

직접 메탄올 연료전지용 최적조건의 고효율 확산전극의 개발을 위한
6시그마 기법의 적용
**6-sigma Methodology for Development of High-efficiency Diffusion Layer in
Direct Methanol Fuel Cell**

김지래, 이원태, 장혁
삼성종합기술원, MD Lab

서론

앞으로 수년 내 보편화 될 것으로 예상되는 차세대 휴대기기의 경우 대용량 동영상 전송, 다양한 기능 등 지금보다 2-3배 많은 전력을 소비할 것으로 예상된다. 그러나 현재 사용하는 전원으로는 효율이 더 높아지는 것을 고려해도 장시간 사용하는데 한계가 있을 수밖에 없다. 그래서 이에 대한 대안으로 충전시간이 짧고 에너지밀도가 높은 DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

DMFC에서 촉매와 Membrane에 대한 연구는 많이 진행되었지만 확산 층에 대한 연구는 상대적으로 미약했다. 그러나 액체를 연료로 사용하는 방식에서는 연료를 촉매 층까지 원활하게 공급해주는 역할을 하는 확산 층이 중요하게 된다. 본 연구에서는 고효율 확산전극에 필요한 전극을 개발하기 위해서 6시그마적인 방법론을 이용하여 확산전극의 성능에 미치는 인자들은 무엇이며 각 인자들의 중요도를 평가함으로써 최적 조건을 확산 전극을 개발하였다. 이렇게 개발한 확산전극과 MEA, Membrane, System등의 관련기술에 접목하여 수년 후 연료전지의 상품화에 대비하고자 한다. 최적조건의 확산전극의 개발을 통해 MEA의 출력밀도 향상으로 가격 경쟁력을 확보할 수 있으며 Stack제작시 에너지 밀도의 향상으로 소형, 경량화가 가능하게 된다.

실험방법

본 연구에서는 6시그마 방법론을 적용하여, 해결하고자하는 과제를 선정하고 그 과제를 선정하기 위한 배경을 간단하게 서론에서 설명하였다. 차세대 휴대용 전자기기의 전원용 DMFC를 위한 최적조건의 확산전극의 성능에 미치는 인자로는 크게 확산 층의 두께, 확산 층을 구성하는 기공의 크기분포, 발수성 처리정도, 확산 전극의 기공율 등으로 나눌 수 있다. 이 4가지 인자의 분석을 통하여 연료공급에 최적인 조건을 찾을수 있게 된다.

표 1은 고객의 요구사항인 VOC (Voice of Customer)를 파악하여 거기에 따른 QFD(Quality Function Deployment)를 전개한 table로써 각각의 인자들의 중요성 정도를 수치화하였다. 세로축에 나타난 조건들은 확산전극을 제조하는데 있어서 재료의 선택과 공정을 나타낸 것으로 기능에 따라서 tree형식으로 전개한 항목들이다. 가로축은 성능을 평가할 수 있는 인자들을 나열했다.

Table 1. VOC를 통한 QFD전개도

망대/망소/망목		망목	망목	망목	망대	망소	망목
SPEC 중요도 분석	VOC중요도	발수성처리	기공율	두께	확산층의 수명	가격	슬러리 조성
용매의 선택	5	3	5	3	1	1	5
Spray 폭 유지	5	1	1	5	1	3	1
Spray 속도 유지	1	1	1	3	1	3	1
Spray 압력 유지	1	1	1	5	1	3	1
혼합/분산 방법	5	1	5	3	3	1	3
건조조건	5	3	3	3	3	1	1
Vacuum plate조건	3	1	3	1	3	1	1
Teflon 첨가량	5	5	3	1	3	1	1
열처리 조건	5	5	3	1	1	1	1
Teflon 혼합방법	3	1	3	1	3	1	1

CTF 중요도		98	120	94	80	52	68
단위		wt%	%	um	hr	\$/g	
Target		40	80	40			
LSL		20	70	25			
USL		70	90	55			

위 표 1에서 VOC의 중요도는 관련 전문가의 의견을 통하여 1,3,5로 나누어 중요도가 높을수록 높은 점수를 주었다. 또한 가로축에 나타난 각각의 인자들에 대해서 재료나 공정상에 중요도를 역시 1,3,5로 구분하여 각 항목을 평가하였다. 그래서 최종 CTF의 중요성은 기공율, 발수성 처리, 두께 순으로 나타나 이 3개를 확산전극의 성능에 영향을 미치는 인자로 결정하였다. 처음 인자로 구분하였던 기공의 크기는 기공율로 표현할 수 있으므로 제외하였다.

그림 1은 최적화된 전극을 제조하기 위한 공정을 나타내었다. 각 단계별로 적용되는 재료나 공정을 표시하였고 그것으로부터 나온 Output를 나타내었다. 단계별로 각각의 Input 변수들은 제어 가능한 Type과 제어 불가능한 Type으로 나누어진다. 이 변수들 중에서 실제 실험에서는 제어 불가능한 Type의 변수는 실험 외적인 요소들인 실험실내의 환경이나 재료의 특성들로써 실험 대상에서 제외된다. 그러므로 이들 중 제어 가능한 Input 변수만을 선택하여 앞서 선정한 인자들과 실험 변수의 상호관계를 표 2에 나타내었다. 표 2에서도 표 1과 동일한 작업을 통하여 각 프로세서 단계의 Input 변수들 중에서 3개의 인자에 가장 큰 영향을 미치는 변수들을 선별하였다. 이렇게 선정한 4개의 변수 즉, 전도성물질, 바인더, 스프레이 폭, 온도의 Vital Few가 선정되었다. 여기서 Vital few란 수많은 변수들 중에서 인자들에 가장 큰 영향을 미치는 소수의 변수를 의미한다.

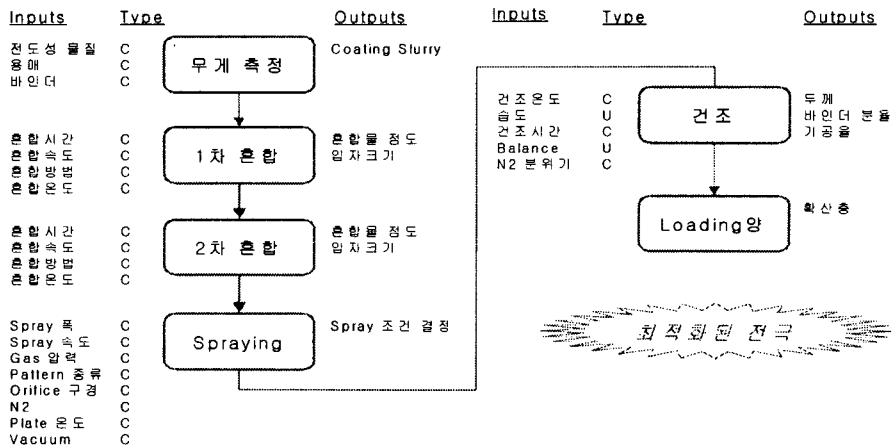


Figure 1. Process mapping

위의 과정을 통하여 최적의 확산 전극을 구성하는 요소를 결정하였으며 그 요소들을 제어하기 위한 변수들도 선정하였다. 표 2에서 Vital few에는 미치지 못하나 상대적으로 중요한 변수들은 다음 연구에서 다시 진행할 수 있다.

Table 2. Cause & Effect Matrix

		Rating of Impotence			
		11	15	9	
		1	2	3	
		발수성	기공율	두께	Total
Process Step	Process Input				
무게 측정	전도성 물질	1	5	5	131
	용매	1	3	1	65
	바인더	5	3	1	109
혼합	혼합 시간	3	3	1	87
	혼합 속도	1	1	1	35
	혼합 방법	3	3	1	87
	온도	1	1	1	35
Spray	Spray 폭	1	3	5	101
	Spray 속도	1	1	3	53
	Gas 압력	1	3	3	83
	Orifice 크기	1	3	3	83
	Pattern	1	1	1	35
	Plate 온도	1	3	1	65
건조	Vacuum	1	1	1	35
	온도	5	3	1	109
	시간	3	3	1	87
	Vacuum 사용	1	3	1	65

3개의 주요 인자들은 기공율 80%, 발수성 40%, 두께 30 μm를 목표로 하여 1차 실험을 진행하였다.

실험에 앞서 MSA (Measurement System Analysis)를 통하여 측정 시스템의 측정 data의 편차의 형태나 양에 관한 정보를 분석하여 측정기기의 신뢰도를 확인하였다. MSA 분석은 5

개의 sample을 3명의 사용자가 2번 반복실험으로 결정하였다. 그림 2는 측정기기의 ANOVA (Analysis of Variance)분석 결과로 각각의 항목에서 양호한 것으로 나타났다.

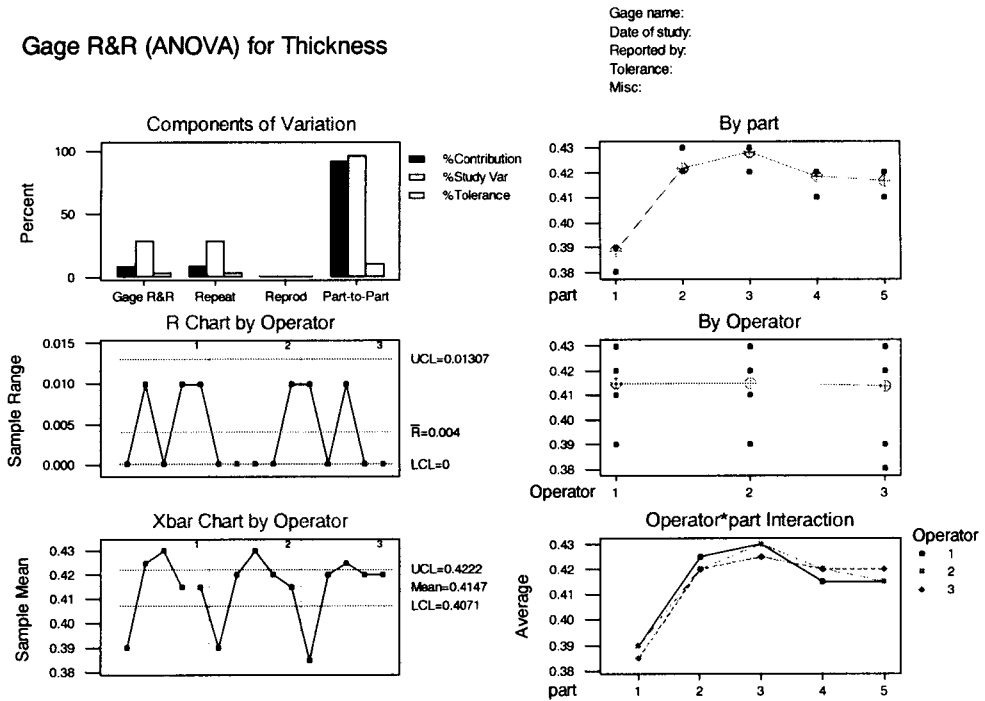


Figure 2. 측정시스템에 대한 Anova분석

By part에서 산포가 크지 않으며, By operator를 통해 실험자간 재현성도 양호한 것으로 나타났다. 그러나 Operator part Interaction을 통하여 각 sample에 대해서 Operator간 실험결과가 엇갈리는 교호작용을 볼 수 있다. 전체적으로 평가할 때 측정기기에 대한 신뢰성은 양호하다고 판단된다.

지금까지의 결과를 바탕으로 확산전극의 최적 조건을 결정하기 위한 DOE (Design of Experiments)실험을 수행하였다. 또한 확산전극의 제조를 위한 SOP를 작성하였다.