

식각액(Wet Etchant)제조공정의 품질향상을 위한 강건설계에 대한 연구

최 용 석* · 황 덕 형** · 조 광 희** · 오 선 일** · 강 경 식**

*동진세미켐 · **명지대학교 산업경영공학과

A study on the robust design for quality improvement of Wet Etchant manufacturing process

Yong-Seok Choi* · Deock-Hyeong Hwang** · Kwang-Hee Cho**

Sun-Il Oh** · Kyung-Sik Kang**

*Dongjin Semichem · **Department of Industrial & Management Engineering, Myongji University

Abstract

This essay talks about research of robust design for quality improvement of production procedure of Wet Etchant. It suggested the optimum design method in consideration of specific capability value that is the way to maximize the quality of product in the production system by using Daguchi parameter design method while finding factors affecting product quality with analysis of production system of product A from producer D. Also, it set long term of 6months as noise factor and let it to be the robust design that can find the optimum condition of control factor that is dull to the changes of each month, that is the change in noise factor.

The control factor which affects the product quality is decided as combination method, temperature of raw material, combination time and as there are too many possibilities for combination methods, we performed 4 methods first based on previous research data then derived three ways with product that passed SPEC and set as the factor.

As a result of application of optimum production procedure suggested in this essay to the actual production process with its standardization, there was a effect of drop of more than 10particles in comparison to the particle number of previous product and also it brought the effect that resulted the stable number of particle of under 30 that is what the client company suggested.

Keywords : Wet Etchant, quality improvement, robust design

† 교신저자: 오선일, 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과

M · P: 010-3815-2156, E-mail: sqc1004@hanmail.net

2012년 1월 20일 접수; 2012년 3월 19일 수정본 접수; 2012년 3월 20일 게재확정

1. 서론

현재의 시장 상황은 제품의 기능성, 생산시간의 단축, 고품질, 저비용의 제품 설계를 기업으로부터 요구하고 있다.

Taguchi Method는 고품질의 제품을 낮은 비용과 빠른 납기를 이루기 위한 R&D단계에서의 생산성 향상을 위한 방법이라고 할 수 있다. 이와 같은 기대 효과 때문에 많은 기업들이 품질혁신 도구의 하나로 이와 같은 Taguchi Method를 채택하고 지도 활동을 전개하고 있는데 그 배경에는 이와 같은 고품질, 고효율, 저비용을 달성하기 위함이다.

Taguchi는 “변동의 원인을 제거하지 않고, 원인의 영향을 최소화하여 제품의 품질을 향상시키는 것”으로 정의할 수 있다. 특히 파라미터설계(Parameter design)는 변동요인에 영향을 적게 받고, 높은 성능을 얻도록 제품과 공정설계를 최적화하는 것이다. 이 같은 기법은 노력과 비용을 적게 들이면서 최적설계 조건을 근사적으로 비교적 쉽게 결정할 수 있는 방법으로써, 제품의 성능(특성치)변동을 줄이기 위해 잡음 그 자체를 통제하기보다는 성능변동이 잡음에 강건하도록 설계변수 값을 결정하는 방법이다. 이 방법을 강건 설계(Robust Design)라 한다. 품질설계의 중요성으로 인해 80년대 초 다구찌가 실험계획법과 2차 손실함수를 근거로 다구찌 파라미터 설계방법을 제안하였으며 최근까지 각종 실험이나 생산현장에서 이 기법이 많이 활용되고 있다.

다구찌는 강건한 제품설계의 개발이 제조변동의 원인을 제거하는 것보다 비용이 적게 든다는 것을 발견하였다. 이것은 제품 품질의 개선과 제조비용의 감소를 동시에 가능하게 할 수 있다. 다구찌의 강건 설계 방법의 중요한 구성요소로 크게 두 가지 인자, 즉 파라미터와 잡음인자로 구분할 수 있다. 파라미터는 제품의 설계자에 의해 제어될 수 있는 변수들이다. 잡음인자는 쉽게 제어할 수 없거나 제어하는데 고가의 비용이 드는 변수이다. 따라서 본 논문에서는 생산시스템 설계과정에서 여러 가지 공정에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 Taguchi Method를 적용시켜 실험의 수행시간과 비용을 최소화시켜주고 생산 공정의 최적조건을 도출할 수 있도록 하였다. 또한 선행된 연구를 바탕으로 현재 제조공정에서 운영되고 있는 생산시스템을 분석하여 제조방식에서 생산품질에 영향을 주는 인자들을 찾아내고 이를 다구찌 기법을 활용하여 제품의 스펙을 최적화 할 수 있는 방법 즉, 특성치를 고려한 최적설계방법을 제시하고자한다.

2. 이론적 고찰

2.1 다구찌 기법의 개요

1980년대 AT&T, Ford 자동차회사, 제록스사등을 포함한 미국의 많은 유수의 기업들이 다구찌 방법을 시제 현장문제에 적용하여 제품생산에 있어서 혁신적인 품질향상의 효과를 얻었다.

다구찌는 품질을 “제품이 출하되어 사용되어질 때 야기되는 사회적 손실(Quality is the loss imparted to society from the time a product is shipped)”이라고 새롭게 정의하고, 품질변동의 원인으로 사용 환경의 변화(외란, outer noise), 부품의 노후화 등 내부 정수의 변화(내란, inner noise), 그리고 불안전 제조를 들고 있으며 이들을 간단히 잡음(noise)이라 한다. 또한 그는 생산된 제품의 최종적인 품질의 대부분이 Off-line 품질관리 영역인 제품설계 단계에서 이미 결정되기 때문에, 제조 현장에서 이루어지는 On-line 품질관리로 제품의 품질을 향상시키는 데에는 한계가 있음을 지적하고 있다.

제품설계에는 전문지식이나 기술, 경험을 통하여 주어진 목적기능을 갖도록 제품의 원형을 개발하는 시스템 설계(System Design)와 제품의 성능변동이 잡음에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구하는 파라미터 설계(Parameter Design) 그리고 파라미터 설계에 의한 최적조건을 구하였으나 성능변동이 아직 만족할만한 상태가 아닐 때 성능변동에 큰 영향을 끼치는 부품들의 경제성을 고려해 선별적으로 선택하여 허용차를 줄이는 허용차 설계(Tolerance Design)의 세 단계가 있다. 특히, 파라미터 설계를 하는데 있어 잡음을 제거하기보다는 잡음을 포함시킨 실험계획에 의해 이에 둔감하도록 설계변수의 최적조건을 구하자는 그의 기본적인 전략은 실험실에서 얻은 결과가 그대로 현장에서 재현성을 갖도록 하는데 크게 기여하였다.

다구찌는 품질을 손실의 개념으로 파악하고 이를 정량화하는데 있어 직교배열표를 이용하여 실험을 계획하고 데이터를 수집할 것과, 그 데이터로부터 유도된 SN비를 사용하여 분석함으로써 설계변수의 최적조건을 결정할 것을 제안하고 있다.

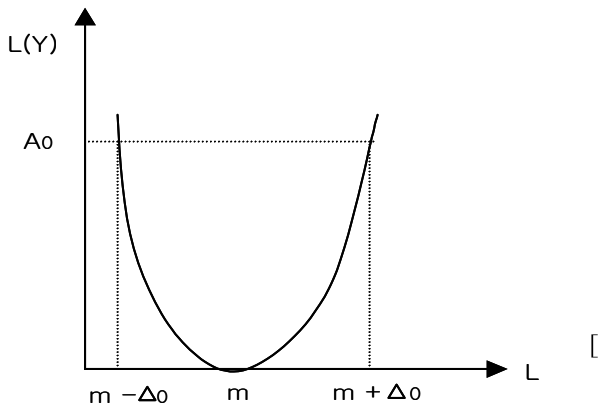
2.2 손실함수

제품의 품질 특성치는 보통 망소특성(the-smaller-the-better)과 망대특성(the-larger-the-better) 그리고 망목특성(the-nominal-the-best)의 3가지로 구분된다.

망소특성이란 불순물의 함량 균열, 소음 등 특성치의

값이 작으면 작을수록 좋은 경우를 말하며 망대특성이란 강도, 효율, 내구성 등 크면 클수록 좋은 특성치를 말한다. 망목특성은 목표 값이 주어진 경우 특성치의 값이 이 목표 값에 가까울수록 좋은 경우이며 제품의 길이, 무게, 두께 등이 예가 될 수 있다. 여기서 망목특성을 중심으로 다구찌 방법에서의 손실함수를 설명하기로 한다.

다구찌 방법은 제품의 성능 특성치가 목표 값에서 벗어나면 그 벗어난 정도의 크기에 따라 손실이 발생하는 것으로 보며 이 품질손실과 목표 값으로부터 변동과의 관계는 [그림 1]과 같이 이차손실함수 식(1)로 정의 하였다.



[그림 1] 손실함수(망목 특성 경우)

$$L(y) = k(y - m)^2 \tag{식(1)}$$

y : 성능 특성치

m : y의 목표치 또는 이상치

* k : 어떤 y값에 대해 그에 대응하는 L(y)의 값이 알려져 있다면 정할 수 있는 상수

2.3 신호대 잡음비

파라미터 설계의 단계는 각 모수의 최적수준을 결정하는 단계이다. 각 모수의 최적수준이라 함은 목표값에 가능한 가까우면서 여러 종류의 잡음에 대한 영향이 최소가 되는 값을 말한다. 따라서 이를 당성하기 위해서는 품질 특성치의 분포에 평균과 산포를 동시에 고려하는 것이 필요하다. 그러나 많은 경우 품질특성치의 분포의 평균과 분산을 정확히 알기 어려우므로 이를 동시에 고려하기 위한 척도 역시 추정량을 사용할 수 밖에 없다. 이를 위한 하나의 척도가 다구찌가 제안한 신호대 잡음비로서 이를 S/N비로 부르기도 한다. 일반적으로 이 S/N비를 최대화하는 파라미터의 수준을 찾

는 것이 둔감성을 갖는 설계가 되며 이를 위해 실험의 설계와 분석기법이 사용된다. 특히 다구찌는 직교배열을 이용하여 설계모수와 잡음요인의 효과를 추정하여 S/N비를 구할 것을 제안하였다.

S/N비는 보통 평균과 분산의 함수형태를 갖는다. 성능특성치 Y가 연속변수인 경우 Y가 망소특성인가, 망대특성인가 또는 망목특성인가에 따라 S/N비의 형태가 다르게 나타난다.

2.3.1 망소특성

성능특성치 Y의 목표 값이 m=0이고 Y값이 작으면 작을수록 좋은 경우이다.

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] \tag{식(2)}$$

단, y_{ij} 는 설계 변수 행렬의 i번째 실험 전에서 관측된 j번째의 성능 특성이고, n은 한 실험 점에서의 y의 반복수이다.

2.3.2 망대특성

성능특성치의 y의 값이 크면 클수록 좋은 경우 손실함수는 y가 0에서 증가함에 따라 감소하게 된다. 이 경우 X라는 성능특성치를 1/Y로 정의하면 X는 목표값이 0이고 값이 작으면 작을수록 좋은 망소특성을 따르는 품질특성치가 된다. 따라서 이때의 S/N비는 아래의 식과 같다.

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right] \tag{식(3)}$$

2.3.3 망목특성

어떤 특정한 목표값 m_0 가 존재하는 경우 손실함수는 성능특성치 y값이 m_0 부터 어느 방향이든지 멀어짐에 따라 증가하게 된다. 따라서 성능척도에 대한 추정치로 S/N비는 다음의 2가지로 쓸 수 있다.

$$SN_i = 10 \log \left[\frac{\frac{1}{n} (S_{mi} - V_i)}{V_i} \right] \tag{식(4)}$$

$$S_i = 10 \log \left[\frac{1}{n} (S_{mi} - V_i) \right] \tag{식(5)}$$

성능척도가 최대값일 때 평균제공 오차와 기대손실은 최소가 된다.

3. 식각액 제조공정 설계

3.1. 식각액의 기능

식각액(Wet etchant)이란 Thin film 상의 특정지역 물질을 화학반응을 통해 제거하는 포토리소그래피(Photolithography) 공정의 핵심 재료로 식각 공정에서 사용되는 재료이다.

식각 공정(Etching process)은 기판 상에 미세회로를 형성하는 과정으로서 현상(Develop)공정을 통해 형성된 PR pattern과 동일한 metal(혹은 기타 deposition된 물질) pattern을 만드는 공정을 말하며, 그 방식에 따라 크게 wet etching과 dry etching으로 구분하는데, wet etching 이라 함은 금속 등과 반응하여 부식시키는 산(acid) 계열의 화학 약품을 조합하여 thin film layer의 노출되어 있는(PR pattern이 없는) 부분을 일정한 모양과 일정한 양으로 선택적으로 녹여 냄으로써 pattern을 형성하는 것을 말한다.

일반적으로 Wet etchant의 종류는 사용하는 metal의 종류와 두께에 따라 다양하며, 단일 metal의 경우 Mo/Al Etchant, Cu Etchant, IZO Etchant, 등이 있고, multi metal의 경우 Mo/Al Etchant, Cu/Ti Etchant, Mo/Cu/Mo Etchant, Ti/Cu/Ti Etchant,, ITP/Al Etchant 등이 있다.

3.2 식각액 제조 공정상의 문제점

본 실험은 제조사 D의 제품 중 Wet etchant 제품 A를 가지고 제조시 일어나는 반응을 분석 한 것이다. 제품 A에는 순수와 원자재 A, B, C 그리고 첨가제 A, B가 들어간다.

제품 A를 제조할 때 가장 우선순위를 하는 요인은 제품의 스펙안정화, 제품의 품질(Particle 수의 변화), 제품의 제조 시간 이렇게 3가지 요인이다. Wet etchant는 같은 원자재를 사용하더라도 섞이는 비율에 따라 제품이 틀려 지기 때문에 제품의 제조 비율이 가장 중요하다. 또한 제품의 품질은 Particle(미세입자)의 숫자에 따라 합격여부를 결정한다. 마지막으로 고객사의 수요가 증가하면 제조시간을 최소한으로 단축시켜야 하기 때문에 작업의 최소화는 작업표준 작성 시 중요하게 여겨지는 부분이다.

3.2.1 성능특성치의 선택 및 목표치 결정

제조 시스템에서 성능 특성은 최종제품의 재고 수준, 작업장 사이의 재고 수준, 납기일 준수, 작업장의 이용률, 작업자 이용률, 불량률, 생산 시간 등 여러 가지가 있지만 모든 성능 특성을 동시에 고려하는 것은 불가능하다. 그 중에서도 제조사 D에서 가장 중요하게 생

각하는 제품의 품질을 성능 특성치로 선택하여 결과를 도출하고자 한다.

3.2.2 손실함수 규정

기업의 최종 만족도를 결정하기 위해서 성능특성치에 대한 목표치를 규정해야 한다. 성능특성치와 목표치와의 관계는 3가지 형태, 즉 망대특성치, 망소특성치, 망목특성치 중에 하나로 표현된다. 하지만 이상적인 생산시스템은 재고의 초과생산 없이 정시에 수요를 만족시켜야하기 때문에 불량 라트의 수가 목표치가 0인 망소특성치로 표현된다. 다구찌의 S/N비를 포함하여 몇몇의 손실함수가 이용된다. 목표치 m 으로부터 작은 편차는 작은 손실을 초래하고 반면에 목표치 m 으로 부터 큰 편차는 극도로 큰 손실을 초래한다. 그러므로 파라미터 설계에서 손실은 잡음에 의해 원인이 되는 변동의 대부분의 전달을 방지함으로써 줄일 수 있고 그렇지 못하면 손실은 커진다. 특정한 목표치가 주어진 경우의 기대손실은 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$L = E[L(y)] = E[K(y-m)^2] = k[\sigma^2 + (\mu - m)^2] \quad \text{식(6)}$$

단, E는 기대값을 나타내며 σ^2 은 y의 분산이고 μ 는 y의 평균이다. 또한 k는 손실을 화폐단위로 환산해주는 상수로서 주어진 y값에서 L(y)값을 알 수 있다면 구할 수 있다.

3.2.3 인자의 선정과 실험의 배치

제품의 품질 향상을 위해 제조 공정에 영향을 주는 인자를 혼합방법, 원자재 온도, 혼합시간으로 결정하였다. 하지만 혼합방법의 모든 경우수를 인자로 선정할 경우 너무 많은 실험을 해야 하고 그에 따른 비용손실이 막대하기 때문에 혼합방법은 선형연구에 따라 4가지로 압축시켜 실험하여 그중 가장 적합한 3가지 혼합방법만을 인자로 선택한다.

(1) 원자재 혼합방법에 따른 제품 변화

제품의 제조시 원자재의 사이의 화학적 반응 때문에 원자재 투입순서에 따라 제품의 색이 변화된다. 이에 관하여 제품의 스펙에도 영향을 주는지 실험하였다. 여기서 첨가제A, B는 투입방법의 특성 때문에 묶어서 투입을 한다. 그리고 Etchant의 부식시키는 원자재 특성상 혼합탱크에 영향이 가지 않도록 순수를 먼저 투입하는 것으로 한다.

지금까지 제조되었던 다른 Etchant 제품들의 데이터를 기준으로 실험은 4번으로 한정한다.

1) 순수 → 원자재 A → 첨가제 AB → 원자재 B → 원자재 C



[그림 2] 원자재 투입에 관한 제품색 1

2) 순수 → 원자재 A → 원자재 B → 첨가제 AB → 원자재 C



[그림 3] 원자재 투입에 관한 제품색 2

3) 순수 → 원자재 A → 원자재 B → 원자재 C → 첨가제 AB



[그림 4] 원자재 투입에 관한 제품색 3

4) 순수 → 원자재 A → 첨가제 AB → 원자재 C → 원자재 B



[그림 5] 원자재 투입에 관한 제품색 4

위 제품 4가지들이 시간의 흐름에 따라 색이 변하는 지 알아 보기위하여 6시간이 지난 후와 24시간이 지난 후에 다시 확인 하였다.



[그림 6] 6시간이 지난 후 제품색



[그림 7] 24시간이 지난 후 제품색

위의 결과를 보듯이 24시간이 지나도 실험 1번의 제품이 가장 옅은 색으로 나타났다. 위 실험 결과를 가지고 제품의 스펙에 관한 실험을 하였다.

제품의 투입순서에 따른 스펙을 알아보기 위한 실험이기 때문에 혼합시간은 일정하게 한다. Wetting은 60분으로 정하고 Agitator 회전속도는 20HZ로 고정한다

<표 1> 실험 1 스펙

	원자재 A	원자재 B	원자재 C	첨가제 A	첨가제 B
이론값	63.05	17.48	4.39	1.0	0.1
측정값	63.01	17.49	4.49	1.0	0.1

<표 2> 실험 2 스펙

	원자재 A	원자재 B	원자재 C	첨가제 A	첨가제 B
이론값	63.05	17.48	4.39	1.0	0.1
측정값	63.1	17.55	4.44	0.99	0.1

<표 3> 실험 3 스펙

	원자재 A	원자재 B	원자재 C	첨가제 A	첨가제 B
이론값	63.05	17.48	4.39	1	0.1
측정값	63.09	17.62	4.47	0.9	0.1

<표 4> 실험 4 스펙

	원자재 A	원자재 B	원자재 C	첨가제 A	첨가제 B
이론값	63.05	17.48	4.39	1	0.1
측정값	63.05	17.52	4.37	1.01	0.1

위 실험에서 보이듯 실험 1, 2, 4는 첨가제 A의 스펙이 범위 안에 들어가지만 나머지 실험 3은 10%정도 벗어나는 것을 볼 수 있다. 원자재 및 첨가제의 스펙 오차범위는 5%미만이다. 따라서 실험 1, 2, 4를 혼합방법 인자로 선정한다.

원자재 온도는 제품 A에 가장 많은 비율을 차지하는 원자재 A에를 가열시켰다. 이는 원자재 A의 어는점이 영상 5°이며 점도가 다른 원자재에 비해 상당히 높기 때문에 제품에 영향을 가장 많이 주기 때문이다. 또한 혼합시간은 시간에 따른 영향을 알아보기 위함이니 설비표준에 따라 Agitator 회전속도는 20HZ로 고정한다.

실험인자와 인자 수준은 <표 5>와 같이 정리할 수 있다.

<표 5> 실험 인자와 인자 수준

번호	인자	인자 수준		
		1 수준	2 수준	3 수준
1	혼합방법	혼합방법1	혼합방법2	혼합방법3
2	원자재 온도	20°	25°	30°
3	혼합시간	30분	1시간	1시간30분

3개의 3수준 제어인자를 직교배열[27(3⁹)]에 할당하여 실험하기 위해 직교배열표를 사용하여 내측배열표에 배치시켰고 잡음인자를 포함하는 각 실험의 반복(10회)을 외측배열에 배치시켰다. 이와 같은 방법으로 내측배열과 외측배열의 직교배열표를 만들면 아래 <표 6>과 같다.

<표 6> 실험의 배치

요인 배치	A	B	AxB	AxB	C	AxC	AxC	BxC	BxC	실험 데이터
열 # 실험 #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10회 반복
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	실험결과 데이터
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	
4	1	2	2	2	1	1	1	2	3	
5	1	2	2	2	2	2	2	3	1	
6	1	2	2	2	3	3	3	1	2	
7	1	3	3	3	1	1	1	3	2	
8	1	3	3	3	2	2	2	1	3	
9	1	3	3	3	3	3	3	2	1	
10	2	1	2	3	1	2	3	1	1	
11	2	1	2	3	2	3	1	2	2	
12	2	1	2	3	3	1	2	3	3	
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	
16	2	3	1	2	1	2	3	3	2	
17	2	3	1	2	2	3	1	1	3	
18	2	3	1	2	3	1	2	2	1	
19	3	1	3	2	1	3	2	1	1	
20	3	1	3	2	2	1	3	2	2	
21	3	1	3	2	3	2	1	3	3	
22	3	2	1	3	1	3	2	2	3	
23	3	2	1	3	2	1	3	3	1	
24	3	2	1	3	3	2	1	1	2	
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	

3.3 식각액의 기능

3.3.1. 요인분석

다구찌기법 설계, 실험배치 설정은 아래 [그림 8]과 같다.

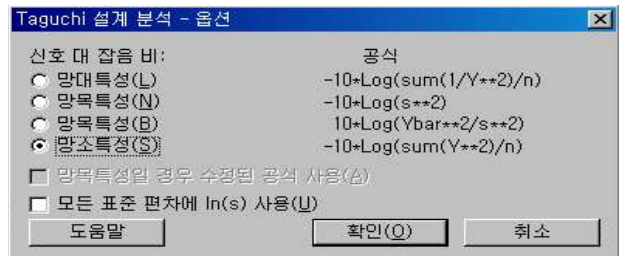


[그림 8] 작업자 프로세스

Type of Design으로 제어인자의 3수준을 결정하며, Number of Factor에 나타난 제어인자 수의 선택으로 3인자 3수준을 결정한다. 또한, Display Available Designs에서 교호작용을 선택하고 신호인자 수준을 입력한다.

3.3.2 SN비 선택

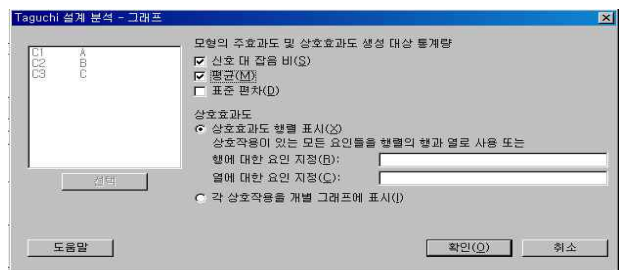
SN비에 관련된 본 논문의 목표에 적합한 망소특성치를 선택(그림 9) 하기위하여 Analyze Taguchi Design 대화상자에서 Option을 선택한 후 Signal-to-Noise Ratio에서 설계에서 선택사항을 표기한다.



[그림 9] SN비 선택

3.3.3 주효과와 교호작용 그래프

SN비, 평균(정적설계), 표준편차로부터 주 효과와 선택된 교호작용의 그래프를 출력한다.



[그림 10] 주효과와 교호작용 그래프 화면출력

<표 8> 실험 데이터 설계-2

A	B	C	SN비	분산	평균
1	1	1	-34.0033	7.589	50.07
1	1	2	-34.2333	8.4187778	51.41
1	1	3	-33.1701	14.341	45.41
1	2	1	-33.2158	11.432889	45.68
1	2	2	-31.1089	5.5137778	35.86
1	2	3	-28.2876	15.758778	25.69
1	3	1	-30.911	14.196	34.94
1	3	2	-28.6354	6.3106667	26.92
1	3	3	-24.5839	9.0143333	16.71
2	1	1	-35.0713	11.067667	56.61
2	1	2	-35.4677	37.598222	59.06
2	1	3	-33.9616	7.5445556	49.83
2	2	1	-33.1079	7.7227778	45.15
2	2	2	-30.7696	14.764889	34.36
2	2	3	-28.1542	11.820444	25.36
2	3	1	-31.032	15.215111	35.42
2	3	2	-31.0476	7.6395556	35.58
2	3	3	-28.6095	12.233778	26.74
3	1	1	-35.7855	17.357889	61.43
3	1	2	-35.2443	8.7912222	57.77
3	1	3	-33.9605	13.451222	49.77
3	2	1	-33.2675	9.7778889	45.97
3	2	2	-31.1465	10.805	35.95
3	2	3	-28.2982	18.157333	25.68
3	3	1	-30.7789	8.4306667	34.48
3	3	2	-30.8080	15.828889	34.5
3	3	3	-28.3907	13.065	26.05

4.2 분석결과

제품의 Particle 개수에 대한 SN비 분산분석을 행한 결과는 <표 9>이다.

<표 9> 제품의 Particle 개수에 대한 분산분석표

요인	SS	ν	V	F_0	F(0.95)
A	6.4203538	2	3.2101769	5.9260843*	4.46
B	126.22312	2	63.11156	116.50586*	4.46
C	52.009716	2	26.004858	48.00576*	4.46
A×B	4.821799	4	1.2054498	2.2252969	3.84
B×C	11.29311	4	2.8232774	5.2118561*	3.84
A×C	1.2403764	4	0.3100941	0.5724431	3.84
e	4.333623	8	0.5417029		
Total	206.3421	26			

<표 7>과 같이 각각의 실험에서 얻어진 성능특성치들의 평균과 분산을 이용하여 SN비의 값들을 계산하였다. 성능 특성치인 제품의 Particle 개수 SN비를 이용하여 각 인자들과 교호작용의 분산분석을 한 결과는 <표 10>과 같다.

위의 분산분석표 상에서 유의수준 $\alpha = 0.05$ 에서 교호작용 A×B와 A×C가 유의하지 않으므로 교호작용 A×B와 A×C를 오차에 폴링하여 분산분석표를 재작성하면 다음과 같다.

<표 10> 폴링된 제품의 Particle 개수에 대한 분산분석표

요인	SS	ν	V	F_0	F(0.95)
A	6.4203538	2	3.2101769	4.9407297*	2.67
B	126.22312	2	63.11156	97.13395*	2.67
C	52.009716	2	26.004858	40.023643*	2.67
B×C	11.29321	4	2.8233025	4.3452978*	2.33
e*	10.395798	16	0.6497374		
Total	206.3422	26			

성능 특성치인 제품의 Particle 개수경우 A인자(혼합방법), B인자(원자재 온도), C인자(혼합시간)는 $\alpha = 0.05$ 에서 유의하고 B×C (원자재온도와 혼합시간의 교호작용)만이 $\alpha = 0.05$ 에서 유의하다. 따라서 유의한 차이를 보이는 원자재 온도와 혼합시간의 교호작용을 분석하여 제품의 Particle 개수의 목표를 선정해야 한다.

분산분석 결과 A인자(혼합방법), B인자(원자재 온도), C인자(혼합시간), B×C(원자재 온도와 혼합시간 간의 교호작용)가 유의하므로 AB의 2원표와 C의 1원표에서 각각 특성값이 최소가 되는 조건을 구한 후 합성하여 최종적인 최적 조합 수순을 구하면 된다.

4.3 제품의 Particle 개수에 대한 유의 인자들의 최적수준

제품의 Particle 개수에 대한 유의한 인자들과 교호작용 효과를 고려한 최적 수준은 다음<표 11>과 같다.

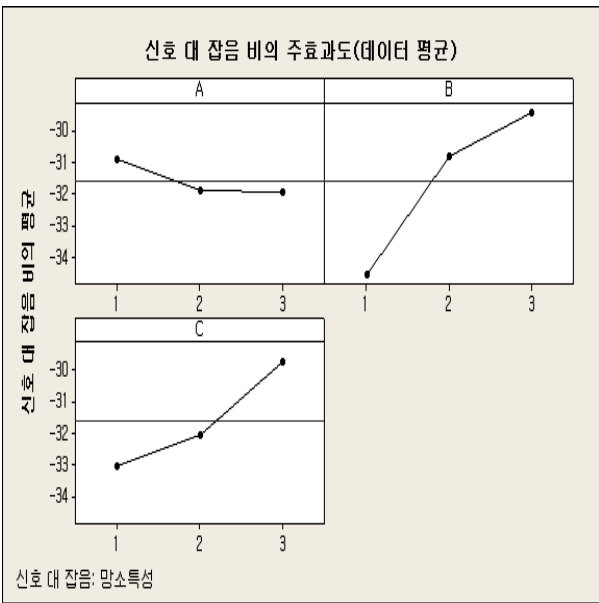
<표 11> 제품의 Particle 개수에 대한 유의한 인자들의 최적 수준 AB의 2원표

인자	SN비			평균	최적수준
	A ₁	A ₂	A ₃		
B ₁ × C ₁	-34.0033	-35.0713	-35.7855	-34.9534	○
B ₁ × C ₂	-34.2333	-35.4677	-35.2443	-34.9818	
B ₁ × C ₃	-33.1701	-33.9616	-33.9605	-33.6974	
B ₂ × C ₁	-33.2158	-33.1079	-33.2675	-33.1970	
B ₂ × C ₂	-31.1089	-30.7696	-31.1465	-31.0083	
B ₂ × C ₃	-28.2876	-28.1542	-28.2982	-28.2467	
B ₃ × C ₁	-30.911	-31.032	-30.7789	-30.9073	
B ₃ × C ₂	-28.6354	-31.0476	-30.8080	-30.1637	
B ₃ × C ₃	-24.5839	-28.6095	-28.3907	-27.1947	

<표 12> 제품의 Particle 개수에 대한 유의한 인자의 최적 수준 C의 1원표

인자	SN비									평균	최적 수준
A1	-34.0033	-34.2333	-33.1701	-33.2158	-31.1089	-28.2876	-30.911	-28.6354	-24.5839	-30.9055	O
A2	-35.0713	-35.4677	-33.9616	-33.1079	-30.7696	-28.1542	-31.032	-31.0476	-28.6095	-31.9135	
A3	-35.7855	-35.2443	-33.9605	-33.2675	-31.1465	-28.2982	-30.7789	-30.808	-28.3907	-31.9645	

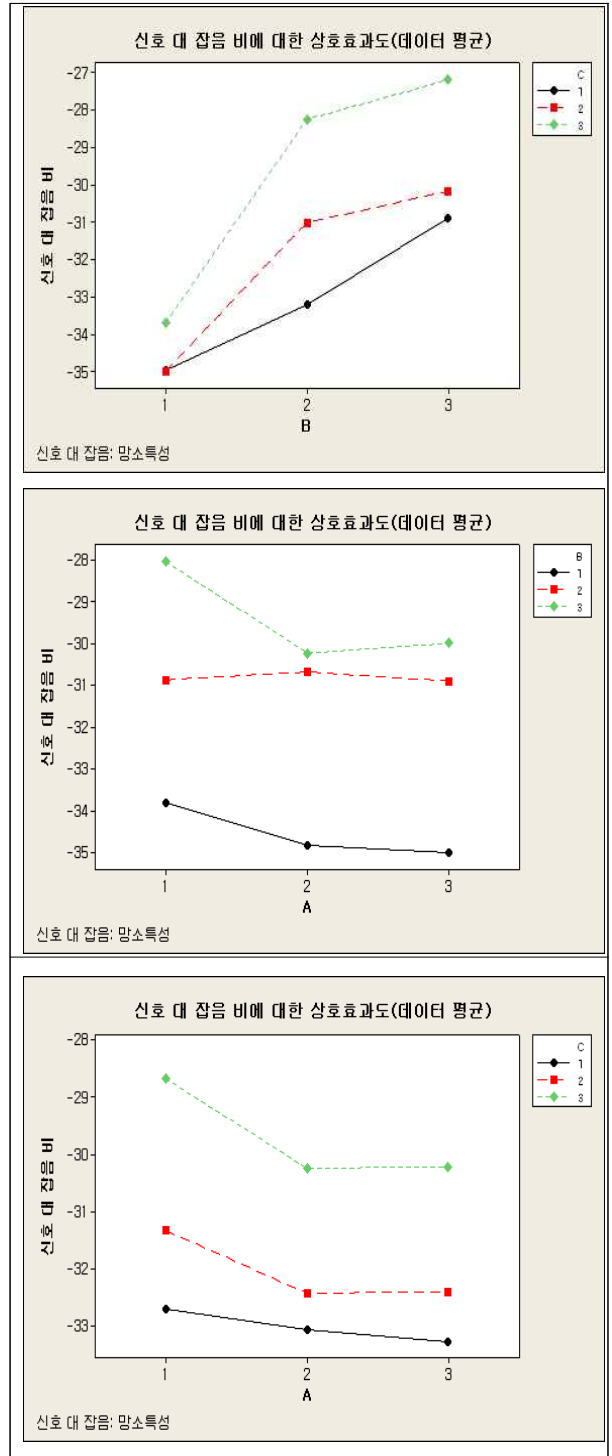
각 인자의 주효과와 교호작용 효과를 분석 한 후 그래프로 나타내면 다음 [그림 12]와 [그림 13]과 같다.



[그림 12] SN비에 대한 각 인자의 주효과

[그림 13]에서도 보면 알 수 있듯이 B, C인자 간에 교호작용이 존재하고 나머지 인자들 간에는 교호작용이 유의하지 않음을 확인할 수 있다.

제품의 Particle 개수에 대한 혼합방법, 원자재 온도, 혼합시간과 같이 3인자에 따라 모두 Particle 개수에 많은 영향을 미침을 알 수 있으며, 특히 원자재 온도와 혼합시간은 교호작용이 작용하므로 결과에 나타나 있는 것처럼 $B_3 \times C_3$ 이 망소특성치 상 최적으로 나타났기 때문에 제조공정은 원자재 온도를 30°에 맞추고 혼합시간을 1시간 30분으로 설정하여 제조했을 때 Particled 개수가 최소량이 됨을 나타내고 있다. 또한 C의 1원표를 보면 혼합방법은 A₁으로 혼합방법1(원자재 A → 첨가제 → 원자재 B → 원자재 C)이 가장 좋은 것으로 나타났다. 종합하면 혼합시간은 1시간 30분으로 설정하고 혼합방법은 원자재 A → 첨가제 → 원자재 B → 원자재 C 순서로 하며 원자재의 온도는 30°인 것이 좋은 것으로 나타났다.



[그림 13] SN비에 대한 각 인자의 교호작용 효과

5. 결론

5.1 연구결과

본 연구에서는 제조사 D의 업체에서 생산하고 있는 제품 A의 생산시스템을 분석하여 제품 품질에 영향을 주는 인자들을 찾아내고 이를 다구찌 파라미터 설계방법을 이용하여 생산시스템에서 제품 품질을 최대화 할 수 있는 방법 즉, 성능 특성치를 고려한 최적설계방법을 제시하였다. 또한 6개월간의 오랜 기간을 잡음인자로 선정하여 잡음인자의 변화, 즉 각 달의 변화에도 둔감한 제어인자의 최적 조건을 찾을 수 있는 강건 설계(Robust Design)가 될 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 제품품질의 최적화를 위해 인자(혼합방법, 원자재 온도, 혼합시간)의 최적 수준조합을 다구찌 방법을 통해 연구해 보았다.

특성치의 파라미터 설계를 위한 사례분석 결과 설계인자의 최적수준은 $A_1 \times B_3 \times C_3$ 이다. 또한, 실제 생산시스템 상에서 적용할 수 있도록 SN비를 통한 최적할당을 제시하였다. 이를 통해 혼합방법과 원자재 온도, 혼합시간을 현 생산에 맞도록 설계하여 고객이 원하는 제품의 품질을 달성함으로 타 업체와의 경쟁력에서 우위를 이룰 수 있을 것이다.

5.2 연구의 한계 및 향후 연구방향

현재 실험여건에서는 단지 단일 특성치(제품품질)를 고려하여 최적의 생산시스템 강건설계에 관한 연구가 이루어졌으나, 실질적으로 현장에서 고려되는 특성치는 단일특성치가 아닌 여러 가지 특성치가 결합된 다 특성치일 것이다. 또한, 최적의 생산시스템 설계 시 비용 측면이 고려되지 않아 기업에서 발생할 수 있는 손익 측면을 고려한 시스템 설계의 연구가 앞으로 더 많이 연구 되어져야 할 것이다.

6. 참고 문헌

- [1] 김희중, “FQD와 다구찌 기법을 이용한 커넥터 사출 성형공정 개선 방안” 석사학위논문, 한양대학교, 2010
- [2] 동승훈, “성능특성이 다수인 경우의 파라미터의 설계에 관한 연구” 석사학위논문, KAIST, 1990
- [3] 박상영, “다구찌 실험계획법을 이용한 광학엔진모듈의 제조공정 및 품질개선” 석사학위논문, 이주대학교, 2006
- [4] 박성현, “다구찌 방법을 중심으로 한 응용실험계획법”, 영지문화사, 1997.
- [5] 배영주, 김광수, 이진규, “EXTOPSIS 모형을 이용

- 한 다중특성치의 파라미터 설계”, 품질경영학회지, 제24권 제3호, pp. 111-132, 1996.
- [6] 서순근, 최종덕, “다성능특성치에 관한 안정성설계”, 품질경영학회지, 제 22권 제3호, pp. 34-53, 1994.
- [7] 조석호, “플라스틱 압출공정의 생산시간 단축을 위한 강건설계” 석사학위논문, 명지대학교, 2003
- [8] 조용욱, 박명규, “불확실한 환경하에서의 JIT시스템 강건설계에 관한 연구” 안전경영 과학회지 제2권 제 2호, 2000
- [9] J. Ross Phillip, Taguchi Techniques for Quality Engineering, New York, McGraw-Hill, 1994.
- [10] Kacker, N.R. “Off-Line Quality Control, Parameter Design and the Taguchi Method,” Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 4, 176-188, 1985.
- [11] P. j. Ross, Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGraw Hill, 1989.
- [12] S. Moghsoodloo, “The Exact Relation of Taguchi Signal-to-Noise Ratio to His Quality Loss Function”, Journal of Quality Technology, Vol.22, pp. 55-67, 1990.
- [13] S. Phadke Madhav, Quality Engineering Using Robust Design, 1989.
- [14] www.dognjin.com

저 자 소개

최 용 석



명지대학교 산업공학과를 졸업하고 명지대학교 산업경영공학과에서 석사 취득하였으며 동진세미캠 북경동진 생산부에서 재직중이다. 관심분야는 생산관리, 품질관리 등이다.

주소: 인천광역시 계양구 효성동 신화빌라 10동 401호

황 덕 형



명지대학교 산업공학과에서 석사 취득하였으며 박사과정에 재학중이며 현재 (주)전더의 대표이사로서 재직하고 있다. 관심분야는 생산관리, 품질관리, 서비스 품질경영 등이다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과

조 광 희



명지대학교 산업공학과에서 석사 박사과정에 재학중에 있으며 현재 대명아트(주)의 대표이사로 재직하고 있다. 관심분야는 생산관리, 품질관리, 서비스 품질경영 등이다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과

오 선 일



조선대학교 기계공학과를 졸업하고 명지대학교 산업공학과에서 석사 취득하였으며 박사과정에 재학중이다. 관심분야는 생산관리, 품질관리, 서비스 품질경영, 물류이며, 현재는 물류산업의 서비스 품질에 대한 연구를 수행하고 있다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과

강 경 식



인하대학교 산업공학과에서 학사·석사·박사와 연세대학교·경희대학교에서 경영학 석사·박사 취득. North Dakota State Univ.에서 Post -Doc과 Adjunct Professor 역임. 현재 명지대학교 산업경영공학과 교수로 재직중. 주요 관심분야는 생산관리, 물류관리, 안전경영 등이다.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과