

# 유럽 시멘트 콘크리트 포장의 배합



이 재 훈 | 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원  
박 준 영 | 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원

## 1. 개요

콘크리트 포장에 있어서 시멘트 콘크리트의 배합은 수명과 공용성을 결정하는 중요한 요소 중 하나이다.

서울 세계도로대회 기간 중에 우리학회의 시멘트 포장 분과위원회 주관으로 ‘유럽 콘크리트 포장기술 워크숍’을 개최하였다. 워크숍은 유럽 콘크리트 포장과 관련해 다양한 주제를 선정하고 각 주제에 맞춰 유럽의 포장전문가를 초청하여 진행하였다. 이 중 ‘Durability of concrete pavement materials’라는 주제로 벨기에 도로연구소의 Anne Beeldens 박사가 시멘트 콘크리트 포장의 내구성을 향상시키기 위한 배합과 시공기술에 대해 발표하였다. 벨기에는 이미 100여 년 전에 콘크리트 포장을 처음으로 건설했을 만큼 풍부한 경험을 가지고 있으며, 오늘날에도 장수명 콘크리트 포장의 시공이 활발하게 적용되고 있다.

워크숍은 주제 발표 이후의 토론에 중점을 두고 진행하여 발표자와 청중 간의 다양한 현안에 대한 질의, 응답, 토론이 이루어졌다.

본 원고는 워크숍에서 Anne Beeldens 박사가 발



그림 1. 1925년에 건설된 콘크리트 포장 도로  
(Drève de Lorraine in Uccle)

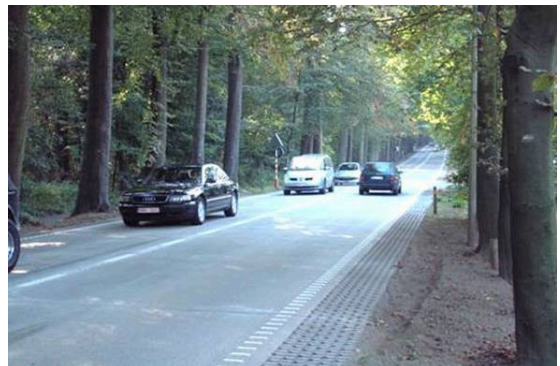


그림 2. 2003년에 재시공된 콘크리트 포장 도로  
(Drève de Lorraine in Uccle)

표한 내용을 중심으로 유럽의 콘크리트 포장 기술이 우리와 차이점을 가지는 부분과 토론 시 주요하게 논의되었던 내용을 요약하여 작성하였다.

## 2. 슬래브의 제원

벨기에 콘크리트 포장의 슬래브 길이는 포장 두께에 따라 달라진다. 두께가 20cm 이상인 경우에는 길이를 5m 이하로 하고, 두께가 20cm 미만인 경우에는 길이를 4m 이하로 한다. 폭원은 일반적으로 4.5m를 표준으로 한다.

슬래브의 길이는 우리나라의 6m에 비해 짧으나, 포장 두께가 다소 두꺼운 점과 슬래브 하부에 강성이 큰 린콘크리트가 쓰이는 점을 감안하면 기술적인 차이점이 있다고는 할 수 없을 것이다.

(줄눈 콘크리트 포장 슬래브 제원)

- *Length of the slab:*

- $L \leq 5m$

- if thickness  $\geq 0.20m$  or dowels are used*

- $L \leq 4m$

- if thickness  $< 0.20m$  & no dowels*

- $1 \leq L/l < 1.5$

- $L \leq 25 \times \text{thickness}$

- *Surface of a slab : limited to 20~25m<sup>2</sup>*

- *Width:*

- $W \leq 4.50m$

줄눈의 절삭 깊이는 슬래브 두께의 1/3로서, 우리의 1/4보다는 다소 깊다. 국내의 경우 과거에는 슬래브 두께의 1/3 깊이를 사용하였으나, 효율성 측면에서 1/4로 변경한 바 있다. 최근, 고속도로의 경우 콘크리트 포장의 내구성 향상을 위해 플라이에쉬를 혼입한 배합을 사용하고 있어 초기 줄눈에서의 균열 유도율이 떨어지는 경우가 발생하고 있다. 특히, 대개의 온도변화가 적은 터널 내부나 초봄, 늦가을과

같이 줄눈의 균열유도에 불리한 환경에서는 유도 균열의 균질성과 보수적인 측면에서 줄눈절삭 깊이를 1/3로 유지하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## 3. 표면 조직

포장의 표면은 저속 도로에서는 브러싱(Brushing) 표면처리를 주로 사용하며, 그 외에는 알려진 바와 같이 골재노출공법이 일반적으로 사용되고 있다.

골재노출공법에서 표면조직의 마모저항성은 골재의 마모저항성과 높은 상관성이 있어 이에 대한 품질 기준 수립이 필요하다. 일반적으로 국내와 미국 등지에서는 골재 마모저항성을 LA 마모시험을 평가하고 있으나, 유럽 국가들에서는 실제 운하중에 의한 표면 노출골재의 마모저항성 평가를 위해 추가적으로



그림 3. 골재노출을 위한 표면 처리



그림 4. 굵은골재 PSV 측정장비

Polishing Resistance를 사용하고 있다. LA 마모시험은 골재의 견전성을 평가하는데 유리한 측면이 있는 것에 반하여, Polishing Resistance는 차륜에 의한 마모 저항성 평가에 더 유리하다. 이는 규정된 시험 방법에 의해 PSV(Polished Stone Value)로 표현된다.

국내 콘크리트 포장의 표면조직은 주행소음 저감을 위해 횡방향 타이닝에서 종방향 타이닝으로 변화하였고 최근 기능성 향상을 위하여 다이아몬드 그라인딩이나 NGCS(Next Generation Concrete Surface) 표면처리공법을 적용하고 있다. 기능성 향상을 위한 표면처리기법의 변화와 함께 시공 초기 좋은 성능을 오래 유지하기 위해서는 표면조직에 대한 품질관리기준을 개선하는 노력 또한 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 재료

콘크리트 배합에 사용되는 골재에서는 잔골재의 입도에 대한 중요성이 강조되고 있다. 잔골재의 입도 내에 연속적인 분포가 중요하며, 잔입도 부분의 함량이 많지 않아야 한다. 다음의 그림 5는 적정 잔골재의 입도 분포 곡선을 제시한 것으로 국내 기준에 비해 중간 입도의 함량이 강조되어 있다.

굵은 골재는 앞서 기술한 바와 같이 골재노출포장이 주로 적용되기 때문에 PSV의 중요성이 강조되고 있다. 표층 슬래브의 경우, 시방에서 50 이상의

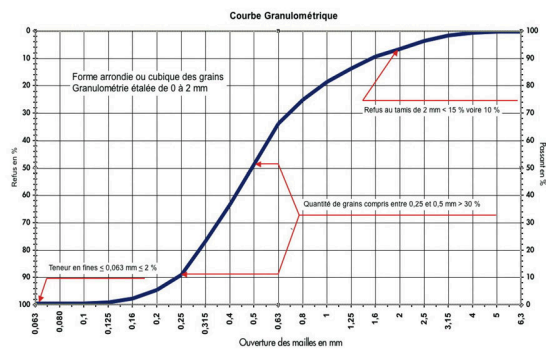


그림 5. 잔골재의 적정 입도 분포 곡선

PSV를 기준으로 정하고 있으며 이층 포설 시 하부 슬래브 층에는 별도의 적용규정이 없다.

시멘트에서는 국내 시멘트의 강도가 국외에 비해 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있으나, 유럽에서는 세 가지 시멘트 강도조건이 제시되어 설계 시 시멘트 강도를 선택적으로 사용할 수 있다. 다음의 그림 6은 시멘트 종류를 구분한 것으로서, 도로 포장에서는 42.5MPa의 강도를 가지는 1종 포틀랜드 시멘트(CEM I 42.5)와 슬래그 혼입 1종 포틀랜드 시멘트(CEM III/A 42.5)가 주로 사용되고 있다.

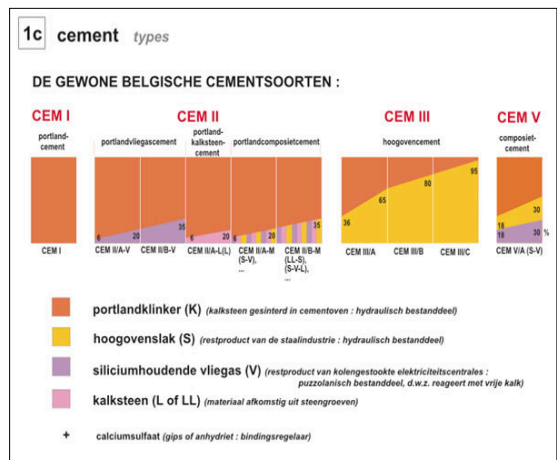


그림 6. 시멘트 종류 및 성분

#### 5. 배합

콘크리트 포장 배합에서 유럽 배합과 우리 배합의 가장 큰 차이점은 사용되는 시멘트 함량이다. 다음의 표 1과 표 2는 벨기에의 Wallon 주와 Flanders 주의 배합조건을 기술한 시방내용으로 상용되는 시멘트량과 물-시멘트비를 알 수 있다.

표 1과 표 2에서 보는 바와 같이 상위 조건의 도로 (Réseau 1 또는 B1-B5)에서 시멘트량은 400~425 kgf/m<sup>3</sup>의 범위가 적용되고 있다. 현재 국내 배합에서 시멘트량을 329~350kgf/m<sup>3</sup>의 범위에서 사용하는 것과는 상당한 차이가 있다. 물론 이때 시멘트량

차이를 유발시키는 요인으로 주의를 기울여야 할 부분은 굵은 골재의 최대 크기이다. 물-시멘트비는 0.45 이하가 되도록 관리되고 있는 것으로 우리의 기준보다는 다소 큰 편이나 시멘트량이 많이 소요되는 것을 고려할 때, 충분히 합리적이다. 일부 기술자들이 우려하는 바와 같이 단위수량에 대한 부분은

별도로 제한하지 않고, 간접적으로 물-시멘트비를 통해 단위수량이 제시되도록 하고 있으며, 그 범위는 178~180kgf/m<sup>3</sup>이다.

## 6. 내구성 평가

콘크리트의 내구성을 평가하는 방법으로 특이점은 물흡수계수(흡수된 물의 질량 백분율)를 측정하는 점이다. 국내에서 일반적으로 사용하는 급속 동결 용해 시험방법(KS F 2456, ASTM C 666)을 사용하지 않고 다음의 표 3과 같이 물흡수계수(NBN B15-215)를 시방에 규정하고 있다.

표 1. 벨기에 Wallon 주의 배합기준

	D <sub>max</sub> of aggregates (mm)	Cement content (kgf/m <sup>3</sup> )	Water-cement ratio W/C	Air Content (%-v)
Réseau I				
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	≥ 400 ≥ 400 ≥ 425	≤ 0, 45 ≤ 0, 45 ≤ 0, 45	3 ≤ v ≤ 6 5 ≤ v ≤ 8
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	≥ 375	≤ 0, 45	3 ≤ v ≤ 6
Réseau II				
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	≥ 350 ≥ 375 ≥ 400	≤ 0, 50 ≤ 0, 50 ≤ 0, 50	3 ≤ v ≤ 6 5 ≤ v ≤ 8
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	≥ 350	≤ 0, 50	3 ≤ v ≤ 6
Réseau III				
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	≥ 325 ≥ 350 ≥ 375	≤ 0, 50 ≤ 0, 50 ≤ 0, 50	3 ≤ v ≤ 6 5 ≤ v ≤ 8
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	≥ 325	≤ 0, 55	3 ≤ v ≤ 6

표 2. 벨기에 Flanders 주의 배합기준

	D <sub>max</sub> of aggregates (mm)	Cement content (kgf/m <sup>3</sup> )	Water cement ratio W/C	Air Content (%-v)
Construction class B1-B5 according to SB 250				
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	≥ 400 ≥ 400 ≥ 425	≤ 0, 45 ≤ 0, 45 ≤ 0, 42	- ≥ 3 ≥ 5
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	≥ 375	≤ 0, 45	≥ 3
Construction class B6-B10 and BF according to SB 250				
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	≥ 350 ≥ 375 ≥ 400	≤ 0, 50 ≤ 0, 50 ≤ 0, 45	- ≥ 3 ≥ 5
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	≥ 350	≤ 0, 50	≥ 3
Farm roads according to the corresponding class				

표 3. 벨기에 물흡수계수 시방 기준

	D <sub>max</sub> of the coarse aggregates (mm)	Maximum individual water absorption H <sub>i, max</sub> (%-m)	Maximum average water absorption H <sub>m, max</sub> (%-m)
Construction class B1-B5 according to SB 250			
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 (zonder LBV) 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	6,5 6,8 7,0	6,0 6,3 6,5
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	-	-
Construction class B6-B10 and BF according to SB 250			
Surface layer (one-or two lift pavement)	> 20 (zonder LBV) 6 < D <sub>max</sub> ≤ 20 ≤ 6	6,5 6,8 7,0	6,0 6,3 6,5
Bottom layer (two lift pavement)	≥ 20	-	-

이러한 물흡수계수는 다음의 그림 7과 같이 콘크리트 시편을 물속에 침지하여 중량 변화를 측정하는 것으로서, 내구성 지표로 활용한다. 고급도로에서 20mm 이상의 굵은 골재를 사용하는 경우에는 물흡수계수가 6.5% 이하가 되도록 시방에 규정하고 있다.

스케일링 시험은 국내와 같은 방법을 적용하고 있으며, 중량손실량을 내구성 평가지표로 하는데, 5g/m<sup>2</sup>를 고급도로(Réseau-1, Network-1)의 최대 허용값으로 적용하고 있다.

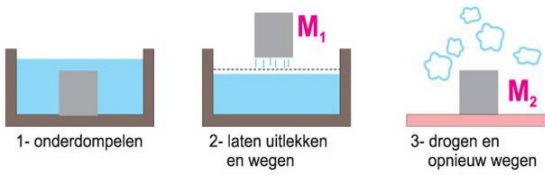


그림 7. 침지에 의한 물흡수계수 측정

제설제에 의한 포장 콘크리트의 손상을 발표자는 그림 8과 같이 Thermal Shock와 Osmotic Pressure 이론을 통해 기술하고 있다. 여기에는 다른 이론이 여지가 많기 때문에, 발표자의 의견이 모두 동의가 되는 것은 아니었다. 최근 여러 연구에서 제설제에 의한 콘크리트 손상을 보다 합리적으로 설명할 수 있는 이론들이 제시되고 있다.

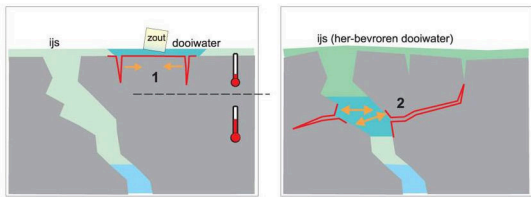


그림 8. 제설제에 의한 손상 기구

동결융해저항성을 확보하기 위해 공기량 기준은 매우 엄격하게 적용하지는 않는 것으로 나타났다. 그리고 공기량도 총 공기량을 기준으로 정하고 있었다. 이러한 기준적용은 충분한 시멘트량으로 인해 밀실한 콘크리트 구조를 형성하는 것이 내구성 확보에 우선한다는 개념 설정에 근거한 것으로 판단된다.

다음은 콘크리트 포장이 제설제에 대한 저항성이 저하되는 조건을 설명하고 있다. 별도의 특이 사항은 없으나, 기본적인 개념을 다시 돌아보게 만드는 것이 시사적이다.

[제설제에 의한 내구성 저하 요건]

- Lower resistance against de-icing salts
  - Air content is lower
  - Amount of fines is higher
  - Maximum aggregate size is lower

- Lower cement ratio
- Higher w/c ratio

## 7. 양생

양생방법의 경우 양생제를 사용한 피막양생방법을 적용한다는 점에서 국내와 큰 차이점이 없었고, 오히려 그림 9의 시공 장면을 보면 국내보다 더 느슨한 살포가 이루어지는 것을 알 수 있었다. 단, 양생제 살포 이후에 비닐막을 덮어 양생을 지속시키는 점이 매우 인상적이었다.



그림 9. 양생제 살포 전경

국내에서는 양생제에 지나치게 의존하는 양생 방법을 선택하고 있어, 양생제가 충분한 역할을 하지 못할 경우, 포장에 건조수축균열 등의 문제를 발생시키는 것으로 알려져 있다. 특히, 양생제 살포 후 24시간 이내의 습식 줄눈 절삭 시 줄눈부 고압 살수 청소에서 양생제의 손실은 줄눈부에 내구성 저하를 일으킬 수 있다. 따라서 양생제 살포 이후에 양생포나 비닐막을 이용해 충분히 양생하는 것이 내구성 확보를 위해 필요할 것으로 판단된다.

인력포설이 이루어진 경우에는 일정 기간의 양생 이후에 표면에 Silanes/Siloxane계의 표면보호제를 도포하는 것을 의무화하고 있다. 이러한 방법은 불가피하게 인력포설을 적용할 수 밖에 없는 구간에 적극적으로 도입할 필요가 있을 것으로 판단된다.



그림 10. 비닐막에 의한 양생 전경

## 8. 결론

유럽 콘크리트 포장은 몇 가지 측면에서 특이점을 갖고 있었으며 우리와는 다른 점이 있는 것을 알 수

있었다. 특히 최근에 콘크리트 포장에 내구성 파손이 많이 발생하는 것과 관련하여 우리가 적용해야 할 시사점이 많았다. 특히, 제설제 사용으로 인한 콘크리트 포장의 손상에 대한 대응방법으로 재료관리와 배합관리를 통한 내구성 확보를 우선시하는 점은 우리가 다시 한 번 되짚어 봐야할 점으로 판단된다.

본 기사에서 서술한 다양한 내용들 중 인력시공 구간의 표면보호제 도포와 같이 일부는 국내에 바로 적용할 수 있다. 하지만, PSV값을 이용한 굵은 골재의 마모저항성 평가, 내구성 확보를 위한 단위 시멘트량 증가, 양생방법 및 처리 등 일부는 충분한 검토를 통해 적용할 필요가 있다. 이러한 항목들에 대한 연구를 통해 국내 콘크리트 포장의 수명과 품질을 확보할 수 있게 되기를 기대한다.

## 학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	게재원고료 지급 심의후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내의 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	심의후 게재
국내의 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 찬평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

\* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net