

표면 마감 광촉매 스프레이 모르타르의 리바운드량 저감 방안 연구

백효선*, 박정환
(주)제이에이치

A Study on the Reduced Rebound Method of Surface Finishing Spray Photocatalytic Mortar

Hyo-Seon Baek*, Jeong-Hwan Park
JH Co., Ltd

요약 콘크리트 표면 마감에는 다양한 방법이 있으며, 시공성을 고려할 때 스프레이 방법이 효과적이거나 리바운드 발생 현상이 발생한다. 통상 숏크리트의 손실률은 30-45%가량 보고되고 있으며, 이로 인하여 작업 효율 저하 및 공사비 상승 등의 문제를 발생시킨다. 이를 해결하고자 다양한 선행 연구가 진행되었으며 리바운드량을 저감하기 위해서는 사용재료에 따라 리바운드 발생 억제제를 위해 배합을 조정하여야 하며 본 연구에서는 광촉매가 포함된 표면 마감재료에 적합한 리바운드 발생량 저감 목적의 배합 기술에 대한 기초 연구를 진행하였다. 본 연구의 선행연구로는 광촉매 성능에 대해 저감효과 및 최적 혼합 비율을 도출하였고, 선행연구를 바탕으로 규사 함량에 따른 리바운드 저감 및 혼화 재료 별 역학적 내구 특성 검증을 진행하였다. 시험 방법으로는 리바운드, 압축강도, 휨강도, 테이블 플로 시험으로 진행하였고, 모르타르 스프레이 장비의 작업성을 고려하였을 때 Flow 170 ± 10 mm로 고정하였다. 실험 변수로는 시멘트 중량 대비 규사 변수로 맞추어 리바운드량 측정을 하였고 규사는 5호, 7호 규사를 사용하였다. 실험 결과 최종 S-1 변수에서 가장 높은 압축강도를 나타냈고 리바운드 양을 최소화할 수 있었다. 이러한 결과는 규사 공극의 결합제가 충분히 충전하게 되어 골재 사이의 결합력이 증가되므로 낮은 리바운드 양을 확보할 수 있었다.

Abstract There are various methods of finishing concrete surfaces, and when considering workability, the spray method is effective, but rebound occurs. The allocation of rebound occurrence control should be adjusted according to the materials used. Thus, a basic study was conducted on multiple techniques for reducing the rebound incidence that are suitable for surface finishing materials containing a photocatalyst. A prior study derived the reduction effect and optimal mix ratio for photocatalytic performance. Based on that study, the rebound reduction was verified according to the specifications of the content and the mechanical durability characteristics of the mixed materials. Rebound, compressive strength, flexural rigidity, and table flow tests were done. The flow was fixed at 170 ± 10 mm considering the workability of the mortar spray equipment. For the experimental variables, the rebound number was adjusted to the silica sand variables relative to the cement weight, and silica sands No. 5 and No. 7 were used. The results show the highest compression strength in the final S-1 variable, and the amount of rebound was minimized. These results were sufficiently filled with the bindings of the silica pores, which increased the binding force between the aggregates, resulting in a lower amount of rebound.

Keywords : Motar, Spray, Rebound, Photocatalysis, Surface Finishes.

본 논문은 국토교통과학기술진흥원 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyo-Seon Baek(JH Co., Ltd.)

email: bb9119@hanmail.net

Received October 31, 2019

Accepted September 4, 2020

Revised August 26, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

미세먼지는 최근 몇 년간 국내에서 사회적 문제로 크게 대두되어왔다. 이러한 미세먼지로 인하여 마스크 및 공기청정기 등 관련 산업의 매출이 크게 증가하는 현상을 보여 왔으며, 정도의 차이는 있지만 국외의 경우에도 이러한 경향이 나타나고 있다. 미세먼지는 이미 WHO 산하 국제 암 연구센터(IARC)에서 2013년 지정한 1급 발암물질로서 [1] 미세먼지가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 상승할 때마다 폐암 발생 위험이 22% 증가하는 것으로 보고되고 있으며, 전 세계적으로 약 700만 명이 영향을 받아 각종 질병 및 사망에 이르는 것으로 추산하고 있다.

미세먼지의 영향에 대한 우려가 커지면서 국내외적으로 많은 정책과 연구가 진행되고 있다. 국내의 경우에도 노후 경유차량 운행제한 및 미세먼지 경보제 등의 정책과 미세먼지 저감을 위한 연구들이 진행 중에 있다. 정책의 방향은 주로 미세먼지 원인에 대한 제제를 하여 발생량 자체를 줄이는 것이고, 이러한 정책의 필요성과 성과는 장기적으로 사회적 합의와 더불어 진행되어야 한다.

이러한 정책과 더불어 미세먼지를 저감할 수 있는 기술은 반드시 필요하며, 국내에서도 자동차 배기가스 저감장치, 발전소와 공장 등의 미세먼지 저감 방안(생산 프로세스 및 장치) 등의 연구가 진행 중이다. 또 다른 연구로는 광촉매(photocatalyst)를 활용한 미세먼지 전구물질을 제거하는 방안이 있다. 미세먼지는 고체로 발생하는 1차 발생원과 가스 상태의 황산화물, 질소산화물이 대기 중의 수증기 및 오존, 암모니아 등과 결합하여 생성되는 2차 발생으로 나뉜다. 2차 생성 물질은 아래 표 1과 같이 수도권뿐만 아니라 전국적으로도 70% 이상의 미세먼지 발생 기여를 하고 있는 것으로 보고되고 있다[2].

Table 1. Fine Dust

Divide	Sum	Primary Emission	Secondary Creation(NOx,SOx, VOCs)
Metropolitan area	53,634 t (100%)	14,427 t (27%)	39,207 t (73%)
The whole country	324,109 t (100%)	91,460 t (28%)	262,649 t (72%)

따라서 본 연구에서는 광촉매(photocatalyst)를 활용한 건설자재의 물성에 대하여 선행 연구한 결과를 토대

로 이를 최적화하는 데 초점을 두었다[3]. 선행연구결과에서 바인더 종류, 색상과 시공방법(타설 및 Spray Method)에 따른 NO 제거율에 대해 고찰하였다. 이때 백시멘트와 광촉매 10, 15%를 Spray Method로 사용한 경우가 가장 높은 제거율을 보였다. 이 선행 연구에서 기술한 바와 같이 타설 방법에 따라 No 제거율의 차이가 발생하며, 이는 광촉매의 분산 및 표층 분포율에 따라 결정된다.

선행연구결과를 토대로 볼 때 스프레이 시공 방법이 NO 제거효율 및 시공 속도, 사용재료의 양적인 측면에서 더 적합하였으며 이때 혼입되는 광촉매 함량은 경제성을 고려하여 10 ~ 15%가 적당하다고 연구되었으나 시멘트를 주재료로 사용하는 경우 스프레이 방법에서는 재료 손실 문제가 발생한다.

통상적으로 슛크리트의 경우 재료 손실률이 30 ~ 45%에 이르는 것으로 보고되고 있으며 이는 작업 효율 저하 및 공사비 상승 등의 문제를 발생시키고 있는 실정이다[4]. 또한 통상 습식 스프레이 방식의 경우 비탈면에서 약 15 ~ 20%, 천장면에서는 30 ~ 40%가량의 리바운드가 발생하고, 건식의 경우 이보다 리바운드가 발생하는 것으로 보고되고 있다[8].

따라서 표면 스프레이 시 리바운드를 줄일 수 있다면 가격에서 가장 큰 비중을 차지하는 광촉매의 손실을 저감할 수 있어 시공비를 획기적으로 낮추고 다양한 분야에 적용 가능하므로 표면 스프레이를 통한 최적 시공방법 개발을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구에서는 선행 분석이 완료된 광촉매 재료를 통한 제거효율을 검증하였다. 따라서 본 연구에서는 선행 연구된 내용을 개선하고자 혼화 재료별 역학적 내구 특성에 대해 검증을 수행하고 물-시멘트비 변화가 스프레이 재료 이송 펌핑 효율과 부착성에 미치는 영향을 파악하였다.

실험 변수로는 펌핑과 부착성에 직접적인 영향을 미치는 S/C에 따른 특성을 분석하고 규사 입경별 최적 작업성을 도출하기 위한 연구를 진행하였다.

배합설계는 최종 마감재로서 Flow $170\pm 10\text{m}$ 일 때 광촉매 성능을 극대화하는 표면을 구축했다. 따라서 변수별 모든 배합은 Flow에 초점이 맞춰지고 유동적으로 물-

시멘트비와 유동화제에 변수를 주었다. 혼화제는 시멘트 중량 대비 비율로 계획하였으며, 폴리머 분말, 실리카폼 등 문헌조사를 통해 강도 발현 및 작업성, 부착성 등을 고려하여 최적 변수를 고정하여 진행하였다. 혼화제는 전체 단위 결합재량 대비 비율로 설정했다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트 및 잔골재

시멘트는 KS L 5204 규정에 의거하여 규격에 부합하는 국내 U사 백색 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 A사 5호, 7호 규사를 사용하였다.

2.2.2 광촉매

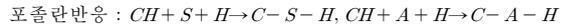
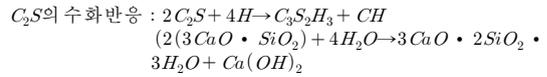
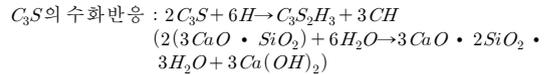
광촉매(비 표면적 76m²/g, 겉보기 밀도 0.45g/ml, 결정구조 Anatase형)는 선행 연구 결과를 바탕으로 시멘트 중량 대비 10% 변수로 고정하였다. 화학적 특성으로 다음 표 2와 같다.

Table 2. Chemical Properties of Photocatalyst

Divide	Measure	NP-400
Crystal phase		Anatase
Particle Size	nm	20 - 30
Specific Surface Area	m ² /g	60 - 70
ISO Test (NOx removal)	μmol	0.94
Photocatalytic Activity (Self-test Method)	%	> 0.99
Apparent density	g/ml	0.45

2.2.3 혼화재료

광물성 혼화재(mineral admixture)는 잠재 수경성 재료로 물과 만나 일부 수분을 흡수할 뿐 화학적 반응을 통한 경화 특성이 전혀 나타나지 않는다. 광물성 혼화재 그 자체에는 수경성이 없지만 그것에 함유되어 있는 SiO₂, Al₂O₃ 같은 가용 성분이 시멘트 구성 화합물인 C₃S, C₂S가 수화할 때 생성된 Ca(OH)₂와 상온에서 서서히 반응하여 불용성의 안정한 규산칼슘 수화물(C-S-H)이나 칼슘알루미늄에이트수화물(C-A-H)을 생성하게 되는데, 이를 포졸란 반응 (pozzolanic reaction)이라 하며, 이와 같은 반응으로 광물성 혼화재를 첨가한 콘크리트는 내구성 및 장기 강도가 개선된다. 광물성 혼화재의 종류로는 플라이애시, 고로슬래그, 메타카올린, 실리카폼등이 있다[5].



본 연구에서는 점착력과 부착력 증진을 위해 광물성 혼화제를 활용하였다. 실리카폼은 국내 E사의 제품을 사용하였고, 시멘트 중량 5%로 치환하였다. 실리카폼은 미세분말에 속하고 입자 모양이 구형으로 되어있어 불베어링 역할을 한다. 재료분리 저항 및 수밀성 향상에 도움을 주며 화학적 특성으로는 다음 표 3와 같다.

Table 3. Chemical Properties of Silica Fume

Chemical and physical requirements	Specification (characteristic values)
SiO ₂ (%)	> 90
H ₂ O(moisture content when packed, %)	< 1.0
Loss on Ignition, LOI(%)	< 3.0
Retained on 45 micron sieve (tested on Undensified %)	< 1.5
Bulk Density - Undensified (when Packed kg/m ³)	200 - 350
Bulk Density - Densified (when packed, kg/m ³)	600 - 700

폴리머 분말을 일부 시멘트에 혼입하게 되면 경화 과정에서 건조 또는 결합재로써 무기 및 유기 바탕 면과의 점착력, 모르타르의 유연성, 내마모성이 증진되고, 수축 팽창이 진행되는 과정에서 균열을 억제할 수 있다.

2.2.4 혼화제

혼화제로는 폴리카보복실산계를 주제로 한 무염화 유동화제로써 나프타 계열보다 고 슬럼프에서 재료분리에 저항이 높고 유동성을 확보할 수 있는 폴리카보복실산계를 사용하였다.

수축 저감제는 유기계면활성제와 글리콜에테르 유도체를 주성분으로 하는 액상형을 사용하였다.

2.2.5 실험배합

위와 같은 재료를 사용하여 연구를 위한 실험배합 조건을 총 6개의 변수로 실험을 진행하였으며 이에 따른 각 변수 별 배합 조건은 아래 표 4와 같다.

Table 4. Mixing Ratio

Mix	W/C (%)	S/C (%)	Weight composition (%)								Flow (mm)
			SF	FA	PP	F	SP	SR	TiO ₂		
S-0.8	28	0.8					0.8				
S-1	30	1					1				
S-1.2	32	1.2									170
S-1.5	32	1.5	5	7	5	5	1.2	0.3	10		±10
S-1.8	35	1.8					1.5				
S-2.0	35	2					1.5				

2.3 시공방법

본 연구에서 마감용 모르타르 스프레이 장비의 작업성을 고려하였을 때 적정 Flow 170±10mm를 도출하였다. 배합의 순서는 건비율 혼합 재료의 분산을 위해 1분 30초 정도 진행하며, 혼화제와 배합수를 혼합하여 투입한 뒤 유동성을 확보하기 위해 약 2분 정도 믹싱을 실시한다. 그 후 벽체에 부착성 증진을 위한 프라이머를 바른 뒤 스프레이용 장비에 혼합물을 투입하고 스프레이를 실시한다. 스프레이 노즐의 방향은 타설 면에서 직각이 되도록 위치한다.

시공방법에 대한 방법적 연구는 별도로 실시하지 않았으나 시공방법에 따라 리바운드량 변화가 발생할 수 있으므로 기존 연구를 참고하였다.

기존 연구에서 노즐과 타설 부위에서의 거리는 0.75~1.25m가 적당하고, 1m 떨어졌을 때 리바운드량이 최소가 된다. 굴착 위치에 따른 리바운드 및 노즐과의 거리에 따른 리바운드량은 다음 그림 1과 같다[6].

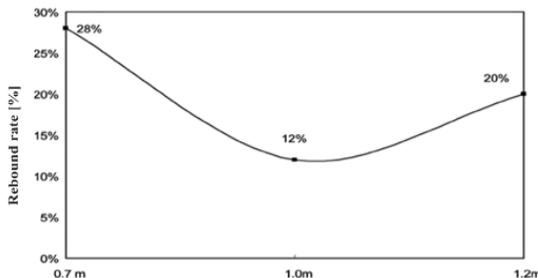


Fig. 1. Rebound Rate

스프레이 작업 시에는 철망, 철근, 강지보재 등의 뒷부분에 공극이 남지 않도록 하여야 한다. 또한 스프레이 타설 후에는 저온·건조·급격한 온도 변화 등 해로운 영향을 받지 않도록 보호하여 양생하고, 숏크리트 이음 부는 작

업이 끝나기 전 30cm부터 두께를 얇게 한다[7].

본 연구에서는 기존 연구된 내용을 고려하여 시공을 실시하였으며 노즐과 벽체와의 거리 등이 변동되는 경우 기존 연구 내용을 바탕으로 보정된 값을 적용하였다.

3. 실험방법

3.1 테이블 플로 시험

테이블 플로 시험은 KS L 5105 규정에 의거하여 실험을 진행하였다. 실험 방법은 다짐봉을 활용하여 스프레이 전 모르타르를 채운 후 20회 다짐. 이후 높이 12mm의 시험기 시험판을 25회 낙하시킨 후 퍼진 모르타르를 같은 간격 4방향을 측정하여 평균 플로 값을 도출하였다.

3.2 강도 시험

스프레이 모르타르 강도 특성을 검증하기 벽 체스프레이 이후 두께를 확보한 모르타르를 활용하여 ASTM C 348 규격에 의거하여 40x40x160mm 빔 몰드를 제작하였다. 압축강도 및 휨강도는 KS L ISO 679로 진행하였다.

3.1 리바운드 시험

현재 국내 현장에서 경제적인 문제로 대두되고 있는 리바운드를 해결되어야 할 문제이다. 현장에서 리바운드를 정확히 측정하기는 어렵기 때문에 선행연구 결과를 토대로 시험을 진행하였다. 벽체에 스프레이를 하기 전 보양 작업을 통해 리바운드 범위를 고려하여 바닥에 리바운드 되는 재료를 받을 수 있도록 비닐을 덮은 후 스프레이를 진행하였다. 이때 벽체에 스프레이 된 결합재가 튀어나오게 되고 이것을 다음과 같이 계산하였다[8].

$$\text{리바운드율}(\%) = \frac{W_r}{W_r + W_w} \times 100^{[8]}$$

여기서, W_r =리바운드된 재료 중량

W_w =벽체에 뿜어 붙여진 재료 중량

4. 결과

4.1 강도 발현 특성

아래 그림 2, 3과 같이 압축강도 및 휨강도는 재령 28일 기준으로 측정을 진행하였다. 압축강도는 KS 시험방법에 의거한 실시한 결과 당초 배합 설계 시 목표로 한

40MPa이상 강도 발현되는 것을 확인하였으며 그중 S-1 변수에서 가장 높은 61.3MPa 강도를 나타냈다. 앞서 제시한 Flow 170±10mm 일 때 스프레이 펌프 장비의 효율을 극대화를 위해 유동화제와 물-시멘트비를 유동적으로 변경하여도 목표 강도 발현 가능성을 확인하였다.

휨강도에서는 압축강도 결과와 상대적으로 물 함량에 따라 미미한 강도 변화를 나타내었다. 이러한 현상은 물-시멘트비가 작업성에 미치는 영향이 개선되는 반면 경화가 되는 과정에서 수화작용에 필요한 단위 수량 외의 모르타르 내부 공극에 물이 잔류하며 증발 시 공극을 형성하는 것으로 사료된다. 따라서 경화 시 모르타르 내부에 공극은 강도 발현에 영향을 주는 것으로 판단하였다.

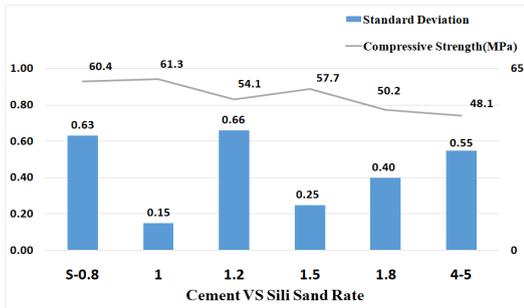


Fig. 2. Compressive Strength

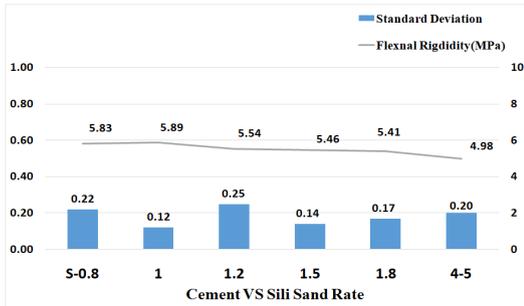


Fig. 3. Flexural Rigidity

4.2 리바운드 특성

앞서 실험 방법에서 제시한 방향으로 스프레이 이후 리바운드 된 양을 환산하여 계산하여 그림 4와 같은 결과값이 나타났다.

그림 4에서 보는 바와 같이 7호 사를 적용하였을 때 S-0.8 변수에서 9%의 높은 리바운드 결과값이 나타났으며 S-1.0, S-1.2 변수에서는 미미한 차이인 5, 6%로 다른 변수에 비하여 낮은 리바운드량 결과를 보인 후

S-1.5, S-1.8, S-2.0 변수에서 8, 10, 11%로 비교적 높은 리바운드량을 보이며 증가하는 경향을 보였다. 이는 S/C 및 W/C 비율이 증가할수록 결합재 양의 부족과 골재 간 결합력의 감소로 인해 발생한 것으로 판단되나 골재-시멘트 비율 변화와 이에 따른 Flow 조건을 충족하기 위한 물-시멘트비 변경에 따른 여러 요인이 복합적으로 작용한 결과로 사료 된다. 추후 골재-시멘트, 물-시멘트 비율 고정 후 리바운드량 결과 확인 등의 각각의 변동 변수 고정 실험에 대한 추가 연구가 필요하다.

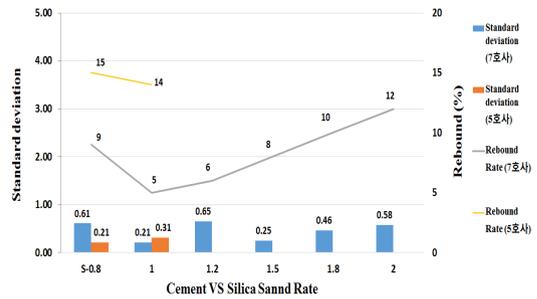


Fig. 4. Rebound Rate

5. 결론

본 연구는 모르타르를 활용한 스프레이 최종마감재 개발로써 최적의 잔골재 비율을 도출하고 그에 따른 리바운드량을 최소화하였을 시 내구성에 대한 특성을 평가하였다.

- 1) 선행연구 결과를 토대로 작업성과 내구성을 가지는 최적 배합을 도출하고자 S : C 비 및 Flow를 변수로 하여 시험을 진행한 바, 압축강도 결과 S-1 변수에서 가장 높은 61.3MPa 강도를 나타냈고, 물-시멘트비가 증진될수록 강도가 저하되는 일반적인 경향을 보였다.
- 2) 휨강도 결과 압축강도에 비해 상대적으로 물 함량에 따라 강도의 변화는 미비하게 나타났으나, 물 함량이 높아질수록 모르타르 내부 경화가 이루어지는 과정에서 공극으로 인해 강도가 저하되는 것으로 사료된다.
- 3) 리바운드 시험의 경우 5호 규사는 노즐 직경에 비해 입경이 크기 때문에 최종적으로 7호 규사를 사용하여 시험을 진행하였으며, 작업성(Flow) 확보를 위해 W/C 비가 증가함에 따라 리바운드량은 함께

증가하는 경향을 보였다.

- 4) 규사의 비중에 따른 리바운드량의 변화를 보면 1:1 비율에서 약 5%가량으로 낮게 측정되었으며, 규사의 비율이 증가할수록 리바운드량도 함께 증가함을 확인하였다.

금회 연구에서 최종 마감재료로 사용함에 있어 급결제를 적용한 변수가 적용되지 못하였으며 골재-시멘트와 물-시멘트 변수 모두 변경하여 실험한 결과 각각의 변수가 리바운드량 변동 원인에 대한 명확한 규명이 어려움이 있었다. 따라서 향후 연구를 이에 대한 추가 연구와 급결제 혼입에 따른 작업성, 응결에 따른 리바운드 저감 성능 검증, 마감 후 장기적 표면 부착 및 균열에 대한 추가적인 연구를 진행할 계획에 있다.

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)의 건설기술 연구사업 “저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세 먼지 저감 건설기술 개발(18SCIP-B146251-01)”의 지원을 받아 작성된 논문입니다

DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2012.32.6D.615>

- [7] Kyong Ku. Yun, “Characteristics of High Early Strength Latex Modified Spayed-Mortar”. J. Industrial Technology. Vol. 33, no. A, pp 93~99, 2013.
- [8] Jin Beo. LEE, Sang Yong. Choi, Ki Heun. Kim, Yong Kon. Kim, Kyong Ku. Yun, “Mechanic Properties of HES-LMSMortar”. J. Industrial Technology. Vol. 33, no. A, pp 93 ~ 99, 2013.

백 효 선(Hyo-Seon Baek)

[정회원]



- 1999년 2월 : 강원대학교 일반대학원(공학석사)
- 2002년 8월 : 강원대학교 일반대학원(박사수료)
- 2010년 1월 ~ 현재 : (주)제이에이치 기업부설연구소 연구소장

<관심분야>
건설, 환경

References

- [1] T. Kurtoglu, I. Y. Tumer, D. C. Jensen, “A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architecture”, *Research in Engineering Design*, Vol.21, No.4, pp.209-234, Oct. 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-010-0086-1>
- [2] Ministry of Environment, “Comprehensive Plan on Fine Dust”, 2017.
- [3] Hyo-Seon Baek, Jeong-hwan Park, In-Bae Seung. “A Study on NO Removal Efficiency of Titanium Dioxide by Binder and Pigment”, J Korean Soc Environ Eng, vol 41, no. 2, pp. 109 - 116, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.2.109>
- [4] Jin-A Park, Won-Young Lee, Jin-A Kim, Ik-Su Kim, Hyun-Su Kim, Jong-Heup Jeong, Jung-Seop Yun, Kweon Jung and Seog-won Eom, “A Study on the Characteristics of Air Pollutants in Automobile Tunnals in Seoul”, National Institute of Environmental Research, vol. 39, no.6, pp. 293 - 303, 2010.
- [5] Soung Il. Jeon, “Self-Healing and Shrinkage of Ternary Blended Concrete whit expansion Agent”, Department of Civil Engineering Graduate School, Kangwon National University, 2016.
- [6] Jun Tai. Jeon, “Experimental Study on Reduced Amountof Rebound in Wet Process Shotcrete Works byUpon Accelerator Contents”. J. Korean Soc. Civil Eng., pp 615~622, 2012.

박 정 환(Jeong-Hwan Park)

[정회원]



- 2001년 8월 : 강원대학교 산업대학원(공학석사)
- 1992년 12월 ~ 2005년 4월 : 한림대학교 시설과장
- 2005년 5월 ~ 2014년 12월 : 태산건설 사장
- 2014년 12월 ~ 현재 : (주)제이에이치 사장

<관심분야>
건설, 환경