

폐자재를 활용한 대기정화와 항균성을 갖는 친환경도료의 개발과 도로시설의 오염물질의 제거기술

2007. 8. 20.

주관연구기관 / 인본건설(주)
 협동연구기관 / 경북대학교
 위탁연구기관 / 한국도로공사

건 설 교 통 부
 한국건설교통기술평가원

제 출 문

건설교통부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “폐자재를 활용한 대기 정화와 항균 성능을 갖는 친환경도료개발과 도로시설의 오염물질[질소산화물(NOx), 유해유기화합물(VOC)] 제거 기술 개발”의 최종(단계)보고서로 제출합니다.

2007. 8. 20.

주관연구기관 : 인본건설(주)
대표이사 안 평 기
협동연구기관 : 경북대학교
총장 노 동 일
위탁연구기관 : 한국도로공사
사장 손 학 래
참 여 기 업 : (주)삼한씨원
대표이사 한 삼 화

■ 총괄연구책임자 / 수석연구원	안영기	총괄연구책임자
■ 주관연구기관 참여연구원 / 선임연구원	정영준	데이터분석
	/ 선임연구원	결과분석
	/ 연구원	재료실험
■ 협동연구기관 참여연구원 / 책임연구원	김화중	협동연구책임자
	/ 책임연구원	재료개발
	/ 책임연구원	재료개발
■ 위탁연구기관 참여연구원 / 책임연구원	강희만	위탁연구책임자
	/ 연구원	계측분석
	/ 연구원	계측설치
■ 참여기업 참여연구원 / 책임연구원	전용규	현장계측
	/ 선임연구원	현장계측

요 약 문

I. 제목

폐자재를 활용한 대기정화와 항균성능을 갖는 친환경 도료의 개발과 도로시설의 오염물질[질소산화물(NO_x), 유해유기화합물(VOC)]의 제거기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

경제발전과 더불어 향상된 현대인들의 의식수준은 보다 안전하고 깨끗한 환경을 기대하고 있으나, 실제로 우리가 매일 호흡하며 들이마시는 공기는 그다지 깨끗하지 않은 실정이다. 이는 경제발전을 통한 산업 활동과 급증하는 차량의 배기가스에 의한 대기오염이 주원인이라고 할 수 있다. 특히 대기 중에 배출되는 오염물질 중 약 30%를 차지하고 있는 NO_x 는 대도시나 공장지대의 공해를 야기시키는 가스성분으로 잘 알려져 있다. 고온의 배기가스 중에는 대부분의 NO_x 가 NO로 존재하는데 그 이유는 NO가 고온에서 비교적 안정된 상태에 있기 때문이다. 그러나, 상온에서는 쉽게 NO_2 로 산화되어 공해의 직접적인 원인이 된다. 이로 인한 문제가 대두되면서 많은 제언 및 규제들이 제언·채택되고 있고, 배출원 자체에서의 대기오염 방지기술에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나, 배출원에서의 대기오염물질의 저감기술에는 한계가 있어서, 아직도 배출원에서 특히, 차량에 의한 대기오염물질이 대기 중으로 많이 배출되고 있는 실정이다.

실내의 경우 실리콘 및 각종 전자재의 사용으로 인해 휘발성 유기화합물(이하 VOCs)을 발생시키며 그중 특히 포름알데히드(이하HCHO)는 전자재에서 배출되는 화학물질중에서 상당량을 차지하고 있고 또한 발암물질로도 알려져 있어 그 심각성이 크게 대두되고 있다.

본 연구에서는 우리주변 가까이에 존재해 있는 오염물질을 정화하는 방법에 대한 접근을 배출원이 아닌 우리가 생활하고 있는 환경에서 시도하고자 하는 목적으로 실내의 마감, 외부의 벽체면 및 기타 건축 재료에 바름 용도로 적용되어질 수 있는 폐자재를 이용한 친환경 도료의 개발과 실용화를 하는 것이다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 기초문헌의 조사

국내외의 기존 문헌을 수집 및 분석하여 광촉매 메커니즘에 대한 이론적 고찰과 국내외의 대기환경 오염실태에 대한 자료를 확보한다.

2. 광촉매의 평가

기존 문헌의 고찰과 국내외에서 생산되는 광촉매의 Type에 따른 기초적인 성능 평가를 실시하여 적정 광촉매 개발을 위한 우수한 광촉매 재료를 선정하여 가시광선 반응형 광촉매를 개발한다.

3. 광촉매 담체 및 도료의 개발

NO_x와 VOC의 특성과 약 및 제거 가능성 검토, 적정 광촉매 선정을 위한 제거 성능 평가, 적정 광촉매를 이용하여 NO_x와 VOC의 제거 성능을 파악하여 도료의 기본 조성비로 혼합하였을 때에 NO_x와 VOC가스 등의 공기 오염물질 제거성능을 평가한다.

4. NO_x와 VOC가스 감지기 개발

NO_x와 VOC가스의 흡착성능 가능성 평가를 위한 혼화재의 이론적 고찰, NO_x와 VOC가스 등의 공기 오염물질의 흡착성능 효율성을 평가 한다

5. 낮은 자외선 파장에서도 반응하는 특수 광촉매 개발

광촉매 합성을 위한 이론적 검토, 광촉매 합성 기초실험을 통해 낮은 자외선 파장에서도 반응할 수 있는 가능성을 평가하여 가시광선의 파장에서도 반응하는 특수 광촉매를 개발한다.

6. 특수 광촉매를 이용하여 도료에 접목

특수 광촉매를 이용하여 도료제조를 위한 이론적 검토, 특수 광촉매의 성능을 유지할 수 있는 가능성을 평가하여 특수 광촉매를 도료제조에 접목시켜 광촉매 도료를 제작한다.

IV. 연구개발결과

1. 이산화티탄 TiO_2 Anatase형을 이용하여 합성광촉매를 제조하여 성능분석 시험

1차 년도에 실험을 바탕으로 하여 Rutile형보다 Anatase형 TiO_2 가 광활성이 우수한 것을 바탕으로 하여 Anatase형 TiO_2 를 이용하여 혼합금속 산화물과 S(황)을 합성하여 합성광촉매를 제조하였다. 대기성능 실험결과 가시광선 하에서도 반응하는 합성 광촉매를 개발하였다.

2. 고로슬래그·광촉매 담체 와 점토·광촉매 담체의 유해물질 제거성능 시험

담체의 치환율이 증가함에 따라 제거율이 높아지는 경향을 보였으나 10%, 20%, 30%간의 차이에서는 그다지 큰 격차는 없었다. 치환율에 대비한 유해물질의 제거효율은 10%치환시가 우수한 것으로 나타났다.

고로슬래그 담체의 경우 점토 광촉매 담체 보다는 우수한 성능을 보였고 기존연구에 비해 훨씬 우수한 대기정화성능을 보여주었다.

3. 무기도료의 유해물질 제거성능 시험

UV라이트 하에서 NO_x 의 경우 타 유해물질에 비하여 제거되는 정도가 크게 나타났다으며 제거 폭 또한 타 유해물질에 비해 큰 폭을 나타내었다. 반면 CH_3CHO 의 경우 HCHO 와 톨루엔에 비하여 제거율이 낮게 나타났다.

형광등광의 경우 각 유해물질별 제거시험에서 시간별 제거성능의 폭이 UV라이트에 비해 그다지 크지 않았으며 유해물질의 제거에 대해서도 성능도 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 UV라이트에 비하여 형광등속에 자외선의 양이 적기 때문으로 본다.

고로슬래그·광촉매담체와 점토·광촉매담체를 이용하여 제조된 도료를 사용하여 대기유해 인자인 NO_x , VOCs(톨루엔), CH_3CHO 및 실내 유해인자인 HCHO 를 제거할 수 있음을 확인하였다. 또한 실내 및 실외 도료로 사용될 경우 유해인자를 제거할 수 있는 친환경재료로서의 가능성을 증명하였다.

V. 연구개발의 활용계획

본 연구에서 개발하고자 하는 건설 기술적 핵심은 폐자재를 이용하여 환경 친화적 재료 및 시공법 등의 기초기반을 마련하는 것이다.

본 연구에 의해 개발된 도료는 대기오염이 심각한 도심의 내·외부 공간에 환경 부하절감이라는 차원에서 적용 가능할 것으로 판단된다.

대기 환경 오염물질에 의해 표면이 직접적으로 노출되어 손상되는 도심지내의 건물 외벽이나 자동차 배기가스 등 직접적 오염물질에 의해 노출되는 도로시설이나 터널 등의 외부공간에 적용이 가능하다고 판단된다. 외부 공간 이외에도 주택이나 사무실 등 VOCs에 노출된 실내공간에도 적용이 가능하다고 볼 수 있다. 건축물 시공시 실내공간에서 발생할 수 있는 새집증후군을 연구 개발된 제품을 적용함으로써 사전에 미리 방지할 수 있으며 이미 시공된 실내 공간의 화장실 악취, 담배연기, 주방의 음식냄새 등 실내 환경오염물질을 제거하는 데에도 유효할 것이라고 판단된다.

친환경 건축 재료로서 직접 건축물에 적용하여 건축물 자체에 대기정화와 항균작용이라는 새로운 기능을 부여할 수 있는 기술을 확보하고 환경부하를 절감시켜 실내외 공기오염방지 및 개선을 위해 사용되는 유지관리비용을 절감시킬 수 있게 된다. 또한 폐자재를 이용해 건축 공간에 적용함으로써 자원재활용 측면에서의 기술을 향상시키며 도심 거주자의 생활 전반에 대한 삶의 쾌적성 및 거주성 개선을 실현할 수 있을 것이다.

경제 및 산업적으로 살펴보면, 산업부산물인 폐자재를 이용하여 저가의 원료로 고부가가치를 창출할 수 있으며 관련기업의 매출 증대, 판매촉진으로 인한 시장 경제의 활성화를 기대할 수가 있다. 또한 기술 및 제품의 수출과 교류로 인한 외화획득 및 국가홍보의 수단으로의 역할을 기대할 수 있다.

연구결과의 활용 가능성을 높이기 위하여, 관련기업 및 전문가를 대상으로 세미나를 실시하고, 제안된 의견을 최대한 반영하여 본 연구개발에 적용하고자 한다. 또한 참여기업은 현장적용과 산업화를 위하여 제조공정 및 현장 적용성 향상을 위한 업무를 수행하고자 한다.

S U M M A R Y

With growth of economy, demands for the clean and safe environment are increased, whereas the air we breathe is no longer clean as much as we expect. Most of pollution come from the emission of vehicle as growing of industries and traffic volume. NO_x is known as the main pollution source in urban and industrial area, which is 30% of whole pollution components. Most of No_x exists as NO type in the hot emission gas because NO is relatively stable at high temperature, but at the normal temperature NO oxidizes easily to NO₂, major pollution source. Since the pollution due to the NO₂ is regarded as serious problem, lots of plans, codes and regulations are proposed and adopted, and point and non-point pollution control methods and researches are in progress. It is difficult to control each pollution source when it is discharging the pollutant material since, most of vehicles still emit lots of pollutant gas into the air.

Using the silicon based and volatile construction materials, mainly VOCs are considered harmful to the indoor air quality. Among the VOCs, the HCHO has great portion and it is cancer-causing material.

To purify the air, this study is not to produce the specific methods of cleaning and preventing the each pollution sources but to make the material for cleaning the polluted air while we are living. To get this purpose, using some of the waste and the by-product of industry, environment-friendly paints are studied in this project, which will be used various construction site.

Scoupe of research

1) Reference Review

To review the photocatalyst mechanism internal and external reports and documents are collected and analyzed.

2) Evaluation of photocatalyst

Basic performance tests were carried out to provide the information for this study and to find the specific material which is reactive to the visible ray.

3) Making the photocatalyst carrier and paint

The removal performance tests of Nox and VOCs were performed and the removal performance was evaluated according to the mixing ratio which is researched in this study.

4) Making the NO and VOCs detctor

The absorbtion performance and efficiency were evaluated based upon the result of the admixture test.

5) Producing the specific photocatalyst reactive to the low wavelength of ultraviolet light

Using the result of reaction test of the low wavelength of ultraviolet light, specific photocatalyst material was chosen for the one reactive to the visible ray.

6) Making the special photocatalyst paint

Theoretical review for the paint-producing process and study of the special photocatalyst material were performed to evaluate the possibility of using the new type photocatalyst paint.

Results of this research

1. Production of synthetic photocatalyst material

Based upon the first year research, Anatase type was chosen for the production of synthetic photocatalyst because of the activeness to the light. Oxide and sulfur synthetic photocatalyst was developed and it was reactive under the visible ray.

2. Pollution removal test of furnace slag, photocatalyst carrier and cray, photocatalyst carrier

The more metathesis ratio of carrier, the higher removal ratio were happened. However, it was not enough of a difference among of 10%, 20% and 30% metathesis ratio of carrier. In comparison metathesis ratio of carrier, 10% metathesis ratio of carrier is most efficient to remove harmful chemical substance.

3. Test of inorganic paint and study of its capacity

In case of NO_x at UV light, the eliminative ability was better than different harmful materials, On the other hand in case of CH₃CHO, removal performance appeared low compared with HCHO and VOCs(toluene).

In case of a fluorescent lamp, of elimination capability was not enlarged so much rather than UV light. Against elimination of the harmful materials, it appeared that the efficiency was not surpass. Because quantity of ultraviolet ray in a fluorescent lamp is smaller than UV light.

<목 차>

제1장 서론	1
제 1 절 연구개발의 목표	1
1. 최종목표	1
2. 당해연도 목표	3
제 2 절 연구개발의 필요성	4
1. 연구개발 개요	4
2. 연구개발의 중요성	6
제 3 절 기술개발범위	8
제 2 장 국내외 관련기술 개발 현황	9
제 1 절 국내 기술 동향	9
제 2 절 국외 기술 동향	10
제 3 절 국내외 기술 동향 분석	12
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	13
제 1 절 이론적 배경	13
1. 실내공기 오염원과 인체에 미치는 영향	13
2. 실내 공기질 관리현황 및 국내외 기준	15
3. 광촉매의 개요	19
4. 광촉매 반응 원리	21
5. 광촉매의 기능과 용도	22
6. 고로슬래그 분말의 특성	25

제 2 절 연구개발 수행내용 및 결과	29
1. 광촉매 TYPE별 공기정화 성능 실험	29
2. 가시광선 반응형 광촉매 공기 정화 성능시험	38
3. 광촉매 도료의 제조	61
4. 광촉매 도료 성능 평가	76
5. 광촉매 도료 현장 시험시공 성능 평가	87
제 3 절 결론	92
제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도	94
제 1 절 연구개발 목표의 달성도	94
제 2 절 관련분야의 기여도	95
제 5 장 연구성과 및 활용계획	98
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	100
제 7 장 참고문헌	101

Contents

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Research Objectives	1
1. Final Objectives	1
2. Objectives of this year research	3
Section 2. Backgrounds	4
1. Introduction	4
2. Importance of research	6
Section 3. Scope of research	8
Chapter 2. Domestic and international trends	9
Section 1. Domestic trends	9
Section 2. International trends	10
Section 3. Analysis of domestic and international trends	12
Chapter 3. Results of this research	13
Section 1. Theoretical backgrounds	13
1. Indoor pollutant components and its effects on human body	13
2. Various standard and regulation of indoor air quality	15
3. Introduction of photocatalyst	19
4. Principal mechanism of photocatalyst reaction	21
5. Function and application of photocatalyst	22
6. Characteristics of Blast furnace slag	25

Section 2. Result of this study	29
1. Purification test of various photocatalyst	29
2. Purification test of visible ray reactive photocatalyst	38
3. Manufacture of photocatalyst paints	61
4. Performance evaluation of photocatalyst paints	76
5. Pilot test of factory made photocatalyst paints	87
Section 3. Conclusions	92
Chapter 4. Achievement of research objectives and contributions for other industries	94
Section 1. Achievement of research objectives	94
Section 2. Contributions for other industries	95
Chapter 5. Application plan of the results	98
Chapter 6. International sciences and technology information during the research period	100
Chapter 7. References	101

제1장 서론

제 1 절 연구개발의 목표

1. 최종목표

본 연구의 최종 목표는 “폐자재를 활용한 대기정화와 항균성능을 갖는 친환경도료의 개발과 도로시설의 오염물질 [질소산화물(NOx), 유해유기화합물(VOCs)]의 제거기술”을 개발하여 현장적용 및 실용화의 가능성여부를 거친 후 상품화 하는 것이 최종 목적으로써 단계별 연구 목표는 다음과 같다.

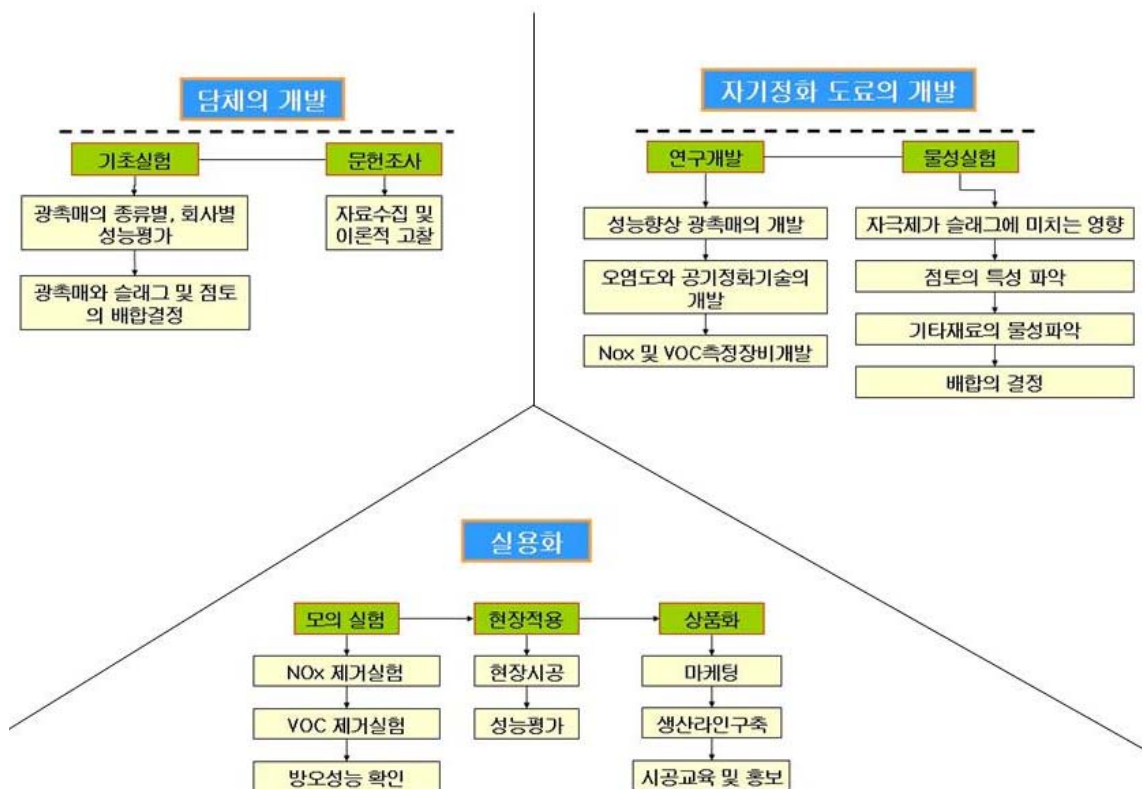


Fig. 1-1. 단계별 연구목표

가. 주관연구기관 - 질소 산화물을 제거하기위한 광촉매 도료의 개발

대기오염의 주범으로 자리매김한 질소산화물의 제거를 주목적으로 본 도료는 제조되며 더불어 도로의 경계석, 교량시설 및 도로 주변의 노출시설에 대해 대기정화 기능을 부여한 방오 성능의 추가로 인한 깨끗한 도로 시설물상태를 유지함을 목적으로 두고 있다.

최종목표는 개발된 질소산화물제거용 광촉매 도료가 현장실험 및 검토를 통하여 제품화, 생산화 되는 것이다.

나. 세부1(세부총괄) - 고로슬래그와 점토를 이용한 광촉매 도료의 개발(VOC제거)

산업부산물과 점토를 이용한 광촉매를 적용한 도료를 개발하여 실내의VOC를 제어함을 목적으로 하며 부가적으로 실내 쾌적한 환경형성 및 곰팡이, 세균 등의 잡균 번식방지를 부 목적으로 두고 있다.

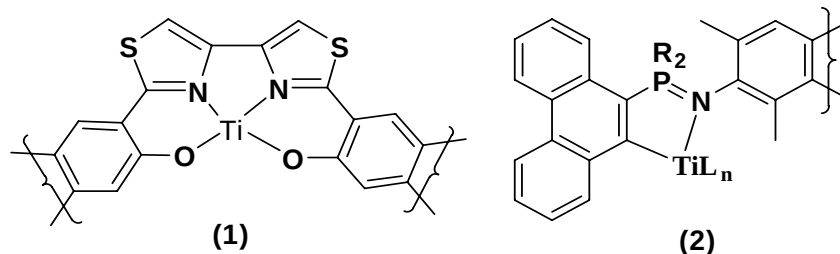
최근 신문지상에서 많이 보도되고 있는 신축건물의 질환으로 인한 두통, 현기증, 매스꺼움 등의 휘발성 유해물질에 의한 발병을 없애기 위해 본 연구에서 개발되어 지는 도료를 제품화하고 상품화 하여 널리 보급하는 것이 최종 목표이다.

다. 세부2 - 낮은 자외선 파장에서 반응하는 성능향상 광촉매의 개발

두 가지 형태의 티타늄을 포함하는 광촉매를 설계하고 개발하여 기존의 380nm~400nm에서 반응하는 광촉매의 민감도를 향상 시키고자 한다.

- (1) 혼합금속산화물(Mixed-Metal Oxides): (가) $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$; (나) TiO_2 /공액 폴리머; (다) $\text{Ni}_2\text{O}_2/\text{TiO}_2\text{-xBx}$; (라) TiO_2/S
- (2) 유기티타늄 착물(Organotitanium complexes)(Chart 1):

Chart 1



라. 세부3 - NOx와 VOC 측정기기 개발

NOx와 VOC를 검출할 수 있는 개별 가스센서를 위한 연구와 가스센서어레이 공정개발 그리고 센서의 신호처리를 할 수 있는 스마트 센서 시스템을 개발하고 최종적으로 시작품을 개발화하는 것이 목표이다.

마. 세부4 - 오염도와 공기정화성능의 측정기술 개발

본 연구에서는 폐기물을 재활용을 통하여 개발되는 도료의 방오와 공기정화 가능성을 평가하는 기술을 개발하는 것으로서, 특정 조건만이 아닌 실제 환경을 대표하는 다양한 조건에서 방오 기능성(시각적 인지도 차이 여부)과 공기정화 기능(VOCs 분해 효율성에서 20% 이상)을 평가하는 기술을 개발하고자 한다. 이러한 최종목표를 성공적으로 수행하기 위해서 제시되는 연구 범위와 한계로서, 온도, 습도, UV 조절 가능한 유해 공기오염물질 분해능 시험 장치를 설계·제작하고, 계절적 변화 인자, 오염농도 인자를 고려하여 미국 환경보호청 Method를 이용하여 유해 공기오염물질의 채취 및 분석 방법을 확립하여 연차별로 기존 및 개발 도료의 방오 기능 및 유해 공기오염물질 분해능 평가 방법을 개발·수행한다.

바. 위탁연구기관 - 실용화를 위한 현장적용실험 및 시공법의 개발

주 연구과제 및 각 세부과제에 개발된 재료와 장비를 이용하여 1차적으로 모의 실험을 거친 후 현장적용 및 실용화의 가능성을 평가하여 얻어진 데이터를 기초로 검토 분석하고 실용화에 필요한 성능을 파악하여 주관연구기관 및 협동기관에 시험결과와 정보를 제공하여 실용화의 기반을 다져주고 이를 자연스럽게 현장에서 활용할 수 있도록 협의하여 공법화하는 것을 목적으로 한다.

2. 당해연도 목표

3차년도인 당해 연도 연구목표는 제품검토를 통한 실용화 및 상품화다. 이를 위한 세부 연구내용은 다음과 같다.

가. 모의 실험을 통한 NOx 및 VOC제거 성능시험

나. 현장적용실험을 통한 성능평가

다. 상품화를 위한 추진

제 2 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발 개요

오늘날 세계적으로 공통된 관심은 지구환경과 생태계의 위기문제이다. 20세기 생태계 파괴는 그 규모 면에서 전 지구적 차원이고, 인류를 포함한 모든 유기체의 생존을 위협하고 있는 심각한 위기라 할 수 있다. 이는 인간에 의해 이룩된 환경이 다시 인류의 생존을 위협하는 심각한 위기라 할 수 있다. 또한 이러한 주제는 현시대의 새로운 패러다임으로서 공감하고 있다. 이는 인간에 의해 이룩된 환경이 다시 인류의 생존을 심각하게 위협하는 위기에 처하게 되었음을 의미한다. 이러한 인류 생존의 위기 문제는 산업혁명 이후 인간의 생활편익을 증진하기 위해 가속화된 공업화와 도시화로 인하여 지구상의 생태계가 수용할 수 있는 한계를 초과하였고 개발이라는 미명아래 무분별하게 훼손되고 엄청난 화석에너지를 소비하는데서 주원인을 찾을 수 있다. 또한 건설 산업에 있어서도 도시 인프라 및 건축물의 대부분을 차지하는 콘크리트 등의 건설재료는 경제성과 내구성, 강도 등을 만족시키기는 하지만, 콘크리트로 조성되어지는 도시공간은 녹색환경의 파괴라는 비난과 함께 인간이 살기에 삭막하게 느껴지는 문제점이 있으며, 건설 공사와 철거 시 생겨나는 건설폐기물 등은 도시 환경뿐 아니라 공기 환경 악화의 많은 악영향을 미치기도 한다. 즉, 산업화의 발달과 인구의 도시집중화로 인해 도시 내의 공기환경은 날로 악화되고 있다.

환경이 국민의 삶의 질을 결정짓고 국가경쟁력의 원천이 되는 시대로 접어들어 따라, 「삶의 질」 향상을 위해 정부, 국민, 기업 모두가 환경 친화적 사고와 행동이 요구되고 있으며, 여러 가지 환경문제 해결을 위하여 보다 근원적, 적극적인 해결 노력이 필요한 시점이다. 그동안 수질오염, 공기오염, 토양오염, 폐기물에 의한 오염 등 주로 외부 환경오염 저감을 위해 치중하여 왔으나, 최근 실내에서 생활하는 시간이 많아짐에 따라 실내 공기 질에 대한 관심도 점차 높아지고 있다.

70년대 에너지 파동을 겪으면서 건물 내 에너지 절감 및 효율을 높이기 위하여 건물 밀폐화가 강조되면서 실내 공기 질이 악화되기 시작하였고, 1976년의 레지오넬라균에 의한 집단 발병사고, 건물병증후군의 대두 등으로 실내 환경에 국민들이 많은 관심을 가지게 되었다. 우리나라의 경우도 대부분의 사람들이 빌딩, 지하 공간, 지하철, 각종 실내 업소, 학교, 병원 등 다양한 실내공간에서 하루의 대부분을

보내고 있다는 점에 비추어 볼 때, 실내 공기질 관리의 실효성 확보 및 규제 체계의 수립은 매우 시급한 일이다

현대 도시인은 대부분의 시간을 실내에서 생활하고 있기 때문에 건물 외부의 공기질도 중요하지만 실내공기질도 중요하다. 최근의 연구결과에 의하면 일부 항목의 경우 실내가 실외보다 오염이 심각한 것으로 나타났다. 밀폐된 실내에서 장시간 생활할 경우 두통, 현기증, 안구건조, 전신피로 등의 증세가 나타나는데 이를 일명 Sick House 증후군이라고 한다. 이에 따라 신규 분양 아파트의 경우 분양 3년 후에 입주하는 것이 상식이 되고 있다. 이렇게 신규 아파트 입주자의 경우 막연하게 실내공기가 오염되어 있을 것이라고 불안해하고 있으나 그 원인이 무엇이며, 어떻게 해결할 것인가에 대한 조사는 극히 미미한 실정이다.

이러한 실내 환경오염의 진행을 억제 혹은 방지하기 위해서 미국, 유럽, 일본 등의 선진국에서는 유해물질 법적 사용 금지와 유해물질 포집에 의한 열분해 등의 다양한 처리방법을 이용하고 있으나 이 방법들은 처리과정에서 화석연료를 사용하기 때문에 환경을 정화하면 할수록 많은 에너지가 소모되고 다이옥신 등과 같이 더 유해한 오염물질을 생성할 위험도 내포하는 모순을 안고 있다. 그러나 광촉매는 유독한 약품은 물론 화석연료도 사용하지 않으면서 태양광 등과 같은 광 에너지의 이용만으로도 다양한 화학물질을 안전하고 용이하게 분해할 수 있다는 장점과 항균, 살균, 초 친수성 등의 특성도 지니고 있어 환경 친화성 재료로 다양한 분야에 응용될 수 있는 가능성이 있어 광촉매에 대해 국내·외에서 실내 환경 정화라는 관점에서 큰 관심을 가지고 연구하고 있다. 따라서 본 연구의 목적은 이러한 실내 공기오염물질을 정화하는 방법에 대한 접근을 배출원이 아닌 우리가 생활하고 있는 환경에서 시도하고자 하는 목적으로 실내의 마감 및 기타 건축 재료에 바름 용도로 적용되어질 수 있는 점토-광촉매담체를 이용한 친환경 도료를 개발하는 것이다.

광촉매의 재료적 메커니즘을 도료에 적용하여 공기 오염을 정화시킬 수 있는 건축 재료를 개발하기 위한 기초 단계로서 질소산화물(이하 NOx)과 휘발성 유기화합물(이하 VOCs)의 정화 성능 및 재료의 화학적 물리적 특성에 대한 연구를 실행하고 평가하고 도로시설의 오염 및 실내의 VOC를 제거하는 기술을 개발하고자 한다.

2. 연구개발의 중요성

가. 기술적 측면

- (1) 최근 각광을 받고 있는 광촉매 물질을 건축공간에 활용함으로써 건축물 자체에 새로운 기능을 부여할 수 있는 기술을 확보할 수 있는 계기가 마련된다.
- (2) 환경 친화적 재료, 시공법 등으로 인정을 받을 수 있는 기초 기반을 마련할 수 있다.
- (3) 혼합금속 산화물의 경우, 기존의 aerosol 방법을 일부 수정하여 합성하게 될 것이며, 티타늄 유기금속 부착물 (Organotitanium complexes)의 경우에는 전형적인 유기 및 유기금속 합성법을 활용하게 될 것이다.
- (4) Ti-based 광촉매의 설계와 합성은 기존의 방법을 일부 수정하여 합성하고 전형적인 유기 및 유기금속 합성법을 활용하기 때문에 학문적으로나 기술적으로도 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.
- (5) NO_x 감지재료 설계 및 소자 공정기술의 미비로 감도 및 안정성이 높은 NO_x 소자 개발이 지연되고 있기 때문에 환경측정용 VOC 감지소재의 개발이 기본적으로 이루어져야 하고 이들의 성능 향상 및 시스템 설계 제작기술이 필요하다.
- (6) 시험장치 설계 • 제작, 유해 공기오염물질 분해능 평가 방법 구축 및 평가를 수행하고 이에 기초하여 주관기관에서 폐기물을 재활용하여 개발되는 도료를 계절적 변화 인자 및 오염농도 인자 고려하여 유해 공기오염물질 분해능을 평가하며 주관기관에서 폐기물을 재활용하여 개발되는 도료를 계절적 변화 인자 및 오염농도 인자 고려하여 방오 기능성 평가 방법을 개발하여 개발 도료의 방오 기능성을 평가한다.

나. 경제·산업적 측면

- (1) 기업의 홍보에 크게 기여하여, 특허 및 신기술 취득으로 기업의 경제에 크게 도움을 줄 수 있다.
- (2) 고로슬래그를 사용함으로써 산업부산물의 활용가치를 높이며 각종 부식 등의 산화작용으로부터 저항할 수 있다.
- (3) 광촉매를 도로뿐만 아니라 다른 용도의 재료에까지 확대할 경우, 환경적인 면에서 건축 재료의 기술을 향상시키는 계기가 될 수 있다.
- (4) 건설기술의 여러 가지 측면에서 이용이 가능하므로, 연구 활성화 계기를 마련할 수 있다.
- (5) 초기 연구투자비에 비해 이 연구의 성과로 얻어지는 효과와 경제적인 이익은 차후 높은 부가가치를 창출 할 것이다.
- (6) 이산화티타늄(TiO_2)은 저렴한 가격에도 불구하고 국내에서 개발 실적이 거의 전무한 이유는 화학이나 재료 분야에서의 관심이나 기술 축적이 이루어지지 않았기 때문에 응용화학을 포함하는 여러 분야의 연구자들의 협력 연구는 기술의 축적을 가능하게 할 것이고, 국내 개발의 길이 열리게 되면 국내 고유의 상품이나 특허출원이 뒤따르게 되어 경제·산업적인 경쟁력 강화라는 효과를 기대할 수 있을 것이다.
- (7) NO_x 및 VOC 측정은 대기환경측정, 건축물 및 도로 상의 차량 등에서 발생하는 생활환경 및 작업환경에서 그 수요가 날로 높아가고 있어 이들 가스 측정기의 개발로 그 수요에 부응하고 고가로 수입되고 있는 측정기의 국산화를 통하여 수입 대체효과 뿐만 아니라 세계시장 진출의 기회가 된다.
- (8) 온도, 습도, UV 조절 가능한 유해 공기오염물질 분해능 시험 장치를 설계·제작하고, 계절적 변화 인자, 오염농도 인자를 고려하여 미국 환경보호청 Method를 이용하여 국내 유해 공기오염물질의 채취 및 분석 방법을 확립한다.

제 3 절 기술개발범위

본 연구에서는 3차 년도에 다음과 같은 기술을 개발하고자 하였다.

1. 특수 광촉매를 이용하여 도료에 접목 시킬 수 있는 연구

특수 광촉매를 이용하여 도료제작을 위한 이론적 검토, 특수 광촉매의 성능을 유지할 수 있는 가능성을 평가한다.

2. 현장적용실험을 통한 성능평가

자기정화 도료를 건축 재료로 적합한지 현장적용을 통한 성능을 평가한다.

3. 상품화를 위한 추진

상품화를 위한 라인화 대책 및 마케팅 전략을 구축한다.

제 2 장 국내외 관련기술 개발 현황

제 1 절 국내 기술 동향

1990년대 중반 일본을 통해서 대두된 광촉매는 초친수성(Super-Hydrophilicity), 대기정화, 항균, 자기 정화(Self-Cleaning), 악취제거 등의 탁월한 성능으로 인해 기업과 연구소, 학교 등으로 소개되었다.

국내에 소개된 광촉매는 기업과 연구소, 학교 등에서 환경 분야, 건축·토목분야, 도장분야, 전자제품, 자동차 분야, 가정용 등으로 적용시키기 위해 연구와 시험을 계속해왔다. 현재의 기업 기술의 현황은 광촉매용 TiO_2 Sol을 연구 개발하여 투명 소재에 적용이 가능한 TiO_2 Sol과 고효율성 TiO_2 Sol의 개발을 마쳤으며, 자기 정화(Self-Cleaning)기능을 가진 코팅제를 개발하여 시판을 준비하고 있다. 유리, 타일, 플라스틱, 금속 등에 사용하여 부식 억제 및 자기 정화기능, 살균 기능과 건물 외부 유리의 오염물질 제거 및 대기 정화 등에 효과를 기대하고 있다. 또한 주택 건물과 병원의 내·외장재에 광촉매 물질을 코팅함으로써 항균, 탈취, 오염방지 효과로 쾌적한 환경을 만들기 위해 제품을 생산 중에 있고 광촉매의 일반 가정용 제품(항균 코팅제2, 탈취제, 물방울 맺힘 방지제 기타 등)을 생산 판매 중에 있다. 또한 실내공기 정화장치를 시험 판매 중이다.

연구소의 기술은 항균바이오 세라믹, 광촉매 세라믹, 살균탈취 촉매 등 기능성 소재의 전문개발과 생산을 전문으로 하고 있다. 쌍용양회공업(주)의 광촉매 연구팀은 배기가스 제거와 자기정화용 광촉매 콘크리트 개발에 관한 연구를 하고 있으며, 광촉매를 이용한 건축·토목 재료의 개발에 관한 연구도 하고 있다. 광촉매의 실용성과 효율성을 통한 적용범위가 넓기 때문에 한국에서도 여러 기업, 연구실 등이 연구와 진행하고 있다.

그러나 현재까지 광촉매 제품은 자동차용이나 전자제품, 페인트 제품(스프레이 코팅용) 등이 대부분이고 아직 출발점에 서 있기 때문에 앞으로 많은 연구와 개발이 필요하다고 보여 진다.

제 2 절 국외 기술 동향

광촉매 기술은 현재 일본에는 약 1000여개의 업체가 상업화에 주력하고 있고, 연구개발 쪽에서도 선도국가로서의 위치를 명백히 드러내고 있다. 실제로 프랑스, 독일, 이탈리아 등 유럽각국에서 일본의 광촉매 제품화 기술에 대해 거래 문의를 활발하게 하고 있으며, 광촉매 선도기업인 일본 업체의 제품은 독일 및 체코공장에 계속 기술이전을 실시하고 있는 상태이다. 따라서 광촉매 관련 산업은 일본의 주도 하에 있다고 볼 수 있다. 그 외에 듀폰사가 3대 개발 테마의 하나로 광촉매 코팅재료개발을 선정하고 있다는 소식도 있으며, 이외에도 독일, 미국, 프랑스, 이탈리아, 대만 등 세계 각국의 기업들도 광촉매 관련 연구를 활발하게 추진하기 시작하였다.

Table. 2-1. 광촉매 시장의 규모

규모	현재시장(2006)	예상시장(2010)
세계시장	1,200,000억원	2,000,000억원
국내시장	11,000억원	25,000억원

국내에서도 IMF이후, 정부의 중소·벤처기업 육성정책과 더불어 다수의 광촉매 관련기업체가 설립되어, 현재 약 40여개의 광촉매관련 기업체를 포함한 연구소 및 대학에서 기초연구와 상품화 노력을 기울이고 있다. 하지만 광촉매관련 기술 개발 및 사업화에 대한 낮은 인지도 때문에 국가적 차원의 지원이 미약한 실정이다. 광촉매는 경제성장과 산업화의 발달로 대두된 환경문제 및 에너지문제의 해결책으로 제시되고 있으며, 21C 새로운 산업의 방향이며, 발전 가능성이 높은 사업으로 대두되고있다.

Table. 2-2. 광축매의 주요기능별 응용제품 예

주기능	응용 예	부수효과
탈취	공기청청기, 에어컨, 부직포시트, 투명시트, 벽지, 개호용품, 조화, 창유리, 조명기구, 블라인드, 커튼	방진 방오
방오	조명용램프, 창유리, 외벽 관상어수조	수질정화
방담	거울, 유리	방오
항균	타일, 위생도기 티타늄합금 전자재 식칼, 도마	방취, 방오 방취, 방오
물의 정화	유리식기 정수기, 24시간 욕탕	

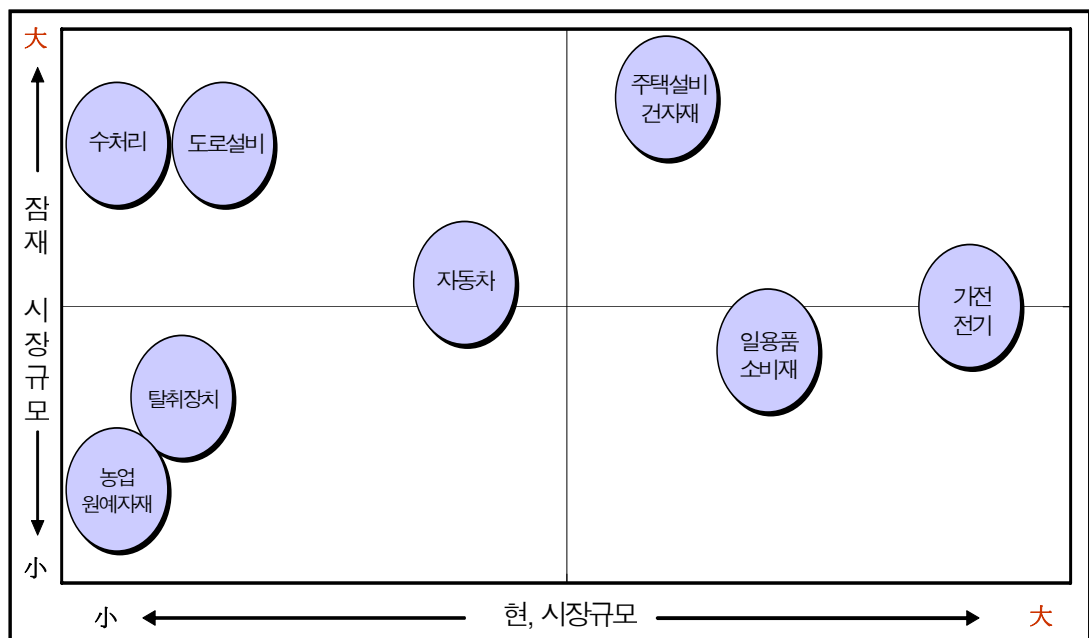


Fig. 2-1. 광축매의 잠재시장 규모

제 3 절 국내외 기술 동향 분석

본 연구는 광촉매 작용을 이용한 환경 친화적 건축 재료 즉, 폐자재인 고로슬래그 및 점토를 이용하여 일반 시판되고 있는 도료의 역할이상을 수행 할 수 있는 친환경 도료를 개발하는 연구로써, 이를 활용하여 실·내외의 도료로 적용함으로써 오염원이 되는 NO_x 및 VOC 등에 대해 흡수·제거에 대한 일련의 실험을 통한 메커니즘을 규명하고 다른 공간 및 외부조건에 따른 제 문제점들을 해결하여 실제 콘크리트 제품 및 생활환경 전반에 걸쳐 적용할 경우 생활전반에 대한 삶의 쾌적성 및 환경의 개선을 실현할 수 있고 도시 공간 거주자의 건강을 향상 시킬 수 있으며 공기 환경오염 방지 및 개선을 위해 소요되는 설비 및 운전비를 절약할 수 있을 것으로 사료된다.

태양광 및 형광등 광을 이용하여 광촉매 반응을 유도하며 이를 적용하기에 적합한 건축 부위로는 내·외부 벽체나, 도로 간판 등을 들 수 있다. 이는 도심지내의 차량에서 배출되는 대기 오염 물질과 실내 건축자재 등에서 발생하는 VOC를 흡착·제거함으로써 공기정화기능을 할 수 있고 향균 및 냄새 제거 등의 역할을 할 수 있을 것이다. 광촉매 담체의 재료로서 많이 사용되는 산화티탄은 백색이며 착색성이 높고 화학적으로 안정되어 무해하다는 등 많은 특징을 가지고 있다.

도료로써 적용된다면 안정된 착색 성능을 부여할 뿐만 아니라 노출콘크리트에서 많이 나타나는 문제점인 변색, 백화현상 등을 광촉매 반응 작용에 의해 방지가 가능할 것으로 기대된다. 또한 “새집증후군”과 같은 VOC물질에 의한 인체에 미치는 악영향으로부터 보호 받을 수 있을 것으로 사료된다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 이론적 배경

1. 실내공기 오염원과 인체에 미치는 영향

실내공기의 오염 원인에는 실내에서 발생하는 오염물질과 건물주변의 공기오염에 의한 영향으로 크게 구분된다. 그 중 실내공기오염은 실내건축물 특성, 계절, 지역, 실내거주자 특성, 환기형태, 생활양식 등에 따라 다양하게 변화하고 있는 실정이다. 실내에서 발생하는 오염물질은 건축자재 및 가구류, 인간의 실내 활동 등 다양한 오염원에서 기인하고 있다. 실내 발생오염물질의 유형을 살펴보면, 재실자로부터 방출되는 이산화탄소(CO₂)와 담배연기에 의한 오염, 연소기구나 조리기구 또는 난방장치 등에서 발생하는 연소가스, 인체활동에 의한 미세먼지, 화장품, 분무식살충제, 세제 등에 의한 오염, 카펫이나 커튼에 존재하는 진드기, 곰팡이 등 미생물성 물질, 건축자재나 가구에서 발생하는 VOCs과 HCHO 등 다양하게 나타나고 있다. 특히 공기오염이 심각한 대도시의 경우는 외부 공기에서 아황산가스, 이산화질소, 미세먼지 등이 실내로 유입되어 실내공기 오염을 가중시키므로 실내공기는 공기와 밀접한 관계를 가지게 된다. Fig 3-1은 새집 증후군의 주요 원인 피해 상황을 나타내고 있으며 표에서는 실내공기오염물질의 발생원과 인체에 미치는 영향을 나타내고 있다.

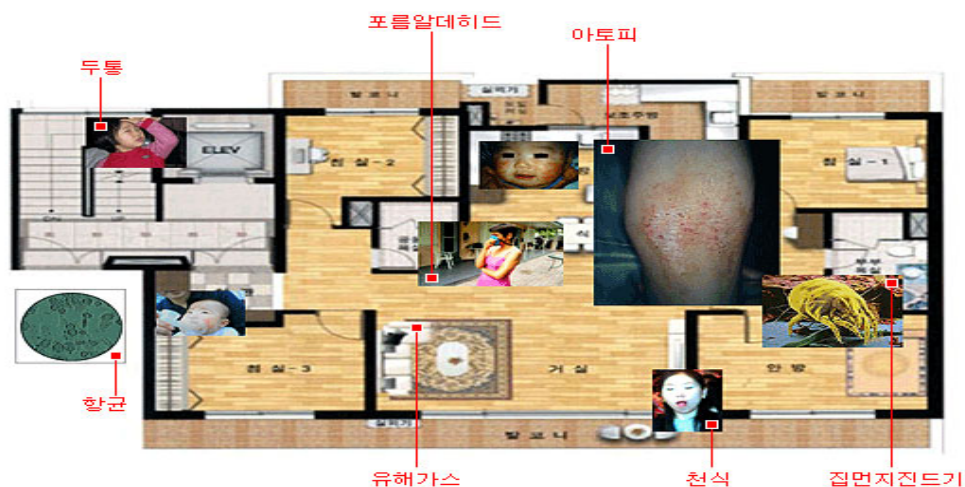


Fig. 3-1. 새집 증후군 주요원인 및 피해 상황

Table. 3-1. 실내공기오염물질 발생원 및 인체에 미치는 영향

오염물질	주요 발생원	인체영향
먼지, 중금속	공기 중 먼지가 실내로 유입, 실내 바닥의 먼지, 생활 활동 등	규폐증, 진폐증, 탄폐증, 석면폐증 등
석 면	단열재, 절연재, 석면타일, 석면브레이크, 방열재 등	피부질환, 호흡기질환, 석면증, 폐암, 중피증, 편평상피 등
담배연기 (각종가스, HC, PAHs, 먼지 등)	담배, 켄련, 파이프 담배 등	두통, 피로감, 기관지염, 폐렴, 기관지천식, 폐암 등
연소가스 (CO, NO ₂ , SO ₂ 등)	각종 난로, 연료연소, 가스렌지 등	만성 폐질환, 기도저항 증가, 중추신경 영향 등
라 돈	흙, 바위, 지하수, 화강암, 석고보드 등	폐암 등
포름알데히드	각종 합판, 보드, 가구, 단열재, 담배연기, 화장품, 옷감 등	눈, 코, 목 자극증상, 기침, 설사, 어지러움, 구토, 피부질환, 비염, 정서불안증, 기억력 상실 등
미생물성물질 (곰팡이, 박테리아, 바이러스, 꽃가루 등)	가습기, 냉방장치, 냉장고, 애완동물	알레르기성 질환, 호흡기질환 등
VOCs (벤젠, 톨루엔, 스틸렌, 알데히드, 케톤 등)	페인트, 접착제, 스프레이, 연소과정, 드라이클리닝 의복, 방향제, 건축자재, 왁스 등	피로감, 정신착란, 두통, 구토, 현기증, 중추신경 억제작용 등
악 취	외부 악취가 실내로 유입, 체취, 음식물의 부패 등	식욕감퇴, 구토, 불면, 알레르기증, 정신신경증 등
오 존	복사기기, 생활용품, 연소기기	기침, 두통, 천식, 알레르기성 질환

2. 실내 공기질 관리현황 및 국내외 기준

실내 공기 질(Indoor Air Quality) 정책은 1980년대 이후 새로운 환경정책 분야로 대두하여 미국, 일본 등 선진국에서 관련법령 및 정책 수립·추진되었다. 일본은 최근 5년간 실내공기 오염에 대한 연구가 가장 활발하게 이루어졌으며 국가적 차원에서 관련 법령 제정·운영하고 있으며 미국은 다양한 실내공간에 대한 법적 규제는 하고 있지 않으나 작업환경의 실내공기 오염물질 가이드라인 제시하고 있다.

유럽의 경우 WHO(World Health Organization)에서 1987년 제정한 「유럽공기질 기준 지침치(Air Quality Guideline for Europe)」에 근거하여 나라별 실정에 맞는 기준 설정하고 있으며 체계적인 실내 공기질 관리를 위하여 건축자재에 대한 “친환경건축자재인증제도” 및 건축물에 대한 “실내 환경 라벨링(ICL : Indoor Climate Labelling)” 제도 시행하고 있다. 이러한 친환경건축자재인증제도는 핀란드, 독일, 미국 등 대부분 국가에서 민간 또는 정부차원에서 시행하고 있으며 실내 환경 라벨링 제도는 건물 내 실내공기질의 체계적인 관리를 위하여 캐나다, 핀란드 등의 국가에서 시행하고 있다.

Table 3-2는 각 국의 실내 공기질 권고 기준을 나타낸 것이다. 국내에서는 1989년 지하 공간 환경기준 권고치 설정하여 지하상가, 지하주차장 등 다양한 지하공간에 대한 환경기준 권고치를 각 시·도에서 적정 관리하도록 요청하였으며 아황산가스, 먼지, 납 등 14개 오염물질에 대한 권고치를 설정하였다. 그러나 통합 실내 공기질 관리법 제정 추진이 어렵게 되어, 1996년에는 지하생활공간 공기질 관리법을 제정하여 다중이 이용하는 지하역사, 지하도상가를 규제대상으로 하여 PM10, CO₂, CO, HCHO, NO₂, SO₂, Pb 등 7개 오염물질 기준 설정하였다.

2003년 타법의 관리대상시설 이관, 미 관리 주요 시설을 추가하여 통합 실내공기질 관리법의 토대 마련하여 다중이용시설의 실내공기질 유지기준 및 권고기준 설정, 오염물질방출건축자재 사용제한 등 다양한 관리기법 도입한 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법을 제정('03.5.29), 시행('04.5.30)하였으며 신축공동주택의 실내공기질 관리를 위하여 시공자의 측정·공고의무를 반영하였다.

각 부처별 실내공기질 관리현황을 살펴보면, 환경부는 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」에 의해 다중이용시설(17개 시설군) 및 신축공동주택의 실내공기질 관리를 시행하고 있으며 그 외에도 교육인적자원부, 노동부, 보건복지부, 건설교통부 등 여러 부처가 개별법에 의해 학교, 사무실, 공중이용시설 등에 대한 실내공기질을 관리하고 있다.

Table. 3-2. 국표 내 • 외 실내공기 오염물질 기준 비교

		한국	일본	홍콩	캐나다	싱가포르	WHO
대상시설		다중이용 시설	특정용도 건축물	사무실, 공공시설	주거공간	사무실	실내 및 공기
일반 오염 물질	미세먼지	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-
	이산화탄소	1,000 ppm 이하	1,000 ppm 이하	1,000 ppm	3500 ppm 이하	1000 ppm	-
	포름 알데히드	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	총부유세균	800 CFU/ m^3 이하	-	1,000 CFU/ m^3 이하	-	500 CFU/ m^3	-
	일산화탄소	10 ppm 이하	10 ppm 이하	8.7 ppm	25 ppm 이하	9 ppm	10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	이산화질소	0.05 ppm 이하	-	80 ppb	0.25 ppb 이하	-	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	라돈	4.0 pCi/L 이하	-	200 Bq/ m^3	800 Bq/ m^3 이하	-	100Bq/ m^3 이하
	TVOC	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	3 ppm	-
	석면	0.01개/cc 이하	-	-	-	-	-
개별 VOC	오존	0.06 ppm 이하	-	61 ppb	0.12 ppm 이하	0.05 ppb	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	벤젠	-	-	16.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	톨루엔	-	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1092 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
	에틸벤젠	-	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1447 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	자일렌	-	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1447 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	1,4-디클로 로벤젠	-	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-
	스티렌	-	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-	-	-

Table. 3-3. 국내 각 부처별 실내공기 질 관리현황

기존 물질	담당 부처	환경부	보건복지부	노동부	교육인적 자원부	건설 교통부
적용대상		다중이용시설 (지하역사, 의료기관, 찜질방 등 17개 시설군)	공중이용시설 (학원, 공연장, 업무시설 등)	사무실, 작업장	학교	주차장 (2000㎡ 이하)
근거법		다중이용시설등의 실내공기질관리법	공중위생 관리법	산업안전보건법 산업보건기준에 관한규칙	학교보건법	주차장법
측정항목		10개 항목 (미세먼지, CO, CO ₂ , NO ₂ , HCHO, 총부유세균, 라돈, 휘발성유기화합물, 석면, 오존)	3개항목 (미세먼지, CO, CO ₂)	4개항목 (미세먼지, CO, CO ₂ , HCHO)	2개 항목 (미세먼지, CO ₂)	1개 항목 (CO)
관리방법		다중이용시설 유지기준 준수, 다중이용시설에 환기설비 설치, 신축 공동주택 실내공기질 측정·공고	공기정화시설 교체·청소	필요시 사무실 공기정화, 실외 오염물질의 유입 방지(건물 개· 보수시 공기오염 관리)	연1회 점검 의무 및 적정조치 강구	적정 환기설비 설치

Table. 3-4. 다중이용시설의 실내공기질 관리 적용 시설

시 설 명	규 모
지하역사	모든 지하역사
지하도상가(지상건물에 딸린 지하층의 시설 제외) 여객자동차터미널, 철도역사의 대합실 실내주차장(기계식 주차장 제외)	연면적 2천㎡이상
공항시설중 터미널	연면적 1천5백㎡이상
항만시설중 터미널	연면적 5천㎡이상
도서관, 박물관, 미술관	연면적 3천㎡이상
의료기관(입원진료병상이 100개 이상)	연면적 2천㎡이상
지하에 위치한 장례식장, 국공립 보육시설, 노인의료보호 시설중 국공립 노인전문요양 시설·유료노인전문요양시설·노인전문병원	연면적 1천㎡이상
찜질방	연면적 1천㎡이상
산후조리원	연면적 5백㎡이상
대규모점포	모든 대규모점포

Table. 3-5. 다중이용시설의 실내공기질 관리 유지기준

다중이용시설 / 오염물질 항목	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ₂ (ppm)	HCHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	총부유세균 (CFU/ m^3)	CO (ppm)
지하역사, 지하도상가, 여객 자동차터미널의 대합실, 철도 역사의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 찜질방, 대규모점포	150 이하	1,000 이하	120 이하	-	10 이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원	100 이하			800 이하	
실내주차장	200 이하			-	25 이하

Table. 3-6. 다중이용시설의 실내공기질 관리 권고기준

다중이용시설 / 오염물질 항목	NO ₂ (ppm)	Rn (pCi/ℓ)	VOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	석면 (개/cc)	오존 (ppm)
지하역사, 지하도상가 여객자동차터미널의 대합실, 철도역사의 대합실, 공항시설중 여객터미널, 항만시설중 대합실, 도서관, 박물관, 미술관, 장례식장, 찜질방, 대규모점포	0.05 이하	4.0 이하	500 이하	0.01 이하	0.06 이하
의료기관, 보육시설, 노인의료시설, 산후조리원			400 이하		
실내주차장	0.30 이하		1,000 이하		0.08 이하

3. 광촉매의 개요

광촉매(Photocatalyst)란 빛을 흡수하여 다양한 화학반응이 일어나도록 해주는 물질을 말한다. 따라서, 광촉매란 촉매의 일종으로서 촉매작용이 빛에너지를 받아 일어나는 것을 말한다. 이러한 광촉매 반응은 무기화합물에 의한 광분해 반응, 즉 안료에 의한 도료의 열화 등으로 알려져 왔고, 1950년까지는 이 현상이 부정적 이미지로 부각되어 광촉매 반응을 억제하는 열화방지 등이 주로 연구되어 왔다. 그러나, 1972년 일본이 Fujishima와 Honda가 영국의 과학 잡지 “Nature”에 산화티탄 전극에 물이 수소와 산소로 분해된다는 사실을 보고함으로써 새로운 에너지의 개발의 측면에서 주목받기 시작했으며, 유해물질 분해에 관한 연구도 추진되어 1990년대에 이를 활용한 제품이 일본에서 선보이기 시작했다.

광촉매의 종류에는 이산화티탄(TiO_2)과 루테튬트리스비피리딜(Ru^{2+})을 비롯하여 ZnO , CdS , ZrO_2 , SnO_2 , V_2O 등 많은 광촉매가 있다. 고체의 광촉매로서는 이산화티탄(TiO_2)과 같은 금속 산화물이나 복수(複數)의 금속을 포함한 금속 산화물, CdS 와 같은 금속 황화물, CdSe 와 같은 금속 칼로겐 나이트 특히, Si , GaAs 등이 있다. 어느 것이나 광이 닿으면 전기를 통하게 되므로, 광 반도체(光半導體)라고 불린다. 용매에 녹는 광촉매로서는 루테튬트리스비피리딜(Ru^{2+})로 대표되는 금속 착체가 다수 있고, 이것들을 거두어들인 고분자계 광촉매 등이 있다. 이들 중 이산화티탄(TiO_2)은 높은 광촉매 활성, 화학적 안정성, 넓은 적용범위 등의 이유로 가장 활발하게 상용화되고 있다. Table 3-7에 광촉매의 종류를 나타내었다.

광촉매용으로 사용되는 이산화티탄의 결정구조는 아나타제(anatase), 루틸(rutile), 브루카이트(brookite)의 3가지 종류가 있는데, 대부분 아나타제형으로 입자 크기가 10nm정도인 초미립자가 사용되고 있으며, 브루카이트형은 공업적으로 사용되지 않고 있다. 그 결정구조에 따른 특징은 표 과 같다.

Table. 3-7. 광촉매의 종류

분 류	광 촉 매
고 체 (금속산화물, 황화물 등)	TiO_2 , ZnO , Nb_2O_5 , WO_3 , SnO_2 , ZrO_2 ,... SrTiO_3 , KTaO_3 , $\text{Ni-K}_4\text{N}_{66}\text{O}_{17}$,... CdS , ZnS ,... CdSe , GaP , CdTe , MoSe_2 , WSe_2
균일용액이 되는 화합물 (금속 착색제 등)	$[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$, Co착제, Rh착제 폴리필닌유도체(Zn , Al , Mg ,...)

광촉매와 같이 산화, 환원을 이용하여 환경에 이용하는 것을 고급 산화법(Advanced Oxidation Process)이라고 한다. 오염물을 태우거나 정화하는 방법보다 환경오염이 적고 에너지소비가 작아 최근 환경 분야에서 빠르게 적용되고 있다. 광촉매는 고급 산화법을 적용한 나노 환경 신소재이다.

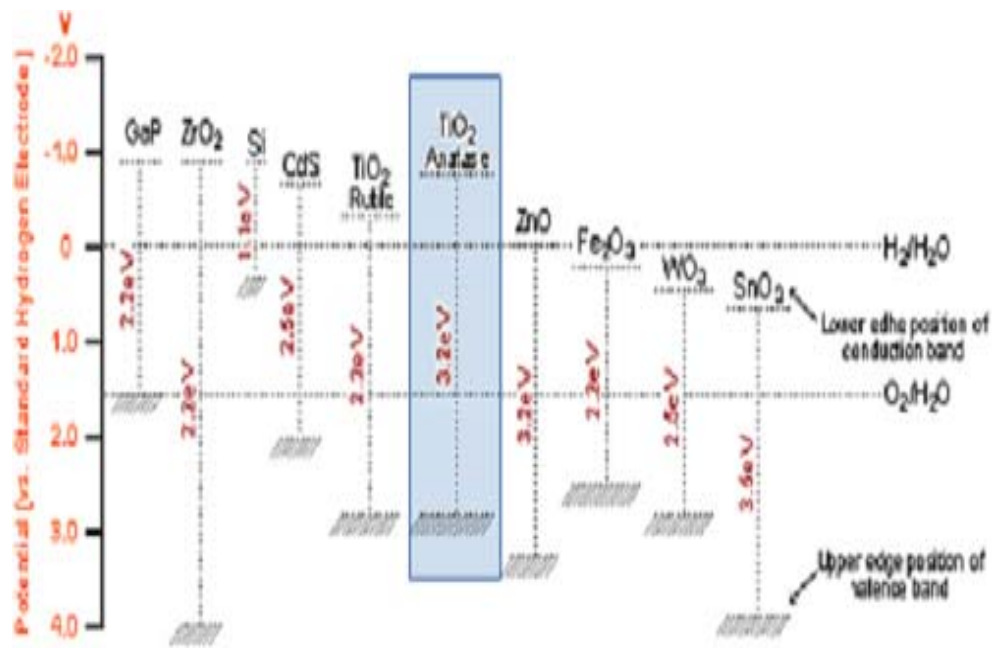


Fig. 3-2. 광촉매 재료의 Band-Gap Energy

광촉매물질로 이산화티탄(TiO_2)이 주로 사용된다. 이산화티탄은 지구상에 마그네슘 다음으로 9번째로 많은 원소로서 자원적으로 풍부하고 산, 알칼리와 생물학적으로 안정하여 식품 첨가제, 도료, 섬유, 종이, 플라스틱 등 인류생활에 밀접한 관련이 있는 제품에 많이 사용된다. 또한 자외선을 이용하여 활성이 가능하고 광부식이 없어 이산화티탄은 광촉매로서 가장 많이 활용된다.

1950년대 까지 TiO_2 는 주로 도료용으로 사용되어서 광분해반응의 억제에 연구가 집중 되었다. 하지만 1972년 Honda, 후지시마의 이산화티탄의 물 분해 효과를 발표 이후 대체에너지인 수소생성을 위해 많은 연구가 되었지만 태양에너지의 이용효율이 낮고 반응제어가 어려워 실용화되지 못하였다. 그러나 이산화티탄은 고급 산화법으로써 분해가 어려웠던 유기화합물, 계면활성제, 다이옥신, VOCs등을 완벽히 제거해 현재 환경 분야에 활발하게 적용되고 있다. 또한 1990년대 이후 막상태의 이산화티탄 제조가 가능해지면서 광촉매의 이용분야는 다양해져 현재에 이르렀다

4. 광촉매 반응 원리

광촉매(이산화티타늄 TiO_2)는 태양광이나 형광등의 자외선을 받으면 마치 태양전지의 원리처럼 - 전기를 가진 전자(e^-)와 +전기를 가진 정공(h^+)이 형성됩니다. 그 중에서 정공(h^+)은 특히 강력한 산화작용을 하는 수산화물(OH^-)을 형성하여 살균용 염소나 차아염소산 오존보다도 강력한 산화력을 갖게 된다.

또한 전자는 광촉매에 흡착되어 있는 산소(O_2)를 산소이온(O_2^-)으로 생성시키는데 이 산소이온은 산화반응의 중간체와 과산화물을 생성하든가 과산화수소를 통하여 물의 반응 등을 생성한다. 이 산소이온(O_2^-), 수산화물(OH^-) 등의 높은 산화력으로 냄새, 세균, 박테리아, 곰팡이, 오염물질 등 유기물이나 유기 가스가 이산화티탄 표면에 접촉하여 유기물을 구성하고 있는 "탄소-수소 결합" 이나 "탄소-산소 결합"을 해체시켜 최종적으로 이산화탄소(CO_2)와 물(H_2O)로 변화시킨다.

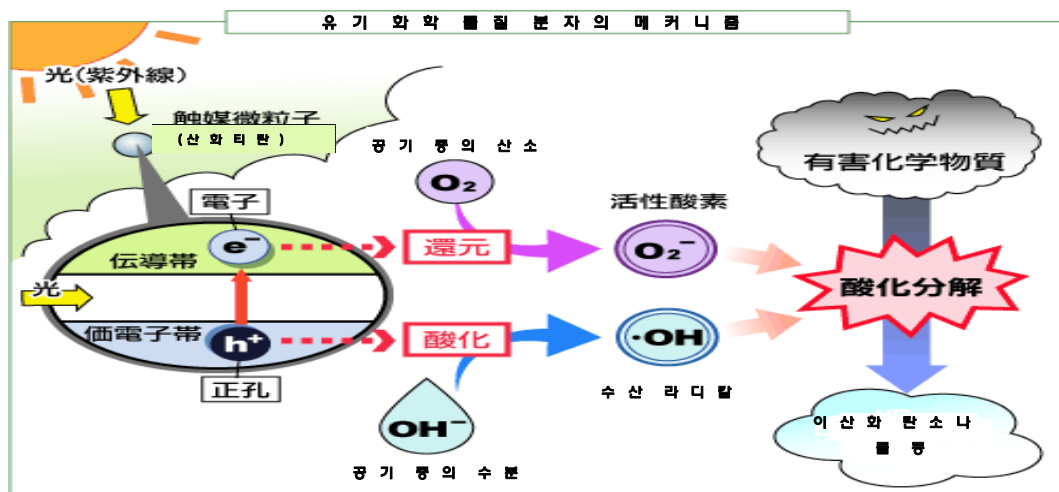


Fig. 3-3 광촉매의 작용원리

광촉매에 의하여 일어나는 산화·환원 반응의 메카니즘(Mechanism)은 광 조사에 의해 VB(Valence band)와 CB(Conduction band)에 각각 정공(h^+)과 여기전자(e^-)가 형성되고 이들과 대기 중의 물과 산소가 반응하여 수산화라디칼(OH^-)과 활성산소(O_2^-)를 형성하여 이들의 높은 반응성에 의하여 수산화라디칼은 강력한 산화반응을 일으키며, 활성산소는 환원반응을 일으키는 것으로 제시되고 있다. 광 조사에 의한 표면 친수화 반응(Hydrophilic reaction)의 메카니즘은 광 조사에 의해 생성되는 산소결핍(Oxygen vacancy) 자리나, 흡착된 유기물이 광산화분해하여 제거된 표면에 수분이 흡착되어 친수성이 나타나는 것으로 제시되고 있다.

5. 광촉매의 기능과 용도

가. 대기오염 정화 기능

광촉매는 정공의 산화력이 각종 유기물을 분해할 뿐만 아니라 NO_x, SO_x를 제거하는데 탁월한 효과를 갖고 있다. 현재 이러한 광촉매의 유기물 분해 기능을 이용하여 도로 및 고가도로 기둥, 터널 내벽에 광촉매 타일 및 블록을 부착시켜 자동차 배기가스 정화실험을 통해 NO_x, SO_x가 90%이상 제거되는 효과가 확인되고 있다. 또한 수퍼 옥사이드 음이온에 의해 납, 수은 등 유해 중금속을 산화 침전시켜 89~90%제거 할 수 있다는 결과도 나오고 있다.

나. 항균·살균·기능

광촉매 반응에 의하여 형성되는 수산화라디칼의 강한 산화력에 의하여 표면의 박테리아, 세균을 죽이게 된다. 이런 강한 산화력은 항균, 살균 뿐 만 아니라 세균의 잔해 및 독소까지 분해하므로 은(Ag)이나 구리(Cu)등의 다른 항균제에는 없는 다양하고 우수한 특성을 나타낸다. 일반 항균제는 항균력이 있는 물질이나 그 주변에 박테리아가 접촉했을 때 효과를 나타내지만, 광촉매는 이산화티탄 표면에서 빛에너지를 받아 전자가 계속해서 이동하므로 정공이 한 곳에만 형성되지 않는다. 따라서 정공에 의해 생성되는 수산화라디칼과 전자에 의해 생성되는 수퍼 옥사이드 음이온이 표면 여러 곳에서 생성되기 때문에 박테리아와의 접촉 가능성이 매우 높아 항균, 살균 및 방취 능력이 기존 항균제에 비하여 뛰어나다. 특히 일반 항균제는 시간이 경과함에 따라 항균력이 둔화되지만, 광촉매 항균타일의 경우 설치만 하면 그 기능이 영구적으로 유지되고, 유지 보수비도 거의 들지 않아 병원, 주방 및 각종 위생기기 등에 이용 되고 있다

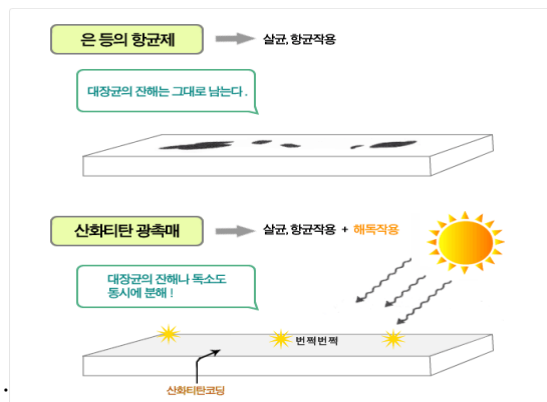


Fig. 3-4. 광촉매의 항균, 살균 기능

다. 유기 오염 물질 분해 및 방취·탈취 기능

광촉매의 강력한 산화력은 기존의 연소 산화법, 오존 산화법, 펜톤 산화법 등의 방법으로 처리가 어려운 유기오염물질을 분해하여 무해화 하는데 적합하다. 그리고 악취 등의 제거에도 활용이 가능하다. 방취·탈취에 의한 공기 정화는 종래, 흡착 탈취법이 주류였지만, 광촉매 재료의 분해반응의 다양성이나, 분해반응의 지속성이라는 특징이 어필되어 다양한 응용이 전개되고 있다. 이러한 공기 정화 기능은 한정된 사용조건에서 단시간에 그 목표를 달성하기 위해 주로 필터로서 사용되고 있으며, 그 중에서도 “초기 즉효력”을 흡착재로 “분해지속력”을 광촉매로 하는 하이브리드형 필터가 주를 이루고 있다. 광촉매의 기능으로 분해 가능한 유기물 및 악취의 종류는 아래와 같은 것들이 있다.

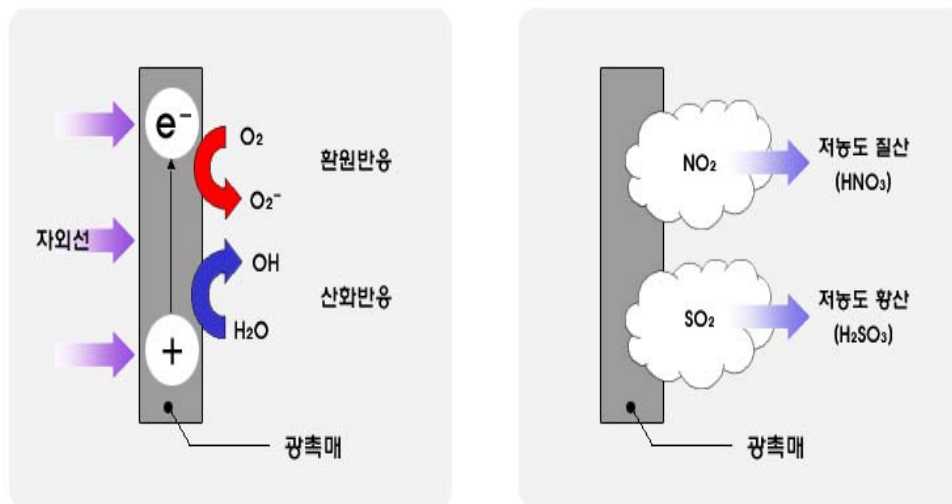


Fig. 3-5. 광촉매의 유기물 분해 원리

- 유기염소화합물 및 페놀류 (트리클로로에틸렌 등)
- 환경호르몬류 (다이옥신, 비스페놀, 노닐페놀, 에스트라디올 등)
- 유해 VOCs 류 (아세트알데히드, 포름알데히드, 벤젠, 톨루엔 등)
- 악취 가스 (황화수소, 티올류, 아민류 등)
- 기타 탈취가 요구되는 냄새(담배냄새 등)

라. 방오 기능

광촉매를 적용한 소재는 표면의 오염 원인이 되는 여러 가지 유기물을 분해하여 그 표면의 자기정화를 할 수 있는 방오 기능을 가지고 있다. 물질의 표면을 청정한 상태로 보존하기 위해 광촉매 기능을 사용하는 것이 방오 기능이다. 적용 대상 면은 생활용품이나 외벽 등 의장성을 가진 기재의 제일 바깥층이 된다. 이는 스스로 오염을 제거하여 깨끗한 표면을 유지하는 기능으로 광촉매의 표면 친수반응에 의하여 오염물질이 부유와 광산화반응에 의한 분해에 의하여 효능이 나타난다. 광촉매는 빛이 닿으면 산소나 물과 반응하여 활성산소를 생성한다. 분해하는 유기물로는 매연, 기름 등에 의한 오염(自淨機能)이나 균·바이러스의 세포막(抗菌·抗바이러스·防臭 기능)이 대표적이다. 이러한 방오 기능의 적용 분야는 건축물 내 외장재, 도로자재, 터널조명, 옥외조명 및 간판 등이 있다.

마. 수질환경문제 해결에의 응용

수질오염의 문제에 있어서는 가정에서 나오는 각종 오·폐수나 산업시설에서 나오는 폐수 등을 광촉매로 박막화 시키거나 여과장치화한 수로나 저장탱크를 통하여 처리 또는 제거가 가능할 것으로 생각되며, 여기에 어떠한 방법으로 광을 조사(照射)시키는가에 대한 문제는 앞으로 연구되어야 할 과제이다.

광촉매의 표면에 자외선이 조사되면 친수성이 발효, 물과의 접촉각이 낮아져 물방울이 맺히지 않고 얇은 수막을 형성, 간단한 물 세척으로 오염물질 쉽게 제거하고 오염물질의 부착을 방지할 수 있다.

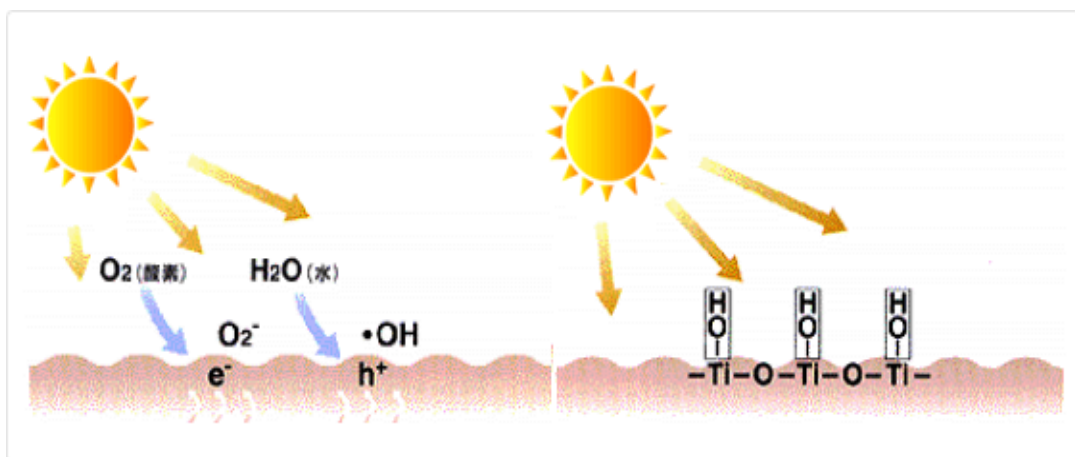


Fig. 3-6. 광촉매의 친수성

6. 고로슬래그 분말의 특성

가. 고로슬래그 분말의 개요

고로슬래그는 제철소의 고로에서 선철을 제조할 때 발생한다. 용광로에서 배출되는 고온의 용융슬래그를 물이나 공기 등에 급냉하게 되면 유리화한 비결정질의 고로수쇄슬래그를 얻게 된다. 1862년 E.Kangen은 수쇄슬래그를 소석회와 섞으면 수경성이 발휘된다는 것을 발견하였는데, 이와 같은 알칼리 등의 자극작용으로 경화하는 성질을 잠재수경성(latent hydraulic property)이라 한다. 1865년 독일에서 소석회와 수쇄슬래그를 혼합한 슬래그시멘트가 상업화 되었고, 뒤이어, 영국, 프랑스, 미국 등에서도 슬래그시멘트가 다량으로 생산되었다.

최근 고로슬래그는 콘크리트용 혼화재료로 그 사용량이 점차 증가하는 추세이다. 혼화재료로서의 고로슬래그 미분말은 콘크리트의 물성개선과 산업부산물의 재활용이라는 측면에서 유용한 재료로서 콘크리트의 수화반응시 발생하는 수화열 저감으로 발생균열의 억제와 알칼리 골재반응, 화학적 저항성 및 장기 강도 등이 크게 개선되는 장점이 있다. 이를 배경으로 선진국에서는 고로슬래그 미분말 사용에 대한 연구가 활성화 되어, 고로슬래그 미분말의 활용이 증가되고 있는 추세이다. 반면 국내에서는 1997년 KS F 2563 「콘크리트용 고로슬래그 미분말」이 제정되었으며 최근에 들어서야 그 연구나 사용실적이 활성화 되고 있는 실정이다. 그 사용예로 고로슬래그 미분말은 매스콘크리트나 해상, 해중 건축물, 산성비 대책, 화학공장의 건축물 등 화학저항성이 요구되는 구조물에 적용되고 있으며, 근래에 와서는 건축물 이외의 곳에서도 활용하는 예가 나타나고 있다.

그러나, 고로슬래그는 그 자체의 수경성이 없고 잠재수경성으로 인하여 초기강도가 낮아 거푸집 존치기간이 길어지게 되어 그 사용성에 제한을 받고 있으므로 일반구조물에서의 적용은 사회적 인식부족으로 활용이 미흡한 실정이다.

나. 고로슬래그 분말의 특징

(1) 슬래그분말을 시멘트 혼화재료로 사용한 콘크리트의 특성

(가) 콘크리트의 초기강도발현은 완만하지만 슬래그의 잠재수경성 때문에 장기강

도발현은 보통포틀랜드시멘트보다 크게 나타난다.

(나) 슬래그를 함유하고 있어 산류나 해수, 하수 등의 화학적 침식에 대한 저항성이 크고 내 화학 저항성을 필요로 하는 곳에서의 적용효과가 크다.

(다) 슬래그수화에 의한 포졸란 반응으로 공극충전효과 및 알칼리 골재반응 억제 효과가 크다.

(라) 수화 반응에 따른 발열량의 보통포틀랜드 시멘트에 비해 작기 때문에 매스 콘크리트 등에 활용할 수 있다.

(마) 콘크리트의 초기강도가 낮고 건조수축에 의한 영향을 많이 받는 경향이 있어 초기양생, 한중보온에 유의해야 하고 일반적으로 건조수축이 크다.

(2) 물리적 특성

고로에서 발생된 수쇄슬래그의 비중은 1.87~2.77정도로써 그 범위가 넓지만 74 μ m 이하로 분쇄한 고로슬래그 미분말의 비중은 2.85~2.94의 범위로 평균 2.90정도이다. 이 값은 포틀랜드 시멘트의 비중인 3.15보다 작지만 플라이애쉬나 실리카흄에 비교하면 포틀랜드시멘트와의 비중의 차이가 작아 혼화재료로서의 혼합성이나 콘크리트에 있어서의 분산성은 뛰어난 편이다. 고로슬래그 분말에 석고를 첨가 하였을 때는 석고의 비중이 2.3정도이기 때문에 비중은 조금 작아진다.

또한, 고로슬래그의 분체입자 형상은 매끈한 조개껍질상의 파면을 한 입방상이며 물에 접촉되어도 영향을 미치지 않는다.

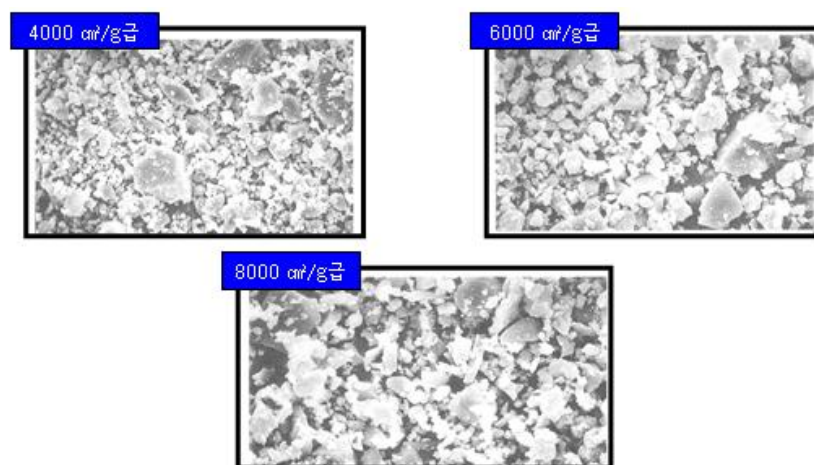


Fig. 3-7. 고로슬래그 미분말의 전자 현미경 사진(1000배)

(3) 화학적 특성

고로슬래그 미분말은 주성분이 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 로서 포틀랜드시멘트와 매우 유사한 물질이지만 Fe_2O_3 가 거의 없으며 CaO 함유량이 낮다. 고로슬래그 미분말의 일반적인 성분범위는 매우 넓으며 주성분의 함유량은 $\text{SiO}_2=28\sim38\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=8\sim18\%$, $\text{CaO}=30\sim50\%$ 정도이며 MgO 가 16%이하이다. 또한, 고로슬래그 미분말의 화학성분은 필요에 따라 첨가하는 석고류를 포함한 화학성분으로서 표시한다. 석고류가 첨가되어진 고로슬래그 미분말은 석고를 첨가하지 않은 슬래그보다 CaO 함유량이 높고 염기도도 크게 된다.

고로슬래그 미분말은 시멘트와 똑같이 수경성을 발휘한다는 점에서 플라이애쉬 등의 포졸란 물질과 다르지만 수화가 시작되면 장기적으로 석회결합 기능도 나타나기 때문에 포졸란 반응도 겸하는 물질이라고 해석되고 있다.

(4) 고로슬래그의 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 특성

고로슬래그의 치환율 증가에 따라 일반적으로 압축강도는 감소한다. 고로슬래그의 치환율의 변화에 따른 슬래그 무사용 콘크리트에 대한 슬래그 사용 콘크리트의 재령별 압축강도비의 Fig. 3-8 에 나타내었다.

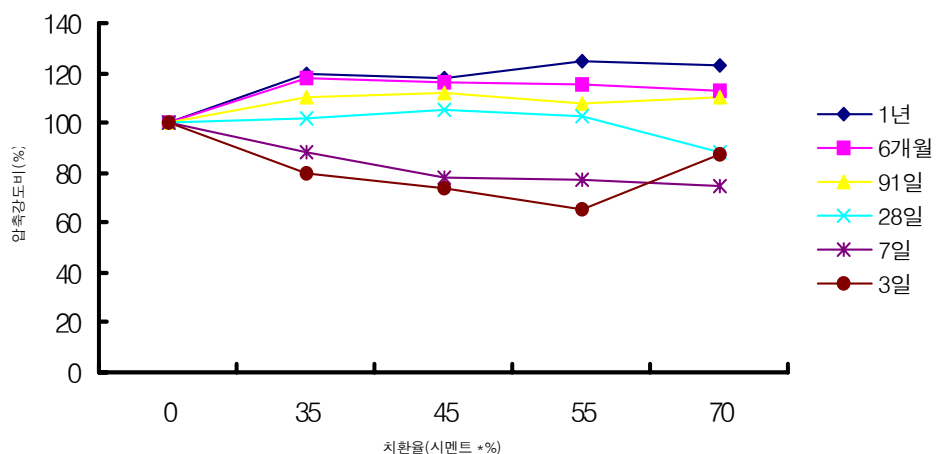


Fig. 3-8. 슬래그 치환율에 따른 슬래그 무사용 콘크리트에 대한 강도비

고로슬래그의 치환율 증가에 따른 재령 3일, 7일의 초기재령에서 압축강도의 감소는 현저하게 나타난다. 그러나, 재령의 경과에 따라서 치환율이 35~70%정도인 콘크리트는 슬래그를 사용하지 않은 일반콘크리트와 거의 동등한 강도 발현을 하고 재령 91일, 1년의 장기재령에서는 고로슬래그를 치환하지 않은 콘크리트보다 강도가 증진된다.

제 2 절 연구개발 수행내용 및 결과

1. 광촉매 TYPE별 공기정화 성능 실험

가. 실험 개요

본 기초 실험의 목적은 TiO_2 의 종류에 따른 NO_x 의 제거성능을 통하여 본 연구에 적합한 TiO_2 TYPE을 설정하기 위한 것이다.

순수한 TiO_2 Anatase형과 Rutile형, 그리고 자체 제조한 TiO_2 를 이용하여 형광등 광원과 UV램프 광원 하에서의 NO_x 의 제거성능을 평가하였다.

TiO_2 의 유해물질 제거성능 실험을 하기 위하여 Anatase형과 Rutile형, 자체 제조 TiO_2 분말에 물을 TiO_2 중량비 50%로 하여 혼합한다. 물과 혼합한 TiO_2 를 30cm×30cm의 표면적을 가지는 밤라이트 판에 도포하여 건조 후 밀폐식 실험 장치에서 UV램프, 형광등을 광원으로 하여 NO_x 가스를 주입한 후 1시간 간격으로 가스농도 감소율이 100%가 될 때까지 가스의 농도변화를 측정하였다.

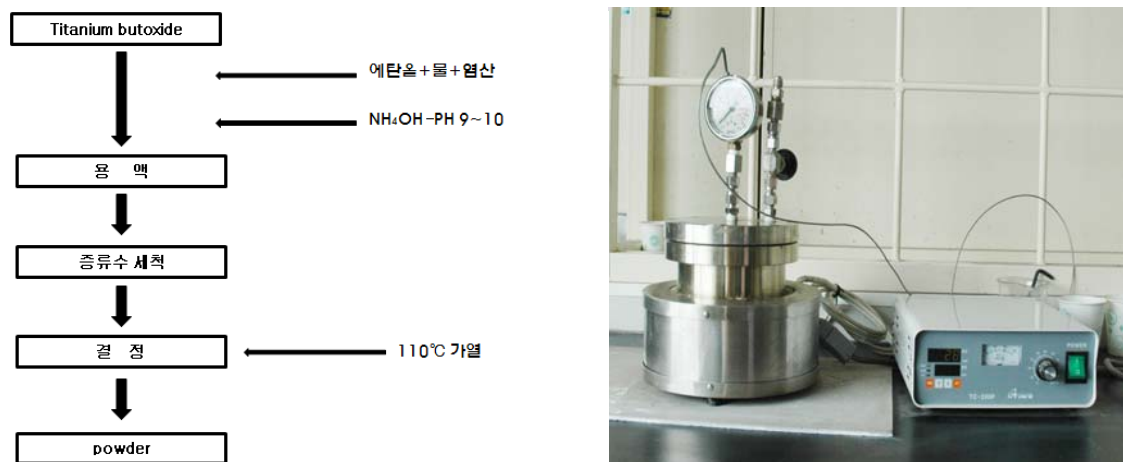


Fig. 3-9. TiO_2 powder 제조 과정 및 powder 제조에 사용된 오토클레이브

Table. 3-8. 기초실험 실험인자 및 수준

실험인자	실험변수	실험수준	측정항목
광촉매의 성능평가	Anatase형	UV램프	공기정화성능평가
	Rutile형	형광등	
	자체 제조 TiO_2	압조건	
		NO_x	

나. 실험 방법

기초실험의 실험체는 TiO_2 Anatase형과 Rutile형, 자체 제조 TiO_2 분말 중량비 50%의 물로 교반기에서 5분가량 혼합한 후 30cm×30cm의 밤라이트 판에 도포하여 건조시켜 제작하였다.

본 연구를 위한 실험 장치는 UV 램프 실험을 위한 장치로 그림과 같은 밀폐식 시험 장치를 고안·제작하여 시험 장치 내에 실험체를 거치 시킨 후 NO_x 의 농도감소량을 측정하였다. UV 램프 실험을 위한 장치는 밀폐형 스테인레스 용기(상자형) 내부에 광촉매 반응을 유도하기 위해 UV 램프를 설치하였고, 가스의 유입량을 조절하기 위해 유압계와 밸브 장치를 구성하였다. 형광등 광원 실험의 경우 밀폐식 실험 장치 내에 광원을 UV램프 대신 형광등으로 교체하여 실험을 실시하였다.

밀폐식 실험 장치에 투입되는 유해가스의 초기농도는 각각 2.0PPM으로 하였으며 유해가스의 농도감소량은 NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)로 측정하였다. NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)을 이용하여 30분 간격으로 가스농도 제거율이 100%가 될 때까지 각 3회 측정 후 평균값으로 나타냈다.

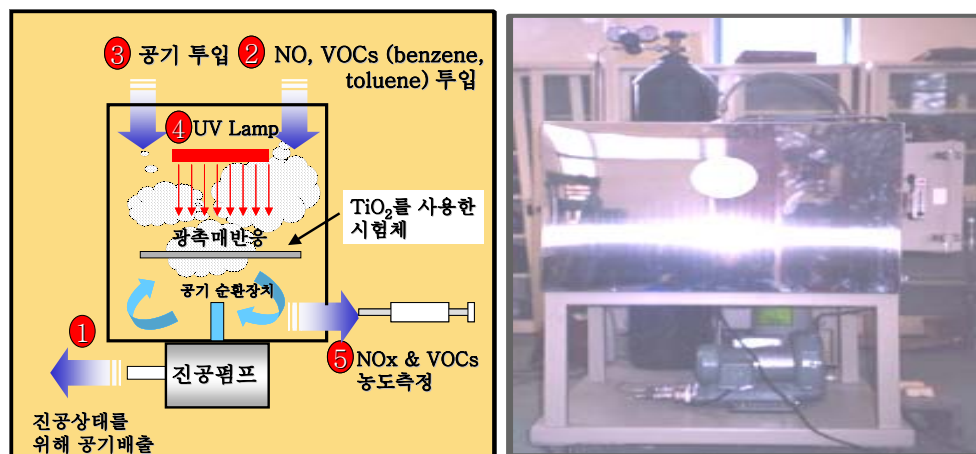


Fig. 3-10. NO_x 및 VOCs(CH_3CHO , HCHO , C_7H_8) 제거시험 장치

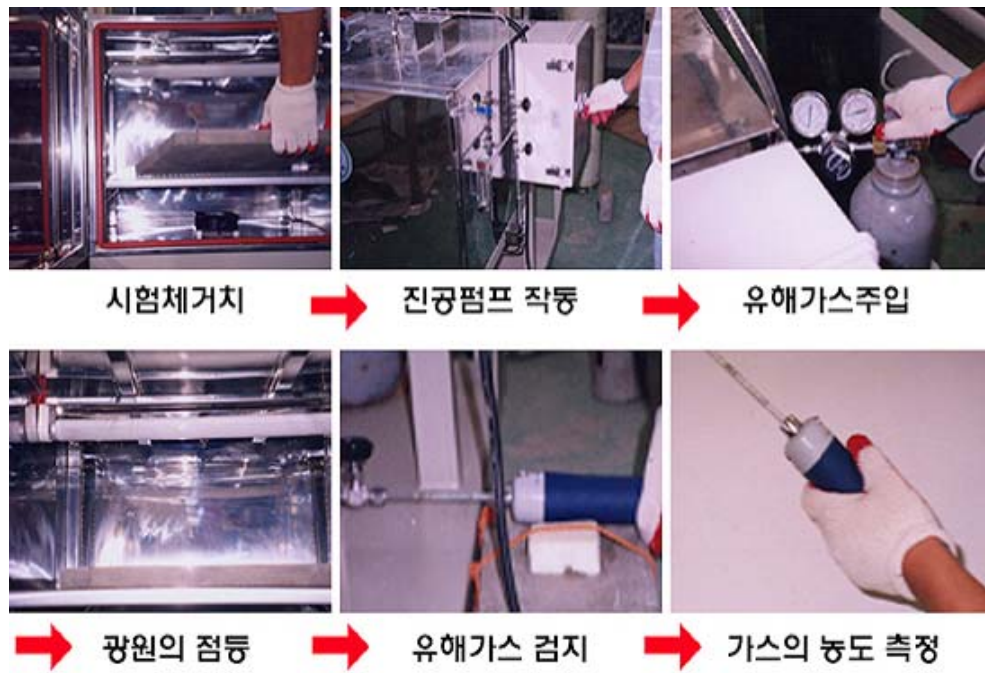


Fig. 3-11. 밀폐식 실험 장치의 실험순서

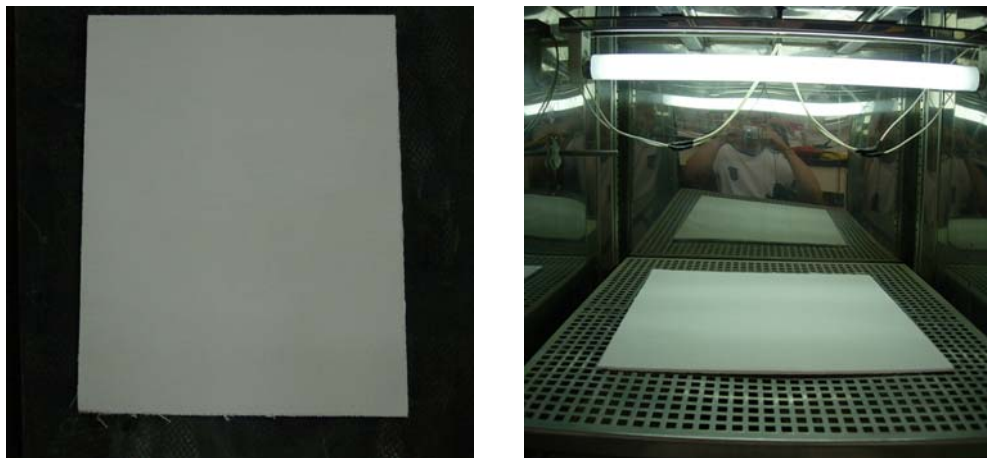


Fig. 3-12. 공기정화성능 실험

다. 실험 결과

(1) Blank 실험

Fig 3-13은 암조건 하에서 밀폐식 시험장치내에 시편없이 NOx 가스를 투입하여 밀폐식 시험장치의 밀폐성능을 알아보기 위한 가스농도 감소율을 나타낸 것이다.

암조건 하에서 실험시작 35시간동안 5.00% 가량의 농도 감소율을 나타냈다.

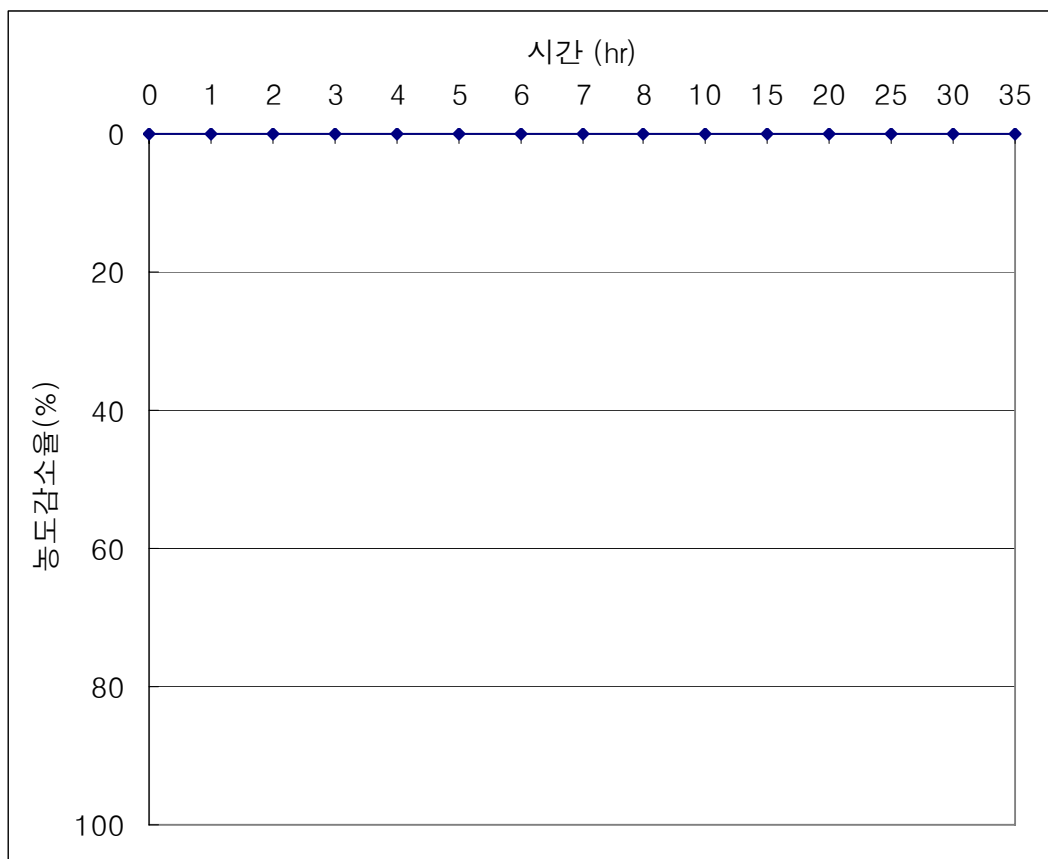


Fig. 3-13. NOx Blank 실험

Table. 3-9. 암조건 하에서의 각 유해물질별 실험장치내 흡착성능

시료	-		광원	UV램프	유해가스	NOx
시간(hr)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
2	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
3	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
4	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
5	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
6	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
7	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
8	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
10	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
15	1.90	1.90	1.90	1.90	95.00	5.00
20	1.90	1.90	1.90	1.90	95.00	5.00
25	1.90	1.90	1.90	1.90	95.00	5.00
30	1.90	1.90	1.90	1.90	95.00	5.00
35	1.90	1.90	1.90	1.90	95.00	5.00

(2) 암조건 하에서 NO_x가스 흡착성능 실험

Fig 3-14는 암조건 하에서 밀폐식 시험장치내에 시편을 거치시킨 후 NO_x 가스를 투입하여 시험장치내에 각 유해가스별 흡착성능을 농도 감소율로 나타낸 것이다.

암조건 하에서 실험시작 12시간동안 Anatase는 1.50%, Rutile은 1.01%, 자체제조 TiO₂는 3.00% 가량의 농도 감소율을 나타냈다.

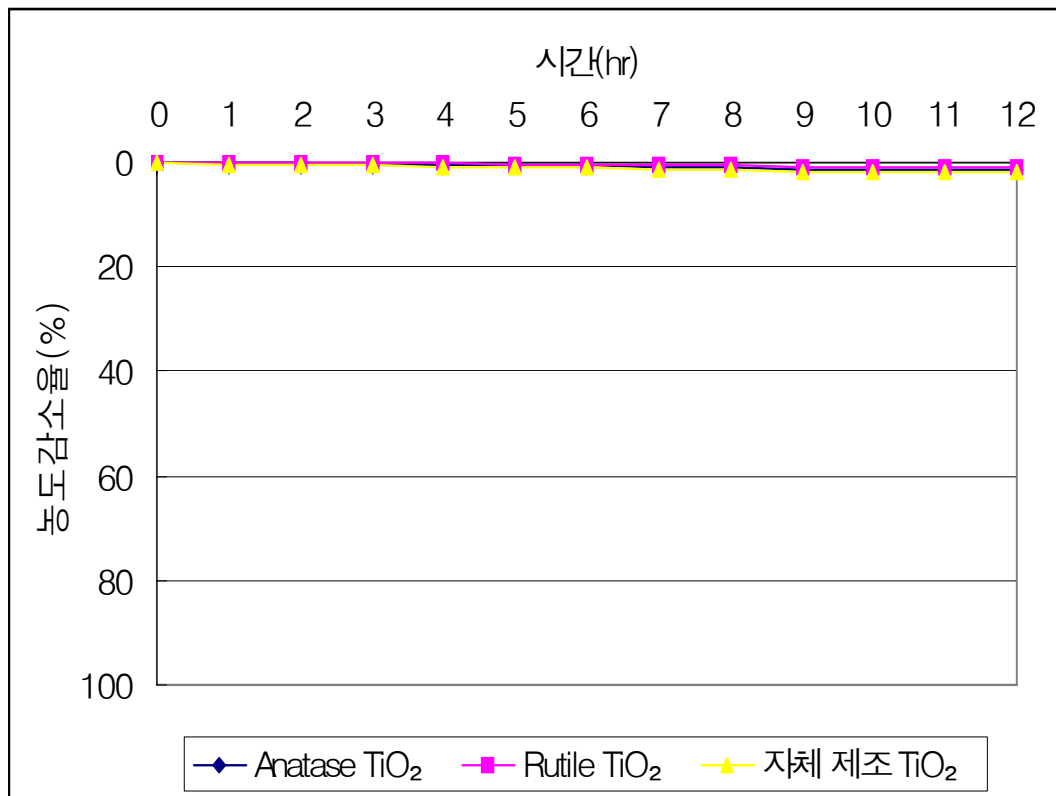


Fig. 3-14. NO_x 농도감소율

Table. 3-10. NOx 농도감소율

시료	Anatase TiO ₂		광원	-	유해가스	NOx
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
2	1.99	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
3	2.00	1.99	1.99	1.99	99.50	0.50
4	1.99	1.99	1.99	1.99	99.50	0.50
5	1.99	1.98	1.99	1.99	99.50	0.50
6	1.99	1.99	1.98	1.99	99.50	0.50
7	1.98	1.98	1.98	1.98	99.00	1.00
8	1.99	1.98	1.97	1.98	99.00	1.00
9	1.98	1.98	1.97	1.97	98.50	1.50
10	1.97	1.98	1.97	1.97	98.50	1.50
11	1.97	1.97	1.97	1.97	98.50	1.50
12	1.97	1.97	1.97	1.97	98.50	1.50
시료	Rutile TiO ₂		광원	-	유해가스	NOx
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	1.99	1.99	1.99	100.00	0.00
1	1.99	1.99	1.99	1.99	100.00	0.00
2	1.99	1.99	1.99	1.99	100.00	0.00
3	1.99	1.99	1.99	1.99	100.00	0.00
4	1.99	1.99	1.98	1.99	100.00	0.00
5	1.99	1.97	1.98	1.98	99.50	0.50
6	1.98	1.98	1.98	1.98	99.50	0.50
7	1.98	1.98	1.97	1.98	99.50	0.50
8	1.98	1.98	1.98	1.98	99.50	0.50
9	1.98	1.97	1.97	1.97	98.99	1.01
10	1.97	1.98	1.97	1.97	98.99	1.01
11	1.97	1.97	1.97	1.97	98.99	1.01
12	1.97	1.97	1.97	1.97	98.99	1.01
시료	자체 제조 TiO ₂		광원	-	유해가스	NOx
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	1.99	1.99	1.99	100.00	0.00
1	1.99	1.99	1.99	1.99	99.50	0.50
2	1.99	1.99	1.99	1.99	99.50	0.50
3	1.98	1.98	1.99	1.98	99.50	0.50
4	1.98	1.98	1.98	1.98	99.00	1.00
5	1.98	1.98	1.98	1.98	99.00	1.00
6	1.98	1.98	1.97	1.98	99.00	1.00
7	1.97	1.97	1.97	1.97	98.50	1.50
8	1.97	1.97	1.97	1.97	98.50	1.50
9	1.97	1.96	1.96	1.96	98.00	2.00
10	1.96	1.96	1.96	1.96	98.00	2.00
11	1.95	1.96	1.96	1.96	98.00	2.00
12	1.96	1.96	1.95	1.96	98.00	2.00

(3) UV램프 · 형광등 실험

Fig 3-15는 TiO_2 Anatase형과 Rutile형, 자체 제조 TiO_2 의 광원별 NO_x 제거 성능 실험결과를 NO_x 의 농도감소율로 나타낸 것이다.

TiO_2 Anatase형의 경우 UV램프 하에서 2시간동안 93%가량의 NO_x 농도 감소율을 나타냈으나 형광등 광원하에서는 0.5%의 농도감소율을 나타냈다. 형광등 광원하에서의 NO_x 가스의 농도감소율은 TiO_2 Anatase형에 의한 농도감소율이라기보다 실험장치와 실험체에 NO_x 가스가 흡착한 것으로 사료된다.

Rutile형 이산화티탄의 경우 UV램프 하에서 2시간동안 38%가량의 NO_x 가스 농도감소율을 나타냈으며 형광등 광원하에서는 TiO_2 Anatase형과 거의 유사한 1.00%가량의 농도감소율을 나타냈다.

자체 제조 TiO_2 의 경우 UV램프 하에서 1시간동안 100%가량의 NO_x 가스 농도감소율을 나타냈으며 형광등 광원하에서는 TiO_2 Anatase형과 거의 유사한 1.50%가량의 농도감소율을 나타냈다.

자체 제조 TiO_2 가 Anatase형이나 Rutile형에 비해 UV 램프 하에서 농도감소율이 20%, 75%정도 높은 것으로 나타났다, 이를 통해 자체 제조 TiO_2 가 Anatase형이나 Rutile형에 비교할 때 UV광원하에서 고효성을 나타내는 것을 알 수 있다.

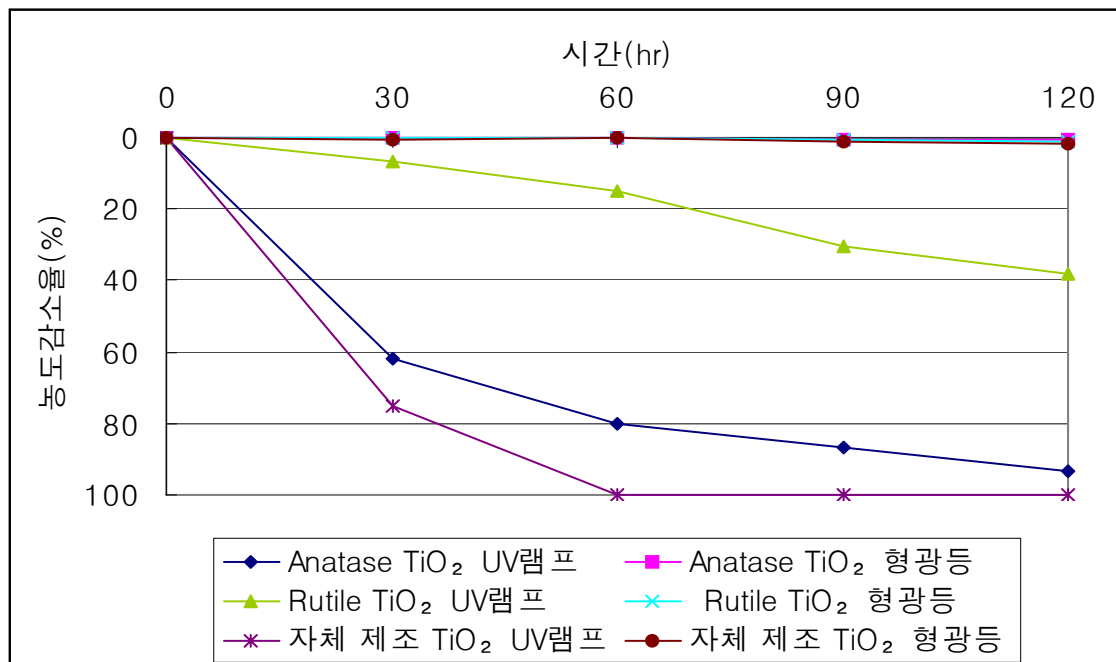


Fig. 3-15. NO_x 농도감소율

Table. 3-11. NOx 농도감소율

시료	Anatase TiO ₂		광원	UV 램프	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	0.80	0.80	0.70	0.77	38.33	61.67
60	0.40	0.40	0.40	0.40	20.00	80.00
90	0.30	0.20	0.30	0.27	13.33	86.67
120	0.20	0.10	0.10	0.13	6.67	93.33
시료	Anatase TiO ₂		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
60	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
90	2.00	1.98	2.00	1.99	99.50	0.50
120	2.00	1.98	1.98	1.99	99.50	0.50
시료	Rutile TiO ₂		광원	UV 램프	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	1.90	1.80	1.90	1.86	93.33	6.67
60	1.70	1.70	1.70	1.70	85.00	15.00
90	1.40	1.40	1.40	1.40	70.00	30.33
120	1.20	1.20	1.30	1.23	61.67	38.33
시료	Rutile TiO ₂		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
60	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
90	2.00	1.98	2.00	1.99	99.05	0.50
120	1.98	1.99	1.98	1.98	99.00	1.00
시료	자체 제조 TiO ₂		광원	UV 램프	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	0.50	0.50	0.50	0.50	25.00	75.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	00.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	00.00	100.00
120	0.00	0.00	0.00	0.00	00.00	100.00
시료	자체 제조 TiO ₂		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율 (%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
30	2.00	1.99	1.99	1.99	99.50	0.50
60	1.99	1.99	1.98	1.99	99.50	0.50
90	1.98	1.98	1.98	1.98	99.00	1.00
120	1.97	1.97	1.97	1.97	98.50	1.50

2. 가시광선 반응형 광촉매 공기 정화 성능시험

가. 황(S)첨가 광촉매(TiO_2/S)의 제조

(1) 실험 개요

본 실험은 비금속물질인 TiO_2 에 첨가하여 낮은 에너지 파장에서도 광촉매 반응이 일어날 수 있도록 하기 위한 것이다.

이산화티탄의 밴드갭 에너지를 낮춰 주는 비금속 물질로 알려진 황, 탄소, 질소 중 본 실험에서는 황(S)을 이용하여 혼합 및 소성의 의한 방법으로 TiO_2 에 황을 첨가하였다.

자체 제조 TiO_2 분말에 순도 99.9%의 황(S)분말을 TiO_2 중량비 3%, 5%, 7%, 10%로 치환하여 건조비빔을 한 후 TiO_2 중량비 50%의 물을 혼합하여 비빔을 한 후 고온가열기에서 550°C 의 온도에서 소성하여 황을 TiO_2 에 도핑하였다.

황(S)을 도핑한 TiO_2 의 대기유해물질 제거성능을 실험하기 위하여 TiO_2 중량비 50%의 물을 TiO_2 와 혼합하여 $30\text{cm} \times 30\text{cm}$ 의 표면적을 가지는 밤라이트 판에 도포하여 건조 후 밀폐식 실험 장치에서 UV램프, 형광등을 광원으로 하여 NO_x 가스를 주입한 후 1시간 간격으로 농도감소율이 100%될 때 까지 가스의 농도변화를 측정하였다.

Table. 3-12. 비금속 황을 도핑한 광촉매의 제조

실험인자	실험변수	실험수준	측정항목
황을 도핑한 광촉매의 성능평가	황의 치환율 (0%, 3%, 5%, 7%, 10%)	UV램프 형광등 암조건	● 공기정화성능평가
		NO_x	

(2) 황(S)첨가 광촉매(TiO_2/S)의 제조 방법

자체 제조 TiO_2 분말에 순도 99.9%의 황(S)분말을 TiO_2 중량비 3%, 5%, 7%, 10%로 치환하여 건조비빔을 한 후 TiO_2 중량비 50% 물을 혼입하여 약 10분간 충분히 교반하였다.

교반한 TiO_2 를 고온에서 파손되지 않는 도기에 담아 자체 제조 TiO_2 분말의 형질이 완전히 변하지 않는 550°C 의 온도에서 4시간동안 소성시킨 후 상온에서 공냉시켜 어트리션 밀을 이용하여 미분말화 하였다.



Fig. 3-16. 광촉매 제조에 사용된 고온가열기(좌) 및 어트리션밀(우)



Fig. 3-17. 황을 치환한 이산화티탄의 소성전(좌) 및 소성후(우)

(3) 실험 방법

황(S)을 첨가한 자체 제조 TiO_2 분말의 대기정화성능을 실험하기 위하여 상기에 서 제조한 TiO_2 를 이용하여 TiO_2 중량비 50%의 물로 교반기에서 5분가량 혼합한 후 30cm×30cm의 밤라이트 판에 도포하여 건조시켜 실험체를 제작하였다.

본 실험을 위한 실험 장치는 UV 램프 실험을 위한 장치로 밀폐식 시험 장치를 고안·제작하여 시험 장치 내에 실험체를 거치 시킨 후 NO_x 의 농도감소량을 측정 하였다.

UV 램프 실험을 위한 장치는 밀폐형 스테인레스 용기(상자형)내부에 광촉매 반응을 유도하기 위해 UV 램프를 설치하였고, 가스의 유입량을 조절하기 위해 유압 계와 밸브 장치를 구성하였다.

형광등 광원 실험의 경우 밀폐식 실험 장치 내에 광원을 UV램프 대신 형광등으로 교체하여 실험을 실시하였다.

밀폐식 실험 장치에 투입되는 유해가스는 NO_x 가스로 초기농도는 2.0ppm으로 하였으며 유해가스의 농도감소량은 NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)로 측정하였다. NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)를 이용하여 1시간 간격으로 농도감소율이 100%될 때 까지 가스의 농도변화를 각 3회 측정 후 평균값으로 나타냈다.

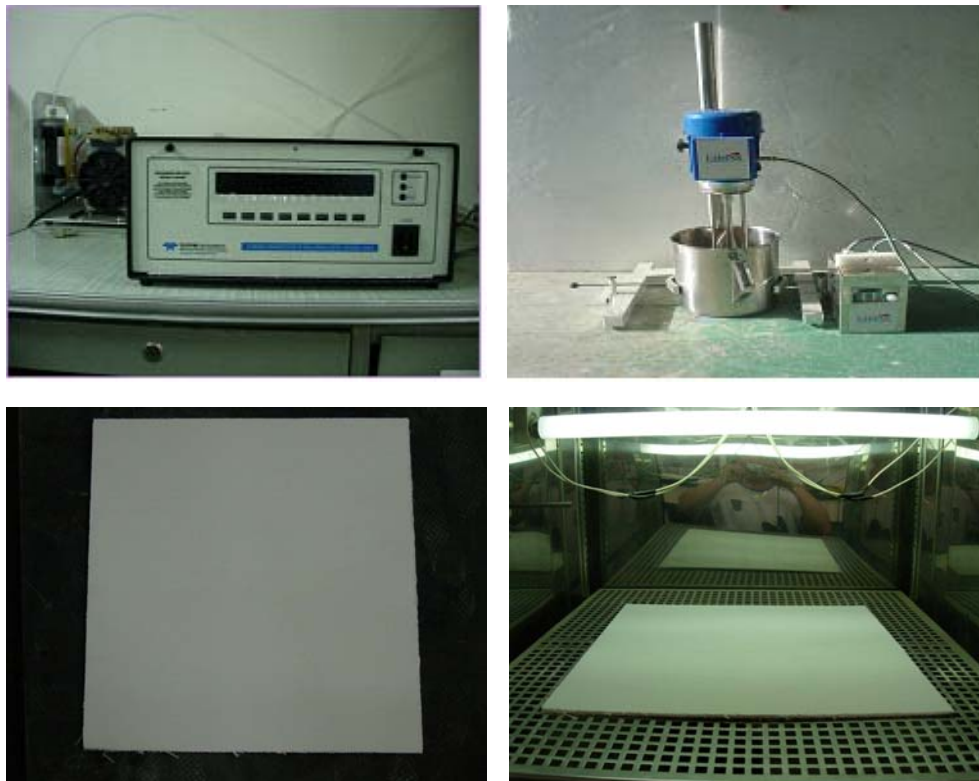


Fig. 3-18. 황을 첨가한 광촉매 대기정화 성능 실험

(4) 실험결과

(가) 암조건 하에서 각 유해가스별 흡착성능 실험

Fig 3-19는 암조건 하에서 밀폐식 시험장치내에 시편을 거치 시킨 후 NO_x 가스를 투입하여 시험장치내에 각 유해가스별 흡착성능을 농도 감소율로 나타낸 것이다. 암조건 하에서 실험시작 24시간동안 1.5~4.0% 가량의 농도 감소율을 나타냈다.

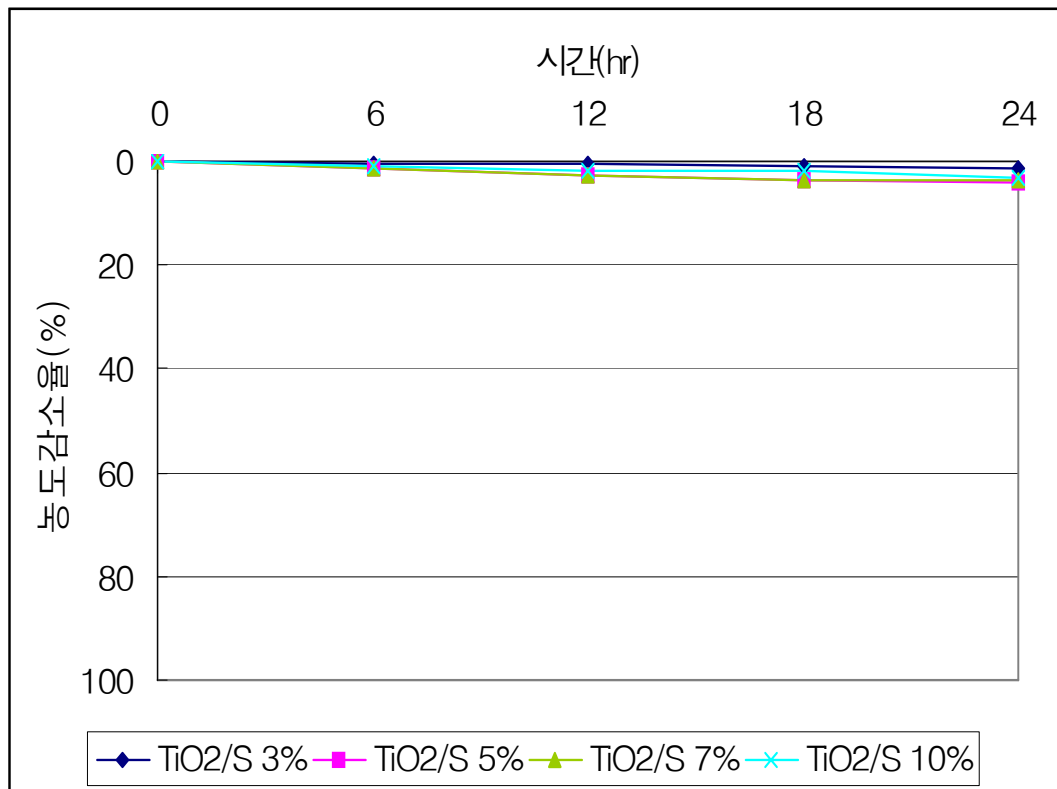


Fig. 3-19. 암조건에서 TiO₂/황의 치환율에 따른 NO_x 제거성능

Table. 3-13. 암조건에서 TiO₂/황의 치환율에 따른 NO_x 제거성능

시료	TiO ₂ /S 3%		광원	-	유해가스	NO _x
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
6	1.98	1.98	1.96	1.97	99.50	0.50
12	1.96	1.94	1.94	1.95	99.50	0.50
18	1.92	1.94	1.94	1.93	99.00	1.00
24	1.94	1.94	1.92	1.93	98.50	1.50
시료	TiO ₂ /S 5%		광원	-	유해가스	NO _x
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
6	1.96	1.98	1.96	1.97	98.50	1.50
12	1.94	1.94	1.96	1.95	97.50	2.50
18	1.92	1.94	1.92	1.93	96.50	3.50
24	1.92	1.92	1.92	1.92	96.00	4.00
시료	TiO ₂ /S 7%		광원	-	유해가스	NO _x
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
6	1.98	1.97	1.96	1.97	98.50	1.50
12	1.94	1.96	1.94	1.95	97.50	2.50
18	1.94	1.94	1.92	1.93	96.50	3.50
24	1.94	1.92	1.92	1.93	96.50	3.50
시료	TiO ₂ /S 10%		광원	-	유해가스	NO _x
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
6	1.98	1.98	1.98	1.98	99.00	1.00
12	1.97	1.96	1.96	1.96	98.00	2.00
18	1.96	1.96	1.96	1.96	98.00	2.00
24	1.94	1.95	1.94	1.94	97.00	3.00

(나) UV램프 실험

Fig 3-20은 UV램프 광원 하에서의 황의 치환율에 따른 광촉매의 NO_x 제거성능 실험결과를 NO_x의 농도감소율로 나타낸 것이다.

황의 치환율에 따른 NO_x의 농도감소율을 살펴보면 3%의 황을 치환한 경우 실험시작 20분에 67.5%의 농도감소율을 나타냈으며 실험시작 60분에 100%의 농도감소율을 나타냈다. 5%, 7%, 10%의 경우도 실험시작 20분에 67%에서 75% 가량의 농도감소율을 나타냈으며 5%, 7%의 경우 실험시작 40분에 100%의 농도감소율을 나타냈으며 10%의 경우 실험시작 60분에 100%의 농도감소율을 나타냈다.

UV램프 광원 하에서 치환율에 따른 NO_x가스의 상대적인 제거성능에 있어서 5%, 7%, 10%, 3%의 순으로 제거성능이 우수한 것으로 나타났다.

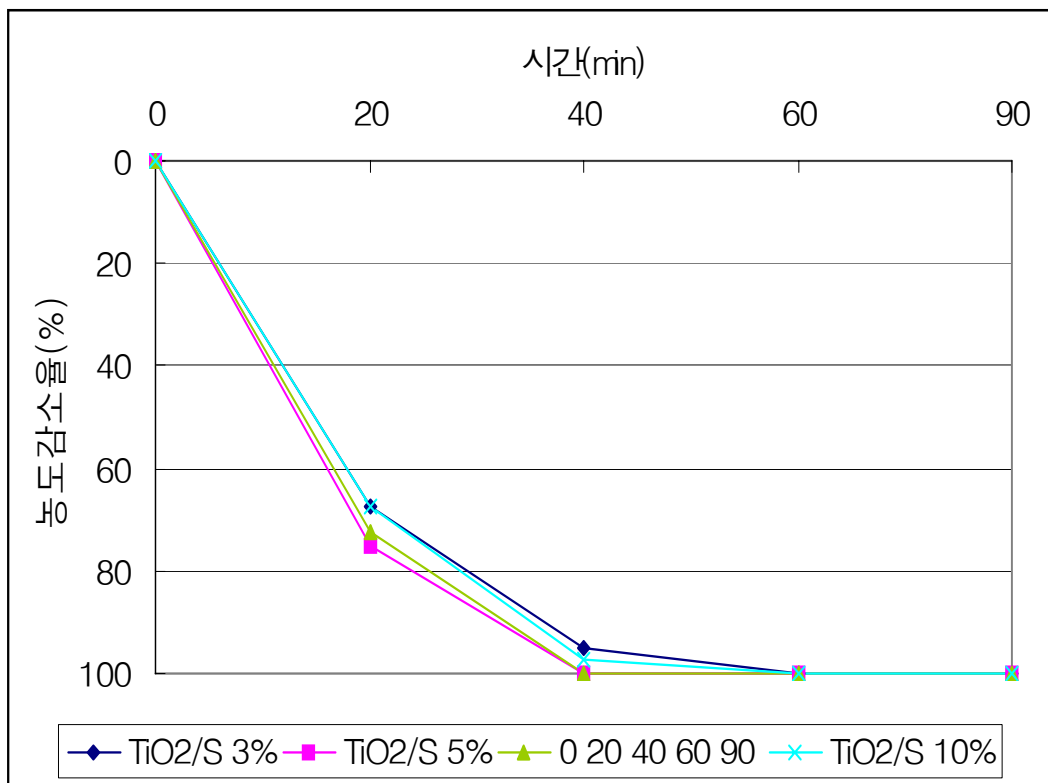


Fig. 3-20. UV램프 광원하에서 TiO₂/S의 치환율에 따른 NO_x제거성능

Table. 3-14. UV램프 광원하에서 TiO_2/S 의 치환율에 따른 NO_x 제거성능

시료	TiO_2/S 3%		광원	UV램프	유해가스	NO_x
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	0.65	0.65	0.65	0.65	32.50	67.50
40	0.10	0.10	0.10	0.10	5.00	95.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	TiO_2/S 5%		광원	UV램프	유해가스	NO_x
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	0.50	0.50	0.50	0.50	25.00	75.00
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	TiO_2/S 7%		광원	UV램프	유해가스	NO_x
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	0.55	0.55	0.55	0.55	27.5	72.50
40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	TiO_2/S 10%		광원	UV램프	유해가스	NO_x
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	0.65	0.65	0.65	0.65	32.50	67.50
40	0.05	0.05	0.05	0.05	2.50	97.50
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

(다) 형광등 실험

Fig 3-21은 형광등 광원 하에서의 황의 치환율에 따른 광촉매의 NO_x 제거성능 실험결과를 NO_x의 농도감소율로 나타낸 것이다.

황의 치환율에 따른 NO_x의 농도감소율을 살펴보면 3%의 황을 치환한 경우 실험시작 20분에 9.0%의 농도감소율을 나타냈으며 실험시작 60분에 29.0%의 농도감소율을 나타냈다. 5%, 7%, 10%의 경우도 실험시작 20분에 13.5%에서 18.5% 가량의 농도감소율을 나타냈으며 5%의 경우 실험시작 90분에 61.5%의 농도감소율을 나타냈으며 7%, 10%의 경우 실험시작 90분에 45%에서 46%의 농도감소율을 나타냈다.

형광등 광원 하에서 치환율에 따른 NO_x가스의 상대적인 제거성능에 있어서 5%, 10%, 7%, 3%의 순으로 제거성능이 우수한 것으로 나타났다.

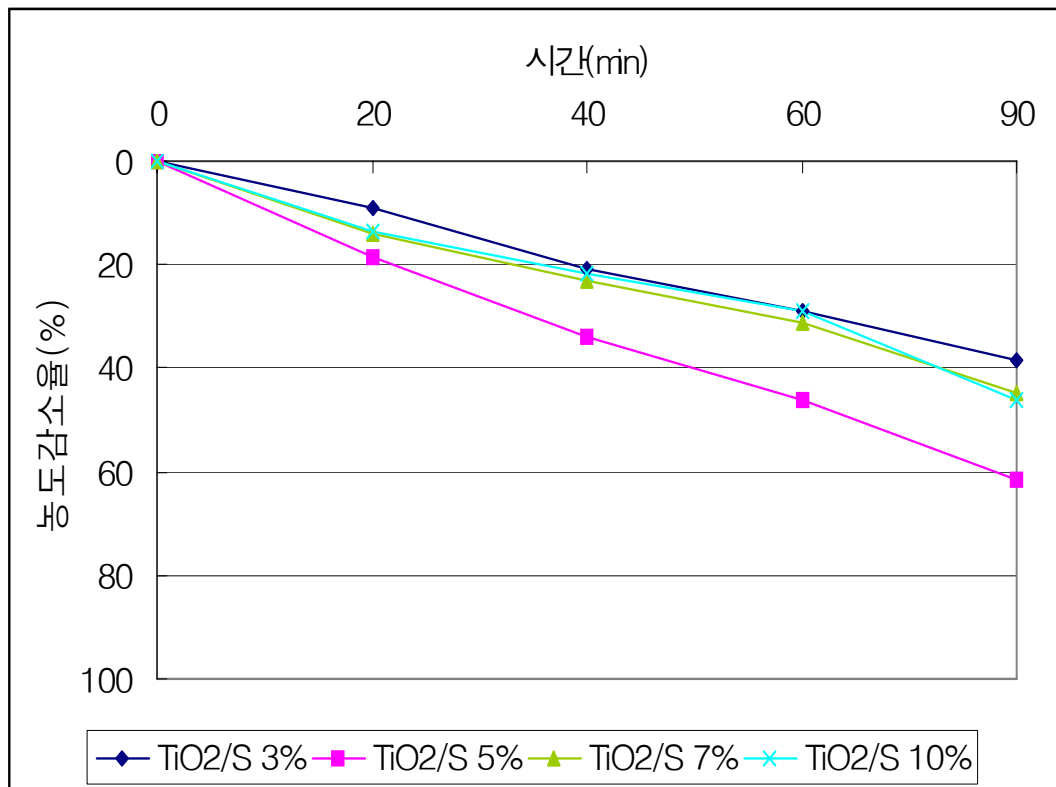


Fig. 3-21. 형광등 광원하에서 TiO₂/황의 치환율에 따른 NO_x제거성능

Table. 3-15. 형광등 광원하에서 TiO2/황의 치환율에 따른 NOx 제거 성능

시료	TiO2/S 3%		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	1.85	1.80	1.80	1.82	91.00	9.00
40	1.60	1.55	1.60	1.58	79.00	21.00
60	1.40	1.45	1.40	1.42	71.00	29.00
90	1.25	1.20	1.25	1.23	61.50	38.50
시료	TiO2/S 5%		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	1.60	1.65	1.65	1.63	81.50	18.50
40	1.30	1.30	1.35	1.32	66.00	34.00
60	1.10	1.10	1.05	1.08	54.00	46.00
90	0.80	0.75	0.75	0.77	38.50	61.50
시료	TiO2/S 7%		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	1.70	1.75	1.70	1.72	86.00	14.00
40	1.55	1.55	1.50	1.54	77.00	23.00
60	1.40	1.40	1.35	1.38	69.00	31.00
90	1.10	1.10	1.10	1.10	55.00	45.00
시료	TiO2/S 10%		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	1.75	1.7	1.75	1.73	86.50	13.50
40	1.55	1.55	1.60	1.57	78.50	21.50
60	1.40	1.40	1.45	1.42	71.00	29.00
90	1.10	1.05	1.10	1.08	54.00	46.00

(5) 합성 광촉매의 특성

Fig 3-22는 황을 치환하지 않은 TiO_2 와 황을 5% 치환한 TiO_2 의 UV-Vis 측정 결과이다.

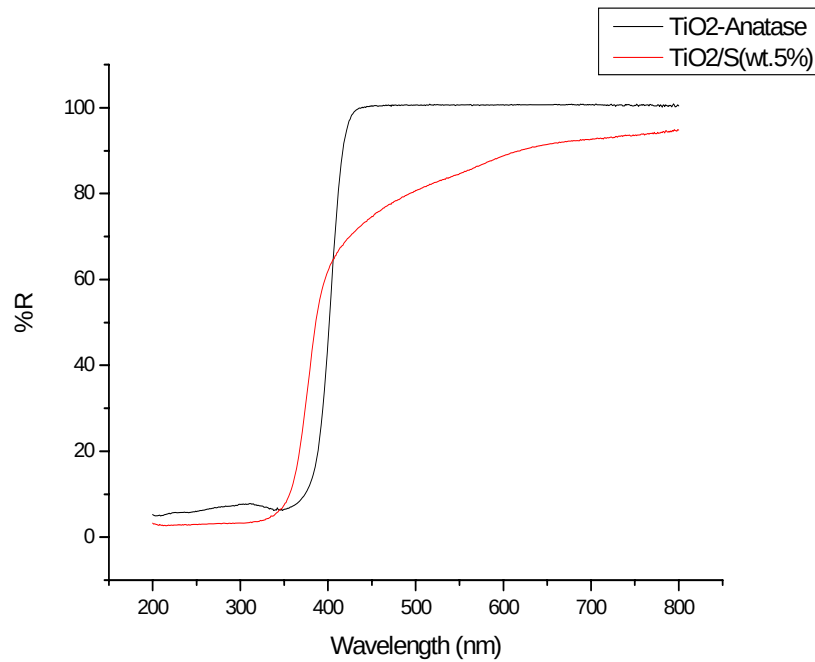


Fig. 3-22. 황(wt.5%) 치환에 따른 UV-Vis 측정

측정결과를 보면 황을 치환하지 않은 TiO_2 보다 황을 5% 치환한 TiO_2 의 광활성 영역이 우수한 것을 알 수 있다. %R영역이 100이상이 되면 거의 광활성이 없는 것으로 판명이 된다. 그러므로 황을 치환하지 않은 TiO_2 는 자외선 영역(270nm~400nm)까지는 광활성이 우수 하지만, 가시광선 영역 (400nm~800nm)에서는 거의 광활성이 없는 것으로 나타났다.

그 반면 황을 5% 치환한 TiO_2 의 경우는 자외선 영역(270nm~400nm)에서도 광활성이 우수하고 가시광선 영역(400nm~800nm)에서도 광활성이 우수한 것을 알 수 있다.

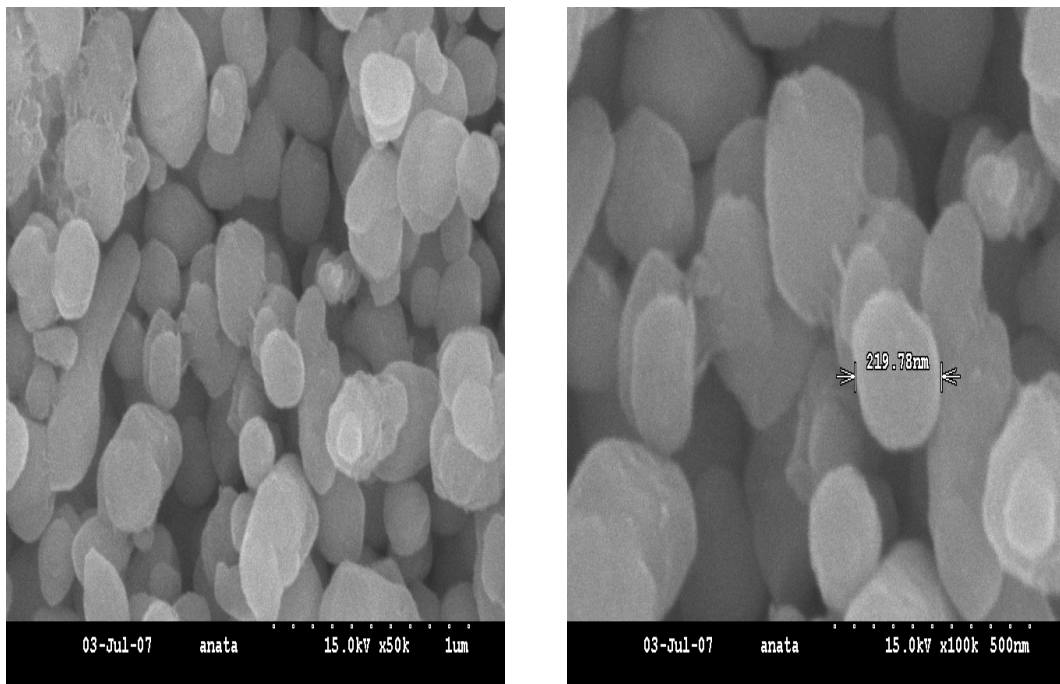


Fig. 3-23. TiO₂/S(wt.5%) SEM 측정사진

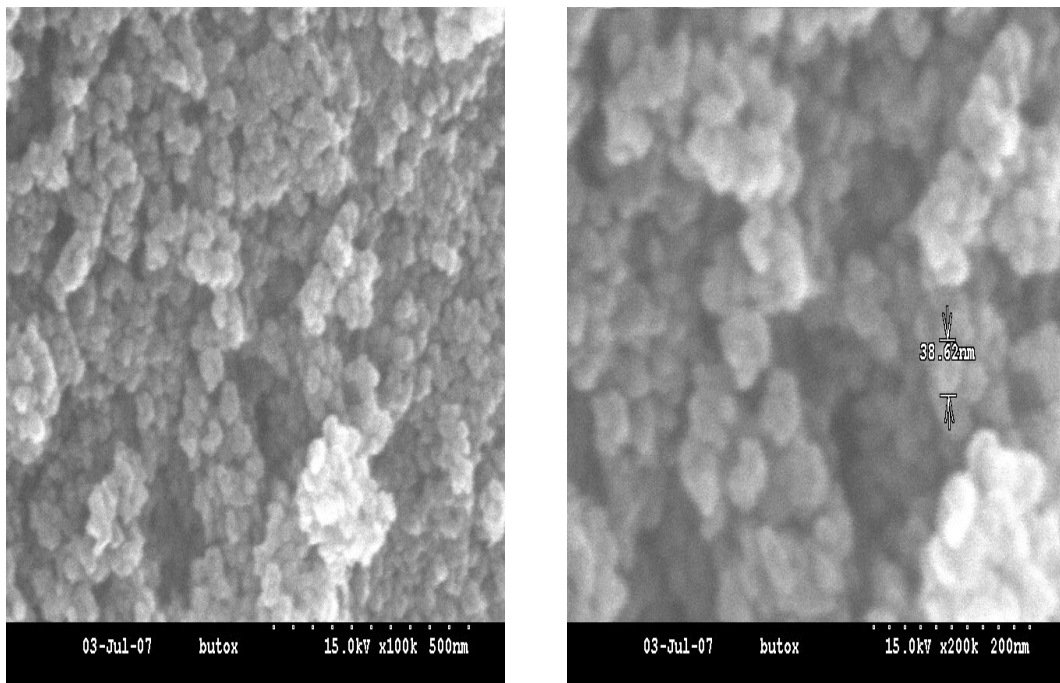


Fig. 3-24. 불밀과 어트리션밀로 미분말한 TiO₂/S(wt.5%) SEM 측정사진

동일한 황(S)의 치환율로 Fig 3-23은 TiO_2 powder를 제조한 것이고, Fig 3-24는 제조한 powder를 볼밀과 어트리션밀로 미분말한 것이다.

SEM측정결과 Fig 3-23은 평균 입자크기가 250nm로 나타났으며, Fig 3-24는 30nm로 나타났다.

입자크기에 따라 광촉매의 광활성의 요인인 비표면적이 틀려지므로 입자 크기가 작을 수록 광활성이 우수할 것으로 사료되며 광활성은 UV-Vis의 결과로 나타났다.



Fig. 3-25. 광촉매 제조에 사용된 어트리션밀(좌) 및 볼밀(우)

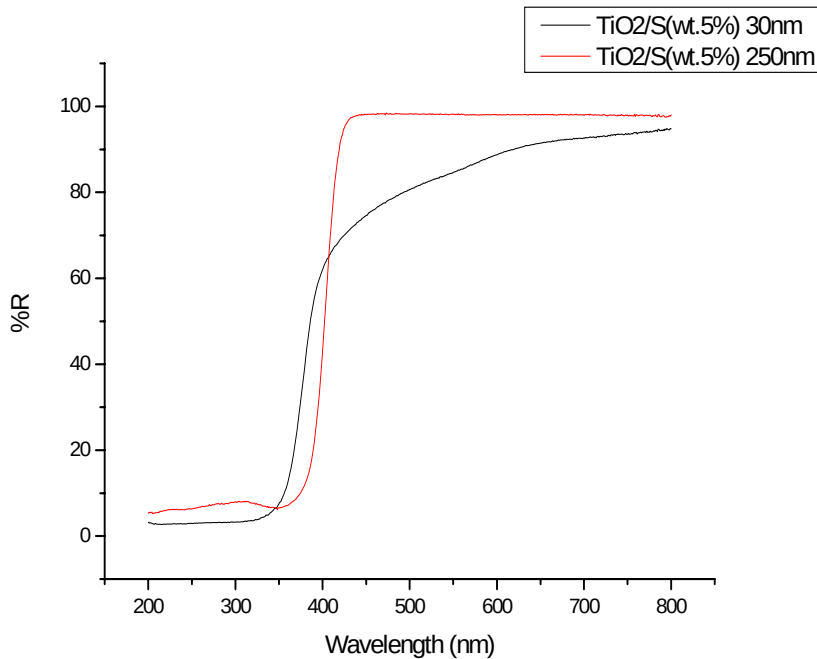


Fig. 3-26. 입자크기에 따른 UV-Vis 측정

Fig 3-26는 입자크기에 따른 UV-Vis Spectroscopy의 결과를 나타낸 것이다.

동일한 양(wt.5%)의 황을 첨가하고 입자의 크기만 달리하여 광활성을 알아보았다. 그 결과 입자의 평균 크기가 30nm인 $\text{TiO}_2/\text{S}(\text{wt.5}\%)$ 의 경우 자외선 영역(270nm~400nm)과 가시광선 영역(400nm~800nm)에서 광활성이 우수한 것으로 나타났다. 그 반면 입자의 평균크기가 250nm인 $\text{TiO}_2/\text{S}(\text{wt.5}\%)$ 의 경우는 자외선영역(270nm~400nm)에서 광활성이 우수하게 나타났지만, 가시광선영역(400nm~800nm)에서는 광활성은 있지만, 우수하지는 못한 것을 알 수 있다.

그러므로 평균 입자의 크기가 30nm인 $\text{TiO}_2/\text{s}(\text{wt.5}\%)$ 가 가시광선 영역에서도 반응을 한다는 것을 알 수 있다. 입자 크기를 정해 놓은 것은 최적의 배합비로 최대의 성과를 얻을 수 있도록 하기 위함이다.

나. $\text{Zr}_2\text{S}-\text{TiO}_2$ 광촉매의 제조

최근 사이언스지에 질소, 탄소등과 같은 비금속물질을 이산화티타늄에 도핑을 하게 되면, 밴드갭이 낮아져, 가시광선에서 반응성이 월등해진다고 보고가 된 후, 급

속도로 이에 관련한 연구가 전 세계적으로 이루어지고 있다. 비금속에 의한 밴드갭 줄어듦 현상은 비금속 이온이 이산화티타늄 격자 안에 들어가 이산화티타늄 전자 구조를 뒤틀어지게 하여 나타난 것이라고 이론적인 계산으로 알려져 있다. 하지만 비금속 물질을 도핑한 이산화티타늄은 상대적으로 금속을 도핑한 이산화티타늄보다 연구가 덜 이루어 졌기 때문에, 아직 시작 단계라 할 수 있으며, 많은 연구를 필요로 한다. 그러한 이유의 한 가지로, 여러 다른 비금속을 이용한 이산화티타늄 이 시도가 되어져 왔으며, 그 중에 황을 도핑한 이산화티타늄을 이용한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다. 황은 질소와 탄소 같은 비금속물질과는 달리 제조하는 조건, 즉 사용하는 황의 전구체 및 합성 방법 등에 따라 이산화티타늄에 도핑이 될 때 여러 가지 산화상태(S^{6+} , S^{4+} or S^{2-})를 가질 수 있으며, 이 세 가지 산화상태 모두 가시광선에서 반응이 일어날 수 있도록 해준다고 알려져 있다.

최근 비금속물질만을 이용한 이산화티타늄을 벗어나, 금속과 비금속 물질을 동시에 도핑하여 더 좋은 촉매활성을 가지는 이산화티타늄광촉매가 보고되고 있다. 니켈(Ni) 과 붕소(B)의 조합 또는 철(Fe) 과 질소 또는 황의 조합 등 여러 가지 조합이 알려져 있다. 여러 가지 금속과 비금속물질의 조합 중에서 지르코늄(Zr)과 황(S)의 조합은 아직 알려지지 않았다. 지르코늄(Zr)을 도핑한 이산화티타늄은 도핑된 금속에 의해서 표면적이 증가하고, 또한 높은 온도에서 아나타제 결정구조가 유지되게 도움을 줄뿐만 아니라, 최근 보고에 의하면, 전자와 정공의 재결합 속도를 늦춰 줄 수 있는 가능성을 보여주었다. ZrO_2-TiO_2 광촉매라든지, $Ti_{1-x}Zr_xO_2$ 솔리드 솔루션 광촉매는 자외선에서 일반 이산화티타늄보다 우수한 촉매활성을 띄는 것으로 보고가 되어 진 것을 그 예로 할 수 있다. 또한, 최근 ZrO_2-TiO_2 를 제조한 후, 암모니아를 이용하여 질소를 도핑한 광촉매는 가시광선에서 질소만 도핑한 광촉매보다 우수한 촉매활성을 가진다고 보고되었다. 이러한 사실에 비추어 볼 때, 지르코늄과 황을 동시에 도핑한 이산화티타늄 또한 가시광선에서 보다 나은 촉매활성을 가질 것으로 보여 진다.

이러한 사항에 입각하여, 황을 첨가한 가시광선 반응형 광촉매를 개발하였지만 보다 뛰어난 성능의 광촉매 개발을 위해 지르코늄과 황을 동시에 도입한 이산화티타늄 제조실험을 하게 되었다. 여러 가지 지르코늄의 양을 사용하여, 황과 지르코늄이 동시에 도핑된 이산화티타늄을 본 연구에서 개발된 개질된 솔-젤법으로 제조를 하였다. 여러 가지 분석 장비를 통해서 합성된 촉매의 특성을 조사해 보았으며, 또한 가시광선에서의 활성을 확인하고자 가스 상태의 톨루엔을 이용하여 광분해 반응을 조사하였다.

(1) 실험 방법

(가) 시약

테트라부틸 올소타이타네이트(Tetrabutyl orthotitanate, $\text{Ti}(\text{O}-\text{Bu})_4$)와 지르코늄 아세틸아세토네이트(zirconium acetylacetonate, $\text{Zr}(\text{acac})_4$)는 Tokyo Chemical Industry Co., Ltd에서 구입을 하였으며, 티오우레아(thiourea)는 Aldrich 사에서 구입을 하였다. 다른 시약들은 일반 시약 상을 통해서 구입을 하였다. 모든 합성과정은 실온에서 이루어졌으며, 질소로 치환된 반응용기에서 실험을 하였다.

(나) 가시광선 반응형 광촉매의 제조 ($x\text{Zr,S-TiO}_2$, x 는 Zr의 wt%)

나노 구조를 가지는 여러 가지 지르코늄의 함량($x = 0.5, 1.0, 3.0, 5.0$)을 가지는 $x\text{Zr,S-TiO}_2$ 광촉매는 우리가 개발한 개질된 솔-젤 방법으로 제조를 하였다. Fig 3-27은 합성법에 대해서 대략적으로 도식화 해 놓았다. 우선 $^{0.5}\text{Zr,S-TiO}_2$ 합성법을 알아보면, 먼저 EtOH(140 ml)에 $\text{Ti}(\text{O}-n\text{Bu})_4$ (21.3 mL, 62.5 mmol)을 녹인 후, EtOH(70 mL)에 증류수 (22.0 mL, 1.2 mol)과 HCl 수용액(6.0 mL, 0.20 mol)을 첨가한 용액(A)을 만들고, 동시에 EtOH(70 mL)에 $\text{Zr}(\text{acac})_4$ (0.15 g, 0.30 mmol) and thiourea (2.38 g, 31.25 mmol)을 넣어 녹인 용액(B)을 만들고, 이렇게 만들어진 두 용액(A,B)을 앞서 만들어 놓은 $\text{Ti}(\text{O}-n\text{Bu})_4$ 용액에 한 방울씩 투입하면서 교반을 시켜준다. 투입이 완료된 시점에서 24시간동안 실온해서 교반을 시켜준 후, 1 M NH_4OH 용액을 한 방울씩 투입하면서, 반응용액의 pH가 9.0가 될 때까지 넣어 주면서 교반을 하여준다. 용액은 점차 겔로 변화가 되며, 겔이 관찰되면, 2시간동안 Aging을 해준다. 그 후 필터를 통해서 남은 용액을 제거를 해주고, 증류수를 이용, 남아있는 여러 가지 찌꺼기를 제거를 해준다. 그 후 겔은 12시간동안 110°C 에서 건조를 시켜주고, 건조된 겔은 분쇄하여 파우더로 만든다. 이렇게 만들어진 파우더를 1분에 1°C 씩 온도를 상승시켜가면서, 450°C 또는 600°C 에 이르렀을 때, 5시간동안 소성을 하여준다. 이렇게 하여 나노구조를 가지는 $^{0.5}\text{Zr,S-TiO}_2$ 가 제조되었다. 이와 같은 방법으로 $^1\text{Zr,S-TiO}_2$, $^3\text{Zr,S-TiO}_2$ 그리고 $^5\text{Zr,S-TiO}_2$ 역시 제조를 하였다. 비교분석을 위해서, 지르코늄만 도핑된 이산화티타늄($^3\text{Zr-TiO}_2$)과 황만 도핑된 이산화티타늄(S-TiO_2)도 제조하였다.

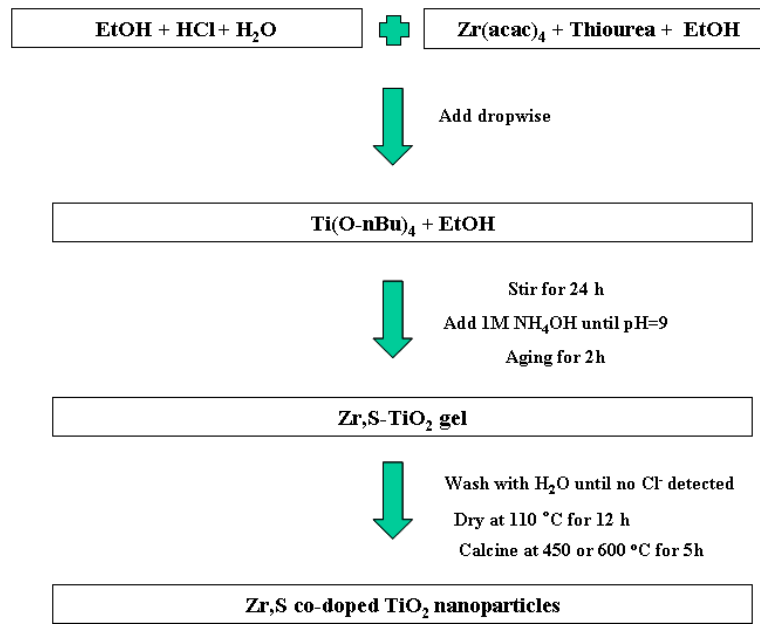


Fig. 3-27. Zr,S-TiO₂ 광촉매의 제조방법

(다) 톨루엔을 이용한 촉매활성 측정

광촉매 활성은 가시광선하에서 톨루엔의 광분해반응을 통해서 조사하였다. 광촉매활성 실험은 폐쇄된 순환식 반응기에서 이루어졌다. Fig 3-28.은 광촉매 반응기에 대해서 도식화해 놓은 것이다. 우선 부피가 1L인 파이렉스 유리로 만들어진 튜브형태의 반응기 안에 촉매(300±0.5 mg)를 빛이 도달하는 부분에 잘 도포를 하고, 이렇게 촉매가 장착이 된 반응기는 특수 처리된 튜브를 통해서 순환 펌프에 연결이 되어 진다. 이때 펌프의 순환 속도는 320 cm³/min 이다. 이렇게 펌프와 연결된 촉매가 장착된 반응기는 UV 필터로 처리된 150 W 할로젠램프(OSRAM HALOLINE)가 장착된 30 cm x 42 cm x 27 cm 크기의 검은 유리 박스에 위치하게 된다. 이때 램프와 촉매와의 거리는 15 cm이다. 촉매활성 체크를 위한 톨루엔을 반응기에 넣기 위해서, 온도가 70도로 유지되는 유리로 만들어진 믹싱챔버를 광반응기에 연결하여, 이곳을 통해서 톨루엔을 주입하였다. 이렇게 광반응기와 믹싱챔버, 튜빙을 포함한 반응기의 총 부피는 약 1.3L이다. 각 반응에 사용되는 톨루엔의 양은 3.0 μ L (2.54 x 10⁻⁵ M, 530 ppmv)이다. 촉매실험을 시작하기 전에, 우선 촉매가 장착된 광반응기를 어둠속에 방치한 후, 펌프로 순환을 해준 상태에서 톨루엔을 주입하고, 약 2시간정도 촉매 표면에 톨루엔이 충분히 흡착과 탈착이 이루어져 평형이 이루어 질 때까지 순환을 시켜준다. 그 후에 빛을 조사하여 시간마다 줄어

드는 톨루엔의 양을 확인을 하게 된다. 촉매활성 실험은 기본적으로 4시간을 기준으로 하여 수행하였다. 일정 시간마다 줄어드는 톨루엔의 양을 측정하기 위해서, 가스 샘플링이 가능한 가스크로마토그래피 (Shimadzu GC-17A, Shimadzu Corporation)를 이용하여 측정을 하였다. 톨루엔이 분해되는 속도는 pseudo-first-order kinetics를 따른다고 예측을 하여, 다음과 같은 수식을 이용하여 반응 상수를 계산하여 보았다.

$$\ln(C_0/C) = kt \quad (1)$$

이때 C_0 는 처음 톨루엔의 농도이고 C 는 일정시간이 지난 후의 톨루엔의 농도이며, t 는 시간(분)이고, k 는 반응상수이다.

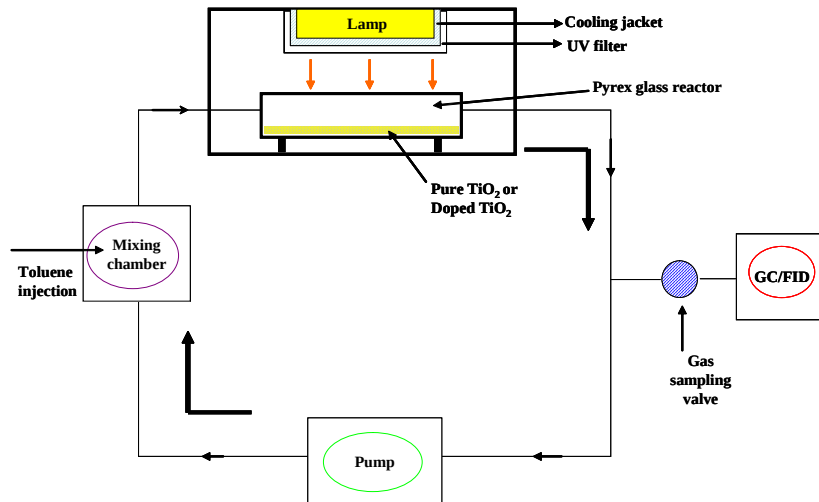


Fig. 3-28. 광촉매 반응기

(2) 결과 및 고찰

광촉매 활성 실험

450℃에서 소성한 TiO_2 , S-TiO_2 , $^3\text{Zr-TiO}_2$ 그리고 $^X\text{Zr,S-TiO}_2$ 촉매를 이용하여 가시광선하에서 가스 상태의 톨루엔을 분해하는 광촉매 분해 반응을 통하여 활성을 확인하여보았다.(Fig 3-29) 시중에서 구할 수 있는 P-25라는 TiO_2 광촉매를 이번 활성 실험의 기준물질로 사용하였다. 활성 실험의 결과는 Table 3-16에 요약해 놓았다. 모든 촉매들은 빛을 조사한 시간과 톨루엔의 $\ln(\text{Co/C})$ 의 값의 관계가 거의 일직선의 형태로 나타나, a pseudo-first-order reaction이라는 것을 알 수 있다. (Fig 3-30, 32) 가시광선 하에서 P-25 and TiO_2 은 낮은 광촉매활성을 띄는 것을 확인 할 수 있으며, $^3\text{Zr-TiO}_2$ 광촉매 활성은 상대적으로 앞에 두 촉매보다는 어느 정도 향상됨을 보여주지만, S-TiO_2 보다는 낮음을 알 수 있다. 가시광선 하에서의 광촉매의 활성을 좌우하는 중요한 인자는 촉매의 빛의 흡수영역이다. 모든 Zr,S-TiO_2 촉매는 단지 황만 도핑된 TiO_2 보다 우수한 광촉매 활성을 보임을 알 수 있다. 특히, $^3\text{Zr,S-TiO}_2$ 광촉매는 가장 우수한 촉매활성을 지님을 나타낸다. 가스-고체상의 불균일 광촉매 반응은 표면에서 일어나는 반응이므로, 향상된 표면 특성을 가지는 촉매가 우수한 촉매활성을 나타낸다고 알려져 있다. Zr 도핑 때문에, 소성과정 중에 야기되는 결정의 성장을 막아주며, 그로 인해서 촉매 자체가 가지는 다공성을 어느 정도 유지 시켜주어서 촉매의 표면적이 증가되는 역할을 할 수 있다. 추가적으로, Zr,S-TiO_2 촉매의 격자상수 계산결과로부터 알 수 있는 사실은 촉매 자체의 도핑에 의한 격자의 뒤틀림 현상이 발견 되었는데, 그로 인한 격자 안에 결손점이 형성 될 가능성이 있다. 그 결과로, 촉매 표면에 존재하는 산소가 떨어져 나와 빛을 조사할 때 형성되는 정공과 결합을 하게 된다. 이러한 매카니즘을 통해서, 표면에서 떨어져 나온 산소 (O_2^-)는 정공에 의해서 O^- 로 변하게 되고, 연속으로 O 로 변하게 된다. 이 때 형성된 분해된 O 는 촉매 표면에 붙은 유기물질과 반응하여 유기 물질을 분해하는 능력을 가지고 있다는 것은 널리 알려져 있다. 이렇게 격자의 뒤틀림으로 형성된 분해된 O 에 의해서, 도핑이 없는 촉매보다 우수한 촉매 활성을 가진다고 이야기 할 수 있다. 하지만 이번 활성실험에서 Zr의 양이 증가함에 따라 촉매의 표면특성이 좋아지고 또한 입자의 크기도 작아지고 격자의 뒤틀림 또한 커짐을 알 수 있지만, Zr,S-TiO_2 의 광촉매 활성의 정도는 다음 순서이다:

$^3\text{Zr,S-TiO}_2 > ^{0.5}\text{Zr,S-TiO}_2 > ^5\text{Zr,S-TiO}_2 > ^1\text{Zr,S-TiO}_2$ 이러한 결과를 봤을

때, 최적 조건의 Zr 양이 더 높은 광촉매 활성을 나타냄을 알 수가 있다. 광촉매의 활성은 또한 소성온도에 따라 달라짐을 알 수 있다. (Fig 3-31, 32) 소성온도를 450℃ 또는 600℃로 한 $^3\text{Zr,S-TiO}_2$ 을 이용하여 촉매활성을 확인하여 보았다. 높은 소성온도로 처리한 촉매는 상대적으로 가시광선에서의 촉매활성이 떨어짐을 알 수가 있다. 하지만 600℃에서 소성한 $^3\text{Zr,S-TiO}_2$ 아직도 도핑을 하지 않은 샘플보다는 더 좋은 활성을 가짐을 확인 할 수 있었다.

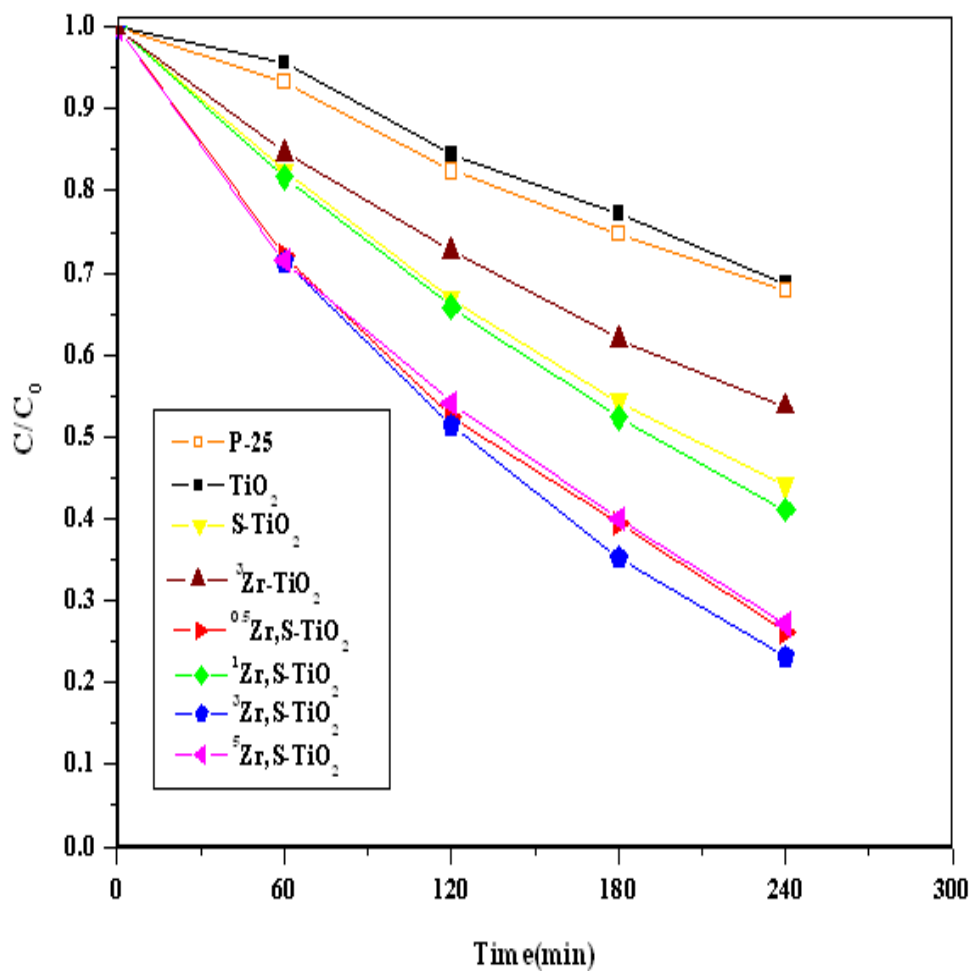


Fig. 3-29. 톨루엔을 이용한 촉매들의 가시광선에서의 활성 조사

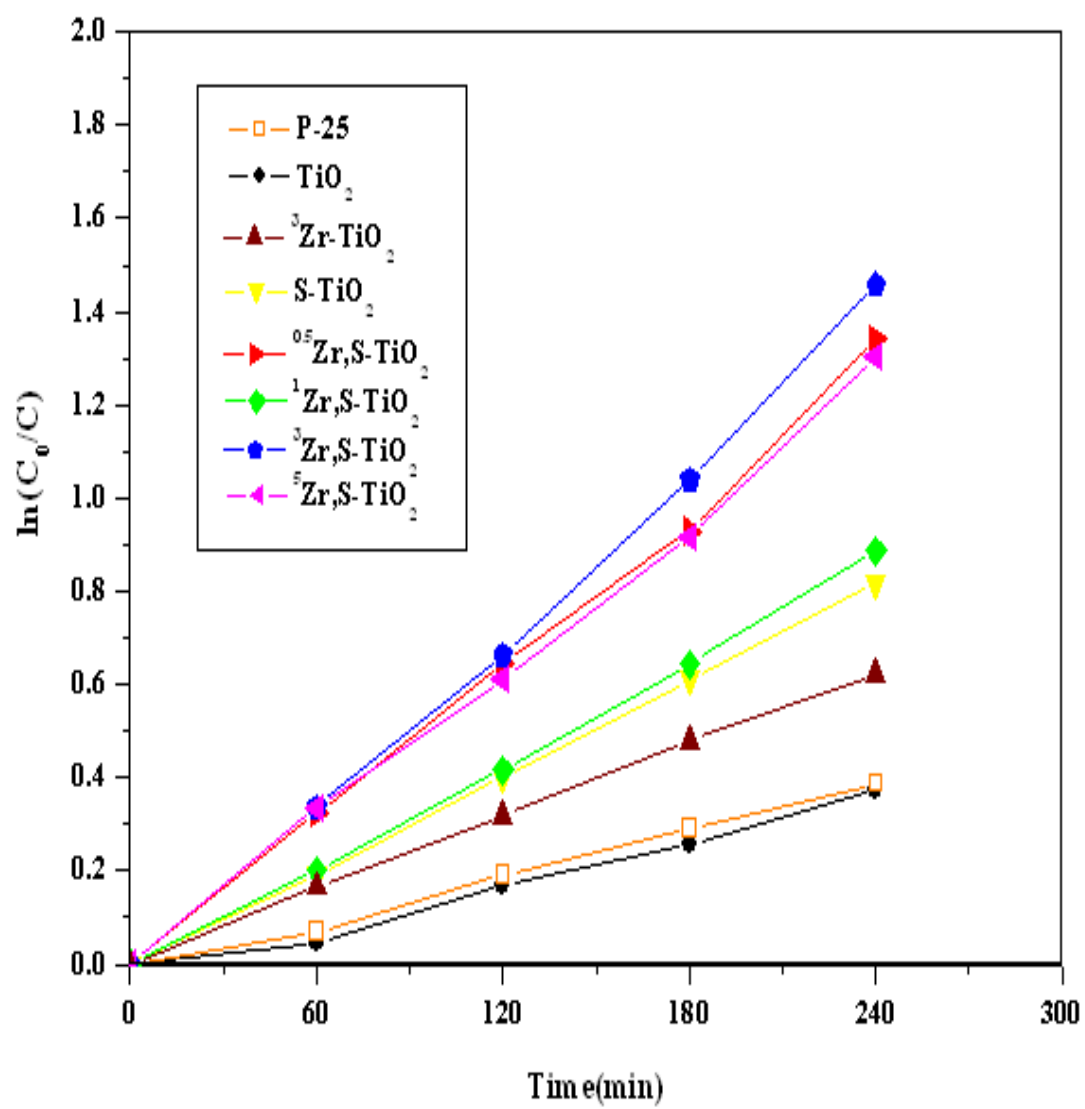


Fig. 3-30. 톨루엔을 이용한 촉매들의 가시광선에서의 반응속도 조사

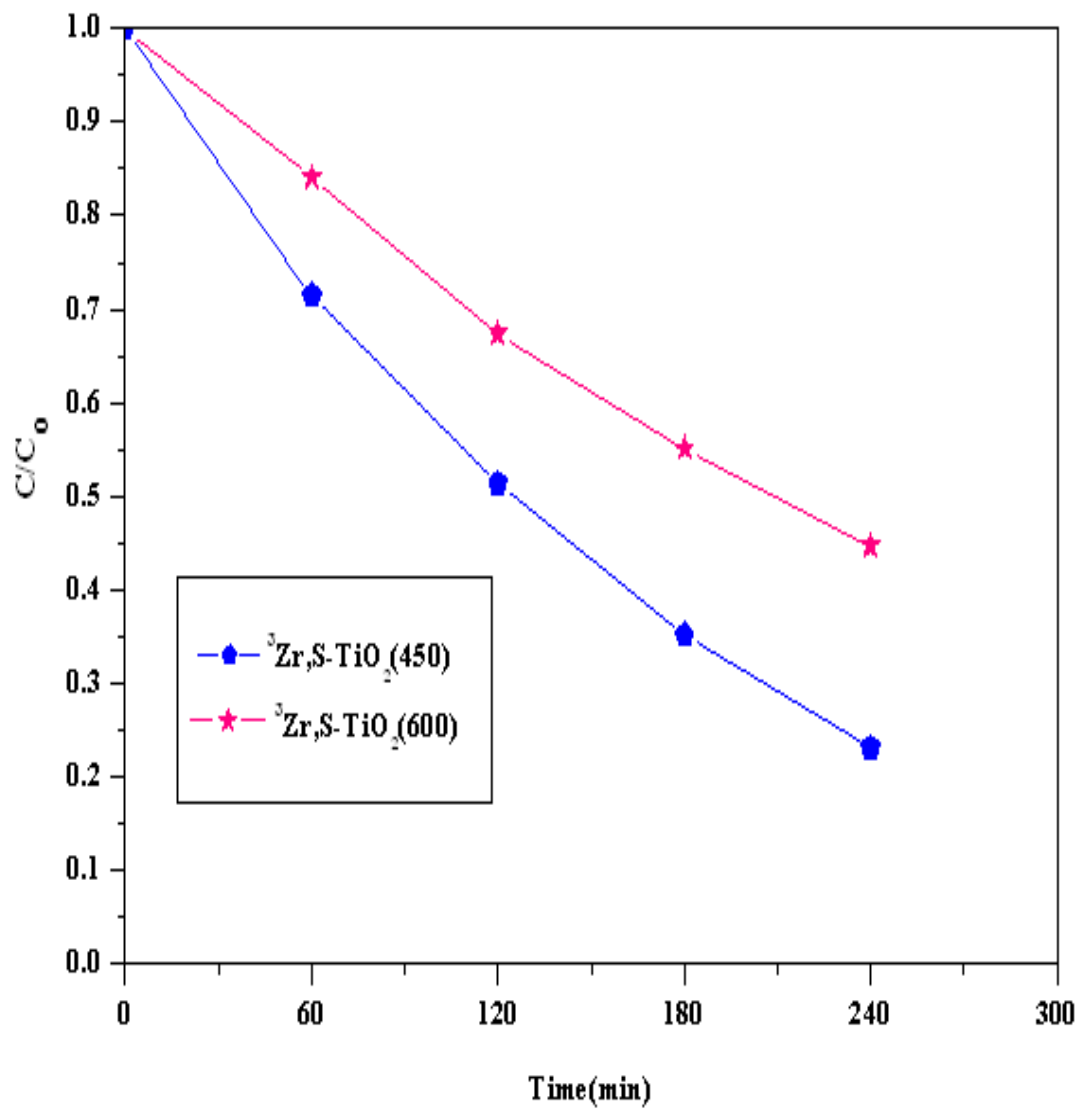


Fig. 3-31. 다른 소성 온도를 가지는 ${}^3\text{Zr,S-TiO}_2$ 을 이용한 가시광선에서의 활성 조사 :
450°C 와 600°C

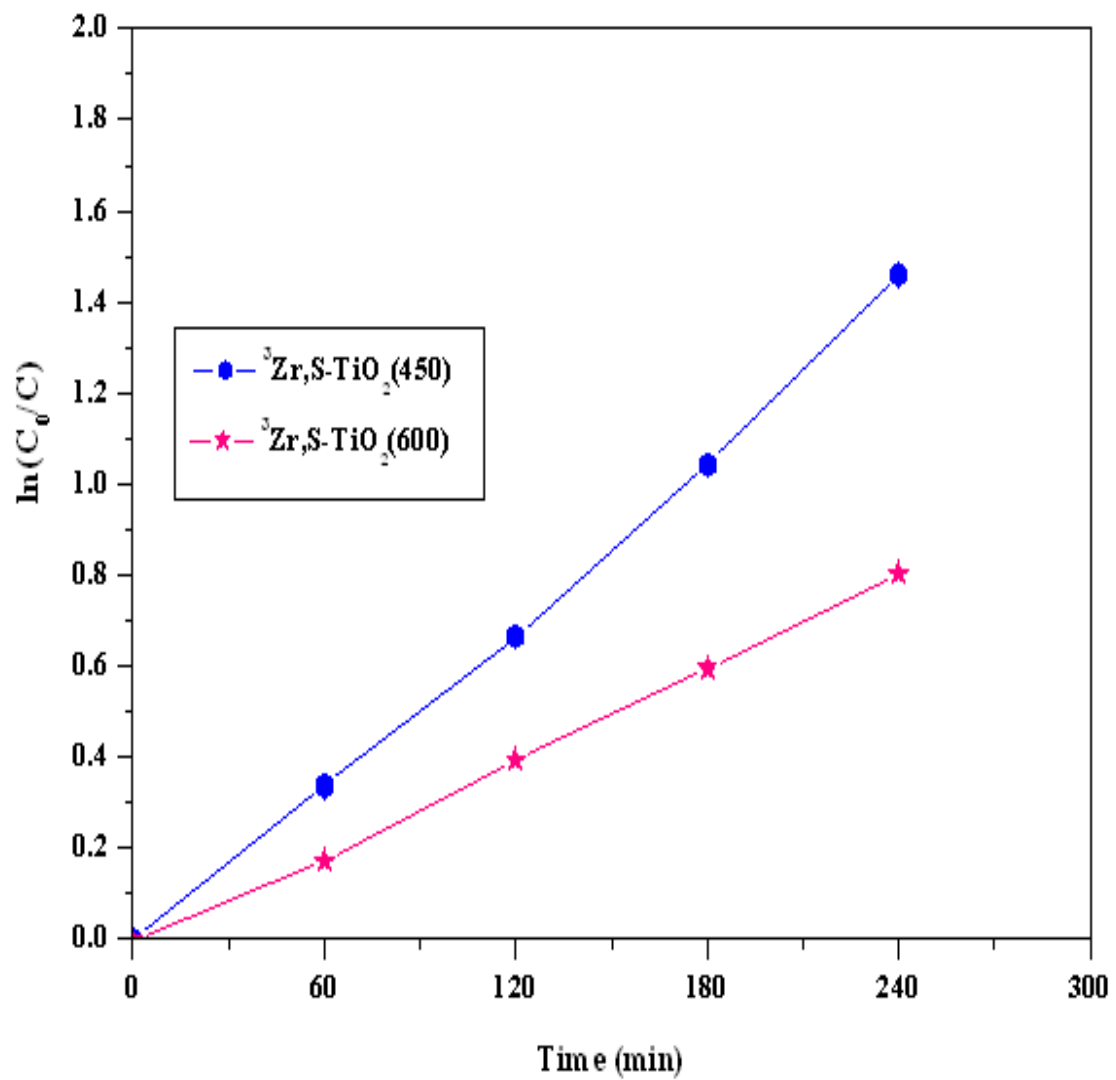


Fig. 3-32. 다른 소성 온도를 가지는 Zr,S-TiO_2 을 이용한 가시광선에서의 반응속도 조사
: 450°C와 600°C

Table. 3-16. 가시광선 하에서의 톨루엔의 광분해 반응

catalysts	Toluene degradation ^a (%)	k ^b (min ⁻¹)
P-25	32.13	0.001615±±0.0001
TiO ₂ (450)	31.34	0.001566±±0.0002
³ Zr-TiO ₂ (450)	46.28	0.002589±±0.0003
S-TiO ₂ (450)	55.87	0.003409±±0.0003
^{0.5} Zr,S-TiO ₂ (450)	73.91	0.005598±±0.0006
¹ Zr,S-TiO ₂ (450)	58.85	0.0037±±0.0003
³ Zr,S-TiO ₂ (450)	76.76	0.006081±±0.0007
⁵ Zr,S-TiO ₂ (450)	72.81	0.005427±±0.0004
³ Zr,S-TiO ₂ (600)	55.25	0.00335±±0.0003

^a 4시간 반응 후에 확인.

^b A반응 계수는 반응시간과 $\ln(C_0/C)$ 의 상관관계로 부터 얻을 수 있음.

3. 광촉매 도료의 제조

가. 실험개요

본 실험에서는 광촉매 Zr,S-TiO_2 분말을 고로슬래그와 혼합하여 기초적인 도료 조성물질로 무기도료를 제조하였다.

고로- Zr,S/TiO_2 분말에 용매, 바인더물질, 표면왁스제 및 보조바인더, 무기방수제를 첨가하여 다양한 조성비에 따라 도료를 제조하였으며 붓 작업용이성, 스프레이 작업성, 건조시간 등을 평가하였으며 광원별, 유해가스별 공기정화성능을 평가하였다.

도료의 물리적 특성은 KS 규정에 의한 실험방법으로 실행하였으며 공기정화성능은 30cm×30cm의 밤라이트판에 제조된 도료를 2회 붓 칠하여 36시간 건조 후 밀폐식 시험장치에서 UV램프, 형광등 광원 하에서 NO_x , HCHO , CH_3CHO , C_7H_8 가스를 주입한 후 1시간 간격으로 농도감소율이 100%될 때 까지 가스의 농도변화를 측정하였다.

Table. 3-17. 고로슬래그-광촉매 도료 실험인자 및 수준

실험인자	실험변수	실험수준	측정항목
고로슬래그-광촉매 무기도료	조성비	용매, 보조바인더, 무기방수제	• 붓바름용이성, 건조속도, 표면상태
	광원별	UV램프, 형광등	• 유해물질별 공기정화성능평가 (NO_x , CH_3CHO , HCHO , C_7H_8)

나. 광촉매 무기도료 제조방법

본 실험에서는 무기도료 제조과정의 기초적인 조성물질을 이용하여 도료를 제조하였다. 고로-광촉매 분말을 주원료로 하여 용매로써 물을 사용하였으며 바인더물질, 그리고 외장도료 겸용의 기능을 갖추기 위하여 무기방수제를 첨가하여 도료를 제조하였다.

바인더 물질로는 천연무기접착제인 규산칼륨, 나트륨칼폭시, 알부민, 규산소다와 일반 수성도료에서 가장 많이 사용되고 있는 규산칼륨 용액 중 표면상태가 양호하고 기포를 발생시키지 않으며 표면돌기가 적은 실리케이트 에멀전형을 사용하였다. 외장용 도료로 사용되는 도료의 경우 수분에 안정적이어야 함으로 국내D사의 무기방수제와 국내 B사의 무기방수제 중 장시간 발수성을 가지는 B사의 무기방수제를 도료에 첨가하였다.

상기의 물질로 조성된 도료의 제조 순서는 다음과 같다.

- (1) 용매에 바인더물질인 규산칼륨용액을 첨가하여 약 5분간 충분히 교반한 후, 무기방수제를 첨가하여 골고루 섞이도록 다시 5분간 교반한다.
- (2) (1)에서 제조된 용액을 담체에 첨가시켜 입자들간의 결집되는 현상이 없을 정도로 충분히 교반하여 도료를 완성시킨다.



Fig. 3-33. 도료의 조성물질 및 완성된 도료

다. 무기도료의 작업성 및 물리적 특성

(1) 무기도료의 붓작업성

도료의 붓 작업성 시험 방법은 KS M 2411 규정에 의한 실험 방법으로 용매로 닦아낸 냉간압연강판(60cm×60cm)에 균일하게 잘 섞인 도료를 표면이 덮힐 때까지 세로방향으로 면이 고르도록 붓(폭 약 5cm)을 이용하여 칠을 한 후 다시 가로방향으로 칠을 하였다. 이때 붓이 끌리는지 작업이 용이한지를 평가하였으며 거의 수직 방향으로 판을 세워 건조시킨 다음 도막에 스트리킹, 플러딩, 붓자국 및 광택 등이 불균일한가를 평가하였으며 플로우잉과 퍼짐성을 평가하였다.



Fig. 3-34. 도료의 붓 작업용이성 실험

도료의 붓 작업용이성 실험 결과, 붓 작업시 분말 결집들에 의한 붓 끌림현상은 없었으며 건조 도중 스트리킹이나 붓 자국 등은 나타나지 않았다. 그리고 안료가 표면에 완전히 떠올라 안료자체의 색을 형성하는 플러딩 현상이나 건조시 색분리가 일어나는 플로팅 현상은 일어나지 않았다.

Table. 3-18. 도료의 붓 작업용이성 시험 결과

판정항목	붓끌림	스트리킹	붓자국	플러딩	플로팅	플로우잉
시험결과	없음	없음	없음	없음	없음	없음

(2) 도료의 스프레이 작업성

도료의 스프레이 작업성 시험은 KS M 2412에 의한 실험방법으로 용매로 잘 닦아낸 강철판(10cm×30cm)의 강철판에 도료를 스프레이건과 강철판의 거리를 20~25cm를 유지하며 스프레이건을 강철판에 대해 직각으로 들고 표면과 평행이 되게 이동시키면서 뿌렸다. 도장된 판을 거의 수직으로 놓고 세킹 현상을 평가하고 건조 후 더스팅, 뜸반점, 색얼룩, 버블링, 주름살, 스트리킹, 핀홀, 크레터링, 백화, 실킹 등을 평가하였다.



Fig. 3-35. 무기도료의 스프레이 작업성

도료의 스프레이 작업성 시험 결과, 도장 작업 중 아래쪽으로 흘러서 두께가 불균등하게 되어 반원상, 고드름 등이 생기는 세킹 현상이 약간 발생하였다.

건조 후 더스팅이나 버블링, 색얼룩, 스트리킹, 실킹, 크레터링은 발생하지 않았으나 도막에 작은 구멍이 생기는 핀홀 현상이 일어났으며 도막에 울퉁불퉁한 파상이 생기는 크링클링(주름) 현상이 약간 발생하였다.

Table. 3-19. 도료의 스프레이작업성 시험 결과

판정항목	세킹	더스팅	버블링	색얼룩	스트리킹	실킹	크레터링	핀홀	크링클링
시험결과	약간 있음	없음	없음	없음	없음	없음	없음	있음	약간 있음

(3) 무기도료의 건조시간 시험

도료의 건조 시간 시험은 KS M 2511에 의한 실험 방법으로 10cm×8cm의 밤라이트판에 도료를 붓칠하여 21~32℃로 실내의 온도를 유지하며 연기나 먼지가 없고 통풍이 잘되는 직사광선을 받지 않는 곳에서 다음의 판정 시험방법으로 건조시켰다.

(가) 지촉건조(Set-to-tough)

손가락 끝을 도막에 가볍게 대었을 때 점착성은 있으나 도료가 손끝에 묻어나지 않으면 지촉 건조가 된 것으로 한다.

(나) 점착건조(Dust free)

a. 손가락에 의한 방법 : 손가락 끝에 힘을 주지 않고 도막면을 가볍게 좌우로 스칠 때, 손끝자국이 심하게 나타나지 않으면 점착 건조가 된 것으로 한다.

b. 숨에 의한 방법 : 탈지면을 약 3cm 높이에서 떨어뜨린 다음, 입으로 불어 탈지면이 쉽게 떨어져 완전히 제거 될 때, 점착건조가 된 것으로 한다.

(다) 고착건조(Take-free)

도막면에 손끝이 닿는 부분이 약 1.5cm가 되도록 가볍게 눌렀을 때 도막면에 지문자국이 남지 않으면 고착 건조가 된 것으로 한다.

(라) 고화건조(Dry-hard)

엄지와 인지 사이에 시험판을 물리되, 도막이 엄지쪽으로 가게 하여 힘껏 눌렀다가(비틀지 말고) 떼어 내어 부드러운 형상으로 가볍게 문지른다. 이때, 도막에 문지를 자국이 없으면 고화 건조가 된 것으로 한다.

(마) 경화건조(Dry-through)

도막면에 팔이 수직이 되도록 하여, 힘껏 엄지손가락으로 누르면서 90° 각도로 비틀어 본다. 이때, 도막이 늘어나거나 주름이 생기지 않고, 또한 도막에 다른 이상이 생기지 않을 때를 경화건조 된 것으로 한다.

(바) 완전건조(Full-hardness)

도막을 손톱이나 칼로 긁었을 때 흠이 잘 나지 않고, 힘이 든다고 느끼면 완전 건조가 된 것으로 한다.

Table. 3-20. 제조된 도료의 건조시간

건조의 종류	지촉건조	점착건조	고착건조	고화건조	완전건조
건조시간(min)	40	70	100	140	380

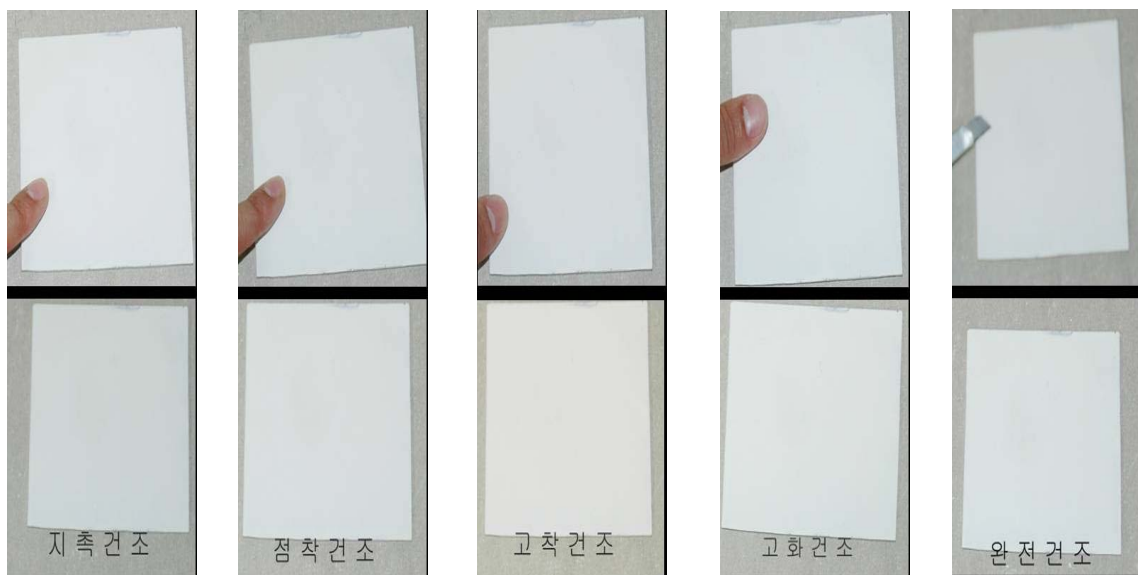


Fig. 3-36. 제조된 무기도료의 건조시험

본 실험에서 제조된 도료의 단계별 건조시간을 살펴보면 지촉건조의 경우 38분, 점착건조의 경우 55분, 고착건조까지 95분, 고화건조까지 120분이 소요되었으며 완전건조가 되기까지 480분의 시간이 소요되었다.

일반 수성도료의 경우 고착건조까지 걸리는 시간이 60분인데 비해 본 실험에서 제조된 도료는 점토의 높은 흡수성으로 인해 건조 시간이 지연되는 현상을 나타냈다.

라. 실험 방법

도료의 공기정화성능 실험은 30cm×30cm의 밤라이트판에 제조된 도료를 가로방향으로 붓칠한 후 세로방향으로 다시 붓칠하여 21℃의 온도를 유지하여 36시간 건조시켜 공기오염물질 제거 성능을 평가하였다.

본 실험에서는 도료의 공기오염물질 제거성능을 평가하기 위하여 밀폐식 실험장치를 이용하여 UV램프, 형광등 광원하에서 NO_x, HCHO, CH₃CHO, C₇H₈ 가스의 농도감소량을 측정하였다.

밀폐식 실험장치에 투입되는 각 유해가스의 초기 농도는 각각 2.0ppm으로 하고 CH₃CHO가스의 경우는 50ppm으로 유지하였으며, NO_x 가스의 농도감소량은 NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)로 측정하였고 HCHO, CH₃CHO, C₇H₈ 가스는 검지관법으로 측정하였다. NO_x 측정기(API CO, U.S.A, 200E)와 가스검지관법을 이용하여 1시간 24시간 동안 3회 측정 후 평균값을 산출하였다.



Fig. 3-37. 밀폐식 실험장치

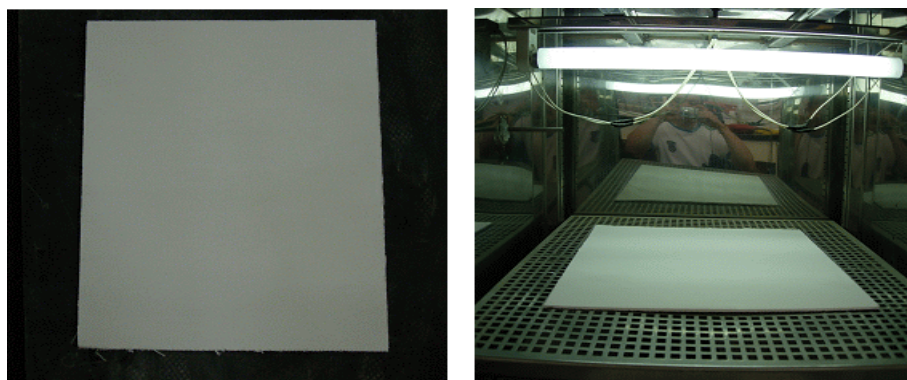


Fig. 3-38. 밀폐식 실험장치

마. 실험 결과

(1) 무기도료의 NO_x 제거성능 실험

Fig 3-39는 UV램프와 형광등 광원 하에서의 점토에 합성 광촉매 친환경 무기도료의 NO_x 제거성능 실험결과를 NO_x의 농도감소율을 (%)로 나타낸 것이다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료의 NO_x가스 농도감소율을 살펴보면 UV램프의 경우는 실험시작 9시간에 100%의 농도감소율을 나타냈다.

형광등 광원 하에서의 경우 실험시작 15시간에 100%의 농도감소율을 나타냈다.

점토에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료를 UV램프와 형광등 광원 하에서 NO_x가스의 상대적인 제거성능에 있어서 UV램프가 형광등 광원하에서 보다는 우수 하였다.

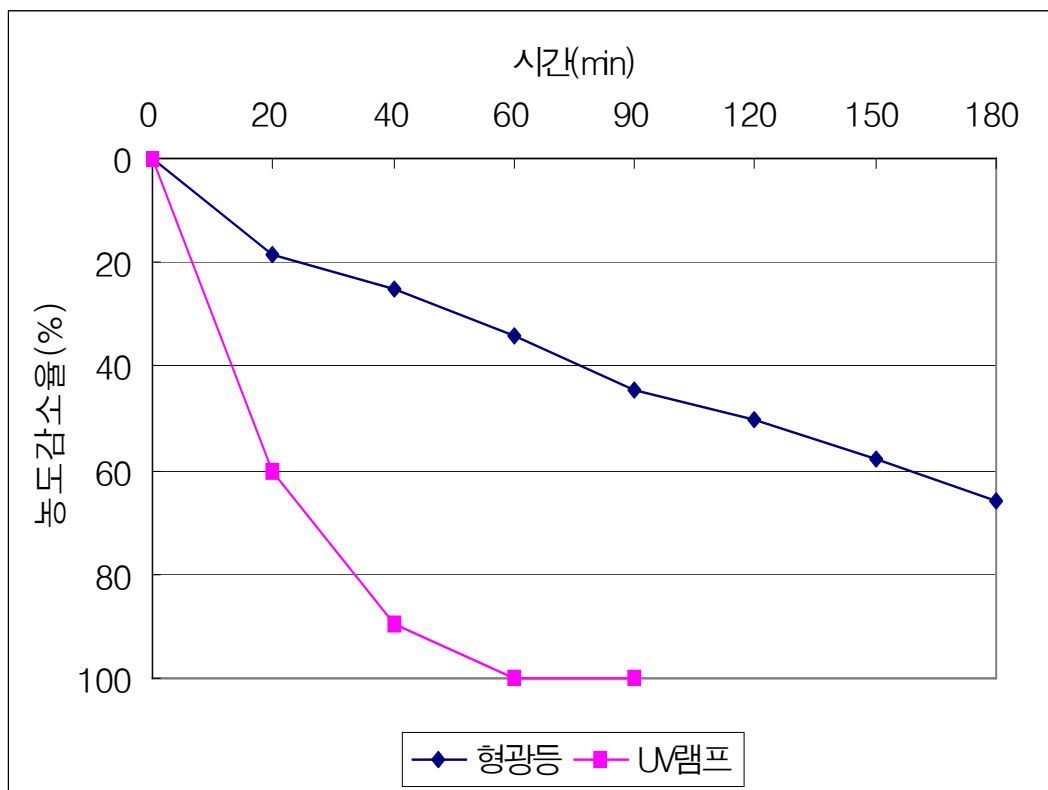


Fig. 3-39. 무기도료의 NO_x 가스 농도감소율

Table. 3-21. 고로-Zr,S/TiO₂ 분말 도료

시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	UV 램프	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	0.80	0.81	0.80	0.80	40.00	60.00
40	0.22	0.22	0.20	0.21	10.50	89.50
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	형광등	유해가스	NOx
시간 (min)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
20	1.70	1.70	1.70	1.70	81.50	18.50
40	1.50	1.50	1.48	1.49	74.65	25.35
60	1.30	1.34	1.30	1.31	65.65	34.35
90	1.12	1.10	1.12	1.11	55.65	44.35
120	1.00	1.00	0.98	0.99	49.65	50.35
150	0.84	0.84	0.84	0.84	42.00	58.00
180	0.70	0.68	0.68	0.68	34.35	65.65

(2) 무기도료의 HCHO 제거성능

Fig 3-40은 UV램프와 형광등 광원 하에서의 점토에 합성 광촉매 친환경 무기도료의 HCHO 제거성능 실험결과를 HCHO의 농도감소율을 (%)로 나타낸 것이다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료의 HCHO가스 농도감소율을 살펴보면 UV램프의 실험시작 5시간에 100% 농도감소율을 나타냈으며 형광등 광원 하에서는 실험시작 11시간에 100%의 농도감소율을 나타냈다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료를 UV램프와 형광등 광원 하에서 HCHO가스의 상대적인 제거성능에 있어서 UV 램프가 형광등 광원하에서 보다는 우수 하였다.

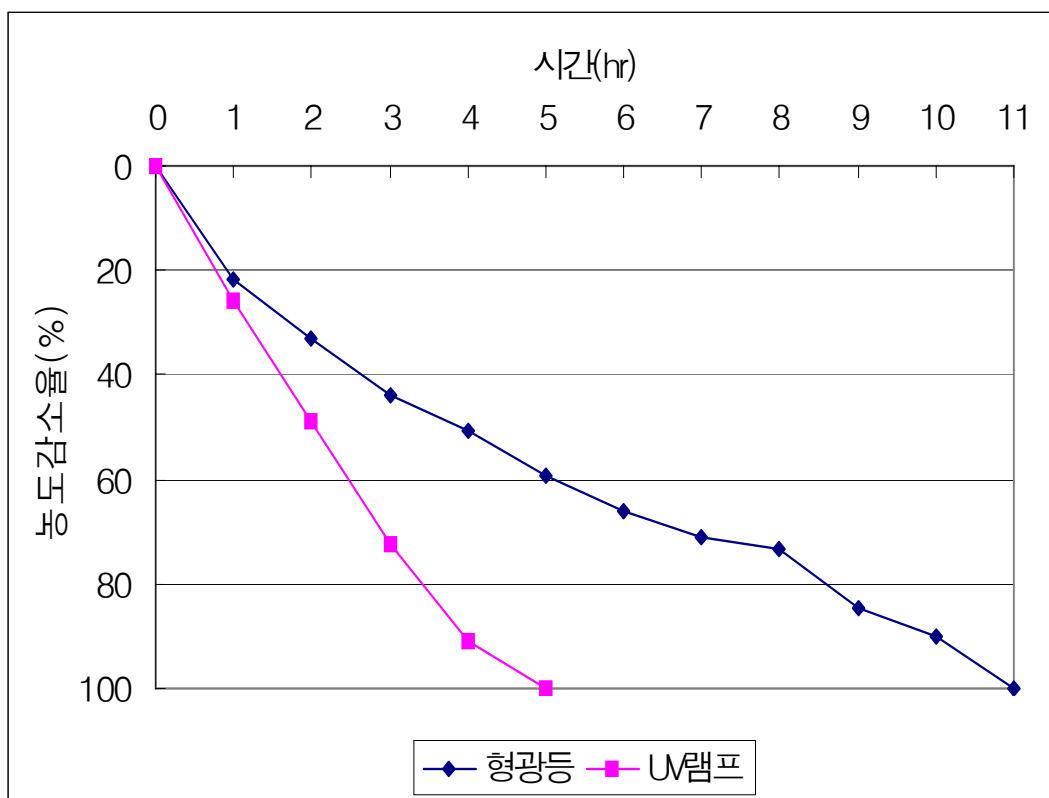


Fig. 3-40. 무기도료의 HCHO 가스 농도감소율

Table. 3-22. 고로-Zr,S/TiO₂ 분말 도료

시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	UV 램프	유해가스	HCHO
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	1.50	1.45	1.50	1.48	74.00	26.00
2	1.00	1.05	1.00	1.02	51.00	49.00
3	0.55	0.60	0.50	0.55	27.50	72.50
4	0.20	0.15	0.20	0.18	9.00	91.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	형광등	유해가스	HCHO
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	1.60	1.60	1.50	1.57	78.50	21.50
2	1.30	1.35	1.38	1.34	67.00	33.00
3	1.14	1.10	1.12	1.12	56.00	44.00
4	1.08	0.95	0.95	0.99	49.50	50.50
5	0.80	0.82	0.80	0.81	40.50	59.50
6	0.68	0.70	0.65	0.68	34.00	66.00
7	0.60	0.60	0.55	0.58	29.00	71.00
8	0.55	0.55	0.50	0.53	26.50	73.50
9	0.30	0.35	0.30	0.32	16.00	84.50
10	0.20	0.20	0.20	0.20	10.00	90.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

(3) 무기도료의 CH_3CHO 가스 제거성능

Fig 3-41은 UV램프와 형광등 광원 하에서의 점토에 합성 광촉매 친환경 무기도료의 CH_3CHO 제거성능 실험결과를 CH_3CHO 의 농도감소율을 (%)로 나타낸 것이다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료의 CH_3CHO 가스 농도감소율을 살펴보면 UV램프의 경우 실험시작 12시간에 48%의 농도감소율을 나타냈으며 형광등 광원 하에서 22%의 농도감소율을 나타냈다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료를 UV램프와 형광등 광원 하에서 CH_3CHO 가스의 상대적인 제거성능에 있어서 UV 램프가 형광등 광원하에서 보다는 우수 하였다.

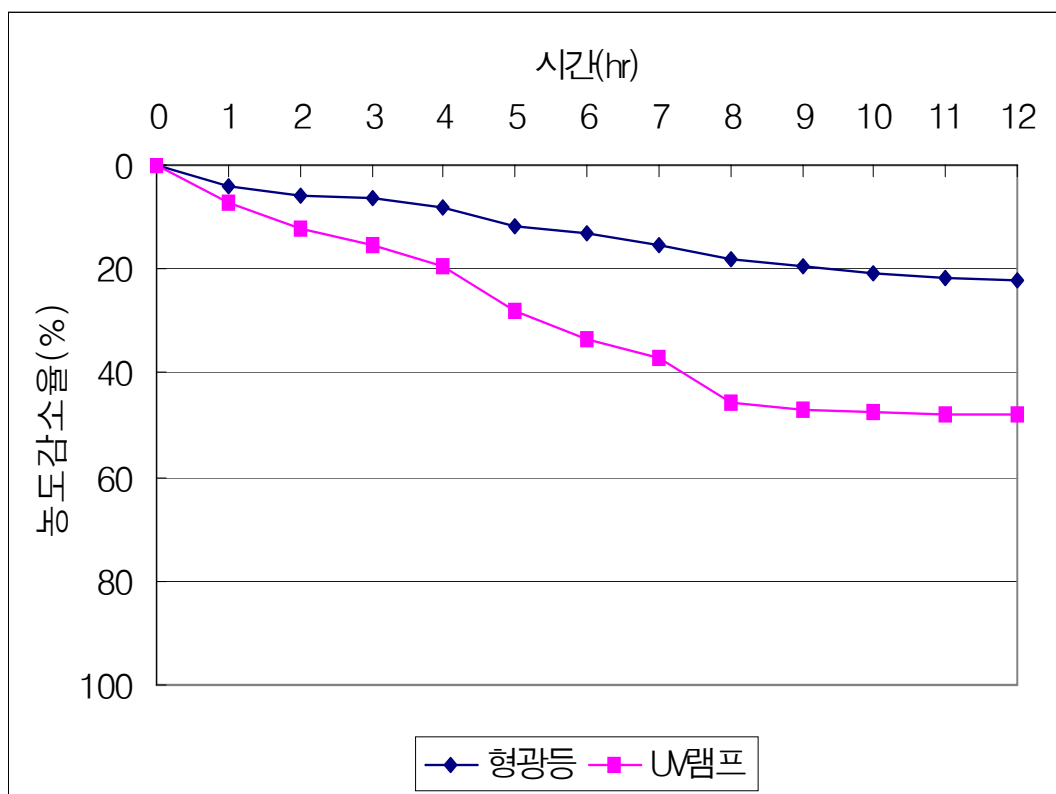


Fig. 3-41. 무기도료의 CH_3CHO 가스 농도감소율

Table. 3-23. 고로-Zr,S/TiO₂ 분말 도료

시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	UV 램프	유해가스	CH ₃ CHO
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	50.00	50.00	50.00	50.00	100.00	0.00
1	46.00	46.50	46.50	46.33	92.66	7.34
2	44.00	44.00	44.00	44.00	88.00	12.00
3	42.00	42.50	42.50	42.33	84.66	15.34
4	40.50	40.50	40.00	40.33	80.66	19.34
5	36.00	36.00	36.00	36.00	72.00	28.00
6	33.50	33.50	33.00	33.33	66.66	33.34
7	31.50	31.50	31.50	31.50	63.00	37.00
8	27.00	27.00	27.50	27.17	54.34	45.66
9	26.50	26.50	26.50	26.50	53.00	47.00
10	26.00	26.50	26.00	26.17	52.34	47.66
11	26.00	26.00	26.00	26.00	52.00	48.00
12	26.00	26.00	26.00	26.00	52.00	48.00
시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	형광등	유해가스	CH ₃ CHO
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	50.00	50.00	50.00	50.00	100.00	0.00
1	48.00	48.50	47.50	48.00	96.00	4.00
2	47.00	47.50	47.00	47.16	94.33	5.67
3	47.00	47.00	46.50	46.83	93.67	6.33
4	46.00	46.00	46.00	46.00	92.00	8.00
5	44.00	44.00	44.50	44.16	88.33	11.67
6	43.50	43.50	43.50	43.50	87.00	13.00
7	42.00	42.50	42.50	42.33	84.67	15.33
8	41.00	41.00	41.00	41.00	82.00	18.00
9	40.50	40.50	40.00	40.33	80.67	19.33
10	39.50	39.50	39.50	39.50	79.00	21.00
11	39.00	39.00	39.50	39.17	78.33	21.67
12	39.00	39.00	39.00	39.00	78.00	22.00

(4) 무기도료의 C_7H_8 가스의 제거성능

Fig 3-42는 UV램프와 형광등 광원 하에서의 점토에 합성 광촉매 친환경 무기도료의 C_7H_8 제거성능 실험결과를 C_7H_8 의 농도감소율을 (%)로 나타낸 것이다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료의 C_7H_8 가스 농도감소율을 살펴보면 UV램프의 경우 실험시작 5시간에 100%의 농도감소율을 나타냈으며 형광등 광원 하에서는 10시간 만에 100%의 농도감소율을 나타냈다.

고로슬래그에 합성 광촉매를 첨가한 친환경 무기도료를 UV램프와 형광등 광원 하에서 C_7H_8 가스의 상대적인 제거성능에 있어서 UV 램프가 형광등 광원하에서 보다는 우수 하였다.

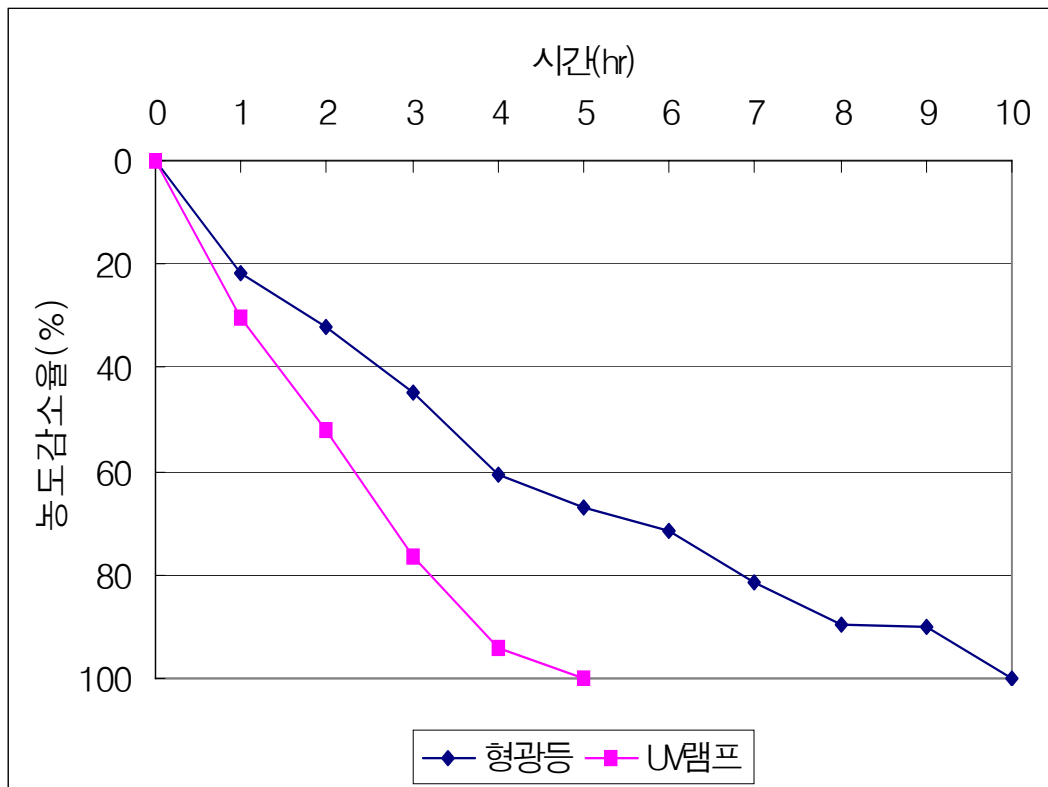


Fig. 3-42. 무기도료의 C_7H_8 가스의 제거성능

Table. 3-24. 고로-Zr,S/TiO₂ 분말 도료

시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	UV 램프	유해가스	C ₇ H ₈
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	1.40	1.38	1.38	1.39	69.50	30.50
2	0.95	0.98	0.95	0.96	48.00	52.00
3	0.50	0.45	0.45	0.47	23.50	76.50
4	0.15	0.10	0.12	0.12	6.00	94.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
시료	고로-Zr,S/TiO ₂ 분말		광원	형광등	유해가스	C ₇ H ₈
시간 (hr)	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율 (%)
	측정1	측정2	측정3	평균		
0	2.00	2.00	2.00	2.00	100.00	0.00
1	1.55	1.60	1.55	1.57	78.50	21.50
2	1.35	1.35	1.38	1.36	68.00	32.00
3	1.08	1.10	1.12	1.10	55.00	45.00
4	0.98	1.00	0.95	0.98	39.50	60.50
5	0.78	0.80	0.80	0.79	33.00	67.00
6	0.65	0.65	0.68	0.66	28.50	71.50
7	0.55	0.60	0.55	0.57	18.50	81.50
8	0.40	0.35	0.35	0.37	10.50	89.50
9	0.20	0.22	0.22	0.21	10.00	90.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

4. 광촉매 도료 성능 평가

가. 가스백 A법

100mm × 100mm 크기의 시험편 4개(암조건용 2개, 명조건용 2개)를 광촉매 페인트 도포 후 그림과 같이 가스백에 넣고 시험가스를 주입 후 광촉매에 의한 분해정도를 확인한다.



Fig. 3-43. 시험편과 시험가스를 넣은 가스백(좌), 가스 검지관 및 측정도구(우)

(1) 실험방법

전처리로서 자외선을 3시간 이상 조사(1.0 mW/cm^2)한 시험편을 가스백에 넣은 다음 아세트알데히드 표준가스를 보통 공기로 희석하여 80~100 vol ppm 농도로 3L를 제조한다. 차광상자를 덮어 30분간 방치한 다음 암조건용은 차광상자 안에서 2시간 방치 후 검지관을 사용하여 가스농도를 2회 측정하고 그 평균값을 “암조건 시험농도”라 한다. 명조건용은 2시간 동안 자외선 조사(1.0 mW/cm^2)한 후 검지관을 사용하여 가스농도를 2회 측정하여 그 평균값을 “명조건 시험농도”라 한다.

“암조건 시험농도” 2개가 모두 “초기농도”의 90% 이상이고 “초기농도” 4개를 다음 식에 따라 계산하여 그 값이 0.25이하 일때 그 시험은 유효하다고 본다.



Fig. 3-44. 암조건(上) 명조건(下)

(2) 실험결과

측정결과 암조건에서는 2.5%와 1.6%의 흡착률을 보였고 명조건에서는 91%와 92.8%의 농도감소율이 나타났다.

Table. 3-25. 가스백 A법 측정결과

시험편	농도(PPM)				잔존율(%)	농도감소율(%)
	초기	측정1	측정2	평균		
암조건1	98	96	95	95.5	97.5	2.5
암조건2	95	94	93	93.5	98.4	1.6
명조건1	100	10	8	9	9	91
명조건2	90	8	5	6.5	7.2	92.8

Fig 3-45는 요업기술원에 의뢰하여 측정한 광촉매도료 가스백 A법의 시험성적서이다. 여기서는 99% 이상의 VOC 제거 성능평가를 검증 받았다.

시 험 성 적 서					
요업기술원 우153-801 서울시 금천구 가산동 233-5 (Tel: 02 3282 2416/7, Fax: 02 3282 2418)		성적서번호 : 2007-0782-1 페이지 (1) / (총 1)			
1. 의뢰자 ○ 기관명/성명 : 경북대학교 건설공학부 / 김화중 ○ 주 소 : 대구광역시 북구 산격동 1370 ○ 의뢰일자 : 2007년 04월 03일					
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리					
3. 시험 시료명/물질 : 광촉매도료					
4. 시험기간 : 2007년 04월 03일 ~ 2007년 04월 09일					
5. 시험방법 : 광촉매 특성평가 가스백 A법					
6. 시험환경 : 온도 : (24 ~ 25) ℃ , 상대습도 : (40 ~ 41) % R.H.					
7. 시험결과					
시료명	시험분석항목	시험분석결과	시험분석방법	비고	
광촉매도료	VOC 제거성능평가	99% 이상	광촉매 특성평가 가스백 A법		
끝.					
확 인	시험자 : 최 철 호 (2493)	기술책임자 : 박 덕 원			
2007 . 04 . 09					
요업기술원 장					
비고) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 평가결과로서 전체 제품에 대한 품질 및 성능을 보증하지 않습니다.					

양식-PB-03-05B(4)

Fig. 3-45. 가스백 A법 시험성적서

나. 메틸렌블루법

(1) 실험방법

KS M 8247에서 규정한 메틸렌블루 20 mg(무수 중량기준)을 정확히 취하여 1,000 mL 부피 플라스크에 옮기고 증류수를 가하여 녹인 후, 증류수를 눈금까지 채우고 잘 섞은 후 사용한다.

시험편은 100 × 200 mm 크기로 2개(암조건용 1개와 명조건용 1개)를 준비하여 각각 3시간 이상 자외선 조사장치를 사용하여 1.0 mW/cm²의 강도로 조사한다.

암조건용과 명조건용 시험편의 광촉매 가공면에 제조한 메틸렌블루 용액 0.1mL를 조심스럽게 떨어뜨리고 시험 용액 위에 피복 필름을 덮고 그 위에 플라스틱 사레 덮개를 덮는다. 암조건용 시험편은 차광해서 보관하고 명조건용 시험편은 1시간 동안 자외선을 조사한 다음 탈색 유무를 확인 한다.

(2) 실험결과

아래의 그림과 같이 암조건에서는 변화가 없지만 명조건에서는 탈색된 것을 알 수 있다.

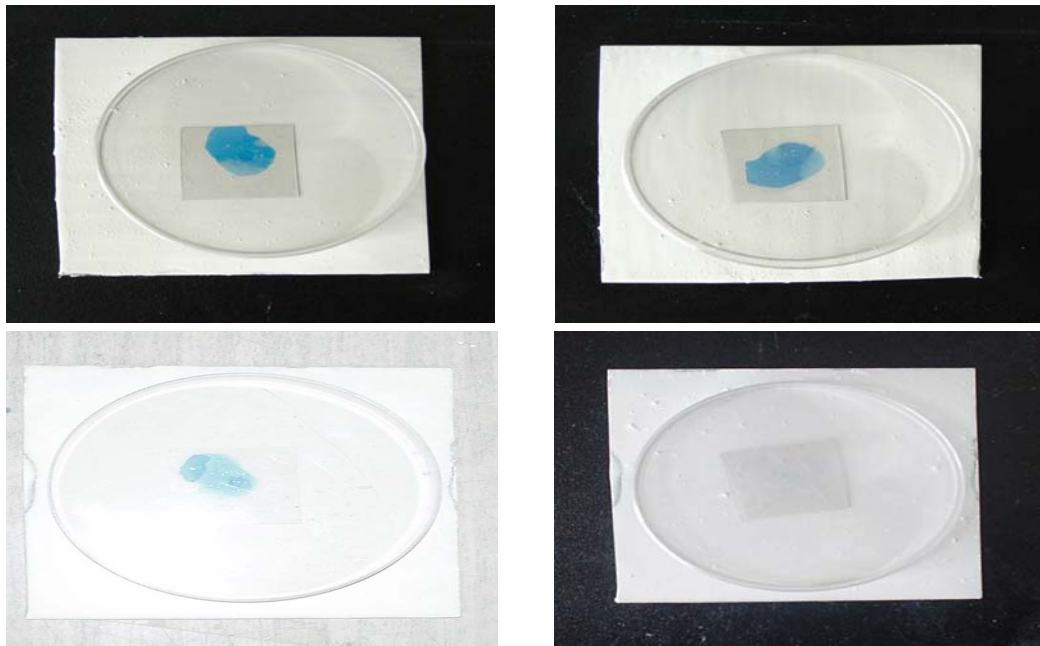


Fig. 3-46. 암조건(上) 명조건(下)

Fig 3-47은 요업기술원에 의뢰하여 측정한 메틸렌블루법의 시험성적서이다.
VOC 제거성능평가에서 탈색된 것을 확인 할 수 있다.

시 험 성 적 서				
요업기술원 우153-801 서울시 금천구 가산동 233-5 (Tel: 02 3282 2416/7, Fax: 02 3282 2418)		성적서번호 : 2007-0782-2 페이지 (1) / (총 1)		
1. 의뢰자 ○ 기관명/성명 : 경북대학교 건설공학부 / 김화중 ○ 주 소 : 대구광역시 북구 산격동 1370 ○ 의뢰일자 : 2007년 04월 03일				
2. 시험성적서의 용도 : 품질관리				
3. 시험 시료명/물질 : 광촉매도료				
4. 시험기간 : 2007년 04월 03일 ~ 2007년 04월 09일				
5. 시험방법 : 메틸렌블루법(액상필름밀착법)				
6. 시험환경 : 온도 : (24 ~ 25) °C , 상대습도 : (40 ~ 41) % R.H.				
7. 시험결과				
시료명	시험분석항목	시험분석결과	시험분석방법	비고
광촉매도료	VOC 제거성능평가	탈색	액상필름밀착법 (메틸렌블루법)	참.
2007 . 04 . 09				
확 인	시험자 : 최 철 호 (2493)	기술책임자 : 박 덕 원		
요업기술원				
비고) 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 평가결과로서 전체 제품에 대한 품질 및 성능을 보증하지 않습니다.				
양식-PB-03-05B(4)				

Fig. 3-47. 메틸렌블루법 시험성적서

다. T-VOCs 측정

T-VOCs 측정기를 사용하여 밀폐된 공간의 VOCs량을 5분 간격으로 30분간 측정하였다. 석고 보드에 광촉매 도료를 도포하여 석고보드가 있을 때와 없을 때의 밀폐공간의 VOCs량을 측정하였다.



Fig. 3-48. T-VOCs 측정기



Fig. 3-49. VOCs 측정

(1) 실험 방법

Fig. 3-49의 그림과 같이 VOCs의 측정을 위해 측정기의 VOCs 흡입구를 1.2~1.5m 높이로 유지를 해서 5분 간격으로 30분간 밀폐 공간의 VOCs량을 측정 하였다.

(1) 실험 결과

아래의 그래프를 보면 알 수 있듯이 밀폐 공간에서의 VOCs 제거능력은 거의 찾아 볼 수 없다. 이것은 밀폐 공간에 광원이 없기 때문에 광촉매 반응이 없는 것으로 사료된다.

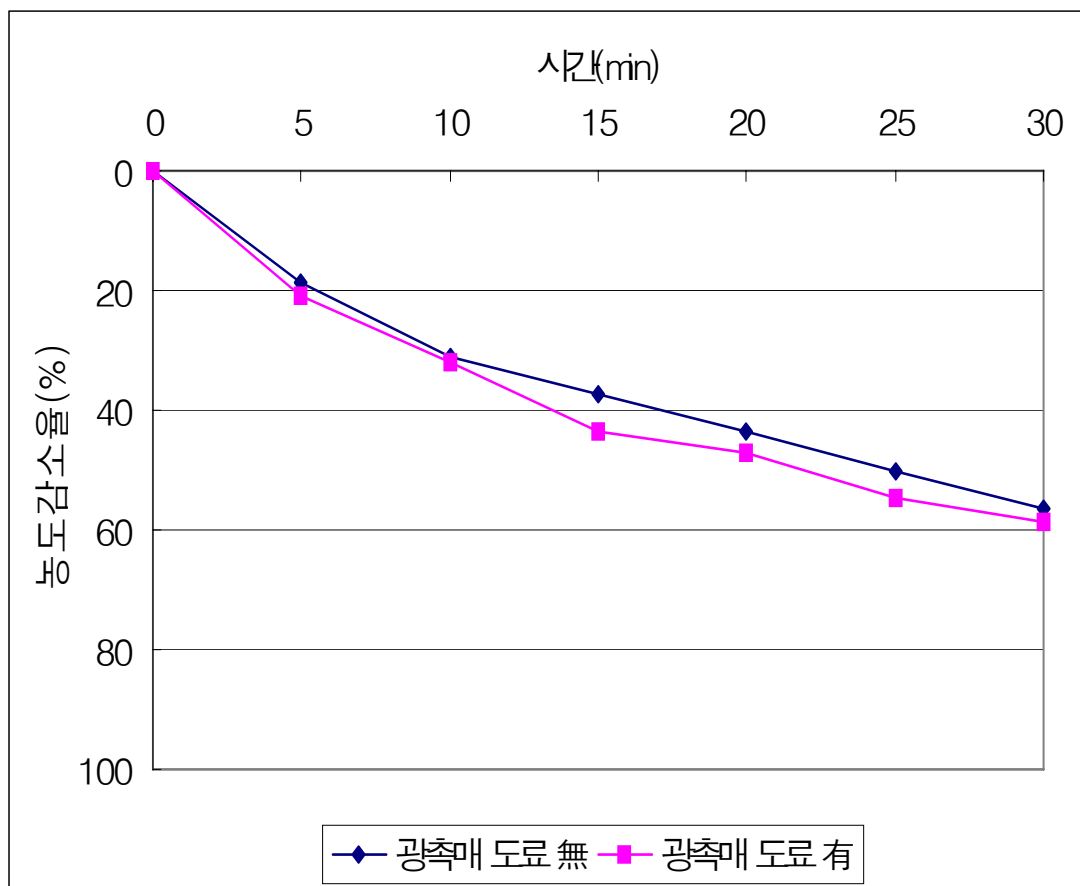


Fig. 3-50. 밀폐공간에서 VOCs 제거성능

Table. 3-26. T-VOCs 측정결과

광촉매도료		시간(min)						
		0	5	10	15	20	25	30
無	농도(PPM)	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14
	농도감소율(%)	0.00	18.75	31.25	37.50	43.75	50.00	56.25
有	농도(PPM)	0.53	0.42	0.36	0.30	0.28	0.24	0.22
	농도감소율(%)	0.00	20.75	32.08	43.40	47.17	54.72	58.49

라. 공기 흐름 시험

광촉매 도료의 순환하는 NO_x 가스의 정화 성능을 알아보기 위하여 10cm × 10cm 크기의 시험편에 광촉매 도료를 도포하여 공기 흐름 시험 장치를 사용하여 자외선과 가시광선에서의 공기정화 성능을 측정하였다.

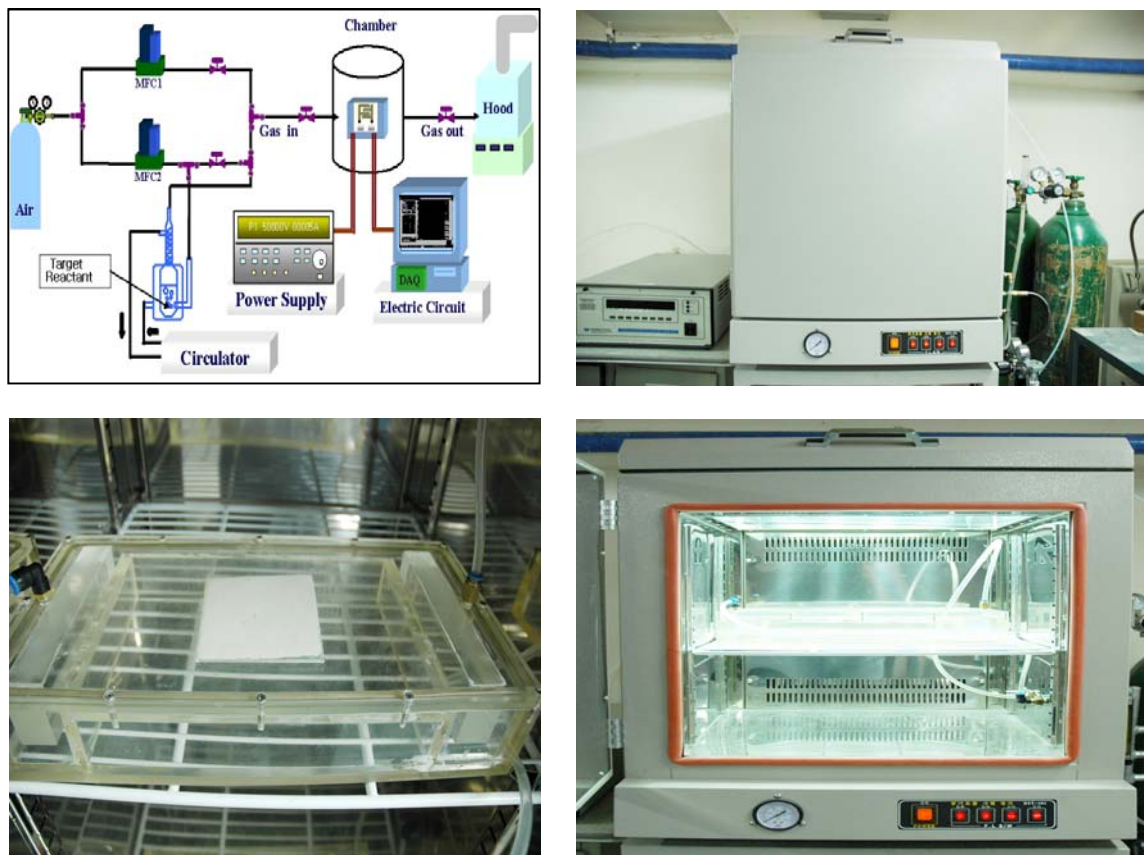


Fig. 3-51. 공기흐름 시험장치

(1) 실험방법

우선 부피가 1L인 파이렉스 유리로 만들어진 튜브형태의 반응기 안에 10cm x 10cm 크기의 시험편에 광촉매 도료를 도포하여 빛이 도달하는 부분에 위치하게 하고, 이렇게 시험편이 장착된 반응기는 특수 처리된 튜브를 통해서 순환 펌프에 연결이 된다. 이렇게 펌프와 연결된 시험편이 장착된 반응기는 UV 필터로 처리된 150 W 할로겐 램프(OSRAM HALOLINE)가 장착된 30 cm x 42 cm x 27 cm 크기의 검은 유리 박스에 위치하게 된다. 이때 램프와 촉매와의 거리는 15 cm이다. 촉매활성 체크를 위한 NO_x 가스를 반응기에 넣기 위해서, 온도가 70℃로 유지되는 유리로 만들어진 믹싱챔버를 광반응기에 연결하여, 이곳을 통해서 NO_x 가스를 주입하였다. 공기흐름 실험을 시작하기 전에, 우선 시험편이 장착된 광반응기를 어둠 속에 방치한 후, 펌프로 순환을 해준 상태에서 NO_x 가스를 주입하고, 약 2시간정도 촉매 표면에 NO_x 가스가 충분히 흡착과 탈착이 이루어져 평형이 이루어 질 때까지 순환을 시켜준다. 그 후에 빛을 조사하여 시간마다 줄어드는 NO_x 가스의 양을 확인을 하게 된다.

(2) 실험결과

Fig 3-52는 공기흐름시험 측정 결과이다. 자외선에서 120분 동안 67.8%의 농도 감소율을 보였다.

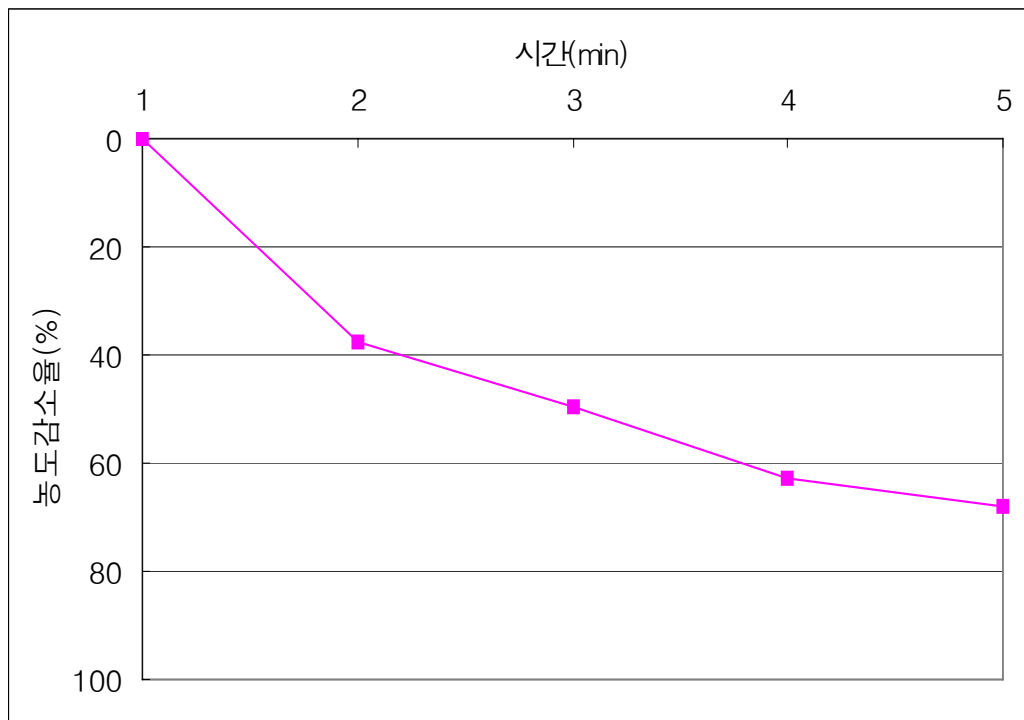


Fig. 3-52. 공기흐름시험 NOx 제거성능

Table. 3-27. 공기흐름시험 측정결과

광 원		시간(min)				
		0	30	60	90	120
UV램프	농도감소율(%)	0	37.5	49.6	62.7	67.8

마. 외부 환경에 대한 광촉매 도료의 변화 관찰

Fig 3-53은 제조한 광촉매 도료가 도료로써 사용 적합 여부를 확인하기 위해 외부 콘크리트벽면에 도료를 칠한 다음 외부 환경에 대한 변화를 관찰하기 위한 실험이다.

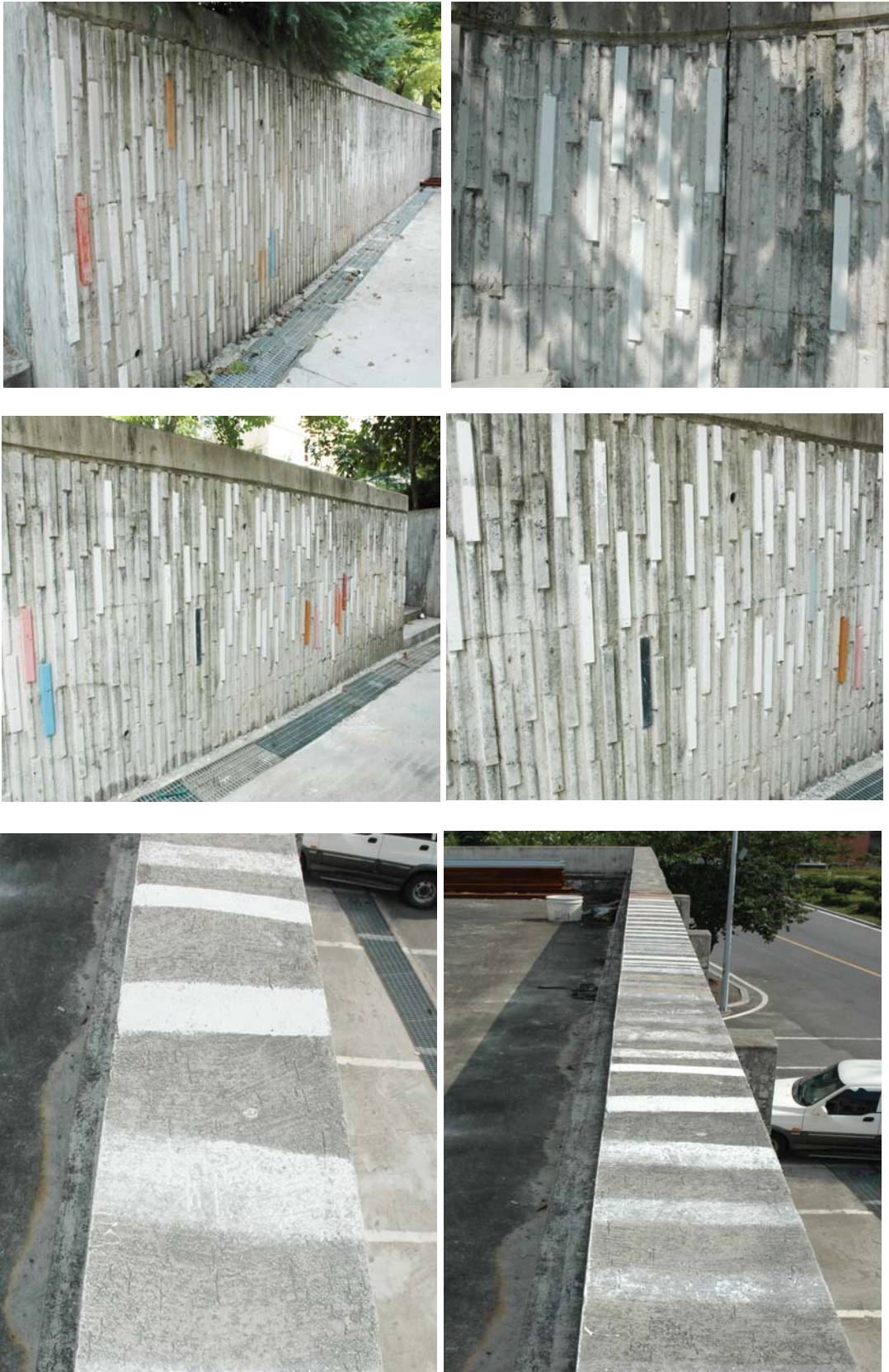


Fig. 3-53. 광촉매 도료 외부 환경에 대한 변화 관찰

5. 광촉매 도료 현장 시험시공 성능 평가

가. 광촉매 도색 경량콘크리트 패널 현장 시험 설치

(1) 실험개요

광촉매 도료의 방오 기능 평가를 위하여 높이 1.5 m, 넓이 1.0 m인 경량콘크리트 패널을 제작·설치하였다. 광촉매 도료와 일반 도료를 도색한 2개의 모형을 나란히 설치하여 오염원에 대한 장기적인 비교실험을 수행하고 있다.

(2) 평가대상 구조물

1. 평가대상 구조물 : 방음벽 기초 및 콘크리트 판

- 설치 장소 : 평택 충주선



2. 평가대상 구조물 : 옹벽

- 설치 장소 : 평택 충주선 2.8 k 지점



3. 평가대상 구조물 : 영업소 기둥 및 건물 외벽 등

- 설치 장소 : 청북영업소



4. 평가대상 구조물 : 교량 난간

- 설치 장소 : 평택 충주선(12.2 K)



5. 평가대상 구조물 : 휴게소 건물 외벽

- 설치 장소 : 안성(서울방향) 휴게소



나. 광촉매 도료 현장 시험 시공

(1) 실험개요

도심지에서 제조된 광촉매도료의 방오성과 내구성의 실험을 위해서 균열이 존재하는 구조물과 균열보수한 구조물의 표면에 대해서 제조된 광촉매 도료를 도포하였다.

(2) 평가대상 구조물

1. 평가대상 구조물 : 옹벽

- 설치 장소 : 서울시 아현동 아현고가



시공 전



시공 전



시공 후



시공 후

2. 평가대상 구조물 : 건물 외벽

- 설치 장소 : 서울시 중구 명동 현대해상 빌딩



시공 중



시공 중



시공 후



시공 후

제 3 절 결론

1. 고로슬래그-광촉매 도료

고로슬래그에 광촉매를 이용하여 실내외의 공기오염인자인 NO_x와 VOCs를 제거하는 친환경 무기도료를 개발할 목적으로 가시광선에서 반응하는 혼합금속산화물을 이용한 광촉매의 제조에 대한 평가, 황(S)의 치환율에 따른 공기정화성능 실험하였다. 제조된 합성 광촉매 TiO₂/S 분말을 이용하여 고로슬래그와 함께 혼합하였을 경우 광촉매의 치환율에 따른 공기정화성능 실험과 이를 도료로 제조하여 물리적 특성 실험 및 공기정화성능 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 황(S) 치환율에 따른 합성 광촉매의 광원별 NO_x 정화성능 실험 결과, UV램프 광원하에서 합성 광촉매 TiO₂/S 분말은 5%,7% 치환의 경우 실험시작 40분에 100.0%가량의 농도감소율을 나타냈으며 3% 치환의 경우 95.0%, 10% 치환의 경우 97.5%가량의 농도감소율을 나타냈다. UV램프 광원하에서 광활성이 높은 것을 알 수 있다. 형광등 광원하에서 합성한 광촉매 TiO₂/S 분말은 5% 치환의 경우 실험시작 40분에 34.0%가량의 농도감소율을 나타냈으며 90분에는 61.5%의 농도 감소율을 나타냈다. 3% 치환의 경우 38.5%, 7% 치환의 경우 45.0%가량의 농도감소율을 나타냈다. 10%치환의 경우 46.0%의 농도 감소율을 나타냈다. UV램프 하에서의 실험결과 보다는 광활성이 떨어지지만 형광등 광원하에서도 광반응이 나타나는 것으로 보아 낮은 파장에서도 광반응을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

개발된 솔-젤법을 이용하여 TiO₂, Zr-TiO₂, S-TiO₂ 그리고 서로 다른 Zr 양을 사용한 Zr,S-TiO₂를 제조하였다. Zr,S-TiO₂ 광촉매는 일반 TiO₂, Zr만 도핑된 TiO₂ 뿐만 아니라 S만 도핑된 TiO₂ 보다 더 높은 촉매활성을 가짐을 알 수 있었다. S가 존재함에 따라, 촉매의 흡수파장이 가시광선 쪽으로 확장이 됨을 알 수 있었으며, Zr로 인해서 촉매의 표면 특성 또는 물리적 특성이 향상됨을 알 수 있었다. 그러한 황과 Zr이 주는 각각의 장점으로 인해서 가시광선에서 높은 촉매활성을 가지는 촉매를 제조 할 수 있었다

2) 제조된 도료의 물리적 특성 실험 결과, 붓 작업시 분말 결집들에 의한 붓 끌림현상, 스트리킹, 플러딩 현상, 플로팅 현상은 일어나지 않았으나 수직 방향으로

세워 건조하였을 경우 도료가 흘러내리는 약간의 플로우잉 현상과 붓자국을 나타냈다. 스프레이 작업시 더스팅, 버블링, 색얼룩, 핀홀, 스트리킹, 실킹, 크레터링은 발생하지 않았으나 새깅, 크링클링(주름) 현상이 약간 발생하였다. 고로슬래그의 높은 흡수성으로 인하여 도료의 건조시간은 지촉건조의 경우 40분, 점착건조의 경우 54분, 고착건조까지 80분, 고화건조까지 130분, 완전건조가 되기까지 360분의 시간이 소요되었다.

3) 고로-Zr,S/TiO₂분말(S wt.5%) 도료의 각 유해물질별 제거 성능실험 결과, UV 램프 광원하에서 고로-Zr,S/TiO₂분말(S wt.5%) 도료의 NO_x 농도의 감소율은 실험시작 20분에 60.0%가량의 농도 감소율을 나타냈고, 60에 100.0%의 농도감소율을 나타냈다. 형광등 광원하에서 NO가스의 제거성능은 180분동안 65.65%의 농도감소율을 나타냈다.

4) 고로슬래그-Zr,S/TiO₂ 도료는 광촉매 성능실험의 공인된 실험법인 가스백 A 법에서 99%이상의 공기정화 성능을 나타내고 메틸렌블루법 또한 완벽하게 탈색을 이루었다.

5) 고로슬래그-Zr,S/TiO₂ 도료는 T-VOCs 측정에서는 거의 반응이 없었고 공기 흐름 시험에서는 UV 광원하에서는 120분에 67.8%의 농도감소율을 나타내었고, 형광등 광원하에서는 0.5%의 농도감소율을 보여 공기정화성능이 없다고 볼 수 있다.

6) 시제품 생산을 통해서 시험시공 및 적용 개소별 장기관찰용 패널을 제작 설치하였으며, 시제품의 장기보존성에 약간의 문제가 발생되어 추가적인 제법 변경 실험을 진행중에 있다. 도료로서의 현장 시공성은 우수한 것으로 사료되나 장기내구성 및 방오성능, 물씻김 저항성 등의 도료로서의 추가적인 기능에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본연구의 고로슬래그에 광촉매 Zr,S/TiO₂ 분말을 혼합하여 제조된 도료의 광원별 공기정화성능 실험 결과 도료의 공기 정화성능이 우수한 것을 알 수 있다. 그러나 도료로써의 기능은 아직 미흡하여 많은 시행착오를 거치고 있으며 보다 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있다.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도

연구 내용		추진 일정 (월)												부진 사유
		(2007) 년도												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. 모의 실험을 통한 NOx 및 VOC제거 성능시험	계획	■	■	■										도료 성능 평가중
	실적 (90%)	■	■	■	■	■	■	■	■					
2. 현장적용실험을 통한 성능평가	계획				■	■	■							도료 내구성 평가중
	실적 (80%)							■	■					
3. 상품화를 위한 추진	계획							■	■					도료 내구성 및 경제성 시장성 평가중
	실적 (60%)							■	■					

제 2 절 관련분야의 기여도

1. 기술적 측면

- 가. 지식기반 집적지(Scientia Thechno Belt)를 중심으로 교류를 활성화
- 나. 시제품 개발(R&D), 전문기술인력 양성, 공동프로그램 개발들을 통해 세계적 수준의 기술개발 체계를 마련
- 다. 이해관계자(Stakeholders)들의 능동적인 참여와 상호협동관계 유도
- 라. 지식기반산업 군집과 대학 및 공공연구소간의 공식 또는 비공식 연구개발 네트워크를 구축
- 마. 동종 혹은 이종의 연계 산업에 대해 기술의 확산 및 흡수를 증대함으로써 각 산업간의 흐름을 가속화

2. 경제·산업적 측면

현재 국내의 광촉매 시장은 형성단계로서 광촉매 시장 규모를 정확히 추정할 수는 없으나 광촉매로 그 효과를 대체할 수 있는 시장(항균제품등) 규모만 보아도 2010년 2조5천억원 정도(2003년 산업자원부 발표자료)이며, 지난 5월 29일 국회에서 '다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법'이 통과됨에 따라 국내시장도 빠른 속도로 광촉매 시장이 형성될 것으로 예상된다. 또한 아직 활성화 단계는 아니나 광촉매 관련 건설제품은 해마다 높은 성장률을 나타낼 것으로 경제 전문가들은 추정하고 있으며 2010년 내에 광촉매 시장에서의 건설재료 제품은 전체의 30%이상을 차지 할 것으로 전망하고 있다.

광촉매 기술은 일본이 그 선두를 지키고 있다고 볼 수 있으나 근래의 광촉매 붐 등으로 인해 국내에도 많은 업체가 급증하였으며 일부에서는 선진 일본의 기술을 훨씬 뛰어넘는 기술을 보유한 회사들도 볼 수 있다. 고로슬래그와 점토를 이용한 자기정화 광촉매 도료는 굳이 광촉매제품이라는 이름을 빌리지 않더라도 무기원료와 수성용제로써 기존의 도료를 대신할 수 있다는 점에서 부각되며 유해물질 제거 및 산업부산물을 활용한다는 면에서 높이 평가받을 수 있을 것이다. 산업적인 효과로써 폐자재 활용에 대한 인식을 부각시킬수 있으며, 저가의 원료로 고가의 부가가치를 창출한다는 점에서 주변 영세기업들을 일깨워주는 발판역활을 할 수 있을 것으로 기대된다.

타 산업에 미치는 효과.

- ① 관련기업의 매출증대
- ② 판매촉진 등으로 인한 시장경제 활성화
- ③ 기술 및 제품의 수출 및 교류로 인한 외화 획득
- ④ 국가홍보
- ⑤ 환경관련 연구의 활성화

3. 관련 후속연구개발의 전망

광촉매는 21세기 최첨단 환경개선제로서 쾌적한 생활환경에 대한 요구가 높아지면서 청결하고 위생적인 생활환경을 만드는 새로운 유망산업으로 부상하고 있다. 특히 불필요한 유해물질을 발생시키지 않고 안전하여 현재 고성능 광촉매의 실용화, 제품화가 활발하게 진행되고 있다. 빛이 있는 곳이면 어디든지 사용이 가능하며 미래에 응용기술의 개발에 따라 세계 어디에서도 사용할 수 있으며, 또한 선진국에서는 환경 응용 기술에 대해 후진국에서는 건설관련 설비의 응용기술에 대해 기대가 큰 만큼 그 시장도 성장해 갈 것으로 예상된다.

현재 광촉매는 일본의 제품이 전 세계의 80% 이상을 차지하고 있으며 선진업체들 대부분이 일본기업으로, 독일 및 동유럽 등에게 기술이전을 하고 있다. 기술개발은 미국, 영국과 프랑스, 이탈리아 등에서 활발하게 진행되고 있으며, 듀폰사에서 3대 개발테마의 하나로 광촉매 코팅기술을 연구하고 있는 것으로 나타났다. 세계적으로 광촉매는 일본을 제외하고는 도입기에 있으며, 국내 소재산업의 우수한 인력자원과 연구 개발 능력에 따라 주도국가로 부상할 수 있는 가능성이 큰 산업이다.

국내의 경우, 중소기업, 대기업과 대학으로부터 분사한 벤처기업을 포함하여 40여개 기업이 광촉매를 연구하고 있으며, 실용화하여 제품을 판매하고 있으나 아직 판매실적은 미비한 수준이다. 그러나 광촉매 산업은 세계적 관심 산업이고, 환경 및 에너지 분야의 대안으로 주목되고 있는 유망한 산업이다. 따라서, 산·학·연·관이 기초연구, 응용연구, 산업화 연구를 위한 상호 유기적인 협력체제 하에 기술개발과 상품화 개발을 진행해 나가야 하며, 각종 정보 공유 및 확산을 위해 협력체제가 강화되어야 하고, 이를 위한 인적자원의 교육, 국가 기술력 제고를 위한 정부의 관심이 절실하다.

일본에서 제품화가 가장 활발하게 적용되고 있는 응용분야는 광촉매 분해기능 중에서 NO_x, SO_x제거를 위한 오염물의 분해, 항균분야 등이며, 광여기 친수기능에서는 방로, 방적분야이다. 또한 건축, 토목분야 및 전자트로닉스, 광학관련분야에서의 광촉매 기능을 이용한 제품개발이 활발히 이루어지고 있다. 현재 일본에서 출시되고있는 이산화티탄 광촉매 제품들은 작은 실생활용품에 이르기까지 적용되어 있으며 그 기능별로 방오기능은 관상어 수조, 항균기능은 식칼, 도마 등에 이르기까지 확대 적용되어 있다. 광촉매의 재료는 1차재료, 2차재료, 중간재료, 최종제품으로 구분할 수 있으며, 1차재료의 사업에는 약 9개사, 2차재료의 사업에는 10개사, 중간재료의 사업에는 10개사, 최종제품의 사업에는 약 1000개 이상의 회사가 진출해 있다.

1차재료인 광촉매용 산화티탄의 제조는 고부가가치를 낳는 산업의 원료이므로 각 회사들이 주목하고 있으며 2차재료인 도료나 코팅액은 1차재료를 생산하는 회사에서 대부분 함께 생산해 내고 있다. 중간재료는 그리 많은 과정을 거치지 않으므로 중소기업에서 생산하거나 1, 2차 재료를 생산해 내는 회사에서 생산하고 있으며, 최종제품은 광촉매를 모르타라도 광촉매 물질만 있으면 제품의 제조가 가능하므로 일반제품을 만드는 기업에도 고부가가치 때문에 많이 관심을 기울이고 있는 상태이다.

일본의 광촉매 관련 주요 기업들이 파악하고 있는 소비자들의 가장 큰 관심제품은 고효율 촉매이며, 수요분야로는 대기 관련분야 특히, NO_x처리와 관계된 것이 가장 많은 것으로 파악되고 있다. 광촉매의 선도를 달리고 있는 일본에서도 광촉매 관련제품 시장은 아직 보급기 단계에 있다고 보고 있으며, 시장규모의 확대에는 시간이 걸릴 것으로 파악하고 있다.

따라서 광촉매와 관련한 사업은 많은 희망과 무한한 가능성이 있으며 그와 연관한 건축산업 또한 앞으로의 많은 기대를 전망할 수 있다고 보는 바이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 추가연구의 필요성

본 연구에서 개발하고자 하는 건설 기술적 핵심은 폐자재를 이용하여 환경 친화적 재료 및 시공법 등의 기초기반을 마련하는 것이다.

비록 이번 연구의 실질적 목표인 실용화 및 상품화 단계까지는 목표 달성을 못하였지만 보다 많은 시간과 연구에 의해 폐자재를 활용한 광촉매 도료를 개발한다면 대기오염이 심각한 도심의 내·외부 공간에 환경부하절감이라는 차원에서 적용 가능할 것으로 판단된다.

대기 환경 오염물질에 의해 표면이 직접적으로 노출되어 손상되는 도심지내의 건물 외벽이나 자동차 배기가스 등 직접적 오염물질에 의해 노출되는 도로시설이나 터널 등의 외부공간에 적용이 가능하다고 판단된다. 외부 공간 이외에도 주택이나 사무실 등 VOCs에 노출된 실내공간에도 적용이 가능하다고 볼 수 있다. 건물시공 시 실내공간에서 발생할 수 있는 새집증후군을 연구 개발된 제품을 적용함으로써 사전에 미리 방지할 수 있으며 이미 시공되어진 실내 공간의 화장실 악취, 담배연기, 주방의 음식냄새 등 실내 환경오염물질을 제거하는데에도 유효할 것이라고 판단된다.

친환경 건축 재료로서 직접 건축물에 적용하여 건축물 자체에 대기정화와 향균작용이라는 새로운 기능을 부여할 수 있는 기술을 확보하고 환경부하를 절감시켜 실내외 공기오염방지 및 개선을 위해 사용되는 유지관리비용을 절감시킬 수 있게 된다. 또한 폐자재를 이용해 건축 공간에 적용함으로써 자원재활용 측면에서의 기술을 향상시키며 도심 거주자의 생활 전반에 대한 삶의 쾌적성 및 거주성 개선을 실현할 수 있을 것이다.

경제 및 산업적으로 살펴보면, 산업부산물인 폐자재를 이용하여 저가의 원료로 고부가가치를 창출할 수 있으며 관련기업의 매출 증대 및 판매촉진으로 인한 시장경제의 활성화를 기대할 수가 있다. 또한 기술 및 제품의 수출과 교류로 인한 외화획득 및 국가홍보의 수단으로의 역할을 기대할 수 있다.

2. 연구성과

- 1) 김종훈, 이준철, 김화중, “황첨가 tio2광촉매를 이용한 담체개발연구” (대한건축학회 2006년도 학술발표대회 제26권제1호)
- 2) 김종훈, 정진욱, 이준철, 김화중, “가시광선 반응형 이산화티탄(TiO_2) 개발 연구” (2007년 한국 콘크리트학회 춘계 학술발표회 제 19권 1호)
- 3) 김화중, 안영기, 한삼화, 광촉매 및 제조방법 2006년 6월, 특허청 특허 등록

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

연구개발과정에서 광촉매 관련 학회에 참석하여 관련 논문을 확보하였으며, 광촉매와 관련된 서적 및 다수의 외국문헌을 보유하고 있다.

이를 정리하면 다음과 같다.

- 광촉매 관련 서적 21권
- 해외 학술지 관련 논문 사본 약 400 여편
- 국내외 광촉매 관련 연구보고서 약 30 여편
- 광촉매 기술 및 시장동향 보고서 CD-ROM (한국광촉매협회)

그 외의 자료는 참고문헌에 대부분 포함되어 있는 자료이다.

광촉매 이외의 해외과학기술 정보로는 2003년도 일본건축학회 발표논문 전집과 2004년 및 2005년 ENCRIST 국제 스마트 콘크리트 학술발표대회 논문 전집을 보유하고 있다.

제 7 장 참고문헌

1. (주)비아글로벌, 광촉매 기술 및 시장동향. 2003
2. Martin Andersson, Henrik Birkedal, Nathan R. Franklin, Todd Ostomel, Shannon Boettcher, Anders E. C. Palmqvist and GALEN D. Stucky. Chem. Mater. 2005, 17, 1409-1415.
3. Di Li, Hajime Haneda, Shunichi Hishita, and Naoki Ohashi. Chem. Mater. 2005, 17, 2596-2602
4. 정봉원, 광촉매를 이용한 노출콘크리트의 질소산화물 제거성능과 물리적 특성 연구
5. Junko N. Kondo, Miwa Uchida, Kiyotaka Nakajima, Lu Daling, Michikazu Hara, and Kazunari Domen. Chem. Mater. 2004, 16, 4304-4310.
6. Chuncheng Chen, Pengxing Lei, Hongwei Ji, Wanhong Ma, and Jincai Zhao. Environ. SCI. Technol. 2004, 38, 329-337.
7. Xu Zhao and Yongfa Zhu. Environ. SCI. Technol. 2006, 40, 3367-3372.
8. S. M. M. Sae, J. Caceres, A. R. Fernandez-Alba, L. Piedra, M. D. Hernando, A. Aguera, and J. Vial. Environ. SCI. Technol. 2003, 37, 2516-2524.
9. Pichat, P. Disdier, J.; Hoang-Van, C.; Mas, D. Goutailler, G. Gaysse, C. Catal. Today. 63, 363, 2000.
10. Moon, S.-C. Matsumura, Y. Kitano, M. Matsuoka, M. Anpo, M. Res. Chem. Intermed. 29, 233, 2003.
11. Julie Peller, Olaf Wiest, and Prashant V. Kamat. Environ. SCI. Technol. 2003, 37, 1926-1932.
12. Bo Sun, Ettireddy P. Reddy, and Panagiotis G. Smirniotis. Environ. SCI. Technol. 2005, 39, 6251-6259.
13. Scalfani, A. Palmisano, L. Schiavello, M. J. Phys. Chem. 94, 829, 1990.
14. 石森 正樹, “光觸媒セメントで自動車排ガスを處理”, セメント・コンクリート, No.639, pp18~23, 2000/5
15. Maria C. CANELA, RSANA M ABERICI, RQUEL C R. Sofia, Marcos N. Eberin, and Wilson F. Jardim. Environ. SCI. Technol. 1999, 33, 2788-2792.
16. NAOMI L. STOCK, JULIE PELLER, K. VINODGOPAL, AND PRASHANT V. KAMAT. Environ. SCI. Technol. 2000, 34, 1747-1750.

17. Jing Sun, Lian Gao, and Qinghong Zhang. J. Am. Ceram. Soc., 86(10)1677-82(2003).
18. Tetsu Tatsuma, Shuichi Saitoh, Pailin Ngaotakanwivat, Yoshihisa Ohko, and Akira Fujishima. Langmuir 2002, 18, 7777-7779.
19. P. Davide Cozzoli, Elisabetta Fanizza, Roberto Comparelli, M. Lucia Curri, and Angela Agostiano, Daniele Laub. J. Phys. Chem. B 2004, 108, 9623-9630.
20. 남인식, “고정원에서의 NO_x 제거”, 화학공업과 기술, 제6권 제2호, 1988
21. 藤嶋 昭, “酸化チタン光觸媒の新しい流れ”, 環境管理, Vol.32, No.8, 1996
22. 김영도, “광촉매의 세계”, 대영사, 2000
23. 김영도, “광촉매의 실체”, 대영사, 2001
24. 박영서, 홍성화, 김강희, 광촉매의 국내외 산업동향 및 업체별 산업화 추진전략. 한국과학기술정보 연구원. 2001
25. 박준영, 光觸媒 인터로킹 블록의 개발을 통한 窒素酸化物의 除去性能 및 特性에 關한 實驗 研究
26. 양진외, “광촉매를 이용한 건축, 토목재료의 개발 현황”, 한국콘크리트학회지 제 13권 2호, pp 46~50, 2001.3
27. 이준철, “점토와 광촉매를 이용한 친환경 무기도료의 개발에 관한 실험 연구”, 2005/12
28. 이동범, “고로슬래그 광촉매(TiO₂)擔體를 이용한 무기도료의 개발과 질소산화물(NO_x) 및 실내유기물질(HCHO, VOCs)의 제거특성” 2004/12
29. 고로슬래그 미분말을 활용한 콘크리트 생산 기술 개발. 2001
30. 한국 콘크리트 학회 학회지 제 13권 4호. 2001
31. Fujishima, A.;Honda, K. *Nature*, 1972, 238, 3
32. Hoffmann, M. R.; Martin, S, T.; Choi, W.; Bahnemann, D, W, *Chem. Rev.* 1995, 95, 69
33. Chatterjee, D. Dasgupta, S., *J. Photochem. Photobiol., C* 2005, 6, 186
- 34Lim, S. H. Luo, J. Zhong, Z. Ji, W. Lin. J, *Inorg. Chem.* 2005, 44, 4124

주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원	TEL 031)389-6464
인본건설(주) (기술연구소)	TEL 031)750-6455
경북대학교 (건축공학과)	TEL 053)950-5596
한국도로공사 (재료·환경연구실)	TEL 031)371-3357

R&D / A02-09

폐자재를 활용한 대기 정화와 항균 성능을 갖는 친환경도료개발과
도로시설의 오염물질[질소산화물(NO_x), 유해유기화합물(VOC)] 제거 기술 개발

■ 발행일 / 2007 8. 20

■ 발행처 / 인본건설(주)

경기도 성남시 수정구 신흥동 6910 성남파이낸스빌딩 8층

TEL : 031-750-6400(대)

■ 인쇄처 / 대중상사