한국농업기계학회지 제25권 제3호. pp. 241~250. 2000

정밀 시비를 위한 소구획 경작지내의 가변적 시비처리량 결정†

Determination of Variable Rate Fertilizing Amount in Small Size Fields for Precision Fertilizing

조 성 인* 강 인 성* 최 상 현*
정회원
S. I. Cho I. S. Kang S. H. Choi

SUMMARY

The feasibility of precision fertilizing for small size fields was studied by determining fertilizing amount of nitrogenous and calcareous to a cite specific region. A detailed soil survey at three experimental fields of 672m^2, 300m^2 and 140m^2 revealed a considerable spatial variation of the pH and organic matter(OM) levels. Soil organic matter was measured using Walkley-Black method and soil pH was measured with a pH sensor. Soil sample was obtained by Grid Node Sampling Method. The soil sampling depth was 10~20 cm from the soil surface.

To display soil nutrient variation, a soil map was made using Geographic Information System (GIS) software. In soil mapping, soil data between nodes was interpolated using Inverse Distance Weighting (IDW) method. The variation was about 1~1.8 in pH value and 1.4~7% in OM content. Fertilizing Amount of nitrogenous and calcareous was determined by the fertilizing equation which was proposed by National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). The variation of fertilizing amount was about 3~11 kg/10a in nitrogenous and 70~140 kg/10a in calcareous. The results showed a feasibility of precision fertilizing for small size fields.

주요용어(Key Words) : 정밀 농업(Precision farming), 가변적 처리 (VRT : Variable rate treatment), 토양 pH(Soil pH), 토양 유기물(Soil organic matter)

1. 서 론

최근 산업이 고도로 발전되면서 환경오염문제는 더 이상 간과할 수 없는 과제가 되고 있다. 농업 분야의 경우 획일적인 기준으로 방제 및 시비를 함에 따라 농약과 비료가 과다 사용되어 생산비용

† This study was conducted by the research fund of advanced technology project(project No:983012), supported by Ministry of Agriculture and Forestry.

* The corresponding author is S. I. Cho, Professor, Dept. of Agricultural Engineering, Seoul National University, 103 Suhdun-dong, Kwonsun-ku, Suwon City, 441-744, Korea. E-mail : sicho@snu.ac.kr

을 증가시키고 토양을 오염시키며 작물에 피해를 입힐 뿐만 아니라 생산량을 저하시켜 경제적 손실을 끼치게 된다. 따라서 농업 환경의 오염을 최소화하고 최적의 경제적 이득을 획득하기 위해서는 경작지내의 국부적인 환경변이를 고려하여 위치에 따라 다른 처방을 내리는 정밀 농업이 요구된다.

작물의 성장에 필요한 3대 요소는 질소, 인산, 칼륨이며, 이 중 질소는 식물 세포의 원형질을 형성하고 있는 단백질의 구성원소이다. 질소 비료를 추천량 이상 사용하게 되면 엽채류와 근채류의 경우 수확량은 증가하지 않고 질산염 함량만을 높여, 질산염 용탈에 의한 지하수를 오염을 야기 시키게 된다(손상목 등, 1997). 벼에 질소 비료를 과다 사용하였을 경우에는 쌀에 외관상 흰 반점이 많아지고 완전미수율이 떨어지며 투명도가 나빠진다. 뿐만 아니라 쌀의 이화학적 특성에도 영향을 미쳐 밥맛을 저하시키게 된다(박정화, 1993). 따라서, 농산물의 품질을 향상시키고 토양의 오염을 방지하기 위해서는 과다한 유기물 사용을 피하고 작물에 꼭 필요한 양을 시비하여야 한다. 질소 비료의 사용 양은 토양 유기물 함량을 이용한 상관식에 의해 결정되므로 경작지내의 토양 유기물의 변이 분포를 분석하는 것은 적정량의 질소질 비료 시용을 위해 꼭 필요한 단계이다.

토양의 pH는 토양 중의 양분 용해도를 크게 지배하며, 토양의 pH가 4~5로 낮아져 강산성이 되면 작물에 독성을 나타낼 정도로 가용성 알루미늄(Al)과 망간(Mn)의 농도가 높아진다. 따라서, 토양의 독성을 제거하고 비료의 용해를 최적화시키기 위해 산성화된 토양의 pH를 약 6.5 정도의 중성으로 유지시켜야 하며, 이를 위해서는 적절한 양의 석회질 비료가 시비되어야 한다. 우리나라의 경우 대부분의 경작지 토양이 산성을 띠고 있으므로 경작지내의 토양의 pH 변이분포를 분석하여 적정한 석회비료를 사용하는 것은 친환경 농업을 위해 꼭 필요하다고 할 수 있다.

미국을 비롯한 선진국의 경우, 친환경 농업을 위해 토양 영양상태의 분포도 작성에 관한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 특히 최근에는 트랙터와 같은 농작업 차량에 토양계측센서와 GPS/GIS 시스템을 탑재하여 실시간으로 토양의 영양상태를 모니터링 할 수 있는 시스템 개발에 관한 연구도 보고되고 있다. Hans 등(1994)은 GPS 시스템을 이용하여 토양의 영양상태 지도 작성에 관한 연구를 진행하였고, Gotway(1996) 등은 토양의 영양상태 분포를 토양 지도 작성을 통해 분석하였다.

Adamchuk 등(1999)은 실시간으로 토양의 pH를 측정할 수 있는 시스템의 프로토 타입을 개발하여 토양 pH 분포도 작성에 관한 연구를 수행하여 실시간 지도작성의 가능성을 평가하였으나 아직까지는 pH 센서의 실시간 응답성능의 불 완전성으로 인해 계측 정확도에 문제점을 안고 있다. 일본의 경우에도 정밀농업에 관한 연구가 활발히 진행중이다. 일본의 연구 결과, 소규모 경작지의 정밀 농업이 가능하다는 판단을 내리고 있으며 이를 위해서는 포장 안의 변이뿐만 아니라 포장과 포장간의 변이 또한 중요하며, 이를 위해서는 포장의 데이터를 모으는 것부터 시작해야 한다고 지적한다(Shibusawa, 1999). 그러나, 우리나라의 경우, 시비, 방제 및 수확 작업에 관련된 정밀농업의 연구는 아직까지는 시작단계로써, 정선옥 등(1999)이 소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성에 관한 연구를 진행하였으나, 경작지내의 수확량 변이 분포를 나타내기 위한 정밀 지도 작성용 시스템 하드웨어의 개발에 관해 초점을 맞추고 있다. 따라서, 우리 나라에서도 정밀농업에 관한 연구가 활성화되기 위해서는 하드웨어의 개발뿐 아니라 포장의 여러 데이터를 어떤 방식으로 조직하고 이용할 것인가에 대한 연구가 요구된다.

본 연구는 지리정보시스템을 이용하여 소구획 경작지내의 토양유기물과 pH의 공간적 변이를 분석하고 이에 따른 질소비료 및 석회비료의 가변적 처리량을 구명하고 이를 통해 우리나라의 정밀시비의 실현 가능성을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 재료 및 방법

가. 토양 데이터 획득

포장시험은 서울대학교 농업생명과학대학 부설 농장의 논(106), 무밭(502)과, 강원도 대관령의 고랭지 감자 재배밭에서 실시하였다. 대학부설 논과 밭은 경사가 거의 없는 평지이고 고랭지 감자밭은 기울기가 약 15°에서 18° 사이의 경사지이다. 경작지 크기는 논은 28m×24m, 무밭은 15×20m, 고랭지 감자밭은 14m×10m였다. 토양 샘플은 약 10~20cm 깊이에서 채취하였다. 토양 데이터의 획득은 그림 1과 같이 격자 노드 샘플링 방법을 이용하였다.

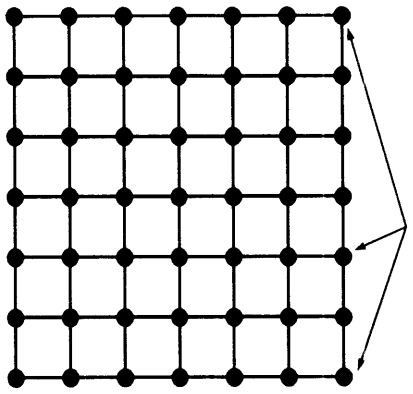


Fig. 1 Soil Smapling Point.

샘플 격자 간격은 시비 작업을 기계화를 대비한 시비작업기의 작업 폭을 고려하여 결정하였다. 즉, 시비 작업기의 작업 폭을 고려하여 그 폭보다 작은 간격으로 데이터를 획득하기로 결정하였다. 시비작업기의 폭은 트랙터를 기준으로 2~3m로 결정하였다. 그 결과 평지 밭은 1m×1.5m 간격, 경사지 밭은 1m×1m 간격, 평지 논은 2m×2m의 간격으로 줄자를 이용하여 위치를 확인한 후 데이터를 획득하였다.

나. 시비량 결정

(1) 질소비료 시비량 결정

일반 논 토양의 유기물 측정에 의한 환경보전형 질소비료 시비량 추천식(박백균, 1996)은 식 (1)과 같다.

$$Y = 12.74 - 1.52 \times A + 0.028 \times B \quad \cdots\cdots \text{식 (1)}$$

Y = 질소시비량(kg/10a)
A = 토양 유기물 함량(%)
B = 토양 규산 함량(ppm)

밭 토양의 경우 질소비료 시용처방은 대상 작물에 따라 차이가 있으며, 감자밭과 무밭의 경우의 질소비료 시비추천량은 식 (2)와 같이 결정된다.

$$Y = 26.169 - 1.564 \times A + \quad \cdots\cdots \text{식 (2)}$$

Y = 질소시비량(kg/10a)
A = 토양 유기물 함량(%)

(2) 석회 요구량 결정

토양의 pH 값을 알고 있는 경우, 토양을 원하는 pH로 조절하기 위한 석회 요구량 계산 방법(박백균, 1996)은 식 (3)과 같다. 본 연구에서는 토양샘플을 약 10~20cm의 깊이에서 채취하였으므로 그 평균값인 15 cm 를 D의 값으로 결정하였다. 목표 pH인 X는 무밭과 논의 경우는 중성화 기준인 6.5로, 감자밭의 경우는 약산성의 토양이 요구되므로 목표 pH를 5.5로 결정하였다. 또한 pH 1.0을 높이는 데 필요한 석회 요구량 A는 토양의 종류에 따라 다르나 본 연구에서는 양토를 기준으로 124kg/10a로 결정하였다.

$$Y = A \times (X - B) \times D/10 \quad \cdots\cdots \text{식 (3)}$$

Y = 석회 요구량(kg/10a)
A = pH 1.0 높이는데 필요한 석회량(kg/10a)
X = 목표 pH
B = 현재 pH
D = 흙의 깊이

다. 토양의 유기물, pH 및 규산 함유량 측정

본 연구에서 토양 유기물 함량은 Walkley-Black Method를 이용하여 측정하였다. 이 측정법은 측정시간이 많이 걸리는 단점이 있으나 정확한 측정값을 제공하는 장점이 있다. 토양 pH는 국내의 진구과학에서 토양 측정을 목적으로 제작하여 농협에서 보급하고 있는 pH 센서를 이용하여 측정하였다. 본 센서의 사용방법에 따라 마른 토양 5g과 증류수 20ml를 혼합하여 약 20분 동안 안정화시킨 후 토양의 pH를 측정하였다. 토양의 규산 함유량은 pH와의 상관식을 이용하여 간접적으로 측정하였다. pH와 규산 함유량의 상관식은 식 (4)와 같다.

$$Y = 35 \times X - 114 \quad \cdots\cdots \text{식 (4)}$$

Y = 규산질 함량(ppm)
X = 측정된 pH

라. 토양 유기물 및 pH 분포 지도 작성

토양의 분포지도를 작성하기 위해 미국 ESRI사

의 Arc View 3.1 GIS 소프트웨어를 이용하였다. 지도 작성 방법은 일정간격의 위치에 대한 위치데이터와 토양 데이터를 획득한 후 점과 점 사이의 데이터를 보간하여 분포도를 작성하였다. 데이터 보간법의 경우 Inverse Distance Weighting(IDW) 방법과 Kriging 방법이 주로 쓰이나 본 연구에서는 데이터간의 거리 차에 비례한 가중치를 부여하여 그 사이 값을 추정하는 IDW법을 이용하여 데이터 보간을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토양의 pH 분포

그림 2, 3, 4는 농장 논, 대관령 고랭지 감자밭, 농장 무밭의 pH 분포도이다. 그림 2에서 농장 논의 pH는 최소 5.552에서 최대 7.415까지 분포를 보이며 포장의 대부분이 약 5.8에서 6.6 정도의 약산성 내지 중성을 보이는 것으로 나타났다. 그림 3에서 감자밭의 pH는 최소 4.04에서 최대 5.74까

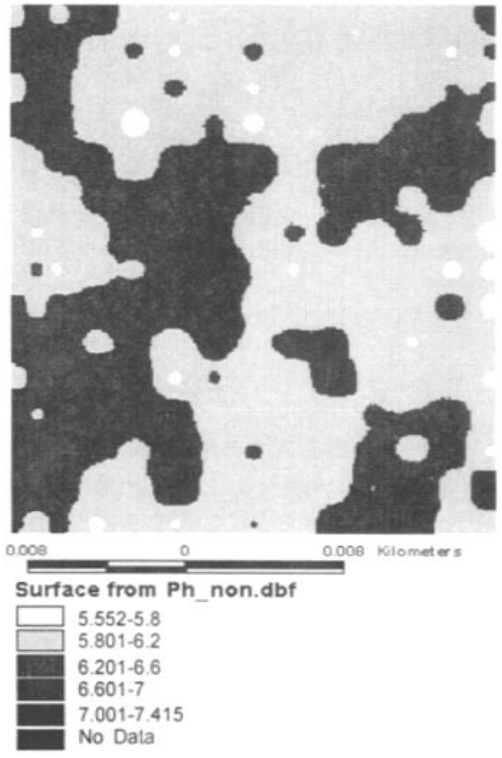


Fig. 2 Soil pH map of the rice field.

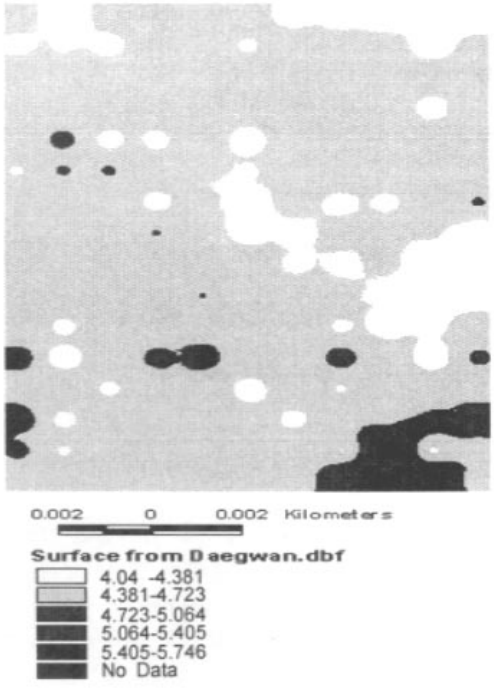


Fig. 3 Soil pH map of the potato field.

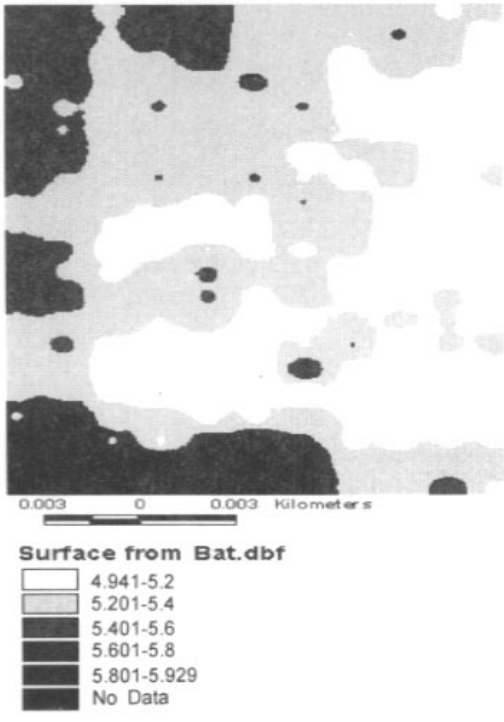


Fig 4 Soil pH map of the radish field.

지로 대부분의 토양이 강한 산성을 띠어 많은 양의 석회가 요구되고 있음을 알 수 있다. 그림 4에서 무밭의 pH는 최소 4.941에서 최대 5.925까지의 분포를 보였으며 이 역시 대부분의 토양이 산성을 띠고 있다. 우리 나라의 일반적인 경작지 토양의 산성도는 전국적으로 5.1~6.0의 분포를 보이므로 본 연구의 실험 대상 경작지의 pH 수준은 우리 나라의 평균적인 토양과 비슷한 수준이나 대관령 경사지 밭의 경우는 전국 평균치보다 산성화가 강하게 나타나고 있다.

나. 토양 유기물 분포

그림 5, 6, 7 은 농장 논, 대관령 고랭지 감자밭, 농장 무밭의 유기물 분포도이다. 그림 5에서 농장 논의 유기물은 최소 0.403%에서 최대 2.552%까지 분포를 보이며 포장의 대부분이 약 1.2~1.6% 정도를 보이는 것으로 나타났다. 그림 6에서 감자밭의 유기물은 최소 4.36%에서 최대 11.55%까지의 분포를 보였다. 유기물 함량이 낮은 곳은 지대가 높은 지점으로서 그 분포가 계단형의 형태를 보이

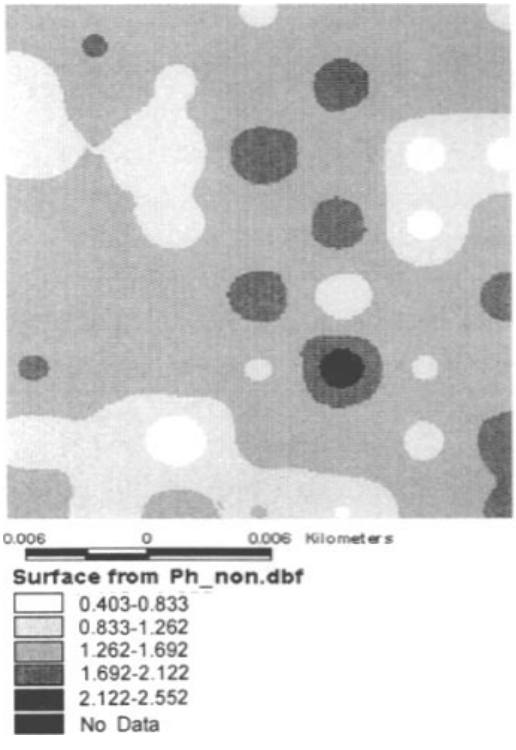


Fig. 5 Soil OM map of the rice field.

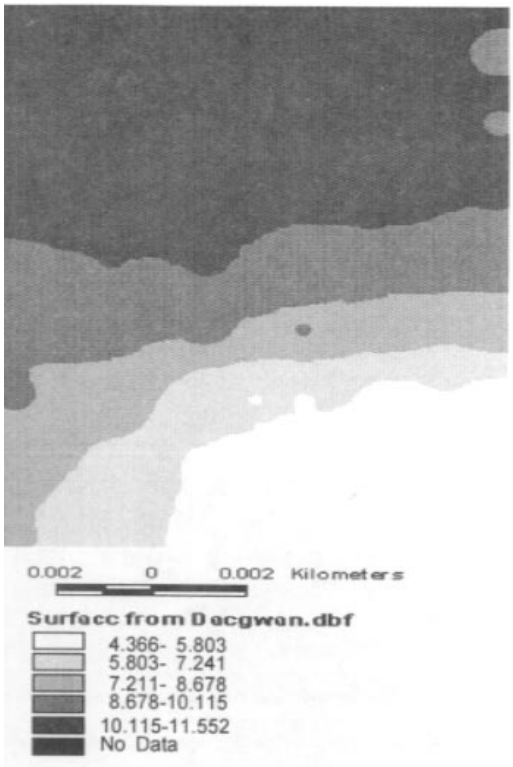
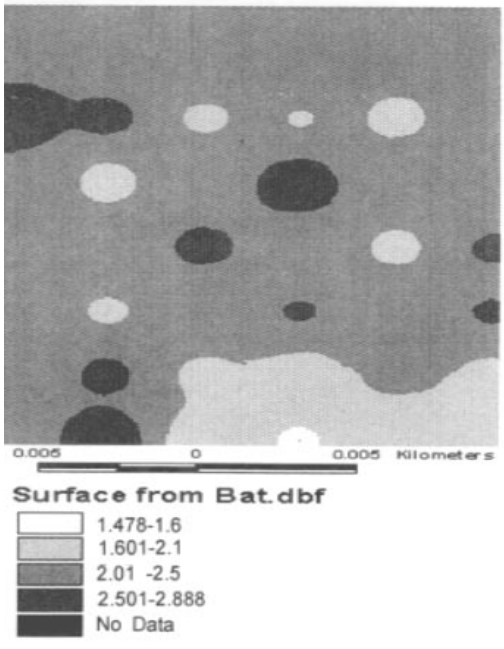


Fig. 6 Soil OM map of the potato field.



고 있는 것으로 나타났다. 이는 토양유실에 기인하는 것으로 판단된다. 그림 7에서 무밭의 유기물 함량은 최소 1.478%에서 최대 2.888%까지의 분포를 보였다. 이 밭은 유기물 함량이 전반적으로 양호한 경향을 보였으나 2% 미만인 지역이 14.2%이었으며 2.5% 이상인 지역도 16.6%의 분포를 보였다.

다. 시비 처방 결과

(1) 질소비료 처방 결과

일반적인 논의 질소비료 표준 시비추천량은 10a당 19kg(농림부, 2000)을 사용한다. 본 연구에서 추천시비 계산식을 이용하여 계산한 질소비료 시비량은 그림 8과 같은 분포를 나타냈다. 가변처리 분포지도의 격자크기는 시비작업기의 폭을 고려하여 2m로 결정하였다. 논에 대한 질소비료는 요구시용량은 그림 8에서와 같이 10a당 약 12kg~16kg의 가변적인 양으로 결정되었다. 이 포장내의 평균 질소 요구량은 13.49 kg/10a이며 표준 시비량 19kg/10a의 71% 수준으로 전체적으로 29%가 감소된 양이다.

본 연구의 실험 대상 감자밭의 질소비료 요구시용량은 그림 9와 같은 분포를 나타냈다. 가변처리 분포지도의 격자크기는 14m×10m 크기의 경작지 크기와 작업기 폭을 고려하여 2m로 결정하였다. 계산 결과 본 실험 지역의 질소비료 요구시용량은 최소 8.91kg/10a에서 최대 19.92kg/10a로 그 차이가 11kg/10a로 나타났다. 이 경작지의 평균 12.63kg/10a로 표준 시비추천량 10kg/10a(농림부, 2000)보다 26% 증가된 양이다.

무밭의 표준 시비추천량은 28kg/10a(농림부, 2000)이다. 본 연구에서 식 (2)에 의해 결정된 질소비료 요구시용량 분포는 그림 10과 같다. 격자크기는 경작지의 크기(15m×20m)를 가로와 세로의 비율을 고려하여 3m×2m로 결정하였다. 그림

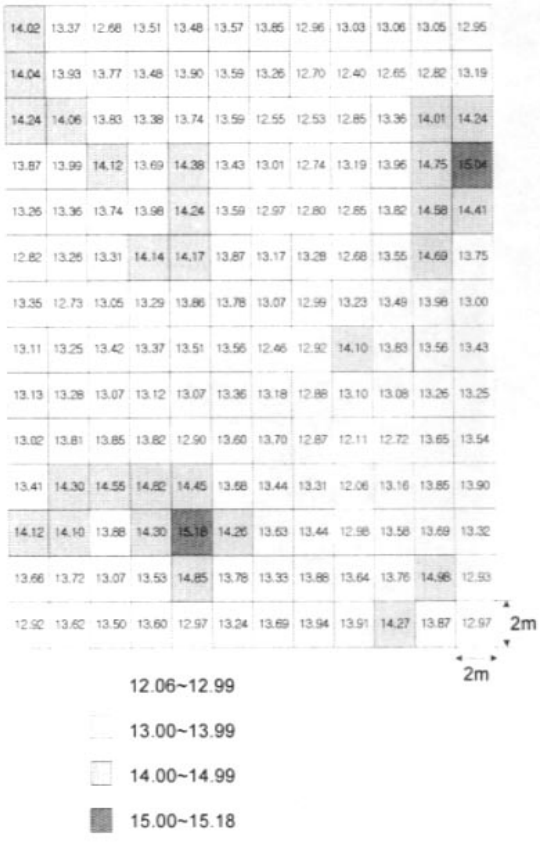


Fig. 8 N-fertilizing of the rice field(kg/10a).

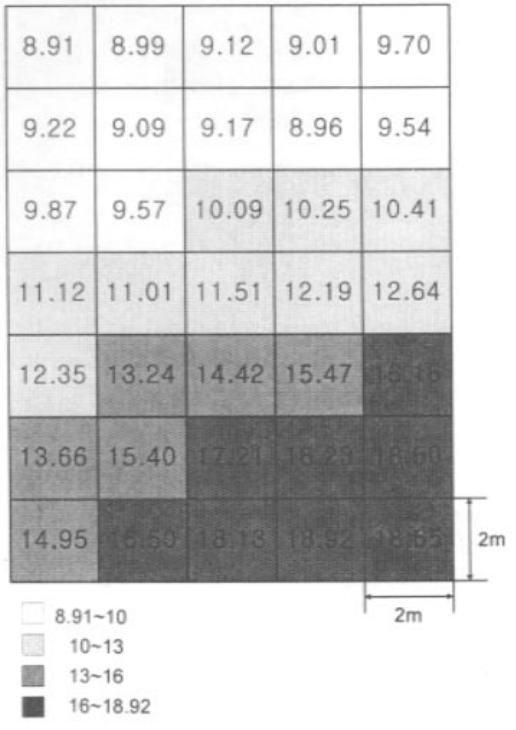


Fig. 9 N-fertilizing of the potato field(kg/10a).

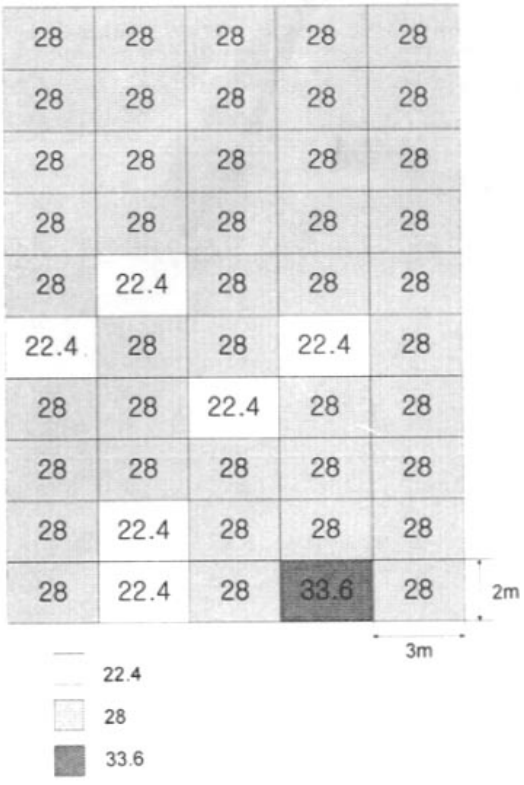


Fig. 10 N-fertilizing of the radish field.

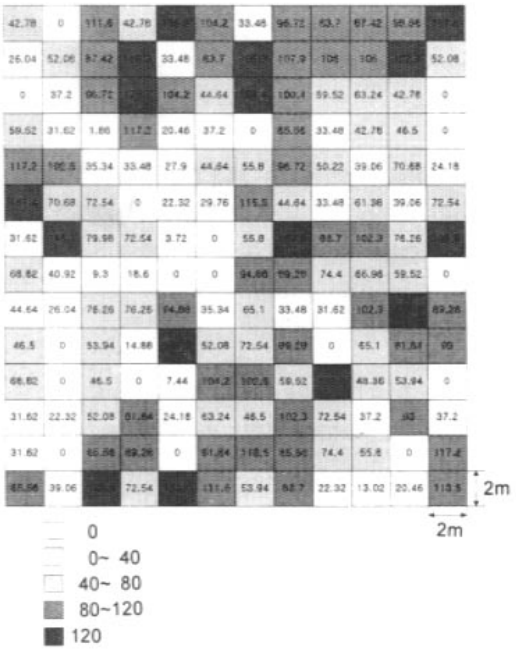


Fig. 11 Ca-fertilizing of the rice field(kg/10a).

에서 보는 바와 같이 질소비료의 요구시용량은 표준 시비추천량과 몇 지점을 제외하고는 거의 차이가 나질 않는 것으로 나타났다. 이 무밭의 평균 질소비료 요구시용량은 27.53kg/10a로 표준 시비추천량의 98.3%에 해당한다.

(2) 석회질 비료 처방 결과

그림 11은 농장 논의 석회비료 요구량 분포를 나타낸 것이다. 앞의 그림 2의 pH 분포에서 보이듯이 이 경작지 토양은 대부분 중성과 약 산성을 띠므로 석회 요구량이 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 농장 논의 석회비료 요구시용량은 최소 0kg/10a, 최대 176.7kg/10a이며, 평균 석회비료 요구시용량은 66.5kg/10a으로 표준 석회비료 시비추천량인 200kg/10a(농촌진흥청, 2000)과는 큰 보이고 있다.

그림 12는 대관령 감자밭의 석회비료 요구시용량 분포를 보여준다. 이 지역은 그림 3과 같이 대부분이 강한 산성을 띠어 표준 석회비료 시비추천량보다 훨씬 많은 양의 석회가 요구되고 있음을

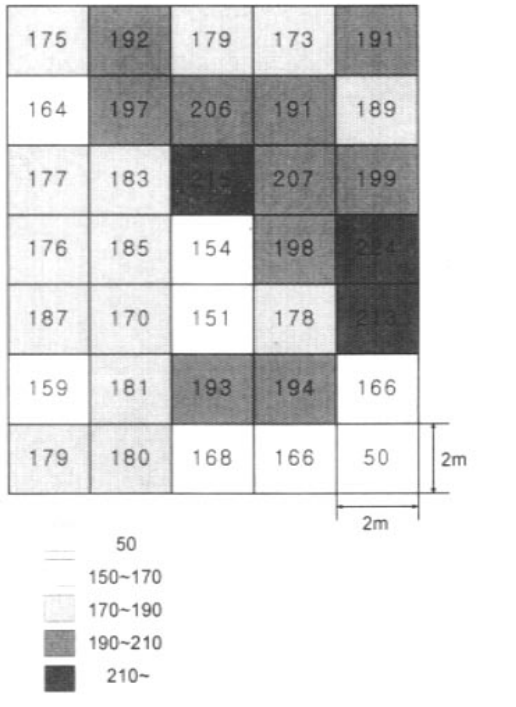


Fig. 12 Ca-fertilizing of the potato field(kg/10a).

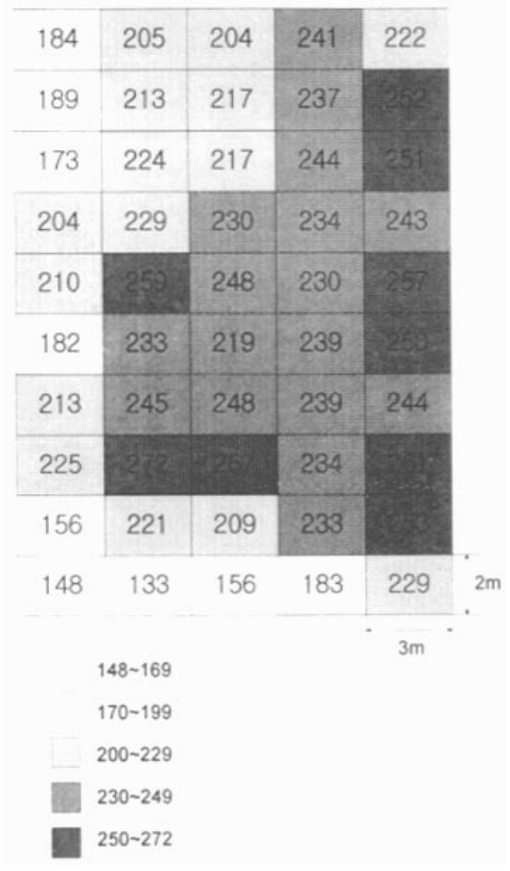


Fig. 13 Ca-fertilizing of the radish field.

보여준다. 석회비료 요구시용량은 최소 50kg/10a, 최대 224kg/10a로서 그 차이가 174kg/10a에 이른다. 감자밭 토양에 대한 평균 석회비료 요구시용량은 180kg/10a으로 나타났다. 토양 구획 중에 50kg/10a를 나타내는 지역은 그림 3의 pH 분포 지도에서 보듯이 약 산성을 나타내어 요구시용량이 다른 지역보다 적게 나타났다.

그림 13은 농장 무밭의 석회비료 요구시용량 분포를 나타낸 것으로 그림 4에서 보는 바와 같이 우리나라의 전형적인 산성화 된 토양 pH 분포를 나타내고 있으며 석회비료 요구시용량도 표준 석회비료 시비추천량과 비슷한 수준을 보이고 있다. 무밭 석회비료 요구시용량은 평균 220kg/10a, 최소 133kg/10a 최대 272kg/10a로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구의 실험 결과, 토양의 pH와 유기물 분포 및 비료 시비량 추천식에 의한 질소 및 석회비료 요구시용량을 표로 나타내면 표 1, 표 2, 표 3과 같다.

토양의 유기물 분포는 평지 논과 밭의 경우는 약 2% 안팎의 분포를 보였으며, 고랭지 감자밭의 경우는 4%~11% 정도의 분포를 보여 한 경작지 포장 내에서도 그 차이가 경작지에 따라 최소 약 1.4%에서 최대 7.2%로 나타났다. 토양의 pH 분포는 세 경작지 대부분에서 산성의 경향을 보이고 있으며, 경작지에 따라 최소 1.0에서 최대 1.9 정도의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 무밭의 경우는 약한 산성과, 중성, 약한 알칼리성의 다양한 분포를 보여 한 경작지 내에서도 다양한 수준의 pH 분포가 나타날 수 있음을 알 수 있었다.

시비 요구량 결정에 있어서는 친환경 농업을 위한 비료 시비추천량에 관한 수식을 적용하여 그 값을 계산하였다. 질소 비료의 경우, 그 요구량은 경작지에 따라 최소 약 4kg/10a에서 최대 11kg/10a의 차이를 보였고 표준 시비추천량과 비교하면 최대 29% 정도까지 그 사용 양을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 대관령 감자밭의 경우에는

Table 1 Distribution of soil pH and OM

Field	Distribution of soil OM(%)			Distribution of soil pH		
	Min	Max	Ave	Min	Max	Ave
Rice	0.40	2.55	1.39	5.55	7.41	6.18
Radish	1.47	2.88	2.26	4.94	5.93	5.29
Potato	4.36	11.55	8.59	4.04	5.75	4.51

Table 2 Distribution of N-fertilizing

Field	N fertilizing amount (kg/10a)			
	Min	Max	Ave	With conventional fertilizing
Rice	12.06	16.07	13.49	-29.0%
Potato	8.91	19.92	12.63	+26.3%
Radish	22.4	33.6	27.53	-1.7%

Table 3 Distribution of Ca-fertilizing

Field	Ca fertilizing amount (kg/10a)			
	Min	Max	Ave	With conventional fertilizing
Rice	0	177	66.5	-66.8%
Potato	50	224	180	-10%
Radish	133	272	220	+10%

표준 시비추천량보다 많은 양의 질소비료가 요구되고 있는 것으로 나타났다. 석회비료의 요구시용량은 경작지에 따라 그 변이가 최소 139kg/10a에서 최대 177kg/10a로 나타났다.

이들 비료 요구시용량을 표준 시비추천량과 비교한 결과, 대부분의 경우 그 사용 양을 줄일 수 있으나 경우에 따라서는 더 많은 양이 사용되어야 하는 것으로 나타났다. 이런 결과를 보인 이유는 경작지 내부에서의 변이 차이와 더불어 한 경작지와 다른 경작지, 그리고 지역에 따라 각기 다른 변이가 나타나기 때문이다. 따라서, 모든 경작지에 비료 사용 양을 절대적으로 줄일 수 있다는 일관된 결론을 내리기는 힘들다. 그러나, 더욱 중요한 것은 폭이 약 20m 정도의 소규모 경작지에서도 토양의 pH와 유기물의 양은 공간적으로 변이가 분포하며 이에 따른 시비요구량이 큰 차이를 보임을 알 수 있게 되었다. 따라서, 친환경적 농업을 위한 경작지 토양 관리를 위해서는 위치에 따라 가변적인 시비처방이 요구되고 있으며, 이는 한국과 같은 소규모 지역에서도 정밀농업이 가능할 수 있음을 보여준다.

본 연구에서는 토양의 상태 분포를 지도로 작성하는 과정에서 토양 데이터 획득 및 토양 유기물, pH 계측에 상당히 많은 시간과 인력이 소요되었다. 따라서, 토양 상태 계측장치와 GPS 수신기 및 GIS 시스템을 통합적으로 농용차량에 탑재하여 실시간으로 데이터를 획득할 수 있는 시스템이 구성되면 지도 작성시 요구되는 노동력과 시간을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 농림부, 2000. 작물별 표준시비량. 농림부 홈페이지 자료실.
2. 농촌진흥청. 2000. 밭토양 pH 수준별 분포비율 및 석회시용량. 농촌진흥청 홈페이지 자료실.
3. 손상목, 정길생, 1997. 한국 환경 농업의 성공적 정착을 위한 기술적 및 정책적 접근과제. 유기 농업학회지 동계학술대회. 5(2):13-36.
4. 박정화. 1995. 질소 비료 사용과 미질. 농업기술지 2월호: 1-2.
5. 박백균. 1996. 토양검정에 의한 시비량 조절.

농업기술 8월호: 3-5.

6. 정선옥, 박원규, 장영창, 이동현, 박우풍. 1999. 소구획 경작지에서의 벼 수확량 지도 작성. 한국 농업기계학회지 24(2):135-144.
7. Hans Delcourt, Josse De Baerdemaeker. 1994 Soil nutirent mapping implication using GPS. Computers and Electronics in Agriculuture 11:37-51.
8. Carol. A. Gotway, Richard B. Ferguson, Gary W. Hergert and Todd A. Peterson. 1996. Division S-8 Nutrient Management & Soil & Plant Analysis. Soil. SCI. SOC. AM. J. 60: 1237-1247.
9. Adamchuk, V. I. and M. T. MorganM. T. 1999. Evaluation of Automated Soil pH Mapping. Paper No. 991100.
10. Shibusawa, S. 1999. Envirionment-Friendly Agriculture and Mechanization Trend in Japan. Proceedings of international Symposium on Farm Mechanization for Environment-Friendly Agriculuture. pp. 53-80.