

광섬유를 이용한 광촉매 성능 측정 표준화의 이해

주현규^{1*}, 하진욱², 조덕호³

Standard test method for photocatalytic activity with optical fiber

Hyun-Ku Joo^{1*}, Jin-Wook Ha² and Duk-Ho Cho³

요 약 최근 일본이 광촉매 관련 제품에서의 소비자 보호를 위한 적절한 표준화 규격 제정에 강한 의욕을 보이며, 자국내 JIS 규격 외에 ISO 규격 (ISO/TC 206 fine ceramics)을 제정하기 위하여 노력하고 있다. 이에 국내에서는 산업 보호 및 해외시장에서의 종속성을 벗어나기 위하여 2001년부터 선정된 분야에서의 광촉매표준화 시도가 이루어졌다. 그 중의 하나로 본 논문은 광섬유를 빛전달 매개체와 광촉매 코팅 지지체로 이용해서 광촉매 졸을 구성하는 광촉매 자체의 유기물 분해능을 결정하는 방법을 규정하는 과정과 제안과 관련된 것이다. 이 규격은 코팅 가능한 졸이나 졸로 만들 수 있는 자외선 감응 광촉매 재료에 적용하며, 차후 가시광 및 태양광 감응 광촉매 활성 측정 및 비교에도 응용이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract Recently, Japan has showed strong demand for protection of consumers against misleading specification provided by producers, establishing the committee for JIS and ISO. To protect domestic market and overcome potential subordinate relationship in overseas market, several universities and institutes in Korea have performed collaborative works on the standardization of test method for photocatalytic activity concerning the selected application fields. This article deals with the process and the result for the method of testing photocatalytic sol or suspended powder using optical fiber. Currently, this method is intended for TiO₂, but can be applied for various photocatalytic raw materials that can be activated by visible light and solar irradiation.

Key words : photocatalyst, test, standardization, photocatalytic activity

1. 서 론

광촉매 (photocatalyst)란 용어는 "광반응을 가속시키는 촉매"를 지칭하며, 반응에 직접 참여하여 소모되지 않아야 하며 기존의 광반응과 다른 메카니즘 경로를 제공하여 반응속도를 가속시키는 것을 만족시켜야 함을 의미한다. 이러한 광촉매가 작용하는 일련의 과정을 "광화학 반응 (photocatalysis)"이라 하며 "catalyzed process

implicating light absorption by the catalyst"로 간단히 정의될 수 있다. 광촉매에 의한 광화학반응은, 밴드갭 에너지(E_g) 이상의 에너지를 갖는 빛의 흡수에 의하여 생성된 전자(e⁻)와 정공(h⁺)이 활성종(hydroxyl radical)을 만들고 이에 의하여 산화/환원이 유발되는 일련의 과정이며, 대부분의 처리 대상 유기물질을 별도의 작업을 하지 않고도 산화시켜, CO₂, H₂O, HCl 등으로 분해시키는 것으로 설명될 수 있다. 이러한 이유로 기존의 화학적, 생물학적, 물리적 흡착, 촉매이용 방법 등이 다량의 산화제에 따른 부담감, 미생물의 적용여부, 흡착에 의한 2차 처리, 그리고 고가의 귀금속촉매 사용에 따른 경제성 등에 문제점이 지적되어 온 이후 더욱 경제적이고 환경친화적인 방법으로 관심을 끌고 있다. 광촉매가 활용될 수 있는 분야는 환경정화 측면에만 국한하여도 수처리 및 기상처리, 실내공기 오염, 자정 건물 외장재 등 매우 광범위함을 알려져 있다 [1]. 또한 광화학 반응을 활용한 환경정화는 기능성의 문제가 아니라, 고효율의 광촉매 및 광화학 반

본 연구는 산자부 표준화기술개발사업 및 과학기술부의 지원으로 수행하는 21세기 프론티어연구개발사업(수소에너지사업단)의 일환으로 수행되었습니다.

¹한국에너지기술연구원 수소연료전지연구부 전환공정연구센터

²순천향대학교

³산자부 기술표준원

*교신저자 : 주현규(hkjoo@kier.re.kr)

응시스템 제작에 관련된 경제성의 문제로 귀결될 정도로 이론적 배경을 근거로 하는데 실제 산업화를 위하여 국내외적인 기술 개발에 발맞춰 합리적이고 체계적인 성능평가의 표준화가 절실히 필요하다고 여겨진다. 이에 발맞춰 최근 일본이 광촉매 관련 제품에서의 소비자 보호를 위한 적절한 표준화 규격 제정에 강한 의욕을 보이며, 자국내 JIS 규격 외에 ISO 규격 (ISO/TC 206 fine ceramics)을 제정하기 위하여 노력하고 있다. 2002년 9월 30일에 설립된 광촉매표준화위원회는 60여 전문가, 기업체, 소비자를 회원으로 자정, 공기정화, 수질정화, 그리고 항공 분야의 분과위원회 및 광원표준화 분야에의 작업반(working group)을 조직되어 3년 반의 프로젝트 기간을 정하여 동을 하고 있다. 이에 국내에서도 산업보호 및 해외시장에서의 종속성을 벗어나기 위하여 2001년부터 선정된 분야에서의 광촉매표준화 시도가 이루어지고 있으며 [(NO 가스 및 VOC, '01.07 ~ '03.06), (자정, '04.01 ~ '04.12), (항공, '04.01 ~ '04.12), (효율, '03.12 ~ '05.11), (광원, '04.10 ~ '06.09) 등], 일본에 의한 독단적인 국제표준화를 방지하기 위하여 '한일광촉매국제표준화회의'가 2005년 1월에 열려 정례화 방안을 타진하기도 했다 [2].

제안된 본 표준화 방법은, 기존에 국내의 학계에서 수용액 상태에서의 광촉매 효율을 측정하기 위하여 사용한 actinometry법이 기상상태(gas phase)에서 적용하기 어렵고, 과정이 복잡하고 고가의 기기나 재료 등이 필요하여 산업체 등에서 활용하기 곤란하다는 단점을 보완하기 위하여 제안된 것으로 광섬유가 빛을 전달하며, 전달되는 빛들이 클래드(clad)를 제거한 후 코팅된 광촉매로 굴절율(refractive index) 차이에 의하여 흡수되어 활성을 유발할 수 있다는 기본 원리로부터 시작되었다 [그림 1].

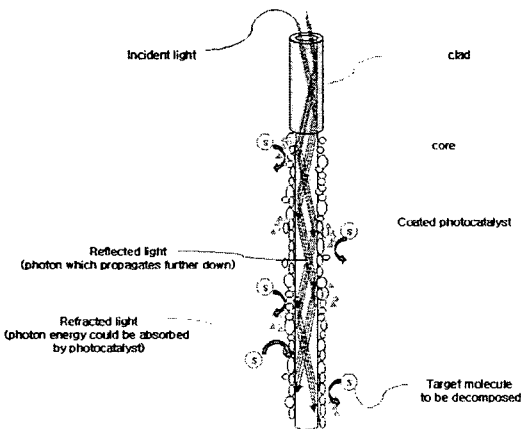


그림 1. 광섬유 활용 광화학반응의 개념도

본 표준화를 위해서는 고정화(immobilization) 용이성 등으로 QOF가 사용되었다. 결과적으로 효율 계산을 위한 식을 정립한 후 계산을 위해 필요한 변수값 측정을 위한 시편제작, 반응기 제작, 실험 및 측정을 위한 전체적인 과정 및 실시 예를 제시함으로써, 제안된 방법이 독창적이고 실용적인 면에서 국내외 규격으로 사용되는 시발이 되고자 하였다.

2. 실험

2.1 광량 측정 장치용 부속 및 반응기 제작

간편하게 빛 전달량 및 흡수량을 측정하기 위해서는 광촉매 활용과 관련된 산학연 기관에서 일반적으로 보유하고 있는 휴대용 광량 측정 장치(portable radiometer)를 활용하는 방법이 모색되어야 하며, 이 경우 외부 빛을 차단하고 수광부에 광섬유 시편을 연결할 수 있게 하는 부속이 필요하다. 이 부속은 외부 빛이 수광부에 영향을 미치지 않게 하며, 조사된 빛 중 시료 번들을 통과하여 끝부분으로 나오는 가능한 모든 빛이 광량 측정 장치 수광부에 조사되도록 해준다. 광량 측정 장치는 범용 휴대용 장치를 사용하고, 검지 범위는 300 ~ 400 nm의 것을 사용하였다. 반응기 제작을 위한 선정 작업은 재질(아크릴 및 pyrex 유리), 바인더의 영향(A, B, C) 그리고 제작의 용이성을 위한 구조 등을 변수로 수행되었으며, 최종적으로 pyrex 유리 재질의 한쪽 번들형이 채택되었다. 반응기 부피는 176.7 cm³로 길이 25 cm, 직경 3.0 cm이다.

2.2 시편 제조

시험편은 직경 1 mm의 석영 광섬유를 20 cm정도 잘라서 제작하였다. 광촉매가 코팅되는 길이(클래드 제거 길이)를 10 cm로 하며, 연마를 위해 광섬유 총 길이는 양쪽을 2~3 mm 정도 여유를 두고 자른다.

- 자른 광섬유 양 끝단에 광섬유 홀더를 끼우며, 접착제를 홀더 구멍에 넣은 후 광섬유를 넣었다 뺐다 하며 골고루 발라진 후 고정시켜 건조하였다. 접착제는 연마 시, 광섬유의 고정화 및 반응기에 연결했을 때, 시험가스의 leaking을 방지하는 역할을 해 준다. 하지만 광반응 시, 램프의 열에 의해서 바인더 성분이 반응기 안으로 들어와 반응에 영향을 줄 수 있으므로, 접착제에 의하여 반응생성물 농도 측정 장치의 특성피크가 영향을 받지 않는 Red Silicone type 650 (Versachem Co.)과 같은 것을 사용하여야 하였다.
- 광섬유가 홀더에 확실히 고정된 것을 확인한 후 연마

를 시작하였다. 연마지는 100, 200, 400, 600, 1000, 1200, 1500, 2000번의 순서로 가능한 느린 회전속도로 작업하는 것이 바람직하다. 물은 가능한 많이 뿌려 주면서 작업하였다. 자외선 램프를 광원으로 실험했을 경우 석영 광섬유 끝에서 나오는 광량은 20~25 $\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 정도이다. 그 범위의 광량이 나올 때까지 sand paper 2000호로 반복 연마하였다.

- c) 알코올램프나 초를 이용해서 광섬유의 중량을 중심으로 해서 10 cm 길이의 클래드를 제거하였다. 표면의 이물질이 굴절율에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 철저히 제거하여야 하였다. 마지막은 아세톤으로 깨끗하게 닦아준다. 80 °C에서 1시간 건조하였다. 이 경우 충분한 건조가 필요한데, 이유는 표면에 코팅되는 광촉매 함량이 매우 작고, 수분이 함유된 광섬유가 기준이 되면, 코팅 후와 코팅 전 무게의 차가 음의 값으로 나타나기 때문이다.
- d) 광촉매 졸이나 슬러리 액을 1시간 동안 교반 후, 초음파 처리 1시간 그리고 다시 1시간 교반 후 클래드가 제거된 부분에 dip-coating하였다. 잘 분산 시켜서, 입자 구별이 어려울 정도까지 시행하였다. 코팅 후 80 °C에서 2시간 건조하였다. 코팅된 광촉매가 떨어지지 않도록 코팅 부위가 표면과 닿지 않게 주의하였다.

2.3 시험편의 무게 (W) 및 빛 전달량 (L) 측정

연마가 끝난 후, 질량을 달고(W1), 전달되는 빛의 양을 측정하였다(L1). 이때 시험편의 질량 측정은 정밀도가 0.1 mg 이상의 정밀도를 갖는 저울을 사용하였다. 클래드를 제거한 후 다시 무게를 달고(W2). 전달되는 빛의 양을 측정하였다(L2). 광촉매를 고정화 한 후 다시 질량을 측정하고(W3), 전달되는 빛의 양을 측정하였다(L3). 시편을 통해 전달되는 광량 측정의 경우, 부러짐과 굴절률의 변화를 막기 위해 사료가 휘어지지 않게 작업해야 하며, 광촉매가 고정화 된 후 무게 측정할 때는 코팅된 광촉매가 떨어지지 않도록 코팅 부위가 표면과 닿지 않게 주의하였다.

2.4 시험편의 장착 및 반응 시작

시험편의 한쪽 홀더를 반응기 암나사 부분에 끼울 수 있도록 제작된 연결부분으로 반응기에 장착하였다. 대상 유기물을 이소프로필알코올 (IPA)로 하고, 마이크로시린지로 채취하여 반응기에 주입하였다. 주입량은 240 ppm 정도가 바람직하며, 반응기의 부피 약 176.7 cm^3 (직경 : 3.0 cm, 길이 : 25 cm)를 고려하면, 액상의 이소프로필알코올 시료로 0.136 μL 주입에 해당된다. 주입 후 농도 평

형이 이루어질 때까지, 대략 60분 정도가 소요되므로 30분이 경과된 후 1회, 그리고 45분경과 후 1회 더 측정하여 GC area가 오차범위 5 % 내로 유지될 때 램프를 켜서 반응을 시작하였다. 샘플링 시간은 10 분 간격으로 5회, 총 반응시간 1시간으로 실시하였다. 사용한 GC는 (HP 5890 Series II with flame ionization detector, 오븐 온도 100 °C, 주입부 온도 120 °C, 검지부 온도 250 °C) HP-FFAP(crosslinked FFAP, 25m × 0.32 mm × 0.52 μm 필름두께) 컬럼이 장착된 것을 사용하였다. 경우에 따라 반응산물인 CO₂를 측정하기 위하여 HP 6890 Series II (flame ionization detector with methanizer, HP-INNOWAX (crosslinked polyethylene glycol))를 사용하였다 [그림 2].

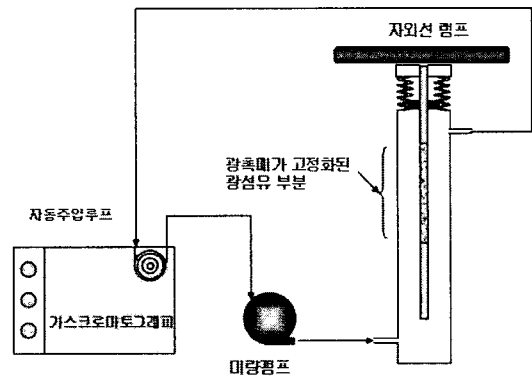


그림 2. 광화학적 IPA 분해 실험 장치

3. 결과 및 고찰

1 mm 직경, 10~50 cm 길이의 플라스틱광섬유 (plastic optical fiber, POF)의 한 쪽으로 빛을 조사할 경우 다른 끝에서 길이에 관계없이 300 nm 이상의 빛들이 거의 유사하게 측정됨을 알 수 있다. POF의 경우 빛 전달 손실을 (transmittance loss)이 400 nm 근처에서 0.3 dB/m 내외로 1 m 전달시 약 7% 정도 감소하기 때문이다. 석영광섬유 (quartz optical fiber, QOF)의 경우는 약 0.05 dB/m로 전처리를 전혀 하지 않았을 경우 단거리에서는 거의 빛의 전달 손실이 없다. 광섬유의 클래드를 제거한 후와 거기에 광촉매를 코팅하였을 경우 빛 흡수 변화는 클래드가 제거되었을 경우 이론적으로 공기의 굴절률이 낮아 빛 손실이 없어야 하는데, 오염물과 표면 흡집 등의 원인으로 빛이 산란/흡수 되어 빛의 손실이 일부 발생하며, 광촉매가 코팅되었을 경우 급격히 흡수가 일어나 끝단에서

측정되는 빛의 양이 감소함을 알 수 있다. 본 표준화에 쓰이는 portable radiometer를 활용한 실험에서도 유사한 결과가 확인되었으며, 직경별 코팅 여부에 따라 빛의 전달량이 달라짐을 확인할 수 있었다.

바인더는 폴리싱의 경우 QOF의 고정화 및 반응기에 연결했을 때, probe 가스의 leaking을 방지하는 역할을 해준다. 하지만 광반응 수행 시, 램프의 열에 의해서 바인더 성분이 반응기 안으로 들어와 반응에 영향을 줄 수 있음을 확인 했다. 바인더 A와 바인더 B의 경우, GC peak 체류시간 (retention time, RT)이 IPA (1.83 min) 과 거의 같은 위치인 1.88과 1.80 min 정도에서 반응기 설치 후 30 분 ~ 1시간 후부터 GC area가 점점 증가하기 시작하였다. 그래서 IPA 농도를 나타내는 GC area에 영향을 미칠 뿐만 아니라 그 가스들이 광촉매 표면에 흡착 되었을 때 광반응에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되었다. 바인더 C의 경우, 3시간 후부터 1.653, 2.064 min 정도의 체류시간에서 peak가 나타난다. 램프 주위를 외부 광원에 노출시키지 않기 위하여 알루미늄 호일로 가렸기 때문에 램프 온도가 100 °C 이상 올라가는 것을 확인 하였다. 그래서 램프를 공기 중에 완전 노출 시킨 후 광 조사를 한 결과 부산물의 출현 시간이 1시간 정도 늦춰졌다 (4 시간이 후 peak보임). 바인더 C의 경우 4시간 이전에서 아무 peak도 나타나지 않는 바인더 C를 사용하여 두 종류의 반응기에서 실험을 했다. RA 반응기는 기존의 유리 반응기이고, RB 는 fiber의 부러짐을 방지하기 위해 개량한 아크릴 반응기이다. 두 반응기에서 부산물 peak (1.603, 2.064 min)은 4시간 이후에 나타났고, RB 반응기에서는 2.11 min에서 한 개의 부산물 peak가 더 나타났다. 2.11 min에 나타난 peak가 바인더의 영향으로 생각되어 번들이 반응기에 들어가지 않는 fiber를 오링(o-ring)으로 잡아 줄 수 있는 반응기 RC를 테스트 해 보았다. 그런데 램프를 켜기 전부터 2.11 min peak가 시간에 따라 계속 증가했다. 2.11 min의 peak은 반응기 RB와 RC의 제작 시 사용되는 chloroform과 acryl과의 반응에서 나오는 가스로 추정되었다. 그래서 반응기는 다시 유리로 교체 하고, 광반응 실험이 1시간 이전에 마무리 된다는 것을 이용하여 부산물이 4시간 이후에 나오는 바인더 C를 사용하기로 결정했다. 또한 fiber의 부러짐을 개량하기 위해 한쪽 번들은 반응기 속에 완전히 넣는 방식의 새로운 반응기 RD를 설계하여 실험해 보았다. 또한, 번들 하나는 바인더를 꼭 채우고, 다른 하나는 램프와 바인더가 닿지 않게 번들 안쪽에만 바인더를 채워서, 두 번들을 각각 RD 반응기에서 실험해 보았다. 4시간 이전에는 어떤 peak도 나타나지 않았으며, 4시간 이상에서 1.063, 2.064 min 정도에서 peak이 증가하기 시작했다. 활성 test는 1시간 이내에 끝

나기 때문에 바인더 C에서 나오는 부산물이 반응에 아무런 영향도 미치지 못할 것으로 판단된다. 또한, 한 방향에서 번들을 안전하게 넣을 수 있는 D 반응기를 설계 하였다. 하지만 D반응기의 경우 너무 작아 IPA 초기 농도 설정의 어려움으로 반응기 부피를 키운 RE 반응기를 선택하여 실험 했다. 사용한 바인더와 반응기의 규격을 아래에 나타내었다.

흡수된 빛의 양과 IPA 분해실험이 종료되면, 다음과 같은 계산 과정에 의하여 효율을 계산하였다. 아래에 실제로 제조, 제작, 측정, 실험의 전 과정을 통하여 얻은 결과의 한 예를 나타내었다.

① 대상물질 반응속도

$$N_{cpr} = \frac{V_{IPA} \times d_{IPA}}{MW_{IPA}} \times k \tag{1}$$

여기에서 N_{cpr} : 대상물질 반응속도 (mol/s), V_{IPA} : 주입 IPA 부피(ml), d_{IPA} : IPA 밀도(g/ml), M_w : IPA 몰분자량 (g/mol), k : 분해속도상수(s⁻¹).

② 광흡수량

$$N_{aph} = \frac{E \times A_d}{U_\lambda} \tag{2}$$

여기에서 N_{cpr} : 대상물질 반응속도 (mol/s), E : 광촉매 고정화 전후 감소된 광량 (μW/cm²), A_d : radiometer 수광부 면적 (cm²), U_λ : 대표 파장 λ의 mol photon (einstein) 에너지 (J/mol photon)

$$U_\lambda = \frac{hc \times N_A}{\lambda} \tag{3}$$

h : 플랑크 상수(6.6260755×10⁻³⁴ J·s), c : 진공 속 광속 (3×10⁸ m/s), N_A : 아보가드로수 (6.0221367×10²³ mol⁻¹), λ : 조사된 광원의 대표파장 (386 nm).

③ 비효율 계산 (SPE)

$$\Phi = \frac{N_{cpr}}{N_{aph}} \tag{4}$$

여기에서 N_{cpr} : 대상물질 반응속도(mol/s), N_{aph} : 광 흡수량(mol photon/s).

실제로 P25 TiO₂를 가지고 d_{IPA} 0.78505 g/ml, MW_{IPA} 60.09 g/mol, IPA 주입양 0.068 μl, A_d 6.28 cm²의 자료를 가지고 수행해 본 결과, 빛 흡수량은 21.5 μW/cm² 이었

며 IPA 분해 1차 속도 상수 (k)는 0.0035 min^{-1} 로 측정되었다. 이 경우 N_{opr} 은 식(1)에 의하여 $5.18228 \times 10^{11} \text{ mol/s}$, N_{ph} 는 식 (2)와 (3)에 의하여 $4.305 \times 10^{10} \text{ mol/s}$ 로 계산되므로 효율은 식 (4)에 따라 11.9 %가 나오게 된다. 일반적으로 광촉매 활용 효율이 1% 이내인 점과 비교하면, 액상보다는 기상반응이 조사된 빛의 양으로 계산된 것보다 흡수된 빛의 양으로 계산된 효율이 커짐은 자명한 사실이므로, 측정된 결과 효율은 상당히 합리적인 수치로 판단된다. 다만 결과 효율의 절대적 수치에 의미를 두기 보다는 아래에 언급하는 것처럼 동일 조건에서의 상대적 효율 비교에 적용하는 것이 더욱 타당하리라 판단된다.

P25 농도에 따른 IPA 분해능과 SPE를 확인하기 위해서 5 wt %와 7 wt % 농도의 코팅액을 제조하여 활성을 시험해 보았다. 번들 2가 번들 1 보다 코팅 무게가 약 0.0001g, 흡수한 광량 0.2 uW/cm^2 더 크게 나타났으며, 결과적으로 속도상수 값 그리고 SPE 값 또한 크게 나타나, P25의 농도가 예상된 바대로 IPA 분해능과 SPE에 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 코팅된 길이에 대한 영향성 확인을 위해서 번들 2와 4를 반응기에서 실험한 결과, 예상과는 다르게 8 cm가 코팅된 번들 4가 더 나은 활성을 보였다. 코팅된 무게는 번들 2가 0.0003 g 더 많고, 흡수한 광량은 번들 4가 1.6 uW/cm^2 더 많다. 어떤 이유든 흡수된 광량이 많을 경우 사용된 광량의 범위 내에서는 분해 속도상수가 커짐을 알 수 있었다. 반응기 안에 주입되는 IPA 농도에 따른 속도상수와 SPE에의 영향성을 확인하기 위해서 농도를 60, 120, 240 ppmv 별로 시험해 보았다. 농도가 낮을수록 속도상수가 컸으나, 농도 증가비율 (100%씩)을 따라가지는 결과적으로 SPE는 농도가 높을수록 증가하였다. 또한 batch형과 연속형 장치로 동일한 조건 (반응기 타입, 농도, 빛 흡수량 등)에서 테스트하

여 비교한 결과, 연속형의 경우 GC와의 on-line 연결에 의하여 전체 반응 부피가 늘어 batch형 보다 상대적으로 작은 농도의 실험과 유사한 결과(SPE 감소)를 얻었으나 전체적인 경향은 동종 반응기 형태 내에서는 유사하였다.

4. 결론

기존의 촉매에서는 좀처럼 기대하기 힘들었던 반응조건, 즉 실온에서 반응을 불러일으킬 수 있다는 점에서 광촉매는 많은 연구자들과 기업 등에 저항 할 수 없는 매력적인 물질로 부상하였다. 이러한 광촉매 관련 연구와 관련하여 본 사업에서 제시하는 광촉매 비효율 측정법 표준화 노력은 다음과 같은 기술적 파급효과를 얻으리라 판단된다.

- 2세대인 실용화단계로 접어든 광촉매의 효율 향상 노력에 정확한 평가기준 미비 보완
- 각자 유리하게 평가받을 수 있는 조건들에서의 비교 분석으로 공신력 저하와 여러 면에서 시간 낭비와 재정낭비 병폐 해소
- 선도적인 성능평가 표준화는 국내외적으로 평가 결과에 대한 시시비비를 종결시킴으로써 광촉매 효율향상에 매진하여 기술적 진보를 앞당기는 효과 기대되며, 증가하는 광촉매 산업에 등대와 같은 효과

참고문헌

- [1] 허운행, 박형기, 정지윤, 김대혁, 류재호, 강지수, 김미선, "광촉매 기술시장 및 시장동향", 산업자원부 기술표준원 연구과제 보고서, 2003.
- [2] 홍익표, 김도형, 강한성, "광촉매 시험평가방법 및 표준화 동향", 산업자원부 기술표준원 연구과제 보고서, 2003.

주 현 규(Hyun-Ku Joo)

[정회원]



- 1993년 2월 : 연세대학교 화학공학과 (공학사)
- 1997년 6월 : Auburn 대학교 화학공학과(공학박사)
- 1997년 4월 ~ 현재 : 한국에너지기술연구원 선임연구원

<관심분야>

광촉매, 광화학반응, 수소제조.

하 진 옥(Jin-Wook Ha)

[정회원]



- 1986년 2월 : 연세대학교 화학공학과 (공학사)
- 1990년 8월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과(공학석사)
- 1993년 5월 : (미)Univ. of Illinois 화학공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 환경공학과 부교수

<관심분야>

광촉매, 기능성 코팅, 대기·수질 정화

조 덕 호(Duk-Ho Cho)

[정회원]



- 1977년 2월 : 연세대학교 요업공학
학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 명지대학교 무기재료
학사 (공학박사)
- 2005년 ~ 현재 : 산자부 기술표
준원 생물환경표준과장

<관심분야>
세라믹, 재료