바인더 및 색소에 따른 이산화티타늄의 NO 제거효율 변화

A Study on NO Removal Efficiency of Titanium Dioxide by Binder and Pigment

백효선[†] · 박정환 · 승인배

Hyo-Seon Baek[†] · Jeong-hwan Park · In-Bae Seung

(주)제이에이치

JH CO., Ltd.

(Received January 21, 2019; Revised February 12, 2019; Accepted February 19, 2019)

Abstract : The reduction is limited because most of the measures focus on blocking the source through regulation. Therefore, this study is a study on the development of treatment technology using Photocatalytic so as to prevent the conversion of Nitrogen ion causing fine dust into fine dust through secondary generation in order to develop a technology that can remove the causative substance. For the development of the technology, experiments were carried out on the change of NO removal rate to binder type, construction method and pigment. Natural cement and white cement were used as binders. The method of construction was compared with concrete placement and spraying. The removal rates of green, red and black pigments were observed. Experimental results show that the removal rate of natural cement is higher than that of white cement by 56~67%. Experiments on the construction method show that the removal efficiency of the spraying without vibration is more than 2 times higher than that of the concrete placement method. The effect of the pigments on the pigments was found to be lower than that of red and black irrespective of binder and construction method.

Key Words : Photocatalysis, TiO_2 , Fine Dust, Removal Rate, Binder, Pigment

요약 : 미세먼지는 인체에 해로운 영향을 주고 있어 사회적으로 이에 대한 저감 필요성 및 요구가 증가하고 있으나 대부분의 대책이 규제를 통한 발생원 차단에 중점을 두고 있어 저감에는 한계가 있다. 이에 본 연구는 규제가 아닌 원인물질을 제거할 수 있는 기술을 개발하고자 미세먼지를 유발하는 질산이온(NO_3^-)이 2차 생성을 통해 미세먼지로 전환되지 않도록 광촉매를 이용한 처리 기술 개발에 관한 연구이다. 기술 개발을 위하여 바인더 종류, 시공방법, 색소에 대한 NO 제거율 변화에 대한 실험을 실시하였으며 바인더로 천연시멘트와 백시멘트를 이용하고 시공방법으로는 타설과 뿔칠을 비교하였으며 색소로는 녹색, 적색, 흑색에 대한 제거율 변화를 관찰하였다. 실험결과 천연시멘트가 백시멘트에 비하여 NO 제거율이 56~67% 수준임을 확인하였고 시공방법에 대한 실험을 통해 진동의 영향을 받은 타설 방법보다 진동영향이 없는 뿔칠이 2배 이상 제거율이 향상됨을 확인할 수 있었으며 색소에 대한 영향은 녹색이 바인더 및 시공방법에 관계없이 적색, 흑색보다 제거율이 낮게 형성됨을 확인 할 수 있었다.

주제어 : 광촉매, 이산화티타늄, 미세먼지, 제거율, 바인더, 색소

1. 서론

최근 주기적으로 반복되는 사회적 문제 중 하나는 대기환경과 관련된 사항이다. 특히 미세먼지에 대한 관심은 건강문제와 연계하여 저감의 필요성 및 피해가 지속적으로 제기되고 있다.

이에 따라 미세먼지 저감을 위하여 경유 사용 자동차 통행규제, 대규모 미세먼지 발생 사업장 폐쇄 및 운영시간의 조정 등 관련 대책이 지속적으로 수립하고 있는 실정이다.

최근의 미세먼지 관리에 대한 2017년 9월 26일 발표된 미세먼지 관리 종합대책만을 보더라도 미세먼지 감축 목표를 강화하여 2021년까지 14%감축에서 2022년까지 30%감축으로 강화하고 이를 위해 2차 생성을 고려한 원인물질 관리 강화, 에너지 정책과의 정합성 제고, 과학기반의 미세먼지 대응역량 제고를 위한 체계적, 통합적 연구 추진을 제시하였다.

이러한 감축목표는 규제만으로 달성하기에는 한계가 있다. 이는 다양한 미세먼지 발생 원인에 의한 것으로 Fig. 1

에서 보는 바와 같이 미세먼지를 구성하는 성분의 58.3%를 차지하고 있는 황산염, 질산염에 대한 관리가 중요하며 미세먼지 생성 과정을 보면 고체 상태의 미세먼지로 나오는 경우(1차적 발생)와 Fig. 2와 같이 가스 상태로 발생하여 공

Fig. 1. Fine dust composition.¹⁾

[†] Corresponding author E-mail: bb9119@hanmail.net Tel: 033-257-2910 Fax: 033-257-3727

Fig. 2. Secondary generation process of fine dust.¹⁾

기 중의 다른 물질과 화학반응을 일으켜 미세먼지가 되는 경우(2차적 발생)로 구별되며 이중 2차 생성 비중이 전체 미세먼지(PM_{2.5}) 발생비중의 2/3를 차지할 만큼 매우 높아¹⁾ 2차 생성을 억제할 수 있도록 사전에 가스 상태의 물질 제거함으로써 규제가 아닌 기술 개발을 통해 미세먼지를 감축할 수 있다.

본 연구는 이와 같이 미세먼지 감축을 기술적으로 해결하고자 오염물질 제거에 활용되고 있는 광촉매를²⁻⁹⁾ 건설 분야 재료로 많이 사용되고 있는 바인더(시멘트 계열) 등에 혼합시켜 제거가 가능함을 확인하기 위하여 광촉매 함량 및 바인더 종류, 시공 방법 등에 따른 제거율 변동에 대한 기초 연구를 수행하였다.

시멘트 계열의 바인더에서의 NO_x 제거 과정은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 햇빛에 의하여(정확히는 UV) 미세먼지 전구물질인 질산이온(NO₃⁻)이 대기중에서 2차 생성되지 않도록 건설 부재의 표면에 고정 후 강우 또는 살수에 의하여 표면에 부착된 질산이온이 물과 함께 제거 되는 과정을 반복하게 되며 광촉매는 질산이온이 건설 부재의 표면에 Ca과 결합하여 고정될 수 있도록 촉매 역할을 하게 된다. 다만 본 연구에서는 물질특성이 질산이온이 암모늄이온(NH₄⁺)과 반응할 가능성이 높으나 기존 연구¹⁰⁾를 통해 확인된 제거 메커니즘에 따라 실험을 진행하였다.

광촉매로 이용되는 반도체에는 갈륨인(GaP), 갈륨비소(GaAs),

황화카드뮴(CdS), 티탄산스트론티움(SrTiO₃), 이산화티타늄(TiO₂), 산화아연(ZnO), 산화철(Fe₂O₃), 산화텅스텐(WO₃)등이 있으며 광촉매의 선정에는 처리대상 물질의 산화/환원력과의 비교, 유독성, 생물학적/화학적 비활성, 그리고 광부식 여부 등의 조건이 검토되어야 하며 Cd나 GaP는 태양빛의 많은 부분을 흡수할 수 있으나, 반복되는 실험에 안정성을 잃는 것으로 알려져 있어 많은 연구결과 대부분의 경우에 TiO₂가 사용되는데 이는 앞에 기술한 조건들을 만족시키며 아나타제 계열의 TiO₂는 밴드갭이 약 3.2 eV로 380 nm 이하의 파장을 흡수하면 VB의 전자가 CB로 여기(excited)가 되어 전자/정공쌍이 생성되게 된다.⁹⁾

이산화티타늄(TiO₂)은 결정형에 따라 루타일(Rutile), 아나타제(Anatas), 브루카이트(Brookite)로 구분되며 이 가운데 루타일 계열이 가장 안정한 결정 구조로 가지므로 고온으로 가열하게 되면 루타일로 변한다. 제거 효율이 좋은 것이 아나타제 계열이나 아나타제 계열의 광촉매를 소성을 위하여 550~600℃ 이상으로 가열하게 되는 경우 루타일(Rutile)계열로 형상이 전환 되어 본래의 기능을 기대하기 힘들다.¹¹⁾

광촉매를 건설분야에 응용하기 위해서는 건설자재로 활용되어야 하는데 건설자재로 활용하기 위한 방법으로 크게 2가지로 구분할 수 있는데 시멘트등의 바인더와 혼합하여 양생을 통해 활용 되는 방법(보도블록, 옹벽 등)과 점토 등의 자재와 함께 혼합후 고온의 가마를 이용하여 소성하는

Fig. 3. Schematic of photocatalytic air purifying pavement.¹⁰⁾

방법(점토벽돌, 타일 등)이다.

결국 건설용으로 사용가능기 위해서는 소성공정이 없는 시멘트 등을 바인더로 활용한 현장 타설 또는 프리캐스트 제품 적용이 가능하다. 이에 따라 관련 연구들이 지속적으로 국내외에서 진행되고 있으며 연구내용 또한 이산화티타늄의 입자 크기 등 재료적 특성,¹²⁾ 외부 환경 요건, 적용 제품의 현장 대기질 개선 효과¹³⁾ 등 다양하게 진행되고 있다.

건설용 자재 개발을 위해 TiO₂첨가에 따른 모르타르의 강도 특성 및 광촉매 활성 평가에 대한 연구⁸⁾를 통해 광촉매 혼입량이 증가할수록 콘크리트 강도가 저하됨을 확인되어 건설자재로 사용되기 위해서는 TiO₂ 사용량에 제한이 따를 수 있으며 TiO₂가 10%이상 첨가하면 높은 광촉매 활성을 가지게 됨을 확인되었으나 건설현장에 최종적으로 적용하기 위해서는 현장 조건에 따라 사용되는 바인더가 단순히 일반포틀랜드 시멘트 이외에도 다양한 바인더가 사용될 수 있으며 또한 표면 마감 상태에 따라 여러 색상에 대한 적용이 필요할 것으로 판단되나 이에 대한 기존 연구가 부족한 실정이었다.

따라서 본 연구는 사용되는 바인더의 종류에 따른 NOx제거율 차이가 발생할 수 있으며 건설용 자재로 활용시 필요에 따라 다양한 색상이 요구되기도 한다. 보도블록의 경우 기본 색상으로 판매되고 있는 제품이 회색, 흑색, 노란색, 파란색, 적색, 녹색등으로 구성되고 있는 실정으로 색상에 따라 그 차이가 함께 실험을 진행하였다. 이를 통해 사용되는 바인더와 색소에 따른 NOx제거효율 변동 여부를 확인함으로써 건설에 사용되고 있는 광촉매의 최적 배합설계를 위한 기초 자료 제공에 본 연구의 목적이 있다.

2. 연구 방법

2.1. 사용 재료

사용재료는 크게 바인더와 색소로 구분 할 수 있으며 바인더의 경우 건설 분야에서 일반적으로 사용하고 있는 시멘트계열에 많이 사용되는 시멘트는 포틀랜드 시멘트이나 본 연구에서는 다양한 색상구현과 비교 시험을 위해 포틀랜드 시멘트를 제외하고 조성 성분이 유사한 백시멘트를 선정하였으며 시멘트 계열의 비교대상 바인더는 천연시멘트를 선정하였다.

천연시멘트의 경우 인체에 무해한 성분으로 구성되어 실내 인테리어 제품 제작에 많이 사용되고 있으며 물리적 성질이 초속경, 무수축 특성을 갖고 있어 응급복구 용도에도 사용되는 바인더로 제조공정과 조성물에서 명확하게 구별될 수 있어 광촉매 배합량에 따른 NO 제거율 차이 발생가능성이 클 것으로 판단하였다.

다음으로 색소 선정으로 건설 분야에 사용되고 있는 색소는 금속 산화물로 구성된 색소를 선정하였으며 다양한 색상이 있으나 본 연구에서는 녹색, 적색, 흑색 색소를 적용하였다. 본 연구에 이와 같이 색소를 선정한 사유는 도심내 인도

Table 1. A material case

Material	Content	Photocatalytic rate
Naturel Cement	Rapid Hardening and Zero shrinkage	5%, 10%, 15%
White Cement	Used in the manufacture of color-required concrete	5%, 10%, 15%
Terrcoat	Used primarily for indoor and outdoor finish	5%, 10%, 15%
Green	Cr ₂ O ₃	
Red	Fe ₂ O ₃	
Black	Fe ₃ O ₄	

포장, 주차장, 공원등에 다수 적용되고 있는 블록에 가장 많이 적용되는 녹색, 적색, 흑색을 본 연구 색소로 채택하였다.

금회 연구에 사용된 바인더 및 색소에 대한 내용을 Table 1에 정리하였다.

2.2. 시공방법

앞서 설명한 바와 같이 이산화티타늄(TiO₂) 중 아나타제 계열의 광촉매는 550~600℃ 이상으로 소성하는 경우 루타일(Rutile)계열로 형상이 전환되어 본래의 기능을 기대하기 힘들다.¹¹⁾

이에 따라 본 연구에서는 소성공정이 없는 타설에 의한 방법과 슛크리트 공정과 같은 뿔칠 방법을 시공방법으로 채택하였으며 타설 방법은 믹서기에서 배합된 재료를 거꾸집을 이용하여 타설후 양생하는 방법이며 뿔칠 공정은 믹서기에서 배합된 재료를 분사하여 표면을 형성하는 방법이다. 그러나 상기 시공방법 중 타설 방법을 사용하는 경우 거꾸집내에 콘크리트가 잘 채워져 표면 상태를 양호하게 하기 위하여 바이브레이터를 이용한 진동 작업을 실시하게 되는데 이때 진동에 의하여 시멘트와 광촉매 분리 가능성에 대하여 Fig. 4에서 기존 연구를 통해 확인되었으며 이에 대하여 향후

Fig. 4. Elemental mapping on mortar cross sections showing the influence of the mechanical vibration of the mix during casting. It is evident that no matter if well dispersed (a and b) or more agglomerated (c and d), the smallest clusters are always concentrated on the upper surface. In the figure turquoise indicate Ti while blue indicate Ca.¹⁴⁾

연구가 필요함을 언급하고 있다.¹⁴⁾

따라서 진동에 대한 영향을 확인하기 위해서 타설 방법과 뽑칠 방법에 따른 NO 제거율 변화에 대한 관찰이 필요하여 실험을 실시하였으며 이에 사용된 바인더는 백시멘트를 적용하였다.

2.3. 제거율 실험방법

NO_x제거에 대한 국내 시험에 대한 표준 규격(KS 규정)이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제거효율에 대한 검증을 위해 국제표준을 적용하였으며 이에 대한 표준 규격은 ISO22197-1이다.

시험조건에 대하여 간략하게 설명하면 일정한 농도의 표준가스를 흘려주면서 제거된 양을 측정하는 방법으로 표준가스의 물질은 질소(NO, NO₂)이며 물질 농도는 1 ppmv, 속도는 3 L/min, 광량은 10 W/m²이며 실험 환경조건은 온도 20~22℃ 상대습도는 50%를 유지하도록 하여 실험을 실시하였다.

이에 대한 장비 및 시험개요도는 Fig. 5와 같이 도식화할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 바인더 종류에 따른 실험결과 및 고찰

금회 사용된 바인더는 백시멘트, 천연시멘트, 테라코트이며 바인더 종류별로 광축매 사용량을 5, 10, 15%를 혼합하여 시편을 제작한 후 ISO22197-1 기준을 준용하여 NO제거율 실험을 실시하였다. 다만 본 연구의 목적이 배합재료에 따른 제거율에 대한 경향을 확인하기 위한 연구로 제거율 실험 시간은 1시간부터 5시간까지 제거율 실험 기관의 일정에 따라 적용하였으며 그 결과를 Table 2와 Fig. 6~9와 같이 정리하였다.

Table 2. Experimental results of NO removal rate to construction method

Material	Concrete placement method			Spray method		
	5%	10%	15%	5%	10%	15%
Naturel Cement	8.30	13.68	16.89	NONE	NONE	NONE
White Cement	14.87	20.31	28.14	35.95	43.63	52.12
Terrcoat	NONE	NONE	NONE	45.04	53.89	70.05

Fig. 5. NO removal amount measuring device.

Fig. 6. Experimental results of NO removal rate graph to naturel cement concrete placement method.

Fig. 7. Experimental results of NO removal rate graph to white cement concrete placement method.

Fig. 8. Experimental results of NO removal rate graph to white cement spray method.

Fig. 9. Experimental results of NO removal rate graph to terracoat spray method.

Table 3 및 Fig. 10에서 보는 바와 같이 바인더 종류에 따른 제거율을 확인한 결과 천연시멘트가 백시멘트 대비 56~67% 수준으로 백시멘트가 제거율 측면에서 우수하였으며 각 바인더의 광촉매 혼합 비율별 제거율 추이를 보면 천연시멘트에 5% 이상 추가 시 백시멘트 제거율에 근접한 성능 발휘가 가능함을 확인할 수 있다.

Table 3. Comparison of NO removal rate to binder

Material	Photocatalytic rate		
	5%	10%	15%
Naturel cemnet (1)	8.30%	13.68%	16.89%
White cement (2)	14.87%	20.31%	28.14%
Rate of change [1/2]	56%	67%	60%

Fig. 10. NO removal rate graph to binder.

이러한 경향이 나온 것에는 시멘트의 물리적 성질, 조성물의 차이 등이 있으나 본 연구의 NOx제거의 원리가 서론에서 언급한 바와 같이 광촉매에 의하여 공기중 NO가 칼슘과 결합하여 표면에 부착되어 제거되는 원리를 갖고 있으므로 시멘트의 칼슘 비율이 제거율과 중요한 연관성을 가질 것으로 게 판단하였으며 Fig. 11은 천연시멘트를 생산하는 업체의 기술사양⁵⁾에 첨부된 자료로 그림에서 보는 바와 같이 일반 시멘트(Portland clinker)에 비하여 CaO의 함량이 업체별로 차이가 날 수 있으나 일반적인 경향은 낮은 것을 확인 할 수 있다. 따라서 제거율은 천연시멘트의 조성물 특성으로 인하여 백시멘트보다 낮은 것으로 검토되었다.

다음은 시공방법에 따른 제거율 변동에 대한 사항으로 콘크리트를 타설하는 방법과 스푼크리트와 같이 뿔칠에 의한 방법을 백시멘트 이용하여 실험한 결과는 Fig. 12 및 Table 4에 나타내었다.

비교 결과 타설에 의한 방법보다 뿔칠에 의한 방법이 185~242% 증가한 것으로 분석되었으며 평균적으로 뿔칠 방법이 타설 방법보다 제거율이 2배 이상 증가하였다.

이러한 결과는 재료의 분산과 연계하여 검토할 필요성이 있으나 본 연구에서는 재료 분산성에 대한 연구는 별도로

Table 4. Comparison of NO removal rate to construction method

Method	Photocatalytic rate		
	5%	10%	15%
Concrete placement (1)	14.87%	20.31%	28.14%
Spray (2)	35.95%	43.63%	52.12%
Rate of change [2/1]	242%	215%	185%

실시하지 않았다. 하지만 이와 유사한 분산에 대한 연구 사례를 확인한 결과 기계적인 진동이 시멘트 성분의 침강으로 상부 표면에 광촉매 농축을 촉진하는 것으로 발표되었다.¹³⁾ 기존 연구에서는 단면 촬영을 통해 확인하였으나 금회 연구를 통해 진동 영향을 받은 타설을 통해 제작된 시편과 진동 영향이 없는 뿔칠을 통해 제작된 시편에 대하여 각각의 제거율을 비교함으로써 진동의 영향을 받는 시편이 받지 않은 시편에 비하여 제거율이 평균 2배 이상 차이가 발생함을 확인할 수 있었다.

3.2. 색소에 따른 실험결과 및 고찰

금회 사용된 색소에 대하여 바인더 백시멘트, 천연시멘트, 테라코트를 이용하여 제거율 실험을 실시하였으며 이 때 광

Fig. 11. Breakdown of the chemical composition of natural cements in Europe.⁶⁾

Fig. 12. NO removal rate graph to construction method.

촉매 사용량은 10%를 혼합하여 시편을 제작한 후 ISO22197-1 기준을 준용하여 NO제거율 실험을 실시하였다.

실시한 결과를 Table 5와 Fig. 13 같은 정리하였다.

색소에 따른 제거율 결과의 전반적인 경향은 녹색이 타 색상에 비하여 제거율이 전반적으로 낮게 산정되었다. 이에 대한 원인을 파악하기 위해서는 색상별 UV흡수율 및 파장, 색소의 구성 성분 등에 대한 분석이 필요하나 금회 연구에서는 제거율 이외에는 별도의 분석을 실시하지 않았다. 그러나 광촉매 활성을 위한 구성 성분에서 원인을 추정하였다. 녹색 색소의 경우 Cr으로 구성된 색소인 반면에 적색과 흑색의 경우 Fe로 구성되어 있다. 따라서 각 원소의 산화환원을 위한 전위값을 확인한 결과 Cr의 경우 -0.74 eV이며 Fe의 경우 -0.44 eV이었다. 이러한 전위값 차이가 Ca와 N가 결합하는데 영향을 주었을 것으로 추정되며 이에 대한 자세한 원인 분석은 추후 연구를 통해 검증할 필요가 있다.

Table 5. Experimental results of NO removal rate to pigment mixing

Material	Not added	Green	Red	Black
Naturel Cement	13.68	9.66	21.35	18.42
White Cement	43.63	25.77	46.40	44.33
Terrcoat	53.89	29.90	68.29	63.54

4. 결론

본 연구는 최근 사회적으로 문제가 되고 있는 미세먼지 저감을 위한 기술을 규제가 아닌 공학적인 접근방법으로 해결하고자 건설용 자재에 광촉매를 혼합하는 경우 이에 대한 제거율 변동 경향에 대한 실험적 연구를 실시하였으며 연구를 통해 바인더 종류 및 색소에 따라 다음과 같은 경향을 확인할 수 있었다.

- 1) 천연시멘트가 백시멘트 대비 56~67% 수준으로 백시멘트가 제거율 측면에서 우수하였다. 따라서 천연시멘트를 사용하는 경우 백시멘트와 동일한 제거율을 확보하기 위해서는 광촉매 비율을 5% 이상 증가시켜야 됨을 확인할 수 있었다.
- 2) 시공방법에 대한 제거율 변동을 확인한 결과 타설을 통해 시공하는 방법보다는 뿔칠을 실시하는 것이 제거율에서 2배가량 제거율이 향상되었으며 그 원인으로는 타설시 사용되는 진동이 시멘트 분말의 침강과 광촉매의 상승을 유발하여 본래의 제거 기능이 저감됨을 본 연구를 통해 확인할 수 있었다.
- 3) 색소에 대한 제거율을 평가한 결과가 녹색이 바인더, 시공방법에 관계없이 대부분의 평가에서 적색, 흑색보다 낮게 산정되었으며 이는 색소의 조성성분의 차이에 의한 것으로 검토하였으며 이에 대한 세부적인 원인분석은 추가 연구를 통해 확인이 필요하였다.

Fig. 13. Experimental results of NO removal rate graph to pigment mixing.

본 연구를 통해 바인더 종류 및 색소에 대한 기초 연구가 가능하였으며 진동에 의한 영향을 수치적으로 확인 할 수 있었다. 향후 연구로 색소에 의한 변동 요인을 세부적으로 실시하여 색소에 따른 제거율 변동 요인을 최소화 하는 기술 개발이 필요하며 본 연구와 연계하여 저비용 광촉매 생산 기술에 대한 연구가 진행 중이므로 향후 개발된 광촉매에 대한 제거 효율에 대한 평가와 더불어 건설 현장에 사업화를 위한 비용 산정을 통해 경제성 평가가 추가되어야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)의 건설기술연구사업 “저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발(18SCIP-B149189-01)”의 지원을 받아 작성된 논문입니다.

KSEE

References

1. Clean Air Planning Division, It seems to know right away. Fine dust, what the hell?, Media Support Team, Sejong-si, pp. 6~9.
2. Jeon, J. J., Kim, S. H., Lee, S. W. and Kim, S. O., “Photocatalytic Oxidation of Arsenite Using Goethite and UV LED,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **39**(1), 9~18(2017).
3. Kim, S. H., Seol, J. W., Lee, W. C., Lee, S. W. and Kim, S. O., “Photocatalytic Oxidation of Free Cyanide Using UV LED,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **37**(1), 34~44(2015).
4. Jeon, T. Y. and Kim, J. Y., “Removing Malodor Using Photocatalyst and Infrared,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **36**(8), 528~533(2014).
5. Yun, T. K. and Bae, J. Y., “Preparation and Characteristics of Visible-Light-Active TiO_{2-x} Nanoparticles for Photocatalytic Activities,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **31**(11), 1019~1024(2009).
6. An, S. W., Cho, I. H., Park, J. H., Chang, S. W. and Kim, Y. G., “Degradation of Formaldehyde in Indoor Air Quality by TiO_2 Sol Coated Wall Paper,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **28**(8), 872~877(2006).
7. Kim, S. M., Youn, T. K., Hong, D. I., Kim, S. K., Park, S. W., “A Study on the Character and Activity of TiO_2 Photocatalysts Prepared with Various Condition,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **27**(9), 932~838(2005).
8. Ra, D. G., Lee, K. D., Jung, S. C., Kim, Y. K., “Assesment of Strength Property and Photocatalytic Activity of TiO_2 -Added Mortar,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **25**(12), 1499~1503(2003).
9. Joo, H. K., Jeon, M. S. and Lee, T. K., “Photocatalysts : Theory and Its Application,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **21**(6), 1231~1240(1999).
10. Boonen, E. and Beeldens, A., “Recent Photocatalytic Applications for Air Purification in Belgium,” *Coatings*, **2014**(4), 553~573(2014).
11. Folli, A., “ TiO_2 photocatalysis in Portland cement systems: fundamentals of self cleaning effect and air pollution mitigation,” University of Aberdeen, Aberdeen, pp. 29(2010).
12. Folli, A., Pochard, I., Nonat, A. and Jakobsen, U. H., “Engineering Photocatalytic Cement: Understanding TiO_2 Surface Chemistry to Control and Modulate Photocatalytic Performances,” *J. Am. Ceram. Soc.*, **93**(10), 3360~3369(2010).
13. Ignacio, A. T., “Photocatalytic cement. Pollution reduction and preservation of building coatings,” in *Proceedings of the II International and IV National Congress on Sustainable Construction and Eco-Efficient Solutions*, University of Sevilla, Sevilla, pp. 583~593(2015).
14. Folli, A. and Macphee, D. E., “Future challenged for photocatalytic concrete technology,” *34th Annual Cement and Concrete Conference*, Department of Material Science and Engineering, Sheffield, pp. 209~214(2014).
15. Sommain, D., Prompt natural cement, THE LOUIS VICAT Technical center materials and microstructure laboratory, L’Isle d’Abeau, pp. 4(2007).