

T0005434

최종연구보고서

전자빔을 이용한 연료전지용 나노합금 촉매의 개발
Development of Nano-Alloy Catalyst by Electron Beam
for Fuel Cell

연구기관
한남대학교

과 학 기 술 부

제 출 문

과 학 기 술 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “연구기반확충사업-대형(전자빔)에 관한 연구” 과제 (세부과제 “전자빔을 이용한 연료전지용 나노합금 촉매의 개발에 관한 연구”)의 최종보고서로 제출합니다.

2005. 05. .

연 구 기 관 명 : 한남대학교

연 구 책 임 자 : 최성호

연 구 원 : 이재찬, 김상준, 전행정

최종연구보고서 초록

과제관리 번호		해당단계 연구기관		단계구분	(해당단계) 1/1 (총단계)
연구사업명	중사업명	연구기반확충사업 (대형연구시설 공동이용 활성화 분야)			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	전자빔을 이용한 연료전지용 나노합금 촉매의 개발에 관한 연구			
연구기관명 (연구책임자)	한남대학교 (최성호)	해당단계 연구인력	내부 : 1 M·Y	연구비	정부 : 21,000 천원
			외부 : 3 M·Y		민간 : 천원
			계 : 4 M·Y	계 : 21,000 천원	
위탁연구	연구기관:	연구책임자:			
국제공동연구	상대국명:	상대국연구기관명:		참여기업	
색인어 (각5개이상)	한글 : 전자선, 방사선, 연료전지, 촉매, Pt-Ru촉매				
	영어 : Electron beam, Radiation, Fuel cell, Pt-Ru catalyst				
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				면수	
<p>1. 연구개발목표 및 내용</p> <p>전 세계적으로 개발·상용화하고자하는 연료전지는 촉매 및 사용전해질의 종류에 따라 고분자전해질용 연료전지, 직접메탄올형 연료전지, 알카리형, 인산형, 용융탄산염 및 고체산화물형으로 크게 6종류로 분류되고 있다. 그 중 고분자전해질용, 직접메탄올형 연료전지용, 알카리형 및 인산형 연료전지의 촉매는 Pt 또는 Pt-Ru나노입자를 카본에 담지된 것으로서 사용하고 있다. 이러한 나노입자 및 나노합금입자 촉매는 화학적 환원법 방법으로 제조 되고 있다. 이러한 화학적 환원법으로 제조된 카본 촉매의 경우 백금 및 루테튬이 2-4 nm 크기로 매우 큰 실장 이고, 제조과정 중에 산화제가 남아 이를 제거하여야하는 번거로움과 효율을 저하시키는 단점이 있다.</p> <p>따라서 본 과제에서는 전자빔 조사에 의한 방법으로, 즉 환원제를 사용하지 않은 방법, 연료전지용 Pt 나노입자의 제조, 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru 나노합금입자의 제조, 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt/C 촉매 제조, 및 전자빔 조사에 의한 Pt-Ru/C 촉매의 제조 및 특성평가를 수행하였다.</p> <p>2. 연구결과</p> <p>전자빔 조사에 의한 방법으로, 즉 환원제를 사용하지 않은 방법, 연료전지용 Pt 나노입자의 제조에 최초로 성공하였다. 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru 나노합금입자의 제조에 성공하였다. 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt/C 촉매를 성공적으로 제조하였다. 전자빔 조사에 의한 Pt-Ru/C 촉매를 성공적으로 제조하였다. 전자선 및 감마선으로 제조된 연료전지용 촉매를 비교 검토하였다.</p> <p>3. 기대효과 및 활용방안</p> <p>연료전지용 촉매 시장규모는 2014년 약 48억\$로 추정 되고 있으며, 현재 연료전지용 핵심소재인 촉매는 전량 수입에 의존하고 있으며, 향후 본격적인 연료전지 상용화시 막대한 외화 지출이 예상되고 있다. 현재, 촉매는 연료전지 전체시스템 가격에서 30%수준에 이르며, 이러한 연료전지 촉매 소재의 국산화는 산업 및 경제에 미치는 영향은 매우 크다. 따라서 본 연구에서 개발된 촉매를 연료전지에 이용하면 획기적인 상품이 제조되리라고 확신한다.</p>					

요 약 문

I. 제 목

전자빔을 이용한 연료전지용 나노합금 촉매의 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 전 세계적으로 개발·상용화하고자하는 연료전지는 촉매 및 사용전해질의 종류에 따라 고분자전해질용 연료전지, 직접메탄올형 연료전지, 알카리형, 인산형, 용융탄산염 및 고체산화물형으로 크게 6종류로 분류되고 있음
- 그 중 고분자전해질용, 직접메탄올형 연료전지용, 알카리형 및 인산형 연료전지의 촉매는 Pt 또는 Pt-Ru나노입자를 카본에 담지된 것으로서 사용하고 있음
- 이러한 나노입자 및 나노합금입자 촉매는 화학적 환원법 방법으로 제조되고 있는 실정임
- 화학적 환원법으로 제조된 카본 촉매의 경우 백금 및 루테튬이 2-4 nm 크기로 매우 큰 실정 이고, 제조과정 중에 산화제가 남아 이를 제거하여야하는 번거로움 있음
- 산화제가 남아 있어 촉매의 효율을 저하시키는 단점이 있음

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 환원제를 사용하지 않은 방법, 즉 전자빔 조사에 의한 방법으로, 연료전지용 Pt 나노입자의 제조 및 특성평가
- 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru 나노합금입자의 제조 및 특성평가
- 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt/C 촉매 제조 및 특성평가
- 전자빔 조사에 의한 Pt-Ru/C 촉매의 제조 및 특성평가
- 전자빔 조사에 의해 제조된 Pt-Ru 및 감마선조사에 의해 제조된 Pt-Ru의 비교평가
- 전자빔 조사에 의해 제조된 Pt-Ru/C 및 감마선조사에 의해 제조된 Pt-Ru/C의 비교평가

IV. 연구개발결과

- 전자빔 조사에 의한 방법으로, 즉 환원제를 사용하지 않은 방법, 연료전지용 Pt 나노입자의 제조에 최초로 성공하였음 (크기 1~2 nm)
- 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru 나노합금입자의 제조에 성공하였음 (크기 1~2 nm)
- 전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt/C 촉매를 성공적으로 제조하였음 (크기 1~2 nm)
- 전자빔 조사에 의한 Pt-Ru/C 촉매를 성공적으로 제조하였음 (크기 1~2 nm)
- 전자선 및 감마선으로 제조된 연료전지용 촉매를 전기화학적 특성을 비교 검토 하였음

V. 연구개발결과의 활용계획

- 연료전지용 촉매 시장규모는 2014년 약 48억\$로 추정 되고 있으며, 현재 연료전지용 핵심소재인 촉매는 전량 수입에 의존하고 있으며, 향후 본격적인 연료전지 상용화시 막대한 외화 지출이 예상 되고 있음
- 현재, 촉매는 연료전지 전체시스템 가격에서 30%수준에 이르며, 이러한 연료전지 촉매 소재의 국산화는 산업 및 경제에 미치는 영향은 매우 큼
- 따라서 본 연구에서 개발된 촉매를 연료전지에 이용하면 획기적인 상품이 제조 되리라고 확신 함

S U M M A R Y
(영 문 요 약 문)

Electron beam irradiation can reduce noble metal ions to prepare metal nanoparticles. This can also be considered as a simple and clean reducing. These methods have many advantages for preparation of metal nanoparticles. For example, they no reducing reagents, and a large number of metal nuclei are produced homogeneously and instantly. However, a little has been reported the preparation of the metallic colloids by using electron beam.

In this study, the PVP-protected Ag, Pd and Pt50-Ru50 colloids were prepared by using γ -irradiation and electron beam at ambient temperature. UV-visible spectrum of the Ag colloids shows the characteristic bands of surface resonance and gives evidence for the formation of Ag nanoparticles. Transmission electron microscopy (TEM) experiments were carried out to characterize morphology of nanoparticles prepared by γ -irradiation and electron beam irradiation. In TEM results, the size of Ag, Pd, and Pt50-Ru50 nanoparticles prepared by γ -irradiation was ca. 13, 2-3, 15 nm, respectively. While, the size of Ag, Pd, and Pt50-Ru50 nanoparticles prepared by electron beam was ca. 10, 6, and 1-3 nm, respectively. Cyclic voltamograms (CV) of the nanoparticles were also measured to obtain oxidation behavior of nanoparticles.

Futhermore, the Pt/C and Pt-Ru/C was prepared by γ -irradiation and electron beam. The prepared Pt/C and Pt-Ru/C was characterized by TEM, XRD and cyclic voltametry. In TEM reslts, the Pt and Pt-Ru alloy nanoparticles were well dispersed in the carbons. The oxidation behavior of Pt/C and Pt-Ru/C in H₂SO₄ solution was also measured.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1 Research Background

Chapter 2 State for Domestic and International Technological Development

Chapter 3 Content and Results of Research Development

Chapter 4 Accomplishment Degree of Goal for Research Development and
Contribution Degree of Relation Field

Chapter 5 Application Plans for Research Results

Chapter 6 References

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요

- * 연구개발의 목적, 필요성 및 범위 등을 기술

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

- * 국내·외 기술개발 현황과 연구결과가 국내·외 기술개발 현황에서 차지하는 위치 등을 기술

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

- * 이론적, 실험적 접근방법, 연구내용, 연구결과를 기술

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

- * 연도별 연구목표 및 평가착안점에 입각한 연구개발 목표의 달성도 및 관련분야의 기술발전예의 기여도 등을 기술

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- * 추가연구의 필요성, 타연구에의 응용, 기업화 추진방안을 기술
- * 연구기획사업 등 사업별 특성에 따라 목차는 변경 가능함

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보

- * 보고서 작성시 인용된 참고 문헌을 열거

제 1 장 연구개발과제의 개요

연료전지는 연료에 포함된 수소와 공기중의 산소가 전기화학적 반응을 통하여 전기와 열을 생성하는 발전 장치다. 연료가 가진 화학적 에너지를 전기적 에너지로 전환 시킬 때 활성화 에너지를 낮추기 위하여, 귀금속 (Pt, Ru, Ir, Os 등) 등과 같은 촉매가 사용되고, 전해질로는 고분자 전해질 막 (Nafion film)이 사용 되어진다. 직접메탄올 연료전지 (DMFC)에서는 연료로써 액상 메탄올을 사용하는데 기체형보다 취급의 용이성과 안정성, 보조 장치가 요구되지 않고 환경 친화적 에너지라는 이점이 있다.

직접메탄올 연료전지는 에너지 밀도가 낮은 단점이 있지만 소형, 범용 이동 전원으로 적합한 것으로 알려져 있다. 한편 많은 효율성을 갖기에 서구 선진국가에서는 연료전지 개발을 국가적 과제로 정하여 연구를 수행하고 있다. 그러한 결과로서 미국 Loss Alamos 국립연구소에서는 1996년 직접 메탄올 연료전지가 고출력 (단위전지; 670 mA/cm^2 , 0.5V)의 전기를 생성할 수 있음을 발표하였다. 이것은 액상 연료인 메탄올을 직접 연료로 이용한 연료전지가 실용화 할 수 있음을 보여주는 대목이다.

공업적으로 널리 사용되는 촉매의 대부분은 다공성을 요구되므로 표면적과 기공부피 및 기공크기 등은 촉매의 물성을 좌우하는 요인들로 알려져 있다. 탄소는 촉매를 담지체 역할을 할 뿐만아니라, 전기전도도를 나타내어 전극을 구성하는 중요한 물질 중에 하나임이 틀림없다. 이 탄소 담지체에 귀금속입자를 담지하는 방법은 전기침전법 그리고 화학환원제를 이용한 화학 환원법이 알려져 있다. 그러나 감마선을 이용한 담비법은 본 연구실에서 처음 개발하였으나 전자빔을 이용한 방법은 현재까지 아무도 연구된바 없다.

한편, 연료전지용 촉매 시장규모는 2014년 약 48억\$로 추정 되고 있으며, 현재 연료전지용 핵심소재인 촉매는 전량 수입에 의존하고 있으며, 향후 본격적인 연료전지 상용화시 막대한 외화 지출이 예상 되고 있다. 연료전지 전체시스템 가격에서 촉매는 30%수준에 이르며, 이러한 촉매 소재의 국산화는 산업 및 경제에 미치는 영향은 아주 클 것으로 기대된다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

한편, 국외의 경우, 연료전지 촉매의 효율을 올리기 위하여 카본의 크기를 변화, 카본구조의 변화, 합금입자의 크기변화, 합금성분의 변화, 담지량에 따른 변화 등 다양하게 연구 수행되고 있는 실정이다. [1-7]

국내의 경우, 연료전지 촉매의 효율을 높이기 위하여, 서울대, KAIST, 에너지연구원, 광주과학기술원, 한남대 등에서 다각도로 연구수행하고 있는 실정이다. 국내/외 연료전지용 촉매의 제조법은 현재, Watanabe [8] 또는 Bönnemann [9]에 의해 제안된 방법이 사용되어 지고 있으며, 이를 바탕으로 한 촉매의 효율을 높이는 연구가 수행되어 지는 실정이다. 이러한 연구 방법은 차후 특허분쟁의 소지를 가지고 있으며, 기술이 편중화 되는 위험성을 가지고 있다고 사료된다. 따라서, 새로운 개념의 연료전지용 촉매의 개발이 절실히 요구되는 절실히 요구되는 상황이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

현재 전세계적으로 개발/상용화하고자하는 연료전지는 촉매 및 사용전해질의 종류에 따라 고분자 전해질용 연료전지, 직접 메탄올형 연료전지등 6종류로 크게 분류된다. 이러한 연료전지용 촉매의 경우, 화학적 환원법으로 제조된 카본 촉매의 경우 백금 및 루테튬이 2-4 nm 크기로 매우 큰 실정 이다.

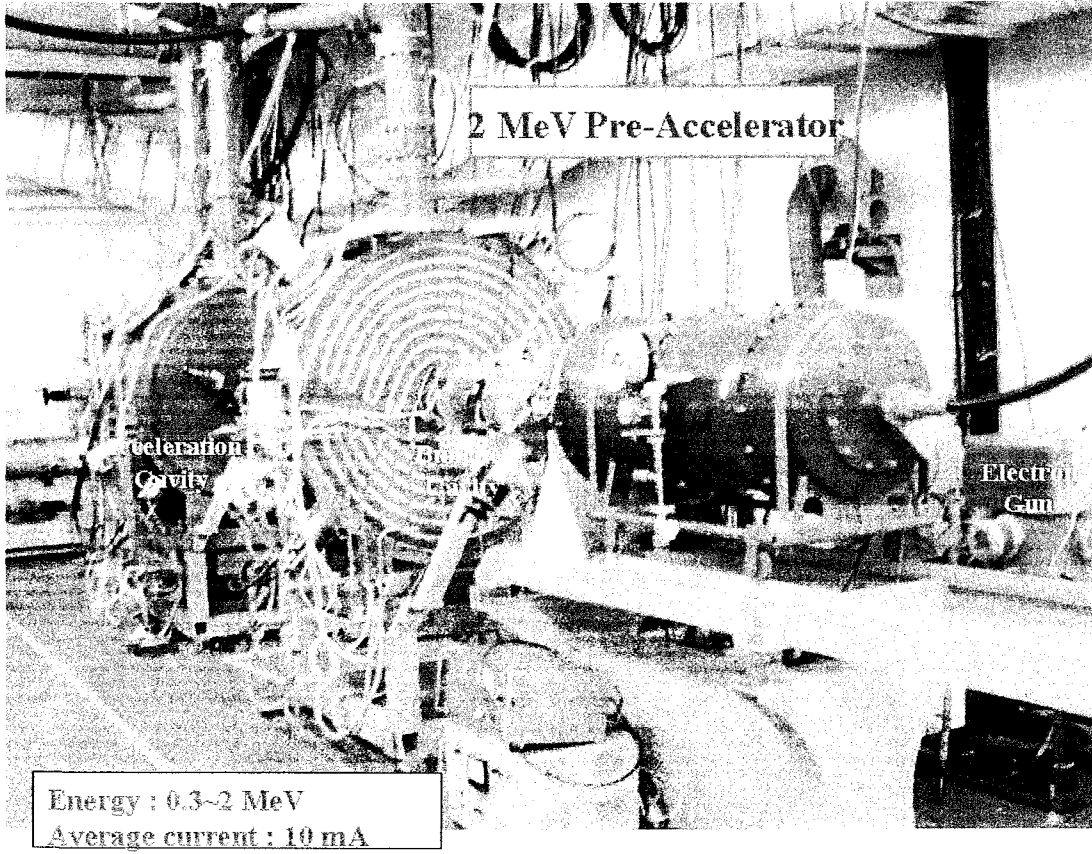
구분	고분자전해질용 (PEMFC)	직접메탄올형 (DMFC)	알카리형 (AFC)	인산형 (PAFC)	용융탄산염형 (MCFC)	고체산화물형 (SOFC)
전해질	수소이온 교환막	수소이온 교환막	수산화칼륨	인산	탄산리튬 탄산칼륨	지르코니아
촉매	Pt/C	Pt/C or Pt-Ru/C	Pt/C	Pt/C	니켈 or 니켈화합물	니켈/Zr
이온전도체	수소이온	수소이온	수소이온	수소이온	탄산이온	수소이온
작동온도	< 100℃	< 100℃	< 100℃	200℃	650℃	1000℃
연료	수소	메탄올	수소	수소	수소, CO	수소, CO
연료원료	메탄올, 수소, 메탄취발유	메탄올	수소	LNG, LPG	LNG, LPG, 석탄	LNG, LPG
효율(%)	45	30	40	40	45	45
출력범위	1 ~ 1000	1 ~ 100	1 ~ 100	100 ~ 5000	1000 ~ 10000	1000 ~ 10000
용도	수송동력원	휴대용전원	우주선	분산발전형	대규모발전	대규모발전

따라서 본 과제에서는 전자빔 조사법을 이용하여 기존의 일반적인 담지 기술과는 달리, 환원제를 사용하지 않음으로써 (즉 화학적 불순물이 거의 없어 양질의 제품을 생산), 연료전지산업에 획기적으로 기여 할 수 연료전지용 촉매의 개발을 수행하였다.

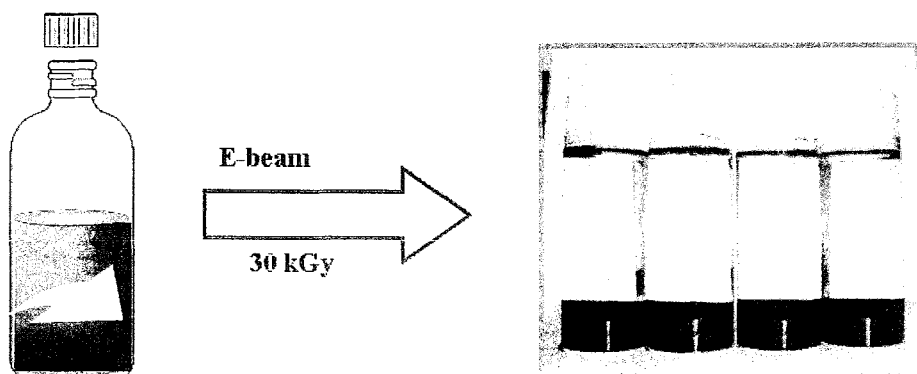
제 1 절 실험

본 연구에 사용한 전자빔 조사장치 (아래그림 참조)는 원자력연구소에서 보유하고 있는 장치를. 감마선조사와 비교연구를 수행하기 위하여 원자력연구소에서 보유하고 있는 감마선 조사장치를 이용하여 비교연구를 수행하였다.

아래의 스킴은 전자선 조사에 의한 연료전지용 촉매의 제조과정을 나타내고 있다. 반응용기에 Pt염과 Ru염 그리고 다양한 카본담지체를 넣고 전자선을 조사하게 된다. 그러면 귀금속메탈이온이 환원되어 카본담지체에 담지하게 된다.



Scheme 1. Preparation procedure of the Pt₅₀-Ru₅₀ /carbon catalysts in aqueous solution by e-beam.



Reactants:

- 1. Water (188 mL) and 2-propanol (12 mL) as radical scavenger**
- 2. Various carbon material for dispersing the nanoparticles**
- 3. H₂PtCl₆·xH₂O (37.5% Pt) and RuCl₃·xH₂O (41.0% Ru)**

제 2절 결과

1. 전자선조사법에 의한 나노입자 및 합금입자의 제조 및 특성평가

감마선조사에 의해 생성된 나노귀금속입자와 전자선조사에 의해 생성된 나노귀금속입자를 비교하기 위하여, 감마선 및 전자선조사를 이용하여 나노실버, 나노파라디움, 그리고 프라티늄-루테늄 나노합금입자를 제조하였다. Fig. 1은 감마선조사에 의해 생성된 나노실버입자의 TEM 및 UV스펙트라를 나타내고 있다. TEM에서 보여지듯이 크기는 13nm로서 단일 분포를 갖은 입자임을 알았다. UV-Vis스펙트라에서 방사선조사전에 보여지지 않았던 피이크가 407nm에 보여져서 나노입자가 성공적으로 제조됨을 알 수 있었다.

Fig. 2은 감마선조사에 의해 제조된 파라디움 나노입자의 TEM 및 UV-Vis스펙트라를 나타내고 있다. TEM의 결과로부터 크기는 대략 2-3nm의 다분포성을 갖은 입자임을 알았다. UV-Vis스펙트라에서 특정한 plasmon peak는 400nm부근에서 보여지고 intensity가 200-600nm에서 증가하는 현상을 발견할 수 있었다. 이로서 감마선조사에서도 성공적으로 파라디움나노입자를 제조할 수 있었다.

Fig. 3은 감마선 조사에 의해 제조된 프라티늄-루테늄 나노합금입자의 TEM 및 UV-Vis스펙트라를 나타내고 있다. TEM으로부터 크기는 13nm의 크기를 갖은 단일 분포의 나노합금입자임을 알았고, UV-Vis스펙트라로부터 260nm에 plasmon peak가 보여져서 성공적으로 제조됨을 확인 하였다.

Fig. 4은 전자선 조사에 의해 생성된 나노실버입자의 TEM 및 UV스펙트라를 나타내고 있다. TEM에서 보여지듯이 크기는 10nm로서 단일 분포를 갖은 입자임을 알았다. UV-Vis스펙트라에서 방사선조사전에 보여지지 않았던 피이크가 407nm에 보여져서 나노입자가 성공적으로 제조됨을 알 수 있었다. 감마선에서 조사한 것보다 크기가 작은 나노입자가 생성됨을 알 수 있었다.

Fig. 5은 전자선 조사에 의해 제조된 파라디움 나노입자의 TEM 및 UV-Vis스펙트라를 나타내고 있다. TEM의 결과로부터 크기는 대략 6nm의 다분포성을 갖은 입자임을 알았다. UV-Vis스펙트라에서 특정한 plasmon peak는 260nm부근에서 나타내었다. 이러한 결과로서 전자선 조사에서도 파라디움나노입자를 성공적으로 제조할 수 있었다.

Fig. 6은 전자선조사에 의해 제조된 프라티늄-루테늄 나노합금입자의 TEM 및 UV-Vis스펙트라를 나타내고 있다. TEM으로부터 크기는 1-3nm의 크기를 갖은 다중

분포의 나노합금입자임을 알았고, UV-Vis스펙트라는 감마선에 의해 제조된 것과 비슷한 패턴이 나옴을 알 수 있었다.

감마선 및 전자선으로 제조된 나노입자의 전기적 특성을 알아보기 위하여 나노실버, 나노파라디움, 프라티늄-루테늄 나노합금입자의 CV분석을 수행하였다. Fig. 7의 (a)는 감마선조사에 의해 제조된 CV데이터이고 (b)는 전자선조사에 의해 제조된 CV의 데이터를 나타내고 있다. 감마선 및 전자선에 의해 제조된 나노실버입자의 경우 유사한 패턴이 보여지는 사실을 알았다.

Fig. 8은 감마선 (a) 및 전자선 (b)조사에 의해 제조된 파라디움 나노입자의 CV데이터를 나타내고 있다. 전자선 조사에 의해 제조된 파라디움의 활성이 뛰어난 사실을 알 수 있었다.

Fig. 9은 감마선 및 전자선 조사에 의해 제조된 프라티늄-루테늄 나노합금입자의 CV데이터를 나타내고 있다. 전자선 조사에 의해 제조된 것이 활성이 뛰어난 것을 알 수 있었다.

2. 전자선조사법에 의한 연료전지용 촉매의 제조 및 특성평가

감마선 및 전자선을 이용하여 나노입자 및 합금입자를 성공적으로 제조하였기 때문에, 연료전지에 사용되는 촉매의 제조를 시도하였다. 방법은 Scheme 1과 같은 방법으로 시도였다. 카본은 Vulcan XC-72를 이용하였다. 왜냐하면 이 카본은 현재 가장 많이 상용화 되어 있기 때문이다. Fig. 10은 감마선 조사에 의해 제조된 연료전지용 촉매의 TEM 및 XRD결과를 나타내고 있다. TEM결과에서 나타나듯이 카본에 크기가 4-5nm를 갖은 프라티늄-루테늄 촉매를 성공적으로 담지 할 수 있었다.

Fig. 11은 전자선 조사에 의해 카본에 프라티늄-루테늄 촉매를 담지시킨 결과를 나타내고 있다. TEM의 결과로부터 전자선 조사에 의해 처음으로 연료전지용 촉매를 성공적으로 제조할 수 있었다.

Fig. 12은 전자선 조사에 의한 PVP-protected Pt나노입자 및 Pt/C나노촉매의 TEM결과를 나타내고 있다. 이러한 결과로서 Pt나노입자 및 Pt/C 나노입자 촉매를 성공적으로 제조하였다. 그러나 감마선조사에 의하여서는 시도수행하지 않았다.

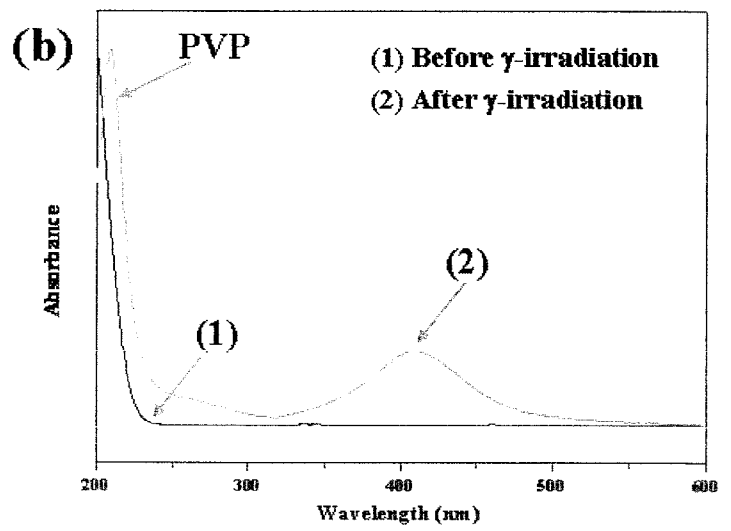
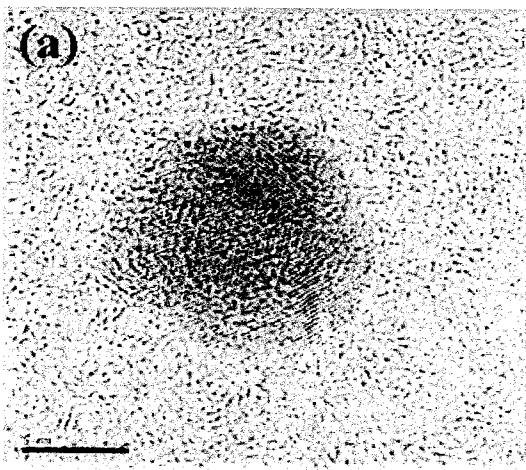


Fig. 1. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Ag nanoparticles prepared by γ -irradiation.

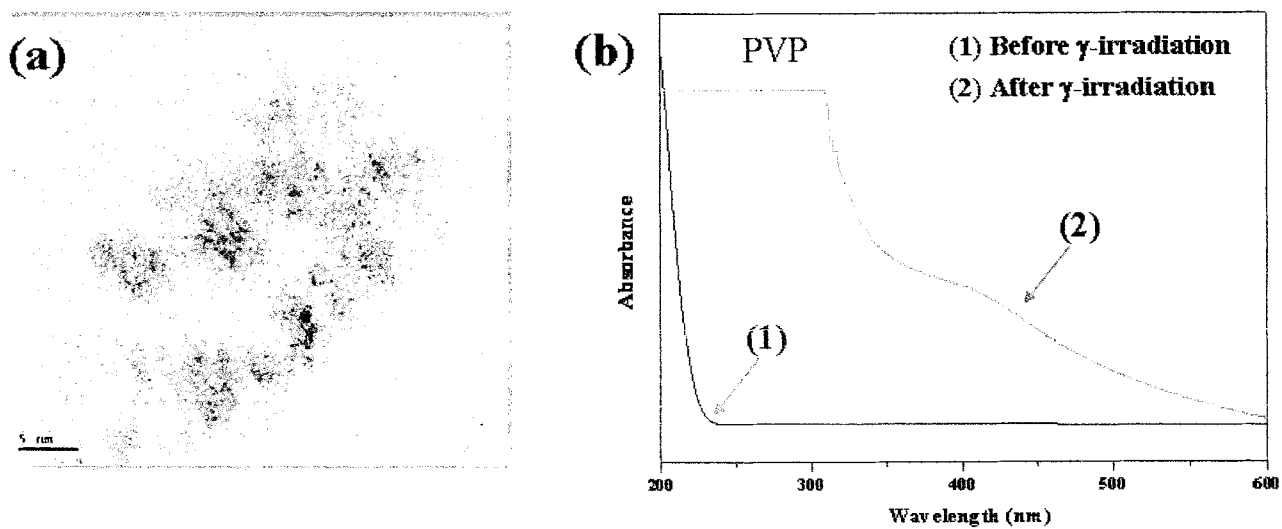


Fig. 2. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Pd nanoparticles prepared by γ -irradiation.

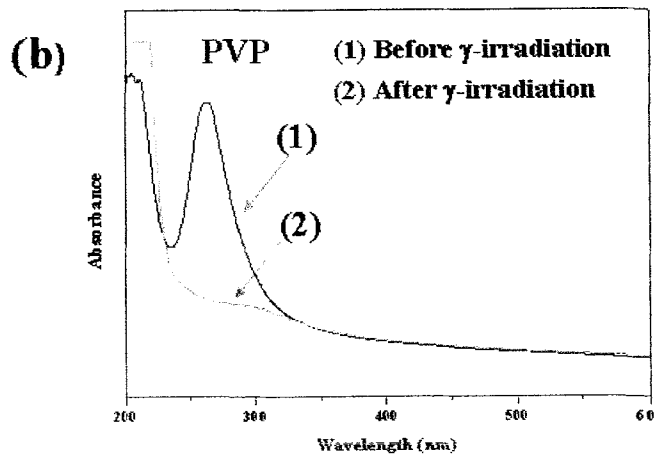
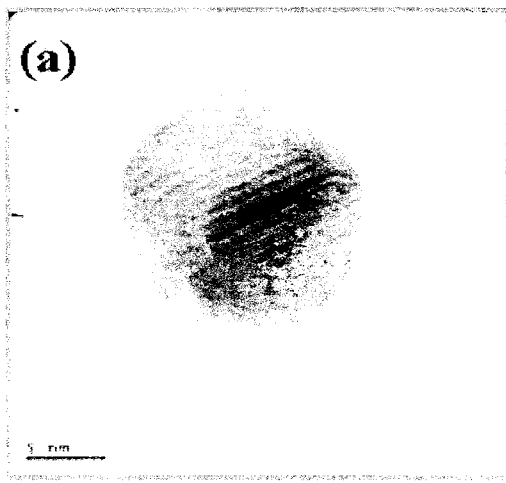


Fig. 3. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Pt₅₀-Ru₅₀ alloy nanoparticles prepared γ -irradiation.

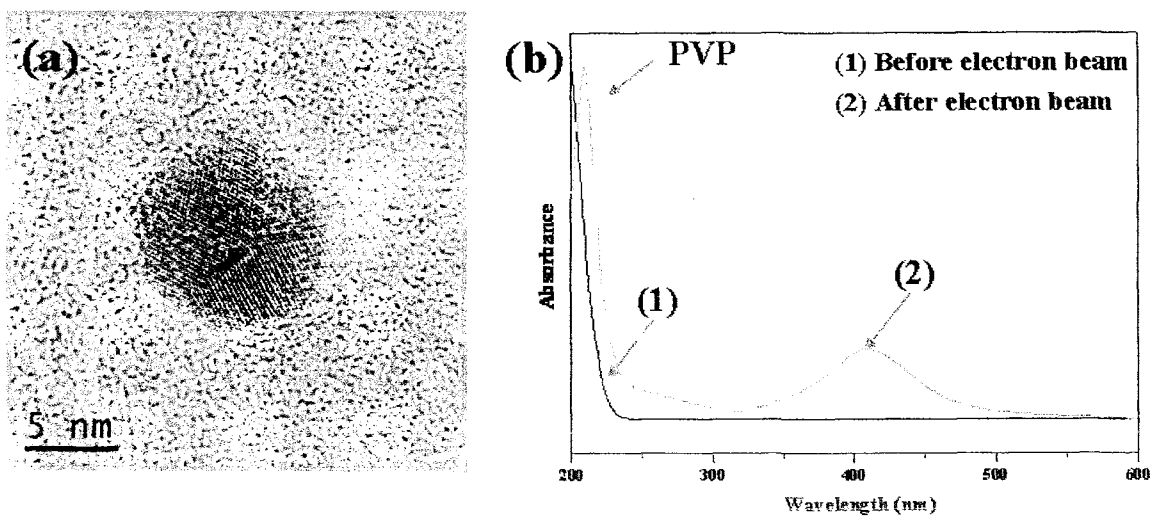


Fig. 4. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Ag nanoparticles prepared by electron beam.

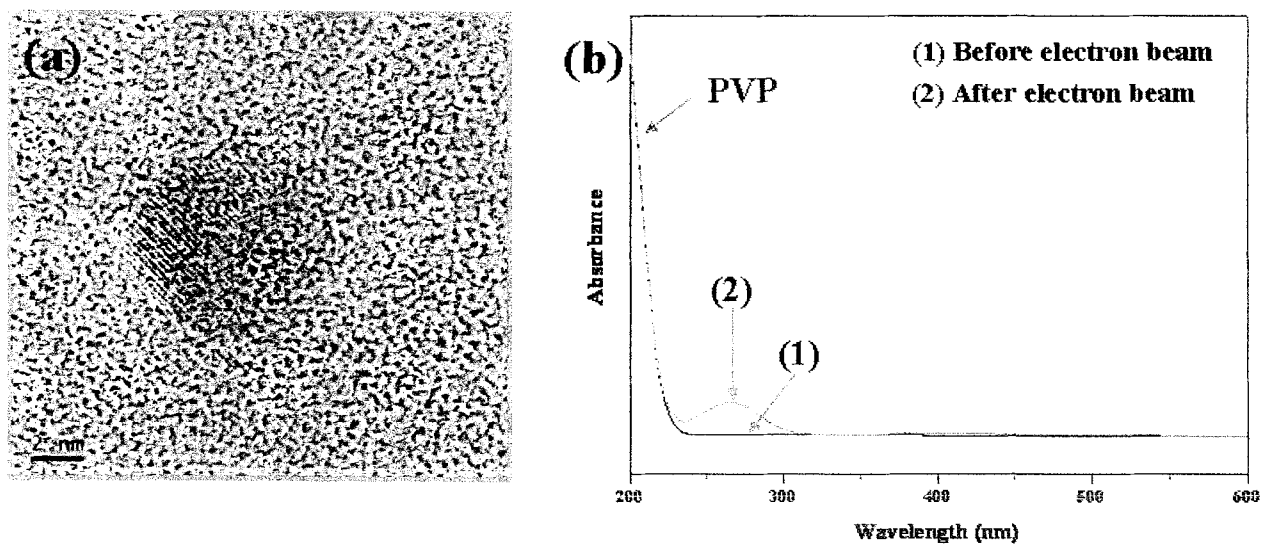


Fig. 5. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Pd nanoparticles prepared by electron beam.

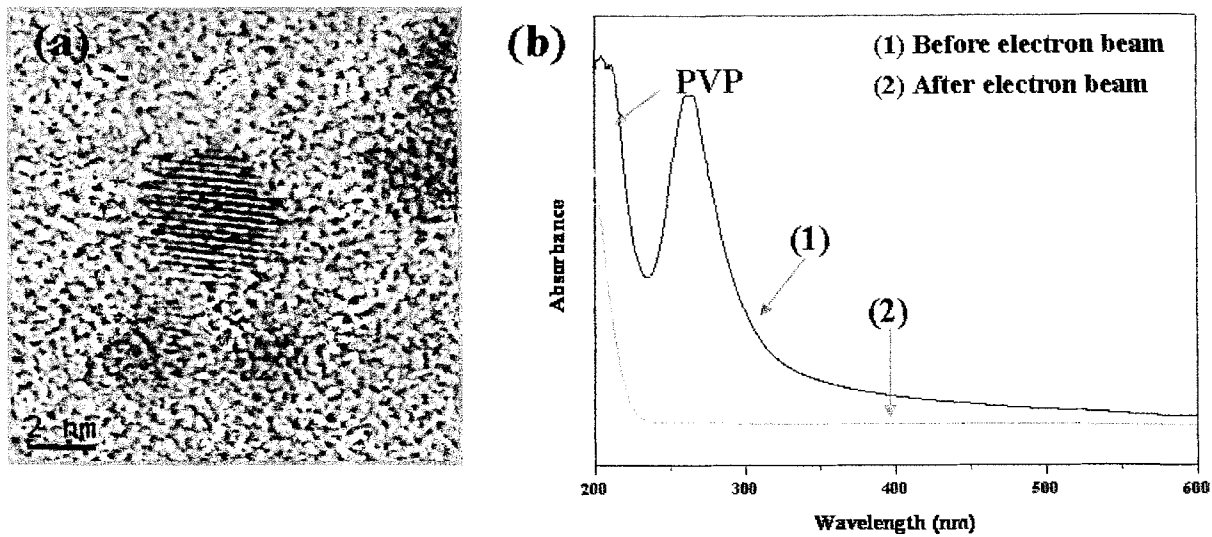


Fig. 6. TEM image (a) and UV-VIS spectra (b) of PVP-protected Pt₅₀-Ru₅₀ articles prepared by electron beam.

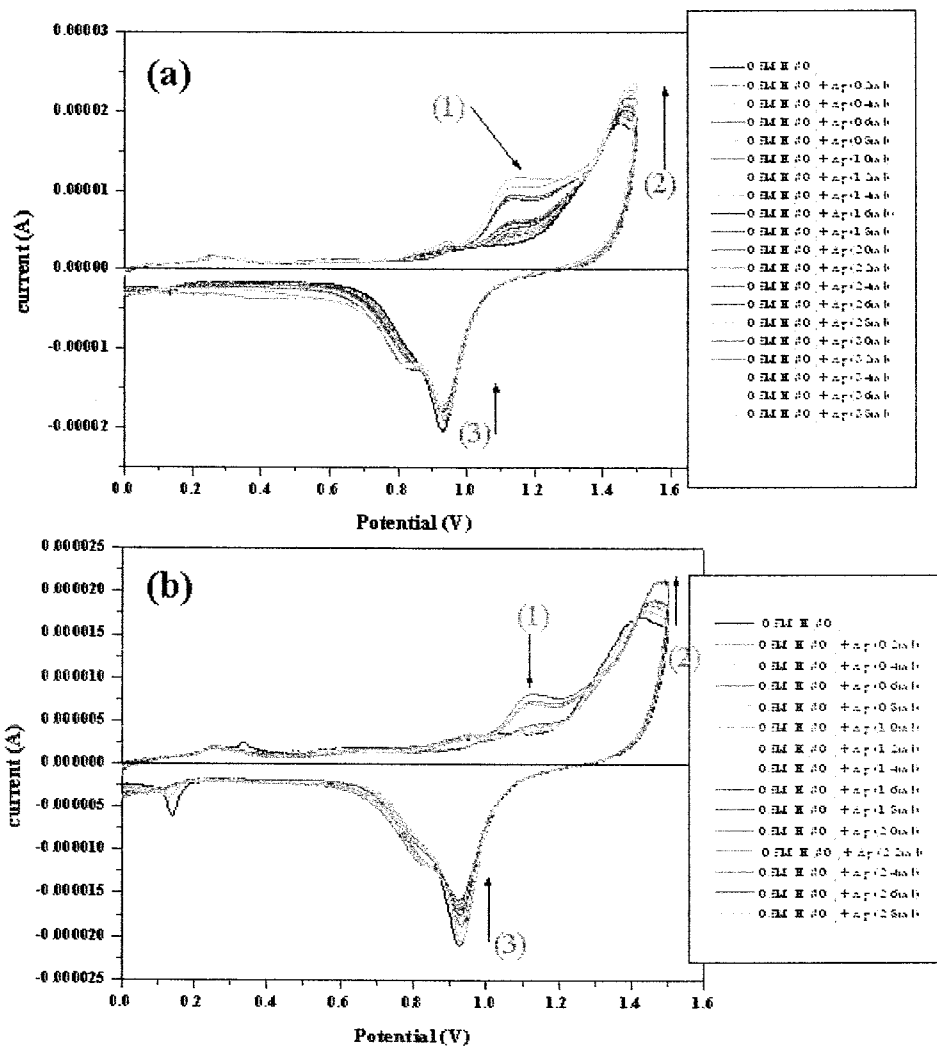


Fig. 7. CV curves of Au electrode in 0.5M H₂SO₄ with Ag nanoparticles prepared by γ -irradiation (a) and prepared by e-beam (b).

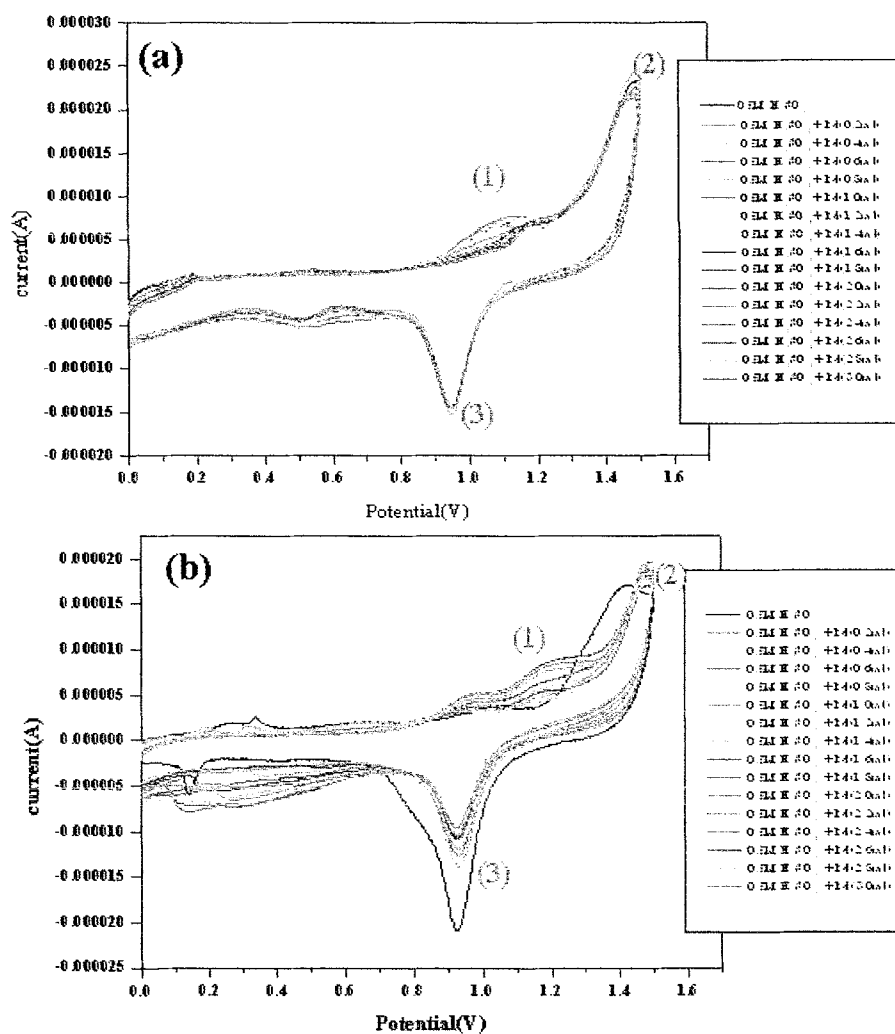


Fig. 8. CV curves of Au electrode in 0.5M H₂SO₄ with Pd nanoparticles prepared by γ -irradiation (a) and prepared by e-beam (b).

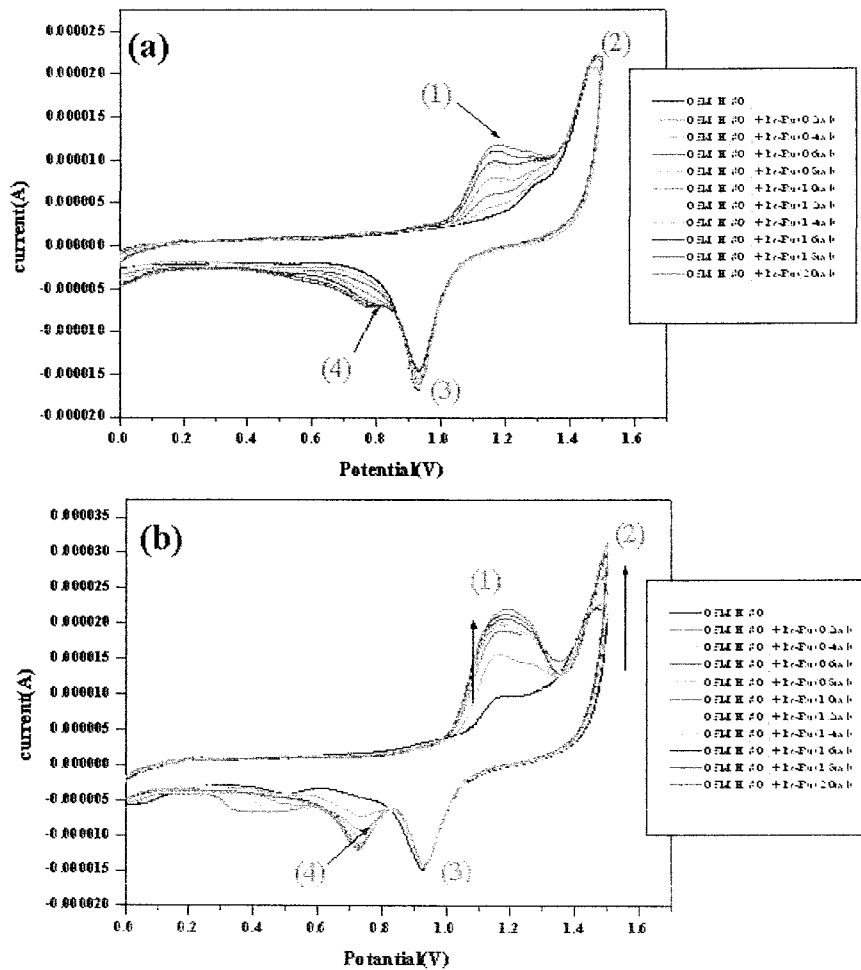


Fig. 9. CV curves of Au electrode in 0.5M H₂SO₄ with Pt₅₀-Ru₅₀ nanoparticles prepared by γ -irradiation (a) and prepared by e-beam (b).

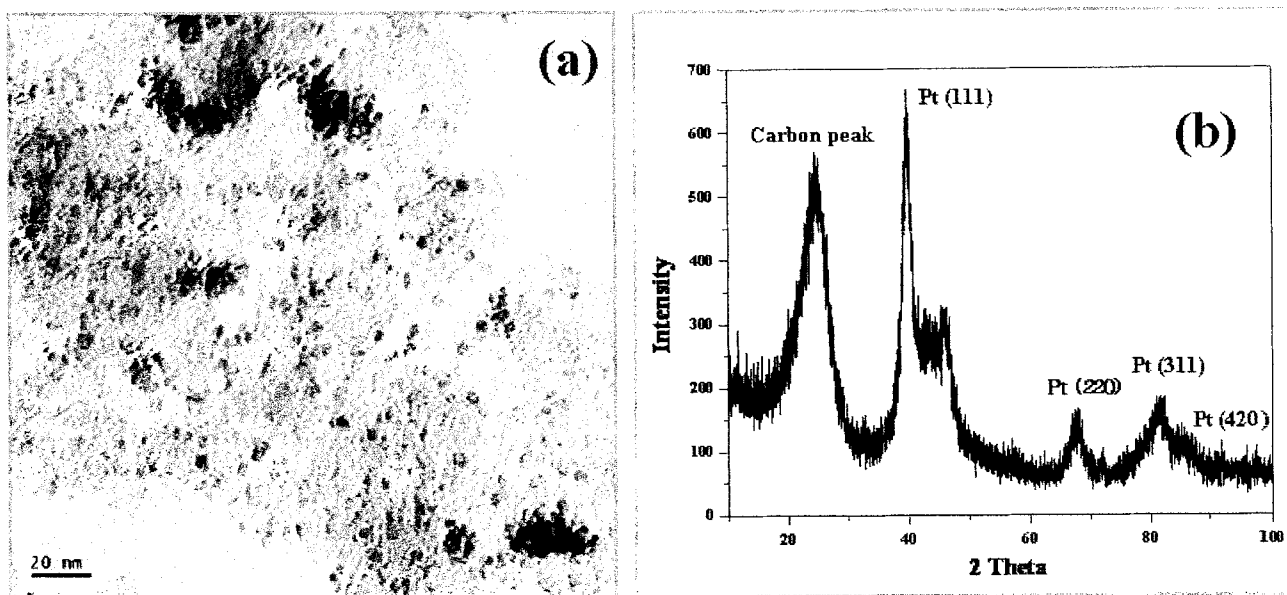


Figure 10. TEM image (a) and XRD data (b) of the Pt₅₀-Ru₅₀/Vulcan XC-72 catalysts prepared by γ -irradiation.

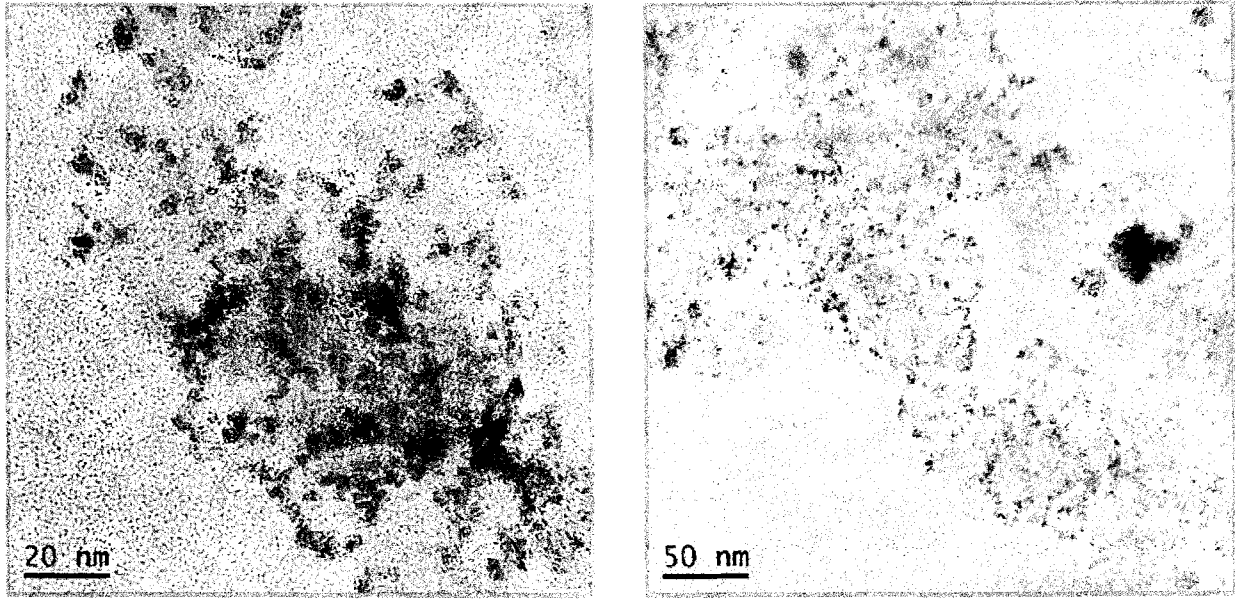


Figure 11. TEM images of the Pt₅₀Ru₅₀/Vulcan XC-72 catalysts prepared by E-beam.

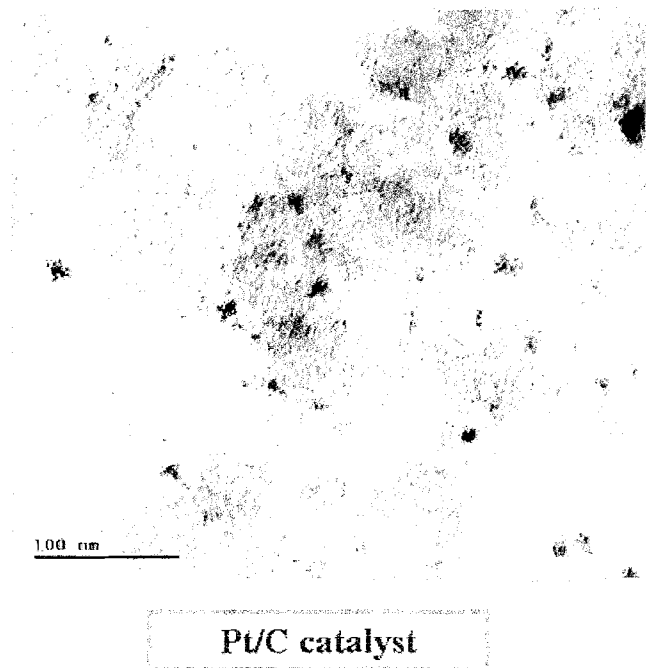
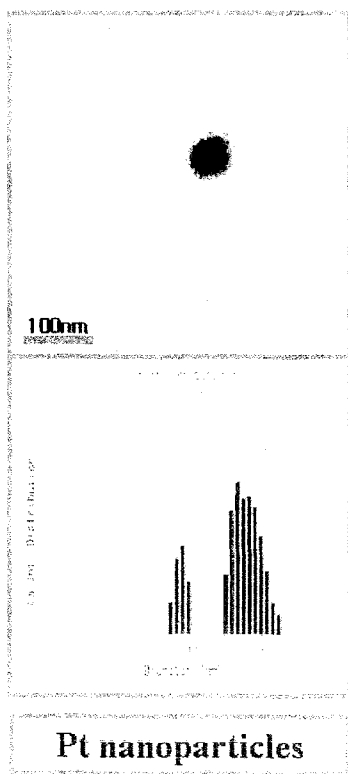


Fig. 12. TEM images and ELS spectra of PVP-protected Pt nanoparticles and Pt/C prepared by e-beam.

제 4 장 연구개발 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

○ 세부연구목표, 달성내용 및 달성도는 아래의 표에 나타내었다. 이러한 연구결과는 연료전지산업 분야에 획기적으로 기여할 것으로 사료된다.

번호	세부연구목표	달성내용	달성도 (%)
1	전자빔 조사에 의한 연료전지용 PVP-protected Pt 나노입자의 제조	연료전지용 PVP-protected Pt 나노입자	100
2	전자빔 조사에 의한 연료전지용 PVP-protected Pt-Ru 나노합금입자의 제조	연료전지용 PVP-protected Pt-Ru 나노합금입자	100
3	전자빔 조사에 의한 연료전지용 PVP-protected Pt-Ru-Mo 나노합금입자의 제조	연료전지용 PVP-protected Pt-Ru-Mo 나노합금입자	80
4	전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt/C 촉매 제조	연료전지용 Pt/C 촉매	100
5	전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru/C 촉매의 제조	연료전지용 Pt-Ru/C 촉매	100
6	전자빔 조사에 의한 연료전지용 Pt-Ru-Mo/C 촉매의 제조	연료전지용 Pt-Ru-Mo/C 촉매	80

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 연료전지용 촉매 시장규모는 2014년 약 48억\$로 추정 되고 있으며, 현재 연료전지용 핵심 소재인 촉매는 전량 수입에 의존하고 있으며, 향후 본격적인 연료전지 상용화시 막대한 외화 지출이 예상 되고 있음
- 현재, 촉매는 연료전지 전체시스템 가격에서 30%수준에 이르며, 이러한 연료전지 촉매 소재의 국산화는 산업 및 경제에 미치는 영향은 매우 큼
- 따라서 본 연구에서 개발된 촉매를 연료전지에 이용하면 획기적인 상품이 제조되리라고 확신 함

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외 과학기술정보

참고문헌

- [1] M. Watanabe, M. Motoo, J. Electroanal. Chem. 60 (1975) 267.
- [2] Y. Takasu, T. Fujiwara, Y. Murakami, K. Sakaki, M. Oguri, T. Asaki, W. Sujimoto, J. Electrochem. Soc. 147 (2000) 4421.
- [3] Y.-C. Liu, X.-P. Qiu, W.-T. Zhu, J. Power Sources 111 (2002) 160.
- [4] Y. Takasu, H. Itaya, T. Iwazaki, R. Miyoshi, T. Ohnuma, W. Sugimoto, Y. Murakami, Chem. Commun. (2001) 341.
- [5] Y. Takasu, Y. Matsuda, I. Toyoshima, Chem. Phys. Lett. 108 (1984) 384.
- [6] M.G. Mason, Phys. Rev. B 27 (1983) 748.
- [7] M. S. Loffler, H. Natter, R. Hempelmann, K. Wippermann, Electrochim. Acta 48 (2003) 3047.
- [8] M. Watanabe, M. Uchide, and S. Motoo, J. Electroanal. Chem., 229 (1987) 393.
- [9] H. B?nnemann, W. Brijoux, R. Brinkmann, E. Dinjus, T. Jonssen, B. Korall, Angew. Chem. Int. Ed. 30 (1991) 1312.