

## Reduction of Agricultural Non-point Pollution Source by Scenarios of Best Management Practices on Cropping System Alternatives of Main Upland Crop in Saemangeum Watershed

Jae Gwon Son · Gyeong Ae Lee · Dong Su Yoo · JaeYoung Cho\*

### 새만금 유역 주요 발작물 작부체계 최적관리기법 시나리오별 농업비점오염원 저감

손재권 · 이경애 · 유동수 · 조재영\*

Received: 2 September 2013 / Accepted: 4 October 2013 / Published Online: 31 March 2014

© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2014

**Abstract** Nonpoint pollution sources from agricultural activities are a major cause of water quality impairment. A nutrient management program utilizes farm practices that maintain efficient crop production systems and control agricultural nonpoint pollution sources. The objectives of present study were to identify appropriate best management practices (BMPs) according to changes of cropping system of main upland crop for reducing AGNPs loadings and to simulate the effects of the application of the several BMPs scenarios in Saemangeum watershed. The selected BMP scenarios were: 1) to convert naked barley and hulled barley to hairy vetch or chinese milk vetch, 2) to convert red pepper to soybean crop, and 3) to combine two scenarios, converting naked barley and hulled barley to hairy vetch or chinese milk vetch + converting red pepper to soybean crop. As a result of BMPs application, the crop requirement of nitrogen and phosphorus for upland crop reduced nitrogen by 41% and phosphorus by 47% in scenario 1, whereas scenario 2 reduced nitrogen by 30% and phosphorus by 23%. Overall, scenario 3 reduced nitrogen by 72% and phosphorus by 70% in agricultural non-point pollution sources associated with chemical fertilizer and livestock manure in Saemangeum watershed.

**Keywords** agricultural nonpoint pollution sources · best management practices · cropping system · integrated nutrient management

J. G. Son · G. A. Lee · D. S. Yoo · J. Y. Cho  
College of Agriculture & Life Science, Chonbuk National University,  
Jeonju 561-756, Republic of Korea

\*Corresponding author (J. Y. Cho: soilcosmos@jbnu.ac.kr)

## 서론

화학비료와 농약을 비롯한 농업화학물질의 이동 및 유실은 농업생태계에서 발생하는 물질순환의 일부이다. 농업화학물질들은 토양집적 또는 강우에 의해 유거된 후 하천으로 유입되거나 증력수에 의한 토양수 이동을 통해 지하수로 유입된다. 그 동안 수계 주요 오염원으로 인식되었던 점오염원(point source pollutants)의 부하량이 완만하게 감소됨에 따라, 농업활동과정 중 발생하는 비점오염원(agricultural non-point source pollutants)에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 농업비점오염원은 수질을 악화시킬 정도의 독성물질은 아니지만, 농경지 유역 전체로부터 배출되어 주요 수질오염원으로 작용하고 있다(Cho 등, 2008).

농업으로부터 영양물질, 농약, 토양침식 및 중금속 등에 의한 지표수와 지하수의 오염저감이 국가정책 목표가 되어야 하며, 동시에 농업정책이 토양과 수질을 보호하면서 식량과 섬유 생산을 수익성 있게 유지할 수 있어야 한다. 또한 환경개선의 단계로서 토양의 질을 보전하고 비료, 농약 및 관개의 효율증진, 지표유출과 토양침식을 최소화 할 수 있는 영농기법의 개발이 제안되었다(National Research Council, 1993). 또한 화학비료, 농약 및 가축분뇨가 하천이나 호소의 부영양화를 일으키는 주요 원인물질이며, 수질오염 문제에 능동적으로 대처하기 위하여 오염원의 통제와 동시에 장기적인 수질관리 기법의 개발이 필요할 것이다(OECD, 1996).

최적관리기법(Best management Practices, BMPs)은 비점오염원에 관한 문제를 해결하는 방법의 하나로, 비점오염원의 발생 및 유출을 최소화 하는데 적합한 유·무형의 방법을 가리키고 있다(Mostaghimi 등, 1997). 토양 및 영양물질의 유실 잠재지역의 위치를 규명하고, 정량적 분석을 통하여 잠재 오염발생량의

감소를 유도하며, 비점오염으로부터 수질을 보호하고 지역특성에 맞는 효과적인 BMPs 적용을 위해서는 여러 가지 적용 가능한 BMPs의 효과를 비교 분석하는 것이 필요하다(Lee 등, 2007). 최적관리기법의 적용 방안으로는 ‘발생억제’와 ‘배출저감’으로 분류할 수 있다. 발생억제 대책은 비점오염의 발생단계에서 오염원의 발생을 방지하거나 저감하기 위한 대책을 포함하고 있다. 주로, 영농방법의 개선이나 토양유실 방지를 위한 경운방법의 도입, 수변구역의 효과적인 관리 및 종합적인 병해충 방제시스템의 도입 등 주로 비구조적인 대책을 포함하고 있다. 배출저감 대책은 강우 유출수의 저류 및 침투시설, 오염물질의 침전 및 처리를 위한 시설 등 비점오염 저감시설이 여기에 속한다(Im 등, 2009). 이와 관련하여 Oklahoma 농경지로부터 화학비료 손실에 대한 조사(Allan 등, 1980), 논토양에서 물수지와 양분 이용에 대한 조사(Zulu 등, 1996), 농경지로부터 발생되는 농업비점오염원의 특성 평가(Griffin and Bromley, 1982) 그리고 말레이시아 열대 우림 농경지에서 양분손실 평가(Malmer, 1996) 등 다수의 연구가 진행되어 왔다.

그 동안 새만금 담수호 유역 수질개선을 위해 여러 가지 방안이 검토되어 왔다. 개발 초기에는 주로 새만금 유역내 생활하수, 산업폐수 및 축산폐수 등 점오염원을 대상으로 수질관리 정책을 추진하여 일부 수질개선 효과가 나타났다(Yoon 등, 2003). 그러나 수많은 정책개발과 환경기초시설의 증설에도 불구하고 새만금 유역의 하천과 호소의 수질개선에 대한 불확실성이 제거되지 않아 많은 어려움이 상존하고 있다. 새만금 소유역을 대상으로 최적관리기법 시나리오별 농업비점오염 저감 효과를 분석한 결과, 총부유물질 (TSS)은 나지의 피복상태 개선시 46%의 저감효과가 나타났으며, 논외의 농업용 배수로로 식생수로 (grass waterway)로 개선하는 경우에 총질소와 총인 각각 25%와 28%의 저감효과가 나타난 것으로 보고하였다(Lee 등, 2007). 왕숙천 유역을 대상으로 비점오염 처리시설의 최적관리기법을 검토한 결과, 저류조, 여과습지, 식생수로, 식생여과대와 같은 장치를 설치 운영할 경우 토지계 배출부하 삭감량은 총질소 4.5% 총인 6.3%에 불과하였다(Lee, 2007). 지금까지 국내에서 이루어진 최적관리기법과 관련된 연구는 주로 ‘배출 저감’과 관련하여 저감시설의 타당성과 효과를 검증하는 분야에 치우쳐 왔다. 상대적으로 영농방법의 개선 그리고 작물양분의 효율적인 관리와 같은 사전 예방적인 관리기법의 적용이 거의 이루어지지 않은 상태이다.

이에 본 연구에서는 새만금 유역내 밭작물 재배 농경지의 토지이용 현황분석과 작부체계와 관련된 최적관리기법을 적용하여 각각의 시나리오별로 농업비점오염원의 저감효과를 분석하였다.

## 재료 및 방법

**조사 대상 새만금 유역 행정구역 분할.** 새만금 유역은 행정구

역상으로 전라북도 8개 시·군에 걸쳐 위치하며, 이 가운데 전주, 정읍시, 김제시, 완주군은 대부분의 지역이 유역내에 포함되지만, 군산시, 익산시, 고창군, 부안군은 일부 지역만이 유역으로 포함된다. 본 연구에서는 전체 행정구역이 새만금 유역에 편입되지 않은 군산시, 익산시, 고창군, 부안군에 대해서는 유역분할 후 편입율을 산정하여 작물 재배면적을 산정하였다. 새만금 유역은 만경강 유역, 동진강 유역과 서해안 유역 등 3개의 중권역 및 24개의 표준유역으로 구성되어 있으며, 서해안 유역의 경우 서해상의 섬들은 제외하였다. 유역 경계는 한국수자원공사에서 1998년 구축한 국가지리정보시스템(National Geographic Information System: NGIS)을 활용하였다(Lee et al., 2007).

**새만금 유역 행정구역별 작물영양물질 투입량 및 향후 변화 추이 산정.** 화학비료의 사용량은 행정구역별, 년도별 해당 지자체 통계연보 자료를 활용하였다. 단, 퇴비의 사용량은 통계연보에 수록되지 않아 해당 시·군에 농업기술센터와 농협을 현장 방문하여 수집한 연간 사용량을(2003-2012년) 활용하였다. 새만금 내부개발이 완료된 후 영농활동이 시작될 것으로 예상되는 2020년까지를 대상으로 회귀분석을 실시하여 향후 변화 추이를 분석하였다.

**새만금 유역 행정구역별 밭작물 재배 농경지 최적관리기법 시나리오 구성.** 수도작 재배지역은 제외하고 유역별로 재배되는 주요 5대 밭작물의 재배면적을 검토한 다음 작부체계의 변경에 따른 작물양분요구량 저감과 그에 따른 농업비점오염원의 저감 효과를 평가하였다. 새만금 유역 행정구역별로 작물재배면적(ha)과 생산량(M/T)에 대한 자료는 2011년을 기준으로 해당 지자체 통계연보와 해당 시·군에 데이터를 수집 분석하였다. 행정구역별 작물양분요구량(M/T)은 농업과학기술원(NIAST, 1999)의 ‘작물별 표준시비량’에 작물 재배면적을 곱하여 산정하였다. 본 연구에서는 아래와 같이 작부체계 변경에 따른 최적관리기법 시나리오를 3개로 분류하여 질소와 인산과 같은 농업비점오염원을 저감할 수 있는 방안을 모색하였다(Table 1).

(1) Scenario 1 (동계작물 겉보리와 쌀보리를 경관 녹비작물인 헤어리벧치 또는 자운영으로 작부체계를 변경한 경우): 새만금 유역에서 벼 재배 이후 이모작 형태로 재배되고 있는 동계작물인 겉보리와 쌀보리 대신에 경관 녹비작물인 헤어리벧치 또는 자운영으로 작부체계를 변경하였다. 자운영과 헤어리벧치는 질소고정식물로 화학비료의 시비를 하지 않고 작물재배가 가능한 것으로 추정하였다. 본 시나리오는 겉보리와 쌀보리 재배로 인한 농가소득과 헤어리벧치 또는 자운영 재배로 인한 농가소득간에 불균형이 발생할 경우 해당 지방자치단체 또는 정부 차원에서 소득 손실을 보존해 주어야 한다는 제한점이 있다.

(2) Scenario 2 (화학비료 시비량이 많은 고추작물을 질소고정능력이 높은 콩작물로 작부체계를 변경한 경우): 콩의 경우 질소고정능력이 높아 화학비료 시비량을 저감시킬 수 있고, 토양의 질 개선에도 매우 유용하다. 최근 웰빙 추세에 따라 콩의

**Table 1** Scenarios of BMPs on Cropping System Alternatives of Main Upland Crop in Saemangeum Watershed

Scenario	Description
1	to convert naked barley and hulled barley to hairy vetch or chinese milk vetch
2	to convert red pepper to soybean crop
3	to combine two scenarios, converting naked barley and hulled barley to hairy vetch or chinese milk vetch + converting red pepper to soybean crop

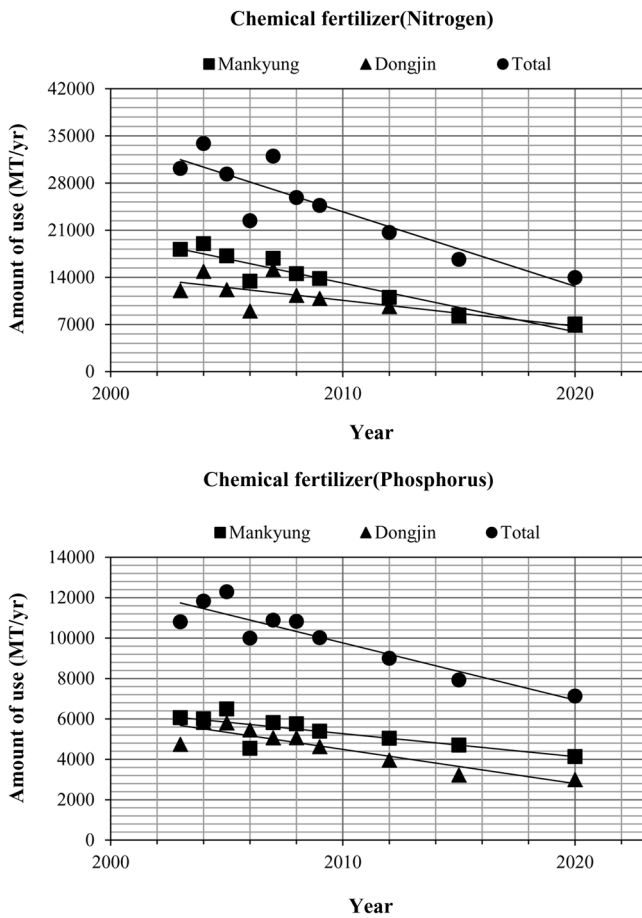


Fig. 1 Trends of annual usage of nitrogen and phosphorus in Saemangeum watersheds.

수요가 증가하는 추세에 있다(Kwon et al., 2001). 본 시나리오는 콩작물과 고추작물간에 농가소득 차이가 발생하지 않기에 소득 손실을 보존할 필요가 없다.

(3) Scenario 3 (시나리오 1과 시나리오 2의 통합): 상기 시나리오 1과 2의 통합 프로그램으로 새만금 유역내 결보리와 쌀보리를 전부 헤어리벤티 또는 자운영으로 변경하고 추가적으로 새만금 유역내 고추작물을 콩작물로 작부체계를 변경한 경우이다.

**결과 및 고찰**

**새만금 동진유역과 만경유역 연차별 작물영양물질 사용량 변화 추이 및 전망.** 우리나라 농경지 화학비료 시비량은 1996–1999년을 정점으로 완만하게 감소추세로 전환하고 있다. 새만금 유역 만경강과 동진강 수계 행정구역별 통계연보와 현장조사를 통해 얻어진 자료(2003–2012년)를 토대로 향후 2020년까지 질소질비료와 인산질비료 시비량 변화추이를 회귀분석하였다. 2020년 질소질비료의 농경지 시비량은 만경강 수계에서 6,075 ton year<sup>-1</sup>, 동진강 수계에서 6,989 ton year<sup>-1</sup>로 나타났으며, 2012년 대비 만경강 수계에서는 18%, 동진강 수계에서는 30% 정도 질소질비료의 사용량이 감소할 것으로 예측되었다. 이같은 결과는 농경지 면적의 감소가 일부 영향을 끼치겠지만, 고품질 쌀을 생

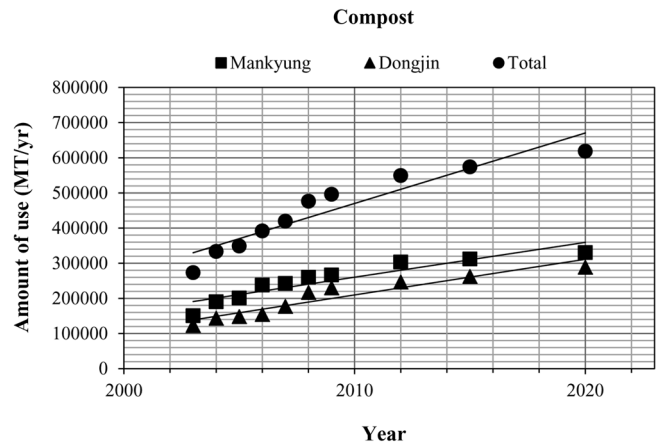


Fig. 2 Trends of annual usage of compost in Saemangeum watersheds.

산하기 위해 질소질비료의 시비량을 기존 11 kg 10a<sup>-1</sup> 수준에서 7–8 kg 10a<sup>-1</sup> 수준으로 저감시키기 위한 정부 시책 그리고 친환경 유기농업의 활성화 추세가 반영된 것으로 평가된다. 2020년 인산질비료의 농경지 시비량은 만경강 수계에서 2,283 ton year<sup>-1</sup>, 동진강 수계에서 3,952 ton year<sup>-1</sup>로 나타났으며, 2012년 대비 만경강 수계에서는 22%, 동진강 수계에서는 19% 정도 인산질비료의 사용량이 감소할 것으로 예측되었다(Fig. 1). 농경지 지력회복과 우수 안전농산물에 대한 소비자 요구가 증가함에 따라 점진적으로 화학비료 사용량은 감소하고 부산물비료와 유기질비료에 대한 사용량이 증가할 것으로 예상된다. 실제적으로 2020년 퇴비의 농경지 사용량은 만경강 수계에서 75,989 ton year<sup>-1</sup>, 동진강 수계에서 63,959 ton year<sup>-1</sup>로 나타났으며, 2012년 대비 만경강 수계에서는 17%, 동진강 수계에서는 37% 정도 퇴비의 사용량이 증가할 것으로 예측되었다(Fig. 2). 지속적인 친환경 유기농업 재배면적의 확대에 인하여 앞서 언급한 바와 같이 화학비료의 사용량은 감소하고 퇴비의 사용량이 급격하게 증가하고 있다. 한편에서는, 화학비료 시비량 감소가 농업비점오염원의 저감으로 이어져 새만금 담수호의 수질개선에 크게 기여할 것으로 기대하고 있다. 그러나 이는 작물의 양분요구량과 농경지에서 영양물질의 수지에 대한 이해가 결여되었기 때문으로 평가된다. 농경지에 화학비료의 투입량이 감소된 만큼 작물의 양분요구량을 충족시키기 위해서는 별도의 작물영양분(부산물비료, 유기질비료)이 농경지에 투입되어야 작물영양물질의 수지가 균형을 이루게 될 것이다. 화학비료 유래 작물영양물질과 퇴비 유래 작물영양물질은 성분이 동일한 것이다. 단지 토양내에서 무기화 정도와 작물로의 흡수이행량이 차이를 보일 뿐 모두 동일한 질소와 인산성분임을 감안하여야 한다. 새만금 유역에서 화학비료의 투입량 감소를 농업비점오염물질의 감소라고 단정지를 경우 농업비점오염원에 대한 정량적인 평가가 결여될 수 있다. 그러므로 새만금 유역에서 농업비점오염원의 저감을 위해서는 작물양분종합관리시스템(INM, Integrated Nutrient Management), 저투입지속농업(LISA, Low Input Sustainable Agriculture) 그리고 최적관리기법(BMPs, Best Management Practices)과 관련된 기술적 요소와 정책 개발이 필요할 것으로 판단된다.

**새만금 유역의 발작물 재배현황과 최적관리기법 적용 시나리오별 농업비점오염 저감효과.** 최적관리기법(BMP; Best Management

**Table 2** Cultivation of main upland crop and requirement of nutrients in Saemangeum watersheds

Region	Classification	Crop	Area (ha)	Production (M/T)	Requirement of nutrients (M/T)	
					N	P
Jeonju-si		Lettuce	240	683	48	14
		Water melon	183	2,180	25	9
		Pepper	180	505	34	20
		Radish	145	6,270	41	9
		Naked barley	133	1,316	12	10
Iksan-si		Hulled barley	1,117	3,430	102	83
		Sweet potato	712	8758	39	45
		Naked barley	628	1,772	57	46
		Pepper	564	1,860	107	63
		Water melon	197	13,298	27	10
Gunsan-si		Naked barley	942	5,143	86	70
		Soybean	509	657	15	15
		Hulled barley	421	2,349	38	31
		Wheat	308	1,078	28	23
		Pepper	123	292	23	14
Gimje-si		Naked barley	2,768	13,897	252	205
		Potato	977	19,176	98	86
		Hulled barley	907	4,422	83	67
		Sweet potato	677	10,317	37	43
		Pepper	592	14,867	112	66
Jeongeup-si		Pepper	1,431	3,148	272	160
		Soybean	891	1,413	27	27
		Naked barley	471	2,190	43	35
		Wheat	287	1,195	26	21
		Hulled barley	199	877	18	15
Wanju-gun		Sweet potato	436	7,244	24	27
		Chinese cabbage	375	19,858	120	29
		Pepper	337	1,802	64	38
		Soybean	306	498	9	9
		Water melon	212	10,700	29	10
Buan-gun		Naked barley	1,093	5,251	99	81
		Hulled barley	837	3,763	76	62
		Pepper	610	1,847	116	68
		Soybean	405	629	12	12
		Wheat	332	1,011	30	25
Total			20,545	173,696	2,229	1,548

Practices)은 ‘농업비점오염원에 의해 초래되는 오염량을 수질목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 영농 방법’으로 정의할 수 있다. 최적관리기법의 추진절차는 첫째, 개선을 필요로 하는 수질 문제 파악. 둘째, 수질에 영향을 끼치는 오염물질의 발생원과 발생량 평가. 셋째, 오염원 제어방법 및 특정 관리방안 설정과 농업적 효율성, 환경적 효율성, 경제적 수익성, 사회적 수용성 그리고 시행 가능성의 조건을 갖춘 방안을 대상으로 수행하여야 한다. 농경지로부터 발생하는 오염원을 합목적적으로 제어하기 위한 최적관리기법은 관리, 식물피복 그리고 구조적 방법으로 구분할 수 있다. 관리방법에 의한 억제는 영농자재의 형태, 사용시기, 사용량 및 사용

방법 등을 포함한다. 식물피복 방법은 토양 표면에 식물을 재배하거나 잔류물질을 이용하여 토양유실 방지, 유거수 속도 감소 및 토양수분 보유력 증가를 통한 오염원의 억제 수단으로 작부체계와도 밀접한 관련이 있다. 구조적 방법은 시설물을 설치하거나 공사를 통해 포장을 변경시켜 오염원의 발생을 억제하는 수단으로 자본의 투자가 요구되거나 비교적 영구적인 억제 방법으로 간주된다(Ministry of Agriculture and Forestry, 2007).

본 연구에서는 새만금 유역 발작물 작부체계의 최적관리를 통한 작물양분 투입량의 사전 관리에 목적을 두고 각각의 행정구역별로 재배면적이 넓은 주요 5대 발작물을 대상으로 검토하였다. 새만금 유역은 김제평야와 만경평야 등 우리나라 수도작 주요 재배지이다. 일반적으로 수도작 재배 농가는 특별한 경

**Table 3** Requirement of nutrients of upland crop according to scenario in Saemangeum watersheds

Region	Crop	Requirement of nutrients (M/T)							
		Before BMPs application		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
		N	P	N	P	N	P	N	P
Jeonju-si	Pepper	34	20	34	20	0	0	0	0
	Lettuce	48	14	48	14	48	14	48	14
	Water melon	25	9	25	9	25	9	25	9
	Radish	41	9	41	9	41	9	41	9
	Naked barley	12	10	0	0	12	10	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	-	-	-	-	5	5	5	5
	Subtotal	160	62	148	52	126	42	119	37
Iksan-si	Pepper	107	63	107	63	0	0	0	0
	Sweet potato	39	45	39	45	39	45	39	45
	Water melon	27	10	27	10	27	10	27	10
	Naked barley	57	46	0	0	57	46	0	0
	Hulled barley	102	83	0	0	102	83	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	-	-	-	-	3	3	3	3
	Subtotal	332	247	173	55	225	184	69	58
Gunsan-si	Pepper	23	14	23	14	0	0	0	0
	Wheat	28	23	28	23	28	23	28	23
	Hulled barley	38	31	0	0	38	31	0	0
	Naked barley	86	70	0	0	86	70	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	15	15	15	15	19	19	19	19
	Subtotal	190	153	66	52	171	143	47	42
Gimje-si	Pepper	112	66	112	66	0	0	0	0
	Potato	98	86	98	86	98	86	98	86
	Sweet potato	37	43	37	43	37	43	37	43
	Naked barley	252	205	0	0	252	205	0	0
	Hulled barley	83	67	0	0	83	67	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	-	-	-	-	17	17	17	17
	Subtotal	582	467	247	195	487	418	152	146
Jeongeup-si	Pepper	272	160	272	160	0	0	0	0
	Wheat	26	21	26	21	26	21	26	21
	Naked barley	43	35	0	0	43	35	0	0
	Hulled barley	18	15	0	0	18	15	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	27	27	27	27	69	69	69	69
	Subtotal	386	258	325	208	156	140	95	90
Wanju-gun	Pepper	64	38	64	38	0	0	0	0
	Sweet potato	24	27	24	27	24	27	24	27
	Chinese cabbage	120	29	120	29	120	29	120	29
	Water melon	29	10	29	10	29	10	29	10
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	9	9	9	9	19	19	19	19
	Subtotal	246	113	246	113	192	85	192	85
Buan-gun	Pepper	116	68	116	68	0	0	0	0
	Wheat	30	25	30	25	30	25	30	25
	Naked barley	99	81	0	0	99	81	0	0
	Hulled barley	76	62	0	0	76	62	0	0
	Hairy vetch/Chinese milk vetch	-	-	0	0	-	-	0	0
	Soybean	12	12	12	12	3	3	3	3
	Subtotal	333	248	158	105	208	171	33	28
Total		2229	1548	1363	843	1573	1191	707	486

우가 아닌 이상 전작 재배지로 전환하지 않으며, 우리나라 최대 곡창지대인 지역 특성상 큰 변화가 없을 것으로 추정하였다. 새만금 유역의 농업비점오염원을 저감시키기 위해서는 밭작물의 작부체계를 검토한 다음 작부체계의 변경에 따른 작물양분 투입량 저감과 그에 따른 농업비점오염원의 저감효과를 평가하여야 할 것이다. 새만금 유역에서는 월동작물로 재배하는 쌀보리와 겉보리 재배로 인한 작물양분 투입량이 상당히 높은 것으로 나타났다. 웰빙과 로하스 추세에 따라 쌀보리와 겉보리의 수요가 일시적으로 증가 하였기 때문인 것으로 추정된다. 하계 밭작물로는 화학비료 투입량이 높은 고추의 재배면적이 넓게 나타났다(Table 2). 새만금 유역을 구성하고 있는 7개 시·군을 대상으로 벼 수확후 재배하는 동계작물의 재배면적을 비교 분석한 결과, 익산시의 경우 쌀보리 1,117 ha, 겉보리 628 ha, 군산시의 경우에는 쌀보리 942 ha, 겉보리 421 ha, 김제시의 경우 쌀보리 2,768 ha, 겉보리 907 ha, 그리고 부안군의 경우에는 쌀보리 1,093 ha, 겉보리 837 ha를 나타내어 김제시에서 비교적 많은 양의 쌀보리와 겉보리가 재배되고 있는 것으로 나타났다. 기타 전주시, 정읍시 그리고 완주군의 경우에는 동계작물(쌀보리, 겉보리)의 재배면적이 그다지 높게 나타나지 않았다. 비교적 작물양분요구량이 높은 고추의 경우 익산시 564 ha, 김제시 592 ha, 정읍시 1,431 ha, 그리고 부안군 610 ha를 나타내어 정읍시에서 고추의 재배면적이 월등히 높게 나타났다. 전주시, 군산시 그리고 완주군의 경우 고추의 재배면적이 그다지 높지 않은 것으로 나타났다. 조사대상 7개 시·군에 주요 5대 밭작물을 재배하는데 필요한 전체 작물양분요구량은 질소 2,229 MT yr<sup>-1</sup>과 인산 1,548 MT yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 동계작물(쌀보리, 겉보리)의 재배면적이 넓은 익산시, 군산시, 김제시 그리고 부안군에서 동계작물을 재배하는데 필요한 작물양분요구량은 질소 793 MT yr<sup>-1</sup>과 인산 645 MT yr<sup>-1</sup>로 전체 작물양분요구량의 36%와 42%를 차지하였다. 또한 고추의 재배면적이 넓은 익산시, 김제시 그리고 정읍시에서 고추를 재배하는데 필요한 작물양분요구량은 질소 491 MT yr<sup>-1</sup>과 인산 289 MT yr<sup>-1</sup>로 전체 작물양분요구량의 22%와 19%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 결론적으로, 새만금 담수호 유역 7개 시·군을 대상으로 동계작물인 쌀보리와 겉보리 그리고 작물양분요구량이 높은 고추를 타작물로 작부체계를 변경시, 수계에서 농업비점오염물질로 작용하는 질소와 인산의 투입량을 50% 이상 감축할 수 있을 것으로 평가되었다. 벼 재배 이후 이모작 형태로 재배되고 있는 동계작물인 겉보리와 쌀보리의 작부체계 그리고 화학비료 시비량이 높은 하계 밭작물인 고추를 대상으로 최적관리기법 프로그램이 개발될 경우 원천적으로 새만금 유역내 화학비료 투입량을 저감시킬 수 있는 방안이 마련될 것으로 판단된다.

시나리오 1에 따르면, 전주시, 정읍시 그리고 완주군의 작물양분 투입량에 큰 변화가 나타나지 않았다. 그러나, 익산시, 군산시, 김제시 그리고 부안군은 주요 5대 밭작물을 재배하는데 투입되어야 하는 작물양분 투입량이 전체 작물양분요구량 대비 50–60%를 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났다. 시나리오 2에 따르면, 전주시, 군산시 그리고 김제시는 작물양분의 투입량에 큰 변화가 나타나지 않았다. 그리고 완주군과 부안군은 질소의 경우 40% 수준의 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 반면에, 인산 투입량은 큰 변화가 나타나지 않았다. 나머지 익산시와 정읍시에서 질소와 인산의 투입량이 30% 정도 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타나 새만금 유역내 고추작물을 콩작물로 전환하는 것은 그다지

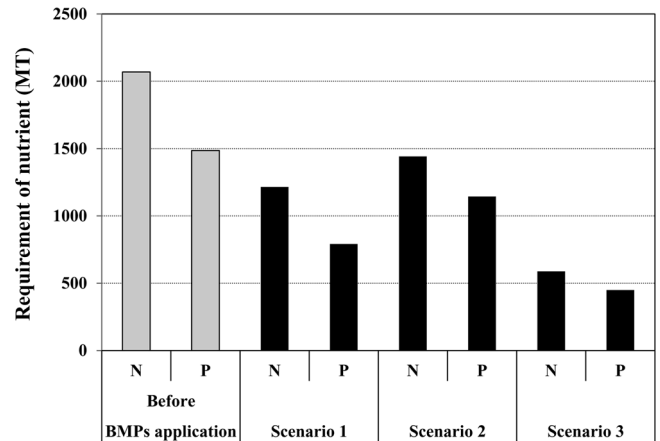


Fig. 3 Reduction efficiency of agricultural nonpoint pollution sources according to scenario in Saemangeum watersheds.

작물양분 투입량 저감에 큰 효과를 나타나지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 동계 피복작물로 헤어리벤티치의 재배는 토양 유실의 감소와 후작물에 대한 질소비료 절감의 효과가 기대된다 (Seo 등, 2005). 마지막으로 시나리오 3에 따르면, 전주시의 경우는 작물양분 투입량에 별다른 변화가 나타나지 않았으며, 완주군의 경우에도 전체적으로 작물양분 투입량을 20% 수준에서 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 평가되었다. 그러나 익산시, 군산시, 김제시 그리고 정읍시에는 질소와 인산을 모두 70-75% 수준으로 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났다. 부안군의 경우 시나리오 3 적용시 질소와 인산의 투입량을 90% 수준까지 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 평가되었다(Table 3). 새만금 유역내 주요 5대 밭작물의 작부체계를 변경하는 3가지 시나리오 가운데 시나리오 1 적용시 질소 41%, 인산 47%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났으며, 시나리오 2 적용시 질소 30%, 인산 23%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났으며, 시나리오 3 적용시 질소 72%, 인산 70%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 평가되었다(Fig. 3).

농업비점오염원 제어를 위한 정책 선택 가운데 가장 중요한 것 중의 하나가 농민들이 농업비점오염원 제어를 위한 농경방법, 작부체계의 변화, 최적관리기법의 도입시 농가소득이 감소할 수 있음을 인지하고 있기 때문에 정부 차원의 경제적인 지원이 뒤따라야 한다는 것이다. 농민들에게 경제적인 지원이 뒤따르지 않으면, 농민들의 농가수입이 감소하기 때문에 적절한 농업비점오염원 관리에 비협조적일 수 있다. 그러므로 실제 농업비점오염원 제어와 관련된 대안을 수립할 때 해당 지자체와 정부 차원에서 경제적인 지원책을 마련하여야 할 것이다. 이와 함께 농업비점오염원 제어를 위한 작물영양물질 투입량, 작부체계의 변경과 같은 합목적적인 계획기준을 수립하여 실천할 수 있는 전략 수립이 필요할 것이다. 특히, 새만금 유역에서 담수호 수질보전을 위한 유역관리기법 개발시 작물양분요구량이 높은 작물의 재배를 최소화하고 양분배출형 작부체계가 아닌 양분흡수형 작부체계로의 전환을 통한 최적관리기법 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

## 초 록

새만금 유역내 밭작물 재배 농경지의 작부체계와 관련된 최적 관리기법을 적용하여 각각의 시나리오별로 농업비점오염원의 저감효과를 분석하였다. 또한 새만금 유역내 동진강 수계와 만경강 수계를 대상으로 행정구역별 작물양분의 투입량 실태분석과 향후 변화 추이에 대한 평가를 수행하였다. 새만금 유역 만경강 수계에서 2012년 기준으로 2020년에는 질소질비료 18%, 인산질비료 22%가 감소하는 추세였으며, 동진강 수계에서는 질소질비료 30%, 인산질비료 19%가 감소할 것으로 평가되었다. 반면, 퇴비의 경우에는 만경강 수계에서는 17%, 동진강 수계에서는 37% 정도 사용량이 증가할 것으로 추정되었다. 새만금 유역내 밭작물의 작부체계 변경과 관련된 최적관리기법 시나리오 가운데 Scenario 1 (동계작물 겉보리와 쌀보리를 경관 녹비작물인 헤어리벳치 또는 자운영으로 작부체계를 변경한 경우) 적용시 질소 41%, 인산 47%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났으며, Scenario 2 (화학비료 시비량이 많은 고추작물을 질소고정능력이 높은 콩작물로 작부체계를 변경한 경우) 적용시 질소 30%, 인산 23%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 나타났으며, Scenario 3 (시나리오 1과 시나리오 2의 통합) 적용시 질소 72%, 인산 70%의 작물양분 투입량을 감소시키는 결과를 초래할 수 있는 것으로 평가되었다. 새만금 유역에서 담수호 수질 보전을 위한 유역관리기법 개발시 작물양분요구량이 높은 작물의 재배를 최소화하고 양분배출형 작부체계가 아닌 양분흡수형 작부체계로의 전환을 통한 최적관리기법 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

**Keywords** 농업비점오염원 · 작물양분종합관리 · 작부체계 · 최적관리기법

**감사의 글** 본 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원의 '새만금 간척농지 비점오염 관리기술 개발'과제의 연구비로 수행되었습니다.

## References

- Allan OE, Rhoades D, Smith SJ, and Menzel RG (1980) Fertilizer nutrient losses from rangeland watersheds in central Oklahoma. *J Environ Qual* **9**, 81–6.
- Cho JY, Son JG, Choi JK, Song CH, and Chung BY (2008) Surface and subsurface losses of N and P from salt-affected rice paddy fields of Saemangeum reclaimed land in South Korea. *Paddy Water Environ* **6**, 211–9.
- Griffin R and Bromley D (1982) Agricultural runoff as a nonpoint externality. *Am J Agr Econ* **64**, 547–52.
- Im SJ, Kim SM, and Kang MS (2009) A Study on the nonpoint source pollution management guideline for golf course construction. *J Agr Life Sci* **43**, 55–62.
- Kwon TW, Kwon SH, Lee CH, and Hong EH (2001) The feasibility study on the establishment of a world soybean center. *Korea Soybean Digest* **18**, 1–25.
- Lee CG (2007) Forecasting of water quality in Wang-Suk river watershed using total waste load reduction scenarios. MS Thesis, Hanyang University, Korea.
- Lee EJ, Kim HK, and Park SW (2007) Assessing impact of non-point source pollution by management alternatives on arable land using AGNPS model. *J Agr Life Sci* **41**, 55–61.
- Malmer A (1996) Hydrological effects and nutrient losses of forest plantation establishment on tropical rainforest land in Sabah, Malaysia. *J Hydrol* **174**, 129–49.
- Ministry of Agriculture and Forestry (2007) Development of control and management of non-point source pollution in Saemangeum watersheds. Korea.
- Mostaghimi S, Park SW, Cooke RA, and Wang SY (1997) Assessment of management alternatives on a small agricultural watershed. *Water Resour* **31**, 1867–78.
- National Research Council (1993) Prevention of water pollution by agriculture and related activities. Rome.
- NIAST (1999) Standard application of fertilizer for Crops. National Institute of Agricultural Science and Technology, Korea.
- OECD (1996) Water pollution by fertilizers and pesticides. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris.
- Seo JH, Park JY, and Song DY (2005) Effect of cover crop hairy vetch on prevention of soil erosion and reduction of nitrogen fertilization in sloped upland. *Korean J Soil Sci Fert* **38**, 134–41.
- Yoon CG, Ham JH, and Jeon JH (2003) Mass balance analysis in Korean paddy rice culture. *Paddy Water Environ* **1**, 99–106
- Zulu G, Toyota M, and Misawa SI (1996) Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the rice land ecosystem. *Agr Water Manage* **31**, 269–83.