

# 레이더 자료를 이용한 농업환경 및 작물 생육 평가

## Evaluation of agro-environment and crop growth using radar data

이경도<sup>1</sup>, 홍석영<sup>1\*</sup>, 김이현<sup>2</sup>, 이훈열<sup>3</sup>

Kyungdo Lee<sup>1</sup>, Sukyoung Hong<sup>1</sup>, Yihyun Kim<sup>2</sup>, and Hoonyol Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Climate Change and Agroecology Division, National Academy of Agricultural Science

<sup>2</sup> Research Policy Planning Division, Rural Development Administration

<sup>3</sup> Department of Geophysics, Kangwon National University

**요약** : 레이더(Radar)는 구름이나 눈, 비 등 기상 조건에 큰 영향을 받지 않고 지표면의 정보를 수집할 수 있다. 농작물의 주요 생육기인 여름철이 태풍, 장마, 연무 등으로 인해 광학영상을 수집하기 어려운 점을 감안한다면 이는 레이더의 농업적 활용에 큰 장점으로 작용한다. 본 논문에서는 농촌진흥청 국립농업과학원에서 그동안 수행해온 지상레이더 산란계와 레이더 위성영상 이용 주요 작물 생육 및 생육환경 추정 연구 결과를 소개하고자 한다. 국립농업과학원은 L, C, X-밴드 기반의 마이크로파 산란계 관측시스템을 구축하여 우리나라 대표작물인 벼(2009), 콩(2010), 밀(2012)을 대상으로 전 생육기간 동안 생육변화를 모니터링하고 생육인자들과의 상관성 분석을 통해 생육을 추정하였다. 농촌진흥청 시험포장에서 벼, 콩, 밀 생육시기에 따른 밴드별 후방산란계수와 생육인자 변화 분석결과 모든 밴드에서 생육초기에는 VV-편파가 HH-, HV-편파보다 후방산란계수가 높게 나타났으나 이후 HH-편파가 다른 편파들에 비해 후방산란계수가 높게 나타났다. 밴드 및 편파별 후방산란계수와 시험대상 작물 생육인자와의 분석 결과 L-밴드 HH-편파 후방산란계수는 생체중, 엽면적지수 등 생육인자들과 각각 상관계수가 가장 높게 나타났고, L-밴드 HH-편파 후방산란계수를 이용하여 각 생육인자들에 대한 추정값과 실측값을 비교한 결과 생체중 등 생육인자들과 작은 오차를 보여 L-밴드 HH-편파 후방산란계수를 이용하는 것이 벼, 콩, 밀의 생육을 가장 잘 예측하는 것으로 나타났다. 또한, 토양수분의 경우에도 L-밴드 HH-편파 후방산란계수와 상관계수가 가장 높은 것으로 나타났다. COSMO-SkyMed 영상을 이용하여 얻어진 후방산란계수와 밀 생육인자들과의 관계를 분석한 결과 생체중, 식생수분함량과 상관관계를 보였다.

### 1. 서론

광학영상의 경우 에너지원이 태양이기 때문에 비가 오거나 날씨가 흐려 구름이 낄 경우 영상획득의 어려움이 생긴다. 특히 우리나라는 몬순기후대에 위치하고 있어 작물생육이 왕성한 여름철에 비오는

기간이 많아 일조량이 부족한 상황이다.

레이더 위성영상은 에너지원이 인공발생 극초단파(microwave)로 자체적으로 펄스신호를 내보내어 대상체(target)로부터 되돌아오는 신호인 후방산란계수(backscattering coefficients)를 얻는 것

으로 날씨에 영향을 거의 받지 않는다. 따라서 레이더 자료의 농업적 활용에 대한 중요성이 커지고 있다.

레이더영상을 이용하여 후방산란계수와 벼, 콩, 옥수수 등의 작물생육인자들과의 관계를 분석하고 작물생육을 추정하는 연구들을 중심으로 작물생육을 모니터링하고 작물·식생변화를 정량화하는 연구들은 수년 동안 진행되고 있다(Bouvet and Le Toan, 2011).

마이크로파 산란계는 합성구경레이더 영상자료에 비해 연속적으로 작물을 모니터링할 수 있어 시간해상도가 레이더 영상에 비해 훨씬 뛰어나다. 또한 다중편파(full polarization), 다양한 입사각도를 통하여 여러 종류의 밴드 안테나를 동시에 이용함으로써 편파별 작물 생육변화를 시기별로 모니터링 할 수 있는 큰 장점을 가지고 있다(Inoue et al., 2002; Kim et al., 2009).

본 논문에서는 레이더 산란 측정을 할 수 있는 L, C, X-밴드 기반 마이크로파 산란계 자동관측 시스템을 구축하여 연속적으로(10분 단위) 벼, 콩, 밀 및 토양수분 함량 변화를 모니터링한 결과와 레이더 영상을 이용한 작물 생육 모니터링 결과를 소개하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 마이크로파 산란계를 이용한 작물생육 및 토양수분 추정

마이크로파 산란계를 이용하여 우리나라 대표작물인 벼, 콩, 밀에 대한 작물생육변화를 관측하였다. 벼의 경우 2009년도 국립농업과학원 시험포장(37° 15' 28.0" N, 126° 59' 21.5" E)에서 추청벼(*Oryza sativa* L. var. *sativa*)를 대상으로 연구를 수행하였다. 벼 이앙일은 5월 18일(Day Of Year, DOY 138), 수확일은 10월 12일 (DOY 285)이다. 콩은 국립식

량과학원 시험포장(37° 15' 34.77" N, 126° 58' 32.52" E)에서 2010년에 대풍콩(*Glycine max* L. Merrill)을 대상으로 연구를 수행하였다. 콩 파종일은 6월 4일(DOY 154), 수확일은 10월 22일(DOY 294)이다. 밀은 콩을 실험한 동일 포장에서 2011년 11월 15일 금강밀(*Triticum aestivum* L)을 파종하여 2012년 6월 22일 수확할 때까지 마이크로파 산란계 자동관측 시스템을 통해 레이더 산란특성을 측정 하였다.

생육조사는 초장(plant height), 생체중(fresh weight), 건물중(dry weight), 엽면적지수(Leaf area index) 등을 수확기까지 정기적으로 조사(1회/주)하였으며 수확기에는 각 작물의 특성에 맞게 수확기 조사를 실시하였다. 엽면적지수는 개엽을 모두 떼어내어 LI-3100(LI-COR, Inc. USA)을 이용하여 직접 측정한 후 주(株) 재식밀도로 구하였다. 생체중에서 건물중을 뺀 값으로 식생 수분함량(vegetation water content)을 얻었다.

마이크로파 산란계 시스템은 L, C, X-밴드 안테나(dual polarization square horn type), 네트워크 분석기, GPIB(General Purpose Interface Bus)—USB, calibration kit, Radio Frequency(RF) cable, RF switch, 노트북 컴퓨터 등으로 구성되어 있다(Kim et al., 2011). 시스템 calibration 및 자료 질 향상을 위해 RF switch를 이용하여 10분당 1회씩 자동으로 산란특성을 측정하도록 설계하였고, 모든 편파(HH, VV, HV, VH)에 대한 산란특성을 측정 할 수 있도록 하였다. 대상체에서 산란되어 돌아오는 HH, VV, HV, VH 편파의 크기(amplitude)와 위상(phase) 정보를 얻을 수 있고 이 파일을 후방산란계수 추출에 이용하였다. 밴드별 후방산란계수 산출은 레이더 방정식을 이용하였다(Ulaby et al., 1990).

### 레이더 영상을 이용한 밀 생육 모니터링

레이더산란계로 밀 생육을 모니터링한 포장에 대해서 COSMO-SkyMed 영상을 7차례(2012년 3월6일, 3월22일, 4월6일, 4월22일, 5월8일, 5월 27일, 6월11일) 촬영하여 밀 생육조사 결과와 비교분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 마이크로파 산란계를 이용한 작물생육 및 토양수분 추정

모든 안테나 밴드에서 벼, 콩, 밀 생육 초기에는 VV-편파가 HH-, HV-편파보다 후방산란계수가 높게 나타났고, 이후 HH-편파가 다른 편파들에 비해 후방산란계수가 높게 나타나기 시작했다.

생육시기별 후방산란계수와 벼 생육인자의 변화 분석 결과, 생체중과 상관계수가 가장 높은 밴드별 편파조건은 L-밴드의 HH-편파( $r=0.97$ )이고, 다른 밴드 및 편파에서도 비교적 상관성이 높게 나타났다( $r=0.73-0.89$ ). 엽면적지수는 L-밴드의 HH-편파 후방산란계수와 상관성이 높게 나타났고( $r=0.96$ ), L-, C-밴드는 다른 편파에서도 상관성이 높게 나타났다( $r=0.84-0.91$ ). 밴드 및 편파에 따른 후방산란계수와 콩 생육인자들과의 상관관계를 분석한 결과 생체중과 후방산란계수의 상관관계를 분석해 본 결과 L-밴드 HH-편파에서 상관계수가 가장 높았고( $r=0.98$ ), L-밴드, C-밴드의 다른 편파들에서도 상관성이 높았다( $r \geq 0.85$ ). 엽면적지수의 경우 L-밴드 모든 편파에서 상관계수가 높았고( $r \geq 0.91$ ), X-밴드 편파에서는 L, C-밴드에 비해 상관계수가 낮았다( $r \leq 0.78$ ). 초장과 밴드별 후방산란계수의 관계를 알아본 결과 L-밴드 HH-편파에서 상관계수가 가장 높게 나타났고( $r=0.98$ ), VV-, HV-편파에서도 상관계수가 높게

나타났으며( $r \geq 0.91$ ), 다른 밴드의 모든 편파에서도 상관성을 보였다( $r \geq 0.83$ ). L-밴드 HH-편파에서 식생 수분함량과의 상관계수가 높았고( $r=0.97$ ), L-밴드 다른 편파들과 C-밴드의 모든 편파에서도 상관성을 보였다( $r \geq 0.83$ ). 밀의 경우에도 생체중과 후방산란계수와의 상관관계를 분석해 본 결과 L-밴드 HH-편파에서 상관계수가 가장 높았고( $r=0.98$ ), L-밴드, C-밴드의 다른 편파들에서도 상관성이 높은 결과를 보였다( $r \geq 0.84$ ).

생체중과 상관성이 가장 높은 L-밴드의 HH-편파 후방산란계수를 이용하여 생체중을 추정한 결과 생체중과 HH-편파 후방산란계수는 결정계수가 0.94로 나타났고, 추정모형의 정확성을 알아보기 위해 벼의 생체중 실측값과 추정모형에서 얻어진 생체중 추정값을 비교해 본 결과 제공 근평균제곱오차(RMSE)가 낮게 나타나 생체중 추정 모형의 유효성이 높다는 것을 확인하였다. L 밴드 및 편파별 후방산란계수와 콩 생육인자들과의 상관분석 결과 상관계수가 가장 높은 L-밴드 HH-편파 후방산란계수를 이용하여 콩 생체중을 추정한 결과, HH-편파 후방산란계수와 생체중 관계에서는 1차식 관계가 성립되었고, 결정계수가 높게 나타났다( $R^2=0.98$ ). 이 모형을 이용하여 생체중의 실측값과 추정값을 비교한 결과 RMSE가 낮게 나타나 생체중 추정모형의 유효성이 높다는 것이 증명하였다. 밀의 경우에도 L-밴드 HH-편파 후방산란계수와 생체중의 상관관계를 분석한 결과 벼, 콩과 유사하게 높은 상관계수( $r=0.98$ )를 보였다.

밴드별 후방산란계수와 토양수분 함량 변화 관측에서 식생 수분함량 1.5 이하 일 때 두 변수 간에 상관성이 전체 생육기간보다 높게 나타났다. 식생 수분함량이 1.5 이하일 때 모든 밴드 및 편파에서 토양수

분 함량과의 상관계수가 전체 생육단계에서 조사한 것 보다 높게 나타났다. L-밴드 HH-편파 후방산란계수에서 상관계수가 가장 높게 나타났고( $r=0.89$ ), L-밴드 다른 편파에서도 상관성이 나타났다( $r \geq 0.84$ ).

본 연구에서는 마이크로파 산란계 자동 측정시스템 관측을 통해 10분 단위로 얻어진 후방산란계수를 이용하여 밴드별 편파에 따른 후방산란계수와 벼, 콩, 밀 생육인자들, 토양수분과의 관계를 분석하고 상관성이 높게 나타난 후방산란계수를 이용하여 벼, 콩, 밀 생육과 토양수분 추정이 가능할 수 있음을 확인하였다.

### 레이더 영상을 이용한 밀 생육 모니터링

COSMO-SkyMed 영상 후방산란계수는 생육시기에 따라 증가하다가 DOY 129(5월 9일)때 최대값을 보인 후 DOY 150(5월 29일)에는 감소하였는데, 생체중, 식생 수분함량 등도 동일한 변화 경향을 보였다. 반면 토양수분함량은 영상의 후방산란계수와 상관성이 낮게 나타났다. 이는 COSMO-SkyMed 영상의 경우 파장이 짧은 X-밴드 자료만 활용할 수 있어 식물체에 대한 침투성이 낮은 것으로 판단된다. COSMO-SkyMed 영상 후방산란계수와 생육인자들과의 상관관계를 분석한 결과 생체중( $r=0.88$ ), 식생 수분함량( $r=0.87$ )과 상관계수가 높게 나타났고, 건물중( $r=0.80$ )과도 상관성을 보였다. 후방산란계수를 이용하여 밀 생육인자를 추정한 결과 결정계수가 생체중( $R^2=0.80$ ), 식생 수분함량( $R^2=0.80$ ), 건물중( $R^2=0.70$ ) 등으로 생체중, 식생 수분함량에서 결정계수가 높게 나타났다. 본 연구결과를 통해 COSMO-SkyMed 영상을 이용하여 밀 생육을 추정할 수 있는 가능성을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ009367012014)의 지원으로 수행되었습니다.

### 인용문헌

- Bouvet, A. and T. Le Toan. 2011. Use of ENVISAT/ASAR wide-swath data for timely rice fields mapping in the Mekong River Delta. *Remote Sens. Environ.* 115(4):1090-1101.
- Inoue, Y., T. Kurosu., H. Maeno, S. Uratsuka., T. Kowu., K. Dabrowska-Zielinska. and J. Qi, 2002. Season-long daily measurements of multi-frequency(Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. *Remote Sens. Environ.* 81:194-204.
- Kim, Y.H., S.Y. Hong, and H.Y. Lee. 2009. Estimation of paddy rice growth parameters using L, C, X-bands polarimetric scatterometer. *Korean J. Remote Sens.* 25:31 - 44.
- Kim, Y.H., S.Y. Hong, H.Y. Lee, J.E. Lee, 2011. Monitoring soybean growth using L, C, X-bands automatic radar scatterometer measurement. *Korean J. Remote Sens.* 27(2):191 - 201.
- Kim, Y.H., S.Y. Hong, K.D. Lee, S.Y. Jang, H.Y. Lee, Y.S. Oh, 2013. Monitoring wheat growth by COSMO-SkyMed SAR Images. *Korean J. Remote Sens.* 29(1):35 - 43.
- Ulaby, F.T. and C. Elachi. 1990. *Radar Polarimetry for Geoscience Applications*. Artech House Inc., Norwood, MA, USA.