

농업의 홍수조절기능과 수자원함양기능 계량화 및 가치평가에 관한 연구

서명철* · 강기경 · 현병근 · 윤홍배 · 엄기철

농업과학기술원 농업환경부 다원기능팀

The Study on Quantifying and Evaluating for the Functions of Flood Control and Fostering Water Resources in Agriculture

Myung-Chul Seo,* Ki-Kyung Kang, Byung-Geun Hyun, Hong-Bae Yun, and Ki-Cheol Eom

Agro-Environmental Multifunction Assessment Team, National Institute of Agricultural Science & Technology, RDA

In order to share the understanding agricultural multifunctionality with people, we carried out quantification and monetary evaluation for controlling flood and fostering water resources function in paddy and upland farming in Korea. The amount of water controlling flood and fostering water resources function in paddy farming was much greater than that in upland. The quantification of flood control function could be estimated by sum of the height of dike and water infiltrated during the flooding periods in paddy farming, and water excepting runoff water from precipitation at flooding time in upland farming. As results of estimation of flood control function, the amounts of water controlling flood have been evaluated as 294 mm year⁻¹ in paddy farming and 72.6 mm year⁻¹ upland farming, and was calculated 3.71 billion MT on a nation basis in 2006. When it was carried out monetary estimation as the cost of dam construction and the depreciation expense by using replacement cost method, flood control functions in paddy and upland were evaluated as 44,338.9 and 7,221.5 billion won, respectively. Comparing with previous reports, monetary value was analyzed much to increase because of rising price cost recently. Fostering water resource functions were also quantified in paddy and upland farming as the amount of water keeping and infiltrating water during the cultivation. In the basis of estimation model, it was showed that paddy and upland farming had been estimated to have 414.28 mm year⁻¹, 18.7 mm year⁻¹, respectively. They were also calculated to 4.49 and 0.137 billion MT on a nation basis in 2006, respectively. The economic values of fostering water resources function in paddy and upland farming were also estimated to 1,769.4 and 52.8 billion won, respectively, as replacing the amount of water to the cost of drinking water in 2006. There were differences by much to the amounts of controlling flood function and fostering water resource between paddy and upland farming. It means that paddy farming more play an important role in environment than upland farming in Korea.

Key words: Multifunctionality, Flood control, Fostering water resources, Replacement cost method

서 언

농업은 일차적인 식량을 생산하여 국민들의 안정적인 먹거리를 제공하는 기본적인 역할을 함과 동시에 식량안보, 환경보전, 국토의 균형발전, 농촌고용증진, 전통문화계승발전 등과 같은 비시장재화(non-commodity output)를 부수적으로 생산하고 있다. 즉, 농업활동을 통한 생산과정에서 여러 가지 시장적 산출물을 생산함과 동시에 비시장적 재화가 결합적으로

생산되는 것을 농업의 다원적기능 (Multifunctionality) 이라고 한다(Oh et al., 2004). 농업의 다원적 기능은 WTO, FAO 및 OECD와 같은 국제기구에서도 논의가 되어 왔다. WTO에서는 UR 농업에 관한 협정문 Article 20에서 식량안보 및 환경보호의 필요성을 포함하여 비교역적 관심사항(Non-Trade Concern)에 유의한다고 명시하였으며 WTO 농업위원회에서는 비교역적 관심사항에 대한 논의가 계속적으로 진행되고 있으며 도하개발 아젠다(DDA) 협상에서는 우리나라를 포함한 농산물 수입국들이 농업의 다원적 기능에 관한 부분을 반영할 것을 활발하게 주장한 바 있다.

접수 : 2008. 2. 22 수리 : 2008. 3. 25
*연락처 : Phone: +82312900298,
E-mail: mcseo@rda.go.kr

한편, OECD에서 다원적 기능에 대한 개념적이고 실질적인 논의가 많이 이루어 졌는데 1998년 처음으로 OECD 농업각료회의에서 다원적 기능이라는 개념을 채택하였으며 다양한 작업반, 워크숍 등을 통하여 다원적 기능에 대한 개념을 정의하고 사회·경제적 분석을 위한 보고서도 발간 한 바 있다. 여기에서 농업의 다원적 기능을 경관, 종·생태계 다양성, 토양의 질, 수질, 대기질, 물이용, 경지보전, 온실효과, 농촌의 활력화, 식량안보, 문화유산, 동물복지 등으로 구분하였다(OECD, 2001). 우리나라에서는 농업의 다원적 기능을 OECD에서 분류한 세부적인 부분을 식량안보, 환경보전, 농촌경관 및 문화·농촌활력(Amenity) 등 크게 4개 부문으로 1차적인 정의를 하였으며 세부적인 기능들에 대한 실증작업과 가치분석들이 이루어져 왔다(Choi, 2000).

한편, 농업의 다원적 기능 가운데 환경보전기능은 실제 농업환경에서 이루어지고 있는 현상들에 대한 물리 화학 생물학적인 해석이기 때문에 농촌경관과 문화·농촌활력 등과 같은 다원적 기능에 비해 객관성을 확보하는 것이 가능하다. 그러나 주관적이거나 상대적인 관점에서 접근이 가능하기 때문에 추정모형의 과학적 근거와 논리성 및 실제 자연현상에서 사례와 같은 부분들을 충분히 고려하여야만 한다. 따라서, 환경보전기능에 대한 계량화 및 가치 분석에는 합리적인 논리와 이를 뒷받침할 수 있는 많은 통계적, 실험적 자료가 요구된다.

환경보전기능 계량화와 관련된 연구들은 1984년 산림의 공익기능 계량화가 처음 시도되어 수자원함양기능, 토사유출방지기능, 토사붕괴방지기능, 보건휴양기능, 야생조수보호기능, 탄소공급 및 대기정화기능으로 구분하여 평가를 하였다(Ho, 1984). 또한, 1993년에는 소비자 잉여 등의 세부항목을 추가하여 대체법과 기회비용법으로 경제성을 평가하였다(Lee et al., 1993).

농업부문에 대한 환경보전기능은 1991년 대기정화기능과 수질정화기능에 대한 계량화가 시도되었다. 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출하는 양을 식물에 포함된 당함량을 근거로 계량화를 하였으며 논에서 관개수중에 포함된 COD, SS, T-N, T-P 등의 제거량을 산정한 바 있으나 다른 기능들에 대해서는 수행하지 못하였다(Kim, 1991). 그 후 1993년 논농사에 대해서 환경보전기능의 세부기능들에 대하여 본격적인 평가가 수행되었으며 홍수조절기능, 수자원함양기능, 고온 여름철 대기냉방효과, 토양유실방지기능, 대기정화기능, 수질정화기능, 논외 농업적 부가가치 등으로 세분화하여 계량화와 함께 비용편익분석을 수행하였다(Eom, 1993). 당시 논농사의 홍수조절기능은 댐건설비와 수몰지역 보상비를 포함하여 15조 5,340억원으로

평가하였으며 다른 세부기능들에 대해서도 경제성 분석을 수행하였다.

발농사의 공익기능에 대해서도 계량화 연구가 수행되었으며 수질정화기능을 제외한 나머지 세부기능들에 대한 경제성 평가까지 분석되어 홍수조절기능의 경우 전국단위로 최대 2조 563억원에서 최소 2,527억원으로 보고한 바 있다(Jung et al., 1994). 그 후 논농사와 발농사에서 환경보전기능 평가에 대한 연구들은 실제 각 세부기능들에 대한 사례연구(Seo, 2001), 생산조건 및 이용형태에 따른 계량화 연구(Jung et al., 2002; Hyun, 2002), 사회적 공익기능에 대한 경제성 평가(An et al., 2002) 등 다양한 연구들이 수행되어져 왔다.

한편, 농업의 다원기능과 같이 비시장적 재화의 가치를 추정하는 방법으로는 가상가치법(임의가치법, CVM, Contingent valuation method), 헤도닉법(잠재가치법, Hedonic pricing method), 여행비용법(Travel cost method), 대체법(Replacement cost method) 등이 있다. 일반적으로 환경보전기능과 같이 자연현상과 관련되어 구체적인 물량을 산출할 경우에는 비수요 함수접근법인 대체법을 사용하는 것이 간단하면서 주관성을 최대한 배제시킬 수 있는 방법이다. 수요함수 접근법에서 가상가치평가법 등과 같이 다원적 기능의 수혜자에게 직접 평가액을 질문하는 직접법도 많이 사용하고 있다. 그러나 이러한 방법들이 조사항목의 특성, 시기 및 현재 국민들의 의식수준 등에 따른 편차가 크기 때문에 이를 객관화하여 시장에서 유통되는 가치로 바로 환산하기에는 어려움이 있다.

위와 같이 수행하였던 많은 연구 결과들은 농업인들을 비롯한 일반 국민들에게도 농업이 가지는 비시장적 재화의 가치를 인식시키는데 커다란 공헌을 한 것으로 판단된다. 그러나 지금까지 수행된 연구결과들의 경우 자료의 부족 등으로 인해 조건에 따른 계수 값 설정 등에 보완이 필요한 것으로 파악되었다. 또한, 경제적 가치를 산정하는데 있어서도 인용되는 가격 기준이 오래된 부분이 많아 이를 새롭게 할 필요가 있다.

농업의 환경보전기능은 여러 가지 세부적인 공익기능을 가지고 있지만 그 가운데 홍수조절기능과 수자원함양기능의 경우 강우에 따라 자연스럽게 형성되는 공익적 기능이라 할 수 있다. 농업생산과 직접적으로 연계되지 않으면서도 공공재의 성격이 많기 때문에 OECD 등과 같은 외국 기관에서도 특히 논농업에 있어서 이들 기능에 대해 인정하고 있다. 따라서 홍수조절기능과 수자원함양기능에 대해 더욱 합리적인 모형의 개발, 실제 사례 발굴, 생산환경 및 이용형태 등에 따른 정밀한 자료조사 및 분석, 비시장적 재화에 대한

정확한 경제성 분석과 이를 위한 홍보 등이 농업의 가치를 높이는데 중요한 일들이라 할 수 있겠다. 따라서 본 연구에서는 논농사와 밭농사가 가지고 있는 홍수조절기능과 수자원함양기능에 대해 기존의 모형의 수정, 모형 인자들에 대한 자료의 갱신 등을 통해 계량화하고 이를 바탕으로 경제성 평가에 이용되는 대체비용의 현실화 등을 통해 홍수조절과 수자원함양에 따른 비시장적 가치를 시장적재화로 추정하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에서는 논농사와 밭농사를 하면서 식량의 생산과 함께 얻게 되는 공익적 가치들 가운데 홍수조절기능과 수자원함양기능은 강우와 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 물의 양으로 계량화를 수행하였으며 계량화된 물의 양은 대체법을 이용해 경제적 가치로 환산을 하였다. 각 세부기능들에 대한 계량화 추정 모형과 관계되는 인자들의 값에 대해서는 현지조사, 기존 문헌 및 보고서, 통계 등을 근거로 하여 설정하였다.

홍수조절기능 우리나라 논은 기본적으로 물을 가두기 위해 논둑을 만들고 논을 2% 이하의 경사로 평탄하게 만들어 벼를 비롯한 작물을 재배하기 때문에 여름철 홍수기인 집중강우시에 내린 비가 하천으로 일시에 집중되는 시간을 늦출 수 있으며 논둑과 토양의 공극에 의해 물을 가둘 수 있다. 즉, 집중강우시 논이 댐과 같은 역할을 할 수 있기 때문에 논은 홍수조절기능을 가지고 있다고 할 수 있다. 따라서 논은 홍수조절기능이란 홍수기인 집중강우시에 내린 강우가 하천으로 바로 유입되지 않고 일시적 혹은 장기적으로 논에 가둘 수 있는 물의 양으로서 정의할 수 있다.

따라서 논은 홍수조절량은 논둑높이와 홍수기간동안 투수되는 강우의 양으로 표현할 수 있으며 이를 수식으로 나타내면 아래 (식 1)과 같다.

$$W_f = H_r + I_p \times D_t \quad \text{--- (식 1)}$$

여기서, W_f 는 홍수조절량(mm), H_r 는 논둑높이(mm), I_p 는 투수속도(mm day⁻¹), D_t 는 홍수기간(days)이다.

논둑높이는 전국에 분포하는 370 개 지점의 논에서 시·군별 벼 재배면적 비율에 근거하여 추정지점수를 배분하여 측정하였다. 또한 투수속도와 관련된 우리나라 평균 투수속도를 산출하기 위하여 현지포장에서 조사된 감수심 및 투수량 자료 또는 실험실에서 분석된 투수속도 등의 자료를 사용하였다.

우리나라는 장마, 태풍 또는 계절라성 집중호우 등으로 인한 홍수가 많은데 지역마다 큰 차이가 있기

때문에 평균적인 홍수기간을 산정하기 위해서 기상청에서 제공하는 1971년부터 2000년까지 30년간 전국 67개 지역에 대한 일 강수량 자료를 기초로 하여 산출하였다.

밭에서 홍수조절기능의 경우는 논과 같이 물을 가둘 수 있는 논둑이 없기 때문에 홍수조절은 홍수기 토양 속과 표층에 머무는 물의 양을 홍수조절량으로 정의할 수 있다. 이 양을 추정하는 방법은 현재까지 토양의 기상률 등 공극에 강우가 포화되는 양을 분석하는 방법과 홍수기에 홍수량에서 유출량을 제하고 남은 양을 분석하는 방법으로 크게 나눌 수 있다. 전자의 방법은 시기에 따른 토양수분함량의 차이가 많고 토성, 지형에 따른 편차가 크기 때문에 모형설정과 이에 따른 인자들이 많게 될 수 있다. 또한 관련된 조사 및 연구자료가 많지 않아 우리나라 전역에 대한 평균 값을 산출하기 어려운 부분이 있어 본 연구에서는 전자를 추정하기 위한 모형은 채택하지 않았다. 후자의 경우 홍수기 강수량에서 물 유출량을 제거하고 남은 강우의 양을 추정하는 방법은 정밀도에서는 전자보다 떨어질 수 있지만 일반화하기가 쉬운 측면이 있으며 관련된 조사 자료의 확보도 용이한 것으로 판단되어 본 연구에서는 이 방법을 이용하여 밭농사에서 홍수조절기능을 계량화하는데 사용하였다.

밭농사에서 홍수조절은 (식 2)에서와 같이 홍수기 강수량에서 유출량을 제거하고 남은 양으로 표현할 수 있다.

$$W_f = R_f - R_{off} \quad \text{--- (식 2)}$$

여기서, R_f 는 홍수기 강수량, R_{off} 는 홍수시 유출량이다.

논농사와 밭농사에서 계량화된 홍수조절기능의 홍수조절량은 대체법을 이용하여 비시장적 가치를 금액화 하고자 하였다. 홍수조절기능은 일반적으로 댐을 건설하여 홍수기 강우의 상당 부분을 체류시키면서 홍수를 조절하기 때문에 댐을 건설하고 유지하는 비용으로 대체하여 산출할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구에 적용하였다. 가장 최근에 건설되었다고 판단되는 댐건설비와 감가상각비 및 댐수량 유지비를 더하여 단가를 산정하여 가치를 산출하였다.

수자원함양기능 우리나라 논은 벼 재배시 담수를 하고 있기 때문에 논바닥을 통하여 담수된 물이 투수되면서 지하수를 보충하고 일부는 배수나 복류수 등으로 하천으로 유입되어 생활용수나 공업용수 등으로 사용되는 하천으로 유입된다. 논은 넓은 면적에 담수되어 있어 물을 저장하는 일종의 저수지로서 역할을 한다고 할 수 있다. 담수된 물의 일부는 지하수로 가고 일부는 하천으로 배수 또는 복류되어 하천유량을

안정시키는 역할을 하는데 본 연구에서는 지하수 함양기능만을 수자원함양기능으로 설정하였으며 이를 추정하기 위한 모형은 (식 3)과 같이 설정하였다.

$$W_g = I_p \times D_c \times (1-R_r) \quad \text{--- (식 3)}$$

여기에서 W_g 는 지하수함양기능 물량(mm), D_c 는 담수기간(days), I_p 는 평균 투수속도(mm day^{-1}), D_w 는 평균 담수심(mm), R_r 은 하천유입률이다.

벼 재배시 담수기간은 농촌진흥청 주요 작목 영농순기표를 근거로 하여 산출하였으며 투수속도는 홍수조절기능과 동일한 자료를 사용하였다(Rural Development Administration(RDA), 1995).

밭농사에서는 일반적인 영농기간동안 토양이 불포화상태로 존재하고 있기 때문에 투수되어 지하로 이동하는 물의 양은 거의 없다고 할 수 있다. 또한 토양이 건조한 상태에서 관개를 하기 때문에 관개수에 의한 지하수함양기능은 논과 달리 인정하기 어려운 측면이 있다. 다만, 강우량이 충분하여 토양이 포화되었을 경우 강우가 지하로 이동되며 이때의 물량을 지하수 함양기능으로 정의할 수 있으며 추정모형은 (식 4)와 같이 표현할 수 있다.

$$W_g = SH_p \times D_p \times (1-R_r) \quad \text{--- (식 4)}$$

여기서, W_g 는 수자원함양기능 물량(mm), SH_p 는 포화수리전도도, D_p 는 투수기간(day), R_r 는 하천유입률이다.

이상의 추정모형을 통해 계량화된 수자원함양량은 지하수를 함양시키는 부분으로 볼 수 있다. 농경지에서는 강우 및 관개수의 경우 토양층을 통해 어느 정도 정화되면서 지하로 침투되어 지하수 보충을 하여 주기 때문에 시장재로 대체할 때에는 정수된 물값으로 대체하여 금액화하는 것이 합리적인 것으로 판단되었다.

결과 및 고찰

홍수조절기능 먼저, 논에서의 홍수조절기능은 (식 1)에서 제시한 바와 같이 논둑높이에 홍수기간 투수된 물의 양을 더하여 산출할 수 있다. 논둑높이의 경

우 전국 370개 지점에서 논둑높이를 조사하였으며 지형에 따라 구분한 결과는 Table 1과 같았다. 간척지에서 408 mm로 가장 논둑높이가 높았으며 구릉지에서 198 mm로 가장 낮았다. 지형별 면적 가중치를 고려하여 평균 논둑높이를 계산한 결과는 261 mm이었으며 이 결과를 모형에 적용하였다.

논에서의 평균 투수속도의 경우 Seo (2001) 등이 제시한 7.6 mm day^{-1} 결과를 적용하였는데 과거 수행되었던 54개의 시험결과들을 토성별로 분류하고 이에 따른 분포면적에 대한 가중치를 더하여 분석한 결과이다.

1회 홍수기간을 산출하기 위하여 기상청에서 제공되는 1971년부터 2000년까지의 67개 지역별 일 강수량 자료를 이용하여 분석을 하였다. 집중호우에 대한 명확한 정의는 없으나 일반적으로 기상청에서는 한 시간에 30 mm 이상이나 하루에 80 mm 이상의 비가 내릴 때, 또는 연강수량의 10%에 상당하는 비가 하루에 내리는 정도를 말하고 있으며 예측 강수량이 80 mm이상일 경우에 호우주의보, 150 mm 이상인 경우에는 호우경보를 발령하고 있다. 따라서 1 회 홍수기간을 본 연구에서는 강수량이 80 mm이상으로 설정하고 80 mm이상의 강우를 기록한 날을 중심으로 비가 지속된 날의 수를 합하여 1회 홍수기간으로 설정하였다.

67개 지역에서 측정된 강수량에서 연중 80 mm day^{-1} 을 초과할 때 연속되는 강우일수를 추출하여 연도별 평균 홍수기간을 분석한 결과는 Fig. 1과 같았으며 전체적으로 30 년간 연중 평균 홍수기간은 4.4 days year^{-1} 이었으며 표준편차는 1.34이었다. 연중 홍수기간이 가장 적은 해는 1977년으로 2.1 days year^{-1} 이었으며 가장 많은 해는 1998년 6.8 days year^{-1} 로 가장 높았다. 홍수기간은 해마다 증가와 감소를 반복하며 변동하고 있음을 알 수 있었는데 연간 5일 이상을 기록한 연수가 1970년대에는 1회이었고 1980년대에는 5회로 증가하였다. 특히, 1999년대 후반에 들어서는 6일을 초과하기도 하였으며 3년간 지속되기도 하였다. 이러한 양상은 1990년대 후반 들어 엘니뇨현상 등에 의한 기상이변과 무관하지 않은 것으로 판단되었다.

Table 1. Average height of ridges and its ratio at paddy field according to topological types in Korea.

	Valley land	Hilly land	Plain land	River plain	Marine Plain	Polder land	Weight average
Height of ridges (mm)	252	198	333	201	310	408	261
Number of sites measured	142	25	99	92	6	6	370
Ratio of sites (%)	38.3	6.8	26.8	24.9	1.6	1.6	100.0

2002년 재해백서(National Emergency Management Agency, 2004)에 따르면 과거 주요 호우 및 태풍피해 현황에 관한 우선순위에서도 1990년대 후반에 발생한 재해가 상위 10회 가운데 5회를 기록하였는데 이는 Fig. 1에서 보이는 홍수기간과 홍수피해가 매우 유사성이 있기 때문에 본 연구에서와 같이 일 강수량이 80 mm 이상이 포함되는 강우일수를 홍수기간으로 판단하는 것이 적절한 것으로 판단되었다. 한편, 재해 순위 10위까지를 재해 유형별로 보면 집중호우가 5회, 집중호우와 태풍이 3회, 태풍이 2회로 대부분 강우를 동반하면서 피해가 발생하고 그 규모도 컸는데 이는 홍수조절기능을 가지고 있는 논이 재해를 경감시켜주기 때문에 우리나라에서 매우 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있었다.

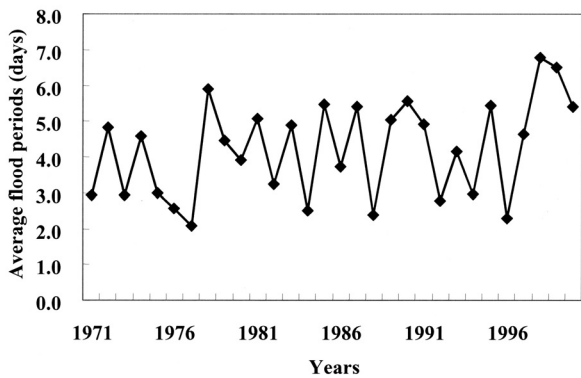


Fig. 1. Changes of the Average floods periods according to years in Korea

Table 2에서는 우리나라 67개 지역에 대한 지역별 홍수기간과 지역별 강수량 자료의 분석 연수, 연중 80 mm 이상 기록하였던 연수 및 기록연수에 대한 분석 연수의 비율을 나타내었다. 가장 긴 홍수기간을 기록한 지역은 경기도 동두천시로서 8.7 days year⁻¹을 기록하였으며 다음으로는 경상남도 남해군이 7.1 days year⁻¹을 기록하였다. 반면, 홍수기간이 가장 작은 지역은 경상북도 영덕군과 의성군으로서 2.3 days year⁻¹을 기록하였다. 홍수기간이 발생하는 해의 비율을 살펴보기 위하여 기록연수에 대한 분석연수의 비율을 계산하여 본 결과 전체 지역에 대한 평균 비율은 79.9%로 5년에 4번꼴로 홍수가 발생할 수 있다는 것으로 판단할 수 있으며 실제로 해당지역에서 홍수와 같은 실제적인 피해가 없었을 지라도 이는 우리나라가 거의 매년 여름철 홍수 발생에 의한 피해를 입을 소지가 있음을 의미한다. 홍수기간 발생 비율의 표준 편차는 11.4를 나타내어 지역간 차이가 크지 않음을 알 수 있지만 강화군, 동두천시, 마산시의 경우 홍수기간 발생비율이 100%인 반면 울진군의 경우 41.4%

로 일부 지역간에는 큰 편차를 나타내었다. 67개 지역 평균 홍수기간은 4.4 days year⁻¹이었으며 이 값을 홍수조절기능 추정모형에서 홍수기간 인자에 대한 계수로 적용을 하였다.

한편, 우리나라 홍수발생 우려지역을 살펴보기 위하여 보간법을 이용한 우리나라 전체 시 군별 홍수기간을 추정된 결과 경상남도 및 전라남도 해안지방을 따라 홍수기간이 전반적으로 길게 분포하여 호우에 의한 재해발생 가능성이 높았고 다음으로는 서울을 비롯한 경기도 북부지방과 강원도 남부지방에서 재해발생 가능성이 높은 것으로 판단되었다(Fig. 2). 반면, 경상북도 내륙과 동해안 지역이 홍수기간이 짧은 것으로 분석되었다. 이러한 추정은 재해백서에서 나타나는 주요 피해지역의 빈도수와 유사한 것으로 파악되었다.

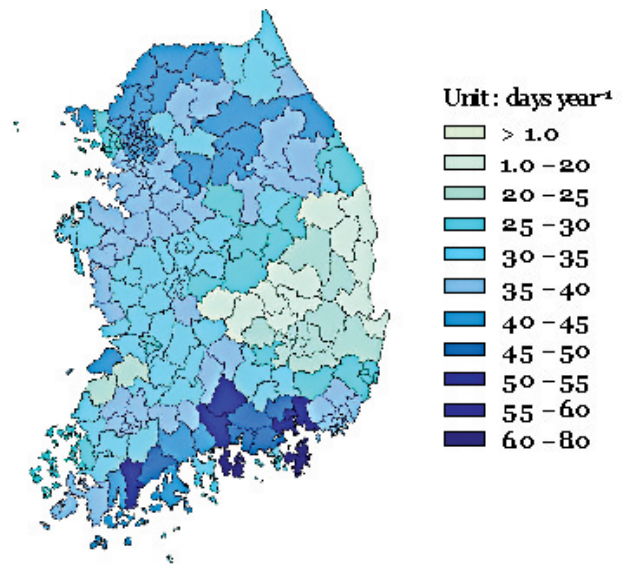


Fig. 2. The map of flood periods estimated by using interpolation in Korea

이상과 같은 인자분석을 통하여 논둑높이는 261 mm, 투수속도는 7.6 mm day⁻¹, 홍수기간은 4.4 day year⁻¹을 식 1에 적용한 결과 294 mm year⁻¹의 값이 산출되었으며 2006년 기준 우리나라 논 면적 1,084 × 10⁶ ha에 적용한 결과 31.9억 톤의 물이 논에서 홍수조절 되는 양으로 계량화되었다.

논에서 홍수조절량은 홍수기 일종의 댐의 역할을 한다고 할 수 있기 때문에 경제적 가치는 대체재로서 댐 건설비, 감가상각비 및 댐 수량 유지비의 단가를 적용할 수 있을 것으로 판단되었다. 1995년부터 2006년사이 건설된 대곡, 평립, 감포 댐의 건설단가를 기준으로 산출하였는데 댐 건설비의 단가는 물 1톤당 12,968원이었다. 감가상각비는 내구연한 50년, 이자율

Table 2. Number of flood days and Ratio of years occurred over 80mm rainfall against years analyzed according to regions in Korea.

Megalopolis	Cities and Counties	Flood days	Years analyzed (A)	Years occurred over 80mm (B)	(B)/(A) ratio(%)
Seoul		4.8	30	26	86.7
Busan		4.8	30	24	80.0
Daegu		3.2	30	20	66.7
Incheon		4.3	30	21	70.0
Daejeon		4.3	30	23	76.7
Gwangju		4.7	30	24	80.0
Ulsan		4.0	29	20	69.0
Gyeonggi	Ganghwa	4.5	28	28	100.0
	Dongducheon	8.7	3	3	100.0
	Suwon	4.4	30	26	86.7
	Yangpyung	4.5	30	23	76.7
	Icheon	5.2	27	23	85.2
Gangwon	Gangneung	5.0	30	27	90.0
	Daegwanryoung	6.7	30	26	86.7
	Donghae	4.6	9	5	55.6
	Sokcho	3.5	30	27	90.0
	Yeongwol	4.6	6	5	83.3
	Wonju	5.1	26	22	84.6
	Inje	4.1	27	21	77.8
	Cheorwon	4.8	13	11	84.6
	Chuncheon	5.0	30	23	76.7
	Taebaek	3.8	16	13	81.3
Hongcheon	4.6	27	24	88.9	
Chungbuk	Boeun	3.7	27	23	85.2
	Jecheon	4.8	27	22	81.5
	Cheongju	4.1	30	24	80.0
	Chupungryong	2.8	30	21	70.0
	Chungju	4.2	27	18	66.7
Chungnam	Kumsan	4.3	28	24	85.7
	Boryeong	4.7	27	21	77.8
	Buyeo	4.2	28	23	82.1
	Seosan	4.6	30	23	76.7
	Cheonan	4.2	28	24	85.7
Jeonbuk	Gunsan	3.8	30	25	83.3
	Namwon	4.7	28	20	71.4
	Buan	4.4	27	25	92.6
	Imsil	4.2	28	22	78.6
	Jangsu	5.0	13	9	69.2
	Jeonju	3.9	30	20	66.7
Jeongeup	3.0	28	22	78.6	
Jeonnam	Goheung	4.6	28	25	89.3
	Mokpo	3.3	30	26	86.7
	Muan	4.6	13	8	61.5
	Suncheon	4.9	28	26	92.9
	Yeosu	3.8	29	25	86.2
	Wando	5.0	28	24	85.7
	Jangheung	5.5	28	26	92.9
	Haenam	4.5	27	23	85.2
Gyeongbuk	Gumi	2.5	28	19	67.9
	Mungyeong	3.2	26	23	88.5
	Andong	3.1	18	14	77.8
	Yeongdeok	2.3	28	17	60.7
	Yeongju	3.7	27	22	81.5
	Yeongcheon	2.7	28	24	85.7
	Uljin	3.6	29	12	41.4
	Uiseong	2.3	28	19	67.9
	Choongyang	2.9	12	7	58.3
	Pohang	3.6	30	17	56.7
Gyeongnam	Geoje	6.8	30	27	90.0
	Geochang	4.3	27	22	81.5
	Namhae	7.1	30	28	93.3
	Masan	5.8	16	16	100.0
	Miryang	4.0	30	23	76.7
	Sancheong	5.7	28	27	96.4
	Jinju	5.3	30	26	86.7
	Tongyeong	4.3	30	24	80.0
Hapcheon	4.8	27	19	70.4	

6.789%의 감가상각 조건을 적용하게 되면 914.67원이 고 댐수량 유지비는 감가상각비의 1%로 가정하였을 경우 9.15원으로 총 소요비용은 톤당 13,891.8원이었다 (Kim et al., 2007). 따라서 논에서 홍수조절기능의 평가액은 44조 3,389억원으로 추산되었다. 이러한 결과는 기존에 발표되었던 가치보다 상당히 높은 금액이라 할 수 있는데 Eom et al(1993) 보고와 비교하였을 때 홍수조절량에서는 큰 차이가 없지만 보고 당시 댐 건설비의 경우 1980년대 단가를 적용하였고 본 연구에서는 1990년대 후반에서 2000년대 건설단가를 적용하였기 때문인 것으로 판단되었다. 또한 홍수조절 물량의 경우 Jung. et al(2002)이 보고한 물량보다는 적게 추산되었는데 실제 홍수조절량은 모형에서 추산된 결과보다 많은 것으로 생각되었다. 그러나 이 보고서에서 경제성 가치평가의 경우 댐 건설비를 포함시키지 않고 감가상각비만을 적용하였기에 본 연구결과보다는 현저히 작았다.

한편 밭에서의 홍수조절 기능의 계량화는 논과는 달리 추정모형 (식 2)에 의해 추정할 수 있는데 유출량을 산정하기 위해 (식 11)과 같은 변형된 USLE 모형을 이용하였다(Jung. et al., 1996).

$$\text{Run-off} = a \cdot (R, K, LS, C)^b \cdot Pw \cdot \text{off ratio} \text{ -----(식 11)}$$

여기서, a, b는 상수, R은 강우인자, K는 토성인자, LS는 지형인자, C는 작물인자, Pw는 토양관리조건, off ratio는 홍수기 연간 유출률을 의미한다.

기존 보고들을 토대로 가장 합리적인 자료를 바탕으로 인자들을 설정한 결과 상수 a는 404.34, b는 0.417이었으며 강우인자 429.4, 토성인자 0.325, 지형인자 0.80, 작물인자 0.275, 토양관리인자는 1.225, 유출율은 0.732로 설정할 수 있었다(Jung. et al., 1994; Hyun. et al., 2003). 이상과 같은 계수를 적용하였을 경우 유출량은 151.2 mm로 분석되었다. 홍수가세강우량의 경우 몇 가지의 추정식이 있지만 전체적으로 양적인 면을 고려하였을 때 223.8 mm가 가장 적절한 것으로 판단되어 홍수조절량 산정에 적용하였다 (Park. et. al., 2001). 얻어진 인자들에 대한 계수 값을 식 2에 적용한 결과 54.2mm year⁻¹의 밭의 홍수조절량을 구할 수 있었으며 2006년 기준 전국 밭 면적인 7.16 × 10⁵ ha에 적용하면 5.2억 톤이 밭에서 홍수조절을 할 수 있다. 밭농사에 대한 우리나라 홍수조절량을 논농사의 홍수조절기능에서 수행하였던 경제적 가치평가를 동일하게 적용한 결과 밭에서 홍수조절기능 평가액은 7조 2,215억원으로 평가되었다.

Hyun et al(2002)에 의하면 밭에서 홍수조절기능을 계량화하기 위한 추정모형을 4가지로 구분하여 분석을 한 바 있다. 4가지의 모형 모두 나름대로의 근거를 가지고 있어 유의하다고 말할 수 있지만 그 편차가

매우 컸다. 특히, 본 연구와 동일한 모형을 적용하였을 경우 홍수조절량이 매우 낮았는데 이는 홍수가세강우량이 적게 산정되었기 때문으로 판단되었다.

밭농사에서는 일반적으로 홍수기에 토양의 수분상태가 상당한 편차를 가질 수 있어 제시된 추정모형의 정밀도가 떨어질 수 있다. 따라서 더욱 정확한 홍수조절기능을 산정하기 위해서는 기상에 따른 일별 밭 토양의 수분조건과 그에 따른 유출량을 시뮬레이션하고 이를 일반화하여 만드는 방법이 더 정확할 수 있다. 직접적인 토양 수분의 이동에 대한 측정은 많은 시간과 노력이 요구되기 때문에 추후 시뮬레이션을 통한 홍수조절량 산정이 도입되어 계량화 될 것으로 기대한다.

수자원함양기능 논농사가 가지는 수자원 함양기능을 구분하면 지하로 내려가 지하수를 함양시켜주는 기능과 물의 저수와 하천으로의 2차적인 유입을 통한 하천유량안정 기능으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 지하수 함양기능만을 논농사가 가지고 있는 수자원함양기능으로서 정의하고 추정모형 (식 3)에 따라 그 양을 계량화하고자 하였다.

먼저, 담수기간은 우리나라 주요 작목 영농 순기표에서 제시되고 있는 벼 재배이력을 기준으로 하여 산정하였다 (Rural Development Administrative, 1995). 논에서의 벼 재배기간은 이앙재배의 경우 지역이나 품종에 따라 차이가 있지만 준비기를 포함하여 163일 정도로 볼 수 있으며 순기표에 제시된 물관리 요령에 따라 담수기간을 구분한 결과는 Fig. 3과 같았다. Figure 3에서 보는 바와 같이 준비기부터 출수기 때까지 상시 담수를 하며 출수기이후부터 등숙기까지는 걸러대기를 하고 등숙기부터는 낙수를 하는 것이 우리나라 일반적인 벼농사에 적용되는 물관리라 할 수 있으며 이에 따라 산정된 담수기간은 113일로 추정되었다.

논농사 기간동안 평균 담수깊이에 대한 계수를 산출하기 위하여 우리나라 370 개 지점에 대하여 담수심을 측정하였다. 지역별 담수심을 살펴보면 충청남도가 65 mm로 가장 높았으며, 다음으로 충청북도가 56 mm로 높았다. 반면 전라남도가 31 mm로 가장 낮았으며 다음으로 전라북도가 38 mm로 낮았다. 도별 지점간의 표준편차는 커다란 차이를 나타내지 않았으며 전체 조사지점에 대한 표준편차보다 낮은 분포를 보였다(Table 3.). 이러한 결과로 미루어 보았을 때 남부지방에서 대체적으로 담수심이 낮은 경향을 보이고 있음을 알 수 있었다.

또한, 논이 지형 구분에 따른 담수깊이를 분석한 결과는 Table 4와 같았다. 간척지에서 69±0.66 mm로

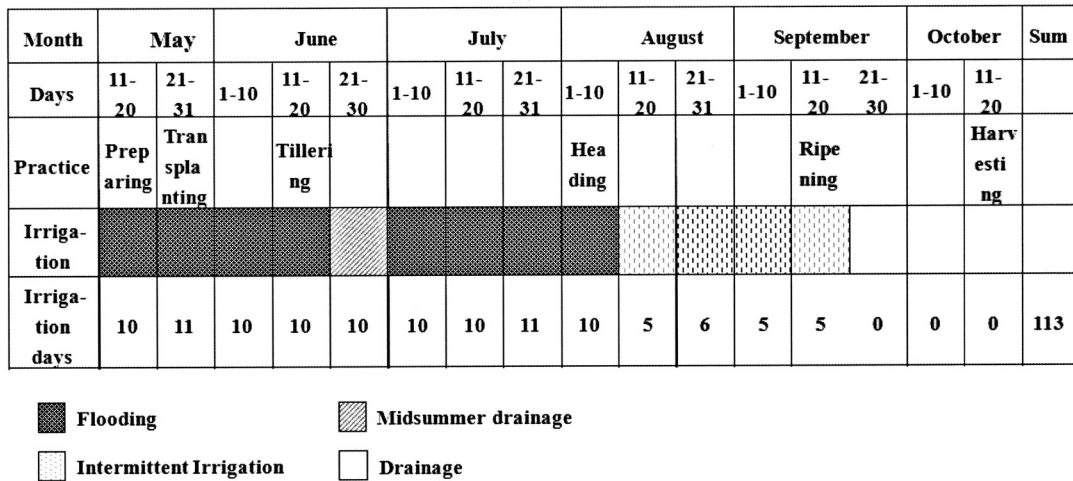


Fig. 3. Irrigation days during the rice cultivation in Korea.

Table 3. Average level of water and its standard deviation according to regions at paddy farming in Korea.

Province [†]	No. of site	Average level of water (mm)	Standard deviation
Gyeonggi	49	49	1.72
Gangwon	13	49	1.57
Chungbuk	37	56	0.99
Chungnam	54	65	1.71
Jeonbuk	65	38	1.85
Jeonnam	66	31	1.54
Gyeongbuk	43	48	1.81
Gyeongnam	43	33	1.82
Total	370	45 [‡]	2.03 [‡]

[†] The megalopolis were included as that; Seoul and Incheon to Gyeonggi, Busan to Gyeongnam, Daegu to Gyeongbuk, Gwangju to Jeonnam, and Daejeon to Chungnam

[‡] The value are average of total samples

가장 높았으며 다음으로 평탄지에서 48±2.03 mm로 높았다. 한편, 해성평탄지의 경우는 25±0.94 mm로 다른 지형에 비해 훨씬 낮았으며 구릉지가 41±1.53 mm로 낮았다. 그리고 곡간지는 45±2.91 mm로 전체 평균 담수심의 값과 같았다. 전체 평균 담수심은 45±2.03 mm로 계산되었으며 이 값을 추정모형에 적용하였다. 그리고 투수속도는 홍수조절기능에서 적용한 7.6 mm day⁻¹을 동일하게 사용하였다. 하천유입율은 수자원 총량에 대한 하천으로 유출되는 양으로 전체의 57%를 차지하여 이를 적용하였다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2001).

이상에서 얻어진 인자 값들을 추정모형 식 3에 적용한 결과 논농사에서 수자원 함양량은 414.28 mm year⁻¹로 계량화할 수 있었다. 이것을 2006년 기준 우리나라 논 면적 1,084,106 ha에 적용하였을 경우 수자원함양기능 가능량은 44.9억 MT이었다. 수자원함양기능의 경제성 분석은 우리나라 용수요금을 2006년도 기준으로 산정을 하였다. 용수는 정수, 원수, 댐용수로

크게 구분할 수 있는데 본 연구에서는 정수를 기준으로 하였으며 단가는 톤당 394원이었다. 이 단가를 수자원함양량에 적용한 결과 1조 7694억원의 평가액을 산출할 수 있었다. 이 결과는 앞서 보고된 결과와 유사한 결과라고 할 수 있다.

발농사에서는 물이 항상 포화되어 있지 않기 때문에 평상시에는 지하로 투수되는 물의 양이 없어 지하수함양기능은 없다고 할 수 있다. 그러나 강우에 의해 토양에 수분이 포화가 되면서 지하수함양에 기여한다고 할 수 있으며 이러한 이론적인 바탕 하에서 (식 4)와 같은 추정모형이 제안되었다. 포화수리전도도의 경우 토성별 평균치와 분포면적을 조사하여 가중 평균치를 산출하여 적용한 결과 9.9 mm로 분석되었으며 투수기간은 80 mm 이상의 강우를 기준으로 일수를 적용하였는데 이 경우 1회 홍수기간과 동일하다고 할 수 있기 때문에 논농사의 홍수조절기간인 4.4 day year⁻¹을 적용하였고 하천유입률은 앞서 제안된 값을 동일하게 적용하였다. 각 인자들에 대한 계수들을 모

Table 4. Average level of water and its ratio according to topological types at paddy farming in Korea.

	Valley land	Hilly land	Plain land	River plain	Marine Plain	Polder land	Weight average
Level of water (mm)	45	41	48	44	25	69	45
Standard deviation	2.91	1.53	1.80	2.03	0.94	0.66	2.03
Number of sites measured	142	25	99	92	6	6	370
Ratio of sites (%)	38.3	6.8	26.8	24.9	1.6	1.6	100.0

형에 적용한 결과 밭농사에서 18.7 mm year⁻¹의 수자원함양기능량을 산출할 수 있었으며 이를 2006년 기준 밭 면적에 적용하였을 경우 1.34억 톤의 수자원함양량을 계량화할 수 있었다. 밭농사에서 계량화된 수자원함양량을 논에서와 동일하게 편익분석을 수행한 결과 528억원의 평가액을 산출할 수 있었다.

지금까지 농업의 홍수조절기능과 수자원함양기능에 대한 계량화 및 경제성분석을 수행하였다. 위 결과에서 알 수 있듯이 농업이 가지는 홍수조절기능과 수자원함양기능은 식량을 생산하기 위한 영농 활동을 하면서 자연스럽게 발생하는 공익적 기능이라고 할 수 있다. 실제로 논외의 경우 주위의 도로나 다른 지형들보다 저지대에 위치하고 있어 실제 홍수가 발생하는 큰 호우에는 홍수조절을 위한 더욱 큰 역할을 한다. Seo et al.(2005)의 보고에 따르면 평탄지 경지정리 논 지역에서 2일간 400 mm의 집중 호우가 발생하였던 시기에 소유역 논에서 강우의 약 81.6%가 홍수방지를 위해 일시적으로 물을 가두고 있었다고 하였다. 또한 경지정리가 된 관개지구에서 강우시 논이 가지는 저류량을 조사한 결과 평균 432 mm로 본 연구에서 제시되었던 양보다 높았다(Jung. et al., 2002).

요 약

농업이 가지고 있는 환경보전기능에 관한 내재적 가치를 공유하기 위하여 논농사와 밭농사에서 홍수조절기능과 수자원함양기능에 대한 계량화와 대체법을 이용한 경제적 가치를 평가하였다. 논농사에서 홍수조절기능은 논둑높이와 홍수기간 투수되는 물의 양을 더해 추정하였으며 밭농사의 경우는 홍수기 강우량에서 유출량을 제하고 남은 물의 양을 홍수조절량으로 설정하였다. 설정된 추정모형을 기초로 하여 관련 자료를 분석한 결과 논농사는 294 mm year⁻¹, 밭농사는 72.6 mm year⁻¹로 산출되었으며 2006년 기준으로 우리나라 농업의 전체 홍수조절량은 연간 37.1억 톤으로 평가되었다. 이 물량을 기준으로 댐건설비와 유지비

로 대체하여 경제성 분석을 수행한 결과 논농사는 44조 3,389원, 밭농사는 7조 2,215억원으로 평가되었다. 기존 보고된 결과들과 비교하였을 때 근래 댐건설비의 상승된 요인으로 평가액이 크게 상승한 것으로 분석되었다. 수자원함양기능을 계량화하기 위하여 논농사의 경우는 평균 담수심에 담수기간동안 투수된 물량을 더하고 지하로 유입되는 비율을 곱하여 산정을 하였으며 밭농사의 경우는 포화수리전도도에 투수될 수 있는 기간을 곱하고 여기에 지하로 유입되는 비율을 곱하여 추정할 수 있는 모형을 설정하였다. 설정된 추정모형을 근거로 하여 관련 자료를 분석한 결과 논농사와 밭농사에서 각각 414.3 mm year⁻¹, 18.7 mm year⁻¹로 수자원함양량이 산출되었다. 산출된 수자원함양량을 2006년을 기준으로 우리나라 논농사와 밭농사 전체에 적용한 결과 각각 44.9억 톤과 1.34억 톤으로 추정되었다. 수자원함양기능은 지하수 자원과 관련되어 있기 때문에 정수된 물의 단가를 기준으로 금액화를 하였는데 2006년을 기준으로 하였을 때 논농사와 밭농사가 각각 1조 7694억원, 528억원으로 평가되었으며 기존 보고와 유사한 결과를 보여주고 있었다. 홍수조절기능과 수자원함양기능은 논농사와 밭농사의 재배양식의 차이로 인해 산출량과 가치에 있어 크게 차이가 있었으며 논둑을 조성하여 항상 물을 가두고 작물을 재배하는 논농사가 밭농사보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있었다.

인 용 문 헌

An. Y. S. An, E. J. Kim, Y. Kim, J. H. Seo and K. H. Kang. 2002. Assessment on Beneficial Function of Rural Socio-culture. The symposium on th Valuation of Multifunctionality of Agriculture and Rural Community by NIAST. Official No. 11-1390572-000011-01. p. 91-117.

Choi. C. H. 2000. Strategy for Maintaining Agricultural Multifunctionality under WTO System. Symposium of Multifunctionality in Agriculture, National Institute of Agricultural Science and Technology(NIAST). p. 12-15.

Eom. K. C. et. al. 1993. Public Benefit from Paddy Soil. The Journal

- of Korean Society of Soil Science and Fertilizer. Vol. 26(4):314-333.
- Ho. U. Y. 1984. A Study on the Estimation and the Evaluation Methods of Public Function of Forest. The Journal of Korean Forest Society. Vol. 66:68-73.
- Hyun, B. K. M. S. Kim, K. C. Eom, K. K. Kang, H. B. Yun and M. C. Seo, 2003. Evaluation of Function of Upland Farming for Preventing Flood and Fostering Water Resources. Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 36(3):163-179.
- Hyun. B. G. 2002. Studies on Evaluation of Environmental Benefits from Upland Farming. Kyunghee University, Ph. D thesis. p. 12-56.
- Jung. H. U. et al. 2002. Assessment on Beneficial Function of Agricultural Irrigation Water. Report of MAF and KARICO, 2002-10-23. p. 21-239.
- Jung. K. Y. et al. 1996. Qualitative and Quantitative Analysis of the Effect of Upland Crop Cultivation on the Conservation of National Environments. Report of Project on Agricultural Research and Development, RDA. p. 101-104.
- Kim. B. Y. 1991. Values and Function of Agriculture Viewed to Environmental Conservation. Research and Instruction, RDA. Vol 32(2):88-91.
- Kim. J. H. et al. 2007. Research on Quantification of Beneficial Function in Forest. Kore Forest Research Institute. p. 23
- Lee. G., Y. C. Yoon and J. J. Kim. 1993. Studies on the Quantification of Welfare Functions of Forests(III). Ministry of Science and Technology. p. 159-181.
- Ministry of Agriculture and Forestry. 2001. 2001 Report of Agricultural Irrigation Water Quality Measurement Network. Ministry of Agriculture and Forestry, and KARICO. p. 131
- National Emergency Management Agency. 2004. 2002 Disaster White Paper. National Emergency Management Agency. p. 23-32.
- OECD. 2001. Multifunctionality Towards an Analytical Framework. OECD. p. 27-55.
- Oh. S. I., D. W. Kim, and H. J. Park. 2004. A Public Survey on Multifunctionality of Agriculture. Korean Research Economic Institute, p. 7., Korea.
- Park. P. S., D. G. Seo., and S. J. Jo. 2001. Evaluation Method of Multifunctionality in Agriculture. RDA, Department of Technology Management and Information . p 29-30.
- Rural Development Administration(RDA). 1995. Practical Sequences of Main Crops. Rural Development Administrative. Official No. 31200-51763-67-9523. p. 4-7.
- Seo. M. C. 2005. The Quantitative Evaluation of Environmental Conservation Function at Paddy Farming in Korea. Korea University, Ph. D thesis. p. 49-61.
- Seo. M. C. et al. 2001. Assessment of Positive Function of Paddy Farming According to Agricultural Production Conditions. Report on Research of Agricultural Environment, NIAST, Official No. 11-1390093-000064-10. p. 355-377.