

APEC기후센터

원격탐사자료기반 한반도의 벼 생산성 예측

전종안 기후변화연구팀

APEC기후센터
연구보고서

원격탐사자료기반 한반도의 벼 생산성 예측

Remote Sensing-Based Rice Productivity Prediction in South Korea

전종안 기후변화연구팀

연구보고서 2015-18

발간사

쌀생산량은 쌀수급 및 쌀가격안정, 농업소득 등과 관련한 농업정책 수립에 중요한 자료입니다. 우리나라에서는 1965년부터 단위면적당(10a당) 수량을 표본조사로 실시해 왔고 이 조사는 2008년 3월부터는 농림수산물식품부에서 통계청으로 이관되어 수행되고 있습니다.

쌀 수량을 결정하는 중요한 요인으로 등숙기의 기온 및 일조시간 등 기상여건을 들 수 있습니다. 위성영상을 기반으로 한 식생지수를 활용하여 작물의 생산량을 추정하는 연구들이 수행되고 있는데, 이러한 방법에 등숙기의 기상여건을 반영하여 생산량 추정의 정확성을 높이려는 방법들이 최근 개발되고 있는 추세입니다.

본 연구에서는 APCC 다중모델앙상블 계절예측자료와 위성영상기반 식생지수를 활용하여 9.15 예상량조사 발표시점보다 조기에 쌀단수(10a당 생산량, kg/10a)를 예측하는 모형을 개발하였으며, 개발한 모형의 활용성과 그 정책적 시사점을 논하였습니다.

본 연구에서 제안한 식생지수와 계절예측자료를 활용한 쌀 생산량 추정치는 기존 방법들 보다 조기에 쌀생산량 추정치를 제공함으로써, 의사결정을 지원하는 자료로 활용하여 정부의 수급 및 가격안정대책의 실효성을 높이는데 사용할 수 있을 것으로 기대됩니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행해 주신 본 센터의 전종안 박사의 노고에 감사드립니다. 그리고 본 연구를 위해 많은 도움을 주신 김윤식 교수(경상대학교), 김성 사무관(공군기상단), 홍석영 박사(국립농업과학원), 나상일 박사(국립농업과학원), 김태훈 박사(한국농촌경제연구원), 본 센터의 오상명 연구원, 이효진 연구원께도 감사를 포함합니다.

2015. 3월
APEC 기후센터 소장
정진승

ABSTRACT

Statistics Korea has reported estimates of rice yield based on a sampling method (9.15 estimates of rice yield). They collect the number of hills per 1-m², the number of effective panicles per hill, the number of filled grains per panicle, and any damages on rice plants from 3,359 sampling fields over the country from Sept. 15 to 21, estimate rice yields in kg/10a. However, this sampling method often failed to accurately estimate rice yields at harvesting stages due to the lack of weather conditions during ripening periods. It is widely known that weather conditions such as precipitation, sunshine hours, and temperature during ripening periods are major factors to influence rice yields especially after heading stages. The objectives of this present report are to develop models estimating rice yields and to suggest their applications for stake holders including policy implications using the APCC MME seasonal forecast datasets.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Vegetation Indices such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and LAI (Leaf Area Index) were collected from Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) for this study. To calculate NDVI at rice paddy fields in Korea, a mask map of rice paddy fields was developed using a landuse map provided by EGIS (Environmental Geographic Information System). There were two types of meteorological datasets which were used for this study to reflect weather conditions during ripening periods: observed meteorological datasets collected from ASOS (Automated Surface Observing System) and APCC (APEC Climate Center) MME (Multi-Model Ensemble) Hindcasts. The 61 sites of ASOS which have longer than 30 years of climate datasets were selected to collect the observed precipitation, sunshine hours, and temperatures. Those datasets from 1983 to 2010 were collected for this study considering the period of APCC MME hindcasts. Even though the 16 GCMs (Global Circulation Models) were used generally used for the APCC MME technique, 6 GCMs including APCC-CCSM3 (APCC, Korea), MSC_CANCM3 (MSC, Meteorological Service of Canada,

Canada), MSC_CANCM4 (MSC), NASA (National Aeronautics and Space Administration, USA), PNU (Pusan National University, Korea), and POAMA (BOM, Bureau of Meteorology, Australia) were selected to collect the longest hindcast period. Since MODIS VIs from the Aqua satellite were provided from 2002, we had to configure the model set so that we can have the longest period after 2002. A simple composite method (SCM), a simple ensemble method, was applied to these six GCMs. However, the resolution ($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$) MME hindcasts might not be adequate for an agricultural application in this study. A statistical downscaling method using EOF (Empirical Orthogonal Function Analysis) and SDVA (Singular Value Decomposition Analysis) was applied to provide monthly precipitation, sunshine hours, and temperature at a station scale. The statistical downscaling method estimates station-scale meteorological predictands from large-scale atmospheric predictor variables including SLP (Sea-Level Pressure), T2m (temperature at 2m), T850 (850hPa temperature), u200 (200hPa zonal wind), u850 (850hPa zonal wind), v200 (200hpa meridional wind), v850 (850hpa meridional wind), z500 (500hpa geopotential height) in this study. These meteorological variables in Aug, Sept, Oct, and an average of these three months were used to cover ripening periods of mid-late maturing rice cultivars which are major cultivars in Korea. Rice yields in each provincial level as well as in the national level for the study period were also collected.

These collected datasets including MODIS VIs, landuse, rice yields, observed and estimated meteorological variables were reclassified into agro-climatic zones consisting of 9 climatic zones based on climatic conditions and agricultural cultivation and were used to develop a rice yield estimation model at national and agro-climatic zone levels. The agro-climatic zone used for this study consists of 9 classifications including Apline (ACZ1), Mountainous (ACZ2), Central Northern Inland (ACZ3), Central Northern West Coastal (ACZ4), Central Southern Coastal (ACZ5), Gyeongbuk Inland (ACZ6), Southern Inland (ACZ7), Southern Coastal (ACZ8), and Eastern Coastal (ACZ9). It is widely known that this 9 classifications of agro-climatic

zone is more adequate agricultural applications than 19 classifications of agro-climatic zone, since it does not require too much detailed agricultural managements and meteorological variables. Furthermore, since any provinces in this 9 classifications of agro-climatic zone are not divided, rice yields in each agro-climatic zone can be easily aggregated from the those at a provincial level. However, it should be noted that only one ASOS and two ASOSs were located in ACZ1 and ACZ9, respectively. For the rice yield estimation model at a national level, the meteorological datasets from the 61 ASOS, while 57 out of 61 ASOS were used for the yield estimation model at an agro-climatic zone level. Since more than two independent variables including MODIS VIs and meteorological variables were used for the rice yield estimation model, a multiple linear regression approach was used. For this study, we fixed one of MODIS VIs and select other independent variables by the stepwise approach in the SAS software package so that the predictability of the rice yield estimation model using both MODIS VIs and meteorological variables were evaluated against estimates by a model using only MODIS VIs and observed rice yields.

MODIS VIs at rice paddy fields were two resolutions and three day-of-year (DOY): 250-m and 1-km resolutions and DOY 201, DOY 217, and DOY 233. For the national level of MODIS VIs, the correlation coefficients between both NDVI and LAI on DOY 201 and rice yields were about -0.2 , those between NDVI and LAI on DOY 217 and rice yields were about 0.3 . That between 1-km resolution NDVI on DOY 233 and rice yields was about 0.7 and higher than 250-km resolution NDVI on DOY233 (about 0.6). However, those between LAI on DOYs 217 and 233 and rice yields were approximately 0.3 , while that between NDVI on DOY 233 and rice yields was higher than that between NDVI on DOY 217 and rice yields. For the agro-climatic zone level of MODIS VIs, similar patterns and ranges of correlation coefficients were observed for the NDVI. However, higher correlation coefficients between LAI on DOY 217 and rice yields were found in ACZ8 and ACZ9 than those between LAI on DOY 233 and rice yields. These findings observed from the

both national and agro-climatic zone levels are in substantial agreement with those of previous research. It should be noted that the rice paddy fields in the rice paddy field mask map (30-m resolution) can be different rice cultivated fields in each year and the mask map does not reflect any changes in landuse over the study period. Therefore, it is suggested that more accurate rice paddy field mask map should be developed for the further study to improve the rice yield estimation model.

The PROC MEANS procedure of the SAS software package were used to develop the rice yield estimation models, and the stepwise selection method was used for the selection of the independent variables. The developed rice yield estimation models were $Yield=703.35NDVI_{1km, 233}-34.82$ ($R^2=0.3$) and $Yield=582.99NDVI_{1km, 233}-0.11P_9+13.18T_{max, 9}-269.71$ (adjusted $R^2=0.75$) for using NDVI only and using NDVI and the observed meteorological datasets, respectively. (where, yield is the rice yield, $NDVI_{1km, 233}$ is the 1-km resolution NDVI on DOY 233, P_9 is the observed monthly mean precipitation in Sept, and $T_{max, 9}$ is the observed monthly mean maximum temperature in Sept.) With the models, NDVI and monthly mean maximum temperature in Sept. have a positive correlation with rice yields, while precipitation in Sept. has a negative correlation with rice yields. MAPE (Mean Absolute Percentage Error) was used to evaluate the developed models against the observed rice yields. The largest MAPE was approximately 3.53% when the estimated meteorological variables were used. The smallest MAPE (about 1.7%) was found in the rice yield estimation model with both VI and observed meteorological datasets. Interestingly, the errors of the estimated rice yields by the model using VI were relatively high in 2007 to 2009 when the errors of the 9.15 estimates of rice yield were high. The estimates of the rice yield estimation model using the estimated meteorological variables were better than those with VI only and the 9.15 estimates for the three years. Similar approaches were used for the rice yield estimation model at an agro-climatic zone level. However, very low adjusted R-squared value (only 0.1) was found from ACZ7 and there was no consistency in the selection of independent variables over the

agro-climatic zones. A further study are suggested on the improvement of the estimation of the rice yields for those agro-climatic zones.

A statistical downscaling method was used to provide the two selected meteorological variables for the rice yield estimation model at a station-scale. EOF (Empirical Orthogonal Function Analysis) and SDVA (Singular Value Decomposition Analysis) were applied for the meteorological variables. These estimated meteorological variables (precipitation and temperature in Sept. for this case) were used to assess applicability of the APCC MME datasets. The largest MAPE was approximately 3.53% when the estimated meteorological variables were used. The smallest MAPE (about 1.7%) was found in the rice yield estimation model with both VI and observed meteorological datasets. Interestingly, the errors of the estimated rice yields by the model using VI were relatively high in 2007 to 2009 when the errors of the 9.15 estimates of rice yield were high. For the three years, the estimates of the rice yield estimation model using the estimated meteorological variables (MAPE=2.23%) were better than those with VI only (MAPE=4.04%) and the 9.15 estimates (MAPE=4.80%).

Even though the rice yield estimation models should be improved to more accurately estimate rice yields, the suggested rice yield estimation models using MODIS VIs and APCC MME seasonal forecasts can be useful for the followings:

- 1) Policymakers in South Korea can project the budget for the Direct Payment Program by predicting rice prices at harvesting stages using accurate rice yield estimates. The Direct Payment Program is a government program that is utilized for farmers when rice prices fall below a targeted price. For example, the budget for the Direct Payment Program will need to be increased if rice prices fall significantly below the targeted price. If this increased expenditure for Direct Payment Program is larger than budget that policymakers originally prepared, additional funding for the program should be secured.

- 2) If rice yields are accurately predicted, it will be possible to reduce market variability through adjusting the timing and quantity of imported rice. A scheme to adjust imports and the domestic availability of rice for the table for shock absorbing in the domestic market is one of policy means that can be considered. If increases in rice production lead to decreases in the market price, it is necessary to delay the harvesting time and shipping time of imported rice. On the other hand, if there is the possibility that prices will rise due to decreases in rice production, it is necessary to advance the shipment time and harvesting time of imported rice.
- 3) When rice production is expected to be greater than normal, there is a need to prepare for the decline in the market price by isolating the amount required for the market. Currently, there are a few means that can be utilized for government: rice market quarantine, public stockpiling, the adjustment of the distribution amounts using the RPC (Rice Processing Complex), or foreign aid.

It is concluded that by providing additional information on climatic conditions of the ripening stage of rice crops for decision-makers, the proposed rice yield estimation model can be useful to improve the effectiveness of the policies for managing and demand, and price stabilization for the Korean government.

목차

원격탐사자료기반 한반도의 벼 생산성예측

발간사	i
ABSTRACT	iii
1. 서론	1
2. 연구 자료 및 방법	7
2.1 자료수집	8
2.1.1 관측기상자료	13
2.1.2 APCC MME Hindcast 자료	31
2.1.3 벼 수량 자료	33
2.1.4 MODIS 식생지수 자료	35
2.2 쌀단수에측모형개발	48
2.2.1 생산량 전망의 의미	48
2.2.2 쌀단수에측모형	53
3. 연구결과 및 토의	55
3.1 쌀단수에측모형개발	55
3.1.1 전국 쌀 단수 예측모형	56
3.1.2 농업기후지대별 쌀단수에측모형	61
3.2 쌀단수에측모형적용	64
3.2.1 APCC MME Hindcast 자료	64
3.2.2 APCC MME 활용 쌀단수추정	72
4. 정책 함의 및 활용 방안	74
4.1 모형 활용 방안	74
4.2 정책적 함의	78
4.2.1 쌀소득보전직불제 소요 예산에 반영	80
4.2.2 공공비축제 활용	84
4.2.3 쌀 수입 및 방출 시기 조절	89
4.2.4. 수입 관세 활용	92

4.2.5 RPC를 통한 유통 물량 조절	98
4.2.6 해외원조 물량 확대	99
5. 요약 및 결론	102
5.1 쌀단수에 측모형의 개발	102
5.2 모형 활용 방안	103
5.3 정책적 함의	104
REFERENCES	107

표 목 차

Table 1. Sampling methods for rice yields.	2
Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.	10
Table 3. Provinces belonging to each agro-climatic zone.	12
Table 4. Weather station locations and numbers in each agro-climatic zones.	15
Table 5. Monthly mean cumulative precipitation and sunshine and average, maximum, and minimum temperature in Korea.	18
Table 6. Monthly mean cumulative precipitation and sunshine and average, maximum, and minimum temperature in each agro-climatic zone.	29
Table 6. (Continued).	30
Table 7. Descriptions of the six dynamical seasonal prediction models used in this study.	31
Table 8. Rice yield in whole country and each agro-climatic zones.	34
Table 9. MODIS technical specifications.	36
Table 10. Correlation coefficients between vegetation indices and rice yield in Korea.	40
Table 11. Change in rice cultivation area in Korea.	44
Table 12. MODIS NDVI and LAI in each agro-climatic zone from 2002 to 2010.	45
Table 12. (Continued).	46
Table 12. (Continued).	47
Table 13. Regression models of rice yield using VIs and meteorological datasets.	63
Table 14. MAPE and Adjusted R-squared values for the regression models against observed rice yields in agro-climatic zones.	64
Table 15. Selected predictors for each month and temporal correlation coefficients.	70
Table 16. Estimated monthly mean cumulative precipitation and maximum temperature in Korea (from 1983 to 2010).	72
Table 17. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) values for the regression models against observed rice yields at a national level.	72

Table 18. Counter-cyclical payments.	81
Table 19. Total counter-cyclical payments with locality prices.	84
Table 20. Table rice stock of government.	88
Table 21. Changes in rice self-sufficiency rate (%).	89
Table 22. Minimum Market Access (MMA) (Milled rice, unit: 1000ton)	90
Table 23. North Korea food aid (108 KRW).	101

그림 목차

Figure 1. Concept of rice policy amendments (source: KREI, 2010)	1
Figure 2. Differences between the estimated and observed rice yields (Source: KREI, 2011)	3
Figure 3 . Rice market quarantine and public sale amounts in 2009 and 2010 (source: KREI, 2011)	6
Figure 4. Schematic of satellite-based crop yield prediction.	8
Figure 5. Reclassification of the Agro-Climatic Zones in South Korea: (a) Choi and Yoon, 1989 and (b) Na et al., 2012. ACZ: agro-climatic zone.	11
Figure 6. Location map of the Automated Surface Observing System(ASOS) used for this study: (a) provincial borders and (b) agro-climatic zones.	16
Figure 7. Monthly mean cumulative precipitation: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.	19
Figure 8. Monthly mean cumulative sunshine hour: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.	20
Figure 9. Monthly average mean temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.	21
Figure 10. Monthly mean maximum temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.	22
Figure 11. Monthly mean minimum temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.	23
Figure 12. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon-1, (b) cumulative sunshine in hr mon-1, and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in °C for Aug, Sept, and Oct.	24
Figure 13. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon-1, (b) cumulative sunshine in hr mon-1, and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in °C for Aug.	25

Figure 14. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon-1, (b) cumulative sunshine in hr mon-1, and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in °C for Sept. .	26
Figure 15. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon-1, (b) cumulative sunshine in hr mon-1, and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in °C for Oct. . .	27
Figure 16. Schematic of the extraction of the coupled mode between large scale predictor and station scale predictand. (adopted from KMA, 2012).	33
Figure 17. Paddy fields: (a) vector map, (b) 30m resolution raster map, (c)250m resolution raster map, (d) 1km resolution raster map.	42
Figure 18. NDVI and LAI extraction using ModelBuilder of ArcGIS® software by ESRI (ESRI, 2008).	43
Figure 19. NDVI and LAI calculation at each agro-climatic zone using ModelBuilder of ArcGIS® software by ESRI.	44
Figure 20. Schematic of a plan using APCC MME seasonal forecasts.	55
Figure 21. Comparison between observed and simulated rice yields: (a) Simulated rice yields vs. Observed rice yields and (b) Rice yield variations over the study period. Obs. yield for observed rice yield, Sim. (VI) for simulated rice yields with only NDVI, and Sim. (VI, ASOS) for simulated rice yields with NDVI and observed meteorological datasets.	60
Figure 22. Time serie of (a) monthly precipitation and (b) daily mean maximum temperature in Sept.	61
Figure 23. The first coupled pattern between (a)u200 and (b)precipitation in Sept. (c) Correlation coefficient (0.91) between the respective amplitude time series of these patterns.	66
Figure 24. The first coupled pattern between (a)T850 and (b)Monthly mean maximum temperature in Sept. (c) Correlation coefficient(0.87) between the respective amplitude time series of these patterns.	67
Figure 25. Temporal correlation coefficients for (a) precipitation, (b) Tmax between observation and seasonal prediction obtained from the statistical downscaling method.	69

Figure 26. Scatter diagram between observed and statistically downscaled monthly mean precipitation in Sept.	70
Figure 27. Scatter diagram between observed and statistically downscaled monthly mean maximum temperature in Sept.	71
Figure 28. Residuals in the years (a) 2007, (b) 2008 and (c) 2009.	73
Figure 29. Rice yield measurement by a sampling method (adopted from KREI, 2011).	75
Figure 30. Rice paddy fields in Dongbei, China (a) and Clifornia, USA (b) (adoted from Shi et al, 2013 and from USDA)	77
Figure 31. Paddy fields in North Korea (adopted from Hong et al., 2012)	78
Figure 32. Relationship between Tariff and Quota.	93

1. 서론

정부는 2004년 쌀협상 및 DDA협상(Doha Development Agenda)으로 개방폭 확대와 WTO보조금 감축의 여건에 대응하기 위해 양정제도를 개편하였다(박동규 외, 2010; 박동규 외 2007). 양정제도 개편의 내용을 살펴보면, 쌀값은 수급에 의한 민간의 시장에 맡기고, 농업인의 소득안정 도모를 위해 쌀값 하락에 따른 소득감소분을 보전해주는 것을 주 내용으로 한다. 즉, 쌀소득보전직불제로 쌀농가의 소득안정을 도모하고 공공비축제를 도입하여 순수 식량안보 기능을 수행하도록 하는 것이다 (Figure 1).

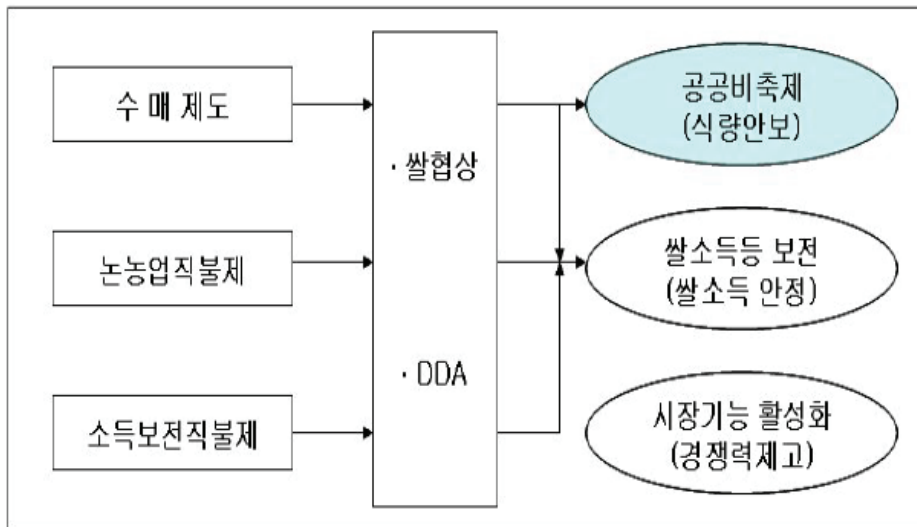


Figure 1. Concept of rice policy amendments (source: Park et al., 2010)

쌀생산량조사는 1965년에 단위면적당(10a당) 수량을 표본조사로 실시한 바 있고 2008년 3월에는 당시 농림수산식품부에서 통계청으로 이관되어 수행하고 있다. 이렇게 조사한 쌀생산량은 쌀수급 및 쌀가격안정, 농업소득 등과 관련한 농업정책에 수행에 필요한 자료를 수요자에게 제공하고 있다(통계청, 2010). 표본조사는 9월 15일 기준으로 실시하는 9.15 예상량조사와 수확기에 실시해서 11월 15일에 보고하는 실수확량조사로 나눌 수 있다(Table 1). 9.15 예상량조사는 전국 3,359개의 필지에서 1m²당 포기수,

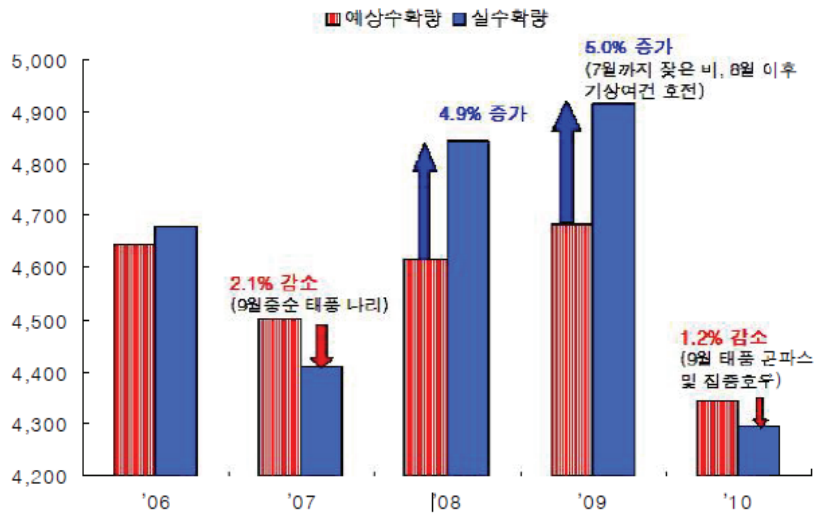
포기당 유효이삭수와 이삭당 완전난알수, 피해상황 등을 9월15일에서 9월21일사이에 조사하여 통상 9월21일에 발표한다. 실수확량조사는 조사표본은 같으나, 6m²당 조제벼 중량, 건조벼 중량, 수분함량, 현미중량, 피해상황 등을 조사하여 예상량조사와는 조사내용이 다소 다른 점이 있다.

Table 1. Sampling methods for rice yields.

구분	9.15 예상량조사	실수확량조사
조사시기	- 9.15. 기준(9.15.~9.21.) 보고기일: 9.21.	- 수확기(9월 중순~11월 초) - 보고기일: 11.15.
조사대상	- 논벼가 재배된 면적표본 단위구내에서 선정된 표본지점(3m ²)	- 좌동
조사표본수	- 3,359개 필지(논벼: 3,000, 밭벼:325, 간척지:34)	- 좌동
조사내용	- 1m ² 당 포기수, 포기당 유효이삭수와 이삭당 완전난알수*, 피해상황 등 - *) 2008년까지는 포기당 이삭수와 유효이삭비율, 이삭당 난알수와 완전난알수 비율을 기입	- 6m ² 당 조제벼 중량, 건조벼중량, 수분함량, 현미중량, 피해상황 등 - *) 2008년까지는 유효이삭수, 완전난알수와 불완전난알수를 수확기에 실측하였으나 2009년부터 폐지
10a당 수량	- 1m ² 당 포기수 × 포기당 유효이삭수 × 이삭당 완전난알수 × 천립중(예측) ÷ 1,000	- 2개 표본 포구(6m ²) 내의 벼를 직접 베어 탈곡, 건조시키고 현미로 만든 후 선별하여 주량을 실측 조사 - 현미 중량에 현백률 92.9% 적용
생산량추정	- 쌀 예상생산량 = 재배면적 × 쌀 10a당 예상수량	- 쌀 예상생산량 = 재배면적 × 쌀 10a당 수량

source: Statistics Korea, 2009

출수기 이후 쌀 수량을 결정하는 중요한 요인으로 등숙기의 기온 및 일조시간 등 기상여건을 들 수 있다(Cock and Yoshida, 1972; 이승호 등, 2008). 작물성장모형에 중요하게 사용되는 기상변수로 기온, 강수량, 일조시간 등이 있으며(조경숙 & 윤진일, 1999), 이러한 기상요소는 작물의 생육에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(윤진일, 1999). 하지만, 통계청의 표본조사를 통한 9.15 예상량조사방법은 9월 15일에서 9월21일사이의 표본조사를 통해서 예상량을 발표하기 때문에, 등숙기의 기상여건이 전혀 반영 되지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점때문에 9.15 예상량이 실수확량과 크게 차이가 나는 경우가 발생하는데, Figure 2과 같이, 2007년과 2010년에는 등숙기의 태풍 등의 영향으로 기상여건이 악화되어 실수확량이 예상량보다 약 1~2% 정도 낮게 조사된 반면, 2009년에는 8월 이후 기상여건이 호전이 되어 실수확량이 예상수확량보다 약 5%정도 높게 조사된 바 있고, 2008년에도 약 4.9% 정도 실수확량이 높게 조사되었다(박동규 외, 2011a).



자료: 통계청

Figure 2. Differences between the estimated and observed rice yields (Source: Park et al, 2011a)

최근 위성영상을 활용한 식생지수(Vegetation Indices)들을 이용하여 작물의 생산성을 추정하는 방법들이 사용되고 있다. 예를 들어, Panda 등(2010)은 Normalized Difference Vegetation Index(NDVI, 정규화식생지수)를 이용하여 옥수수의 단수를 예측하였고, Bolton and Friedl(2013)은 NDVI와 Enhanced Vegetation Index(EVI)를 사용하여 옥수수와 콩의 단수를 예측하였다. Daughtry et al.(1980)은 보밀 재배지에서 분광반사 특성과 엽면적지수나 건물생산량과의 상관관계가 매우 높게 나타난다고 보고한 바 있으며, Yang(1985)은 Landsat TM의 영상자료를 활용하여 산정한 다양한 식생지수와 건물생산량의 상관성을 조사한 바 있다. Yamamoto et al.(1990)은 분광반사특성을 조사하여 엽면적지수와 벼 건물생산량과의 상관성을 조사하였고, Kimura et al.(2004)은 NDVI와 Soil-Adjusted Vegetation Index(SAVI)는 상관관계가 매우 높다고 보고한 바 있다. Allen(1990)은 위성영상자료를 활용하여 미국 아이오와주의 작물재배면적을 추정하였으며, NDVI를 활용하여 작물의 작황을 추정한 바 있다. 또한 Doraiswamy et al.(2007)은 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) NDVI와 LST(Land Surface Temperature)를 활용하여 작물의 작황을 예측모형을 개발하였으며, Prasad et al.(2007)은 NDVI와 함께, 토양수분과 지표온도 등을 작황예측에 활용하는 방안을 개발한 바 있다.

우리나라에서는 하립 등(2008)은 MODIS LAI를 국내의 경안천유역에 적용하여 실측자료와 비교 분석하여 활용성을 평가한 바 있으며, 박종화 등(2003)은 밭작물에서 엽면적지수와 작물의 성장량이 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. 이정택 등(1997)은 벼재배지 반사특성을 활용하여 추정한 엽면적지수로부터 건물생산량(Dried biomass)을 추정하였으며, 이러한 엽면적지수와 건물생산량이나 벼 작물의 성장량 관련 변수에 대한 연구는 홍석영 등(1998)이 Landsat TM의 평균반사율을 계산하여 수행한 바 있다. 또한, 김이현 등(2007)은 Green Normalized Difference Vegetation Index(GNDVI)와 엽 질소함량과의 관계를 분석하여 벼생육시기에 따른 GNDVI와 엽 질소함량이 추정식을 개발한 바 있으며, 홍석영 등(2008)은 MODIS NDVI를 이용하여 북한지역의 벼생산량을 추정하는 연구를 수행하였다. 홍석영 등(2012)이 NDVI와 등숙기 누적강수량과 일사량 등을 이용하여 벼 수량을 추정한 바 있으며, 박동규 외(2011b)에서는 NDVI와 등숙기 평균기온, 누적강수, 누적일조시간을 사용하였고, 통계청(2011)에서는 8월의

와 등숙기 평균일교차, 평균온도, 누적일조시간, 누적강수량을 사용하여 벼 수량을 추정할 바 있다.

하지만 이러한 식생지수와 관측기반의 기상자료를 활용하는 기존의 방법은 등숙기의 기상여건을 모형에 활용해 벼 예상수량추정의 정확성을 높일 수 있는 장점이 있으나, 등숙기의 기상여건을 관측자료에 의존하여 반영하므로, 등숙기 기상자료를 확보하는 시기를 고려하면(예를 들어, 9월 누적강우량을 반영한다고 할 때, 빨라야 10월 초에 기상자료 확보 및 분석이 가능함) 사실상 9.15 예상량조사 발표시점보다도 늦은 시점에 예상량을 추정하므로, 조기에 쌀 수급 및 가격안정 등 농업정책 정책 수립에 도움을 줄 수 있는 추정방법 개발이라는 본 연구의 목표에 적절하지 못하다. 실제로, 박동규 외(2011a)에 따르면, 정부가 2009년산 쌀 34만톤을 시장에서 격리하였으나, 시장개입효과를 보지 못하고, 추가격리를 실시하였고, 2010년산의 경우에는 정부가 보유한 쌀을 방출하였으나 가격이 안정되지 않았다(Figure 3). 이러한 예는 쌀 수급 및 가격안정을 위해서, 정부가 시장에 개입할 시점과 양을 판단하는데, 조기에 정확한 쌀생산량 예측이 중요하게 사용될 수 있음을 보여주는 예라 할 수 있겠다. 한편, 박동규 외(2011a)는 수확기(10월에서 12월) 쌀값에 영향을 미치는 변수로 전년 단경기(7~9월) 가격, 수확기 시장공급물량, 소비량, 이월재고량을 제시한 바 있다.

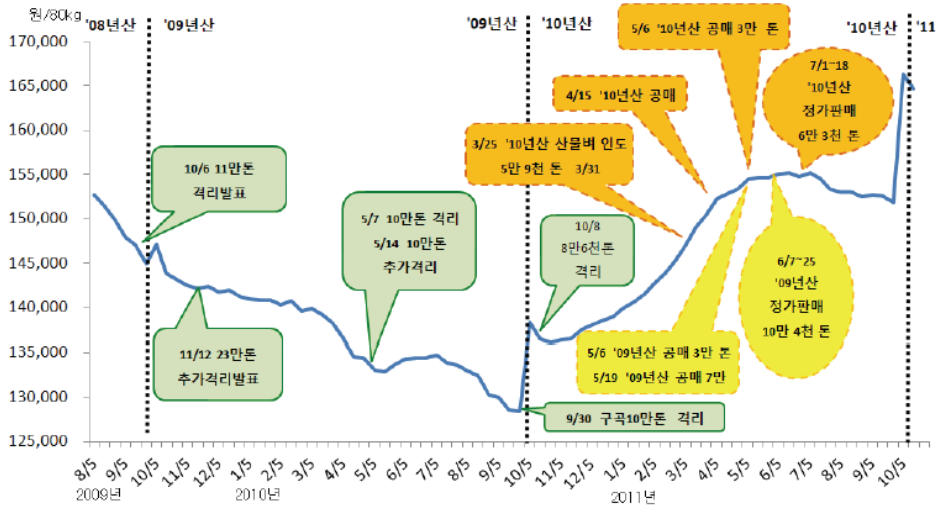


Figure 3. Rice market quarantine and public sale amounts in 2009 and 2010 (source: Park et al., 2011b)

따라서, 본 연구에서는 9.15 예상량조사 발표시점보다 조기에 쌀단수(10a당 생산량, kg/10a)를 예측하기 위하여, 등숙기의 기상여건을 APCC(APEC Climate Center) MME (Multi-Model Ensemble) 계절예측자료를 활용하고, 위성영상기반 식생지수를 이용하여 우리나라 쌀 생산량을 예측하는 모형을 다음과 같이 나누어 개발하였으며, 개발한 모형의 활용성과 그 정책시사점을 논하였다.

- 전국단위 쌀단수예측모형
 - 독립변수로 식생지수만을 이용하는 경우
 - 독립변수로 식생지수와 기상자료를 이용하는 경우
- 농업기후지대별 쌀단수예측모형
 - 독립변수로 식생지수만을 이용하는 경우
 - 독립변수로 식생지수와 기상자료를 이용하는 경우

2. 연구 자료 및 방법

본 연구 수행방법을 모식화하여 Figure 4에 제시하였다. Figure 4에 제시한 바와 같이, 먼저 MODIS 식생지수들을 수집하고, 토지이용도를 기반으로 구축한 논마스크맵을 활용하여 논지역에서의 식생지수값을 구하였다. 또한, 관측기반 기상자료를 수집하여 본 연구목적에 맞게 분석하였다. 이렇게 구축한 자료들은 쌀단수를 예측하는 회귀모형의 독립변수로 활용하였으며, 쌀단수예측모형은 크게 전국단위 쌀단수예측모형과 농업기후시대 별 쌀단수예측모형으로 나누어 개발하였다. 개발한 모형으로 전국단위 및 농업기후시대 별 쌀단수를 추정하였으며 관측 쌀단수자료를 활용하여 쌀단수예측모형을 평가하였다. APCC MME 계절예측자료 기반 기상자료를 본 연구에서 개발한 쌀단수예측모형의 입력변수로 사용하여, APCC MME 계절예측자료의 농업분야 활용성을 평가하였다. 또한, 관측이나 예측 기상자료를 사용하지 않고 식생지수만을 사용하여 추정한 쌀단수와 비교하여 과연 기상여건을 고려하는 쌀단수예측모형의 예측성이 개선되는지 여부도 조사하였다.

여기서 기상자료 중 관측자료는 30년이상 장기관측자료를 보유하고있는 61개 종관 기상관측장비(Automated Surface Observing System, ASOS)에서 수집한 자료를 활용하였으며, APCC MME hindcasts자료 수집기간을 고려하여 1983년부터 2010년까지의 일별자료를 월별자료로 변환하였다. 전국단위의 쌀단수예측모형에 사용한 관측기상자료는 61개 종관기상관측지점에서 수집한 자료를 모두 사용하였으나, 농업기후시대별 쌀단수예측모형에는 제주도와 울릉도를 제외한 57개 측정자료를 분석하여 사용하였다. 쌀단수를 9.15 예상량조사 발표시점보다 조기에 추정하기 위한 예측기상정보는 APCC MME 계절예측자료를 활용하였으며, 이 자료는 공간적규모가 상당히 거친 해상도(coarse spatial resolution)이기 때문에 규모축소(downscaling)가 필요하다. 본 연구에서는 김맹기(2005)가 개발한 통계적규모축방법을 적용하여 APCC MME 계절예측정보를 통계적으로 규모축소하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 각 자료의 수집 및 분석방법은 다음 장에 상세히 제시하였다.

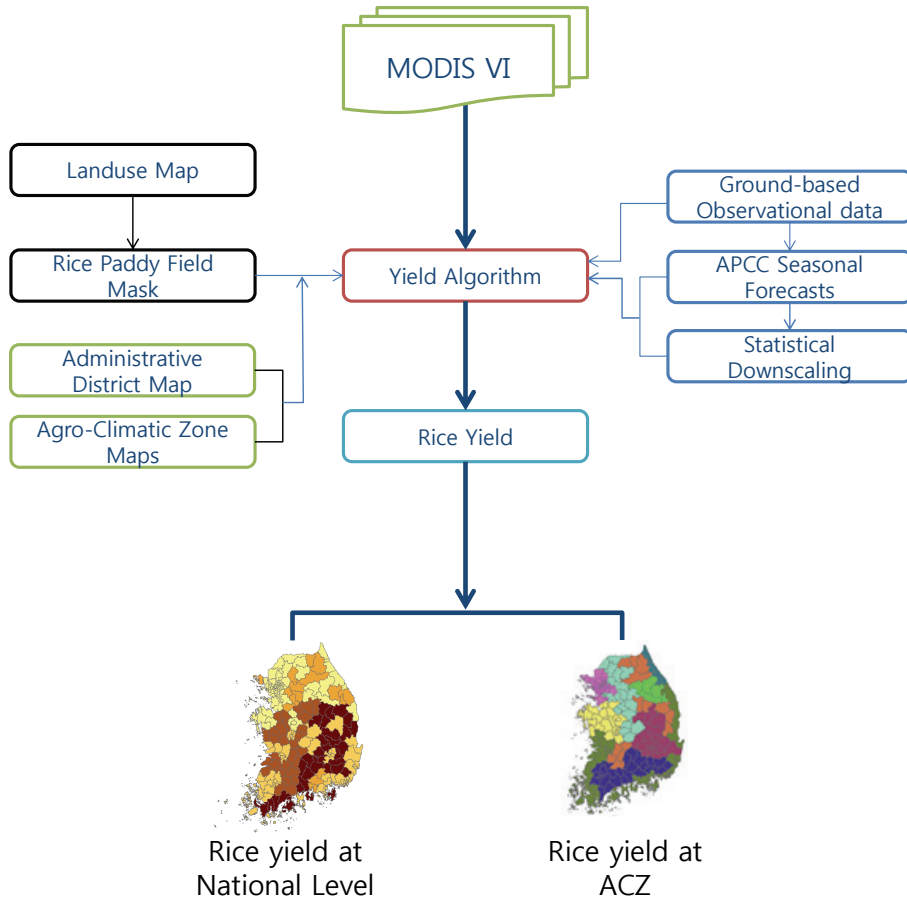


Figure 4. Schematic of satellite-based crop yield prediction.

2.1 자료수집

본 연구수행을 위해 수집한 기상, 식생지수, 벼수량 자료는 전국단위와 농업기후지대 별로 재분류하여 사용하였다. 본 연구에서 사용한 농업기후지대는 벼수량자료가 군단위로 발표되는 점을 고려하여, 나상일 등(2012)이 재분류한 9개 농업기후지대이다. 이는 한반도를 19개 농업기후지대(최돈향 & 윤성호, 1989)를 9개 농업기후지대로 재분류한 것이다. 두 농업기후지대의 분류 현황은 Table 2와 Figure 5와 같다. 나상일 등(2012)

은 농업기후지대를 재분류할 때, 기후특성뿐 만아니라, 군 행정구역정보를 포함하여 재분류하였기 때문에(Figure 5b) 군단위 벼수량 자료를 농업기후지대로 용이하게 재분류할 수 있는 장점이 있다. Table 3에 농업기후지대에 속해있는 시군단위의 행정구역(서울특별시 및 광역시는 논지역이 차지하는 면적이 작기 때문에 광역단위로 나타냄)들을 요약하여 제시하였다.

최돈향 & 윤성호(1989)가 분류한 19개 농업기후지대는 행정구역보다는 기후특성에 따라서 분류하여, 농업기후지대별로 기후특성이 뚜렷하여 모형적용에는 적합하나 19개 지역으로 너무 세분화되어 있어 각 지대별 영농활동 및 관측자료를 확보하기가 어려운 단점이 있다(나상일 등, 2012). 더군다나 농업기후지대에 따라서는 동일한 군행정구역 일지라도, 다른 농업기후지대로 분류가 되는 경우가 발생하므로 이러한 경우는 농업기후지대별 벼수량을 각 군의 논 면적비를 고려하여 농업기후지대별로 재배분하여 추정하여 주는 단점이 있다. 반면, 나상일 등(2012)이 재분류한 농업기후지대를 이용하면, 각 9개 농업기후지대가 군행정구역들을 포함하는 구조로 되어 있어, 각 농업기후지대에 속해있는 군들의 벼수량자료를 산술평균해주면 농업기후지대별 쌀단수자료를 손쉽게 구축할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 장점을 고려하여, 나상일 등(2012)이 재분류한 9개 농업기후지대를 사용하여 농업기후지대별 쌀단수예측모형을 구축 하였다.

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Apline(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

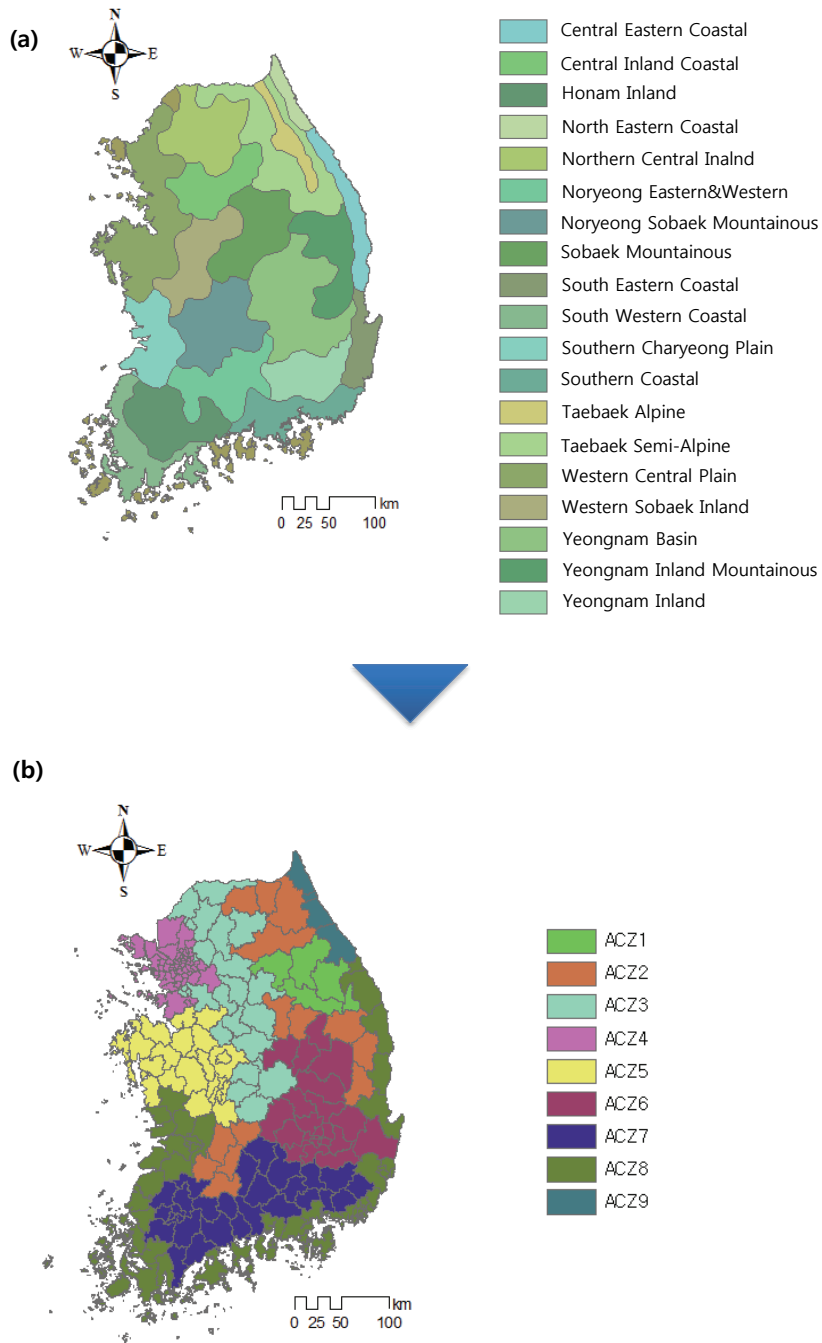


Figure 5. Reclassification of the Agro-Climatic Zones in South Korea: (a) Choi and Yoon, 1989 and (b) Na et al., 2012. ACZ: agro-climatic zone.

Table 3. Provinces belonging to each agro-climatic zone.

ACZ [†]	Province	ACZ	Province	ACZ	Province	ACZ	Province
1	횡성군	4	서울특별시	6	대구광역시	8	부산광역시
	영월군		인천광역시		대전광역시		울산광역시
	평창군		강화군		경주시		울주군
	정선군		성남시		김천시		동해시
2	홍천군		의정부시		안동시		삼척시
	화천군		부천시		구미시		부여군
	양구군		광명시		영주시		서천군
	인제군		안산시		영천시		전주시
	제천시		고양시		문경시		군산시
	단양군		과천시		경산시		익산시
	남원시		오산시		군위군		정읍시
	진안군		군포시		의성군		김제시
	무주군		의왕시		청도군		완주군
	장수군		하남시		고령군		고창군
	임실군		파주시		성주군		부안군
	청송군		김포시		칠곡군		목포시
	영양군	광주시	예천군	여주시			
	봉화군	양주군	광주광역시	고흥군			
	수원시	시흥시	광산군	강진군			
3	동두천시	화성시	순창군	해남군			
	남양주시	안성시	순천시	영암군			
	용인시	평택시	나주시	무안군			
	이천시	청주시	광양시	함평군			
	포천시	청원군	담양군	영광군			
	연천군	천안시	곡성군	완도군			
	가평군	공주시	구례군	진도군			
	양평군	보령시	보성군	신안군			
	여주시	아산시	화순군	포항시			
	춘천시	서산시	장흥군	영덕군			
	원주시	논산시	장성군	울진군			
	철원군	계룡시	창원시	마산시			
	충주시	금산군	진주시	진해시			
	보은군	연기군	김해시	통영시			
	옥천군	청양군	밀양시	사천시			
	영동군	홍성군	양산시	거제시			
	진천군	예산군	의령군	고성군			
	괴산군	태안군	함안군	남해군			
	음성군	당진시	창녕군	강릉시			
	증평군		하동군	속초시			
상주시		산청군	고성군				
		함양군	양양군				
		거창군					
		합천군					

† Agro-Climatic Zone

2.1.1 관측기상자료

2.1.1.1 종관기상관측장비(ASOS)

전국에 설치되어 있는 종관기상관측지점(ASOS) 중 30년이상 장기관측자료를 보유하고 있는 61개 ASOS 관측지점을 선정하여 본 연구에 활용하였다. 그러나, 각 농업기후지대별 기상관측자료를 분석하기 위해서는 논재배지역이 비교적 작은 제주도 및 울릉도를 제외한 57개지점을 사용하였으며, 각 농업기후지대별로 분류하기위해 먼저 ArcGIS 소프트웨어의 분석툴(Analysis Tools)의 “Spatial join” 기법을 활용하였다. “Spatial join” 기법은 포인트 속성(point attribute)의 shapefiles과 폴리곤(polygon) 속성 shapefiles를 중첩하여 결합하여주는 ArcGIS 소프트웨어의 기능이다. 본 연구에서는 “Spatial join” 기법의 옵션 중 각 폴리곤 내에 있는 포인트를 자동으로 폴리곤 shapefiles에 결합하는 옵션 방법을 선택하여 각 농업기후지대별 종관기상관측지점을 분류하였다.

각 농업기후지대별 속해있는 종관기상관측지점(ASOS)을 정리하여 Table 4에 요약하여 제시하였으며, 종관기상관측지점을 지도상에 행정구역별(Figure 6a)과 농업기후지대별(Figure 6b)로 나누어 표시하여 Figure 6에 제시하였다. 농업기후지대별로 ACZ1 (Alpine, 산간 고냉 지대)에 1개의 종관기상관측장비(종관기상관측지점번호 100)가 설치되어있고, ACZ9(Eastern Coastal Region, 동해안지대)에는 종관기상관측지점번호 90과 105의 두 개의 관측지점이 포함되어 있는 것으로 나타났다. 따라서, ACZ1과 ACZ9의 경우 관측지점수가 너무 적어 해당 농업기후지대를 대표하는데 주의가 필요할 것으로 보인다. 가장 많은 종관기상관측장비를 포함하는 농업기후지대는 ACZ8(Southern Coastal Region, 남부 해안 지대)으로 총 18개의 종관기상관측장비를 포함하고 있는 것으로 조사되었다.

ACZ1은 강원도 횡성군, 영월군, 평창군, 정선군의 4개 군이 속해 있는 농업기후지대로(Table 3), 1개의 종관기상관측지점만(지점번호 100)을 포함하고 있고, 관측지점번호 100은 특히 산간지역(해발고도 772.57m)에 설치되어 있어 논지역의 기상조건을 대표한다고 볼 수는 어려울 것으로 보인다. 그러나 ACZ1에 속해있는 4개군의 논 면적은 횡성군 약 29.8km²를 제외하고, 2013년(통계청) 기준으로 영월군 4.8km², 평창군 4.4km²,

정선군 1.8km²로 비교적 작은 면적이다. 이를 전국 논면적의 면적비로 환산하면, 횡성군 0.36%, 영월군 0.06%, 평창군 4.4%, 정선군 0.02%로 매우 작은 비율이고, 전국단위의 쌀단수예측에는 총 61개의 중관기상관측지점의 관측자료가 모두 사용되므로 전국단위 쌀단수예측에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 농업기후지대별 쌀단수예측모형을 개발할 때는 중관기상관측지점 100의 관측기상자료의 대표성에 주의가 필요할 것으로 보인다.

Table 4. Weather station locations and numbers in each agro-climatic zones.

ACZ †	Station		LAT § (°)	LONG ¶ (°)	ELEV # (m)	ACZ	Station		LAT (°)	LONG (°)	ELEV (m)
	No. †	Name					No.	Name			
1	100	대관령	37.68	128.72	772.57	7	156	광주	35.17	126.89	72.38
	211	인제	38.06	128.17	200.16		192	진주	35.16	128.04	30.21
2	212	홍천	37.68	127.88	140.92		256	주암	35.08	127.24	74.63
	221	제천	37.16	128.19	263.61		260	장흥	34.69	126.92	45.02
	244	임실	35.61	127.29	247.87		284	거창	35.67	127.91	225.95
	247	남원	35.40	127.40	127.48		285	함천	35.57	128.17	33.10
	101	춘천	37.90	127.74	77.71		288	밀양	35.49	128.74	11.21
3	114	원주	37.34	127.95	148.64		289	산청	35.41	127.88	138.07
	119	수원	37.27	126.99	34.06		130	울진	36.99	129.41	50.00
	127	충주	36.97	127.95	115.12		138	포항	36.03	129.38	2.28
	135	추풍령	36.22	127.99	244.73	140	군산	36.01	126.76	23.20	
	202	양평	37.49	127.49	47.98	146	전주	35.82	127.15	53.40	
	203	이천	37.26	127.48	78.01	152	울산	35.56	129.32	34.57	
	226	보은	36.49	127.73	174.99	159	부산	35.10	129.03	69.56	
	4	108	서울	37.57	126.97	85.80	162	통영	34.85	128.44	32.67
112		인천	37.48	126.62	68.15	165	목포	34.82	126.38	38.00	
201		강화	37.71	126.45	47.01	168	여수	34.74	127.74	64.64	
5	129	서산	36.78	126.49	28.91	8	170	완도	34.40	126.70	35.24
	131	청주	36.64	127.44	57.16		236	부여	36.27	126.92	11.33
	133	대전	36.37	127.37	68.94		243	부안	35.73	126.72	11.96
	232	천안	36.78	127.12	21.30		245	정읍	35.56	126.87	44.58
	235	보령	36.33	126.56	15.49		261	해남	34.55	126.57	13.01
	238	금산	36.11	127.48	170.35		262	고흥	34.62	127.28	53.12
	6	143	대구	35.89	128.62		64.08	277	영덕	36.53	129.41
272		영주	36.87	128.52	210.79	294	거제	34.89	128.60	46.27	
273		문경	36.63	128.15	170.61	295	남해	34.82	127.93	44.95	
6	278	의성	36.36	128.69	81.81	9	90	속초	38.25	128.56	18.06
	279	구미	36.13	128.32	48.88		105	강릉	37.75	128.89	26.04
	281	영천	35.98	128.95	93.60						

† Agro-climatic zone

‡ Station number

§ Latitude

¶ Longitude

Elevation

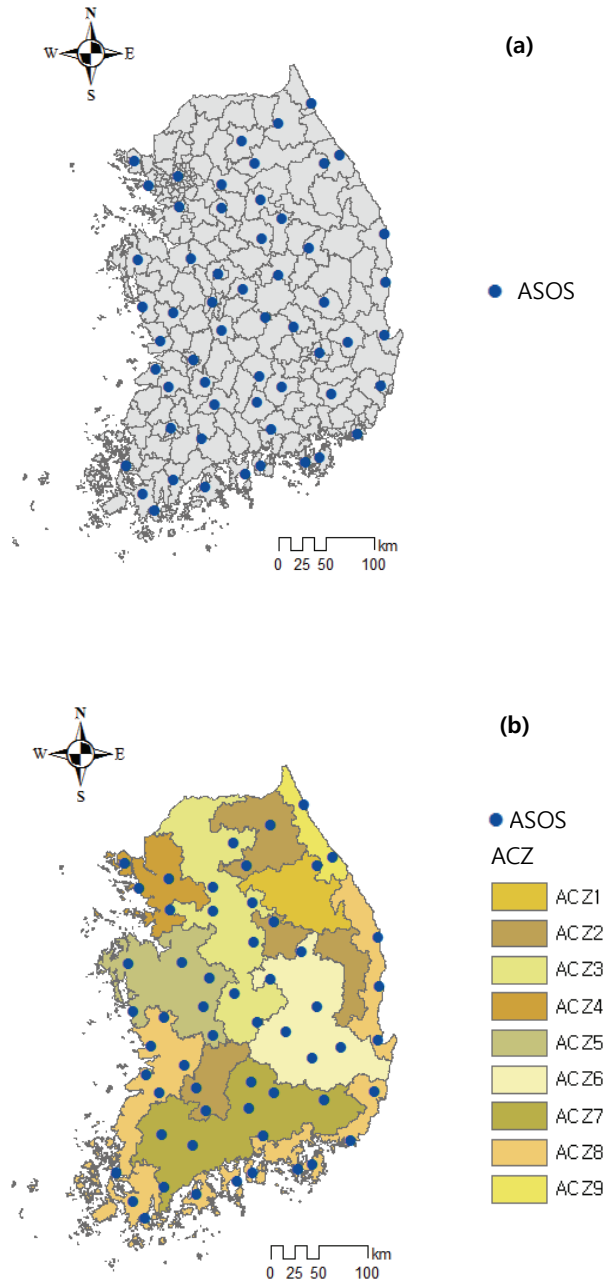


Figure 6. Location map of the Automated Surface Observing System(ASOS) used for this study: (a) provincial borders and (b) agro-climatic zones.

여기서, ρ_{NIR} =spectral reflectance measurements acquired in near-infrared region

ρ_{red} =spectral reflectance measurements acquired in red region

SR=simple ratio(NIR/red)

MODIS NDVI는 NIR 밴드와 red 밴드의 비를 정규화한 값으로 MODIS 식생지수 자료들 중 표준화 된 자료 중의 하나이다(Justice et al., 1998; Huete et al., 2002). MODIS NDVI 자료는 구름 등의 영향을 제거하는 등의 보정작업을 통해 일별영상을 16 일씩 중첩하여 처리한 영상으로 제공된다. MODIS NDVI는 Hierarchical Data Format-Earth Observing System(HDF-EOS) format으로 제공이 되며, 유효한 영상값은 -2000에서 10000사이의 값으로 제공되어 0.0001의 스케일 팩터(scale factor)를 곱해주어야 NDVI값을 구할 수 있다.

Table 9. MODIS technical specifications.

Properties	Characteristics
Orbit	705 km, 10:30 am descending node(Terra) 1:30 pm ascending node(Aqua) Sun-synchronous, near-polar, circular
Scan rate	20.3 rpm, cross track
Scan angle	+/- 55 degrees
Swath dimension	2330 km(cross track) by 10 km(along track at nadir)
Telescope	17.78 cm diam. off-axis
Size	1.0×1.6×1.0m
Weight	228.7kg
Power	162.5W(single orbit average)
Data rate	10.6 Mbps(peak daytime) 6.1Mbps(orbital average)
Orbit period	99 minutes
Quantization	12 bits
Design life	6 years
Spatial resolution	250 m(bands 1-2) 500 m(bands 3-7) 1000 m(bands 8-36)

Source: modis.gsfc.nasa.gov

MODIS LAI는 주 알고리즘과 주 알고리즘을 적용하기 어려울 경우 보조 알고리즘을 적용하여 계산한다. 주 알고리즘은 다음 식 (4)과(5)와 같이 식생 임관의 3차원 복사전달 모형의 역변환 식으로 LAI를 구하게 된다(Myneni et al., 1992).

$$\rho_c = f\{\rho_v, \rho_b, LAI, CC, L(\theta, \phi)\} \quad (4)$$

$$LAI = f'(\rho_c) \quad (5)$$

여기서, ρ_c =임관층 반사율

ρ_v =잎 반사율

ρ_b =지상부 반사율(토양 및 하층 식생)

CC=임관율폐도(Closure-percent of Canopy)

$L(\theta, \phi)$ =태양과 센서의 방위각이나 천정각 등의 기하학 정보

LAI=엽면적지수

위의 식을 적용하지 못할 경우 사용되는 보조알고리즘은 수종별 NDVI로부터 LAI를 구하는 경험적인 방법을 사용하게 된다. MODIS LAI도 역시 HDF-EOS 포맷으로 제공이 되며, 유효한 영상값의 범위는 0에서 100사이의 값으로 0.1을 곱해주어야 엽면적지수의 값으로 변환 할 수 있다.

미지질조사국 LP DAAC에서 내려 받은 MODIS 식생지수 영상은 3개의 granule (h27v04, h27v05, h28v05)로 이루어져 있어 ArcGIS 소프트웨어의 모자이크(Mosaic) 툴을 이용하여 영상접합하였다. 이때 모자이크 툴의 한 옵션을 이용하여 Korea Transverse Mercator(TM)으로 좌표변환을 하였다. 이렇게 생성된 NDVI영상값을 가지고 있는 래스터자료는 논 이외의 토지이용지역에서도 NDVI 정보를 가지고 있으므로, 본 연구 목적인 쌀단수예측모형을 개발하기 위해서는 논지역에서만 NDVI값을 추출할 필요가 있다. 이를 위해서 논마스킹맵(paddy field mask map)을 해상도 30m급의 토지피복도자료

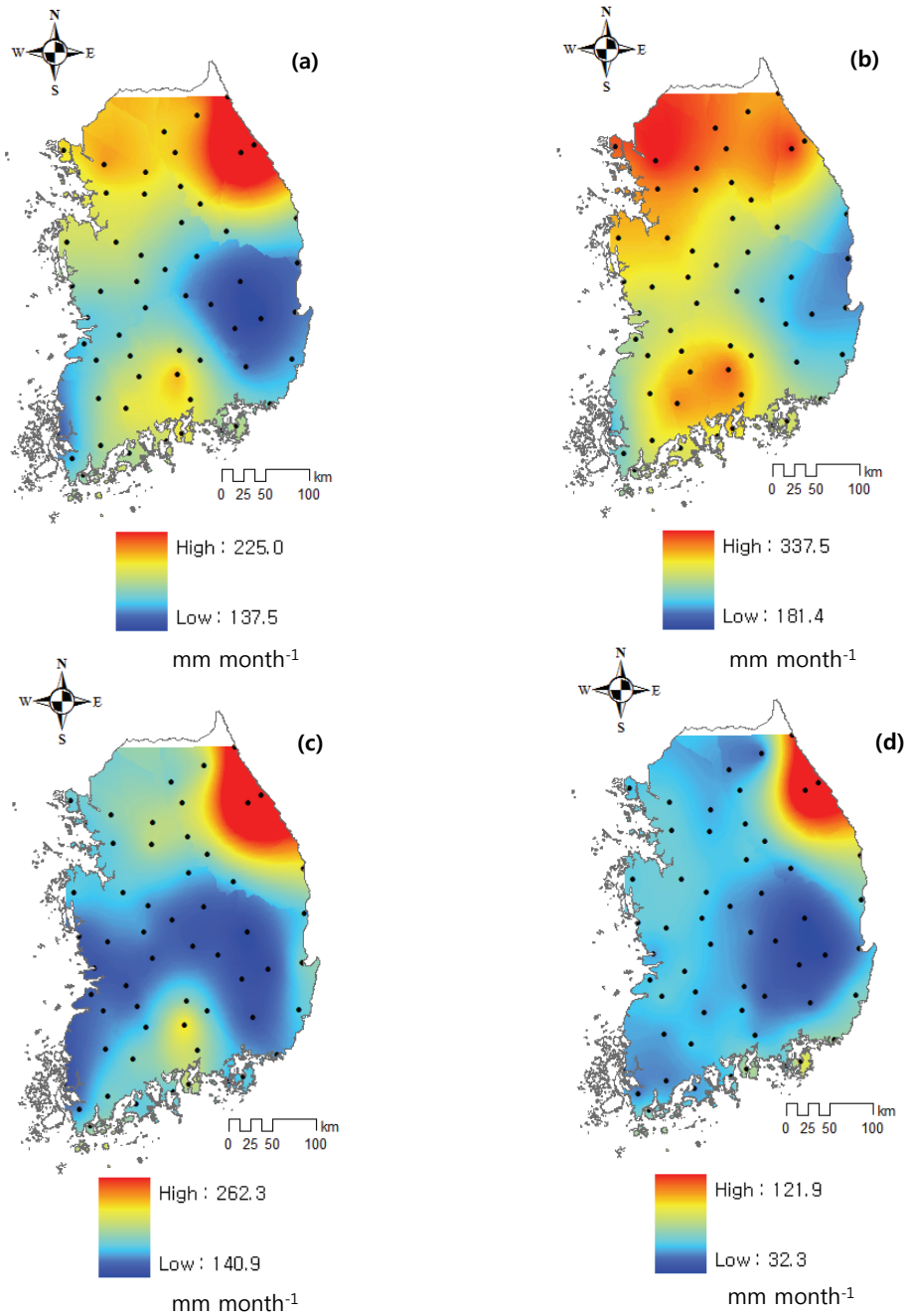


Figure 7. Monthly mean cumulative precipitation: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.

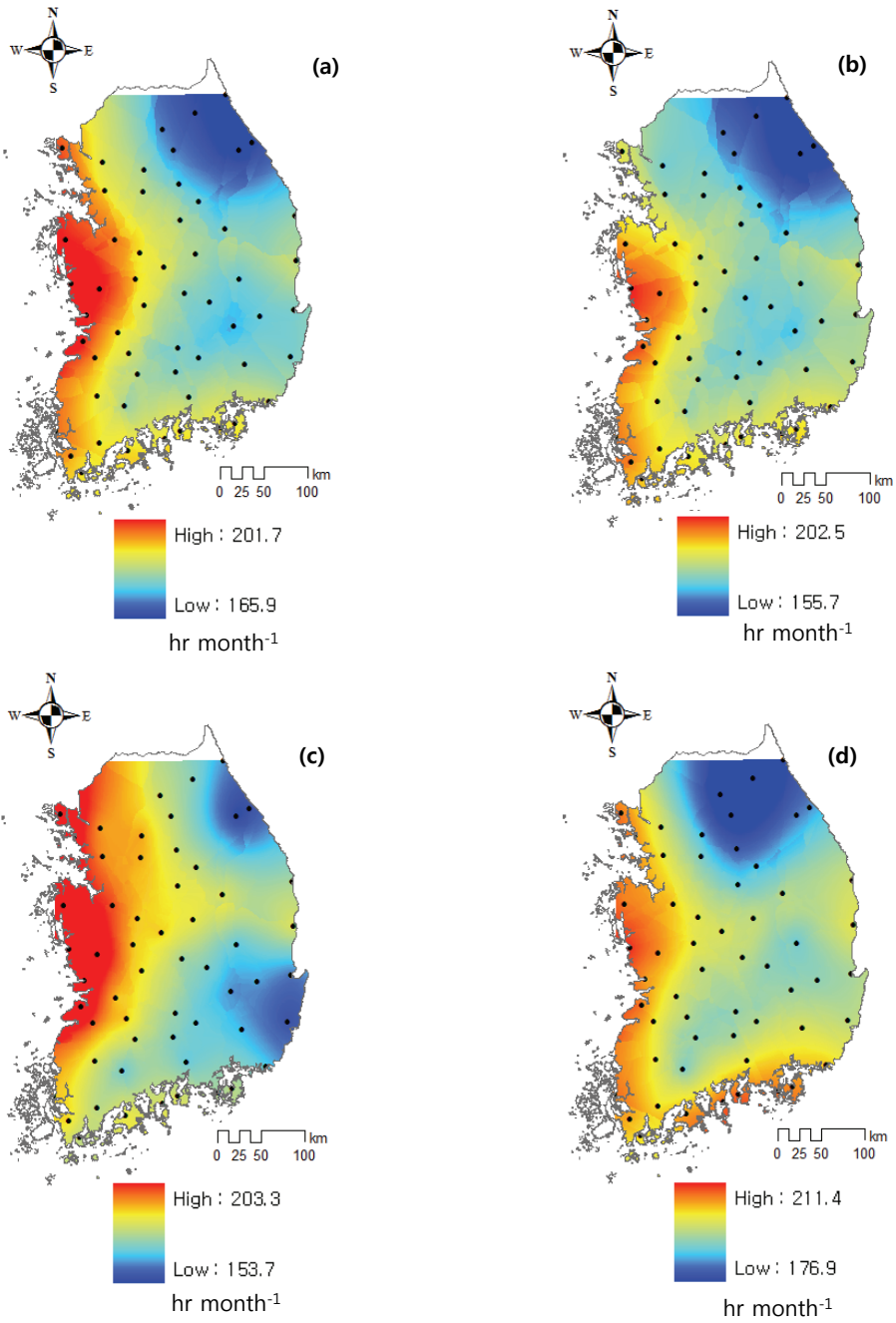


Figure 8. Monthly mean cumulative sunshine hour: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.

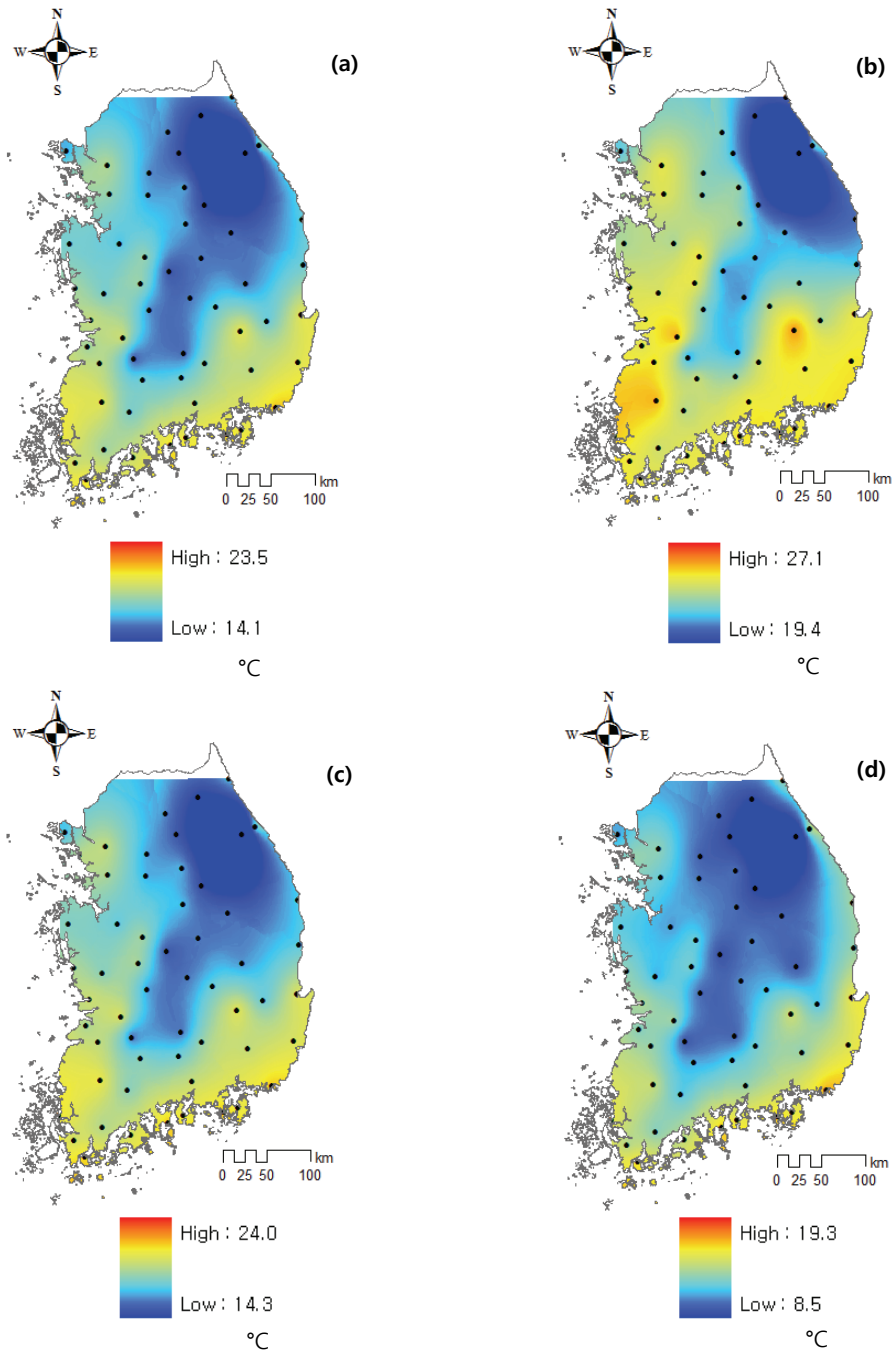


Figure 9. Monthly average mean temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.

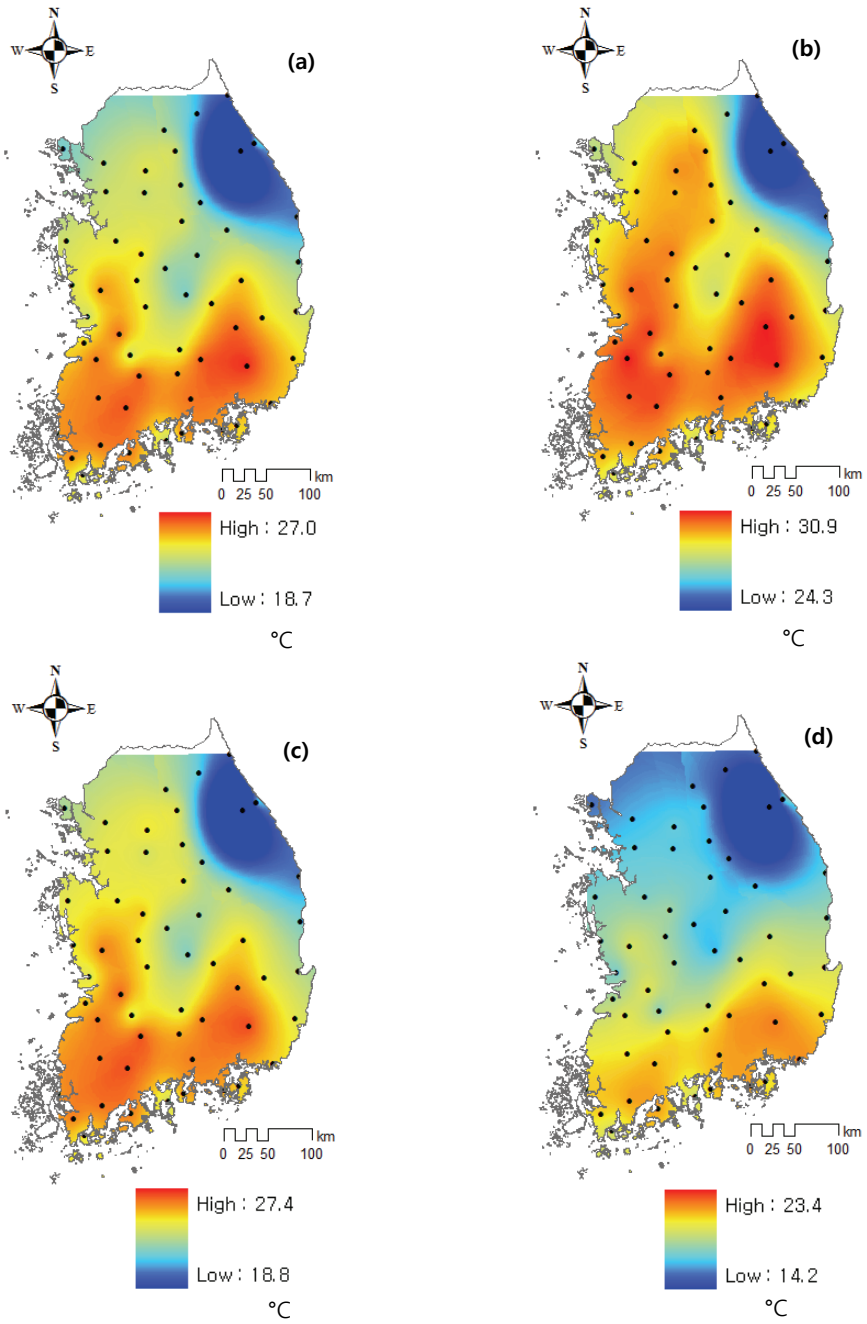


Figure 10. Monthly mean maximum temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.

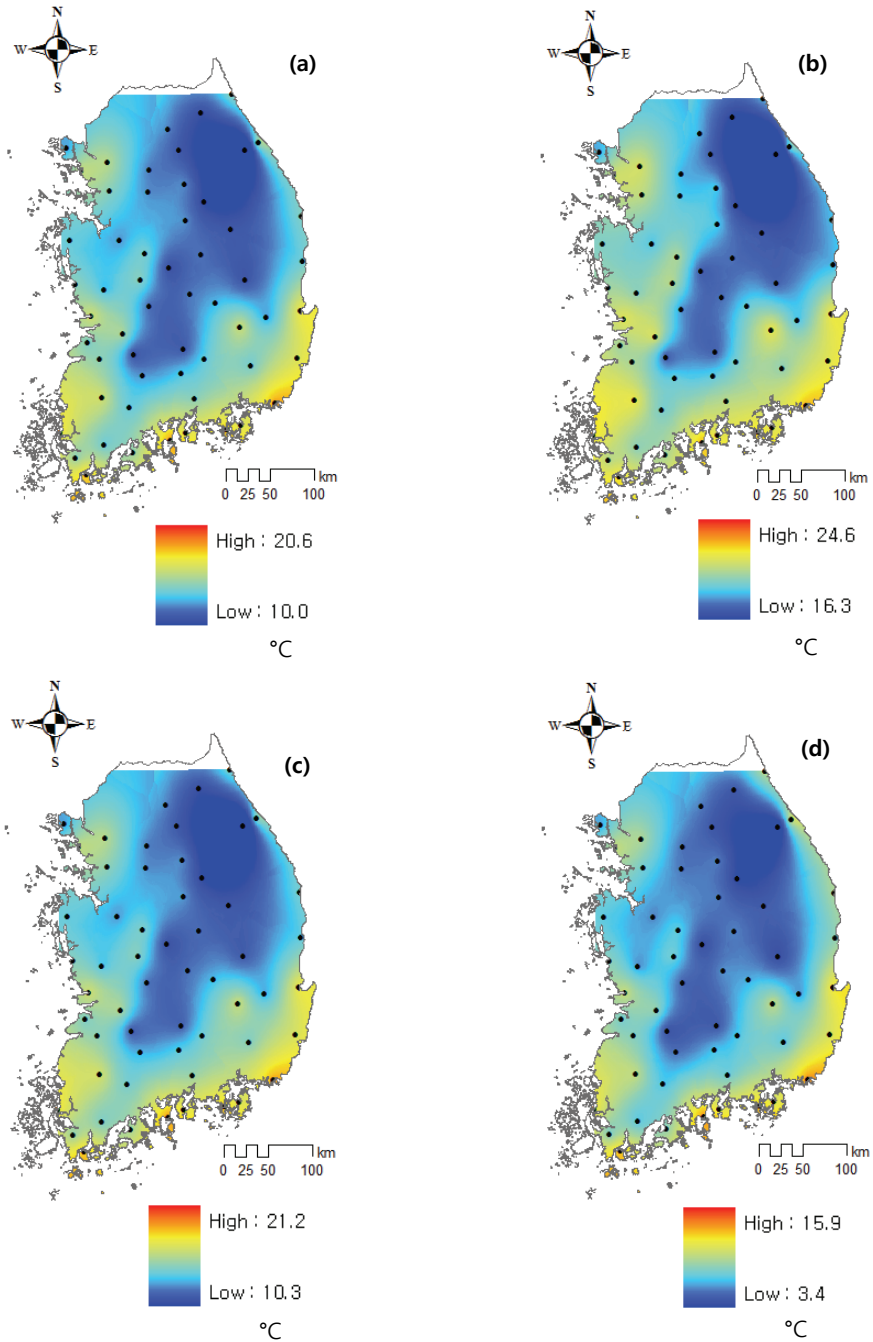


Figure 11. Monthly mean minimum temperature: (a) average of the three months(Aug, Sept, and Oct), (b) Aug, (c) Sept, and (d) Oct.

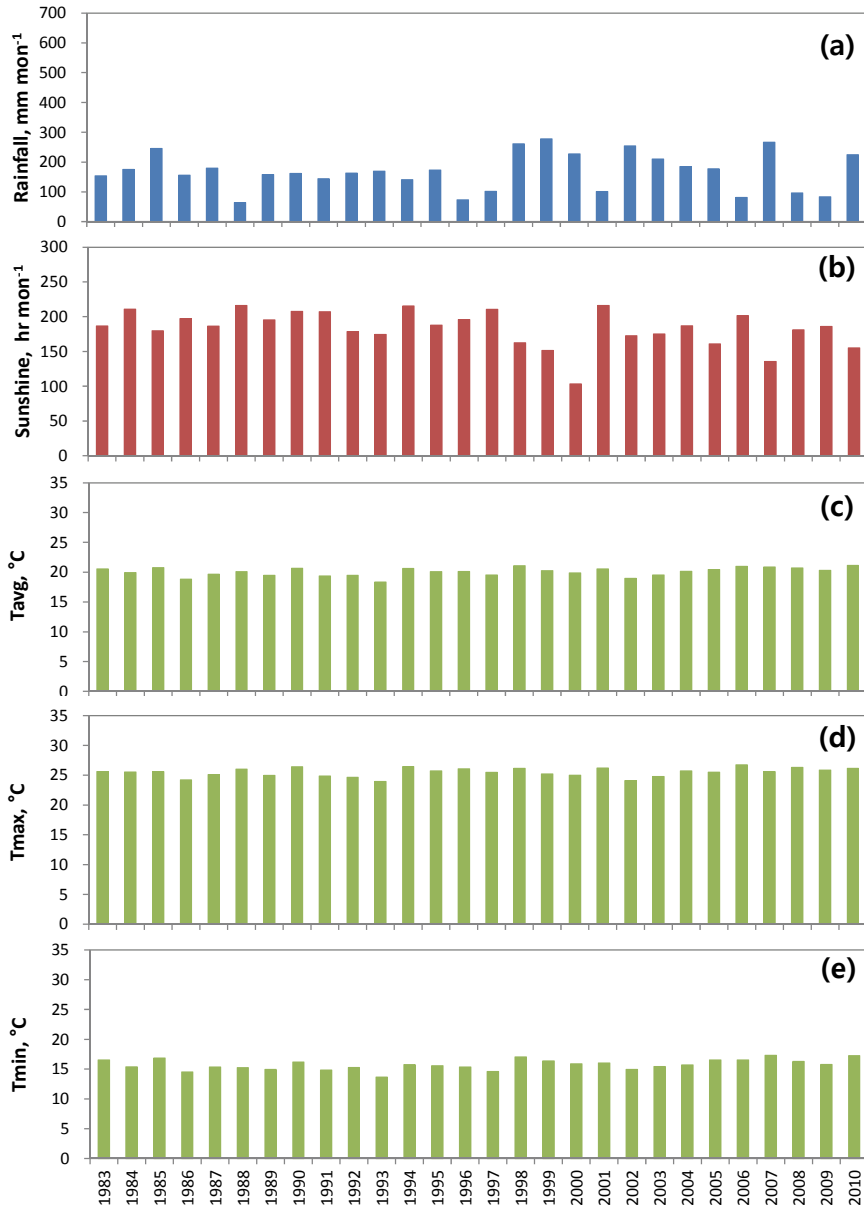


Figure 12. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon^{-1} , (b) cumulative sunshine in hr mon^{-1} , and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in $^{\circ}\text{C}$ for Aug, Sept, and Oct.

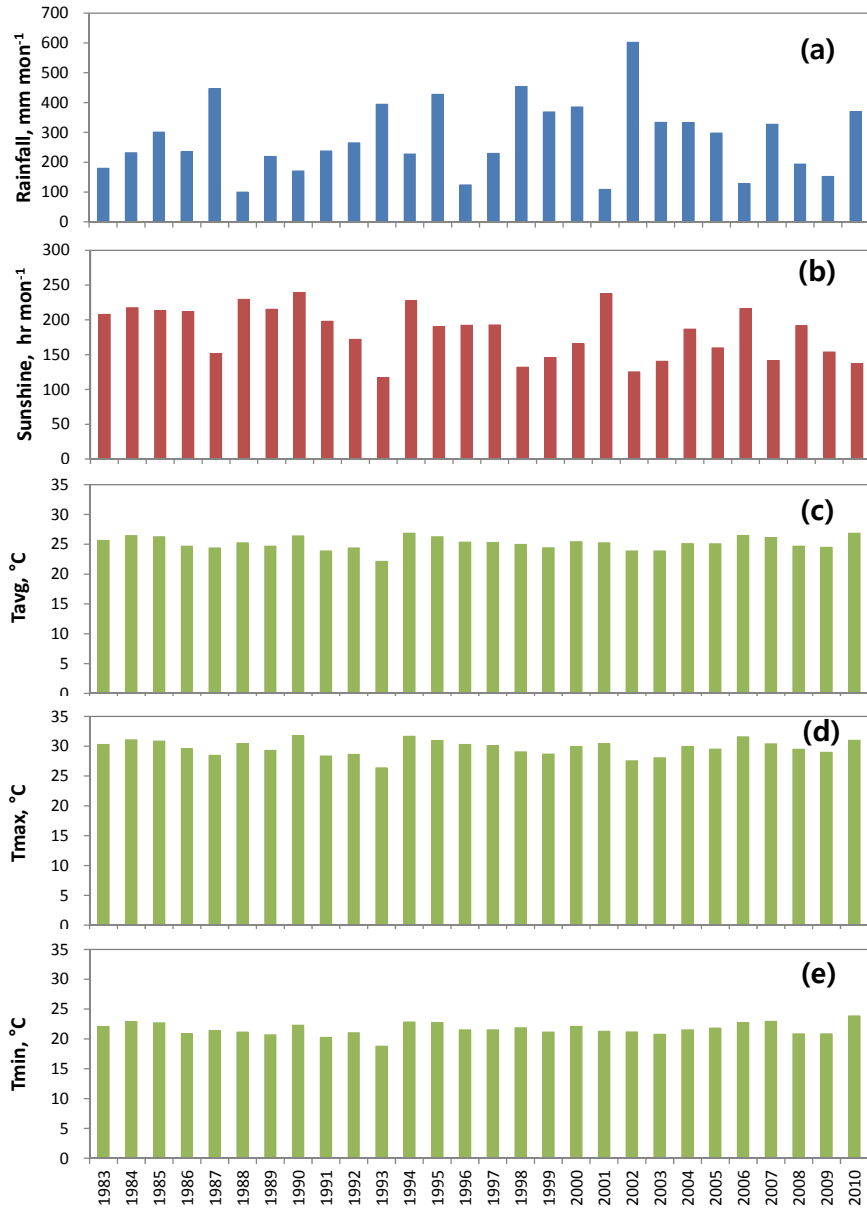


Figure 13. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon^{-1} , (b) cumulative sunshine in hr mon^{-1} , and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in $^{\circ}\text{C}$ for Aug.

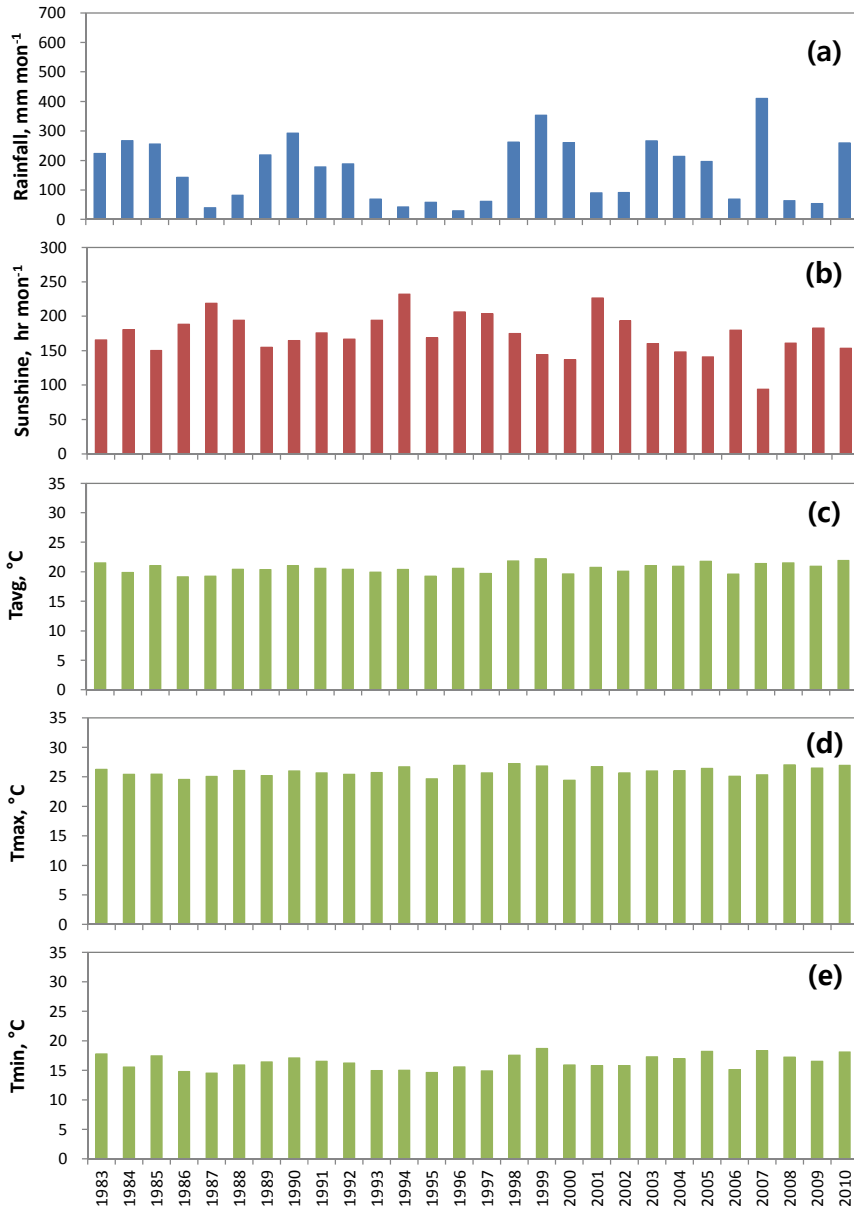


Figure 14. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon⁻¹, (b) cumulative sunshine in hr mon⁻¹, and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in °C for Sept.

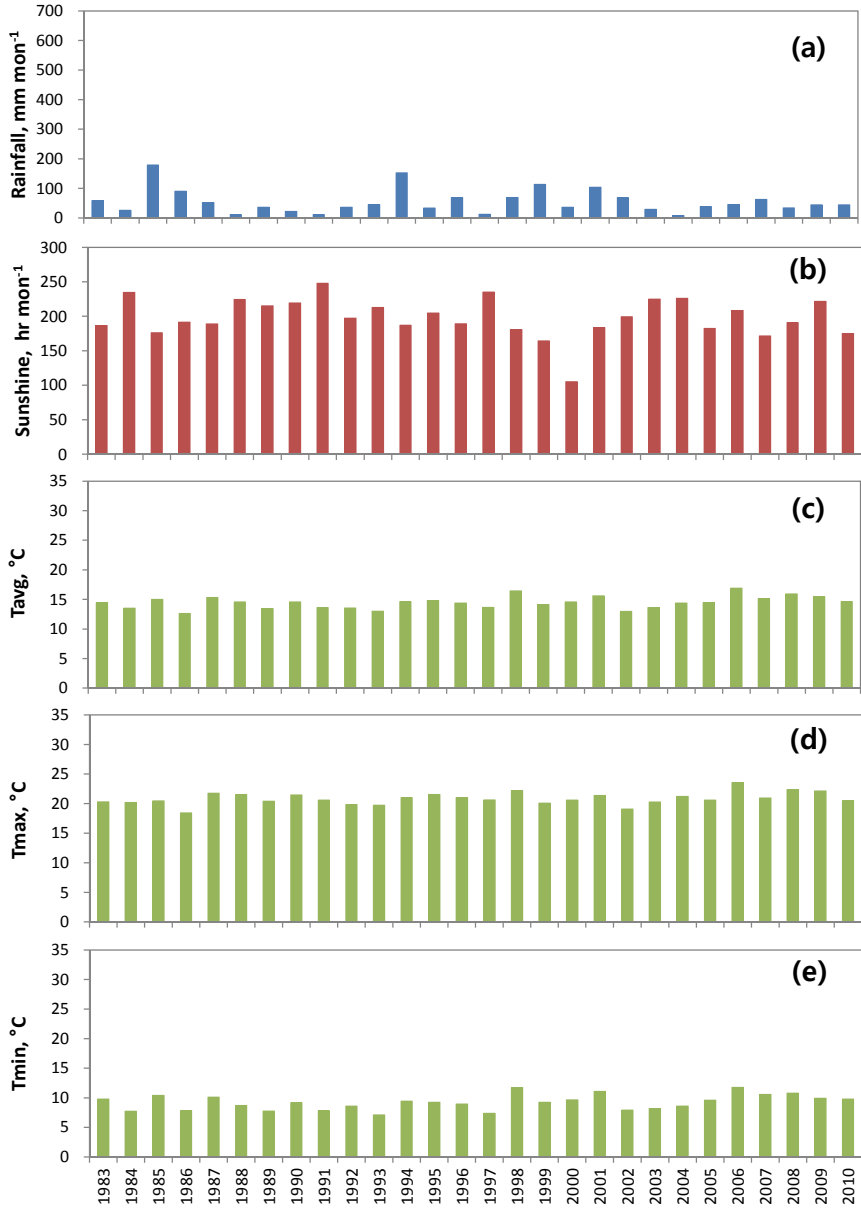


Figure 15. Monthly mean (a) cumulative precipitation in mm mon^{-1} , (b) cumulative sunshine in hr mon^{-1} , and (c) average, (d) maximum, and (e) minimum temperature in $^{\circ}\text{C}$ for Oct.

2.1.1.3 농업기후지대별 관측기상자료

각 농업기후지대에 포함되어 있는 종관기상관측지점 관측자료(Table 4)는 SAS 통계패키지(The SAS system for Windows, 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 농업기후지대별로 재분류하였다. 각 농업기후지대별 8월, 9월, 10월 월평균 누적강수량(mm month⁻¹), 월평균 누적일조시간(hr month⁻¹), 월평균기온(°C), 월평균 일최고기온(°C), 월평균 일최저기온(°C) 자료는 Table 6에 요약하여 제시하였다.

농업기후지대별 8월의 평균 누적강수량은 약 254.2mm month⁻¹(ACZ8)에서 약 386.3mm month⁻¹(ACZ1)의 범위를 보였다. 월평균 누적강수량의 경우, ACZ1(Alpine, 산간 고냉 지대)에서 8월이 386.3±241.2mm month⁻¹로 가장 많은 월누적강수량을 보였고, ACZ4(Central Northern West Coastal, 중북부 서부 해안 지대)가 332.8±214.4mm month⁻¹로 그 다음을 이었다. 10월에 가장 적은 월누적강수량을 보인 농업기후지대는 37.5±30.9mm month⁻¹를 보인 ACZ6(Gyeongbuk Inland, 경북 내륙 지대)로 나타났다. 농업기후지대별 월평균 누적강수량을 전국 평균값(Table 5)과 비교하였을 때, ACZ6와 ACZ8이 대체로 전국 평균보다 작은 값을 나타내었다. 월누적 일조시간의 경우, 일조시간이 대체적으로 긴 10월을 살펴보면 약 185.8hr month⁻¹에서 206.3hr month⁻¹의 범위를 보였다. 월누적 일조시간의 최소값은 ACZ1에서 약 127.7hr month⁻¹이었다. 이 결과는 8월의 강수의 영향으로 일조시간이 적어지기 때문인 것으로 보인다. ACZ2에서는 8월, 9월, 10월의 각 월누적 일조시간이 각각 약 181.9hr month⁻¹, 175.4hr month⁻¹, 185.8hr month⁻¹로 가장 작은 월별 차이를 보였다. 이들 농업기후지대별 월평균 누적 일조시간은 ACZ5(Central Southern Coastal, 중남부 서부 해안 지대)와 ACZ8(Southern Coastal, 남부 해안 지대)에서 전국 평균값(Table 5)보다 높게 나타났다.

ACZ1에서 8월, 9월, 10월의 월평균기온이 각각 약 19.3°C, 14.3°C, 8.5°C로 9개 농업기후지대에서 최저값을 보였다. 반면, 최대값은 8월, 9월, 10월의 월평균기온이 각각 25.7°C, 21.5°C, 15.9°C의 값을 보인 ACZ8으로 나타났다. 월평균 일최고기온은 ACZ7에서 8월 30.5°C로 최고값을 보였고, 최저값은 ACZ1에서 10월 14.2°C였다. 월

평균 일최저기온은 월평균 일최고기온과는 다르게 ACZ4에서 8월 22.5°C로 최고값을 보였고, 최저값은 10월 3.4°C로 ACZ1에서 나타났다. 기온의 경우는 산간 고랭 지대인 ACZ1을 제외하고 대체로 전국 평균값(Table 5)과 비슷한 값을 보였다.

Table 6. Monthly mean cumulative precipitation and sunshine and average, maximum, and minimum temperature in each agro-climatic zone.

ACZ	Month	Precipitation (mm month ⁻¹)	Sunshine (hr month ⁻¹)	Tavg(°C)	Tmax(°C)	Tmin(°C)
1	ASO	268.8±101.3	151.6±20.1	14.1±0.9	18.7±1.1	10.0±1.0
	8	386.3±241.2	127.7±33.9	19.3±1.4	23.1±1.8	16.3±1.4
	9	298.1±207.6	138.3±31.4	14.3±1.0	18.8±1.2	10.3±1.4
	10	122.1±110.4	188.9±27.9	8.5±1.2	14.2±1.4	3.4±1.4
2	ASO	170.4±73.2	178.9±36.5	18.4±0.8	25.2±0.8	13.4±1.1
	8	299.4±162.4	181.9±43.8	24.2±1.0	29.8±1.3	20.1±1.1
	9	163.6±117.1	175.4±34.1	19.1±1.0	25.7±0.9	14.2±1.6
	10	48.3±38.8	185.8±37.2	12.1±1.2	20.1±1.2	6.0±1.5
3	ASO	168.2±71.3	180.4±27.2	19.1±0.7	25.1±0.8	14.4±1.0
	8	291.0±164.1	175.2±42.0	24.8±1.0	29.8±1.2	20.9±1.0
	9	165.1±126.6	176.4±33.4	19.7±0.9	25.6±0.9	15.0±1.3
	10	48.5±42.1	191.8±27.3	12.8±1.2	19.9±1.2	7.2±1.5
4	ASO	184.4±92.3	186.6±28.9	20.5±0.7	24.9±0.8	16.9±0.8
	8	332.8±214.4	172.0±41.5	25.5±1.0	29.4±1.2	22.5±1.0
	9	167.2±145.3	183.6±40.0	21.2±0.8	25.7±1.0	17.5±0.9
	10	53.2±51.0	204.4±29.2	14.9±1.2	19.8±1.2	10.7±1.4

Table 6. (Continued).

ACZ	Month	Precipitation (mm month ⁻¹)	Sunshine (hr month ⁻¹)	Tavg(°C)	Tmax(°C)	Tmin(°C)
5	ASO	167.2±74.5	193.4±30.9	19.9±0.7	25.6±0.7	15.2±1.0
	8	293.9±175.8	192.0±45.3	25.3±1.0	30.1±1.2	21.5±1.1
	9	156.3±111.5	185.8±40.9	20.5±0.9	26.1±0.8	15.9±1.4
	10	51.5±47.1	203.6±26.4	13.8±1.1	20.6±1.1	8.2±1.4
6	ASO	141.7±59.3	178.6±33.5	19.5±0.8	25.7±0.9	14.6±1.0
	8	242.6±126.3	178.0±43.6	25.0±1.3	30.2±1.7	20.9±1.2
	9	145.1±99.6	167.7±31.9	20.0±0.9	26.0±0.9	15.2±1.4
	10	37.5±30.9	196.1±36.9	13.6±1.1	20.9±1.2	7.5±1.4
7	ASO	171.6±83.1	177.7±28.0	20.2±0.8	26.4±0.8	15.5±1.0
	8	299.2±158.6	175.4±34.9	25.4±1.1	30.5±1.4	21.6±1.1
	9	171.0±126.0	164.1±32.0	20.8±1.1	26.8±1.0	16.3±1.5
	10	44.6±36.5	198.0±34.6	14.4±1.1	22.0±1.2	8.5±1.4
8	ASO	156.4±60.7	191.5±26.8	21.0±0.7	25.8±0.7	17.1±0.8
	8	254.2±117.5	194.8±41.3	25.7±1.1	29.8±1.4	22.4±1.0
	9	160.1±105.0	177.3±29.3	21.5±0.8	26.2±0.8	17.7±1.1
	10	53.6±41.8	206.3±28.6	15.9±0.9	21.5±1.0	11.2±1.1
9	ASO	213.8±67.5	164.1±21.0	19.8±0.7	23.9±0.8	16.3±0.8
	8	296.2±156.0	148.0±32.6	24.2±1.4	27.7±1.6	21.2±1.3
	9	241.2±160.7	157.7±33.8	20.1±0.8	24.1±0.8	16.6±0.9
	10	104.0±84.2	186.6±26.0	15.2±1.1	19.8±1.1	11.0±1.2

Standard deviation of observed values are given after the '±' symbol.

ACZ stands for agro-climatic zones.

2.1.2 APCC MME Hindcast 자료

본 연구에서 사용한 MODIS NDVI와 LAI자료들은 2002년부터 제공된 자료이기 때문에, 가능한 가장 긴 기간의 자료를 확보하기 위해 쌀단수예측모형의 개발에 사용될 APCC MME 계절예측자료 구축시 2002년부터 가능한 가장 긴 기간의 자료를 보유하고 있는 모델들을 선정하여 구축하였다. 이렇게 선정된 모델은 APCC-CCSM3, MSC_CANCM3, MSC_CANCM4, NASA, PNU, POAMA의 총 6개 모델로, 각 모델은 1983년부터 2010년까지의 기간에 hindcast자료를 보유하고 있다. 각 개별 모델의 특성은 Table 8에 요약하여 제시하였다. 본 연구에서 사용한 개별 모델들의 앙상블 평균 예측방법은 Simple Composite Method(SCM; Peng et al. 2002; Kang et al. 2009; Lee et al. 2008, 2009, 2011, 2013a, b)기법을 사용하였다. SCM기법은 현재 APCC에서 협업으로 사용 중인 방법들 중의 하나로, 가장 우수한 Muti-Model Ensemble(MME)기법 중의 하나이다(Lee et al., 2009). 앞으로 본 연구에서 사용하는 MME는 SCM 기법을 의미한다.

Table 7. Descriptions of the six dynamical seasonal prediction models used in this study.

Institutes	Model name	Resolution	° at Equator	Ensemble member
APCC	APCC-CCSM3	T85L26	1.4	10
MSC	MSC_CANCM3	T63L35	1.875	10
MSC	MSC_CANCM4	T63L35	1.875	10
NASA GSFC	NASA	288×181L72	1.25×1	9
PNU	PNU	T42L18	2.8125	10
BOM	POAMA	T47L17	2.5	30

현재 APCC에서 제공하고 있는 MME 계절예측자료는 해상도가 2.5° (약 250-km)로 농업기후시대별로 계절예측정보를 구축하는 본 연구에서는 너무 거친해상도(coarse resolution)이라 할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 APCC에서 제공하고 있는 MME 계절예측자료를 통계적인 방법을 사용하여 각 61개 ASOS지점별로 규모축소 하여 전국 및 농업기후시대별 평균강수량(월누적강수량), 일조시간(월누적일조시간), 월평균기온,

월평균일최고기온, 월평균일최저기온 자료를 구축하였다. 이상과 같은 월별 계절예측자료를 구축하는데 있어서, APCC의 현업일정과 MODIS 식생지수 취득가능 시점 및 9.15 예상조사보고시점(9월 21일) 등을 고려하여 7월에 전망하는 8월, 9월, 10월의 MME 계절예측자료를 사용하였다.

본 연구에서 사용한 통계적규모축소 기법은 Kim et al.(2004)이 개발한 방법으로 고유치분리법(Singular Value Decomposition Analysis, SDVA)과 경험적 직교함수 분석(Empirical Orthogonal Function Analysis, EOFa)을 기반으로 구축한 다음 식(1)과 같은 기법이다.

$$E(x^*, t) = \sum_{i=1}^p \alpha_i S_i(t) R_i(x^*) \quad (1)$$

여기서, $E(x^*, t)$ =공간 x^* 와 시간 t 에서의 지역기후에 대한 추정값

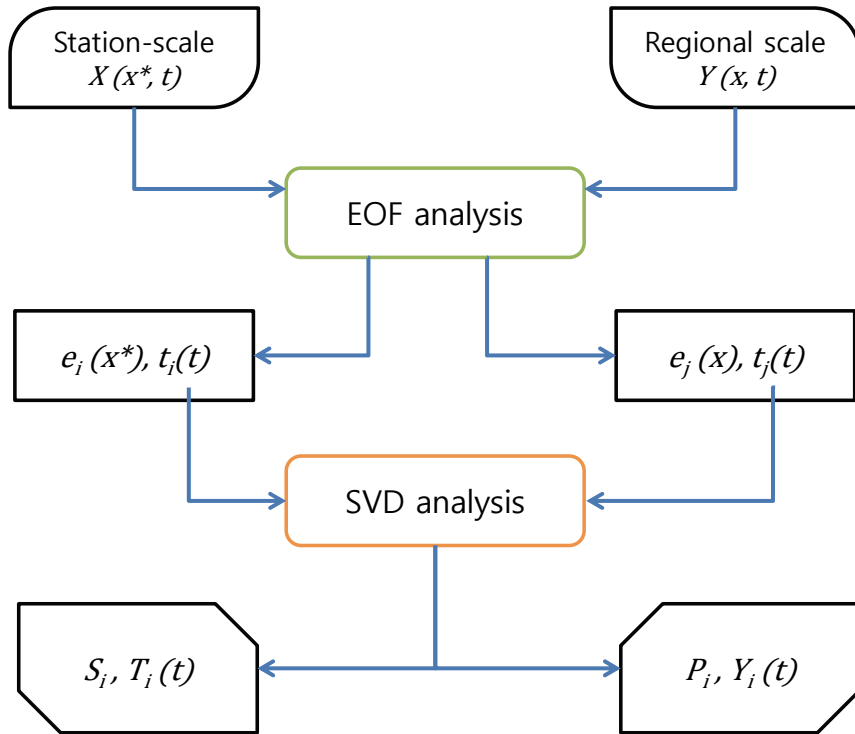
$S(t)$ =광역규모 예측인자에 대한 SVD모드의 시간계수

$R(x^*)$ =지역규모의 예측변수와 지역규모 예측변수에 대한 SVD모드의 시간계수 사이의 공분산 패턴

α_i = i 번째 SVD모드의 시간계수간의 상관계수

따라서 α_i 의 값이 1에 가까울수록 두 모드간의 연관성이 매우 크다는 것을 의미하기 때문에 이 기법의 성능이 우수해지게 된다. 광역규모의 예측인자와 지역규모의 예측변수에 대한 EOFa 및 SVDA의 분석을 통해 위 식(1)에서 필요한 모든 변수들을 산정할 수 있다.

본 연구에서 사용한 통계적규모축소법은 EOFa를 적용하여 잡음에 해당하는 모드를 제거한 후, SVDA를 적용하여 결합모드를 추출하게 된다. 추출한 결합 모드간의 관계로부터 광역규모 시간계수와 지역규모 분포사이의 연관성을 구하고, 이를 바탕으로 광역규모의 예측인자로부터 지역규모 예측변수를 산출하게 된다. 이렇게 지역규모 예측변수를 산출하는 과정은 Figure 16에 제시하였다. 본 연구에서 사용한 통계적규모축소 기법은 김맹기 & 강인식(1997)에서 보다 상세히 기술되어 있다.



$$\text{Transfer function: } (x^*, t) = \sum \alpha_i Y_i(t) R_i(x^*)$$

$$\alpha_i = \text{cor}(T_i, Y_i)$$

$$R_i(x^*) = \text{Projection of } T_i \text{ into } X$$

Figure 16. Schematic of the extraction of the coupled mode between large scale predictor and station scale predictand. (adopted from KMA, 2012).

2.1.3 벼 수량 자료

군별 쌀생산량 자료와 전국평균 쌀생산량 자료는 국가통계포털 Korean Statistical Information Service(KOSIS, <http://kosis.kr>)에서 내려 받아 구축하였다. 이렇게 구축한 군별 쌀생산량 자료는 농업기후시대별 쌀생산량 자료로 재분류하여 농업기후시대별 쌀단수예측모형을 구축하는데 사용되었다. 자료처리에는 ArcGIS 소프트웨어를 이용하여 농업기후시대에 속해있는 각 군 속성테이블을 내보내기(exporting)한 후, SAS 통계패키지(The SAS system for Windows, 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를

이용하여 군별 쌀생산량 자료와 결합하였다. 이러한 방법으로 구축한 농업기후시대별 쌀 생산량 자료는 Table 9에 요약하여 제시하였다. 통계청에서는 현백률(쌀 환산비율)을 현실화하기 위해 2011년부터 현백률을 9분도 기준(92.9%)에서 12분도 기준(90.4%)으로 변경하였다. Table 8에는 현백률을 92.9%로 통일하여 적용한 값을 제시하였다. 2000년부터 2013년까지 농업기후시대별 쌀단수와 전국평균 쌀단수를 비교해보면 ACZ5가 전국평균보다 대체로 높은 쌀단수를 보였고, ACZ9는 대체로 전국평균에 비해 낮은 쌀단수값을 보였다. 이를 2000년부터 2013년까지 14년동안의 평균으로 비교해보면, 전국평균이 약 492kg/10a이고 ACZ5가 약 515kg/10a으로 전국평균보다 약 23kg/10a 높았으며, ACZ9이 약 443kg/10a로 전국평균에 비해서 약 49kg/10a 낮은 수치를 보였다.

Table 8. Rice yield in whole country and each agro-climatic zones.

Year	Whole Country	ACZ1	ACZ2	ACZ3	ACZ4	ACZ5	ACZ6	ACZ7	ACZ8	ACZ9
	kg (10a) ⁻¹									
2000	497	467±12	494±21	487±28	464±29	540±24	476±23	472±30	486±35	454±5
2001	516	502±29	501±24	510±28	481±22	544±20	500±24	504±17	513±31	477±10
2002	471	472±21	474±16	470±31	487±38	505±24	463±29	443±24	448±44	296±40
2003	441	422±17	408±33	435±25	428±31	467±25	405±33	415±24	432±37	410±10
2004	504	472±20	492±38	484±28	482±30	524±26	494±20	491±20	497±29	446±12
2005	490	486±13	478±26	478±19	475±29	509±22	486±26	477±19	478±30	464±6
2006	491	459±15	461±41	474±29	465±31	515±20	488±18	471±22	484±35	442±19
2007	466	449±15	453±33	456±22	452±15	487±22	469±19	445±26	454±30	436±10
2008	520	491±1	508±36	504±25	505±23	538±20	521±26	512±25	503±40	455±16
2009	534	502±3	525±39	517±28	483±16	553±21	548±28	513±26	518±43	507±23
2010	483	461±12	476±40	444±36	429±10	496±31	496±16	473±15	484±33	452±16
2011	496	481±3	487±30	458±39	424±14	509±31	509±17	491±16	490±35	470±16
2012	473	491±3	480±29	473±26	462±13	502±27	497±14	467±31	451±58	408±11
2013	508	469±19	494±47	468±51	452±23	526±31	517±19	502±19	501±32	484±17

Standard deviation of observed values are given after the '±' symbol.

Table 14. MAPE and Adjusted R-squared values for the regression models against observed rice yields in agro-climatic zones.

ACZ	VI and ASOS [†]	
	MAPE(%)	Adj_RSQ [§]
1	0.9	0.93
2	3.5	0.55
3	1.5	0.81
4	1.3	0.86
5	2.7	0.39
6	3.0	0.69
7	5.1	0.10
8	1.6	0.81
9	3.7	0.85

† VI and observed meteorological datasets were used for the model.

§ Adjusted coefficient of determination.

3.2 쌀단수예측모형적용

3.2.1 APCC MME Hindcast 자료

광역규모 순환과 지역규모의 기후 변동간의 밀접한 관련성이 통계적규모축소법을 이용하여 광역규모 순환과 지역규모의 기후 변동을 추정하기 위한 가장 중요한 요건이다. 광역규모와 지역규모간의 결합변동성이 매우 강한 모드로 추출이 되고, 두 규모간의 결합 변동성에 대한 물리적 해석이 가능하다면 이러한 방법으로 규모축소하여 추정된 값은 신뢰도가 매우 크다고 할 수 있다(김맹기, 2005). 본 연구에서는 EOFa를 이용하여 불필요한 잡음을 제거한 후, SVDA를 이용하여 두 규모간의 결합변동성을 조사하였으며, 김맹기(2005)가 경험에 기초하여 사용한 상위 10개 EOF모드와 식(1)의 SVD모드수도 10개를 사용하였다.

여기서, ρ_{NIR} =spectral reflectance measurements acquired in near-infrared region

ρ_{red} =spectral reflectance measurements acquired in red region

SR=simple ratio(NIR/red)

MODIS NDVI는 NIR 밴드와 red 밴드의 비를 정규화한 값으로 MODIS 식생지수 자료들 중 표준화 된 자료 중의 하나이다(Justice et al., 1998; Huete et al., 2002). MODIS NDVI 자료는 구름 등의 영향을 제거하는 등의 보정작업을 통해 일별영상을 16 일씩 중첩하여 처리한 영상으로 제공된다. MODIS NDVI는 Hierarchical Data Format-Earth Observing System(HDF-EOS) format으로 제공이 되며, 유효한 영상값은 -2000에서 10000사이의 값으로 제공되어 0.0001의 스케일 팩터(scale factor)를 곱해주어야 NDVI값을 구할 수 있다.

Table 9. MODIS technical specifications.

Properties	Characteristics
Orbit	705 km, 10:30 am descending node(Terra) 1:30 pm ascending node(Aqua) Sun-synchronous, near-polar, circular
Scan rate	20.3 rpm, cross track
Scan angle	+/- 55 degrees
Swath dimension	2330 km(cross track) by 10 km(along track at nadir)
Telescope	17.78 cm diam. off-axis
Size	1.0×1.6×1.0m
Weight	228.7kg
Power	162.5W(single orbit average)
Data rate	10.6 Mbps(peak daytime) 6.1Mbps(orbital average)
Orbit period	99 minutes
Quantization	12 bits
Design life	6 years
Spatial resolution	250 m(bands 1-2) 500 m(bands 3-7) 1000 m(bands 8-36)

Source: modis.gsfc.nasa.gov

MODIS LAI는 주 알고리즘과 주 알고리즘을 적용하기 어려울 경우 보조 알고리즘을 적용하여 계산한다. 주 알고리즘은 다음 식 (4)과(5)와 같이 식생 임관의 3차원 복사전달 모형의 역변환 식으로 LAI를 구하게 된다(Myneni et al., 1992).

$$\rho_c = f\{\rho_l, \rho_b, LAI, CC, L(\theta, \phi)\} \quad (4)$$

$$LAI = f'(\rho_c) \quad (5)$$

여기서, ρ_c =임관층 반사율

ρ_l =잎 반사율

ρ_b =지상부 반사율(토양 및 하층 식생)

CC=임관율폐도(Closure-percent of Canopy)

$L(\theta, \phi)$ =태양과 센서의 방위각이나 천정각 등의 기하학 정보

LAI=엽면적지수

위의 식을 적용하지 못할 경우 사용되는 보조알고리즘은 수종별 NDVI로부터 LAI를 구하는 경험적인 방법을 사용하게 된다. MODIS LAI도 역시 HDF-EOS 포맷으로 제공이 되며, 유효한 영상값의 범위는 0에서 100사이의 값으로 0.1을 곱해주어야 엽면적지수의 값으로 변환 할 수 있다.

미지질조사국 LP DAAC에서 내려 받은 MODIS 식생지수 영상은 3개의 granule (h27v04, h27v05, h28v05)로 이루어져 있어 ArcGIS 소프트웨어의 모자이크(Mosaic) 툴을 이용하여 영상접합하였다. 이때 모자이크 툴의 한 옵션을 이용하여 Korea Transverse Mercator(TM)으로 좌표변환을 하였다. 이렇게 생성된 NDVI영상값을 가지고 있는 래스터자료는 논 이외의 토지이용지역에서도 NDVI 정보를 가지고 있으므로, 본 연구 목적인 쌀단수예측모형을 개발하기 위해서는 논지역에서만 NDVI값을 추출할 필요가 있다. 이를 위해서 논마스크맵(paddy field mask map)을 해상도 30m급의 토지피복도자료(Vector map)를 기반으로 하여 구축하였다. 본 연구에서 사용한 토지피복도는 환경지리정보서비스(<http://egis.me.go.kr>)에서 제공하는 피복도로서 Landsat 위성영상을 기반으로 하여 지형도, 항공사진, 고해상도 위성영상 등의 보조자료와 현장조사를 참조하여

구축한 높은 신뢰성을 가지고 있는 피복도이다.

Figure 17은 논마스크맵을 구축시에 사용한 기본자료인 벡터자료(Figure 17a)와, 30-m(Figure 17b), 250-m(Figure 17c), 1-km(Figure 17d) 해상도로 구축한 래스터자료의 논마스크맵을 보여주고 있다. 남한에서 논면적은 벡터자료에서 13,921km²로 나타났고, 이를 래스터자료로 변환했을 경우 30-m해상도 래스터자료에서는 논면적으로 분류된 격자의 총 면적이 13,921km²이었고, 250-m해상도 래스터자료에서는 논면적으로 분류된 격자의 총 면적이 13,944km²이었으며, 1-km해상도 래스터자료에서는 논면적으로 분류된 격자의 총 면적이 13,818km²로 나타났다. 벡터자료와 래스터자료의 논면적만을 단순 비교했을 때 30-m해상도 래스터 자료에서는 논면적의 변화량이 약 0.0006%로 자료변환과정에서 거의 변화가 발생하지 않았다. 그러나 250-m해상도 래스터자료로 변환하는 과정에서 약 0.16%의 면적증가가 발생했으며, 1-km해상도 래스터자료로 변환하는 과정에서는 약 0.74%의 논면적이 증가하였다. 따라서, 본 연구에서는 자료변환과정에서 논면적이 거의 발생하지 않은 30-m해상도 래스터자료를 논마스크맵으로 사용하였다.

벡터자료나 래스터자료에서 논면적은 실제 벼를 재배하는 지역의 통계와는 다소 차이가 나타났다(Table 9). 이러한 차이는 토지이용이 변경되었거나, 토지이용도상에는 논으로 분류되었으나 벼를 재배하지 않고 다른 작물을 재배하거나, 휴경지 등의 경우 때문인 것으로 보인다. 또한, 매년 토지이용의 변화나 벼재배지역변화를 반영하는 논마스크맵을 구축하는데는 정확한 통계 등의 자료확보가 현실적으로 불가능하기 때문에, 본 연구에서 이러한 문제점을 극복하기 위해서 논지역에서의 정규화식생지수를 추출하기 위해, ArcGIS 소프트웨어의 “Extract” 툴을 사용하여 NDVI 래스터자료와 논마스크맵으로부터 논지역의 NDVI값을 추출한 후 “Con” 툴을 사용하여 식생지역이 보통 0.2이상의 NDVI값을 가지므로 영상값이 2000(말하자면, NDVI값이 0.2)이상인 값만을 사용하여 평균한 값을 사용하였다. 하지만 보다 정확한 논마스크맵을 구축하기위해서 2000년대 토지이용의 변화나 벼재배지역을 정확히 반영하여 논마스크맵을 구축하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. HDF-EOS 파일포맷으로 제공이 되는 MODIS NDVI영상자료로부터 논지역의 NDVI값을 추출하는 전과정은 ArcGIS for Desktop에서 제공하는 모델빌더를 사용하여 구축했으며, Figure 18에 NDVI값을 추출하는 순서도를 모식화하여 제시하였다. 모델빌더(ModelBuilder)는 ArcGIS 소프트웨어에서 제공하는 빌트인기능

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Alpine(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

Table 10. Correlation coefficients between vegetation indices and rice yield in Korea.

Year	Yield (kg/10a)	Julian date								
		201			217			233		
		NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)
2002	471	0.8	0.8	7.3	0.6	0.6	1.7	0.7	0.7	5.8
2003	441	0.7	0.8	4.8	0.8	0.8	7.1	0.7	0.7	5.8
2004	504	0.8	0.8	7.2	0.8	0.8	7.3	0.7	0.7	4.7
2005	490	0.8	0.8	7.1	0.8	0.8	6.9	0.8	0.8	6.3
2006	491	0.8	0.8	3.8	0.8	0.8	7.3	0.7	0.8	5.5
2007	466	0.7	0.8	6.1	0.7	0.8	4.5	0.8	0.8	7.0
2008	520	0.7	0.7	3.4	0.8	0.8	7.5	0.8	0.8	7.0
2009	534	0.7	0.7	5.4	0.8	0.8	5.6	0.8	0.8	7.3
2010	483	0.7	0.7	5.5	0.8	0.8	6.5	0.7	0.8	5.8
Cor.		-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.7	0.6	0.3

농지역에서 MODIS NDVI와 LAI를 추출한 후 각 농업기후지대별 NDVI와 LAI값의 평균값을 산출하였다. Figure 19와 같이 먼저, ArcGIS 소프트웨어의 “Zonal Statistics as Table” 툴을 사용하여 각 농업기후지대별 식생지수의 값의 최대치, 최소치, 평균, 표준편차 등의 통계치를 구한 다음, 각 테이블을 DBF 포맷으로 내보내기(exporting)를 하였다. 이렇게 구해진 DBF 파일들은 SAS 통계패키지(The SAS system for Windows, 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여, 하나의 SAS table로 결합하여 2002년부터 2010년까지 각 농업기후지대별 NDVI와 LAI값을 구하였다. 이렇게 구축한 각 농업기후지대별 2002년부터 2010년까지의 NDVI와 LAI값은 Table 12에 요약하여 제시하였다.

농업기후지대별로 대체로 NDVI의 경우 0.6에서 0.8사이의 값을 보인 반면 LAI는 농업기후지대별로 최소값이 연중일 233의 값을 비교해 보면, ACZ9에서 3.9로 가장 작은 값을 보였고, ACZ7에서 7.7로 가장 큰값을 보여, NDVI 보다 값의 범위가 다소 큰

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Apline(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

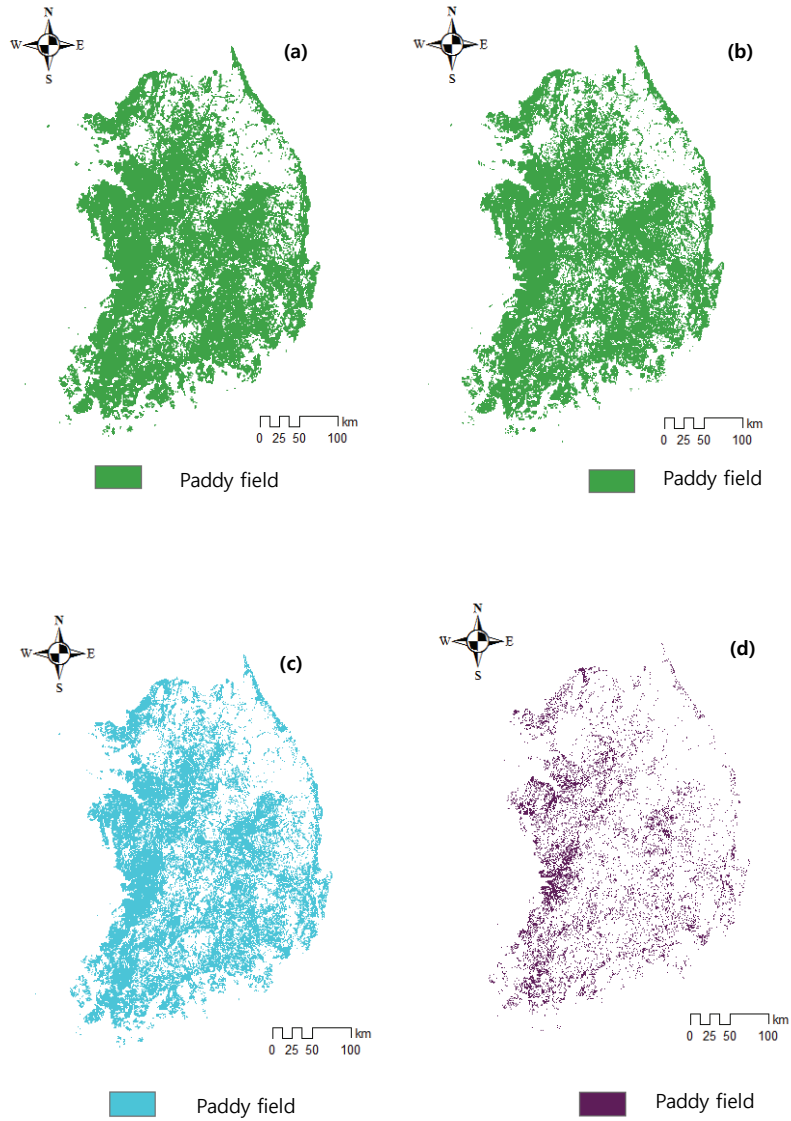


Figure 17. Paddy fields: (a) vector map, (b) 30m resolution raster map, (c) 250m resolution raster map, (d) 1km resolution raster map.

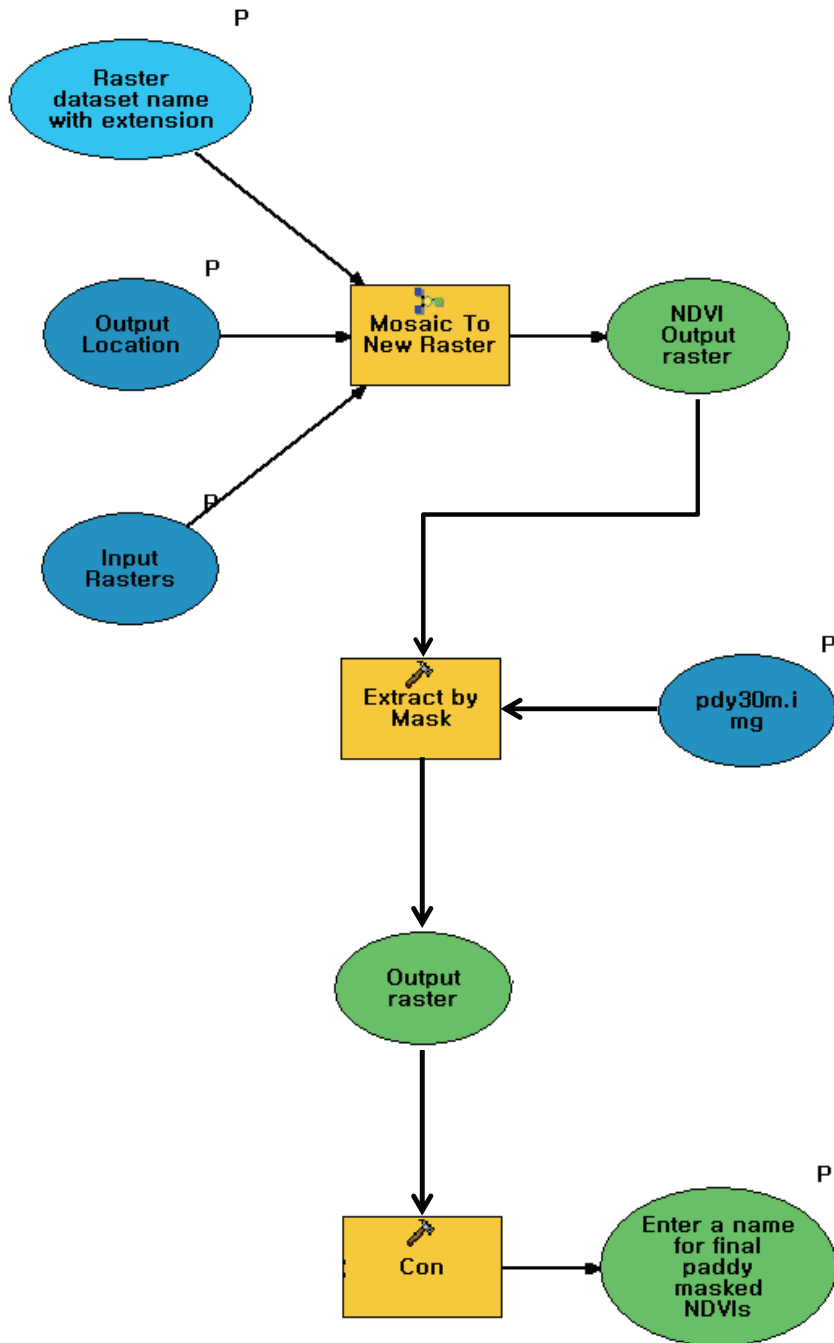


Figure 18. NDVI and LAI extraction using ModelBuilder of ArcGIS® software by ESRI(ESRI, 2008).

Table 11. Change in rice cultivation area in Korea.

year	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Rice cultivation area (km ²)	10,550	10,558	10,386	10,015	9,836	9,668	9,454
year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Rice cultivation area (km ²)	9,422	9,280	9,180	8,865	8,508	8,469	8,314

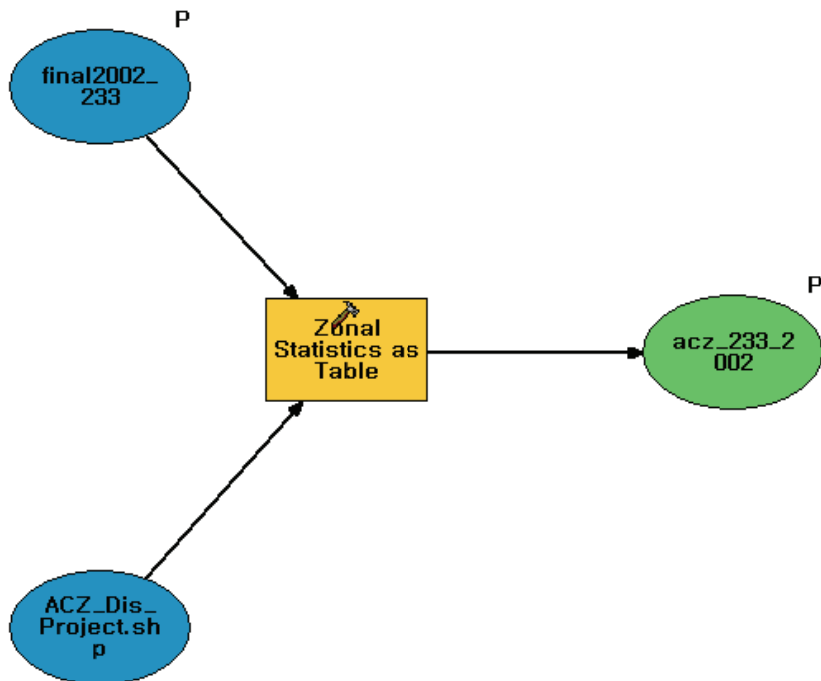


Figure 19. NDVI and LAI calculation at each agro-climatic zone using ModelBuilder of ArcGIS® software by ESRI.

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Apline(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

Table 12. (Continued).

ACZ	year	Julian date								
		201			217			233		
		NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)
4	2002	0.7	0.7	6.4	0.7	0.7	4.9	0.7	0.7	6.3
	2003	0.7	0.7	5.0	0.7	0.8	7.0	0.6	0.7	5.6
	2004	0.7	0.8	6.5	0.7	0.7	6.7	0.7	0.7	4.5
	2005	0.7	0.7	6.8	0.7	0.7	5.4	0.7	0.7	7.0
	2006	0.7	0.8	3.9	0.7	0.7	6.9	0.7	0.7	5.6
	2007	0.6	0.7	4.8	0.7	0.7	3.5	0.7	0.7	6.9
	2008	0.6	0.7	3.0	0.7	0.7	7.2	0.7	0.7	7.0
	2009	0.7	0.7	5.9	0.7	0.7	6.0	0.7	0.7	6.3
	2010	0.7	0.7	5.5	0.7	0.7	6.0	0.7	0.7	5.1
	Cor.	0.0	0.2	0.0	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.3	0.4
5	2002	0.7	0.8	7.2	0.6	0.6	2.1	0.7	0.8	6.3
	2003	0.7	0.7	5.4	0.8	0.8	6.9	0.6	0.6	4.5
	2004	0.8	0.8	7.1	0.8	0.8	7.1	0.7	0.7	4.8
	2005	0.7	0.8	6.9	0.8	0.8	6.9	0.7	0.8	6.5
	2006	0.8	0.8	3.3	0.8	0.8	7.3	0.7	0.8	5.9
	2007	0.7	0.8	5.5	0.7	0.8	5.5	0.8	0.8	7.0
	2008	0.7	0.7	2.6	0.8	0.8	7.6	0.8	0.8	7.2
	2009	0.7	0.8	5.6	0.8	0.8	6.5	0.8	0.8	6.8
	2010	0.7	0.7	5.3	0.8	0.8	6.8	0.7	0.7	5.2
	Cor.	0.2	0.2	-0.2	0.1	0.1	0.2	0.6	0.6	0.5
6	2002	0.8	0.8	7.5	0.7	0.7	0.3	0.7	0.7	5.6
	2003	0.7	0.8	4.4	0.8	0.8	7.3	0.7	0.7	5.9
	2004	0.8	0.8	7.3	0.8	0.8	7.5	0.8	0.8	3.1
	2005	0.8	0.8	7.6	0.8	0.8	7.2	0.8	0.8	7.0
	2006	0.8	0.8	3.3	0.8	0.8	7.6	0.8	0.8	6.2
	2007	0.8	0.8	7.2	0.8	0.8	5.4	0.8	0.8	6.9
	2008	0.7	0.8	3.6	0.8	0.8	7.7	0.8	0.8	6.2
	2009	0.7	0.7	4.6	0.8	0.8	2.2	0.8	0.8	7.6
	2010	0.7	0.8	6.0	0.8	0.8	6.7	0.7	0.8	6.0
	Cor.	-0.4	-0.3	-0.2	0.4	0.4	-0.1	0.8	0.7	0.2

Table 12. (Continued).

ACZ	year	Julian date								
		201			217			233		
		NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)	NDVI (1km)	NDVI (250m)	LAI (1km)
7	2002	0.8	0.8	7.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	5.0
	2003	0.8	0.8	4.7	0.8	0.8	7.2	0.8	0.8	7.4
	2004	0.8	0.8	7.5	0.8	0.8	7.4	0.8	0.8	5.0
	2005	0.8	0.8	7.4	0.8	0.8	6.6	0.8	0.8	6.2
	2006	0.8	0.8	3.7	0.8	0.8	7.5	0.8	0.8	5.2
	2007	0.8	0.8	6.7	0.8	0.8	3.8	0.8	0.8	7.2
	2008	0.8	0.8	3.9	0.8	0.8	7.4	0.8	0.8	6.9
	2009	0.7	0.8	5.4	0.8	0.8	5.6	0.8	0.8	7.7
	2010	0.7	0.7	5.3	0.8	0.8	6.0	0.7	0.8	6.4
	Cor.	-0.2	-0.2	-0.1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.0
8	2002	0.7	0.8	7.2	0.6	0.6	1.7	0.7	0.8	5.9
	2003	0.7	0.8	4.7	0.8	0.8	6.9	0.7	0.7	5.8
	2004	0.7	0.8	7.4	0.8	0.8	7.2	0.7	0.7	5.2
	2005	0.8	0.8	7.0	0.8	0.8	7.0	0.7	0.7	5.9
	2006	0.8	0.8	4.2	0.7	0.8	7.4	0.7	0.8	5.1
	2007	0.8	0.8	6.3	0.8	0.8	4.3	0.8	0.8	7.2
	2008	0.7	0.8	4.3	0.8	0.8	7.3	0.8	0.8	7.0
	2009	0.7	0.8	5.5	0.8	0.8	6.2	0.8	0.8	7.6
	2010	0.7	0.8	5.8	0.8	0.8	7.0	0.8	0.8	6.2
	Cor.	-0.5	-0.3	-0.1	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3
9	2002	0.8	0.8	4.1	0.7	0.7	0.4	0.8	0.7	7.1
	2003	0.7	0.7	4.0	0.8	0.7	7.2	0.7	0.7	3.9
	2004	0.7	0.7	6.8	0.7	0.7	7.3	0.7	0.7	6.4
	2005	0.8	0.7	7.6	0.8	0.8	7.2	0.8	0.8	7.2
	2006	0.8	0.8	5.6	0.8	0.7	7.2	0.8	0.7	6.9
	2007	0.8	0.8	6.6	0.8	0.7	3.9	0.8	0.7	7.2
	2008	0.7	0.7	1.6	0.8	0.8	7.8	0.8	0.8	6.6
	2009	0.7	0.7	6.2	0.8	0.8	5.6	0.8	0.7	7.1
	2010	0.7	0.7	6.8	0.8	0.8	6.4	0.8	0.8	6.6
	Cor.	-0.4	-0.5	0.3	0.9	0.6	0.7	0.2	0.6	0.1

2.2 쌀단수예측모형개발

2.2.1 생산량 전망의 의미

너무나 많은 환경적(생물학적 혹은 비생물학적, biotic or abiotic factors) 요소가 작물의 생육에 직접적 혹은 간접적으로 관여하고 있기 때문에, 작물의 생산량을 전망한다는 일은 결코 쉬운 일이 아니다. 하지만 다양한 오류의 가능성에도 불구하고, 생산량을 전망하는 이유는 전망치가 나름대로 활용할 가치가 높기 때문이다. 예를 들어, 정책 당국은 사전에 생산량을 예측하고 그에 따른 대비를 할 수 있고, 농가는 수확 시기나 출하시기를 조절하는 등의 준비를 할 수 있다. 또한 RPC(Rice Processing Complex) 등은 사전에 가격을 가장 높게 받을 수 있는 전략으로, 가령, 매입 시기와 도정 후 출하시기 및 저장 기간 등을 조절할 수 있다. 따라서 생산량을 전망하는 일은 다양한 관련 주체들에게 미래의 일어날 일의 정보를 제공함으로써 사전에 준비할 수 있는 일은 준비하도록 하여 충격을 최소화하는 데 기여할 수 있다.

일반적으로 생산량을 상당한 정확성을 가지고 조기에 전망할 수 있다면, 다양한 이해 관계자들이 해당 정보를 활용할 수 있다. 필요에 따라 시장에서의 충격을 완화시킬 수도 있고, 일부 시장참여자의 행동은 시장의 충격을 더 확장시켜 가격 변동폭을 더 확대하는 역할을 하기도 한다. 가령, 시장에서의 변동성을 완화하려는 정책 당국의 입장에서는 충격을 최소화하는 방향으로 정책 수단을 사전에 준비할 수 있다. 이에 반해, 자신의 이윤 추구를 최우선 목표로 삼고 있는 상인들에게는 평년보다 더 많은 이윤을 추구할 기회가 되기도 한다. 따라서 사전 전망치가 경제 주체에 어떤 영향을 주게 될 지는 경제 주체마다 조금씩 차이가 있을 수 있다.

일반적으로 특정 시기에 생산량을 측정하게 되면, 아무리 정확하게 측정을 한다고 하더라도, 약간의 오류가 나타날 수 있다. 이 오류를 ϵ_t 라 하면, 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{Q}_t = Q_t + \epsilon_t \quad (6)$$

단, \hat{Q}_t 는 t 기의 생산량 전망치이고, Q_t 는 t 기의 실측치 생산량이다. 논의의 편의상 오차항인 ϵ_t 는 평균이 0이고, 분산이 σ^2 이라고 가정한다. 이 오차항에는 실제 관측 생산량

측정 혹은 전망 과정에서 나타나는 부정확성이 포함된다. 이런 경우, $E[\epsilon_t] = 0$ 이기 때문에 추정치와 실측치의 기댓값은 같다. 따라서, 식(6)은 다음 식(7)과 같이 표현할 수 있게 된다.

$$E[\widehat{Q}_t] = E[Q_t + \epsilon_t] = Q_t \quad (7)$$

하지만 수확 시기가 아니라, 수확기 이전에 생산량을 추정하게 되면, 쌀을 포함한 농작물은 전망하는 시기와 실제 수확 시기에 사이에 생산량에 영향을 줄 수 있는 사건(event)이 나타날 수 있기 때문에, 일반적으로 오차항 외에도 전망시기와 수확시기 차이 때문에 발생하는 오차항이 추가될 수 있다. 예를 들어, 전망치가 제시된 시기와 수확기 사이에 기온이 갑자기 내려가며 생육 발달을 저해할 수도 있고, 태풍이 와 침수 피해나 바람의 피해를 입을 수 있다. 또한, 폭우가 내려며 생육 발달이 늦어져 수확기 생산량이 크게 줄어들 수도 있다. 어떤 경우에는 이상 고온으로 생산량이 영향을 받을 수도 있다. 길지 않은 기간이지만, 수확기에 생산량에 영향을 줄 수 있는 심각한 병충해가 발생할 수도 있다.

이와 같이, 생산량 전망 시기와 실제 수확시기 사이에는 시간차가 존재하고, 그 과정에서 나타나는 변수들은 실제 전망을 하는 연구자가 통제할 수 없는 경우가 대부분이다. 이러한 변수들은 또 다른 오차항이 된다. 수확기 이전에 생산량을 추정함으로써 나타나는 이러한 오차를 μ_{t-1} 라고 하면, 수확기 이전 추정 생산량은 다음 식(8)와 같다.

$$\widehat{Q}_{t-1} = Q_t + \epsilon_{t-1} + \mu_{t-1} \quad (8)$$

단, $t-1$ 에 추정하는 과정에서 나타나는 일반적인 오차는 ϵ_{t-1} 이라 한다. 이 항은 이전과 마찬가지로 평균이 0이고 분산이 σ^2 이라고 가정할 수 있다.

문제는 전망시기와 수확 시기 사이에 나타나 생산량에 영향을 미칠 수 있는 사건들(events)이다. 이런 사건들은 생산량에 직접 영향을 미칠 수 있기 때문에, 이런 사건이 실제 일어나게 되면 $t-1$ 기에 추정한 값의 정확도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 수확기 이전 생산량 전망치의 정확도는, 수확기와 전망시기 사이에 나타날 수 있는 오차항 μ_{t-1} 에 달려 있다고 할 수 있다.

만약 생산량에 직접 영향을 주는 사건이 일어난다면, 오차항 μ_{t-1} 의 평균은 0이 아니게 된다. 가령, 평균적인 기상조건보다 더 좋은 기상이 지속되었다면 오차항의 평균은 플러스(+)의 값을 가지게 되지만, 기상이 악화되거나 생육을 저해하는 이상기후가 발생했다면 생산량이 줄어들 것이므로, 오차항의 평균은 마이너스(-)가 된다.

유의해야 할 것은 전망시기와 수확기 사이에 나타날 수 있는 오차항은 농작물의 경우 대부분 자연조건의 변화 때문에 발생한다는 점이다. 전망시기와 수확 시기 사이에, 농가가 비료를 더 투입할 수도 있고 농가가 노동력을 더 투입할 수도 있다. 하지만 이러한 변수들은, 평년과 크게 차이가 날 때 생산량에 영향을 줄 수 있다. 농업인들의 행동을 보면, 매년 평균적인 행동에서 크게 벗어나지 않는다. 즉, 농가의 행위로 생산량에 직접 영향을 줄 수 있는 사건의 발생 가능성은 지극히 낮다고 할 수 있다. 따라서 사전 전망에서 가장 큰 오류를 가져올 수 있는 요인은 자연적인 요인이라고 할 수 있다.

이러한 요인들은 대부분 연구자가 통제할 수 없는 변수들인 경우가 대부분이다. 따라서 이런 변수들은 단순한 측정상의 오류인 ϵ_{t-1} 가 독립적이다. 즉, 통계학적으로 이야기 하면,

$$Cov(\epsilon_{t-1}, \mu_{t-1}) = 0 \quad (9)$$

의 관계가 성립한다고 할 수 있다.

이제 사전 전망치의 기댓값을 계산해보면,

$$\begin{aligned} E[\widehat{Q}_{t-1}] &= E[Q_t + \epsilon_{t-1} + \mu_{t-1}] \\ &= Q_t + E[\epsilon_{t-1}] + E[\mu_{t-1}] \\ &= Q_t + E[\mu_{t-1}] \end{aligned} \quad (10)$$

따라서 $t-1$ 기에 추정된 전망치가 실제 수확기의 생산량과 일치하는냐 여부는 전적으로 통제 불가능한 변수인 μ_{t-1} 에 달려 있다고 할 수 있다.

만약 전망치 제시 이후의 오차항에 큰 변화가 없어 평균이 0이라면, 즉 $E[\mu_{t-1}] = 0$

인 상황이라면, 다음 식(11)가 성립한다.

$$E[\widehat{Q}_{t-1}] = Q_t \quad (11)$$

이 수식을 본 연구에서의 벼생육과 벼작황으로 설명한다면, 전망 시기 이전과 같은 기상조건이나 발육조건이 지속된다면, 전망치가 실제 수확량과 큰 차이가 나지 않는다는 것을 의미한다. 따라서 위의 수식에는 현재까지의 기상 조건과 생육 조건이 수확시기까지 지속된다는 가정을 내포하고 있다고 할 수 있다.

하지만 $E[\mu_{t-1}]$ 의 값이 0이 아니라면, 즉 $E[\mu_{t-1}] = A_t$ 와 같은 값을 가진다면, 전망치는 실측치와 차이가 나타나게 된다. 기댓값을 다시 적으면, 다음 식(12)이 된다. 즉, 전망치는 A_t 만큼 실제 생산량과 차이를 보이게 된다. A_t 의 절댓값이 크면 클수록 전망치의 정확도는 떨어지게 되고, 작으면 작을수록 정확도는 올라가게 된다.

$$\begin{aligned} E[Q_t] &= E[Q_t + \epsilon_{t-1} + \mu_t] \\ &= Q_t + A_t \end{aligned} \quad (12)$$

앞에서도 이야기했듯이, μ_{t-1} 는 연구자가 통제할 수 없는 변수들이다. 따라서 전망치의 정확도는 자연조건이 얼마나 평균에서 이탈하지 않는가에 달려 있다고 할 수 있다. 자연조건이 매년 평균 수준을 유지한다면, $E[\mu_{t-1}] = A_t = 0$ 이 될 가능성이 높다. 하지만 이상기후가 나타나거나 하게 되면, $E[\mu_{t-1}] = A_t \neq 0$ 이 되므로 전망치의 정확도는 떨어지게 된다.

전망치의 분산은 다음 식(13)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} Var(\widehat{Q}_{t-1}) &= [\widehat{Q}_{t-1} - E[\widehat{Q}_{t-1}]]^2 \\ &= [(Q_t + \epsilon_{t-1} + \mu_t) - E[Q_t + \epsilon_{t-1} + \mu_t]]^2 \\ &= [\epsilon_{t-1} + [\mu_t + E(\mu_t)]]^2 \\ &= Var(\epsilon_{t-1}) + Var(\mu_{t-1}) + Cov(\epsilon_{t-1}, \mu_{t-1}) \end{aligned} \quad (13)$$

그런데 추정상의 오류와 기상상의 오류는 서로 확률적으로 독립이므로(말하자면, $Cov(\epsilon_{t-1}, \mu_{t-1})=0$), 다음 식(14)이 성립한다.

$$Var(\widehat{Q}_{t-1}) = Var(\epsilon_{t-1}) + Var(\mu_{t-1}) \quad (14)$$

$Var(\epsilon_{t-1}) = \sigma^2$ 라 하고, $Var(\mu_{t-1}) = \sigma_A^2$ 라 하면, 분산은 다음 식(15)라 적을 수 있다.

$$Var(\widehat{Q}_{t-1}) = \sigma^2 + \sigma_A^2 \quad (15)$$

일반적으로 전망시기와 수확시기 사이에 생산량에 영향을 줄 수 있는 사건은 평균적인 상황에서 벗어난 사건일 가능성이 높으므로, $Var(\mu_{t-1}) = \sigma_A^2$ 은 큰 값을 가질 것으로 예상된다. 결국 전망치가 기댓값에서 얼마나 넓게 분포 되느냐의 여부는, 전망시기와 수확기 사이의 이상 기후 발생 가능성에 가장 크게 의존하다고 할 수 있다. 따라서 전망시기와 수확시기 사이에 발생하는 오차를 줄일 수 있다면, 생산량 전망치는 상당 수준의 정확성을 가질 수 있게 된다.

쌀의 경우, 매년 9월 15일을 기준으로 1주일 정도 동안 전국의 표본조사를 그해 수확기의 쌀 생산량을 예측한다. 하지만 이러한 전망은 수확기까지 나타날 수 있는 다양한 사건들(events)을 전혀 반영하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 9·15예상량 조사는 논 m²당 포기수, 포기당 유효 이삭 수, 이삭당 완전 낱알 수 등을 고려하여 전체 생산량을 예측한다. 즉, 표본대상 지역에 포함된 예상 생산량을 근거로 전체 수확량을 예측하는 방법이다. 따라서 이러한 조사방법은, 조사방법의 개선, 표본면적의 확대 등의 방법을 통해 조사 당시에 나타날 수 있는 오차항(ϵ_{t-1})의 분산을 줄일 수 있다. 하지만 조사 시기 이후에 나타날 수 있는 오차항(μ_{t-1})을 반영할 수 있는 방법이 없다. 즉, 현재의 조사방법으로는 조사 시점 이후에 나타날 수 있는 사건(events)의 영향을 줄일 방법이 없다.

만약 조사시점 이후에 나타날 수 있는 오차항을 줄일 수 있는 방안이 있다면, 생산량 전망치는 훨씬 정확도를 높일 수 있다. 결국 그렇게 하기 위해서는 사전 조사 시점 이후에 나타난 과거의 기상자료를 분석하여 생산량 전망에 반영하는 방법을 찾아내야 한다. 그런 방법을 통해 사전 조사 시점 이후 나타날 수 있는 오차항(μ_{t-1})의 평균과 분산을 줄일 수 있다면, 생산량 전망치의 정확도가 크게 개선되면서 정책당국도 사전에 좀 더

면밀한 정책 대안 마련이 가능해진다. 따라서 관건은 연구자가 통제하기 어려운 변수인 오차항(μ_{t-1})을 어떻게 활용하여 오류를 최소화할 것인가 하는 데 있다. 사전 조사 시점 이후 발생하는 변수들을 반영할 수 있는 모델이 개발된다면, 정확한 전망치를 제시하는 게 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

이런 측면에서 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)를 활용한 생산량 예측의 유용성을 고려해볼 수 있다. 이전에도 설명했듯이, 현재 통계청이 하고 있는 9·15조사는 실제 수확기까지에 나타날 수 있는 기상 변화 등의 변수를 고려할 수 없다. 단지, 9월 중순의 작황과 같은 성격을 띠는 조사라고 할 수 있다. 하지만 본 연구에서 개발한 식생지수를 기반으로 등숙기 기상여건을 고려한 모형을 통한 예측에는 전망 시기와 수확시기 사이의 관측 기상자료나 계절 예측자료 등의 변수가 포함된다. 즉, NDVI와 등숙기 기상여건을 활용한 예측은 9·15조사와 달리, 수확시기까지의 시간 사이에 발생할 수 있는 변수들을 모델에 반영하여 오차를 줄일 수 있게 된다. 즉, NDVI와 등숙기 기상여건을 활용하면, 9·15조사에 따른 분산보다 더 작은 분산을 얻을 수 있어서 그만큼 예측의 정확성을 높일 수 있는 효과를 얻을 수 있게 된다. 이승호 등(2008)은 등숙기의 기온 및 일조시간 등이 출수기 이후 쌀 수량에 중요하게 영향을 미친다고 보고한 바 있다.

2.2.2 쌀단수예측모형

식생지수(NDVI와 LAI)만을 활용하여 쌀단수를 예측하는 모형의 경우, 등숙기 기상조건을 반영하기 어려운 단점을 극복하기 위해 식생지수와 함께 등숙기 기상조건을 고려한 쌀단수예측모형을 개발하였다. 그러나 관측기상자료 활용의 경우, 9월의 기상조건을 고려한다면 사실상 10월 초에 쌀단수 예측이 가능하게 되어, 9.15예상량발표시점(9월 21일)보다 조기에 쌀생산량을 예측하기 위한 모형 개발이라는 본 연구의 중요한 목적 중의 하나에 부합하지 않는다. 따라서 본 연구의 주요 목적인 조기에 쌀 생산량을 예측하기 위해 식생지수와 함께 사용할 등숙기의 기상조건을 APCC MME 계절예측자료를 활용하여 고려하였다. 이러한 쌀단수예측모형개발 과정을 Figure 20에 모식화하여 표현하였다. APCC MME 계절예측자료를 활용한 쌀단수예측모형으로 추정된 쌀단수 추정치를 관측 쌀단수자료와 전국 61개 ASOS 관측자료를 사용하여 구축한 전국 및 농업기후지대별 쌀단수예측모형을 이용하여 추정된 쌀단수 추정치와 비교하여 APCC MME 계절예

측자료를 활용한 쌀단수예측모형의 예측성을 평가하였다.

본 연구에서는 쌀단수예측모형을 개발하기 위해 다중선형 회귀분석방법을 사용하였으며, 회귀분석에는 PROC REG 프로시저(The SAS system for Windows, 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하였다. 다중선형 회귀분석은 하나의 종속변수와 두 개 이상의 독립변수의 관계를 추정하는 회귀분석으로, k개의 독립변수가 있다면 다음 식(16)과 같이 표현할 수 있다.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (16)$$

여기서, y =종속변수

β_0, \dots, β_k =추정되는 회귀계수

x_1, \dots, x_k =k개의 독립변수

ϵ =오차

다중회귀모형에서는 독립변수가 여러 개이므로 종속변수를 가장 잘 설명하는 모형을 구하기 위해 의미 있는 독립변수들을 선택하는 것이 중요하다. 이러한 독립변수들을 선택하는 방법을 변수선택법이라 하는데, SAS에서는 전진선택법(FORWARD), 후진제거법(BACKWARD), 증감법(STEPWISE) 등(SAS Institute Inc., 2008)의 방법 등을 지원하고 있으며, 본 연구에서는 증감법을 사용하였다. 증감법은 전진선택법을 개선한 방법으로 한 번 선택된 변수가 계속해서 회귀식에 포함되지 않고, SLSTAY 옵션에 의해 모형 중 중요하지 않은 변수를 제거하는 하는 방법이다.

본 연구에서는 쌀단수예측모형에서 종속변수는 쌀단수(10a 당 쌀생산량)이고, 독립 변수로는 NDVI나 LAI의 식생지수와 등숙기 기상요소로는 작물의 생육에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 기온, 강우량, 일조시간(윤진일, 1999)을 고려할 수 있도록 8월, 9월, 10월, 8월에서 10월의 석 달 동안의 월평균 강수량, 월평균 일조시간, 월평균기온, 월평균일최고기온, 월평균일최저기온이다.

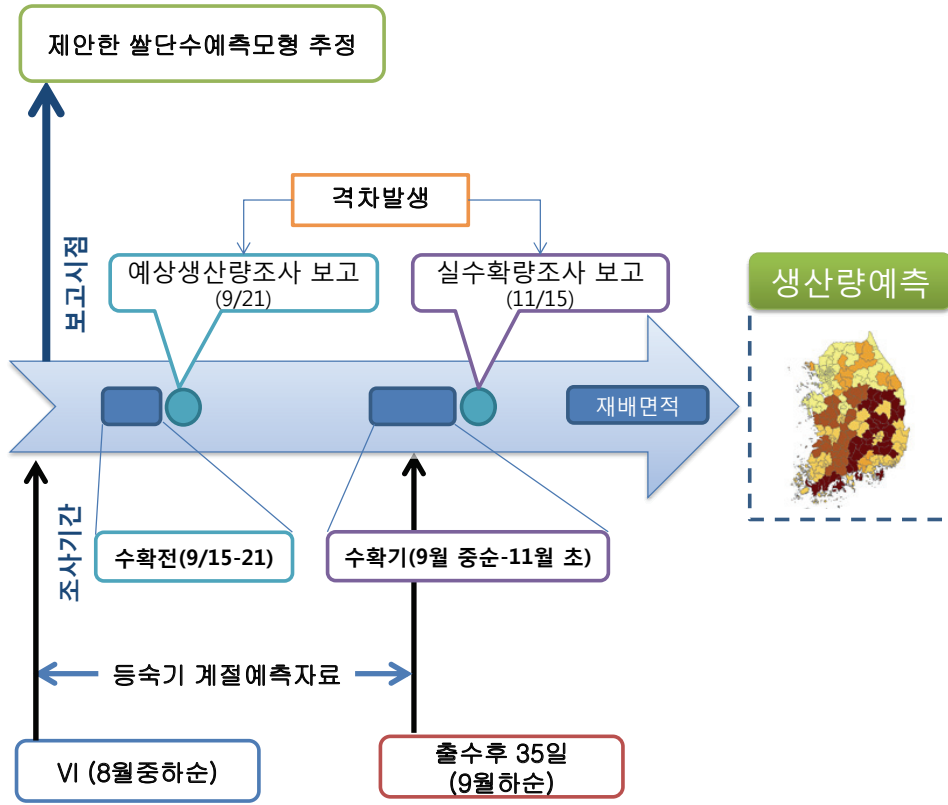


Figure 20. Schematic of a plan using APCC MME seasonal forecasts.

3. 연구결과 및 토의

3.1 쌀단수예측모형개발

전국 61개 ASOS관측지점의 관측자료를 2002년부터 2010년(MODIS 식생지수를 수집 가능한 2002년 이후부터 APCC MME hindcasts자료 확보가 가능한 2010년까지)까지의 매년 8월, 9월, 10월, 8월에서 10월까지의 석달평균자료와 MODIS의 NDVI와 LAI자료를 활용하여 쌀단수예측모형을 구축하였다. 쌀단수예측모형은 관측 기상값을 전국평균한 자료와 전국평균한 MODIS 식생지수를 사용한 전국규모 쌀단수예측모형과 각 농업기후지대별로 관측 기상값과 MODIS 식생지수를 재분류한 자료를 활용한 농업기후지대별 쌀단수예측모형으로 나누어 구축하였다. 쌀단수예측모형은 쌀단수를 설명하

는 여러개의 독립변수로 구성하는 다중회귀모형을 이용하였으며, 통계적분석은 SAS 통계패키지를 활용하였으며, 특히 독립변수를 선택하는 방법으로는 증감법(STEPWISE)을 사용하였다. 이렇게 개발한 쌀단수예측모형에 APCC MME hindcasts 자료를 통계적규모 축소법을 이용하여 각 지점별로 추정된 값을 사용하여 APCC MME 계절예측자료를 활용하여 9.15예상량조사의 보고시점(통상 9/21)보다 조기에 쌀단수를 예측성을 평가하였다.

3.1.1 전국 쌀 단수 예측모형

본 연구에서 유의수준은 나상일 등(2012)이 사용한 0.1를 사용하였는데, 독립변수의 결정에 필요한 유의수준은 보통 통계학적으로 정해진 기준은 없고, 경험적으로 선택하는 것으로 알려져 있다. 유승훈과 양창영(2006)은 유의수준은 보통 0.05를 많이 사용하지만 시계열 관측값의 수가 적을 경우 0.1의 유의수준이 적절하다고 한 바 있다. 본 연구에서 사용한 기상자료 중 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온 사이에는 다중공선성(Variance Inflation Factor, $VIF > 10$)이 확인이 되었다. 이러한 결과는 나상일 등(2012)의 연구에서도 보고된 바 있다. 본 연구에서는 모형 자체의 유의성을 고려하여 모델설명력이 가장 높은 모델을 선정하였다.

본 연구에서 사용한 MODIS 식생지수 중 NDVI의 경우, 1km 해상도와 250m 해상도에서 연중일 201일과 217일 NDVI는 독립변수로 선택되지 못했다. LAI(1km 해상도)의 경우에는 본 연구에서 쌀단수예측모형에 활용성을 평가한 연중일 201일, 217일, 233일 모두에서 LAI가 선택되지 못했다. 이는 쌀단수와 각 MODIS 식생지수간의 피어슨 상관계수(Pearson Correlation Coefficient)가 그 이유를 잘 설명하고 있는 것으로 보인다. 피어슨 상관계수는 연중일 233일의 식생지수 중 1km해상도의 NDVI가 0.70으로 가장 높았으며, 250m 해상도의 경우는 약 0.60으로 그 뒤를 이었다. LAI의 경우는 연중일 233일의 LAI와 쌀단수와의 상관관계가 0.29로 극히 낮았다. 연중일 201일의 경우에는 본 연구에서 사용한 MODIS 식생지수와 쌀단수가 음의 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 홍석영 등(2012)의 결과와도 유사하였다.

수정결정계수가 가장 높았던 경우는, 1km 해상도의 연중일 233일 NDVI를 활용하고, 9월의 강우량, 일최고기온이 독립변수로 선택된 경우로써, 모형자체의 유의성을 나타내는 p-value가 약 0.019로 통계적으로 유의하였다. 이 경우, RMSE(Root Mean

Square Error)가 약 14.2kg/10a였고, 수정결정계수는 0.747이었다. 한편, 피어슨 상관 계수가 0.60으로 비교적 높았던 250m 해상도의 연중일 233일의 NDVI의 경우는 8월, 9월 10월 석달의 평균 강우량이 선정이 되었을 때로써, RMSE가 약 16.8kg/10a이었으며, 수정결정계수는 0.65보다 모델 설명력이 더 좋은 것으로 나타났다. 또한, 1km해상도 연중일 233일의 NDVI만을 사용하는 경우(식17)와 비교해 보면 RMSE가 약 21.4kg/10a로 아래 식(29)의 RMSE보다 다소 높았으며, 수정결정계수도 약 0.267로써, 식(29)의 수정결정계수 0.747 보다 낮았다. 따라서, 식생지수뿐 만아니라 기상조건을 활용하는 식이 모델설명력이 훨씬 강한 것으로 나타났다. 따라서, 관측기상을 활용한 전국규모의 쌀단수예측모형은 다음 식(18)과 같다.

$$Yield = 703.35 NDVI_{1km, 233} - 34.82 \quad (17)$$

$$Yield = 582.99 NDVI_{1km, 233} - 0.11 P_9 + 13.18 T_{max,9} - 269.71 \quad (18)$$

여기서, $Yield$ =쌀단수(10a당 생산량)

$NDVI_{1km, 233}$ =1km 해상도 연중일 233일 NDVI

P_9 =9월의 누적강수량의 평균값

$T_{max,9}$ =9월의 월평균일최고기온

위 식(18)을 살펴보면 쌀단수와 1km해상도 연중일 233일의 NDVI의 경우는 양의 관계를 보였으며, 강수의 경우는 쌀단수와 음의 관계가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 최고기온은 쌀단수와 양의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 나상일 등(2012)의 연구결과와 아주 유사하였다.

본 연구에서 개발한 전국규모 쌀단수예측모형 식(17)과 식(18)을 평가하기 위해 다음 식(19)의 평균절대오차백분율(MAPE, Mean Absolute Percentage Error)지표를 이용하였다.

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \quad (19)$$

여기서, N =샘플수

O_i = i 번째 관측값

P_i = i 번째 모의값

위 식(19)를 이용하여 평균절대오차백분율을 계산하였다. 식생지수만을 이용하여 전국규모 쌀단수를 예측할 경우(말하자면, 식17) 평균절대오차백분율이 약 2.8%로 가장 오차가 큰 것으로 나타났고, 식생지수와 함께, 관측기상자료를 이용한 경우(말하자면, 식 18)에는 평균절대오차백분율이 약 1.7%로 가장 낮은 오차값을 보였다.

전국평균 관측 쌀단수와 본 연구에서 개발한 전국규모 쌀단수예측모형(식18) 및 1km해상도 연중일 233일의 NDVI만을 사용하는 회귀식(식17)을 이용하여 2002년부터 2010년까지의 추정쌀단수를 비교하여 Figure 21에 제시하였다. Figure 21a를 보면 2007년에 NDVI만을 이용한 모형의 추정값이 가장 오차가 큰 것으로 나타났다. 전반적으로 쌀단수 500kg/10a를 기준으로 쌀단수가 500kg/10a보다 낮을 때는 세 가지 모형 모두 대체로 과대추정하는 경향을 보였고, 쌀단수가 500kg/10a보다 높을 때는 세 모형 모두 대체로 과소추정하는 경향을 보였다(Figure 21a).

Figure 21b는 전국평균 관측 쌀단수와 추정 쌀단수를 년도별로 비교한 그림이다. 2003년과 2010년에는 세 모형이 모두 쌀단수를 관측치와 유사하게 추정하였으나, 2007년, 2008년, 2009년에는 식생지수만을 활용한 모형의 추정치가 관측 쌀단수나 다른 모형(식18)의 추정치와는 비교적 큰 차이를 보였다. 이러한 차이는 Figure 2와 비교하여보면 2007년의 경우, 9.15예상량조사보다 실수확량이 2.1%감소하였고, 2008년과 2009년의 경우는 실수확량이 예상량보다 증가한 경향과 유사하였다. 이는 박동규 외(2011a)에 따르면, 9.15예상량조사의 경우 실수확량 차이가 나는 이유를 등숙기 기상 조건을 반영하지 못했기 때문이라고 판단할 수 있다. 연중일 233일의 NDVI만을 활용한 모형의 경우에도 NDVI의 값이 연중일 233일부터 16일간(9월 초) 중첩한 영상의 값으로 그 이후의 기상조건(말하자면, 등숙기 기상조건)을 제대로 반영하지 못했기 때문으로 판단된다.

관측기반 9월의 누적강우량과 일평균최고기온의 anomaly를 Figure 22에 나타내었다. 9.15예상량조사 추정치와 실수확량과의 차이가 비교적 큰 2007년에서 2009년까지

의 기상여건을 살펴보면, 2008년과 2009년에는 9월누적강우량이 평균기후값보다 낮았고, 일평균최고기온의 경우는 평균기후값보다 높았는데, 이는 모두 쌀단수예측모형(식18)에서 쌀단수를 증가시키도록 작용을 한다. 이러한 영향으로 실제 2008년과 2009년에는 실수확량이 약 5%정도 9.15예상량보다 높게 나타났다. 반면, 2007년에는 9월누적강우량과 일평균최고기온이 모두 쌀단수를 감소하도록 영향을 주어, 실수확량이 9.15예상량보다 약 2.1%정도 낮게 나타났다. 따라서, Figure 21b에서와 같이 9월 등 등숙기의 기상여건을 반영하는 경우가 전국규모 쌀단수를 추정하는 더욱 효과적이라고 할 수 있다.

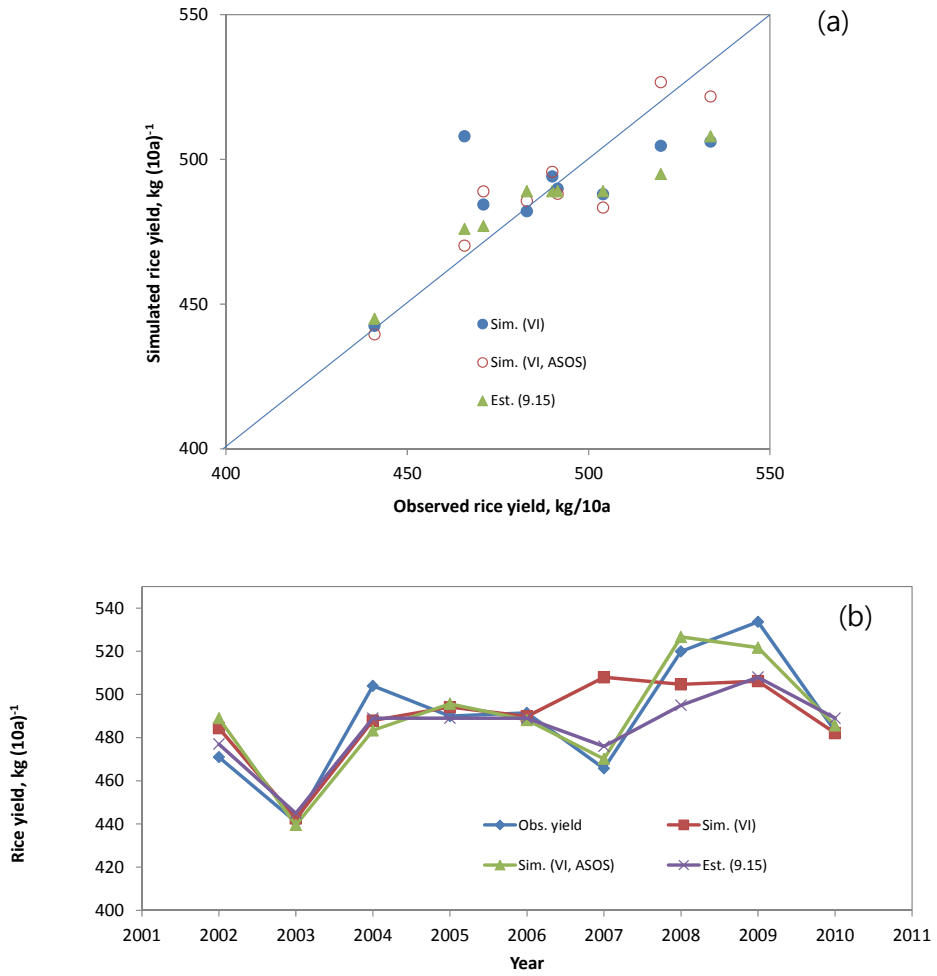


Figure 21. Comparison between observed and simulated rice yields: (a) Simulated rice yields vs. Observed rice yields and (b) Rice yield variations over the study period. Obs. yield for observed rice yield, Sim. (VI) for simulated rice yields with only NDVI, and Sim. (VI, ASOS) for simulated rice yields with NDVI and observed meteorological datasets.

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Alpine(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
South Western Coastal Region	
Southern Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

하는 방법을 사용하였다. 하지만, 반대로 식생지수만이 독립변수로 선택되는 경우도 발생했는데, 관측기상기반 모형에서는 ACA5, ACA7, ACZ9가 식생지수만이 독립변수로 선택되었다. 각 모형의 독립변수와 쌀단수와의 상관관계를 살펴보면, 일조시간은 양의 관계가 나타났고, 강우량은 음의 관계가 일정하게 나타났으나, 기온의 경우는 일관된 결과를 보이지는 않았다.

각 농업기후지대별로 피어슨상관계수를 살펴보면 대부분의 농업기후지대에서 연중일 233일의 식생지수와 쌀단수의 피어슨상관계수가 0.5이상의 비교적 높은 값을 보였으나, ACZ9에서는 연중일 217일의 1km 해상도의 NDVI가 약 0.92의 피어슨 상관계수를 보여 제일 높았다. 이러한 결과가 모형개발의 독립변수선택에 영향을 미쳐 ACZ9에서는 연중일 217일의 1km 해상도의 NDVI가 선택된 것으로 판단된다. ACZ1에서는 1개 ASOS의 자료만이 사용되어 ACZ1 전체 농업기후지대의 특성을 제대로 반영하고 있지 못하는 것으로 판단된다. 또한, ACZ1과 ACZ2는 각각 산간고랭지대와 동해안지대로 분류가 되어있는 지대로서, 대부분이 강원도 지역이어서 벼의 경우 주로 조생종이 적합한 지역이다. 조생종의 경우 대표적 출수기도 7월 말에서 8월 초로 연중일 217일이나 연중일 201일에 더 근접한다. 이러한 이유들이 ACZ1과 ACZ9에서 좀 더 빠른 연중일의 식생지수가 선택된 것으로 보인다.

각 농업기후지대별 관측 쌀단수와 관측기반 농업기후지대별 쌀단수예측모형의 평가 지표를 Table 17에 요약하여 제시하였다. 모형의 평가지표로는 크게 수정결정계수와 평균절대오차백분율을 사용하였다. 관측기반 쌀단수예측모형의 경우, 평균절대오차백분율이 약 0.9(ACZ1)에서 5.1%(ACZ7)의 범위를 보였다. 수정결정계수의 경우에도 대부분 0.7이상의 비교적 높은 값을 보였으나, ACZ7의 경우 관측기반 모형에서 0.1로 아주 낮은 값을 보였고다. 따라서, 농업기후지대별 쌀단수예측모형은 모형개발에 필요한 기간을 더욱 늘리거나, 기상자료 관측지점 확대 등의 기상자료 확보를 통해 모형의 신뢰성을 확보해야 할 것으로 보인다.

이러한 방법으로 쌀단수를 예측하는 기술을 더욱 발전시켜 NDVI를 활용한 생산량 예측이 상당히 정확성을 가지고 있는 것으로 판단되어 상호 보완적으로 발전해나갈 경우, 정부는 통계청의 조사 대상을 지금보다 크게 줄여 비용을 대폭 절감할 수 있다. 통계청의 조사 방법은 전국적으로 표본으로 선택된 3,359개 필지를 대상으로 일일이 단위 면적당 포기 수, 포기당 유효 이삭 수, 이삭당 완전 낱알 수 등을 조사해야 하므로, 상당

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Alpine(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

Table 14. MAPE and Adjusted R-squared values for the regression models against observed rice yields in agro-climatic zones.

ACZ	VI and ASOS [†]	
	MAPE(%)	Adj_RSQ [§]
1	0.9	0.93
2	3.5	0.55
3	1.5	0.81
4	1.3	0.86
5	2.7	0.39
6	3.0	0.69
7	5.1	0.10
8	1.6	0.81
9	3.7	0.85

[†] VI and observed meteorological datasets were used for the model.

[§] Adjusted coefficient of determination.

3.2 쌀단수예측모형적용

3.2.1 APCC MME Hindcast 자료

광역규모 순환과 지역규모의 기후 변동간의 밀접한 관련성이 통계적규모축소법을 이용하여 광역규모 순환과 지역규모의 기후 변동을 추정하기 위한 가장 중요한 요건이다. 광역규모와 지역규모간의 결합변동성이 매우 강한 모드로 추출이 되고, 두 규모간의 결합 변동성에 대한 물리적 해석이 가능하다면 이러한 방법으로 규모축소하여 추정한 값은 신뢰도가 매우 크다고 할 수 있다(김맹기, 2005). 본 연구에서는 EOFa를 이용하여 불필요한 잡음을 제거한 후, SVDA를 이용하여 두 규모간의 결합변동성을 조사하였으며, 김맹기(2005)가 경험에 기초하여 사용한 상위 10개 EOF모드와 식(1)의 SVD모드수도 10개를 사용하였다.

Figure 23는 9월 한반도 강수량과 200hPa 동서바람의 결합변동 모드 중에서 첫 번째 모드를 타나낸다. 이 변동은 전체 변동의 약 23.6%를 설명하며, 두 시간계수의 상관 계수가 0.91로 99% 신뢰수준에서 밀접한 관련성을 보여준다. 200hPa 고도 동서바람은 상층제트의 패턴의 변화를 나타내며, 한반도를 중심으로 상층제트의 위치가 남북으로 변하는 시그널이 나타나고 있다. 실제 9월 평균 상층제트의 중심은 중국대륙(80E~100E)과 일본열도 오른쪽(150E)에 위도 약 40도 위치하고 있다. 따라서 상층제트가 남쪽으로 치우치게 되면 한반도 강수량은 증가하는 패턴으로 나타나고 있다. 광역규모 시그널 (a)이 실제 관측이 아닌 MME 모델의 시그널이지만 중관기상학의 관점에서 상층제트가 한반도 상공에 위치하고 있으며, 지상저기압을 발달시키고, 하층제트와의 커플링이 유도된다면 실제로 호우사례로 나타난다.

Figure 24는 9월 한반도 일최고기온과 850hPa 온도의 결합변동 모드 중에서 첫 번째 모드를 타나낸다. 이 변동은 전체 변동의 약 23.9%를 설명하며, 두 시간계수의 상관 계수가 0.97로 99% 신뢰수준에서 밀접한 관련성을 보여준다. 두 결합변동 모드는 모두 온도를 나타내는 변수로 물리적인 설명보다는 실제 MME 광역규모 예측인자가 지역규모의 예보인자와 지역적으로 같은 변동을 하고 있는지가 중요하다. 광역규모 예측인자에서 한반도를 포함한 대부분 지역에서 상승(양의) 시그널이 나타나고 있으며, 한반도와의 결합패턴 역시 대부분 지역에서 양의 시그널이 나타나고 있다. 한편, 이 모드와 연관된 시간계수는 경년변동에 선형경향을 가지고 두 시그널 모두 기온이 상승하는 모드로 지구온난화의 결합패턴임을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 추출된 두 규모사이의 결합변동성은 물리적해석이 뒷받침되는 결합변동성이 매우 강한 것으로 나타나 예측변수 추정에 대한 신뢰성이 크다고 볼 수 있다.

Table 2. Two different classifications of Agro-Climatic Zones for cropping systems.

19 Categories of Ago-Climatic Zone	9 Categories of Agro-Climatic Zone
Taebaek Alpine Region	Apline(ACZ1)
Taebaek Semi-Alpine Region	Mountainous(ACZ2)
Noryeong Sobaek Mountainous Region	
Sobaek Mountainous Region	Central Northern Inland(ACZ3)
Northern Central Inland Region	
Central Inland Region	
Western Central Plain Region	Central Northern West Coastal(ACZ4)
Western Sobaek Inland Region	Central Southern Coastal(ACZ5)
Southern Charyeong Plain Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	Gyeongbuk Inland(ACZ6)
Yeongnam Basin Region	
Noryeong Estern&Western Inand Region	Southern Inland(ACZ7)
Honam Inland Region	
Yeongnam Inland Mountainous Region	
South Western Coastal Region	Southern Coastal(ACZ8)
Southern Coastal Region	
South Eastern Coastal Region	
North Eastern Coastal Region	Eastern Coastal(ACZ9)
Northern Central Inland Region	

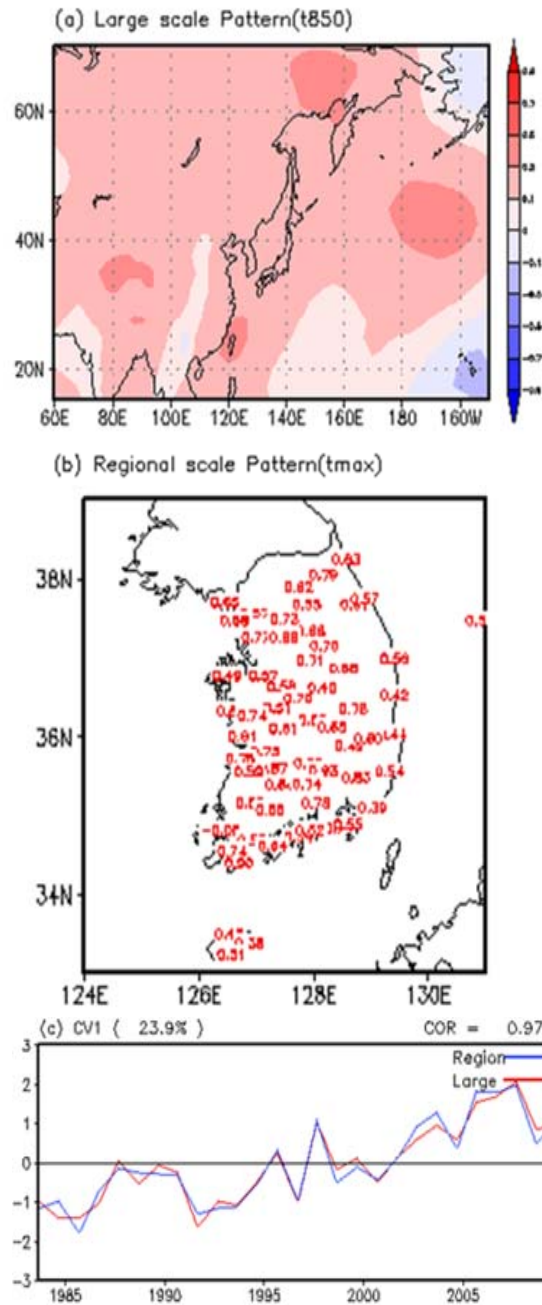


Figure 24. The first coupled pattern between (a) T850 and (b) Monthly mean maximum temperature in Sept. (c) Correlation coefficient(0.87) between the respective amplitude time series of these patterns.

Figure 25는 관측 및 추정 예측변수간의 상관관계를 나타낸 것이다. 본 연구에서 APCC MME hindcasts 자료를 통계적으로 규모축소하기 위해 사용한 광역규모의 예측인자로는 SLP(해면기압, Sea-Level Pressure), T2m(temperature at 2m), T850(850hPa temperature), u200(200hPa zonal wind), u850(850hPa zonal wind), v200(200hpa meridional wind), v850(850hpa meridional wind), z500(500hpa geopotential height)으로 총 8개이며, 지역규모의 예측변수로는 작물에 영향을 많이 주는 것으로 알려진 강우량, 일조시간, 일평균기온, 일최고기온, 일최저기온의 5개 중 전국규모쌀단수예측모형(말하자면, 식 18)에 독립변수로 선택된 강우량과 일최고기온이다. 본 연구에서는 관측 기반 농업기후지대별 쌀단수예측모형은 각 기후지대별로 상이한 예측성을 보여주고 있어서(Table 13), APCC MME hindcasts 자료를 사용하여 조기예측성 평가는 검토하지 않았다.

각 예측변수별로 강우량의 경우 상관계수가 -0.03 에서 0.54 사이의 범위였고, 9월의 강수량의 경우 상관계수의 최저치 0.21 과 최고치 0.54 이었으며, 최고기온의 경우는 -0.03 에서 0.46 까지의 범위로 비교적 낮은 상관계수의 값을 보였다. 본 연구에서는 상관계수가 가장 큰 예측인자를 활용하여 예측변수를 추정하였으며, Table 15에 각 예측변수 별 사용한 예측인자와 상관계수를 정리하였다. 예를 들어, u200을 사용하여 한반도 각 ASOS별 9월 평균누적강우량을 추정하였으며, 9월의 일최고기온을 추정할 때는 T850이 사용되었다. 광역규모 예측인자별로 살펴보면, v200이 9월누적강우량과 낮은 상관관계를 보였고, SLP와 u850은 9월의 일최고기온과 음의 상관관계를 보였다.

각 예측변수의 추정값과 관측값을 비교하여 추정값과 관측값의 상관계수가 가장 큰 경우를 선택하여 Figure 26와 Figure 27에 제시하였다. Figure 26b에서와 같이, 9월의 월평균강우량은 1995년을 제외하고 대체로 추정값이 관측값의 경향을 잘 보여주고 있다. 이는 통계적규모축소법이 1995년 가뭄 현상을 잘 반영하지 못한 것으로 판단되며, 향후 이에 대한 개선의 노력이 필요할 것으로 보인다. 기온의 경우는 다른 예측변수들보다 더 큰 상관계수값 들을 보였으나, 일최고기온(Figure 26b)의 경우는 일평균기온이나 일최저기온보다 다소 낮은 상관계수를 보였다(data not shown).

본 연구에서는 APCC MME hindcasts 자료가 anomaly로 주어지기 때문에 예측인자 및 예측변수모두 anomaly이다. 그러나 쌀단수를 추정하기 위해서는 이러한 anomaly 형태는 적합하지 않기 때문에 Sohn et al(2013)이 사용한 방법을 사용하여, anomaly에 관

측기후값(1983년에서 2010년까지의 각 예측변수별 평균값)을 취하여 사용하였다. 이러한 방법은 관측치의 기후값(본 연구에서는 1983년에서 2010년까지의 관측치의 평균값)에 추정치의 anomaly를 더해줌으로써, 간단하게 편이보정(bias correction)효과를 얻을 수 있는 장점이 있는 것으로 알려져 있다.

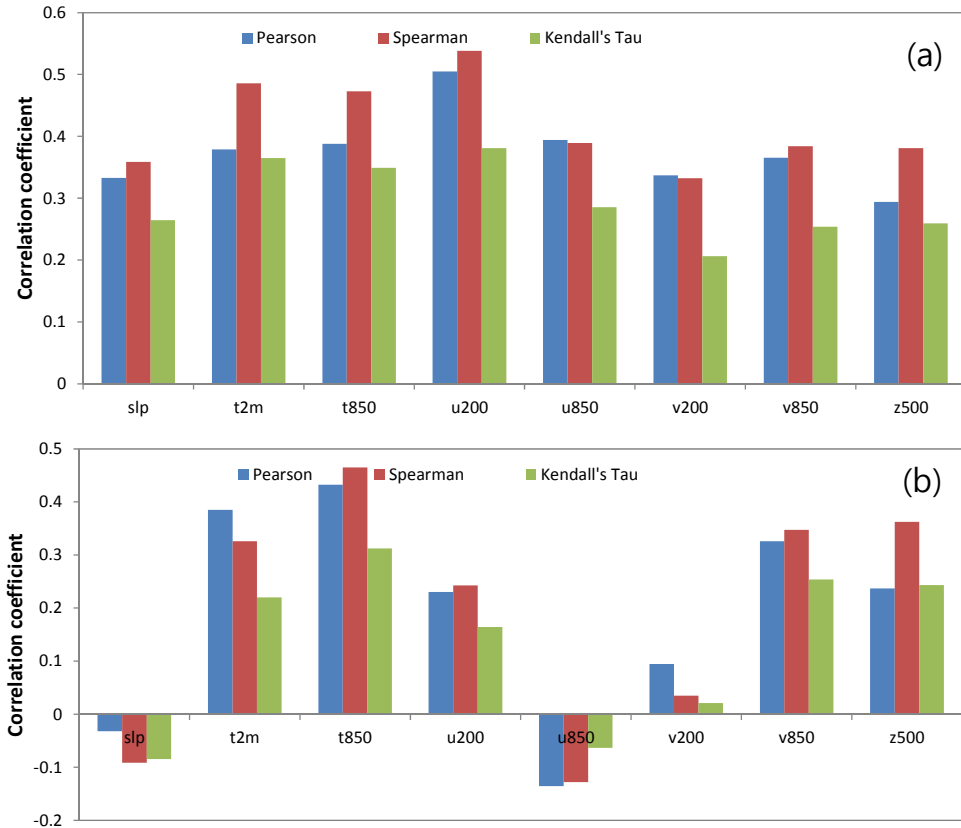


Figure 25. Temporal correlation coefficients for (a) precipitation, (b) Tmax between observation and seasonal prediction obtained from the statistical downscaling method.

Table 15. Selected predictors for each month and temporal correlation coefficients.

Predictand	Predictor	TCC [†]
Monthly mean precipitation	u200	0.54
Monthly mean maximum temperature	T850	0.46

† Temporal Correlation Coefficient

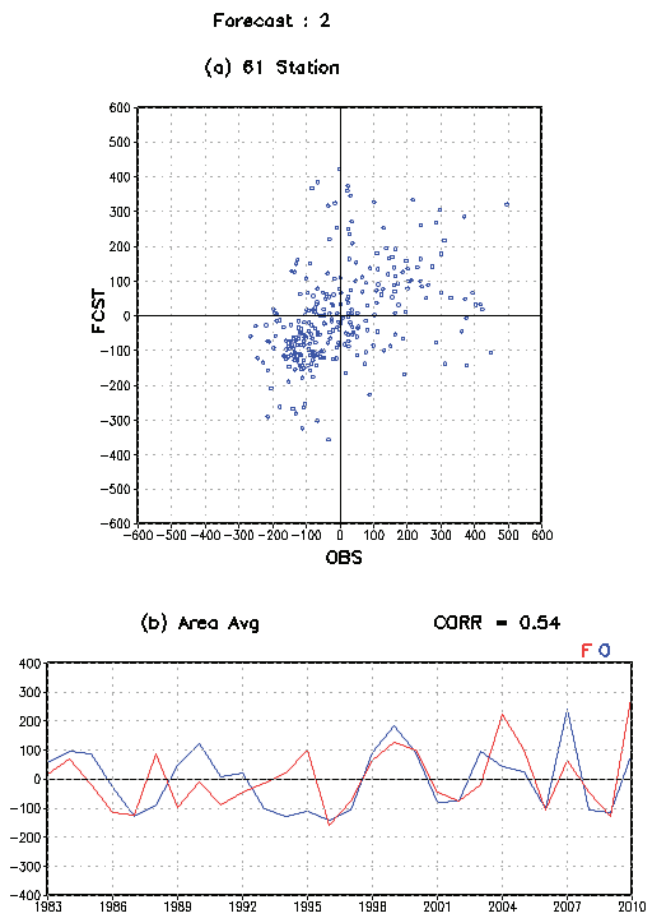
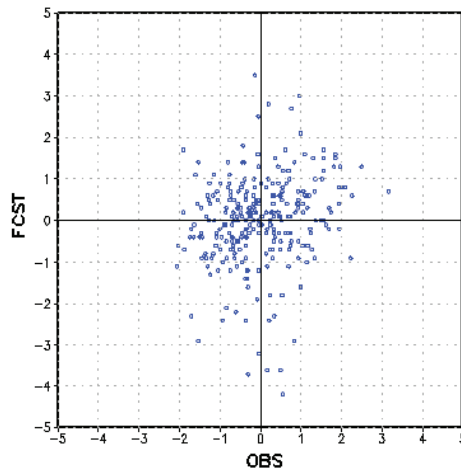


Figure 26. Scatter diagram between observed and statistically downscaled monthly mean precipitation in Sept.

Forecast : 2

(a) 61 Station



(b) Area Avg

CORR = 0.46

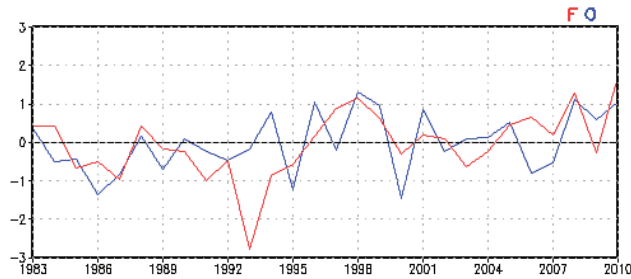


Figure 27. Scatter diagram between observed and statistically downscaled monthly mean maximum temperature in Sept.

전국 61개 ASOS지점의 예측변수 추정값에 대한 전국평균을 Table 16에 제시하였다. Table 16의 수치들은 모두 통계적규모축소법에 의해 추정된 강우량과 일최고기온의 예측변수들의 anomaly값들에 각각 1983년에서 2010년까지의 관측치의 평균값을 더해 준 값들이다. Table 5의 관측 기상자료의 전국평균과 비교했을 때, 9월의 누적강우량의 경우 약 3mm month^{-1} 정도 높게 추정되었으나 일최고기온의 경우는 약 0.1°C 정도 낮게 추정되었다.

Table 16. Estimated monthly mean cumulative precipitation and maximum temperature in Korea (from 1983 to 2010).

Month	Precipitation (mm month ⁻¹)	Tmax (°C)
9	172.2±110.1	25.8±0.9

3.2.2 APCC MME 활용 쌀단수추정

APCC MME 계절예측자료의 농업분야에 활용성을 확대하고 쌀단수를 조기에 예측하고자 식(17과 18)에 APCC MME hindcasts를 통계적규모축소하여 추정된 값을 사용하여 전국규모의 쌀단수 추정하였다. 쌀단수예측모형에 의한 추정치의 평균절대오차백분율을 비교하여 Table 17에 요약하여 제시하였다. 2002년에서부터 2010년까지 본 연구 전체 기간의 평균절대오차백분율은 APCC MME hindcasts자료를 입력하였을 때의 MAPE가 3.53%로 가장 큰 차이를 보였으나, Figure 2에서와 같이 9.15예상량 조사와 실수확량의 차이가 비교적 큰 차이를 보인 2007년에서 2009년까지 3개년도만을 선별하여 조사하였을 경우에는 2.23%로 비교적 작은 값을 보였다. 이 수치는 식생지수만을 활용한 추정치의 4.04%나 9.15예상량조사의 추정치의 4.80%보다도 작은 값으로써 쌀단수추정을 활용하여 농업정책 등의 의사결정시에 중요한 참고자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 관측 쌀단수와 각 모형 및 9.15예상량조사량과의 오차를 조사하여 Figure 28에 제시하였다. 2007년에서 2009년까지의 3개년 모두 APCC MME hindcasts자료를 입력하여 얻은 쌀단수 추정치가 식생지수만을 활용한 쌀단수추정치보다 나은 값을 보였으며, 2008년과 2009년에는 9.15예상량조사의 추정치보다도 더 실제수확량과 가까운 값을 보였다.

Table 17. Mean Absolute Percentage Error(MAPE) values for the regression models against observed rice yields at a national level.

Models		Sim.(VI)	Sim.(VI, ASOS)	Sim.(VI, MME)	Est.(9.15)
MAPE (%)	2002 to 2010	2.76	1.68	3.53	2.10
	2007 to 2009	4.04	1.76	2.23	4.80

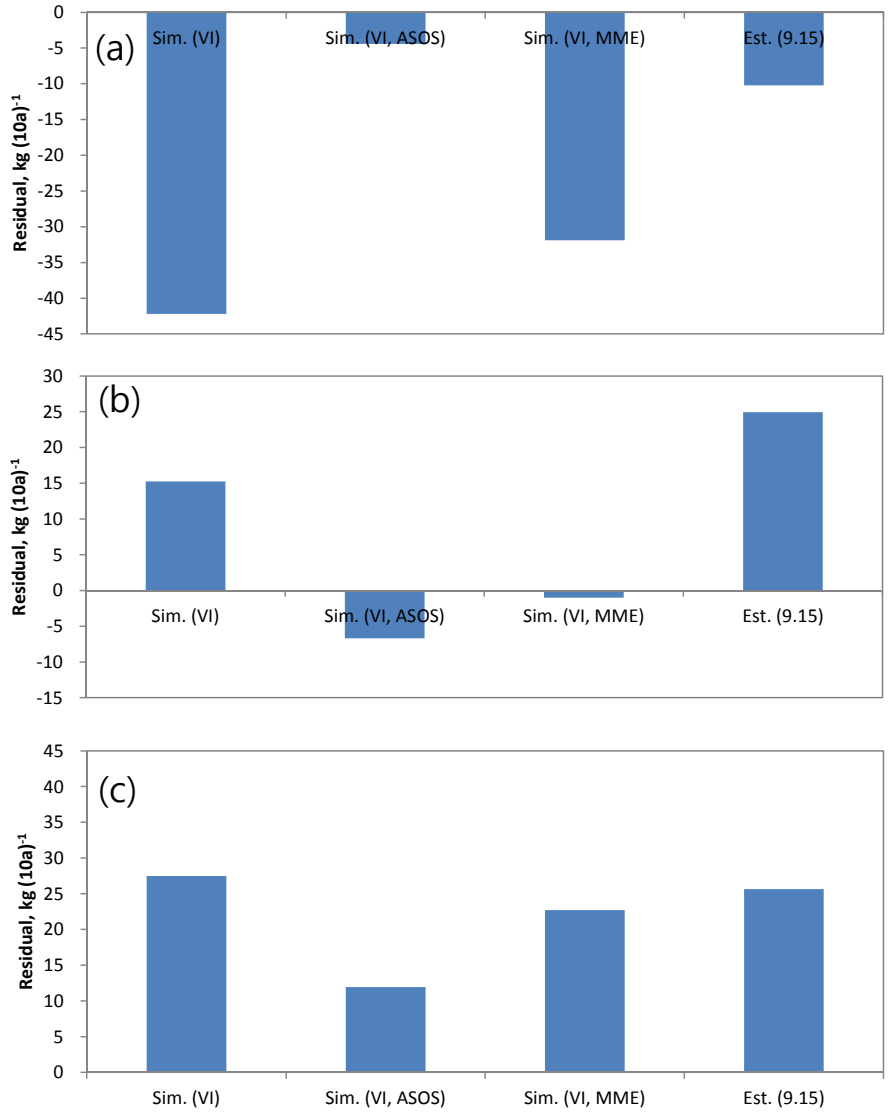


Figure 28. Residuals in the years (a) 2007, (b) 2008 and (c) 2009.

4. 정책 함의 및 활용 방안

4.1 모형 활용 방안

본 연구에서 제안한 쌀단수예측모형은 등숙기의 기상여건을 고려하는 모형으로서, 기존의 관측기상자료를 활용하는 모형이 10월 이후에나 쌀단수를 추정할 수 있는 단점을 개선하기 위해, 등숙기의 기상여건을 APCC의 계절예측자료를 활용하여 개발하였다. 통계청의 조사 방법은 전국적으로 표본으로 선택된 3,359개 필지(Table 1)를 대상으로 일일이 단위 면적당 포기 수, 포기당 유효 이삭 수, 이삭당 완전 낱알 수 등을 조사해야 한다. Figure 29와같이 수확에서부터 쌀단수추정에까지 이르는 단계는 많은 인력이 필요로 하는 방법으로 고비용의 방법이라 할 수 있다. 그러나 본 연구에서 제안한 쌀단수예측모형을 활용하면, 전국적으로 표본수를 크게 줄일 수 있어서, 기존의 통계청 표본조사방법보다 비용을 크게 줄일 수 있는 효과가 있을 것으로 기대된다.

NDVI와 등숙기 기상여건을 고려하는 쌀단수추정모형은 이러한 대규모 조사 없이 위성사진만을 가지고 전반적인 생산량을 예측하므로, 통계청이 하는 조사방법보다 비교적 저렴한 비용으로 수확량을 예측할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 현 단계에서 본 연구에서 제안한 모형이 기존의 통계청 표본조사방법을 완전히 대체하기는 모형의 정확성이나 특히 계절예측자료에서 기인하는 불확실성 등으로 현실적으로 쉽지 않을 것이다. 또한 모형의 정확성이 높아지고 모형이나 자료의 불확실성을 크게 줄인다고 하더라도, 실제 수확량으로 모형의 추정치를 검증해야하는 단계가 필요하므로, 전국적으로 어느 정도의 표본필지수를 유지할 필요가 있다. 예를 들어, 본 연구에서 개발한 농업기후지별 쌀단수예측모형(Table 13)의 예측성이 크게 떨어지는 ACZ2, ACZ4, ACZ8의 농업기후지대에서는 기존의 표본조사의 방법을 병행하거나, 기존의 표본조사를 유지해야하는 농업기후지대라고 할 수 있겠으며, 향후 예측성을 높이는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

그런 측면에서 통계청이 실시하고 있는 표본조사방법과 본 연구에서 제안한 모형을 활용한 수확량 예상은 상호 보완적인 특징을 가진다고 할 수 있다. 통계청의 조사 결과와 본 연구에서 제안한 모형을 활용한 추정치를 비교 및 분석하여 모형의 정확성을 개선할 수 있기 때문이다. 또한 본 연구에서 제안한 모형의 쌀단수 추정치를 표본조사의 보조자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 두 추정치가 크게 다를 경우, 등숙기 기상

여건에 대한 면밀한 검토 및 분석을 통해 좀더 정확한 추정치를 발표할 수 있을 것이기 때문이다.

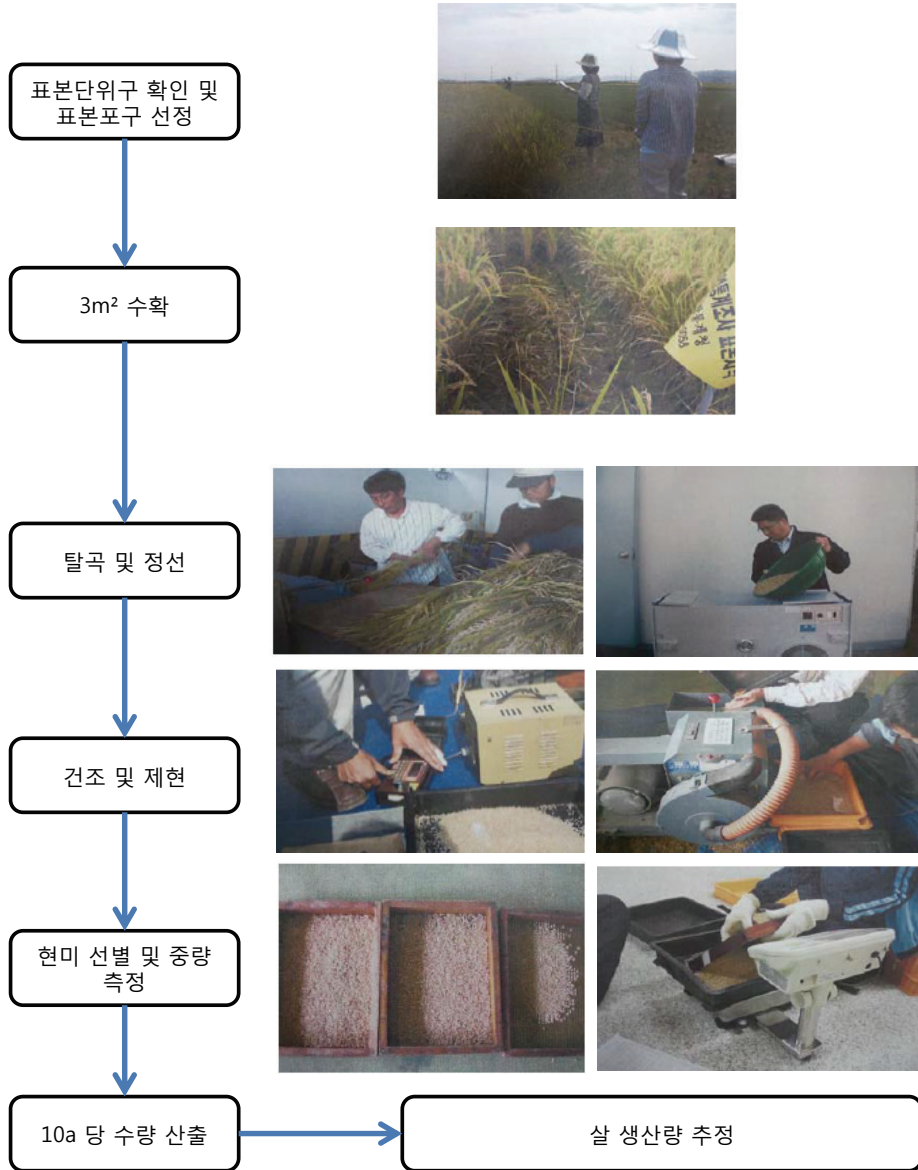


Figure 29. Rice yield measurement by a sampling method (adopted from Park et al., 2011a).

국내 쌀수입시장에서 쌀외식 산업이 발전하면서 인디카(indica) 계열 쌀의 소비도 조금씩 늘기 시작하였다. 인디카 계열 쌀은 찰기가 부족하여 우리나라 소비자들이 선호하지는 않지만, 찰기 부족으로 멍치지 않기 때문에 요리하기에는 무척이나 좋다. 특히, 패밀리 레스토랑 산업이 발전하면서, 쌀과 관련된 요리(필라프나 리조또 등)가 인기를 얻었고, 이런 인기 덕분에 인디카 계열 쌀의 인기가 크게 올랐다. 또한 밥상용 쌀의 수입 증가로 국내 쌀 소비까지 영향을 주기 시작했으며, 최근 쌀관세화조치 등으로 밥상용 쌀 수입은 더욱 증가할 것으로 예상된다. 국내에 수입되는 밥상용 쌀은 가공용 쌀과 달리, 우리나라 국민들이 주로 먹는 자포니카(japonica) 계열 쌀이 주를 이루면서 소비 급증했고, 소비자들의 반응도 나쁘지 않았다. 미국의 칼로스나 중국 동북 3성에서 생산된 쌀은 국내산 쌀과 품질 면에서 크게 차이가 나지 않는 것으로 알려져 있으며, 가격 측면에서는 오히려 수입쌀이 유리하였다. 따라서, 미국 캘리포니아주(Figure 30b)나 중국 동북3성(Figure 30a)의 쌀생산량을 예측하는 것도 중요한 부분이다. 그러나 국내가 아닌 해외의 쌀생산량을 예측하는 것이므로 쌀단수를 예측하는 방법에는 많은 제약이 있다. 예를들어 작물모형을 활용하는 경우, 파종일, 수확일, 시비량 및 시비일, 관개량 및 관개일 등 비교적 많은 영농활동 정보가 필요하다. 이러한 영농활동정보는 현실적으로 정확하게 수집하기가 매우 어려운 정보들이다. 하지만 본 연구에서 제안한 모형은 원격탐사기반 식생지수와 계절예측자료를 활용하므로, 자료수집의 제약에서 비교적 자유로워 캘리포니아주나 동북3성의 쌀생산량을 조기에 예측하는데 본 연구를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

정부는 남북한 협력 및 통일 농업정책 추진을 대비한 북한의 쌀생산량 등을 포함한 농업통계 개발의 필요성을 언급하였다(통계청 보도자료, 2013). 그러나 북한에 대한 농업현황자료는 청취나 문헌조사를 통한 보고서자료가 대부분으로서 지속적인 자료수집이나 과학적이고 객관적인 자료확보에는 미흡한 실정이다(Hong et al., 2012). 따라서 현재 정확한 북한 지역 농업통계 파악이 사실상 불가능한 실정이다. 이러한 특히 자료의 수집에 어려운 북한지역의 경우 원격탐사기법은 그 활용가치가 매우 크다고 하겠다. 이에 위성영상을 활용하여 북한지역내의 논면적(Figure 31)을 추정하거나 쌀생산량을 추정하는 연구들이 최근 수행되었다(Hong et al., 2012; 통계청 2013). 최근에 수행된 이러한 연구들을 기반으로 본 연구에서 제안한 모형을 사용하면 보다 정확하게 북한지역의 쌀생산량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

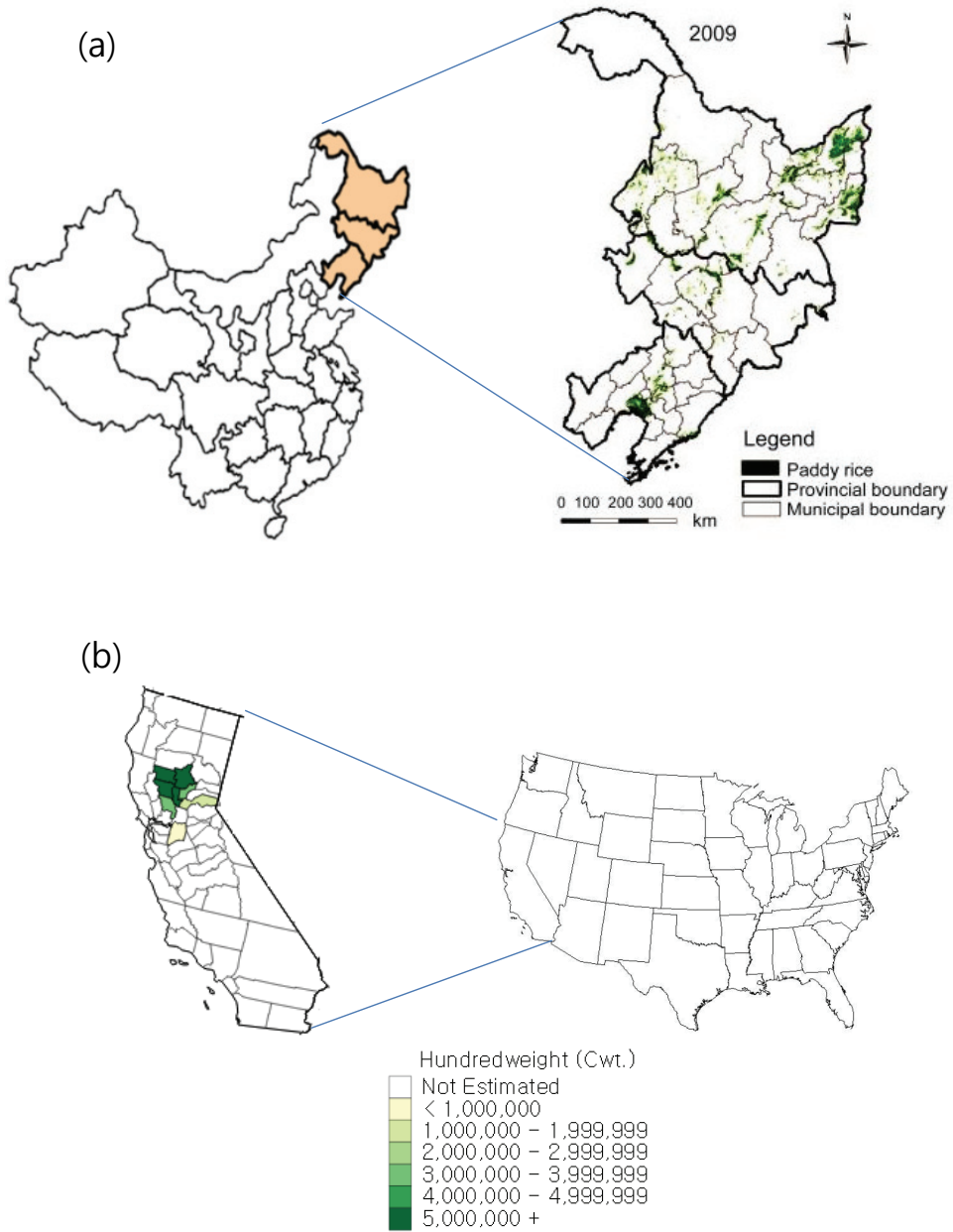


Figure 30. Rice paddy fields in Dongbei, China (a) and California, USA (b) (adoted from Shi et al, 2013 and from USDA)

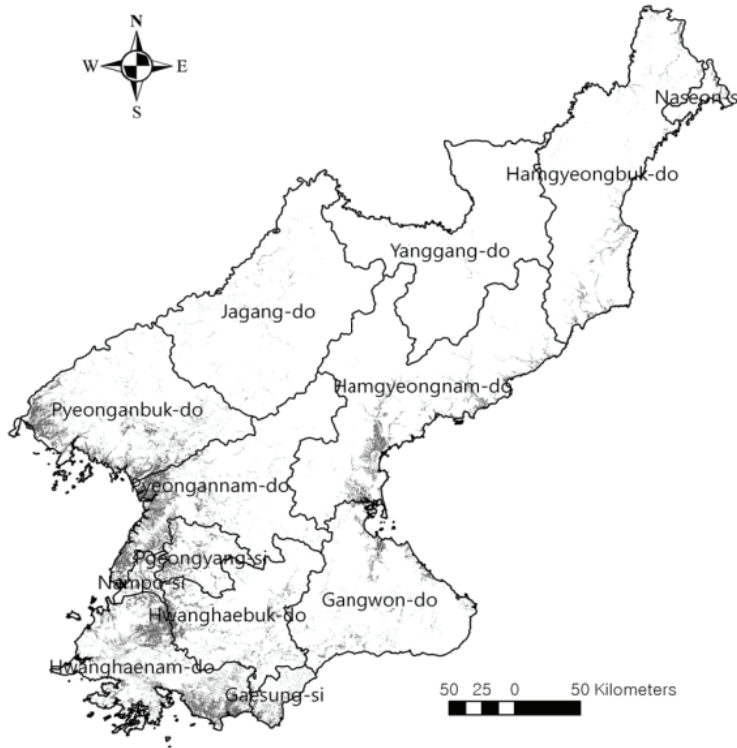


Figure 31. Paddy fields in North Korea (adopted from Hong et al., 2012)

4.2 정책적 함의

정부는 통계청이 9.15 예상량조사의 결과로 발표한 쌀예상량을 기반으로 쌀수급 및 가격안정대책을 발표해왔다. 정책 당국은 일반적으로 시장에서의 충격을 최소화하는 방향으로 정책 수단을 준비하고 집행한다. 특히 쌀과 같이 국가적으로 중요한 품목의 가격이 큰 폭으로 등락을 하게 되면, 소비자나 생산자 모두에게 영향을 주어 사회 후생을 떨어뜨릴 우려가 있다. 따라서 정부는 어느 한 쪽이 일반적으로 큰 이익을 보는 것을 억제하고, 충격의 크기를 줄여 가능한 한 평균치 정도로 수렴하도록 유도하는 경향을 가지고 있다.

가령, 생산량이 큰 폭으로 줄 것으로 예상이 되면, 수확기가 다가올수록 평년 수준보다 가격이 오를 가능성이 높아진다. 이런 경우, 생산자는 높은 시장가격으로 후생이 증

가할 수 있지만, 평소보다 높은 가격을 지불해야 하는 소비자의 후생은 감소하게 된다. 이런 경우, 정책당국은 사전에 활용할 수 있는 정책 수단으로 동원하여, 가격 상승폭을 줄일 수 있다. 그렇게 되면, 시장가격은 정부가 개입하지 않았을 때보다 낮은 수준에서 결정된다. 생산자는 정부 개입이 없을 때보다 낮은 가격을 받지만, 소비자는 높은 가격을 지불할 필요가 없기 때문에, 후생이 증가할 수 있다. 즉, 정부가 개입함으로써 생산자와 소비자의 후생 모두 평년 수준에 가깝도록 유도하게 된다. 반대로 생산량이 평년보다 늘어날 것으로 예상되는 경우에는 반대의 일이 벌어진다. 생산량이 증가하면 시장가격은 하락하기 마련이다. 이때 평년보다 낮은 가격을 받아야 하는 생산자 후생은 감소하지만, 이전보다 낮은 가격에 상품 구입이 가능한 소비자의 후생은 증가한다. 하지만 어느 한 쪽이 일방적으로 큰 혜택을 보는 것은 정책 당국의 입장에서 적절하지 않다. 가능하면 평균 수준에 근접하도록 하는 방안이 필요하다.

정책당국의 충격 완화 기능이 제대로 활용되기 위해서는 사전에 관련 정보가 확정되는 것이 중요하다. 이런 기능으로 현재 활용되고 있는 것이 쌀의 경우에는 9.15 예상 생산량 조사 자료이다. 이 조사는 보통 매해 9월 15일 이후 1주일 정도의 전국적인 표본 조사를 거쳐 그해의 쌀 생산량을 예측한다. 정부는 이 자료를 활용하여 수확기 이전에 정책적 개입이 필요한지 결정하고, 필요할 경우 어떤 수단을 활용하여 개입할 지를 판단한다.

현재 정부가 쌀 시장에 개입할 수 있는 정책적 수단은 몇 가지가 있다. 예전에는 가장 직접적인 시장 개입수단이었던 수매제도를 활용할 수 있었지만, 지금은 폐지된 제도라 더 이상 활용할 수 없다. 수매제도는 수매가격과 수매량을 통해 시장가격과 시장에서의 유통량에 직접적으로 영향을 주었다. 특히, 1970년대에는 수매가를 시중가보다 높게 책정하고 수매량을 확대하는 정책을 통해 쌀 생산량을 크게 늘리기도 했었다. 하지만 이 제도는 WTO의 농업보조정책 분류 가운데 에임버 박스(Amber box, 폐지대상 정책)로 분류되면서 현재는 폐지가 된 상태이다. 지금은 정부가 필요한 물량을 시중가에 매입하는 공공비축제만 남아 있는 상황이다.

이러한 정책적인 변화 때문에, 지금 정부가 활용할 수 있는 정책적 수단은 (1)쌀소득보전직불제 (2)공공비축제 (3)쌀 수입량 시기 및 방출 시기 조절 (4)RPC를 통한 유통물량 제한 (5)대북 원조를 포함한 해외 원조 확대 등이 있다.

4.2.1 쌀소득보전직불제 소요 예산에 반영

쌀 생산량을 사전에 예측이 가능해지면, 정책당국이 사용할 수 있는 정책 수단 가운데 하나인 쌀소득보전직불제(이하 “쌀 직불제”) 예산을 사전에 예측할 수 있다는 장점이 있다. 쌀 직불제는 「쌀소득 등의 보전에 관한 법률」 제3조에 따라 도입된 제도로, DDA 쌀 협상 이후 시장개방 확대 등으로 인하여 쌀 가격이 하락하는 경우에 쌀 생산 농가의 소득을 보전하기 위해 도입되었다.

직불제의 지급 대상은 농지를 실제 경작 또는 경영하는 농업인 등이다. 또한, 직불제 지급 대상은 공부상 지목에 관계없이 1998년 1월 1일부터 2000년 12월 31일까지 논 농업(벼, 연근, 미나리, 왕골재배에 한함)에 이용된 농지(농지법에 따른 농지)이다. 지급 농지를 현재가 아니라 과거 논이었던 농지를 대상으로 하는 것은, 직불제가 생산에 직접 영향을 주는 정책이 아니라는 점을 강조하기 위해서이다. 현재의 논을 직불제의 지급대상 농지로 규정하면, 농업인에게 논 면적을 늘릴 유인을 제공하게 된다. 그렇게 되면, 쌀 생산량이 직접 늘어날 수 있기 때문에, 이것은 WTO 규정상 허용대상 정책(그린 박스)에 포함되지 않을 수 있다. 이런 문제점을 피하기 위해서는 직불제 대상 농지는 현재가 아니라 과거의 면적을 기준으로 설정해야 한다.

쌀 직불제는 2004년 양정제도 개편과정에서 도입되었다. 직불제는 크게 두 가지 유형으로 나뉘는데, 하나는 고정형 직불제이고 다른 하나는 변동형 직불제이다. 고정형 직불제는 매년 정해진 논 면적에 대해서, 논 의 형상 및 기능을 유지하기만 하면 지불되는 보조금으로, 단위 면적당 지불액은 농림축산식품부 장관이 정하여 고시하도록 하고 있다. 이 제도는 2004년 이전에는 “논농업직불제”라는 명칭으로 불렸으며, 지급단가는 ha당 2001년에 23만 4천원, 2002년에 46만 7천원, 2003년과 2004년에 50만원이 지급되었다. 2014년 현재 고정직접지불금은 농업진흥지역 안의 논에 대해서는 ha당 970,187원, 농업진흥지역 밖의 논에 대해서는 ha당 727,640원이 지급되었다.

하지만 고정직접지불금은 과거의 논 면적을 기준으로 지급되기 때문에, 쌀 가격 변화와 직접적으로 관계가 없다. 따라서 쌀 생산량이 변화하더라도 고정직접지불금 총액은 바뀌지 않는다. 하지만 변동직접지불금은 다르다. 변동직접지불금은 사전에 설정한 목표가격이 있고, 시장가격이 이 목표가격에 미치지 못할 경우, 목표가격과 시장가격 차이의 85%를 지급한다. 따라서 쌀 생산량이 변화할 때, 영향을 받는 것은 바로 변동직접지불금이다.

가마(80kg)당 변동직접지불금은 다음 식(20)과 같이 계산된다.

$$\text{변동직접지불금} = 0.85 \times (\bar{p} - p) - F \quad (20)$$

단, \bar{p} 는 사전에 설정된 목표가격, p 는 시장가격, F 는 80kg당 가격으로 변환된 고정 직접지불금을 나타낸다. 따라서 시장가격의 수준에 따라 변동직접지불제 금액은 매년 달라지게 된다. 목표가격은 지난해까지 80kg당 170,083원이었으나, 올해 상향 조정해 188,000원이다. 시장가격은 당해연도 수확기인 매해 10월 1일부터 다음해 1월 31일까지의 전국 산지 전국 평균 쌀값이 된다. 고정직접지불금 단가는 ha당 지급되는 고정직접지불금을 정부가 정한 ha당 단수로 나눈 것으로, 2013년 기준 ha당 생산단수는 63가마(80kg 기준)이다. 2014년 현재 고정직접지불금은 농업진흥지역 내는 ha당 970,187원, 농업진흥지역 밖은 727,640원이므로, 고정형 직불금 단가는 각각 15,400원(=970,187 ÷ 63), 11,550원(=727,640 ÷ 63)이 된다.

변동직접지불금은 매년의 시장가격에 따라 지급액이 달라지고, 변동직접지불금 총액도 달라진다. 가령, 생산량이 많아 시장가격이 낮게 형성된 연도에는 변동직접지불금 지급액이 크게 늘어나고, 생산량이 적어 시장가격이 높게 형성된 해에는 한 푼도 지급되지 않기도 한다. 따라서 변동직접지불금 예산을 사전에 예측하기 위해서는 생산량 예측을 정확히 하는 것이 매우 중요하다.

Table 18. Counter-cyclical payments.

연도	지급액 (억원)
2005	9,007
2006	4,371
2007	2,791
2009	5,945
2010	7,501
2011	0
2012	0
2013	0

자료: 농림축산식품부.

Table 18에서와 같이, 변동직접지불금은 시장가격에 따라 매년 크게 변화해왔다. 쌀 가격이 상대적으로 높았던 2011년 이후 3개년 동안에는 전혀 지급이 되지 않았지만, 그 이전에는 적게는 2,000억원에서 많게는 9,000억원까지 지급되었다. 따라서 변동직접지불금 총액을 사전에 예상하기 위해서는 생산량 전망이 중요하고, 그에 기반한 가격 예측이 중요하다.

2014년 현재 9·15 조사 결과를 반영한 수확기 산지 가격은 80kg당 167,600원이다. 통계청 자료에 따르면, 2014년산 쌀 예상생산량은 418만 톤으로 지난해 423만 톤보다 1.1% 감소할 것으로 나타났다. 여기에 수입쌀 등의 공급 요소를 반영하면, 쌀 전체 공급 변화량을 예상할 수 있다. 시장가격은 공급측 요소만으로 결정되는 것이 아니기 때문에 수요측 요인도 가격 결정과정에 반영시킬 필요가 있다. 수요측 요인 가운데 가장 중요한 것은 1인당 쌀 소비량으로 전체 수요량에 가장 큰 영향을 미친다. 수요측 요인에는 이 외에도 가공수요나 재고 수요 등이 포함된다. 이러한 공급측 요인과 수요측 요인을 모두 고려하면, 다소 복잡한 과정을 거쳐 시장 가격에 대한 전망이 가능해진다. 일반적으로 농산물의 수요는 안정적인 추세를 보인다. 소득이나 가격이 변화해도 식품에 대한 소비가 크게 줄지 않기 때문이다. 이를 수요의 비탄력적(inelastic) 특성을 가진다고 한다. 따라서 일반적으로 농산물 가격은 수요측 요인보다 공급측 요인에 더 크게 영향을 받는 경향이 있다.

생산량을 기반으로 산지가격을 도출하고 나면 변동직접지불금 소요액을 추산할 수 있다. 먼저 목표가격이 188,000원이고, 예상되는 산지 평균가격이 167,000원, 고정형 직접지불금 단가가 900,000원이므로, 80kg 가마당 변동직불금 단가는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 (\text{변동직접지불금}) &= 0.85 \times (\bar{p} - p) - F \\
 &= 0.85 \times (188,000 - 167,600) - (900,000 \div 63) \\
 &= 0.85 \times 20,400 - 14,286 \\
 &= 17,340 - 14,286 \\
 &= 3,054
 \end{aligned}$$

즉, 현재의 예상대로 생산량이 결정되고 수요측에서 큰 변화요인이 없을 경우, 농가 들은 80kg 가마당 3,054원의 변동직접지불금을 수령할 수 있게 된다. 이 단가에 생산 량 전체를 곱하면, 변동직접지불금 지급에 필요한 총예산을 산정할 수 있다. 올해 정부 가 예상하고 있는 변동직접지불금 총액은 1,110억원 규모이다.

종종 정부가 당초 책정한 예산보다 더 많은 예산이 소요될 경우가 발생한다. 예를 들 어, 올해 생산량 증가폭이 크지 않아 시중가격이 167,600원 선에서 결정될 것으로 예상 되었기 때문에, 필요한 변동직접지불금 총액이 1,110억원 수준에 머물렀지만, 생산량이 더 늘어나 가격 하락폭이 지금보다 더 확대되었다면, 변동직접지불금 예산은 지금보다 더 큰 폭으로 늘어날 수밖에 없다. 지불해야 하는 단가도 늘어나지만, 생산량 자체도 늘 어나기 때문이다. 가령, 생산량이 올해와 같은 상황에서 산지 가격만 150,000원으로 하 락할 경우 정부가 지급해야 하는 변동직접지불금 총액은 6,600억 수준으로 급증한다. 만약 생산량이 늘어난 부분까지 고려한다면, 지급총액은 이 금액보다 훨씬 늘어날 수밖 에 없다. 가격이 140,000원으로 하락하면, 물량이 늘어나는 것을 고려하지 않고 가격만 을 고려해도 변동직접지불금 총액은 9,700억원 수준으로 늘어나게 된다. 따라서 실제 생산량이 늘어난 부분까지 고려하면 지급총액은 1조원을 넘을 것으로 예상할 수 있다.

따라서 생산량 예상을 통해 산지가격을 예상할 수 있다면, 직불제 예산을 탄력적으로 조정할 수 있는 여력이 생길 수 있다. 생산량 증가로 가격 하락폭이 커 변동직접지불금 총액이 당초 책정한 예산보다 늘어날 경우, 정부는 별도의 예산을 준비하여야 한다. 따 라서 생산량에 대한 정확한 정보를 가능하면 빨리 알수록 정책당국 입장에서 직불금 예 산을 준비하는 데 도움이 될 수 있다. 생산량 파악이 늦어졌는데, 생산량이 급증한 경우 가 발생할 경우, 변동직접지불금 총액이 늘어나면서 정부가 관련 예산 마련에 애를 먹을 수 있다. 따라서 정확한 생산량 정보를 최대한 일찍 아는 것이 중요하다. 이런 측면에서 본 연구에서 제안한 모형인 NDVI와 등숙기 기상여건을 고려한 쌀단수예측모형을 통한 생산량 예측은 나름 유용성이 뛰어난 한 방법이 될 수 있다.

Table 19. Total counter-cyclical payments with locality prices.

산지가격(원/80kg)	변동직접지불금 총액(억원)
167,600	1,117
150,000	6,588
140,000	9,697
130,000	12,806

자료: 경상대 김윤식교수 추산

주: 생산량은 2014년을 기준으로 한 것이므로, 실제 가격이 위에서 제시한 수준까지 하락하려면 생산량도 올해보다 더 늘어나야 함. 만약 실제 가격이 위와 같이 하락하면, 변동직접지불금 총액은 제시한 것보다 더 많아짐.

4.2.2 공공비축제 활용

생산량 예측치를 통해 정부가 활용할 수 있는 정책 수단에는 공공비축제도 포함된다. 공공비축제는 기존의 수매제도를 대체한 제도로, 쌀 시장에 대한 정부의 개입을 없앤 제도라고 할 수 있다. 기존 수매제도 하에서는 정부의 의도와 정책적 목표에 따라 수매가와 수매량을 조절할 수 있었다. 정부를 이를 통해, 쌀의 시장가격에도 영향을 미쳤다. 하지만 공공비축제 하에서는 그러한 목적으로 쌀을 매입하기 어렵게 되었다. 공공비축제 하에서는 단지 정부가 공공 목적에 필요한 쌀을 시장가격에 매입하도록 하고 있기 때문이다. 우리나라는 2004년 양정제도 전반기 개혁하는 과정에서 수매제도를 폐지하고 공공비축제로 전환하였다.

예를 들어, 수매제도 하에서는 수매량과 수매가격을 통해 시장가격에 영향을 줄 수 있다. 정부의 수매량이 다음 식(21)과 같이 결정되는 경우를 고려해보자.

$$q_G = \theta q + g, \quad 0 < \theta < 1 \quad (21)$$

단, q 는 농가의 총생산량, q_G 는 개별 농가가 정부에 매각하는 수매량, θ 는 농가의 생산량 가운데 정부수매에 응하는 비중, g 는 생산량과 무관하게 정부수매에 응하는 물량을 의미한다.

정부의 구매가격이 시장가격보다 높다고 하면, 개별 농가의 이윤함수는 다음 식(22)과 같이 적을 수 있다.

$$\pi = p_G(\theta q + g) + p(q - \theta q - g) - c(q), \quad p_G > p \quad (22)$$

단, p_G 는 정부 구매가격, p 는 시장가격이다. 이로부터 다음 식(23)과 식(24)과 같은 이윤극대화 조건을 얻는다.

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = \theta P_G + (1 - \theta)P - c'(q) = 0 \quad (23)$$

$$\frac{\partial^2 \pi}{\partial q^2} = -c''(q) \leq 0 \quad (24)$$

위의 수식은 구매제도가 없을 때보다 농가의 한계수익이 늘어난다는 것을 의미한다. 일반적으로 농가는 한계비용과 한계수익이 일치하는 점에서 생산량을 결정하는데, 한계수익이 상승했으므로 생산량도 증가시키게 된다. 즉, 구매제도는 쌀의 생산량을 늘리는 효과를 가지고 있다. 이것은 수학적으로 다음 식(25)과 식(26)과 같이 보여줄 수 있다.

$$\frac{\partial q}{\partial P_G} = \frac{\theta}{c''(q)} \geq 0 \quad (25)$$

$$\frac{\partial q}{\partial \theta} = \frac{P_G - P}{c''(q)} \geq 0, \text{ if } P_G > P \quad (26)$$

또한, 구매제도 하에서는 구매가를 인상하면 시장가격에도 간접적으로 영향을 주어 시장가격을 인상시키는 효과가 있다. 그 외에도 정부가 구매량을 늘리면, 그 만큼 공급량이 시장에서 격리되는 효과가 있기 때문에 가격을 인상시키는 효과를 갖는다.

하지만 공공구매제 하에서는 이러한 정책적 목표를 의도적으로 추구할 수 없다. 정부가 할 수 있는 것은 공공의 목적으로 필요한 쌀을 시장가격으로 매입하는 것이다. 따라서 정부의 의도대로 매입량을 인위적으로 늘리거나 높은 가격에 매입할 수 없다. 이러한

상황을 위의 수식에 적용하면, 다음 식(27)과 같이 적을 수 있다.

$$\pi = P(q-g) - c(q) \quad (27)$$

정부가 시중가격으로 매입하기 때문에 수매가격 자체가 있을 수 없다. 또한, 정부의 매입량도 생산량을 자극할 목적으로 하는 것이 아니기 때문에, 생산과 연계되지 않고 일정한 물량 g 가 된다. 이런 상황에서는 정부가 쌀 시장에 영향을 미칠 수 있는 방법이 많지 않다.

다만, 한 가지 고려할 수 있는 정책수단은 명목적으로는 정부가 공공의 목적에 필요한 물량 이상을 매입하기는 어렵지만, 암묵적으로 시장 가격에 영향을 줄 목적으로 매입량을 조절할 수 있다는 점이다. 즉, 생산량이 많아 가격이 하락할 것으로 예상되면, 정부가 공공비축제를 활용하여 매입량을 늘릴 수 있다. 정부의 매입량이 늘어나면 시장에 공급되는 쌀의 양이 줄어들게 되므로, 가격을 간접적으로 인상하는 효과를 누릴 수 있다.

현재 우리나라의 공공비축제는 크게 세 가지 목적으로 운용 된다(이정환 2013a). 첫째, 갑작스런 기상 이변이나 재해 등으로 식량이 부족해지는 상황을 대비한 비상식량 비축의 목적이 있다. 국가는 항상 비상상황에 대처할 필요가 있는데, 비상시에 사용할 목적으로 매입하는 물량이 여기에 포함된다. 비상시에는 전쟁과 같은 1급 비상상황도 있지만, 재난 등으로 인해 특정 지역에 식량이 부족해지는 상황도 있다. 또는 갑작스런 이상 기후 등으로 식량 생산이 크게 줄어드는 상황이 나타날 수도 있으며, 경제적인 요인으로 국제 식량시장이 급변하면서 식량을 구하기 어려워지는 상황이 벌어질 수도 있다. 이와 같이 갑자기 식량을 구하기 어려운 상황에 대비해 정부가 일정한 물량의 식량을 시장에서 매입해 비축하는 것이 바로 공공비축제이다. 이런 측면에서 보면, 비상시에 대비한 쌀 매입이 공공비축제의 목적에 가장 부합하는 것이라 할 수 있다.

둘째, 군 및 관의 수요량을 충족시키기 위한 목적의 매입이 있다. 이것은 군용 및 복지 차원에서 필요한 물량으로 나뉜다. 군용은 국방 목적으로 사용되는 쌀을 의미하며, 복지 차원의 물량은 저소득층에 대한 지원 및 학교 급식 등의 목적으로 사용되는 쌀을 의미한다.

셋째, 풍작으로 쌀 생산량이 많을 때 시장가격 하락폭을 줄이기 위한 목적으로 매입하는 물량이 있다. 엄밀한 의미에서, 이러한 목적으로의 공공비축제 운용은 적절하지 않지만, 우리나라는 암묵적으로 공공비축제를 이런 목적으로 일부 운용하고 있다. 시장에 물량 공급이 많을 때, 정부가 공공비축 물량을 이전보다 늘리면 해당 물량이 시장에서 격리되므로 공급이 줄어드는 효과가 있다. 이것은 시장가격의 추가 하락을 막거나 인상시키는 효과를 가지고 있다. 따라서 공공비축제를 이런 용도로 적절히 활용할 경우, 수매제 폐지에 따른 부작용을 일부 완화할 수 있는 장점이 있다.

사전에 예측된 생산량을 적절히 활용하는 방안의 하나로 공공비축제를 고려해볼 수 있다. 올해와 같이, 쌀 수요량은 줄어드는데 생산량이 평년보다 늘어나면 가격 하락이 불가피해진다. 이럴 때 정부가 공공비축 물량을 확대 매입하면, 시장가격을 지지하는 효과가 나타나게 된다. 따라서 생산량이 늘어날 것으로 전망되면, 미리 공공비축제 관련 예산을 확보하여 비축물량을 늘리는 방안을 추진할 수 있다. 관련 비용에는 매입 비용도 있지만, 공공비축 목적으로 매입한 물량을 저장할 공간이나 비용도 함께 고려될 필요가 있다.

공공비축 물량의 경우, 우리나라는 FAO의 권고 수준인 소비량의 17%를 따르고 있다. 하지만 공공비축제 도입 이후 우리나라의 식량 비축 비율을 보면, 어떤 해에는 기준치를 초과했지만, 어떤 해에는 기준치보다 현저히 낮은 수준을 유지하기도 했다. 2006년부터 2008년까지는 적정 비축 물량 기준에 못 미쳤지만, 2009년과 2010년에는 FAO 권고수준인 17%를 훨씬 초과했다. 적정 재고량을 초과한 해에는 추가 매입할 여력이 없지만, 초과하지 않은 해에는 추가 매입 여력이 충분하므로, 이런 해에는 적극적으로 공공비축제를 가격안정 수단으로 활용하는 방안을 고려할 수 있다. 특히, 2012년 양곡연도와 같이, 재고량이 17%보다 현저히 낮을 때에는 공공비축 물량을 늘림으로써 시장 격리물량을 확대하고 이를 통해, 시장가격의 하락을 일정 정도 억제할 수 있다.

Table 20. Table rice stock of government.

양곡연도	국내산 (천톤)	밥쌀용 수입쌀 (천톤)	계 (천톤)	재고율 (%)
2005	380	-	380	-
2006	493	-	493	15.2
2007	457	-	457	14.5
2008	512	-	512	15.8
2009	777	39	816	22.9
2010	1,252	69	1,312	35.4
2011	696	44	740	19.9
2012	397	16	413	11.5

자료: 이정환(2013a)에서 재인용.

이와 같이, 생산량을 사전에 예측할 수 있고, 그 예측치가 상당한 정확성을 가지고 있다면, 공공비축제도를 활용하여 시장 가격의 변동폭을 줄일 수 있다. 더욱이 공공비축제를 통해 시장가격이 상승하면, 정부의 변동직접지불금 부담을 줄이는 효과가 있다. 변동직접지불금은 생산된 모든 쌀에 대해서 지급해야하기 때문에 가격이 하락하면 정부의 지급 부담이 급속하게 늘어나는 경향이 있다.

이럴 때 공공비축제를 활용하여 가격 하락폭을 줄일 수 있다면, 정부의 변동직접지불금 부담을 크게 줄일 수 있다. 공공비축제는 정부의 필요에 의해 매입하는 것이기에 어차피 시장에서 매입해야 하는 물량이다. 또한, 공공비축에 소요되는 비용은 변동직접지불에 소요되는 비용보다 훨씬 저렴하다. 따라서 전체적으로 정부 부담을 줄이는 전략으로, 변동직접지불금 지급을 확대하는 것보다 공공비축 물량을 확대하여 가격 하락폭을 줄이는 것이 유리하다.

이러한 정책 수단 활용에 NDVI를 활용한 생산량 전망은 아주 유용한 정보를 제공할 수 있다. NDVI를 통해 상당히 정확한 생산량 정보가 이용 가능해지면, 정책 당국을 이 정보를 기준으로 그해 필요한 공공비축 물량과 시장가격 안정을 위해 추가로 매입해야

하는 양을 결정할 수 있고, 그에 필요한 예산도 어느 정도 파악이 가능하다. 이러한 정부의 정책수단이 효과를 보기 위해서는 정확한 생산량 정보가 중요하고, 그런 측면에서 NDVI를 활용한 생산량 전망은 상당한 정책적 유용성을 가진다고 할 수 있다.

4.2.3 쌀 수입 및 방출 시기 조절

정부가 쌀 생산량을 사전에 정확히 예측할 수 있는 경우, 쌀 수입 시기와 방출 시기 조절을 통해 국내 가격 안정에 기여할 수 있다. 우리나라는 2004년 종료되는 쌀 관세화 예외조치 협상의 결과에 따라 매년 일정한 수량의 외국쌀을 의무적으로 수입하고 있다. 이렇게 수입해야 하는 물량을 최소시장접근(MMA: Minimum Market Access)이라고 한다. MMA형태로 우리나라가 2005년부터 올해까지 수입해야 물량은 매년 늘어나는 추세를 보이고 있다. 2005년에는 수입량이 22만 5,575톤이었지만, 이 물량은 2014년에 40만 8,700톤으로 늘어난다. 10년 동안 1.8배 이상 늘어난 물량이다.

이러한 수입쌀의 증가로 인해 우리나라의 쌀 자급률은 매년 하락추세를 보이고 있다. 2000년대 초반까지 100%를 초과했던 쌀 자급률은 이후 급격히 하락하기 시작하여 2010년에 들어서면 90% 아래로 떨어졌다. 이것은 외국쌀의 수입이 급증하면서 나타나는 현상이다.

Table 21. Changes in rice self-sufficiency rate (%).

1990	2000	2010	2011	2012	2013
108.3	102.9	104.5	83.3	86.1	89.1

자료: 통계청

MMA로 수입되는 쌀은 크게 두 가지로 나뉜다. 가공용 쌀과 밥상용 쌀이 그것인데, 2004년 재협상 이전까지 밥상용 쌀의 수입은 거의 없었다. 하지만 2004년 재협상과정에서 밥상용 쌀도 일정 부분 수입하도록 합의가 되었고, 협상 결과에 따라 우리나라는 매년 밥상용 쌀을 수입하고 있다. 이렇게 수입되는 밥상용 쌀이 국내 쌀 자급률을 떨어뜨리는 데 크게 기여하고 있다.

밥상용 쌀의 수입량은 2005년에 MMA 물량의 10%에 해당되는 2만 2,600톤에서부터 시작하여 2004년에는 MMA 물량의 30%에 해당되는 12만 2,600톤으로 매년 수입

량이 급증하고 있다. 가공용 쌀은 국내산 쌀과 직접 대체관계에 있지 않다. 그렇기 때문에 가공용 쌀이 많이 수입되더라도 국내 쌀 가격에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있다. 하지만 밥상용 쌀의 경우는 상황이 다르다. 가공용이 아닌 식용 목적으로 수입되는 쌀이기 때문에 바로 소비자들에게 공급되고, 그렇기 때문에 국내 쌀 공급량을 증가시켜 국내 쌀 가격에 직접적으로 영향을 주게 된다. 최근 국내산 쌀 가격이 정체되는 데는 밥상용 수입쌀의 공급이 늘어난 데도 한 원인이 있다고 할 수 있다.

특히, 밥상용 쌀은 미국의 칼로스를 포함해, 중국의 동북 3성(흑룡강성, 요령성, 길림성)에서 많이 재배되는 자포니카 계열 쌀이 주를 이루고 있다. 자포니카 계열 쌀은 우리나라 사람들이 주로 먹는 계열의 쌀로써, 국내 쌀과 품질이나 모양상에서 큰 차이가 없는 쌀이라고 할 수 있다. 대신 가격은 국내 쌀보다 훨씬 저렴해 1/2 내지 1/3 수준에 그치고 있다. 그런 이유 때문에, 밥상용 수입쌀에 대한 수요가 급증하고 있고, 이는 국내 가격에 하락 압력요인으로 작용하고 있다.

Table 22. Minimum Market Access(MMA) (Milled rice, unit: 1000ton)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
MMA 총량	225.6	245.9	266.3	286.6	307.0	327.3	347.7	368.0	388.4	408.7
밥상용 쌀	22.6	34.4	47.9	63.1	79.8	98.2	104.3	110.4	116.5	122.6
비중	10%	14%	18%	22%	26%	30%	30%	30%	30%	30%

자료: 박동규 외 (2006)에서 수정 및 재인용.

앞에서도 언급했듯이, 밥상용 수입쌀은 국내 쌀 가격이 상승하는 것을 억제하는 효과를 가지고 있다. 따라서 국내 가격 수준에 따라 수입 시기를 조절하는 방식을 통해 국내 가격에 간접적으로 영향을 줄 수 있다. MMA 물량은 의무적으로 수입해야 하는 물량이기 때문에 물량을 줄일 수는 없다. 대신 수입시기는 조절이 가능하다. 예를 들어, 국내 생산량이 많은 해의 경우에는 수입 시기를 수확기 이후 최대한 늦추는 방안을 고려해볼 수 있으며, 국내 생산량이 적은 경우에는 수입 시기를 앞당겨 국내 쌀 공급량을 늘릴 필요가 있다. 이런 방식으로 쌀 수입제도를 활용하면, 일정 수준에서 간접적으로 국내 쌀

가격에 영향을 미칠 수 있다.

정부도 수입쌀에 대해서는 이러한 목적으로 활용할 수 있도록 하고 있다. 농림축산식품부의 「소비자 시판용 수입미곡 관리 지침훈령」이라는 보면, 국내외 가격동향, 보유 재고, 판매 전망 등을 고려해 수입시기를 조절할 수 있도록 하고 있다. 또한, 수입된 쌀의 판매시기도 불가피한 사유가 있을 경우에는 방출 물량을 조정할 수 있다고 규정하고 있다. 따라서 주어진 규정을 활용하여 국내 쌀 시장에 변화가 발생했을 때, 최대한 국내 시장에서의 충격을 완화하는 방향으로 제도를 운용할 필요가 있다. 즉, 국내 생산량이 평년에 비해 많은 것으로 예상되면 수입쌀 수입 시기를 늦출 수 있고, 설령 조기에 수입된 쌀이 있다고 하더라도 이 쌀의 방출시기를 최대한 늦출 수 있다.

하지만 이러한 정책 수단은 1년간만 유효하다는 단점이 있다. 다음해가 되면 또 다시 MMA 물량을 수입해야하기 때문이다. 지난해 수입한 쌀이 소비가 되지 않은 상황이라면, 정부는 기존 재고물량과 함께 추가 수입한 물량에 대한 저장도 고려해야 한다. 더욱이 쌀은 해가 지날수록 품질이 떨어져 가격도 급속하게 하락하는 특징이 있다. 따라서 이런 정책을 장기간으로 유지하게 되면, 정부는 수입쌀 품질 하락에 따른 가격 손실에, 장기간 저장에 따른 저장비용까지 부담하게 되어, 정부 부담이 과도하게 많아질 우려가 있다. 따라서 수입쌀의 수입 및 방출 시기를 조절하는 정책은 단기에 적합할 뿐 장기적으로 사용할 수 있는 정책은 아니라고 할 수 있다.

생산량에 대한 정보가 미리 주어진다면, 정책 당국도 미리 정책을 준비할 수 있게 된다. 정책 결정을 위해서는 사전에 생산량에 대한 정보가 이용 가능해야 한다. 현재 통계청이 쌀 생산량 전망치를 발표하는 시기보다 앞서 생산량 전망을 정확히 할 수 있다면, 정책당국도 사전에 정책적 판단을 하기에 유리하다. 따라서 본 연구에서 제안한 NDVI 뿐만 아니라 등숙기의 기상여건을 활용한 생산량 예측은, 단순히 예측시점의 관측정보만을 활용하여 생산량을 예측하는 것이 아니라 수확시기까지의 벼 생육에 큰 영향을 주는 기상여건의 예측 정보를 활용한다는 측면에서 이러한 목적에 잘 부합한다고 할 수 있다.

「소비자 시판용 수입미곡 관리 지침훈령」(농림부 훈령 제1223호)

⋮

제7조 (수입) ① 농림부 장관은 정해진 일정에 따라 당해연도 수입물량을 분할수입 하되 양곡관리특별회계의 운용계획과 국내외 가격동향, 보유재고, 판매전망 등을 감안하여 수입시기를 조정할 수 있다.

⋮

제11조 (판매시기 및 가격) ① 시판용 수입쌀은 미질이 저하되지 않도록 연중 정기적으로 판매한다. 다만, 국내산 양곡 성출하기 등 기타 불가피한 사유가 있을 때에는 방출물량을 조정하여 판매할 수 있다.

⋮

4.2.4. 수입 관세 활용

국내 쌀 시장 상황에 따라 외국산 쌀의 수입 시기를 조절하는 방법 외에도, 쌀 수입 시에 적용되는 관세(tariff)를 조절하는 방안도 고려할 수 있다. 이러한 방법을 적용하기 위해서는 쌀에 대한 관세가 단순 관세가 아닌, 수입관세 할당제(TRQ: Tariff Rate Quota)를 적용할 수 있는 제도이어야 한다.

일반적으로 TRQ는 시장을 개방하면서도 자국 내 산업을 보호하기 위한 수단으로 많이 활용된다. TRQ의 수입 구조를 보면, 일종의 이중 관세의 하나인데, 일정한 물량에 대해서는 낮은 관세를 적용하고, 해당 물량을 초과하여 수입되는 물량의 경우에는 고율의 관세를 적용한다. 가령, 어떤 농산물의 수입에 TRQ가 적용되고 있다고 하면, 정해진 물량은 아주 낮은 관세, 필요할 경우 제로 관세를 적용하여, 수입하고, 해당 물량이 초과한 경우에는 수백 퍼센트에 달하는 관세를 적용하여 사실상 수입이 되지 않도록 하는 장치이다.

시장을 개방하기는 하되, 필요한 물량만큼은 저율로, 그 외 물량에 대해서는 고율로 수입하기 때문에, 해당 국가의 정책적 필요에 따라 저율 관세를 적용할 수 있는 물량을

탄력적으로 운용할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 따라서 각국은 자국 경제에 중요한 품목을 대상으로 TRQ를 많이 도입하여 활용하고 있다. TRQ 제도는 WTO/DDA(Doha Development Agenda)에서 활용되는 제도로, 처음 사용되기 시작한 것은 미국, 캐나다, 멕시코가 체결한 북미자유무역협정(NAFTA: North America Free Trade Agreement)에서인 것으로 알려지고 있다. 미국으로부터의 수입 급증을 우려한 멕시코가 주요 농산물에 TRQ제도를 적극 도입하여 활용하였다. 가령, 멕시코 국민들의 주식인 옥수수의 경우, 쿼터 내 관세는 0%가 적용되었지만, 쿼터 초과 물량에 대해서는 194%의 높은 관세가 적용되었다. 멕시코는 옥수수 외에도, 수수, 대두, 가금육, 건조 콩, 감자 등에 TRQ를 적용하였다.

TRQ를 그림으로 나타내면 다음 Figure 32과 같이 나타낼 수 있다. 사전에 정해진 쿼터 물량 q_0 가 있고, 이 물량까지는 저율 관세 t_0 가 적용되고, 쿼터 물량 q_0 를 넘어서는 물량에 대해서는 고율 관세 t_1 이 적용된다. 일반적으로 주요 품목에 대해서는 쿼터 외 관세율을 아주 높게 책정하기 때문에, TRQ로 설정된 물량 이상이 수입되기는 쉽지 않다. 하지만 고율 관세가 국제 통상협상 등을 통해 낮아지면, TRQ 물량 이외의 물량이 수입될 가능성도 충분히 있다.

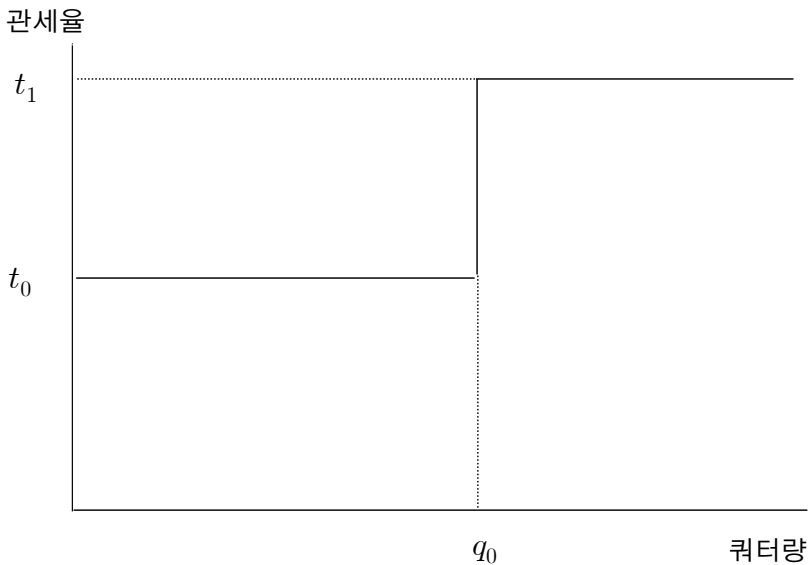


Figure 32. Relationship between Tariff and Quota.

수입 쌀의 가격은, 국내 시장에서 독과점과 같은 시장구조에서의 문제가 없다면, 수출국 현지가격(p_e), 관세(t), 환율(e)에 의해 결정된다. 국내가격을 p_d 라고 하면, TRQ 제도 하에서 정해진 물량을 초과하여 수입이 이루어지기 위해서는 다음의 조건이 충족되어야 한다. 즉,

$$p_d > (1+t_1) \cdot e \cdot p_e \quad (28)$$

즉, 고율관세와 환율이 적용된 실제 수입가격이 국내가격보다 낮을 때, TRQ 초과물량이 수입될 수 있다. 하지만 관세와 환율을 적용한 실제 수입가격이 국내가격보다 높다면, 실제 수입은 이루어지지 않게 된다.

위의 부등식(식28)에 의하면, 실제 수입 여부는 고율 관세에 외에도 환율과 현지 가격에 따라 결정된다는 것을 알 수 있다. 만약 원화가 강세가 되어 환율이 하락하면, 수입가격은 하락해 수입가능성이 높아진다. 환율이 달러당 1,100원에서 1,000원으로 하락하면, 수입쌀 가격도 그만큼 하락하게 된다. kg당 현지 가격이 1달러였다면, 20kg짜리 포대의 수입 가격은 kg당 22,000원에서 20,000원으로 하락하게 된다. 반면, 원화가 약세로 전환되어 환율이 상승하면 국내 수입가격은 상승하여 수입을 줄이는 효과가 나타나게 된다. 예를 들어, 환율이 달러당 1,100원에서 1,200원으로 상승했다면, 20kg짜리 수입쌀의 가격은 22,000원에서 24,000원으로 오르게 된다. 이런 경우에는 국내쌀과 가격 차이가 줄어들거나 좁혀지기 때문에, 수입이 감소하는 효과가 나타나게 된다.

현지 가격도 국내 쌀 수입에 영향을 줄 수 있다. 현지 사정상, 생산량이 늘었다면 현지 가격은 하락하고, 생산량이 줄었다면 현지가격은 상승하게 된다. 수출국 현지의 수급 여건에 따라 국내 수입쌀의 가격이 영향을 받게 되는데, 현지에서의 생산이 큰 폭으로 줄어든 경우에는 우리나라가 수입하고자 하더라도 수입하지 못하는 일이 나타날 수 있다. 설령, 수입을 하더라도, 기존 가격보다 비싸게 수입해야 한다. 따라서 이런 경우에는 국내에 쌀 수입이 감소하는 효과가 나타나게 된다. 하지만 현지에서 쌀 생산량이 늘어 현지 가격이 크게 내려갔다면, 수출가격도 저렴해지면서 우리나라 수입 가격도 하락하게 된다. 이런 경우, 수입량이 급증할 우려가 있고, 그런 경우 국내 쌀 가격 또한 수입쌀 가격에 영향을 받게 된다.

TRQ 하에서 국내 쌀 산업에 가장 바람직한 상황은, 수출국 현지에서의 생산이 줄어 현지 가격이 급등하고, 환율은 상승하는 반면, 국내 가격이 평년보다 높게 형성되는 상황이라고 할 수 있다. 반면, 최악의 경우는, 수출국 현지의 생산 사정이 좋아 현지 가격이 하락한 상황에서 원화까지 강세를 보이는 가운데, 국내도 풍년으로 가격이 낮게 형성되는 상황이라고 할 수 있다. 국내 가격도 낮은 상황에서 외국산 쌀이 저가로 들어올 경우, 국내 시장 상황은 더욱 악화될 수도 있다.

따라서 정부는 일반적인 대응전략을 세우는 것도 중요하지만, 여러 가지 상황을 상정하고 그에 대한 대응 전략을 사전에 수립해두는 것이 중요하다. 일종의 컨틴전시플랜(contingency plan)이라고 할 수 있는데, 정부는 항상 최악의 상황을 가정한 대응 시나리오를 준비하고 있을 필요가 있다.

쿼터량은 사전에 정하는 경우가 많지만, 각국 정부가 필요에 따라 조절이 가능한 경우가 많다. 특히, WTO에서는 사전에 정해진 쿼터량을 일정 비율 이상 채우지 못할 경우, 다음해에 의무적으로 부족한 물량을 수입하도록 하고 있지만, 개도국에게는 이런 의무조항이 적용되지 않고 있다. 따라서 사전에 정해진 쿼터 물량이 50만톤이라고 하더라도, 필요가 없을 경우에는 50만톤을 모두 수입할 필요는 없게 된다. 하지만 필요할 경우에는 50만톤을 저율 관세로 수입할 수 있고, 그래도 국내 수급에 문제가 있을 경우에는 50만톤 이상의 물량을 저율 관세로 수입할 수 있다. 따라서 TRQ제도를 잘 활용할 경우, 국내 관련 농산물 시장을 보호할 수 있을 뿐 아니라, 국내에서 필요할 경우 수입량을 늘려 국내 시장 안정에 기여할 수 있는 장점을 가지고 있다.

최근 쌀의 관세화가 논란이 되고 있다. 우리나라는 1993년 우루과이라운드(UR: Uruguay Round) 협상에서 농업부문에서는 쌀의 관세화 예외 품목으로 인정을 받았다. 쌀을 10년간 관세화 대상에서 제외하는 대신, 최소시장접근(MMA: Minimum Market Access) 물량을 의무적으로 수입하는 방안을 인정받았다. 이후 10년간 쌀의 관세화는 진행되지 않았고, 우리나라는 일정량의 쌀을 수입하기만 되었다. 이러한 추세는 10년 뒤인 2004년 말까지 지속되었다. 하지만 우리나라는 쌀의 관세화 예외가 종료되는 2004년에 다시 10년간의 쌀 관세화 예외를 추진했고, WTO 회원국 내 이해당사국들의 양해를 얻어 2014년 말까지 관세화 유예를 연장하였다. 대신, 우리나라는 이전보다 저 많은 물량의 MMA로 수입해야 했고, 이전까지는 의무 수입 대상에 포함되지 않았던 밥상용 쌀의 수입도 일정 부분 포함시켜야 했다. 그 과정에서 쌀 수입량이 늘어났고, 국내 쌀

자급률은 90% 아래로 내려갔다.

MMA 수입량이 늘어나면서 다양한 부작용이 나타났다. 과거에는 수입된 쌀을 북한 원조용으로 많이 소비했지만, 2008년 이후 대북 원조가 거의 중단되면서 수입쌀은 국내에 보관해야 했다. 그에 따라 쌀 보관비용이 급증했다. 특히, 쌀은 시간이 지나면서 품질이 빠르게 떨어지기 때문에, 보관 비용 외에도 품질 하락에 따른 비용까지 발생했다. 일부 가공용으로 풀리기도 했지만, 국내산 쌀로 만들어진 쌀 가공식품에 대한 수요가 높아, 수입쌀의 가공용 소비는 크게 늘어나지 않았다. 그에 따라 수입쌀 관리와 관련된 정부의 비용 부담이 급증했고, 최근에는 정부가 재정적으로 부담스러울 만큼 비용이 증가하였다.

이러한 다양한 부작용을 고려한 정부는 2014년 말에 끝나는 쌀의 관세화 예외조치를 중단하기로 결정하고, 쌀의 관세화에 필요한 조치를 WTO에 통보하였다. 현재 정부가 계획하고 있는 쌀의 관세율은 513%로, 이것을 기준으로 WTO 내 쌀과 관련된 이해 당사국들과 협상을 진행해 나가고 있다. 우리보다 앞서 쌀의 관세화를 도입한 일본의 경우, 관세화 할 당시 종량세로 402엔/kg을 적용받았는데, 이것을 종가세로 전환하면 대략 1,256%가 된다. 일본의 관세율에 비하면, 우리나라는 절반 수준밖에 되지 않기 때문에, WTO와의 협의 과정에서 큰 반대가 없다면, 우리나라가 제시한 관세율로 관세화가 진행될 가능성이 높다.

우리나라가 개도국 지위를 계속 유지할 수 있다면, 정부가 제시한 관세율 수준에서 쌀의 관세화가 이루어질 것으로 예상된다. 현재 국내 쌀 가격은 수년에 걸쳐 정체되었던 데 반해, 외국산 쌀의 가격은 지속적으로 상승하여, 513%의 관세가 적용될 경우, 실질적으로 쌀의 수입은 거의 이루어지지 않을 것으로 예상된다.

하지만 WTO/DDA 협상과정에서 개도국 지위를 인정받지 못하게 되면, 300~400% 사이의 관세를 적용받게 된다. 이 수준의 관세에서는 수입쌀의 경쟁력이 있으므로, 수입이 늘어날 가능성이 충분히 있다. 따라서 쌀의 관세화 수준을 어느 수준에서 인정받는가도 중요하지만, 그에 못지않게 개도국 지위를 인정받는 것도 중요한 이슈라고 할 수 있다.

현재 DDA협상은 회원국 사이에 이견을 좁히지 못한 이슈들이 많아 협상을 시작한 지 10년 이상이 훌쩍 지났지만 여전히 타결이 쉽지 않다는 전망이 나온다. 따라서 우리

나라가 현재 수준의 쌀의 관세화율을 인정받으면, 상당 기간 관세율 하락을 걱정할 필요는 없을 것으로 보인다. 더욱이 개도국의 경우, DDA협상이 타결되더라도 특별품목에 대해서는 관세를 인하하지 않는 것으로 어느 정도 합의가 된 상태이다. 그렇기 때문에, 우리나라가 쌀 관세를 513%로 적용받으면, 설령 DDA 협상이 타결되더라도 개도국 지위를 유지하는 한, 쌀의 관세가 크게 낮아질 가능성은 높지 않다.

정부는 쌀의 관세화에 TRQ 제도를 적용할 계획인 것으로 알려지고 있다. 기존의 MMA 물량의 일부가 TRQ로 전환될 것으로 보이는데, 기존 물량은 저율 관세로, 쿼터 초과물량에 대해서는 고율 관세가 적용될 것으로 보인다. 다만, TRQ 물량 이외의 쌀 수입 가능한가 라는 문제가 있는데, 이 부분은 513%의 관세가 적용된다면 실질적인 수입 증가를 없을 것으로 예상된다. 따라서 관건은 TRQ 물량을 어느 정도 수준에서 결정할 것인가, TRQ 물량 미만으로 수입할 경우 다음해에 의무적으로 수입해야 하는 의무조항을 적용받을 것인가 등이라고 할 수 있다. 이런 부분은 WTO 협상이 진행되는 과정에서 구체화될 것으로 보인다.

쌀의 생산량 예측은 TRQ 물량의 조절을 통해 국내 시장 충격을 완화할 수 있다. 가령, 사전 예측을 통해 쌀의 생산량이 감소할 것으로 전망되면, TRQ 물량을 늘려 수입량을 늘릴 수 있다. TRQ 물량은, 해마다 의무적으로 수입해야 하는 MMA 물량과 달리, 우리나라가 어느 정도 탄력적으로 운용할 수 있는 여력이 있다. 필요할 경우, 물량을 늘릴 수도 있고, 필요 없을 경우에는 일부 줄일 수도 있다. 따라서 생산량이 감소하여 국내 가격이 상승할 것으로 예상되면, TRQ를 통한 수입량을 확대하여 국내 가격을 안정시킬 수 있다. 또한, 생산량 예측 결과, 쌀의 생산량이 평년보다 늘어나 가격이 하락할 징조가 있다면, TRQ 물량을 축소하여 운용할 수 있다. 국내 생산량이 많으므로, 수입량을 줄여 국내 전체 공급량을 조절하는 것이다.

이와 같이 TRQ를 통한 수입 물량을 조절하기 위해서는 사전에 정확한 생산량 예측이 필수적이다. 특히, 특정시기를 기준으로 한 생산량 예측은, 예측 이후 나타날 수 있는 위험을 통제하지 못한다는 측면에서 개방화 시대에 더욱 위험을 키울 우려가 있다. 예를 들어, 생산량이 늘어날 것으로 예측하여 수입을 줄이는 방향으로 정책 방향을 설정했는데, 수확기가 되기 전에 이상기후가 나타나 생산량이 급감한 경우, 정부 정책은 시장에서의 변동성을 더 키우게 된다. 생산량 예측이 늘어날 것으로 나타났으므로, 정부는 수입량을 줄이는 방향으로 정책을 설정했는데, 실제 수확량이 크게 줄었다면, 국내시장은

극심한 공급 부족에 시달리게 될 우려가 있다. 부정확한 예측에 기반한 정부의 정책이 시장에서의 변동성을 더 키운 것이다. 반대의 경우도 마찬가지이다. 사전 생산량 조사에서 생산량이 감소할 것으로 예측되어 수입물량을 확대하는 방향으로 정책을 결정했는데, 조사 시점 이후 기상여건이 좋아 실제 수확량이 크게 늘어났다면, 국내 시장은 늘어난 생산량에, 외국에서 수입된 쌀까지 시장에 출하되면서 가격이 폭락하는 현상이 나타날 수 있다. 정확하지 못한 예측에 기반한 정책이 시장에서의 변동성을 더 키웠다고 할 수 있다.

따라서 생산량 예측의 정확성을 높이는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 이런 측면에서 예측시기와 수확기 사이에 나타날 수 있는 변수들을 통제할 수 있는 본 연구에서 제안한 NDVI와 등속기 기상여건을 활용한 생산량 예측은 그 유용성이 매우 높다고 할 수 있다.

4.2.5 RPC를 통한 유통 물량 조절

수입쌀의 수입 및 방출 시기를 조절할 수도 있지만, RPC(쌀 도정공장, Rice Processing Complex)을 통해서도 국내 쌀의 유통 물량을 조절하는 방안을 고려할 필요가 있다. 현재 대부분의 농가는 수확 후 쌀을 농가에 보관하기보다 RPC에 매각하거나 보관하는 경향을 가지고 있다. 이것은 농가에 보관할 때 따른 다양한 어려움(품질 하락, 쥐 등의 곤충에 의한 피해, 보관 상의 어려움 등) 때문인데, 농가는 저장시설이 농가보다 양호한 RPC에 저장하는 것을 선호하고 있다. 대부분의 쌀이 RPC를 통해 출하되고 있다는 점을 고려하면, 과잉 생산된 쌀의 시장 격리도 RPC를 활용하여 격리하는 것이 유리하다. 만약 NDVI를 통한 생산량 전망에서 그해 쌀 생산이 과잉될 우려가 높다면, RPC를 통해 시장 격리 물량을 늘리고 출하량도 시장가격 추이를 관찰하여 시기별로 적정량을 유통될 수 있도록 조절할 필요가 있다.

하지만 이 정책수단은 RPC에만 맡겨둘 경우, 오히려 시장가격의 진폭을 더 확대할 우려도 있다. 왜냐하면, RPC는 시장가격 하락 전에 매입한 이후, 시장가격 하락 이후에 매각할 가능성이 높기 때문이다. 이런 경우, RPC는 상당한 적자를 감수해야 하는데, 공공기관이 아닌 민간기업인 RPC가 이런 위험을 감당할 필요는 없다. 오히려 이윤 극대화를 위해, 가격이 하락할 때는 저가 매입을 목적으로 매입을 하지 않고, 가격이 상승할 때 추가 상승을 예상하여 출하를 하지 않음으로써 가격의 변화폭을 더 확대하기도 한다.

따라서 쌀 출하를 민간 RPC에 전적으로 맡길 경우, 당초 정부가 의도한 목적을 달성하기 어려울 수 있다. 따라서 민간 RPC에 전적으로 맡기기보다는 정부가 출하 물량 조절에 적극적으로 개입할 필요가 있다.

시장은 심리에 의해 움직이는 경향이 있다. 가격이 하락할 것으로 예상되면 추가 하락에 대한 기대 때문에 아무도 매입을 하려고 하지 않아 가격이 더 크게 하락하는 경향이 있고, 상승할 것으로 전망되면 추가 상승을 예상해 출하를 하지 않는 경향을 보인다. 이런 움직임이 나타나는 이유는 손해를 덜 보거나 좀 더 높은 가격을 받고자 하는 개인들의 심리가 작용하기 때문이다. 따라서 이러한 시장의 심리에 영향을 주어 가격의 변동성을 축소하기 위해서는 정부의 강제성을 띤 정책 추진이 필요하다. 이러한 정책이 가능하기 위해서는 생산량에 대한 정확한 정보가 필요하다. 생산량 전망을 기초로, 시기별 필요한 출하량 계획을 수립하고, 이에 따라 민간 RPC 등을 활용하여 출하량을 조절하면 가격의 하락폭을 줄일 수 있게 된다. 가끔은 시장에 전적으로 맡기는 것보다 정부가 개입함으로써 변동폭을 줄일 수 있다.

더욱이 가격의 하락폭이 커질수록 정부의 변동직접지불금 부담이 커질 수 있기 때문에 가능한 한 가격의 하락폭을 줄이는 것이 정부의 재정 부담을 줄일 수 있는 지름길이 될 수 있다. 그리고 공공비축제와 마찬가지로, RPC를 통한 출하 물량은 일부 물량만을 대상으로 하기 때문에, 직불금보다 정부의 재정 부담이 크지 않다. 정부로써도 RPC를 통한 물량 통제가 단순히 시장에 맡길 때보다 충분히 장점이 있다고 할 수 있다. 관건은 얼마나 정확한 생산량 정보를 얼마나 이른 시기에 얻을 수 있는가 하는 점이다. 이런 측면에서 본 연구에서 제안한 모형을 활용한 생산량 예측은 충분히 그 유용성을 가진다고 할 수 있다.

4.2.6 해외원조 물량 확대

생산량 전망에 따라, 필요할 경우 대북지원을 포함해 해외 원조 물량을 확대하는 정책수단을 활용할 수도 있다. 우리나라는 북한의 요청에 따라 1995년에 최초로 국내산 쌀 15만 톤을 지원하였고, 그 이후에도 정부는 유·무상으로 식량지원을 지속적으로 추진하고 있다. 무상지원은 주로 WFP(World Food Programme)나 대한적십자사를 통해 추진하였으며 유상지원은 현물차관 지원의 형태로 2000년부터 추진하고 있다. 1995년부터 2008년까지 정부 차원의 대북 식량지원은 무상지원 70만여 톤, 차관지원 약 260

만 톤을 포함해 330만톤에 달한다.

대북지원과 같은 해외원조는 국내의 농산물을 시장에서 격리시킴으로써 국내 농산물의 시장가격을 지지하는 효과가 있다. 미국과 유럽 등의 국가들의 해외 식량원조가 그동안 비판을 받았던 것도, 바로 자국 내 시장가격의 하락을 막을 목적으로 해외 원조가 많이 활용되었기 때문이다. 일반적으로 보조금 등이 농업부문에 도입되면 해당 농산물 생산이 늘어나면서 생산 과잉 현상이 흔히 나타나게 된다. 이것은 미국이나 유럽에서 동일하다. 과잉 생산된 농산물을 적절한 시기에 시장에서 격리하지 않으면 시장가격이 폭락하면서 농가가 큰 어려움을 겪게 된다. 이런 사태를 미연에 방지하기 위해 정부는 해당 농산물을 저가에 매입하여 개도국 등에 무상 혹은 차관 형태로 지원을 하고는 했다.

이러한 식량 원조를 받는 국가들은 저렴한 식량을 구한 대신 자국의 해당 농산물 생산이 황폐화되는 것을 받아들여야 했다. 원조로 들어오는 식량의 가격은 무상이거나 저렴한 경우가 대부분이다. 따라서 자국 내 생산된 농산물이 해외에서 무상 혹은 저렴하게 들어온 농산물과 가격 경쟁에서 이길 방법은 없다. 이런 이유 때문에 해외 식량원조를 장기가 받게 되면 자국 내 산업이 붕괴되는 비용을 치러야 하는 부담이 있다.

하지만 원조를 하는 국가 입장에서는 자국 내 농산물 가격 하락을 막는 수단으로 활용될 수 있다. 우리나라는 북한에 2007년까지 매년 차관 형태로 1,500억원 이상의 식량 원조를 했으나 최근에는 식량 원조가 거의 중단되다시피 했다. 특히, 2008년 이후에는 식량 원조는 하나도 없고, 정부 지원도 크게 줄어들었다. 현재는 민간 차원의 대북 지원만 일부 이루어지고 있는 상황이라 할 수 있다.

Table 23. North Korea food aid(108 KRW).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
정부 (무상지원)	1,313	1,360	2,273	1,983	438	294	204	65	23	135
정부 (식량차관)	1,359	1,787	0	1,505	0	0	0	0	0	0
민간	1,588	779	709	909	725	377	200	131	118	51
합계	4,230	3,926	2,982	4,397	1,163	671	404	196	141	186

자료: 통일부.

우리나라의 경우에도, 대북 원조로 일정 물량이 시장에서 격리됨으로써 가격지지 효과가 있었던 것으로 나타났다. 한국농촌경제연구원이 추산한 결과에 따르면, 대북 원조로 2002년부터 2007년까지 농가판매가격은 연도별로 낮게는 0.6%, 높게는 1.9%까지 높아진 것으로 나타났다. 가격에 대한 효과는 생산자가격 외에도 소비자가격도 0.6%에서부터 2.1%까지 높은 효과가 있었던 것으로 나타났다. 이 기간 동안에 대북 쌀 지원으로 농가판매가격이 평균 1.3% 상승하면서 생산자후생(producers surplus)이 약 7,000억 원 증가한 것으로 나타났다. 하지만 소비자후생(consumers surplus)은 소비자 가격이 상승하면서 감소하였으며, 총 사회적 후생 손실의 대부분을 차지하는 정부의 비용 부담은 북한으로 이전된 것으로 나타났다.

이것은 국내에서도 대북 식량 원조를 통한 시장 격리가 가격 지지에 일정한 효과가 있었다는 것을 보여준다. 이런 효과를 고려하면, 최근 수년 간의 쌀 가격 정체 현상은 대북 지원에 따른 시장 격리 물량이 감소한 데도 일부 영향이 있다고 할 수 있다. 따라서 생산량이 늘어날 것으로 예상되는 시기에는, 정치적인 상황이 허용하는 한도 내에서, 대북 식량 원조를 확대하는 방안을 적극 고려할 수 있다. 이러한 정책적 고려도 정치적인 요인도 고려해야 하겠지만, 결국은 생산량에 대한 정확한 정보가 바탕이 되어야 가능하다. 생산량에 대한 정보의 정확성을 높일 수 있다면, 해외 원조 등으로 시장 격리시킬 물량 산정이 가능하고, 그에 대한 예산도 사전에 책정할 수 있다. 이러한 정책 수단을 활용하면, 국내 쌀 시장에서 생산량 변화에 따른 가격 변동폭은 크게 줄일 수 있다.

5. 요약 및 결론

5.1 쌀단수예측모형의 개발

현재 통계청이 발표하는 9·15 생산량 전망치는 9월 15일까지의 작황을 기준으로 산정한다는 특징을 가지고 있다. 즉, 9월 중순까지의 벼의 발육상태를 고려하여, 수확기까지 특별한 충격이 없다는 것을 전제로 생산량을 예측한다. 따라서 9·15조사에는 단위 면적당 포기수, 포기마다 열린 낱알 수, 그리고 낱알 가운데 완전 낱알 수 등에 대한 정보가 매우 중요하다. 이러한 예측 방법은 주어진 상황에서 생산량을 예측할 수 있는 가장 정확한 방법 가운데 하나라는 것은 부인할 수 없다.

하지만 이러한 예측치는 치명적인 단점을 가지고 있다. 즉, 생산량 예측 시기인 9월 중순과 실제 수확기인 10월 중순 이후 사이에 시간차가 존재한다는 점이다. 이 기간 동안 특별한 기상 변화가 없다면, 9·15조사는 상당히 정확한 생산량 예측치가 될 수 있다. 그런데 이것은 9월 중순부터 수확기까지 생산량에 영향을 줄 만한 사건이 일어나지 않는다는 것을 전제로 하고 있다. 만약 이 기간 동안에 생산량에 영향을 줄 수 있는 사건이 발생한다면, 9·15조사의 오차는 확대되면서 정확성이 크게 떨어질 수 있다. 따라서 생산량 전망치의 정확성을 높이기 위해서는 수확기까지의 기상 변화 등의 변수를 고려할 수 있어야 한다. 실제 과거의 자료를 보면, 2007년과 2010년에는 태풍이라는 큰 변수가 9·15조사 이후 나타났고, 그로 인해 실제 생산량은 예상치보다 1~2% 적었던 것으로 나타났다. 또한, 2008년과 2009년에는 기상 조건이 호전되면서 실제 수확량이 예상 수확량보다 5% 정도 많게 나타났다. 따라서 예상 수확량의 정확성을 높이기 위해서는 9·15조사 결과에 추가적인 변수를 고려하거나, 수확기까지의 기상 변수들을 고려할 수 있는 새로운 추정 모델이 개발될 필요가 있다.

이러한 측면에서 NDVI의 유용성을 평가해볼 수 있다. NDVI는 위성 영상을 활용한 식생지수(Vegetation Indices)를 활용하여 생산량을 사전에 예측하는 방법이다. 단순히 NDVI를 활용한 예측 방법은 9·15조사와 동일한 단점을 가지고 있다. 왜냐하면 예측 시점에 활용할 수 있는 식생지수에는 수확기까지의 기상 변수들이 포함되어 있지 않기 때문이다. 따라서 수확량에 대한 정확도를 높이기 위해서는, 식생지수와 함께 수확기까지의 기상자료나 계절 예측자료를 활용할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 MODIS 식생지수와 8월, 9월, 10월, 8월에서 10월의 석 달 평균의 강우량, 일조시간, 기온 등의

작물 생육과 밀접한 관련이 있는 등숙기를 포함하는 기간의 기상요소를 활용하여 전국 단위(식 17과 18)와 농업기후지대별 쌀단수예측모형(Table 13)을 개발하였다.

한편, 관측 쌀단수자료와 식생지수만을 활용하여 추정된 쌀단수자료를 본 연구에서 개발한 전국단위 와 농업기후지대별 쌀단수예측모형으로 추정된 쌀단수를 비교하여 본 연구에서 개발한 쌀단수예측모형(식 17과 18)을 평가하였다. 평균절대오차백분율(MAPE)은 식생지수만을 이용한 모형이 약 2.8%, 관측기상자료를 이용한 모형이 약 1.7%로 나타났다. 식생지수만을 활용한 모형의 경우에는 등숙기의 기상여건을 반영하지 못하는 단점이 있을 수 있는데, 2007년, 2008년, 2009년의 예상량조사와 실수확량조사의 차이와 매우 유사하게 추정하였다. 반면에 등숙기 기상조건을 고려한 모형의 경우는 모두 실수확량에 근접한 추정치를 보였다.

본 연구에서 제안한 쌀단수추정모형에 APCC MME hindcasts자료를 대입하여 계절 예측자료의 농업분야 적용성을 검토하였다. MAPE의 경우 hindcasts자료를 대입했을 때 가 본 연구의 전체기간(2002년에서 2010년까지)에 대해 약 3.53%로 가장 큰 값을 보였다. 그러나 9.15 예상량조사에 의한 추정치가 비교적 큰 차이를 보였던 2007년에서 2009년까지 3개년에 대해서는 MAPE가 약 2.23%로 식생지수만을 사용하여 추정한 경우(4.04%)나 9.15 예상량 조사에 의해 추정한 경우(4.80%)보다 작은 값을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 모형은 9.15 예상량 조사에 의한 추정치와 더불어 정부의 쌀 가격 및 수급안정대책 마련 등에 중요한 참고자료로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

5.2 모형 활용 방안

본 연구에서 제안한 쌀단수예측모형의 예측성을 개선하여 기존 통계청의 표본조사 방법과 함께 활용하면, 전국적으로 3350여개의 표본 필지 수를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 표본 필지수를 줄이게 되면, 단위 면적당 포기 수, 포기당 유효 이삭 수, 이삭당 완전 낱알 수 등을 일일이 조사해야 되는 표본조사방법에서 인건비 등을 크게 줄일 수 있어서 비용이 크게 절감될 것으로 기대된다. 또한, 기존의 표본조사에 의한 쌀단수 추정치와 본 연구의 모형 추정치의 결과가 크게 다를 경우에는 등숙기의 기상여건을 보다 면밀히 검토하여 최종 쌀단수 추정치를 발표하여, 쌀단수추정치에 의존하는 정부의 쌀수급 및 가격 안정대책 마련에 보다 정확한 쌀단수추정치를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

밥상용 쌀의 수입이 최근 정부의 쌀관세화조치선언으로 더욱 증가할 것으로 예상되고 있으며, 우리나라 사람이 좋아하는 밥상용쌀은 미국의 캘리포니아지역의 중립종쌀이나 중국 동북3성의 자포니카계열의 쌀이 주종을 이루고 있다. 따라서 국내 쌀수급 안정 대책을 위해서도 이들 지역의 쌀생산량을 추정할 필요가 있으나, 과종일, 수확일, 관개 및 시비 등 영농활동정보 수집에 제약이 있는 상황에서 많은 정보를 요구하는 예측모형의 활용성은 크게 떨어질 수밖에 없다. 본 연구에서 제안한 쌀단수예측모형은 위성영상 자료와 계절예측자료만을 활용하기 때문에 그 활용성이 무척 크다고 할 수 있겠다.

남북한 협력 및 통일 농업정책 추진을 대비하여 쌀생산량 등을 포함한 북한지역의 농업통계 개발의 필요성이 대두되고 있으나(통계청 보도자료, 2013), 북한에 대한 농업 현황자료는 지속적이고 객관적인 자료확보가 필수적이나 청취나 문헌조사가 대부분으로, 현재 정확한 북한 지역 농업통계 파악이 사실상 불가능한실정이다(Hong et al., 2012). 이러한 자료의 수집이 어려운 북한지역의 경우 원격탐사기법은 그 활용가치가 매우 크며, 최근에 이러한 원격탐사기법 등을 활용하여 북한지역의 논면적을 추정한바 있다. 본 연구에서 제안한 쌀단수추정모형은 이러한 연구들을 활용하여, 보다 정확하게 북한지역의 쌀생산량을 추정하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

5.3 정책적 함의

통상 통계청은 9.15예상량조사를 바탕으로 10월 중순께 그 해 예상량을 발표한다. 이를 기반으로 농림축산식품부는 가격 및 수급안정대책 등의 대책을 역시 10월 중순께 발표하고, 그 뒤를 이어 농촌경제연구원 및 민간연구기구 등이 주로 쌀값전망치를 발표하고 이를 바탕으로 수급 및 가격안정대책을 제언한다. 그러나 정부의 수급 및 가격안정 대책의 실효성이 낮기도 하였다(Figure 3). 따라서, 수확기 생산량을 보다 정확하게 예측할 필요가 있다. 수확기 생산량 예측의 정확도가 크게 개선되면, 정책당국이 이 정보를 활용할 수 있는 방안은 여러 가지가 있다. 첫째는 정확해진 생산량 전망치를 바탕으로 수확기 시장가격을 전망할 수 있다. 시장가격 전망 결과는 직접지불제 관련 예산에 반영할 수 있다. 가령, 가격이 정부가 정한 목표가격 이상으로 상승할 것으로 전망되면 변동직접지불금은 지급되지 않는다. 하지만 생산량이 크게 늘어 가격이 큰 폭으로 하락하여 목표가격과의 차이가 벌어지게 되면, 정부의 변동직접지불금 예산은 크게 늘어나게 된다. 이렇게 늘어난 예산이, 정부가 당초 책정한 변동직접지불금에 대한 예산보다 많다면 정부는 추가 재원 확보를 해야 한다. 이와 같이, 생산량 전망치의 정확도가 개선되면

직접적으로 직접지불제 관련 예산을 준비하고 집행하는 데 도움을 받을 수 있다.

둘째, 생산량 전망이 정확해지면, 쌀의 수입 시기나 물량 조절을 통해 시장의 변동성을 완화할 수 있다. 국내시장에서의 충격 완화를 위해 밥상용 쌀의 수입 및 국내 출하시기를 조절하는 방안도 고려할 수 있는 정책 수단의 하나이다. 이미 수입쌀의 유통과 판매에 대한 정부의 훈령을 보면, 시장 상황에 따라 수입시기와 출하시기를 조절할 수 있도록 하고 있다. 생산량이 많아 시장가격이 하락할 우려가 있다면, 수입쌀의 수입 시기와 출하 시기를 최대한 늦출 필요가 있고, 생산량이 줄어들어 가격이 상승할 우려가 있다면, 수입 시기를 최대한 앞당기고 출하도 서둘러 할 필요가 있다. TRQ를 통한 물량 조절도 가능한 정책 수단의 하나라고 할 수 있다. 우리나라는 쌀의 비관세화를 포기하고, 내년부터 관세화로 전환할 예정인데, 이렇게 되면 일정 물량은 저율관세로 수입하고 초과 물량은 고율관세로 수입하는 TRQ가 도입될 것으로 보인다. TRQ제도 하에서는 국내 상황에 따라 저율로 수입되는 물량을 조절할 수 있다. 국내 생산량이 많다면 TRQ 물량을 축소하고, 국내 생산량이 적다면 TRQ 물량을 확대하는 방법이다. 또한, 본 연구에서 제안한 모형을 밥상용 쌀의 주요한 수입지역으로 예상되는 중국의 동북3성이나 미국의 캘리포니아주의 쌀생산량을 예측하는데 활용할 수 있다.

셋째, 생산량이 평년보다 많을 것으로 전망되면, 필요한 물량을 시장에서 격리하여 시장가격 하락에 대비할 필요가 있다. 현재 정부가 쌀의 시장 격리를 위해 활용할 수 있는 정책 수단은 공공비축제, RPC를 통한 유통 물량 조절, 대북 식량 지원과 같은 해외 원조 등이 있다. 공공비축제는 정부가 공공의 목적에 필요한 물량을 시장가격에 매입하여 비축하는 제도로, 우리나라는 FAO가 권고하고 있는 소비량의 17%를 기준으로 책정하고 있다. 이 제도 하에서는 명목적으로 시장가격이나 생산량에 영향을 줄 목적의 정책 수단을 사용해서는 안 된다. 하지만 우리나라 정부는 시장에 쌀 공급이 급증하여 가격이 하락할 때, 시장가격을 지지할 목적으로 공공비축제를 활용하기도 한다. 즉, 쌀 가격이 하락할 것으로 예상되면 공공비축 물량을 평소보다 늘리고, 쌀 가격 상승이 예상되면 줄이는 방법이다.

RPC를 활용해 쌀의 유통 물량을 조절하는 방법도 있다. 이 방법은 생산량이 많아 가격이 하락할 것으로 예상되면 RPC를 통해 유통 물량을 줄이고, 가격이 상승할 것으로 예상되면 유통 물량을 줄이는 방법이다. 일반적으로 유통을 시장에만 맡겨두면 가격의 변동폭을 더 키울 우려가 있다. 그런 효과를 미연에 방지하기 위해서는 정부가 개입하여

RPC를 통한 쌀의 유통 물량을 조절할 필요가 있다. 대북 원조를 통해 국내 유통되는 쌀의 양을 줄이는 방법도 있다. 우리나라는 2009년까지 인도적 목적으로 매년 상당량의 쌀을 북한에 지원해주었다. 이러한 대북 지원은 지원되는 양만큼을 시장에서 격리시키는 효과가 있기 때문에 쌀 가격을 지지하는 효과가 나타나게 된다. 한국농촌경제연구원의 연구 결과에 따르면, 실제 대북 지원으로 국내 쌀 가격이 인상되는 효과가 있었다고 한다. 따라서 정치적으로 허용되는 경우, 생산 과잉이 우려될 경우, 대북 지원을 포함한 해외 식량원조도 적극 고려해볼 필요가 있다. 이런 측면에서 대북 지원은 효과적인 시장 격리 수단인 하나라고 할 수 있다. 그 외에도 국내시장에서의 충격 완화를 위해 밥상용 쌀의 수입 및 국내 출하 시기를 조절하는 방안도 고려할 수 있는 정책 수단의 하나이다. 이미 수입쌀의 유통과 판매에 대한 정부의 훈령을 보면, 시장 상황에 따라 수입시기와 출하시기를 조절할 수 있도록 하고 있다. 생산량이 많아 시장가격이 하락할 우려가 있다면, 수입쌀의 수입시기와 출하 시기를 최대한 늦출 필요가 있고, 생산량이 줄어들어 가격이 상승할 우려가 있다면, 수입 시기를 최대한 앞당기고 출하도 서둘러 할 필요가 있다.

이상을 정리하면, 정확한 생산량 정보가 가능해지면 정책 당국이 이를 활용할 수 있는 방안은 다양하다고 할 수 있다. 비용을 크게 절감할 수도 있고, 쌀 시장에서의 충격을 완화하는 데 활용할 수도 있다. 결국 관건은 얼마나 정확한 수확량 예측이 가능한가에 달려 있다고 할 수 있다. 실제 수확량이 예측치와 크게 차이가 나게 되면, 정책 당국이 활용할 수 있는 정책 수단도 크게 제약을 받을 뿐 아니라, 시장에서의 변동성을 더 키울 우려도 있다. 생산량이 늘어날 것으로 전망하고 시장 격리에 필요한 정책을 집행했는데, 실제 수확량은 감소했다면, 시장 가격의 변동폭은 정부 개입이 없을 때보다 더 커지게 된다. 시장에서의 변동성을 줄이려고 시작한 정책이 오히려 시장의 변동폭을 키우는 꼴이 된 것이다. 따라서 정책적 유용성을 확대하기 위해서는 무엇보다도 사전 수확량 전망치가 정확할 필요가 있다. 따라서 정부의 9·15조사 외에도, 식생지수를 활용한 수확량 전망과 같이, 다양한 예측치들이 개발되고 활용되어 사전 수확량 예측치의 정확도를 제고시킬 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서 제안한 식생지수와 계절예측자료를 활용한 추정치를 통계청의 9.15예상량조사의 추정치와 더불어 의사결정을 지원하는 자료로 활용하여 보다 정확한 쌀생산량 추정치를 제공함으로써, 정부의 수급 및 가격안정대책의 실효성을 높이는데 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

- 기상청, 2012. 현업용 권역별 장기예보 기술 개발에 관한 연구. RACS-2010-2018.
- 김맹기, 2005. 한반도 기후변화 시나리오를 위한 통계적 규모축소법의 적용성. 한국기상학회지 41, 217-227.
- 김맹기, 강인식, 1997. 광역 기후 변수와 지역 기후 변수사이의 통계적 연관성: 한반도의 온난화와 연관된 북반구해면기압패턴. 한국기상학회지, 33, 261-271.
- 김영훈, 성명환, 남민지. 2008. 「대북 식량지원의 효과와 정책과제」. 한국농촌경제연구원.
- 김윤식. 2007. “정부의 농산물 수매행태가 생산에 미치는 영향: 쌀을 중심으로.” 「농업경제연구」 48(3)(Sep., 2007): 109-128.
- 김이현, 홍석영, 김명숙, 곽한강. 2007. GNDVI를 이용한 벼 군락 엽 질소함량 추정, 대한원격탐사학회 학술대회논문집, 43-48.
- 나상일, 박중화, 박진기. 2012. 기상용소와 MODIS NDVI를 이용한 한국형 논벼 생산량 예측모형(KRPM)의 개발. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, 54(3), 141-148.
- 농림축산식품부. 2014. “2014년산 쌀 예상생산량” 보도자료.
- 박동규, 권대흠, 승준호. 2011a. 2011 수확기 쌀 수급안정방안. 한국농촌경제연구원
- 박동규, 권대흠, 이용연. 2011b. 쌀 생산 및 소비량 통계 개선방안. 한국농촌경제연구원
- 박동규, 김명환, 박미성, 사공용, 김관수. 2010. 쌀산업 발전을 위한 대 토론회. 한국농촌경제연구원
- 박동규, 조규대, 주현정. 2006. 「수입쌀 가치평가 및 소비 대체효과 분석」. 한국농촌경제연구원.
- 박동규, 채상현. 2007. 쌀소득보전직불제 제도 개선 방안 공청회 결과. 한국농촌경제연구원
- 박중화, 나상일, 박진기, 백신철, 오시영. 2011. 원격탐사기술을 활용한 주요 농산물 생산

량 추정기법 개발. 통계청.

박종화, 신용희, 박민서. 2003. 밭작물의 분광반사 특성과 식생지수. 한국관개배수학회지 10(2), 43-54.

유승훈, 양창영. 2006. 인도네시아에서의 발전과 경제성장의 인과관계 분석. 아시아연구 9(2), 197-218.

윤진일. 1999. 농업기상학. 아르케.

이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 이윤선, 권영태. 2008. 기후변화가 농업생태에 미치는 영향-나주지역을 사례로. 대한지리학회지 43(1), 20-35.

이의규, 정미옥, 이충근. 2010. 쌀 예상 생산량 모형 연구. 통계청

이정택, 이춘우, 주문갑, 홍석영. 1997. 태양광 반사율을 이용한 벼 군락의 엽면적지수 추정. 한국작물학회지 42(2), 173-181.

이정환. 2013a. "정부 쌀 관리방식의 문제." 「시선집중 GS&J」 제 159호.

이정환. 2013b. "정부의 쌀시장 개입 방식 개혁." 「시선집중 GS&J」 제 160호.

이정환. 2013c. "쌀 목표가격의 합리적 대안." 「시선집중 GS&J」 제 168호.

장석환. 2000. 주요 식량작물의 생산량 예측 모형에 관한 연구. 한국데이터정보과학회지 11(1), 47-55.

정재준, 최영은. 2011. GIS기반 기후지도 제작을 위한 내삽방법에 관한 연구. 기후연구 6(2), 159-170.

조경숙, 윤진일. 1999. 일기상자료에 의한 읍면별 벼 작황진단 및 쌀 생산량 예측. 한국농림기상학회지 8(4), 229-241.

최돈향, 윤성호. 1989. 농업기후시대 구분과 기상재해 특성. 한국작물학회, 1, 13-33.

최종근, 2002, 공간정보모델링: 크리깅과 최적화 기법, 구미서관, 서울.

하림, 신형진, 박근애, 홍우용, 김성준. 2008. MODIS LAI(엽면적지수) Product의 활용성

- 평가. 한국지리정보학회지 11(2), 61-72.
- 통계청, 원격탐사 활용 북한 벼 재배면적 1개도 시험조사. 발간등록번호 11-124-0000-000697-01.
- 홍석영, 이정택, 임상규, 정원교, 조인상. 1998. 분광반사특성을 이용한 벼의 생장량 추정. 한국원격탐사학회지 14(1), 83-94.
- 홍석영, 임상규 외. 2008. 생태환경 위성영상을 이용한 북한의 농어환경 분석-1. Landsat TM영상을 이용한 북한의 지형과 토지피복분류. 한국환경농학회지 27(2), 120-132.
- 홍석영, 허지나, 안중배, 이지민, 민병걸, 이충근, 김이현, 이경도, 김선화, 김건엽, 심교문. 2012. MODIS NDVI와 기상자료를 이용한 우리나라 벼 수량 추정. Korean Journal of Remote Sensing, 28, 509-520.
- Allen, J.D. 1990. A Look at the remote sensing applications program of the National Agricultural Statistics Service. Journal of Official Statistics 6(4), 393-409.
- Bolton, D.L, Friedl, M.A., 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. Agricultural and Forest Meteorology, 173, 74-84.
- Burrough, P. A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, New York: Oxford University Press.
- Cock, J.H., Yoshida, S. 1972. Accumulation of 14 C-labeled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. Proceedings of the Crop Science Society of Japan. 41: 226-234.
- Daughtry, C.S, Bauer, M.E., Crececius, D.W., Hixson, M.M. 1980. Effects of management practices on reflectance of spring wheat canopies. Agron. J. 72(6), 1055-1060.
- Doraiswamy, P.C., Akhmedov, B., Beard, L., Stern, A., Mueller, R. 2007. Operational prediction of crop yields using MODIS data and products. International Archives of Photogrammetry. International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Science Special Publication.

- Hong, S.Y., Min, B.-K., Lee, J.-M., Kim, Y., Lee, K. 2012. Estimation of paddy field area in North Korea using RapidEye images. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6), 1194-1202.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G.(2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213
- Justice, C.O., Vermote, E., Townshend, J.R.G., Defries, R., Roy, D.P., Hall, D.K., Salomonson, V.V., Privette, J.L., Riggs, G., Strahler, A., Lucht, W., Myneni, R.B., Knyazikhin, Y., Running, S.W., Nemani, R.R., Wan, Z.M., Huete, A.R., van Leeuwen, W., Wolfe, R.E., Giglio, L., Muller, J.P., Lewis, P., & Barnsley, M.J. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer(MODIS): Land remote sensing for global change research. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1228-1249
- Kang, H., and Coauthors, 2009: Statistical Downscaling of Precipitation in Korea Using Multimodel Output Variables as Predictors, *Mon. Wea. Rev.*, 137, 1928-1938
- Kim, M. K., I. S. Kang, C. K. Park and K. M. Kim, 2004: Superensemble prediction of regional precipitation over Korea. *Int. J. Climatology* , 24, 777-790.
- Kimura, R., Okada, S., Miura, H., Kamichika, M. 2004. Relationships among the leaf area index, moisture availability, and spectral reflectance in an upland rice field. *Agricultural Water management* 69, 83-100.
- Lee, D. Y., C.-Y. Tam, and C.-K. Park, 2008: Effects of multicumulus convective ensemble on East Asian summer monsoon rainfall simulation, *J. Geophys. Res.*, 113, D24111, doi:10.1029/2008JD009847.
- Lee, D. Y., J.-B. Ahn, and K. Ashok, 2013a. Improvement of multi-model ensemble seasonal prediction skills over East Asian summer monsoon region using a climate filter concept, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 1127-1138. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0123.1>
- Lee, D. Y., J.-B. Ahn, K. Ashok, and A. Alessandri. 2013b. Improvement of grand

- multi-model ensemble prediction skills for the coupled models of APCC/ENSEMBLES using a climate filter. *Atmosph. Sci. Lett*, 14, 139-145, doi: 10.1002/asl2.430
- Lee, D. Y., K. Ashok, and J.-B. Ahn, 2011: Toward enhancement of prediction skills of multimodel ensemble seasonal prediction: A climate filter concept, *J. Geophys. Res.*, 116, D06116, doi:10.1029/2010JD014610.
- Myneni, R.B., G. Asrar, and F.G. Hall, 1992. A three dimensional radiative transfer model algorithms-experiments. *Remote Sensing of Environment*, 51: 3-26.
- Nuarsa., I.W., Nishio. F., Hongo, C., 2011. Relationship between rice spectral and rice yield using MODIS data. *Journal of Agricultural Science*, 3, 80-88.
- Panda, S.S., Ames, D.P., Panigrahi, s. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sensing*, 2, 673-696.
- Peng, P., A. Kumar, H. van den Dool, and A. G. Barnston, 2002: An analysis of multimodel ensemble predictions for seasonal climate anomalies, *J. Geophys. Res.* 107, 4710, doi:10.1029/2002JD002712.
- Prasad, A.K., Singh, R.P., Tare, V., Kafatos, M. 2007. Use of vegetation index and meteorological parameters for the prediction of crop yield in India. *International Journal of Remote Sensing* 28, 5207-5235.
- SAS Institute Inc. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Shi, J., Huang, J., Zhang, F. 2013. Muti-year monitoring of paddy rice planting area in Northeast Chiina using MODIS time series data. *Journal of Zhejiang University-SCIENE B*, 14(10), 934-946.
- Sohn, S.-J., Tam, C.-Y., Ahn, J.-B., Development of a multimodel-based seasonal prediction system for extreme droughts and floods: a case study for South Korea. *International Journal of Climatology*, 33(4), 793-805.
- Yamamoto, H., Honjo, H., Wakiyama, Y. 1990. Evaluation of leaf area index and biomass of soybean caopies using spectral reflectivity. *J. Agr. Met.*, 16(1), 19-22.

Yang, Y.K. 1985. Correlation of rice grain yield to radiometric estimates of canopy biomass as a function of growth stage. *Journal of Korean Society of Remote Sensing* 1, 163-187.

연구보고서 2015-18

원격탐사자료기반 한반도의 벼 생산성 예측

Remote Sensing-Based Rice Productivity Prediction in South Korea

전종안 기후변화연구팀



APEC Climate Center

612-020 부산광역시 해운대구 센텀7로 12

Tel: 051-745-3900 Fax: 051-745-3949

www.apcc21.org

 www.facebook.com/apcc21

 www.youtube.com/APECClimateCenter21

 www.twitter.com/apcc21

 www.plus.google.com/+APECClimateCenter21

 www.flickr.com/apcc21