

멀티 스펙트럴 이미지 센서를 이용한 감자의 생육정보 예측

강태환 野口 伸

Estimation of the Potato Growth Information Using Multi-Spectral Image Sensor

T. H. Kang N. Noguchi

Abstract

The objective of this research was to establish the estimation method of growth information on potato using Multi-Spectral Image Sensor (MSIS) and Global Positioning System (GPS). And growth estimation map for determining a prescription map over the entire field was generated. To determine the growth model, 10 ground-truth points of areas of 4 m² each were selected and investigated. The growth information included stem number, crop height and SPAD value. In addition, images information involving the ground-truth points were also taken by an unmanned helicopter, and reflectance value of Green, Red, and NIR bands were calculated with image processing. Then, growth status of potato was modeled by multi-regression analysis using these reflectance value of Green, Red, and NIR. As a result, potato growth information could be detected by analyzing Green, Red, and NIR images. Stem number, crop height and SPAD value could be estimated with R² values of 0.600, 0.657 and 0.747 respectively. The generated GIS map would describe variability of the potato growth in a whole field.

Keywords : Potato, Multi-spectral image sensor, GPS, GIS, Stem number, Crop height, SPAD

1. 서론

한국에서 감자의 재배면적은 2009년도 기준 21,000 ha로 서, 연간 590,000 ton의 감자가 생산되고 있다(The Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 2009). 또한 세계적인 추세로 볼 때 감자생산량은 1993년을 기준으로 2020년에는 30%가 증가할 것으로 전망하고 있다(Gregory et al., 2000). 감자의 재배 형태는 봄재배, 여름재배, 가을재배, 겨울재배 등으로 분화되어 4월 중순부터 이듬해 1월까지 수확이 이루어지고 있고, 생산량의 80%가 봄 감자로 재배되어 왔다. 그러나 최근에는 가을 재배와 겨울 시설재배가 급증하면서 봄과 여름재배가 상대적으로 감소하는 추세를 보여 점차 감자의 연간 생산이 균형을 이루어가고 있다(Jeong and Suh, 2010; Lee et al., 2010).

감자재배에 필요한 작업별 소요노동력은 파종작업 12%,

중경제초 19%, 기타 관리작업 20%, 수확작업 25%, 선별작업이 24%로서 수확 및 선별작업이 가장 큰 노동력을 필요로 하고 있고, 재배 관리작업도 전체 소요 노동력에서 보면 차지하는 비중이 크다고 할 수 있다(Kang et al., 1989). 그러나 한국의 농업기계화는 수도작 중심으로 이루어져 왔고, 전작 작물에 대한 기계화는 미비한 실정으로서 노동력부족 및 농업 생산비 절감이 절실한 현재로서는 수확, 선별 및 재배관리 작업에 대한 기계화가 필요한 실정이다. 현재 재배관리 작업을 기존에 행하여지고 있는 공간적으로 균일한 포장관리와는 달리 포장을 세분화하여 포장의 정보를 취득하고, 이 정보에 따라 제초제, 비료, 농약 등의 살포량을 결정하는 정밀농법 (Precision Farming; PF) 기술이 일본과 미국을 중심으로 개발되어 왔다. 따라서 정밀농법은 농약 및 비료의 과잉살포에 의한 환경오염 문제를 해소하는데 기여하고, 작물의 생산비용 절감 및 포장관리의 효율성을 높일 수 있다.

The article was submitted for publication on 2011-06-03, reviewed on 2011-06-10, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-06-15. The authors are Tae Hwann Kang, KSAM member, Dept. of Biosystems Engineering, Chungbuk National University. Corresponding author: Noboru Noguchi Graduate School of Agriculture, Hokkaido University; Fax: +82-11-706-4800; E-mail: <noguchi@bpe.agr.hokudai.ac.jp>.

현재 정밀농업 기술은 작물의 생산관리 분야에 있어서 작물 수확량, 토양성분, 작물의 생육상태 등 포장 내부의 공간적 가변성을 고려하여 각각의 지리적 위치에 대해서 가변적 처리를 수행하는 것을 핵심으로 하고 있다. 이러한 가변성은 3가지 관점으로부터 해석하는 것이 가능하다(Choi et al., 1999). 첫 번째는 포장의 공간가변성으로서 토양의 비옥도, 작물생장과 수확량, 잡초 및 병해충 등의 정보를 국지화한 지도로서 나타내는 것이다. 여기서 이용되는 GPS와 DGPS는 대규모 포장 내에서 정확한 위치를 결정하는 것이 가능하고, Remote Sensing 기술은 포장 내부의 작물정보 가변성을 나타내는 것에 유용하다. 또한 토양샘플 취득장치, 수확량 모니터, 포장의 작물정보를 수집하기 위한 인공위성, 무인헬리콥터, 항공기 등의 Remote Sensing 시스템이 포장의 작물 생육 상태 및 재배관리를 위해 개발되어 왔다(Shibusawa et al., 1998; Sugiura et al., 2003). 감자의 경우 인공씨감자 생육상태 모니터링을 위한 화상처리 알고리즘 및 흑백화상처리에 의한 씨감자 조직배양 공정의 생육 모니터링에 대한 연구 결과 등이 보고되고 있고(Kang et al., 2006; Choi et al., 1998), 씨감자의 재배 방법에 따른 감자의 생육과 수량에 대한 연구 보고가 대부분이다(Kim et al., 2009). 최근에는 재배 관리시 포장에서 유기물 멀칭이 감자의 생육과 잡초발생에 미치는 효과 및 높은 고형분함량 감자의 수확시기 예측모형을 위한 식물체내 에너지 소모량 추정 등에 대한 연구가 보고되고 있다(Lee et al., 2010; Jeong and Suh, 2010). 따라서 재배 관리시 포장에서 작물의 생육상태를 모니터링할 수 있는 시스템 개발 및 생육정보를 처리할 수 있는 기술 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 한국과 영농형태와 재배 방법이 유사한 일본의 감자 포장에서 산업용 무인헬리콥터에 멀티 스펙트럴 이미지 센서(Multi-Spectral Image Sensor; MSIS)와 GPS를 탑재하여 취득한 감자의 작물영상 정보와 포장에서 측정된 감자의 생육정보를 비교분석하여 감자의 효율적 재배 관리를 위한 감자 생육정보처리 시스템 개발을 목적으로 하였다. 또한 본 시스템에서 취득한 정보를 GIS를 이용하여 작물 재배 관리에 필요한 생육예측 지도를 작성하여 지형과의 관계를 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

본 실험은 일본 북해도 오비히로(帯広)시 Techno-Farm의 생산농장에서 실시하였고, 감자 포장의 면적은 2.0 ha, 품종은 메이퀸(May Queen) 이었다.

나. 실험 장치

본 실험에서 감자의 영상취득을 위해 사용된 실험 장치를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 보는 바와 같이 본 실험에 사용된 산업용 무인헬리콥터(YH300, YANMA, JAPAN)는 전장 4 m, 중량 63 kg, 총배기량 248 mL, 최대출력 15.8 kW로 기체하부에 MSIS를 설치하였고, 헬리콥터와 MSIS는 별도의 무선 조정기에 의해 지상조정이 가능하다. 헬리콥터 내부에는 헬리콥터 자세를 측정하기 위한 광섬유를 사용한 관성센서 INS(Inertial Navigation Sensor)와 GDS(Geomagnetic Direction Sensor)가 탑재되어 있고, 롤각, 피치각 및 절대방위가 10 Hz로 출력된다. 헬리콥터의 위치 측정 시스템은 RTK-GPS(MS750, Trimble Co., USA)를 사용 하였고, 측정된 헬리콥터의 위도와 경도는 UTM(DMA, 1989) 변환에 의해 미터 단위로 변환한 것을 위치 데이터로 이용하였다.

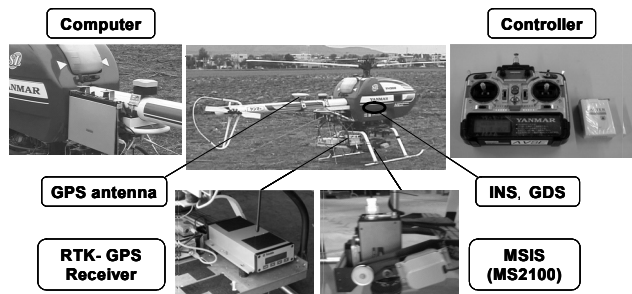


Fig. 1 Schematic diagram of experimental installation.

MSIS(MS2100, Dancan Tech Co., USA)는 3개 채널의 광학밴드 패스필터가 내장되어 있고, Green(550 nm), Red(660 nm), NIR(800 nm) 파장영역의 반사광을 검출할 수 있다. 이 센서의 해상도는 640×480 픽셀이고, 초점거리, 화면각도가 일정한 단초점 이미지 센서이며, 내부왜란이 매우 작은 협각 렌즈를 구비하고 있다. 또한 NTSC방식으로 영상데이터를 아날로그 형태로 전송하고, 비디오 캡처카드에 의해 A/D변환된 데이터를 컴퓨터에 저장할 수 있다. 더욱이 MS2100은 컴퓨터로부터 RS-232C를 통하여 송신되는 명령에 의해 영상 취득 시에 측정되는 노출시간, CCD Gain, 오프셋이 조절 가능하다.

본 실험에서는 2초 주기로 영상취득 명령을 보내고, 노출광, Gain 및 오프셋은 일정하게 하였다. 또한, 전회에 촬영한 영상 즉, 5초 전에 촬영한 영상의 노출광시간과 모든 픽셀의 평균 휘도값을 피이드백하여 평균 휘도값이 항상 일정하도록 노출시간을 제어하였다. 컴퓨터로부터 영상취득 명령이 전송되면 영상취득과 동시에 헬리콥터의 위치 및 자세각도 데이터를 측정하여 RS-232C를 통해 헬리콥터에 장착된 노트북 컴퓨터에 저장하였다. 또한 지상에서 영상데이터 보정을 위

해 AI센서를 사용하여 촬영 당시 광 환경을 측정하였다. 이후 모든 영상데이터는 영상좌표로부터 지상 절대좌표로 변환하였으며, 헬리콥터의 자세와 고도 데이터 이용해 보정하였다. 그림 2는 영상취득 시스템의 개략도를 나타낸 것이다.

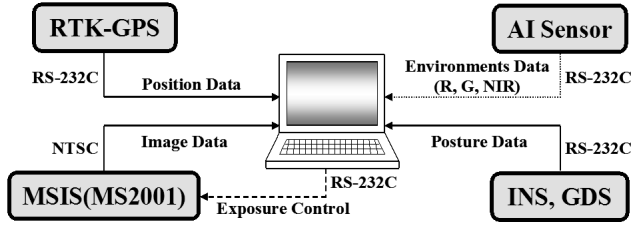


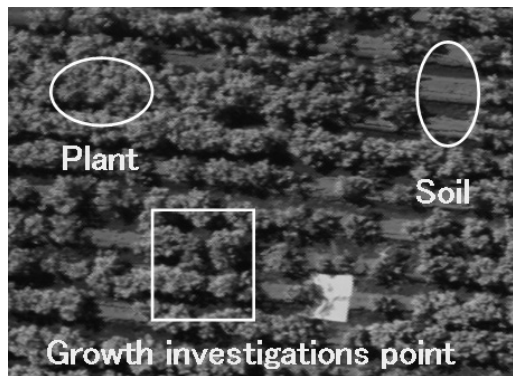
Fig. 2 Schematic diagram of image and positioning data acquisition system.

다. 감자의 생육정보 검출 및 영상처리

감자의 생육정보 검출은 포장 내부에 무작위로 넓이 4 m², 10개소를 생육정보 조사지점으로 선정하고, 감자의 줄기수, 전장, SPAD 값을 조사하였다. 동시에 산업용 무인 헬리콥터를 이용하여 포장의 작물을 촬영하고, 조사지점의 영상에서 획득한 *Green*, *Red*, *NIR*의 정규화된 반사율(Fukagawa et al., 2004) 값을 중회귀분석법으로 작물의 생육정보를 예측하였다. 또한 중회귀분석법으로부터 얻어진 회귀모델을 이용하여 포장전체의 생육정보 예측지도를 작성하였다. 또한 모든 영상 데이터는 헬리콥터의 위치, 방위, 자세각도, 고도를 이용하여 영상좌표계로부터 지상의 절대좌표계로 변환을 행하였다(Sugiura et al., 2003).

라. 노지영역의 제거

감자 포장에서 취득한 영상에는 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 감자가 심겨지지 않은 노지(흙) 영상이 포함되어 있다. 노지영역은 식물이 아니고, 생육과 무관한 영역이기 때문에



(a) Raw image of potato field

중회귀분석으로부터 취득된 회귀모델을 이용해서 감자 포장 전체 영상을 지도화할 때에는 이 영역의 제거가 필요하다. 여기서 포장 전체영상 중에 임의의 위치에서 촬영된 노지 영역을 자동 인식하여 제거하는 알고리즘을 고려했고, 영상처리 흐름도를 그림 4에 나타내었다.

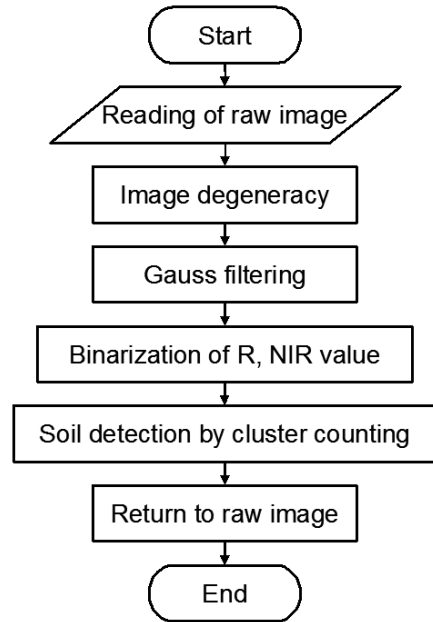
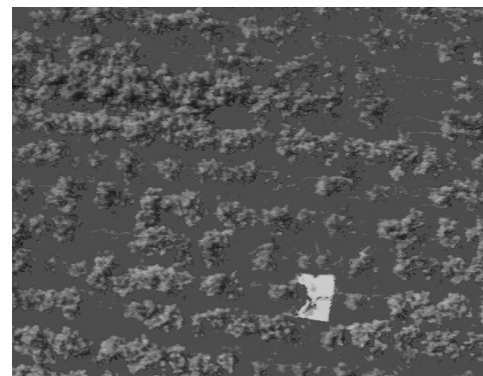


Fig. 4 Flow chart of soil auto detecting algorithm.

이 알고리즘은 영상 처리속도를 고려하여 영상을 1/5로 축소하고 이것을 $F(u, v)$ 로 한다. $F(u, v)$ 는 영상좌표에 (u, v) 있어서 휘도 값을 나타낸다. 다음으로 가우스 필터링에 의한 평활화 처리를 수행하였다(Gonzales and Woods, 1993). 식 (1)에 나타난 2차원의 가우스 함수 $G(x, y)$ 를 식 (2)와 같이 대입하여 평활화 영상 $F(u, v)$ 를 계산하였다(Omine et al, 1997). 이와 같은 방법에 의해 노지영역을 남겨놓은 상태에서 포장영역의 토양부와 작물부의 휘도편차를 평활화하는 것



(b) Detection of soil part

Fig. 3 Image processing by soil auto detecting algorithm.

이 가능하다.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$$F(u, v) = \frac{\sum_i \sum_j G(i, j) f(i+u, j+v) w(i+u, j+v)}{\sum_i \sum_j G(i, j) w(i+u, j+v)} \quad (2)$$

본 연구에서는 가우스 함수에 있어서 $\sigma=1$ 의 표준정규분포를 채용하였다. 또한 필터 채널 사이즈를 7×7 로 설정하였기 때문에 i, j 는 $-3 \leq i, j \leq 3$ 이 된다. $w(i, j)$ 는 영상의 정역영역을 나타내는 마스크로서 식 (3)에 나타내었다.

$$w(i, j) = \begin{cases} 1: & \text{if } f(i, j) \text{ exists} \\ 0: & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

이러한 영상처리에 따라서 얻어진 평활화 영상 $F(u, v)$ 는 *Red*, *NIR* 휘도 값을 특성값으로 하고, 이 평활화 영상의 판별분석으로부터 작물과 토양을 분리하는 기준값 S 를 결정하여 이치화하였다. 이치화 영상에서는 토양부분으로 인식된 클러스터가 생성된다. 이 클러스터 사이즈를 계산하여 기준값 S 이상의 클러스터를 노지영역으로 인식하였다. 이러한 기준값 S 는 경험적으로 결정하였다. 이러한 처리에 의해 노지영역을 제거한 영상을 그림 4(b)에 나타냈다. 그림 3(b)에 나타낸 바와 같이 작물영역에 영향을 주지 않고 노지영역만이 인식되고 있다. 마지막 작업으로서 축소시켰던 영상 중의 노지영역을 원래의 영상으로 마스크화하여 노지영역을 제거하는 영상을 얻었다.

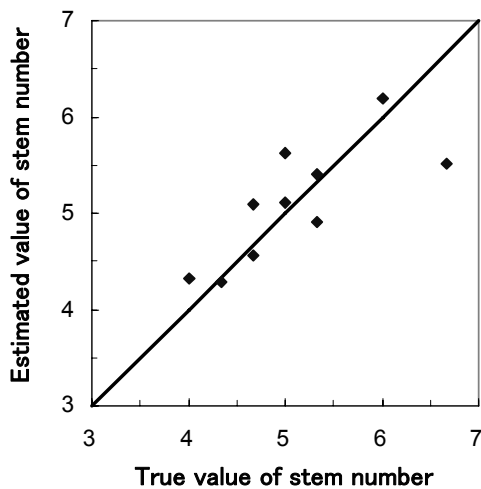


Fig. 5 Estimated accuracy of stem number.

3. 결과 및 고찰

가. 감자의 줄기수 예측

감자의 줄기수는 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 설명변수로 예측이 가능하였고, 식 (4)는 중회귀분석에 의한 감자의 전장 예측모델을 나타낸 것이다. 예측 모델의 결정계수는 0.600, RMS는 0.473로 나타났다.

그림 5는 실제 포장에서 조사한 감자의 줄기수와 영상처리에 의해 얻어진 예측 값과의 관계를 나타낸 것이다.

$$Y = -1.302 Red_{Ref} + 1.663 Green_{Ref} - 0.145 NIR_{Ref} - 0.607 \quad (4)$$

그림 6은 GPS를 이용한 감자 포장의 위치 데이터와 멀티스펙트럴 이미지 센서로 획득한 포장영상의 반사율 값을 감자의 줄기수 예측모델을 이용하여 포장 전체에 대한 예측 지도를 GIS로 작성한 것이다. 그림 6에서 알 수 있듯이 감자 포장의 중앙부에서 감자의 줄기수가 5.5~6.5개 정도로 다른 구역보다 많은 것으로 나타났다. 또한 포장의 북동쪽과 남서쪽에서 4.5개 이하로 나타났다.

한편, 그림 7은 레이저 거리측정기를 이용하여 동일 감자 포장의 지형도를 작성한 것이다.

그림 7에서 보는 바와 같이 감자 포장의 지형은 남서쪽 부분이 297 m 이상, 동북쪽 부분에서는 294 m 이하로 나타났고, 포장의 중앙부가 경사지인 것을 알 수 있다. 이와 같이 감자 포장의 지형도에서 알 수 있듯이 지형이 낮은 부분과 높은 부분에서 감자 줄기수가 적은 경향을 보였고, 경사지에서 감자 줄기수가 많은 것으로 나타나 포장의 지형이 감자 생육에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

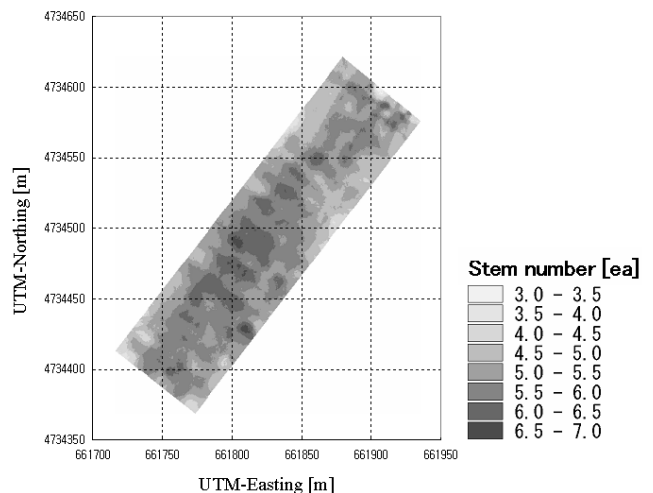


Fig. 6 GIS map of stem number.

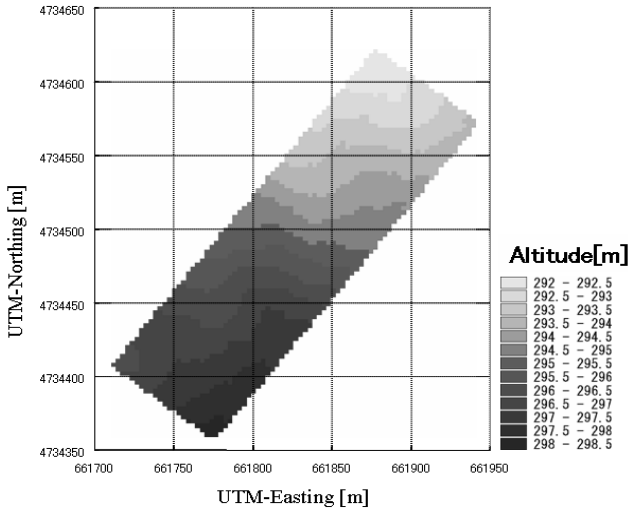


Fig. 7 Altitude map of potato field.

나. 감자의 전장 예측

감자의 전장 예측모델은 설명변수를 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 를 이용하여 예측 가능하였다. 식 (5)은 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 과 포장에서 취득한 실제 감자의 전장 데이터를 이용하여 중회귀분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다. 이 회귀분석 결과, 결정계수가 0.657, RMS오차는 6.29의 정밀도에서 감자의 전장 예측이 가능하였다.

$$Y = 6.518Red_{Ref} + 5.822Green_{Ref} + 1.775NIR_{Ref} - 47.244 \quad (5)$$

그림 8에 감자 포장의 생육정보 조사지점에서 조사한 실제 이삭 수분과 영상처리에 의해 얻어진 추정 값과의 관계를 나타내었다.

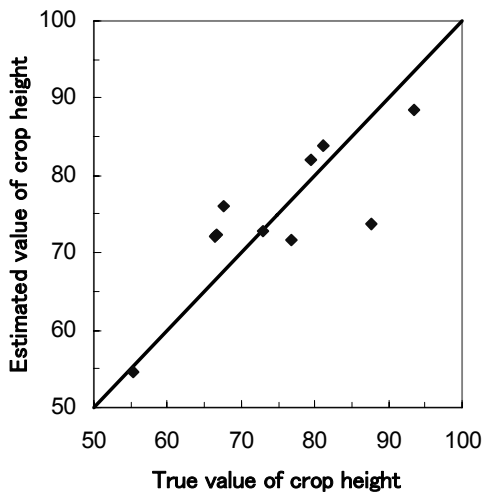


Fig. 8 Estimated accuracy of crop height.

그림 9는 GPS를 이용한 감자 포장의 위치 데이터와 멀티 스펙트럴 이미지 센서로 획득한 포장영상의 반사율 값을 감자의 전장 예측모델을 이용하여 포장 전체에 대한 전장 예측 지도를 GIS로 작성한 것이다.

그림 9에서 보는 바와 같이 감자의 전장은 포장의 중앙부와 남서쪽에서 85 cm 이상으로 나타났고, 포장의 북동쪽에서 75 cm 이하로 나타났다. 이것은 전술한 감자포장의 지형과 비교하면 포장 중앙부의 경사지에서 감자의 전장 값이 다른 포장구역보다 높은 경향을 나타내었다.

다. 감자의 SPAD값 추정

감자의 SPAD값은 작물의 엽록소 함량과 선형적인 관계가 있는 것을 이용하여 작물의 질소스트레스를 나타내는 지표로 사용되는 것으로서, 식 (6)은 식생지수인 $Green_{Ref}$ 과 NIR_{Ref} 을 이용하여 중회귀분석한 감자의 SPAD값 예측모델을 나타낸 것이다. 그 결과, 결정계수가 0.747, RMS가 1.03의 높은 정밀도에서 감자의 SPAD 값 예측이 가능하였다.

$$Y = -4.296Green_{Ref} + 0.268NIR_{Ref} + 64.968 \quad (6)$$

그림 10에 감자 실제 포장에서 측정한 SPAD 값과 영상처리에서 얻어진 예측 값의 관계를 나타내었다. 그림 11은 감자의 SPAD값 예측모델을 사용해서 GIS로 작성한 예측 지도를 나타낸 것이다. 그림 11에서 보는바와 같이 포장 중앙에서 SPAD값이 낮은 것을 알 수 있다.

이것은 전술한 감자의 줄기 수 및 전장에서와 같이 감자 포장의 중앙부가 경사지로 이루어져 있기 때문에 물이 흘러가는 지형으로서 수분 및 영양분 부족으로 인하여 감자의 생육이 좋지 않은 것으로 판단된다.

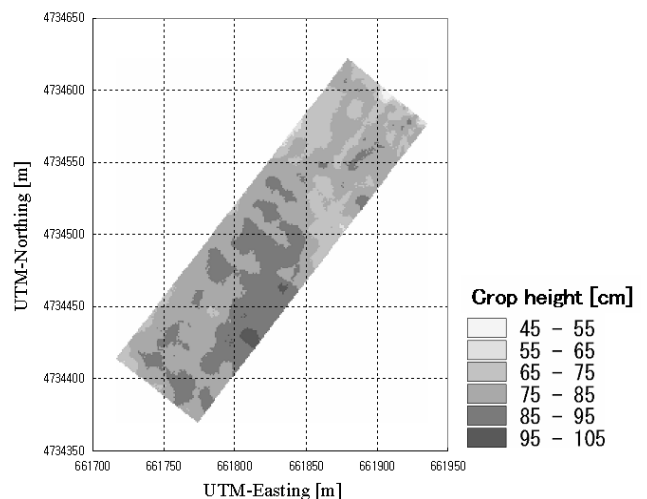


Fig. 9 GIS map of crop height.

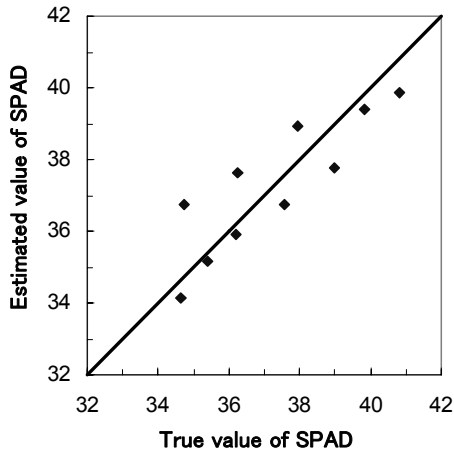


Fig. 10 Estimated accuracy of SPAD.

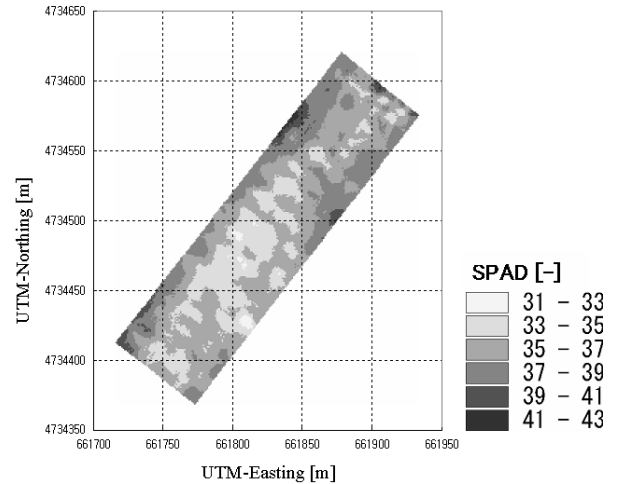


Fig. 11 GIS map of SPAD.

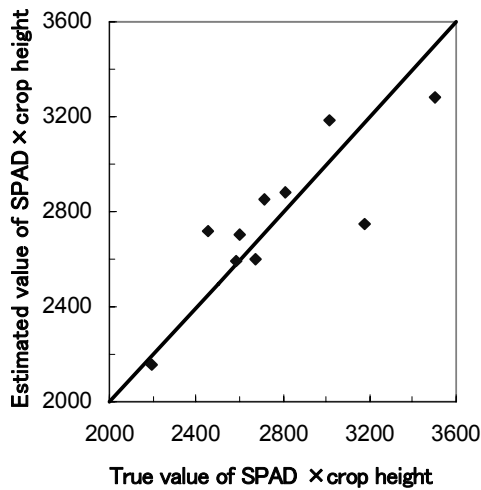


Fig. 12 Estimated accuracy of SPAD×crop height.

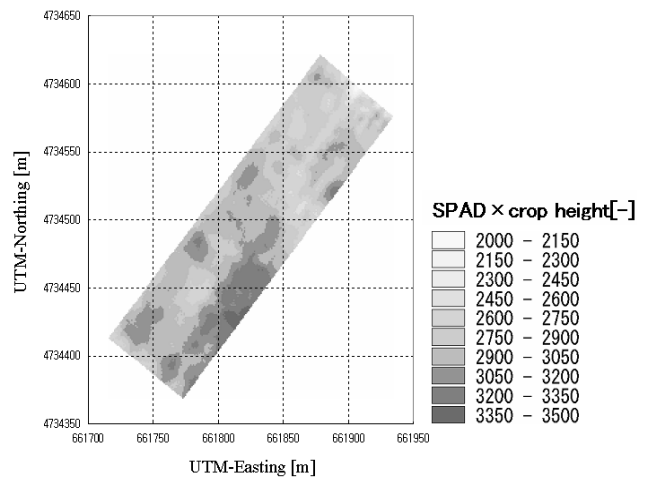


Fig. 13 GIS map of SPAD×crop height.

라. SPAD 값과 전장에 의한 감자 생육 예측

토양비료학과 작물생리학 분야에 있어서 벼의 생육상태를 나타내는 지표로서 작물의 전장×줄기 수×SPAD값이 있다 (Sasaki, 2002). 이것은 작물의 양적인 값과 질적인 값을 이용하여 복합적으로 작물의 성장량을 표현하는 것을 의미하는 것으로서, 본 연구에서도 감자의 성장량 평가의 지표로서 감자의 전장×SPAD값을 이용하여 감자 생육을 예측하였다.

식 (7)은 설명변수인 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 이용하여 감자의 전장×SPAD값에 대한 중회귀분석을 수행한 결과를 나타낸 것이다.

$$Y = 371.395 Red_{Ref} - 115.155 Green_{Ref} + 91.126285 NIR_{Ref} - 131.804 \quad (7)$$

이 회귀분석 결과, 결정계수가 0.785, RMS 오차가 227.8

의 정밀도에서 감자의 성장량 지표인 감자의 전장×SPAD값의 예측이 가능하였다. 그림 12는 감자의 전장×SPAD 값과 영상처리에 의해 얻어진 예측값과의 관계를 나타낸 것이다. 그림 13은 예측모델을 사용하여 포장 전체에 대한 예측 지도를 작성한 것이다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 산업용 무인헬리콥터에 멀티 스펙트럴 이미지 센서(Multi-Spectral Image Sensor; MSIS)와 GPS를 장착하여 촬영한 감자 포장의 영상으로부터 정규화된 반사율인 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 계산하고, 중회귀분석에 의해 감자의 줄기수, 전장, SPAD, 감자 전장×SPAD의 생육정보를 예측할 수 있는 모델을 개발하고, 개발된 모델을 이용하여 감자포장 전체에 대한 생육 예측지도를 작성하였다. 그 결과

를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 감자 생육정보는 정규화된 반사율 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 이용하여 생육상태를 예측하는 것이 가능하였고, GPS 위치 데이터와의 조합으로 GIS를 이용한 감자의 생육 예측지도를 작성하다.
- (2) 감자의 줄기수는 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 설명변수로 예측이 가능하고, 중회귀분석에 의한 감자의 전장 예측모델 정밀도는 결정계수가 0.600, RMS는 0.473로 나타났다.
- (3) 감자의 전장은 설명변수로 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 사용하여 결정계수가 0.657, RMS 오차는 6.29의 정밀도에서 예측 가능하였다.
- (4) 감자의 SPAD 값은 $Green_{Ref}$ 과 NIR_{Ref} 을 이용하여 예측모델을 개발하였고, 결정계수가 0.747, RMS가 1.03의 높은 정밀도에서 감자의 SPAD 값을 예측할 수 있었다.
- (5) 감자의 성장량 평가의 지표로서 감자의 전장×SPAD값과 Red_{Ref} , $Green_{Ref}$, NIR_{Ref} 을 설명변수로 예측모델을 개발하였고, 그 결과 결정계수가 0.785, RMS 오차가 227.8의 정밀도에서 감자의 성장량 지표인 감자의 전장×SPAD값의 예측이 가능하였다.
- (6) 감자 포장의 지형도와 생육 예측지도를 분석한 결과, 감자 포장의 중앙부가 경사지로 이루어져 있기 때문에 물이 흘러가는 지형으로서 수분 및 영양분 부족으로 인하여 감자의 생육이 좋지 않은 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Choi, W. J., G. J. Chung, S. J. Lim, S. L. Choi, H. Chung and H. W. Nam. 1998. A study of vision algorithm development for growth monitoring of potato microtubers. *Journal of Korean Society Agricultural Machinery* 23(4): 373-380. (In Korean)
2. Choi, C. H., M. J. Kim and M. J. Nahmgung. 1999. Yield mapping methods paddy field by using DGPS. *Journal of the Bio-Industrial Research of SungKyunKwan University* 5(1):32-41. (In Korean)
3. Fukagawa, T., N. Noguchi, K. Ishii, R. Sugiura and H. Terao. 2004. Application of monitoring system of growth status sensed by multi-spectral imaging sensor in upland field. *Journal of Hokkaido Branch of JSAM* 44:51-57.
4. Gonzales, R and R. Woods. 1993. *Digital Image Processing (Third Edition)*. Addison-Wesley Publishing Company, NewYork. pp. 447-455.
5. Gregory, J. S., M. W. Rosegrant, C. Ringler. 2000. Roots and tubers for the 21st century. Trends, projections, and policy options. International Food Policy Research Institute, Washington, USA. p. 25.
6. Jung, J. H and S. G. Suh. 2010. A Calculation method of in vivo energy consumption in estimation of harvesting date for high potato solids. *Korean Journal of Crop Science* 55(4):284-291. (In Korean)
7. Kang, H. S., S. H. Kim and Y. C. Hahm. 1989. Development of an oscillating potato harvester. *Journal of Korean Society Agricultural Machinery* 14(1):16-23. (In Korean)
8. Kang, H. S., K. H. Hyun, H. G. Lee and Y. K. kang. 2006. Effects of transplant raising method on growth and tuber yield of potato grown in aeroponics system. *Korean Journal of Horticulture Science Technology* 24(1):32-36. (In Korean)
9. Kim C. W., B. K. Kang, C. K. Song, S. J. Park and Y. K. Kang. 2009. Growth and yield of potatoes with different mini-tubers in wick-based hydroponics. *Korean Journal of Crop Science* 54(3):294-298. (In Korean)
10. Lee, C. H., T. J. Kim and G. J. Lee. 2010. Effect of organic mulching potato production and weed management. *Korea Journal of Organic Agriculture* 18(4):587-598. (In Korean)
11. Omine, M., Y. Shibata, K. Toriyama, R. Sasaki, K. Kobayashi and T. Chosa. 1997. Development of real time telemetry system on leaf color of paddy rice vegetations. Abstract of 59th Annual JSAM Meeting. pp. 325-326.
12. Shibusawa, S. 1998. Precision farming and terramechanics. *Proceedings of the 5th Asia- Pacific Regional Conference of ISTVS*. pp. 251-261.
13. Sasaki, R. 2002. Information necessary for local cultivation management of rice in large paddy field and accuracy required. *Agricultural and Horticulture* 77(11):1291-1226.
14. Sugiura, R., N. Noguchi, K. Ishii and H. Terao. 2003. Development of remote sensing system using an unmanned helicopter(Part I)-GIS mapping for agricultural land information-. *Journal of Japanese Society Agricultural Machinery* 65(1):53-61.
15. The Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. 2009. *Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Year Book*. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Gwacheon, Republic of South Korea.