

Study on Optimum Sizes of Experimental Units

Suk Hwan Chang¹⁾

Abstract

Since no information about the optimum plot sizes on field experiments on the major food crops in Korea is available, present status of plot sizes being used by the research institutes was examined for rice, barley & wheat, soybean, potatoes, red pepper, garlic and onion. The optimum plot sizes in field experiments on these crops were estimated on the basis of soil fertility indices (Smith's regression coefficients) that Chang (1983) reported.

Keywords : 적정 실험구 면적, 식량작물, 토양비옥도 변이계수, 포장실험

1. 서 론

농작물에 대한 포장실험에서 실험구(experimental plot)의 크기와 표본단위의 크기는 실험계획과 수행뿐만 아니라 처리효과의 불편추정과 가설검정을 위해서도 대단히 중요한 요소이다.

최적실험구에 대한 연구는 Smith(1938)가 밀(小麥)을 무처리 실험(blank experiment, 또는 uniformity trial)에 의하여 토양의 이질지수(index of soil heterogeneity)를 추정하고 비용함수를 고려한 적정실험단위의 추정방법을 연구한 이래 여러 가지 작물에 대하여 많은 연구가 수행되었으며 Federer(1955)가 심도있게 요약 검토한 바 있다. 그 이후에도 많은 연구자들(Brim & Mason 1959, Crew et al. 1963, Wiedemann & Leininger 1963, Brown & Morris 1967, Kuehl & Kittock 1969, Zuhlke & Gritton 1969, Soplín et al. 1975)이 역시 Smith의 방법에 의하여 밀을 비롯하여 콩, 땅콩, 수수, 목화 및 목초 등의 최적실험구면적의 추정에 대하여 연구하였고, Koch & Rigney(1951)는 분할구배치법과 격자형배치법에서 표본오차를 추정하므로써 분산성분에 의한 Smith의 토양이질지수를 추정하는 방법을 연구하였다. Hatheway & Williams(1958), Miller & Koch(1962, 1966)등은 Koch & Rigney의 방법으로 콩 과

1) 대구광역시 달서구 신당동 1000번지 계명대학교 통계학과 교수

목초(Birdsfoot trefoil)에 대한 최적실험구를 추정한 바 있으나 작물의 종류와 재배방법이 다르므로 추정된 적정실험구의 면적이 다양하게 나타났다.

국내에서는 尹等(1966,1968)이 수도(水稻)에 대한 적정실험구면적을 Smith(1938)와 Koch & Rigney(1951)의 방법에 의하여 추정하였고 張과 河(1981)는 밀의 포장실험에서 표본단위의 크기와 표본수에 대하여 연구하였으며, 또 張(1981,1983)은 수도를 포함한 주요농작물의 수량추계를 위한 표본단위의 크기에 대하여 연구한 바 있다. 이들 연구는 모두 Smith의 방법을 이용하였다.

尹等(1966,1968)이 수도의 적정실험구면적을 17m²로 보고하였으나 현재 적용되는 실험구면적은 연구기관과 각 기관의 포장사정에 따라 큰 차이를 보이고 있고, 수도를 제외한 주요작물의 포장실험에서 적정실험구면적에 대한 연구는 현금까지도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 때늦은 감은 있으나 현재 우리나라 농업연구기관에서 적용하는 포장실험구면적에 대한 현황을 조사하고 주요 작물의 실험단위에 대한 적정면적을 추정하여 향후 실험계획의 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 재료 및 방법

보다 정확한 실험구면적을 추정하기 위해서는 새로이 균일도시험(uniformity trials)을 수행하여야 하나 현실적으로 어려우므로 본 연구에서는 張(1983)의 연구결과를 이용하였으며 조사당시의 작물별 재식방법, 기본조사단위(basic sampling unit)와 전체수확면적은 <표1>과 같다.

작물재배포장에 있어서 토양비옥도의 변이계수 추정은 일반적으로 잘 알려진 Smith(1938)의 분산법칙에 의하여 추정된다. 즉,

$$\ln V_X = \ln V_1 - \beta \ln X \quad (1)$$

여기서 \ln 은 자연대수, V_X 는 크기가 X 인 실험단위(기본조사 단위 Δ 의 k 배, $k=2,3,4,\dots$)들 간의 분산이고, V_1 은 $X=1\Delta$ 일 때 분산이며 β 는 회귀계수로서 이웃한 실험구들 간의 관계를 나타내는 통계량으로 $0 \leq \beta \leq 1$ 의 값을 갖는다. 식(1)에 의한 b 보다는 자유도 (n_i)에 의한 가중회귀계수 (β)가 보다 바람직하므로(Federer, 1955) 다음 식(2)에 의하여 β 를 추정하였다.

$$b = \frac{\sum n_i (\ln V_{x_i}) (\ln x_i) - \sum n_i (\ln V_{x_i}) (\sum n_i \ln x_i) / \sum n_i}{\sum n_i (\ln x_i)^2 - (\sum n_i \ln x_i)^2 / \sum n_i} \quad (2)$$

적정구실험구면적은 식(1)에 b 를 대치하고 비용함수를 도입하여 유도된 식(3)에 의하여 추정하였다. 즉, 적정실험구에 대한 기본단위수 k 는

$$k = \frac{b C_1}{(1-b) C_2} \quad (3)$$

로 추정되며, 여기서 C_1 은 실험구의 크기에 무관하게 실험구의 수와 관련된 비용이고 C_2 는 기본단위당 소요비용을 의미한다. 기본 조사단위(Δ)가 작으면 상대적으로 C_2 가 작아지고 작물에 따라 경종방법, 작업내용 그리고 기계화 정도에 따라 식(3)의 C_1 과 C_2 의 구성비가 달라지므로 $C_1 : C_2$ 의 비를 4가지 유형(85 : 15, 80 : 20, 75 : 25, 70 : 25)으로 하여 x 를 추정하였다.

표1. 작물별 조사장소, 기본 표본단위와 수확면적

작물	조사기관 또는 장소	재식거리(cm) (조간또는 휴목, 주간또는 파폭)	기본 단위면적(m ²)	전체수확면적(m ²)
수도	작물시험장	30×15	0.3×0.15=0.045	4.5×15.0=67.5
	경기도 진흥원	30×12	0.3×0.12=0.036	5.4×7.2=38.9
보리	맥듀연구소	40×18	0.4×0.5=0.20	4.0×15.0=60.0
		60×18	0.6×0.5=0.30	6.0×15.0=90.0
	호남작물시험장	120×90	1.2×0.5=0.60	10.8×9.0=97.2
	경북 군위군 *	도주간2조파	0.6×0.5=0.30	7.2×9.0=64.8
		도주간3조파	0.9×0.5=0.45	10.8×9.0=97.2
	영남작물시험장	40×18	0.4×0.3=0.12	4.8×15.0=72.0
밀	영남작물시험장	60×18	0.6×0.3=0.18	7.2×10.0=72.0
		120×90	1.2×0.4=0.48	14.4×6.0=86.4
		40×18	0.4×3.0=1.2	12.0×15.0=180.0
		60×18	0.6×3.0=1.8	12.0×15.0=180.0
콩	작물시험장	120×90	1.2×1.0=1.2	12.0×18.0=216.0
		60×15	0.6×0.15=0.09	10.8×9.0=97.2
		60×20	0.6×0.20=0.12	10.8×7.2=77.8
감자	원예시험장남해지장	70×25	0.7×0.5=0.35	8.4×10.0=84
		경남 밀양군 *	60×25	0.6×0.5=0.30
고구마	작물시험장	90×25	0.9×0.5=0.45	10.8×10.0=108.0
고추	원예시험장	75×40	0.75×0.8=0.60	9.0×12.0=108.0
		충북 진흥원	150×40	1.5×0.4=0.6
마늘	충남 서산군 *	157×28,주간10cm	1.57×0.28=0.44	18.84×5.04=95.0
	전남 고흥군 *	290×26,주간10cm	2.9×0.52=1.51	17.4×9.4=163.6
	경남 진흥원 *	150×20,주간10cm	1.5×0.40=0.60	6.0×6.0=36.0
양파	전남 무안군 *	160×22,주간10cm	1.6×0.22=0.35	19.2×4.0=76.8
	경남 창녕군 *	160×27,주간10cm	1.6×0.27=0.86	6.4×9.72=62.2

*: 농가 포장임

3. 결과 및 고찰

3.1 현행포장실험에서 작물재배방법 및 실험구 면적

현재 우리나라에서 농업에 관한 시험연구는 잘 알려진 바와 같이 농촌진흥청 산하 시험장과 각 도 농업기술원에서 수행되고 있다. 작물시험장(수원), 호남농업시험장(전북 익산), 고령지농업시험장, 목포시험장, 그리고 경북농업기술원(대구)의 현행 작물재배양식, 실험구면적 및 수량조사를 위한 수확면적은 <표2>와 같다.

표2. 작물별 현행 재배 양식, 실험구 면적 및 수확면적

작물	실험기관	재배양식(cm ²) (조간×주간, 휴폭× 파폭)	실험구면적 (m ²)	수확면적 (m ²)	비고
수도	작물시험장	30×14	20~50	5(120주정도)	포장의 크기 및 처리수에 따라 조절
	호남농업 시험장	30×15	9.5	4.5(100주정도)	
	경북농업 기술원	30×15	17~20	4.5(100주정도)	
보리	작물시험장	20×10	6	6	전구수확
	호남농업 시험장	40×18	10	3.2~4.8	중앙3휴 수확
		120×90	12	6	생육 균일한 1휴 수확
	경북농업 기술원	150×120	18	6~7	
밀	작물시험장	25×5	15	15	전구수확
	경북농업 기술원	25×5	9	6	
콩 감자	작물시험장	75×15	18	9	
	고령지농업 시험장	75×20	20	20	전구수확
고구마	목포시험장	75×20	12	6	
고추	경북농업	90×40	15	15	전구수확
	기술원				
마늘	"	20×10	6	0.4	중용인20주
	목포시험장	20×10	6	3.8	
양파	"	20×13	6	3.8	

<표1>과 <표2>에서 보면 수도(水稻)의 재식거리는 작물시험장(水原)에서는 주로 이앙기에 의하므로 30cm×14cm이며 호남농업시험장(전북 익산)과 경북농업기술원(대구)에서는 30cm×15cm로 변함이 없었다. 보리(大麥)의 파종양식은 지역에 따라 큰 차이를 보이고 있어서 중부지방(水原)에서는 휴폭20cm×파폭10cm, 호남농업시험장에서는 전작의 경우 휴폭40cm×파폭18cm, 답리작의 경우 휴폭120cm×파폭90cm로 휴림 광산과 재배로 하며, 경북농업기술원에서는 휴폭150cm×파폭120cm로 하여 1983년과 약간의 차이를 보이고 있다. 밀(小麥)의 파종방법은 1983년에는 전작의 경우 휴폭과 파폭을 40cm×18cm, 60cm×18cm로 하였고, 답리작의 경우는 60cm×18cm 또는 120cm×90cm로 파종하였으나 요즘은 휴폭25cm×파폭5cm(경북농업기술원)의 drill과 재배를 하고 있다. 콩, 감자 및 고구마는 휴폭과 재식거리에 있어서 약간의 변화가 있음을 볼 수 있고, <표1>의 마늘과 양파는 주산지의 농업시험장에서 조사되었으며 휴폭은 150~290cm, 조간(條間)은 20~28cm로 지역에 따라 다양하나 주간거리(株間距離)는 모두 10cm이었다. 현재 이들 작물에 대한 시험연구는 주로 목포시험장에서 수행되며 휴폭은 120cm이고 재식거리는 조간20cm×주간10cm인 것으로 조사되었다.

현행 작물별 실험구의 면적은 9.5~50m²로 실험기관에 따라 크게 다르며 맥류(麥類)에 있어서는 6~18m², 콩은 18m², 감자는 20m², 고구마는 12m², 고추는 15m², 그리고 마늘과 양파는 6m²로 작물별로 큰 차이를 보이고 있다. 특히 CV(變異係數)가 큰 고구마의 경우 실험구면적이 작은 것으로 조사되었다.

수량조사를 위한 수확면적은 작물시험장의 보리(6m²)와 밀(15m²), 경북농업기술원의 고추(15m²)의 경우에는 전구(全區)를 수확한다고 하며 그 외의 작물은 변외구를 제외한 내부에서 대개 3~9m²를 수확하고, 특히 경북농업기술원에서 마늘의 수확면적은 0.4m²(20주)이며 목포시험장에서는 3.8m²를 수확하고 있다.

이와 같이 실험구와 수확면적이 다른 것은 실험기관의 포장사정과 처리수(處理數)에 기인한다고 한다. 이러한 현상은 비단 수도뿐만 아니라 타작물에서도 같은 경향이 일반적이며 실험포장이 대개 6~8개의 처리를 난괴법 3반복으로 실험할 수 있도록 포장을 영구적으로 구획(區劃)하였기 때문에 처리수가 많아지면 자연히 한 실험구의 면적이 작아지는 것은 당연하다. 또 다른 요소로서 연구원들의 과중한 업무량을 지적하지 않을 수 없다. 실험구 면적이 적정면적으로 넓어지면 결국 실험이 방대해지고 따라서 파종, 이앙, 제초, 병충해방제 및 수확조제등 엄청나게 증가하는 작업량을 줄이기 위하여 수확면적을 줄이게 된다. 수도의 경우 100~120주(4.5~5m²)를 수확하고 마늘의 경우 중용인 20주(0.4m²)를 수확하는데서 단적인 예를 찾아볼 수 있다. 수도의 경우 尹等(1966)은 적정실험구면적을 17m²로 보고한 바 있으나 아직도 통일되지 않고 기타 모든 작물에 대한 실험구면적도 검증된 바 없이 관습적으로 사정에 따라 수행하고 있는 실정이다.

3.2 적정실험구면적의 추정

토양비옥도의 변이(이질)계수 β 는 0~1 사이의 값을 취하며 $\beta=0$ 은 인접한 실험 단위(X)들 간에 완전상관관계, 즉 이웃한 실험구의 비옥도가 동일함을 나타내고, $\beta=1$ 은 무상관을 의미한다.

<표1>의 실험에서 작물별로 현행 재배양식에 가장 근사한 재배양식과 張(1983)이

추정한 토양 비옥도의 변이계수(b)가 <표3>에 주어졌다. 수도, 전작의 보리를 제외한 맥류 및 고추에 있어서 b 는 0.2212~0.3252로 낮은 값을 보여 토양의 비옥도가 비교적 균일한 것으로 나타난 반면, 보리를 재배한 전작포장(맥류연구소)과 그 외의 작물을 재배한 포장에서의 b 는 0.4411~0.5224로 비교적 높은 값을 보였다. 이는 아마도 밭상태의 토양이므로 토양관리면에서 논상태와는 다르고 또 일반적으로 밭작물은 입묘상태, 토양수분상태, 식물체들 간의 경쟁에서 오는 작황의 불균일성, 병충해의 정도와 분포, 또는 비옥도의 불균일성등 여러 가지 요소가 복합적으로 작용하여 CV가 수도보다는 크기 때문인 것으로 생각된다.

표3. 작물별 적정 실험구 주정면적(m²)

작물	재식방법 조간(휴폭)cm ×주간(파폭)cm	b'	$C_1 : C_2$			
			85:15	80:20	75:25	70:30
수도	30×15	0.2212	16	12	9	7
보리	40×18전(田)	0.4613	48	34	26	20
	30×12답(畓)	0.3252	27	19	14	11
	120×90(畓)	0.2730	21	15	11	9
밀	40×18	0.2746	22	15	11	9
콩	60×15	0.4411	45	32	24	18
감자	70×25	0.4548	47	33	25	20
고구마	90×25	0.5224	63	44	33	26
고추	75×35	0.3036	25	17	13	10
마늘	20×10	0.4483	46	32	24	19
양파	22×10	0.4572	48	34	25	20

최적 실험구는 식(3)에서 보는 바와 같이 b' 와 C_1, C_2 에 의하여 결정된다. 尹等(1699)은 수도의 경우 10m²당 $C_1 : C_2$ 를 약 65 : 35로 추정하였으며 이때 $k=1.65$ (약 17m²)로 추정된데 비하여 본 연구에서는 $C_1 : C_2$ 를 85 : 15로 할 때 약 16m²로 추정되었다. $C_1 : C_2$ 의 비는 작물의 종류에 따라 수확조제비용, 기계화의 정도 및 노임비등에 의하여 유동적이므로 $C_1 : C_2$ 비를 4가지 유형으로 하여 추정된 적정실험구면적(m²)이 <표3>에 주어졌다. 보리를 비롯한 다른 작물에 있어서는 10m²당 $C_1 : C_2$ 의 비를 75 : 25로 하는 것이 보다 현실적이라고 생각되어 적정실험구의 면적을 추정한 결과 전작보리는 약 26m², 답리작 맥류는 11~14m², 고추는 약 13m²로 추정되었으며

콩, 감자, 마늘 및 양파는 24~25m², 고구마는 33m²로 비교적 크게 추정되었는데 이는 토양비옥도의 불균일과 작물의 특성상 CV가 크게 나타났기 때문이라고 생각된다.

Smith(1938)가 지적했듯이 포장실험에 있어서 변동계수는 토양비옥도의 불균일성에 실험구 내에서 작황의 균일성, 병충해, 조수(鳥獸) 또는 기상요인 등에 의한 작물의 피해에 의하여 더 큰 영향을 받을 수 있기 때문에 진정한 비옥도의 변이성을 추정하기 위해서는 실험포장과 실험을 철저히 관리하여야 할 것으로 생각된다.

<표2>의 작물별 현행실험구의 면적과 <표3>의 추정된 적정실험구의 면적을 비교해 보면 수도의 경우에 호남농업시험장의 현행실험구면적이 9.5m²로 추정된 적정실험구면적 16m²의 약 59%에 불과하며, 보리에 있어서도 작물시험장(수원)의 전작과 호남농업시험장의 답리작 협폭파재배의 실험구면적은 적정실험구의 38.5~42.9% 정도인 것으로 나타났다. 호남농업시험장과 경북농업기술원의 광폭재배는 오히려 현행실험구면적이 추정된 적정실험구 면적보다 큰 것으로 밝혀졌다. 밀의 적정실험구면적은 11m²로 작물시험장의 15m² 보다 작게 추정되었으나 경북농업기술원의 9m² 보다는 크게 추정되었다. 고추의 적정실험구면적은 13m²로 현행의 15m² 보다 작게 추정되었으나 콩, 감자, 고구마, 마늘 및 양파는 현행실험구면적 보다 크게 추정되었다. 특히 고구마, 마늘 및 양파는 현행보다 2.8~4.0배나 크게 추정되었다.

결과적으로 보리의 협폭파재배, 고구마, 마늘 및 양파의 현행 실험구면적은 지나치게 작은 것으로 나타났으므로 이들 작물에 대한 포장실험에서 실험구면적을 크게 늘릴 필요가 있다고 생각된다.

4. 결 론

수도, 보리, 밀, 콩, 감자, 고구마등 식량작물과 고추, 마늘, 양파등 경제작물에 대한 포장실험에서 尹等(1966)이 수도의 적정실험구면적을 검증한 것을 제외하고는 다른 어떠한 작물에 대해서도 이 문제에 관해서 검증된 바가 없다. 이들 작물에 대한 균일도실험을 수행한다는 것이 현실적으로 어려우므로 張(1983)의 연구결과를 이용하여 $C_1 : C_2$ 를 75 : 25로 할 때 적정실험구면적을 추정한 바 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 수도, 답리작보리, 전작의 밀 및 고추의 적정실험구면적은 9~14m²로 추정되었다.
2. 전작의 보리, 콩, 감자, 마늘 및 양파의 적정실험구면적은 24~26m², 고구마의 경우는 33m²로 추정되어 현행실험구면적을 크게 늘려야할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. 尹勤煥, 朴錫洪, 李榮萬.(1966). 水稻圃場試驗에 있어서 土壤均一度와 適正試驗區面積推定에 關하여. 農事試驗研究報告, 9(1): 127 - 132.
2. 尹勤煥, 朴錫洪, 李榮萬.(1968). 水稻圃場試驗에 있어서 適正試驗區面積, 形狀

- 및 反復數의 推定에 關한 研究. 農事試驗研究報告, 11: 53 - 57.
3. 張錫煥.(1981). 韓國統計의 現況과 將來— 農業統計. 統計學研究, 10: 35 - 53
 4. 張錫煥.(1983). 作物收量推計를 爲한 適正收穫面積에 關한 研究. 農事試驗研究報告, 25(C): 224 - 231.
 5. 張錫煥,河龍雄.(1981).小麥의 穗數調査를 爲한 標本單位의 크기와 標本數 決定. 韓國作物學會誌, 26: 293 - 298.
 6. Brim., C. A. and Mason, D. D.(1959). Estimates of optimum plot size for soybean yield trials. *Agronomy Journal*, 26:293 - 298.
 7. Brown, A. R. and Morris, H. D.(1967). Estimation of optimum plot size and shape for grain sorghum yield trials. *Agronomy Journal*, 59:576 - 577.
 8. Crews, J. W., Jones, G. L., and Mason, D. D.(1963). Field plot technique studies with fue-cured tobacco. I. Optimum plot size and shape. *Agronomy Journal*. 55:197 - 199.
 9. Federer, W. T.(1955). *Experimental Design. Theory and application*. Oxford & IBH Publishing Co.
 10. Fleming, A. A., Roger, T. H., and Bancroft, T. A.(1957). Field plot technique with hybrid corn under Alabama conditions. *Agronomy Journal*. 49:1 - 4.
 11. Hatheway, W. H and Williams, E. J.(1958). Efficient estimation of the relationship between plot size and the variability of crop yields. *Biometrics*, 15:207 - 222.
 12. Koch, E. J. and Rigney, J. A.(1951). A method of estimating optimum plot size from experimental data. *Agronomy Journal*. 43:17 - 21.
 13. Kuehl, R. O. and Kittock, D. L. (1969). Estimation of optimum plot size for cotton yield trials. *Agronomy Journal*. 61:584 - 586.
 14. Miller, J. D. and Koch, E. J.(1962). A plot technique study with Birdsfoot Trefoil. *Agronomy Journal*. 54:95 - 97.
 15. Smith, H. F.(1938). An empirical law describing heterogeneity in the yield of agricultural crops. *Journal of Agricultural Science*. 28: 1 - 23.
 16. Soplin, H., Gross, H. D., and Rawling, J. O. (1975). Optimum size of sampling unit to estimate coastal Bermuda-grass yield. *Agronomy Journal*. 67:533 - 537.
 17. Wiedemann, A. M. and Leininger, L. N.(1963). Estimation of optimum plot size and shape for safflower yield trials. *Agronomy Journal*. 55: 222 - 225.
 18. Zuhlke, T. A. and Gritton, E. T.(1969). Optimum plot size and shape estimates for pea yield trials. *Agronomy Journal* 61:905 - 908.