The Korean Communications
in Statistics Vol. 9, No. 1, 2002
pp. 53-61

Block Designs for Diallel Crosses with Different Group Characteristics

Seo Young Kim[1)], Jong Sung Bae[2)], Wean Sik Han[3)]

Abstract

In this paper we proposed the method of the block designs for diallel crosses when inbred lines are divided into two groups. These block designs are derived by using kornecker product designs with two balanced incomplete block designs, and their efficiency factor evaluated. A table of diallel crosses for up to $p_1 \le 15$ lines, $p_2 \le 15$ lines in each set is also provided.

1. 서론

이면교배(diallel cross)는 주로 식물의 육종실험(breeding experiments)에서 자식계통(inbred line)의 유전적인 성질을 연구하기 위해 사용되는 짝짓기 계획(mating design)이다. 여기서 계통(line)이란 동일한 혈통을 갖는 생물학적 집단을 일컫는 말로, 품종으로 육성하기 전에 교배에 사용되는 기본 특성치 계통을 말한다. 이면교배는 식물육종에서도 자식성식물에 주로 사용되는 방법으로 현재 우리나라에서는 벼, 보리, 밀, 담배와 같은 자식성식물의 육종에 이면교배가 주로 사용되고 있다. 교배를 시작하여 새로운 품종이 나오는 것은 최소한 10여 년 후의 일이 되기 때문에 육종가는 지역적 · 환경적 또는 소비자의 기호등을 고려하여 품종에 대한 미래의 경향을 예견하여야 할 것이다. 특히, 작물의 유전자 변이는 환경적 변이에 영향을 받기 때문에 토양의 특성이나 기후변화와 같은 환경적 요인을 고려함으로써 유전자 변이에 대한 정보를 보다 정확하게 파악해야 할 것이다. 그런데 대부분의 실험이 시간적 · 경제적인 제약으로, 한 지역에 국한되거나 온실에 한정되어 행해지기 때문에 이러한 환경 요인을 고려하지 못하는 경우가 많다. 일반적으로 각 계통의 원천적인 유전자 정보를 파악하기 위해서는 실험 환경을 확대하는 것이 유리하다고 한다(안장순 등, 2001). 환경요인을 고려하여 실험지역을 확대할 경우, 이에 적용되는 실험디자인의 블록 수라든가 블록 크기가 상당히 커지게 되는 경우가 많다. 따라서 이런 경우에 적용 가능한 체계적이고 다양한 블록디자인 설계방법이 요구된다.

서로 다른 유전적인 특징을 갖는 p 개의 자식계통에서 i번 자식계통과 j번 자식계통의 교배를

---

1) (500-757) Lecturer, Dept of Statistics, Chonnam National University, Kwangju, Korea
E-mail : gong@chonnam.chonnam.ac.kr
2) (500-757) Professor, Information and Telecommunication Research Institute, Dept of Statistics, Chonnam National University, Kwangju, Korea
E-mail : jsbae@chonnam.chonnam.ac.kr
3) (441-707) Farm Management Officer, Seodun-dong Gwonseon-gu Suwon Gyeonggi-do, Korea
E-mail : hahnws@rda.go.kr

$(i \times j)$, $i, j=1, 2, \cdots, p$로 나타내고, 실험에서 사용되는 교배의 수를 n이라 하자. Griffing(1956)은 사용 가능한 교배의 종류에 따라 $n=p^2$, $n=p(p+1)/2$, $n=p(p-1)$, $n=p(p-1)/2$ 일 경우 각각 타입 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ라 하였다. Griffing의 타입 Ⅳ를 완전이면교배(Complete Diallel Cross : CDC)라 한다. 완전이면교배에서 p가 커지면 교배의 수가 급격히 증가하여 실제로 실험하기 힘든 경우가 발생한다. 이런 경우에는 완전이면교배에서 일부분의 교배($n=ps/2$, $s < p-1$, s는 각 자식계통이 다른 계통과 만나는 횟수)만을 사용하는 부분이면교배(Partial Diallel Cross)를 이용한다. 이면교배에 관한 연구는 이면교배 설계 및 분석에 관한 연구와 블럭 이면교배 디자인의 최적성에 관한 연구로 나누어 볼 수 있다. 이면교배의 설계 및 분석에 관한 연구에는 Kempthorne 과 Curnow(1961), Hinkelmann 과 Kempthorne(1963), Singh 과 Hinkelmann(1990), Bae 와 Kim(1999), Bae(2000), Kim, Bae 와 Kim(2001)등이 있다. 완전 이면교배의 최적에 관한 연구에는 Gupta 와 Kageyama(1994), Dey 와 Midha(1996), Das, Dey와 Dean(1998)이 있고, 부분이면교배의 최적에 관한 연구에는 Singh 과 Hinkelman(1995), Gupta, Das 와 Kageyama(1995), Murkerjee(1998)등이 있다. 특히, Kim 등(2001)은 지금까지의 이면교배에 관한 연구에서 다루어 왔던 p개의 자식계통이 하나의 집단에 속한다고 간주하여 $p(p-1)/2$개의 모든 교배를 실험 대상으로 하는 교배방법과는 달리, 자식계통이 두 집단으로 분리된 경우에 대해서 Kempthorne의 요인 실험설계 방법을 이용하여 이면교배의 블록디자인 설계에 대한 새로 방법을 제안하고, 이에 대한 효율인자를 계산하는 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 Kim 등(2001)과 마찬가지로 p개의 자식계통이 두 집단으로 분리되어 같은 집단에 속하는 자식계통끼리는 교배를 하지 않고, 서로 다른 집단에 포함된 자식계통간에만 교배를 하는 블록디자인 설계 방법을 제안한다. 이러한 교배 방법은 시험의 목적상 필요한 방법이기도 하지만 보다 더 유용하게 사용될 수 있는 것은 완전이면교배에 비해 교배수가 훨씬 더 적어진다는 것이다. 예를들어 한 집단에는 4개의 자식계통을 포함하고, 다른 집단에는 3개의 계통을 포함하는 경우, 총 필요한 계통의 수는 7이다. 이때 완전이면교배를 이용하여 실험을 한다면 총 교배의 수는 42가 되지만, 제안된 방법을 이용하면 총 교배수는 12(4 ×3)가 된다. 따라서 완전이면교배에 비해 보다 적은 노력으로 연구자가 원하는 정보를 얻을 수 있게 된다. 또한 이러한 방법을 적용하는 과정에서 특히, 콩류에 속한 계통들간의 교배실험의 경우에는 일반적으로 여러형질 중 출수기가 다르기 때문에 동일한 환경에서 자식계통을 교배하기가 어렵다고 한다. 따라서 이처럼 출수기가 다양한 형태로 나타나는 경우에는 적절한 블록킹 방법을 적용함으로써 실험의 정도를 높일 수 있을 것이다. 2절에서는 이처럼 자식계통이 두 개 집단으로 나누어지는 교배실험에서 적용 가능한 블록디자인 중 하나로 두 BIBD(Balanced Incomplete Block Design : BIBD)의 교차곱 디자인을 이용한 블록디자인 설계방법을 제안하고, 3절에서는 Kim 등(2001)의 방법을 이용하여 제안된 디자인에 대한 평균효율인자를 계산하는 방법을 보이고, 4절에서 예제와 계산된 효율인자를 표로 제시한다.

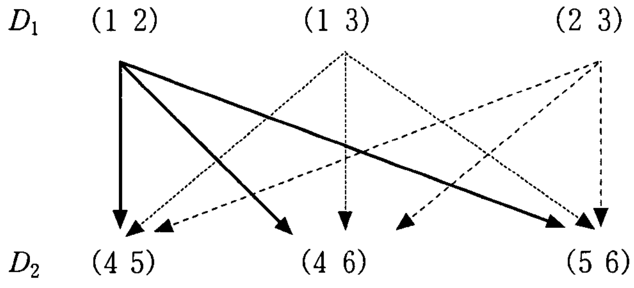
2. 블록디자인 설계방법

본 절에서는 두 BIBD의 교차곱 디자인을 이용하여 이면교배의 블럭디자인을 설계하는 방법을 설명한다.

(정의) 만일 N_1이 디자인 D_1의 빈도행렬이고, N_2가 디자인 D_2의 빈도행렬이라면, $N_1 \otimes N_2$ 를 빈도행렬로 갖는 디자인을 D_1과 D_2의 교차곱 디자인이라 부른다. 이때 $\otimes$는 행렬의 교차곱을 의미한다(Vartak, 1955).

D_i 를 처리 수 v_i, 블록 수 b_i, 블록 크기 k_i, 처리의 반복 수 r_i ($i=1,2$)를 갖는 디자인이라 하자. D_i 들에 의한 교차곱 디자인은 처리 수 $v_1 v_2$, 블록 수 $b_1 b_2$를 갖는다. 이때 교차곱 디자인의 처리는 (α, β)와 같이 순서쌍으로 나타나고, α는 디자인 D_1에 포함되고, β는 디자인 D_2 에 포함되는 처리이다. 두 BIBD를 $D_1(v_1, b_1, r_1, k_1, \lambda_1)$과 $D_2(v_2, b_2, r_2, k_2, \lambda_2)$, $k_2 = r_2$ 라 하고, 두 BIBD의 교차곱 디자인에 나타나는 처리 쌍 (α, β)를 교배 ($\alpha \times \beta$)로 간주하자. 이때 D_1에서 v_1개의 처리를 $1, 2, \cdots, v_1$, D_2에서 v_2개의 처리를 $v_1+1, v_1+2, \cdots, v_1+v_2$ 라 표기한다. 두 계통집단 중에서 첫 번째 집단의 자식계통의 수를 $p_1 = v_1$라 하고, 두 번째 집단의 자식계통의 수를 $p_2 = v_2$라 하면 자식계통의 수는 $p = p_1 + p_2$이다. 교차곱 디자인은 자식계통의 수, 블록 수, 교배의 반복 수, 블록 크기가 각각 p, $B = b_1 b_2, R = r_1 r_2, K = k_1 k_2$ 인 이면교배의 블록디자인 $D(p, B = b_1 b_2, R = r_1 r_2, K = k_1 k_2)$를 구성한다. 참고로 D_1과 D_2의 교차곱 디자인인 D의 빈도행렬이 (정의)에서 언급한 것처럼 $N_1 \otimes N_2$이 되지는 않는다. 왜냐하면, D_1의 처리를 $1, 2, \cdots, v_1$, D_2의 처리를 $v_1+1, v_1+2, \cdots, v_1+v_2$ 으로 표기하기 때문이다. 따라서 본 논문의 목적이 두 BIBD의 교차곱 디자인을 설계하자는 것이 아니라, 단지 교배를 블록에 배치하는데 있어서 교차곱의 방법을 이용하자는데 있음을 미리 언급해 둔다.

(예제) 두 BIBD, $D_1(3,3,2,2,1)$과 $D_2(3,3,2,2,1)$의 배치가 각각 D_1 : (1 2), (1 3), (2 3), D_2 : (4 5), (4 6), (5 6)이라 하자. 이 두 디자인을 이용하여 [그림1]과 같은 방법으로 D_1과 D_2의 교차곱을 만들면, D_1, D_2 의 블록 크기가 $k_1 = 2, k_2 = 2$이므로, 하나의 화살표에 대해서 2× 2=4개의 교배가 만들어진다. 이때 하나의 화살표는 4개의 교배를 포함한 하나의 블록을 구성한다.



[그림 1]. 각 블록에 교배 배치방법

따라서 D_1, D_2의 교차곱 디자인에 의해 고안된 이면교배, $D(6,9,4,4)$는 [표 1]과 같다.

[표 1]. 이면교배의 블록디자인

블록	처 리			
B1	1×4	1×5	2×4	2×5·
B2	1×4	1×6	2×4	2×6
B3	1×5	1×6	2×5	2×6
B4	1×4	1×5	3×4	3×5
B5	1×4	1×6	3×4	3×6
B6	1×5	1×6	3×5	3×6
B7	2×4	2×5	3×4	3×5
B8	2×4	2×6	3×4	3×6
B9	2×5	2×6	3×5	3×6

3. 모형과 효율

p개의 계통을 갖는 이면교배에서 B개의 블록과 K개의 블록 크기를 갖는 블록디자인을 가정하자. 각 블록은 K개의 교배를 포함하고, 이에 대한 모형은 다음과 같다.

$$Y = \mu \mathbf{1}_n + \triangle_1 \boldsymbol{g} + \triangle_2 \boldsymbol{\beta} + \varepsilon$$

여기서, Y는 크기 $n\times 1$인 관측치 벡터, μ는 전체 평균효과, 크기 $n\times 1$인 $\mathbf{1}_n$은 모든 원소가 1인 벡터를 나타낸다. $\boldsymbol{g}$와 $\boldsymbol{\beta}$는 각각 크기 $p\times 1$과 $B\times 1$인 일반조합능력(general combining ability)효과와 블록 효과를 나타내는 벡터이다. 크기 $n\times p$인 $\triangle_1$은 $\boldsymbol{g}$에 대응하는 빈도행렬이고, 크기 $n\times B$인 $\triangle_2$는 $\boldsymbol{\beta}$에 대응하는 빈도행렬이다. $\triangle_1$의 (a, b) 원소는 a번째 교배가 b번째 자식계통을 포함하면 1, 아니면 0이고, $\triangle_2$의 (a, b) 원소는 a번째 교배가 b번째 블록에서 나타나면 1, 아니면 0이다. ε은 평균 0, 분산 σ^2인 정규분포를 따르는 오차항이다. 일반조합능력을 추정하기 위한 D의 정보행렬은 다음과 같다(Mukerjee, 1997).

$$C = G - \frac{1}{K}\Gamma\Gamma' \ . \tag{3.1}$$

여기서, 크기 $p\times p$ 인 행렬 $G=(g_{ij})$의 대각선은 각 자식계통의 반복 수이고, 비대각선은 자식계통 i, j 가 만나는 횟수이다. 또한 크기 $p\times B$ 인 행렬 $\Gamma=(n_{ij})$는 i 번째 자식계통이 j 번째 블록에 나타나는 횟수를 의미한다. $p\times p$ 인 $\Gamma\Gamma'$은 완전대칭 행렬이다. 따라서 D 에서 행렬 G와 $\Gamma\Gamma'$은 다음과 같다.

$$G = \begin{pmatrix} r_1 r_2 b_2 I_{p_1} & r_1 r_2 J_{p_1\times p_2} \\ \\ r_1 r_2 J_{p_2\times p_1} & k_1 k_2 b_1 I_{p_2} \end{pmatrix},$$

$$\Gamma\Gamma' = \begin{pmatrix} A_1 & B \\ B' & A_2 \end{pmatrix}.$$

여기서,

$A_1 = (r_1 b_2 k_2^2 - k_2^2 b_2 \lambda_1) I_{p_1} + k_2^2 b_2 \lambda_1 J_{p_1}$, $B = r_1 r_2 k_1 k_2 J_{p_1 \times p_2}$

$A_2 = (r_2 b_1 k_1^2 - k_1^2 b_1 \lambda_2) I_{p_2} + k_1^2 b_1 \lambda_2 J_{p_2}$

이다. 따라서 정보행렬

$$C = G - \frac{1}{k_1 k_2} \Gamma\Gamma' = \begin{pmatrix} C_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0}' & C_2 \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

이고, C_1, C_2는 각각 다음과 같다.

$$C_1 = (r_1 r_2 b_2 - \frac{k_2}{k_1} r_1 b_2 + \frac{k_2}{k_1} b_2 \lambda_1) I_{p_1} - \frac{k_2}{k_1} b_2 \lambda_1 J_{p_1} ,$$
$$C_2 = (k_1 k_2 b_1 - \frac{k_1}{k_2} r_2 b_1 + \frac{k_1}{k_2} b_1 \lambda_2) I_{p_2} - \frac{k_1}{k_2} b_1 \lambda_2 J_{p_2} .$$

위와 같은 정보행렬, C를 이용하여 D의 평균효율인자를 구해보자. 평균효율인자의 계산에 필요한 C의 고유값을 구하기 위해 다음의 (정리)를 이용한다. 고유값을 이용하면 완전이면교배에 대한 D의 평균효율인자 E는 다음과 같다(Kim, Bae 와 Kim, 2001)

$$E = \frac{2}{b_1 b_2 \sum_{j=3}^{p} \frac{1}{\theta_j}} \tag{3.3}$$

(정리) $n \times n$인 행렬 X가 $k_1 \times k_1$인 행렬 X_1과 $k_2 \times k_2$인 행렬 X_2로 다음과 같은 형태로 나타날 때 X에 대해서 두 가지 성질이 성립한다(Searle, 1971).

$$X = \begin{pmatrix} X_1 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & X_2 \end{pmatrix}$$

① $|X| = |X_1|\,|X_2|$.

② $|X_j| = \Pi_{i=1}^{k_1} \theta_i$, X_i : 대칭행렬, 고유값 : $\theta_1, \theta_2, \cdots, \theta_{k_1}$, $j = 1, 2$.

③ $k_1 \times k_1$인 행렬 X_1이 $(bI + aJ)$ 의 형태이면 행렬식, $|X_1| = (k_1 a + b) b^{k_1 - 1}$ 이다. 이때 a, b는 0이 아닌 정수이고, I 는 항등행렬, J 는 모든 원소가 1인 행렬이다.

식(3.2)의 정보행렬에 대한 고유값을 구하기 위해 (정리)를 이용하면, C의 행렬식

$$|C| = |C_1||C_2|$$
$$= \left(-p_1\frac{k_2}{k_1}b_2\lambda_1 + r_1r_2b_2 - \frac{k_2}{k_1}r_1b_2 + \frac{k_2}{k_1}b_2\lambda_1\right) \cdot \left(r_1r_2b_2 - \frac{k_2}{k_1}r_1b_2 + \frac{k_2}{k_1}b_2\lambda_1\right)^{p_1-1}$$
$$\times \left(-p_2\frac{k_1}{k_2}b_1\lambda_2 + k_1k_2b_1 - \frac{k_1}{k_2}r_2b_1 + \frac{k_1}{k_2}b_1\lambda_2\right) \cdot \left(k_1k_2b_1 - \frac{k_1}{k_2}r_2b_1 + \frac{k_1}{k_2}b_1\lambda_2\right)^{p_2-1}$$
$$= \left(r_1r_2b_2 - \frac{k_2}{k_1}r_1b_2 + \frac{k_2}{k_1}b_2\lambda_1\right)^{p_1-1} \cdot \left(k_1k_2b_1 - \frac{k_1}{k_2}r_2b_1 + \frac{k_1}{k_2}b_1\lambda_2\right)^{p_2-1} \cdot 0^2$$
$$= 0 \quad (\because\ k_2 = r_2,\ \lambda_i(p_i - 1) = r_i(k_i - 1))$$

이다. 이때 C의 0이 아닌 $n_1 = p_1 - 1$, $n_2 = p_2 - 1$개의 중근을 갖는 고유값을 θ_1^*, θ_2^*라 하면

$$\theta_1^* = r_1r_2b_2 - \frac{k_2}{k_1}r_1b_2 + \frac{k_2}{k_1}b_2\lambda_1, \quad \theta_2^* = k_1k_2b_1 - \frac{k_1}{k_2}r_2b_1 + \frac{k_1}{k_2}b_1\lambda_2$$

이고, 식(3.3)은 중근 θ_1^*, θ_2^*에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E = \frac{2}{b_1b_2\sum_{i=1}^{2}\frac{1}{\theta_i^*}} \tag{3.4}$$

고유값 θ_1^*, θ_2^*을 식(3.4)에 대입하면 D의 평균효율인자는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = 2\ /\ b_1b_2\left\{(p_1 - 1)\frac{1}{\theta_1^*} + (p_2 - 1)\frac{1}{\theta_2^*}\right\}$$

4. 예제를 이용한 설명

seri82, 수원78, 그루밀, 금강밀, 올밀, 진주밀 등 6개 계통의 밀을 사용하여 교배 실험을 하고자 한다. 이때 seri82, 수원78, 진주밀은 집단 1에 포함되고, 계통번호를 1,2,3이라 하자. 그루밀, 금강밀, 올밀은 집단 2에 포함되고, 계통번호를 4,5,6이라 하자. 6개의 계통을 2절의 (예제)과 같이 $D_1(3,3,2,2,1)$, $D_2(3,3,2,2,1)$의 교차곱 디자인을 블록디자인 $D(6,9,4,4)$에 배치하면 [표 1]과 같은 블록디자인을 구성할 수 있다. 이때 D에 사용되는 교배형태는 다음과 같다.

집단2(암) \ 집단1(수)	1. seri82	2. 수원78	3. 진주밀	4. 그루밀	5. 금강밀	6. 올밀
1.seri 82				1×4	1×5	1×6
2.수원278				2×4	2×5	2×6
3.진주밀				3×4	3×5	3×6
4.그루밀						
5.금강밀						
6.올 밀						

[표 1]과 같은 디자인 D의 반복행렬, 빈도행렬, 정보행렬은 다음과 같다. 즉,

$$G=\begin{pmatrix} 12 & 0 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 12 & 0 & 4 & 4 & 4 \\ 0 & 0 & 12 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 12 & 0 & 0 \\ 4 & 4 & 4 & 0 & 12 & 0 \\ 4 & 4 & 4 & 0 & 0 & 12 \end{pmatrix},\quad \Gamma\Gamma'=\begin{pmatrix} 24 & 12 & 12 & 16 & 16 & 16 \\ 12 & 24 & 12 & 16 & 16 & 16 \\ 12 & 12 & 24 & 16 & 16 & 16 \\ 16 & 16 & 16 & 24 & 12 & 12 \\ 16 & 16 & 16 & 12 & 24 & 12 \\ 16 & 16 & 16 & 12 & 12 & 24 \end{pmatrix}$$

이고, 정보행렬

$$C=\begin{pmatrix} 6 & -3 & -3 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 6 & -3 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & -3 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & -3 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & -3 & 6 & -3 \\ 0 & 0 & 0 & -3 & -3 & 6 \end{pmatrix}$$

이다. n_1, n_2개의 중근을 갖는 고유값은 $\theta_1^*=9$, $\theta_2^*=9$이고, 평균효율인자 $E=0.5$이다. [표 2]는 $p_1 \le 15$, $p_2 \le 15$인 경우, 교차곱 디자인 구성에 필요한 BIBD(Raghavarao,1971)와 이면교배의 평균효율인자를 나타낸 것으로 평균효율이 0.7이상인 경우만 제시하였다. p_1과 p_2를 제한한 이유는 일반적으로 이면교배 실험에 사용되는 자식계통의 수가 30을 넘기가 어렵기 때문이다.

[표 2]. 교차곱 디자인에 의한 이면교배 디자인의 평균효율인자

	p_2=5 b_2=5 r_2=4 k_2=4 λ_2=2					
번호	p_1	b_1	r_1	k_1	λ_1	E
1	5	5	4	4	3	0.7500
2	6	6	5	5	4	0.7607
3	7	7	6	6	5	0.7438
4	8	8	7	7	6	0.7138
	p_2=6 b_2=6 r_2=5 k_2=5 λ_2=4					
5	5	5	4	4	3	0.7607
6	6	6	5	5	4	0.8000
7	7	7	6	6	5	0.8059
8	8	8	7	7	6	0.7917
9	9	9	8	8	7	0.7663
10	10	10	9	9	8	0.7354
	p_2=7 b_2=7 r_2=6 k_2=6 λ_2=5					
11	5	5	4	4	3	0.7480
12	6	6	5	5	4	0.8059
13	7	7	6	6	5	0.8333
14	8	8	7	7	6	0.8369
15	9	9	8	8	7	0.8251
16	10	10	9	9	8	0.8042

	p_2=8 b_2=8 r_2=7 k_2=7 λ_2=6					
번호	p_1	b_1	r_1	k_1	λ_1	E
17	5	5	4	4	3	0.7133
18	6	6	5	5	4	0.7917
19	7	7	6	6	5	0.8369
20	8	8	7	7	6	0.8571
21	9	9	8	8	7	0.8594
22	10	10	9	9	8	0.8496
23	11	11	10	10	9	0.8319
	p_2=9 b_2=9 r_2=8 k_2=8 λ_2=7					
24	6	6	5	5	4	0.7663
25	7	7	6	6	5	0.8251
26	8	8	7	7	6	0.8594
	p_2=10 b_2=10 r_2=9 k_2=9 λ_2=8					
27	6	6	5	5	4	0.7354
28	7	7	6	6	5	0.8042
29	8	8	7	7	6	0.8496

5. 요약 및 논의

교배실험에서 계통의 평가를 위해 측정되는 수량은 그 계통의 진정한 수량성 외에 환경변이에 의한 것도 포함되어 있다. 특히 토양이나 기후의 불균일성이 큰 곳의 유전적 특성은 환경변이가 크게 영향을 미치므로, 측정된 수치만으로 우열을 판단하기는 매우 어렵다. 따라서 정밀한 수량성의 비교를 위해서는 불균일한 요인을 블록으로 설정하여 실험을 하여야 할 것이다. 실험환경이 특정지역이나 온실로 제한되지 않고, 전국적으로 확대되어야 할 경우에는 토양이나 기후등의 지역적 특성이 다양하게 존재하기 때문에 이에 필요한 블록디자인의 블록 수라등가 블록 크기가 상당히 크게 되는 경우가 있다. 본 논문에서 제안한 두 BIBD의 교차곱 디자인을 이용한 이면교배의 블록 디자인은 서로 다른 유전자 정보를 갖는 두 계통집단들 간 교배실험에서 환경변이(즉 블록 수, 블록크기)가 큰 경우의 블록실험에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] 안장순, 이영만, 민경수 (2000). 「작물육종학」, 전남대 출판부

[2] Bae, J.S. (2000). Balanced n-ary Diallel crosses with repeated blocks. *The Korean journal of Applied Statistics* 13, 179-188.

[3] Bae, J.S. and Kim. G.S. (1999). Complete diallel cross experiment for symmetric BIB designs. *The Korean journal of Applied Statistics* 13, 253-260.

[4] Das, A., Dey, A and Dean, A.M. (1998). Optimal designs for diallel cross experiments. *Statistics and Probability Letters* 36, 427-436.

[5] Dey, A. and Midha, C.K. (1996). Optimal block designs for diallel crosses. *Biometrika*, 83,

484-489.

[6] Gupta, S., and Kageyama, S. (1994). Optimal complete diallel crosses. *Biometrika* 81, 420-424.

[7] Gupta, S., Das, A. and Kageyama, S. (1994). Single replicate orthogonal block designs for partial diallel crosses. *Commun. Statist. - Theory meth.* 24, 2601-2607.

[8] Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences,* 9, 463-493.

[9] Hinkelmann, K. and Kempthorne, O. (1963). Two classes of Group divisible partial diallel crosses. *Biometrika*, 50, 281-291.

[10] Kempthorne, O. and Curnow (1961). The partial diallel crosses. *Biometrics* 17, 229-250.

[11] Kim, G.S., Bae, J.S. and Kim, J. (2001). Blocked designs and efficiency factor evaluation of crosses between two classes for investigation of new inbred lines. *The Korean journal of Applied Statistics* 14, 59-70.

[12] Mukerjee, R. (1997). Optimal partial diallel cross, *Biometrika,* 84, 4, 939-948.

[13] Raghavarao, D. (1971). *Construction and combinatorial problems in design of experiments* (New York : Wiley).

[14] Searle. (1971). *Matrix Algebra useful for statistics*, Wiley.

[15] Singh, M. and Hinkelman, K. (1990). On generation of efficient partial diallel crosses plans. *Biometrical Journal*, 32, 177-187.

[16] Singh, M. and Hinkelman, K. (1995). Partial diallel crosses in incomplete blocks. *Biometrics*, 51, 1302-1314.

[2001년 8월 접수, 2001년 12월 채택]