

▣ 응용논문

흐름생산시스템에서 품질향상을 위한 실험 계획 설계

- 이산화망간-리튬 전지의 품질 향상을 중심으로

A Study on the Design of Experiment Planning for
Quality Improvement in Flow Shop Manufacturing System

박해천*

Hai-Chun, Park

홍남표**

Nam-Pyo, Hong

Abstract

This study is concern with the design of experiment planning for quality improvement in flow shop manufacturing system. In this study, the procedure of two stage experiment planning are proposed and applied to the manufacturing process of Li/MnO₂ batteries.

The result of in this paper is that, compared with the current process conditions, 52% of the insulation inspection process, 81.6% of the first premier discharge process, 98.5% of the second premier discharge process, 84.7% of O.C.V./C.C.V. process, and 86.2% of voltage inspection process are decreased. After a given period of time, the life of the batteries extends to 75 hours, which means the 15% improvement in capacity. In case that the proposed methods are applied to the process improvements of the flow shop manufacturing system, the much effected in experimental cost-saving and quality improvement.

1. 서론

제품의 생산은 생산 방식에 따라 개별생산(job shop production), 흐름생산(flow shop production) 또는 혼합생산으로 나눌 수 있다. 개별생산 시스템 대한 공정별 품질개선 방안은 많은 연구가 있으나[6, 7, 8]. 흐름생산 시스템의 경우 실험 조건의 변동과 생산중의 여러 가지 잡음인자 때문에 단위 공정별 품질개선 연구는 많지만 전체 공정을 대상으로 개선 방법에 관한 연구는 미약하다.

제품의 불량률 감소를 목적으로 하는 품질 개선은 전체 공정에 대한 분석과 이에 따른 조치로 어느 정도는 가능하다. 그러나 제품의 성능 향상을 위한 품질개선은 공정분석과 실험이 병행되어야 한다. 일반적으로 전공정의 품질 특성치가 후공정의 품질특성에 영향을 줄 경우 불량 원인이 되는 요인이 매우 많기 때문에 실제 현장에서 많은 실험이 필요하다. 그러나 생산 현장의 실험을 위해서는 매우 많은 비용과 시간이 필요하며, 실험 중에 측정하기 곤란한 수많은 잡음(noise)으로 실제로 최적화 실험은 곤란하다.

본 연구의 목적은 흐름생산시스템에서 현실적으로 적용 가능한 실험 계획을 제안하고, 이를 양극과 음극 등의 부품은 개별생산으로, 완제품은 흐름생산 형태로 생산되는 이산화망간-리튬 전지(Li/MnO₂)의 제조시스템에 제안된 방법을 적용하였다.

1) 이 논문은 1999년도 조선대학교 학술연구비 지원을 받아 연구되었음.

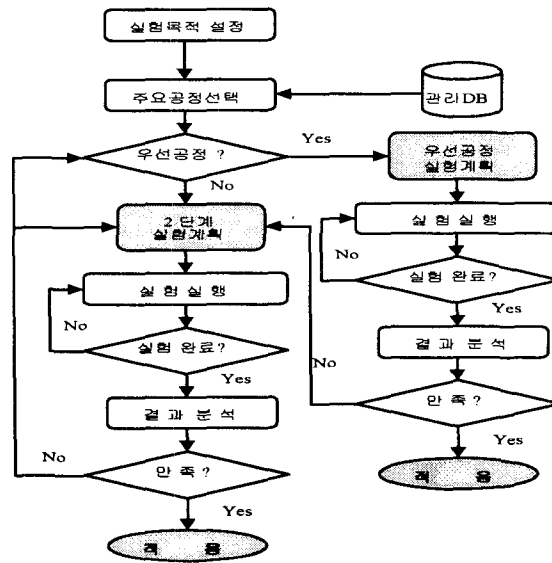
* 조선대학교 산업공학과 교수

** 정인대학 품질관리과 교수

2. 흐름생산 시스템에서 실험 계획 및 절차

흐름 생산의 불량발생 특징은 전공정의 품질특성이 후공정의 품질특성에 영향을 주어 후공정의 불량원인이 된다는 것이다. 따라서 전체 공정의 최적조건을 찾기 위한 실험 계획의 설계가 중요하다.

전체공정의 최적화를 위한 실험계획 설계는 포워드(forward)인자결정과 백워드(backward)인자결정 방법이 있다. 포워드 인자결정이란 후공정의 품질특성을 고려하지 않고 전공정의 최적조건에 대해서만 실험인자를 택하여 실험하고, 개별공정의 최적화에 의해 전체공정의 최적화에 도달하고자하는 방법이고, 백워드 인자결정이란 후공정의 품질특성을 고려하여 전공정의 인자를 결정함으로써 후 공정에 영향을 미칠 수 있는 영향을 고려함으로써 전체공정의 최적화에 도달하고자 하는 것이다. 따라서 흐름생산일 경우 완제품의 불량률 감소를 주목적으로 할 경우 백워드 인자결정 방법이 포워드 인자결정방법보다 더 효율적일 수 있다. 그러나 제조 현장에서는 이러한 방법으로 최적해(optimal solution)를 찾아가는 것이 현실적으로 불가능하여 직교배열을 이용한 실험이나, 요인배치법 등을 이용하여 최선해(best solution)를 찾는 것이 더 효율적이다.[9]



<그림 1> 흐름생산시스템에서 실험계획 절차

본 연구는 최선해를 찾는 방법으로 <그림 1>과 같이 2 단계에 의한 방법을 제안하였다. 이는 실험의 랜덤화가 곤란할 경우에 사용하는 분할법[4, 5, 7]과는 다르게 우선공정²⁾의 개념을 도입하여 전체 공정 중 실험 목적에 따라 가장 중요한 공정에 대해 1 단계로 최선해를 찾고, 그 결과가 기대하는 기대치에 못 미칠 경우 이를 포함한 실험을 계속하여 최선해를 찾는 방법으로 실제 제조 현장에서 쉽게 적용 가능한 방법이다. 제안된 방법은 흐름생산, 개별생산 또는 혼합생산 시스템에서 제조 중에 있는 제품의 품질 불만족 현상 발생 시에 그동안 관리되고 있던 현장의 관리도나 불량률 기록 등을 참조하여 먼저 주요공정³⁾을 선택한다. 주요공정 중에서 개선효과가 클 것으로 예상되는 공정을 과거 데이터와 관련자의 의견을 종합⁴⁾하여 우

2) 우선 공정이란 전체 제조공정 중 실험목적(불량률 감소 또는 성능 향상 등)에 가장 영향을 많이 줄 것으로 예상되는 공정으로 우선 실험대상이 되는 단위공정을 말함.
3) 품질 개선 대상공정 모두를 지칭함.

선공정으로 선택하고, 이를 실험한 후 그 결과에 만족하지 못하면 나머지 주요공정과 함께 2단계 실험을 실시한다. 우선공정의 개선만으로도 원하는 효과를 얻었을 경우는 2단계 실험은 실시하지 않는다.

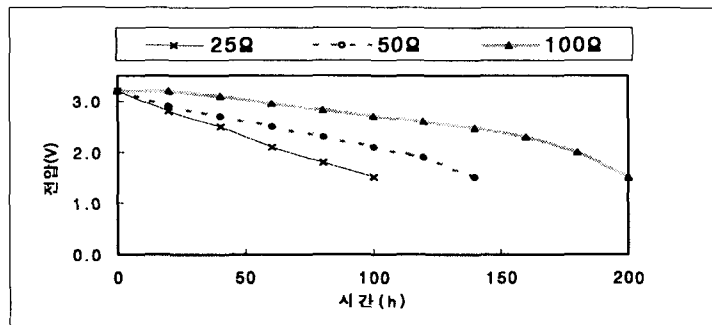
실제 제조 현장에서는 이와 같은 우선공정의 개선이 대부분이며, 특히 흐름생산의 경우 어떤 특정 공정 조건을 변화하면 품질이 월등히 좋아지는 경우가 많다. 이는 모든 실험을 했을 때보다 실험비용과 시간을 절약할 수 있다. 또한 원하는 효과를 얻지 못했을 때 2단계 실험의 기초 자료로 사용이 가능하다.

3. 이산화망간-리튬(Li/MnO₂)전지 제조공정에 적용사례

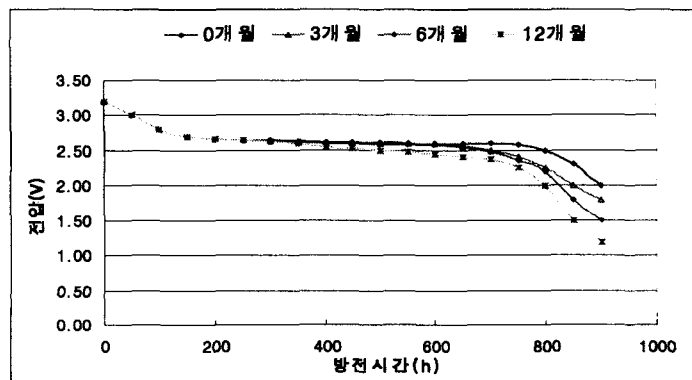
3.1 이산화망간-리튬(Li/MnO₂)전지의 품질특성

이산화망간-리튬전지(Li/MnO₂)의 기본 구성은 양극, 음극(리튬), 이온 전도성의 전해액, 양극과 음극의 전자적 단락을 방지하는 절연체 다공성 세퍼레이터(Separator)로 구성되며, 에너지 밀도가 높아 수명이 길고 성능 대비 가격이 저렴하다. 이산화망간은 오랫동안 망간전지와 알카리망간 전지의 양극활물질로 사용되어 왔으며, 리튬전지 개발 초기부터 주목을 받아왔으나 전지 제조 후 전지용량의 감소와 가스 발생의 문제가 있어서 1970년대 후반 H.Ikeda의 연구결과 발표이전까지는 리튬전지로는 사용되지 못하였다.[1]

<그림 2>은 "C" Size의 리튬 망간전지의 방전 특성을 나타낸 것이다. 방전 저항이 크면 클수록 이용률 및 방전전압의 평탄성이 급격히 저하됨을 알 수 있다.



<그림 2> CR-2025 Li/MnO₂ 전지의 방전 특성



<그림 3> CR-2025 Li/MnO₂ 전지의 실온 보존 특성

4) 브레인 스토밍법이나 연관도법을 사용함이 타당함.

Li/MnO₂ 전지의 보존 특성에 관한 실험결과를 <그림 3>에 나타내었다. 전지의 방전 부하 전압은 22KΩ으로 동일하게 실험했을 때, <그림 3>에서와 같이 제조 후 방치(보관기간)에 따라 약 600시간까지는 영향이 없었으나, 이후에는 성능이 급속히 열하 됨을 알 수 있다. 특히 페로 전압을 2.5V로 했을 때, 방전시간은 제조 직후의 약800시간에서, 12개월 방치 때는 600시간으로 성능의 차이가 많음을 알 수 있다. 본 연구에서는 이러한 품질을 개선하는 실험을 계획하고, 분석하여 그 결과를 비교한다.

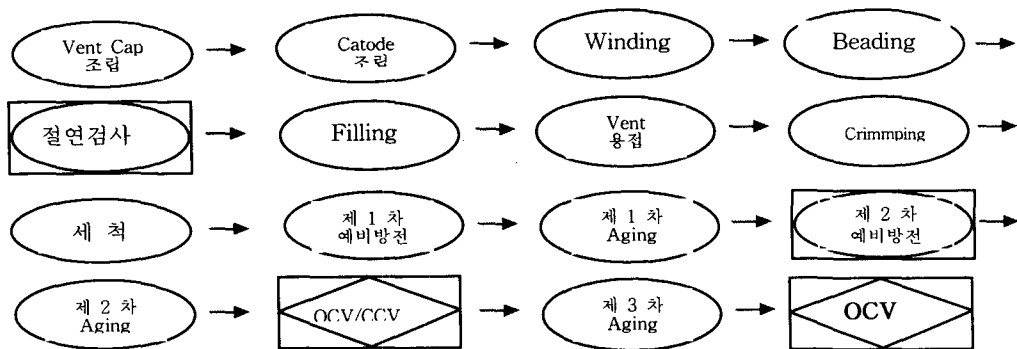
3.2 제조 공정의 분석

Li/MnO₂ 전지의 제조 공정은, 원재료를 가공 또는 조립하여 양극(MnO₂)과 음극(Lithium)등을 생산하는 개별생산 형태의 자재 제조 공정과, 이들을 조립하는 흐름생산 형태의 조립 공정으로 나눈다.

양극의 제조 공정은 원재료를 기준 온도로 열처리하고, 코팅(coating)후, 습혼합과 건혼합 과정을 거쳐, 세 차례의 건조와 압연과정을 마치고 이를 코팅지(coating sheet)와 함께 되감기(rewinding)를 하고, 타발하여 이 부품과 특수하게 합금된 금속판(exmet)을 결합하여 열처리와 압연 과정을 거치면 양극 부품이 완료된다. 음극의 제조 공정은 원재료인 리튬과(ingot)를 압축하고, 이를 원하는 크기로 재단하여 몰딩 한 후, 이 부품과 금속판(exmet)을 결합하여 열처리와 압연 과정을 거치면 음극 부품이 완료된다. 불량요인에 대한 분석 결과 리튬의 휨 발생, 틀어짐, 변색과 같은 원재료의 변형, 중량 초과 등이 원인이었다.

금속판(exmet)은 음극과 양극 제조에 필요한 원자재로 정도 검사 후, 세척, 열처리, 압연 후 출고한다. 분석 결과 금속판(exmet)의 찢어짐, 중량편차, 폭의 편차, 움의 발생 등의 불량의 원인이었다.

조립 공정은 <그림 4>와 같이 크게 16 개 공정으로, 절연 검사는 후 공정에 큰 영향을 끼치게 된다.[5] 절연 검사를 위해서는 양극과 음극에 직류 전압을 가하여 단락 유무를 검사하게 되는데, 이때 입력 전압이 너무 높을 경우 양극과 음극 활물질의 화학 물질(리튬, MnO₂)의 반응성을 높여 후 공정에서 불량이 발생하든지, 낮을 경우 화학 반응이 서서히 진행되어 활성전압(working voltage) 불량으로 나타난다.[1, 2] 이러한 불량은 전혀 쓸모 없는 전지(치명 불량)가 되며, 특히 화학 반응이 서서히 진행될 경우 일정기간이 지나면 성능이 급격히 열하될 수 있다. 또한 절연검사 공정은 크립핑 공정 후에 실시하는 1, 2차 예비 방전(1차 P/D, 2차 P/D)과 출하 전에 실시하는 O.C.V. (Open Curcuit Voltage), C.C.V.(Closed Curcuit Voltage) 검사 공정의 불량률에 영향을 줄 수 있다.



<그림 4> LiMnO₂ 전지의 조립공정

3.3 성능 향상과 불량률 개선을 위한 실험계획 및 분석

3.3.1 실험 조건 과 목적

실험의 목적은 상온(20° C)에서 일정 기간(3개월, 6개월, 12개월) 방치 후 성능을 페로전압을 2.5V로 했을 때 <그림 3>의 기간별 지속시간 보다 성능을 향상시키는 공정조건을 찾고, <표 1>의 과거 불량률에 대해 1% 미만으로 감소시킬 수 있는 조건을 찾고자한다.

실험 조건은 입력 전압 이외의 잡음 인자의 영향을 최소화하기 위해 이전 공정(부품 제조공정)에서 생산된 부품(음극, 양극, 세파레이터 등)과 기타 원재료는 생산 로트가 같은 것을 사용하였다. 또한 3.2절의 불량원인 분석에서 음극과 양극의 타발기가 각각 2대 있는데 이는 가능한 기계적 편차를 보정·유지하여 잡음 요인을 최대한 피하고, 잡음인자는 고려하지 않은 실험을 실시하였다.

3.3.2 실험 인자와 특성치 선택

<표 1>은 주요공정의 과거 불량률에 대한 데이터이다. 부품 제조 공정의 불량률은 <표 1>에서와 같이 로트1은 0.082%, 로트2는 0.098%, 로트3은 0.122 %, 로트4는 0.106%로 완제품 조립공정에 비해 그 정도는 미미하다. 그러나 제품의 성능과는 관계가 있을 것으로 예상되는 공정들은 개발자와 생산자들의 의견을 종합하여 <표 2>와 같이 인자와 수준을 선택하였다.

전지의 성능을 향상시키고 불량률을 최소화하기 위해서는 3.2절의 제조공정 분석에서 언급한 바와 같이 절연검사를 위해 입력한 전압을 최적화해야 한다. 특히 이 공정은 흐름생산으로 진행되는 공정으로 후 공정인 1차 예비 방전, 2차 예비 방전, OCV/CCV검사, 전압검사 등 후 공정에 영향을 주기 때문이다.

<표 1> 제조공정의 과거 불량률

주요공정	생산방식	주요세부공정	불량율(%)					비고
			Lot 1	Lot 2	Lot 3	Lot 4	평균	
부품제조공정	양극 (Mno2)	열처리	0.021	0.029	0.041	0.034	0.03	
		습혼합						
		건조						
		압연						
		타발						
	음극 (Li)	타발	0.003	0.002	0.003	0.002	0.00	
		압출						
		Mold						
		Expanding						
		Exmet						
Exmet + 양극	열처리	0.001	0.003	0.004	0.002	0.00		
	압연	0.028	0.034	0.042	0.038	0.03		
Exmet + 음극	열처리	0.001	0.001	0.001	0.001	0.00		
	압연	0.026	0.028	0.029	0.027	0.03		
불량률 합계			0.082	0.098	0.122	0.106		
완제품 조립공정	흐름생산	절연검사	0.421	0.464	0.623	0.432	0.50	
		1차예비방전	0.185	0.197	0.249	0.094	0.41	
		2차예비방전	0.504	0.517	0.609	0.581	0.91	
		OCV/CCV검사	1.085	1.92	2.124	1.693	1.71	
		전압검사	0.878	0.885	0.861	0.881	0.87	
불량률 합계			3.073	3.983	4.466	3.681		

<표 2> 주요공정과 우선공정의

인자	수준	수준			실험계획을 위한 구분	
		1	2	3		
제어인자	A	절연검사	$S^{\dagger} + Y^{\ddagger}$	S	S - Y	주요공정
	B	습혼합	첨가물 유	첨가제 무	-	
	C	1차예비방전	S + Y	S	S - Y	
	D	2차예비방전	30 + Y	30	30 - Y	우선공정
	E	건 조	S + Y	S	S - Y	주요공정
	F	압 출	S + Y	S	S - Y	
	G	OCV/CCV	S + Y	S	S - Y	
	H	접압검사	S + Y	S	S - Y	

† : 기존의 제조 현장에서 사용했던 특정한 값. †† : 실험조건에 특정한 값. ††† : 회사의 요청으로 변경표기함.

따라서 본 연구에서 제안한 1단계 실험에 최선해를 찾을 우선공정으로 절연검사공정을 선택하고, 현재의 공정조건의 입력 전압 수준 50V를 포함한 낮은 전압 4개(10V, 20V, 30V, 40V, 50V)를 수준으로 하여 1 단계 실험을 하였다.

3.3.3 우선공정의 실험과 분석

가) 우선공정의 실험

실험의 계획은 1개의 수준 당 12,000개의 샘플에 대해 불량률을 계산하도록 설계한다. 그러나 양산 제조라인에서 실험을 실시하였으므로 실험의 목적과 상관없이 이전 공정(완제품 조립공정의 절연공정 이후 공정)에서의 제조와 시료 채취에 따른 수량의 감소 및 작업자 부주의, 기계고장 등에 의한 불량발생 등으로 필요 수량보다 적은 수에 대해 실험되었다. 따라서 불량률 기준으로 실험결과를 분석하는 계수치 분산분석을 실시하기 위해서는 총 검사 개수가 수준별로 같아야 하므로 이를 보정하였다.

보정방법은 식(1), 식(2)과 같이, 총 검사 개수(X)에 원래의 불량률(p)을 곱하여 보정된 불량 개수를 계산하고, 총 검사 개수에서 보정된 불량품의 수를 뺀 값을 양품수로 하였다. 여기서 소수점 이하는 무시하였다.

$$\text{보정 데이터의 불량품 수} = X * p \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{보정 데이터의 양품 수} = X - (X * p) \quad \dots\dots (2)$$

절연 검사 공정에서 수준을 다르게 하여 실시한 실험에서 후 공정의 공정조건을 바꾸지 않고 실시한 데이터는 <표 3>과 같다. 예를 들어 절연검사 공정에서 총 12,000개의 시료를 채취해야 하나 검사 개수가 10V 11,304개, 20V 11,439개, 30V 11,485개, 40V 8,753개, 50V 11,520개로, 수준마다 검사 개수가 다르므로 이를 보정하여 총 검사 개수를 12,000개로 동일하게 하고 이에 따른 불량률을 다시 계산하였다.

나) 실험 결과의 분석

입력 전압 조건(10V, 20V, 30V, 40V, 50V)들간의 특성치에 대해 차이가 있는가를 검정하기 위해 계수치 데이터 분산 분석을 실시하였다. <표 3>의 절연검사 공정의 보정 데이터에서 총 검사 개수는 수준별로 12,000개씩 총 60,000개이고, 불량 총수가 342개이므로 수정항은 1.96이 된다.

<표 4>의 분산 분석의 결과 귀무가설 $H_0 : a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = a_5 = 0$, 즉 각 수준간의 분

산의 차이가 없음이 유의수준 95%와 90%에서 각 기각된다. 따라서 절연검사 공정에서 입력전압 수준을 바꿈에 따라 수준간에 불량률의 차이가 있음을 알 수 있다.

<표 3> 우선공정의 공정 수준별 데이터

구 분	수 준	원 데이터					보정 데이터				
		10 V	20 V	30 V	40 V	50 V	10 V	20 V	30 V	40 V	50 V
절연검사	양 품	11,153	11,394	11,458	8,732	11,451	11,840	11,953	11,972	11,971	11,921
	불량품	151	45	27	21	76	160	47	28	29	79
	총검사 갯수	11,304	11,439	11,485	8,753	11,520	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000
	불량률(%)	1.34	0.39	0.24	0.24	0.66	1.33	0.39	0.23	0.24	0.65
1차 예비방전	양 품	11,118	11,356	11,296	8,679	11,397	11,833	11,938	11,968	11,965	11,912
	불량품	7	14	4	4	9	7	15	4	6	9
	총검사 갯수	11,125	11,370	11,400	8,683	11,406	11,840	11,953	11,972	11,971	11,921
	불량률(%)	0.06	0.12	0.04	0.05	0.08	0.059	0.125	0.033	0.050	0.075
2차 예비방전	양 품	10,346	11,364	11,375	8,777	11,386	11,830	11,934	11,967	11,964	11,901
	불량품	3	4	1	1	11	3	4	1	1	11
	총검사 갯수	10,349	11,368	11,376	8,778	11,397	11,833	11,938	11,968	11,965	11,912
	불량률(%)	0.03	0.035	0.01	0.01	0.1	0.025	0.033	0.008	0.008	0.092
O.C.V./C.C.V.	양 품	10,277	11,300	11,331	8,649	11,303	11,785	11,898	11,936	11,923	11,854
	불량품	39	34	29	30	45	45	36	31	41	47
	총검사 갯수	10,316	11,334	11,360	8,679	11,348	11,830	11,934	11,967	11,964	11,901
	불량률(%)	0.378	0.299	0.255	0.345	0.396	0.380	0.301	0.259	0.342	0.394
전압 검사 공정	양 품	10,268	11,291	11,294	8,638	11,282	11,783	11,895	11,935	11,922	11,851
	불량품	2	3	1	1	3	2	3	1	1	3
	총검사 갯수	10,270	11,294	11,295	8,639	11,285	11,785	11,898	11,936	11,923	11,854
	불량률(%)	0.019	0.026	0.008	0.011	0.026	0.016	0.025	0.008	0.008	0.025

<표 4> 우선공정의 분산분석표

요인	제곱합(SS)	자유도(φ)	제곱평균(V)	E[V]	F ₀	F(0.10)	F(0.05)
A	1.01	4	0.252	$\sigma_E^2 + r\sigma_A^2$	50.4	1.85	2.21
E	340.03	59,995	0.005	σ_E^2			
T	341.04	59,999					

실험에 의한 데이터와 <표 1>의 불량률 평균과 5 개 공정들에 대한 불량률을 <표 5>에 정리하였다.

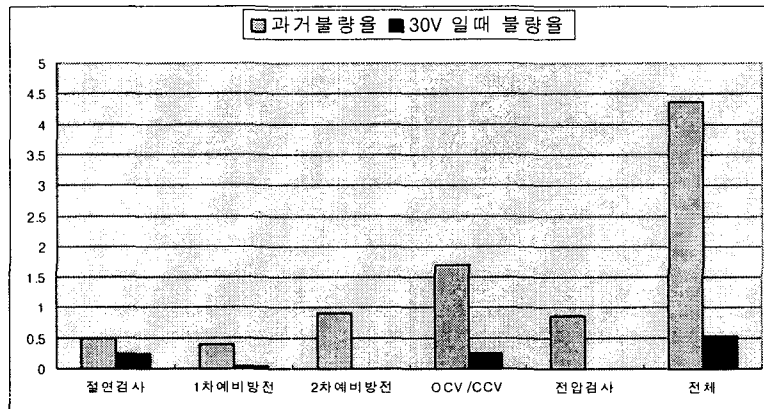
본 연구 이전의 절연검사를 위한 입력 전압은 50V 이었다. 그러나 이를 40 V, 30 V, 20 V 등으로 낮출 경우가 전체 불량률은 현저히 낮아지나, 10 V 일 경우는 오히려 전체 불량률은 높았다.

<표 5> 주요 완제품 조립공정의 불량률(%)

공정명	수 준	10 V	20 V	30 V	40 V	50 V	과거의 평균 불량률
1	절연검사 공정	1.330	0.390	0.230	0.240	0.650	0.50
2	1차예비방전 공정	0.059	0.125	0.033	0.050	0.075	0.40
3	2차예비방전 공정	0.025	0.033	0.008	0.008	0.092	0.90
4	O.C.V./C.C.V 공정	0.380	0.301	0.259	0.342	0.394	1.7
5	전압검사 공정	0.016	0.025	0.008	0.008	0.025	0.87
전체불량률(%)		1.810	0.874	0.538	0.648	1.236	4.37

1단계 우선공정에 대한 실험결과 절연검사 공정의 입력전압을 30V로 할 경우 5개 공정 평균 불량률의 합이 0.538%로 과거의 평균 불량률 4.37%보다 현저히 감소되었다. 이는 절연검사 공정의 입력전압 조건이 후 공정의 불량률에 영향을 주는 매우 중요한 요인임을 알 수 있었다.

본 연구의 목적중의 하나인 불량 개선 효과는 이러한 실험 하나로도 가능했지만 또 다른 목적인 제조 후와 특히 일정기간이 지난 후의 전지 성능 향상을 위해 2단계의 실험을 실시하였다.



<그림 5> 공정별 불량률 감소 효과

3.3.4 주요공정의 실험과 분석

가) 주요공정의 실험

<표 2>의 인자와 수준에 대한 실험을 위해 제어인자는 $L_{18} 2^1 \times 3^7$ 직교배열표를 사용한다. 이는 인자간의 교호작용을 배제한[4] 실험을 위해서이며, 각 인자의 배치 및 실험결과는 <표 6>과 같다. 실험의 배치는 교호작용이 배제된 직교 배열로 B 인자를 1열에 배치하고, 작업의 용이도에 따라 나머지 열에 다른 인자를 배치하였다. 또한 실험 조건에 맞는 제품을 제조하여 제조 직후, 3개월 후, 6개월 후에 각각 10개의 시료에 대한 전류와 전압을 측정하여 이를 망대특성(lager the best)의 S/N 비(ratio)[9] 로 변환하여 기록하였으며, 분산분석 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7>의 분산 분석의 결과 인자 A 와 G 만이 유의수준 90%에서 유의하며, 그 수준은 3 수준이 성능향상에 좋을 것으로 예상된다. 즉 절연검사 공정의 입력 전압을 당초의 입력조건 50V가 아닌 우선공정 실험에서 확인한 30V 보다 약간 높은 전압을 공정조건으로 하고, OCV/CCV 검사공정의 조건을 현재 보다 높이면 더 좋은 성능의 전지를 제조 할 수 있을 것으로 예상된다.

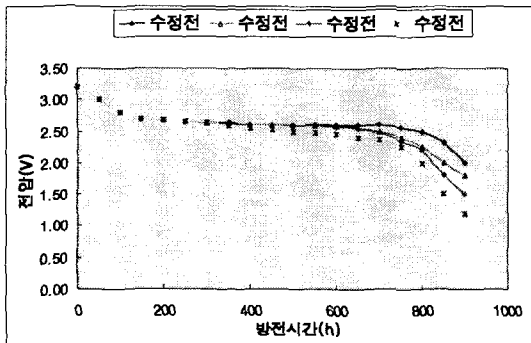
1단계와 2단계의 실험에서 얻은 결과에 따라 이전의 공정조건을 수정하여 적용한 제품을 생산하여 제조 직후, 3개월 보관 후, 6개월 보관 후에 방전실험을 한 결과<그림 6>, <그림 7>, <그림 8>에서와 같이 전지의 성능이 향상되었다. 즉, 폐로전압을 2.5V로 했을 때 제조 직후는 약 800 시간에서 870 시간, 3개월 보관 후는 약 700 시간에서 760 시간, 6개월 보관 후는 약 670 시간에서 765 시간으로 평균 75시간이 향상되었다. 특히 6개월 보관 후의 전지 성능은 월등히 향상되어 외국산 전지에 비해 품질 경쟁력을 갖는 제품생산이 가능해졌다.

<표 6> L 18 직교 배열표와 실험 데이터

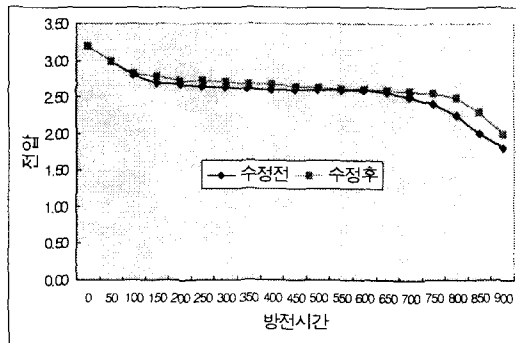
실험 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	S/N ratio = $-10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$								
	B	A	C	D	E	F	G	H	lot 1			lot 2			lot 3		
										제조 직후	3개월 후	6개월 후	제조 직후	3개월 후	6개월 후	제조 직후	3개월 후
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	2.4	1.8	2.5	2.3	2.2	2.6	2.3	2.2
2	0	0	1	1	1	1	1	1	2.8	2.3	2.1	2.7	2.5	2.3	2.7	2.3	2.1
3	0	0	2	2	2	2	2	2	3.7	3.5	3.0	3.7	3.0	3.0	3.8	3.6	3.3
4	0	1	0	0	1	1	2	2	2.9	2.9	2.8	3.0	2.7	2.9	2.9	2.7	2.4
5	0	1	1	1	2	2	0	0	3.0	2.7	2.4	3.0	2.8	3.0	3.0	2.7	2.7
6	0	1	2	2	0	0	1	1	2.5	1.8	1.5	2.5	2.4	1.8	2.6	2.2	1.5
7	0	2	0	1	0	2	1	2	3.7	3.3	3.2	3.6	3.2	3.0	3.5	3.0	1.5
8	0	2	1	2	1	0	2	0	3.5	3.4	3.0	3.5	3.4	3.3	3.6	3.4	3.2
9	0	2	2	0	2	1	0	1	3.4	3.2	3.1	3.2	3.0	2.9	3.0	3.0	2.5
10	1	0	0	2	2	1	1	0	2.6	2.0	1.3	2.6	2.0	1.5	2.3	1.5	1.0
11	1	0	1	0	1	2	2	1	2.7	2.7	2.6	2.7	2.3	2.0	2.4	2.4	2.2
12	1	0	2	1	0	0	0	2	2.6	2.5	1.4	2.6	1.8	1.0	2.5	2.2	1.7
13	1	1	0	1	0	0	2	1	2.8	2.0	2.0	2.8	2.0	1.5	2.9	2.5	2.5
14	1	1	1	2	1	1	0	2	2.9	2.3	2.1	2.9	2.1	1.8	2.7	2.6	2.0
15	1	1	2	0	2	2	1	0	2.7	2.5	2.0	2.7	2.3	2.2	2.7	2.2	1.4
16	1	2	0	2	2	2	0	1	2.8	2.3	2.2	2.8	2.0	1.5	2.6	2.7	1.3
17	1	2	1	0	1	0	1	2	3.0	2.6	2.3	3.0	3.0	2.9	3.0	2.8	2.6
18	1	2	2	1	0	1	2	0	3.5	3.0	3.0	3.7	3.5	3.3	3.4	3.0	2.9

<표 7> 주요공정의 분산분석표

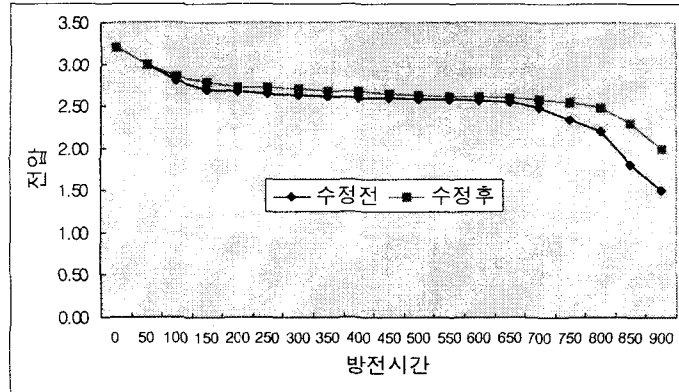
인자	SS	DF	V	F0	F(0.10)	F(0.05)
A	93.49	2	46.74	11.44*	9	19
B	61.24	1	61.24	14.98	49.5	200
C	20.33	2	10.17	2.49	9	19
D	2.62	2	1.31	0.32	9	19
E	7.96	2	3.98	0.97	9	19
F	12.97	2	6.49	1.59	9	19
G	76.02	2	38.01	9.30*	9	19
H	27.02	2	13.51	3.31	9	19
e	8.17	2	4.09			
TOTAL	309.84	17				



<그림 6> 제조 직후의 방전실험 결과



<그림 7> 3개월 보관후 방전실험 결과



<그림 8> 6개월 보관 후의 방전실험 결과

5. 결 론

전공정의 산출물이 후 공정의 산출물의 품질에 영향을 크게 받는 흐름생산시스템에 관한 크게 받는 흐름생산시스템에 관한 연구는 매우 미약하다. 본 연구는 이와 같은 제조시스템에서 품질개선 방법에 대한 방법의 하나로 2단계 실험 계획 설계를 제안하고, 이를 이산화망간-리튬 전지 제조시스템에 적용하여 그 효과를 측정하였다. 본 실험계획에 따라 1 단계 실험인 우선공정 실험결과 절연 공정에서 단락 검사시의 입력 전압 조건을 이전의 50 V에서 30 V로 바꿀 경우, 절연검사 공정 52%, 1차 예비방전 공정 81.6%, 2차 예비방전 공정 98.5%, O.C.V./C.C.V 공정 84.7%, 전압검사 공정 86.2%의 불량률이 감소됨을 알 수 있었으며, 2 단계 실험에서 전지 수명이 평균 75시간 이상 증가되는 조건을 찾을 수 있었다.

본 연구에서 제안한 실험계획 방법은 흐름생산시스템에서 품질개선 방법으로 활용될 경우 품질개선은 물론 실험 시간의 절약과 실험 비용 감소 등의 효과가 예상된다. 또한 본 연구는 대량 생산단계에 있는 제품의 공정에서 많은 잡음인자로 실험계획을 적용하기 곤란한 공정에서 실험계획을 수행하여 얻은 결과로, 이러한 사례는 추후 많은 유사 제품 또는 공정에서 적용이 가능 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 김유미, 김명수, 전지 연구 개발 사례, 현대경영개발원, 1995.
- [2] 김준용, 현대 전기화학과 공업, 서울대학교출판부 제 3판, 1989.
- [3] 로케트전기 기술연구소, 리튬 전지 개발 보고서, 1989.
- [4] 박성현, 응용실험계획법, 양지문화사, 1996.
- [5] 한국표준협회, 품질설계를 위한 실험계획법, 1991.
- [6] T社 생산부, Li-MnO₂ 전지 불량현황, 1999.
- [7] Taguchi, G., *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization, 1986.
- [8] Taguchi, G., *System of Experimental Design*, UNIPUB/Kraus International Publications, 1987.
- [9] Phadke, M. S., *Quality Engineering Using Robust Design*, AT & T Bell Lab, 1989.
- [10] 可部英雄, “98 電池開發市場 實態總調查”, 富士經濟, 1998