Journal of Environmental Science International
26(11); 1255~1266; November 2017

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2017.26.11.1255

ORIGINAL ARTICLE

OECD 인 수지 산정법의 지역단위 적용 연구: 유출입 자료 출처 비교

임도영 · 류홍덕 · 정유진* · 김용석
국립환경과학원 물환경연구부

Regional Application of the OECD Phosphorus Budget: Comparison of the Input-Output Data Sources

Do Young Lim, Hong-Duck Ryu, Eu Gene Chung*, Yongseok Kim
Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea

Abstract

Phosphorus (P) is an essential and major nutrient for both plants and animals. However, anthropogenic P in the environment may cause severe problems such as the deterioration of water quality. Therefore, it is essential for the Korean government to manage P in the agricultural sector. The annual P budget for Korea was 46 kg P ha-1 in 2013, placing Korea in second among Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries. P surplus and deficiency in agricultural lands can be estimated according to the P budget, which is one of the OECD agri-environment indicators. In the P budget, it is important to ensure consistency in the input-output data sources, in order to apply national and regional policies for the environmentally sound management of agricultural P. This study examines the impacts on the input-output data sources in the regional P budget in Korea. P budgets were between 99-145 kg-P/ha, depending on different data sources. We suggest two recommended data combinations (DC 1 and DC 2) for reliability of the data. P budgets calculated using DC 1 and DC 2 were 128 kg-P/ha and 97 kg-P/ha, respectively. According to the results, one of the core factors affecting P budgets was crop production. In this study, DC 2 was recommended rather than DC 1 in order to consider the cultivated areas for various crops. It is also necessary to analyze the sensitivity of the coefficients used in P budget in the future.

Key words : OECD nutrient budget, Phosphorus (P), Phosphorus budget, Agri-environmental indicator, Data sources

1. 서 론

인(Phosphorus)은 동식물에 필수적이고 중요한 양분이다(Mallarino and Blackmer, 1992; Johnston and Dawson, 2005). 동·식물은 적절한 성장을 위해 충분한 인 흡수 및 섭취가 필요하며, 인이 부족하면 동식물 성장에 부정적인 영향을 준다. 하지만 가축사육, 비료 살포 등 인간의 활동에 의해 증가된 인은 수질에 중요한 문제를 일으킨다(Sharpley and Withers, 1994; Bennett et al., 2001). 예를 들면, 인위적으로 증가된

Received 5 September 2017; **Revised** 22 November, 2017;
Accepted 23 November, 2017
***Corresponding author**: Eu Gene Chung, Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea
Phone : +82-32-560-7384
E-mail : egchung@korea.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인은 수계의 부영양화, 산소 고갈, 독성 조류 번식, 물고기 폐사, 수계생물 종의 다양성 저하, 수돗물의 이취미 등을 일으킬 수 있다(Capenter et al., 1998; Hansen et al., 2002).

한편, 인은 질소와 더불어 작물생산에 중요한 성분이다. 하지만 농업생산량 증대를 위해 '고투입-고산출'의 집약적 농업 추진으로 농경지에 작물재배에 필요로 하는 양 이상의 화학비료가 사용되어 국내 농경지의 인산 축적이 1970년대 중반 이후부터 현재에 이르기까지 지속적으로 증가하고 평균 유효 인산 함량이 작물재배에 필요한 적정 수준을 초과하는 것으로 나타났으며(Kim et al., 2014), 거의 모든 시·도의 밭, 과수원, 시설재배지 등에서도 초과하였다(NIAS, 2013). 또한 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 통계자료에 의하면 우리나라는 2013년 기준으로 단위 농경지 면적당 인 초과량이 46 kg-P/ha로 일본에 이어 2위를 차지하고 있어 적절한 인 관리가 필요하다(OECD, 2017). 네덜란드의 경우 1980년 중반부터 자본집약적 기술농업에 따라 1991년 기준으로 38 kg-P/ha이었으나 환경부하 감축을 위해 친환경농업체계로의 전환 등 네덜란드 정부의 노력으로 2013년 기준으로 4 kg-P/ha으로 감축시켰다(Kim and Kim, 2005; OECD, 2017).

국가나 지역 내 농경지에서 인의 과잉과 결핍은 인 수지(Phosphorus Budget)로 추정할 수 있다. 인 수지는 OECD 13개 농업환경지표 중에 하나로 일정 범위에서 발생한 인 유입량과 인 유출량의 차이인 인 잔고값이다(Kremer, 2013). 지표는 정책 연관성, 해석의 용이성, 분석의 건전성, 측정 가능성 등의 기본적인 요건이 충족하여야 하는데(Kim et al., 2006), 이러한 OECD 농업환경지표 특성을 고려한 인 수지에 관한 연구는 국내외적으로 활발히 이루어지고 있다. Kopinski et al.(2006)은 OECD 인 수지 산정방법으로 폴란드 16개 주의 인 수지를 통계청에서 발행한 통계연보 자료를 토대로 산정하여 지속 가능한 양분관리 정책에 활용하고자 하였다. Ozbeck(2014)은 터키 26개 주에서 농경지 인이 수계에 미치는 영향을 추정하고자 터키의 농림축산식품부, 통계청 자료를 이용하여 인 초과량을 산정하여 인 초과와 사회-경제지표와의 상관성 및 EU 국가와 비교하였다. Gaj and Bellaloui(2012)은 폴란드와 미시시피 주의 인 수지를 비교하기 위해서 국제 비료협회 자료, 통계 연보를 사용하여 산업화의 증가와 작물 체계의 변화에 대한 영향을 고찰하였다. Mihailescu et al.(2015)은 아일랜드 남부 농가 단위 인 수지 산정 시 자료 기록이 정확한 농가를 중심으로 21개 젖소 농가를 선정하여 인 사용 효율을 평가하였다. Melier et al.(2003)은 농가 단위 인 수지 산정 후에 농가에서 수집된 자료가 정확한지 확인이 필요하다고 하였다.

Kim et al.(2008)은 축산선진국인 벨기에, 네덜란드와 우리나라의 농경지 축산 이용실태를 평가하기 위하여 해당 국가의 농림통계연보와 같은 국가단위 통계자료를 이용하여 OECD 인 수지를 산정하였다. Hong and Song(2006)은 충주지역의 과잉양분 지역에 대한 관리방향을 제시하기 위해 농협 자료, 충주시 내부자료, 국토교통부 자료 등으로 무기질 질소비료, 유기질 질소비료, 공생 질소고정, 대기질소 유입량, 작물 질소흡수량, 암모니아 손실량 등을 산정하여 인 수지를 분석하였다. Jeon et al.(2014)은 전남 지역을 대상으로 인 수지와 하천의 수질과의 상관관계 분석을 위해 각 시·군 통계연보와 환경부의 물환경정보시스템에 공개된 평균 수질 지표(T-N, T-P, BOD, COD) 농도 자료를 활용하였다.

OECD와 유럽연합통계청(Eurostat)에서 사용되는 토지 인 수지 산정에 가축의 종류별 사육 마릿수, 가축분뇨 발생량, 퇴비·액비 등으로의 자원화, 정화처리 등 가축분뇨의 처리 유형별 현황, 작목의 종류별 농경지의 면적, 작목별 비료의 수급 현황, 작목별 농경지에 포함된 비료의 함량 등 다양하고 광범위한 자료가 필요하다. 이와 관련하여 국내 지자체, 통계청, 환경부, 농림축산식품부 및 관련 연구기관 등 다양한 기관에서 관련 자료를 제공하고 있다. 이와 같은 입·출력 자료의 신뢰도와 선정의 일관성은 OECD 농업환경지표인 양분수지 산정결과의 신뢰도에 직결될 뿐만 아니라(Onema et al., 2003), 국가 및 지역 정책 수립 및 적용 수단으로서의 양분수지의 지표 특성을 고려할 때 중요한 요소가 된다. 이와 같은 이유로 OECD와 유럽연합통계청의 인 수지 산정법의 경우에도 광물 비료는 전국의 농업에 사용된 광물비료의 공식 통계 자료,

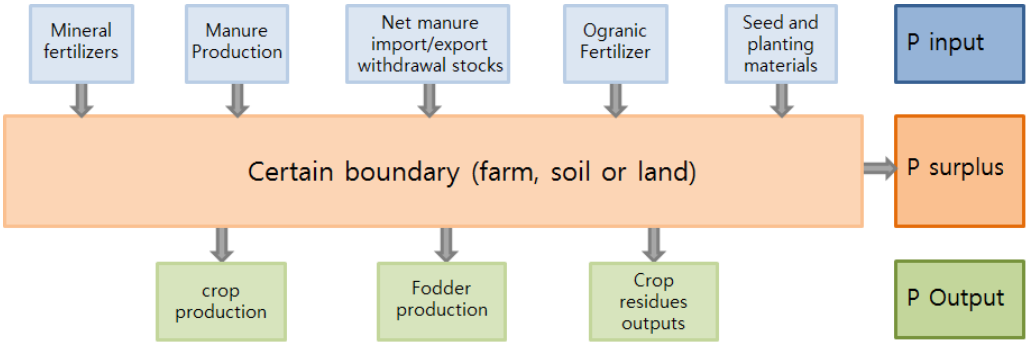

Fig. 1. Schematic diagram of the phosphorus budget based on the method of OECD/Eurostat.

작물 생산량은 유럽연합통계청에 보고된 국가별 양분계수 및 작물생산량 자료 등 유출입 자료를 출처별로 권고하고 있다(Kremer, 2013).

따라서 본 연구는 토지 OECD/Eurostat 산정법을 이용하여 가축분뇨를 자원화 하는 국내 실정에 맞게 수정한 인 수지 산정법으로 지역 단위(시군 단위) 입출력 자료 출처에 따른 인 수지 산정결과에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. OECD/Eurostat 인 수지 산정

OECD/Eurostat에서 제시한 인 수지 산정법(Kremer, 2013)을 모식화하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 인 잔고(Phosphorus Surplus, PS)는 연간 특정 경계(농가나 토양 혹은 토지)에서 발생한 인 유입량에서 유출되는 인 유출량을 뺀 값이다. 이와 같은 인 잔고는 수체로 용탈·유출될 위험과 땅속의 인이 축적될 위험을 합친 것이다.

인 유입량(input) 항목으로는 광물비료, 가축분뇨 생산량, 가축분뇨의 순 수출입량/인출량/저장량, 기타 유기질 비료, 파종·식재용 재료를 고려하였으며, 인 유출량(output)의 경우 작물 생산을 통해 농지로부터 유출되는 질소량으로 작물 생산량, 사료작물 생산량 및 식물 잔재 항목 등이 고려되었다.

2.2. 본 연구에서 수정된 인 수지 산정법

유럽 OECD 국가와 달리 가축분뇨를 농경지에 바로 투입하지 않고 국내 축산농가에서 가축분뇨의 대부분을 퇴비·액비로 자원화하고 돈분뇨의 경우 정화

Table 1. Comparison of components of input, output and surpluses in the phosphorus budgets between OECD and this study

	OECD/Eurostat	This study
In-put	P1) Mineral fertilizer	P1) Mineral fertilizer
	P2) Manure production	P2-1) P from manure to livestock manure treatment
		P2-2) P from manure to solid composting
		P2-3) P from manure to liquid composting
	P3) Net manure import/export withdrawal stocks	P3) Net composting import/export
	P4) Other organic fertilizer	P4) Other organic fertilizer
	P5) Seed and planting material	P5) Seed and planting material
	P6) Total inputs = sum (P1,P2,P3,P4,P5)	P6) Total inputs = sum (P1,P2-1,P2-2,P2-3,P3,P4,P5)
Out-put	P7) Crop production	P7) Crop production
	P8) Fodder production	P8) Fodder production
	P9) Crop residues outputs	
	P10) Total outputs = sum (P7,P8,P9)	P9) Total outputs = sum (P7,P8)
Surplus	P11) Phosphorus Surplus (PS) = P6 - P10	P10) Phosphorus Surplus (PS) = P6 - P9

Table 2. Equations of input, output and surpluses in the phosphorus budget in this study

Entry		Methodology
In put	P1*	$\sum_i$ [Sale of the i mineral fertilizer (ton/yr) × P content of i mineral fertilizer (%)]
	P2-1*	$\sum_i$ [Head of i livestock (head) × Unit of generation and discharge from i livestock (L/head/d) × Share from manure to manure treatment (%) × Coefficients of P conversion of i livestock manure (%)]
	P2-2*	$\sum_i$ [Head of i livestock (head) × Unit of generation and discharge from i livestock (L/head/d) × Share from manure to solid composting (%)× Coefficients of P conversion of i livestock manure (%)]
	P2-3*	$\sum_i$ [Head of i livestock (head) × Unit of generation and discharge from i livestock (L/head/d) × Share from manure to liquid composting (%)× Coefficients of P conversion of i livestock manure (%)]
	P3*	$\sum_{ij}$ {[Amount of import i solid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of P conversion of i solid composting (%)] + [Amount of import j liquid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of P conversion of j liquid composting (%)]} - $\sum_{kz}$ {[Amount of import k solid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of P conversion of k solid composting (%)] + [Amount of export z liquid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of P conversion of z liquid composting (%)]}
	P4*	$\sum_i$ [Sale of the i organic fertilizer (ton/yr) × P content of i organic fertilizer (%)]
	P5*	$\sum_i$ [Cropped area of i seed (ha) × Coefficients of P conversion of i seed (kg/ha)]
	P6	Total inputs = sum (P1, P2-1, P2-2, P2-3, P3, P4, P5)
Out put	P7*	$\sum_i$ [Cropped area of i crop (ha) × Coefficients of P conversion of i crop (kg/ha)]
	P8*	$\sum_i$ [Cropped area of i fodder crop (ha) × Coefficients of P conversion of i fodder crop (kg/ha)]
	P9	Total outputs = sum (P7, P8)
Sur plus	P10	Phosphorus Surplus (PS) = P6 – P9

Source : modified Lim et al.(2017)

* P1: Amount of phosphorus of mineral fertilizers, P2-1: Amount of phosphorus from manure to livestock manure treatment, P2-2: Amount of phosphorus from to manure to solid composting, P2-3: Amount of phosphorus from to manure to liquid composting, P3: Amount of phosphorus of solid and liquid composting import/export, P4: Amount of phosphorus of other organic fertilizer, P5: Amount of phosphorus of seed and planting material, P7: Amount of phosphorus of crop production, P8: Amount of phosphorus of fodder production

처리도 하는 우리나라 가축분뇨 처리 특성을 고려하여 본 연구에서는 OECD/Eutostat에서 제시한 인 수지 산정방법을 국내 실정에 맞게 수정하였다(Table 1). 인 유입량은 광물비료, 가축분뇨, 기타 유기질비료, 파종·식재용 재료로 유입되는 양 등의 합으로 산출하였다. 다만 유입되는 가축분뇨 생산량은 사육두수 현황 자료, 축종별 발생원단위(MOE, 2008), 가축분뇨 처리현황 자료, 축종별 인 환산계수(RDA, 2009) 등을 이용하여 정화처리 및 퇴비·액비 등으로 처리·자원화되는 가축분뇨량으로 수정하였다. OECD/Eurostat의 입력항목인 가축분뇨 순 수출입량/인출량/저장량은 지역을 경계로 가축분뇨가 반입·반출되지 않고 자원화된 퇴비·액비 형태로 반입·반출하는 것으로 수정하였다. 한편 인 유출량은 작물 잔재를 통한 유출량은 제외하고 작물 생산량과 사료작물 생산량의 합으로만 산출하였다. 각 항목별 산정방법은 Lim et al.(2017)과 동일한 방법을 사용하되 인 수지에 맞는 계수를 이용하여 산정하였다(Table 2).

인 수지 산정에 사용된 기초 자료는 본 연구 목적인 자료 출처에 따른 인 수지 산정결과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 지자체 자료, 통계청 자료, 전국오염원조사 자료, 농업경영체 등록 자료 등을 이용하였다. 축종별 가축분뇨 발생원단위는 환경부 발생원단위 자료를 이용하였으며(MOE, 2008), 축종별 가축분뇨 인 성분 환산계수는 농촌진흥청 연구보고서에서 축종별 인산(P_2O_5) 환산계수를 인(P)으로 환산시켜 이용하였다(RDA, 2009). 파종 작물의 인 수지 변환계수는 OECD에서 제시한 자료의 평균값을 이용하였다

Table 3. Comparison of data sources components of input and output in the phosphorus budgets

	Components	LG[a)]	LG+SK[b)]	LG+WEMS[c)]	LG+FBRD[d)]
Input	P1) Mineral fertilizer	LG	SK	LG	LG
	P2) Manure production	LG	SK	WEMS	LG
	P2-1~3) Manure to treatment, solid and liquid composting	LG	-	WEMS	LG
	P3) Net composting import/export	LG	LG	WEMS	LG
	P4) Other organic fertilizer	LG	LG	LG	LG
	P5) Seed and planting material	LG	SK	LG	FBRD
Output	P7) Crop production	LG	SK	LG	FBRD
	P8) Fodder production	LG	-	LG	FBRD

Notes: Minus(-) means data not available
a) LG: a Local Government, b) SK: Statistics Korea, c) WEMS: Water Emission Management System, d) FBRD: Farm Business Registration Database

(Kremer, 2003).

2.3. 인 수지 입력자료 출처별 조합

가용한 인 수지 입력 자료의 다양한 기관별 출처를 고려하여 A 지자체의 경우 출처별 조합을 4가지로 구성하였다(Table 3). 지자체(Local Government, LG) 자료는 인 수지 유입, 유출 항목 모두 지자체 내부자료 만으로 조합한 것이다. 지자체+통계청[LG+(Statistics Korea, SK)] 자료는 유입 항목 중 가축분뇨 퇴비·액비 반출입량과 기타 유기질 비료량을 제외하고는 통계청 자료만으로 구성하였다. 지자체+전국오염원조사[LG

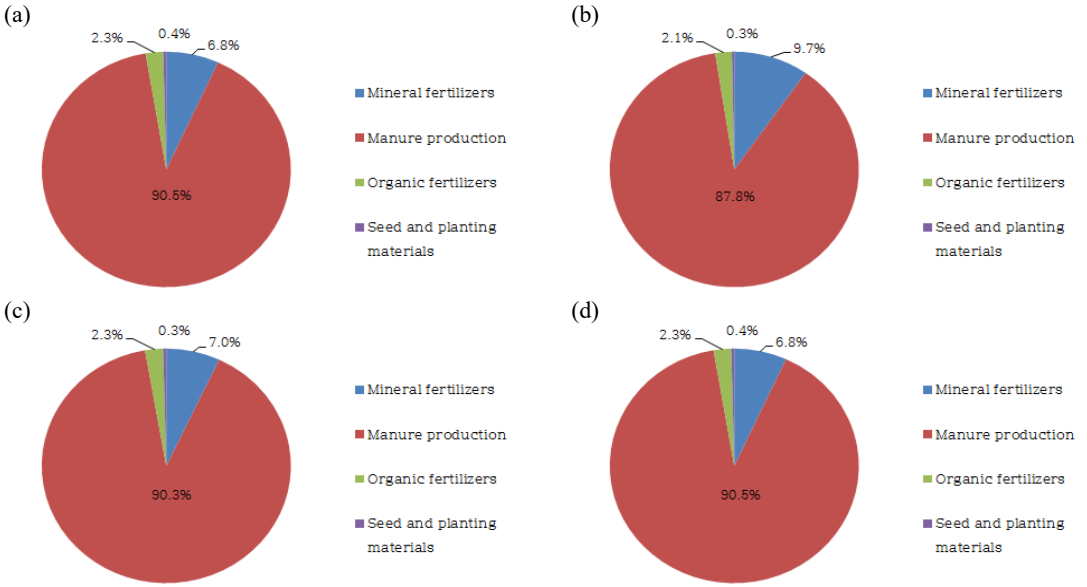

Fig. 2. The distributions of phosphorus budgets of inputs in 2015 for A region, Korea : (a) LG[1)]; (b) LG[1)]+SK[2)]; (c) LG[1)]+WEMS[3)]; (d) LG[1)]+FBRD[4)] (Unit: %).
1) LG: a Local Government, 2) SK: Statistics Korea, 3) WEMS: Water Emission Management System, 4) FBRD: Farm Business Registration Database.

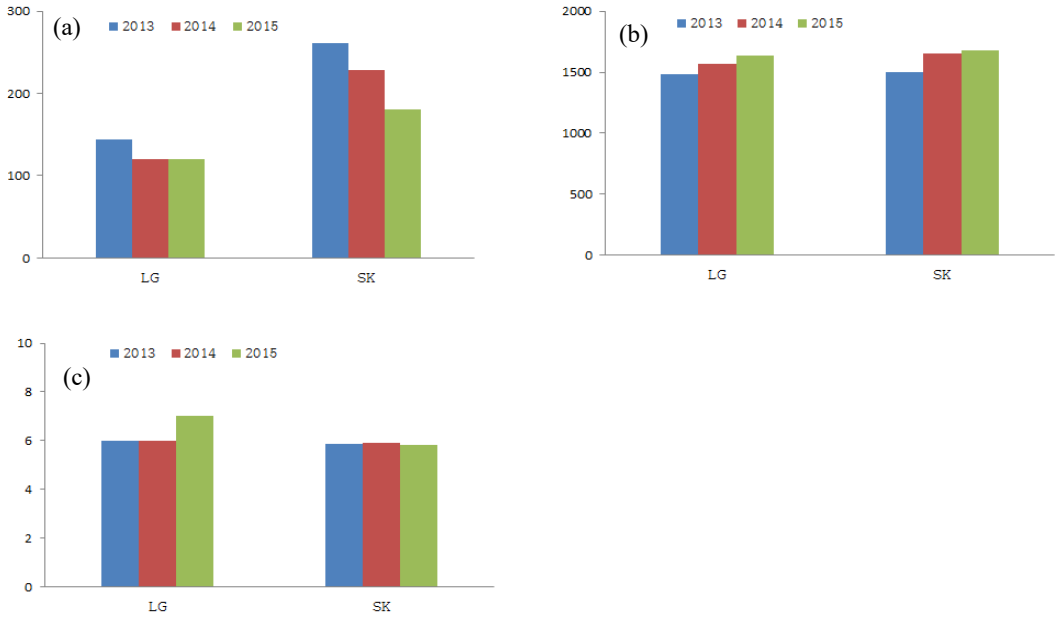

Fig. 3. A comparison between LG* and SK** of phosphorus budget of input in 2013-2015 for A region, Korea : Amount of (a) mineral fertilizers; (b) manure production; (c) seed and planting materials (Unit: ton-P/yr).
* LG: a Local Government, ** SK: Statistics Korea.

+(Water Emission Management System, WEMS)] 자료는 유입항목 중 가축분뇨 생산량만 전국오염원조사 자료를 사용하고 나머지는 내부 자료로 구성하였다. 지자체+농업경영체 등록[LG+(Farm Business Registration Database, FBRD)] 자료는 작물과 관련된 항목인 파종·식재용 재료를 통한 유입량, 작물 및 사료작물 생산량을 농업경영체 등록자료로 사용하고 나머지는 지자체 내부 자료로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 자료 조합별 출처별 인 수지 유입 항목 비교

2015년도 A 지자체 자료 조합별 인 수지 유입 항목 비율을 Fig. 2에 나타내었다. 자료 조합과 상관없이 질소 수지 유입 항목 중 가축분뇨가 87.8∼90.5%로 가장 많이 차지하였다. 그 다음으로는 광물 비료 6.8∼9.7%, 기타 유기질 비료 2.1∼2.3%, 파종·식재용 재료를 통한 유입 0.3∼0.4% 순으로 높게 나타났다. 정읍시와 김제시의 인 수지는 유입항목 중 가축분뇨가 차지하는 비율이 각각 82.8%, 71.8%로 보고되었으나 (Kang et al., 2015), 충주지역은 52%로 나타났다 (Hong and Song, 2006). LG 자료와 LG+FBRD 자료의 입력 항목 비율이 같은 이유는 입력 항목 중 비율이 가장 낮은 파종·식재용 재료를 통한 입력 항목을 제외하고 동일한 LG 자료를 사용하였기 때문이다. LG+SK 자료에서 광물비료 유입량 비율이 9.7%로 타 조합보다 높은 이유는 광물비료 유입량을 SK 자료로 사용하였으나 타 조합은 LG 자료를 사용하였기 때문이다.

2013∼2015년도 LG 자료와 SK 자료로 A 지자체인 수지 유입항목 산정 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 광물비료 유입량은 LG 자료로 산정한 경우 120∼144 ton-P/yr이었으나 SK 자료로 산정한 경우 181∼261 ton-P/yr로 약 1.5∼1.9배 높게 나타났다. 이는 SK 자료의 광물비료 유입량은 단위농협에서 직접 작성한 반면 LG 자료는 지자체 담당자가 단위 농협에 공문으로 요청해서 받은 자료로 취합하는 과정에서 누락

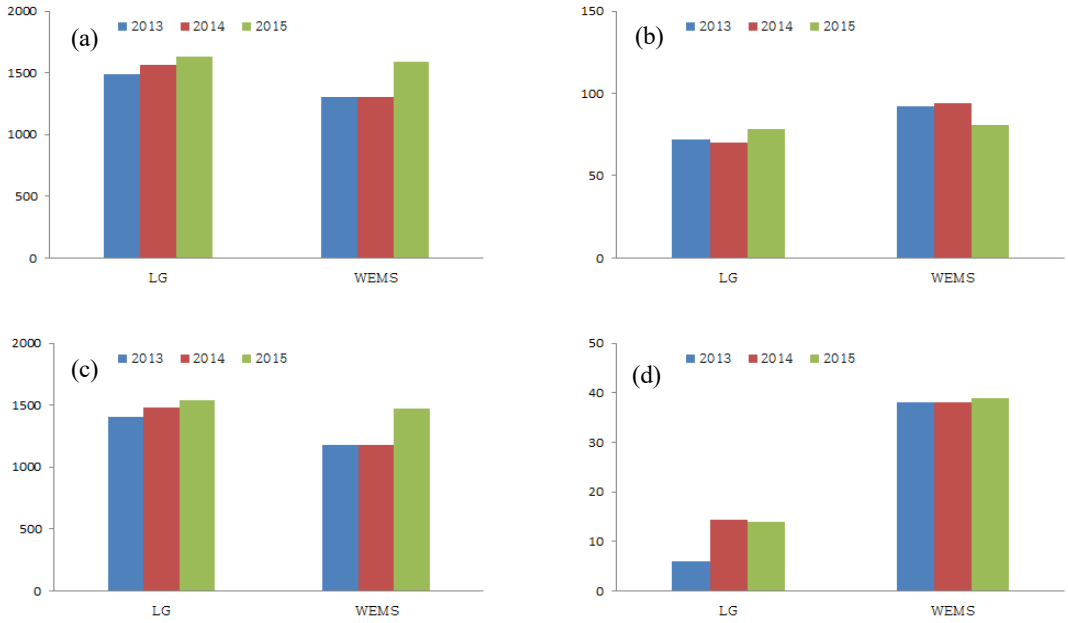

Fig. 4. A comparison between LG* and WEMS** phosphorus budget of input in 2013-2015 for A region, Korea : Amount of (a) manure production; (b) manure to livestock manure treatment; (c) manure to solid composting; (d) manure to liquid composting (Unit: ton-P/yr).
* LG: a Local Government, ** WEMS: Water Emission Management System.

되었을 것으로 추정된다. 가축분뇨 생산량은 LG와 SK 자료로 산정한 경우 각각 약 1,487～1,634 ton-P/yr, 약 1,499～1,679 ton-P/yr로 1.03～1.06배 차이로 거의 유사하였다. 파종·식재용 재료를 통한 유입량은 2013～2014년도 산정결과 LG 자료와 SK 자료가 0.98배 차이로 거의 유사하였으나 2015년도 산정결과는 SK 자료가 0.83배 낮게 나타났다.

2013～2015년도 LG 자료와 WEMS 자료로 A 지자체 인 수지 가축분뇨 유입항목 산정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 가축분뇨 생산량은 LG 자료로 산정한 경우 약 1,487～1,634 ton-P/yr이었으나 WEMS 자료로 산정한 경우 약 1,308～1,589 ton-P/yr로 0.84～0.97배로 낮게 나타났다. 정화처리로 가는 가축분뇨량은 지자체 자료로 산정한 경우 약 70～78 ton-P/yr이었으나 WEMS 자료로 산정한 경우 약 81～94 ton-P/yr로 1.03～1.34배로 높게 나타났다. 퇴비처리로 가는 가축분뇨량은 지자체 자료로 산정한 경우 약 1,409～1,542 ton-P/yr이었으나 WEMS 자료로 산정한 경우 약 1,178～1,469 ton-P/yr로 약 0.79～0.98배로 낮게 나타났다. 액비처리로 가는 가축분뇨량은 LG 자료로 산정한 경우 5.9～14.4 ton-P/yr이었으나 WEMS 자료로 산정한 경우 약 38～39 ton-P/yr로 약 2.6～6.4배 높게 나타났다. 이처럼 LG 자료와 WEMS 자료의 가축분뇨 유입항목 산정 결과가 서로 차이가 나는 이유는 가축 사육두수와 가축분뇨 처리현황 자료가 서로 다르기 때문이라고 사료된다. Kim et al.(2015)은 가축 사육두수와 가축분뇨 처리현황을 LG 자료로 이용하였으며, Yun et al.(2016)은 LG 자료와 환경부 자료(가축분뇨처리통계)를 이용하여 산정하였다.

3.2. 자료 조합별 출처별 인 수지 유출 항목 비교

2015년도 A 지자체 자료 조합별 인 수지 유출 항목 비율을 Fig. 5에 나타내었다. 인 수지 유출 항목 중 작물 생산이 대부분을 차지하는 것을 알 수 있다. LG 자료와 LG+WEMS 자료의 유출 항목 비율이 서로 같은

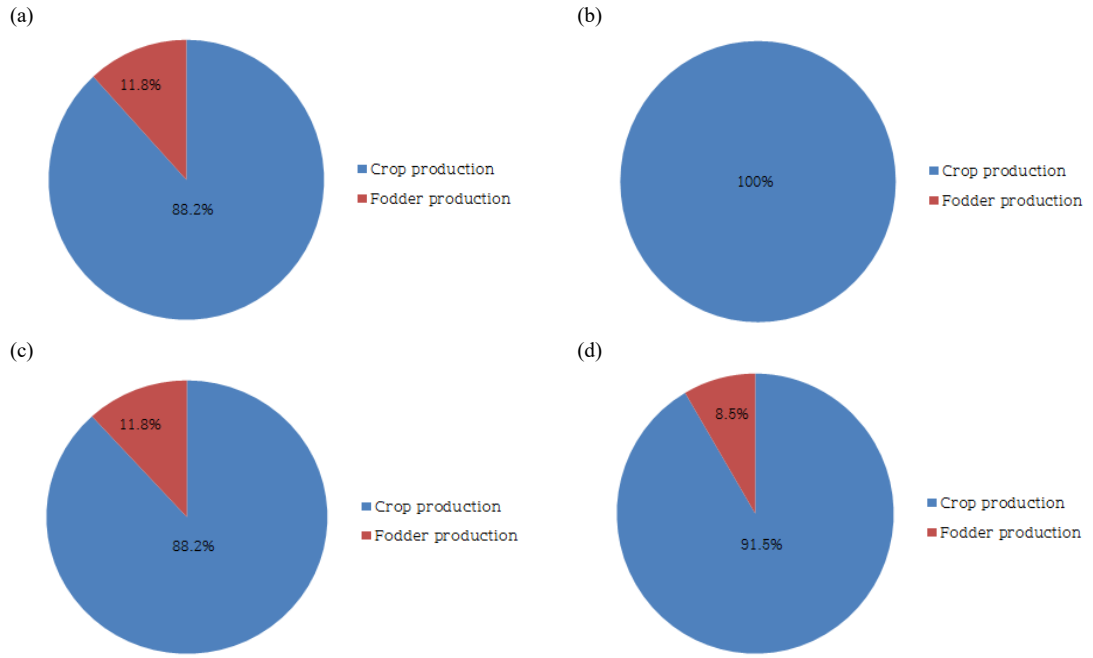

Fig. 5. The distribution of phosphorus budget of Output in 2015 for A region, Korea : (a) LG[1]; (b) LG[1]+SK[2]; (c) LG[1]+WEMS[3]; (d) LG[1]+FBRD[4] (Unit: %).
1) LG: a Local Government, 2) SK: Statistics Korea, 3) WEMS: Water Emission Management System, 4) FBRD: Farm Business Registration Database.

이유는 인 수지 유출항목은 지자체 자료를 적용하였기 때문이다. LG+SK 자료에서 작물 생산량 자료가 100%인 이유는 SK 자료에 사료작물에 대한 자료가 없었기 때문이다. LG+FBRD 자료의 작물 생산비율은 LG 자료보다 조금 높게 나타났다. LG+FBRD 자료에서 작물생산 유출량 비율이 91.75%로 LG 자료와 LG+FBRD 자료보다 상대적으로 높은 이유는 작물생산 유출량을 FBRD 자료를 사용하였기 때문이다. 작물생산 유출량은 작물별 재배면적에 작물시비처방 기준(RDA, 2010)에서 제공하는 표준 작물시비량을 곱해서 산정(Lim et al., 2017)되므로 작물 재배면적에 비례한다. FBRD 자료에 의하면 2015년 기준으로 A 지자체 재배면적은 약 14,121 ha로 조사되었으나(MAFRA, 2017), LG 자료는 약 12,884 ha에 불과하다.

3.3. 인 수지 산정 결과

2013∼2015년도 자료 조합별 A 지자체 인 수지 산정 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 인 초과율은 LG+SK 자료로 산정한 결과가 약 674∼702%로 가장 높았으며 LG+FBRD 자료로 산출한 결과가 421%로 가장 낮았다. 단위 면적당 인 초과량은 LG 자료, LG+SK 자료, LG+WEMS 자료, LG+FBRD 자료로 산정한 결과 각각 111∼129 kg-P/ha, 137∼145 kg-P/ha, 95∼107 kg-P/ha, 99 kg-P/ha로 우리나라 전체 인 수지보다 약 2∼3배 높게 나타났다(OECD, 2017). LG+SK 자료로 인 수지를 산정한 결과가 타 자료 조합보다 인 수지 산정값이 높은 이유는 인 유입량의 약 90%를 차지하는 가축분뇨 생산량이 타 자료 조합보다 높았기 때문이다. 가축분뇨 생산량은 사육두수에 발생원단위(MOE, 2008)와 인 환산 계수를 곱해서 산정(Hong and Song, 2006; Kim et al., 2015; Lim et al., 2017)되는데 결국 사육두수에 의해 비례한다(Table 2). 즉 A 지자체의 사육두수는 SK 자료가 타 자료보다 많다는 것을 의미한다. 자료 출처마다 사육두수가 다른 이유는 조사 시기 및 조사 목적에 따라 다르기 때문이다.

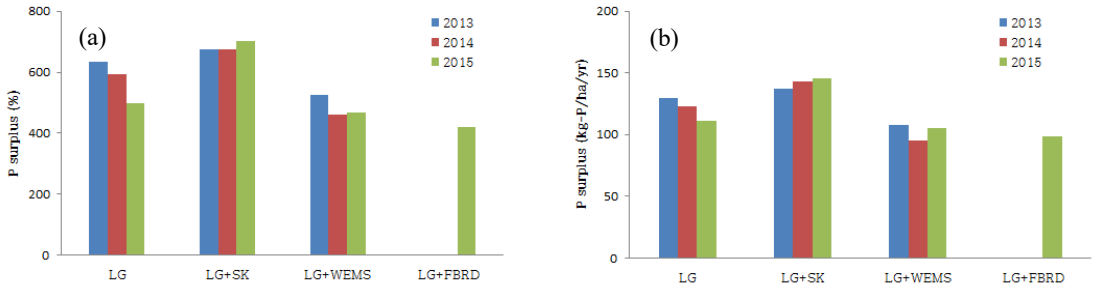

Fig. 6. Comparison of phosphorus surplus by data combination in 2013-2015 for A region, Korea : (a) Unit: %; (b) Unit: kg-P/ha/yr.
* LG: a Local Government, SK: Statistics Korea, WEMS: Water Emission Management System, FBRD: Farm Business Registration Database.

돼지, 닭, 오리 등은 출하 시기가 1년 미만이므로 조사 시기에 따라 크게 달라질 수 있다. 조사 목적이나 조사 부서에 따라 가축 사육두수조사 결과가 달라질 수 있어 지역단위 양분수지 산정 목적에 적합한 자료 출처를 선정하는 것이 중요하다.

3.4. 추천 자료 조합별 인 수지 산정 결과

기존 자료 조합은 지자체 내부 자료를 기준으로 타 자료와 조합하였을 때 인 수지 산정 결과 값에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 하지만 타 자료 보다 지자체 내부 자료는 지자체 협조가 필요하며 자료를 제공하는 담당자가 자주 바뀌어 협조 정도에 따라 차이가 발생할 수 있어 자료 확보 용이성과 지역 간 자료 신뢰성에 문제가 생길 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지자체 내부 자료를 가능한 배제하고 자료 수집의 용이성과 지역 간 자료 신뢰성을 고려하여 2가지 추천 조합을 구성해 보았다(Table 4). 추천 조합1(Data Combination 1, DC 1)은 통계청 자료를 중심으로 전국오염원조사 자료와 지자체 자료로 구성하였다. 추천 조합2(Data Combination 2, DC 2)는 농업경영체 등록 자료를 중심으로 전국오염원조사 자료, 지자체 자료, 통계청 자료로 구성하였다. 실질적인 자료 출처의 차이를 비교해 보면 DC 1은 파종·식재용 재료를 통한 유입량과 작물 생산량 산정에 기초 자료로 SK 자료를 이용한 반면 DC 2는 FBRD 자료를 이용하였다.

Table 4. Recommended data combination of components of input and output in the phosphorus budgets in A region, Korea

	Components	DC[a] 1	DC[a] 2
Input	P1) Mineral fertilizer	Data of SK[b]	Data of SK[b]
	P2) Manure production	Data of WEMS[c]	Data of WEMS[c]
	P2-1~3) Manure to treatment, solid and liquid composting	Data of WEMS[c]	Data of WEMS[c]
	P3) Net composting import/export	Data of LG[d]	Data of LG[d]
	P4) Other organic fertilizer	Data of LG[d]	Data of LG[d]
	P5) Seed and planting material	Data of SK[b]	Data of FBRD[e]
Output	P7) Crop production	Data of SK[b]	Data of FBRD[e]
	P8) Fodder production	-	Data of FBRD[e]

Notes: Minus(-) means data not available
a) DC: Data Combination, b) SK: Statistics Korea, c) WEMS: Water Emission Management System, d) LG: a Local Government, e) FBRD: Farm Business Registration Database,

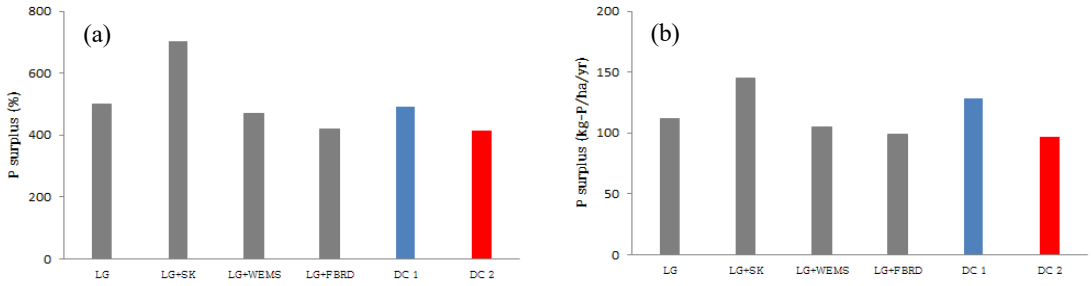

Fig. 7. Comparison of phosphorus surplus by recommended data combination in 2015 for A region, Korea : (a) Unit: %; (b) Unit: kg-P/ha/yr.
* LG: a Local Government, SK: Statistics Korea, WEMS: Water Emission Management System, FBRD: Farm Business Registration Database, DC 1: Data Combination 1, DC 2: Data Combination 2.

Fig. 7은 2015년도 A 지자체 자료 및 추천 조합별 인 초과율과 인 초과량을 나타낸 것이다. DC 1은 490%로 LG 자료와 LG+SK 자료보다는 낮게 산정되었으나 LG+WEMS 자료와 LG+FBRD 자료보다는 높게 산정되었다. DC 2는 414%로 가장 낮았다. 인 초과량은 DC 1과 DC 2로 산정한 결과 각각 128 kg-P/ha, 97 kg-P/ha로 나타났다. A 지자체 자료 추천 조합별 인 수지를 분석한 결과 파종·식재용 재료를 통한 유입량의 차이보다는 작물 생산량의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 작물 생산량은 작물 재배면적에 의해서 산정되는데 자료 출처마다 재배면적의 차이가 약 17∼28%로 나타났다. DC 1의 SK 자료는 다양한 작물별 재배면적이 누락된 경우가 많아(Kang et al., 2016) 작물생산량이 적게 산정된다. 따라서 DC 2의 농산물품질관리원에서 관리하고 있는 FBRD 자료로 재배면적을 산정하는 것이 양분수지 산정에 더 적합하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 OECD/Eurostat 인 수지 산정법의 국내 실정에 맞게 수정한 후 A 지자체에 적용을 위해서 입출력 자료 출처 및 조합에 따른 인 수지 산정결과에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 2015년 기준으로 A 지자체 인 수지를 LG 자료, LG+SK 자료, LG+WEMS 자료, LG+FBRD 자료로 산정한 결과 각각 111 kg-P/ha, 145 kg-P/ha, 105 kg-P/ha, 99 kg-P/ha로 나타났다. 한편 DC 1과 DC 2로 산정한 결과 각각 128 kg-P/ha, 97 kg-P/ha로 나타났다. 자료 출처 및 조합에 따라 인 수지 산정값의 차이가 약 6∼31%로 나타났다. 이는 광물비료 유입량, 가축분뇨 생산량(사육두수), 작물생산량(재배면적) 등이 자료 출처별 차이에 기인한다. 이와 같이 인 수지(양분수지) 지표 특성상 입력 자료는 일정 기간, 일정 범위에게 발생된 입출력 자료를 요구하기 때문에 A 지자체뿐만 아니라 전국 지역에 적용하기 위해서는 타 지자체와 비교할 수 있는 일관되고 신뢰성 있는 자료가 필요하다.

따라서 지속가능한 농업환경 정책에 인 수지 산정값을 활용하기 위해서는 자료 수집의 용이성과 신뢰성을 만족시키는 자료출처 조합 선정이 필요하기 때문에 본 연구에서는 DC 1과 DC 2를 제안하였으며, 다양한 작물별 재배면적이 누락된 SK 자료가 포함된 DC 1보다는 DC 2를 추천하고자 한다. 이처럼, 본 연구는 지역단위 양분관리를 위한 양분수지 지표를 활용하기 위해서 입력 자료의 중요성을 논의한 관점에서 의미가 있으며, 향후 DC 2 입력 자료로 전국 지자체의 인 수지를 산정하여 기존 연구결과와 비교 검토가 필요하다. 또한 인 수지 산정값은 사용되는 계수에 의해서도 값이 크게 달라지므로 향후 민감도 분석을 통한 비교 연구도 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 예산(공공수역 녹조발생 대응:

1200-1234-306)으로 수행하였습니다.

REFERENCES

Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Caraco, N. F., 2001, Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: A Global perspective, Bioscience, 51(3), 227-234.

Carpenter, S., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., Smith, V. H., 1998, Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, Ecological Applications, 8, 559-568.

Gaj, R., Bellaloui, N., 2012, Evaluation of phosphorus and nitrogen balance as an indicator for the impact of agriculture on environment: A Comparison of a case study from Poland and Mississippi US, Agriculture Science, 3(2), 317-329.

Hansen, N. C., Daniel, T. C., Sharpley, A. N., Lemunyon, J. L., 2002, The fate and transport of phosphorus in agricultural systems, Journal of Soil and Water Conservation, 57, 408-417.

Hong, S. G., Song, J. O., 2006, An Analysis of nutrient balance in Chungju Area, Korean Journal of Agricultural Management and Policy, 33(4), 1127-1150.

Jeon, B.-J., Lim, S.-S., Lee, K.-S., Lee, S.-L., Ham, J.-H., Yoo, S.-H., Yoon, K.-S., Choi, W.-J., 2014, Understanding spatial variations of water quality using agricultural nutrient indices in Chonnam Province, Korean Journal of Environmental Agriculture, 33(1), 44-51.

Johnston, A. E., Dawson, C. J., 2005, Phosphorus in agriculture and in relation to water quality, Agricultural Industries Confederation, Peterborough, UK.

Kang, G. C., Kim, S. H., Lee, S. Y., Oho, G. W., Kim, S. G., 2015, A Study for introducing total maximum nutrient loading system in regional Saemangeum Watershed, The Industry-Academic Cooperation Foundation of Chonbuk National University, Korea, 1-118.

Kim, C. G., Jeong, H. K., Lim, P. E., Kim, T. H., 2015, Direct for introducing total maximum nutrient loading system of cultivated land, C2015-5, Korea Rural Economic Institute, 1-180.

Kim, C. G., Jeong, H. K., Moon, D. H., 2014, Establishment of sustainable agriculture system in Korea (Year 2 of 2), R732, Korea Rural Economic Institute.

Kim, C. G., Kim, T. Y., 2005, Directions for linkages between policy measure and the OECD agricultural environmental indicators, Korean Journal of Environmental Agricultural, 24(3), 303-313.

Kim, C. G., Kim, T. Y., Jung, E. M., 2006, Development and assignment of agri-environmental indicators corresponding to development discussion of OECD agriculture environmental indicators, Korea Rural Economic Institute, 1-144.

Kim, P. J., Lee, Y. B., Lee, Y., Yun, H. B., 2008, Evaluation of livestock manure utilization rates as agriculture purpose in developed OECD countries by using nutrient balances, The Korean Society of Environmental Agriculture, 27(4), 337-342.

Kopinski, J., Tujaka, A., Igras, J., 2006, Nitrogen and phosphorus budget in Poland as a tool for sustainable nutrient management, Acta Agriculture Slovenica, 87(1), 173-181.

Kremer, A. M., 2013, Nutrient budgets - Methodology and Handbook, Version 1.0.2., Eurostat and OECD, Luxembourg, 1-112.

Lim, D. Y., Ryu, H.-D., Chung, E. G., Kim, Y. S., Lee, J. K., 2017, Regional application of the OECD nitrogen budget considering livestock manure compost, Journal of Korean Society on Water Environment, 34(5), 546-555.

Mallarino, A. P., Blackmer, A. M., 1992, Comparison of methods for determining critical concentrations of soil test phosphorus for Corn, Agronomy Journal, 84, 850-856.

Mihailescu, E., Murphy, P. N. C., Ryan, W., Casey, I. A., Humphreys, J., 2015, Phosphorus balance and use efficiency on 21 intensive grass-based dairy farms in the South of Ireland, Journal of Agricultural Science, 153, 520-537.

Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MAFRA), 2017, Agriculture Integrated Information Excellent System (AGRIX), http://agrix.go.kr/ (accessed Jun. 2017).

Ministry of Environment (MOE), 2008, The unit of load of livestock excreta in Korea, Department of aquatic

ecosystem conservation-869.

Mulier, A., Horman, G., Baecke, E., Carlier, L., Brabander, D. D., Groote, G. D., Wilde, R. D., Fiems, L., Janssens, G., Cleemput, O. V., Herck, A. V., Huylenbroeck, G. V., Verbruggen, I., 2003, A Methodology for the calculation of farm level nitrogen and phosphorus balances in Flemish agriculture, European Journal of Agronomy, 20, 45-51.

National Institute of Agricultural Sciences (NIAS), 2013, Workshop of assessing the results of the agricultural environment change project and discussing the project, 11-1390802-000521-01, National Institute of Animal Science, RDA, 1-178.

Oenema, O., Kros, H., Vries, W. D., 2003, Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies, European Journal of Agronomy, 20, 3-16.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2017, http://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=AEI_NUTRIENTS (accessed Aug. 2017).

Ozbek, F. S., 2014, Estimation of national and regional phosphorus budgets for agriculture in Turkey, Spanish Journal of Agricultural Research, 12(1), 52-60.

Rural Development Administration (RDA), 2009, The study to re-establish the amount and major compositions of manure from livestock, 11-1390000-002309-01, National Institute of Animal Science, RDA, 1-109.

Rural Development Administration (RDA), 2010, Fertilizer recommendations guidelines for crops, 11-1390802-000288-01, National Academy of Agricultural Science, RDA, 1-291.

Sharpley, A. N., Wither, P. J. A., 1994, The environmentally-sound management of agricultural phosphorus, Fertilizer Research, 39, 133-146.

Yun, Y. M., Kim, C. H., Koo, H. H., Oh, S. Y., Hong, J. M., Yun, S. H., Kim, C. G., Lee, M. H., 2016, A Study on the methods for creating environments of the regional-based maximum nutrients loading system, The Industry-Academic Cooperation Foundation of Hankyong National University, 1-252.