

다구찌 방법에서 직교배열의 선택 및 변형에 관한 전문가시스템 개발에 대한 연구

정환종* · 조성진* · 이재원**

A Study on the Development of Expert System for Selecting and Modifying Orthogonal Array in Taguchi Method

Hwan-Jong Jung* · Seong-Jin Cho* · Jae-Won Lee**

요 약

강건설계(robust design)는 낮은 비용으로 잡음에 강건한 고품질의 제품이나 공정을 설계하는 체계적이고 효율적인 방법이다. 그러나 강건설계의 과정 중 비표준 직교배열의 사용과 교호인자를 포함한 실험계획은 다소 복잡하고, 전문지식이 필요한 부분으로 비전문가에게는 난해한 작업이다. 이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 표준직교배열의 변형과 선점도를 이용하여 교호인자를 직교배열의 열에 자동으로 할당하는 전문가시스템 prototype을 개발하였다. 사용자가 수준별 인자수와 교호작용의 유무를 입력하면, 시스템은 적절한 직교배열을 선정하여 필요에 따라 변형하며, 제어인자와 교호작용을 직교배열표에 자동으로 할당하여 출력한다. 개발된 시스템을 사용하면 초보자도 직교배열을 쉽게 변형할 수 있으며 다수의 교호인자를 포함한 실험계획을 빠르게 할 수 있다. 본 연구에서 이용된 지식은 문헌에서 추출하였으며, 추론 전략으로는 규칙기반추론(rule-based reasoning)을 이용하였다.

Keywords: expert system, Taguchi method, robust design, orthogonal array

* 인하대학교 대학원 자동화공학과

** 인하대학교 기계항공자동화공학과

1. 서 론

산업계에서 고품질, 단납기, 저비용의 실현은 모든 기업이 당면한 과제라고 할 수 있다. 이를 위해 제품이나 제조공정의 품질과 비용을 최적화 시킬 수 있는 체계적이고 효율적인 방법이 필요하다. 일명 강건설계라고도 불리는 다구찌 방법(Taguchi method)은 이러한 품질문제에 대한 해결책으로 일본, 미국, 그리고 유럽에서 널리 이용되어지고 있다(김호성 외, 1992). 다구찌 방법은 1920년대 R.A. Fisher가 개발한 실험계획법을 기초로 하고 있으며, 적은 실험회수로 많은 수의 인자들을 연구하기 위해 직교배열(orthogonal array)이라는 수학적 방법을 사용하며, 다구찌는 표준직교배열이라고 부르는 18 개의 기본적인 직교배열을 제안하였다(Phadke, 1989). 그러나 표준직교배열의 이용에는 크게 두 가지의 어려운 점이 존재한다. 첫째, 주어진 인자의 개수 및 인자별 수준(level)수에 적합한 표준직교배열이 존재하지 않는 경우 직교배열을 변형해야 하는데 이 작업이 용이하지 않다. 둘째, 제어인자 사이의 교호작용을 파악할 필요가 있는 경우 교호작용표나 선점도를 이용하여 교호인자를 표준직교배열표의 열에 적절히 배치해야 하는데 이 일 또한 전문적인 지식을 필요로 한다. 본 연구에서는 상기 두 가지 작업을 수행하는 전문가시스템을 구현함으로써 비전문가의 강건설계작업을 용이하게 하고자 한다.

컴퓨터를 이용하여 강건설계 효율향상을 목표로 하는 연구 중 전문가시스템의 적용사례는 많지 않다. 대표적인 것으로 교호작용에 대한 고려를 포함하는 실험계획 전문가시스템을 개발한 Lee의 연구가 있다(Lee et al. 1989). Lee의 연구

는 유사한 선점도를 선정하기 위해 점/선 매칭과 점과 선을 합친 삼각형 등의 모양을 구별하는 방법을 사용하며, 선점도를 변형하여 다양한 문제를 다룰 수 있는 시스템이다. 교호작용에 대한 체계적인 정보표현의 연구로는 개선된 교락표(confounding table)를 제안한 Tsui의 연구가 있으며(Tsui, 1988), 국내연구로 변수 및 허용차 설계의 전산화(이인배, 1993)와 동적 설계부분의 전산화(이종훈, 1997) 등이 있다.

본 연구에서는 선점도를 변형하지 않는 범위 내에서 교호인자 중 많이 나온 인자 순으로 배열하는 그룹 정렬을 사용하여, 유사 표준선점도를 선택한 후, 다시 인자 할당의 순서대로 재정렬함으로 인자와 교호작용을 직교배열의 열에 할당하는 방법을 사용하였다. 이것은 단순한 매칭만으로 선점도에서 삼각형의 존재나 교호작용의 분리여부를 확인할 수 있으며 구현이 쉬운 장점이 있다. 또한 Lee의 연구에서 향후연구사항으로 언급된 실험 수와 비용을 줄이는 방법으로서, 본 연구에서는 직교배열의 변형과 수준값을 변화 시키기 어려운 중요한 인자를 입력받아 직교배열의 1 열이나 2 열에 재할당하는 열변경 기능을 구현하였다.

개발된 시스템을 사용하면 더미법(dummy level method), 다수준작성법(column merging method), 조합법(compound factor method)을 사용하여 표준직교배열을 더 다양하게 사용할 수 있으며, 수준값을 바꾸는데 비용이 드는 중요 인자를 1 열에 배치함으로써 실험비용의 감소를 기대할 수 있다.

본문에서는 표준직교배열의 선택 및 변형에 관한 규칙기반 전문가시스템의 개발에 관련된 내용을 기술한다.

2. 다구찌 방법의 개요

다구찌 방법은 강건설계(robust design) 또는 인자설계(parameter design)라고도 불리며, 제품의 성능(품질특성)이 여러 잡음인자의 영향을 가장 적게 받도록 제품과 공정을 최적화 시키는 방법이다. 기존의 실험방법은 인자들을 한번에 한 개씩 또는 많은 시행착오를 거쳐 구하는 매우 소모적인 방법이었다. 그러나 강건설계는 직교배열(orthogonal array)을 이용한 행렬실험을 통해 실험회수를 기존의 방법보다 현저히 줄일 수 있으며, 잡음을 고려한 실험을 통해 강건한 품질을 만들 수 있다.

2.1 실험과정

다구찌 방법은 크게 실험계획, 실험수행, 결과 분석 및 확인과정으로 나눌 수 있으며 다음과 같은 8 단계로 세분화 할 수 있다(김호성 외, 1992).

- 실험 계획

STEP 1 주요기능, 부작용, 기능상실의 유형 등을 정리

STEP 2 잡음인자와 시험조건 결정

STEP 3 품질특성과 목적함수 설정

STEP 4 제어인자와 그 수준 결정

STEP 5 행렬실험의 계획 및 결과분석 과정 결정

- 실험수행

STEP 6 행렬실험 실시

- 결과 분석 및 확인과정

STEP 7 실험결과 분석 및 제어인자의 최적조건 결정

STEP 8 확인실험 수행

본 논문은 STEP 5의 행렬실험 계획에 관한 것으로 적절한 표준직교배열을 선택하고 변형하여 최소 실험을 제안하는 전문가시스템에 관한 연구이다

3. 표준직교배열의 선택 및 변형

직교배열은 배열의 각 열에 인자의 수준이 균형을 가진 것을 말한다. 표준직교배열(standard orthogonal array)은 다구찌가 제안한 것으로 수준별 인자 수와 실험회수에 따라 [표 1]과 같이 18 개로 나눌 수 있다(Phadke, 1989).

알맞은 직교배열을 선택하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 사항을 고려한다. 첫째, 실험하고자 하는 인자가 2 수준 인자가 몇 개인지 3 수

[표 1] 표준직교배열의 종류

직교배열	실험수	최대 인자수	수준별 최대 인자수			
			2	3	4	5
L ₄	4	3	3			
L ₈	8	7	7			
L ₉	9	4		4		
L ₁₂	12	11	11			
L ₁₆	16	15	15			
L ₁₆	16	5			5	
L ₁₈	18	8	1	7		
L ₂₅	25	6				6
L ₂₇	27	13		13		
L ₃₂	32	31	31			
L ₃₂	32	10	1		9	
L ₃₆	36	23	11			
L ₃₆	36	16	3			
L ₅₀	50	12	1			11
L ₅₄	54	26	1	25		
L ₆₄	64	63	63			
L ₈₁	81	40		40		

준 인자가 몇 개인지 확인하여야 한다. 둘째, 총 자유도를 계산한다. 자유도(degree of freedom)는 각 인자의 수준 수 보다 1이 적은 값을 말하며 총 자유도는 각 인자의 자유도의 합에 평균의 자유도 1을 더한 것을 말한다. 실험회수가 총 자유도보다 크거나 같은 직교배열을 선택하며 가능한 실험회수가 적은 직교배열을 선택한다. 그러나 실제적으로 직교배열의 선택은 더 복잡하다. 예를 들어 3 수준 인자는 2 수준 열에 할당될 수 없고, 2 수준 인자도 3 수준 열에 직접 할당 될 수 없다. 이로 인하여 표준직교배열을 사용할 수 없게 되는 경우가 발생된다. 그러나 직교배열을 변형함으로써 더 적은 실험회수의 직교배열을 선택할 수 있다.

3.1 직교배열의 변형 방법

표준직교배열의 변형방법에는 더미법(dummy level method), 다수준작성법(column merging method), 조합법(compound factor method), 변신법(idle-column method), 공정분지법(branching design) 등 5 가지가 있다(Phadke, 1989; Peace, 1993; Park, 1997). 이들 중 대부분의 실험에서 직교배열을 변형할 수 있는 더미법, 조합법, 다수준작성법을 사용하여 시스템을 개발하였다. 더미법은 2 수준 인자를 3 수준 열에 배치하고자 할 때 사용하며 조합법은 2 수준 인자 두개를 합쳐서 3 수준 열에 배치하고자 할 때 사용한다. 다수준작성법은 2 수준 세 개의 열을 합쳐서 4 수준 인자를 만들 수 있는 방법이다. [표 2]는 2 수준과 3 수준이 혼합되어 있을 경우 직교배열의 선택과 변형방법이다(Phadke, 1989; Park, 1996). [표 1]을 기초로 3 수준 인자의 개수에 따라 직교배열을 선택하는 규칙은 다음과 같다.

- 규칙 획득

[R_3lvl_1_le]

IF (Level3 ≤ 1) THEN L₄, L₈, L₁₂, L₁₆배열 중 총 자유도에 따라 선택

[R_3lvl_2_3]

IF (2 ≤ Level3 ≤ 3) THEN L₉, L₁₆ 배열 중 총 자유도에 따라 선택

[R_3lvl_4_ge]

IF (Level3 ≥ 4) THEN L₉, L₁₈ 배열 중 총 자유도에 따라 선택

이 때, Level3는 3 수준 인자의 개수

3.2 직교배열의 변형 범위

본 연구에서는 L₈, L₉, L₁₆, L₁₈ 표준직교배열의 변형을 다루었다. 직교배열 중 L₈의 변형 규칙은 다음과 같다.

3.2.1 L₈표준직교배열의 변형 규칙

L₈ 표준직교배열은 2 수준 인자를 최대 7 개 까지 할당할 수 있다. [표 2]에 의해 3 수준 인자가 1 개 입력되었을 경우에 다수준작성법과 더미법을 사용하여 L₈ 표준직교배열을 사용할 수 있다. 1, 2, 그리고 3 열을 열 합병 한다. L₈의 변형과정은 다음과 같다.

- L₈의 변형과정

[STEP 1] Level2가 2 개에서 4 개 사이이고, Level3가 1 개 이면 L₈ 직교배열의 2 수준 인자 1 열(C₁=2), 2열(C₂=2) 그리고 두 열의 교호작용이 나타나는 3열(C₃=2)을 통합하여 4 수준 인자 1 개를 1 열(C₁=4)로 하는 새로운 L₈^{*}을 생성한다.

이것을 규칙으로 표현하면 다음과 같다.

[R-L8_clnmrg]

IF (2 ≥ Level2 ≥ 4) and (Level3 = 1)
 THEN C₁^{*}=4, C₂^{*}=2, C₃^{*}=2, C₄^{*}=2, C₅^{*}=2 for L₈^{*}

이 때, Level2: [표 2]의 2 수준 인자의 개수

Level3: [표 2]의 3 수준 인자의 개수

C_i : L₈의 i 번째 열의 수준 수

C_i^{*} : L₈^{*}의 i 번째 열의 수준 수

[STEP 2] 1 단계에서 생성한 4 수준 인자의 1, 2, 3 수준 중에서 더미수준으로 이용할 수준을 선정하여 L₈의 4 수준 자리에 할당한다.

이를 규칙으로 표현하면

[R-L8-dummy]

IF (C₁^{*}=4, C₂^{*}=2, C₃^{*}=2, C₄^{*}=2, C₅^{*}=2 for L₈^{*})
 THEN C₁^{*}_level4 ≤ dumlevel_selected

(표 2) 수준에 따른 직교배열 선택 및 변형방법

2수준 인자	3수준인자							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0			L ₉	L ₉	L ₉	L ₁₈	L ₁₈	L ₁₈
1			L ₉ ^d	L ₉ ^d	L ₁₈	L ₁₈	L ₁₈	L ₁₈
2	L ₄	L ₈ ^c	L ₉ ^d	L ₉ [*]	L ₁₈ ^d	L ₁₈ ^d	L ₁₈	
3	L ₄	L ₈ ^c	L ₉ ^{dr}	L ₁₆ ^c	L ₁₈ ^d	L ₁₈ ^{dr}	L ₁₈ ^d	
4	L ₈	L ₈ ^c	L ₉ [*]	L ₁₆ ^c	L ₁₈ ^{dr}	L ₁₈ ^{dr}		
5	L ₈	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₈ [*]	L ₁₈ [*]		
6	L ₈	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₈ ^d			
7	L ₈	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₈ [*]	L ₁₈ [*]			
8	L ₁₂	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c					
9	L ₁₂	L ₁₆ ^c	L ₁₆ ^c	L ₁₈ [*]				
10	L ₁₂	L ₁₆ ^c						
11	L ₁₂	L ₁₆ ^c						
12	L ₁₆	L ₁₆ ^c						
13	L ₁₆							
14	L ₁₆							
15	L ₁₆							

c : 다수준법 d : 더미법 * : 조합법

이 때, C₁^{*}_level4 : L₈^{*}의 합병된 열의 4 수준 dumlevel_selected: 사용자가 택한 더미수준으로 C₁^{*}의 1, 2, 3 수준 중의 하나와 같다.

실험계획에 관한 Lee의 연구에서는 직교배열의 변형을 다루지 않았다(Lee et al. 1987). 기존의 소프트웨어도 더미법이나 한 개 정도의 다수준작성법을 다루었으나 본 연구에서는 [표 2]로부터 더미법, 조합법 그리고 다수준작성법의 적용 관한 관련 규칙을 추출하였다.

4. 표준선점도를 이용한 교호인자 배치

어떤 인자의 효과가 다른 인자의 수준에 따라 불규칙적으로 달라질 때, 두 인자는 교호작용(interaction)을 갖는다고 말한다. 교호작용은 실험 결과를 예측하기 어렵게 하고, 실험을 재현할 수 없도록 하여 결국 실험을 실패하게 한다(Park, 1996). 따라서 실험하기 전 교호작용이 있으리라 생각되는 인자들에 대해서 교호작용의 유무와 그 크기를 조사하여 교호작용에 대처해야 한다. 본 장에서는 교호작용을 포함하는 실험의 계획에 대해서 다룬다.

4.1 교호작용표(Interaction Table)

두 열의 교호작용을 알아보기 위해서는 [표 3]과 같은 교호작용표에 의해서 인자를 할당해야 한다. [표 3]은 L₈의 교호작용표로서 음영으로 친 부분은 1 열과 2 열이 3 열과 교락 됨을 보여준다. 이 때 3 열에는 다른 인자를 할당할 수 없고 1 열과 2 열의 교호작용 분석을 위해 비워 두어야 한다(Phadke, 1989).

[표 3] L_8 교호작용표

	열						
	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

[표 4]는 L_8 직교배열이고, 각 열에 인자와 교호작용이 할당되었음을 보여준다(김호성 외, 1992).

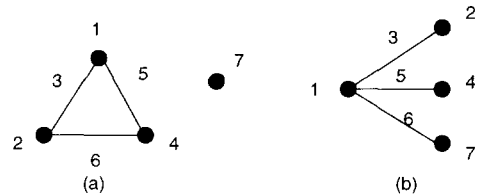
[표 4] L_8 에 인자 및 교호인자의 할당

실험 번호	열						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
인자 할당	A	B	X	D	E	F	G

4.2 선점도(Linear Graph)

교호작용이 여러 개 존재할 경우 교호작용표를 이용한 교호작용의 배치는 불편하며, 직교배열의 열에 인자를 할당하기 쉽지 않아 교호작용 정보를 그림으로 나타낸 선점도를 사용한다(Peace, 1993). 선점도는 직교배열의 열이 점

과 선으로 표현되어 있으며, 점은 인자를 나타내며 선은 두 인자 사이의 교호작용이 나타나는 열을 가리킨다. 다루려는 표준직교배열에 대해 표준선점도를 제안하였다. [그림 1]은 L_8 에 대한 표준선점도로서 [그림 1]의 (a)를 보면 1 열과 2 열의 교호작용이 3열에 나타남을 시각적으로 알 수 있다.



(그림 1) L_8 에 대한 두개의 표준선점도

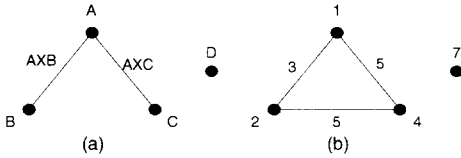
4.3 선점도를 이용한 교호작용의 할당절차

선점도를 사용한 인자와 교호작용의 할당과정은 일반적으로 다음과 같다.

- STEP 1 표준직교배열의 선택.
- STEP 2 입력된 인자와 교호작용을 이용한 요구선점도(required linear graph) 작성.
- STEP 3 작성된 유사선점도와 가장 유사한 표준선점도의 선택.
- STEP 4 인자와 교호작용의 할당.

예를 들어 사용자가 2 수준 인자 A, B, C 그리고 D와 교호작용 AXB와 AXC를 직교배열의 열에 배치하고자 한다면 총자유도 계산에 의해 L_8 직교배열을 선택한다. 입력된 인자와 교호작용을 선점도로 나타내면 [그림 2]의 (a)와 같고 이와 유사한 표준선점도는 [그림 2]의 (b)와 같다.

따라서 인자 A=1, B=2, C=4, D=7, AXB=3, 그리고 AXC=5로 할당이 된다.



(그림 2) a) 요구선점도, b) 표준선점도

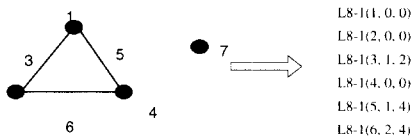
이러한 과정을 전문가시스템으로 구현하는 데는 다음 과 같은 3 가지 문제점을 해결해야 한다.

- 1) 선점도의 표현 방법
- 2) 유사 표준선점도 선택 방법
- 3) 선택된 표준선점도에 인자 할당

사람은 직관적으로 표준선점도를 선택하지만 전문가시스템은 그렇지 못하기 때문에 선점도를 적절히 표현하여 탐색의 문제로 바꾸어야 한다. 다음에 선점도의 표현 및 유사선점도에 대한 표준선점도의 선택 방법을 기술한다.

4.3.1 선점도의 표현 방법

선점도는 선과 점과 직교배열의 열을 나타내는 번호로 이루어져 있다. 본 연구에서는 Lee가 연구한 표현방법을 사용하였으며 [그림 3]과 같이 표현한다(Lee et al. 1987). L8-1(1,0,0)을 보면 L8-1은 직교배열과 그에 해당하는 표준선점도의 종류번호이며, 괄호안의 첫번째 1은 직교배열의 열을 가리키고 두번째와 세번째 0은 연결된 점을 가르킨다. 점인 경우는 0이며, 선인 경우는 양 끝점을 나타낸다.



(그림 3) L₈의 표준선점도

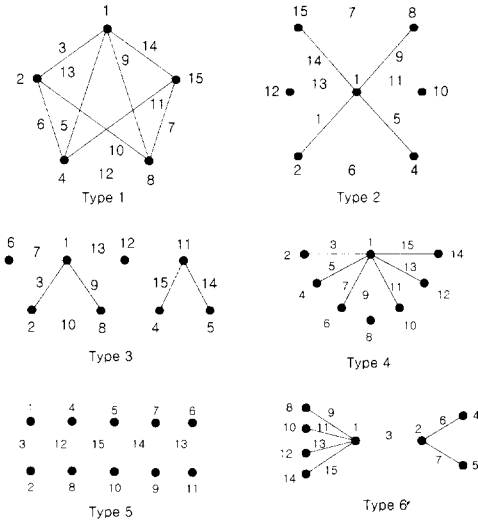
4.3.2 유사 표준선점도의 선택 방법

유사한 표준선점도를 선택하면 인자와 교호작용이 할당될 열을 결정할 수 있다. Lee의 연구에서는 선점도에서 삼각형을 추출하기 위해 점 한 개와 3 개의 선의 비교를 통해 삼각형을 추출하나 본 연구에서는 중요 인자를 중심으로 한 교호작용의 그룹 정렬 방법을 사용하여 쉽게 삼각형뿐 아니라 교호인자 그룹의 분리 여부를 결정하여 유사한 선점도를 선택한다. 본 논문에서는 2 수준 인자로만 이루어진 L₈과 L₁₆의 표준선점도만을 다루었다. L₈ 표준선점도의 형태는 L₁₆ 표준선점도에 포함됨으로 L₁₆ 선점도 결정 기준만 언급한다.

[그림 4]는 L₁₆ 직교배열의 표준선점도이다. L₁₆의 표준선점도는 6가지 type이 있으며 [그림 4]에서 볼 수 있듯이 각각을 구별하려면 삼각형의 개수와 교호인자의 분리여부를 통해 결정할 수 있다. 각 type의 분류 과정을 step별로 정리하면 이 들로부터 전문가시스템 개발에 필요한 규칙의 도출이 가능하다. 분류 과정을 살펴보면 다음과 같다.

- 입력과 가장 유사한 표준선점도 type 결정 과정
- STEP 1 직교배열의 선택.
- STEP 2 입력된 교호인자 중 가장 많이 나온 인자를 중심으로 그룹 정렬을 한다.
- STEP 3 삼각형의 개수, 그룹의 분리 여부, 그리고 2번째 정렬 그룹의 유무를 결정한다.
- STEP 4 유사 표준선점도 선택.

그룹 정렬은 교호작용중 많이 나온 인자를 중심으로 그룹을 지어 정렬하는 것을 말하며, 예를 들면 다음과 같다.



(그림 4) L₁₆ 표준선점도

● Example 1

- 입력 인자 : A, B, C, D, E, F, G, H, I
- 입력 교호작용 : AXB, AXC, BXC, AXG, DXE, DXF
- 그룹 정렬한 후의 교호작용:
 - 그룹 1 : AXB, AXC, AXG
 - 그룹 2 : DXE, DXF
 - 그룹 3 : BXC

교호작용중 많이 나온 인자를 중심으로 정렬을 한 후, 그룹 1과 나머지 그룹의 인자를 비교한다. 그룹 1에 나머지 그룹에 나타난 인자가 존재하는지를 파악하여 삼각형의 존재와 교호작용의 분리여부를 결정한다. 교호작용 DXE의 각각의 인자 D, E가 그룹 1에 모두 존재하면 삼각형이 1 개 존재하며, 1 개만 존재할 경우는 연결되어 있음을 의미한다. 예제에서는 D, E, F 모두 존재하지 않으므로 선점도 그래프가 두 개로 분리되어 있음을 알 수 있다. 따라서 type 3와 type 5가 후보가 된다. 마찬가지로 그룹 3의 BXC

는 그룹1과 삼각형을 이루는 것을 알 수 있다. [Example 1]은 분리되어 있는 교호작용이 2 개이고 삼각형이 한 개 이므로 [그림 4]에서 type 3임을 알 수 있다. 이와 같이 그룹 정렬을 함으로써 단순한 매칭을 통해 삼각형과 교호작용의 분리여부를 구별해 낸다. 이로부터 도출된 규칙의 일부는 다음과 같다.

● 규칙 획득

[R_{lg_1}]

IF (separation = 0) AND (triangle > 3)
THEN type = 1

[R_{lg_2}]

IF (separation = 0) AND (triangle = 0) AND
(existence = 0)
THEN type = 4
ELSE type = 6

이 때, type : 결정된 type 번호

existence : 그룹2의 존재유무

triangle : 삼각형의 개수

separation : 분리된 교호인자 그래프의 유무

각 type의 결정 기준을 [표 5]에 나타냈다.

(표 5) L₁₆ 표준선점도 결정 기준

	삼각형의 개수 (triangle)	분리그래프의 개수 (separation)	그룹2의 존재유무 (existence)
Type 1	3이상	0	無
Type 2	2	0	無
Type 3	1	2이하	無
Type 4	0	0	無
Type 5	0	3이상	無
Type 6	0	0	有

4.3.3 표준선점도에 인자 할당 방법

인자할당(factor assignment)은 4.1절의 [표 4]에서와 같이 직교배열의 각 열에 인자를 배치하는 것을 말한다. 인자의 할당의 순서는 교호인자를 먼저 할당하고 나머지 인자를 할당한다. 이를 위해 그룹 정렬된 인자와 교호작용을 재정렬한다. 재정렬은 정렬 그룹 1 행에 나머지 그룹을 삼각형과 분리유무에 따라 그룹 1에 나머지 그룹을 삽입하는 것을 말한다. 재정렬된 교호인자를 선택되어진 선점도의 line성분에 할당하면 각각의 인자의 열이 결정이 된다. 그러나 한 교호작용을 할당한 후 다음 교호작용이 할당될 수 없으면 바로 전에 할당된 교호작용을 다시 배치한다. 이 과정을 반복하여 교호인자를 배치한다. 이 과정은 다음과 같다.

- 표준선점도에 교호작용 할당 과정
- STEP 1 그룹 정렬된 교호작용을 재정렬.
- STEP 2 선택된 표준선점도에서 line만을 추출한다.
- STEP 3 최다 출현 인자를 1 열에 할당.
- STEP 4 정렬순으로 교호작용을 할당. 교호작용을 할당할 수 없을 시 바로 전에 배치된 교호작용을 다시 할당한다.
- STEP 5 교호작용에 포함되지 않은 나머지 인자들을 할당한다.

● Example 2

- 그룹 정렬한 후의 교호작용

- 1) AXB, AXC, AXG
- 2) DXE, DXF
- 3) BXC

- 재정렬한 후의 교호작용

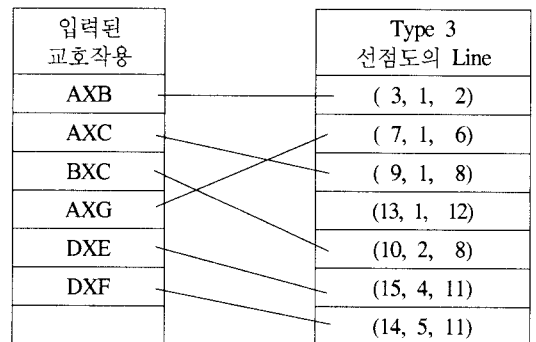
AXB, AXC, ■■■, AXG, ■■■, ■■■

재정렬은 첫번째 그룹에 나머지 그룹을 삽입

함으로써 이루어진다. 삽입하는 위치는 삽입해야 할 교호작용을 이루는 각각의 인자가 그룹 1에 모두 나온 이후로 한다. 분리된 경우는 가장 뒤에 위치한다. [Example 2]는 L_{16} 표준선점도중 type 3에 해당이 되므로 이에 해당하는 line만을 추출하여 매칭하면 [그림 5]의 예와 같다. 교호작용중 가장 많이 나온 인자 A를 1로 할당하고 교호인자를 배치하기 시작한다. 교호인자와 선점도의 line과 매칭으로 search space를 줄일 수 있으므로 빠르게 교호작용을 할당할 수 있다.

4.4 열의 변경

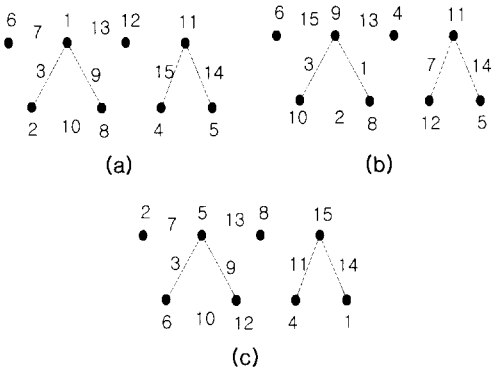
인자 중 수준 값의 변화가 어렵거나 비용이 많이 드는 인자는 수준 값의 변화가 적은 직교배열의 가장 왼쪽 열인 1 열이나 2 열에 할당함으로써 실험의 시간과 비용을 줄일 수 있다 (Peace, 1993). 그러나 4.3절의 인자 할당 방법은 가장 많이 나온 인자를 1 열에 할당하므로 중요 인자를 수준 값의 1 열이나 2 열에 할당하기 위해서는 열 변경이 필요하다. 개발된 시스템은 사용자로부터 중요인자를 입력 받아 할당된 열을 변경하여 직교배열의 1 열이나 2 열에 재할당한다.



(그림 5) 교호작용과 선점도의 Line 매칭

4.4.1 열의 변경 방법

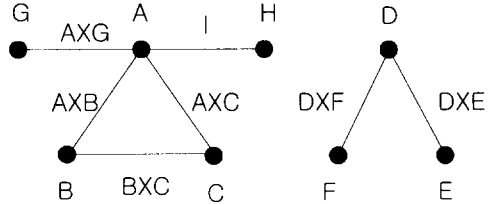
[그림 6]은 L₁₆ 표준선점도 중 type 3을 나타내며 (a), (b), 그리고 (c)는 열을 변경하는 세가지 subtype이 존재한다(Peace, 1993). Type 3는 (a)를 기준으로 인자를 할당을 시작한다.



[그림 6] L₁₆ 표준선점도의 Type 3의 세가지 Subtype

열의 변경의 예를 들면 [그림 7]같이 인자와 교호작용이 배치된 경우, [그림 6]의 subtype (a)에 사상을 시켜보면 A=1, H=12, E=5, AXB=3 등이 됨을 알 수 있다. 그런데 인자 E가 수준값을 변화시키기 어렵거나, 비용이 많이 든다면 5 열보다 더 왼쪽에 배치하거나 가능하면 1 열에 배치시키는 것이 좋다. [그림 6]의 (c)를 보면 인자 E를 1 열에 할당할 수 있으므로 (c)를 사용하여 열을 재할당 한다. 이를 시스템으로 구현하기 위해 [그림 6]을 [표 6]의 인자 할당 변경표로 변환하였다. [표 6]의 각각의 열은 type 3 선점도에 대하여 발생될 수 있는 subtype 5 종류의 그래프 상의 열 배치에 대한 것을 보여준다. 음영부분은 중요인자로 선택될 수 있는 1 열과 2 열을 표시한다. 사용자가 5 번 열을 1 열에

할당하고 싶다면 subtype 2 나 subtype 5를 사용하여 인자와 교호작용을 재할당한다. 인자의 재할당 과정은 다음과 같다.



[그림 7] 선점도에 인자와 교호인자가 배치된 예

● 인자의 재할당 과정

STEP 1 중요인자를 입력받는다.

STEP 2 인자 할당 선택표를 사용하여 중요인자에 가장 적은 열의 배치를 갖는 선택도를 선택한다.

STEP 3 선택된 선점도의 열의 배치로 인자를 재할당한다.

이로부터 도출된 L₁₆ type 3의 재할당 규칙은 다음과 같다.

● 규칙 획득

- [RT3_1] IF i_colm= 4 THEN type3_sub=3
- [RT3_2] IF i_colm= 5 THEN type3_sub=2
- [RT3_3] IF i_colm= 6 THEN type3_sub=3
- [RT3_4] IF i_colm= 8 THEN type3_sub=4
- [RT3_5] IF i_colm=12 THEN type3_sub=5

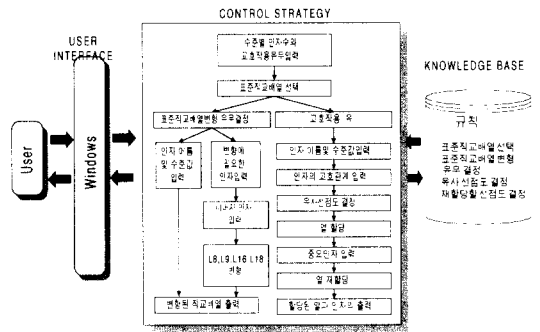
이 때, i_colm : 사용자가 선택한 중요인자의 열
 type3_sub : type3의 subtype 선점도 번호

각 type마다 인자 할당 변경표를 [표 6]과 같이 만들어 규칙을 구성하였다.

[표 6] Type3의 인자 할당 변경표

Type3의 subtype				
1(기본할당)	2	3	4	5
1	5	5	1	5
2	6	6	8	6
3	3	3	9	3
4	4	1	4	4
5	1	4	5	1
6	2	2	6	8
7	7	7	7	13
8	12	12	2	12
9	9	9	3	9
10	10	10	10	10
11	15	15	11	15
12	8	8	12	2
13	13	13	13	7
14	14	11	14	14
15	11	14	15	11

- 직교배열표 변형 유무 결정
- 인자와 교호인자에 열 자동 할당
- 중요인자 선택 및 할당 열 변경기능
- 유사 선점도 결정



(그림 8) 전문가시스템의 의사결정 흐름

5. 시스템 구현

5.1 시스템의 기능 및 구조

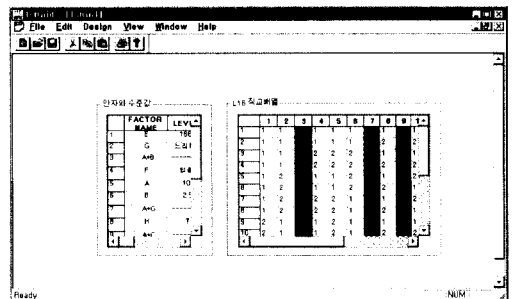
시스템은 [그림 8]과 같은 구조로 구성된다. 교호작용의 유무에 따라 흐름이 바뀌며, 교호작용이 없을 시는 표준직교배열의 변형 유무에 따라 흐름이 바뀐다. 입력은 수준별 인자 수 및 교호작용의 유무이며 단계별로 필요한 인자나 더미수준 등을 입력 받는다. 출력은 변형된 직교배열이나, 교호작용을 포함할 경우는 인자와 교호인자의 자동 할당된 직교배열이 출력된다. 다음은 시스템의 주요 기능이다.

- 수준별 인자수 및 교호작용 유무 입력
- 제어인자 이름 및 수준 값 입력
- 인자의 교호관계 입력. 표준직교배열 결정

5.2 시스템의 개발환경

본 시스템은 Windows95 환경에서 개발되었으며, 추론 부분은 전문가시스템 개발 도구인 Intelligent Rules Element 2.0으로, user interface는 Visual C++ 5.0으로 개발되었다.

[그림 9]는 교호작용을 포함한 경우의 결과출력 화면이다. [그림 9]에서 음영부분은 교호작용이 할당되어 직교배열의 열이 모두 0으로 할당됨을 보여준다.



(그림 9) 교호인자 할당 및 직교배열출력화면

6. 검토 및 결론

본 연구에서 개발한 전문가시스템 prototype은 L_8 , L_9 , L_{16} , L_{18} 을 범위로 직교배열의 선택 및 변형을 수행하며, 표준선점도를 이용한 L_8 과 L_{16} 표준직교배열의 2 인자 교호작용을 자동 할당하는 기능을 가지고 있다. 또한 중요한 인자를 사용자가 쉽게 선택하고 재할당하도록 시스템을 구축하였다. 개발된 시스템을 이용함으로써 비전문가도 표준직교배열의 변형이 가능해졌고, 2 인자 교호작용을 포함한 실험을 쉽게 계획할 수 있게 되었다.

추론전략은 규칙 기반 추론(RBR: Rule-Based Reasoning)을 역방향 추론(backward reasoning)방법으로 사용하였다. 본 연구에서 사용된 규칙은 약 80 개 정도이며 문헌에서 지식을 추출하였다.

개발된 시스템의 유사 선점도 선택과 교호작용의 할당 방법은, 입력된 교호작용을 선점도로 표현했을 때 이를 포함하는 표준선점도가 하나 이상 존재할 경우에만 처리가 가능하다. 본 prototype 시스템의 이 같은 한계는 향후 연구사항으로 극복될 예정이다.

참고 문헌

- 김호성 외 4인, *강건설계를 이용한 품질공학*, 민영사, 1992.
- 이인배, “다구찌 방법을 이용한 변수 및 허용차 설계 전산화에 관한 연구”, 인하대학교 석사학위논문, 1993.
- 이종훈, “다구찌 방법을 이용한 동적 변수 설계의 전산화에 관한 연구”, 인하대학교 석사학위논문, 1997.
- Lee, N. S., M. S. Phadke and R. S. Keny, “An Expert System for Experimental Design. Automation The Design of Orthogonal Array Experiments”, *ASQC Transactions of Annual Quality Congress. Minneapolis. Minnesota* (1987), 270-277.
- Lee, N. S., M. S. Phadke, and R. S. Keny, “An Expert System for Experimental Design in off-line control”, *Expert Systems*, Vol.6, No.4(1989), 234~249.
- Park, S. H., *Robust Design And Analysis for Quality Engineering*, Chapman & Hall, 1996.
- Peace, G. S., *Taguchi Methods: a hands-on approach*, Addison Wesley, 1993.
- Phadke, M. S., *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice-Hall, 1989.
- Ross, P. J., *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, 1989.
- Tsui, K.L., “Strategies for Planning Experiments using Orthogonal Arrays and Confounding Tables”, *Quality and Reliability Engineering International*, Vol.4(1988), 113~122.