을 이용하여 측정한다. 부가적으로 지중의 간극수압, 습도와 배수량도 측정되고 있다.

서로 다른 시험기간동안 다양한 간격으로 재료에 대한 평가와 포장상태에 관한 평가가 이루어지고 있다. 이 평가항목에는 재료에 대한 파괴시험과 비파괴시험, 승차감, 동상의 측정과 육안관측조사가 이루어진다. 표층, 기층, 보조기층재료의 샘플링과 실험실 시험은 공용직후에 실시되었다. 공용기간이 조금씩 지나가면 각각의 구간으로부터

더 표본을 조사하여 시험하고, 차량의 하중과 환경에 의해 어떤 변화가 일어났는지를 조사하는데 승차감은 프로파일미터를 사용하여 계속한다. 이 값들은 계절별로 데이터베이스화되어 동상이 미치는 영향이나 표층의 질적 수준에 포장표층의 상태가 어떤 영향을 미치는지에 대한 유용한 정보를 제공할 것이다. 육안관측조사는 각 구간의 전체적인 상태나 결함의 상태를 확인하는데 이용될 것이다.

## 2.8 NCAT Test Track

1998년부터 계획을 시작한 그림 8의 NCAT 시험주로는 알라바마 DOT와 NCAT(National Center for Asphalt)가 주관하였으며 알라바마 주의 I-85에 Auburn으로부터 동쪽으로 15mile 떨어진 곳 위치하고 있으며, Auburn 대학이 참여하고 있다. 그외에도 플로리다, 조지아, 테네시, 미시시피, 사우스 캐롤라이나, 노스 캐롤라이나, 인디애나 DOT와 FHWA(Federal Highway Administration) 등이 참가하고 있다. 시험주로의 시공은 2000년 8월에 완공되어, 9월 셋째주부터 하중이 재하되기 시작하였다.

2.7km의 시험주로는 버지니아의 WesTRACK과 같이 아스팔트 포장만 건설하였다. 이 시험주로의 목적은 다음과 같다.

- 아스팔트 포장의 배합설계에 따른 공용성 특성 평가
- rutting 발생에 대한 연구
- 표층의 마찰증가, 소음감소, 그리고 평탄성 향상을 위한 연구
- 슈퍼 페이브 배합설계 지침 마련

NCAT 시험주로의 특징으로는 PURWheel, APT(Accelerated pavement testing)시험과 실제

상황에서 포장공용성 평가를 비교분석하는 것이다. NCAT 시험주로는 교통하중으로 4대의 트랙터와 트레일러를 이용하여 매주 6일씩, 매일 6시간씩 2년동안 10000000ESAL의 하중을 통과시켜 20년 후의 공용성을 예측하고자 하였다. 1990년대 들어서면서 건설된 시험도로의 추세를 살펴보면 기존 미국의 각 state DOT(Department of Transportation)가 중심이 되어 시행하던 것과는 다르게 8개주와 FHWA가 동시에 참가하여 진행되고 있음을 알 수 있다. 이러한 추세는 골재와 아스팔트 바인더를 각 주에서 생산되는 재료를 사용함에 따라 다양한 배합설계와 차후 공용성의 비교를 가능케 하였다. 또한 다른 시험도로와 가장 큰 차이점은 NCAT 시험주로는 실험변수들의 상대비교를 통하여 정적하중과 반복하중에 대한 크리프를 구하고 전단 분석을 실시하려 하였다.

### 3. 요약

지금까지 1940년대부터 최근까지 건설된 미국의 시험도로에 대한 목적과 주요특징 등에 대해 알아보았다.

과거와 다르게 최근 건설된 시험도로들은 크게 도로 본선 옆에 시공한 시험도로의 형태와 시험주로의 형식의 루프구간으로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 이는 시험주로는 포장재료 영향 평가를 목적으로, 시험도로에서는 포장층의 구조적 영향을 파악하기 위한 것으로 판단된다. 표 4는 최근 미국에서 건설된 시험도로를 간략하게 요약한 것이다.

### 참고문헌

1. 한국도로공사(1998), "시험도로의 건설과 운영에 관한 연구", pp 6~33
2. 한국도로공사(2001), "시험도로의 포장단면에 관한 연구용역", pp 3~23
3. SHAD M. SARGAND, ROGER GREEN AND ISSAM KHOURY, "INSTRUMENTING OHIO TEST PAVEMENT", TRB 1596
4. YANG H. HUANG, "PAVEMENT ANALYSIS AND DESIGN", pp 48~167, pp531~663
5. [http://www.dot.state.oh.us/rdmm/del23\\_intro.html](http://www.dot.state.oh.us/rdmm/del23_intro.html)
6. [http://www.westrack.com/wt\\_02.htm](http://www.westrack.com/wt_02.htm)
7. <http://www.virginiadot.org/projects/constsal-smarttrdoverview.asp>
8. <http://www.pavetrack.com/>

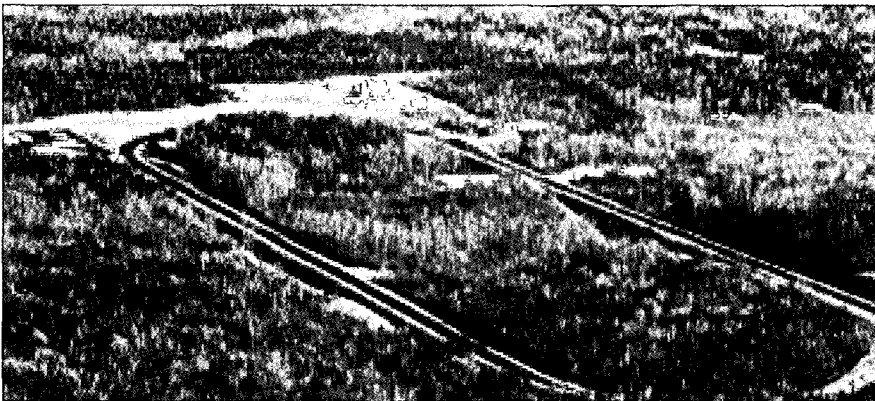


그림 8. NCAT 시험도로 전경