

수도작 포장의 고저차 분석

성제훈 장순우

Variation Analysis of Elevation within a Rice Paddy Field

J. H. Sung S. W. Jang

Abstract

Elevation differences within a paddy field relate strongly to plant health, crop homogeneity, and pest control. For precision agriculture (PA), the elevation within a field should be precisely controlled. We analyzed variation in elevation within a rice paddy field over one crop cycle. The study took place in a rectangular plot (100 m x 30 m). Elevations within the a plots was measured by a laser-equipped surveying instrument, that could determine elevations to precisions of 1 mm. The test field was divided into grids with 30 squares; elevation was measured at the center of each 5 x 10-m grid square. This study measured elevation during nine observation periods from pre-plowing to post-harvest. Descriptive statistics showed the highest elevations after plowing due to soil disturbance. One-way analysis of variance (ANOVA) revealed significant elevation differences before and after plowing and transplanting, although elevations were similar over the period of crop growth. Comparison of pre-plowing and post-harvest data showed differences in elevations, indicating that elevation changes occurred during plowing, rice transplanting, plant growth, and harvesting. In summary, the above statistical analysis indicated that elevation changes occurred due to plowing but not during the plant growth season or due to harvesting.

Keywords : Elevation, Paddy field

1. 서론

작물생육에 영향을 주는 토양의 이화학적 성질, 균형 정도, 물의 흐름 등이 포장내 위치별 또는 포장별로 다르기 때문에 농산물의 질과 양 또한 변이를 가지고 있다. 이렇게 포장내 위치별로 작물 생산능력과 작물 생육상태에 차이가 있으므로, 각 위치별로 적당한 시기에 적절한 처리를 수행함으로써 농자재의 과다투입으로 인한 환경오염을 줄이면서 농지를 적정하게 활용하는 농법이 정밀농업이다(Sudduth 등, 1996). 위치별로 최적의 농작업을 수행하기 위하여 위치별 포장정보 취득과 변이 분석이 정밀농업 주요 내용 중 하나이다.

포장정보 중 포장의 지형은 매년 크게 변하지 않으나 균형 정도와 포장내 위치별 고저차는 경운 작업 등으로 매년 변하

게 된다. 포장의 고저차와 균형 정도는 토양특성, 물 흐름 등에 영향을 미쳐 궁극적으로 농업 생산물의 질과 양에 큰 영향을 미친다(Sadler 등, 1998, Westphalen 등, 2004). 따라서 포장내 위치별로 적당한 시기에 적절한 처리를 수행하기 위해서는 매년 달라지는 포장 고저차를 측정하고 포장내 고저차의 공간변이를 이해하여 농작업 수행에 이용하는 것이 바람직하다.

농작물 생육에 필요한 양분은 질소, 인산, 칼륨 등인데, 이 가운데 가장 관리하기 어려운 양분이 질소다. 인산은 식물체 성장에 소량만 필요하고 칼륨은 그에 비해 다량 필요하지만 토양에서 잘 이동하지 않기 때문에 시비관리가 쉽다. 그러나 질소는 단기간에 많이 필요하면서 온도나 물의 이동에 따라 민감하게 반응해 토양온도나 강수량, 채소재배 기간 등에 따

The article was submitted for publication in November 2005, reviewed in March 2006, and approved for publication by the editorial board of KSAM in May 2006. The authors are Je Hoon Sung, KSAM member, Researcher, Sun Woo Jang, Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon, 441-707, Korea. The corresponding author is Je Hoon Sung, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering, RDA, Suwon Korea, 441-707; Fax : +82-31-290-1900; E-mail : <jhsung@rda.go.kr>

라 분해 정도가 각각 다르다. 이에 따라 질소가 부족하면 품질이 떨어지고 너무 많으면 영양과다 피해를 입는다. 토양 상태에 따른 적절한 질소 시비는 그래서 곧 고품질 농산물 생산으로 이어진다(작물과학원, 2002).

앞에서 언급한 대로 정밀농업에서는 포장내 위치별 특성에 따라 적당한 시기에 적절한 농작업 처리를 수행해야 하는데, 포장내 위치별 고저차에 따라 작물 생육중에 양분이동이 달라질 수 있다. 논을 전면경운하는 경우 토양이 이동되어 매년 균평작업을 다시 해야 하고, 무논정지하는 과정에서 관개수에 의해 토양과 비료의 유실이 발생되기도 한다. 이렇게 매년 달라지는 포장 고저차를 측정하고 포장내 고저차의 공간변이를 이해하여 농작업 수행에 이용하는 것이 바람직하다.

작물 생육중에는 포장의 균평이 고르지 못하면 양분이동이 균일하지 않아 생육이 불균일하게 되며 물관리도 어렵다. 반면, 포장이 고르면 제초제 처리에 의한 잡초방제효과도 인정되었다(농업공학연구소, 1997).

우리나라의 논표면 고저차는 2~8 cm 범위가 많은데, 고저차를 3 cm 이하로 완만하게 골라야 논균하기, 출아 후 논그누기, 낙수작업이 쉽고, 특히 제초제 살포시 수심을 일정하게 유지할 수 있으므로 살포효과가 좋아 잡초방제에 유리하다(작물과학원, 2002).

농촌진흥청의 연구에 따르면 담수작파에서 포장 균평도가 0~4 cm까지는 활착주수가 비슷하였으나, 5 cm 이상 깊은 지역은 활착주수가 크게 감소하였다. 이는 표층이 낮은 지역은 상시 관개수로 잠겨있어 종자가 출아 및 활착하는데 장애 요인으로 작용했기 때문이다. 또한, 포장 균평도와 쌀수량과의 관계에서도 표층이 깊을수록 쌀 수량이 감소되었는데 대체로 4 cm 이상 깊이에서 쌀 수량의 감소 정도가 컸다(작물과학원, 2002).

일반적으로 수도작 생육중에는 포장내 고저차가 변하지 않는 것으로 보고 농작업을 수행하고 있으나, 포장내 고저차가 변하지 않는다는 것을 측정하여 논리적으로 분석한 보고는 없다.

포장내 공간변이를 해석하고 표현하고자 하는 연구는 국내 외적으로 많이 이루어 졌다. Kravchenko(2003)은 정밀농업의 효과는 토양 이화학성을 얼마나 정확하고 효과적으로 지도화하느냐에 달려있다고 보고, 토양 시료 채취 밀도를 달리해가면서 격자 토양 시료 채취 방법에 대해 고찰했으며, 내삼 알고리즘간의 차이도 분석했다. Brown과 Bara(1994)는 세미베리어그램(semi-variogram)을 사용해서 포장 고저차, 경사, 곡률 데이터에 들어있는 조직 에러(systematic error)를 없앨 수 있음을 보고했다.

우리나라에서는 차 등(1997)이 이양 전의 균평 정도는 이양 후 결주나 뜬모 발생과 밀접한 관련이 있음을 밝혔다. 성 등(2005)은 수도작 포장내 위치별 고저차를 효율적으로 측정하기 위한 받침대 형상을 분석했다. 분석결과 우리나라의 일반적인 이양 간격인 조건 30 cm, 주간 11 cm~14 cm 이양폭에 알맞은 받침대로 가로는 조간의 1/3 크기인 10 cm, 세로는 두 주간의 간격인 24 cm 크기의 직사각형 받침대를 선정하여 보고했다.

본 연구는 벼를 이양하기 전부터 작물 생육중, 수확후 까지 포장내 위치별 고저차를 측정해서 연중 수도작 포장의 포장내 위치별 고저차 변화 정도를 분석하는 데 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 포장 및 측정장기

시험포장은 경기도 수원시 입북동에 위치한 100 m × 30 m 직사각형 형태의 논이다(그림 1). 실험은 2005년에 수행했다. 관개수는 그림 1과 같이 오른쪽 위에서 왼쪽 아래로 흐른다. 2005년 4월 20일에 일품벼를 파종하여 5월 18일에 이양하였으며, 이양 직전에 토양조사 결과를 이용하여 환경보전형 시비기준에 따라 기비했다. 질소, 인산, 칼륨 비료는 각각 요소, 용과린, 염화가리를 사용하였다. 질소의 경우 기비, 분얼비를 각각 70%, 30%로 나누어 시비하였으며, 인산은 전량 기비로 하였다. 칼륨은 기비와 분얼비를 각각 70%, 30%로 나누어 시비하였다. 인산과 칼륨 시비추천량은 최저 3 kg/10a였다.

포장 내 고저차는 정밀측량기(model TPS-System, Leica Co., Heerbrugg, Switzerland)를 사용했다. 측정원리는 측량기에서 레이저를 송신하고 수신기에서 레이저를 수신해서 포장내 위치별 고저차를 1 mm 정밀도로 측정한다.

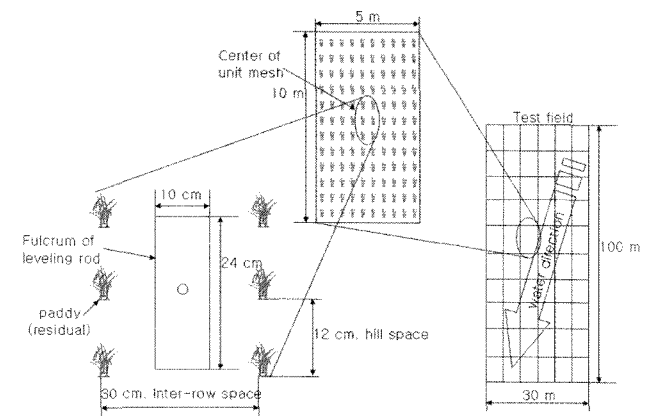


Fig. 1 Experimental paddy, direction of irrigation water flow, and grid size for elevation measurements.

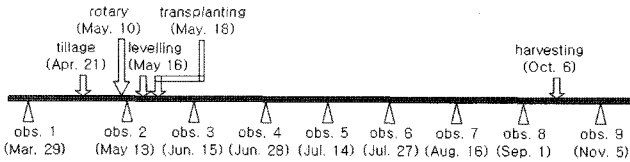


Fig. 2 Farming work and data-collection(observation) schedule.

농작업과 고저차 측정일자는 그림 2와 같다. 언 땅이 녹은 직후(3월 29일)에 처음으로 고저차를 측정했고, 경운(4월 21일) 후에 2차 측정, 균평작업(5월 16일)과 이앙(5월 18일) 후에 3차 측정했다. 이앙 후에는 생육기간중 약 15일 간격으로 동일 위치를 6회 측정했고, 수확후 1회 더 측정(11월 5일)했다.

나. 고저차 측정

포장내 위치별 고저차를 측정하기 위해 그림 1과 같이 5 m × 10 m 단위로 60개 구획으로 구분하여 각 격자의 중심부분에서 고저차를 측정했다. 구획중심부분에서 3점을 측정한 후 평균한 값을 그 구획의 고저차값으로 취했다. 경운과 로타리 전에는 포장 끝부분을 기준으로 고저차를 측정할 구획중심부분의 위치를 정했고, 이앙후에는 고저차를 측정한 구획중심부분에 폴대를 설치해 두고 수확전까지 동일위치를 반복해서 측정했다. 수확후는 경운과 로타리전에 측정한 것처럼 포장 끝부분을 기준으로 고저차를 측정할 구획중심부분의 위치를 정했다.

일년 동안의 포장 고저차 변화를 보기 위해, 그림 2와 같이 경운과 로타리전에 고저차를 측정(3월 29일, obs. 1)하고, 로타리와 이앙 사이에도 고저차를 측정(5월 13일, obs. 2)했다. 이앙 후에는 물떼기 전까지 약 보름 간격으로 6회 포장 고저차를 측정(obs. 3, obs. 4, obs. 5, obs. 6, obs. 7, obs. 8)했다. 수확작업이 포장 고저차 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 수확작업 후에도 고저차를 측정(11월 5일, obs. 9)했다.

다. 자료 분석

포장 고저차는, 포장내 60위치에서 측정한 값의 최저값을 찾아 그 최저값과 각 위치별 측정값 간의 차이를 해당 위치의 고저차로 이용했다.

경운 전후의 고저차 변화를 보기 위해 경운과 로타리전후에 측정한 고저차를 비교 했으며, 이앙 전후 고저차 변화를 보기 위해 경운과 로타리후 측정한 고저차와 이앙 후에 측정한 고저차를 비교했다. 이앙 후 작물 생육기간중에 고저차 변화를 분석하기 위해 이앙 후부터 물떼기 전까지 약 보름 간격으로 6회 측정한 고저차를 분석했다. 수확작업이 포장 고저차

변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 수확작업 전후 포장 고저차를 분석했다. 끝으로 연중 변화를 보기 위해 경운 전부터 수확후까지 모든 측정 데이터를 비교 분석했다.

본 연구에서 사용한 자료의 기술통계와 상관 분석은 SAS (version 8.01, SAS Institute Inc., North Carolina, USA)를 이용하였으며, 공간변이 해석은 GS+(version 5.2, Gamma Design software, Michigan, USA)를 사용했고, 지도는 Surfer (version 8.03, Golden software Inc., Colorado, USA)를 이용하여 그렸다.

비교하는 데이터는 비교 데이터간의 분포가 같은지를 보기 위해 Levene의 동질성 검정(Lavene's test for homogeneity of y variance)을 수행했다. 동질성 검정에서 등분상성을 만족하는 경우 일원분산분석을 수행하고, 분산분석 결과 귀무가설을 기각하는 경우에만 던칸 검정(Duncan's Multiple Range Test)을 수행했다.

3. 결과 및 고찰

가. 기술통계 분석

일년 동안의 포장 고저차 변화를 분석하기 위해 이앙 전부터 수확후까지 9회 포장 고저차를 측정한 데이터의 기술통계는 표 1과 같다. 표에서 보는바와 같이 고저차의 평균은 69.22 mm~101.12 mm로 나타났는데, 경운과 로타리 후 고저차가 가장 컸고, 이앙 직후 고저차가 가장 작았다. 그 이유는 경운작업 전까지 다져져 있던 토양이 경운작업으로 교란되었기 때문으로 판단된다. 비대칭 정도를 알 수 있는 왜도도 경운과 로타리 후 -1.0402로 다른 시기에 비해 컸고, 첨도도 2.1001로 경운작업후 포장 고저차 값이 정규분포의 경우보다 대표값 주위에 더 많이 밀집되어 있는 것을 알 수 있다.

이앙후 벼가 생육하는 동안의 고저차는 69.22 mm~73.33 mm로 변화가 일정했다. 수확작업후 고저차의 변화가 조금 커졌는데(78.00 mm), 그 이유는 콤바인 작업에 의한 다짐 정도의 차이 때문으로 판단된다.

나. 그래프와 지도 비교

일년 동안의 포장 고저차 변화를 분석하기 위해 이앙 전부터 수확후까지 9회 포장 고저차를 측정한 데이터를 그래프로 나타내 비교하였다. 그림 3은 경운전부터 수확후까지 9회 측정한 자료의 포장내 60개 지점별 고저차를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것처럼 경운작업 전까지 다져져 있던 토양이 경운작업으로 교란되어 경운후에 측정한 고저차(obs. 2)가 다른

Table 1 Descriptive statistics of elevation measurement for the study period

index	observation date								
	Mar. 29 (obs. 1)	May 13 (obs. 2)	Jun. 15 (obs. 3)	Jun. 28 (obs. 4)	Jul. 14 (obs. 5)	Jul. 27 (obs. 6)	Aug. 16 (obs. 7)	Sep. 1 (obs. 8)	Nov. 5 (obs. 9)
ave ¹	78.08	101.12	69.22	71.47	72.60	72.95	73.33	73.20	78.00
std. ²	26.78	27.29	30.39	31.98	32.90	33.83	33.52	33.13	30.46
std. err. ³	3.46	3.52	3.92	4.13	4.25	4.36	4.33	4.28	3.93
variance	716.96	744.99	923.63	1023.00	1082.48	1144.32	1123.89	1097.62	927.69
CV ⁴	34.29	26.99	43.91	44.75	45.32	46.37	45.72	45.26	39.05
max. ⁵	126.00	148.00	129.00	129.00	128.00	133.00	135.00	138.00	138.00
median	80.50	104.00	65.00	64.50	65.00	67.50	66.00	67.00	75.00
Skewness	-0.5702	-1.0402	-0.0003	-0.0153	0.0166	-0.0753	-0.0153	0.0040	-0.0771
Kurtosis	0.1065	2.1001	-0.6417	-0.8600	-0.9887	-0.9036	-0.9696	-0.7689	-0.4170

¹avg.=average, ²std.=standard deviation, ³std. err=standard error, ⁴CV=coefficient of variation, ⁵max.=maximum

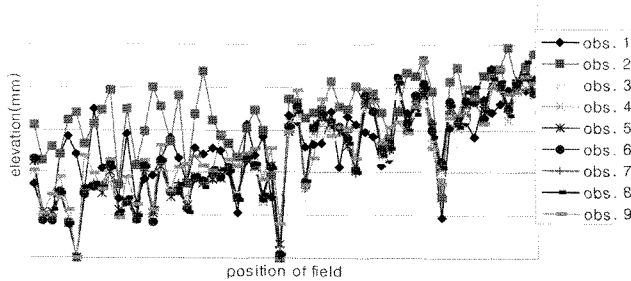


Fig. 3 Within field elevation data for one year from cultivation to harvest.

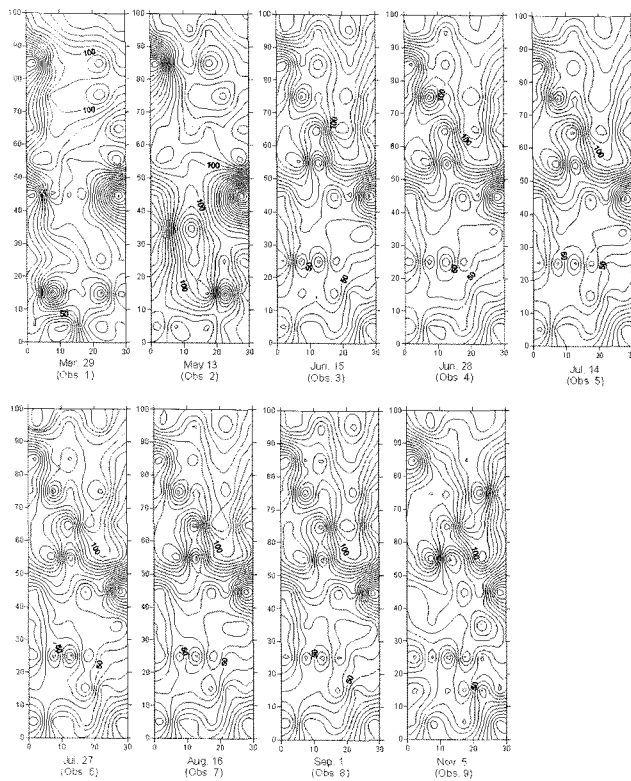


Fig. 4 Elevation map for one year from cultivation to harvest.

시기에 측정된 자료에 비해 값이 더 크울 알 수 있다.

그림에서 보는 것처럼 수확후에 측정된 고저차(obs. 9)가 콤파인 작업에 의한 다짐 정도의 차이 때문에 다른 시기에 측정된 자료에 비해 값이 더 크울 알 수 있다. 또한, 2004년에 두 포장을 합쳐 하나의 포장으로 만들었는데, 합치기 전의 고저차가 어느정도 남아있어, 1-30번까지와 31-60번까지의 고저차가 전체적으로 차이가 났다.

경운전부터 수확후까지 9회 측정된 포장 고저차 지도는 그림 4에 나타났다. 시각적으로 비교한 전체적인 경향이 비슷해 측정 시기별 차이를 확인할 수 없었다. 측정 시기별 차이를 알기 위해서는 통계적인 방법을 써서 분석해야 함을 알 수 있다.

다. 일원 분산분석

1) 경운 및 로타리 전후 비교

경운과 로타리 작업에 따라 포장 고저차가 어느 정도 변하는지를 분석하기 위해 경운(4월 21일)과 로타리 작업(5월 10일) 전(obs. 1)과 후(obs. 2)의 포장 고저차를 측정하여 분석했다. 경운과 로타리 작업 전후에 포장 고저차가 같다는 귀무가설을 세우고, 작업 전후 측정 데이터의 분포가 같은지를 보기 위해 Levene의 동질성 검정을 수행한 결과, Pr>F 값이 0.9037(F=0.01)로 0.05보다 충분히 커서 등분산성을 만족했다. 두 데이터 간의 차이를 보기 위해 일원 분산분석을 수행했고 분산분석결과는 표 2와 같다. 표에서처럼 Pr>F 확률이 <.0001로 유의수준 0.05보다 충분히 작아 귀무가설을 기각하여 경운과 로타리 작업에 따라 포장 고저차가 변함을 알 수 있다. 던칸 다중검정 결과도 obs. 1의 평균은 78.083이고 obs. 2의 평균은 101.117으로 두 개의 집단으로 구분했다.

Table 2 ANOVA results for pre- and post-plowing elevations in study field

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	1	15916.0333	15916.0333	21.77	<.0001
Error	118	86254.7667	760.9726		
Corrected Total	119	102170.8000			

Table 3 ANOVA results for pre- and post-transplanting elevations in study field

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	1	2358.53333	2358.53333	2.88	0.0093
Error	118	96794.76667	820.29463		
Corrected Total	119	99153.30000			

Table 4 ANOVA of elevation data measured during the plant growth phase in study field

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	5	744.8222	148.9644	0.14	0.9829
Error	354	377301.3000	1065.8229		
Corrected Total	359	378046.1222			

Table 5 ANOVA of elevation data over the entire study period in study field

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr>F
Model	8	44256.5926	5532.0741	5.67	<.0001
Error	531	518290.0667	976.0642		
Corrected Total	539	562546.6593			

2) 이앙 전후 비교

이앙 전과 후 포장 고저차가 어느 정도 변하는지를 관찰하기 위해 이앙작업(5월 19일) 전(obs. 2)과 후(obs. 3)에 포장 고저차를 측정하여 분석했다. 이앙 전과 후의 포장 고저차가 같다는 귀무가설을 세우고, 작업 전후 측정 데이터의 분포가 같은지를 보기 위해 Levene의 동질성 검정을 수행한 결과, Pr>F 값이 0.2809(F=1.17)로 0.05보다 충분히 커서 등분산성을 만족했다. 두 데이터 간의 차이를 보기 위해 일원 분산분석을 수행했고 분산분석결과는 표 3과 같다. 표에서처럼 Pr>F 확률이 0.0093으로 유의수준 0.05보다 작아 귀무가설을 기각할 수 있다. 이는 이앙 전과 후에 포장 고저차의 변화가 있음을 의미한다. 던칸 검정과 보수적인 결과를 내는 것으로 알려진 투키 검정(Tukey's Studentized Range Test)을 실시한 결과도 obs. 2의 평균은 101.117이고 obs. 3의 평균은 69.217로 두 개의 집단으로 구분했다.

3) 작기중 변화 관찰

이앙 후 벼 생육기간 중 포장 고저차가 어느 정도 변화는지를 분석하기 위해 이앙작업(5월 19일)후부터 수확을 위한 물떼기 전까지 약 보름 간격으로 6회 포장 고저차를 측정하여

분석했다. 작물 생육 기간 중 포장 고저차가 변하지 않는다는 귀무가설을 세우고, 측정 데이터의 분포가 같은지를 보기 위해 Levene의 동질성 검정을 수행한 결과, Pr>F 값이 0.9083(F=0.31)로 0.05보다 충분히 커서 등분산성을 만족했다. 6회 측정간의 차이를 보기 위해 일원 분산분석을 수행했고 분산분석결과는 표 4와 같다. 표에서처럼 Pr>F 확률이 0.9829로 유의수준 0.05보다 충분히 커 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 작물 생육 기간중에는 포장 고저차가 변하지 않음을 알 수 있다.

4) 년중 변화 관찰

일년 중 포장의 고저차가 어느 정도 변화는지를 분석하기 위해 이앙작업 전부터 수확후까지 9회 포장 고저차를 측정하여 분석했다. 경운전부터 로타리, 이앙, 작물 재배, 수확 작업 동안 포장 고저차가 변하지 않는다는 귀무가설을 세우고, 측정 데이터의 분포가 같은지를 보기 위해 Levene의 동질성 검정을 수행한 결과, Pr>F 값이 0.3436(F=1.13)로 0.05보다 충분히 커서 등분산성을 만족했다. 두 데이터 간의 차이를 보기 위해 일원 분산분석을 수행했고 분산분석결과는 표 5와 같다. 표에서처럼 Pr>F 확률이 <.0001로 유의수준 0.05보다 충분히 작아 귀무가설을 기각하여 경운전부터 경운, 이앙, 작물

참고 문헌

Table 6 Results of Duncan's multiple range test for the entire study period for study field

Duncan grouping	mean	N	observation date
A	78.083	60	Mar. 29, obs. 1
B	101.117	60	May 13, obs. 2
A	69.217	60	Jun. 15, obs. 3
A	71.467	60	Jun. 28, obs. 4
A	72.600	60	Jul. 14, obs. 5
A	72.950	60	Jul. 27, obs. 6
A	73.333	60	Aug. 16, obs. 7
A	73.200	60	Sep. 1, obs. 8
A	78.000	60	Nov. 5, obs. 9

재배, 수확 작업 동안 포장 고저차가 변함을 알 수 있다. 던칸 다중검정 결과도 obs. 1부터 obs. 9까지의 평균이 각각 78.083, 101.117, 69.217, 71.467, 72.600, 72.950, 73.333, 73.200, 78.000으로 obs. 2를 다른 집단과 다른 것으로 구분했다(표 6). obs. 2 값이 큰 이유는 경운작업 전까지 다져져 있던 토양이 경운작업으로 교란되었기 때문으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

일년 동안의 포장 고저차 변화를 분석하기 위해 이앙 전부터 수확후까지 포장내 위치별로 고저차를 측정하고 그 결과를 분석한 결과, 경운과 로타리 후 고저차가 가장 컸고, 이앙 직후 고저차가 가장 작았다. 그 이유는 경운작업 전까지 다져져 있던 토양이 경운작업으로 교란되었기 때문으로 판단된다.

경운과 로타리 작업에 따른 포장 고저차를 분석한 결과, 경운과 로타리 작업에 따라 포장 고저차가 변하는 것으로 나타났다. 이앙 전과 후 포장 고저차 변화를 분석한 결과, 이앙 전과 후에도 포장 고저차는 변하는 것으로 나타났다.

이앙 후 벼 생육기간 중 포장 고저차 변화를 분석한 결과, 작물 생육 기간중에는 포장 고저차가 변하지 않는 것으로 나타났다. 일년 동안 포장의 고저차가 어느 정도 변화는 지를 분석한 결과, 경운전부터 로타리, 이앙, 작물 재배, 수확 작업 동안 포장 고저차가 변하는 것으로 나타났다.

따라서, 이앙 후에 포장 균형을 측정하면 그 균형차이는 작물 생육기간중에 변하지 않으므로, 그 자료를 이용하여 작물 생육기간 중에 위치별 변량 시비 등의 정밀농업 작업을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

1. 농업기계화연구소. 1997. 시험연구사업 시험보고서.
2. 성제훈, 장순우. 2005. 수도작 포장의 고저차 측정을 위한 최적 받침대 선정. 바이오시스템공학회지 30(5):268-273.
3. 작물과학원. 2002. 시험연구사업 시험보고서.
4. 차진팔, 박우풍. 1997. 레이저 균평기 개발. 농업공학연구소 시험연구사업보고서.
5. Brown D. G., and T. J. Bara. 1994. Recognition and reduction of systematic error in elevation and derivation surfaces from 71/2 minute DEMs. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 60:189-194.
6. Kravchenko A. N. 2003. Influence of spatial structure on accuracy of interpolation methods. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1564-1571.
7. Sadler E. J., W. J. Busscher, P. J. Bauer, and D. L. Karlen. 1998. Spatial scale requirements for precision farming: A case study in the southeastern USA. Agron. J. 90:191-197.
8. Sudduth K. A., S. T. Drummond, S. J. Birrell and N. R. Kitchen. 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield. Int'l Proc. 3rd Int. Conf. On Precision Agriculture, O.C. Robert et al.(ed.) pp.129-140.
9. Westphalen M. L., B. L. Steward and S. Han. 2004. Topographic mapping through measurement of vehicle attitude and elevation. Trans. of ASAE 47:1841-1849.