

소입경 골재노출공법의 실용화를 위한 장비의 개발

Research on Practical Exposed Aggregate in PCC Pavements Equipment Development

최돈화* · 김영규** · 김형배*** · 배재민**** · 이승우*****

Choi, Don Hwa · Kim, Young Kyu · Kim, Hyung Bae · Lee, Seung Woo

1. 서 론

산업의 발전과 인구의 집중, 국민의 생활수준 향상으로 교통수요는 증가되어 도로의 확장과 신설이 증가함에 따라 도로는 생활공간의 큰 비중을 차지하게 되었다. 도로가 생활중심으로 접근하면서 도로의 안전성 및 소음 등의 위협을 받게 되었다. 특히 우천 시 습윤 상태의 도로는 타이어와 포장 표면조직 사이의 수막현상이 발생되며 미끄럼저항이 감소되어 교통사고율이 높게 나타난다. 이를 위해 국내 콘크리트포장은 미끄럼저항 확보 및 우천 시 수막현상을 방지하기 위한 표면처리공법으로서 횡방향 타이닝을 주로 사용하고 있으나 미끄럼저항은 우수한 반면 타이어와 포장 표면조직 사이의 펄핑압으로 인한 소음이 크게 발생된다. 소음은 주행 시 운전자에게 피로감을 주어 교통사고의 직·간접적인 영향을 주며, 도로 주변 거주자에게는 스트레스, 불쾌감 및 불면증의 원인이 되기도 한다. 이에 대한 대책방안으로 도로 주변 주거 지역에 방음벽을 설치하고 있는 실정이나 도시 미관을 해치며, 고층건물에서는 소음저감효과가 감소되는 경향이 있다. 따라서 현재 국내의 경우 도로 이용자의 서비스 개선을 위하여 저소음 포장을 위한 콘크리트 표면처리 공법이 대두되고 있다.

저소음 콘크리트 표면처리공법 중 하나인 소입경 골재노출포장은 이미 유럽 및 일본등에서 연구되어 많이 사용되고 있다. 골재노출공법은 콘크리트포장 시공 시 포장 표면에 적정 응결지연제를 살포한 후 표면 모르타르를 제거하여 굵은 골재를 노출시킴으로서 표면조직을 형성하는 공법으로써 기존 포장의 강도 개선과 함께 적정 미끄럼저항성을 확보하면서도 콘크리트포장의 단점인 소음문제를 해결할 수 있는 최적의 저소음 표면처리 방안으로 판단되고 있다(이승우 외, 2006). 하지만 시공경험 및 시공장비가 개발된 국외와 달리 국내의 소입경 골재노출공법은 시공경험이 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 기존에 실험실에서 연구된 골재노출공법의 대규모 시공을 위하여 시공 장비를 제작하고자 한다. 이를 위해서 소입경 골재노출콘크리트포장에 대한 기존 강릉원주대학교 연구를 토대로 하여 소입경 골재노출 콘크리트 포장의 실용화하기 위한 지연제 분사장비 및 골재노출장비를 제작하였다. 또한 대전~당진간 고속도로 시험시공에 적용하여 시공성 및 기능성을 평가하고 공법의 실용화에 대한 가능성을 확인하고자 한다.

2. 소입경 골재노출공법에 관한 연구

2.1 소입경 골재노출공법의 개요

저소음 표면처리공법 중 하나인 소입경 골재노출콘크리트포장은 오스트리아에서 처음 개발되어 콘크리트

* 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정(E-mail : mynamedona@naver.com)

** 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정(E-mail : kingdom1980@nate.com)

*** 정희원 · 한국도로공사 도로교통연구원

**** 정희원 · 토탈페이브먼트시스템 과장(E-mail : boy2nice@nate.com)

***** 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사(E-mail : swl@gwnu.ac.kr)

포장의 소음을 감소 및 미끄럼 저항성 향상에 우수한 공법으로 평가되고 있다. 소입경 골재노출공법은 콘크리트 타설 직후 포장표면에 응결지연제를 살포하여 표면으로부터 깊이 2mm 정도의 모르타르 경화를 늦추게 한 후 표면의 모르타르 제거를 통해 굵은골재를 포장표면에 노출시키는 공법으로 타이어-노면 소음이 일반 콘크리트포장보다 4~5dB(A)정도 작으면서도 적절한 미끄럼저항을 장기간 유지한다는 장점을 가지고 있으나 국내의 경우 시공경험의 부족으로 인해 시공 시 많은 어려움이 따른다. 골재노출공법의 경우 소입경 골재노출공법의 시공공정은 그림 1과 같이 일반적인 콘크리트 포장공법과 다르게 추가적으로 지연제 분사 및 골재노출공정이 포함되어져 있다.

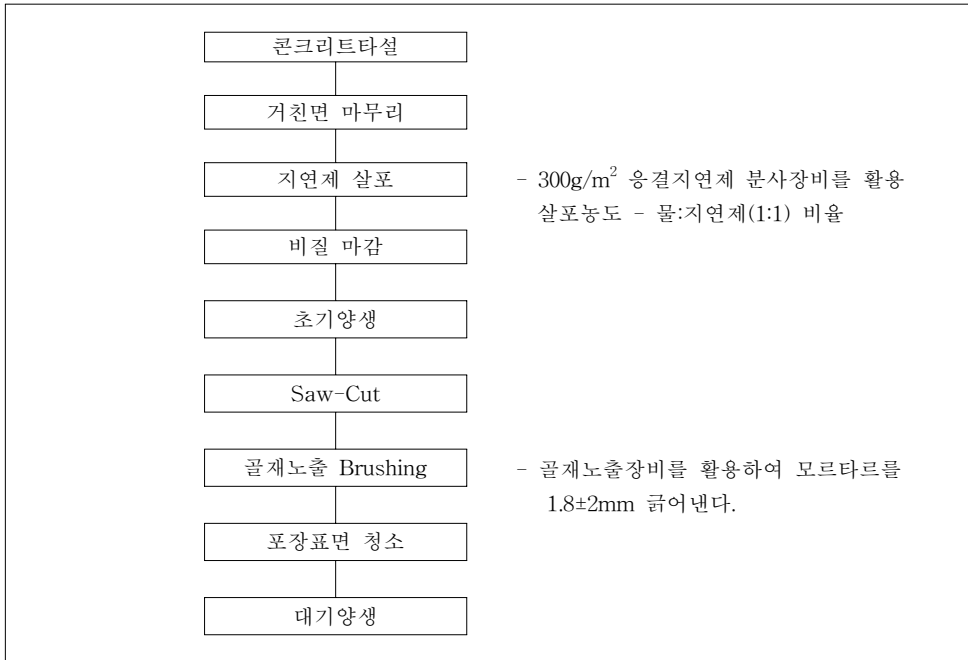


그림 1. 소입경 골재노출 공법의 시공공정

2.2 소입경 골재노출공법의 품질기준

소입경 골재노출공법은 국내·외 연구를 통하여 주행소음을 감소시키며 장기간 미끄럼 저항성을 유지하여 주행의 안전성을 확보할 수 있는 공법으로 효과적인 공법의 수행을 위해서는 우수한 표면조직의 형성이 매우 중요하다. 소입경 골재노출공법의 소음저감 및 미끄럼저항성 향상등 콘크리트 도로 포장의 기능성을 향상시키기 위한 연구는 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적배합 및 노출기법에 관한 강릉원주대학교의 연구를 토대로 표 1과 같이 품질기준을 제시하였으며, 본 연구에서는 시공 전 구간의 일정한 표면조직을 형성할 수 있는 장비의 개발을 통하여 시공성 뿐만 아니라 우수한 표면 조직을 형성하여 기능성 측면에서도 기준을 만족시킬 수 있는 대형골재노출장비 및 지연제 분사장비, 자주식 골재노출장비를 검증하고자 한다.

표 1. 저소음 및 미끄럼 저항 확보를 위한 품질관리 기준(강릉원주대)

소입경 골재노출 콘크리트 포장	굵은 골재 최대치수(mm)	관리 기준	기준값	시험법
	13mm	평균 조직깊이	1.8±2mm	Sand Patching 방법
		골재 노출도	30±5개/25cm ²	Peak법
		미끄럼저항값(BPN)	65이상	BPT 사용

3. 소입경 골재노출장비의 개발

3.1 지연제 분사 장비

소입경 골재노출공법의 시공을 위해서는 콘크리트 타설 후 포장표면에 균질하게 지연제를 살포하는 장비가 필요하다. 이를 위해 강릉원주대에서는 소입경 골재노출공법의 지연제 분사량 및 노출시기 산정에 대한 연구를(이승우 외, 2009) 통하여 이미 지연제의 살포량 및 살포농도에 대한 연구가 진행되었으며, 이를 토대로 소입경 골재노출공법의 지연제 분사장비를 개발하였다.

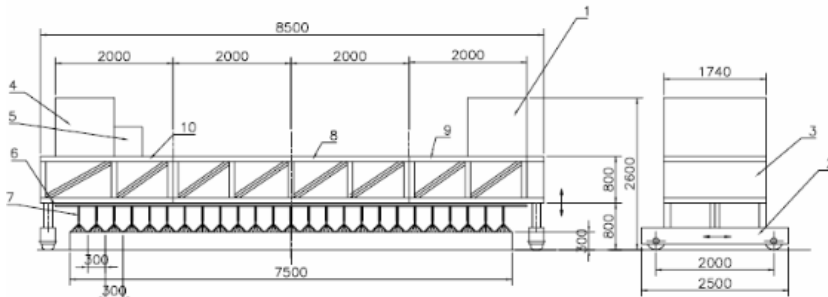


그림 2. 지연제 분사장비의 설계

특히 지연제 분사장비의 경우 장시간 동안의 구동속도 유지 및 균질성 있는 분사량을 가져야 한다. 또한 지연제의 점성으로 인한 장비 노즐의 막힘이 생기므로 유지보수 및 청소가 용이하도록 심플한 구조의 장비로 제작되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 그림 2와 같이 지연제 분사장비를 설계하였으며, 본 지연제 분사장비의 경우 1차로를 대상으로 제작된 장비로 2차로 시험시공시 변경이 가능하도록 하였다. 지연제 분사장비의 제원은 표 2와 같다.



a. 측면도(좌)

b. 정면도

c. 측면도(우)

그림 3. 지연제 분사장비

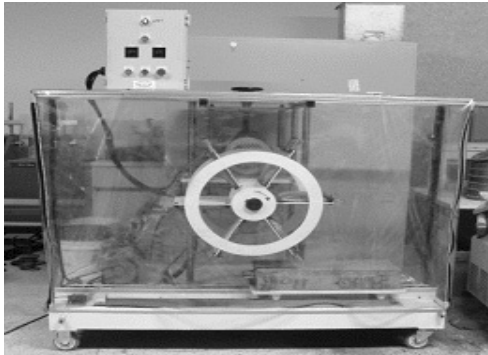
표 2. 응결지연제 분사장비의 제원

내 용	
구성	<ul style="list-style-type: none"> · 가로(폭) : 4.3m · 노즐높이 조절 기능 · 분사압력조정 및 압력 측정계를 통한 분사량 조절
노즐	· 노즐 수 : 14개(분사식)
분사량	· 300g/m ² (조절 가능)
진행속도	· 0.16m/sec (=9.6m/min)

3.2 대형골재노출장비

3.2.1 실내 골재노출 브러싱 테스트

소입경 골재노출포장의 적정 평균노면조직을 얻기 위해서는 대형골재노출장비의 회전속도 및 강선 굵기, 노출 브러쉬 길이의 산정이 필요하게 되었다. 따라서 그림 4와 같은 골재노출장비와 유사한 브러쉬 형태의 간이 골재노출 시험장비를 통하여 미끄럼저항 및 소음효과를 동시에 만족시킬 수 있는 평균노면조직깊이 형성이 가능한 브러쉬의 길이 및 브러쉬의 회전속도를 산정하였다.



a. 골재노출 과정모사

그림 4. 간이골재노출 시험장비

간이 골재노출 시험장비를 통한 브러쉬의 노출길이의 경우 표 3과 같은 결과가 도출되었으며, 충분한 작업성을 가지면서 원활한 노출이 가능한 브러쉬 길이 및 노출횟수를 조정한 결과 브러쉬 노출길이가 50mm, 공시체 이동속도가 0.36(km/h)에서 적절한 평균노면조직깊이 및 우수한 미끄럼 저항성을 확보할 수 있었다. 따라서 이를 통하여 골재노출장비를 설계하였다.

표 3. 간이골재노출 시험장비 결과

브러쉬 길이(mm)	회전 속도(RPM)	공시체 이동속도(km/h)	이동 방향	노출도 (개/25cm ²)	MTD(mm)	BPN
50	71.2	0.36	좌측(1회)	25.6	1.595	85.3
50	71.2	0.36	왕복	24.3	1.636	84.3
50	71.2	0.036	좌측(1회)	22.3	1.928	84.3
50	71.2	0.036	왕복	21	1.974	83.7
55	71.2	0.36	왕복	24	2.210	85

3.2.2 대형골재노출장비의 제작

소입경 골재노출공법의 경우 일반 콘크리트포장에서와 달리 지연제 살포 후 골재를 노출시키는 과정이 수행된다. 따라서 대규모로 도로표면의 골재노출이 가능한 장비의 개발이 필요하게 되었으며 대형 골재노출장비는 그림 5와 같은 설계도면을 통하여 바브켓에 결합하여 유압모터로 강선 브러쉬를 회전시켜 골재를 노출시키는 구조로 설계되었다.

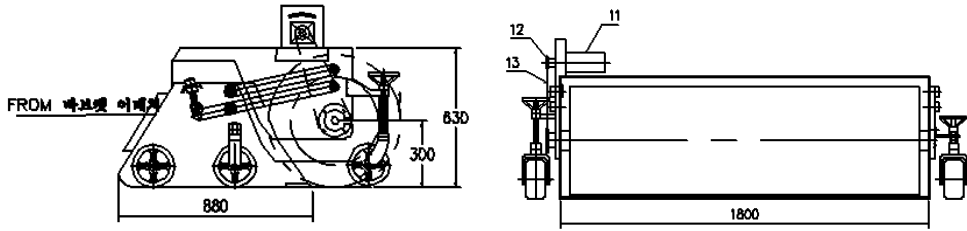


그림 5. 골재노출장비의 설계도면

대형골재노출장비는 그림 6과 같으며, 골재노출공법의 원활한 시공성을 위해 폭은 1.8m로 제작하였다. 장비의 양 측면은 높이조절이 가능하게 하여 포장노면의 구배변화에 의한 골재노출포장의 노면조각 높이를 일정하게 유지시킬 수 있으며, 모르타르 적재를 통하여 분진 발생을 최소화 하였다. 또한 완충장치로 장비의 진동으로 인한 골재의 부서짐 및 탈리를 최소화하며, 불규칙한 포장면에서 일정한 높이의 골재노출이 가능할 뿐만 아니라 노출시기가 지연됨에 따른 콘크리트 포장의 표면에 골재노출이 원활하게 이루어지도록 장비의 무게를 증, 경감하도록 제작하였다. 대형골재노출장비의 주요 제원은 표 4와 같다.

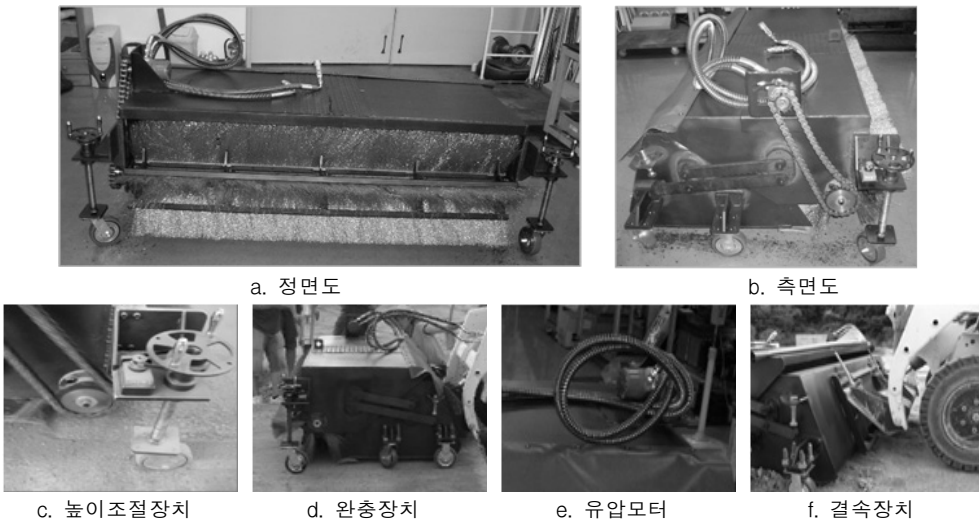


그림 6. 대형골재노출장비 및 구성장치

표 4. 골재노출장비의 제원

	내 용
구성	<ul style="list-style-type: none"> · 가로(폭) : 1.8m · 높이조절 기능 · 장비중량 추가 300kg(탈부착가능)
브러쉬	<ul style="list-style-type: none"> · 와이어 브러쉬 · 직경 : 0.5mm · 브러쉬 길이 50mm · 회전속도 : 90~120rpm
진행속도	<ul style="list-style-type: none"> · 현장적용시 0.6m의 이동속도

3.3 자주식 골재노출장비

대전~당진간 고속도로의 시험시공의 결과 대형골재노출장비로 노출을 시켰을 경우 그림 7과 같이 포장면의 수평이 맞지 않은 부분과 가장자리 부분의 골재가 노출되지 않아 이 부분에 그라인더를 사용한 인력골재노출을 수행하였으며, 이에 따라 전체적인 작업속도가 낮아지는 문제점이 발생되었다. 따라서 이를 보완하기 위하여 자주식 골재노출장비의 개발이 필요하게 되었다.



그림 7. 골재노출 미 노출 구간

자주식 골재노출 장비의 경우 대형골재노출장비와 달리 바브켓을 이용하지 않고 개별적인 골재노출이 가능한 구조로 되어 있으며, 1인이 작업이 가능하도록 설계되어 있다. 그림 8과 같이 폭이 0.5m, 장비중량은 400kg이며, 자주식 골재노출장비는 브러쉬 드럼이 좌우로 15cm 움직일 수 있어서 포장의 가장자리의 골재 미노출 부분에 적용될 뿐만 아니라 콘크리트 포장면의 높낮이에 대한 높이조절이 가능하여 대형골재노출장비의 사용 후 골재 미 노출 부분에 대하여 쉽게 적용될 수 있다. 자주식 골재노출장비의 주요제원은 표 5와 같다.

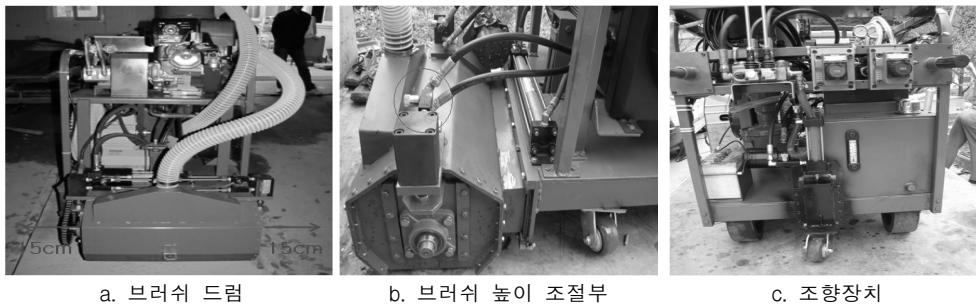


그림 8. 자주식 골재노출장비 주요 구성장치

표 5. 자주식 골재노출장비의 제원

	내 용
구성	<ul style="list-style-type: none"> · 가로(폭) : 0.5m · 브러쉬의 높이조절 기능 · 조종이 편리한 구조
브러쉬	<ul style="list-style-type: none"> · 와이어 브러쉬 · 직경 : 0.5mm · 브러쉬 길이 50mm
진행속도	· 현장적용시 10m/min의 이동속도

4. 소입경 골재노출장비의 검증

4.1 폐도로 소규모 시험시공

강릉 주변 폐도를 대상으로 시험시공을 수행하였으며, 이에 따라 브러싱장비의 테스트를 위하여 회전속도를 60, 90, 120RPM 변화시켜 골재노출테스트를 수행하였다. 이를 통해 대형골재노출 장비의 무게 및 높이 조절장치를 보완하였다. 수행결과는 다음 표 6과 같으며, 골재노출장비에 300kg의 무게를 한 후 충분한 평균 노면조직 확보 및 노출도 확보하여 우수한 미끄럼저항성 및 소음 저감효과가 나타났다.

표 6. 폐도로 소규모 시험시공에 따른 노면조직특성

항목	골재노출 브러싱 테스트				
	-			300kg 추가시	
무게				90	120
RPM	60	90	120	90	120
MTD	1.35mm	1.47mm	1.53mm	1.67mm	1.78mm
노출도 (개/25cm ²)	21	26	29	31	33
BPN	75	78	83	87	92

4.2 대전~당진간 고속도로 시험시공

대전~당진간 고속도로를 대상으로 1차 시험시공을 수행하여 장비 시공성 및 기능성을 평가하였다. 시험시공은 총 연장 114m로 초기 콘크리트 타설 후 2시간 경과 후 지연제 살포장비를 통하여 응결 지연제를 살포하였으며, 포장표면에 일정량의 지연제가 살포되었으며, 지연제 분사압으로 인한 콘크리트 표면의 손상이 없었다. 지연제 분사 후 관입저항 시험기를 통하여 골재의 노출시기를 산정하였으며, 지연제에 의해 표면의 모르타르 양생이 안된 콘크리트포장 표면은 노출시킨 결과 1차로 대상으로 시간당 40m의 시공성을 보였으며, 소음저감 및 미끄럼 저항성과 관련된 포장표면의 노면조직 측정 결과 소입경 골재노출공법의 품질기준에 비해 다소 낮은 수준을 보이지만 일정한 평균노면조직깊이(1.5±2mm) 및 노출도(28±2개/25cm²)를 확보할 수 있었으며, 우수한 미끄럼 저항성을 확보 및 100km 내외의 속도에서 평균 3~4dB(A)정도의 소음저감 효과가 나타나 장비의 사용에 따른 도로의 기능성이 확보될 것으로 판단된다.



a. 장비를 활용한 골재노출과정



b. 골재노출 노면조직

그림 9. 시험시공

5. 결 론

본 연구에서는 소입경 골재노출공법의 실용화를 위하여 골재노출 브러싱 장비 및 지연제 분사장비를 설계/

제작하였으며, 이를 통하여 대전~당진간 고속도로 시험시공을 통하여 장비의 성능 및 특성을 검토하여 보았다.

- 1) 대전~당진간 고속도로의 시험시공에 의한 시공성은 시간당 40m로 장비의 시공성에는 문제가 없었지만 부분적으로 인력에 의해서 골재노출을 해야 하는 문제가 발생되었다. 따라서 추가적인 자주식 골재노출장비의 개발하였으며 이로 인해 1차로 기준으로 시간당 50~60m의 시공성이 확보될 것으로 판단된다.
- 2) 시험구간을 대상으로 MTD 및 노출도 측정결과 소입경 골재노출공법의 품질기준에 비해 다소 낮은 수준을 보이지만 시험시공을 실시한 결과 구간에 따른 일정한 노면조직깊이(1.5±2mm) 및 노출도(28±2개/25cm²)를 확보할 수 있었으며, 우수한 미끄럼 저항성을 확보 및 100km 내외의 속도에서 평균 3~4dB(A) 정도의 소음저감 효과가 나타나 장비의 사용에 따른 도로의 기능성이 확보될 것으로 판단된다.

본 연구의 결과 골재노출장비의 개발을 통해 시공성을 확보할 수 있었다. 또한 구간에 따른 노면조직깊이 및 노출도가 일정하며, 충분한 미끄럼 저항성 및 소음저감효과가 나타났으며, 이를 통해서 도시 미관을 해치지 않는 저소음 콘크리트포장을 위한 기반이 조성될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부의 핵심기술연구개발사업단인 장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발의 연구수행 결과입니다.

참고 문헌

1. 이승우 (2003), 저소음 콘크리트 포장 연구개발 과제, 연구보고서, 포스코건설,
2. 김남철 (2005), 골재노출 콘크리트포장 노면특성에 관한 연구, 강릉원주대학교, 석사학위논문,
3. 김영규 (2007), 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적 배합 및 노출기법에 관한 연구, 강릉원주대학교, 석사학위논문
4. 김영규, 이승우, 유태석, 김형배 (2009), 소입경 골재노출콘크리트포장의 최적배합 및 노출기법에 관한 연구, 한국도로학회논문집 V11, no2 pp.1-15
5. 김영규, 최돈화, 이승우, 김형배 (2010), 시험시공을 통한 소입경 골재노출콘크리트포장의 초기공용성 평가, 한국도로학회논문집
6. H. Sommer, (1992) "Exposed Aggregate Concrete In Austria"