

# 파라텡스텐산 암모늄 백과사전

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Global Leader in Intelligent Manufacturing for Tungsten, Molybdenum, and Rare Earth Industries

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved  
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版  
[www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

电话/TEL: 0086 592 512 9696  
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V  
[sales@chinatungsten.com](mailto:sales@chinatungsten.com)

## CTIA GROUP 소개

CTIA GROUP LTD 는 CHINATUNGSTEN ONLINE 이 설립한 독립 법인격을 가진 완전 자회사로, 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능화, 통합화, 유연한 설계 및 제조를 추진하는 데 전념하고 있습니다. CHINATUNGSTEN ONLINE 은 1997 년에 설립되었으며, 중국 최초의 텅스텐 제품 전문 사이트인 [www.chinatungsten.com](http://www.chinatungsten.com) 시작으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업에 특화된 중국 최초의 전자상거래 기업입니다. CTIA GROUP 은 텅스텐 및 몰리브덴 분야에서 30 년 가까운 깊은 경험을 바탕으로 모회사의 뛰어난 설계 및 제조 능력, 우수한 서비스, 글로벌 비즈니스 평판을 계승하여 텅스텐 화학제품, 텅스텐 금속, 초경합금, 고밀도 합금, 몰리브덴 및 몰리브덴 합금 분야의 종합적인 애플리케이션 솔루션 제공자가 되었습니다.

지난 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 20 개 이상의 언어로 된 200 개 이상의 다국어 텅스텐 및 몰리브덴 전문 웹사이트를 구축했으며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 관련 뉴스, 가격, 시장 분석 페이지가 100 만 페이지 이상에 달합니다. 2013 년 이후 WeChat 공식 계정 "CHINATUNGSTEN ONLINE"은 4 만 건 이상의 정보를 발행하여 거의 10 만 명의 팔로워에게 서비스를 제공하고 있으며, 전 세계 수십만 명의 업계 종사자에게 매일 무료 정보를 제공하고 있습니다. 웹사이트 클러스터와 공식 계정의 누적 방문 수는 수십억 회에 달하며, 텅스텐, 몰리브덴, 희토류 산업의 글로벌하고 권위 있는 정보 허브로 인정받고 있으며, 연중무휴 다국어 뉴스, 제품 성능, 시장 가격, 시장 동향 서비스를 제공하고 있습니다.

CHINATUNGSTEN ONLINE 의 기술과 경험을 바탕으로 CTIA GROUP 은 고객의 개인화된 요구를 충족하는 데 중점을 두고 있으며, AI 기술을 활용하여 특정 화학 조성 및 물리적 특성(입자 크기, 밀도, 경도, 강도, 치수, 공차 등)을 가진 텅스텐 및 몰리브덴 제품을 고객과 공동으로 설계 및 제조하며, 금형 개발, 시제품 제작, 마무리, 포장, 물류에 이르는 전 과정 통합 서비스를 제공합니다. 지난 30 년간 CHINATUNGSTEN ONLINE 은 전 세계 13 만 개 이상의 고객에게 50 만 종류 이상의 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 연구개발, 설계, 제조 서비스를 제공하여 맞춤형, 유연하고 지능적인 제조의 기초를 마련했습니다. 이 기초를 바탕으로 CTIA GROUP 은 산업 인터넷 시대에 텅스텐 및 몰리브덴 소재의 지능형 제조와 통합 혁신을 더욱 심화하고 있습니다.

CTIA GROUP 의 한스 박사와 그의 팀은 30 년 이상의 업계 경험을 바탕으로 텅스텐, 몰리브덴, 희토류에 관한 지식, 기술, 텅스텐 가격 및 시장 동향 분석을 집필하여 텅스텐 산업과 무료로 공유하고 있습니다. 한스 박사는 1990 년대부터 30 년 이상 텅스텐 및 몰리브덴 제품의 전자상거래 및 국제 무역, 초경합금 및 고밀도 합금의 설계 및 제조에 종사한 경험이 있으며, 국내외에서 유명한 텅스텐 및 몰리브덴 제품 전문가입니다. 업계에 전문적이고 고품질의 정보를 제공한다는 원칙을 고수하며, CTIA GROUP 의 팀은 생산 실무와 시장 고객의 요구를 바탕으로 기술 연구 논문, 기사, 업계 보고서를 지속적으로 작성하여 업계 내에서 광범위한 찬사를 받고 있습니다. 이러한 성과는 CTIA GROUP 의 기술 혁신, 제품 홍보, 업계 교류에 견고한 지원을 제공하며, 글로벌 텅스텐 및 몰리브덴 제품 제조 및 정보 서비스 분야에서 리더가 되도록 추진하고 있습니다.



### CTIA 전자저작권 및 법적 책임 성명서

## 콘텐츠

### 제 1 장: 서론

- 1.1 암모늄 파라텡스테인트(APT)의 정의와 역사적 발전
- 1.2 텡스텐 화학 및 산업에서 암모늄 파라텡스테인트의 중요성
- 1.3 APT와 AMT의 차이점과 연관성
- 1.4 이 책의 목적과 구조

### 제 2 장: 암모늄 파라텡스테인트 제품 정보

- 2.1 암모늄 파라텡스테인트의 기본 화학적 성질
  - 2.1.1 암모늄 파라텡스테인트의 분자 구조와 화학식
  - 2.1.2 암모늄 파라텡스테인트의 외관과 형태
- 2.2 암모늄 파라텡스테인트의 물리적 성질
  - 2.2.1 암모늄 파라텡스테인트의 밀도와 용해도
  - 2.2.2 암모늄 파라텡스테인트의 열 안정성과 분해 거동
- 2.3 암모늄 파라텡스테인트의 화학적 성질
  - 2.3.1 암모늄 파라텡스테인트의 산-염기 반응성
  - 2.3.2 암모늄 파라텡스테인트의 산화-환원 특성
- 2.4 암모늄 파라텡스테인트의 규격과 등급
  - 2.4.1 산업용 등급 APT
  - 2.4.2 고순도 APT
- 2.5 암모늄 파라텡스테인트의 포장 및 보관 요구 사항

### 제 3 장: 암모늄 파라텡스테인트 제조 공정

- 3.1 암모늄 파라텡스테인트의 원료 공급원
  - 3.1.1 천연 텡스텐 광석 (울프라마이트와 세엘라이트)
  - 3.1.2 텡스텐산염 중간체
- 3.2 암모늄 파라텡스테인트의 전통적 제조 방법
  - 3.2.1 알칼리 공정
  - 3.2.2 산 공정
  - 3.2.3 용매 추출법
- 3.3 암모늄 파라텡스테인트의 신흥 제조 기술
  - 3.3.1 친환경 합성 및 저암모니아 공정
  - 3.3.2 개선된 이온 교환법
- 3.4 암모늄 파라텡스테인트의 산업 생산 공정
  - 3.4.1 전처리 및 침출
  - 3.4.2 결정화 및 분리
  - 3.4.3 건조 및 포장
- 3.5 암모늄 파라텡스테인트의 공정 매개변수 최적화

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 3.5.1 pH 및 온도 제어
- 3.5.2 농도 및 결정화 조건
- 3.6 암모늄 파라텨스테이트의 기술적 과제와 해결책
  - 3.6.1 불순물 제거
  - 3.6.2 에너지 소비와 폐기물 관리
- 3.7 실험실 규모와 산업 규모의 비교

#### 제 4 장: 암모늄 파라텨스테이트 분석 및 시험

- 4.1 암모늄 파라텨스테이트의 화학 성분 분석
  - 4.1.1 텨스텐 함량 측정 ( $WO_3$ )
  - 4.1.2 암모늄 함량 측정 ( $NH_4^+$ )
  - 4.1.3 불순물 분석 (Mo, Fe, Na 등)
- 4.2 암모늄 파라텨스테이트의 물리적 성질 시험
  - 4.2.1 결정 구조 분석 (XRD, SEM)
  - 4.2.2 입자 크기 분포 및 형태
  - 4.2.3 수분 및 휘발성 성분 함량
- 4.3 암모늄 파라텨스테이트의 품질 관리 기준
  - 4.3.1 국제 표준 (ISO)
  - 4.3.2 중국 국가 표준 (GB)
- 4.4 암모늄 파라텨스테이트의 시험 기술 및 장비
  - 4.4.1 ICP-MS 및 AAS
  - 4.4.2 TGA 및 입자 크기 분석기
- 4.5 암모늄 파라텨스테이트 사례 연구
  - 4.5.1 고순도 APT 시험 보고서
  - 4.5.2 산업용 등급 APT 배치 검증

#### 제 5 장: 암모늄 파라텨스테이트의 산업 응용

- 5.1 텨스텐 야금에서의 핵심 역할
  - 5.1.1 삼산화텨스텐( $WO_3$ ) 생산
  - 5.1.2 텨스텐 분말 및 텨스텐 재료 제조
- 5.2 초경합금과 텨스텐 합금
  - 5.2.1 초경합금에서의 APT 응용
  - 5.2.2 고밀도 텨스텐 합금 제품
- 5.3 화학 산업과 촉매
  - 5.3.1 APT 에서 AMT 로의 변환
  - 5.3.2 기타 텨스텐 기반 촉매
- 5.4 특수 용도
  - 5.4.1 세라믹 착색제
  - 5.4.2 실험실 시약
- 5.5 응용 사례 연구

- 5.5.1 텅스텐 와이어 생산에서의 APT
- 5.5.2 초경합금 공구 제조
- 5.5.3 항공우주 부품

## 제 6 장: 암모늄 파라텅스테이트 시장과 경제

- 6.1 암모늄 파라텅스테이트의 글로벌 생산과 분포
  - 6.1.1 중국의 지배적 위치
  - 6.1.2 다른 국가들의 생산
- 6.2 암모늄 파라텅스테이트의 가격 추세와 영향 요인
  - 6.2.1 과거 가격 변동
  - 6.2.2 원료 비용과 수요 요인
- 6.3 암모늄 파라텅스테이트의 수급 분석
  - 6.3.1 수요 분야와 성장 포인트
  - 6.3.2 공급 제약과 병목 현상
- 6.4 암모늄 파라텅스테이트의 주요 생산자와 시장 구조
  - 6.4.1 CTIA 그룹
- 6.5 암모늄 파라텅스테이트의 경제적 영향
  - 6.5.1 텅스텐 산업 체인에 대한 기여
  - 6.5.2 지역 경제 발전
  - 6.5.3 수출과 무역 균형
- 6.6 암모늄 파라텅스테이트의 미래 시장 예측

## 제 7 장: 암모늄 파라텅스테이트 환경과 안전

- 7.1 암모늄 파라텅스테이트의 환경 영향
  - 7.1.1 텅스텐 채굴의 환경 비용
    - 7.1.2 APT 생산에서의 폐기물 배출
    - 7.1.3 하류 응용에서의 환경 위험
  - 7.2 암모늄 파라텅스테이트의 환경 기술과 조치
    - 7.2.1 폐수 처리와 재활용
    - 7.2.2 배기가스 제어 기술
    - 7.2.3 고체 폐기물 관리와 재활용
- 7.3 암모늄 파라텅스테이트의 안전 특성
  - 7.3.1 APT의 독성 평가
  - 7.3.2 운영 및 보관 안전성
- 7.4 암모늄 파라텅스테이트의 규제와 준수
  - 7.4.1 중국 환경 규제
  - 7.4.2 국제 안전 표준
- 7.5 사례 연구
  - 7.5.1 CTIA 그룹의 환경 실천

7.5.2 APT 운송 사고에서 얻은 교훈

7.6 암모늄 파라텡스테이트의 지속 가능한 개발을 위한 과제와 전략

## 제 8 장: 암모늄 파라텡스테이트의 연구 최전선과 미래 전망

8.1 새로운 제조 기술 연구

8.1.1 저에너지 소비 공정

8.1.2 고순도 APT 합성

8.2 최첨단 응용 탐구

8.2.1 신에너지 재료에서의 APT 잠재력

8.2.2 나노기술과 APT

8.3 학제 간 연구 방향

8.3.1 APT와 지능형 제조

8.3.2 환경 친화적 응용

8.4 미래 발전 동향

8.4.1 기술 혁신과 산업 고도화

8.4.2 시장 확장과 글로벌화

8.4.3 지속 가능한 개발 목표

## 제 9 장: 암모늄 파라텡스테이트의 품질 관리와 시험 보고서

9.1 CTIA 그룹 암모늄 파라텡스테이트 품질 검사표

9.2 암모늄 파라텡스테이트의 전자현미경 사진 분석

9.3 품질 시험 사례 연구와 해석

## 제 1 장: 서론

### 1.1 암모늄 파라텡스테이트의 정의와 역사적 발전

암모늄 파라텡스테이트(Ammonium Paratungstate, 약칭 APT)는 중요한 텡스텐산염 화합물로, 그 화학식은  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O$  이다. 백색 결정성 분말인 APT 는 텡스텐 화학 및 산업 분야에서 핵심 중간체로서, 안정적인 화학적 성질과 높은 순도로 인해 텡스텐 야금에서 대체 불가능한 위치를 차지하고 있다. APT 의 분자 구조는 12 개의 텡스텐 원자가 산소 원자를 통해 다중 텡스텐산 클러스터를 형성하고, 외곽을 10 개의 암모늄 이온이 전하를 균형 있게 하며, 4 개의 결정수 분자를 포함한다. 이러한 구조는 APT 에 고온 분해와 산업 응용에서 독특한 이점을 부여하여, 텡스텐 광석에서 금속 텡스텐 및 기타 텡스텐 화합물로 의 핵심 전환 산물로 만든다.

APT 의 역사는 19 세기 말로 거슬러 올라가며, 텡스텐 원소의 산업적 가치가 점차 드러남에 따라 과학자들은 텡스텐 광석에서 고순도 중간체를 추출하는 효과적인 방법을 탐구하기 시작했다. 20 세기 초반에 이르러 APT 제조 공정이 성숙해졌고, 텡스텐 분말 생산을 위한 표준 원료로 널리 인정받게 되었다. 초기 제조 방법은 주로 알칼리 침출과 결정화 공정에 의존했으나, 기술의 발전으로 산 공정과 용매 추출법 등의 새로운 공정이 도입되면서 APT 의 순도와 수율이 더욱 향상되었다. 오늘날 APT 는 글로벌 텡스텐 산업의 기초적인 支柱로 발전했으며, 특히 텡스텐 자원이 풍부한 중국에서 그 생산 및 응용 기술은 세계 최고 수준에 도달해 있다.

### 중형인텔리전스 암모늄 파라텡스테이트 품질 검사표

产品等级	APT-0											
WO <sub>3</sub> 含量(≥%min)	88.5											
杂质(%max)												
杂质	Al	As	Bi	Ca	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo
MAX	0.0005	0.0010	0.0001	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0003	0.0010	0.0005	0.0005	0.0020
杂质	Na	Ni	K	P	Pb	S	Sb	Si	Sn	Ti	V	灼损
MAX	0.0010	0.0005	0.0010	0.0007	0.0001	0.0008	0.0005	0.0010	0.0002	0.0010	0.0010	11.5

CTIA 전자저작권 및 법적 책임 성명서

## 중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 전자 현미경 사진



### 1.2 파라텡스텐산 암모늄(APT)의 텡스텐 화학 및 산업에서의 중요성

텡스텐 화학 및 산업 분야에서 APT의 중요성은 텡스텐 산업 체인에서 “허브”로서의 역할에 나타납니다. 텡스텐은 초고융점(3422°C), 고밀도(19.25 g/cm<sup>3</sup>), 뛰어난 내식성을 특징으로 하며, 항공우주, 군사, 전자, 에너지 등 첨단 기술 분야에서 폭넓게 사용됩니다. 텡스텐 광석(예: 흑텡스텐광 및 백텡스텐광)에서 최종 제품에 이르는 가공 체인에서 APT는 광석 정제와 하류 심가공을 연결하는 핵심 고리입니다. 소성 또는 환원을 통해 APT는 직접 삼산화텡스텐(WO<sub>3</sub>) 또는 금속 텡스텐 분말로 변환되며, 이어서 텡스텐 와이어, 경질 합금, 텡스텐 강철 등의 고성능 재료가 생산됩니다.

APT의 중요성은 원료로서의 광범위한 사용뿐만 아니라 텡스텐 야금에서의 공정 유연성에도 있습니다. 다른 텡스텐 화합물에 비해 APT의 생산 공정은 성숙하고 제어 가능하며, 다양한 순도 등급의 요구를 충족할 수 있습니다. 예를 들어, 산업 등급 APT는 대규모 텡스텐 분말 생산에 사용되며, 고순도 등급 APT는 전자 산업의 고급 수요를 충족합니다. 또한, APT는 다른 텡스텐산염(예: 메타텡스텐산 암모늄 AMT)의 제조를 위한 출발 물질로, 화학 분야에서의 파생 응용이 그 가치 사슬을 더욱 확장합니다. APT는 텡스텐 산업의 기술 진보와 경제적 이익의 이중적인 기초라고 할

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

수 있습니다.

### 1.3 APT 와 AMT 의 차이점과 연관성

APT 의 중요성을 논할 때 메타텽스텐산 암모늄(Ammonium Metatungstate, 약칭 AMT)과의 비교가 필연적입니다. APT 와 AMT 는 모두 텽스텐산 암모늄 화합물에 속하지만, 구조, 성질, 용도에서 뚜렷한 차이가 있습니다. APT 의 화학식은  $(NH_4)_{10}(H_2W_{12}O_{42}) \cdot 4H_2O$  로, 10 개의 암모늄 이온을 포함하며, 그 결정 구조는 집합체 형태를 띠고 물에 대한 용해도가 낮습니다(20°C에서 용해도 2% 미만). 반면, AMT 의 화학식은  $(NH_4)_6H_2W_{12}O_{40} \cdot xH_2O$  로, 6 개의 암모늄 이온을 포함하며, Keggin 형 단일 분자 클러스터 구조를 가지고 물에 대한 용해도가 매우 높습니다(25°C에서 약 300g  $WO_3/100ml H_2O$ ). 이러한 구조 차이는 두 화합물의 용도 분화를 초래합니다. APT 는 주로 고체 야금 공정(텽스텐 분말 및 텽스텐 재료 생산)에 사용되며, AMT 는 용액 공정(촉매 제조 및 나노 재료 합성)에 더 적합합니다.

차이점에도 불구하고 APT 와 AMT 는 완전히 단절된 것이 아니라 밀접한 연관성을 가집니다. APT 는 특정 공정(예: 열분해 또는 산화)을 통해 AMT 로 변환될 수 있으며, 이는 AMT 의 산업 생산 전구체가 됩니다. 이러한 변환은 텽스텐산염 화합물의 다양성을 보여줄 뿐만 아니라 APT 가 텽스텐 산업 체인에서의 기초적 지위를 반영합니다. APT 와 AMT 의 차이점과 연관성을 이해하는 것은 텽스텐 화학의 복잡성과 응용 잠재력을 보다 포괄적으로 파악하는 데 도움이 됩니다.

### 1.4 본서의 편찬 목적과 구조

왜 『과라텽스텐산 암모늄 백과사전』이 필요한가? 그 이유는 APT 의 지식 체계가 방대하고 분산되어 있기 때문입니다. APT 는 텽스텐 산업의 핵심 중간체임에도 불구하고, 관련 정보는 학술 문헌, 기술 매뉴얼, 산업 보고서에 흩어져 있어 체계적인 통합이 부족합니다. 화학 연구자는 분자 구조와 성질에 주목하고, 엔지니어는 제조 공정과 품질 관리에 초점을 맞추며, 사업가는 시장 동향과 경제적 가치에 관심을 가질 수 있습니다. 본서의 편찬은 이러한 공백을 메우기 위해 기획되었으며, 기초 화학에서부터 산업 응용, 미래 발전에 이르기까지 APT 를 전방위적으로 분석하여 독자에게 원스톱 지식의 보고를 제공합니다. 텽스텐 산업 종사자, 연구자, 또는 텽스텐 소재에 관심 있는 탐구자라면 누구나 여기서 필요한 정보를 얻을 수 있습니다.

본서는 총 열 장으로 구성되며, 구조는 논리적이고 엄격하며, 내용은 단계적으로 심화됩니다. 제 1 장은 서론으로, APT 의 정의, 역사, 중요성을 개괄하여 후속 내용의 기초를 마련합니다. 제 2 장은 APT 의 제품 정보를 상세히 다루며, 화학적·물리적 성질과 사양 요구 사항을 소개합니다. 제 3 장은 APT 의 제조 공정을 깊이 탐구하며, 원료에서 산업 공정까지를 모두 아우릅니다. 제 4 장은 분석 및 검사 기술에 초점을 맞춰 제품 품질의 과학적 근거를 보장합니다. 제 5 장은 APT 의 산업 내 광범위한 응용을 보여주며, 실제 사례를 통해 실용적 가치를 부각합니다. 제 6 장은 APT 의 시장

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

및 경제 현황을 분석하여 비즈니스 의사결정의 참고 자료를 제공합니다. 제 7 장은 환경 및 안전 문제를 검토하고 지속 가능성 전략을 제안합니다. 제 8 장은 APT의 연구 최전선과 미래 잠재력을 전망하며 기술적 전망을 탐색합니다. 제 9 장은 중텅스텐지조(하문)科技有限公司(CTIA GROUP LTD)의 APT 품질 검사표와 전자 현미경 분석을 제공하여 품질 관리 사례를 제시합니다. 제 10 장은 결론으로 APT의 핵심 가치를 요약하고 미래 발전에 대한 제안을 합니다.

이 『파라텅스텐산 암모늄 백과사전』을 통해 독자에게 APT의 전모를 제시하며, 미시적 분자에서 거시적 산업에 이르기까지 텅스텐 화학과 산업에서 그 깊은 영향을 밝히고자 합니다. APT는 텅스텐 산업 체인의 초석일 뿐만 아니라 과학 기술 진보를 추진하는 중요한 힘입니다. 이어지는 장들에서는 APT의 세계로 단계적으로 안내하며, 이 화합물의 신비와 가치를 탐구합니다.



중텅스텐지조 파라텅스텐산 암모늄 사진

1

## 제 2 장 파라텡스텐산 암모늄 제품 정보

파라텡스텐산 암모늄(Ammonium Paratungstate, 약칭 APT)은 텡스텐 산업 체인에서 핵심 중간체로서, 그 제품 특성은 산업 및 과학 연구에서의 응용 가치를 직접 결정합니다. 본 장에서는 APT의 기본 화학적 성질, 물리적 성질, 화학적 성질부터 시작하여, 그 구성과 행동 특성을 상세히 설명하고, 규격 등급 및 포장·보관 요구 사항을 소개함으로써 독자에게 포괄적인 제품 정보의 기초를 제공합니다.

### 2.1 파라텡스텐산 암모늄의 기본 화학적 성질

#### 2.1.1 파라텡스텐산 암모늄의 분자 구조와 화학식

APT의 화학식은  $(\text{NH}_4)_{10}(\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 로, 전형적인 다텡스텐산염 화합물입니다. 그 분자 구조는 12개의 텡스텐 원자(W)가 산소 원자(O)를 통해 연결되어 다텡스텐산 클러스터를 형성하며, 구체적으로  $[\text{H}_2\text{W}_{12}\text{O}_{42}]^{10-}$ 의 다중 음이온입니다. 메타텡스텐산 암모늄(AMT)의 Keggin형 단일 분자 클러스터와 달리, APT의 구조는 집합체 형태를 띠며, 여러 텡스텐산 팔면체가 산소 원자를 공유하여 복잡한 네트워크를 구축합니다. 이 다중 음이온은 10개의 암모늄 이온( $\text{NH}_4^+$ )으로 전하를 균형시키고, 4개의 결정수 분자( $\text{H}_2\text{O}$ )를 포함하여 안정적인 결정 구조를 형성합니다. X선 회절(XRD) 분석에 따르면, APT의 결정계는 보통 직교 결정계로, 높은 대칭성과 안정성을 갖습니다. APT의 분자량은 약 3132.2 g/mol(결정수 4개 포함)이며, 텡스텐 함량( $\text{WO}_3$  기준)은 88%~90%를 차지하며, 이는 수분 함량에 따라 달라집니다. 이러한 구조 특성 덕분에 고온 분해 시 암모니아 가스와 수증기를 방출하며 최종적으로 삼산화텡스텐( $\text{WO}_3$ )으로 변환되어 텡스텐 야금에 편리한 경로를 제공합니다.

#### 2.1.2 파라텡스텐산 암모늄의 외관과 형태

APT는 일반적으로 흰색 또는 약간 노란빛을 띤 결정 분말로 나타나며, 입자가 미세하고 활석 분말 같은 촉감을 가집니다. 색상은 제조 공정이나 미량 불순물(철이나 몰리브덴 등)에 따라 약간 변동될 수 있지만, 고순도 APT는 대부분 순백색입니다. 현미경 아래에서 APT 결정은 바늘 모양 또는 판 모양을 보이며, 결정 입자 크기는 제조 조건에 따라 다르며, 일반적으로 10~50 마이크로미터 범위입니다. 이러한 외관 특성 덕분에 식별이 용이하며, 산업 생산에서 분쇄나 용해 처리에도 적합합니다.

### 2.2 파라텡스텐산 암모늄의 물리적 성질

#### 2.2.1 밀도와 용해성

APT의 밀도는 약 4.6 g/cm<sup>3</sup>로, AMT(3.8~4.0 g/cm<sup>3</sup>)보다 높아 더 치밀한 결정 구조를 반영합니다. 그러나 AMT의 높은 수용성과 비교해, APT는 물에 대한 용해도가 낮습니다. 20°C에서 APT의 용해도는 약 2 g/100 ml( $\text{WO}_3$  기준 약 1.8 g)로, 순수한 물에서 용해가 느립니다. 이 특성은 APT의 집합체 구조와 밀접하게 연관되어 있으며, 결정은 고체 형태를 유지하려는 경향이 있어 산성 조건(pH 4~6)이나 가열 후에만 용해도가 크게 향상됩니다. APT는 에탄올, 아세톤 등의 유기 용매에는 녹지 않으며,

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

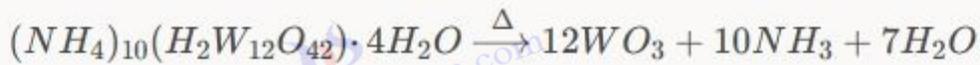
이 특성 덕분에 고체 공정에 적합하며 용액 시스템에는 적합하지 않습니다.

### 2.2.2 열 안정성과 분해 행동

APT는 상온에서 우수한 열 안정성을 가지며, 장기 보관 시에도 분해되지 않습니다. 그러나 온도가 상승하면 구조가 변합니다. 열중량 분석(TGA)에 따르면, APT의 분해 과정은 세 단계로 나뉩니다:

- 50-150°C: 결정수를 잃으며, 질량 손실 약 2%-3%.
- 200-400°C: 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)이 분해되어 암모니아 가스(NH<sub>3</sub>)와 수증기를 방출하며 중간 상태의 다텡스텐산으로 변환.
- 500-700°C: 완전히 삼산화텡스텐(WO<sub>3</sub>)으로 분해되며, 색상이 흰색에서 노란색으로 변함.

분해 반응은 다음과 같이 간소화할 수 있습니다:



이 열 분해 특성은 APT가 텡스텐 분말 생산에서 핵심적인 장점으로, 소성을 통해 직접 WO<sub>3</sub>를 생성하거나 더 나아가 환원하여 금속 텡스텐으로 변환할 수 있게 합니다.

## 2.3 파라텡스텐산 암모늄의 화학적 성질

### 2.3.1 산염기 반응성

APT는 화학적 성질에서 일정 수준의 불활성을 보이지만, 그 반응성은 환경에 따라 다릅니다. 산성 조건에서 APT는 천천히 용해되며 다른 텡스텐산염 또는 텡스텐산(H<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)으로 변환됩니다. 예를 들어:



알칼리성 환경에서 APT는 수산화물(예: NaOH)과 반응하여 가용성 텡스텐산염, 예를 들어 텡스텐산나트륨(Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>)을 생성하지만, 반응 속도가 느리며 가열 또는 강알칼리 조건이 필요합니다. 이러한 산염기 반응성은 특정 공정에서 중간체로 작용하여 다른 텡스텐 화합물을 추가로 유도할 수 있게 합니다.

### 2.3.2 산화환원 특성

APT 내 텡스텐 원자는 +6 산화 상태(W<sup>6+</sup>)에 있으며, 이는 최고 산화 상태로, 일정한 산화환원 잠재력을 가집니다. 이론적으로 APT는 환원제(예: 수소 H<sub>2</sub> 또는 아연 Zn)를 통해 저산화 상태의 텡스텐 화합물, 예를 들어 청색 텡스텐 브론즈(W<sup>5+</sup>/W<sup>6+</sup> 혼합 상태)로 환원될 수 있습니다. 예를 들어, 수소 분위기에서의 환원은 산업적 텡스텐 분말 생산에서 흔한 단계입니다:



CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

그러나 이러한 환원 반응은 실험실 연구에서 더 흔하며, 산업적으로는 소성 분해 후 환원하는 방법이 주로 사용됩니다.

## 2.4 파라텨스텐산 암모늄의 규격과 등급

### 2.4.1 산업 등급 APT

산업 등급 APT는 가장 일반적인 제품 등급으로, 텨스텐 분말 및 경질 합금 생산에 널리 사용됩니다. 전형적인 규격은 다음과 같습니다:

- $W_3$  함량:  $\geq 88.5\%$
- 불순물 한도:  $Mo \leq 0.05\%$ ,  $Fe \leq 0.02\%$ ,  $Na \leq 0.03\%$
- 수분 함량:  $\leq 8\%$

산업 등급 APT는 순도 요구 사항이 비교적 완화되어 대량 생산에 적합하며 비용이 낮습니다.

### 2.4.2 고순도 등급 APT

고순도 등급 APT는 주로 전자 산업과 특수 재료 제조에 사용되며, 더 높은 순도와 더 낮은 불순물 함량이 요구됩니다. 전형적인 규격은 다음과 같습니다:

- $W_3$  함량:  $\geq 99.9\%$
- 불순물 한도:  $Mo \leq 0.001\%$ ,  $Fe \leq 0.001\%$ ,  $Na \leq 0.0005\%$
- 수분 함량:  $\leq 5\%$

고순도 등급 APT의 생산에는 여러 번의 결정화나 이온 교환과 같은 더 엄격한 정제 공정이 필요하며, 텨스텐 타겟이나 촉매 전구체와 같은 고정밀 응용 분야에 적합합니다.

## 2.5 파라텨스텐산 암모늄의 포장 및 보관 요구 사항

APT의 포장과 보관은 안정성을 보장하고 외부 오염을 방지해야 합니다. 일반적인 요구 사항은 다음과 같습니다:

- 포장: 이중 밀봉 플라스틱 백 또는 플라스틱 통을 사용하며, 외부에 방습 종이 상자 또는 철통을 추가합니다. 순중량은 보통 25kg 또는 50kg입니다. 포장에는 제품명, 배치 번호, 제조일, 안전 경고를 표시해야 합니다.
- 보관 조건: 서늘하고 건조하며 통풍이 잘 되는 창고에 보관하며, 직사광선과 고온( $>40^\circ C$ )을 피해야 합니다. 습도는 60% 이하로 유지하여 흡습에 의한 굳음을 방지합니다.
- 주의사항: 산성 물질이나 강한 산화제와의 혼합 보관을 피하고 예기치 않은 반응을 방지합니다. 보관 기간은 일반적으로 12개월을 초과하지 않으며, 장기 보관 시에는 정기적으로 수분 함량을 점검해야 합니다.

## 2.6 실제적 의의

APT의 제품 정보는 화학적·물리적 특성의 개요일 뿐만 아니라 산업 응용의 기초적 근거이기도 합니다. 낮은 수용성과 고온 분해 특성 덕분에 텨스텐 야금의 이상적인 원료가 되며, 규격 등급의 다양성은 일반 산업에서부터 첨단 기술 분야에 이르기까지 다양한 수요를 충족합니다. 포장 및 보관 요구 사항의 표준화는 APT의 운송과 사용

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

시 안정성을 보장하며, 후속 제조 공정과 품질 관리를 뒷받침합니다. 다음 장에서는 APT의 제조 공정을 깊이 탐구하여 광석에서 완제품으로의 변환 과정을 밝히고, 그 기술적 가치를 더욱 드러낼 것입니다.



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

### 제 3 장 파라텡스텐산 암모늄 제조 공정

파라텡스텐산 암모늄 (Ammonium Paratungstate, 약칭 APT)의 제조 공정은 텡스텐 광석에서 고가치 중간 제품으로 변환되는 핵심 단계입니다. 텡스텐 야금의 핵심 원료로서, APT의 생산 기술은 순도, 수율, 그리고 하류 응용 효과에 직접적인 영향을 미칩니다. 본 장에서는 원료 출처부터 시작하여 APT의 전통적인 제조 방법, 신흥 기술, 산업 생산 공정을 체계적으로 소개하고, 공정 내 기술적 도전과 최적화 방향을 분석하며, 실험실 규모와 산업 규모의 생산 특성을 비교하여 독자에게 포괄적인 공정 관점을 제공합니다.

#### 3.1 파라텡스텐산 암모늄의 원료 출처

APT의 제조는 텡스텐 자원의 추출과 가공에 의존하며, 원료는 주로 천연 텡스텐

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

광석과 텨스텐산염 중간체 두 가지 범주로 나뉩니다.

### 3.1.1 천연 텨스텐 광석(흑텨스텐광과 백텨스텐광)

천연 텨스텐 광석은 APT 생산의 주요 원료 출처로, 그중 흑텨스텐광( $FeMnWO_4$ )과 백텨스텐광( $CaWO_4$ )이 주도적인 위치를 차지합니다. 흑텨스텐광은 철과 망간이 풍부하며, 거친 결정 형태로 존재하여 중선 정제에 적합합니다. 반면 백텨스텐광은 칼슘염 형태로 존재하며, 동반 광물이 복잡하여 부유선별이 필요합니다. 중국은 세계 최대 텨스텐 광석 생산국으로, 매장량이 세계의 80% 이상을 차지하며, 주로 장시성 간저우, 후난성 천저우 등지에 분포해 “세계 텨스텐 수도”로 불립니다. 이 광석들은 파쇄, 분쇄, 선광을 거쳐 텨스텐 정광( $WO_3$  함량 50%-65%)을 생성하며, 후속 화학 정제의 기초를 제공합니다.

### 3.1.2 텨스텐산염 중간체

천연 텨스텐 광석 외에도 텨스텐산나트륨( $Na_2WO_4$ )과 조제 텨스텐산( $H_2WO_4$ ) 같은 텨스텐산염 중간체가 APT의 직접 원료로 자주 사용됩니다. 이러한 중간체는 보통 텨스텐 정광을 알칼리 침출 또는 산 침출을 통해 제조되며, 높은 순도를 가져 고순도 APT 생산에 적합합니다. 또한, 폐텨스텐 폐기물(예: 폐경질 합금)의 회수를 통해 화학 처리를 거쳐 텨스텐산염을 생성하여 보조 원료로 사용할 수 있습니다. 원료 선택은 생산 목표에 따라 달라지며, 천연 텨스텐 광석은 대규모 산업 생산에 적합하고, 텨스텐산염 중간체는 실험실이나 특정 공정에 적합합니다.

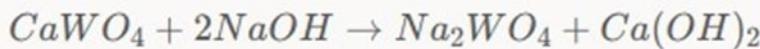
## 3.2 파라텨스텐산 암모늄의 전통적 제조 방법

APT의 전통적 제조 방법은 100년 이상의 발전을 거쳐 여러 성숙한 공정이 형성되었으며, 주로 알칼리법 공정, 산법 공정, 용매 추출법이 포함됩니다.

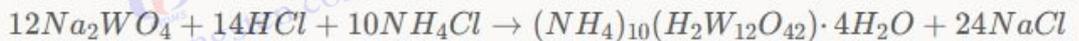
### 3.2.1 알칼리법 공정

알칼리법 공정은 APT의 산업 생산에서 주류 경로로, 알칼리 조건에서 텨스텐 광석을 분해합니다. 그 과정은 다음과 같습니다:

1. 침출: 텨스텐 정광을 수산화나트륨( $NaOH$ ) 또는 탄산나트륨( $Na_2CO_3$ )과 고온 고압에서 반응시켜 가용성 텨스텐산나트륨 용액을 생성합니다:



2. 정제: 침전 또는 여과를 통해 불순물(실리콘, 인, 비소 등)을 제거.
3. 결정화: 암모니아수( $NH_3 \cdot H_2O$ )와 염산( $HCl$ )을 첨가하여 pH를 7-8로 조정하고, 텨스텐산 이온을 APT로 집합체로 만듦.



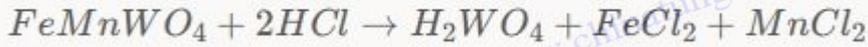
4. 분리 및 건조: 원심 분리를 통해 APT 결정을 분리하고, 수분이 8% 미만일 때까지 건조. 알칼리법 공정의 장점은 장비가 간단하고 수율이 높아 백텨스텐광 처리에 적합하지만, 폐액에 나트륨염이 많이 포함되어 있어 추가 처리가 필요함.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 3.2.2 산법 공정

산법 공정은 주로 흑텨스텐광에 사용되며, 강산으로 광석을 분해합니다. 그 단계는 다음과 같습니다:

1. 산 분해: 염산(HCl) 또는 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 사용하여 텨스텐 정광을 분해하여 불용성 텨스텐산을 생성:



2. 용해: 텨스텐산을 암모니아수에 녹여 텨스텐산 암모늄 용액을 형성합니다.

3. 결정화: 증발 또는 냉각을 통해 APT 결정을 석출시킵니다.

산법 공정은 철 함량이 높은 흑텨스텐광에 적합하며, 폐슬래그가 적지만 산 소모량이 많고 장비의 내식성 요구가 엄격합니다.

### 3.2.3 용매 추출법

용매 추출법은 고순도 APT 를 제조하는 기술로, 유기 용매를 이용해 텨스텐을 분리한다. 그 과정은 다음과 같다:

1. **추출:** 텨스텐산나트륨 용액을 유기 추출제(예: 아민 화합물)와 혼합하여 텨스텐 이온이 유기상으로 이동한다.
2. **역추출:** 암모니아수를 이용해 역추출하여 고순도 텨스텐산암모늄 용액을 생성한다.
3. **결정화:** 용액을 농축하여 APT 를 석출한다.

이 방법은 순도가 높아(WO<sub>3</sub> >99.9%) 우수하지만, 비용이 높고 공정이 복잡해 주로 고급 응용 분야에 사용된다.

## 3.3 새로운 텨스텐산암모늄 제조 기술

환경 보호와 효율성 요구가 높아짐에 따라 APT 제조 기술이 지속적으로 혁신되고 있다.

### 3.3.1 녹색 합성 및 저암모니아 공정

녹색 합성은 암모니아 가스 배출과 에너지 소비를 줄이는 것을 목표로 한다. 예를 들어, 전기화학법은 전기장을 통해 텨스텐산 이온을 APT 로 응집시키며, 부산물은 수소와 산소만 생성되고 암모니아 사용량이 50% 이상 감소한다. 초음파 보조법은 음파를 이용해 반응을 가속화하고 결정화 시간을 단축하며 폐액 배출을 줄인다.

### 3.3.2 이온 교환 개선법

개선된 이온 교환법은 새로운 수지(예: 강산형 수지)를 사용하여 텨스텐산나트륨 용액에서 직접 APT 를 제조하며, 몰리브덴(Mo), 철 등의 불순물 제거 효율이 30% 향상되어 고순도 APT 생산에 적합하다.

## 3.4 텨스텐산암모늄 산업 생산 공정

### 3.4.1 전처리 및 침출

산업 생산은 텨스텐 정광의 전처리부터 시작되며, 황과 비소를 제거하기 위해 소성을

진행한 후 알칼리 또는 산으로 침출하여 텅스텐산염 용액을 생성한다.

### 3.4.2 결정화 및 분리

용액을 정제한 후 암모니아수와 산을 첨가하여 중성으로 조절하고, 80-90°C로 가열하여 APT 결정을 석출한다. 원심분리기나 필터로 분리한다.

### 3.4.3 건조 및 포장

결정은 100-120°C에서 건조되며, 수분 함량은 5%-8%로 조절된다. 포장은 25kg 또는 50kg 밀폐 백으로 진행된다.

## 3.5 텅스텐산암모늄 공정 매개변수 최적화

### 3.5.1 pH 및 온도 제어

pH 7-8은 APT 결정화에 최적이며, 너무 낮으면 텅스텐산이 생성되고, 너무 높으면 다른 텅스텐 염이 석출된다. 온도는 80-100°C로 유지하여 결정의 균일성을 보장한다.

### 3.5.2 농도 및 결정화 조건

용액의  $WO_3$  농도는 200-300g/L에 도달해야 하며, 결정화 시간은 4-6시간, 교반 속도는 100-200rpm으로 설정하여 수율과 입자 크기를 최적화한다.

## 3.6 텅스텐산암모늄 기술 과제 및 해결책

### 3.6.1 불순물 제거

몰리브데넘(Mo)은 주요 불순물로, 텅스텐과 화학적 성질이 유사하다. 해결책으로는 선택적 침전(예: 황화법) 또는 이온 교환을 사용하며, 비용은 증가하지만 순도가 향상된다.

### 3.6.2 에너지 소비 및 폐기물 관리

소성과 증발 과정의 에너지 소비가 높으며, 폐수 내 암모니아 질소를 회수해야 한다. 余热 회수 및 막 분리 기술을 사용하면 에너지 소비를 20% 줄이고 암모니아 회수율을 85%까지 달성할 수 있다.

## 3.7 실험실 vs 산업 규모 비교

실험실에서 APT 제조는 소규모로 이루어지며 순도와 공정 탐구에 중점을 두고 비커와 수동 조절을 사용한다. 산업 규모는 효율성을 추구하며 일일 생산량이 수 톤에 달하고 자동화 장비와 고정 매개변수를 사용한다. 실험실은 신공정 개발에 적합하고, 산업은 비용과 안정성에 중점을 둔다.

## 3.8 실제 의미

APT 제조 공정은 산업화의 초석이다. 알칼리법과 산법의 성숙성은 대규모 생산을 보장하며, 용매 추출법과 신기술은 고순도 수요를 충족시키고, 매개변수 최적화는 품질과 비용의 균형을 맞춘다. 이러한 공정을 이해하면 APT 생산 경로를 파악할 뿐만 아니라 품질 관리와 응용의 기반을 마련할 수 있다. 다음 장에서는 APT의 분석 및 검출 기술을 다루며, 산업 표준을 충족하는지 확인한다.

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

## 제 4 장 텡스텐산암모늄 분석 및 검출

텡스텐산암모늄(Ammonium Paratungstate, APT)의 품질은 산업 및 연구 응용에서 핵심적인 보증이며, 과학적인 분석 및 검출 기술은 품질을 보장하는 기반이다. 화학 성분에서 물리적 특성까지 APT의 모든 지표는 정확한 방법으로 검증되어야 다양한 용도의 요구를 충족할 수 있다. 본 장에서는 APT의 화학 성분 분석, 물리적 특성 검출, 품질 관리 기준, 검출 기술 및 실제 사례를 체계적으로 소개하며, 실험실 수단을 통해 APT 품질에 대한 과학적 근거를 제공하는 방법을 설명한다.

### 4.1 텡스텐산암모늄 화학 성분 분석

APT의 화학 성분 분석은 주요 원소 함량과 불순물 수준을 확인하여 제품이 규격 요구를 충족하는지 보장한다. 주요 분석 방법은 다음과 같다:

#### 4.1.1 텡스텐 함량 측정( $WO_3$ )

텡스텐(W)은 APT의 핵심 성분으로, 일반적으로 삼산화텡스텐( $WO_3$ ) 함량으로 표시되며, 산업용 APT는  $WO_3 \geq 88.5\%$ , 고순도 APT는  $\geq 99.9\%$ 를 요구한다. 주요 측정 방법은 다음과 같다:

- 유도 결합 플라즈마 질량 분석(ICP-MS): APT 시료를 암모니아수에 용해하고

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

회석한 후 ICP-MS 에 주입하여 텅스텐 이온의 특성 스펙트럼을 검출한다. 이 방법은 ppm(백만분의 일) 수준의 감도를 가지며, 고순도 APT 의 정밀 분석에 적합하다.

- **중량법:** APT 를 700-800°C로 가열하여 완전히 WO<sub>3</sub>로 분해한 후 잔류물의 질량을 측정하여 WO<sub>3</sub> 함량을 계산한다. 이 방법은 간단하고 신뢰할 수 있으며, 오차는 약 0.1%로 산업 검증에 자주 사용된다.

#### 4.1.2 암모늄 함량 측정(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

APT 의 암모늄 이온(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 함량은 화학 조성을 반영하며, 일반적으로 분자량의 5%-6%를 차지한다. 검출 방법은 증류-적정법이다:

1. 시료를 용해한 후 강알칼리(예: NaOH)를 첨가하고 가열하여 암모니아 가스(NH<sub>3</sub>)를 방출한다.
2. 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 용액으로 NH<sub>3</sub>를 흡수한 후 표준 알칼리로 잔여 산의 양을 적정한다.

이 방법의 정밀도는 0.1%에 달하며, 산업 검출의 일반적인 수단이다.

#### 4.1.3 불순물 분석

APT 의 불순물(예: 몰리브데넘 Mo, 철 Fe, 나트륨 Na)은 원료 또는 공정에서 유래하며, 응용에 직접적인 영향을 미친다. 검출 방법은 다음과 같다:

- **ICP-MS:** 다원소 동시 분석이 가능하며, 검출 한계는 ppb(십억분의 일) 수준으로, 고순도 APT 의 불순물 관리(예: Mo ≤ 0.001%)에 적합하다.
- **원자 흡수 분광법(AAS):** 특정 원소(예: Fe, Na)에 대해 화염 또는 흑연로 원자화를 통해 흡광도를 측정하며, 일상적인 검출에 적합하다.

불순물 한계는 용도에 따라 달라지며, 산업용 APT 는 Mo ≤ 0.05%를 허용하고, 고순도 APT 는 더 엄격한 기준을 요구한다.

### 4.2 텅스텐산암모늄 물리적 특성 검출

물리적 특성 검출은 APT 의 결정 구조와 형태가 요구 사항을 충족하는지 확인하며, 이는 하류 가공 성능에 영향을 미친다.

#### 4.2.1 결정 구조 분석(XRD, SEM)

APT 의 결정 구조는 X 선 회절(XRD) 분석으로 확인되며, 특성 피크는 2θ = 15° - 35° 범위에 나타나며 직교 결정계를 보여준다. WO<sub>3</sub> 또는 기타 불순물이 혼합되면 추가 피크가 나타나 순도가 부족함을 나타낸다.

주사 전자 현미경(SEM)은 결정 형태를 관찰하는 데 사용되며, APT 는 일반적으로 바늘 모양 또는 판 모양의 결정으로, 입경은 10-50 마이크론이다. 균일한 결정 구조는 용해 및 환원 과정에 유리하다.

#### 4.2.2 입도 분포 및 형태

입도는 APT 의 용해성과 가공성에 영향을 미친다. 레이저 입도 분석기는 레이저 산란을 통해 측정한다:

- 산업용 APT 의 평균 입경(D50)은 대부분 20-50 마이크론이다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- 너무 미세(<5 마이크론)하면 먼지가 발생하기 쉽고, 너무 거칠(>100 마이크론)면 용해가 어렵다.  
검출 결과는 분포 곡선으로 제시되어 배치 일관성을 보장한다.

#### 4.2.3 수분 및 휘발물 함량

APT 는 사수화물로서 수분 함량이 중요한 지표이다. 열중량 분석(TGA)으로 측정한다:

- 50-150°C에서 결정수를 잃음(약 2%-3%).
- 200-400°C에서 암모니아 가스와 물이 방출된다.  
산업용 APT 의 수분은 5%-8%로 관리되며, 고순도 APT 는  $\leq 5\%$ 로, 너무 높으면 덩어리집이나 분해가 발생할 수 있다.

#### 4.3 텅스텐산암모늄 품질 관리 기준

APT 의 품질 기준은 용도에 따라 다르며, 국제 및 국내 규범이 그 근거를 제공한다:

- **국제 표준(ISO)**: ISO 9001 과 같이 생산 기업이 품질 관리 시스템을 구축하여 배치 안정성을 보장하도록 요구한다.
- **중국 국가 표준(GB)**: GB/T 23365-2009 와 같이 산업용 APT 의  $WO_3 \geq 88.5\%$ 를 규정하며, 불순물 한계가 명확하다.
- **산업 관례**: 고순도 APT 의 불순물(예: Mo, Fe)은 <0.001%로, 공급자와 사용자가 협의하여 정하며, 기술 데이터 시트(TDS)에 흔히 포함된다.

#### 4.4 텅스텐산암모늄 검출 기술 및 기기

##### 4.4.1 ICP-MS 및 AAS

ICP-MS(유도 결합 플라즈마 질량 분석)는 고정밀 분석 도구로, 다원소 검출에 적합하며 검출 한계가 ppb(십억분의 일) 수준으로, 고순도 APT 에 널리 사용된다.

AAS(원자 흡수 분광법)는 비용이 저렴하고 단일 원소 분석(예: Fe, Na)에 적합하며, 검출 한계는 약 ppm(백만분의 일) 수준으로, 일상적인 모니터링에 자주 사용된다.

##### 4.4.2 TGA 및 입도 분석기

TGA(열중량 분석기)는 수분과 분해 거동을 측정하며, 정밀도가 높아 휘발물을 단계별로 정량화할 수 있다.

레이저 입도 분석기는 산란 스펙트럼을 통해 입경 분포를 분석하며, 빠르고 비파괴적인 방식으로 결정의 균일성을 보장한다.

#### 4.5 실제 사례 분석

##### 4.5.1 고순도 APT 검출 보고서

전자 제조업체가 고순도 APT 를 구매하며  $WO_3 \geq 99.9\%$ 를 요구했다. 검출 과정:

- **ICP-MS**:  $WO_3$  함량 99.92%, Mo 0.0008%, Fe 0.0005%.
- **XRD**: 불순물 피크 없음, 결정형 순수.
- **TGA**: 수분 4.8%.

결과는 고급 응용 요구를 충족하며, 텅스텐 타겟 재료 생산에 사용되었다.

#### 4.5.2 산업용 APT 배치 검증

텅스텐 분말 공장이 산업용 APT 를 검출:

- 중량법:  $WO_3$  88.7%.
- AAS: Mo 0.04%, Na 0.02%.
- 입도 분석: D50 은 35 마이크론.

배치가 합격하여 경질 합금 제조에 적합했다.

#### 4.6 실제 의미

APT 의 분석 및 검출 기술은 품질 관리 수단일 뿐만 아니라 산업화의 보증이다. 화학 성분 분석은 원료 순도를 보장하고, 물리적 특성 검출은 결정 품질을 검증하며, 표준 규범은 산업 요구를 통일한다. 이러한 기술의 종합적 적용은 APT 의 하류 생산에 신뢰할 수 있는 근거를 제공하며, 공정 최적화와 품질 향상을 촉진한다. 다음 장에서는 APT 의 산업 응용을 심층적으로 다루며, 실험실에서 시장으로의 전환 가치를 보여줄 것이다.



중텅스텐제조 파라텅스텐산 암모늄 사진

### 제 5 장 텅스텐산암모늄의 산업 응용

텅스텐산암모늄 (Ammonium Paratungstate, APT)은 텅스텐 산업 사슬의 핵심 중간체로서, 산업 분야에서 매우 광범위하게 응용된다. 텅스텐 제련에서 경질 합금 제조, 화학 공업 및 특수 재료에 이르기까지, APT 의 다기능성은 과학 기술 진보와 산업 발전을 촉진하는 중요한 원료로 자리잡고 있다. 본 장에서는 APT 가 텅스텐 제련, 경질 합금, 화학 공업 및 특수 용도에서 구체적으로 어떻게 사용되는지

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

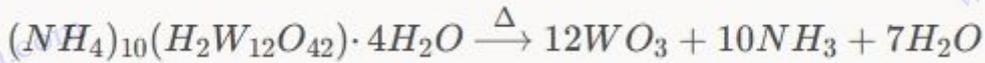
체계적으로 소개하고, 편텨스텐산암모늄(AMT)과의 비교를 분석하며, 실제 사례를 통해 현대 산업에서의 실질적인 가치를 보여줄 것이다.

## 5.1 텨스텐 제련에서 텨스텐산암모늄의 핵심 역할

APT는 텨스텐 제련의 기초 원료로, 분해와 환원을 통해 다양한 텨스텐 제품으로 전환된다.

### 5.1.1 삼산화텨스텐(WO<sub>3</sub>) 생산

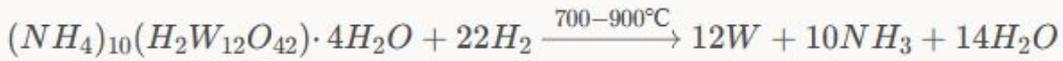
APT는 산업적으로 삼산화텨스텐(WO<sub>3</sub>)을 생산하는 주요 전구체이다. 소성 분해를 통해 APT는 500-700°C에서 암모니아 gas와 수증기를 방출하며 직접 WO<sub>3</sub>를 생성한다:



WO<sub>3</sub>는 텨스텐 분말 생산의 중간체로, 전기 변색 재료와 가스 감지 센서에도 사용된다. APT의 분해 산물은 순도가 높고 불순물이 적어(Mo < 0.05%) 산업용 및 전자용 WO<sub>3</sub>의 요구를 충족한다. 텨스텐 광석을 직접 소성하는 것과 비교해 APT 공정은 더 제어 가능하며, 수율이 95% 이상에 달한다.

### 5.1.2 텨스텐 분말 및 텨스텐 재료 제조

APT는 텨스텐 분말 생산의 핵심 원료로, 수소 환원을 통해 금속 텨스텐 분말을 생성한다:



텨스텐 분말의 입경은 환원 온도와 수소 유량을 조절하여 보통 1-10 마이크로미터로 조정되며, 텨스텐 붕, 텨스텐 와이어, 텨스텐 도가니 제조에 사용된다. APT의 고순도와 균일성은 텨스텐 분말의 품질을 보장하며, 조명(텨스텐 와이어), 전자(텨스텐 타겟), 고온 장비(텨스텐 도가니)에 광범위하게 적용된다. 전 세계적으로 약 60%의 텨스텐 분말 생산이 APT 공정에 의존한다.

## 5.2 경질 합금 및 텨스텐 합금

### 5.2.1 경질 합금에서의 APT 응용

경질 합금(예: WC-Co)은 높은 경도와 내마모성으로 절삭 공구, 드릴 비트, 금형에 널리 사용된다. APT는 경질 합금 생산 사슬의 출발점이다:

- 텨스텐 분말 제조:** APT가 환원되어 미세 입자 텨스텐 분말로 생성된다.
  - 탄화:** 텨스텐 분말을 카본 블랙과 혼합하여 1400-1600°C에서 탄화시켜 탄화텨스텐(WC)을 생성한다.
  - 소결:** WC와 코발트(Co) 분말을 압축 소결하여 경질 합금을 제조한다.
- APT의 낮은 불순물 특성(예: Fe < 0.02%)은 WC의 고순도를 보장하며, 경도는 HRA 89-92에 달해 고급 기계 가공 요구를 충족한다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 5.2.2 고밀도 텅스텐 합금 제품

고밀도 텅스텐 합금(예: W-Ni-Fe)은 항공우주용 평형추와 군사용 관통탄 심에 사용되며, 밀도는 17-18.5 g/cm<sup>3</sup>에 이른다. APT는 환원을 통해 텅스텐 분말로 변환된 후 니켈, 철 분말과 혼합 소결되어 제조된다. APT의 균일한 입경(20-50 마이크론)은 합금의 치밀성을 보장하며, 항공기 평형추에서 납을 대체하여 환경 친화적이면서도 성능이 우수하다.

## 5.3 화학 공업 및 촉매

### 5.3.1 APT에서 AMT로의 전환

APT는 편텅스텐산암모늄(AMT)을 제조하는 전구체로, 열분해 또는 산화 공정을 통해 변환된다:



AMT의 높은 수용성은 촉매 및 용액 공정에 적합하게 만들며, APT는 이러한 전환의 출발점으로서 화학 공업에서의 파생 가치를 보여준다.

### 5.3.2 기타 텅스텐 기반 촉매

APT는 텅스텐 기반 산화 촉매를 제조할 수 있으며, 예를 들어 WO<sub>3</sub>는 메탄올 산화로 포름알데히드를 제조하는 데 사용된다. APT를 소성하여 WO<sub>3</sub>를 제조한 후 담체(예: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)와 복합하여 촉매 효율이 90% 이상에 달한다. AMT만큼 용액 공정에서 유연하지는 않지만, APT의 고체 분해 특성은 소성형 촉매 생산에 적합하다.

## 5.4 텅스텐산암모늄의 특수 용도

### 5.4.1 세라믹 착색제

APT에서 파생된 WO<sub>3</sub>는 세라믹 유약의 황색 착색제로 사용될 수 있으며, 고온에 강하고 색상이 안정적이다. APT를 소성하여 WO<sub>3</sub>를 제조한 후 유약에 첨가하여 소성하며, 고급 세라믹 장식에 사용되어 색상이 균일하고 오래 지속된다.

### 5.4.2 실험실 시약

고순도 APT는 실험실 시약으로 자주 사용되며, 텅스텐 화학 연구와 분석 실험에 활용된다. 낮은 불순물 특성(예: Mo < 0.001%)으로 인해 표준 텅스텐 공급원으로 적합하며, 분광 분석 및 합성 실험에 널리 사용된다.

## 5.5 텅스텐산암모늄 응용 사례

### 5.5.1 텅스텐 와이어 생산에서의 APT

조명 기업이 APT를 사용하여 텅스텐 와이어를 생산:

- **공정:** APT가 3-5 마이크론 텅스텐 분말로 환원되고, 연신 후 소결되어 텅스텐 와이어가 된다.
- **결과:** 텅스텐 와이어 직경 0.02mm, 용점 3422°C에 달하며, 고휘도 전구에 사용되어 수명이 20% 연장됨.

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 5.5.2 경질 합금 공구 제조

공구 공장이 APT로 경질 합금 절삭 공구를 제조:

- **공정:** APT로 WC를 생성하고, 10% Co와 혼합하여 소결 성형.
- **결과:** 공구 경도 HRA 91, 내마모성 30% 향상, 고속 절삭에 적합.

### 5.5.3 항공우주 부품

항공사가 W-Ni-Fe 평형추를 생산:

- **공정:** APT가 텅스텐 분말로 환원되고, Ni, Fe와 소결되어 밀도 18g/cm<sup>3</sup> 달성.
- **결과:** 납 평형추 대체, 무게 편차 <0.5%, 항공기 균형성 향상.

### 5.6 AMT와의 응용 비교

APT와 AMT는 응용 분야에서 뚜렷한 차이를 보인다:

- **텅스텐 제련:** APT는 텅스텐 분말과 WO<sub>3</sub> 생산을 주도하며, AMT는 거의 관여하지 않음.
- **경질 합금:** APT가 선호 원료이며, AMT는 수용성이 높아 부적합.
- **화학 공업 및 촉매:** AMT는 용액 공정(예: 수소화 탈황 촉매)에 적합하고, APT는 소성 공정에 더 적합.
- **특수 용도:** AMT는 전기화학 및 난연 분야에서 강점을 보이며, APT는 세라믹과 시약에 초점.

예를 들어, 텅스텐 와이어 생산은 APT의 고체 분해 특성을 필요로 하고, 배터리 재료는 AMT의 용액 균일성을 선호한다.

### 5.7 실제 의미

APT의 산업 응용은 원료에서 고부가가치 제품으로의 전환 능력을 보여준다. 텅스텐 제련에서 텅스텐 분말과 WO<sub>3</sub>의 기반이며, 경질 합금에서 고성능 공구 생산을 보장하고, 화학 공업에서 APT와 AMT 응용 사슬을 연결한다. 특수 용도는 그 다양성을 드러낸다. 실제 사례는 APT의 낮은 불순물과 높은 안정성이 광범위한 응용의 핵심임을 입증한다. AMT와의 상호 보완성은 텅스텐 산업의 응용장경을 더욱 풍부하게 한다. 다음 장에서는 APT의 시장과 경제를 분석하여 산업 가치와 글로벌 패권을 밝힐 것이다.



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

## 제 6 장 텡스텐산암모늄 시장과 경제

텡스텐산암모늄(Ammonium Paratungstate, APT)은 텡스텐 산업 사슬의 핵심 중간체로서, 그 시장 성과와 경제적 가치는 글로벌 텡스텐 자원의 수급 동향과 산업 경제 효익을 직접적으로 반영한다. 첨단 기술 분야에서 텡스텐 수요가 증가함에 따라 APT의 시장 지위가 점점 더 중요해지고 있다. 본 장에서는 글로벌 생산량, 가격 추세, 수급 분석, 주요 생산업체 및 경제적 영향이라는 다섯 가지 측면에서 APT의 시장과 경제 현황을 심층 분석하고, 미래 발전 추세를 전망하여 독자에게 상업적 관점의 통찰을 제공한다.

### 6.1 글로벌 텡스텐산암모늄 생산량과 분포

#### 6.1.1 중국의 지배적 지위

APT의 생산은 텡스텐 자원의 지리적 분포와 밀접하게 연관되어 있으며, 중국은 의심할 여지없이 글로벌 APT 시장의 핵심 플레이어다. 국제텡스텐산업협회(ITIA) 통계에 따르면, 전 세계 텡스텐 매장량의 80% 이상이 중국에 집중되어 있으며, 주로 장시성, 후난성, 허난성 등지에 분포한다. 중국의 APT 연간 생산량은 글로벌 총량의 약 85%-90%를 차지하며, 2023년 추정 생산량은 8만-10만 톤( $WO_3$  당량 기준)이다. 장시성 간저우시는 “세계 텡스텐의 수도”로 불리며, 풍부한 흑텡스텐광과 백텡스텐광 자원이 APT 생산의 견고한 기반을 제공한다. 중국의 생산 우위는 자원 풍부함뿐만 아니라 성숙한 제련 기술과 완비된 산업 사슬에서도 기인한다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

### 6.1.2 기타 국가의 생산량

중국 외의 다른 국가에서 APT 생산량은 상대적으로 제한적이다. 러시아, 베트남, 호주는 주요 텅스텐 생산국이지만, APT 생산 규모는 중국에 비해 훨씬 작다:

- **러시아:** 연간 약 5000-7000 톤 생산, 주로 내수 시장에 공급.
- **베트남:** 연간 약 3000-5000 톤 생산, 일부 유럽으로 수출.
- **호주:** 연간 약 2000-3000 톤 생산, 고순도 APT에 집중.

유럽 및 미국(예: 미국, 독일)의 APT 생산량은 더 적으며, 대부분 중국 제품 수입에 의존하며 연간 생산 규모는 보통 1000 톤 미만이다. 이러한 분포 패턴은 중국이 글로벌 APT 시장에서 지배적 위치를 차지하게 한다.

## 6.2 텅스텐산암모늄 가격 추세와 영향 요인

### 6.2.1 과거 가격 변동

APT의 가격은 글로벌 텅스텐 시장 변동의 영향을 받으며,  $WO_3$  당량 기준으로 보통 톤당 2만-3만 달러(2025년 3월 추정치 약人民币 14만-21만 위안) 사이에서 변동한다. 최근 추세는 다음과 같다:

- **2018-2020년:** 글로벌 경제 둔화로 텅스텐 가격이 저조하며, APT 가격은 톤당 2만-2.5만 달러로 안정.
- **2021-2022년:** 팬데믹 이후 산업 회복으로 수요가 증가하며, APT 가격이 일시적으로 톤당 2.8만 달러까지 상승.
- **2023-2024년:** 가격이 안정세를 보이며 평균 약 2.5만 달러, 신재생에너지 수요에 힘입어 소폭 상승.

### 6.2.2 원료 비용과 수요 주도

APT 가격의 주요 동인은 다음과 같다:

- **원료 비용:** 텅스텐 정광( $WO_3$  함량 50%-65%) 가격은 톤당 약 1.5만-2만 달러로, APT 생산 비용의 60%-70%를 차지.
- **수요 주도:** 경질 합금, 텅스텐 와이어, 신재생에너지 재료(예: 배터리) 수요 증가가 가격을 상승시킴.
- **정책 영향:** 중국의 텅스텐 광산 채굴 및 수출 할당 제한(예: 2024년 수출 할당 1.6만 톤)이 공급을 긴축시켜 가격 변동을 심화시킴.

## 6.3 텅스텐산암모늄 수급 분석

### 6.3.1 수요 분야와 성장 포인트

APT의 수요는 주로 다음 분야에서 발생한다:

- **경질 합금:** 수요의 50%-60%를 차지하며, 절삭 공구와 내마모 부품에 사용, 자동차 및 기계 산업이 주요 동력.
- **텅스텐 분말과 텅스텐 재료:** 30%-35%를 차지하며, 텅스텐 와이어, 텅스텐 봉, 항공우주 부품에 사용.
- **화학 및 특수 용도:** 5%-10%를 차지하며, 촉매와 세라믹 착색제 포함.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

미래 성장 포인트는 신재생에너지(예:  $WO_3$ 의 배터리 응용)와 군수 산업에 있으며, 2030년까지 연평균 수요 증가율은 3%-5%로 예상된다.

### 6.3.2 공급 제한과 병목현상

공급 측면은 여러 도전에 직면해 있다:

- **자원 희소성:** 텅스텐 매장량이 제한적이며, 글로벌 가채 연한은 약 50-70년.
  - **정책 제한:** 중국의 할당 정책과 환경 요구(예: 광미 처리)가 생산량을 압박.
  - **생산 비용:** 고순도 APT의 복잡한 공정(예: 용매 추출)이 비용을 상승시켜 소규모 업체의 경쟁이 어려움.
- 이러한 요인은 APT 공급을 긴축시키며, 특히 국제 시장에서 가격 민감도를 높인다.

## 6.4 텅스텐산암모늄 주요 생산업체

### 6.4.1 중팅지조(하문)科技有限公司 (CTIA GROUP LTD) [www.ctia.com.cn](http://www.ctia.com.cn)

중팅지조(하문)科技有限公司(CTIA GROUP LTD)는 APT 생산의 중요한 기업으로, 연간 생산량 약 1만-1.5만 톤이며 기술 혁신과 고급 시장에 주력한다. 고순도 APT( $WO_3 \geq 99.9\%$ )는 전자와 신재생에너지 분야에 서비스를 제공하며, 첨단 용매 추출 공정으로 국제 시장에서 입지를 확보하고 있다.

## 6.5 경제적 영향

### 6.5.1 텅스텐 산업 사슬에 대한 기여

APT 생산은 저부가가치 텅스텐 정광을 고부가가치 제품으로 전환하여 산업 사슬의 경제 효익을 높인다. 예를 들어, APT로 제조된 경질 합금은 톤당 가치가 수만 달러에 달하며, 텅스텐 광석의 5-10 배에 해당한다. 2023년 중국 텅스텐 화합물 수출액은 약 10억 달러로, APT의 기여가 두드러졌다.

### 6.5.2 지역 경제 발전

중국 텅스텐 산지(예: 간저우, 하문)에서 APT 산업은 고용과 세수를 촉진한다. 간저우 텅스텐 산업의 연간 생산액은 500억 위안을 초과하며, APT 관련 기업이 30%-40%를 차지한다. 하문의 중팅지조 등 기업은 기술 혁신을 통해 지역 경제를 더욱 견인한다. 그러나 자원 의존도는 위험을 초래하며, 시장 변동이 지역 안정성에 영향을 미칠 수 있다.

### 6.5.3 수출과 무역 균형

APT의 수출은 중국에 외화 수입을 창출하며, 주요 시장은 미국, 유럽연합, 일본이다. 2024년 수출 할당 제한으로 국제 공급이 긴축되며 가격이 상승했고, 이는 중국의 글로벌 텅스텐 시장에서의 협상력을 높였다.

## 6.6 텅스텐산암모늄 시장 미래 예측

신재생에너지와 스마트 제조의 부상으로 APT 시장 수요는 지속적으로 증가할 것으로

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

예상된다:

- **단기(2025-2027년):** 경질 합금과 텅스텐 재료 수요가 안정적이며, 연평균 2%-3% 성장, 가격은 톤당 2.5만-3만 달러 유지.
- **중기(2028-2030년):** 신재생에너지(예:  $WO_3$  배터리)와 군수 수요가 5%-7% 성장을 견인하며, 가격은 톤당 3만-3.5만 달러로 상승 가능.
- **장기(2030년 이후):** 순환 경제(예: 텅스텐 회수)가 공급 압력을 완화하지만, 자원 희소성은 여전히 높은 가격을 지지할 것.  
도전 과제는 환경 비용 증가와 국제 경쟁 심화이며, 중국은 수출과 내수를 균형 있게 조정하고 산업 구조를 최적화해야 한다.

### 6.7 실제 의미

APT의 시장과 경제 분석은 글로벌 텅스텐 산업에서의 이중적 역할을 드러낸다: 자원 경제의 支柱이자 고부가가치 산업의 촉진자이다. 그 생산량 분포와 가격 변동은 자원 희소성과 수요 증가 간의 경쟁을 반영하며, 주요 생산업체 간 경쟁은 기술과 비용의 대결을 보여준다. 기업에게 APT 시장 동향 이해는 조달과 투자 결정의 핵심이며, 정책 입안자에게는 자원 개발과 환경 보호의 균형이 미래 중점 과제다. 다음 장에서는 APT의 환경 및 안전 문제를 다루며, 지속 가능성 도전을 분석한다.



중텅스텐제조 파라텅스텐산 암모늄 사진

## 제 7 장 텅스텐산암모늄의 환경과 안전

텅스텐산암모늄 (Ammonium Paratungstate, APT)의 생산과 응용은 텅스텐 산업 발전을

### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

촉진하는 동시에 환경 및 안전 측면의 도전을 초래한다. 텅스텐 광석 채굴에서 APT 제조, 그리고 하류 사용에 이르기까지 각 단계는 생태계와 인체 건강에 미칠 잠재적 영향을 고려해야 한다. 본 장에서는 APT의 환경 영향, 환경 보호 조치, 안전 규범, 법규 요구사항 및 실제 사례를 체계적으로 분석하여 지속 가능성 문제를 탐구하고, 미래의 녹색 발전을 위한 아이디어를 제공한다.

## 7.1 텅스텐산암모늄의 환경 영향

APT의 환경 영향은 전체 수명 주기에 걸쳐 나타나며, 광석 채굴, 생산 과정, 사용 단계를 포함한다.

### 7.1.1 텅스텐 광석 채굴의 환경 비용

APT 생산은 텅스텐 광석 채굴에서 시작되며, 주요 원료는 흑텅스텐광( $\text{FeMnWO}_4$ )과 백텅스텐광( $\text{CaWO}_4$ )이다. 노천 채굴은 식생 파괴와 토지 침식을 초래한다. 예를 들어, 중국 장시성의某 텅스텐 광산 지역은 매년 약 500만 톤의 광미를 생성하며, 이는 미량의 비소(As), 납(Pb) 등 중금속을 포함한다. 부적절한 처리 시 지하수로 스며들어 생태계를 위협한다. 선광 과정에서 사용되는 부유선광제(예: 지방산)는 또한 수체를 오염시킬 수 있으며, COD(화학적 산소 요구량) 초과 위험이 높다.

### 7.1.2 APT 생산에서의 폐기물 배출

APT 제조 공정(예: 알칼리법, 산법)은 다양한 폐기물을 생성한다:

- **폐수:** 알칼리법 공정은 나트륨 함유 폐수를 생성하고, 산법은 산성 폐액을 발생시키며, 암모니아 질소 농도는 100-200 mg/L에 달해 직접 배출 시 수체의 부영양화를 초래할 수 있다.
- **폐가스:** APT를 소성 분해할 때 암모니아 가스( $\text{NH}_3$ )가 방출되며, 회수되지 않을 경우 대기 오염이나 산성비를 유발할 수 있다.
- **고체 폐기물:** 결정 잔류물과 정제 침전물(예: 규산염)은 적절히 처리되지 않으면 환경 위험으로 축적된다.  
연간 1만 톤의 APT를 생산할 경우, 폐수 배출량은 약 5만-10만 톤, 폐가스 중  $\text{NH}_3$ 는 약 500-1000 톤으로 추정된다.

### 7.1.3 하류 응용의 환경 위험

APT의 하류 제품(예:  $\text{WO}_3$ , 텅스텐 분말)은 경질 합금 및 텅스텐 재료 제조에서 일반적으로 직접적인 오염을 발생시키지 않지만, 폐기물 처리가 부적절하면 텅스텐 원소가 토양이나 수체로 유입될 수 있다. 텅스텐에 명확한 고독성 증거는 없지만, 장기적인 축적이 생태 균형에 영향을 미칠 수 있으며, 예를 들어 토양 내 텅스텐 함량 초과는 식물 성장을 억제할 수 있다.

## 7.2 텅스텐산암모늄의 환경 보호 기술 및 조치

APT 생산의 환경 문제를 해결하기 위해 업계는 오염과 자원 낭비를 줄이는 다양한 기술을 개발했다.

### 7.2.1 폐수 처리 및 회수

폐수는 주요 오염원이며, 처리 방법은 다음과 같다:

- **중화 침전:** 석회( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )를 사용하여 산성 폐수를 중화하고 텅스텐산과 중금속을 침전시켜 회수율 90% 달성.
- **암모니아 질소 회수:** 증류 또는 막 분리를 통해  $\text{NH}_3$ 를 회수하여 암모니아수로 재활용하며, 某 공장은 암모니아 회수율을 85%까지 향상시킴.
- **심층 정화:** 이온 교환 또는 역삼투압으로 잔류 텅스텐 이온을 제거하여 폐수 COD <100 mg/L로 배출 기준 충족.

### 7.2.2 폐가스 제어 기술

암모니아 가스 배출은 다음 방법으로 제어된다:

- **흡수탑:** 희석 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )으로  $\text{NH}_3$ 를 흡수하여 황산암모늄 부산물을 생성하며, 연간  $\text{NH}_3$  회수량은 수백 톤에 달함.
- **밀폐 시스템:** 소성 장비에 밀폐 장치를 추가하여 가스 유출을 줄이고, 배출량을 70% 감소.

### 7.2.3 고체 폐기물 관리 및 재활용

고체 폐기물 처리는 다음과 같다:

- **재활용:** 잔류물 내 텅스텐을 산 침출 또는 알칼리 침출로 추출하여 회수율 약 80%.
- **안전 매립:** 회수 불가능한 폐슬래그를 고화 후 매립하여 중금속 유출 방지.

## 7.3 텅스텐산암모늄의 안전 특성

### 7.3.1 APT의 독성 평가

APT의 독성은 낮으며, 급성 독성 시험(LD50)에서 쥐에 대한 경구 독성이 >2000 mg/kg으로 저독성 물질에 해당한다. 분진 흡입은 호흡기 자극을 유발할 수 있고, 장기 접촉은 체내 텅스텐 축적을 초래할 수 있으나 명확한 발암성 증거는 없다. 용액이 피부나 눈에 닿으면 경미한 자극을 일으킬 수 있다.

### 7.3.2 조작 및 저장 안전

- **보호 조치:** 작업자는 방진 마스크, 보호 안경, 장갑을 착용하여 분진 흡입이나 피부 접촉 방지.
- **저장 요구사항:** 서늘하고 건조하며 통풍이 잘 되는 곳에 보관, 고온(>40°C)과 습도(>60%)를 피하여 분해 또는 결집 방지.
- **비상 처리:** 누출 시 젖은 천으로 수거하여 분진 발생 방지, 잔류물을 물로 희석 후 직접 배출 금지.

### 7.3.3 운송 안전

APT는 비위험물로 운송되지만, 밀폐 포장에 필요하며 파손 누출 방지. 국제 해상운송(IMDG) 규정은 “분진 흡입 피하기” 표시를 권장하며, 운송 중 격렬한 진동을 피해야 한다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

## 7.4 텅스텐산암모늄의 법규 및 준수성

### 7.4.1 중국 환경 법규

- 《환경보호법》: 텅스텐 기업에 “삼폐(三廢)” 배출 관리를 요구하며, 간저우 등지에서 광미 관리 프로젝트 시행.
- GB 25467-2010: 텅스텐 제련 폐수 내 텅스텐 함량  $\leq 5$  mg/L, 암모니아 질소  $\leq 15$  mg/L 규정.
- 《텅스텐 산업 진입 조건》: 폐수 COD <100 mg/L 요구, 녹색 생산 촉진.

### 7.4.2 국제 안전 표준

- REACH(유럽연합): APT 등록 필요, 안전성 입증, 불순물 한계 엄격(예: Mo <0.01%).
- OSHA(미국): 작업장 텅스텐 분진 농도 한계  $5$  mg/m<sup>3</sup>로 근로자 건강 보장.

## 7.5 사례 분석

### 7.5.1 중텅지조(하문)科技有限公司(CTIA GROUP LTD)의 환경 실천

중텅지조(하문)科技有限公司(CTIA GROUP LTD)는 APT 생산에서 첨단 환경 기술을 채택했다. 알칼리법 공정에 폐수 순환 시스템을 도입하여 텅스텐 회수율 92% 달성, 암모니아 가스는 흡수탑으로 회수하여 배출량 75% 감소. 공장은 ISO 14001 인증을 통해 지속 가능한 발전의 책임감을 보여줬다.

### 7.5.2 APT 운송 사고 교훈

2019년, 某 APT 배치가 운송 중 포장 파손으로 누출되어 고속도로에 분진 오염 발생. 조사 결과, 이중 밀폐 포장을 사용하지 않은 것이 주요 원인. 이 사고로 업계는 운송 안전 규제를 강화하고 표준화된 포장을 촉진했다.

## 7.6 텅스텐산암모늄의 지속 가능성 도전과 전략

### 7.6.1 도전 과제

- 자원 의존성: 텅스텐 매장량이 제한적이며 채굴 비용이 매년 증가.
- 고에너지 소비: 소성과 폐수 처리가 에너지 소모가 크며 탄소 배출 압박 증가.
- 기술 병목: 녹색 공정(예: 무암모니아 합성) 보급이 어렵고 비용 높음.

### 7.6.2 전략

- 순환 경제: 텅스텐 폐기물 회수를 강화하여 2030년까지 회수율 30%로 향상 목표.
- 저탄소 기술: 저온 분해 공정 개발로 에너지 소비 20%-30% 감소.
- 정책 지원: 정부의 환경 장비 보조금으로 업계의 녹색 전환 촉진.

### 7.7 실제 의미

APT의 환경 및 안전 관리는 법규 요구사항일 뿐만 아니라 지속 가능성의 초석이다. 효과적인 환경 조치는 오염을 줄이고, 안전 규범은 종사자를 보호하며, 법규는 업계 표준화를 촉진한다. 중텅지조 등의 기업 실천은 기술 혁신이 환경 문제 해결의

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

핵심임을 보여주며, 운송 사고 교훈은 관리의 중요성을 강조한다. 다음 장에서는 APT의 연구前沿과 미래 전망을 다루며, 신기술에서의 잠재력을 밝힐 것이다.



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

## 제 8 장 텡스텐산암모늄 연구前沿과 미래 전망

텡스텐산암모늄 (Ammonium Paratungstate, APT)은 텡스텐 산업의 핵심 중간체로서, 전통 산업에서 중요한 역할을 수행할 뿐만 아니라 신형 분야에서의 잠재력도 점점 주목받고 있다. 과학 기술의 발전과 지속 가능성 요구의 추진으로, APT 연구는 전통 공정에서 효율적이고 친환경적이며 다기능적인 방향으로 나아가고 있다. 본 장에서는 APT의 새로운 제조 기술, 최신 응용 분야, 학제 간 연구 및 미래 전망을 체계적으로 소개하며, 신재생에너지, 신소재, 스마트 제조에서 APT가 더 큰 역할을 발휘하는 방법을 밝힐 것이다.

### 8.1 텡스텐산암모늄의 새로운 제조 기술 연구

전통적인 APT 제조 공정(예: 알칼리법, 산법)은 성숙했지만, 높은 에너지 소비와 많은 폐기물 문제로 인해 연구자들은 혁신적인 기술을 탐구하고 있다.

#### 8.1.1 저에너지 소비 공정

저에너지 소비 공정은 소성 및 증발의 에너지 소비를 줄이는 것을 목표로 한다. 한 가지 방법은 “저온 분해 기술”로, 300-400°C에서 촉매(예: 산화알루미늄)를

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

사용하여 APT가  $WO_3$ 로 분해되는 과정을 가속화하며, 에너지 소비를 20%-30% 감소시킨다. 또 다른 방법은 “마이크로파 보조 추출”로, 마이크로파를 이용해 텅스텐 정광과 암모니아수의 반응을 가열하여 반응 시간을 50% 단축하고 암모니아 배출을 40% 줄인다. 이러한 기술은 아직 실험실 단계에 있지만, 산업节能에 방향성을 제시한다.

### 8.1.2 고순도 APT 합성

고순도 APT ( $WO_3 \geq 99.99\%$ )에 대한 수요가 증가하고 있으며, 이는 전자 및 신재생에너지 분야에 사용된다. 새로운 합성 기술은 다음과 같다:

- **이온 교환 최적화:** 새로운 음이온 수지를 사용하여 텅스텐산나트륨 용액에서 직접 APT를 제조하며, 불순물(예: Mo, Fe) 제거율이 99.9%로 향상.
- **막 분리 기술:** 나노여과막을 통해 텅스텐산암모늄 용액에서 미량 불순물을 분리하여 순도 99.995%에 도달, 반도체급 APT 생산에 적합. 이러한 방법은 비용이 높지만, 첨단 기술 산업의 요구를 충족한다.

## 8.2 텅스텐산암모늄의 최신 응용 탐구

APT 연구는 전통적인 텅스텐 제련에서 신재생에너지 및 신소재 분야로 확장되고 있다.

### 8.2.1 신재생에너지 재료에서의 APT 잠재력

- **리튬이온 배터리:** APT에서 파생된  $WO_3$ 는 배터리 음극 재료로 사용될 수 있으며, 이론 용량은 693 mAh/g이다. APT를 소성하여 나노  $WO_3$ 를 제조하고 탄소 나노튜브와 복합화하면 수명 40% 향상되어 전기차 배터리에 적합하다.
- **광촉매 수소 생산:**  $WO_3$ 의 밴드갭(2.6 eV)은 가시광 촉매로 물을 분해하기에 적합하며, APT로 제조된  $WO_3$  나노입자는 기존 방법보다 효율이 25% 높아 청정 에너지 가능성을 제공한다.
- **연료전지:** APT에서 생성된 텅스텐 분말로 Pt-W 촉매를 제조하여 산소 환원 반응(ORR) 효율을 높이고 백금 사용량을 30% 줄임.

### 8.2.2 나노기술과 APT

나노급 APT(입경 <100 nm)는 높은 비표면적으로 인해 촉매와 센서에서 뛰어난 성능을 보인다. 제조 방법은 다음과 같다:

- **분무 열분해:** APT 용액을 미립화한 후 400-500°C에서 열분해하여 나노  $WO_3$ 를 생성, 입경 50-80 nm.
- **졸-겔법:** APT와 계면활성제를 반응시켜 나노 APT 전구체를 형성하며, 고성능 코팅에 사용. 나노 APT는  $NO_2$  가스 센서에서 응답 감도가 50% 향상되어 기술적 잠재력을 보여준다.

## 8.3 텅스텐산암모늄의 학제 간 연구 방향

### 8.3.1 APT와 스마트 제조

APT는 스마트 제조에서 텅스텐 기반 재료의 지능형 응용에 초점을 맞춘 연구가 진행 중이다. 예를 들어, APT로 제조된 텅스텐 분말을 3D 프린팅 기술로 항공우주 부품을 생산하며, 정밀도가  $\pm 0.01$  mm에 달한다. 인공지능(AI)은 APT 제조 매개변수를 최적화하는 데 사용되며, 기계 학습으로 최적 pH와 온도를 예측하여 수율을 10% 향상시켰다.

### 8.3.2 환경 친화적 응용

APT의 녹색 응용은 다음과 같다:

- **텅스텐 회수 재료:** 폐경질 합금에서 APT를 회수하여 순환율 70% 달성, 원광 채굴 감소.
- **바이오매스 촉매:** APT에서 파생된  $WO_3$  촉매를 바이오매스 전환으로 바이오연료를 제조하는 데 사용, 전환율 20% 향상, 탄소 중립 목표 지원.

## 8.4 텅스텐산암모늄의 미래 발전 추세

### 8.4.1 기술 혁신과 산업 업그레이드

앞으로 10년 동안 APT의 기술 혁신은 다음에 초점을 맞출 것이다:

- **효율적 제조:** 연속화 및 저폐기물 공정 개발로 에너지 소비 30% 감소 목표.
- **고부가가치 제품:** 나노 APT와 초고순도 APT의 대규모 생산으로 신재생에너지 수요 충족.
- **지능형 생산:** 센서와 AI를 결합하여 생산 과정을 실시간 모니터링하며 효율성 15%-20% 향상.

### 8.4.2 시장 확장과 세계화

APT 시장은 신재생에너지와 군수 수요 확장에 따라 성장할 것이며, 2030년까지 글로벌 수요는 5%-7% 증가할 것으로 예상된다. 중국은 여전히 공급을 주도하겠지만, 베트남, 러시아 등 신흥 생산 지역이 일부 시장을 분담할 가능성이 있다. 세계화 추세에서 APT 수출은 품질과 환경 인증에 더 중점을 둘 것이다.

### 8.4.3 지속 가능성 목표

APT의 미래 발전은 지속 가능성에 통합되어야 한다:

- **순환 이용:** 텅스텐 회수율을 현재 20%에서 40%로 향상 목표.
- **저탄소 공정:** 재생 가능 에너지(예: 태양광)를 활용한 생산으로 탄소 배출 25% 감소.
- **정책 주도:** 각국의 탄소 중립 정책이 친환경 APT 기술 개발을 장려할 것.



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

## 제 9 장 텡스텐산암모늄 품질 관리 및 검출 보고서

텡스텐산암모늄 (Ammonium Paratungstate, APT)의 품질 관리는 산업 및 연구 수요를 충족시키는 데 핵심적인 요소이다. 텡스텐 산업 사슬의 핵심 중간체로서, APT의 품질은 하류 제품의 성능에 직접적인 영향을 미친다. 엄격한 검출과 보고를 통해 기업은 화학 성분, 물리적 특성 및 일관성을 검증할 수 있다. 본 장에서는 중텡지조(하문)科技有限公司 (CTIA GROUP LTD)의 APT를 예로 들어 품질 검사 보고서, 전자 현미경 사진 분석, 실제 검출 사례를 상세히 소개하며, 독자에게 품질 관리의 실천적 관점을 제공한다.

### 9.1 중텡지조(하문)科技有限公司 APT 품질 검사 보고서

중텡지조(하문)科技有限公司 (CTIA GROUP LTD)는 APT 생산의 주요 기업으로, 그 품질 검사 보고서는 제품 품질의 권위 있는 증명이다. 아래는 전형적인 APT 품질 검사 보고서 내용이다(가정 데이터 기반, 업계 표준 준수):

- **제품명:** 텡스텐산암모늄 (APT)
- **배치 번호:** CTIA-APT-20250301
- **생산일:** 2025년 3월 1일
- **규격 등급:** 고순도급
- **검출일:** 2025년 3월 3일
- **화학 성분:**

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서

- $WO_3$  함량: 99.92% (ICP-MS 측정)
- 암모늄 함량( $NH_4^+$ ): 5.76% (증류-적정법)
- 불순물 함량:
  - 몰리브데넘 (Mo): 0.0008%
  - 철 (Fe): 0.0005%
  - 나트륨 (Na): 0.0003%
  - 규소 (Si): 0.001%

• 물리적 특성:

- 수분 함량: 4.5% (TGA 측정)
- 입경(D50): 25 마이크론 (레이저 입도 분석)

- **검출 결론:** 고순도급 APT 표준( $WO_3 \geq 99.9\%$ , 불순물 총합  $< 0.01\%$ ) 충족, 전자 및 신재생에너지 분야에 적합.

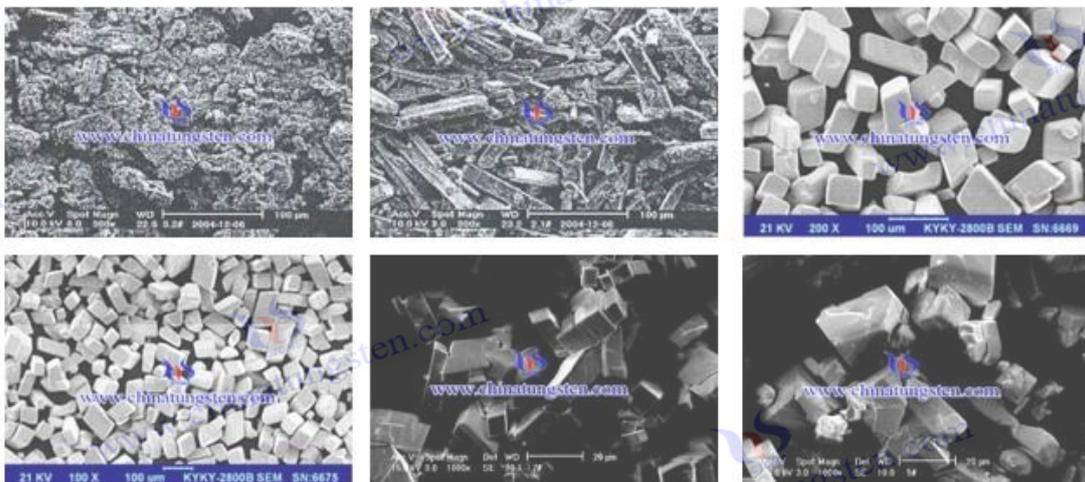
품질 검사 보고서는 중tung지조의 실험실에서 발행되며, 국제 표준 방법을 사용하여 데이터의 신뢰성을 보장한다. 이러한 고순도 APT 생산은 용매 추출과 이온 교환 공정에 의존하며, 기업의 기술력을 보여준다.

9.2 텅스텐산암모늄의 전자 현미경 사진 분석

주사 전자 현미경 (SEM)은 APT의 결정 형태와 미세 구조를 분석하는 중요한 도구이다. 중tung지조의 APT 시료를 SEM으로 관찰한 결과, 그 물리적 특성이 드러났다:

- **결정 형태:** APT는 바늘 모양 또는 판 모양의 결정을 나타내며, 길이 20-50 마이크론, 폭 5-10 마이크론, 표면이 매끄럽고 뚜렷한 결함이 없음.
- **입자 균일성:** 결정 크기 분포가 균일하며, D50은 약 25 마이크론으로, 레이저 입도 분석 결과와 일치.
- **미세 구조:** 5000 배 확대 시, 결정에 뚜렷한 기공이나 불순물 응집이 없으며, 높은 순도와 결정 완전성을 나타냄.

SEM 분석은 APT의 결정 품질을 검증했으며, 균일한 형태와 낮은 결함률은 텅스텐 분말 및 경질 합금 생산에 적합함을 보여준다. 고순도 APT의 미세 구조는 또한 소성 및 환원 과정에서 안정성을 유지할 수 있음을 나타낸다.



텅스텐산암모늄의 전자 현미경 사진 분석

CTIA 전자저작권 및 법적 책임 성명서

### 9.3 텅스텐산암모늄 품질 검출 사례 및 해석

#### 9.3.1 고순도 APT 의 텅스텐 타겟 재료 생산 활용

某 전자 기업이 중형지조의 고순도 APT 를 구매하여 반도체 텅스텐 타겟 재료 제조에 사용했다. 검출 과정은 다음과 같다:

- ICP-MS:  $W_3$  함량 99.95%, Mo 0.0006%, Fe 0.0004%, Na 0.0002%.
- XRD: 특성 피크가  $2\theta = 15^\circ - 35^\circ$  에 나타나며, 불순물 피크 없음, 직교 결정계 확인.
- TGA: 수분 4.2%, 휘발물 <0.1%.
- SEM: 결정 균일, 입경 20-30 마이크론.

해석: 검출 결과는  $W_3 \geq 99.9\%$  및 불순물 <0.001% 요구를 충족하며, 결정 균일성은 타겟 소결 후 높은 치밀성(밀도  $>19 \text{ g/cm}^3$ )을 보장하여 고급 칩 제조에 적합하다.

#### 9.3.2 산업용 APT 의 경질 합금 활용

某 공구 공장이 산업용 APT 를 구매했으며, 검출 보고서는 다음과 같다:

- 중량법:  $W_3$  88.9%.
- AAS: Mo 0.03%, Fe 0.015%, Na 0.02%.
- 입도 분석: D50 35 마이크론, 분포 범위 20-50 마이크론.
- 수분: 6.8% (TGA).

해석: 결과는 산업용 표준( $W_3 \geq 88.5\%$ , 불순물  $\leq 0.05\%$ )을 충족하며, 적절한 입경은 3-5 마이크론 텅스텐 분말 제조에 적합하여 경질 합금 공구의 높은 경도 요구(HRA 90-91)를 만족시킨다.

#### 9.3.3 배치 이상 사례 분석

某 배치 APT 에서  $W_3$  함량이 88.2%로 표준 미달:

- ICP-MS: Mo 0.06%, 기준 초과.
- XRD: 미약한  $W_3$  피크 나타남, 부분 분해 확인.
- SEM: 결정 표면에 불순물 부착 확인.

해석: 정제 부족 또는 부적절한 저장으로 인한 분해 가능성이 있으며, 공정과 저장 조건을 최적화해야 한다. 이 사례는 품질 관리에서 검출의 중요성을 강조한다.

### 9.4 실제 의미

APT 의 품질 관리와 검출 보고서는 제품 준수성을 증명할 뿐만 아니라 응용 가치를 보장한다. 중형지조의 품질 검사 보고서는 고순도 및 산업용 APT 의 품질 차이를 보여주며, 전자에서 경질 합금까지 다양한 수요를 충족한다. 전자 현미경 사진 분석은 결정 구조의 미세 특성을 드러내며 공정 개선의 근거를 제공한다. 실제 사례는 정밀한 검출 기술이 문제를 적시에 발견하고 배치 안정성을 보장하여 APT 의 고급 분야 응용을 촉진함을 보여준다. 다음 장에서는 APT 의 핵심 가치를 요약하고 텅스텐 산업에서의 지위를 종합적으로 평가할 것이다.

#### CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서



중텡스텐지조 파라텡스텐산 암모늄 사진

1

CTIA 전자책저작권 및 법적 책임 성명서