수도작에 있어서 비료의 변량살포에 관한 연구
A Study on Variable-Rate Fertilizer Application for Paddy Field

류찬석* *우메다 미키오* 카호 토시카즈*
정회원
C. S. Ryu M. Umeda T. Kaho

1. 서론

최근, 일본에서는 벼농사 재배면적의 확대, 기반정비에 의하여 기존 토양이 심하게 뒤섞여 정밀한 포장관리가 곤란하게 되었고, 근대농업이 초래한 화학·기계집약적인 재배에 의해 환경부하의 증가 등이 문제화되고 있다. 벼농사에 이용되고 있는 질소 비료의 양은 전작에 비해 토양뿐만 아니라 수질오염의 주원인으로 인식되어지고 있다. 세계의 식량생산에 투입되고 있는 질소비료의 양 및 이용률에 관한 한 보고에서는 전 세계적으로 투입된 질소 중 매년 160억 달러분의 질소비료가 이용되지 않고 토양 또는 하천에 유입되어 환경오염의 원인으로 작용하고 있고 세계 평균적으로 33%정도의 질소비료만이 실제 작물의 생육에 이용되고 있다는 것이 확인되었다. 이런 질소 비료의 과다투입에 의한 환경오염을 방지하기위해 구미에서는 저 환경부하로 지속적인 농법을 실행하기위한 수법으로서 1990년대부터 정밀농업에 관련된 연구에 총력을 쏟고 있다. 특히, 일본의 경우는 쌀을 제외한 농작물의 경우, 수입되는 양이 방대하고 이에 따른 환경오염 등이 문제시 되고 있다. 이러한 문제에 대응하기 위해 1998년부터 쿄토대학과 생연기구 등에서 정밀농업에 관한 연구를 시작하였다. 특히, 1999년부터 토양에 과다 투입되는 질소비료의 양을 최소화하기 위한 방법 중에 하나로써 변량시비에 관한 연구가 시작되었다. 변량시비는 생육에 필요한 질소량을 측정하여 필요한 양만큼의 질소비료를 투입할 수 있도록 고안되었고 추후에 리모트센싱 기술을 도입하여 포장의 벼의 생육량을 실시간으로 분석하는 것이 가능하리라고 생각된다. 본 연구는 변량시비 구획의 시비량을 균일시비구획의 기준량보다 15% 감소시켜 수확량과의 관계를 분석하는 목적에서 시작되었다.

2. 재료 및 방법

1. 포장정보

오사카부 타카쯔키시에 있는 쿄토대학 부속농장 0.5ha의 논을 5m×10m크기로 100개의 구획으로 구분해서 각 구획의 중심을 기준으로 6주씩 생육량을 조사하였다. 생육량은 단위면적당 분얼수에 SPAD치와 초장을 곱하여 생육지수로써 사용하였다. 변량살포의 필요성을 비교하기 위하여 100구획의 포장을 반으로 나누어 각각 50구획을 균일시비구역과 변량시비구역으로 나누어 변량시비의 필요성에 대해 검증하였다.

* 일본 쿄토대학 농학연구과 지역환경과학전공 생산제어공학연구분야

밑거름의 경우는 전 구획을 각각 3kgN/10a, 3kgP/10a씩 균일시비 하였으며 이삭거름의 경우는 균일시비 구획에서는 3kgN/10a, 변량시비구획에서는 0kgN/10a~5kgN/10a사이의 값으로 각각 시비하였다.

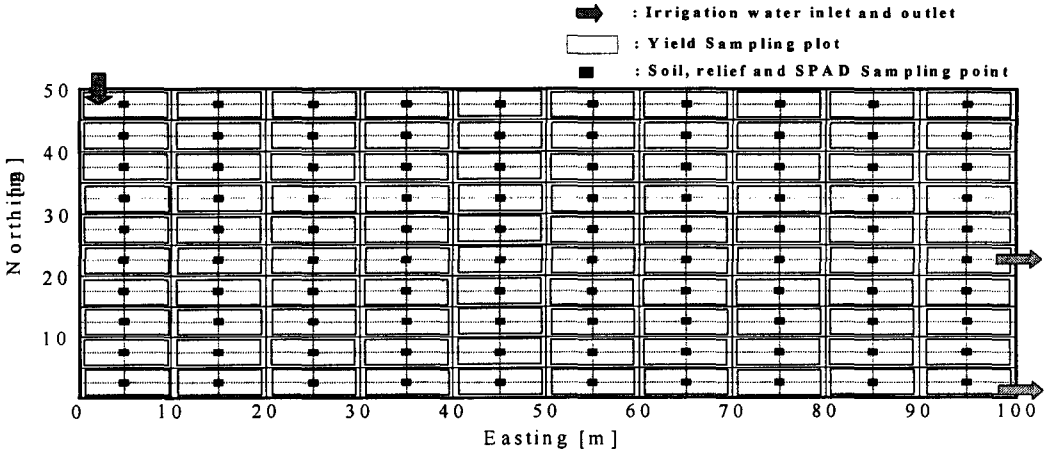


그림1. 쿄토대학 부속 타카쯔키농장

2. 변량시비기

변량살포기는 미쯔비시 농기계제작소의 MVP-805모델에 6개의 DC 서버모터를 이용하여 변량제어를 하도록 구성하였다. 기타장치로서 로터리 엔코더와 카운터를 이용하여 실제 모터의 회전수와 2nd PTO의 속도를 측정·기록하였다. Trimble사의 RTK-DGPS(7400Msi)를 사용하여 실시간 위치정보를 저장하였으며 작업기의 속도측정에 이용하였다.

3. 시비량의 결정

정밀농업이 시작되기 전까지의 일본에서는 3kgN/10a를 기준으로 균일시비를 행하여 왔었다. 변량시비를 수행하기 위해서 유수형성기에 벼가 가지고 있는 질소량을 조사하여 부족분의 질소량을 시비하는 방법을 적용했다. 재배시스템 연구실에서 각 구획을 대상으로 각각6주씩을 샘플링하여 건중량과 보유질소량을 측정하였다. 벼의 질소보유량을 측정하기 전의 생육지수와 측정된 벼가 가지고 있는 질소 보유량을 그림2와 그림3에 나타내었다.

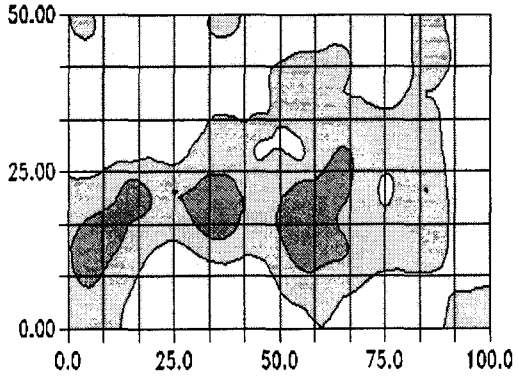


그림 2. 최고 분얼기의 생육지수

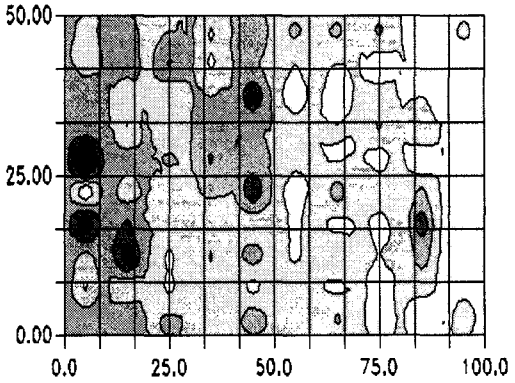


그림3. 벼가 가지고 있는 질소보유량

조사된 질소보유량의 평균을 기준 시비량으로서 3kgN/10a로 설정하여 평균값과 각 구획의

값을 비교하여 변량시비 구획에서는 0kgN/10a~5kgN/10a사이의 값으로 시비를 하도록 결정하였다.

$$y = a \times [(E(x) - x) / \sigma_x] \times 5/2 + 3 \times 0.85$$
$$Y = \int (y + 0.5) \qquad (1)$$
$$a = 0.5$$

Y:시비량(kgN/10a)

y:시비량의 중간치

x:벼의 질소보유량 = 유수형성기의 질소보유량+토양유래 질소량

식(1)을 이용하여 계산되어진 각 구획의 시비량은 그림4와 같다.

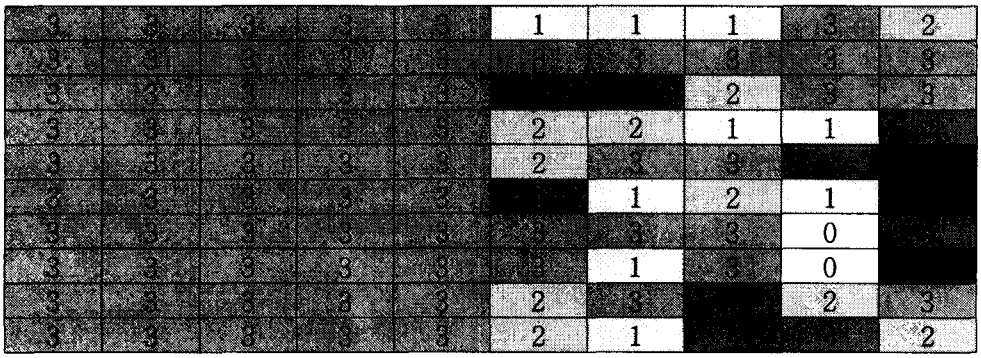


그림4. 계산된 각 시비구획의 질소 시비량

3. 결과 및 고찰

1. 변량살포기의 작업성능 및 결과

이삭거름 작업은 2001년 8월8일 오사카부 타카쯔키시에 있는 쿄토대학 부속농장에서 실시되었다. 작업 순서는 그림5와 같다. RTK-DGPS에서 받은 신호로 작업기의 주행궤적을 나타낸 것은 그림6과 같다.

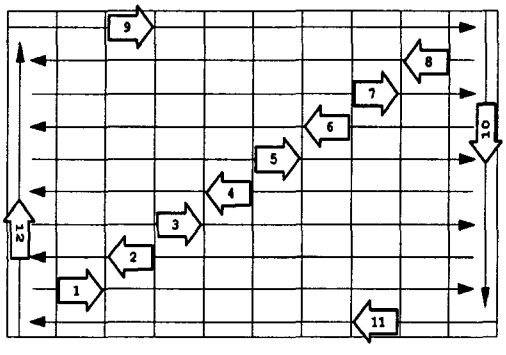


그림 5. 시비기의 작업순서

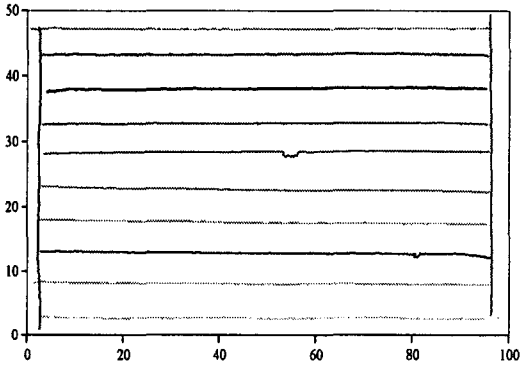
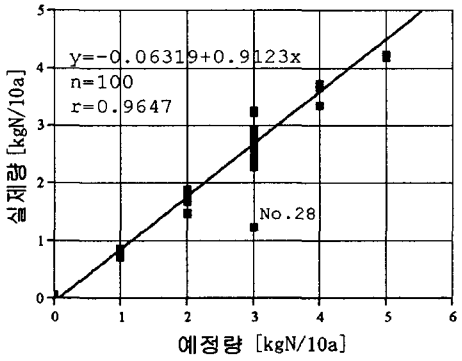


그림 6. GPS에 의한 주행궤적

시비량의 계산식에 의해 계산된 실제 비료의 투입예정량은 균일시비구획에 86.74kg, 변량시비구획에 80.84kg이었고, 실제 변량시비구획에 살포된 비료의 양은 68.76kg로서 투입 예상량의 -14.94%로 나타났다. 실제 투입된 비료의 양이 적게 나타난 원인으로는 74번에서 78번사

이의 구획에서 호퍼의 출구가 덩어리진 비료에 의해 막혀 비료가 살포되지 않았던 것과 28번 구획에서 호퍼안의 비료가 바닥나서 비료가 살포되지 않았던 것이 원인으로 나타났으리라 판단된다. 이 부분은 호퍼의 안쪽에 압력센서를 부착하거나, 비료가 살포되는 출구부에 포토센서를 이용하여 비료가 살포되고 있는 상황을 확인할 보조적인 장치가 추후 보강될 필요가 있다. 2000년의 실험에서 속도센서의 문제로 인해 발생되었던 속도보정은 GPS를 이용하여 실시간 계산하여 보정하였다. GPS와 2nd PTO의 속도를 측정하여 작업기의 슬립을 계산하는 것이 가능하나 아직 결과를 내지 못했다. GPS를 이용한 위치와 속도계산에 의해 2000년도에 발생되었던 슬립에 의한 살포양의 증가와 이것으로 인한 정확한 위치에의 살포가 되지 않았던 문제점을 보완할 수 있었다. 전 구획에 투입된 비료의 양을 계산에 의한 시비량과 실제 모터의 회전수에 의해 계산되어진 시비량과의 관계를 그림7에 나타내었다.



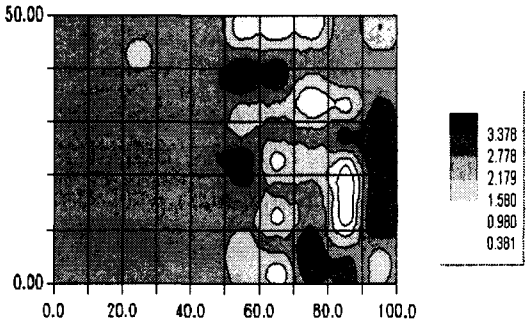
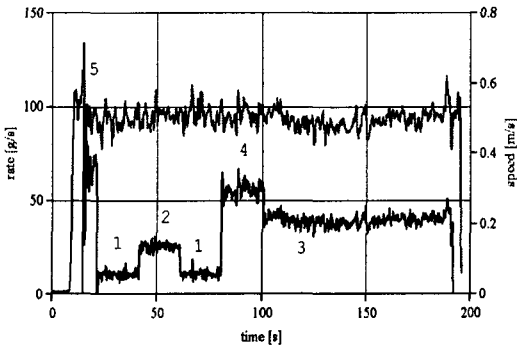


그림 7. 시비의 실제량과 예상량의 관계

그림 8. 실제 투입된 시비량

또 모터의 회전수로 실제 투입된 비료의 양을 계산하여 GS++프로그램으로 작성한 실제 비료 투입량은 그림 8과 같다. 그림8에서 균일시비구획 중에서 비료가 균일하게 투입되지 못한 부분은 28번 구획이다. 작업도중에 문제가 발생하였던 28번 구획이 들어 있는 작업순서의 8번 부분과 다른 작업순서 부분을 실제 주행속도와 모터의 회전속도를 비교한 것을 그림9와 그림10에 나타내었다.



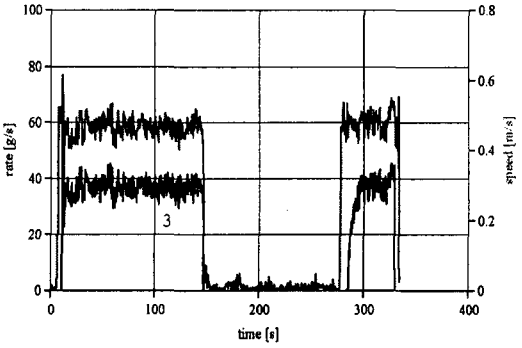


그림 9. 작업순서 4번의 작업결과

그림 10. 작업순서 8번의 작업결과

문제가 발생하였던 28번 구획과 비료의 투입예정량이 5kgN/10a인 부분을 제외하고는 변량살포작업이 잘 되었던 것으로 판단되어진다. 비료의 투입예정량이 5kgN/10a인 부분에서 계획량보다 실제 투입된 양이 적은 이유로는 구획의 위치가 포장의 가장자리이기 때문에 실제

로 투입된 면적이 기존의 구획보다 적게 설정되어진 것과 입력전압이 최고 9V로 설정되어 있지만 5kgN/10a 시비구획에서 6V정도로 입력전압이 명령치보다 적게 입력되었던 것이 원인으로 판단된다.

2. 수확량과 시비의 결과비교

수확량은 DGPS와 수량센서를 탑재한 콤바인을 이용하여 각 구획별로 조사하였으며, 실제 수확량을 환산하기 위하여 각 구획에서 수확된 벼의 수분을 샘플링하였다. 샘플링한 수분값을 적용하여 각 구획에 실제 수확량을 산출하여 그 결과를 GS+v3.1을 이용하여 분석하였다.

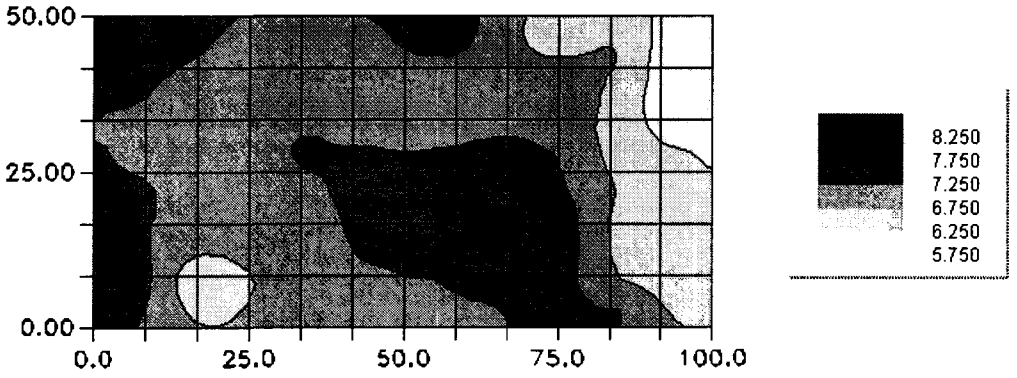


그림11. 2001년도의 수확량

전체 수확량은 7.04t/ha로 나타나서 2000년에 비하여 0.25t/ha정도 수확량이 줄었다. 균일시비구획과 변량시비구획의 수확량을 비교한 경우는, 균일시비구획에 비해 변량시비구획의 수확량의 편차가 0.25t/ha로 나타났다. 특히 변량시비구획의 오른쪽 부분(x9)구획의 수확량이 다른 곳의 수확량과 큰 편차(1.5t/ha)를 나타내었다. 만약, 변량시비의 x9구획의 수확량을 제외하고 균일시비구획과 변량시비구획의 수확량을 비교하면 0.04t/ha로 오히려 변량시비구획의 평균수확량이 균일구획의 수확량보다 더 높게 나타났다. 하지만, 구획내의 변동은 균일시비구획의 결과가 더 좋았다. 2001년도의 수확량을 각 시비구획을 기준으로 분석한 결과를 표1에 나타내었다.

	2001년		
	Ave.(t/ha)	Var.	CV.
Total	7.04	0.295	7.71%
Uniform	7.13	0.119	4.84%
Variable	6.96	0.462	9.77%
Variable(-X9)	7.16	0.321	7.91%

표1. 2001년도 균일시비구획과 변량시비구획의 수확량 비교

변량시비구획에서 시비를 할 당시의 시비량과 수확량의 비교해보면 x9구획의 경우, 생육량과 조사되어진 질소 보유량의 결과가 좋지 않아서 비료의 양을 다른 구획보다 많이 살포했지만 수확량은 적게 나타났다. 전 생육기간에 걸쳐 x9구획의 생육량이 나쁘게 나타난 것과 포장의 물 관리에 문제가 있었던 것이 수확량의 변동의 원인으로 나타났다. 결과적으로 변

량시비를 적용하여 시비량을 15% 줄이더라도 수확량에는 커다란 변동이 없다는 것을 확인할 수 있었다. 좀더 정확한 생육진단과 물관리가 이루어진다면 각 구획에서 수확량의 변동을 줄이는 것이 가능하게 되어 정밀농업에서의 변량시비의 적용가능성이 증가하리라 기대된다.

4. 요약 및 결론

이상의 연구를 요약하면 다음과 같다.

1. 시비량의 계산식에 의해 계산된 실제 비료의 투입예정량은 균일시비구획은 86.74kg, 변량시비구획은 80.84kg이였고, 실제 변량시비구획에 살포된 비료의 양은 68.76kg로서 투입 예상량의 -14.94%로 나타났다.
2. 실제 투입된 비료의 양이 적은 것은 74번에서 78번사이의 구획에서 호퍼의 출구에 덩어리진 비료에 의해 막혀 비료가 살포되지 않았던 것과 28번 구획에서 호퍼안의 비료가 바닥나서 비료가 살포되지 않았던 것이 주된 원인으로 확인되었다.
3. 벼의 질소보유량으로 계산된 예상 시비량과 실제 모터의 회전수에 의해 계산된 실제 시비량과의 관계는 Y=-0.063+0.912X라는 회기직선으로 나타났고, r값은 0.965로서 변량살포 작업은 74번~78번, 28번 구획을 제외하고는 잘 된 것으로 평가되었다.
4. 수확량과 CV값은 전 구획에서 7.04t/ha, 7.71%로서 균일시비구획에서는 7.13t/ha, 4.84%, 변량시비구획에서는 6.96t/ha, 9.77%로 나타났다. 변량시비구획에서 수확량이 적고 CV값이 크게 나타난 이유는 x9구획의 생육상태가 좋지 않았기 때문이며 변량시비구획에서 x9구획의 데이터를 제외한 결과는 수확량이 7.16t/ha, CV값은 7.91%로 나타났다.
5. 변량시비를 적용하여 시비량을 15% 줄이더라도 수확량에는 커다란 변동이 없다는 것을 확인할 수 있었고 좀더 정확한 생육진단과 관리가 이루어진다면 각 구획에서 수확량의 변동을 줄이는 것이 가능하리라 생각한다.

5. 참고문헌

1. C. K. Lee, M. Umeda, J. Yanai, M. Iida, T. Kosaki, 1999. Grain Yield and Soil Properties in Paddy Field, ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto CANADA, Paper No. 99105

2. M. Tham, 1999. Discredited PID controllers Part of a set of study notes on Digital Control. Chemical and Process Engineering Website. University of Newcaster Upon Tyne. http://lorien.ncl.ac.uk/ming/digicont/digimath.dpid1.htm

3. P. A. S. Radite, M. Umeda, M. Iida, M. Khilael. 2000. Variable Rate Fertilizer Application for Paddy Field. ASAE Annual International Meeting, Milwaukee, USA, Paper No. 001156

4. W. R. Raun and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. Agron. J. 91:357 - 363.