

KSKSKSKS
KSKSKSK
KSKSKS
KSKSK
KSKS
KSK
KS

KS L ISO 22197-2

KS

**파인 세라믹스 — 반도체 광촉매 재료의
공기 정화 성능 시험방법 —
제2부: 아세트알데하이드 제거
KS L ISO 22197-2:2019**

산업표준심의회

2020년 12월 30일 제정

심 의 : 세라믹 기술심의회

	성 명	근 무 처	직 위
(회 장)	이 회 수	부산대학교	교 수
(위 원)	강 재 식	한국건설기술연구원	선임연구위원
	김 동 석	한국화재보험협회 방재시험연구원	수석연구원
	김 상 명	한국건설생활환경시험연구원	본 부 장
	김 용 남	한국산업기술시험원	책임연구원
	김 준 태	공주대학교	교 수
	임 형 미	한국세라믹기술원	수석연구원
	최 용 규	한국항공대학교	교 수
	최 원 기	(주)선우시스	연 구 소 장
	박 성 기	(주)오주기연	대 표 이 사
	이 연 승	한밭대학교	교 수
(간 사)	김 세 진	국가기술표준원 표준정책국 바이오화학서비스표준과	사 무 관

원안작성협력 : 파인 세라믹스 전문위원회

	성 명	근 무 처	직 위
(대표전문위원)	김 용 남	한국산업기술시험원	책임연구원
(위 원)	오 윤 석	한국세라믹기술원	책임연구원
	황 수 환	(주)나노테크	대 표
	이 연 승	한밭대학교	교 수
	박 정 식	(주)메세텍	대 표 이 사
	김 인 섭	(주)신한세라믹	부 사 장
	김 종 호	전남대학교	교 수
	박 찬 욱	말번파날리티칼	부 장
	한 병 동	재료연구소	책임연구원
	이 태 규	(주)나노팩	대 표 이 사
	김 진 성	(주)삼성전기	책임연구원
(간 사)	이 선 홍	한국세라믹기술원	책임연구원

표준열람 : e나라표준인증(<http://www.standard.go.kr>)

제 정 자 : 산업표준심의회 위원장	담당부처 : 산업통상자원부 국가기술표준원
제 정 : 2020년 12월 30일	
심 의 : 산업표준심의회 세라믹 기술심의회	
원안작성협력 : 파인 세라믹스 전문위원회	

이 표준에 대한 의견 또는 질문은 e나라표준인증 웹사이트를 이용하여 주십시오.
 이 표준은 산업표준화법 제10조의 규정에 따라 매 5년마다 산업표준심의회에서 심의되어
 확인, 개정 또는 폐지됩니다.

목 차

머 리 말	ii
개 요	iii
1 적용범위	1
2 인용표준	1
3 용어와 정의	2
4 기호	2
5 원리	3
6 장치	3
6.1 시험 장치	3
6.2 시험 가스 공급 장치	4
6.3 광반응기	4
6.4 광원	6
6.5 아세트알데하이드 분석 시스템	6
6.6 CO ₂ 분석 시스템	7
7 시험편	7
8 절차	7
8.1 일반사항	7
8.2 시험편의 전처리	8
8.3 시험 준비	8
8.4 예비 시험	8
8.5 아세트알데하이드 제거 및 CO ₂ 전환 시험	8
8.6 아세트알데하이드 제거 시험(CO ₂ 농도가 측정되지 않을 경우)	9
9 계산	10
9.1 계산법	10
9.2 아세트알데하이드 제거율 및 제거량	10
9.3 CO ₂ 로의 전환	11
10 저성능 시험편 시험방법	11
11 시험 보고서	12
부속서 A (참고) 시험소 간 비교 시험 결과	13
참고문헌	15
KS L ISO 22197-2:2019 해 설	16

머 리 말

이 표준은 산업표준화법 관련 규정에 따라 산업표준심의회 심의를 거쳐 제정한 한국산업표준이다.

이 표준은 저작권법의 보호 대상이 되는 저작물이다.

이 표준의 일부가 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 저촉될 가능성이 있다는 것에 주의를 환기한다. 관계 중앙행정기관의 장과 산업표준심의회는 이러한 기술적 성질을 가진 특허권, 출원공개 이후의 특허출원, 실용신안권 또는 출원공개 후의 실용신안등록출원에 관계되는 확인에 대하여 책임을 지지 않는다.

개 요

이 표준은 2019년 제2판으로 발행된 ISO 22197-2, Fine ceramics(advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials — Part 2: Removal of acetaldehyde를 기초로, 기술적 내용 및 대응국제표준의 구성을 변경하지 않고 작성한 한국산업표준이다.

파인 세라믹스 — 반도체 광촉매 재료의 공기 정화 성능 시험방법 — 제2부: 아세트알데하이드 제거

Fine ceramics(advanced ceramics, advanced technical ceramics) —
Test method for air-purification performance of semiconducting
photocatalytic materials — Part 2: Removal of acetaldehyde

1 적용범위

이 표준은 일반적으로 이산화타이타늄과 같은 반도체 세라믹 재료(금속 산화물)로 만들어진 광촉매 재료 또는 광촉매 막을 가진 재료에 대하여, 자외선(UV-A) 조사하에서 대기 오염 물질을 연속적으로 노출시키는 방식으로, 이들 재료의 공기 정화 성능을 측정하는 시험방법에 대하여 규정한다.

이 표준은 평면 시트형, 보드형 또는 판형 건설 자재와 같은 다양한 종류의 재료에 적용할 수 있다.

또한, 이 표준은 허니콤(honeycomb), 직물 및 부직물을 포함하는 구조형 필터 재료뿐만 아니라, 세라믹 미세 결정체와 세라믹 복합체를 함유한 플라스틱이나 종이 재료에도 적용이 가능하다. 이 표준은 분말형이나 과립형 광촉매 재료에는 적용되지 않는다.

이 시험방법은 일반적으로 공기 정화용 광촉매 재료에 적용 가능하다. 이 방법은 수질 오염 물질 분해, 자기 세정, 김 서림 방지 및 항균 작용 등, 광촉매 재료가 야기하는 다른 성능을 시험하는 데에는 적합하지 않다. 이 시험방법은 아세트알데하이드 제거에 관한 것이다.

2 인용표준

다음의 인용표준은 전체 또는 부분적으로 이 표준의 적용을 위해 필수적이다. 발행연도가 표기된 인용표준은 인용된 판만을 적용한다. 발행연도가 표기되지 않은 인용표준은 최신판(모든 추록을 포함)을 적용한다.

KS A ISO 80000-1:2009, 양 및 단위 — 제1부: 일반사항

KS I ISO 4224, 대기 — 일산화탄소 측정 — 비분산 적외선 분광법

KS I ISO 16000-3, 실내 공기 — 제3부: 실내 공기와 시험 챔버 공기 중 폼알데하이드와 그 외의 카보닐 화합물 측정 — 액티브 채취 방법

KS Q ISO/IEC 17025, 시험 및 교정 기관의 적격성에 대한 일반 요구사항

ISO 10677, Fine ceramics(advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Ultraviolet light source for testing semiconducting photocatalytic materials

3 용어와 정의

이 표준의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

참고 ISO 및 IEC는 다음 사이트에서 표준화에서 사용하는 주요 용어 데이터베이스를 관리한다.

— ISO Online browsing platform: <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: <http://www.electropedia.org/>

3.1

광촉매(photocatalyst)

광 조사하에서의 산화-환원 반응에 기초하여, 대기 오염 물질 또는 수질 오염 물질의 분해와 제거, 탈취, 항균, 자기 세정, 김 서림 방지 등의 기능을 나타내는 물질

3.2

광촉매 재료(photocatalytic materials)

광촉매를 코팅, 함침, 혼합 등의 방식에 의해 내부 혹은 표면에 첨가한 재료

비고 이러한 광촉매 재료는 3.1에 언급한 기능을 얻기 위해 주로 건물, 도로의 재료로 사용된다.

3.3

영점 보정용 가스(zero-calibration gas)

오염 물질을 포함하지 않은 공기(일반 오염 물질 함량은 0.01 $\mu\text{L/L}$ 미만이고, 이산화탄소 함량은 0.1 $\mu\text{L/L}$ 미만인 것)

비고 영점 보정용 가스는 공기 정화 시스템을 거친 실내 공기 또는 상용 합성 공기(가스 실린더)를 사용한다.

3.4

표준 가스(standard gas)

공인 시험 기관에서 인증하여 실린더로 공급되는 정확한 농도의 희석 가스

3.5

시험 가스(test gas)

광촉매 재료(3.2)의 성능 시험을 위하여 만들어진 정확한 농도의 공기-오염 물질 혼합 가스로, 표준 가스(3.4) 또는 영점 보정용 가스(3.3)로 만들어진 가스

3.6

암조건(dark condition)

시험용 광원 및 실내 조명용 광원에 의한 광 조사가 없는 시험 조건

4 기호

이 표준에서는 다음의 기호를 적용한다.

f	표준 상태(0 $^{\circ}\text{C}$, 101.3 kPa)로 환산한 공기 유량(L/min)
ϕ_A	반응기 배출구에서의 아세트알데하이드 부피분율($\mu\text{L/L}$)
ϕ_{AD}	암조건에서 반응기 배출구에서의 아세트알데하이드 부피분율($\mu\text{L/L}$)

ϕ_{A0}	공급 아세트알데하이드 부피분율($\mu\text{L/L}$)
ϕ_{CO_2}	UV 조사에 의해 생성된 이산화탄소(CO_2) 부피분율($\mu\text{L/L}$)
$\phi_{\text{CO}_2,L}$	UV 조사하에서 반응기 배출구에서의 CO_2 부피분율($\mu\text{L/L}$)
$\phi_{\text{CO}_2,D}$	암조건에서 반응기 배출구에서의 CO_2 부피분율($\mu\text{L/L}$)
$\phi_{\text{CO}_2,D\text{post}}$	UV 조사 후 암조건에서의 CO_2 부피분율($\mu\text{L/L}$)
$\phi_{\text{CO}_2,D\text{pre}}$	UV 조사 전 암조건에서의 CO_2 부피분율($\mu\text{L/L}$)
n_A	시험편에 의해 제거된 아세트알데하이드 양(μmol)
n_{CO_2}	아세트알데하이드에서 전환된 CO_2 양(μmol)
R_A	시험편에 의해 제거된 아세트알데하이드 제거율(%)
R_{CO_2}	아세트알데하이드에서 전환된 CO_2 비율(%)

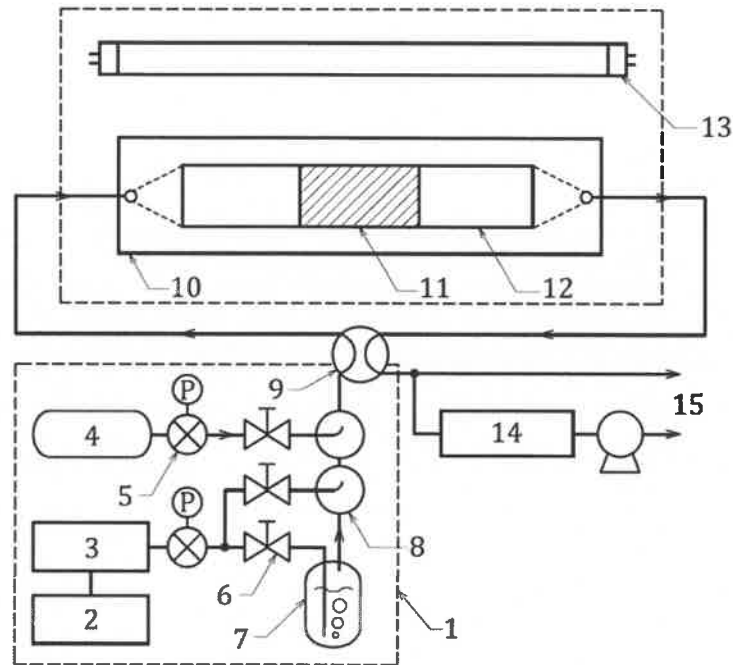
5 원리

이 표준은 광촉매 재료의 개발, 비교, 품질 보장, 특성화 및 신뢰성 데이터 설계 생성을 다룬다(참고 문헌 [1]). 이 방법은 자외선(UV) 조사하에서 모의 시험 가스에 시험편을 노출하였을 때, 광촉매 재료의 공기 정화 성능을 시험하기 위하여 고안되었다(참고문헌 [2]). 아세트알데하이드(CH_3CHO)는 적은 분자량과 악취를 가진 전형적인 휘발성 유기 물질(VOC, volatile organic compound)로 선택되었다(참고문헌 [3]). 흐름형(flow-type) 광반응기에 놓여 있는 시험편은 자외선 조사하에서 활성화되어, 그 표면에 가스상(gas-phase)의 아세트알데하이드를 흡착, 산화시켜 이산화탄소(CO_2) 및 다른 산화 물질을 생성한다. 공기 정화 성능은 시험편에 의해 흡착된 아세트알데하이드 양(μmol)으로 결정된다. (광촉매 반응이 아닌) 시험편에 의한 단순 흡착은 암조건 시험에서 평가된다. 그러나 일부 시험편은 아세트알데하이드를 매우 강하게 흡착하기 때문에, 정해진 시험 기간 내에 아세트알데하이드 농도가 안정되지 않을 수도 있다. 광촉매 활성화는 주로 흡착 프로세스가 관여하기 때문에 오염 물질의 물리적 및 화학적 특성에 따라 영향을 받게 된다. 더 정확한 공기 정화 성능 평가를 위해서는 KS L ISO 22197 시리즈의 다른 부에서 규정하는 하나 이상의 적합한 시험방법과 조합할 것을 추천한다.

6 장치

6.1 시험 장치

시험 장치는 광촉매를 활성화하기 위해 광을 조사하면서 시험 가스를 연속적으로 공급하여, 광촉매 재료에 대한 오염 물질 제거 능력을 평가할 수 있어야 한다. 시험 장치는 산화질소 제거를 위한 시험방법(참고문헌 [2])에서 사용되는 것과 동일하며, 시험 가스 공급 장치, 광반응기, 광원 및 시험 가스 측정 장치로 구성된다. 낮은 농도의 오염 물질을 시험하기 때문에, 흡착성이 낮고 자외선(UV) 내 구성을 가지는 재료(아크릴 수지, 붕규산 유리)로 시스템을 구성한다. 시험 시스템의 예는 그림 1과 같다.



식별부호

- | | |
|----------------|------------|
| 1 시험 가스 공급 장치 | 9 4방향 밸브 |
| 2 공기 컴프레서 | 10 광반응기 |
| 3 공기 정제 시스템 | 11 시험편 |
| 4 표준 가스(오염 물질) | 12 기밀 광학 창 |
| 5 압력 조절기 | 13 광원 |
| 6 질량 유량 조절기 | 14 분석기 |
| 7 가습기 | 15 배출 |
| 8 가스 혼합기 | |

그림 1 — 시험 장치의 개략도

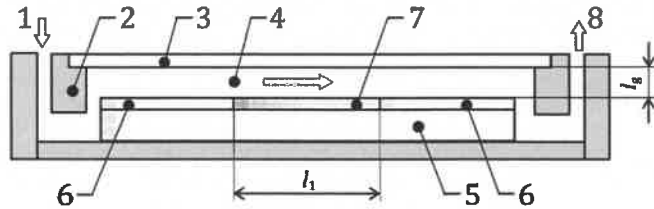
6.2 시험 가스 공급 장치

시험 가스 공급 장치는 미리 정해진 농도, 온도, 습도로 준비한 모의 오염 물질을 공기와 혼합하여 광반응기에 연속적으로 공급한다. 시험 가스 공급 장치는 유량 조절기, 가습기, 가스 혼합기 등으로 구성되어 있다. 각 가스의 유량은 온도와 가스 종류에 대한 정보에 기초하여 KS I ISO 6145-7(참고문헌 [4])에 따라 교정한 열식 질량 유량 조절기(thermal mass-flow controller)를 이용하여 미리 정한 값의 5% 이내로 유지할 수 있어야 한다. 이 표준에 있어서 가스 유량은 표준 상태(0 °C, 101.3 kPa)로 변환하여 표시한다. 시험 가스, 건조 공기 및 습윤 공기에 사용하는 전형적인 가스 유량 조절기의 용량은 각각 100 mL/min, 1 000 mL/min 및 1 000 mL/min이다. 일반적으로 질소와 혼합 상태로 실린더에 들어 있는 희석 전의 표준 아세트알데하이드 가스는 50 µL/L에서 250 µL/L의 부피분율 값을 갖는다. 아세트알데하이드로부터 변환되는 CO₂를 측정할 경우에도 합성 공기(N₂ + O₂, 실린더 공급형)를 희석 용으로 사용한다.

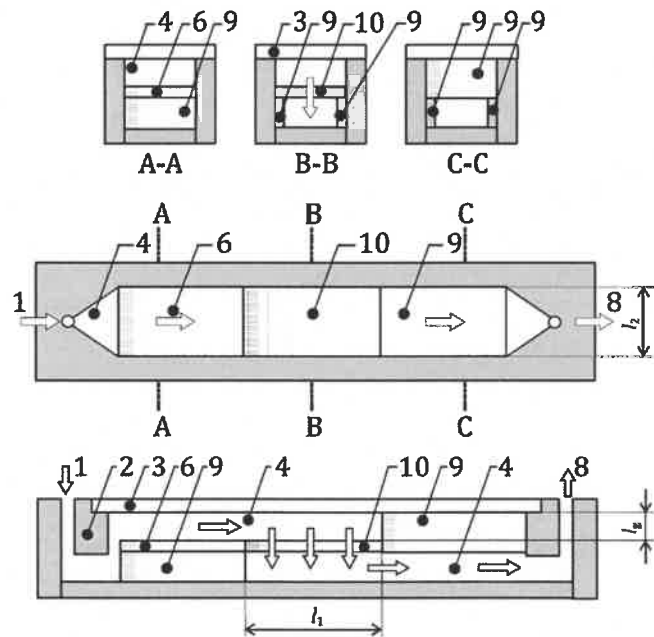
6.3 광반응기

광반응기는 너비 50 mm의 평판형 시험편을 광이 투과되는 광학 창(optical window)에 평행하게 장착할 수 있어야 한다. 반응기는 근자외선의 조사에 견딜 수 있고 시험 가스를 적게 흡착하는 재료로

만든다. 시험편은 광학 창으로부터 공기층 두께인 $5.0\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 만큼 간격을 두어 위치시키고, 시험 가스는 시험편과 광학 창 사이 공간을 통해서만 통과해야 한다. 이 간격은 그림 2 a)에서의 같이 두께가 다른 높이 조절판을 사용하여, 시험편의 두께에 맞추어 정확하게 조절한다. 필터 형태의 광촉매 재료를 시험할 경우, 시험 가스가 광 조사가 이루어지는 지점 아래에 위치한 필터 셀 부분에서 시험 가스가 통과할 수 있는 다른 형태의 시험편 홀더로 대체할 수 있다(그림 2 b)). 광학 창의 소재는 300 nm 이상의 긴 파장 빛을 최소 한도로 흡수하는 석영 또는 붕규산 유리를 사용한다.



a) 평판형 시험편의 경우



b) 필터형 시험편의 경우

시험편 길이 l_1	시험편 너비 l_2	공기층 두께 l_g
99.0 mm \pm 1.0 mm	49.0 mm \pm 1.0 mm	5.0 mm \pm 0.5 mm

식별부호

- | | |
|-------------|-------------|
| 1 시험 가스 유입구 | 6 보조판 |
| 2 칸막이 | 7 시험편(평판형) |
| 3 기밀 광학 창 | 8 시험 가스 배출구 |
| 4 유동 경로 | 9 시험편 홀더 |
| 5 높이 조절판 | 10 시험편(필터형) |

그림 2 — 광반응기의 단면

6.4 광원

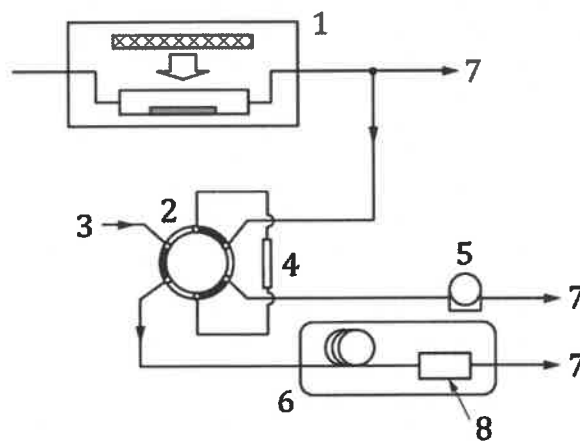
광원은 파장 범위가 300 nm ~ 400 nm 이내인 UV-A를 공급한다. 적절한 광원은 ISO 10677에 규정된 것처럼, 351 nm 또는 368 nm에서 최댓값을 가지는 블랙 라이트(BL, black light)와 블랙 라이트 블루(BLB, black light blue) 형광 램프, 300 nm 이하의 파장을 막아주는 광 필터가 부착된 제논 아크 램프를 포함한다. 제논 아크 램프의 경우, ISO 10677에 따른 냉각 시스템이 필요하다. 광원으로부터 방사된 빛은 광학 창을 통해 균일하게 시험편에 조사되어야 한다. 필터 형태의 광축매를 시험할 경우, 광원은 시험편의 한 쪽 표면을 조사해야 한다. 예열이 필요한 광원은 가리개(shutter)를 갖추고 있어야 한다. 광원과 반응기의 거리는 시료 표면에 UV(300 nm ~ 400 nm)가 10 W/m² ± 0.5 W/m² 정도가 조사되도록 조정되어야 한다. 이 거리는 광반응기가 없는 상태에서 독립적으로 정한다. UV 측정기는 ISO 10677에 부합하는 것으로, 광학 창 또는 이에 상응하는 재료 아래 부분에서 측정한다. 시험편 길이 방향에 따른 조도 차이는 ±5 % 이내로 일정해야 한다. 필요할 경우, 반응기는 외부 빛으로부터 차단되어야 한다.

6.5 아세트알데하이드 분석 시스템

아세트알데하이드의 농도는 기체 크로마토그래피(GC, gas chromatography) 또는 2,4-디니트로페닐히드라진 유도체화 고성능 액체 크로마토그래피(DNPH/HPLC)로 측정한다.

기체 크로마토그래피의 경우, 저분자 유기 화합물의 분리가 가능한 충전 컬럼(packed column) 또는 캐필러리 컬럼(capillary column)을 사용할 수 있다. 검출은 불꽃 이온화 검출기(FID, flame ionization detector) 또는 광 이온화 검출기(PID, photoionization detector)로 한다. 시험 가스는 기밀식 주사기(gas tight syringe)로 채취한다. 그러나 재현성과 자동 샘플링 측면에서 6방향 밸브의 사용을 권장한다. 6방향 밸브를 사용할 때의 개략도는 그림 3과 같다. 작은 샘플링 펌프를 이용하여 시험 가스를 연속적으로 계량 튜브에 흘려보낸다. 6방향 밸브를 전환하여 시험 가스를 채취하면 펌프는 정지한다. 계량 튜브의 부피는 일반적으로 0.5 mL이지만, 분석 시스템의 감도에 따라 결정된다.

DNPH/HPLC 방법의 경우, KS L ISO 16000-3에 명시된 시약, 장치 및 절차에 따른다.



식별부호

- | | |
|----------|--------------|
| 1 광반응기 | 5 샘플링 펌프 |
| 2 6방향 밸브 | 6 기체 크로마토그래프 |
| 3 운반 가스 | 7 배출 |
| 4 계량 튜브 | 8 FID 또는 PID |

그림 3 — 가스 분석 시스템의 예

6.6 CO₂ 분석 시스템

CO₂ 농도는 비분산 적외선 CO₂ 분석기 또는 메탄 화로(methanizer furnace)가 장착된 기체 크로마토 그래프를 사용하여 측정한다. 시스템의 교정은 KS I ISO 4224에 따라 수행한다. 기체 크로마토그래프를 이용하는 경우, 시험 가스는 6.5에 서술한 방법으로 채취한다.

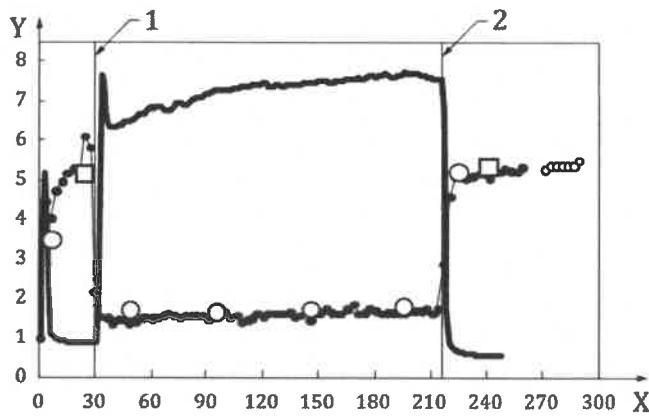
7 시험편

시험편은 너비 49.0 mm ± 1.0 mm, 길이 99.0 mm ± 1.0 mm의 평판형 재료 또는 필터형 재료로 한다. 이를 위해 큰 덩어리 또는 코팅된 판을 자르거나 크기를 맞추어 준비한 기판을 코팅하여 시험편을 만든다. 시험편의 두께는 측면의 영향을 최소화하기 위해 5 mm 이내로 하는 것이 이상적이다. 두꺼운 시험편을 사용해야 한다면, 시험 전에 불활성 물질로 측면을 가려야 한다. 필터형 시험편의 두께는 20 mm보다 두꺼워서는 안 된다.

8 절차

8.1 일반사항

시험 절차는 시험편의 전처리, 압조건에서의 흡착 과정, 광 조사하에서 아세트알데하이드의 제거 및 CO₂ 생성에 대한 측정으로 이루어진다. 시험 중 아세트알데하이드와 CO₂ 농도 변화 예는 그림 4와 같다. 일부 시험편에서 CO₂의 측정이 불가능할 수도 있다. 광촉매 활성이 낮은 일부 시험편은 아세트알데하이드 제거를 정확하게 확인하지 못할 수도 있는데, 이런 경우는 10절의 절차에 따라 시험편에 주입하는 아세트알데하이드의 농도를 낮추어 시험할 수 있다. 시험소 간 비교 시험 결과는 부속서 A에 나타내었다.



식별부호

- CH₃CHO 유입(GC)
- CH₃CHO 배출(GC)
- CH₃CHO 유입(DNPH)
- CH₃CHO 배출(DNPH)
- CO₂

X 시간(분)

Y 아세트알데하이드 및 CO₂ 농도(μL/L)

1 광 조사 시작

2 광 조사 종료

그림 4 — 시험 중 아세트알데하이드 및 CO₂ 농도의 전형적인 변화

8.2 시험편의 전처리

8.2.1 시험편은 일반적으로 **8.2.2** 및 **8.2.3**에 따라 순차적으로 전처리되어야 한다. 시험편에 소수성 오염(hydrophobic contamination)이 있을 것으로 예상될 때, **8.2.3** 다음에 **8.2.2**를 진행할 수도 있다. 시험편에 손상을 주는 경우, **8.2.2**의 절차는 생략할 수 있다. 만약, 시험편을 전처리하고 바로 시험이 이루어지지 않는 경우, 전처리된 시험편은 기밀 용기에 보관한다.

8.2.2 시험편을 탈이온수에 2시간 이상 담근 후 꺼내서 실온에서 건조한다. 시험편은 물리, 화학적 변화를 일으키지 않는 온도 범위 내에서 가열하여 건조할 수 있다(최대 120 °C). 질량 변화가 없을 때까지 건조한다. 건조 방법 및 세척수에 침전물이 형성되는 것과 같은 관찰 사항은 기록하여야 한다.

8.2.3 시험편 표면의 잔류 유기물을 분해하기 위해 최소 16시간(최대 24시간) 동안 UV를 조사한다. 시험편 표면의 UV 조사는 유기물을 완전히 분해시킬 수 있도록 충분히 이루어져야 한다(10 W/m² ~ 20 W/m²).

8.3 시험 준비

8.3.1 25.0 °C ± 2.5 °C에서 5.0 µL/L ± 0.25 µL/L의 아세트알데하이드 농도와 1.56 % ± 0.16 % (부피분율)의 수증기가 혼합된 시험 가스를 안정적으로 공급할 수 있도록 시험 가스를 미리 준비한다. 이 수증기 부피분율은 25 °C에서 50 %의 상대습도에 해당한다. 상대습도는 인증된 참조 표준에 따라 추적 가능한 방법으로 교정된 습도계(±3 %의 상대습도 정확도를 가질 것)를 사용하여 측정한다. 반응기 유입구의 유량이 1.0 L/min(0 °C, 101.3 kPa)이 되도록 유량 조절기를 조절한다. 광원에서 시험편 표면으로 조사된 광 조사량을 측정하고 기록한다. 예열이 필요한 광원의 경우, 조사량 측정 및 아세트알데하이드 제거 시험을 위한 광 조사 전에 전원을 켜다. 광반응기로의 불필요한 광 조사를 막기 위해 가리개를 적절히 사용한다.

8.3.2 광반응기 중앙에 시험편을 놓고 시험편과 광학 창 사이의 공기층을 5.0 mm ± 0.5 mm로 조절한다. 다음, 광학 창을 붙인다. 필요한 경우, 높이 조절판을 사용하여 시험편의 상단을 기준으로 높이 차이가 1.0 mm 이내가 되도록 조절한다. O-ring과 같은 밀폐재가 유리창에 꼭 붙었는지 눈으로 확인하고 반응기가 밀폐되었는지 조사한다.

8.4 예비 시험

DNP/HPLC 방법으로는 아세트알데하이드의 농도를 바로 측정할 수 없기 때문에, 시험 중 암조건에서 포화에 도달하는 아세트알데하이드의 흡착 시간을 확인할 수 없다. 이러한 이유로 다음과 같은 예비 시험을 진행한다. 다만, 기체 크로마토그래피법으로 농도를 측정하고, 시험 중 포화 시간을 확인할 수 있는 경우에는 예비 시험을 진행할 필요가 없다.

8.2의 전처리 및 **8.3**의 시험 준비 이후, 시험 가스를 반응기에 주입한다. 암조건에서 매 15분마다 아세트알데하이드 농도를 측정한다. 초기 측정에서 아세트알데하이드 농도가 공급 가스 농도의 90 %를 초과할 때, 그 시간 및 그 시간에서의 농도는 각각 암조건 시간과 농도로 정의한다. 90분 경과 후에도 아세트알데하이드의 농도가 여전히 90 % 미만일 때는 이 표준을 적용할 수 없다.

8.5 아세트알데하이드 제거 및 CO₂ 전환 시험

8.5.1 영점 교정용 가스의 CO₂ 농도를 줄이기 위해, CO₂를 0.1 µL/L 이하로 함유한 합성 공기(가스 실린더)를 사용하여 다음과 같이 시험한다.

8.5.2 8.3에 따라 시험편을 준비한다. 예비 시험에서 사용한 시험편을 재사용할 경우, 8.2에 기술된 전처리를 다시 수행하여야 한다.

8.5.3 시험 시스템 내부의 CO₂를 제거하기 위해, 광반응기에 CO₂가 포함되지 않은 공기를 충분히 공급한다.

반드시 유량이 1.0 L/min일 필요는 없다. 유량이 높을수록 시스템 내의 CO₂를 더 빨리 제거할 수 있다.

8.5.4 25.0 °C ± 2.5 °C에서 1.56 % (부피분율)의 수증기를 함유하는 영점 보정용 가스를 공급하고 CO₂ 농도를 측정한다. CO₂ 농도가 낮고 안정한지 확인한다. 광 조사하에서 CO₂ 농도를 측정한 뒤, 광 조사를 멈추고 CO₂ 농도를 다시 측정한다. 광 조사 여부에 따른 CO₂ 농도 차이가 1 µL/L 미만이면, 다음 단계를 진행한다. 광 조사 시 다량의 CO₂가 발생하는 경우, 시험편이 잘 전처리 되지 않았거나, 유기물에 의한 오염 또는 UV 조사에 의한 시험편 내 바인더의 분해를 의심할 수 있다. UV를 충분히 조사하는 등의 전처리 후에도 앞서 언급한 조건이 충족되지 않으면 CO₂로의 전환은 측정하지 않고(8.6 진행), 전처리 후 시험편이 안정적이지 않다고 기록한다.

30분간의 CO₂ 농도 변화는 0.1 µL/L 이하이어야 한다.

8.5.5 8.3.1에 설명된 절차에 따라 측정을 준비한다.

8.5.6 예비 시험이 완료된 경우, 사전에 결정된 암조건(흡착) 시간 동안 시험 가스를 광반응기에 공급(암조건 시간이 30분 미만일 경우, 30분 동안 공급)하고 CO₂ 농도를 측정한다. 예비 시험이 수행되지 않은 경우에는 다음의 절차를 진행한다. 우선, 광반응기에 시험 가스를 공급하고, 30분간 암조건에서 아세트알데하이드와 CO₂의 농도 변화를 기록하여 시험편의 흡착력을 관찰한다. 다만, 30분 후에도 아세트알데하이드의 농도가 공급하는 가스 농도의 90 % 미만일 경우, 이 비율을 초과할 때까지 계속해서 진행한다. 90분 후에도 농도가 공급하는 가스 농도의 90 %를 넘지 않으면 측정을 중지하고, 해당 시험편은 이 시험방법을 적용할 수 없다고 보고한다. 마지막 30분 동안 측정된 CO₂ 농도(2개 값 이상)의 평균값은 자외선 조사 전 암조건에서의 CO₂ 농도($\phi_{CO_2,Dpre}$)가 된다.

8.5.7 가스 흐름을 유지하면서 시험편에 광 조사를 시작한 뒤, 3시간 동안 광 조사하에서 아세트알데하이드 및 CO₂의 농도를 연속적으로 기록한다. 아세트알데하이드의 광촉매 분해가 일어나면 그림 4와 같이 아세트알데하이드 농도는 낮아지고 CO₂ 농도는 증가하며, 시간이 지남에 따라 안정화된다. 농도는 연속적으로 측정하는 것이 바람직하지만, 측정 횟수에 제한이 있을 경우에는 1시간에 적어도 1회를 측정해야 한다. 또한, 마지막 1시간(광 조사 후 120분 ~ 180분 경과 시점) 동안에는 3회 이상을 측정해야 한다. 제거율 계산에 사용되는 아세트알데하이드 농도(ϕ_A)와 CO₂ 농도($\phi_{CO_2,L}$)는 마지막 1시간 동안 측정된 농도(3개 이상의 측정값)의 평균값이다.

8.5.8 광 조사를 중단하고, 다시 암조건에서 CO₂ 농도를 측정한다. CO₂ 농도가 안정된 이후 30분 동안 측정된 농도(2개 이상의 측정값)의 평균값을, UV 조사 후 암조건에서의 CO₂ 농도($\phi_{CO_2,Dpost}$)로 보고한다.

30분간 CO₂ 농도 변화는 0.1 µL/L 이하이어야 한다.

8.5.9 반응기에 시험 가스 공급을 중단하고 시험편을 제거한다.

8.6 아세트알데하이드 제거 시험(CO₂ 농도가 측정되지 않을 경우)

8.6.1 시험편을 전처리하고, 8.2 및 8.3에 따라 시험을 준비한다.

8.6.2 예비 시험(8.4)이 수행된 경우, 사전에 결정된 흡착(압조건) 시간 동안 시험 가스를 광반응기에 공급한다. 예비 시험이 수행되지 않은 경우에는 다음의 절차를 진행한다. 압조건에서 광반응기에 시험 가스를 공급하고 아세트알데하이드의 농도를 측정한다. 측정한 아세트알데하이드의 농도가 공급가스 농도와 같아지면 광 조사를 시작한다. 30분 후에도 아세트알데하이드의 농도가 공급하는 가스 농도의 90 % 미만일 경우, 이 비율을 초과할 때까지 계속해서 진행한다. 90분 후에도 농도가 공급하는 가스 농도의 90 %를 넘지 않으면 측정을 중지하고, 해당 시험편에 이 시험방법을 적용할 수 없다고 기록한다.

8.6.3 가스 흐름을 유지하면서 시험편에 광 조사를 시작한 뒤, 3시간 동안 광 조사하에서 아세트알데하이드의 농도를 기록한다. 아세트알데하이드의 광축매 분해가 일어나면 농도는 그림 4와 같이 낮아지고, 시간이 지남에 따라 안정화된다. 아세트알데하이드의 농도는 연속적으로 측정하는 것이 바람직하지만, DNPH/HPLC 분석법으로 측정 횟수에 제한이 있을 경우에는 1시간에 적어도 1회를 측정해야 한다. 또한, 마지막 1시간(광 조사 후 120분 ~ 180분 경과 시점) 동안에는 3회 이상을 측정해야 한다. 제거율 계산에 사용되는 아세트알데하이드 농도는 마지막 1시간 동안 측정된 농도(3개 이상의 측정값)의 평균값이다.

8.6.4 광 조사를 중단하고, 공급 가스 아세트알데하이드의 농도(5.0 µL/L)가 회복되는지를 확인한다.

8.6.5 반응기에 시험 가스 공급을 중단하고 시험편을 꺼낸다.

9 계산

9.1 계산법

시험 결과는 다음과 같이 계산한다. 계산된 값은 일반적으로 KS A ISO 80000-1에 따라 소수 첫째 자리로 반올림한다. 시험 가스 유량(f)은 표 준상태(0 °C, 101.3 kPa)에서 1.0 L/min이다.

9.2 아세트알데하이드 제거율 및 제거량

ϕ_A 가 식(1)을 만족하지 않는 경우, 즉, 압조건 및 광조건에서의 아세트알데하이드 농도 차이가 공급된 아세트알데하이드 농도의 5 % 미만인 경우, 이 시험방법을 적용할 수 없다. 아세트알데하이드의 제거율은 식(2)를 사용하여 계산한다. R_A 이 5 % 미만이거나 95 %를 초과한 경우, 불확실하기 때문에 각각 “5 % 미만” 또는 “95 % 초과”와 같이 제거율을 나타내어야 한다. 제거된 양은 식(3)에 따라 계산된다. R_A 의 경우와 마찬가지로 n_A 가 5 % 미만이거나 95 %를 초과한 경우, 제거된 양은 각각 “5 % 미만” 또는 “95 % 초과”로 나타내어야 한다.

$$\phi_A \leq \phi_{AD} - \phi_{A0} \times 0.05 \tag{1}$$

$$R_A = \frac{\phi_{A0} - \phi_A}{\phi_{A0}} \times 100 \tag{2}$$

$$n_A = R_A \times \frac{\phi_{A0} \times f \times 60}{100 \times 22.4} \tag{3}$$

여기에서

- R_A : 시험편에 의해 제거된 아세트알데하이드의 제거율(%)
- ϕ_{AD} : 압조건에서 반응기 배출구에서의 아세트알데하이드 부피분율(µL/L)
- ϕ_{A0} : 공급 아세트알데하이드 부피분율(µL/L)
- ϕ_A : 반응기 배출구에서의 아세트알데하이드 부피분율(µL/L)
- n_A : 마지막 1시간 동안 시험편에 의해 제거된 아세트알데하이드 양(µmol)
- f : 표준 상태(0 °C, 101.3 kPa)로 환산한 시험 가스 유량(L/min)

9.3 CO₂로의 전환

UV 조사에 의해 생성된 CO₂ 부피분율은 식(4)에 의해 계산되고, CO₂로의 전환율 R_{CO₂}는 식(5)에 의해 계산된다. R_{CO₂}가 5 % 미만이거나 95 %를 초과한 경우 “5 % 미만” 또는 “95 % 초과”라고 표시한다.

전환된 CO₂의 양(n_{CO₂})은 식(6)에 의해 계산된다. R_{CO₂}가 5 % 미만이거나 95 %를 초과한 경우, R_{CO₂}에 각각 5 또는 95를 대입하여 n_{CO₂}를 계산한다.

$$\phi_{CO_2} = \phi_{CO_2,L} - \phi_{CO_2,D} \tag{4}$$

$$R_{CO_2} = \frac{\phi_{CO_2} \times 100}{2 \times \phi_{A_0}} \tag{5}$$

$$n_{CO_2} = R_{CO_2} \times \frac{2 \times \phi_{A_0} \times f \times 1.016 \times 60}{100 \times 22.4} \tag{6}$$

여기에서

- φ_{CO₂} : UV 조사에 의해 생성된 이산화탄소 부피분율(μL/L)
- φ_{CO₂,L} : UV 조사하에서 반응기 배출구에서의 이산화탄소 부피분율(μL/L)
- φ_{CO₂,D} : 압조건에서 반응기 배출구에서의 이산화탄소 부피분율(μL/L)
- R_{CO₂} : 아세트알데하이드에서 전환된 이산화탄소의 비율(%)
- n_{CO₂} : 마지막 1시간 동안 아세트알데하이드에서 전환된 이산화탄소의 양(μmol)

압조건 하에서의 CO₂ 부피분율은 식(7)로 계산하고 UV 조사 전후로 측정된 CO₂ 부피분율의 평균값이며, UV 조사 전후에 1.0 μL/L 이상 변하지 않아야 한다.

$$\phi_{CO_2,D} = \frac{\phi_{CO_2,Dpre} + \phi_{CO_2,Dpost}}{2} \tag{7}$$

여기에서

- φ_{CO₂,Dpre} : UV 조사 전 압조건에서의 이산화탄소 부피분율(μL/L)
- φ_{CO₂,Dpost} : UV 조사 후 압조건에서의 이산화탄소 부피분율(μL/L)

10 저성능 시험편 시험방법

제거율이 5 % 미만인 시험편에 대해 더 정확한 시험 결과가 요구되는 경우, 표 1과 같이 시험편의 개수와 시험 가스의 유량을 동시에 변경할 수 있다. 그러나 가스 유량을 0.5 L/min으로 하면, 시험 보고서의 아세트알데하이드의 제거량 및 CO₂로의 전환량은 식(3) 및 식(6)으로부터 계산된 값의 절반이 된다. 시험 조건이 변경되면, 변경된 시험 조건에서의 흡착(압조건)을 확인해야 한다.

표 1 — 대체 시험 조건

변경 가능한 시험 조건	변경 조건
시험 가스 유량	0.5 L/min ± 0.025 L/min
시험편의 개수	시험편 2개(50 mm × 200 mm의 표면적)

11 시험 보고서

시험 보고서는 KS Q ISO/IEC 17025의 규정에 의거하여 작성하며, 아래의 정보가 포함되어야 한다. g), h) 및 i)는 각 시험마다 보고한다.

- a) 시험 기관의 명칭 및 주소
- b) 일시, 보고서 각 페이지 확인, 고객 주소 및 이름, 보고서의 서명
- c) 이 표준에 대한 언급, 즉, KS L ISO 22197-2 적용
- d) 시험일, 온도 상태, 상대습도
- e) 시험편 설명(예: 재료, 크기, 모양)
- f) 시험 장치 설명(예: 사양)
- g) 시험 조건(예: 시험 가스 종류, 공급 가스 농도, 수증기 농도, 유량, 광원 세부 정보, 광 조사 방식, 사용한 분석 장치 및 UV 측정기, 전처리 조건, 10절에 따른 대체 시험 조건)
- h) 마지막 1시간 동안의 아세트알데하이드 제거량과 CO₂ 생성량, 아세트알데하이드 제거율(선택 사항) 및 CO₂ 전환율(선택 사항), 시험 또는 CO₂ 측정이 유효하지 않은 경우, 그에 대한 이유(예: 아세트알데하이드의 강한 흡착)
- i) 기타 소견 및 관찰 사항(시험 중 발견된 시험편의 변화 등)

부속서 A
(참고)

시험소 간 비교 시험 결과

시험소 간 비교 시험(round robin test)은 7개의 협력 실험실에서 이루어졌다. 각 실험실은 광반응기를 포함한 시험 장치를 별도로 준비하였다. 주관하는 실험실은 각 실험실을 방문하여 아세트알데하이드 표준 가스 실린더(5 µL/L, N₂ 기준), 교정된 가스 유량 측정기 및 UV-A 측정기로 해당 장치를 검사하고 교정하였다. 각 실험실은 제공된 시트형 및 필터형 광촉매를 사용하여 4번의 시험을 하였으며, 그 결과는 표 A.1과 같다.

표 A.1 — 비교 시험 결과

단위: µmol

시험편	양	차수	실험실 A	실험실 B	실험실 C	실험실 D	실험실 E	실험실 F	실험실 G
시트형	아세트알데하이드 제거	1	9.93	11.20	9.93	10.24	9.40	8.35	7.30
		2	10.23	11.31	9.07	10.14	8.92	9.10	7.19
		3	9.99	11.33	9.20	10.33	8.46	8.51	—
		4	9.99	11.06	9.13	10.28	8.67	8.75	—
	이산화탄소 생성	1	13.79	13.82	—	15.61	—	—	13.86
		2	14.83	20.79	—	14.11	—	—	14.41
		3	14.88	17.50	—	15.69	—	—	13.47
		4	15.25	21.03	—	14.31	—	—	14.57
필터형	아세트알데하이드 제거	1	13.08	11.94	12.59	13.02	12.94	—	12.72
		2	13.02	11.75	12.66	12.89	12.52	—	12.24
		3	13.22	11.64	12.57	12.93	12.68	—	—
		4	13.18	11.65	12.62	12.98	12.76	—	—
	이산화탄소 생성	1	22.78	12.86	—	18.41	—	—	18.88
		2	21.12	14.24	—	17.92	—	—	18.66
		3	20.54	19.29	—	14.31	—	—	—
		4	20.34	24.24	—	14.34	—	—	—
분석법		GC/FID, NDIR	GC/FID, NDIR	DNPH/HPLC	GC/FID 메탄화 GC/FID	GC/FID	DNPH/HPLC	DNPH/HPLC, NDIR	

전체적인 평균, 반복 표준편차 및 재현 표준편차는 KS A ISO 5725-2(참고문헌 [5])에 따라 계산되었으며, 그 결과는 표 A.2와 같이 요약된다.

표 A.2 — KSA ISO 5725-2로부터 얻은 통계 자료

단위: μmol

시험편	전체 평균		반복 표준편차		재현 표준편차	
	CH ₃ CHO	CO ₂	CH ₃ CHO	CO ₂	CH ₃ CHO	CO ₂
시트형	9.50	14.72	0.23 (2.4%)	0.67 (4.6 %)	1.20 (13.0 %)	0.82 (5.6 %)
필터형	12.63	18.97	0.11 (0.9%)	1.65 (8.7%)	0.54 (4.3 %)	3.13 (16.0 %)
(): 상대 표준편차						

추가 시험에서, 시트형 유리, 종이, 섬유, 페인트 등과 같은 다른 광촉매 시료를 대상으로 얻어진 제거 결과는 $2.0 \mu\text{mol}$ 미만에서 $29.3 \mu\text{mol}$ 로 다양한 결과를 얻었는데, 이는 이 시험방법의 광촉매 성능이 다른 시험편과의 차이를 구분할 수 있다는 것을 나타낸다.

참고문헌

- [1] Fujishima A., Hashimoto K., Watanabe T, "TiO₂ Photocatalysis. Fundamentals and Applications." BKC Inc., Tokyo, 1999
- [2] KS L ISO 22197-1, 파인 세라믹스 — 반도체 광촉매의 공기 정화 성능 측정 방법 — 제1부: 산화질소 제거
- [3] Ohko Y., Tryk D.A., Hashimoto K., Fujishima A., Autoxidation of acetaldehyde initiated by TiO₂ photocatalysis under weak UV illumination, J. Phys. Chem. B. 1998, 102 pp. 2699-2704
- [4] KS I ISO 6145-7, 가스 분석 — 동적 부피측정법을 이용한 교정용 혼합 가스의 제조 — 제7부: 열 질량 유량 조정기
- [5] KS A ISO 5725-2, 측정 방법 및 측정 결과의 정확도(진도 및 정밀도) — 제2부: 표준 측정 방법의 반복 정밀도 및 재현 정밀도를 구하기 위한 기본적 방법

KS L ISO 22197-2:2019

해설

이 해설은 본체 및 부속서(규정)에 규정한 사항, 부속서(참고)에 기재한 사항 및 이들과 관련된 사항을 설명하는 것으로, 표준의 일부는 아니다.

1 제정의 필요성

광촉매(Photocatalyst)란 빛을 쬐어주었을 때 기존 광반응에 다른 메커니즘 경로를 제공하여 반응속도를 가속화하는 촉매로, 오염 물질의 분해와 제거, 탈취, 항균, 자기 세정, 김 서림 방지 등의 다양한 효과를 나타내는 기능성 파인 세라믹스의 한 종류이다. 이러한 광촉매를 활용하는 기술은 전기전자, 자동차, 건축, 환경, 의료, 보건 등 다양한 산업분야에서 적용되고 있으며, 광분해 반응을 통하여 물로부터 수소와 산소를 얻어내는 차세대 에너지 연구에도 적용되는 등 산업계에서의 활용도가 매우 높은 기술이라 할 수 있다. 광촉매 기술이 가장 활발하게 적용되는 분야는 강력한 산화-환원 반응을 통해 공기 중 유해가스를 효율적으로 제거하는 공기청정 기술, 악취유발 물질의 제거 기술, 물 속의 계면활성제 또는 유기물들을 분해하는 정수 기술 등과 같은 환경산업 분야이며, 광촉매 성능 평가방법에 대한 표준화 역시 환경오염물질의 제거 성능 평가방법을 중심으로 진행되고 있다.

광촉매에 의한 환경오염물질 제거 성능은 광촉매 시편의 크기 및 특성, 오염물질의 종류 및 농도, 오염물질 노출방식, 광 조사 시간 및 광 강도, 분석 오염물질 측정방법 등 다양한 인자에 의해 영향을 받기 때문에, 광촉매 성능평가 과정에서 통일화된 시험 조건 적용을 통한 시험 재현성 확보가 매우 중요하다. 이에 국내 광촉매 성능평가 기술을 확립하고, 나아가 광촉매 관련 산업을 지원하기 위해 광촉매 환경오염물질 제거 성능 평가방법에 대한 국가표준 확립이 시급히 요구되는 상황이다.

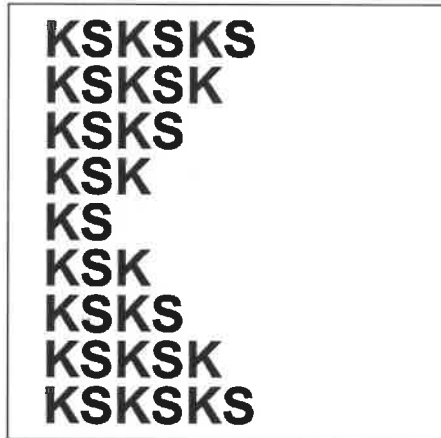
2 제정의 취지

2019년 제2판으로 발행된 ISO 22197-2, Fine ceramics(advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Test method for air-purification performance of semiconducting photocatalytic materials — Part 2: Removal of acetaldehyde 를 기초로, 기술적 내용 및 대응국제표준의 구성을 변경하지 않고 한국산업표준을 제정함으로써, 보다 신속하고도 신뢰성있는 광촉매 성능 평가 및 이를 통한 국내 광촉매 산업의 활성화에 기여하는데 이 표준의 제정 취지가 있다.

3 제정의 경위

이 표준은 건설기술연구사업 ‘저비용 고성능 광촉매를 활용한 미세먼지 저감 건설기술 개발 (Development of Construction Materials and Application Technologies for Fine Dust Reduction Using Low Cost & High Performance Photocatalyst) [과제 고유번호 18SCIP-B149189-01]’의 일환으로 진행된 ‘광촉매 재료 및 광촉매 적용 건설자재 표준화 기술 개발(Study for the standardization of test methods for evaluating the performance of photocatalysis and photocatalytic building/construction materials)’ 연구를 통해 한국세라믹기술원에서 부합화 작업을 진행하였다.

KS L ISO 22197-2:2019



**Fine ceramics(advanced ceramics, advanced
technical ceramics) — Test method for air-
purification performance of semiconducting
photocatalytic materials —
Part 2: Removal of acetaldehyde**

ICS 81.060.30