

## 농업실험에서 임의화블록설계에 대한 대안

- 농촌진흥청 사례들을 중심으로 -

허 명 회 1), 한 원 식 2), 신 한 품 3)

### 요 약

“3반복 난괴법(임의화블록설계)”은 매년 농촌진흥청의 수많은 농업실험에 적용되고 있는 표준적인 실험설계법이다. 그러나 이 설계법이 농작물의 전통적인 포장재배시험에 있어서 현지의 여건에 잘 맞지 않는 사례와 급변하는 농업환경 하에서 무리하게 적용되는 사례가 다수 관측되고 있다. 본 연구보고는 이런 사례들을 지적하고 개선책을 제시하고자 한다.

### 1. 들어가며

우리나라 농촌진흥청(농진청)의 연구기관에서는 매해 수많은 농업관련 실험이 수행되고 있다. 1995년도 집계에 따르면 농진청 산하 30개 시험장, 연구소 및 도진홍원에서 행하여진 총 2,158 연구사례에서 53%인 1,137 사례에 통계적 실험설계가 적용된 것으로 드러났다(단구법 제외). 실험설계법이 적용된 사례들을 기법 별로 분류해 본 결과 임의화블록설계(randomized block design; 이하 농진청내에서 통용되는 용어인 난괴법으로 칭함)가 가장 많았고(602 사례, 53%), 다음이 완전임의화설계(completely randomized design)였으며(364 사례, 32%), 분할구배치법(134 사례, 12%), 기타(37사례, 3%) 등으로 나타났다.

난괴법이 가장 많이 쓰이게 된 주된 이유는 우리나라 농업기술이 역사적으로 벼 육종시험을 중심으로 발전하여 왔는데 이를 주관하는 작물시험장(수원 소재)에서 “3반복 난괴법”을 실험설계의 표준으로 하고 있기 때문인 것으로 생각된다. 또 다른 이유로는 농진청내 연구인력의 전공이 대부분 농학 분야이기 때문에 통계적 실험설계론을 심도있게 배울 기회가 없는 상황에서 비교적 구현하기 쉽고 분석하기에도 쉬운 난괴법에 의존하는 경향이 있다는 점을 들 수 있다.

문제는 “3반복 난괴법”이 너무 많이, 그리고 획일적으로 쓰인다는 것이다. 3반복 난괴법이 작물의 포장재배시험에서 현지의 여건에 잘 맞지 않을 수 있고 최근 급변하는 농업환경에서 필요로 하는 새로운 유형의 농업연구에서는 적절하지 못할 수도 있다. 이 연구보고는 그런 사례들을 지적하고 개선책을 제시하고자 한다.

- 1) 고려대학교 통계학과 교수. [136-701] 서울시 성북구 안암동 5가 1.
- 2) 농촌진흥청 통계분석담당관실 농업연구관. [441-707] 경기도 수원시 서둔동 250.
- 3) 고려대학교 통계학과 교수. [136-701] 서울시 성북구 안암동 5가 1.

\* 본 연구는 1995년도 농업특정연구과제 지원을 받아 수행되었습니다.

## 2. 하우스 실험의 사례

최근 농업에서 시설재배가 차지하는 위치가 중요해짐에 따라 농촌진흥청의 많은 재배실험이 하우스에서 행하여지고 있다. 하우스 실험은 야외 포장실험과는 실험 환경과 여건이 다르므로, 현재 농촌진흥청내 널리 쓰이고 있는 3반복 난괴법 실험이 부적절할 수 있다.

실제로 현장의 연구자들은 하우스 실험에서 하우스의 온·습도 등에서 하우스의 길이로 뿐만 하우스의 폭으로도 차이가 있을 수 있다고 느끼고 있다. 그러나 이것은 실제 실험자료를 통하여 검증되어야 할 필요가 있으며, 만약 그런 것이 사실이라면 이 점을 고려한 실험설계가 요구된다.

이에 본 사례에서는 1995년도 원예연구소에서 시행한 '수출유망 오이 고품질 재배기술' 연구 실험을 다루고, 이를 일반화하여 하우스 실험의 새 전형을 제시하고자 한다.

### 2.1 실험설계

고품질 오이 재배기술의 개발을 목적으로 하는 본 실험의 처리는 2개 요인의 조합으로 구성되어 있다. 요인 A는 공시배지이며 2개의 수준을 갖고 (수준 1=펠라이트, 2=펠라이트+훈탄), 요인 B는 배지량이며 4개의 수준을 갖는다 (수준 1= 5.0 l/주, 수준 2= 7.5 l/주, 수준 3=10.0 l/주, 수준 4=15.0 l/주). 측정변수는 경경(Y1), 엽장(Y2), 엽폭(Y3), 엽수(Y4) 등이며 처리배치도는 <그림 1>과 같다

	1열	2열	3열	4열
1반복	A1·B1	A1·B2	A1·B3	A1·B4
	A2·B1	A2·B2	A2·B3	A2·B4
2반복	A1·B3	A1·B4	A1·B2	A1·B1
	A2·B3	A2·B4	A2·B2	A2·B1
3반복	A1·B2	A1·B1	A1·B4	A1·B3
	A2·B2	A2·B1	A2·B4	A2·B3

<그림 1> 하우스내 처리배치도

## 2.2 자료분석

변수 Y1, Y2, Y3, Y4 각각에 대한 통계모형으로 다음을 생각하기로 하겠다.

$$\text{모형 1: } Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}, \quad \varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma_1^2)$$

$$\text{모형 2: } Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \rho_l + \varepsilon_{ijkl}, \quad \varepsilon_{ijkl} \sim N(0, \sigma_2^2)$$

여기서 A의 수준  $i = 1, 2$ , B의 수준  $j = 1, 2, 3, 4$ , 반복의 수준  $k = 1, 2, 3$ , 열의 수준  $l = 1, 2, 3, 4$ . 모형 1은 반응을 요인 A와 B, 그리고 반복(행)으로 모형화한 것으로 열은 고려에서 제외되고 있고 반면 모형 2는 반응을 요인 A와 B, 그리고 반복(행)과 열로 모형화한 것으로 불균형 분산분석이 초래된다. 분석결과는 <표 1>과 같다.

결과를 해석하여 보면

- ① 모든 변수에 있어서 반복(행)의 범위보다 열의 범위가 더 크게 나오고 있다. 따라서 열의 범위의 블록화를 행에 뿐만 아니라 열에도 두는 것이 바람직할 것이다.
- ② 특히 일부 변수(Y1, Y4)에 있어서는 열에 대한 F-비가 1.40, 1.34 정도로 나오기 때문에 열로 블록화를 하는 경우 실험의 효율성을 기대할 수 있다.
- ③ 현재와 같은 처리배치하에서는 열과 요인 B가 직교하고 있지 않아 해석상의 어려움이 있다고 하겠다.

## 2.3 재설계와 분석

사례분석에서 드러난 사실은 하우스 실험에서는 하우스의 폭(행) 방향과 길이(열) 방향이 모두 중요하다는 것이다. 이와 같은 경우에 적절한 실험설계법은 라틴방격설계(Latin square design)로 한 행과 열에 같은 처리(B1, B2, B3, B4)가 2회 이상 나타나지 않는 일종의 직교배열 방법일 것이다. 라틴방격설계에는 행과 열의 수를 처리 수와 맞추어야 한다는 제한이 따른다.

이 사례의 실험과 같이 다른 요인에 2개 수준(A1, A2)이 있는 경우, 라틴 방격의 각 칸에 처리 B의 각 수준을 배치한 후 이를 상하(또는 좌우) 방향의 2개로 쪼개어 처리 A의 2개 수준을 임의할당하는 방식이 가장 바람직하다 (재설계안 1). <그림 2> 참조.

그러나 이것이 실험의 수행상 실제로 불가능한 것이라면 라틴 방격의 각 칸을 상하(또는 좌우) 방향의 2개로 쪼개어 어느 한 쪽에 A1을 할당하고 다른 한 쪽에 A2를 체계적으로 할당하되 (재설계안 2), 요인 A의 수준별 효과 차이를 행(또는 열)간 경향과 혼동되지 않도록 일반선형모형분석을 통하여 보정해내야 한다.

다른 한 대안은 라틴 방격의 각 칸을 상하(또는 좌우) 방향의 2개로 쪼개어 어느 한 쪽에 A1을 할당하고 다른 한 쪽에 A2를 체계적으로 교대로 할당하는 샌드위치 배열법을 활용하는 것이다(재설계안 3). 이 경우 요인 A의 수준별 효과 차이가 행(또는 열)간 선형적 경향과 혼동되지 않는다는 이점이 있다.

한 익명의 심사자가 지적한대로 유덴방격(Youden square)을 사용하면 실험의 크기를 늘리지 않고도 실험 설계 및 분석이 가능하기도 하다 (한원식, 1990, p.23). 그러나 일종의 균형불완비블록설계가 되기 때문에, 농진청내에서 실현되기 위해서는 개별사례별로 통계전문가의 개입이 필요할 것이다.

<표 1> 하우스 실험자료의 분석

① 모형 1에 의한 분석결과

변수 Y1 : 경경			변수 Y2 : 엽장			변수 Y3 : 엽폭			변수 Y4 : 엽수		
요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )
A 1	-0.298	8.24*	A 1	-0.858	22.52**	A 1	-1.067	35.21**	A 1	-0.592	0.49
2	0.000	(0.298)	2	0.000	(0.858)	2	0.000	(1.067)	2	0.000	(0.592)
B 1	-0.437	3.97*	B 1	-1.067	6.49**	B 1	-1.083	7.10**	B 1	-7.250	14.85**
2	-0.402	(0.437)	2	-0.767	(1.067)	2	-0.883	(1.083)	2	-3.900	(7.250)
3	-0.158		3	-0.817		3	-0.883		3	-1.067	
4	0.000		4	0.000		4	0.000		4	0.000	
반 1	-0.186	1.07	반 1	0.063	0.10	반 1	0.213	0.47	반 1	1.038	1.19
복 2	-0.094	(0.186)	복 2	0.100	(0.100)	복 2	0.113	(0.213)	복 2	1.563	(1.563)
3	0.000		3	0.000		3	0.000		3	0.000	
Root MSE 0.255			Root MSE 0.443			Root MSE 0.440			Root MSE 2.063		

a : 각 요인에서 최대 수량치와 최소 수량치의 차이를 뜻함.

② 모형 2에 의한 분석결과

변수 Y1 : 경경			변수 Y2 : 엽장			변수 Y3 : 엽폭			변수 Y4 : 엽수		
요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )	요인	수량치	F (범위 <sup>a</sup> )
A 1	-0.298	8.82*	A 1	-0.858	19.30**	A 1	-1.067	30.56**	A 1	-0.592	0.52
2	0.000	(0.298)	2	0.000	(0.858)	2	0.000	(1.067)	2	0.000	(0.592)
B 1	-0.368	3.02	B 1	-1.069	4.78*	B 1	-1.163	6.24**	B 1	-6.431	11.46**
2	-0.402	(0.402)	2	-0.713	(1.069)	2	-0.944	(1.163)	2	-3.488	(6.431)
3	-0.188		3	-0.769		3	-0.869		3	-0.681	
4	0.000		4	0.000		4	0.000		4	0.000	
반 1	-0.186	1.15	반 1	0.063	0.09	반 1	0.213	0.40	반 1	1.038	1.26
복 2	-0.094	(0.186)	복 2	0.100	(0.100)	복 2	0.113	(0.213)	복 2	1.563	(1.563)
3	0.000		3	0.000		3	0.000		3	0.000	
열 1	0.001	1.40	열 1	-0.163	0.19	열 1	0.181	0.25	열 1	-1.238	1.34
2	-0.089	(0.297)	2	-0.019	(0.169)	2	0.075	(0.237)	2	-0.081	(2.457)
3	0.208		3	-0.169		3	-0.056		3	1.219	
4	0.000		4	0.000		4	0.000		4	0.000	
Root MSE 0.246			Root MSE 0.479			Root MSE 0.473			Root MSE 2.004		

\* 불균형 분산분석의 제3종 제곱합에 근거한 결과임.

a : 각 요인에서 최대 수량치와 최소 수량치의 차이를 뜻함.

① 재설계안 1

	1열	2열	3열	4열
1반복	A1·B1	A1·B2	A2·B3	A1·B4
	A2·B1	A2·B2	A1·B3	A2·B4
2반복	A2·B3	A1·B4	A1·B2	A2·B1
	A1·B3	A2·B4	A2·B2	A1·B1
3반복	A1·B2	A1·B1	A2·B4	A2·B3
	A2·B2	A2·B1	A1·B4	A1·B3
4반복	A1·B4	A2·B3	A1·B1	A1·B2
	A2·B4	A1·B3	A2·B1	A2·B2

② 재설계안 2

	1열	2열	3열	4열
1반복	A1·B1	A1·B2	A1·B3	A1·B4
	A2·B1	A2·B2	A2·B3	A2·B4
2반복	A1·B3	A1·B4	A1·B2	A1·B1
	A2·B3	A2·B4	A2·B2	A2·B1
3반복	A1·B2	A1·B1	A1·B4	A1·B3
	A2·B2	A2·B1	A2·B4	A2·B3
4반복	A1·B4	A1·B3	A1·B1	A1·B2
	A2·B4	A2·B3	A2·B1	A2·B2

③ 재설계안 3

	1열	2열	3열	4열
1반복	A1·B1	A1·B2	A1·B3	A1·B4
	A2·B1	A2·B2	A2·B3	A2·B4
2반복	A2·B3	A2·B4	A2·B2	A2·B1
	A1·B3	A1·B4	A1·B2	A1·B1
3반복	A1·B2	A1·B1	A1·B4	A1·B3
	A2·B2	A2·B1	A2·B4	A2·B3
4반복	A2·B4	A2·B3	A2·B1	A2·B2
	A1·B4	A1·B3	A1·B1	A1·B2

④ 재설계안 4

	1열	2열	3열	4열
1반복	A1·B1	A2·B2	A2·B3	A1·B4
2반복	A2·B3	A1·B4	A1·B2	A2·B1
3반복	A1·B2	A2·B1	A2·B4	A1·B3
4반복	A2·B4	A1·B3	A1·B1	A2·B2

<그림 2> 하우스 실험의 재설계안

라틴방격법의 한 변형으로 그레코-라틴 방격법(Graeco-Latin square design)이 있는데 이 방법은 요인 A와 요인 B가 같은 수준 수를 갖는 경우에 적용가능하다. 예컨대 요인 A와 요인 B가 모두 4수준일 때 요인 B의 수준에 따라 라틴방격설계를 하고 방격의 각 칸을 4등분하여 요인 A의 4수준을 모두 수용한다면 필요한 총 시험구 수는 모두  $4 \times 4 \times 4 = 64$ 개가 될 것이다. 그러나 직교하는 2개의 라틴 방격을 포개여  $4 \times 4 = 16$ 개의 시험구 만으로 2요인 실험이 가능하다. 이러한 부분실시를 요인 A의 수준 수가 2인 경우에 적용하여 16개의 시험구만으로 실험을 설계할 수도 있다(재설계안 4). 재설계안 4에 의하면 각 행과 각 열이 A1과 A2를 2회씩 수용하고 있으며, 동시에 방격을 구성하는 B1, B2, B3, B4가 각각 A1과 A2를 2회씩 균형되게 만나고 있다. 이러한 부분실시는 하우스내 공간이 절대적으로 부족하나 실험에서의 요인 수를 축소시키고 싶지 않은 경우 유용할 것이다.

### 3. 벼 지역적용시험의 사례

농촌진흥청의 각종 실험 중에서 가장 오랜 역사를 갖고 있는 논 실험은 농진청내 거의 모든 농업실험에 표준적 전형을 제시해주는 대표적 농작물시험이다. 그러나 오랜 기간에 걸쳐 실험 환경과 여건이 변화하였음에도 불구하고 관습적으로 동일 설계를 사용함으로써 실험의 효율성이 떨어지고 있으며 자료해석에 있어서도 오류를 범할 가능성이 높아지고 있다. 따라서 논 실험의 재설계를 제안하고 분석방법도 아울러 제시하고자 한다.

#### 3.1 실험설계의 문제점

벼 생산력 검정 등 대부분의 논 실험(畝試驗)은 3반복 난괴법으로 설계되고 있다. 이 때 반복을 의미하는 블록(block)은 한 필지의 시험답으로 하는 것이 원칙인데 그 이유는 동일 필지내 시험구(plot)들이 지력 등 농작물 생육조건에서 유사하기 때문이다. 한 예로 14개 품종의 벼를 서로 비교하고자 하는 경우, <그림 3>의 ①과 같이 세 필지의 논이 필요하고, 각 필지를 14개 구획으로 분할하여 시험구로 하며, 품종의 시험구배치는 필지내에서 임의화(randomization)에 의하여야 한다.

현실적으로 농진청내 시험포장들이 이처럼 정형화되어 있지 않은 예가 많은데, 그 대표적인 유형은 시험에 쓸 수 있는 논이 두 필지 뿐인 경우이다. 이런 상황에서 3반복을 하기 위하여 <그림 3>의 ②처럼 1개 필지를 21개 구획으로 나누어 총 42개 시험구를 만드는 과정에서 불가피하게 2번째 반복이 두 필지에 나뉘게 되는 문제점이 생긴다. 또한 2필지 시험인 경우에도 시험자료의 분석에 쓰는 통계적 기법은 통상적인 3반복 난괴법에 적용되는 분산분석을 적용함으로써 분석모형의 타당성에 의문이 제기된다.

이런 현실인식 하에 <그림 3>의 ②와 같은 2필지 논에 타당한 실험설계법과 분석모형을 개발하기로 한다. 이를 위하여 1995년도 작물시험장(수원소재)에서 시행한 벼 양질육성 계통생산력검정 연구를 사례분석해보기로 하겠다.

이 연구사례에서 비교요인인 벼 품종은 총 14종으로 조생종이 5종(=1,2,3,4,5)이며 중만생이 9종(=6,7,8,9,10,11,12,13,14)이다. 이 중에서 표준품종은 화성벼(13)이다. <그림 4>의 ①과 같이 포장은 비료수준에 따라 보비구(=1)와 다비구(=2)로 구성되어 있다. 그러나 1995년도의 실제 배치

도인 <그림 4>의 ②는 표준배치도인 ①과 처리배치에 있어 차이가 있는데, 약간의 착오가 있었던 때문으로 생각된다. 이 실험에서는 백미수량이 주된 측정변수이다.

### 3.2 자료분석

백미수량을 반응변수로 분산분석을 하되 세 모형을 상정하기로 하겠다. 결과는 <표 2>에 정리되어 있다.

- 1) 보비구·다비구에서 반복을 블록으로 간주하는 경우: 이 경우는, 블록의 F비가 1보다 작게 나와서 블록화 기준의 설정이 효과적이지 않았음을 알 수 있다.
- 2) 보비구·다비구에서 가로열과 그 위치를 요인으로 간주하는 경우: 열내 위치의 F비가 1보다 작게 나오나 가로열의 F비는 3.23으로 유의한 것으로 나타났다. 따라서 가로열간 생산력의 차이가 있다고 할 수 있으므로 가로열을 블록요인으로 설정함으로써 실계를 보다 효율적으로 만들 수 있다 (오차요인에 대한 MSE로 앞의 분석결과와 비교하여 5% 만큼 더 효율적임).
- 3) 보비구·다비구에서 가로열만 요인으로 간주하는 경우: 오차요인에 대한 MSE로 첫 분석결과와 비교하여 18% 더 효율적이다. 이는 총 플롯수 84개를 기준으로 할 때, 15개 플롯을 추가하는 효과이다. 따라서 논 실험의 경우, 가로열(필지)간 차이가 중요하고 가로열내 위치는 동등한 것으로 생각된다. 그러므로 가로열을 블록요인으로 하는 실험 배치가 바람직하다고 하겠다.

### 3.3 재설계와 분석

다음과 같은 재설계안을 생각할 수 있을 것이다. <그림 5>를 참조하라.

- 1) 재설계안 1: 현행 실험크기(품종 14종, 3반복)를 유지하는 실험배치로서 한 필지에 모두 21개 품종(14개 품종 최소한 1회 포함)의 배치를 완전히 임의화하는 것이다. 이 경우 블록(열)내 처리별 반복수가 동일하지 않으므로 불균형(unbalanced) 분산분석이 초래되는 문제점이 생긴다.
- 2) 재설계안 2: 현행 실험의 품종수를 유지하되 반복수를 3에서 2로 줄이면 균형된 실험배치가 가능하다. 즉 2반복 난괴법 실험이 되므로 분산분석이 간단하게 되지만 실험축소가 결과된다.
- 3) 재설계안 3: 필지(가로열)내 반복수를 표준품종인 경우 여러번, 그 밖의 비교품종인 경우 1회 실시하는 방안이다. 예컨대 표준품종이 하나인 경우 그것을 필지내에서 8회 반복하고 비교품종 13종을 각각 1회씩 반복함으로써 현행 시험구의 수를 유지한다. 표준품종이 둘인 경우 표준품종에 대하여는 필지내에서 각각 4회 반복하고 비교품종 12종을 1회 반복한다. 그리고 표준품종이 셋이고 비교품종이 11종인 경우에는 각각을 필지내에서 3회, 1회씩 반복한다.

표준품종에 대하여는 비교품종에 비하여 반복수를 비교품종의 수  $k$ 의 제곱근배하는 것이 최적임이 잘 알려져 있다(Zar, 1984). 즉  $k=12,13$ 인 경우 3,4배 정도로 표준품종에 대한 반복수를 늘리는 것이 바람직하다. 결과로서 3반복 난괴법 실험에서 표준품종과 비교품종간의 평균 차에 대한 평균제곱오차(mean squared error)는

$$\sigma^2 (1/3 + 1/3), \text{ 즉 } 0.667 \sigma^2$$

이지만, 이 재설계안에 따르면 평균제곱오차가

표준 2품종을 4회씩 반복:  $\sigma^2 (1/8 + 1/2)$ , 즉  $0.625 \sigma^2$

표준 3품종을 3회씩 반복:  $\sigma^2 (1/6 + 1/2)$ , 즉  $0.667 \sigma^2$

으로 작거나 마찬가지로이므로, 2필지 실험에서는 오히려 개선효과가 기대되는 동시에 균형적인 분산분석이 가능하므로 자료분석과 해석이 명료해진다.

여기서 표준품종의 범주에 현재 농가 보급중인 품종뿐만 아니라 공시품종 중 전년도 시험에서 성적이 우수하였던 품종까지 포함하는 것으로 하는 것이 비 지역적응시험의 개념에 맞는다. 그래서 전체 품종수의 반수 정도인 6,7개 정도를 표준품종으로 고려해야 한다면 이들 표준품종에 대하여는 반복수를 필지내에서 2회로 하고 나머지 비교품종에 대하여는 반복수를 1회로 하는 방안이 고려될 수 있을 것이다.

① 3 필지의 시험 논

필지 I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
필지 II	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
필지 III	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

② 2 필지의 시험 논

필지 I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
필지 II	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

<그림 3> 답작시험 배치도



① 표준 배치도 (시험구내 숫자는 품종번호)

중만생종											조생종									
11	06	07	08	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	03	01	05	04	03	02	01
12	10	09	13	09	07	08	06	14	10	13	12	14	11	02	04	01	03	02	05	04
보비구																				
11	06	07	08	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	03	01	05	04	03	02	01
12	10	09	13	09	07	08	06	14	10	13	12	14	11	02	04	01	03	02	05	04
다비구																				

② 실제 배치도 (시험구내 숫자는 품종번호)

중만생종											조생종									
11	06	07	08	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	03	01	05	04	03	02	01
12	10	09	06	09	07	13	10	13	08	14	12	14	11	02	01	04	03	02	05	04
보비구																				
11	06	07	08	14	13	12	11	10	09	08	07	06	05	03	01	05	04	03	02	01
12	10	09	06	09	07	13	10	13	08	14	12	14	11	02	01	04	03	02	05	04
다비구																				

<그림 4> 벼 지역적응 시험의 설계

<표 2> 벼 지역적응시험 자료의 분석

① 보비구·다비구에서 반복을 블록으로 간주하는 경우

요인 모형	자유도	제곱합(제3종)	평균제곱	F 비	p 값
비료수준	1	38.6786	38.6786	0.05	0.8211
블록(비료수준)	4	741.2381	185.3095	0.25	0.9106
품종	13	116246.2024	8942.0156	11.91	0.0001
오차	65	48792.5833	750.6551		
전체	83	165818.7024			

② 보비구·다비구에서 가로열과 그 위치를 요인으로 간주하는 경우

요인 모형	자유도	제곱합(제3종)	평균제곱	F 비	p 값
비료수준	1	38.6786	38.6786	0.05	0.8188
가로열(비료수준)	2	4700.4636	2350.2318	3.23	0.0487
위치(가로열)	20	9227.7565	461.3878	0.63	0.8664
품종	13	78731.8756	6056.2981	8.31	0.0001
오차	47	34240.5054	728.5213		
전체	83	165818.7024			

③ 보비구·다비구에서 가로열만 요인으로 간주하는 경우

요인 모형	자유도	제곱합(제3종)	평균제곱	F 비	p 값
비료수준	1	38.6786	38.6786	0.06	0.8078
가로열(비료수준)	2	6065.5595	3032.7798	4.67	0.0126
품종	13	110901.0714	8530.8516	13.15	0.0001
오차	67	43468.2619	648.7800		
전체	83	165818.7024			

#### 4. 결론을 대신하여

농업관련연구가 종래의 포장실험에서 실내실험으로 옮겨가고 있고 작물 위주에서 축산, 가공 등 영역이 매우 다양해지고 있다. 따라서 난과법, 완전임의설계, 분할구배치법과 같은 종래의 농업실험설계로 대응하기에는 적절하지 못한 경우들이 빈번히 발생하고 있으며 더욱이 농업의 기계화에 따라 반복을 들 수 없는 경우 등도 현실적 문제로 떠올라 있는 상황이다. 이에 대한 해결책으로 농업연구인력의 재교육도 필요하겠지만 농업실험에 대한 통계학계의 관심과 연구가 더욱 절실하다는 생각이다. 농업연구에 관한 통계적 방법론에 대하여는 Gomez and Gomez (1984)를, 본 사례의 배경이 된 농촌진흥청의 작물시험소 및 원예시험소의 실험연구에 대하여는 농촌진흥청의 연구보고서 (1995a,b)를 보기 바란다.

① 재설계안 1 (시험구내 숫자는 품종번호)<sup>a</sup>

필지 I	14	9	5	10	7	5	12	8	1	3	11	13	7	2	8	4	11	10	4	6	1
필지 II	5	8	7	9	2	3	10	12	9	4	13	6	1	2	14	3	14	13	6	12	11

<sup>a</sup> 필지 I에 품종 1,4,5,7,8,10,11이, 필지 II에 품종 2,3,6,9,12,13,14이 2번 반복되었음.

② 재설계안 2 (시험구내 숫자는 품종번호)

필지 I	14	9	7	5	12	8	3	13	2	11	10	4	6	1
필지 II	5	8	7	9	3	10	12	4	6	1	2	14	13	11

③ 재설계안 3 (시험구내 숫자는 품종번호; 1,2,3이 표준품종인 경우)

필지 I	14	9	2	3	7	5	8	1	3	1	12	3	2	13	2	11	10	4	6	1	*
필지 II	5	8	7	9	1	3	10	12	4	2	6	1	2	3	2	14	3	1	13	11	*

\* 무처리

<그림 5> 벼 적응시험의 재설계안

## 참 고 문 헌

- [1] Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984) *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd Edition. Wiley, New York.
- [2] Zar, J.H. (1984) *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, NJ: Englewood Cliffs. p.195.
- [3] 작물시험연구소 (1995a) 「작물시험연구보고서」 농촌진흥청.
- [4] 원예시험연구소 (1995b) 「원예시험연구보고서」 농촌진흥청.
- [5] 한원식 (1990) 「농업과 생물학 연구를 위한 통계적 방법」 서울: 자유아카데미.

## Alternatives to the Randomized Block Design for Agricultural Experiments in Korea

Huh, Myung-Hoe <sup>4)</sup>, Hahn, Weon-Sik <sup>5)</sup>, and Shin, Han-Poong <sup>6)</sup>

### Abstract

Randomized block design (RBD) with three replications is very frequently adopted in agricultural experiments of the Rural Development Administration of Korea. Even though it works well in field trials of traditional crops, it may not accommodate trial site conditions and/or experimental environment. In this research report, we deal with two such cases.

The first case is for a crop experiment in green houses. In house conditions, RBD may not be appropriate since it cannot reflect two directions of the yield gradient. So, a Latin square design is suggested as an alternative.

The second case is for local field experiments of the newly-inbred rice. RBD with three replications is used without doubt for decades, even though the site layout is not appropriately shaped for the design. In this case, we suggest the RBD in two blocks with multiple replicates for control varieties as an alternative.

To improve the quality of statistical experimental designs in over one-thousand agricultural trials performed annually in the Rural Development Administration, we need to re-train agricultural researchers on the design and analysis of experiments and call for concerns of Korean statisticians.

---

4) Professor, Department of Statistics, Korea University. Anam-dong 5-1, Seoul 136-701, Korea.

5) Senior Researcher, Division of Statistical Analysis, Rural Development Administration (of Korea). Seodoon-dong 250, Suwon 441-707, Korea.

6) Professor, Department of Statistics, Korea University. Anam-dong 5-1, Seoul 136-701, Korea.