



샘플 격자 간격은 두 가지 사항을 고려하여 결정하였다. 첫 번째 고려사항은 시비 작업을 기계화하였을 경우를 대비하여 시비작업기로 사용될 농용 차량의 작업폭이며, 두 번째 고려사항은 최대 허용 채취간격이다. 본 연구에서는 최대 허용 간격을 Semivariogram method를 이용하여 결정하였으며 그 식은 식 (1)과 같다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(N-h)} \sum_{i=1}^{N-h} (Z_i - Z_{i+h})^2$$

-----(1)

$\gamma(h)$  = semivariance  
 N = number of sample  
 $Z_i$  = value at i position  
 h = lag between samples

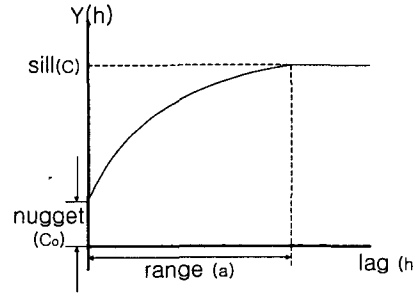


Fig.2 Semivariogram

(1)의 식에 의해 규칙적으로 획득된 표본데이터를 이용하여 그림 2와 같은 semivariogram을 얻는다. 세로축은 semivariance이며, 가로축은 표본 데이터 사이의 lag, 즉 표본 사이의 거리 차를 의미한다. 또한 세로축의 절편인 nugget은 반복 샘플 획득시 나타나는 오차를 의미한다. 그래프의 증가가 둔화되는 지점인 Sill(C) 이후는 데이터 사이의 공분산이 존재하지 않으며 아무런 상관성이 없는 것으로 파악된다.

나. 시비량 결정

1) 질소 비료 시비량 결정

일반 논 토양의 유기물 측정에 의한 환경 보전형 질소 시비량 추천식(박백균, 1998)은 식 (2)와 같다. 밭 토양의 경우 질소 시비처방은 대상 작물에 따라 차이가 있으며, 감자와 무밭의 경우의 질소 시비량은 식 3과 표 1과 같이 결정된다.

$Y=12.74-1.52 \times A+0.028 \times B$  ---식(2)

Y=질소시비량(kg/10a)

A=토양 유기물 함량(%)

B=토양 규산 함량(ppm)

$Y=26.169-1.564 \times A$  -----식(3)

Y=감자밭 질소시비량(kg/10a)

A=토양 유기물 함량(%)

Table 2 N-fertilizing amount of radish field(kg/10a)

작물	표준시비량	토양유기물함량		
		1.6 이하	1.6~2.5	2.5이상
무	28.0	33.6	28.0	22.4

## 2) 석회 요구량 결정

토양의 pH값을 알고 있는 경우 토양을 원하는 pH로 조절하기 위한 석회 요구량 계산 방법은 식 (4)와 같다. 본 연구에서는 토양샘플을 약 10~20cm의 깊이로 채취하였으므로 그 평균값인 15cm를 D의 값으로 결정하였다. 목표 pH인 X의 경우는 무밭과 논인 경우는 중성화 기준인 6.5로, 감자밭 토양의 경우는 약산성의 토양이 요구되므로 목표 pH를 5.5로 결정하였다. 또한 pH 1.0 높이는 데 필요한 석회 요구량 A의 경우 토양의 종류에 따라 다르나 본 연구에서는 양토를 기준으로 124 kg/10a로 결정하였다.

$$Y=A \times (X-B) \times D/10 \quad \text{---식(4)}$$

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

### 다. 토양 유기물, pH, 규산 함유량 측정

토양 유기물 함량은 화학 시료를 이용한 측정법인 Walkley-Black Method를 이용하여 측정하였고, 토양 pH는 국내의 진구 과학에서 제작된 pH 센서를 이용하여 측정하였다. 토양의 규산 함유량은 pH와의 상관식을 이용하여 간접적으로 측정하였다. pH와 규산 함유량의 상관식은 식 (5)와 같다.

$$Y= 35 \times X - 114 \quad \text{---식(5)}$$

Y=규산질 함량(ppm)	X=측정된 pH
---------------	----------

### 라. 분포 지도 작성

토양 분포지도 작성은 미국 ESRI사의 Arc View 3.1 소프트웨어를 이용하여, 일정간격의 위치에 대한 위치데이터와 토양데이터를 획득한 후 점과 점 사이의 데이터를 보간하여 분포도를 작성하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 토양 샘플 채취 격자 크기 결정

그림 3은 농장 논에서 0.5m간격으로 획득된 40개의 표본 토양샘플의 pH에 대한 Semivariogram이며, 그림 4, 5는 같은 방법으로 작성된 논과 대관령 밭 토양 유기물의 Semivariogram이다. 그림에서와 같이 세 실험 경작지의 Semivariogram 방법을 이용한 최대 허용 샘플 채취 간격은 8m로 결정하였으나, 실험 대상지에 이 결과를 적용하게 될 경우, 분포도를 작성할 수 있을 만큼의 데이터 수를 확보할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 농작업의 특수한 사항을 추가적으로 고려했다. 즉, 시비 작업기의 작업폭을 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 데이터를 획득하였다.

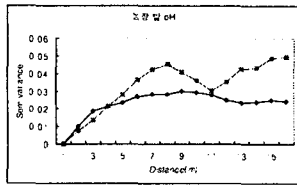


Fig. 3 Semivariogram of soil pH in radish field

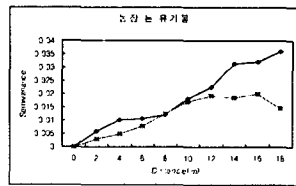


Fig. 4 Semivariogram of soil OM in rice field

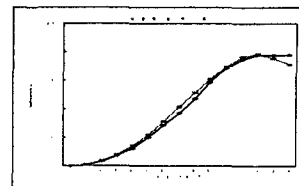


Fig. 5 Semivariogram of soil OM in potato field

나. 토양 pH 분포

그림 6, 7, 8은 농장 논, 대관령 고랭지 감자밭, 농장 무밭의 pH분포도이다. 그림 6에서 농장 논의 pH는 5.552~7.415; 그림 7에서 감자밭의 pH는 4.04~5.74, 그림 8의 무밭 pH는 4.941~5.925까지의 분포를 보였다.

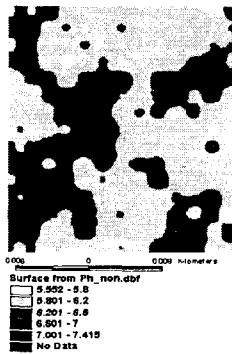


Fig. 6 Soil pH map of rice field

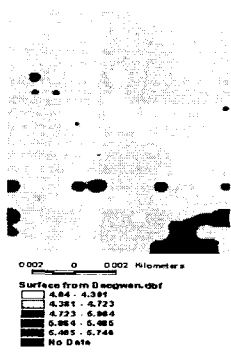


Fig. 7 Soil pH map of potato field

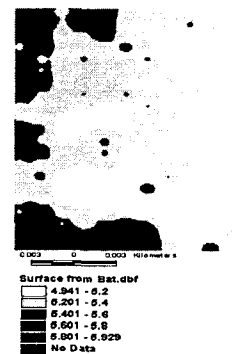


Fig. 8 Soil pH map of radish field

다. 토양 유기물 분포

그림 9, 10, 11은 농장 논, 대관령 고랭지 감자밭, 농장 무밭의 유기물 분포도이다. 그림 9에서 농장 논의 유기물은 0.403%~2.552%, 그림 10에서 감자밭의 유기물은 4.36%~11.55%, 그림 11에서 무밭의 유기물 함량은 1.478%~2.888%까지의 분포를 보였다.

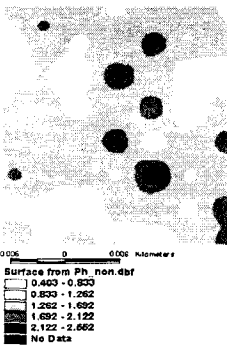


Fig. 9 Soil OM map of rice field

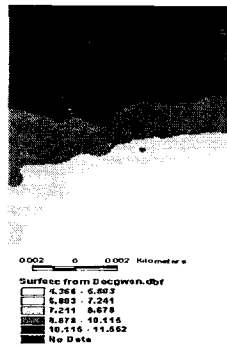


Fig. 10 Soil OM map of potato field

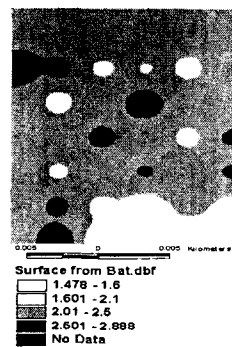


Fig. 11 Soil OM map of radish field

라. 시비 처방 결과

1) 질소비료 처방 결과

일반적인 논외의 경우 표준 시비량은 10a당 19kg을 사용한다. 추천 시비 계산식을 이용하여 계산한 질소 시비량은 그림 13과 같은 분포를 보였다. 가변 처리 분포 지도의 격자 크기는 시비 작업의 규격을 고려하여 4m로 결정하였다. 그림 12에서 논에 대한 질소비료는 10a당 약 12kg~15kg 정도로 가변적인 처리량이 결정되었다. 감자밭의 경우 표준 시비량은 10kg/10a('96 농과원)이다. 본 연구의 실험 대상 감자밭의 질소 시비량은 위치에 따라 그림 13과 같은 분포를 보였다. 가변 처리 분포 지도의 격자 크기는 14m×10m 크기의 경작지 크기와 작업 폭을 고려하여 2m로 결정하였다. 무밭의 경우 표준 시비량은 28kg/10a 이다. 본 연구에서 표 1의 추천 시비량에 의해 결정된 질소 시비량 분포는 그림 14와 같다. 격자 크기는 경작지의 가로와 세로의 비율을 고려하여 3m×2m 로 결정하였다.

13.94	12.8	13.9	13.26	12.4	12.82
14.25	14.24	14.39	13.02	13.18	14.76
12.95	13.12	14.16	13.17	12.67	14.69
13.31	13.44	13.51	12.46	14.1	13.55
13.22	13.20	13.18	13.7	12.11	13.65
14.13	14.25	15.18	13.64	12.98	13.69
12.91	13.5	12.97	13.66	14.57	13.88

Fig. 12 N-fertilizing of rice field(kg/10a)

8.91	8.99	9.2	9.01	9.70
9.22	9.09	9.17	8.96	9.54
9.87	9.57	10.09	10.25	10.41
11.12	11.01	11.51	12.19	12.64
12.35	13.24	14.42	15.47	16.16
13.66	15.40	17.21	18.23	18.50
14.95	16.50	18.13	18.92	18.65

Fig. 13 N-fertilizing of potato field(kg/10a)

28	28	28	28	28
28	28	28	28	28
28	28	28	28	28
28	28	28	28	28
28	22.4	28	28	28
22.4	28	28	22.4	28
28	28	22.4	28	28
28	28	28	28	28
28	22.4	28	28	28
28	22.4	28	33.6	28

Fig. 14 N-fertilizing of radish field

2) 석회질 비료 처방 결과

그림 15은 농장 논외의 소식회 요구량의 분포를 나타내며, 그림 16은 대관령 고랭지 감자밭의 석회 요구량 분포, 그림 17은 농장 무밭의 석회 요구량 분포도이다.

95.8	85.1	89.3	98.6	104	73.9
55.3	105	50.2	69.8	48.8	24.2
42.5	13.9	61.4	56.3	52.5	88.8
43.2	21.9	14	96.7	76.3	107
59.5	63.2	56.3	35.3	96.3	105
43.5	20	79.1	89.3	58.1	64.2
81.6	56.7	90.2	66.5	0	72.5

Fig. 15 Ca-fertilizing of rice field(kg/10a)

175	192	179	173	191
164	197	206	191	189
177	183	215	207	199
176	185	154	198	224
187	170	151	178	213
159	181	193	194	166
179	180	168	166	50

Fig. 16 Ca-fertilizing of potato field(kg/10a)

184	205	204	241	222
189	213	217	237	252
173	224	217	244	251
204	229	230	234	243
201	259	248	230	257
182	233	219	239	250
213	245	248	239	244
225	272	267	234	261
156	221	209	233	253
148	133	156	183	229

Fig. 17 Ca-fertilizing of radish field

#### 4. 요약 및 결론

본 연구의 실험 결과, 토양의 pH와 유기물 분포 및 추천 시비 식에 의한 질소 및 석회 시비 요구량을 표로 나타내면 표 2, 표 3, 표 4와 같다.

Table 2 Distribution of soil pH and OM

경작지	유기물 분포(%)			pH 분포		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균
농장 논	0.40	2.55	1.39	5.55	7.41	6.18
농장 무밭	1.47	2.88	2.26	4.94	5.93	5.29
대관령 감자밭	4.36	11.55	8.59	4.04	5.75	4.51

Table 3 Distribution of N-fertilizing

경작지	질소 시비 요구량(kg/10a)			
	최소	최대	평균	표준 시비 요구량과의 비교
농장 논	12.11	15.18	13.45	29.21% 감소
농장 무밭	22.4	33.6	27.53	1.7% 감소
대관령 감자밭	8.91	19.92	12.63	26.3% 증가

Table 4 Distribution of Ca-fertilizing

경작지	석회 시비 요구량(kg/10a)			
	최소	최대	평균	표준 시비 요구량과의 비교
농장 논	0	107	65	67.5% 감소
농장 무밭	133	272	220	10% 증가
대관령 감자밭	50	224	180	10% 감소

위의 결과에서 보는 바와 같이, 폭이 약 20m 정도의 소규모 경작지에서도 토양의 pH와 유기물의 양은 공간적으로 변이가 분포하며 이에 따른 시비 요구량이 큰 차이를 보임을 알 수 있었으며, 친환경적 농업을 위한 경작지 토양 관리를 위해서는 위치에 따라 가변적인 시비처방이 요구되고 있으며, 이는 한국과 같은 소규모 지역에서도 정밀농업이 가능할 수 있음을 보여준다.

#### 5. 참고 자료

1. 손상목, 정길생, 1997. 한국 환경 농업의 성공적 정착을 위한 기술적 및 정책적 접근과제. 유기 농업학회지 동계학술대회. 5 (2): 13-36
2. 박정화. 1995. 질소 비료 사용과 미질. 농업기술지 2월호: 1-2
3. 박백균. 1998. 토양검정에 의한 시비량 조절. 농업기술 8월호: 3-5.
4. 정선옥, 박원규, 장영창, 이동현, 박우풍. 1999. 소구획 경작지에서의 비 수확량 지도 작성. 한국 농업기계학회지 Vol.24(2) :135-144
5. Hans Delcourt, Josse De Baerdemaeker. 1994 Soil nutrient mapping implication using GPS. Computers and Electronics in Agriculture 11 : 37-51
6. 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
7. Adamchuk, V. I. and Morgan, M. T. 1999. Evaluation of Automated Soil pH Mapping. Paper No. 991100 An ASAE Meeting Presentation.
8. Shibusawa, S. 1999. Environment-Friendly Agriculture and Mechanization Trend in Japan. Proceedings of international Symposium on Farm Mechanization for Environment-Friendly Agriculture: 53-80