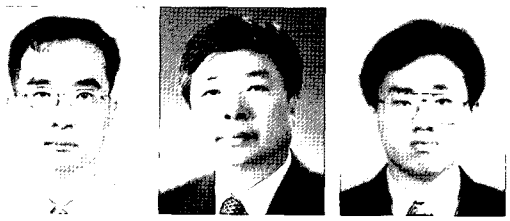
화이트타핑:신속한 교통개방이 가능한 콘크리트 덧씌우기 공법



조 윤 호 | 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 부교수
강 장 환 | 정회원 · 강릉지방국도유지건설사무소장(도로및공항기술사)
김 지 원 | 정회원 · (주)토탈페이브시스템 대표이사

1. 서 론

국내 도로 총 연장은 2003년 말을 기준으로 약 97,253km에 달하고 있으며 총 연장의 77%가 포장도로로 이루어져 있다. 이중에서 아스팔트 포장은 고속국도의 40%, 일반국도의 90% 이상을 차지하는 등 콘크리트 포장에 비해 보편화되어 있다. 그러나 아스팔트 포장은 점탄성 거동을 보이는 재료적인 특성상 고온과 정지하중에 취약하여 대부분의 포장 파손이 소성변형(Rutting)과 균열의 형태로 나타난다. 소성변형 및 균열에 의한 파손은 특히 도심지의 교차로, 상습 정체 구간, 중차량의 통행이 잦은 구간, 오르막 차로 등에서 다양하게 발생하고 있다. 이러한 소성변형에 따른 포장 파손 문제를 저감하기 위하여 건설교통부에서는 한국형 포장설계법 개발 및 포장성능 개선방안 연구를 통하여 새로운 배합설계 지침을 개발하는 등 다각도의 노력을 기울이고 있다. 또한, 아스팔트 생산 업계에서도 개질재를 사용하는 등 아스팔트 혼합물의 품질을 개선하기 위한 노력을 기울이고 있다.

소성변형 및 균열에 의한 파손 문제는 개질재 적용 및 혼합물의 품질 개선을 통하여 대부분 억제가 가능하다. 그러나 교차로 및 상습 정체 구간, 중차량의 통행이 잦은 산업단지 내 도로와 같은 특이 지역에서 발생하는 파손 문제는 여전히 해결하기 어려운 실정이다. 이와 같은 문제를 원천적으로 해결할 수 있는 방안으로서 소성변형의 문제가 전혀 없고 내구성은 아스팔트포장에 비하여 훨씬 우수한 시멘트 콘크리트포장을 적용하는 것이다. 그러나 일반적으로 시멘트 콘크리트는 양생에 28일 이상의 시간이 필요하여 기존 도로의 유지보수에 적용하기는 교통여건상 상대적으로 어려웠다. 본 논문에서 소개하는 화이트타핑(Whitetopping) 공법은 28일 이상의 양생시간이 필요한 시멘트 콘크리트포장의 단점을 극복하여 아스팔트 포장과 같이 단시간 내에 교통개방이 가능한 새로운 개념의 유지보수 공법이다.

2. 화이트타핑의 정의

화이트타핑(Whitetopping)은 영어의 어원 그대로 하얀색으로 덮는다는 의미이다. 이는 기존 아스팔트 포장에서 발생하는 주된 파손 형태인 소성변형 및 균열이 빈발하는 구간의 아스팔트 포장을 시멘트

콘크리트로 덧씌우기를 한다는 의미이다. 화이트타핑은 두께에 따라서 박층 화이트타핑(Ultra-thin Whitetopping:5~10cm), 얇은 화이트타핑(Thin Whitetopping:10~20cm), 화이트타핑 (Whitetopping: 20cm 이상)으로 구분할 수 있다. 두께의 구분은 목적에 따라서 이루어지는데, 단순히 평탄성의 증진을 위한 경우에는 박층 화이트타핑을 시공하고, 교통하중에 의하여 아스팔트 포장의 파손이 심각한 지역은 두꺼운 화이트타핑을 시공하는 것이 일반적이다(건설교통부 2004, 강장환 2004). 화이트타핑은 두께에 의한 구분 이외에도 사용하는 콘크리트의 종류에 따른 구분이 가능하다. 조강시멘트(3종)를 사용하여 양생을 촉진시킴으로서 조기 강도발현이 가능하도록 만든 조기 교통개방형(Fast Track) 개념의 화이트타핑과 1종 시멘트를 사용하여 양생기간이 필요한 개념의 화이트타핑으로 구분할 수 있다.

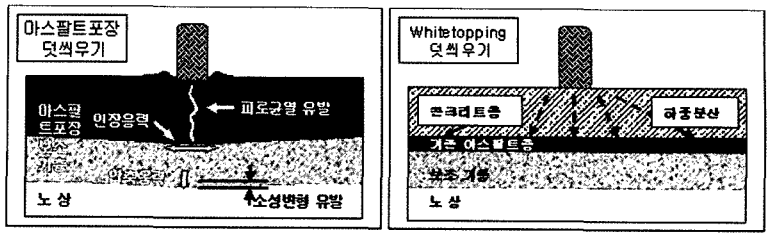


그림 1. 아스팔트 덧씌우기와 화이트타핑의 기본 원리

본 논문에서 소개하고자 하는 화이트타핑 공법은 외국의 시공사례를 검토한 뒤 국내 실정에 맞도록 개량한 한국형 화이트타핑 공법으로서 두께가 15~20cm이며 조기교통개방이 가능한 공법이다. 현재는 3종 조강시멘트를 사용하고 있으며, 여기에 급결제를 추가하여 조기 강도 발현 속도를 더 빨리 하고 있다. 그리고 구조물이 많은 우리나라의 도로 특성을 반영하여 기존 아스팔트 포장을 절삭한 뒤에 시공하는 개념으로 범위를 좁혔다. 본 공법은 중앙대학교가 주관이 된 산학연 연구팀에 의해 개량이 되었으며, 다수의 연구논문을 바탕으로 현재 국내 특허 출원을 완료하였고, 건설신기술 468호로 지정되었다.

화이트타핑의 목적은 아스팔트 포장의 파손이 빈발하는 특이 구간에 내구성이 높은 시멘트 콘크리트 포장을 시공하여 유지보수의 필요성을 저감하는 데 있다. 화이트타핑의 기본 원리는 그림 1에 나타난 바와 같이 교통하중에 의하여 발생하는 아스팔트층 내부의 압축 및 인장응력에 의하여 발생하는 소성변형 및 균열에 의한 파손을 콘크리트 포장의 하중 분산 원리에 의하여 억제하는 개념이다. 외국의 사례를 보면 일반적으로 화이트타핑의 수명은 10~20년으로 중차량이 많아서 매년 유지보수를 수행하고 2년 이내의 빈도로 5cm 아스팔트 덧씌우기를 하는 특이 구간의 경우에는 화이트타핑의 경제성이 월등하다.

화이트타핑은 그림 2와 같이 파손이 발생한 기존 아스팔트 포장을 절삭하고 그 공간에 콘크리트를 채우는 개념(In-lay)으로 시공한다. 이런 경우 거푸집이 필요 없고 시공 후 도로 노면의 레벨이 상승하지 않아 유리하다. 아스팔트 포장의 두께가 30cm 이상인 국도의 경우 상부 약 15cm를 절삭한 뒤에 청소를 깨끗이 하고 콘크리트 슬래브를 포설하면 콘크리트 슬래브는 아스팔트의 절삭면과 부착되어 일체 거동을 하게 된다(장진연 외 2003). 이럴 경우 콘크리트 슬래브의 두께를 절감할 수 있다. 시공 과정에서 콘크리트와 기존 아스팔트의 완전한 부착을 위하여 절삭면에 물결무늬가 생기도록 기존 아스팔트 포장을 절삭한다. 그리고 아스팔트 포장과의 경계부위에서는 아스팔트 포장 단부의 소성변형 발생으로 슬래브와의 경계면에서 단차에 의한 슬래브 파손 우려를 저감하기 위하여 약 5cm 정도를 더 두껍게 시공한다.

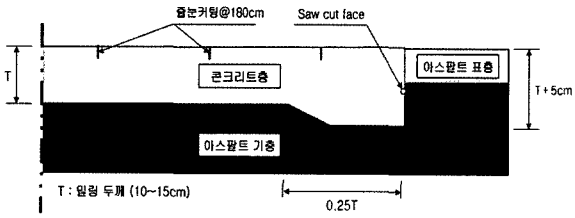


그림 2. 화이트타핑의 개념

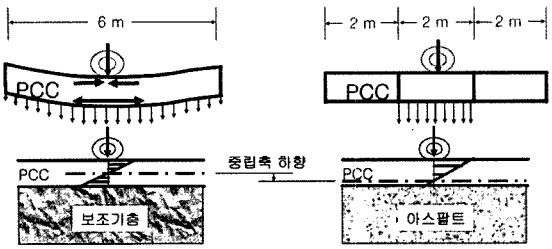


그림 3. 일반 콘크리트포장과 화이트타핑의 차이점

화이트타핑 공법이 일반 콘크리트 포장과 다른 점은 그림 3과 같다. 일반 콘크리트 포장은 줄눈의 간격이 6m이고 슬래브와 하부층 사이에 필름으로 분리막을 형성한다. 이럴 경우 콘크리트 슬래브 내부에서 압축응력과 인장응력이 동시에 존재하고, 슬래브의 휨거동에 의하여 발생하는 중립축은 슬래브의 중간 정도 두께에 위치한다. 그러나 화이트타핑은 줄눈간격을 슬래브 두께의 12~15배(약 2m 전후)로 유지할 경우 줄눈 간격이 짧아져서 상대적으로 휨거동이 적게 발생하고, 발생할 경우에도 기존 아스팔트 포장과의 부착으로 인하여 콘크리트 슬래브 내부에는 인장응력이 거의 발생하지 않는다 (건설교통부 2004). 즉 아스팔트 포장과의 일체 거동으로 인하여 중립축이 하강하기 때문이다. 이와 같은 원리로 인하여 콘크리트 슬래브의 두께가 얇지만, 내구성은 오히려 더 높아지는 공법이라 할 수 있다.

3. 화이트타핑용 콘크리트 배합 및 품질관리

화이트타핑은 신속한 교통의 개방이 가능하도록 콘크리트의 강도가 조기에 발현되도록 배합을 조정하여야 한다. 이를 위하여 기본적으로 조강시멘트를 사용하며 물/시멘트비가 30% 전후로 낮춰진 배합을 사용한다. 그러나 조강시멘트를 사용하여도 충분한 강도발현을 위해서는 일반적으로 72시간 정도가 필요하므로, 강도발현을 더 촉진시켜 12시간 이내의 양생만으로 소요강도인 300kgf/cm²를 달성하기 위해 급결제를 사용한다. 물/시멘트 비가 낮은 콘크리트에서 슬럼프의 경시변화를 줄이고 포설이 용이하도록 유도하기 위하여 고성능 감수제를 배합에 첨가한다. 이러한 특수배합을 사용하므로 기온이 높아 양생에 유리한 여름철에는 8시간의 양생만으로도 교통개방이 가능하다. 현재 시공 사례 기준으로 보면 포설 이후 교통개방 시간이 가장 짧은 사례는 6시간 30분이다. 그러나 일반적으로 안전을 고려하여 9시간 이후에 교통을 개방하고 있다.

화이트타핑에 사용하는 특수 배합용 콘크리트는 양생을 촉진시키고 양호한 품질을 유지하기 위하여 포설 후 초결이 생기고 수화반응이 시작되는 시점에서 비닐과 양생포를 덮어서 양생을 관리한다. 여름철에 시공할 경우 비닐을 덮으면 표면에서 증발하는 수분의 손실을 막아주어 미세균열의 발생을 억제할 수 있다. 이와 같은 품질관리를 통하여 고강도의 내구성이 높은 콘크리트 슬래브를 얻을 수 있다. 콘크리트의 강도를 추정하여 교통개방 및 줄눈 커팅 시점을 결정하기 위하여 포설 과정에서 공시체를 제작하여 양생 시간별로 압축강도를 측정하고 슬래브 내부에 온도계를 매설하여 성숙도를 측정한다. 이와 같은 품질관리 방법은 그림 4에 나타나 있다.

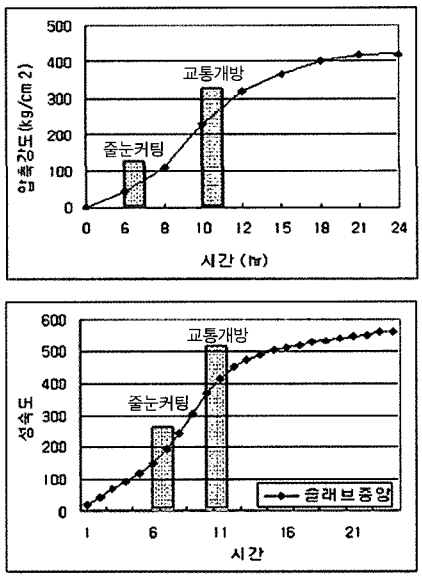


그림 4. 압축강도와 성숙도를 이용한 줄눈 커팅 및 교통개방 시점 확인

4. 화이트타핑 공법의 적용 범위

화이트타핑 공법은 일반 아스팔트 덧씌우기에 비하여 고가의 공법이므로 빈번한 파손이 발생하는 구간 위주로 적용하는 것이 바람직하다. 그림 5는 화이트타핑의 적용이 가능한 대표적인 사례들을 보여준다. 제철, 화학, 시멘트 등 중차량의 통행빈도가 높은 산업단지 인근 지역, 교차로 정체구간, 버스정류장, 버스전용차로, 상습 정체 구역 등에 적용이 가능하다. 현재 서울시, 경기도, 대전시 등 광역자치단체를 중심으로 BRT(Bus Rapid Transit)망을 구축하고 있다. 붉은색 컬러 아스팔트 포장이 현재 대부분의 구간에서 적용되고 있는데, 소성변형, 균열, 미끄럼 저항성 상실 등 다양한 문제를 내포하고 있다.

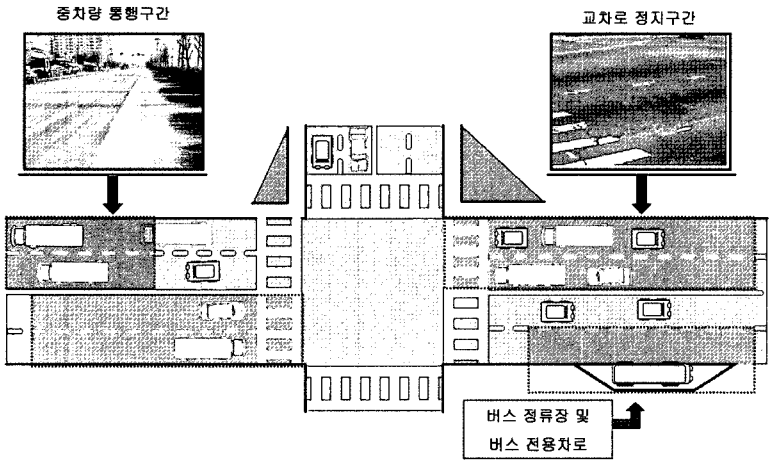


그림 5. 화이트타핑 공법의 적용 범위

표 1. 화이트타핑과 아스파트 덧씌우기의 특징 비교

구 분	화 이 트 타 핑	아스팔트 덧씌우기
내구성	- 유지보수 빈도의 감소 - 계절에 따른 재료물성의 변화가 적음 - 소성변형에 의한 영향이 적어 공용수명 증가 - 초기 평탄성의 지속적 유지 - 국부적인 파손 발생시 유지보수 시간이 아스팔트 포장보다 다소 길게 소요됨 (약 3시간)	- 잦은 유지보수 및 덧씌우기 필요 - 여름철 포장표면의 온도상승과 중차량 하중으로 인한 소성변형 발생으로 공용수명 저하 - 기존 포장층 위에 덧씌우기로 인한 반사균열 발생 - 국부적인 파손에 대한 유지보수 간편 (약 1시간)
주 행 안전성	- 표면의 타이닝으로 인한 마찰력 증가로 주행 안전성 확보 - 콘크리트포장의 높은 반사율로 인한 야간운전의 안전성 확보	- 아스팔트 포장 표면의 소성변형 및 피로균열의 발생으로 평탄성 저하 - 소성변형으로 인한 도로의 패임으로 우천시 수막현상이 발생하여 주행안전성 저하 - 소음이 다소 적게 발생
시공성	- 배합설계에 따른 콘크리트 강도의 조기발현으로 24시간 이내 교통개방 가능	- 밀링과 덧씌우기가 동시에 이루어져 15시간 내에 교통개방 가능
경제성	- 초기시공비가 고가이나 유지보수비가 저렴하고 공용수명이 길어 생애주기비용 관점에서 경제적임	- 초기시공비가 저렴하나 잦은 유지보수와 덧씌우기로 인한 경제적 손실이 크게 발생

이와 같은 구간에 화이트타핑을 적용할 경우 상당한 효과를 얻을 수 있으리라 사료된다.

현재 도심지 구간 및 국도 일부 교차로의 경우 매년 1~2회씩 소성변형 발생구간의 노면을 절삭해주고, 1~2년 빈도로 5cm 덧씌우기를 반복적으로 수행하는 구간들이 상당히 많다. 특히 일 교통량이 편도 2차로 기준으로 20,000대를 초과하며 버스 및 화물차량의 비율이 높은 도시지역은 대부분 유지보수의 빈도가 높다. 그러므로 광역시의 주요 교차로와 정체가 심한 도시고속화도로, 국도 주요구간 등은 본 공법의 적용이 반드시 필요한 지역이라 판단할 수 있다. 또한 포항 및 광양제철소 인근, 울산 및 여수산업단지, 강원도 삼척, 단양, 영월 등 시멘트 공업지역 등 산업단지에도 아스팔트 포장의 보수 빈도가 높은 지역이 많다. 이런 곳은 과적차량의 빈도가 높아 교차로 이외의 구간에서도 소성변형 발생빈도가 상당히 높은 편이다. 이와 같은 지역에서도 화이트타핑의 적용으로 유지보수 빈도를 현저히 줄여줄 수 있다. 표 1은 화이트타핑과 아스팔트 덧씌우기의 장단점을 다양한 측면에서 보여준다.

5. 화이트타핑 시공 방법

화이트타핑의 시공 순서는 아래 그림 6과 같다. 먼저 교통을 차단한 뒤 아스팔트포장을 절삭한다. 절삭이 완료된 이후에는 브러시가 장착된 밥캣과 에어 컴프레서를 이용하여 절삭면에 남아있는 부스러기를 모두 제거한다. 그 이후에 콘크리트 포장장비인 슬립폼페이버(Slip Form Paver)를 사용하여 콘크리트 슬래브를 포설한다. 다음으로 미끄럼 저항성을 증진하기 위하여 콘크리트 슬래브의 표면에 타이닝을 그어준다. 양생이 진행되는 과정에 줄눈을 커팅하고 청소작업을 마무리한 뒤에 교통을 개방한다. 이와 같은 일련의 작업은 모두 15시간 이내에 이루어지는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 대기온도 등

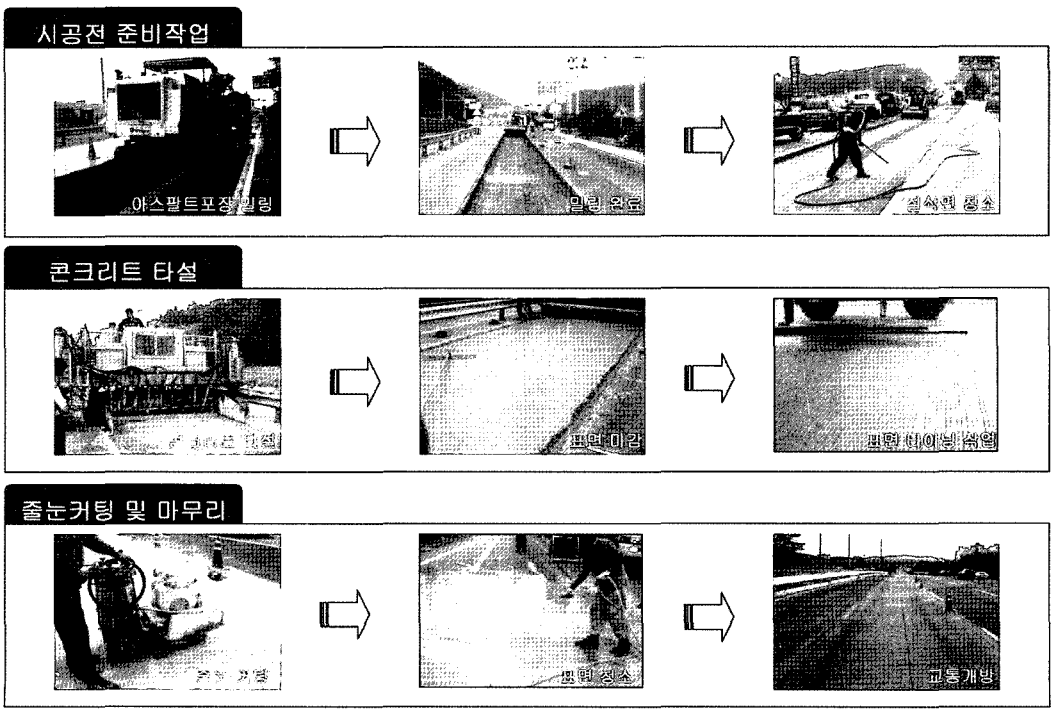


그림 6. 화이트타핑 시공 순서

양생조건이 열악한 경우에는 교통개방이 약간 지연될 수도 있다. 시공을 효율적으로 수행하기 위하여 노면절삭이 약 40% 가량 이루어진 시점에서 포장작업을 개시한다. 교통량이 많은 도심지 구간의 경우 시공을 야간에 하여 교통 정체를 최소화할 수도 있다.

6. 화이트타핑 시공 실적

현재까지 화이트타핑은 연구과정 중인 2002년 7월에 한국도로공사의 덕평 폐도 구간에 시험시공을 수행한 것을 시작으로 실제로 공용중인 국도구간 4곳과 지방도 2곳에 시공을 완료하였다. 총 6회의 시공을 통하여 기술 개발은 모두 완료된 상태이다. 시공 위치와 발주처, 시공 연장 등은 다음 표 2에 나타나있다. 시공 실적 중 순천국도 17호선 월전교차로의 경우는 국내에서 국도 교통량 조사 결과 등가단축하중 기준으로 교통량이 가장 많은 곳으로서 매년 유지보수 및 덧씌우기가 이루어지던 구간이다. 공사 과정에서는 교통 통제로 많은 어려움이 있었지만, 지금은 유지보수 없이 양호한 공용성을 나타내고 있다.

표 2에 나타난 시공 사례는 한 곳을 제외하고는 모두 순천 지방에 편중되어 있는데, 이는 산업단지로 인하여 여수, 순천, 광양 지방이 아스팔트포장의 파손 문제가 심각한 곳이기 때문이다. 2003년 8월에 국도에 처음 시공한 것을 시작으로 도로 유지관리 주체들의 필요성에 의하여 시공이 결정되었다. 현재에도 광양시와 순천시에서 추가적인 시공을 검토하고 있다.

아래 그림 7은 월전교차로와 덕례교차로의 시공 후 공용 상태를 보여준다. 여수 산업단지로부터 유발되는 중차량의 하중에도 이상 없는 성능을 보여주고 있다. 아래 두 시공 사례는 국내에서 시공된 화이트타핑의 첫 번째 상업화 사례로서 앞으로 공용수명을 판단하기 위하여 지속적인 관찰이 이루어질 예정

표 2. 화이트타핑 시공 실적

시공시기	발 주 처	노 선 명	포장연장
2002. 7	시험 시공	덕평 폐도	1차선 300m
2003. 8	순천국도유지건설사무소	순천국도 2호선 덕례교차로	1차선 200m
2003. 8	순천국도유지건설사무소	순천국도 17호선 월전교차로	1차선 200m
2004. 8	순천국도유지건설사무소	순천국도 2호선 금치교차로	1차선 400m
2004. 8	예산국도유지건설사무소	예산국도 34호선 공세교차로	1차선 350m
2005. 6	순천시	청암대학교 3거리	1차선 220m
2005. 6	순천시	여성복지회관 앞 4거리	1차선 200m

그림 7. 월전교차로(왼쪽)과 덕례교차로 시공 후 전경

이다. 2005년 이후에는 국도 이외에도 아스팔트 포장의 파손문제가 심각한 지방자치단체에 공법의 보급을 위하여 힘쓸 예정이다.

7. 결 론

화이트타핑은 건설교통부 산학연 연구과제를 통하여 개발된 공법으로서 현재 신기술로 지정 및 특허 출원 중이며, 이미 4건의 상업화 시공을 성공리에 완수하였다. 도심지 교차로, 상습 정체 구역, 산업단지 인근 도로 등 소성변형 및 균열에 의한 아스팔트 포장의 파손이 빈번한 곳에 적용할 수 있는 유지보수 공법이다. 내구성이 높은 시멘트 콘크리트 포장을 적용함으로서 아스팔트 포장의 단점인 소성변형 및 균열에 의한 파손을 최소화할 수 있는 신공법이다. 화이트타핑은 초기 공사비 측면에서는 아스팔트 덧씌우기보다 고가이지만, 유지보수 빈도를 현저히 줄여줌으로서 장기적인 생애주기비용 측면에서 더 유리한 보수 공법이라 할 수 있다.

아스팔트 포장의 다양한 기술 개선에도 불구하고 중차량 및 정지 하중에 의한 파손이 심각한 특이 구간에 대하여 적용할 경우 우수한 성능을 발휘할 수 있는 공법이다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2004, "중하중 교통 도로의 신속개방형 대보수 및 덧씌우기용 고성능 강성 포장 재료의 설계 및 시공기술 개발", 산학연 공동연구개발사업 최종보고서, R&D / 지정31-01.
2. 강장환, 2004, "Whitetopping의 국내적용을 위한 시험포장과 공용성 평가", 중앙대학교 건설환경공학과 박사학위 논문.
3. 장진연, 엄태선, 엄주용, 조윤호, 2003, "일반국도 Whitetopping 시험시공 공용성 평가", 2003 학술발표회 논문집, 한국도로포장공학회, pp. 121~124.

학회지 광고접수 안내

본 학회지에 게재할 광고를 모집합니다. 우리 학회지는 계간으로 매회 1,800부를 발간하여 회원과 건설관련 기관에 배포하고 있습니다. 회사 영업신장과 이미지 제고를 원하시는 업체는 우리 학회지를 이용하시기 바랍니다.

광고료 : 표 2, 표 4(300만원)
표 3, 간지(200만원)
※ 상기금액은 연간(4회)광고료임.

사단법인 **한국도로학회**
전화 (02) 558-7147 전송 (02)558-7149