

Taguchi 실험계획법을 이용한 경혈점의 피부전기특성 최적화조건 선정 : A Pilot Study

남동현¹ · 신상훈²

¹경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과교실, 경희대학교 동서신의학병원 척추센터 침구과
²상지대학교 한방의료공학과

Application of Taguchi's Robust Design Method in Optimization of Measuring Electrical Properties on Acupoints: A Pilot Study

Tong-hyun Nam¹, Sang-hoon Shin²

¹Dept. of Biofunctional Medicine & Diagnosis, College of Oriental Medicine, Kyunghee University
¹Dept. of Acupuncture & Moxibustion, East-west Neo Medical Hospital, Kyunghee University
²Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University

Abstract

Objectives : The objective of the current study is to optimize an acupoint electrical property measurement system by using the procedures and strengths of the Taguchi method.

Methods : Taguchi method was applied in the optimization of the acupoint electrical property measurement system, as in the following steps: (1) determine evaluation index; (2) execute the 1st gage R&R; (3) identify controllable and uncontrollable factors; (4) design Taguchi crossed array layout; (5) execute experiments according to trial conditions; (6) analyze testing results; (7) determine optimum run; (8) execute the 2nd gage R&R; (9) confirm optimum run.

Results : The results showed that electrodes with larger diameter and efferent electric current, with music played, can produce the larger different electrical conductivity between the acupoints and the non-acupoints under various conditions. Taguchi process optimization improved repeatability and reproducibility of the acupoint electrical property measurement system.

Conclusions : In the optimized condition, repeatability and reproducibility of the acupoint electrical property measurement system was acceptable.

Key words : electrical property, acupoint, Taguchi method, gage R&R.

I. 緒 論

Niboyet¹⁾, Nakatani²⁾, Voll³⁾ 등이 경혈에서 낮은 피부 전기저항을 나타낸다는 것을

보고한 이래로, 경혈의 독특한 전기적 저항 특성은 널리 알려져 있는 사실이며, 전 세계적으로 한의학과 대체의학 분야에서 경혈에서 피부 전기저항을 측정하여 경락의 상태를 진단하는 시스템은 널리 활용되고 있다⁴⁾. 최근에 실시된 보다 엄격한 조건에서 이루어진 연구들에서도 경혈부위의 피부

· 교신저자 : 신상훈, 강원도 원주시 우산동 660 상지대학교 한방의료공학과, Tel. 033-788-7611, E-mail : shshin@sangji.ac.kr

· 투고 : 2008/08/27 심사 : 2008/09/12 채택 : 2008/09/19

전기전도도가 비경혈 부위에 비해 유의하게 높다는 보고는 꾸준히 있어왔다⁵⁻¹³⁾.

그러나 기존 서양의학에서는 이러한 보고들의 신빙성과 재현성에 대한 문제를 제기하면서 지속적으로 회의적 견해를 보이고 있다. 경혈의 전기적 특성은 여러 요인들에 의해 영향을 받기 때문에, 경혈과 경락의 전기 전도도를 측정하는 시스템의 신뢰도는 비교적 낮은 것으로 평가되고 있으며, 따라서 낮은 신뢰도를 가지는 시스템으로 측정된 연구결과 또한 널리 받아들여지지 못하고 있다¹⁴⁾. 또한 검사자간의 맹검실험을 통해 이루어진 최근의 몇몇 연구들에서 경혈과 비경혈의 전기전도도 차이가 유의하게 관찰되지 않았다¹⁵⁻¹⁷⁾. 이들 상반된 연구결과의 주요 원인은 피부 전기전도도 측정시스템의 낮은 신뢰도에서 기인한다고 볼 수 있다. 그러나 피부 전기전도도에 영향을 미치는 요소들은 너무 많으며 이들을 효과적으로 모두 제어한다는 것은 현실적으로 어려운 일이다.

전체요인 실험계획법(full factorial design)은 모든 가능한 상태를 고려하여 실험하는 방법으로서, 부분요인 실험계획법(fractional factorial design)을 통해 얻은 결과들이 서로 상반되는 경우에 적용해 볼 수 있는 실험계획법이다. 그러나 전체요인 실험계획법은 변수가 증가할 때마다 실험횟수와 비용이 기하급수적으로 늘어난다는 문제점이 있고, 결과분석에 있어서 매우 엄격한 통계학적 분석이 요구되며, 변수의 특성에 따라서는 실험 자체가 불가능한 경우도 있다. 이에 비해 Taguchi 실험계획법은 기존의 실험

계획법이 가지는 이러한 비효율성에 대한 대안으로서 직교배열표(crossed array layout)와 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio; S/N)라는 개념을 도입하여 보다 간단한 실험을 통해 각 요소들 간의 영향을 평가하고, 제어할 수 없는 요소들의 영향을 최소화할 수 있는 시스템을 구성할 수 있도록 고안된 실험계획법이다^{18,19)}.

이에 본 연구자는 피부 전기전도도 측정 시스템을 구성하고, 시스템의 재현성 반복성 테스트를 통해 시스템의 신뢰도를 평가한 후, Taguchi 실험계획법을 이용하여 경혈과 비경혈 사이의 전기전도도 차이를 최대화하고, 잡음인자에 의한 영향을 최소화하는 측정조건을 찾아서, 경혈점의 피부 전기특성을 측정하는 시스템의 최적화 조건을 설정하고자 한다. 또 최적화된 조건으로 다시 시스템의 재현성 반복성 테스트를 수행하여 시스템의 최적조건을 검증하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

연구 참가자는 교내 인터넷 광고를 통해서 모집한 경희대학교 동서의료공학과 학생 중에서 실험에 동의한 건강한 지원자 남성 4명을 대상으로 하였다. 4명의 참가자들은 무작위로 2명씩 2집단으로 나누어, 한 집단은 측정시스템의 재현성 반복성 평가실험에, 다른 집단은 Taguchi 실험계획법을 이용한 측정시스템 최적화 실험에 참가하였다. 참가자 연령은 21.25 ± 1.83 세, 신장은 173.25 ± 3.62

cm, 체중은 75.25 ± 6.23 kg이었다.

2. 경혈의 선택

曲澤穴(PC3)과 內關穴(PC6)은 피부가 평평하여 전극 부착이 용이하고, 취혈시 오류가 적으며, 임상적 활용도도 높은 혈이므로, 실험을 위한 경혈로서 曲澤穴과 內關穴을 선정하였다. 비경혈로는 曲澤과 內關의 요골 측 1cm 지점을 각각 선정하였다. 曲澤에 대조전극(reference electrode)을 부착할 때는 內關과 內關 측방의 비경혈에 측정전극을 부착하였고, 內關에 대조전극을 부착할 때는 曲澤과 曲澤 측방의 비경혈에 측정전극을 부착하였다.

3. 실험설계 및 평가지표

1) 연구과정

경혈과 비경혈 사이의 전기전도도의 차이를 측정하는 시스템을 구성하고, 시스템의 재현성 반복성 테스트를 실시하여 측정시스템의 신뢰도를 평가하였다. 이후 측정시스템의 신뢰도를 높일 수 있도록 Taguchi 실험계획법을 이용하여 경혈과 비경혈 사이의 전기전도도 차이를 최대화하고, 잡음인자에 의한 영향을 최소화하는 측정조건을 찾아서 시스템을 최적화하였다. 최적조건에 따라 다시 재현성 반복성 테스트를 실시하여 측정시스템의 신뢰도를 재평가하였다.

전체 연구과정은 Fig. 1에 도시하였다.

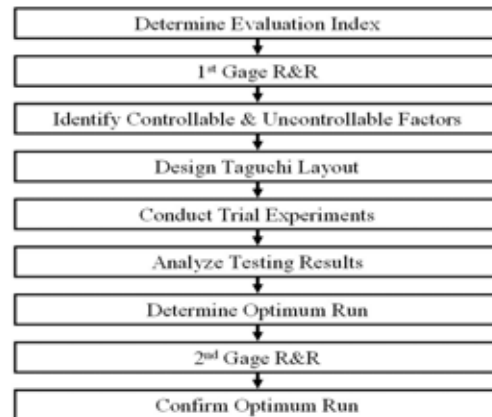


Fig. 1. The procedure of the study.

2) 피부 전기전도도 측정

피검자는 실험실시 3일전에 실험과정에 대해 교육받았으며, 실험 전날부터 피부 전기전도도에 영향을 줄 수 있는 약물의 복용 및 외용제의 사용은 금지되었고, 커피 및 차의 섭취와 흡연도 금지되었다. 피검자는 기온 24-26°C, 기습 40-70%의 조용한 검사실에서 양와위로 15분 동안 안정을 취하게 하였다. 측정 전에 전극은 알코올에 10분 이상 담가 두어 이물질 제거하였다. 시행자는 전극을 부착할 위치를 알코올 솜으로 닦은 후에, 알코올에 담긴 전극을 꺼내어 면봉으로 전극내의 알코올을 제거하고, 전극내부를 전해질로 채웠다. 대조전극은 內關, 측정전극은 曲澤과 曲澤 측방의 비경혈부위에 부착하고, 10분 동안 피부 전기전도도를 측정하였다. 전극은 지름 4mm Ag-AgCl 원형전극을 이용하였고, 실험 전에 미리 calibration해둔 피부전도도 측정모듈(GSR100C, BIOPAC System, USA)을 이용하여 피부 전기전도도를 측정하였다. 측정시

사용한 전압은 직류 0.5V였으며, 전류의 방향은 말초에서 체간방향으로 하였다. 측정된 신호는 증폭한 후 변환기(MP150A, BIOPAC System, USA)를 이용하여 디지털 신호로 변환하였다. Acquisition rate는 500Hz로 하였으며, 변환된 디지털 신호는 PC로 보내져 AcqKnowledge version 3.2.2 (BIOPAC System, USA)를 이용하여 저장하였다.

3) 평가함수 (Evaluation index)

평가함수는 경혈과 비경혈의 평균 전기전도도 차이로 설정하였다.

$$\text{Evaluation index} = \frac{\sum_{i=0}^{ETI} (K_{Acupoint} - K_{Non.acupoint})_i}{\text{Number of data}} \quad (\text{S})$$

ETI : Evaluation time interval
K : Electrical conductivity

4. 재현성 반복성 테스트

측정시스템의 재현성 반복성 테스트를 위해 gage R&R 기법을 사용하였다. 하루 동안에 2명의 시행자가 2명의 피검자를 대상으로 교차하여 각각 2회씩 총 8회를 앞에서 기술한 측정법에 따라 피부 전기전도도를 측정하였다. 무작위로 실험순서를 정하기 위해서, 먼저 피검자는 검은 주머니 속에 1~8 까지 번호가 적인 8장의 카드 중에서 각각 4장씩을 뽑았으며, 그 후 각각 선택된 4장의 카드를 다시 검은 주머니 속에 넣은 후 시행자가 각각 2장씩 뽑아서, 카드에 적혀있는 숫자에 따라 피검자와 실험자의 무작위 조

합을 얻었다. Taguchi 실험계획법을 이용해 얻은 측정시스템의 최적 조건에 따라 다시 동일한 방법으로 재현성 반복성 테스트를 실시하였다.

5. Taguchi 실험계획법의 설계

1) 특성치 및 실험인자의 선정

경혈과 비경혈의 전기전도도 차이는 클수록 경혈의 전기적 특성을 잘 반영한다고 볼 수 있으므로, 본 시스템의 특성치(y)는 망대 특성을 가진다.

실험결과에 영향을 줄 수 있는 요소로서 고려된 인자들은 다음과 같았다; 실험실의 기온과 기습, 음악의 유무, GSR 모듈의 종류, 전해질의 종류, 전극의 크기, 전극의 도금 종류, 알코올, 전극 부착시 가압 유무, 알코올에 전극 침전시간, 실험수행자, 실험전 피검자 안정시간, 침상의 종류, 핀셋의 종류, 피검자의 심리적인 상태, 전극부착지점의 위치, 전극부착지점의 땀샘 상태, 전류의 방향.

이들 고려된 인자들 중 전극의 크기, 전극 부착시 가압 유무, 전류의 방향, 음악의 유무는 실험수행자가 제어할 수 있는 인자로 분류하였고, 실험실의 기온과 기습, 피검자의 심리적인 상태, 전극부착지점 땀샘의 상태는 제어할 수 없는 인자로 분류하였으며, 기타 인자들은 실험수행자가 제어할 수는 있지만 실험이 진행되는 과정에서 변하지 않는 인자로 분류하였다. 따라서 최종적으로 평가함수에 상대적으로 큰 영향을 줄 수 있으며 실험자가 쉽게 제어할 수 있는 인자로서, 전극 부착시 가압 여부, 전극의 크기, 전

류의 방향, 음악의 유무를 주요 제어인자로 선정하였다. (Table 1)

제어할 수 없는 인자들 중에서 전극부착 지점 땀샘의 상태는 잡음인자로 선정하였다. 잡음인자란 측정결과의 변동에 원인이 되지만 조정불가능하거나 조정하길 원하지 않는 인자로서 Taguchi 실험계획법에서는 이 잡음인자에 둔감한 제어인자의 최적조건을 구하게 된다. 땀샘의 상태는 2수준으로 설정하였는데, 땀샘의 상태는 직접적인 평가가 불가능하므로, 안정된 상태와 10분간 도보 후의 약간 땀이 있는 상태로 수준을 나누었다. 이 밖에도 기온과 기습은 가능한 한 일정하게 유지시켰고, 기온과 기습 같은 잡음들은 최종적으로 땀샘의 활동성에 영향을 주는 인자이므로 잡음인자로 설정하지는 않았다. 음악은 음악 종류에 의한 효과를 줄이기 위해 자연의 계곡 물소리를 사용하였다.

Table 1. Controllable and uncontrollable factors and their levels

Factors	Level 1	Level 2
Controllable A : Contact pressure	A ₁ : Pressure	A ₂ : No pressure
B : Electrode size	B ₁ : Diameter 4mm	B ₂ : Diameter 8mm
C : Current direction	C ₁ : Afferent	C ₂ : Efferent
D : Music	D ₁ : On	D ₂ : Off
Uncontrollable E : Sweat glands	E ₁ : Rest	E ₂ : After walking

2) 직교배열표

실험계획에서 직교란 어떤 요인이 어떤 수준에 대해서나 다른 요인의 수준이 같은 횟수씩 나타나는 상태를 말하는 것으로서, 직교배열표는 각 열이 직교가 되게 미리 만들어 놓은 표를 말한다. 인자가 많을 시에는

일반 요인배치법으로는 모든 실험을 할 수가 없기 때문에 적은 수의 실험으로 많은 효과를 찾으려는 목적으로 만들어 놓은 표이다. Taguchi 직교배열표는 내측배열과 외측배열과 구성된다. 내측배열은 제어인자 중에서 선택하여 구성하였고, 내측배열은 잡음인자로 구성하였다. (Table 2)

Table 2. Taguchi-crossed array parameter design layout

Outer array		Inner array							
Run	E	A	B	C	D	S/N	Mean	SD	CV
1	1	1	1	1	1	S/N ₁	M ₁	SD ₁	CV ₁
2	2	1	1	2	2	S/N ₂	M ₂	SD ₂	CV ₂
3	1	2	1	2	2	S/N ₃	M ₃	SD ₃	CV ₃
4	1	2	2	1	1	S/N ₄	M ₄	SD ₄	CV ₄
5	2	1	1	1	1	S/N ₅	M ₅	SD ₅	CV ₅
6	2	1	2	2	2	S/N ₆	M ₆	SD ₆	CV ₆
7	2	2	1	2	2	S/N ₇	M ₇	SD ₇	CV ₇
8	2	2	2	1	1	S/N ₈	M ₈	SD ₈	CV ₈

Controllable factors and uncontrollable factor are analyzed with $L_8(2^7)$ matrix. S/N means signal to noise ratios; SD, standard deviations; CV, coefficients of variation.

직교배열표에 따라 4일 동안 나눠서 실험인자로 선정된 5가지 요인에 대해서는 각각 실험조건을 달리하고, 다른 조건들은 앞에서 기술한 측정법에 따라 피부 전기전도도를 측정하였다.

6. 통계분석

결과분석을 위해 Minitab 13.1 (Minitab Inc., USA)을 이용하였다. 재현성 반복성 테스트 결과분석을 위해서는 ANOVA 방법을

이용한 gage R&R 분석법을 실시하였고, Taguchi 실험계획법의 실험결과 분석은 Minitab에서 제공하는 Taguchi 분석법을 이용하였다.

III. 연구 결과

1. 1차 측정시스템 재현성 반복성 평가

각 요인의 분산 및 표준편차 추정치와 총 변동량 대비 기여량은 table 3과 같았다. 1차 측정시스템 재현성 반복성 평가연구에서 개체간의 변동량이 측정시스템에 의한 변동량에 비해 약 2.31배밖에 크지 않아서, 일반적인 피부전도도 측정법은 경혈과 비경혈간의 피부전도도 차이를 측정하는 시스템으로서 부적절하다고 판단되었다. (Table 3)

Table 3. Results of the 1st gage R&R

Source	Variance	SD	%SD
Total Gage R&R	0.0214	0.1465	52.04
Repeatability	0.0062	0.0787	27.97
Reproducibility	0.0153	0.1235	43.88
Operator	0.0022	0.0472	16.78
Operator*Sub ject	0.0130	0.1141	40.55
Part-to-Part	0.0578	0.2403	85.39
Total Variation	0.0792	0.2814	100
Number of Distinct Categories			2.31

$$\%SD = SD_{\text{each component}} / SD_{\text{total variation}} \times 100$$

$$\text{Number of distinct categories} = 1.41 \times SD_{\text{Part-to-Part}} / SD_{\text{Total Gage R\&R}}$$

2. Taguchi 실험계획법

1) 신호 대 잡음비

Taguchi 실험계획법에서는 목표값에 대한 분포특성을 신호 대 잡음비로 표현한다. 잡음은 일반적으로 제어할 수 없지만 측정결과에 영향을 크게 미치는 잡음인자에 의해 형성된다. 따라서 Taguchi 실험계획법에서 신호 대 잡음비가 높다는 것은 피검자의 상태에 의한 무작위효과에 비해 측정결과가 안정적이라는 것을 의미한다¹⁹⁻²²⁾.

본 연구에서 시스템의 특성치는 망대특성을 가지므로, 신호 대 잡음비를 구하는 공식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S/N = -10 \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^2 \left(\frac{1}{y_{ij}}\right)^2}{2} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 8)$$

신호 대 잡음비 결과는 table 4와 같았다.

2) 반응표

반응표는 각각의 제어인자 수준에서 평가 지표에 대한 효과의 상대적인 크기를 비교한 것이다. 본 연구에서 신호 대 잡음비의 경우 전극 부착시 가압 유무에 따른 반응을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$\text{Pressure : } A_1 = (S/N_1 + S/N_2 + S/N_3 + S/N_4)/4$$

$$\text{No pressure : } A_2 = (S/N_5 + S/N_6 + S/N_7 + S/N_8)/4$$

신호 대 잡음비, 평균, 표준편차의 반응표는 table 5와 같았다.

Table 4. Results of the Taguchi crossed array parameter design

Outer array												
Run	Sweet glands											
1	Rest											
2	After walking											
Inner array												
Subject	Run	Contact Pressure	Electrode Diameter	Current Direction	Music	E ₁	E ₂	S/N	Mean	SD	CV	
1	1	Pressure	4mm	Afferent	On	0.098	0.521	-17.316	0.310	0.299	0.966	
	2	Pressure	4mm	Efferent	Off	0.090	1.450	-17.922	0.770	0.962	1.249	
	3	Pressure	8mm	Afferent	Off	0.831	7.388	1.348	4.110	4.637	1.128	
	4	Pressure	8mm	Efferent	On	3.722	4.022	11.739	3.872	0.212	0.055	
	5	No pressure	4mm	Afferent	On	0.067	2.924	-20.471	1.496	2.020	1.351	
	6	No pressure	4mm	Efferent	Off	0.109	1.092	-16.284	0.601	0.695	1.158	
	7	No pressure	8mm	Afferent	Off	1.086	6.981	3.623	4.034	4.168	1.033	
	8	No pressure	8mm	Efferent	On	2.531	5.912	10.345	4.222	2.391	0.566	
2	1	Pressure	4mm	Afferent	On	0.267	0.964	-8.781	0.616	0.493	0.801	
	2	Pressure	4mm	Efferent	Off	0.059	0.871	-21.593	0.465	0.574	1.235	
	3	Pressure	8mm	Afferent	Off	1.059	7.833	3.430	4.446	4.790	1.077	
	4	Pressure	8mm	Efferent	On	2.286	2.222	7.057	2.254	0.045	0.020	
	5	No pressure	4mm	Afferent	On	0.303	1.640	-7.507	0.972	0.945	0.973	
	6	No pressure	4mm	Efferent	Off	0.034	0.251	-26.439	0.143	0.153	1.077	
	7	No pressure	8mm	Afferent	Off	1.431	7.348	5.961	4.390	4.184	0.953	
	8	No pressure	8mm	Efferent	On	2.572	3.126	8.971	2.849	0.392	0.138	

Abbreviation was described previously.

Table 5. Response table

		Contact pressure		Electrode diameter		Current direction		Music	
		A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂
Subject 1	S/N	-5.538	-5.697	-17.998	6.764	-8.204	-3.030	-3.926	-7.309
	Mean	2.265	2.588	0.794	4.059	2.487	2.366	2.475	2.378
	SD	1.527	2.319	0.994	2.852	2.781	1.065	1.231	2.615
Subject 2	S/N	-4.972	-4.753	-16.080	6.355	-1.724	-8.001	-0.065	-9.660
	Mean	1.945	2.088	0.549	3.485	2.606	1.428	1.673	2.361
	SD	1.476	1.419	0.541	2.353	2.603	0.291	0.469	2.425

Abbreviation was described previously.

3) 최적 조건의 결정

각각의 제어인자 수준에서 신호 대 잡음비가 높을수록 시스템이 안정적이라고 볼 수 있으므로, 반응표와 주효과 그래프에서 피검자 1의 시스템 최적조건은 A₁B₂C₂D₁이었고, 피검자 2의 최적조건은 A₂B₂C₁D₁이었다.

다. 또 전극의 크기(B)가 측정치에 가장 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

전극 부착시 가압 유무(A)는 피검자 1, 2 모두에게서 시스템에 큰 영향을 주지 못했으므로 최적조건에서 제외하였고, 전극의 크기(B)는 8mm(B₂)로, 음악(D)은 있는 경우(D₁)가 최적조건으로 선정되었다. 전류의 방

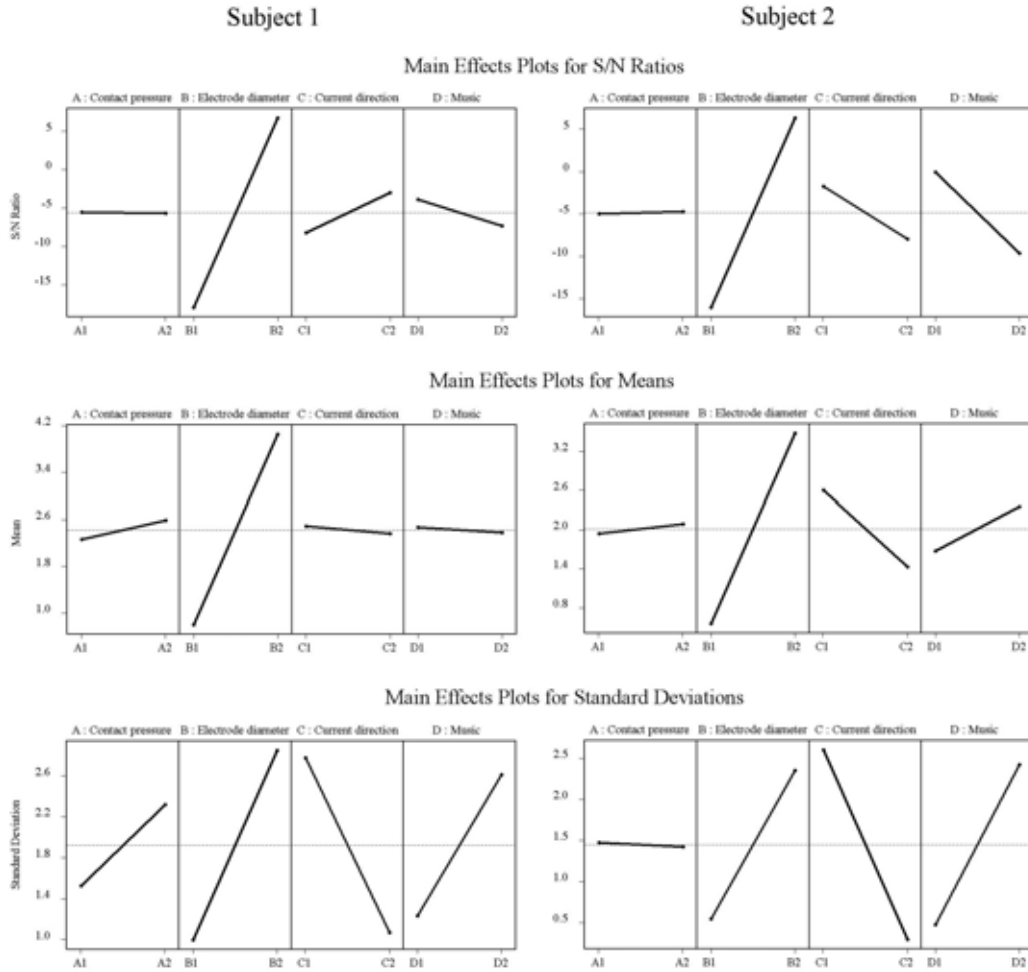


Fig. 2. Response graphs for the controllable factors. The horizontal axis shows the different levels of the each controllable factors. The vertical axis shows the values of the S/N ratio, mean and standard deviation. The lines represent the trend of each factor with respect to different levels.

향(C)은 피검자 1과 2의 결과가 상반되게 나왔기 때문에, 표준편차 반응표와 주효과 그래프를 통해 최적조건을 선정하였다.

전류의 방향은 체간에서 말초방향 즉, 순경방향이었을 때 측정치의 표준편차가 두드러지게 작았으므로 전류방향의 최적조건으로 순경방향이 선정되었다. 따라서 최종 최

적조건은 B₂C₂D₁로 선정하였다.

3. 2차 측정시스템 재현성 반복성 평가

Taguchi 실험계획법을 이용해 얻은 최적조건에 따라 실시한 2차 측정시스템 재현성 반복성 평가연구에서 개체간의 변동량이 측

정시스템에 의한 변동량에 비해 약 9.58배로 증가하였다. 따라서 최적화된 피부전도도 측정법은 경혈과 비경혈간의 피부 전기전도도 차이를 측정하는 시스템으로서 적절하다고 판단되었다. (Table 6)

Table 6. Results of the 2nd gage R&R

Source	Variance	SD	%SD
Total Gage R&R	2.6600	1.6310	14.56
Repeatability	2.6600	1.6310	14.56
Reproducibility	0.0000	0.0000	0.00
Operator	0.0000	0.0000	0.00
Part-to-Part	122.9100	11.0865	98.94
Total Variation	125.5600	11.2054	100.00
Number of Distinct Categories			9.58

Abbreviation was described previously.

IV. 고 찰

일반적으로 경혈의 전기적 특성은 비경혈에 비해 감소된 저항(impedance or resistance) 외에도 증가된 전도도(conductance)^{5,6,9)}, 증가된 전기용량(capacitance)^{5,23,24)}, 높은 전위(electrical potential)^{9,13,25,26)}로 정의된다. 그러나 이러한 경혈의 전기적 특성은 많은 요소들에 의해 영향을 받으며, 기존의 경혈부위 전기적 특성에 대한 연구들이 적은 수의 연구대상, 덜 엄격한 연구설계, 자세하지 않게 기술된 연구과정, 부적절한 통계분석 등으로 인해 연구결과들은 여전히 널리 받아들여지지 못하고 있다. 뿐만 아니라 경혈의 전기적 특성을 측정하기 위해 사용되는 전극을 피부 표면 전극으로 사용함으로써 발생하는, 접촉시 압력, 피부의 보습상태, 각질과 전극의 접촉상태 등을 포함하는 여러 요소들에 의한 편

위(bias)는 제어하기 어려운 문제들이다²⁷⁾. 최근에 Ahn 등¹⁴⁾은 경혈의 전기적 특성 측정시 고려해야 할 기술적 문제에 관한 종설에서 각질, 땀샘의 상태, 전극의 분극문제, 전극의 재질, 전해질의 유무, 전극의 형태와 크기, 전극의 배열 상태, 피부의 보습상태, 선택된 경혈의 해부학적 위치 등을 모두 고려해야 한다고 보고하였다. 또 Ahn은 경락과 경혈은 생리학적으로 정의하기 어려운 “氣”에 영향을 받기 때문에 개체간의 차이를 나타낼 수 있는 표준모델을 설정하기 어렵다는 문제도 제기하였다. 따라서 본 연구자들은 기존의 전체요인 실험계획법이나 부분요인 실험계획법을 통해 경혈의 전기적 특성을 측정하는 시스템을 확정하는 것은 기술적으로 비효율적이라 판단하고, Taguchi 실험계획법을 이용하여 제어 불가능한 요인에 의한 영향을 최소화하는 측정조건으로 측정시스템을 최적화하고자 하였다.

경혈과 경락의 전기 전도도를 측정하는 시스템의 신뢰도는 비교적 낮은 것으로 평가되고 있으며, 따라서 그 연구결과도 서로 상반되게 나타나는 경우가 많다¹⁴⁾. 그럼에도 불구하고, 지금까지 경혈의 전기특성 연구들에서는 실험의 과정보다는 결과에 주로 초점을 맞추어 왔었다. 즉, 어떠한 결과가 나오기까지 특정한 실험조건을 선정한 이유나 근거가 무엇인가에 대한 설명이 부족하였다. 이러한 이유들로 인해 경락의 물리적 특성에 관한 연구들은 실험의 신뢰도가 부족한 것이 사실이다. 본 연구에서는 실험의 결과보다는 실험의 과정과 실험조건의 선정과정

에 초점을 두었다. 경혈의 전기적 특성은 매우 미소하여 때로는 주위의 잡음에 묻혀버리기 쉬울 수도 있다. 그러므로 경혈의 전기적 특성에 대한 체계적인 연구를 위해서는 측정조건을 최적화가 반드시 선행되어야 한다.

일본의 Taguchi는 품질설계의 최적화를 통해 효율적으로 품질개선을 기할 수 있는 방법을 제한하였는데, 이는 Taguchi 실험계획법 또는 강건설계(robust design)이라고 불린다. Taguchi 실험계획법은 잡음의 영향에 민감하지 않도록 공정 또는 제품을 설계하여 품질을 개선하는 방법으로서, 초기에는 주로 통신²⁸⁾이나 자동차 산업²²⁾ 등에 활용되었으나 최근에는 의료분야^{29,30)}에서도 점차 활용되고 있다. Taguchi 실험계획법은 측정값 분산의 원인을 제어할 수 없는 경우에 제어 가능한 요소를 적당하게 조작하여 원하는 목적을 달성하려는 시도이다²⁰⁾. 기존의 실험계획법과 Taguchi 실험계획법의 가장 큰 차이점은, 기존 실험계획은 실험실에서 잡음인자를 고정하고 실험하지만, Taguchi 실험계획법에서는 실험할 때 현실과 똑같이 잡음조건을 바꾸어 가면서 실험하여 최적조건을 찾는다는 점이다²⁰⁾.

본 연구의 1차 측정시스템 재현성 반복성 평가연구에서 측정시스템에 의한 변동량에 대한 개체간의 변동량을 나타내는 구별 범주의 수(number of distinct categories)가 2.31로 비교적 낮게 나왔다. 이는 일반적인 피부전도도 측정법은 경혈과 비경혈간의 피부 전기전도도 차이를 측정하는 시스템으로서 개선이 요구됨을 의미한다. 구별 범주의 수

의 절대적 인정기준은 없으나 일반적으로 5 이상이면 적합하다고 인정된다.

본 연구의 Taguchi 실험계획법에서 평가함수에 상대적으로 큰 영향을 줄 수 있으며 실험자가 쉽게 제어할 수 있는 인자로서, 전극 부착시 가압 여부, 전극의 크기, 전류의 방향, 음악의 유무를 주요 제어인자로 선정하였다. Ahn 등¹⁴⁾이 제시한 기술적 문제들인 각질, 땀샘의 상태, 전극의 분극문제, 전극의 재질, 전해질의 유무, 전극의 형태와 크기, 전극의 배열 상태, 피부의 보습상태, 선택된 경혈의 해부학적 위치 등은 경혈의 전기적 특성에 영향을 미칠 수 있는 요소들이지만, 연구자의 관점에서 보면 대부분 상수인자이거나 또는 잡음인자로 분류될 수 있는 요소들이다. 따라서 본 연구에서는 실제 실험실에서 고려되어야 하고, 제어 가능한 요소들을 제어인자로 선정하였다.

Taguchi 실험계획법에 의한 실험결과, 반응표와 주효과 그래프에서 피검자 1의 시스템 최적조건은 $A_1B_2C_2D_1$ 이었고, 피검자 2의 최적조건은 $A_2B_2C_1D_1$ 이었다. 피검자 모두에게서 B_2 와 D_1 은 공통사항이었으므로 최적조건으로 선정되었고, 전류방향(C)의 최적조건은 피검자 1과 2의 결과가 상반되게 나왔기 때문에, 표준편차 반응표와 주효과 그래프를 통해 체간에서 말초방향 즉, 순경방향이었을 때 측정치의 표준편차가 두드러지게 작았으므로 순경방향이 선정되었다. 따라서 최종 최적조건은 $B_2C_2D_1$ 로 선정하였다. 즉, 전극의 크기는 8mm, 전류의 방향은 체간에서 말초방향, 음악은 있는 경우가 최적조건이었다. Taguchi 실험계획법에서 최적 조건을

선정하는데 가장 중요한 지표는 신호 대 잡음비이다. 따라서 본 연구결과를 통해 경혈과 비경혈 사이의 전기전도도의 차이에 가장 큰 영향을 주는 요인은 전극의 크기라는 것을 알 수 있었다. 즉, 이는 전극의 크기가 커지면 전기전도도가 증가할 뿐만 아니라 경혈과 비경혈사이의 전도도의 차이도 분명해진다는 것을 의미한다.

Taguchi 실험계획법을 이용해 얻은 최적조건에 따라 실시한 2차 측정시스템 재현성 반복성 평가연구에서 구별 범주의 수가 9.58로 1차 측정시스템 재현성 반복성 평가연구 결과인 2.31에 비해 높게 나왔다. 이는 측정시스템에 의한 변동량에 비해 개체간의 변동량이 충분히 크며, 개선된 피부 전도도 측정법이 경혈과 비경혈간의 피부 전기전도도 차이를 측정하는 시스템으로서 적합하다는 것으로 의미한다.

V. 결 론

경혈과 비경혈 사이의 전기전도도 차이를 측정하기 위한 시스템을 구성하고, 건강한 20대 남성 4명을 대상으로 측정시스템의 재현성 반복성 평가연구와 Taguchi 실험계획법을 이용한 측정시스템 최적화 실험을 통해 다음과 같은 결론은 얻었다.

1. Taguchi 실험계획법에 의한 실험결과, 반응표와 주효과 그래프에서 전극의 크기는 8mm, 전류의 방향은 체간에서 말초방향, 음악은 있는 경우가 최적조건으로 선정되었으며, 경혈과 비경혈 사이의 전기전도도의 차이에 가장 큰 영향을 주는 인자는 전극의 크기였다.
2. Taguchi 실험계획법을 이용해 얻은 최적조건에 따라 실시한 측정시스템의 재현성 반복성 평가연구 결과, 개선된 피부전도도 측정법이 경혈과 비경혈간의 피부 전기전도도 차이를 측정하는 시스템으로서 적합하였다.

參考文獻

1. Niboyet JEH. Lower electrical resistance on skin surface corresponding to cutaneous acupuncture points and meridians. *Ma isonneuve*. 1963 ; 326-33.
2. Nakatani Y. On the nature of the acupuncture points and meridians. *J Jpn Orient Med*. 1953 ; 3 : 39-49.
3. Voll R. Twenty years of electroacupuncture diagnosis in Germany: A progress report. *Am J Acupunct*. 1975 ; 3 : 7-17.
4. Royal FF, Royal DF. A review of the history and scientific bases of electrodiagnosis and its relationship to homeopathy and acupuncture. *Am J Acupunct*. 1991 ; 19 : 137-52.
5. Reichmanis M, Marino AA, Becker RO. Laplace plane analysis of impedance between acupuncture points H-3 and H-4. *Comp Med East West*. 1977 ; 5(3-4) : 289-95.
6. Reichmanis M, Becker RO. Physiological effects of stimulation at acupuncture loci: A review. *Comp Med East West*. 1978 ;

- 6(1) : 67-73.
7. Kwok G, Cohen M, Cosic I. Mapping acupuncture points using multi channel device. *Australas Phys Eng Sci Med.* 1998 ; 21(2) : 68-72.
 8. Jakoubek B, Rohlicek V. Changes of electrodermal properties in the “acupuncture points” on men and rats. *Physiol Bohemoslov.* 1982 ; 31(2) : 143-9.
 9. Hyvarinen J, Karlsson M. Low-resistance skin points that may coincide with acupuncture loci. *Med Biol.* 1977 ; 55(2) : 88-94.
 10. Halek J, Opavsky J, Kolarova J. Problems of the skin resistance measuring in randomly chosen and so-called active points of the skin. *Acta Univ Palacki Olomuc Fac Med.* 1984 ; 107 : 51-62.
 11. Cho SH, Chun SI. The basal electrical skin resistance of acupuncture points in normal subjects. *Yonsei Med J.* 1994 ; 35(4) : 464-74.
 12. Chiou SY, Chao CK, Yang YW. Topography of low skin resistance points (LSRP) in rats. *Am J Chin Med.* 1998 ; 26(1) : 19-27.
 13. Brown ML, Ulett GA, Stern JA. Acupuncture loci: Techniques for location. *Am J Chin Med.* 1974 ; 2(1) : 67-74.
 14. Ahn AC, Martinsen OG. Electrical characterization of acupuncture points: technical issues and challenges. *J Altern Complement Med.* 2007 ; 13(8) : 817-24.
 15. McCarroll GD, Rowley BA. An investigation of the existence of electrically located acupuncture points. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1979 ; 26(3) : 177-81.
 16. Martinsen OG, Grimnes S, Morkrid L, Hareide M. Line patterns in the mosaic electrical properties of human skin: A cross-correlation study. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2001 ; 48(6) : 731-4.
 17. Noordergraaf A, Silage D. Electroacupuncture. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1973 ; 20(5) : 364-6.
 18. 이상복. 알기쉬운 다구찌기법. 서울: 상조사. 2001.
 19. Roy RK. A Primer on the Taguchi Method. New York: Van Nostrand Reinhold. 1990.
 20. 이상복. Minitab을 이용한 다구찌 기법 활용. 서울: 이레테크. 2001.
 21. Taguchi G. Taguchi on Robust Technology Development. New York: ASME Press. 1993.
 22. Taguchi G, Chowdhury S, Taguchi S. Robust Engineering. New York: McGraw-Hill. 2000.
 23. Prokhorov EF, González-Hernández J, Vorobiev YV, Morales-Sánchez E, Prokhorova TE, Zaldivar Lelo de Larrea G. In vivo electrical characteristics of human skin, including at biological active points. *Med Biol Eng Comput.* 2000 ; 38(5) : 507-11.
 24. Johng HM, Cho JH, Shin HS, Soh KS,

- Koo TH, Choi SY. et al. Frequency dependence of impedances at the acupuncture point Quze (PC3). *IEEE Eng Med Biol Mag.* 2002 ; 21(2) : 33-6.
25. Ionescu-Tirgoviste C, Pruna S. Electroacupunctogram: A new recording technique of the acupoint potentials. *Med Intern e.* 1987 ; 25(1) : 67-76.
26. Zhu ZX. Research advances in the electrical specificity of meridians and acupuncture points. *Am J Acupunct.* 1981 ; 9 : 203-16.
27. Ahn AC, Wu J, Badger GJ, Hammerschlag R, Langevin HM. Electrical impedance along connective tissue planes associated with acupuncture meridians. *BMC Complement Altern Med.* 2005 ; 5 : 10.
28. Montgomery DC. *Design and Analysis of Experiments*, fourth ed. New York: Wiley, 1997.
29. Yang K, Teo EC, Fuss FK. Application of Taguchi method in optimization of cervical ring cage. *J Biomech.* 2007 ; 40(14) : 3251-6.
30. de Oliveira D, Di Luccio M, Faccio C, Rosa CD, Bender JP, Lipke N, et al. Optimization of enzymatic production of biodiesel from castor oil in organic solvent medium. *Appl Biochem Biotechnol.* 2004 ; 113-116: 771-80.