

## 구미지역의 가시광 응답촉매 연구개발동향

NEDO((독)신에너지·산업기술종합개발기구) Report No. 1063, 2010. 06. 02

본고는 미국 SBI(Strategic Business Insights, Inc.)의 보고서를 편집 번역한 것임.

광촉매 분야에 있어서 현재 진행하고 있는 연구활동 동향을 확인하기 위해 2차 tool 을 사용해 조사하였다. 또한 최근 지적재산, 연구출판물, 또 자유로 입수 가능한 기업 정보를 대상으로 연구개발 및 상업활동 정보를 조사하였다. 구미의 연구그룹과 기술개발기구 등의 최근 활동에 조사의 초점을 두고 다음과 같은 내용으로 수행하였다.

- Explorer & Scan : 조사의 출발점 : SBI의 explorer program을 사용해서 얻은 정보의 요약
- 연구논문 검색 : Goole Scholar로 검색을 행해 과거 5년간의 연구논문 및 그간에 작성된 특허를 취하였다.
- 특허검색 : 과거 5년간 출원된 특허를 *esp@cene*로 검색하였다.
- Web 검색 : 최신 웹 검색기능(*Goole.com*)에 의해 가시광 하에서 기능하는 광촉매의 연구개발 및 상업화에 대해 논의된 최신 기사를 검색하였다.

### 1. 머리말

광촉매는 다양한 용도에 유용한 기술이 되어 있고, 그 중에서도 self cleaning 기능을 갖는 창이나 이와 유사한 제품 표면에서의 이용으로 가장 많이 알려져 있다. 기술용어에서는 광촉매라 하고, 예를 들며, 자외선(태양광)에 반응하는 산화티탄의 나노입자가 휘발성 유기화합물(VOC)와 질소산화물과 같은 다양한 오염물질을 정화하는 용도로의 사용이 점차 증가하고 있다. 이 나노입자가 태양광 에너지를 흡수하고 이것을 이용해 오염물질분자를 산화시킨다.

전형적인 적용예로서는, 셀프크리닝 기능을 갖는 유리에서 보듯이, 산화티탄의 나노입자가 건축도료와 코팅제에 함유되어 있다. 산화티탄에 광이 닿으면 그 표면이 초 친수성이 되거 부착한 수적은 수막이 된다. 이 막이 유리 표면의 오염물질 내부로 들어가면 오염이 뜨게 되고 이것이 흘러 떨어진다.

백금이나 금을 담지시킴으로서 산화티탄의 광촉매 거동을 강화시킬 수 있다. 산화티탄의 나노입자를 사용한 광촉매에는 환경분야에서의 적용에 있어서 상당히 잠재성이 보인다. 이는 그 에너지원인 태양광이 무료이고, 나노입자의 생산도 이미 공업화되어 있어 그 기술이 다양한 환경용도에 이용할 수 있는 수준에 와 있기 때문이다.

그러나 가시광 하에서 기능하는 기술의 개발은 아직 초기단계에 불과하다. 이들 기술에 의해 인공광의 조건하에서(예를 들면 실내)도 광촉매 효과가 얻어지기 때문에 이러한 기술개발은 향후 광촉매의 장래에 매우 중요한 것이 된다. 이번의 조사는 과학자들에 따라 보다 어려운, 가시광 응답형 광촉매 개발에 초점을 맞췄다.

## 2. SBI의 Explorer & Scan Program

SBI의 Explorer 리서치 프로그램에 따라 많은 용도선의 광촉매 개발, 특히 광촉매에 사용하는 나노입자의 개발에 대해 조사하였다. 과거 수년에 Scan and Explorer에 보고된 활동의 대부분은 구미지역 이외의 연구센터에서 행해지고 있고, 예를 들면 오스트리아에서는 다수의 프로젝트가 가동되고 있다. 각 활동의 요약은 다음과 같다.

- 2006년 오스트리아의 New South Wales 대학([www.arccfn.prg.au](http://www.arccfn.prg.au)) 기능성 나노 material ARC 센터 연구자들은 실내에서도 기능하는 산화티탄 코팅에 관한 연구 활동을 행하고 있다고 발표하였다.
- 2008년 Monad Nanotech(인도)의 연구자들은 광을 이용해 카본나노튜브 및 산화철의 광촉매작용을 활성화시켜 미생물 오염과 유기오염물질을 제거할 수 있다는 것을 발표하였다.
- 2008년 PARS Environmental(미국 뉴저지주)는 미생물 오염과 유기오염물질을 현장에서 정화 및 제거하기 위해 나노스케일의 제로가 철 개발에 대해 발표하였다.
- 2008년 University of Queensland(오스트리아)의 연구자들은 수처리용도의 Lightanate<sup>1)</sup> 광촉매기술개발에 대해 발표하였다.

## 3. 논문검색

Goole Scholar의 검색기능을 이용해 과거 10년간(2009년 12월 15일 까지) 발표된 논문을 대상으로, 타이틀 [TI]와 개요[AB]란에 관련용어 2 개를 입력해 검색하였다. 그림 1에 2000년도 이후의 전세계 연구자가 발표한 논문 수를 정리하였다. 표 1은 2009년까지의 연구기관에 의한 대표적 발표 15건을 소개한 것으로, 이들은 특히 구미지역에서 개발중인 가시광 응답 광촉매에 초점을 맞췄다.

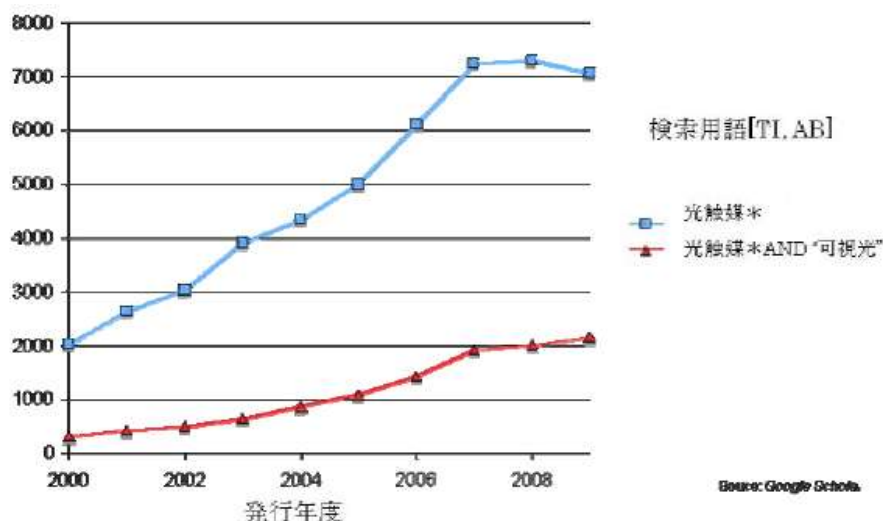


그림 1 발표된 광촉매 연구논문(2000년 1.1~2009. 12.15)

1) 기존 광촉매에 비해 최대 9배 이상의 에너지를 이용할 수 있어, 수처리로부터 대기정화까지 광범위한 용도전개가 가능(참조 : Astute Nanotechnology celebrates first year of success", The University of Queensland, Australia, 27 April 2008

| 대학명/연구기관명                                  | 논문[문헌명]                                                                                                      |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 발렌시아공과대학 응용화학연구소, UPV-CSIC, Avda(스페인)      | 층상 복수산화물(LDH) : 가시광에 의해 물로부터 산소를 고효율로 생성시키는 광촉매                                                              |
| 모스크바 대학(러시아, 모스크바)                         | 질소 doped 형 산화티탄 가시광 응답촉매의 상자성 중심특성에 대한 광조사효과에 관한 전자상자성 공명(Electron Paramagnetic : EPR)에 대한 연구                |
| 맥스플랑크 계면콜로이드 연구소(독일, 포츠담)                  | 가시광 하에서 물로부터 수소를 생성하는, 금속을 함유하지 않는 중합체 광촉매                                                                   |
| 스위스 연방공과대학(스위스, 로잔)                        | 치오요소와 요소를 기계적으로 혼합해 작용하는, 가시광 응답성 N-S 共doped형 산화티탄/질소doped형 산화티탄의 분말(Degussa P-25). 대장균의 불활성화 및 페놀산화에 대한 반응성 |
| 노스 웨스턴 대학(미국, 이리노이주)                       | 최적화된 가시광 응답 不定比산화티탄 광촉매의 질소 안정화반응성 스펙터링                                                                      |
| 신시네티대학(미국, 오하이오주)                          | 수중에서 마이크로 시스템-IR의 광촉매 분해반응을 일으키는 가시광 구동 N-F-共 doping 형 산화티탄 나노입자                                             |
| University-College London                  | t-butylamine을 질소원으로 사용해서 APCVD법(상압 화학기상법)에 의해 성막한 N doped 산화티탄막에 있어서 가시광하에서의 광촉매 활성의 강화 및 이의 항균 필름으로의 사용 가능성 |
| 토리노 대학(이탈리아, 토리노)                          | 질소 doped 산화티탄 및 질소와 불소를 共담지(doped)한 산화티탄. 광활성종의 성질과 농도 및 가시광 하에서의 광촉매 활성을 결정하는 이들의 역할                        |
| West Pomeranian 공과대학 Gdansk(다다닉스)공과대학(폴란드) | (폴란드). 정화수에 사용할 수 있는 탄소첨가형 산화티탄 광촉매 붕소첨가 산화티탄의 가시광 하에서의 광촉매 활성 : 붕소함유량, 소성온도, 산화티탄 매트릭스 효과                   |
| 오스트리아 연구센터                                 | 자외선과 가시광에 대한 광촉매반응에 사용할 수 있는 W doped 티타니아 나노입자                                                               |
| 아이오아주립대학                                   | -텅스텐 첨가산화티탄과 가시광을 이용한 광촉매 분해반응 : 복합촉매 doped 법을 사용한 동적, 구조적 효과<br>-유황 doped 산화티탄은 정화에 효과적인 가시광 응답형 광촉매?       |
| EMPA : 스위스 연방 소재과학 기술연구소                   | 산화티탄의 W frame 용사로 합성된 나노분물의 가시광 하에서 광촉매 기능 부여시의 열처리 영향                                                       |
| Regensburg 대학(독일)                          | 가시광을 이용한 광 Redox 촉매                                                                                          |

#### 4. 특허활동

나노촉매에 관계하는 특허활동을 보면, 기술혁신에 관한 몇 개의 정보가 보이고 있다. 그림 2는 타이틀[TI] 또는 개요[AB] 모두에서 “가시광”과 “촉매”의 어귀가 입력되어 검색된 특허수를 나타낸 것으로, 과거 10년분을 연도별로 나타낸 것이다. 검색된 최신 특허 500건 내에서 구미로부터 출원된 것은 4건 뿐이다. 표 2에 그 특허를 소개한다. 이 분야 특허 대부분은 일본과 중국에서 출원한

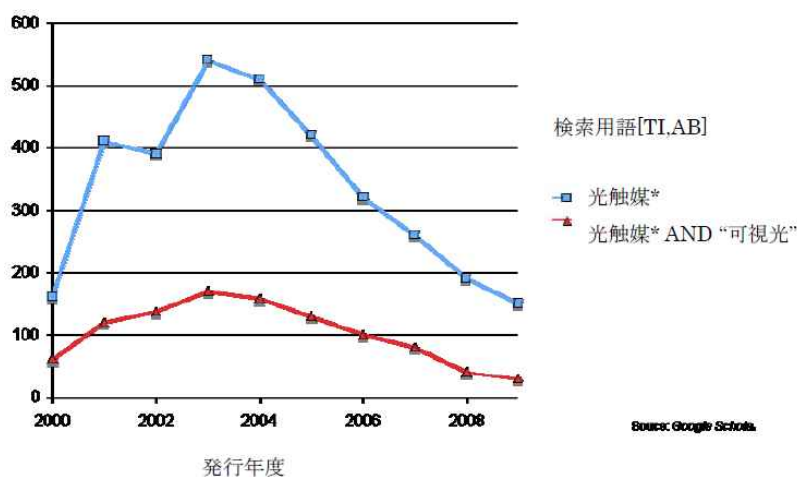


그림 2 광촉매 특허 수(2000. 1. 1 ~ 2009. 12. 15)

것이다.

| 기업명(연구기관 명)                            | 표제(문헌명)                                                      |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Dublin 공과대학(아일랜드)                      | 가시광 화성 광촉매                                                   |
| Kronos international(독일)               | 이산화티탄으로부터 제조한 개량형 광촉매, 가시광하에서 기능하는 광촉매의 광활성을측정하는 방법 및 그 측정기구 |
| GM Global technology operations(세계 각지) | 광촉매 및 그의 용도                                                  |

## 5. Web 검색

일반적인 웹 검색에서는 가시광 응답형 광촉매의 연구 및 상업화에 관한 새로운 정보는 거의 얻지 못하였으나, Kronos Advanced Technologies가 공기정화 및 오염제거의 선진기술개발을 다수 행하고 있다는 것이 밝혀졌다. 상세 정보는 그 기업의 웹사이트를 참조하기 바란다.

## 6. 정리

지금까지 제시한 정보로부터 전반적인 민간 및 학술연구자들로부터 다음과 같은 개발을 행하고 있음이 확인되었다.

- 구미 연구자들은 다음과 같은 폭 넓은 용도에 사용할 수 있는 가시광 응답형 광촉매기술의 연구에 매진하고 있다.
  - 물의 분리에 의한 수소 생성
  - Self cleaning 기능을 갖는 제품 표면과 재질(특히 헬스케어용도)
  - 물의 살균
  - 유기오염물질 및 오염물질 산화
  - 이산화탄소의 탄화수소로의 변환
- 연구활동은, 실로 글로벌로 실시되고 있고 가시광 응답형 광촉매에 초점을 맞춘 연구발표 대부분은 구미 이외의 연구기관에 의한 것으로, 현재 많은 수의 연구개발이 일본과 중국, 기타 아시아 지역에서 행해지고 있다.
- 광촉매의 특허활동은 2003년이 가장 활발해 2000년 이후에 출원된 특허 중 약 30%였고, 특히 가시광에 관련된 것이다. 작년 출원된 많은 특허 중 가시광에서 기능하는 최신 광촉매를 대상으로 한 것은 일본과 중국에서 출원된 것이다.
- Kronos advanced technology 사에서는 연구활동이 특히 활발히 진행되고 있다.
- 구미에서 현재 진행중인 연구개발 테마에 관해 연구자들은, 산화티탄을 다른 물질로 doping 하고, 그 물질이 다양한 파장의 광으로 광촉매반응을 일으키는 연구를 계속하고 있다. 어떤 성분으로 티탄을 doping함으로서, 물질의 가시광 흡수율이 향상한다. 특히 연구자들은 질소, 붕소, 탄소, 불소, 텅스텐으로 산화티탄을 doping 하고 있다.

## 참고문헌

1. C Telford, "'Building Green,'" SBI Scan Signal of Change SoC210, November 2006.  
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/scan/ScanMonthly/SM045.shtml# SoC210> .)
2. Explorer Nanomaterials Viewpoints, June 2008  
(<http://www.strategicbusinessinsights.com/explorer/NM/NM-2008-06.shtml>)
3. J. Am. Chem. Soc., 2009, 131 (38), pp 13833--13839  
(<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja905467v> )
4. Applied Magnetic Resonance, Volume 35, Number 3, April, 2009  
(<http://www.springerlink.com/content/gt2k98677v613088/> )
5. Nature Materials, Vol 8, January 2009, pp76-80  
(<http://www.fhi-berlin.mpg.de/th/publications/NATMAT-8-76-2009.pdf> )
6. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 205, Issues 2-3, 25 June 2009, Pages 109-115 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2009.04.015> )
7. J. Vac. Sci. Technol. A Volume 27, Issue 4, pp. 712-715 (July 2009),  
(<http://link.aip.org/link/?JVTAD6/27/712/1> )
8. Catalysis Today Volume 144, Issues 1-2, 15 June 2009, Pages 19-25  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2008.12.022> )
9. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry Volume 207, Issues 2-3, 25 September 2009, Pages 244-253  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2009.07.024> )
10. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry Volume 207, Issues 2-3, 25 September 2009, Pages 93-97  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2009.04.010> )
11. Polish Journal of Chemical Technology, Volume 11, Number 2 / 2009, pp46-50,  
(<http://versita.metapress.com/content/d71538xm228l270t/> )
12. Applied Catalysis B: Environmental, Volume 89, Issues 3-4, 15 July 2009, Pages 469-475 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.01.005> )
13. Applied Catalysis B: Environmental, Volume 91, Issues 1-2, 7 September 2009, Pages 39-46 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.05.005> )
14. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry Volume 207, Issues 2-3 25 September 2009, Pages 197-203 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotochem.2009.07.010> )
15. Applied Catalysis B: Environmental Volume 91, Issues 1-2 7 September 2009,

Pages 554-562 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2009.06.027>)

16. Topics in Catalysis, Volume 52, Number 8 / July, 2009, pp1051-1059

(<http://www.springerlink.com/content/x2654pn243075t44/> )

17. Angewandte Chemie International Edition, Volume 48 Issue 52, November 2009,

Pages 9785 – 9789

(<http://www3.interscience.wiley.com/journal/123193416/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0> )

18. Patent WO2009113045, 2009

19. Patent WO2008128642, 2008

20. Patent EP1921446, 2008

21. Patent US2006283701, 2006.