

X-band 자동관측시스템을 이용한 벼 생육인자 추정

김이현^{1*}, 홍석영¹, 최은영¹, 이훈열²
¹농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과
²강원대학교 지구물리학과

Prediction of rice growth parameters by X-band automatic scatterometer system

Yi-Hyun Kim^{1*}, S.Young Hong¹, Eunyoung Choe¹ and Hoonyol Lee²

*연락처 : Phone: +82312900345 E-mail: yhkim75@rda.go.kr

요약

본 연구에서는 기후 등의 영향을 받지 않고 레이더 산란 측정을 할 수 있는 X-band antenna 기반의 자동관측 시스템을 이용하여 벼 생육시기에 따른 후방산란계수와 벼 생육인자와의 관계를 분석하여 후방산란계수를 이용한 벼 생육인자를 추정한 것을 목적으로 하였다. 2008년도 국립농업과학원 시험포장 (37°15' 28.0" N, 126°59' 21.5" E)에서 추정벼를 대상으로 생육시기별 후방산란계수를 관측하였는데 모든 편파별 후방산란계수가 벼 유수형성기 (7월 말경)까지 증가하다가 그 후 감소하다가 수확기가 가까워지는 9월 중순이후 다시 증가하는 dual-peak 현상을 보였고 특히 VV-편파의 경우 9월 초순부터 후방산란계수 증가가 다른 polarization에 비해 크게 나타났다. 후방산란계수와 작물생육인자와의 관계를 분석한 결과 고주파수인 X-band는 상대적으로 바이오메스, 엽 면적지수와의 상관성이 낮게 나타났지만 이삭 건물중은 VV-편파 후방산란계수와 상관관계를 보였다. 이삭 건물중과 상관관계가 높게 나타난 X-band의 VV-편파 후방산란계수를 이용하여 수확기 이삭 건물중을 추정하였는데 VV-편파 후방산란계수와 이삭 건물중과는 결정계수 (R^2)가 0.85이었고, 이삭 건물중 실측값과 추정값을 비교해 본 결과 1:1 line에 근접하게 분포하였다 ($R^2=0.85$).

서론

우리나라는 여름철의 기후 특성상 비오는 기간이 길고 일조량과 일조시수가 적어서 레이더 활용성이 점점 중요시되고 있고 있는데 특히 지상관측 레이더 산란계는 주파수, 편파, 입사각도의 조절이 가능한 장점을 가지고 있다. 지상관측 레이더 산란계를 이용하여 작물생육인자와 후방산란계수와의 관계를 분석하는 연구들

이 수년 동안 진행되고 있다(Ulaby et al., 1984; Wigneron et al; 1999). Inoue et al(2002)은 벼의 생육기간 동안 여러 주파수와 입사각, 편파로 관측하여 작물 군락에 대한 단순 산란모형과 microwave backscattering signatures와의 연관성을 분석하여 식물의 생육과 backscatter와의 관계를 분석하였다. Kim et al(2007)은 다편

파 레이더 산란계 시스템(L, C, X-band)을 이용하여 벼 생육시기에 따른 후방산란계수 변화를 관측하고 밴드, 편파 및 입사각도별 후방산란계수와 벼 생육인자와의 관계를 분석하였다. 하지만 다편파 산란계시스템을 통한 후방산란계수 변화 관측과정에서 강우, 바람, 습도 등 기후요인이 많은 영향을 미치고, 측정시마다 calibration 과정에서의 정확도 문제 등이 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 기후 등의 영향을 받지 않고 레이더 산란 측정을 할 수 있는 X-band antenna 기반의 자동관측시스템을 구축하고 벼 생육시기에 따른 후방산란계수와 벼 생육인자와의 관계를 분석하여 후방산란계수를 이용한 작물생육인자를 추정하는 것을 목적으로 하였다.

연구 방법

가. 연구지역

레이더 산란특성 관측은 국립농업과학원 시험포장(37°15' 28.0" N, 126°59' 21.5" E)에서 추청벼를 대상으로 모이앙기전(5월 17일)부터 벼 수확기(10월 12일)까지 수행하였다.

나. 벼 생육조사

초장, 생체중, 엽면적지수 등 벼 생육조사는 정기적으로 조사(1회/주)하였으며 이삭 건물중 경우 9월 초순부터 약 2일 간격으로 조사하였는데 생육조사방법은 생육이 고른 벼 3주를 선택하여 초장(Plant height), 생체중(Fresh weight)등을 측정하고 70°C에서 건조하여 건물중(Dry weight)등을 측정하였다. 엽면적지수는 단위면적에 대한 균락의 엽 면적으로 정의되고 개엽을 모두 떼어내어 LI-3100(LI-COR, Inc. USA)를 이용하여 직접 측정하는 후 주

(株) 재식밀도로 구하였다.

다. X-band 자동 산란계 관측시스템 구축

X-band 자동 산란계 관측시스템은 현장측정과정에서의 강우, 바람 등 기후의 영향을 최소화 하기위해 설계 및 구축하였다. 자동 관측시스템 설치는 모 이앙기전(5월 17일)에 하였고, 구성요소로는 X-band 안테나, 네트워크 분석기, GPIB(General Purpose Interface Bus)—USB, calibration kit, 노트북 컴퓨터 등으로 되어있다(그림 1).

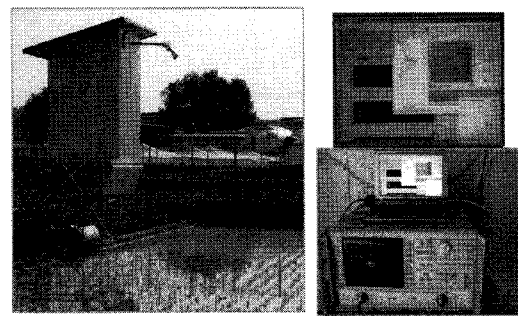


그림 1. X-band 자동 산란계 관측시스템 전경

자동 산란계 관측시스템의 구성항목별 특성은 표 1과 같다. 안테나는 X band의 Dual-Polarization Square Horn 안테나를 사용하였고 입사각도는 45°로 고정해서 측정하였다. 안테나 이득은 22.4 dB 이었고, 중심주파수는 9.65 GHz로 아리랑5호의 X-band 중심주파수와 동일하게 설계하여 측정하였다. 또한 측정주기는 10분당 1번씩 주기적으로 산란특성을 측정하였다.

표 1. X-band 자동 산란계 관측시스템 구성요소

Specification	X-Band
Center Frequency	9.65 GHz
Bandwidth	1 GHz
Antenna Type	Dual polarimetric horn
Antenna Gain	22.4 dB
Incident Angle	45°

라. 후방산란계수 추출

후방산란계수 추출은 다음과 같은 레이더 방정식으로 표현 할 수 있다(Ulaby et al; 1990).

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \sigma \quad (1)$$

여기에서 P_t 는 지표면을 향해 송신되는 파워, G_t , G_r 은 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 이득, λ 는 마이크로파의 파장, σ 는 대상체의 후방산란 유효 면적(Radar Cross Section, RCS)이다. 그리고 R 은 안테나로부터 대상체까지의 거리이다. 후방산란계수(σ^0)는 단위면적(A)의 RCS 중 안테나로 되돌아오는 양으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma^0 = \frac{\sigma}{A} \quad (2)$$

산란계 실험을 통해 측정된 대상체에서 산란되어 되돌아오는 신호의 크기(U)는 송신 마이크로파 파워(P_t)에 대한 수신 마이크로파 파워(P_r)의 비로써 다음식과 같이 나타낸다.

$$U^2 = \left(\frac{V_r}{V_t} \right)^2 = \frac{P_r}{P_t} \quad (3)$$

후방산란계수(σ^0)는 레이더방정식 (1)과 식 (2)을 이용하여 구할 수 있다. 먼저, 식 (1)을 dB로 환산하면 다음과 같다.

$$10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) = 20 \log U = 10 \log \left[\frac{G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \right] \quad (4)$$

$$\therefore \sigma(\text{dB}) = 10 \log \sigma = 20 \log U - G_t(\text{dB}) - G_r(\text{dB}) - 20 \log \lambda + 30 \log 4\pi + 40 \log R$$

안테나는 송신안테나와 수신안테나가 동일하기 때문에 G_t 와 G_r 의 값은 같다. 식 (2)의 A 값은 산란계의 수평해상도에 따른 산란체의 면적으로 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$A = \frac{\Delta R}{\cos \theta_i} \cdot l \quad (5)$$

이 때, ΔR 은 안테나의 거리 해상도로서 $\Delta R = c/2B$ (c =빛의 속도, B =band 폭)이고, θ_i 는 입사각이며 $l = R \cdot \theta$ (R =대상체의 거리, θ =안테나의 빔폭)이다.

식 (4)과 식 (5)를 다시 정리하면 각 band별 후방산란계수를 구하기 위해 다음과 같은 식이 사용된다.

$$X\text{-band} : \sigma^0(\text{dB}) = 20 \log U + 3221(\text{dB}) + 30 \log R + 10 \log \cos \theta_i$$

연구결과 및 고찰

가. 벼 생육시기에 따른 X-band 후방산란계수 변화 관측

그림 2는 벼 생육기간동안 X-band의 후방산란계수 변화를 설명해주고 있고 후방산란계수 범위는 -50 dB ~ -5 dB이었다. 벼 생육초기에는 VV-편파가 HH-, HV-편파보다 후방산란계수가 높게 나타났다. 모든 편파별 후방산란계수가 벼 유

수형성기(7월 말경)까지 증가하다가 그 후 감소한 후 수확기가 가까워지는 9월 중순이후 다시 증가하는 dual-peak 현상을 보였고, 특히 VV-편파의 경우 9월 초순부터 후방산란계수 증가가 다른 편파에 비해 크게 나타났다. 이삭이 익어 가면서 외부에 노출되는 과정에서 파장이 짧은 고주파 X-band는 이삭에 대한 감지도가 높아 벼 수확기가 가까울수록 후방산란계수가 증가하였는데 이런 현상은 작년에 다편파 산란계시스템으로 측정한 결과와 일치한다(Kim et al; 2007).

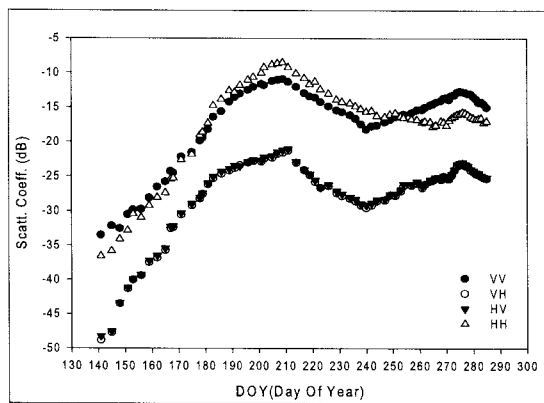


그림 2. 벼 생육시기에 따른 X-band 후방산란계수 변화

나. X-band 후방산란계수와 벼 생육인자와의 관계 분석

입사각도 45도 조건에서 후방산란계수와 초장, 생체중, 건물중, 엽면적지수 등 벼 생육인자와의 관계를 분석해보았다. 표 2는 X-band 후방산란계수와 벼 생육인자와의 상관관계를 보여주고 있다. HH-편파의 후방산란계수와 엽면적지수와의 상관관계($r=0.81$)를 제외하고는 X-band의 편파별 후방산란계수와 초장, 생체중, 건물중, 엽면적지수 등 벼 생육인자들과의 상관성이 낮게 나타났다. 벼 수량과 관련이 있는 이삭 건물중과의 관계를 알아본 결과

VV-편파 후방산란계수와 이삭 건물중의 상관관계가 높게 나타났지만 HH, HV/VH-편파 후방산란계수의 경우 이삭 건물중과의 관계가 높지 않았다. 벼 수확기에는 잎의 노엽화가 진행되고 벼 군락 밀도가 낮아지는 기간임으로 이삭이 외부에 노출되기 쉽다. 그러므로 파장이 짧은 X-band에서 민감한 반응을 보이는 것으로 판단된다.

표 2. X-band 후방산란계수와 벼 생육인자의 상관관계

Polarization	Plant height (cm)	LAI	Biomass (g/m ²)	Grain dry weight (g/m ²)
VV	$r=0.59^*$	$r=0.64^*$	$r=0.64^*$	$r=0.89^{**}$
HH	$r=0.55^*$	$r=0.81^{**}$	$r=0.73^{**}$	$r=0.21^{ns}$
VH	$r=0.42^*$	$r=0.60^*$	$r=0.55^*$	$r=0.43^*$
HV	$r=0.44^*$	$r=0.61^*$	$r=0.53^*$	$r=0.44^*$

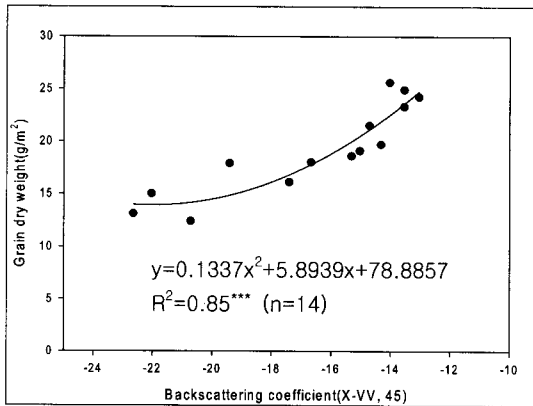
ns : Non significance

* : level of significance $p<0.05$

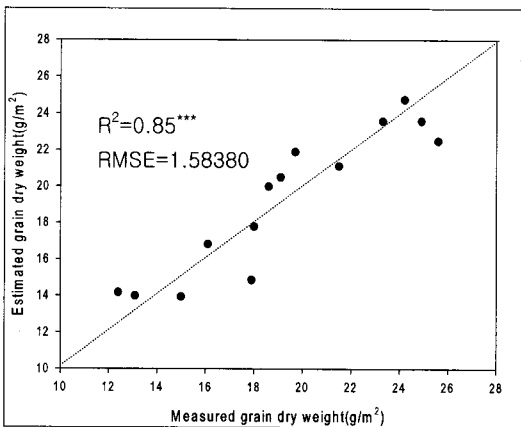
** : level of significance $p<0.01$

다. 후방산란계수를 이용한 벼 생육인자 추정

이삭 건물중과 상관관계가 높게 나타난 VV-편파 후방산란계수를 이용하여 이삭 건물중을 추정하였고 그 결과는 그림 3과 같다. VV-편파 후방산란계수와 이삭 건물중과는 결정계수가 0.85로써 이삭 건물중 변이의 약 85%를 설명할 수 있었고, 이 추정식을 이용하여 이삭 건물중 실측값과 추정값을 비교해 본 결과 1:1 line에 근접하게 분포하였다($R^2=0.85$).



(a)



(b)

그림 3. (a) VV-편파 후방산란계수를 이용한 이삭 건물중 추정, (b) 이삭 건물중 실측값과 추정값 1:1 line 비교

결론

본 연구에서는 X-band 자동관측 시스템을 이용하여 벼 생육시기에 따른 후방산란계수 변화를 관측하고 벼 생육인자와의 관계를 분석하여 후방산란계수를 이용한 벼 생육인자를 추정하였다.

벼 생육시기에 후방산란계수 변화를 관측해본결과 생육초기에는 VV편파가 HH, HV/VH편파보다 후방산란계수가 높게 나타났다고, 모든 편파별 후방산란계수가 벼

유수형성기(7월 말경)까지 증가하다가 그 후 감소한 후 수확기가 가까워지는 9월 중순이후 다시 증가하는 dual-peak 현상을 보였다.

편파별 후방산란계수와 벼 생육인자와의 관계를 분석한 결과 초장, 엽면적지수, 생체중과의 상관관계는 낮았고, 이삭 건물중의 경우 VV편파 후방산란계수와 상관관계가 높게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 VV편파 후방산란계수를 이용하여 이삭 건물중을 추정할 수 있는 회귀식을 작성하고 실측값과 추정값을 비교해본결과 1:1 line에 근접하게 분포하였다($R^2=0.85$).

본 연구결과를 통해 X-band 후방산란계수를 이용하여 벼 생육인자를 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다.

사사

이 논문은 한국항공우주연구원의 다목적 실용위성 5호 시스템종합개발사업의 지원으로 연구되었습니다.

참고문헌

Inoue, Y., T. Kurosu, H. Maeno, S. Uratsuka, T. Kowu, K. Dabrowska-Zielinska and J. Qi. 2002. Season-long daily measurements of multifrequency(Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables, *Remote Sensing of Environment*, 81:194-204.

Yi-hyun Kim, Suk-young Hong, Min-won Jang, No-wook Park, and Hoon-yol Lee, 2007. Radar backscattering measurements of paddy rice field using L, C, X-band polarimetric scatterometer, *Proc. of ISRS 2007*, pp.633-636.

Ulaby, F. T., Allen, C. T., Eger, G. and

Kanemasu, E. T. 1984. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index, *Remote Sensing of Environment*, 14:113-133.

Ulaby, F. T. and Elachi, C. 1990. *Radar Polarimetry for Geoscience Applications*, Artech House Inc.

Wigneron, J. P., P. Ferrazzoli., A. Oliso., P. Bertuzzi. and A. Chanzy. 1999. A simple approach to monitor crop biomass from C-band radar data, *Remote Sensing of Environment*, 69:179-188.