

# 유럽 콘크리트포장의 설계 및 시공현황

윤 경 구\* · 이 주 형\*\*

## 1. 머리말

이 글은 미국 포장전문가들이 유럽의 콘크리트포장 설계 및 시공현황을 파악하여 도입하고자 1992년 작성한 여행보고서를 바탕으로 하여 현재의 유럽 여러 국가의 콘크리트 포장설계 및 시공현황을 기술하였다. 특히, 유럽 국가 중 프랑스, 오스트리아, 독일, 네덜란드, 벨기에, 그리고 몇 개 국가의 콘크리트포장의 설계와 보수 및 시공현황을 개략적으로 기술하였다.

일반적으로 유럽국가들은 미국 주 보다 더 높은 인구 밀도를 가지고 있으며, km<sup>2</sup>당 3배가 넘는 도로를 가지고 있다. 미국은 국토 면적의 km<sup>2</sup>당 평균 0.7km의 고속도로를 가지고 있는데 반하여 유럽은 국토 면적의 km<sup>2</sup>당 2.4km의 고속도로를 가지고 있다. 특히, 오스트리아는 km<sup>2</sup>당 7.6km의 고밀도의 고속도로를 건설하였다. 그 동안의 조사분석에 의하면 유럽 국가들은 고속도로에서 매년 8% 이상의 교통량이 증가하는 것으로 연구·보고되고 있다. 이러한 성장 비율은 유럽공동체(EC)의 도래와 함께 계속적으로 가속화되어질 것이라 생각되어 진다. 따라서, 이 글에서는 인구밀도 및 여러 상황이

우리나라와 비슷한 유럽 여러 국가의 콘크리트 포장설계, 시공현황 및 보수현황을 고찰하여, 우리나라의 콘크리트포장 기술 발전에 조금이나마 기여하는 기회가 되기를 바라는 마음으로 작성하였다.

## 2. 유럽국가의 포장설계 및 시공

콘크리트 포장은 슬래브의 강성에 의해 하중을 주로 지지하는 것으로 설계되나, 실제의 거동은 지반 상태에 민감하며, 빗물 및 지하수위의 변동, 동결융해, 동상현상이나 점토질 지반의 장기적인 침하현상 등 포장하부에 큰 영향을 받는다. 노면 하부에 공동이 발생할 경우 콘크리트는 차량 통과시 과도한 응력집중에 의해 균열 발생 등으로 공용성이 크게 저하된다. 표 1은 이 글에 소개될 국가의 고속도로 및 주요도로의 일반적인 설계법에 대하여 나타내고 있다.

### 2.1 프랑스

프랑스의 콘크리트 포장은 1939년에서 1960년에 몇 단계로 건설한 이래 지금까지 계속 설계·시공되고 있다. 실질적인 기술발전은 "California 설계법"을 1960년대에 적용하여 다웰바 JPCP(jointed plain concrete pavement)를 건설하면서부터 본격화되었다. 1970년대 들어 중차량의 트럭하중 증가로(년간 10%) 슬래브의

\* 강원대학교 공과대학 토목공학과 조교수  
(kkyun@cc.kangwon.ac.kr)

\*\* 강원대학교 부설 석재복합 신소재제품연구센터  
박사후과정 (jhlee2@cc.kangwon.ac.kr)

균열과 팽핑의 문제가 야기되어 콘크리트포장 건설이 주춤하였으나, 다양한 중차량이 통행하는 프랑스의 도로에 콘크리트 포장이 여전히 사용되고 있다는 점은 주목할 만하다.

현재 프랑스의 간선도로의 15% 이상, 덩석우기 약 200km를 포함하여 900km 이상이 콘크리트로 포장 되어있으며, 공항과 제2 도로에서도 콘크리트로 포장되어 왔다. 프랑스 도로 중 최근까지 완성된 포장의 약 30%가 콘크리트 포장이다.

초기의 모든 포장은 JPCP였으나, 계속적으로 변화하고 있다. 현재는 프랑스 대부분에서 CRCP(continuously reinforced concrete pavement)가 일반적이다. CRCP는 프랑스에 1983년 처음으로 건설되었고 현재 간선도로의 550km 이상 건설되었다. CRCP는 고속도로의 아스팔트포장과 콘크리트포장 확대 재포장시 트럭차선에 100km 이상이 시공되었으며 활주로에도 사용되었다.

프랑스 고속도로 시스템의 가장 중요한 점 중의 하나는 주요 도로의 6,000km를 8개의 유료회

사가 건설 및 관리한다는 점이다. 이들 중 7개는 공기업 개념(정부가 주식의 50% 이상을 소유)이고 나머지 하나는 개인 회사가 운영한다. 이들은 충분한 서비스와 경제성을 바탕으로 하여 포장체를 설계하고 건설한다.

2.1.1 설계

표 2는 프랑스에서 줄눈콘크리트포장의 설계 변천과정을 간략하게 보여주고 있다. 프랑스에서는 표준화 설계를 위하여 1988년에 광범위한 설계지침이 출간되었는데, 이 표준화 설계는 교통량과 포장체의 지지형태에 따라 여러 표준단면을 선택할 수 있도록 하고 있다. 일반적으로 프랑스에서는 JPCP와 CRCP의 2가지 형태로 설계되어진다. 1976년부터 기존의 포장을 그림 1과 같이 부분적으로 재시공하였다. 이러한 포장은 배수시설이 설치되지 않은 1988년까지 설계 교통량의 2배 이상, 약 3천 5백만의 무거운 교통하중을 통과시켜왔으며, 차선보수시 다웰바를 삽입하여 재시공하기도 하였다.

표 1. 유럽국가들의 콘크리트포장 설계법 요약

국가명	슬래브	줄눈#	기층##	보조기층
프랑스	CRCP 17~25cm	-	LCB	n/a
	JPCP 22~28cm	4 ~ 5.5m	LCB	n/a
오스트리아	JPCP 18~25cm	5.5 ~ 6m	5cm AC CTB	최소지반지지력
독일	JPCP 20~30cm	5m	CTB/LCB(bonded)	쇄석층 30~90cm
네델란드	JPCP 26~28cm	3.5 ~ 5m	LCB	모래층
벨기에	CRCP 20cm	-	LCB	20cm 최소 쇄석층
	JPCP 23cm	5 ~ 6m	LCB	20cm 최소 쇄석층

# 모든 줄눈은 대부분 26 mm 다웰바 설치  
## LCB = lean concrete base, AC = asphalt concrete, CTB = cement-treated base

표 2. 프랑스의 줄눈콘크리트포장 설계 변천 과정

최초의 JPCP 설계	최근의 JPCP 설계
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하중전달 기능을 고려치 않음</li> <li>- 배수시설이 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 변단면 및 광폭 도로 설계</li> <li>- 포장연단을 따라 배수시설 설치</li> <li>- 린콘크리트 사용</li> <li>- 다웰바 설치</li> </ul>

1978년에 건설된 JPCP의 한 예는 보조기층 없이, 지반 위에 배수성 geotextile을 설치하고 두꺼운 콘크리트 슬래브(39cm)와 짧은 줄눈간격(4.5m)으로 건설되었다. 14년이 지난 후의 교통하중에서도, 이 구조는 잘 활용되고 있으며 프랑스는 하루에 1,500대의 교통량보다 적은 도로에서는 이 설계를 지속적으로 사용하고 있다.

프랑스뿐만 아니라 거의 대부분의 유럽국가에서 무거운 바퀴하중이 최대를 통과하는 위치에 적절한 하중전달장치를 설치하는 것이 경제적이기 때문에 교통차선과 긴급차선(길어깨)의 다웰바를 차륜하중이 통과하는 부분에 중점적으로 불균등하게 배치하고 있다. 이러한 불균등 다웰바 설치의 자동 다웰설치기계에 의해 시공된다. 그림 2는 다웰바가 일정하지 않게 배치된 단면을 보여주고 있다.

### 2.1.2 보수 및 보강

콘크리트 포장의 보수 및 보강은 사용이력 및 포장상태를 포괄적인 방법에 의해 평가한 후,

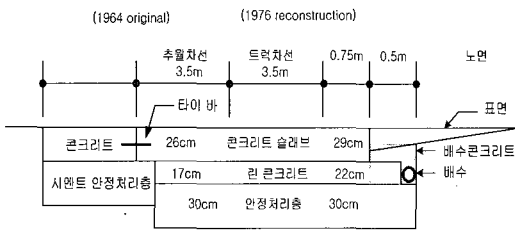


그림 1. 프랑스 재시공 포장단면 예

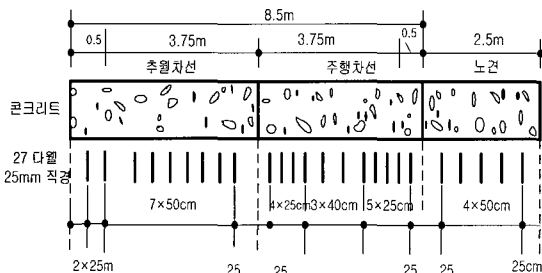


그림 2. 콘크리트 포장에서 비균등 배치된 다웰바 예

타당하고 경제적인 보수방법을 선택하여야 한다. 프랑스에서는 여러 형태의 포장 모니터링 장비를 개발하여 도입하고 있는데, Gerpho 연속 촬영, APL 평탄성 측정장비, LaCroix 처짐 측정장비, SCRIM 미끄럼측정장비, SIRANO 이동 연속촬영 및 종단 평탄성 측정장비 등이 있다. 기존 무다웰바 JPCP의 보수는 차선 재포장, JPCP로 확장, CRCP로 확장, 하중전달 장치의 복원, 표면처리, 기존 JPCP의 CRCP 덧씌우기, 기존 AC 포장의 JPCP 덧씌우기 등에 의해 보수·보강되었다.

### 2.1.3 콘크리트 재료 및 시공

프랑스에서 사용되고 있는 포장용 콘크리트는 지난 30 여년 간 사용하였음에도 불구하고 어떤 내구성의 문제도 야기 시키지 않고 있다. 프랑스에서 연속적인 조립틀에 콘크리트 내부의 공극 최소화, 유동화제의 사용에 의한 작업성 확보, 공기량과 시멘트량을 고려한 최적배합의 설계 등에 의해 양질의 콘크리트를 생산·시공하여 포장에 이용함으로써 장기간의 내구성 및 사용성을 확보할 수 있었다. 이들 콘크리트의 대표적 배합조건으로는 슬럼프 5~8 mm, 공기량 5%, 파괴강도 52kgf/cm<sup>2</sup> 등이다. 재생콘크리트는 포장에서 1976년부터 성공적으로 사용되고 있다. 프랑스에서는 주로 2층 시공법 (two-layer construction)을 이용하는데, 이 방법은 상부에 양질의 콘크리트를 포설하여 내구성을 확보하며 동시에 경제성도 만족시키는 효과를 가져온다. 도로등급에 따라 시공자의 하자보수기간을 달리하는데, 아스팔트포장은 4년 내지 5년 동안, 콘크리트포장은 7년 내지 9년까지, 표면처리는 약 5년동안 품질에 대해서 보증하여, 이 기간동안 발생한 마찰, 균열, 스플링 등에 대해 책임을 진다.

2.1.4 소결

프랑스는 수 년동안 콘크리트 포장의 설계, 시공, 보수 및 보강을 발전시키기 위하여 노력해 왔다. 콘크리트포장은 지난 30년 동안 공항, 중차량 도로 등에 대부분 건설되었으며 많은 혁신적인 아이디어 즉, 하중전달 장치, CRCP를 위한 사각 철근, 배수시설, 시공에 대한 품질보증, 표면의 저소음과 높은 마찰, 광폭 차선 설계, 그리고 사다리꼴 단면 같은 것들을 계속 발전시켜 왔다. 실제로 콘크리트 포장 문제의 해결을 위해 지속적인 관과 사기업의 상호노력은 효과적인 설계와 성공적인 시공을 가능케 하였다.

2.2 오스트리아

오스트리아의 경우 JPCP와 JRCP(jointed reinforced concrete pavement)의 두 가지 콘크리트 포장을 1940년대부터 건설하기 시작했다. 오스트리아에는 포장된 지 30년에서 50년 이상인 아주 오랜 된 콘크리트포장이 여전히 존재하며 표 3은 오스트리아의 주요 고속도로의 콘크리트 포장 길이를 나타낸다.

표 3. 오스트리아 포장시공현황

포장형태	연장(Km)	비율(%)
아스팔트포장	834	54
콘크리트포장 <sup>e</sup>	698	46
합계	1532	100

2.2.1 설계

오스트리아 도로는 보통 중차량 통행량이 많고 일일 교통량이 25,000대에서 평균 12%가 트럭이다. 단축(single-axle)하중 한계는 10 tonf 이고, 2축하중(tandem-axle) 한계는 16 tonf 이다. 고속도로 화물수송의 비율 증가는 높은 편(7%/연)이며, 오스트리아는 단축하중을 유럽공동체(EC)의 기준에 맞추어 최대 11.5 tonf으로

법적 축하중을 증가시킬 것으로 보인다. 콘크리트 포장의 30년 이상 공용설계를 위하여, 해마다 성장 비율과 설계 기간을 고려하여 3.5m이하 차선에 대해 1.0, 3~3.5m는 0.9, 그리고 3.5m 이상에서 0.6의 하중분배를 고려하여 설계되었다.

오스트리아는 강수량이 많기 때문에 설계와 보수에 대해서 많은 연구와 여러 형태의 경험을 가지고 있다. 또한, 30여년 동안 카탈로그 설계법을 발전시켜왔다. 설계는 크게 4가지 종류로 분류되는데, 다웰바 설치여부와 세석층의 형태에 따라 대별된다. 카탈로그 설계법에서 포장의 두께는 현장 평판재하실험에 의해서 결정되는 최소지반지지력(minimum bearing capacity)에 의해 결정된다. 아스팔트와 콘크리트포장에 대한 최소 지반지지력은 350kgf/cm<sup>2</sup>으로 동일하게 적용하고 있으며, 만약 이 한계치에 만족치 못하면 안정처리, 치환 등에 의해 지지력을 높여야 한다. 동결심도는 최소 1.5m를 확보해야 한다.

일반적으로 줄눈간격은 25cm 두께의 포장을 래브에 대해 6m이며, 다웰은 직경 2.6cm를 이용하고 길이는 50cm이다. 중차량이 많이 이용하는 도로에서 대한 최대 줄눈간격은 25T (여기서 T는 슬래브의 두께: mm)로 25cm의 슬래브에 대한 최대 줄눈간격은 6.25m가 된다. 줄눈에서의 단차는 다웰바에 의해 억제되며, 이때 다웰바는 부식방지를 위해서 반드시 코팅하여 사용한다.

포장 전폭은 11.5m이고 안쪽 길어깨를 포함한 추월차선은 4.75m, 주행차선은 3.75m, 바깥차선과 타이바로 연결된 외측 길어깨는 3.00m이다. 구 포장의 구배는 1.5%였으나 근래에 들어서는 2.5%이다. 그림 3은 오스트리아에서 건설된 JPCP의 재 시공단면을 보여주고 있다.

2.2.2 보수 및 보강

오스트리아는 여러 가지 방법으로 콘크리트

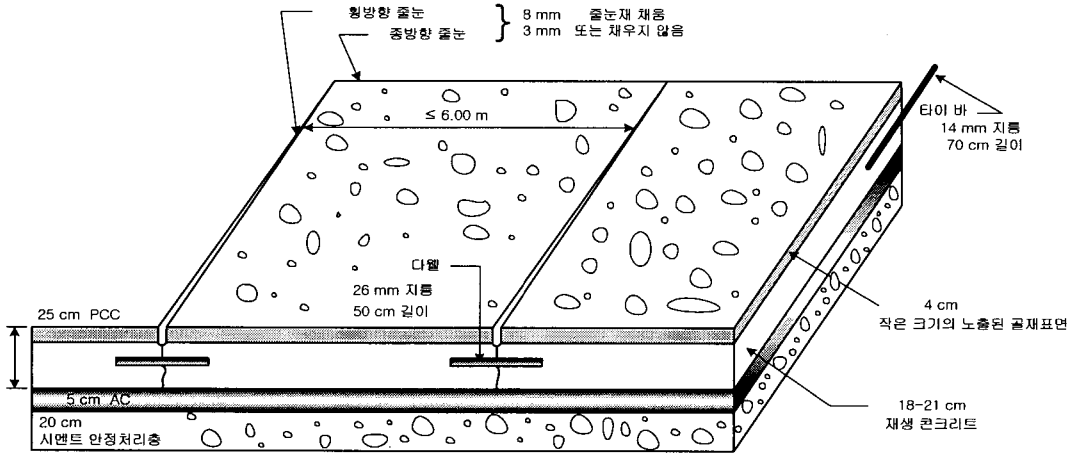


그림 3. 오스트리아 JPCP의 재시공 단면

포장에 대한 보수를 시도하고 있다. 콘크리트를 파쇄하고 안치한 후 아스팔트로 덧씌우기가 시공되었으며, 비접착콘크리트 덧씌우기가 기존의 콘크리트상부에 5cm의 아스팔트 분리층을 포설한 후 시도되었다. 특히, 비접착콘크리트 덧씌우기는 우리나라 경부고속도로 확포장시에도 시공되었으며 시공성 및 공용성을 인정받은 바 있다.

모든 현장의 재료는 재생되었다. 구 콘크리트 새로운 콘크리트 슬래브에 재활용되었고, 구골재기초는 새로운 시멘트 안정처리층에 사용되었으며, 구 아스팔트는 부수어 일부는 재활용 콘크리트로 나머지는 5cm AC 중간층에 사용되기도 하였다.

### 2.2.3 콘크리트 재료 및 시공

오스트리아에서는 많은 강수와 혹한으로 인하여 동결융해와 많은 제빙염이 사용되고 있지만 포장 콘크리트 품질은 상당히 안정된 것으로 보고되고 있다. "D" 균열의 발생이나, 시멘트-골재 반응은 보고되지 않고 있으며, 단지 약간의 동결융해 손상이 보고되고 있다.

콘크리트포장은 2층으로 타설 되는데, 28일에

하부 층의 압축강도는 350kgf/cm<sup>2</sup>으로 규정되어 있고, 상부층의 압축강도는 400kgf/cm<sup>2</sup>으로 규정되어 있다. 12×12×36cm공시체를 이용한 3점 휨 실험에서 휨인장강도는 최소 55kgf/cm<sup>2</sup>을 넘어야 한다.

콘크리트 내의 공기에 대한 규정은 동결융해 방지를 위해서 더욱 엄격하게 규정하여, 공기 기포의 간격이 0.22mm를 넘지 말아야 하며 공기량은 2.0%를 초과해서는 안 된다.

구 콘크리트 슬래브를 제거하고 재사용 될 때는 슬래브에 재생될 수 있으며, 골재의 최대크기는 32mm이고, 자연산 모래가 일정량 반드시 혼합되어 사용되어야 한다. 실내 실험결과 재생 골재는 많은 면에서 기존의 콘크리트보다 좋은 성질을 나타내고 있음이 보고되고 있다. 4~32mm의 골재는 굵은골재로 재생되고, 4mm보다 작은 골재는 현장의 보조기층에 혼합하여 사용하는 것이 일반적이다.

### 2.2.4 소결

오스트리아는 1950년대이래 JPCP와 JRCP를 포장해 왔고, 현재까지 중차량 교통에 대해 좋은 공용성을 보여주고 있다. 현재 신설포장이나

재포장에 이용되는 설치는 대부분 다웰바가 설치된 짧은 줄눈간격의 JPCP이고, 이는 더욱이 콘크리트 길어깨를 가지고 있으며 슬래브와 쇠석기층이나 시멘트안정처리기층 사이에 아스팔트 분리층을 두고 있다. 대부분의 구콘크리트는 재생되고 있으며, 많은 면에서 원재료 콘크리트보다 우수한 성능을 보여주고 있다.

### 2.3 독일

독일은 거의 대부분 아우토반(autobahn)과 공항에 1920년대부터 많은 콘크리트포장을 건설해 오고 있다. 최초의 포장구간 중 비록 많은 구간이 울퉁불퉁하고 보수 중이기는 하나 상당량은 오늘날까지 육중한 교통량을 담당하고 있다. 15년 동안 보수하지 않고 방치한 것이 이들 포장의 상태를 악화시켰고, 독일은 문제의 심각성을 인식하여 전국적으로 이들 고속도로에 대한 재건설에 많은 노력을 기울이고 있다. 베를린 근처의 한 아우토반 줄눈콘크리트포장은 1930년대 시공되어 약 50여년이 경과하였음에도 불구하고, 현재까지 공용되고 있기도 하다. 서독지역의 아우토반 중 약 30%와 동독지역의 아우토반 중 약 82%가 콘크리트포장으로 건설되었다. 서독에서 포장은 1970년 기간까지 JPCP와 JRPC로 건설되었고, 다웰바 설치는 1970년 후에도 도입되었다. 철근 콘크리트포장의 부식에 대한 잠재성과 제빙염의 광범위한 사용으로 인해 독일에서는 다웰바가 설치된 JPCP를 적극 권장하였다. 해를 거듭할수록 독일의 콘크리트 포장 설계는 상당히 변화하였으며, 현재의 JPCP 설계는 새로운 포장과 구콘크리트 포장의 덧씌우기 건설로 1970년 초기부터 광범위하게 사용되었다.

#### 2.3.1 설계

유럽의 대부분의 나라와 마찬가지로 독일도 그 나라의 경험과 이론을 바탕으로 지역에 맞는

카탈로그 설계법을 개발하였다. 카탈로그 설계는 시공현장의 시공자와 발주처의 감독사이에 포장에 대한 대화를 용이하게 할 뿐더러, 시공상의 복잡한 문제를 사전 예방하며, 복잡한 이론을 필요로 하지 않는다. 독일은 새로운 콘크리트포장과 재포장에 대해서 카탈로그설계법을 개발하였으며, 그림 4에 일부를 보여주고 있다.

2차 세계대전 이후에 콘크리트 포장설계는 동독과 서독에서 상당히 많이 바뀌었다. 1970년 이전에 서독에는 줄눈 간격 7.5~10m를 가지는 줄눈 와이어 매쉬보강 포장(jointed wire mesh-reinforced pavement)을 설계에 포함시켰고, 팽창 줄눈 간격을 60~100m까지 확대한 것도 포함되었다. 여러 문제의 발생으로 인해 이러한 설계는 1970년에 JPCP로 바뀌었다. 이 설계는 그 이후로 발전되었으며 그림 5에 보인 것 같은 JPCP 설계 단면으로 발전되었다. 좀더 자세한 설계 내용은 다음과 같다.

① JPCP 슬래브 : 22~26cm 두께, 설계차선은 트럭 교통량에 따른다. 상층 7cm는 동결융해 저항성과 마찰을 목적으로 파쇄된 고품질의 골재로 타설한다. 물/시멘트는 반드시 두 층 모두 동일하다.

② 콘크리트 : 3점 재하실험의 콘크리트 휨강도는 55kgf/cm<sup>2</sup> 이상이어야 한다.

③ 기층 : 15cm 두께의 시멘트안정처리층 또는 린콘크리트는 습윤양생 3일 후 압축강도는 90kgf/cm<sup>2</sup> 이상이어야 하고 통상 120kgf/cm<sup>2</sup>정도 강도발현을 보인다. 기층과 슬래브의 접촉되며, 슬래브 바로 하면의 기층에 줄눈을 삽입한다.

④ 횡방향 줄눈 : 5m 간격으로 둔다. 25mm 지름의 다웰바를 사용하고, 0.33mm 이상의 코팅을 한다. 줄눈 깊이는 슬래브 두께의 0.25 내지 0.30으로 한다.

⑤ 종방향 줄눈 : 줄눈 깊이는 슬래브 두께의 0.40 내지 0.45 배로 한다. 타이바는 이형철근 지

름 20mm를 사용하고 타이바의 간격은 중앙 차선에는 5m당 3개를 설치하고 차선과 길어깨 사이에는 5m당 5개를 설치 한다.

⑥ 배수 : 배수는 다양한 방법이 사용된다. 길어깨 바로 밑에 다공성 콘크리트층을 두어 세

로 배수에 흐름 경로를 제공하고 측면파이프에 주기적인 간격의 빈공 과 최종적으로 커다란 세로 파이프를 두는 것을 볼 수 있다.

⑦ 길어깨 밑의 다공성 콘크리트층: 길어깨 밑에 있는 다공성 콘크리트의 15cm층은 처리기

JPCP overlay on interlayer of lean concrete or AC on fractured old pavement.

Traffic Class	SV	I	II	III
JPCP overlay				
Interlayer				
Fractured old slab				
Subbase				

JPCP overlay on geotextile on fractured old pavement.

Traffic Class	SV	I	II	III
JPCP overlay	27	25	23	23
Geotextile				
Fractured old slab				
Subbase				

JPCP full-depth reconstruction with untreated, open-graded permeable base.

Traffic Class	SV	I	II	III
JPCP	120	120	120	120
Open-graded permeable base	45	45	45	45
Subbase	30	28	26	26

Moduli in MPa (1 MPa = 145 psi), thicknesses in cm (1 cm = 0.3937 in)

그림 4. 독일의 카탈로그 설계 예

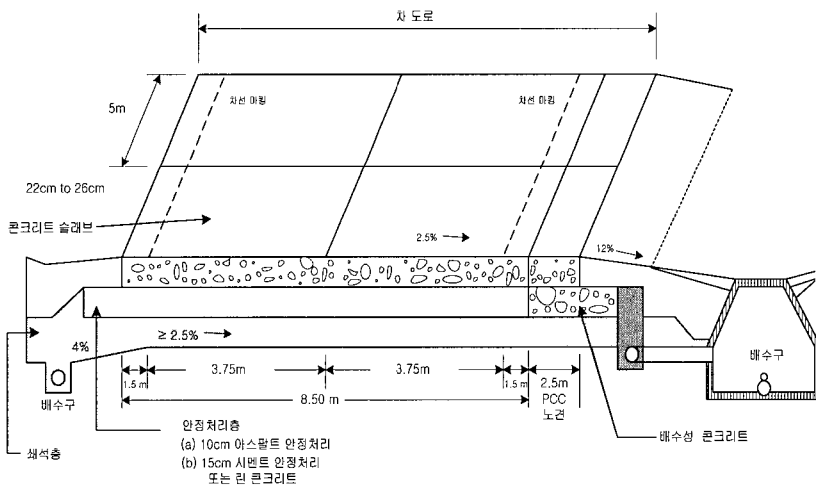


그림5. 독일 JPCP 단면

층의 배수를 촉진하는 것으로 평가받는다.

⑤ 표면: 저소음을 유도하기 위해 종방향으로 거친 마무리를 한다.

### 2.3.2 보수 및 보강

독일에서 콘크리트포장의 보수 및 보강은 조건에 따라 카탈로그로부터 표준방법을 선택할 수 있는데, 이때 고려하는 설계조건은 교통통제 여부, 재생골재 사용가능 여부, 교량 밑 여유고, 종단 및 횡단 경사도, 필요 포장폭, 경제성 등이다. 다음과 같은 보수 및 보강이 독일 아우토반 포장에서 실행되었다.

① JPCP 덧씌우기 - 기존의 콘크리트 포장을 0.5m보다 작은 조각으로 부순다. 그리고 기존의 콘크리트의 윗부분에 10cm층으로 린 콘크리트나 AC재료를 포설한다. JPCP를 새로이 건설된 포장과 같은 두께로 포설한다(중차량 교통하중에 대해서 26cm). 이때 유연성 있는 분리층은 JPCP 덧씌우기층에 응력을 감소시킬 수 있다. 또는 기존의 콘크리트 포장 윗 부분에 geotextile 층을 두고, 약간 두꺼운 JPCP 덧씌우기 한다(중차량 교통하중에 대해서 27cm). 밑에 있는 층과 접합하지 않고 geotextile 구조의 추가되는 단성은 두꺼운 슬래브를 필요로 한다.

② 전폭 재포장 - 전체 포장을 모두 제거되고

새로운 JPCP를 건설한다. 이는 독일에서 그렇게 많이 시공하지 않는다.

③ 차선 재포장 - 다공성 콘크리트 기층은 20% 이상의 공극을 가질 것을 권고하고 있으며 40cm 두께에 압축강도는 150kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 사용해야 한다. 또한 필요 투수계수는 10<sup>-6</sup>m/s보다 작아야 한다. 새로운 JPCP는 이 기층 위에 직접 타설 된다. 새로 건설된 슬래브 인접부에는 5m당 5개의 직경 2cm의 부식방지용 타이바를 설치한다. 단면은 그림 6에 보여주고 있다.

### 2.3.3 콘크리트 재료 및 시공

콘크리트 재료 및 시공방법에 대해 광범위한 연구가 1930 연대부터 시험도로 및 단면에 대해 활발하게 진행되었다. 아우토반에서 장기간의 공용성과 내구성을 지닌 콘크리트를 사용할 수 있었던 것은, 공기 분포 시스템을 포함한 4~6%의 공기량, 0.42보다 적은 물-시멘트 비, 340kgf/m<sup>3</sup>의 시멘트량, 배합시간, 골재 조립률, 골재의 동결융해 저항성 및 골재-실리카 반응, 플라이애쉬의 사용 금지 등의 엄격한 규정과 시공에서 비롯되었다.

시공은 콘크리트의 양생에 큰 비중을 두어 시공하였다. 텐트를 사용하여 새로 포설된 콘크리트포장을 우천이나 강한 직사광선으로부터 보

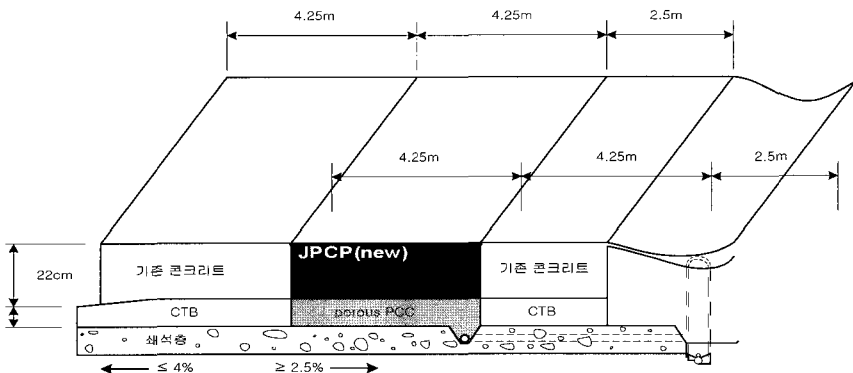


그림 6. 투수성 콘크리트 기층을 가지는 차선 재포장(독일)



호하여 온도의 급격한 변화를 방지하며 아울러 양생제를 이용한다. 2층 콘크리트포장 포설은 재료를 효율적으로 이용할뿐더러, 평탄성의 확보에 큰 도움을 주었다. 시멘트 안정처리 기층이나 린 콘크리트의 압축강도는 최소한 90kgf/cm<sup>2</sup> 만족하여 침식(erosion)에 대한 저항성을 확보케 한다. 또한 독일에서는 린콘크리트 또는 시멘트 처리기층과 콘크리트슬래브를 일체와 시킴으로써 포장체의 강성을 증진시키고 침식에 대한 저항성을 높인다고 믿고 있다. 이를 위해 기층에도 동일한 형태의 종방향과 횡방향의 줄눈을 삽입시킨다.

### 2.3.4 소결

독일에서 1970년대 이후의 줄눈콘크리트 포장은 매우 좋은 공용성과 내구성을 보여주고 있다. 현재의 설계는 거의 문제점을 보이지 않으며 경제적으로 아스팔트포장에 필적할 만하다. 우수한 성능의 이유로는 다웰바 간격의 변화와 적정성, 단차와 펌핑을 감소시키기 위한 린콘크리트와 슬래브의 부착, 침식에 대한 저항성을 높이기 위한 좋은 품질의 기층, 콘크리트에 사용되는 고품질의 표면골재, 지반 위의 두꺼운 쇄석 보조기층, 공기량 조절에 따른 콘크리트의 동결융해 저항성, 파이프와 표면배수 시스템 등이다. JPCP은 새로운 포장과 덧씌우기에 사용되고 있으며 낮은 유지보수와 함께 장기간의 포장 수명이 기대 된다.

## 2.4 네덜란드

네덜란드에서는 콘크리트포장은 지방의 고속도로, 간선도로와 공항 등에 건설되었고 많은 자전거 도로도 콘크리트로 건설되었다. 더불어 콘크리트 블록도 네덜란드 도시지역에서 광범위하게 사용되어진다.

네덜란드의 콘크리트포장은 일부가 CRCP로

최근 건설되었으나, 대부분 JCP로 시공되었다. 또한 암스테르담부근의 Schiphol 공항에는 프리스트레스트 콘크리트포장이 상당구간 건설되었다. 현재 네덜란드에서 콘크리트 포장의 최대 관심은 타이어/포장 소음특성에 맞추어져 있다. 대다수의 실험실과 현장 연구가 낮은 소음을 위한 표면, 적절한 마찰, 사용연한의 향상을 목표로 행해지고 있으며, 특히 네덜란드는 콘크리트 블록 포장(concrete block paving : CBP)을 광범위하게 사용하고 있다. 약 2억 평방미터의 CBP가 매년 건설되어지고 있다. CBP 블록은 1950년대에 처음 소개되었으며 국내의 포장으로부터 복잡한 산업도로 포장에 이르기까지 광범위하게 적용하여 오늘날까지 사용되고 있다.

### 2.4.1 설계

네덜란드에는 오래전에 JPCP가 건설되어져 왔으며, JPCP의 가로줄눈에 대해서만 다웰바를 설치한다. 네덜란드 남부에 있는 지역에서는 낮은 유리관리와 긴 수명, 그리고 많은 지역에서 건설되어졌다는 이유로 콘크리트포장을 더 선호한다. 콘크리트와 아스팔트 포장의 비용은 이 지역에서는 비슷하다. 두 개 차선, 편도 1차선 지방고속도로는 일반적으로 21cm의 다웰 JPCP 슬래브와 각 모서리가 구속되지 않게 되어 있다. 네덜란드에서는 1980년대 초기까지 독일 JPCP 설계를 채택하였는데 전형적인 콘크리트 포장의 단면은 표 4와 같다.

간선도로에서 높은 마찰과 저소음 목적으로 다공성 AC 표면을 가진 CRCP를 1990년대에 건설하였다. 이 CRCP는 가로줄눈으로부터 균열이 다공성 AC 표면을 지나 반사되지 않는 이점이 있다. 다공성 AC 표면과 다공성 콘크리트 표면을 가지는 또 다른 CRCP가 현재 널리 건설되고 있으며 간선도로 포장의 기초는 모래 보조기층 위에 린콘크리트를 포설한다. 이 린콘크

리트는 오래된 콘크리트를 파쇄하여 재사용하고 있다. 독일의 설계법과 다른 점은 네덜란드에서는 린콘크리트기초와 슬래브를 부착하지 않으며, 기초에 노치(notch)를 두지 않는다. 그러나 반사균열로 인한 여러 문제가 보고되고는 있다. 도로변 배수구의 깊이는 기초 아래 약 1m이며, 줄눈은 압축이 되지 않도록 충전한다. 한편, 네덜란드에서는 소음오염방지 입법을 채택하였다. 이 법은 새로 건설되는 고속도로에서 교통개방 전 소음레벨을 이론적으로 계산하여 작성할 것을 요구하고 있으며, 인구밀집지역의 재래식 아스팔트와 콘크리트 고속도로 표면에 대해 소음을 줄이기 위한 광범위한 조사노력이 이루어지고 있다.

2.4.2 소결

현재 네덜란드에서 콘크리트포장은 전보다 더욱 많이 건설되고 있다. 1950년대 다웰바를 사용하지 않은 결과 줄눈에서 매우 심한 단차를 유발시켰으며, 이로 인해 독일식 다웰바가 설치된 JPCP의 시공은 이러한 문제를 일소시켰으며, 낮은 유지관리와 높은 공용성을 유지하였다. 현재 콘크리트 포장의 주요 관심은 타이어와 포

장간의 소음 감소이다. 현재 활발한 연구가 진행되고 있고 몇 가지의 기술이 좋은 평가를 받고 있다. 에폭시-골재 표면 처리기법, 다공성 콘크리트 표면이나 다공성 아스팔트 등이 적은 소음을 발생시킨다. 실험은 소음 흡수, 내구성, 강도의 기준을 만족시키는 다공성 콘크리트의 표면 층을 얻을 수 있음을 보여주기는 하지만 더욱 많은 연구가 필요하다.

2.5 벨기에

오래 동안 벨기에는 콘크리트포장을 건설해 왔는데, 1925년 Brussels 남부에 시공된 줄눈콘크리트가 현재도 공용중에 있다. 고속도로의 약 40%가 콘크리트포장으로 건설되었는데(총 1631km 중에서 645km), 거의 대부분이 CRCP이다. 벨기에 정부는 유지보수필요가 크게 낮은 CRCP를 선호하여, 1970년 이래 구 콘크리트와 아스팔트포장의 덧씌우기와 새로운 포장에 CRCP를 광범위하게 시공하고 있다. 1970년대 이전과 현재의 CRCP 설계는 표 5와 같다.

콘크리트에 AE제는 혼입하지 않아 왔다. 그러나 400kgf/cm<sup>2</sup>의 많은 시멘트를 사용함으로써 고강도, 고밀도의 콘크리트를 생산하고, 90일에 최소 550kgf/cm<sup>2</sup>의 강도와 평균 700kgf/cm<sup>2</sup>의 강도를 얻는다. 물-시멘트비는 0.4내지 0.45를 사용한다. 이러한 결과 동결융해나 내구성의 문제를 야기시키지 않았을 뿐더러 표면의 마찰저항성도 높일 수 있었다.

표 4. 네덜란드의 전형적인 콘크리트포장의 단면

슬래브 두께	20~22cm(현재 일반적으로 26~28cm)
포장 전폭	11m(2차선)
다웰바	변 간격
줄눈간격	5m
길어깨	1m 안쪽 길어깨, 3m의 바깥 길어깨

표 5. 벨기에의 전형적인 CRCP 시공단면

분 류	1970 년대	1980 년대 이후
CRC 슬래브	20cm 고강도 콘크리트	20cm 고강도 콘크리트
철근보강	0.85 %	0.67 %
보강 깊이	6 cm	9cm
AC 중간층	6 cm	6 cm
린콘크리트 기층	20 cm	20 cm
쇄석 보조기층	20 cm 최소	20 cm 최소
종방향 줄눈 깊이	< 0.33 slab	0.33 slab

## 2.6 스페인

스페인에서의 최초의 콘크리트 포장은 1915년에 건설되었다. 그 이후 다웰바가 설치된 JPCP 포장은 1963년 처음으로 Madrid 근처에 모래기층에 25cm 두께와 5~6m 줄눈간격을 가지는 슬래브로 시공되었다. 고속도로에 첫 번째 건설된 것은 1968년으로, 10cm의 모래 보조기층, 15cm의 CTB, 25cm의 슬래브 두께, 6m 간격의 줄눈을 가지는 다웰바가 설치된 JPCP이다. 교통량은 트럭이 하루에 각 방향으로 약 5,000대가 이동하고, ADT는 80,000대 이다. 이러한 포장단면은 심각한 구조적 손상없이 각 방향에서 3천만대의 트럭하중을 통과시켰으며, 현재도 양호한 상태로 공용중에 있다. 스페인에서 초창기 콘크리트포장의 설계는 미국 California 방식을 도입하여 사용하였으나, 1970년 후반부터 개량하여 두꺼운 포장 슬래브, 사다리꼴 단면, 감소된 줄눈간격, 린콘크리트의 기층 적용, 시멘트처리기층의 도입, 배수처리 시스템의 보완 등으로 양질의 서비스와 더 긴 공용성을 확보 할 수 있었다.

다웰바의 사용은 단차방지를 위해 필수적이며, 카탈로그 설계법이 이용되고 있다. 카탈로그에 따르면 공용 첫해의 일일 트럭교통량이 2,000대 이상이면 26~30cm의 사다리꼴 변단면 슬래브를 포설하며, 2,000대 미만이면 23~27cm의 변단면을 시공한다. 일반적으로, 린콘크리트 기층은 15cm 이상으로 규정하고 있으며, 만약, 노상 CBR이 20%를 초과하면 쇄석 보조기층은 사용하지 않는다. 만약 노반 CBR이 10~20%이면 20cm의 쇄석 보조기층을 포설한다. 그리고, 만약 노반 CBR이 10%보다 작으면 흙을 굴착한 후 교체한다.

## 3. 맺 음 말

유럽의 인구밀도와 고속도로의 중차량은 우

리 나라와 유사하다. 단축 최대 허용하중은 10~13톤으로, 우리나라나 미국보다 크다. 유럽공동체(EC)는 단축 최대 하중을 11.5톤으로 통일화 시키려하고 있다. 2축 최대 허용하중은 19~21톤이고, 3축 최대허용하중은 24톤이다. 그러나 실제 트럭하중은 이러한 법적 한계 중량보다 크고, 유럽공동체의 활성화로 교통량은 더욱 증가하리라 판단된다.

유럽에서 줄눈콘크리트포장이 연속철근포장보다 더 많이 시공되고 있으며, CRCP도 프랑스와 벨기에를 중심으로 많이 건설 되었다. 설계수명은 30년 내지 40년으로 우리나라와 미국의 20년보다 길다. 포장설계는 대부분의 나라에서 자국의 환경에 맞는 독자적인 "pavement design catalog"를 개발하여 사용하고 있다. 특히, 포장설계는 두께에만 치중하는 것이 아니라 전체 포장 시스템을 고려하여 설계한다.

JPCP의 전형적인 포장은 린콘크리트 층을 두며 20 내지 90cm의 쇄석보조기층에 단면은 저교통량-중교통량-고교통량에 대해, 슬래브 두께 18-25-30cm를, 줄눈간격, 3.5~5.0 6.0m를 사용하는 것이 일반적이다. CRCP는 린콘크리트 기층에 20내지 90cm의 쇄석보조기층을 두고 단면은 17-20-25cm를 적용하여 0.6-0.67-0.85%의 철근을 보강하는 것이 일반적이다. 포장 슬래브 두께는 두껍지 않으나, 특이한 사항은 폭이 0.5m 더 넓고, 종방향 배수파이프를 적용하고, 다웰바를 필수 적으로 사용한다는 것이다.

유럽에서 콘크리트포장 시공은 하자보수 기간을 4년 내지 9년까지 설정하여 품질관리를 철저하게 하고 있으며, 일반적인 포장 시공 방법은 2층 포설(two-layer slab construction) 이다. 이는 한 번에 두 개의 층을 동시에 포설하는 것으로, 양질의 골재를 상부 4~7cm의 두께로 포설하는 것으로 경제성과 안전성 소음저감의 효과를 가져온다.

유럽에서 일반적으로 사용하는 콘크리트 재료는 고강도 고성능의 콘크리트 개념으로 압축강도는 90일에 550kgf/cm<sup>2</sup>, 휨강도는 28일에 75kgf/cm<sup>2</sup>을 규정하고 있다. 배수의 향상과 소음의 저감 효과를 위하여 다공성의 콘크리트를 사용하려는 연구 개발이 활발하게 진행되기도 한다.

이와 같이 대부분의 유럽국가에서는 자국의 기후와 특정한 조건에 맞는 설계법을 개발하고 독자적인 시공법을 연구·도입하여 사용하고 있다. 유럽의 콘크리트포장은 초기투자를 크게 하여 매우 우수하게 건설되며, 미국과 비교 할 때 긴 공용수명과 매우 큰 교통하중을 지탱하고 있다.

우리 나라 콘크리트포장 또한 기술자들의 부단한 노력과 연구로 기술적 성숙기에 접어들었으며, 주요도로를 포함한 고속도로 건설기술 및 국가기간 산업망 확충에 기여한 바가 크다 하겠다. 그러나 아직까지 콘크리트포장의 설계·시공 및 유지·보수 기준이 일부 국가의 자료에 크게 의존됨으로서 도로건설 및 관리가 국내의 기후와 환경 조건하에서 최적화 되지 못한 부분이 있어왔다. 따라서 이 글이 콘크리트포장 기술에 대한 이해의 폭을 넓히는데 미약하나마 일조하기를 바라며, 일련의 연구를 통해서 국내 도로 교통 및 기후환경 조건하에 적합한 포장설계법 개발, 시공법 개량, 내구성 있는 고성능 콘크리트 재료의 개발 등이 이루어져, 경제적이며 안전하며 쾌적한 도로를 건설할 수 있기를 바란다.

## 참 고 문 헌

1. "Report on the 1992 US Tour of European Concrete Highways", FHWA, 1993
2. Christory, J.P., "Overview and Recent Developments in Concrete pavements in France" paper presented at the 1991 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D. C., 1991
3. Aunis, J. H., "CRCP on the French Motorway," 6th Conference : Road Engineering Association of Asia and Australia.(ASPRR Autoroute, France) March 1990.
4. Litzka, J. and G. Herbst, "A New Specification for the Structural Design of Pavements in Austria," Proceedings: 1986 International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Plymouth, England.
5. "Quiet Concrete", World Highways magazine, May/June 1992
6. Beton, Straßenbau and Tragschichten. Bauberatung Zement, 1992.(Specifications for German pavements.)
7. Jackson, F. H. and H. Allen, "Concrete Pavements on the German Autobahn," Public Roads, Volume 25, No. 4, June 1948
8. Verhoeven, K., "Thin Overlays of Steel Fiber Reinforced Concrete and Continuously Reinforced Concrete" , state of the Art in Belgium , "Proceedings of the Fourth International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation", Purdue University, 1989.
9. Marchionna, A., et al., "Cement Concrete Characteristics for Road Pavement, Practical Experience with the Polyfunctional Composite Pavement", Proceedings: 6th International Symposium on Concrete Roads, Madrid, Spain, 1990.