

수확량 지도의 정확도 향상을 위한 고찰

Investigations on Accuracy Enhancement of Yield Map

정선옥*	김상철*	정인규*	황성준*
정희원	정희원	정희원	
S.O.Chung	S.C.Kim	I.G.Jung	S.J.Hwang

1. 서론

작물 수확량은 농자재 투입 추천과 농가수익성 결정의 근거이기 때문에, 정밀농업의 주요 기반 기술 중에 수확량 지도는 정밀농업 성공의 필수요건이고, 수년간의 수확량 지도작성은 정밀농업의 전제조건이라 할 수 있다(Pierce 등, 1997).

콤바인에 수확량 센서와 위치측정 장비를 장착하여 작물 수확과 함께 실시간으로 위치별 수확량 자료를 획득하고 지도의 형태로 표현하는 시스템은 Bae 등(1987)에 의해 최초로 시도된 후, 시판되고 있는 수확량 센서의 형태에 따라 다소 차이는 있으나 그 정밀도가 $\pm 1\%$ 정도인 것으로 보고되고 있다(Murphy 등, 1995).

수확량 모니터링의 개념은 간단하고 쉬우나, 정확한 수확량 지도의 작성은 매우 어렵는데, 수확량 모니터링에 사용되는 여러 가지 센서의 정밀도에도 원인이 있으나 보다 큰 이유라고 할 수 있는 것들은 미리 설정한 예취폭보다 실제 수확 폭이 작고 그 크기가 연속적으로 변하며, 예취부에서 작물이 예취되어 센서까지 도달하는데 걸리는 지연시간이 있고, 탈곡된 작물이 수확기 내에서 재배치되며, 측정하는 포장의 크기와 토양·작물의 조건, 수확기의 속도 등 작업조건, 위치측정 장치의 오차 등이다(Pierce 등, 1997, Blackmore와 Marshall, 1996, Missotten 등, 1996, Murphy 등, 1995).

위에서 언급한 수확량 모니터링 시스템 하드웨어와 지도작성시의 여러 가지 문제점을 해결하기 위하여 후처리 필터링이 주로 수행되는 방법이다. Reitz와 Kutzbach(1996)는 수확량 지도의 정확도를 함수율 센서 추가 장착, 실제 예취 폭 측정, 콤바인 내 곡물흐름의 추정 등으로 향상시킬 수 있다고 보고하였다. Nolan 등(1996)은 수확량 데이터에 포함되어 있는 DGPS와 중첩주행에 의한 오차, 예취부에서 센서까지의 곡물이동에 따른 시간지연을 보정하여 수확량지도의 변이계수를 32%에서 10%로 줄일 수 있었다. Bae 등(1987)은 시간지연과 콤바인 내 곡물흐름에 관한 시간상수를 측정하였고, 위치와 수확량 자료를 스무딩(smoothing)하여 보다 완만한 수확량 지도를 작성하였다. 최근에 수행된 수확량 지도의 정확도를 향상시키기 위한 후처리 필터링 기법에 관한 연구에서(Beck 등, 1999), 비현실적인 자료, 수확량이 갑작스럽게 변한 부분, 중첩 주행한 부분의 자료를 삭제하였다. 중첩 주행

* 농촌진흥청 농업기계화연구소 생물생산기계과

한 부분을 계산하여 수확량을 보정하는 연구도 보고되었다(Han 등, 1997, Drummond 등, 198)

많은 연구에도 불구하고 필터링 기법에 사용되는 판단기준이 다분히 주관적이어서 객관적인 설득력을 주지 못하고 있다. 본 연구에서는, 주관적으로 결정되는 필터링의 여러 가지 상수 값들을 보다 객관적으로 결정할 수 있는 기준을 제안하였으며, 특히 시간지연과 함수율에 의한 수확량 센서 값의 보정에 중점을 두었다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 수확량 모니터링 시스템의 자료는 1999년 10월 19일 농업기계화연구소 입북동 시험포장(100m×30m)에서 획득한 것이며 대동 3조 콤바인(R1-301)에 미국 Micro Trak사의 Grain Trak을 장착하여 작업을 수행하였다(정 등, 1999).

수확량과 함수율 자료를 육안으로 분석하였으며, 빈도분석에 의한 포장외 자료의 삭제 또는 보정, 방위각 변화와 위치자료의 직선회귀를 통한 회전부분의 결정, 시간지연의 결정, 함수율에 의한 수확량 보정 등을 통하여 수확량 지도작성 과정을 결정하였다.

기존에 수행되고 있던 지연시간의 결정과 수확량 센서 값의 함수율에 의한 보정은 문제점을 가지고 있다. 지연시간의 결정은, 실제 수확작업하기 전에 예비시험을 통하여 예측된 작물이 센서까지 이동되는 시간을 재서 입력하는 방법을 채택하고 있는데(Nolan 등, 1996, 정 등, 1999) 이 지연시간이 작업할 때마다 같지 않으며, 작물에 따라서도 변하게 된다. 이러한 이유로 인하여 매 작업시에 예비시험을 실시한다는 것은, 매우 힘든 작업이다. 정확한 시간지연의 결정은 특히, 우리나라와 같은 소구획에서 더욱 중요한 의미를 가지는데, 이 부분의 자료가 소구획의 전체 수확량 자료에서 많은 양을 차지하기 때문이다. Stott 등(1994)은 지연시간 결정을 위하여 수확기가 서로 반대방향으로 주행했을 때의 수확량을 지연시간 값을 조정하면서 가장 타당하다고 생각되는 값을 육안으로 결정하였는데, 이론적인 근거는 포장에서 얻어진 자료가 공간적인 의존성을 가지고 있다는 것이다(Webster와 Oliver, 1990). 본 연구에서는 공간적인 의존성으로 인하여 시간지연 값을 변화시킴에 따라, 반변이도(semi-variogram)의 모델에서 레인지(range), 결정계수, RSS(reduced sum of squares)값이 변화하게 된다. 이 값들의 변화를 2차 회귀하여 적절한 지연시간을 결정하였으며 분석은, GS+ ver. 3.1(Gamma Design Software, MI)을 사용하였다. 함수율에 의한 수확량 데이터의 보정은, 평균 함수율을 획일적으로 적용하거나 함수율 센서에서 얻어진 값으로 실시간 보정을 하게 되는데 이는 위치별로 함수율 특성이 다르다는 것과 수확량 센서와 함수율 센서의 특성으로 인하여 부적절하다. 따라서, 본 연구에서 결정한 수확량 지도작성에서는, 이러한 함수율 자료의 특성을 고려하였다.

3. 결과 및 고찰

(그림 1)은 본 연구에서 분석한 수확량 자료의 시간에 따른 변화이며 이 자료는 국내 3조 콤바인에 미국의 Grain Trak 시스템을 장착하여 얻은 자료이다. 그림으로부터 예취를 시작하여 곡물이 센서에 감지되기 시작할 때까지의 시간이 11~12초인 것과 센서 값이 작은 값에서 시작하여 안정되어 정상적인 배출량을 보일 때까지의 시간이 1~2초인 것을 확인할 수 있다. 그러나, 센서 값을 자세히 보면, 그 분포가 연속적이지 못하고 몇 가지 값이 반복적으로 나타나는 경향을 볼 수 있다. 이것은 센서의 분해능으로 인하여 수확량 변이를 제대로 인식하지 못한다는 것을 의미한다.

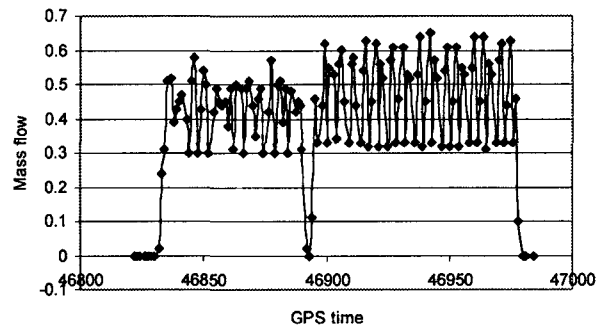


Figure 1. Mass flow in rice yield monitoring.

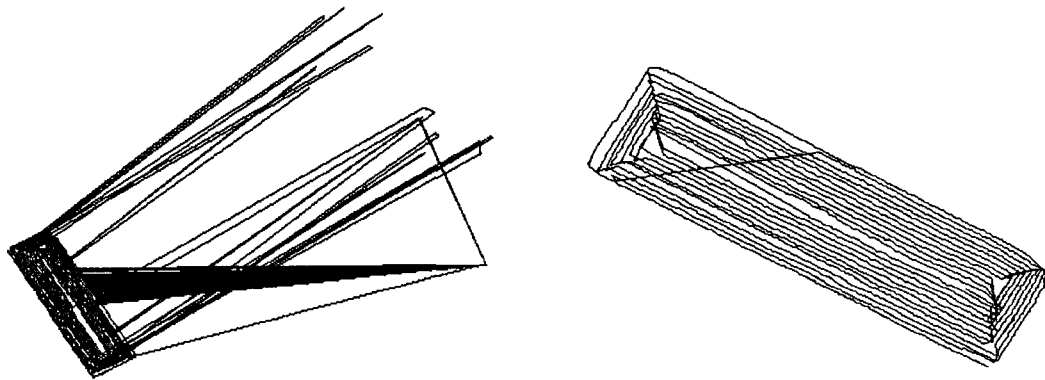


Figure 2. Position filtering to remove out of field data.

(그림 2)는 빈도분석에 의해 포장외부의 자료를 제거하여 포장내 자료만 남겨놓은 것이다. 오른쪽 그림에 얻어진 자료는 측위 정밀도가 2cm인 RTK-GPS로 측정된 것이다. 필터링에 의해 제거된 부분은 별도의 알고리즘에 의해 위치보정을 함으로써 제거되는 수확량 자료를 줄여야 한다.

(그림 3)은 콤바인 주행 방위각의 변화로써 회전부와 직진주행부를 결정하는 과정을 보여주고 있다. 콤바인이 회전 중에는 수확 작업을 수행하지 않게 되는데, 이 때는 방위각의 차이가 좌표평면상에 같은 부분에 (+또는 -값) 연속적으로 나타나게 된다. 직진주행을 시작하여 수확작업을 시작하면, 수확기의 좌우 조향으로 인하여 +값과 -값이 교체하며 나타난다. 회전부와 직진작업부의 구분은 수확량 지도작성에서 자료의 제거 또는 보정을 위하여 필요하다.

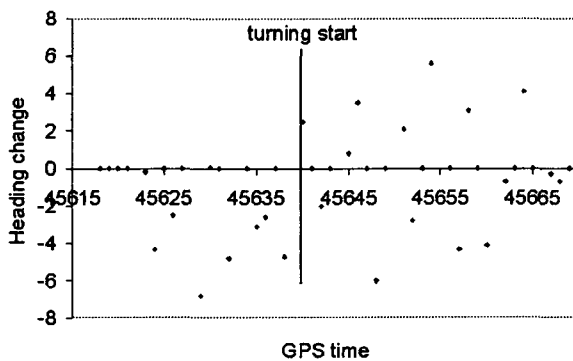


Figure 3. Turning area determination with the change of heading difference.

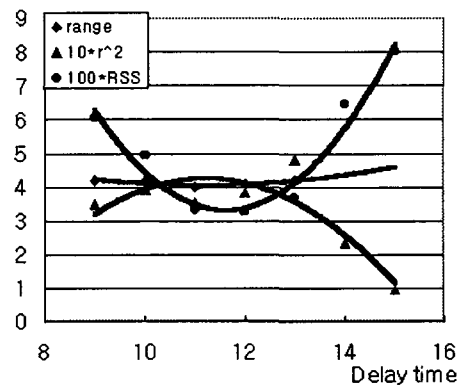


Figure 4. Delay time determination with the change of spatial dependency.

(그림 4)는 지연시간 결정을 위하여 공간 독립성 변수들(range, 결정계수, RSS)의 변화를 지연시간을 변화시키면서 구하여 그래프로 나타낸 것이다. 레인지, 결정계수, RSS 값들은 2차 회귀되었으며 최대, 최소점의 값은 11.144, 11.210, 11.618초로 각각 얻어졌다. 이러한 방법으로 결정된 값들은 직접 수확전에 측정된 값과 큰 차이를 보이고 있지 않지만, 매년 직접 측정해야 한다는 불편함을 제거하고 주관적인 결정보다는 보다 객관적인 결정을 위한 기준으로 적용될 수 있음을 알 수 있다.

(그림 5)는 수확량 지도 작성의 과정을 흐름도로 나타낸 것이다. 다른 연구자들이 사용하고 있는 알고리즘과 다른 부분은 수확량 자료의 함수율에 의한 보정이다. 수확량 센서와 함수율 센서가 같은 위치에서 같은 분해능으로 측정하지 않으며, 수확량과 함수율의 포장내 변이 또한 각기 다른 공간적인 의존성을 가지고 있기 때문에 지연시간과 스무딩 과정을 별도로 처리하여야 한다는 것이다.

본 연구에서 다루지 않은 콤바인 내부에서의 곡물흐름과 콤바인 주행속도의 영향에 대한 부분은 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 수확량 지도작성을 위한 필터링 알고리즘에서 기본적으로 고려해야 할 사항은, 원시자료를 많이 제거할 경우 우리나라의 소구획 수확량 지도작성이 어렵기 때문에 보정 알고리즘으로 최대한의 자료를 남겨놓아야 한다는 것이다.

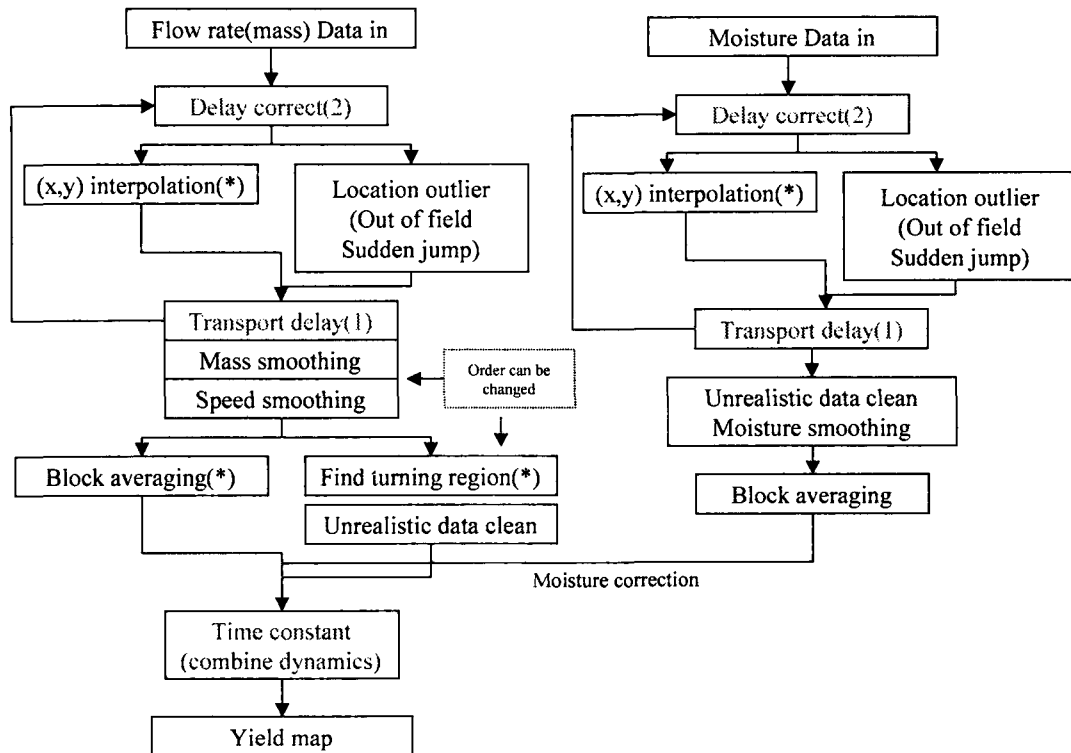


Figure 5. Flow chart for yield map creation developed in the study.

4. 요약 및 결론

본 논문에서는 콤바인에 장착된 수확량 모니터링 시스템으로 획득한 자료를 기초로 작성되는 수확량 지도의 정확도 향상에 대하여 고찰하였는 바, 콤바인 헤더에서 작물이 예취된 다음, 수확량과 함수율 센서에 도달하는 시간지연과 함수율에 의한 수확량 보정에 대하여 중점을 두었다.

수확량 지도의 작성은 정밀농업 연구의 첫 단계에서 반드시 수행해야 하며, 우리나라와 같은 경지규모와 콤바인 수확기의 크기가 비교적 작은 경우에는, 수확량 지도의 정확도와 정밀도는 하드웨어적인 측면보다는 소프트웨어적인 측면에 의해 향상시킬 수 있는 여지가 많으므로 이 분야에 대한 연구가 더욱 진행이 되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

1. 정선옥, 박원규, 장영창, 이동현, 박우풍. 1999. 소구획 경지에서의 벼 수확량 지도 작성. 한국농업기계학회지 24(2).
2. Bae, Y.H. 1987. Determination of spatially variable yield maps. ASAE paper 87-1533. Am. Soc. Agric. Engrs., St. Joseph, MI.

3. Blackmore, B.S. and C.J.Marshall. 1996. Yield mapping : errors and algorithm. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture, St. Paul. Robert P.C., Rust R.H., and W.E. Larson(ed). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
4. Beck, A.D. et al. 1999. Post-process filtering techniques to improve yield map accuracy. ASAE paper 99-1048. Am. Soc. Agric. Engrs., St. Joseph, MI.
5. Drummond, S.T. et al. 1998. Vector method for determining harvest area using combine position data. Proceedings of the 4th International Conference on Precision Agriculture, St. Paul. Editors : Robert P.C., Rust R.H., Larson W.E. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
6. Han, S. et al. 1997. A bitmap method for determining effective combine cut width in yield mapping. Trans. ASAE 40(2):485-490.
7. Murphy, D.P. et al. 1995. Yield mapping:A guide to improved techniques and strategies. p. 33-47. In P.C.Robert et al. (ed.) Site-specific management for agricultural systems. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
8. Missotten, B. et al. 1996. Accuracy of grain and straw yield mapping. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture, St. Paul. Robert P.C., Rust R.H., and W.E. Larson(ed). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
9. Nolan, S.C. et al. 1996. Building a yield map from geo-referenced harvest measurements. Proceedings of the 3rd International Conference on Precision Agriculture, St. Paul. Robert P.C., Rust R.H., and W.E. Larson(ed). ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
10. Pierce,F.J. et al. 1997. Yield mapping. p. 211-245. In F.J.Pierce and E.J.Sadler (ed.) The state of site-specific management for agriculture. ASA Misc. Publ., ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
11. Reitz, P. and H.D.Kutzbach. 1996. Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. J. of Computer and Electronics in Agriculture 14:137-150.
12. Stott, B.L. 1994. Monitoring and mapping grain yield variations. M.S. thesis. University of Missouri-Columbia.
13. Webster, R. and M.A. Oliver. 1990. Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. New York, Oxford University Press.