

광촉매 콘크리트 도로 구조물의 효율적 시공방법에 대한 실험적 연구

An Experimental Study for the Construction of Photocatalytic Method Concrete Road Structure

홍성재 Hong, Sung Jae
이승우 Lee, Seung Woo

정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail: zkdlwl@nate.com)
정회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 교수 · 교신저자 (E-mail: swl@gwnu.ac.kr)

ABSTRACT

PURPOSES : About 35% of air pollutant is occurred from road transport. NOx is the primary pollutant. Recently, the importance of NOx removal has arisen in the world. TiO₂ is very efficient for removing NOx by photocatalytic reaction. The mechanism of removing NOx is the reaction of photocatalysis and solar energy. Therefore, TiO₂ in concrete need to be contacted with solar radiation to be activated. In general, TiO₂ concrete are produced by substitute TiO₂ as a part of concrete binder. However, 90% of TiO₂ in the photocatalysis can not contacted with the pollutant in the air and solar radiation. Coating and penetration method are attempted as the alternative of mixing method in order to locate TiO₂ to the surface of structure.

METHODS : The goal of this study was to attempt to locate TiO₂ to the surface of concrete, so we can use the concrete in pavement construction. The distribution of TiO₂ along the depth were confirmed by basing on the comparison of TiO₂ compare by using the EDAX(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy).

RESULTS : TiO₂ were distributed within 3mm from concrete surface. This distribution of TiO₂ is desirable, since the TiO₂ induce photocatalysis are located to where they can be contacted with the air pollutant and solar radiation.

CONCLUSIONS : Nano size TiO₂ is easily penetration in the top 3mm of concrete surface. By the penetration TiO₂ concrete can be produced with the use of only 10% of TiO₂, by comparing the mixing types.

Keywords

photocatalysis, NOx, TiO₂, mixing, coating, penetration

Corresponding Author : Lee, Seung Woo, Professor
Department of Civil Engineering, Gangneung-Wonju National
University, 7, Jukheon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do, 210-702, Korea
Tel : +82.33.640.2419 Fax : +82.33.641.1391
E-mail : swl@gwnu.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ijhe.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

21세기에 들어와 환경문제의 해결은 전 세계의 공통적인 관심사일 뿐만 아니라 누구나 인식하고 있는 사실이다. 1992년 6월 브라질 리오데자네이로에서 환경과 개발에 관한 국제회의를 개최하여 개발에 따른 지구온

난화 및 지구환경에 관한 문제를 폭넓게 협의한 것을 계기로 1997년 12월에는 일본 교토에서 지구온난화 방지에 관한 국제회의를 열고 오는 2010년까지 지구온난화 가스 배출량을 1990년 수준으로 되돌리기로 결정하였다. 이와 같은 국제사회의 환경오염에 대한 공동의 대처

노력에 부응하여 우리나라도 경제협력개발기구(OECD) 회원국의 일원으로서 지구온난화 및 지구환경 문제가 본격적으로 각 분야에서 다루어져야 할 것으로 생각된다. 현실적으로도 서울의 대기오염실태는 OECD 30개 회원국 중 가장 열악하다는 사실은 국내의 환경수준이 극히 낮다는 것을 나타내고 있다(이한승, 2005).

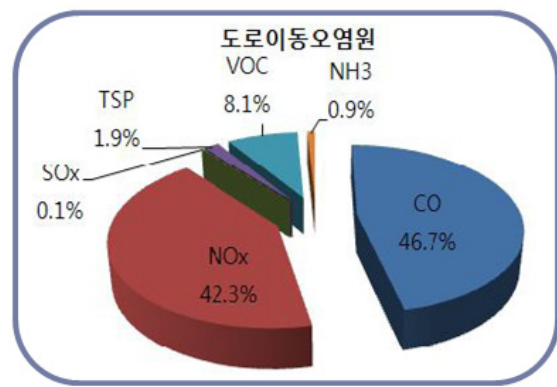


Fig. 1 Air Pollution in Seoul, Korea (Lee Han Seung, 2005)

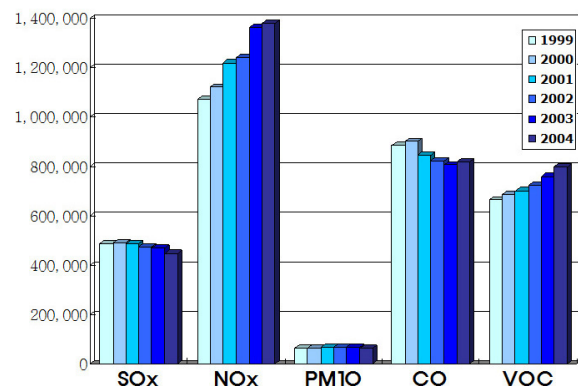
이렇듯 심각한 국내 대기오염실태의 근본적인 원인을 살펴보면, 대기오염물질의 주요 원인은 도로이동오염원이 34.4%로 가장 많고 유기용제 사용 및 비도로 이동오염원 순으로 높은 비중을 차지하고 있다. Fig. 2(a)는 도로이동오염원이 배출하는 대기오염물질의 배출량 기여율을 나타낸 것으로 질소산화물(NOx)의 비율이 상당히 높은 것을 확인할 수 있으며, Fig. 2(b)는 대기오염물질 변화 추세를 나타낸 것으로 지속적인 자동차 운행대수의 급격한 증가를 통해 질소산화물 배출량의 뚜렷한 증가추세를 보이는 것을 알 수 있다(환경부, 2010).

질소산화물(NOx)은 자동차 등의 도로이동오염원과 산업용 보일러나 발전설비와 같은 고정원에서 배출되는 유해 대기오염물질로써, 특히 대도시지역에서 자동차 배기가스에 의한 NOx 오염이 심각한 상황이다. 이러한 질소산화물(NOx)은 호흡기계의 병을 일으키는 물론 광화학 스모그와 산성비의 원인이 되는 가스성분으로 잘 알려져 있다. NOx 중 NO₂가 위험한 성분으로서 대기 중에 50ppm 정도 존재하면 생명체의 죽음을 초래하는 것으로 알려져 있고, 0.05와 0.2ppm 사이의 낮은 농도에도 호흡기 장애를 일으킬 수 있다(김화중, 2000).

이와 같이 NOx에 의한 대기오염을 정화할 수 있는 방법으로는 TiO₂의 광촉매작용을 이용한 NOx의 정화 및 무해화를 들 수 있으며, 태양에너지와 반응하여 질소산화물(NOx), 유기염소화합물 등에 의한 대기의 오염물질을 산화하여 제거하는 원리를 이용하는 것이다. 이



(a) Contribution Rate of Pollutant due to Mobile Emission



(b) Trend of Air Pollutants

Fig. 2 Emission of Air Pollutants in Korea (Ministry of Environment, 2010)

리한 원리를 도로포장재료에 도입한다면 자동차에서 배출되는 유해가스를 직접적으로 흡수/제거함으로써 도시의 대기오염방지에 상당히 효과적일 것이며, 도로 시설물의 경우 부피에 대한 표면적의 비율이 타 시설물에 비해 높음으로 광촉매 효율을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 대기오염물질을 제거하기 위한 광촉매 콘크리트를 도로포장 및 도로 시설물 분야(콘크리트 중앙분리대, 콘크리트 방호벽)에 적용하는 연구로써 광촉매 입자의 형태와 종류에 따른 배합, 침투 및 코팅을 통한 광촉매 콘크리트 적용방안 및 효용성을 검토하고자 하였다. 시멘트 일부를 치환하는 방법은 일부 유럽국가 및 일본에서 보도블록 등에 광촉매 소재를 적용 시 사용하고 있는 방식이다. 현재 가장 활발히 연구가 진행되어 특허 및 시험시공을 통한 대기오염 저감에 탁월한 효과를 나타내고 있다. 그러나 이 경우 광촉매의 함유 부분이 상당히 두껍기 때문에 광촉매가 많이 사용되어야 하며 광촉매 반응이 대기와 접하는 반응임을 고려하여

볼 때 내부에 존재하고 있는 광촉매는 광을 받지 못하거나 또는 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 낭비가 심해진다. 광촉매의 종류에 따라 가격은 팔천 원에서 십만 원 이상인 점을 고려하여 볼 때 치환배합으로 배기가스 저감 콘크리트를 적용하는 것은 경제성 및 효율성을 확보하지 못하여 실용화에 상당한 어려움이 있으리라 예상되어진다. 또한 광촉매 입자의 형태와 종류에 따른 광촉매 콘크리트 적용방안 및 효율성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 광촉매 콘크리트를 보다 효과적으로 적용할 수 있는 방안 및 효율성을 검토하기 위하여 전계 방사형 주사전자현미경(SEM/EDAX)을 사용하여 TiO₂의 분포도 및 침투 분석을 실시하였다. 분석결과를 이용하여 광촉매 입자크기에 따른 비교·분석을 하여 적용성과 경제성을 가지는 광촉매 콘크리트 적용방안을 제시하고자 한다. 본 연구의 최종목적은 콘크리트 포장에 광촉매에 대한 적용성과 경제성을 분석하여 콘크리트 시설물의 최적적용방안을 도출하기 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 광촉매 콘크리트의 특성

2.1. 광촉매 콘크리트의 오염물질 제거원리 및 특성

광촉매 소재는 빛 에너지를 흡수해서 화학반응을 촉진시키는 촉매이다. 광촉매는 빛을 흡수하여 표면의 유해물질을 분해하는 기능이 있는데 이를 응용하여 공기·수질·토양의 정화와 같은 환경정화에 이용되고, 광촉매의 산화·환원력이 매우 높아 벽지와 천장재 같은 건축 내장재에 이용되면 뛰어난 항균·탈취 특성을 보이며, 표면에 부착되는 오염물질을 광촉매가 분해하므로 스스로 표면의 더러움을 방지하는 셀프클리닝(self-cleaning) 유리로도 이용된다. 광촉매에 빛이 비추지면 강력한 산화력을 가진 물질인 활성산소가 생성되고 이 활성산소는 주위의 유해가스, 오염물, 세균과 산화·환원반응을 진행함으로써 살균과 공기정화 목적에 도달할 수 있는 촉매제이다. 광촉매의 특성을 나타내는 물질로는 ZnO, CdS, TiO₂, SnO₂, WO₃ 등과 perovskite형 복합 금속화합물(SrTiO₃) 등을 들 수 있으며, 각 촉매마다의 유기물 분해능력에는 큰 차이가 있으나 실제 광촉매 반응에 사용할 수 있는 반도체 물질은 우선 광학적으로 광투과성이 없고 활성이 있어야 한다. 광촉매로서 사용하고 있는 대표적인 물질은 이산화티타늄(TiO₂)으로, 이산화티타늄은 광촉매로서 내마모성, 내구성이 우수하

며 그 자체로 안전/무독물질로 폐기 시에도 2차 공해에 대한 염려가 없고 자원적으로 풍부하여 가격이 저렴하여 가장 많이 사용되고 있다.

Fig. 3은 TiO₂의 광촉매 유기물 분해기구를 도시한 것이다. TiO₂ 반도체에 일정한 영역의 에너지(3.2 eV 이상, 388nm 이하의 파장)가 가해지면 전자가 가전자대(valence band)에서 전도대(conduction band)로 여기게 된다. 이때 전도대(conduction band)에는 전자(e⁻)들이 형성되게 되고 가전자대(valence band)에는 정공(h⁺)이 형성되게 된다. 이렇게 형성된 전자와 정공은 강한 산화 또는 환원작용에 의해 유해물질을 분리시키는 등 다양한 반응을 일으키게 된다.

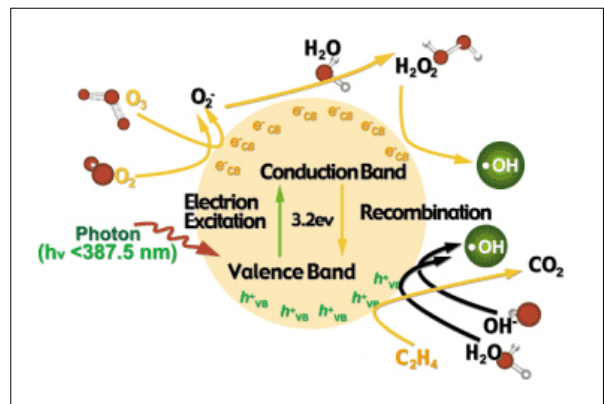


Fig. 3 Photocatalytic Reaction

광촉매 이산화티타늄에 빛이 닿아 발생한 전자(e⁻)와 정공(h⁺)은 각각 공기중의 O₂ 및 H₂O와 반응을 일으켜, 산화티타늄 표면에 슈퍼옥사이드음이온(O₂⁻), 수산라디칼(OH[•]) 2종의 활성산소를 생성한다. 특히, 수산라디칼은 높은 산화, 환원 전위를 가지고 있기 때문에 NO_x, SO_x, 휘발성유기화합물(VOCs) 및 각종 악취 정화에 탁월하고, 축산폐수, 오수, 공장폐수의 BOD, 색도 및 난분해성 오염물질, 환경호르몬 등을 완벽히 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 병원성대장균, 황색포도구균, O-157 등 각종 병원균과 박테리아를 99% 이상 살균하는 등 대상물질을 산화시키는 능력을 갖고 있다(K. Takeuchi, 2000).

널리 사용되고 있는 이산화티타늄의 경우 아나타제(anatase), 루틸(rutile), 브루카이트(brookite) 3가지 종류가 있다. 브루카이트형은 공업적으로 사용되지 않고 있으며, 광촉매 효과가 거의 없는 것으로 알려져 있다. 아나타제의 경우는 백색안료로 광촉매용으로 많이 사용되며, 가장 활성이 큰 것으로 알려져 있다. 900℃ 이상의 고온에서 루틸형으로 변화되는 특징을 가지고 있다.

루틸의 경우에는 백색 안료 등 공업적으로 넓게 사용되며, 광촉매용으로 사용된다. 착색력이 우수하며, 열적으로 안정되어 있다.

2.2. 국내·외 광촉매 콘크리트 적용 사례 및 특징

광촉매 소재가 적용된 콘크리트 포장에 대한 연구개발은 이탈리아, 벨기에, 일본, 미국을 중심으로, 1990년대부터 시작되었다. 2000년대 중반 이후부터 본격적으로 연구개발이 전개되기 시작하였으며, 신뢰성있는 국제학술지에 연구결과가 발표되기 시작한 것은 주로 2009년도 이후부터이다. 건물과 도로 등 구조물에 광촉매 기능을 부여하고 이를 가장 활발하게 시공하여온 나라로는 이탈리아와 일본을 들 수 있다. 이탈리아의 경우, 통상명칭인 광촉매 시멘트를 Bergamo시 Borgo Palazzo Street의 블록 포장에 적용하여 적용지역 대기오염이 30~40% 감소하였다는 자체 분석사례가 있다. Fig. 4는 이탈리아 로마시의 Jubilee church의 콘크리트 외장에 TiO₂계 광촉매 시멘트를 적용한 사례이다(Italcementi group, 2007).



Fig. 4 TiO₂-based Photocatalytic Cement for External to the Concrete of the City of Rome Jubilee Church Practices (Italcementi Group, 2007).

또한 일본의 경우 Osaka, Chiba, Chigasaki 및 Saitama-Shintoshin 지역의 50,000m²의 면적에 Fig. 5와 같이 광촉매 콘크리트 블록 포장을 시공하였다. 이러한 시공들에 관한 연구결과에 의하면, 광촉매 도로포장은 주행 중인 자동차에 의하여 배출되는 NO_x의 15%를 분해하며, 도로변 가로수보다 NO_x 분해효과가 탁월하고, 대도시지역의 모든 주도로와 인도 보도블럭, 건물외장재에 광촉매 기능을 부여할 경우에는 공기의 질이 80% 향상된다고 예측되고 있다(Anne Beeldens et. al., 2006).



Fig. 5 Block Pavement for Japan Photocatalytic Concrete (Anne Beeldens et. al., 2006).

3. 광촉매 콘크리트의 적용방안

3.1. 광촉매 적용방안

광촉매의 적용방안으로 결정한 방법은 시멘트 일부를 치환하여 배합하는 방법과 수성 양생제를 이용한 코팅, 유기계 표면침투제를 이용한 침투방법으로 결정하였다. 시멘트 일부를 치환하는 방법은 일부 유럽국가 및 일본에서 보도블록 등에 광촉매 소재를 적용 시 사용하고 있는 방식이다. 현재 연구 진행되어 특허 및 시험시공을 통한 결과를 나타내고 있다. 이방법의 경우 콘크리트 내에 광촉매 함유부분이 상당히 두껍기 때문에 마모의 위험은 없다. 그러나 콘크리트 내부에 광촉매가 존재하기 때문에 많은 광촉매를 사용해야 된다. 또한 광촉매 반응은 대기와 접하는 반응임을 고려하여 볼 때 내부에 존재하고 있는 광촉매는 광을 받지 못하거나 또는 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없다. 더욱이 광촉매 가격을 고려하여 볼 때 이러한 방법으로 배기가스 저감 콘크리트를 적용하는 것은 경제성 및 효율성을 확보하지 못하여 실용화에 상당한 어려움이 있으리라 예상되어진다. 양생제를 이용한 코팅방법의 경우 표면에서는 광촉매가 직접적으로 넓은 대기와 접촉하고 있어 충분한 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 광촉매가 필요한 깊이까지 코팅이 된다면, 충분한 효과를 발휘시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 콘크리트 포장의 마모나 마찰로 발생하는 광촉매 감소로 인하여 장기간 사용이 용이하지 못할 것으로 판단된다. 광촉매를 유기계 표면침투제로 이용한 적용방법은 침투깊이에 따라 마모의 위험은 없으며, 광촉매가 적정량 사용된다. 또한 자동차의 배기가스와 접하는 대기가 넓기 때문에 충분한 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 그러나 적정깊이까지 침투

하지 못하면 자동차로 인한 마모에 따른 광촉매 효과의 손실이 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 다양한 적용방안이 광촉매에 적정깊이나 효과와 경제적인 측면을 고려하여 광촉매 콘크리트에 대한 제작 방법에 따른 광촉매 검출특성을 분석하고 이를 통하여 최적의 적용방안을 도출하고자 한다.

본 연구에서는 광촉매의 경우 나노(25nm)입자이며, 아나타제인 P-25를 사용하였으며, Table 1과 같이 적용인자로는 국외에서 많이 사용되고 있는 광촉매치환 배합을 기반으로 유기계 표면침투제 침투 및 양생제의 코팅을 혼합한 적용기법을 사용하였다. 적용방법으로는 치환배합의 경우 시멘트량의 5%를 광촉매로 치환하여 배합하였고, 나머지 2가지의 적용인자는 표면에 살포하여 광촉매의 검출여부를 확인하였다.

Table 1. Mixed Mortar and Application Techniques

Type of Photocatalysis	Application Techniques	Water/Cement Ratio(W/C)	Cement/Sand Ratio (C/S)
Mix TiO ₂ (5%)	Mix in Cement	0.5	1:2
Penetration TiO ₂ (P-25, 5%)	Spread on Surface		
Coating TiO ₂ (P-25, 5%)	Spread on Surface		

3.2. 시편 제작

광촉매(TiO₂)를 적용한 모르타르 시편의 경우 티타늄 검출을 확인하기 위한 실험을 실시하기 위해서 시편 사

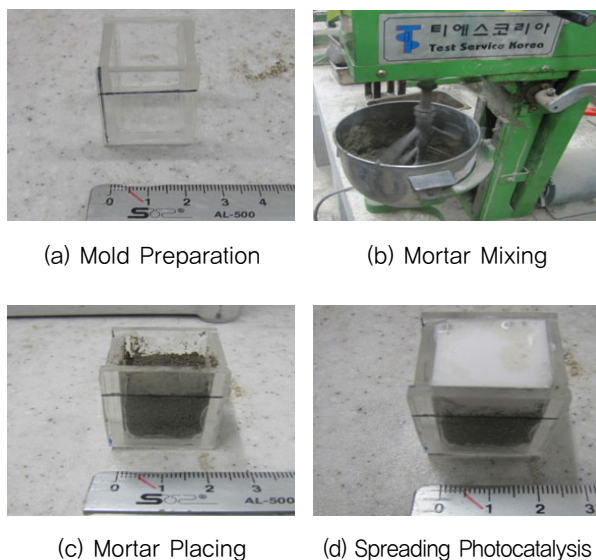


Fig. 6 Specimen Preparation of Photocatalysis Mortar

이즈가 작아야 하며, 추후 질소산화물(NO_x) 제거실험을 수행하기 위하여 사이즈를 2cm×2cm×2cm로 제작하였다. Fig. 6의 경우 1:2 모르타르 배합을 위한 시편 제작과정을 나타낸 것으로 TiO₂(5%) 치환배합 시 시멘트의 5%를 TiO₂로 치환하여 모르타르 배합을 실시하였으며, 유기계 표면침투제 및 수성 양생제 적용 시 배합된 1:2 모르타르 시편을 일정기간 양생 후 표면에 살포하였다.

4. 광촉매 콘크리트의 티타늄 검출 평가

전계방사형 주사전자현미경(SEM/EDAX)은 금속표면에 강한 양전위를 걸어 주어서 전자를 표면으로부터 떼어내는 전자총을 사용하여 고휘도의 전자빔을 얻을 수 있다. 따라서 고분해능, 고배율로 분석이 가능하며, 시료표면에서 발생하는 다양한 신호를 검출하여 물질의 형태, 구조, 성분 등을 분석할 수 있는 장비이다. 광촉매(TiO₂)에 분말도에 따라 광촉매(TiO₂) 검출을 판단하기 위해서 전계방사형 주사전자현미경을 이용하여 미세구조 및 성분분석을 실시하였다. 광촉매가 적정깊이에 검출되는지를 판단하기 위해서 Fig. 7과 같이 측정하였다. EDAX에 분석하기 위해서는 진공상태가 되어야 측정할 수 있기 때문에 Fig. 7과 같이 시편 중앙 표면에서부터 10mm 이상의 부분을 시편으로 다시 분리하여, EDAX 분석을 실시하였다. 다양한 적용방안이 광촉매에 적정깊이나 효과와 경제적인 측면을 고려하여 시편의 표면으로부터 0.33mm를 기준으로 검출결과를 분석하였다.

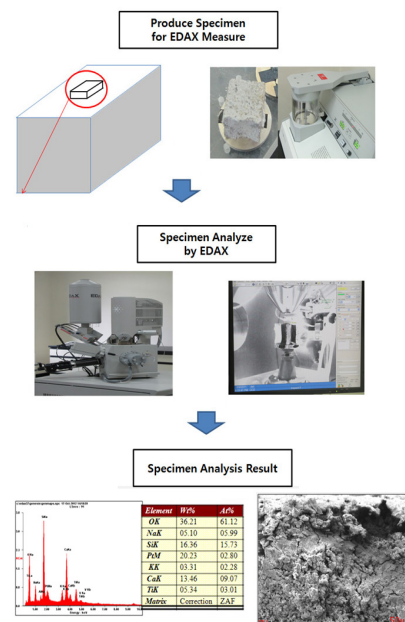


Fig. 7 Procedure for Photocatalysis Measure

4.1. TiO₂(5%) 치환배합에 따른 티타늄 검출특성

치환배합을 통한 EDAX 분석결과를 Fig. 8에 나타내었으며, 광촉매의 함유량이 5%로 치환배합한 결과로서 티타늄의 질량비가 3.38% 검출되었다. 치환배합의 경우에는 기본적으로 많은 양의 광촉매를 소비하고 있으나, 콘크리트 표면을 제외한 내부에서는 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 소비가 심해진다. 추후 실험을 통하여 질소화합물(NO_x) 제거에 대한 효과분석을 실시하여 효율성에 대한 명확한 판단이 필요하다.

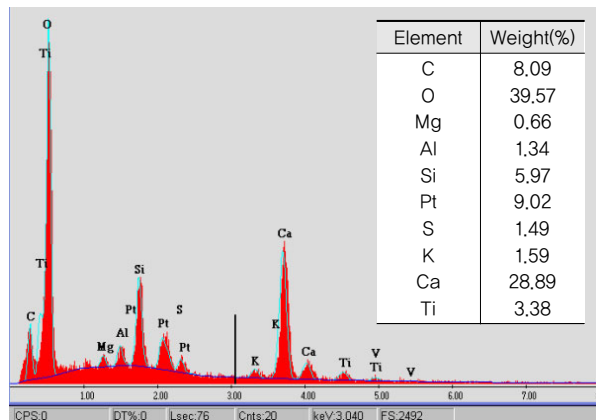


Fig. 8 EDAX Analysis Results for Mix Cement Substitution

4.2. 코팅에 따른 티타늄 검출특성

수성 양생제를 이용한 코팅의 경우 Fig. 9와 같은 결과를 나타내었으며, EDAX 분석결과에서 티타늄의 질량비가 검출되지 않았다. 시편 위에 5%의 광촉매를 표면 살포한 결과 양생제의 주성분인 Si가 검출되었으나, 티타늄이 검출되지 않았다. 다양한 코팅방법에 대한 고찰이 필요할 것으로 판단되며, 추후 실험을 통한 티타늄 검출특성을 확인할 필요가 있다.

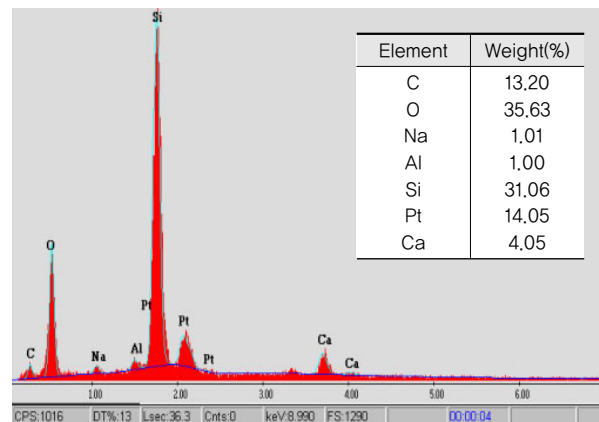


Fig. 9 EDAX Analysis Results for Coating Compounds

4.3. 침투에 따른 티타늄 검출특성

유기계 표면침투제를 이용한 침투실험의 경우 Fig. 10과 같이 EDAX 분석결과에서 티타늄의 질량비가 14.83%가 검출되었다. 콘크리트 포장에서 적용하기 위하여 다양한 종류의 이산화티타늄을 이용하여 침투깊이를 산정하는 것이 필요하다. 검출이 되었지만 적정깊이까지 침투하였는지를 평가하기 위하여 TiO₂의 입자 사이즈와 종류를 비교·분석하였다.

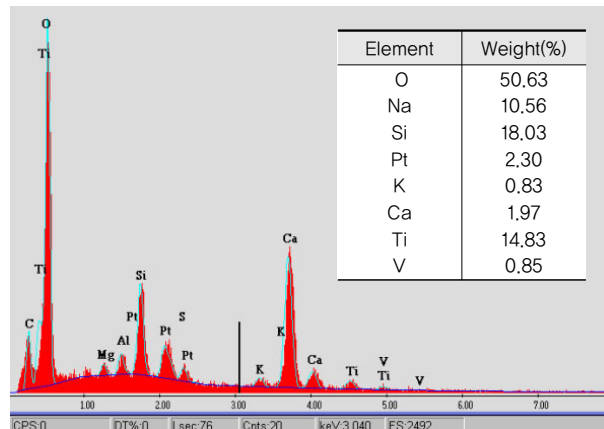


Fig. 10 EDAX Analysis Results for Surface Penetration

4.4. 배합, 코팅, 침투에 따른 광촉매 검출 평가

치환배합을 통한 EDAX 분석결과에서는 티타늄의 질량비가 3.38% 검출되었다. 광촉매의 함유량이 5%로 치환배합한 결과로서 티타늄이 5% 미만의 질량비를 나타내고 있다. 치환배합의 경우에는 기본적으로 많은 양의 광촉매를 소비하고 있으나, 콘크리트 표면을 제외하는 내부에서는 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 소비가 심해진다. 광촉매의 경제성이나 효율성이 떨어지는 결과를 보이고 있다. 광촉매의 가격을 고려하였을 때 경제성이 매우 좋지 않을 것으로 판단된다. 수성 양생제를 이용한 코팅의 경우에는 티타늄이 검출되지 않았으며, 콘크리트 포장에 적용하기에는 자동차로 인한 마모 및 산화에 따른 광촉매 효과의 손실이 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 코팅을 적용하기 위해서는 콘크리트 포장 보다 콘크리트 중앙분리대 및 콘크리트 방호벽 등의 마모가 발생하지 않는 도로시설물에 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 유기계 표면침투제를 이용한 경우 0.33mm에서 티타늄이 검출되었으며, 콘크리트 포장에 적용하기 위한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 광촉매의 적정한 침투깊이를 보이고, 배합 및 코팅과 비교하여 충분한 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 콘크리트 포장에 적용하기 위하여

유기계 표면침투제가 가장 적합하다고 판단되었다. 이에 유기계 표면침투제를 이용하여 광촉매의 입자와 종류에 따른 티타늄 침투깊이 평가를 실시하고 입자와 종류에 따른 경제성을 고려하여 콘크리트 포장의 최적 적용방안을 찾고자 한다.

5. 표면침투제를 이용한 광촉매 입자 및 종류에 따른 티타늄 침투깊이 평가

도로의 마모가 발생하여도, 광촉매의 효과를 나타내기 위해서 표면에서부터 일정 깊이까지의 광촉매가 많이 분포하고 있는 것이 최적의 광촉매 분포라고 판단된다. Fig. 11과 같이 표면 3mm 내에서 표면으로 가까울수록 가장 많은 광촉매를 분포시키는 것이 가장 최적의 분포라고 판단하였다. 그래서 유기계 표면침투제를 이용한 침투방법을 적용하여 침투여부를 확인하였으며, 광촉매의 입자와 종류에 따른 침투깊이를 분석하고자 한다. 또한 광촉매를 치환배합의 일반적인 결과와 유기계 표면침투제를 이용하여 광촉매를 적용한 시편의 차이를 확인하기 위해서 광촉매를 치환한 방법과 유기계 표면침투제를 이용한 방법을 비교·분석하였다.

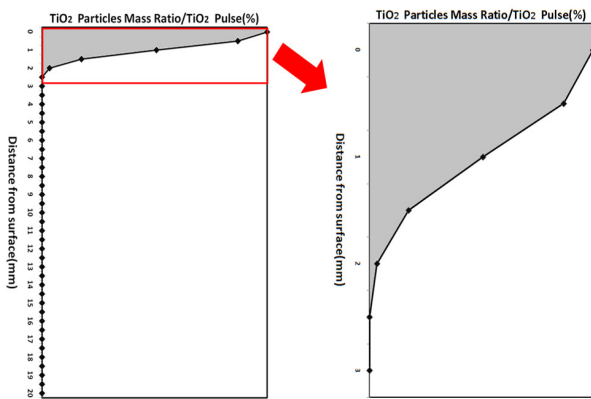


Fig. 11 Concept of Optimum Photocatalysis Concrete

광촉매가 표면에서부터 일정 깊이까지는 나노입자의 경우 입자가 작기 때문에 침투가 용이할 것이다. 반면에 마이크로 입자의 경우 입자의 크기가 나노입자에 비해 크기 때문에 침투가 용이하지 않을 것으로 판단되지만 적정 깊이까지 침투한다면 경제성이 좋은 마이크로입자를 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구에서는 광촉매의 종류와 입자의 사이즈에 대한 여러 광촉매를 사용하여 침투깊이와 경제성을 고려한 실험을 실시하였다. 광촉매 종류의 경우 아나타제와 루틸형을 사용하였으며,

아나타제의 경우 P-25(25nm), K-100(0.25~0.35um)과 루틸형의 경우 MPT-100(30nm)와 CR-57(260nm)를 적용하였다. 각 광촉매의 가격은 P-25의 경우 가격이 1kg 당 10만 원이며, MPT-100은 7만 원, CR-57은 8천 원, K-100은 7천 원으로 다양하게 존재한다. 이에 유기계 표면침투제를 이용한 광촉매 콘크리트 적용방법에 따라 광촉매 종류에 따른 침투깊이를 분석하고 이를 통하여 최적의 적용방안을 도출하고자 한다. Table 2와 같이 적용인 자로는 이산화티탄의 입자에 따른 나노, 마이크로 사이즈와 이산화티탄의 종류인 아나타제, 루틸형으로 구분하여 실험을 실시하였다. 유기계 표면침투제의 사용량과 치환배합을 동일하게 사용할 경우 유기계 표면침투제의 첨가할 수 있는 양이 한정되어 있어 표면침투제와 치환배합에서 사용한 TiO_2 량을 조정하여 실시하였고, 표면침투제와 치환배합과 비교하기 위하여 질량비/사용량으로 적용하여 비교·분석하였다.

Table 2. Various Conditions for Photocatalysis Application

Type of Photocatalysis	Application Techniques	Water/Cement Ratio(W/C)	Cement/Sand Ratio (C/S)
Mix TiO_2 (5%)	Mix in Cement	0.5	1:2
Coating TiO_2 (P-25, 25nm)	Spread on Surface		
Penetration TiO_2 2% (CR-57, 260nm)	Spread on Surface		

5.1. TiO_2 (5%) 치환배합에 따른 티타늄 깊이

위에 치환배합과 유사한 결과를 나타내고 있으며, 침투방법과 치환배합에 따른 비교·분석을 하기 위해서 실험을 수행하였다. 치환배합을 통한 EDAX 분석결과로써 티타늄이 100% 미만의 질량비/사용량을 나타내고 있다. 티타늄의 깊이에 따른 분포를 알아보기 위해 콘크리트 표면에서 0.33mm의 단위로 질량비를 측정하였고, 총 깊이는 3mm까지 측정하였다.

Fig. 12와 표면에서는 100%의 티타늄이 검출되지 않았고 70% 정도의 티타늄만 검출되었다. 표면 1.33mm에서 100% 이상의 티타늄이 검출되었다. 사용량에 비해 광촉매가 효율적으로 분포되어 있지 않는 것을 알 수 있고, 다른 깊이에서도 유사한 결과를 나타내고 있다. 그러나 추후 실험을 통하여 질소산화물(NO_x) 제거에 대한 효과분석을 실시하여 효율성에 대한 명확한 판단이 필요하다.

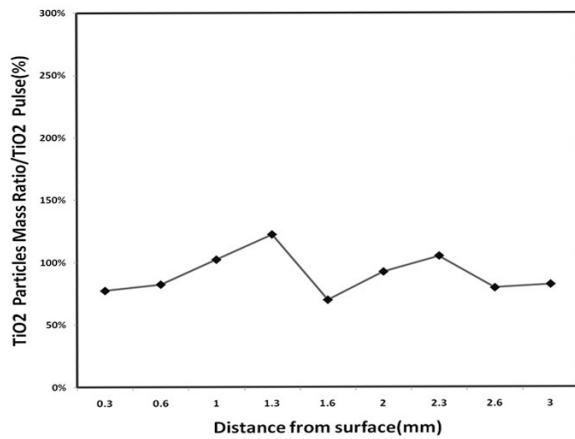


Fig. 12 EDAX Analysis Result for Cement Mix (TiO₂ Particles Mass Ratio/ TiO₂ Pulse)

5.2. P-25의 침투에 따른 티타늄 침투깊이

표면침투제와 광촉매 P-25를 이용한 경우 Fig. 13과 같이 티타늄이 검출되었다. 콘크리트 표면에서 P-25의 침투깊이를 알아보기 위해 0.33mm의 단위로 질량비를 측정하였고 치환배합과 동일하게 3mm까지 측정하였다. 티타늄이 0.33mm에서 70%의 결과를 나타내었으며, 표면에서 멀어지면서 약간의 티타늄이 감소하고 있음을 보였다. 표면에서부터 2.66mm 떨어진 거리에서 티타늄이 검출되지 않았다. 표면으로부터 2.33mm까지 티타늄이 균등하게 검출되었고, 이는 입자의 사이즈가 25nm일 때 모르타르 사이로 침투가 용이한 것으로 판단된다. 그러나 최적의 분포는 표면에 가장 많은 TiO₂가 분포되어야 하는데 입자의 사이즈가 작기 때문에 균등하게 분포된 것으로 판단된다. 하지만 P-25의 침투 결과는 콘크리트 포장에 적용하기에 적절한 깊이까지 침투되었다고 판단되며, 추후 질소화합물(NOx) 제거 실험을 통하여 효율에 대한 검증이 필요하다.

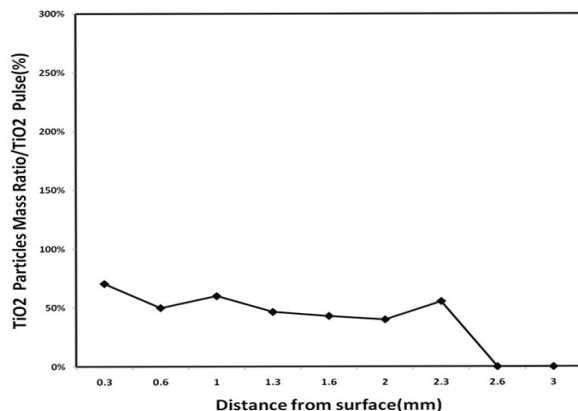


Fig. 13 EDAX Analysis Result for P-25 (TiO₂ Particles Mass Ratio/ TiO₂ Pulse %)

5.3. CR-57의 침투에 따른 티타늄 검출

표면침투제와 광촉매 CR-57을 이용한 경우 Fig. 14와 같은 결과를 나타내었으며, EDAX 분석결과에서 티타늄의 질량비가 검출되었다. 콘크리트 표면에서 CR-57의 침투깊이를 알아보기 위해 0.33mm의 단위로 질량비를 측정하였고 치환배합과 동일하게 3mm까지 측정하였다. 표면으로부터 거리 0.33mm에서 261%, 0.66mm에서는 152.5%, 1mm에서는 52.5%, 1.33mm에서는 46.5%, 1.66mm에서는 20%, 2mm에서는 10%로 질량비/사용량의 티타늄이 검출되었다. CR-57의 경우에는 Fig. 11과 같이 가장 이상적인 침투분포를 나타내고 있으며, 이는 CR-57의 입자 사이즈의 영향으로 표면에서 침투가 가장 많이 이루어진 것으로 판단된다. CR-57의 침투깊이는 2.33mm이기 때문에 콘크리트 포장에 적용하였을 때 포장의 공용화에 따른 도로 표층의 마모 후에도 충분한 TiO₂의 침투깊이를 가지므로 넓은 대기에 충분히 접촉가능하기 때문에 NOx 제거효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

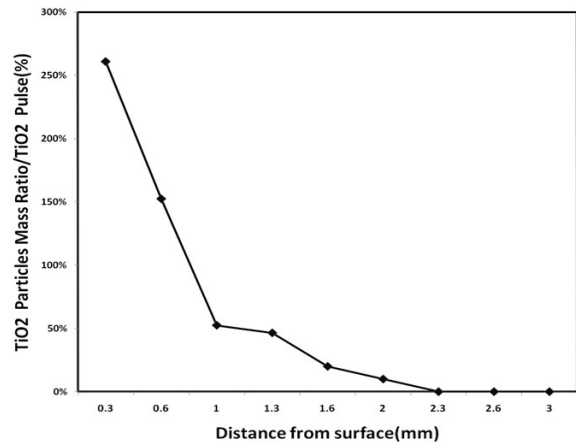


Fig. 14 EDAX Analysis Result for CR-57 (TiO₂ Particles Mass Ratio/ TiO₂ Pulse %)

6. 결론

본 연구에서는 콘크리트 포장의 대기오염물질을 제거하기 위한 적용방안에 대한 연구로 시멘트 일부를 치환하여 배합하는 방법과 양생제를 이용한 코팅 및 표면침투제를 이용한 침투방법에 대한 광촉매 적용방안을 분석하여 최적적용방안을 제시하였다.

1. 치환배합을 통한 EDAX 분석결과에서는 티타늄의 질량비가 3.38% 검출되었다. 광촉매의 함유량이 5%로 치환배합한 결과로써 티타늄이 5% 미만의 질량비

를 나타내고 있다. 치환배합의 경우에는 기본적으로 많은 양의 광촉매 재료를 소비하고 있으며, 배기가스와 접촉하지 못함으로써 그 역할을 할 수 없기 때문에 광촉매의 낭비가 심해진다. 또한 실험결과 티타늄 5% 미만 검출결과 효율성이 더 떨어진다고 판단된다.

2. 수성 양생제를 이용한 코팅의 경우 표면 0.33mm에서 EDAX 분석결과 티타늄의 질량비가 검출되지 않았다. 코팅을 콘크리트 포장에 적용하기에는 자동차로 인한 마모 및 산화에 따른 광촉매 효과의 손실이 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 코팅을 적용하기 위해서는 콘크리트 포장보다 콘크리트 중앙분리대 및 콘크리트 방호벽 등의 마모가 발생하지 않는 도로시설물에 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 추후 실험을 통한 질소화합물(NOx)에 대한 효과분석을 실시하여 도로시설물에 적용하기 위한 검증이 필요할 것으로 판단된다.
3. 유기계 표면침투제를 적용한 경우 광촉매의 적절한 침투깊이를 보이고, 배합 및 코팅과 비교하여 충분한 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 콘크리트 포장에 적용하기 위하여 표면침투제가 가장 적합하다고 판단되었다.
4. P-25와 CR-57의 경우에는 적정깊이까지 침투하였다. P-25의 경우 2.66mm까지 티타늄이 검출되었으며, CR-57보다 더 깊이 침투하였으나, 치환배합을 사용한 경우와 유사하게 티타늄 검출량이 70% 미만으로 나타났다. 치환배합보다는 표면살포를 하기 때문에 더 적은 양을 사용하여 같은 효과를 발생시킬 수 있기 때문에 경제적인 측면에서 좋을 것으로 판단된다. 그러나 CR-57의 경우에는 2.33mm까지 침투하였으나, 적용량보다 질량비가 표면에서 치환배합과 P-25보다 약 3배 이상의 티타늄이 검출되었다. 입자 사이즈가 더 작은 P-25의 경우 침투깊이에 상관없이 분포가 균등하게 발생된 반면에 입자의 크기가 큰 CR-57의 경우에는 표면에서 가장 많은 티타늄이 검출되었으며, 침투깊이가 깊어질수록 티타늄의 검출량이 적어지는 것을 알 수 있다. CR-57의 경우 넓은 대기에 많은 양의 티타늄과 질소화합물(NOx)이 접촉할 수 있기 때문에 콘크리트 포장에 가장 적합한 재료로 판단된다. 두 재료 모두 도로에서 시간이 지나면서 마모가 시작되어도, 적정깊이까지 침투하였기 때문에 충분한 질소화합물(NOx) 제거

효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다. 추후 P-25와 CR-57의 추가실험을 통하여 질소화합물(NOx) 제거에 대한 효과분석을 실시하여 효율성에 대한 명확한 판단이 필요하다.

추가적으로 콘크리트 포장에 광촉매를 적용하기 위하여 표면침투제를 활용한 방법이 적절한 침투깊이를 보이고, 치환배합 및 양생제를 이용한 코팅과 비교하여 적용성과 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 이에 표면침투제를 이용하여 광촉매의 입자와 종류에 따른 티타늄 침투깊이 평가를 실시하였고 TiO₂ 입자와 종류에 따른 경제성을 고려하여 콘크리트 포장의 최적적용방안을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 "탄소중립형 도로 기술개발" 연구단을 통하여 지원된 국토해양부(한국건설교통기술평가원) 건설기술혁신사업에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Lee H. S., 2005, The Environmental Problem and Environmental Friendly Method Involving Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 17, No. 4, pp. 8-10
- Kim H. J., 2000, Development of Materials to remove Nitrogen Compounds (NOx) of Cement, *Conference of Cement Association*, 153, pp. 50-54
- K. Takeuchi, S. Murasawa and T. Ibusuki., 2000 "The World of Photocatalytic", daeyoungsa, in Korea.
- National Air Pollutants Emission 2007, 2009, *National Institute of Environmental Research*, Ministry of Environment
- Lee W. A., Yang J., Ryu J. S., Lee J. R., 2001, "A Study on the Development for Photocatalytic Concrete with Waste Gas Reduction and Self-cleaning", *Conference of Korea Concrete Institute*, pp. 265-270
- Lee W. A., Yang J., Ryu J. S., Lee J. R., 2002, *A Study on the Property of Photocatalytic Concrete*, *Conference of Korea Concrete Institute*, pp. 575-580
- http://www.italcementigroup.com/NR/rdonlyres/B5F973F4-8D01-4796-ACEC-1A960C71092E/0/QA_UK.pdf
- Michael Chusid, photocatalyst, *Self-Cleaning Concrete*; http://www.concretedecor.net/All_Access/504/CD504_New_Tech.cfm

(Received : May 27 2013, Revised : May 27 2013, Accepted : July 23 2013)