

Whitetopping 포장재의 시험포설 및 시공품질에 대한 평가연구

A Study on the quality of High Early Strength Concrete as Whitetopping Materials

임채용^{*} 엄태선^{**} 유재상^{***} 이종열^{****} 엄주용^{*****} 조운호^{*****}
Chae-Yong Lim Tae-Sun Um Jae-Sang Ryu Jong Ryul Lee Joo-Yong Um Yoon-Ho Cho

ABSTRACT

In road pavements, it is known that cement concrete pavement has superior durability. But in repairing pavement, cement concrete pavement is not usually applied because of the length of time while the road is interrupted when using Ordinary and Rapid-hardening Portland Cement. And Super High Early Strength Cement and Ultra Super High Early Strength Cement are not favorable for ready mixed concrete because of rapid setting time, high slump loss and other restrictions. We developed special cement developing 1 day strength of over 30.0N/mm² to open the road within 1 day and workable time is maintained over 1 hour so that it can be used as ready mixed concrete. We performed experimental overlay construction with concrete and evaluated the properties of the fresh and hardened concrete. The flexural strength was over 5.0N/mm² and the compressive strength was over 30N/mm² at 1 day. So it is thought that the road can be open to traffic within 1 day after placement.

1. 서론

Whitetopping이란 기존 아스팔트 포장 위에 콘크리트 덧씌우기를 하는 공법으로 중차량 교통이 많은 도로에서 러팅(rutting), 쇼빙(shoving), 코루게이션(corrugation) 등의 영구 변형으로 인해 손상된 아스팔트 포장 도로를 5~15cm 두께의 콘크리트로 보수하는 공법이다. Whitetopping 공법에 의해 덧씌우기가 실시된 도로는 타설 후 1일 이내에 교통개방이 가능하여 기존 아스팔트 덧씌우기 공법에 대해서도 경쟁력이 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 아스팔트 포장은 통계상 5-8년에 한번씩 덧씌우기 등과 같은 유지 보수를 시행하고 있는 반면, 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 공용 가능 년수가

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원

** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원, 공학박사

*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

**** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

***** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, 공학박사

***** 정회원, 중앙대학교 건설환경공학과, 조교수

길이 40년 이상의 수명을 갖는 포장 설계가 가능하여 연간 25~50% 정도의 보수비를 절감할 수 있으며 따라서 생애주기비용을 고려할 경우 시공 및 유지비용에서 큰 장점이 있다. 또한 콘크리트 포장은 러팅 등에 의한 변형이 적음으로써 운전자에게 안전하고 쾌적한 환경을 제공하며, 아스팔트 포장의 잦은 보수로 인한 교통체증 절감, 높은 반사율로 인한 야간 운전시의 안전성 확보가 가능하다.

미국에서는 1989년을 시작으로 꾸준히 whitetopping에 관한 연구개발을 수행중이며, 2001년까지 총 287건의 프로젝트가 수행되어 약 80만 m²의 도로 포장이 이루어졌다. 또한 일본에서는 1일 공용 도로포장용 콘크리트로 개발된 초조강콘크리트를 이용하여 일본 시멘트협회의 주도로 whitetopping 공법에 관한 연구를 수행하고 있다. 국내에서도 일민국도 및 고속도로의 포장율이 거의 100%에 육박함에 따라 도로관리의 중요성이 부각되고 있으며, 덧씌우기가 대표적인 유지보수공법으로 채택되고 있는 현실에서 콘크리트 덧씌우기의 필요성이 선진국으로부터 도입되고 있다. 따라서 도로포장 보수를 위한 콘크리트 덧씌우기 공법을 보급하기 위해서는 조기개방을 위한 조강형 시멘트재료, 관련 시공법 및 보수, 설계기술 등의 개발이 필요하다.

본 연구는 신속개통형 whitetopping 포장재료의 개발 및 실용화를 목적으로 타설 후 1일 이내에 교통 개방이 가능하며, 1시간 이상의 작업시간 확보가 가능하여 레미콘화가 가능한 콘크리트 포장재료를 개발하고, slipform paver를 이용한 기계 시험시공을 통해 적정 작업성과 조기 교통개방의 가능성을 평가한 것이다.

2. 1일 공용 콘크리트의 요구조건

레미콘에 의한 대량타설이 가능하며, 1일 교통개방이 가능한 1일 공용 덧씌우기 콘크리트 포장재료의 요구특성은 표 1과 같다.

표 1 1일 공용 콘크리트 포장용 레미콘의 요구특성

| 시공 방법 | 운반방법 | 1일 설계기준강도(N/mm ²) | | 1일 배합강도(N/mm ²) | | 슬럼프 (cm) | 공기량 (%) |
|-------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|------|----------|---------|
| | | 압축 | 휨 인장 | 압축 | 휨 인장 | | |
| 기계 시공 | 믹서트럭 | ↑24.0 | 3.5 | ↑30.0 | 4.4 | 3~5 | 4.5±1.0 |
| | 덤프트럭 | ↑24.0 | 3.5 | ↑30.0 | 4.4 | 8~10 | 4.5±1.0 |

Slipform paver를 이용한 기계시공의 경우 인력 시공에 비해 슬럼프가 낮아야 시공시 진동다짐에 의한 재료분리 및 경사구간에서의 포장면의 평탄성 확보가 가능하여 인력시공의 요구 슬럼프인 15cm 내외에 비해 낮은 슬럼프의 콘크리트가 필요하며, 약 10cm 이하의 콘크리트가 적당하다.

콘크리트 수송은 타설 및 요구 성능에 따라 믹서트럭 또는 덤프트럭 수송이 모두 가능할 것으로 판단되며, 믹서트럭의 경우 타설 슬럼프는 콘크리트 배출이 가능한 범위에서 낮은 범위인 슬럼프 8~10cm를 목표로 하였으며, 덤프트럭의 경우 수송시 콘크리트 누출을 방지하기 위해 3~5cm를 목표로 하였다.

3. 사용재료 및 실험계획

3.1 사용 재료

결합재는 조강시멘트와 당사에서 개발한 조강혼화재를 사용하였으며, 비교 조건으로 보통시멘트와

조강시멘트를 단독으로 사용하는 조건에 대해서도 시험하였다. 조강시멘트는 보통시멘트에 비해 경우 보통시멘트에 비해 초기 수화활성이 커서 응결시간이 빠르고 초기 강도발현이 우수한 특성을 가지고 있다. 조강시멘트 물리성능은 표 2와 같다.

당사에서 개발된 조강혼화제는 시멘트의 성분 중 C₃A와 C₃S 광물의 수화반응을 촉진하여 조강시멘트의 강도발현을 촉진하게 된다. 조강혼화제는 회백색의 분말로 분말도는 Blaine 5,000~6,000cm²/g 이다.

유기혼화제는 시험실적 검토를 통해 작업성 유지성능과 초기 강도발현을 모두 만족하는 지연형의 고성능AE감수제를 제조하여 사용하였으며, 굵은골재의 최대크기는 타설 두께를 고려하여 19mm로 하였다.

표 2 조강시멘트의 물리적 특성

| 구분 | Blaine (cm ² /g) | 응결 | | 압축강도 (kgf/cm ²) | | | |
|-------|--------------------------------|---------|---------|-----------------------------|-----|-----|------|
| | | 초결(min) | 종결(h:m) | 1 일 | 3 일 | 7 일 | 28 일 |
| 조강시멘트 | 4520 | 200 | 5 : 05 | 162 | 318 | 409 | 489 |

3.2 배치플랜트 생산시험

개발된 재료 및 콘크리트 배합의 특성평가를 위해 배치 플랜트에서 생산 시험을 실시하고 적정 콘크리트 배합조건을 선정하고자 하였다.

시험은 경기도 이천시의 T 공장 구내에서 실시하였으며, 믹서트럭 및 덤프트럭에 의한 콘크리트 운송조건을 가정하여 콘크리트 생산 후 50분까지의 슬럼프, 공기량 경시변화를 측정하고, 경화 콘크리트의 특성 및 내구성을 평가하였다. 믹서트럭 및 덤프트럭 운송의 콘크리트 배합조건은 표 3과 같다.

표 3 콘크리트 배합조건

| 구분 | 배합조건 | | 단위재료량(kg/m ³) | | | | | | |
|------|--------|--------|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| | W/C(%) | S/a(%) | B | W | S | G | F | SP | AE |
| 믹서트럭 | 40.0 | 45 | 431.2 | 176 | 740 | 936 | 17.6 | 13.2 | 0.528 |
| 덤프트럭 | 38.6 | 45 | 411.6 | 162 | 764 | 966 | 16.8 | 12.6 | 1.411 |

3.3 시험시공

시험시공 구간은 경기도 이천시 영동고속도로 선형개량 사업에 따른 폐도 구간으로 시험시공 구간의 총 길이는 210m, 폭 3.6m이며, 타설량은 80m³이다.

배치플랜트에서 현장까지 운반시간은 약 30분이 소요되었으며, 믹서트럭의 1대당 수송량은 6m³로 하였고, 덤프트럭은 4~5m³로 하였으며, 타설 소요시간은 10~15분이었다.

콘크리트 배합조건은 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 배합조건

| 구분 | 배합조건 | | 단위재료량(kg/m ³) | | | | | | |
|------|--------|--------|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|
| | W/C(%) | S/a(%) | C | W | S | G | F | SP | AE |
| 믹서트럭 | 38.2 | 45 | 431 | 168 | 749 | 947 | 17.6 | 13.2 | 0.088 |
| 덤프트럭 | 38.1 | 45 | 412 | 160 | 766 | 969 | 16.8 | 12.6 | 0.105 |

콘크리트 생산시 슬럼프는 믹서트럭의 경우 운반중 지속적인 콘크리트 혼합이 이루어지므로 슬럼프 경시변화가 적고 또한 수송 시간이 30분 내외로 짧으므로 슬럼프 로스가 적어 생산시 슬럼프는 타설 목표 슬럼프와 비슷한 정도인 10cm 내외가 되도록 배치플랜트 생산시험의 배합에 비해 단위수량을 낮게 하였다.

덤프트럭 수송의 경우 운반시 콘크리트슬럼프 경시변화가 약 1시간 까지 5cm 내외로 크므로 이를 고려하여 생산시 슬럼프를 약 10cm 내외로 하였다. 덤프 트럭 운반시 콘크리트의 슬럼프가 과다할 경우 콘크리트 누출 및 재료분리의 우려가 있으므로 슬럼프를 크게 할 수 없으며, 따라서 믹서트럭 운송에 비해 슬럼프 로스가 큰 재료는 사용이 곤란하며, 콘크리트 누설, 재료분리가 없도록 하기 위해서는 슬럼프 12~14cm 이하로 하여야 할 것으로 판단된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 배치플랜트 생산시험

신속개통형 Whitetopping 포장재료의 배치플랜트 생산시험 결과는 표 5과 그림 1 ~ 그림 4와 같다.

표 5 배치플랜트 생산시험 콘크리트 물성평가 결과

| 구분 | 목표 Slump | 슬럼프(cm) | | | 공기량(%) | | | 압축강도(N/mm ²) | | | 휨강도(N/mm ²) | | |
|----|-------------|---------|-----|-----|--------|-----|-----|--------------------------|------|------|-------------------------|-----|-----|
| | | 초기 | 30분 | 50분 | 초기 | 30분 | 50분 | 1일 | 2일 | 28일 | 1일 | 2일 | 28일 |
| 믹서 | 8~10 | 14.5 | 9.5 | 9.5 | 3.0 | 3.7 | 2.4 | 42.9 | 47.5 | 69.7 | 5.3 | 5.2 | 8.0 |
| 덤프 | 3~5 | 9.0 | 7.5 | 5.5 | 5.7 | 2.0 | 2.0 | 39.2 | 47.6 | 62.9 | 5.5 | 5.2 | 8.3 |

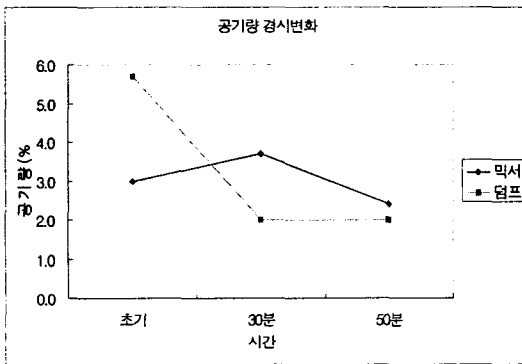


그림 1 공기량 경시변화

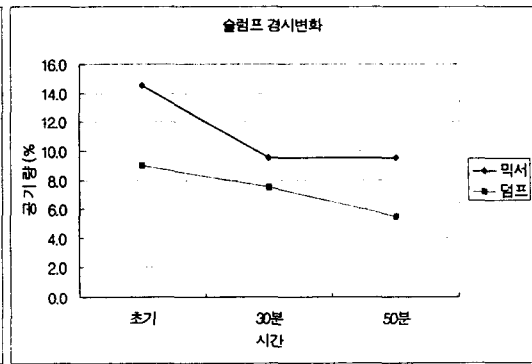


그림 2 슬럼프 경시변화

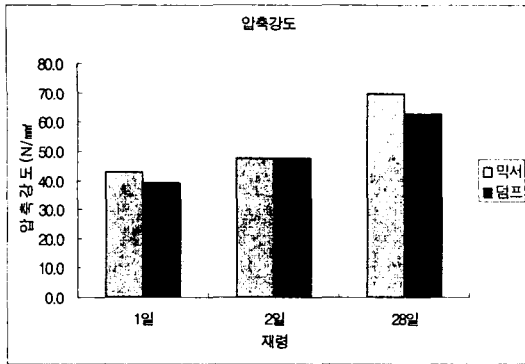


그림 3 재령별 압축강도 시험결과

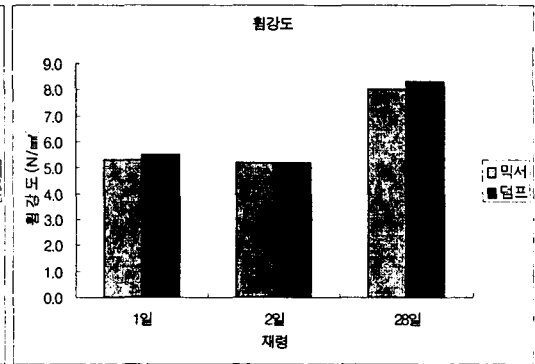


그림 4 재령별 휨강도 시험결과

믹서트럭 운송 조건의 경우 생산시 슬럼프가 14.5cm로 다소 높게 생산되었으며, 이후 30분 슬럼프 경시변화 측정결과 슬럼프 로스는 약 5cm로 50분까지 동일 정도의 슬럼프를 유지하였다. Whitetopping 기계시공의 경우 믹서트럭으로 운송하는 콘크리트의 적정 타설 슬럼프는 약 8cm 내외인 것으로 판단되며, 따라서 초기 슬럼프는 10~12cm가 적절한 것으로 판단된다.

덤프트럭 운송의 경우 적정 타설 슬럼프는 5cm 내외로 판단되며, 초기 슬럼프가 9cm인 경우 50분에 5.5cm를 나타내 운반 및 타설에 소요되는 시간을 고려할 경우 적정 생산 슬럼프로 설정한 8~10cm가 적절한 것으로 판단된다. 그러나 현장 적용시 콘크리트의 슬럼프는 운반시간, 기온 및 시멘트, 혼화제, 골재 등의 재료 변동 등 다양한 요인에 의해 경시변화 경향이 달라질 수 있으므로 타설 초기에 적정 생산 슬럼프를 설정하는 것이 필요하다.

압축강도 및 휨강도 시험결과 강도발현은 운반조건에 따라 큰 차이는 없으며, 1일에 압축강도 약 39N/mm² 이상, 휨강도 5.0N/mm² 이상으로 교통개방에 문제가 없는 수준으로 목표 배합강도를 크게 상회하는 수준의 강도발현을 나타내었다. 28일 강도 또한 압축강도 60N/mm² 이상, 휨강도 80N/mm² 이상의 고강도성을 나타내었다. 일반 콘크리트 신설포장에 비해 슬래브의 두께가 작은 whitetopping의 경우 하중의 지지를 위해서는 고강도 콘크리트의 적용이 필요하며 따라서 본 시공법에 적용이 용이한 콘크리트로 판단된다.

4.2 시험시공

속경성 whitetopping 포장의 물성시험 결과는 표 6과 같다.

표 6 시험시공 콘크리트 물성평가 결과

| 구분 | 목표 Slump | 슬럼프(cm) | | 공기량(%) | | 압축강도(kg/cm²) | | | | 휨강도(kg/cm²) | | | |
|------|----------|---------|------|--------|-----|--------------|------|------|-----|-------------|-----|-----|-----|
| | | 생산 | 타설 | 생산 | 타설 | 18Hr | 1일 | 2일 | 28일 | 18Hr | 1일 | 2일 | 28일 |
| 믹서트럭 | 8~10 | 12~15 | 9~14 | 5.2 | 4.9 | 23.5 | 31.4 | 35.7 | | 4.2 | 5.4 | 5.8 | |
| 덤프트럭 | 3~5 | 12.0 | 7.0 | 5.2 | 3.4 | - | - | - | - | - | - | - | - |

믹서트럭 운송의 경우 믹서트럭에서의 배출을 고려하여 타설 슬럼프를 10cm 내외로 하고자 하였으나 장마로 인한 골재의 표면수 변동으로 인해 9~14cm로 슬럼프 변동이 심하였다. 생산 후 현장 타설까지 소요된 시간은 약 30분으로 슬럼프 로스는 거의 없었으며, 타설 슬럼프도 비슷한 정도로 유지되었다.

타설 슬럼프가 12cm 이상인 경우 paver의 진동 다짐에 의해 재료분리의 경향이 크게 나타났으며, 특히 타설 부위가 경사구간으로 바이브레이터의 진동에 의해 굽은골재와 모르터의 분리가 심하게 나타났으며, 표면 평탄성 또한 불량하였다. 슬럼프가 9cm인 경우는 진동에 의한 재료분리의 문제는 없었으며, 평탄성 또한 우수하였다.

일반적으로 slipform paver에 의한 콘크리트 포장의 경우 타설 슬럼프를 3~5cm의 범위로 하고 있으나, whitetopping의 경우 일반 콘크리트 포장에 비해 슬래브의 두께가 작고 기존 아스팔트 포장을 절삭한 후 채워 넣는 방식으로 시공이 이루어지며, 또한 콘크리트의 부착 및 다짐을 고려하면 슬럼프 8cm 내외의 콘크리트도 타설에 문제가 없는 것으로 판단된다.

덤프트럭은 일반적인 콘크리트 포장에서 slipform paver를 이용하여 콘크리트를 수송하는 경우 사용된다. whitetopping의 경우에서도 slipform paver를 이용하여 시공하는 경우 덤프트럭에 의한 낮은 슬럼프의 콘크리트 수송이 가능하며, 이 경우 운반 중에 콘크리트의 누출을 방지하기 위해서는 타설 슬럼프 약 3cm 이상의 확보가 가능한 범위에서 낮은 슬럼프의 콘크리트가 적당하다.

시험시공에서는 초기 슬럼프를 5cm이하로 생산한 경우 30분 후 슬럼프 로스로 인해 작업성 확보가 불가능하였으며, 슬럼프가 14cm인 경우 타설 슬럼프가 약 9cm로 타설에는 문제가 없었으나 운반시 재료분리의 경향이 나타나고, 블리딩수와 모르터의 누설이 발생하였다. 생산 슬럼프가 12cm 인 경우는 타설 슬럼프가 약 7cm 정도로 타설이 양호하게 이루어졌다. 따라서 향후 현장 적용시 슬럼프 로스를 고려하여 약 8~10cm 정도의 슬럼프로 생산이 이루어진다면 약 1시간까지 타설 슬럼프 3~5cm 조건을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

강도시험 결과 1일 이내에 교통개방이 가능한 수준으로 나타났다.

5. 결론

- (1) 본 연구에서 최종적으로 결정된 신속개통형 콘크리트 포장재의 배치 플랜트 생산시험 결과 Slipform Paver를 이용하여 콘크리트 덧씌우기 포장을 하는 경우 덤프트럭 및 믹서트럭에 의한 콘크리트 수송이 모두 가능하였다.
 - (2) 배치플랜트에서 생산 후 1시간까지 슬럼프 로스 약 5cm 이내로 나타났으며, 덤프트럭에 비해 믹서트럭의 경우 슬럼프 로스가 적게 나타났으며, Slipform Paver를 이용한 적정 타설 슬럼프는 3~8cm 정도인 것으로 판단되며, 도로의 구배, 시공 방법에 따라 슬럼프가 조정되어야 할 것으로 판단된다.
 - (3) 본 시험에서 사용한 콘크리트는 1일 압축강도 30N/mm² 이상, 휨강도 5.0N/mm² 이상으로 타설 후 1일 이내에 교통개방이 가능하며, 대량의 아스팔트 및 콘크리트 도로의 보수에 적용이 가능할 것으로 판단된다.
 - (4) 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 도로 본선에의 적용을 추진하함으로써 실제 차량 하중이 가해지는 조건에서의 조기 교통개방 및 장기 공용성 평가를 추진할 계획이다.
- 본 과제는 건설교통부 '00년 산 학 연 공동연구개발사업 2차년 사업추진으로 수행된 것임을 알립니다.

참고문헌

1. 日本建設省土木研究所, 現場打ち超早強コンクリートの實用化する共同研究報告書, 1992.3.
2. 콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구 III, 한국도로공사, 1997.
3. RILEM, Admixtures for Concrete Improvement of Properties, 1990.
4. 薄層付着型 ホワイトトツピング工法に 關する 調査研究, 일본 시멘트협회, 2001.12.