

# Six 시그마를 이용한 연료전지 촉매구조의 최적화

## Fuel Cell Catalyst Optimization by Six Sigma

김세현, 김선희  
상지대학교 신에너지·자원공학과

Se-Hyun Kim(shkim@sangji.ac.kr), Sunhoe Kim(sunhokim@sangji.ac.kr)

### 요약

연료전지에 사용되는 백금촉매 제조 공정상의 변수로서 환원제를 사용 하였다. 환원조절 횟수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 공정시간의 네 가지의 제어인자에 변화를 주어 입자의 크기와 ICP 수율 등의 촉매 구조에 관한 최적화의 평가를 위해 six sigma 의 design of experiment 기법을 사용하여 각각의 변수간의 최적점을 확인해 보았다. 부분요인배치를 통해 입자크기 2.2nm 이하와 ICP수율 75% 이상의 촉매제조를 위하여 도출된 결과로서 주된 제어인자는 환원 시간과 환원 온도로서 밝혀졌고 각 변수의 최적 조건으로서 는 환원조절횟수 1회, 환원온도 67-88℃, 환원제의 양 0.5ml 그리고 10분의 공정시간에서 최적화가 이루어 졌다.

■ 중심어 : 연료전지 | 식스시그마 | 촉매환원공정 | 수소에너지 |

### Abstract

Reducing agent was used as process variable for Pt catalyst production process. By using six sigma the optimum operating variables condition for particle size and ICP yield were deduced. With the help of fractional factorial design the major variables were reduction temperature and process time. Also, the optimum number of reduction process, reduction temperature, quantity of reducing agent and process time were 1, 67-88℃, 0.5 ml and 10minutes, respectively.

■ keyword : Fuel Cell | Six Sigma | Catalyst Reduction Process | Hydrogen Energy |

## 1. 서 론

연료전지는 그 자체의 청정성과 고 효율성으로 인하여 현재 각종 연구 분야에 각광 받고 있는 미래의 에너지원이다. 연료전지는 전해질의 종류와 이동하는 이온의 종류에 따라 여러 가지 종류의 연료전지가 있다. 그 중 몇 가지 예를 들자면, 고체전해질을 사용하는 SOFC (solid oxide fuel cell), 용융탄산염을 사용하는 MCFC (molten carbonate fuel cell), 고체고분자형 연료전지

(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC) 등이 있다. 그 중 PEMFC는 여타의 여러 가지 방식의 연료 전지 중에서 현재 그 기술적 성숙도가 가장 높아 상용화에 가장 근접한 기술 방식이라고 할 수 있다. PEMFC의 특징으로서는 90℃ 이하의 낮은 운전온도에 따른 우수한 시동 및 운전특성과 이동형전원에서 수송용 그리고 분산발전시스템 까지 응용될 수 있는 폭넓은 응용분야 때문에 현재 기술의 성숙도가 가장 높은 기술이라 할 수 있다. 또한 전기화학 반응을 통한 에너지 발

\* 본 연구는 2009년도 상지대학교 교내연구비지원에 의한 것임.

접수번호 : #110525-003

접수일자 : 2011년 05월 25일

심사완료일 : 2011년 06월 22일

교신저자 : 김선희, e-mail : sunhoekim@sangji.ac.kr

생에 따른 부산물은 오염원을 전혀 발생시키지 않는 순수한 물로써 환경에 거의 해를 끼치지 않기 때문에 친환경 청정에너지 기술로서 각광을 받고 있으며 현재에는 수소연료전지 자동차 및 가정용 소형 열병합 연료전지 분야, 그리고 분산발전 분야 등에서 상용화가 거의 임박해 있다고 할 수 있다. 이에 연료전지는 여러 분야에서 연구가 진행되어 왔다[1-6].

연료전지 시스템은 전기 발생장치인 stack 과 이를 유지시켜 주는 BOP (balance of plant)로서 구성되어 있는데, 이런 연료전지 시스템 중 가장 핵심적인 부분이 stack 이라고 할 수 있다. 연료전지 stack에 있어서 가장 중요한 기술적인 분야는 전기화학 반응의 심장이라 할 수 있는 전극촉매의 제작과 stack의 설계에 있다고 할 수 있다. 연료전지 stack의 설계에 있어서는 기체 유로의 설계, 체결, 분리판의 설계 등의 기계적인 요소가 필요하게 된다. 한 편 전극촉매의 제작에 있어서는 백금의 loading을 줄이고 단위 면적당 출력을 높이기 위하여 촉매 반응 면적의 최대화가 요구된다. 또한 단위 전지의 성능은 촉매의 활성도와 물질전달(mass transport)이 기여하는 부분이 존재하기 때문에 촉매의 활성도와 mass transport 모두 향상된 촉매가 필요하다고 할 수 있다. 이로 인하여 입자크기를 줄인다면 적은 양의 백금을 가지고도 보다 큰 촉매의 반응면적이 가능하고, 나아가 stack의 전체적인 백금량을 줄이는 것이 가능하다. 이런 요구조건을 충족시키기 위하여 촉매의 활성도를 향상시키고 반응면적을 증가시키기 위하여 입자크기의 저감이 요구된다. 또한 mass transport loss에 의한 성능의 저하를 막기 위해서는 코팅된 촉매층이 얇아야 하므로 촉매층 단위 부피당 백금의 담지량을 늘려야 한다. 이에 그 요구조건으로서 백금 입자의 크기는 평균 2.2nm 이하로 관리해야 하며, 촉매층의 백금 담지량은 ICP수율로서 그 허용치는 73wt% 이상이 요구된다. 촉매의 입자크기와 백금담지량을 결정짓는 공정상에서 환원과정 중에 그 결과가 좌우된다. 특히 환원과정에서 환원 pH 조절횟수의 수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 공정시간의 네 가지의 중요한 변수의 변화에 따라 앞서 설명한 입자의 크기와 ICP 수율이 결정된다. 여기에 이 네 가지 인자들에 대한 각각의 최적

화가 필요하게 되는데 본 연구에서는 six sigma를 도입하여 그 최적화를 시도하였다.

Six sigma란 복잡한 통계적 지식이 필요하지 않은 통계를 통한 공정합리화를 위한 도구로 공장에서의 불량률을 줄이기 위한 최적화의 도구로 이용되어 왔다. 현재 six sigma는 계속적인 발전을 이루어 단순한 공장의 불량률 저감의 도구뿐만 아니라 여러 가지 업무상의 개선에도 이용되고 있다. 또한 학문적인 도구 보다는 현장의 경험치를 이용한 최소한의 실험 및 시도로서 최적점을 구할 수 있는 도구로서 minitab<sup>®</sup>의 간단한 조작만으로도 최적화된 공정을 확인 할 수 있다. 그 중 본 연구에서는 R&D six sigma를 사용하여 연료전지의 촉매구조의 최적화인 2.2nm 이하의 입자크기와 ICP수율 73% 이상의 결과치를 구하기 위하여 앞서 설명한 환원 pH 조절 횟수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 공정시간의 네 가지의 공정변수들 간의 최적점을 도출하는 작업을 진행하였다. R&D six sigma의 design of experiment (DOE)를 이용하여 연료전지 촉매의 생산을 위한 공정 변수의 최적점을 찾고자 한다. 이를 위해 연료전지 촉매의 생산을 위한 환원과정 내에서 최소한의 실험을 통하여 핵심적인 네 가지 인자 사이에 최적점을 찾아내는 과정을 살펴보려고 한다.

## II. 실험

### 1. Gage R&R

실험장비의 작동에 있어서 측정자 별로 각자의 습관 및 작동기준에 따라 조건이 달라질 수 있고 이의 결과로 인하여 실험의 결과가 조금씩 달라질 수 있다.

본 연구에 있어서 입자의 크기를 측정함에 있어 XRD (X-ray Diffraction)을 사용하여 입자의 크기를 측정한다. 이 때 XRD Data를 얻고 Scherrer Equation을 이용하여 입자크기를 측정을 하게 되는데 이 때 Base Line을 잡는 방법과 Peak의 최대점을 정하는 방법이 측정자에 따라 많이 달라질 수가 있다. 이에 같은 샘플 5개에 대하여 3명의 각기 다른 측정자들이 각각 2회씩 무작위로 입자크기를 측정하여 측정자에 따른 차이를

gage R&R 로 측정하였다. 이 때 사용된 샘플은 여러 가지의 입자크기가 다른 샘플을 사용하였으며, 각기 다른 3명의 측정자들이 측정 하였다. 그 과정에 사용된 minitab®의 worksheet은 아래의 [그림 1]에 설명되어 있다. [그림 1]은 본 연구의 gage R&R을 위한 각 3명의 측정자가 5개의 샘플을 측정 한 값을 worksheet에 입력한 결과이다. [그림 1]에 나타난 number는 각기 다른 크기를 가지는 샘플을 의미하고, operator는 실험자를 의미한다. 그에 따른 결과인 size 의 측정값이 정리되어 입력되어 있다. 그에 따른 결과를 분석한 결과가 [그림 2]에 표현되어 있다. 사용자에 따른 변화 값과 횡수별 변화 값이 거의 영향성이 없는 것으로 나타났다. 본 연구를 위한 gage R&R 분석결과는 사용자 그리고 횡수에 따른 장치의 영향성은 거의 무관하여 실험 장비에 관한 신뢰도는 별다른 문제가 없다고 할 수 있다.

number	operator	Size
1	1	1.97
2	1	1.97
3	2	1.86
4	2	1.86
5	3	2.11
6	3	2.12
7	4	2.32
8	4	2.29
9	5	2.19
10	5	2.22
11	1	3.200
12	1	3.201
13	2	3.191
14	2	3.186
15	3	3.210
16	3	3.211
17	4	3.228
18	4	3.230
19	5	3.221
20	5	3.220
21	1	2.200
22	1	2.199
23	2	2.189
24	2	2.187
25	3	2.208
26	3	2.211
27	4	2.230
28	4	2.229
29	5	2.222
30	5	2.220

그림 1. 측정자에 따른 gage R&R 캡처화면

## 2. 실험설정

본 연구에는 앞서 설명한 4가지 환원공정에 있어서의 변수인 환원 pH 조절 횡수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 환원공정시간과 입자의 크기 및 ICP수율과의 상관

관계를 설명하기 위하여 나머지의 촉매 제조 공정은 모두 같다고 전제하고 환원공정에서의 유의성만을 검증하는 작업을 진행하였다.

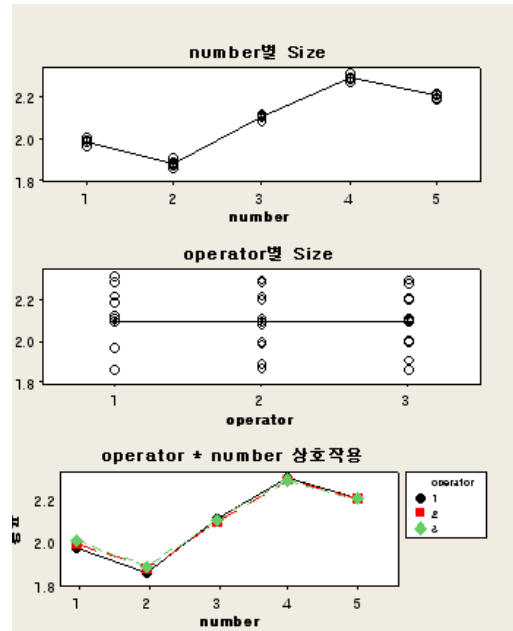


그림 2. Gage R&R 결과

결과분석은 인자 수 4개를 모두 배치하여 두 번 반복으로 32번의 실험을 통해 결과물을 얻는 방식인 완전배치법을 사용하지 않고 부분배치법을 사용하여 screening을 통해 실험의 횡수를 줄여 16번의 실험으로 진행 하였다. 즉 4인자 2수준의 부분배치법을 이용하여 실험 및 분석을 진행하였다. 그 실험의 배치는 [표 1]에 표현되어 있다.

## 3. 실험배치

실험의 진행은 4인자 2수준의 부분배치법으로 2번 반복하여 진행하였다. 결과적으로 8번의 실험이 각각 두 번 반복된 것이라 할 수 있다. 또한 모든 실험은 상호 연관성을 배제하기 위하여 무작위로 실시하였다. 이 때 무작위 실험의 배치는 minitab®의 random 기능을 이용하였다. 본 연구의 목표는 입자크기 2.2nm 이하 ICP수율 73% 이상의 촉매를 제작하는 것이다. 그에 따른 실험

험에 있어서 [표 1]에 각각의 특성치와 제어인자를 나열하였고 또한 실험 계획과 배치법에 관한 설명을 표현하였다.

표 1. 공정목표치와 공정변수

결과	이름, 단위	목 표
	입자크기, nm	< 0.23
ICP수율, %	> 73	
공정변수	Name	단위
	환원횟수	회
	환원온도	°C
	환원제양	ml
	환원시간	min

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 공정변수에 따른 촉매의 물성변화

부분배치법에 의한 16회의 실험을 통하여 결과치를 얻게 되었다. 앞서 설명한 4가지의 환원공정에 있어서의 변수의 변화에 따른 입자의 크기와 ICP 수율의 변화를 표현했다. 각각의 실험 결과치는 minitab®의 random 기능을 이용하여 무작위 배치를 한 후 진행하였다. 공정변수 중 환원 pH 조절 횟수, 환원온도, 환원제 양 그리고 환원시간은 1회와 7회, 20°C와 90°C, 0.5ml와 1.5ml 그리고 마지막으로 환원시간은 10분과 50분으로 각각의 인자에 대해 2번씩 실험을 진행하였다.

[그림 3]에는 환원횟수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 환원시간이 입자크기에 미치는 영향에 대한 설명이 되어 있다. 그림에서 표시된 N, R\_Temp, R\_Amount 그리고 R\_Time 은 각각 환원 횟수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 환원시간을 나타낸다. 1회와 7회 환원횟수를 실시한 결과 환원횟수의 증가에 따라 입자의 크기는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 환원온도의 영향성은 환원온도의 증가에 따라 촉매입자의 크기는 증가하는 것으로 나타났다. 환원제의 양에 따른 촉매입자 크기의 변화는 증가함을 볼 수 있었으나 그 효과는 나머지 다른 변수들에 비하여 상대적으로 적다는 것을 확인할 수

있었다. 마지막으로 환원시간에 따른 입자크기의 변화는 환원시간을 증가함에 따라 입자크기는 감소한다는 것을 확인할 수 있었다. 각각의 공정변수에 대하여 입자크기의 변화는 환원횟수와 환원시간을 늘릴 경우 입자의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 나머지 두 변수인 환원온도와 환원제의 양을 늘리는 경우 입자의 크기가 증가함을 알 수 있었다. 이 그림을 통하여 네 가지의 변수 가운데 입자의 크기에 가장 큰 영향력을 미치는 두 가지 변수는 환원온도와 환원시간임을 확인할 수 있었고 이 두 가지 변수에 관한 분석이 [그림 4]에 설명되어 있다.

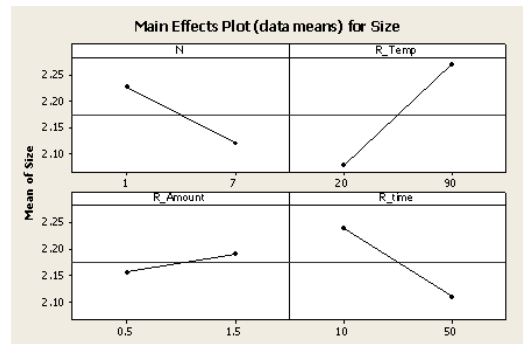


그림 3. 각 공정변수의 입자크기에의 영향성

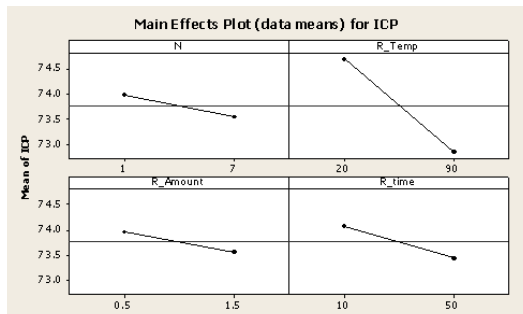


그림 4. 각 공정변수의 ICP수율 영향성

[그림 4]에는 입자크기에 있어서 환원온도와 환원시간의 두 공정변수간의 상호영향성에 대하여 나타내고 있다. 이 그림은 한 변수를 고정시켜 놓은 상태에서 다른 변수의 변화에 따른 결과를 비교한 것이다. 왼쪽 위편의 그래프에서 실선은 환원온도를 20°C로 고정한 상

태에서 환원시간의 변화에 따른 입자크기의 변화이고 점선은 환원온도 90℃에서의 환원온도 변화에 따른 입자크기를 나타낸 것이다. 왼편 아래쪽의 그래프는 환원시간을 고정된 상태에서 환원온도의 변화에 따른 입자크기의 변화를 나타내었다 실선은 환원시간 10min이고 점선은 환원시간 50min을 나타낸다. 각각 두 가지의 연결선이 교차하면 이를 상호 교호작용이 있다고 하는데 [7], 교호작용이 있는 경우에는 보다 복잡한 과정을 거쳐 분석이 이루어져야 한다. 본 연구의 범위 내에서는 교호작용이 적용 되지 않기 때문에 변수 상호간 독립적이라고 할 수 있다.

[그림 5]에서는 앞서 설명한 네 가지의 공정변수가 촉매의 ICP수율에 미치는 영향을 설명되었다. 환원공정 횟수, 온도, 환원제의 양 그리고 환원시간 모든 변수들이 증가됨에 따라 수율은 낮아짐을 볼 수 있다. 특히 이중 상호간 trade-off 되는 변수들은 환원온도, 그리고 환원제의 양이라고 할 수 있다. 이 변수들 중에 ICP수율에 미치는 영향이 가장 큰 변수는 환원온도와 환원시간이라고 할 수 있다.

[그림 6]에서는 ICP수율에 미치는 변수들 간의 교호작용에 관한 분석의 결과가 설명되어 있다. 오른쪽 위의 그래프는 환원온도를 고정해놓은 상태에서 환원시간의 변화에 따른 ICP수율의 변화량을 분석한 그림이다. 이 그림에서 실선과 점선은 각각 환원온도 20℃와 90℃에서의 ICP 수율의 변화량을 의미한다. 여기서는 환원온도가 20℃인 경우에는 환원시간에 대하여 ICP수율이 증가함을 보이나 환원온도 90℃에서는 그 반대의 현상이 보인다. 실제 환원온도의 범위를 넓힌다면 교호작용이 예상될 수 있으나 실제의 운전범위 내에서는 교호작용은 무시해도 괜찮은 수준이라고 할 수 있다. 하지만 왼쪽 아래의 그래프는 실선과 점선이 각각 환원시간 10min과 50min 일 때의 환원온도에 따른 ICP수율의 변화량을 나타낸 그림이다. 두 경우 공히 환원온도의 증가에 따라 ICP 수율이 감소하는 것을 볼 수가 있으나 두 직선이 겹치는 것으로 보아 교호작용이 있다고 할 수 있다. 이 경우 보다 복잡한 교호작용의 분석이 필요하다고 할 수 있다. 하지만 두 그래프의 경향이 같고 교차하는 부분이 큰 값을 나타내지 않기 때문에 교호작용

이 그리 크지 않을 수 있다는 가정 하에 교호작용을 위한 분석은 향후의 연구에서 진행 하도록 하고 본 연구에서는 교호작용은 적다는 가정을 두고 연구를 계속 진행하기로 하였다. 또한 앞서 설명한 네 가지의 변수 중 가장 영향력이 큰 두 개의 변수를 골라 그 영향성과 최적점에 대하여 분석을 실시하였다.

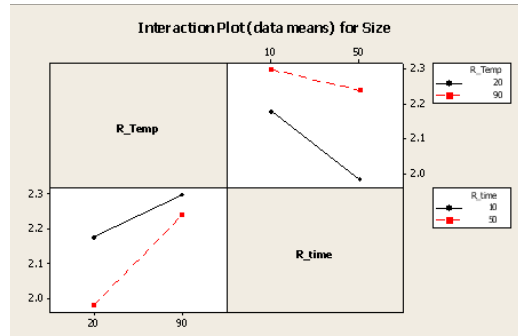


그림 5. 입자크기에 대한 공정온도와 공정시간간의 교호작용 분석

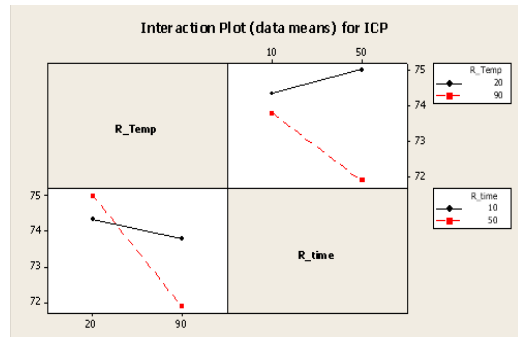


그림 6. ICP수율에 대한 공정온도와 공정시간간의 교호작용 분석

[그림 7]에서는 환원온도와 환원시간이 입자의 크기에 미치는 영향에 관하여 등고선으로 표현 하였다. 환원온도가 낮을수록 입자의 크기는 작아지는 것을 확인할 수 있으며 또한 환원시간 역시 환원시간을 줄일수록 입자의 크기는 작아지는 것을 확인할 수 있다.

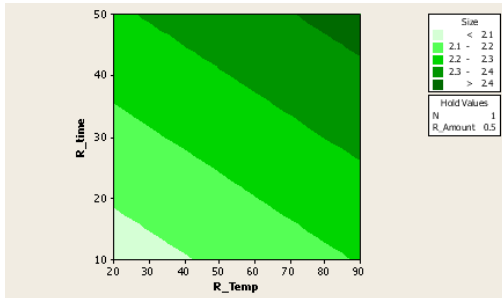


그림 7. 입자크기에 대한 공정온도와 공정시간간의 contour plot

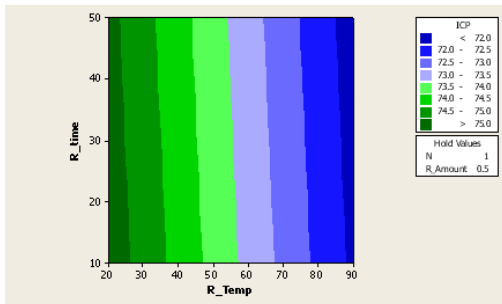


그림 8. ICP수율에 대한 공정온도와 공정시간간의 contour plot

[그림 8]에서는 환원온도와 환원시간이 ICP수율에 미치는 영향에 관하여 등고선으로 표현 하였다. 이 경우에는 환원시간이 ICP수율에 미치는 환원온도가 미치는 영향성에 비하여 상대적으로 낮음을 볼 수 있다. 하지만 환원시간의 증가에 따라 ICP수율이 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 환원온도 역시 마찬가지로 온도의 증가는 ICP수율을 낮춤을 볼 수 있다.

## 2. 공정변수의 최적화 및 검증

[그림 9]는 앞에서 나타낸 환원온도와 환원시간이 촉매입자의 크기와 ICP 수율에 미치는 영향을 나타낸 두 개의 등고선을 겹쳐(overlaid contour plot) 놓은 형태이다. 이 그림에서 오른쪽 아래 부분의 삼각형 형태를 보이고 있는 흰색 부분이 초기에 설정한 두 가지의 목표치에 도달할 수 있는 공정변수의 범위를 나타내고 있다. 나머지 공정변수인 환원횟수와 환원체의 양은 공정비용을 고려하여 각각 1회와 0.5ml 로 고정하였다. 이

결과에 따르면 두 변수간의 최적화된 점은 최소 환원시간을 10min 이고 이를 기준으로 약 67°C 와 88°C 사이라고 할 수 있다. 공정 운영상의 비용과 운전상의 편의성을 감안하여 공정변수인 환원횟수, 환원온도, 환원체의 양 그리고 환원시간은 각각 1회, 80°C, 0.5ml 그리고 10min 으로 정리할 수 있다. 이렇게 구하여진 최적화된 공정변수의 검증을 위하여 최적 조건에 맞추어 실험을 진행하였다. 실험은 완전한 검증을 위하여 3회에 걸쳐 같은 실험을 진행 하였다. 최적화가 진행된 대로 구해진 조건하에 수행된 실험의 결과로서 입자크기는 3회에 걸친 실험에 있어 2.20nm, 2.19nm 그리고 2.20nm 이 구해졌고, ICP수율은 각각 73.8%, 74.1% 그리고 73.1%의 결과를 얻어 six sigma를 사용한 최적화된 공정변수에 관한 검증을 완료했다. 그 결과는 [표 2]에 정리되어 있다.

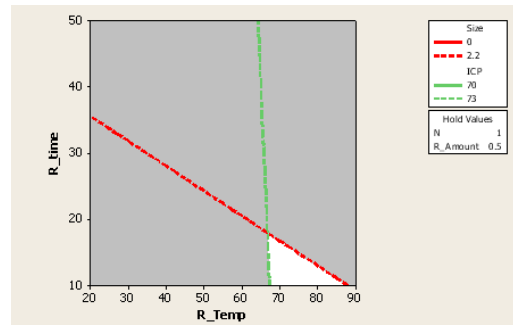


그림 9. 입자크기와 ICP수율에 대한 공정온도와 공정시간간의 겹쳐진 contour plot

표 2. 실험을 통해 얻은 결과치

반복횟수	입자크기, nm	ICP 수율, %
1	2.20	73.8
2	2.19	74.1
3	2.18	73.1

## IV. 결론

Six sigma 기법의 design of experiment (DOE)를 이용하여 촉매제조상의 중요 변수인 환원횟수, 환원온도, 환원체의 양 그리고 환원시간의 네 개의 공정변수간의

최적점을 도출하였다. 4인자2수준의 부분배치법을 사용하여 총 16회의 실험을 실시하여 최적화된 점을 확인하였다. 공정비용 및 시간을 고려하여 최종적인 결론으로서 환원횟수, 환원온도, 환원제의 양 그리고 환원시간의 최적점은 각각 1회, 80℃, 0.5ml 그리고 10min 으로 도출되었다. 그 결과로서 최적화된 공정변수를 이용한 실험 결과로서도 검증은 시도한 결과 원하는 목표치를 만족시킬 수 있었다. Six sigma를 통하여 적은 실험횟수로도 최적점을 구하려는 시도를 본 연구에서 진행하였다. 향후 이번 연구에서 고려하지 않은 다른 변수 및 목표 값에 대한 연구가 필요하며 다양한 분야의 연료전지 연구에 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Nguyen, and R. White, "A water and heat management model for proton exchange membrane fuel cells," J. of Electrochem. Soc. Vol.140, pp.2178-2186. 1993.
- [2] S. Shimpalee, D. Spuckler, and J. W. Van Zee, "Prediction of transient response for a 25-cm<sup>2</sup> PEM fuel cell," J. Power Sources, Vol.167, No.1, pp.130-138, 2007.
- [3] W. K. Lee, C. H. Ho, J. W. Van Zee, and M. Murthy, "The effects of compression and gas diffusion layers on the performance of a PEM fuel cell," J. Power Sources, Vol.84, No1, pp.45-51, 1999.
- [4] 이지정, 김인태, 장언, 이흥기, 심중표, "고분자전해질 연료전지에서 다양한 기체확산층의 물리적 특성과 연료전지 성능 비교", 한국전기화학학회논문지, 제10권, 제4호, pp.270-278, 2007.
- [5] 이국승, 박희영, 전태열, 성영은, "안티몬 도핑된 주석 산화물에 담지된 백금 촉매의 에탄올 산화 반응 및 안정성 연구", 한국전기화학학회논문지, 제11권, 제3호, pp.141-146, 2008.
- [6] J. S. Kim, and S. I. Pyu, "A Review of

Ac-impedance Models for the Analysis of the Oxygen Reduction Reaction on the Porous Cathode Electrode for Solid Oxide Fuel Cell," 한국전기화학학회논문지, 제8권, 제2호, pp.106-114, 2005.

- [7] 박동규, *minitab*을 활용한 실험계획법, 기전연구사, 2008.
- [8] 박상규, 이영광, 실험계획법, 청호, 2003.

### 저 자 소 개

김 세 현(Se-Hyun Kim)

정회원



- 1984년 : 고려대학교 응용광물 광상학(이학석사)
- 1993년 : 고려대학교 응용광물 광상학(이학박사)
- 1985년 ~ 현재 : 상지대학교 신에너지·자원공학공학과 교수

<관심분야> : 연료전지, 환경영향성, 탄소저감

김 선 회(Sunhoe Kim)

정회원



- 1996년 2월 : 단국대학교 화학공학과 졸업(공학사)
- 2004년 5월 : University of South Carolina(공학박사)
- 2004년 ~ 2008년 : LG전자 선임연구원

▪ 2004년 ~ 현재 : 상지대학교 신에너지·자원공학공학과 교수

<관심분야> : 연료전지, 공정 및 시스템 최적화, 에너지저장, 전기화학