

국내 가축분뇨 자원화 특성을 고려한 OECD 질소수지 산정법의 지역단위 적용 연구

임도영 · 류홍덕 · 정유진[†] · 김용석 · 이재관

국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과

Regional Application of the OECD Nitrogen Budget Considering Livestock Manure Compost

Do Young Lim · Hong-Duck Ryu · Eu Gene Chung[†] · Yongseok Kim · Jae Kwan Lee

Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received 29 March 2017, Revised 25 July 2017, Accepted 31 July 2017)

Abstract

The Nutrient budget is one of the agricultural-environment indicators of OECD. A nutrient budget measures the surplus as the differential between the inputs and the outputs of within a certain boundary and within a specified period of time (i.e. one year). According to OECD, the annual nitrogen budget for Korea was 245 kg N ha⁻¹ in 2014, which corresponds to the first position among OECD countries. In Korea in 2014, about 90 % of livestock excreta was composted as solid and liquid manure, which are usually and customarily spread on agricultural land. The objectives of this study are intended to suggest methodology of the regional nitrogen budget as a nitrogen management tool, which considers conversion from raw excreta to composted manures based on the methodology of OECD/Eurostat, and application of the new method in an agricultural region of Korea. As a result, the calculated excess rate of hydrospheric nitrogen surplus was 251 kg N ha⁻¹ (in the region in 2014), which indicates the presence of potential risks emanating from excessive nitrogen, with regard to both export water and soil environments. The findings also assert that this was shown to be one of the most important elements in the nitrogen budget, which translates to the actual amounts of nitrogen lost during the solid composting process. To better understand the process and the reliability of the method, it is necessary to analyze the sensitivity of the relevant co-efficients used in the method in the near future.

Key words : Composting, Nitrogen (N), Nitrogen Budget, OECD

1. Introduction

사육두수 증가 및 밀집사육 등 축산업의 전업화·규모화로 가축분뇨 발생량이 2009년 135,761 m³/일에서 2014년 175,651 m³/일로 증가하고 있다(MOE, 2017). 2014년 전국 오염원조사 자료에 따르면 가축분뇨 발생량은 전체 오·폐수의 약 1%에 불과하지만 수질오염 부하량은 전체 BOD 약 37%, TN 약 37%, TP 약 60%에 달하기 때문에 가축분뇨 배출 증가는 하천·호소 등으로 고농도 오염원 유입 증가로 이어진다. 이에 환경부는 가축분뇨 및 퇴비·액비 등 오염원으로서의 양분관리 중요성을 인식하고 농경지 양분현황 및 환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 2014년 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」에 가축분뇨실태 조사를 법제화하였다. 가축분뇨실태조사는 시·군 단위 농경지에 포함된 비료의 합량, 비료의 공급량 및 가축분뇨

등으로 인한 환경오염의 실태 등을 파악하기 위한 목적으로 수행되며 농경지 양분현황조사를 위해서는 양분수지 산정이 필요하다.

경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)는 1980년대 후반부터 농업개발 정책과 환경정책을 유기적으로 연계하기 위하여 농업환경 지표 개발을 위해 노력해 왔다(Kim et al., 2006). 농업환경 지표는 농업생태계를 구성하고 있는 환경요소(물, 토양, 대기 등) 가운데 현실을 가장 잘 설명해 줄 수 있는 대표치를 일정한 기준에 따라 산정된 값을 말하며(Kim et al., 2011), 2013년 기준으로 5개 분야 13개 세부 지표로 구성되어 있다(OECD, 2013). 농업환경지표 중 양분수지(nutrient budget)가 그 대표적인 지표 중에 하나로 일정 범위 농경지에서 발생한 양분 유입량과 양분 유출량의 차이인 양분 잔고 값이다(Kremer, 2013).

OECD 통계자료에 의하면 우리나라는 2014년 기준으로 단위 농경지 면적당 질소 초과량이 245 kg/ha로 OECD 국가 중 1위를 차지하고 있다(OECD, 2017). 양분수지의 결과는 양분 부족에 의한 토양비옥도 저하와 양분과잉에 의한 토양, 물 및 대기 오염을 초래하는 환경오염의 정도를 나타낸다(Lee, 2003). 이와 관련하여 질소수지와 해당 유역

[†] To whom correspondence should be addressed.
egchung.nier@gmail.com

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.

수질과의 상관관계에 관한 연구(Jeon et al., 2014; Ju et al., 2006)가 보고되고 있지만 양분의 용탈·휘발이나 토양의 양분 저장량 변동, 특히 하천의 높은 총 질소(Total Nitrogen, T-N) 농도 등이 실제로 발생할 위험은 기상조건, 토양 특성, 농가의 관리방식 등 여러 요인에 좌우되기 때문에 양분수지는 오직 잠재적인 환경 위험을 나타낸다(Kremer, 2013). 즉, 양분수지는 발생된 가축분뇨의 ‘사후처리’ 관리 방식(예, 가축분뇨 정화처리 등)이 아닌 오염원에 대한 ‘사전예방적’ 관리 수단으로 유럽연합(European Union, EU)의 질산염훈령(Nitrate Directive)에 따른 가축사육두수 제한 등도 이와 연관된다.

양분수지 산정법은 경계조건에 따라 농가(Farm), 토지(Land) 및 토양(Soil) 수지 산정법으로 구분된다(Leip et al., 2011). 농가수지 산정법은 농가라는 범위를 기준으로 농가의 출입문을 오고 간 모든 생산물의 양분을 산정한다. 다만 농가수지 산정법은 개별농가 단위뿐만 아니라 전국단위로도 산정할 수 있으며 전국의 농업을 하나의 농가단위로 본다. 농가수지 산정법은 가장 통합적이고 유의미한 지표로서 농업활동에 따른 전체적인 질소의 환경영향을 나타낼 수 있는 반면 지역단위 자료를 확보할 수 없다는 단점이 있다(Oenema et al., 2003). 토양수지 산정법은 토양을 산정범위로 토양의 양분 유출입량만 산정하기 때문에 가축분뇨와 비료를 농지에 뿌리기 전에 휘발된 질소를 계산에 넣지 않는다(Leip et al., 2011). 즉 토양수지 산정법은 질소잔고를 계산할 때 농경지에 뿌리기 전에 휘발된 질소량은 빼고 계산하므로 환경에 용탈·유출될 위험이 있는 질소를 보다 정확히 산정하게 된다. 이와 같이 물환경에 대한 위험을 좀 더 유의미하게 확인할 수 있으나 농지에 살포된 가축분 퇴비 자료를 확보해야 하는 현실적인 어려움이 있다. 토지수지 산정법은 대기, 토양, 물 환경에 오염을 일으키는 위험이 있는 총 양분을 산정하는 것이 목적이므로 질소잔고를 산정할 때 가축을 사육·관리하는 동안에 대기로 휘발된 질소배출량을 포함하여 산정한다. 토지수지 산정법은 OECD와 유럽연합통계청(Eurostat)에서 오랫동안 활용한 이력이 있으며 가축분뇨 자료가 필요하지만 지역단위의 수지 산정에 적절한 방법이다(Kremer, 2013).

국내 질소수지 연구는 농업·환경지표에서의 질소수지 연구와 물질수지 분석방법을 통한 질소순환의 이해와 추정에 관한 연구로 구분되어진다. 농업·환경지표에 관한 연구는 OECD 가입 후 질소수지에 관한 자료 제공을 요청 받으면서 시작되었다(Lee, 1998). 처음에는 기초적인 자료 부족으로 일본 또는 OECD에서 제시해 준 값을 이용하였다. 그 이후에 Lee et al. (2002)은 OECD 기준의 질소수지 구성요소에 벧짚과 보릿짚을 유출량에 포함하여 질소 수지를 산정하였다. Kim et al. (2005)은 OECD 질소수지 구성요소 중 생물학적 질소 고정량 및 대기 질소 침적량 등 불확실한 자연적인 요소를 배제하고 질소 유입은 가축분뇨와 질소 비료 사용량만을 고려하였다. Hong and Song (2006)은 독일 지역별 농업환경정보시스템의 질소수지 구성요소와 국내 질소수지 산정방법에 관한 연구(Kim et al., 2005; Lee

et al., 2002)의 질소 구성요소를 재구성하여 질소유입이 미비한 종자 및 부산물에 의한 질소 투입은 배제하고 농업용수에 의한 질소유입량은 추가하였다. 하지만 가축분뇨 자원화 과정에서의 손실률을 일본자료 기준으로 하였으며 축종과 관계없이 가축분뇨 투입량의 28%가 질소가 휘산되는 것으로 가정하였다. Kim et al. (2008)은 주요 OECD 회원국의 양분수지 값을 분석하여 가축분뇨의 농경지 시용수준을 평가하였다. 하지만 국가단위 양분수지 산정결과이며, 국내 가축분뇨 자원화 특성을 고려하지는 못하였다. Kim, Jung et al. (2015)은 OECD 회원국의 양분수지 자료 분석 방법론을 기초로 지역단위 질소수지 지표를 산출하여 제시하였으며, Yun et al. (2016)은 양분총량제 도입을 위한 질소수지 분석 모델을 제시하였다.

물질수지 분석방법을 통한 질소순환의 이해와 추정에 관한 연구는 공간적 영역의 설정에 따라 다양한 질소수지 분석이 이루어지고 있다. Baskin et al. (2002)은 우리나라와 황해의 질소수지를 추정하였으며, Choi and Kim (2004)은 우리나라 질소수지 분석을 통해 질소 배출량을 추정하였다. Yun et al. (2008)은 우리나라를 농축산지역, 도시지역, 임야지역 등 세 지역으로 나누어서 지목별 질소수지를 산출하였으며, Nam et al. (2011)은 폐수처리장과 분뇨처리장에서 발생하는 아산화질소(N_2O)를 포함하여 질소 순환과정에서 발생하는 온난화 영향을 정량화하였다.

국외 연구로서 Kopinski et al. (2006)은 지속 가능한 양분관리를 위해 OECD 양분수지 산정법으로 폴란드 지역의 양분수지를 분석하였다. Panten et al. (2009)은 OECD 양분수지 산정법과 부족한 자료는 가정과 추정을 통해 독일의 질소 수지를 산정하였다. Bassanino et al. (2011)은 이탈리아 농경지의 양분수지 지표를 산출하여 질소 잉여정도를 파악하여 지역별 환경부하 진단 및 농업분야 지속가능성 평가 자료로 활용하였다.

한편 국내 축산농가에서 가축분뇨의 대부분을 퇴비·액비로 자원화하고 있기 때문에 질소수지 산정에서는 유럽 OECD 국가와 달리 가축분뇨를 농경지에 바로 투입하지 않고 퇴비·액비로 자원화 하는 우리나라 특성을 고려하는 것이 중요하다.

따라서 본 연구는 토지 OECD/Eurostat 양분수지 산정 방법을 이용하여 국내 지역 적용에 적합한 질소수지 산정법을 제시하고, 국내 지자체에 적용하여 산정법의 적용 타당성 및 산정 결과를 고찰하였다.

2. Materials and Methods

2.1 OECD/ Eurostat 질소수지 산정

OECD/Eurostat에서 제시한 질소수지 산정법의 개요는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 질소 잔고는 농경지에 유입되는 총 질소량에서 유출되는 총 질소량을 뺀 값이다. 질소잔고(Nitrogen Surplus, NS)는 농경지의 질소가 대기로 배출되거나(atmospheric Nitrogen Surplus, aNS) 수체로 용탈·유출될 위험과 땅속의 질소가 고갈되거나 축적될 위험을 합친

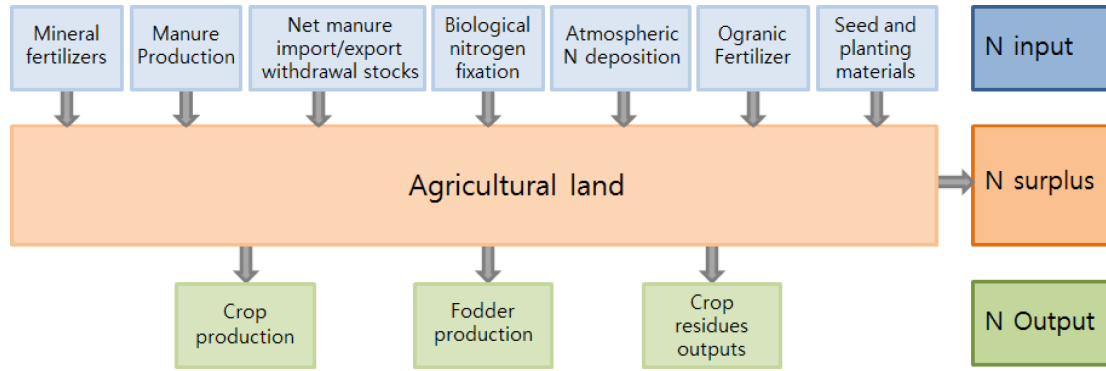


Fig. 1. Schematic diagram of the nitrogen budget based on the method of OECD/Eurostat.

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

| | OECD/Eurostat | This study |
|---------|--|--|
| In-put | N1) Mineral fertilizer N2) Manure production | N1) Mineral fertilizer N2-1) N from manure to livestock manure treatment N2-2) N from manure to solid composting N2-3) N from manure to liquid composting |
| | N3) Net manure import/export withdrawal stocks N4) Other organic fertilizer N5) Biological nitrogen fixation N6) Atmospheric N deposition N7) Seed and planting material | N3) Net composting import/export N4) Other organic fertilizer N5) Biological nitrogen fixation N6) Atmospheric N deposition N7) Seed and planting material |
| | N8) Total inputs = sum (N1,N2,N3,N4,N5,N6,N7) | N8) Total inputs = sum(N1,N2-1,N2-2,N2-3,N3,N4,N5,N6,N7) |
| Out-put | N9) Crop production N10) Fodder production N11) Crop residues outputs | N9) Crop production N10) Fodder production |
| | N12) Total outputs = sum(N9,N10,N11) | N11) Total outputs = sum(N9,N10) |
| Surplus | N13) Gross Nitrogen Surplus(GNS) = N8 - N12 N14) atmospheric Nitrogen Surplus(aNS) = N gas emission N15) hydrospheric Nitrogen Surplus(hNS) = N13-N14 | N12) Nitrogen Surplus(GNS) = N9 - N11 N13) atmospheric Nitrogen Surplus(aNS) = N gas emission N14) hydrospheric Nitrogen Surplus(hNS) = N13-N14 |

것이다(hydrospheric Nitrogen Surplus, hNS).

질소 유입량(input) 항목으로는 광물비료, 가축분뇨 생산량, 가축분뇨의 순 수출입량/인출량/저장량, 생물학적 질소 고정량, 대기 질소 침적량, 유기질비료, 파종·식재용 재료를 고려하였으며, 질소 유출량(output)은 작물 생산을 통해 농지로부터 유출되는 질소량으로 작물 생산량, 사료작물 생산량 및 식물 잔재 항목이 고려되었다.

2.2 본 연구에서 수정된 양분수지 산정법

본 연구에서는 OECD/Eurostat에서 제시한 총 질소 수지 산정방법을 가축분뇨의 퇴비·액비 자원화 하는 국내 실정에 맞게 수정하였다(Table 1). 질소 유입량은 광물비료, 가축분뇨, 생물학적 질소고정, 대기 질소 침전, 기타 유기질비료, 파종·식재용 재료로 유입되는 양 등의 합으로 산출하였다. 다만, 유입되는 가축분뇨 생산량은 A 지자체 축산농가의 사육두수 현황 자료, 축종별 발생원단위(MOE, 2008), 가축분뇨 배출시설 인허가 등록대장, 축종별 질소 환산계수(RDA, 2009) 등을 이용하여 정화처리 및 퇴비·액비 등으로 처리·자원화되어 유입되는 것으로 수정하였다. 또한 정화처

리로 유입되는 가축분뇨는 공공, 자가·공동 처리시설로, 퇴비·액비 생산시설로 유입되는 가축분뇨는 재활용업체, 자가·공동 처리시설로 유입되는 가축분뇨로 세분화하였다. 가축분뇨 순 수출입량/인출량/저장량은 지역을 경계로 가축분뇨가 반입·반출되지 않고 자원화된 퇴비·액비 형태로 반입·반출하는 것으로 수정하였다. 한편 질소 유출량은 작물 잔재를 통한 유입량은 제외하고 작물 생산량과 사료작물 생산량의 합으로만 산출하였다. 각 항목별 산정방법은 Table 2에 정리하였다.

질소 수지 산정에 사용된 기초 자료는 A 지자체의 현황을 잘 파악할 수 있는 내부자료, 단위농협 자료, 농림사업 통합정보시스템(Agrix) 자료 등을 이용하였다. 축종별 가축분뇨 발생원단위(Table 3), 축종별 가축분뇨 질소 성분 환산계수(Table 4) 및 대기 질소 침적계수(Table 5) 등은 대외적으로 신뢰할 수 있는 국가기관 등에서 연구한 자료를 이용하였다. 대기 질소 잔고량 산정을 위해 OECD/Eurostat에서는 유럽 모니터링 평가 프로그램/유럽환경청(EMEP/EEA) 대기 오염물질 배출 가이드라인에 따라 가축 축종별로 산정한다(EEA, 2013). 산정에 필요한 연평균 가축 사육두수

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

| Entry | Methodology |
|-------------------------------------|--|
| In put | N1* \sum_i [Sale of the i mineral fertilizer (ton/yr) × N content of i mineral fertilizer (%)] |
| | N2-1* \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 N conversion of i livestock manure (%)] |
| | N2-2* \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 N conversion of i livestock manure (%)] |
| | N2-3* \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 N conversion of i livestock manure (%)] |
| | N3* \sum_{ij} {[Amount of import i solid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of N conversion of i solid composting (%)] + [Amount of import j liquid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of N conversion of j liquid composting (%)]} - \sum_{kz} {[Amount of export k solid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of N conversion of k solid composting (%)] + [Amount of export z liquid composting from livestock manure (ton/yr) × Coefficients of N conversion of z liquid composting (%)]} |
| | N4* \sum_i [Sale of the i organic fertilizer (ton/yr) × N content of i organic fertilizer (%)] |
| | N5* \sum_i [Cropped area of i legume (ha) × Coefficients of N fixation of i legume (kg/ha)] |
| | N6* \sum_i [Area of paddy and upland (ha) × Coefficients of N deposition (kg/ha)] |
| | N7* \sum_i [Cropped area of i seed (ha) × Coefficients of N conversion of i seed (kg/ha)] |
| | N8 Total inputs = sum(N1, N2-1, N2-2, N2-3, N3, N4, N5, N6, N7) |
| Out put | N9* \sum_i [Cropped area of i crop (ha) × Coefficients of N conversion of i crop (kg/ha)] |
| | N10* \sum_i [Cropped area of i fodder crop (ha) × Coefficients of N conversion of i fodder crop (kg/ha)] |
| | N11 Total outputs = sum(N9, N10) |
| NS Nitrogen Surplus (NS) = N9 - N11 | |
| Sur plus | aNS* \sum_{jkz} {[Amount of N loss at j livestock manure treatment plant (LMTP) (ton/yr)]+[Amount of N loss during composting at k solid composting facility (SCF) (ton/yr)]+[Amount of N loss during composting at z liquid composting facility (LCF) (ton/yr)]} ○ Amount of N loss at j LMTP (j= Public, Individual, Communal) = \sum_{ij} [Head of i livestock (head) × Unit of generation and discharge from i livestock (L/head/d) × Share from manure to manure treatment at j LMTP (%) - [Amount of input at j LMTP (m ³ /d) × N concentration of treated manure at j LMTP (mg/L)] ○ Amount of N loss at k SCF (k= Recycling business, Individual, Communal) = \sum_{ik} {[Head of i livestock (head) × Unit of generation and discharge from i livestock (L/head/d) × Share from manure to solid composting at k SCF (%) + [Quantity of sawdust bedding in k SCF (kg/head/d)]} × [Coefficients of N conversion of i solid composting at k SCF (%)] ○ Amount of N loss at z LCF (z= Recycling business, Individual, Communal) = \sum_z [Amount of evaporation during composting at z LCF (m ³ /d) × Coefficients of N conversion of liquid composting at z LCF (%)] |
| | hNS hydrospheric Nitrogen Surplus(hNS) = NS - aNS |

*N1: Amount of nitrogen of mineral fertilizers, N2-1: Amount of nitrogen from manure to livestock manure treatment, N2-2: Amount of nitrogen from to manure to solid composting, N2-3: Amount of nitrogen from to manure to liquid composting, N3: Amount of nitrogen of solid and liquid composting import/export, N4: Amount of Nitrogen of other organic fertilizer, N5: Amount of Nitrogen of biological nitrogen fixation, N6: Amount of Nitrogen of atmospheric nitrogen deposition, N7: Amount of nitrogen of seed and planting material, N9: Amount of nitrogen of crop production, N10: Amount of Nitrogen of fodder production, aNS: Amount of nitrogen of atmospheric Nitrogen Surplus

Table 3. The unit load of livestock excreta in Korea (unit : L/head/d)

| Hanwoo, Beef | | Diary cow | | Swine | | Layer | Broiler | Duck |
|--------------|--------|-----------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|
| Solid | Slurry | Solid | Slurry | Solid | Slurry | Solid | Solid | Solid |
| 8.0 | 5.7 | 19.2 | 10.9 | 0.87 | 1.74 | 0.1247 | 0.0855 | 0.0855 |

Source : MOE (2008)

(Annual average population, AAP)에 대한 가용 자료가 없어 본 연구에서는 You (2016) 등이 제시한 축종별 퇴비화 과정을 고려하여 증량감소율(Table 6)을 적용하였으며, 콩

과작물의 질소 고정계수(Table 7)와 파종 작물의 질소 변환 계수(Table 8)는 OECD에서 제시한 자료의 평균값을 이용하였다.

Table 4. Nitrogen excretion coefficients of livestock in Korea (unit : %)

| Hanwoo, Beef | | Diary cow | | Swine | | Layer, Broiler | Duck |
|--------------|--------|-----------|--------|-------|--------|----------------|-------|
| Solid | Slurry | Solid | Slurry | Solid | Slurry | Solid | Solid |
| 0.50 | 0.68 | 0.33 | 1.02 | 0.96 | 0.80 | 1.39 | 1.39 |

Source : RDA (2009)

Table 5. Coefficients of annual atmospheric nitrogen deposition in Korea (unit : gN/m²/yr)

| Year | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2015 | Avg. |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ANDC* | 1.29 | 1.72 | 2.58 | 2.14 | 2.49 | 2.70 | 3.31 | 2.66 | 2.83 | 2.40 | 2.41 |

*ANDC: Atmospheric Nitrogen Deposition Coefficients, Source: Ahn et al. (2014)

Table 6. Comparison of weight loss percentages of livestock excreta during solid composting in Korea (Unit : %)

| Hanwoo, Beef | | | Diary cow | | | Swine | | | Layer | | | Broiler | | | Reference |
|--------------|------|------|-----------|-----|------|-------|-----|------|-------|-----|------|---------|-----|------|-----------|
| Min | Max | Mean | Min | Max | Mean | Min | Max | Mean | Min | Max | Mean | Min | Max | Mean | |
| 64 | 98 | 81 | | | 68 | 63 | 64 | 63.5 | 64 | 78 | 69.7 | | | 86 | a) |
| | | 76* | | | 55* | | | 69* | | | | | | | b) |
| | | | | | | 27 | 57 | 44.5 | | | | | | | c) |
| 42.3 | 69.1 | 54 | | | | | | | | | | | | | d) |
| 45 | 60 | 52.4 | | | | | | | | | | | | | e) |
| | | | 46 | 80 | 63.4 | | | | | | | | | | f) |

* The value of change the rate of volume loss into weight loss by using to bulk density in Reference a)

a) You (2016), b) Cooperband (2002), c) Tiqua et al. (2002), d) Lamey et al. (2006), e) Kader et al. (2007), f) Michel Jr. et al. (2004)

Table 7. The annual rates of biological nitrogen fixation from the OECD countries during 2010-2011 (unit : kg N/ha/yr)

| | Dried pulses | Soya bean | Pulse, peas, beans | Green fodder | Leguminous plants | Pasture |
|---------------|--------------|-----------|--------------------|--------------|-------------------|---------|
| OECD value | 6~280 | 20~135 | 24~125 | 10~190 | 55~500 | 5~153 |
| Applied value | | 77.5 | 74.5 | | | |

Data source: Kremer (2013)

Table 8. Annual nitrogen coefficients on seed input among 19 OECD countries

| Crop | Obs* | % in N seed input | | | % in crop production | | Kg N per ha harvested area | |
|-----------------|------|-------------------|-----|-----|----------------------|--------|----------------------------|--------|
| | | average | min | max | average | median | average | median |
| Cereals | 19 | 79 | 37 | 95 | | | | |
| Wheat | 19 | 39 | 21 | 56 | 4.3 | 4.6 | 4.0** | 4.0 |
| Barley | 19 | 25 | 3 | 44 | 4.7 | 4.4 | 3.0** | 3.2 |
| Rye | 18 | 3 | 0 | 11 | 5.5 | 5.0 | 2.7** | 2.9 |
| Oats | 17 | 7 | 0 | 29 | 5.6 | 5.5 | 3.0** | 2.9 |
| Grain maize | 12 | 5 | 0 | 17 | 3.2 | 0.6 | 4.4** | 0.9 |
| Triticale | 11 | 4 | 1 | 13 | 4.8 | 3.8 | 3.2** | 3.5 |
| Dried pulses | 11 | 3 | 0 | 8 | 7.6 | 7.8 | 6.2** | 6.0 |
| Root crops | 19 | 14 | 2 | 42 | | | | |
| Potatoes | 18 | 14 | 2 | 42 | 10.5 | 9.4 | 8.6** | 8.2 |
| industrial crop | 17 | 2 | 0 | 5 | | | | |
| Oilseed crops | 17 | 1 | 0 | 5 | 0.5 | 0.5 | 0.4** | 0.4 |

*Obs: Observed country number, **Applied value, Data source: Kremer (2013)

3. Results and Discussion

3.1 질소수지 입력 항목 산정방법 및 계수 비교

광물 비료 유입량은 판매된 광물비료 제품에 질소 함량을 곱하여 산정하였다(Hong and Song, 2006). Yun et al. (2008)에서 농림통계연보 자료로 광물 비료 유입량을 산출하였던 것처럼 시·군 단위 질소수지 산정에는 농림통계연보 및 통계청 자료(시·군 통계연보)를 사용해도 산출이 가능하다. 하지만 가축분뇨 실태조사 조사대상 지역단위 중 하나인 하천 소유역 단위로 질소 수지를 산정할 경우에는 단위농협의 협조를 통해 농가별 광물비료 판매량 자료 확보가 필요하다.

가축분뇨 생산량은 발생원단위(MOE, 2008)에 질소 환산계수(RDA, 2009)를 곱하여서 산정하였다(Hong and Song, 2006; Kang et al., 2015; Kim, Jung et al., 2015). Yun et al. (2008)은 사료소비량에 사료 내 단백질 함량과 단백질 내의 질소 함량을 곱하여서 산정하였으나 지역단위 질소수지 산정에서는 자료 확보 측면에서 사료 소비량으로부터 가축분뇨 발생량을 추정하는 것보다 가축두수에서 가축분뇨 발생량을 추정하는 것이 더 용이하다고 사료된다.

가축분뇨를 제외한 기타 유기질 비료 유입량은 A 지자체에 판매된 기타 유기질 비료 제품에 질소 함량을 곱해서 산정하였다(Kim, Jung et al., 2015). Kang et al. (2015)은 농협의 판매량도 고려하였으나 본 연구에서는 자료 확보의 어려움 때문에 제외하였다. 한편 Yun et al. (2016)은 농업중앙회의 비료사업통계 자료를 통해서 시·도 지역 유기물 비료공급량에 해당 시군의 농경지 면적과 시·도 지역 농경지 면적 비와 유기질 비료 평균 양분함량을 곱하여서 추정하였으나 시·군별 유기물 비료공급량은 해당지역의 단위농협 자료로 산정하는 것이 더 정확하다고 사료된다.

생물학적 질소 고정량은 콩과작물 재배면적에 OECD 국가의 콩과작물의 질소 고정계수 중 대두와 완두의 평균값인 77.5 kgN/ha/yr와 74.5 kgN/ha/yr를 곱해서 산정하였다. Park (1997)의 연구결과에 의하면 완두의 질소 고정계수는 35~160 kgN/ha/yr, 대두 65~183 kgN/ha/yr, 땅콩 48 kg/ha/yr로 나타났다. Nam et al. (2011)은 논과 밭에서의 생물학적 질소 고정계수를 35 kgN/ha/yr와 15 kgN/ha/yr로 적용하였다. Hong and Song (2006)은 독일의 OECD 기준 값인 100 kg/ha/yr를 적용하였으며, Yun et al. (2016)은 OECD 국가의 대두와 완두의 평균값인 76 kgN/ha/yr를 적용하였다. 콩과작물의 질소고정은 작물의 종류와 환경요인에 따라 차이가 크고 아직 우리나라에서 지역별로 질소 고정량이 밝혀진 바가 없어서(Hong and Song, 2006), 본 연구에서는 OECD 평균값을 적용하였다.

대기 질소 침적량은 A 지자체의 농경지 면적에 최근 10년간(2005~2014년) 전국 40개 지점의 질소 건·습식량의 평균값인 2.41 gN/m²/yr를 곱해서 산정하였다(Table 5). Hong and Song (2006)은 강수량의 1.25%를 대기 질소 유입량으로 간주하여 산정하였으며, Nam et al. (2011)은 대기 중으로부터 농경지에 침적되는 질소 유입량을 1.1 gN/m²/yr로

적용하여 추정하였다. 과거 문헌자료(Lee, 2002)를 비교한 결과 대기 질소 침적계수 값이 증가하는 경향을 고려하여 본 연구에서는 최근 문헌 자료를 적용하였다.

파종·식재용 재료를 통한 유입량은 파종 작물의 재배면적에 OECD 19개국 파종 작물의 평균 질소 함량(Table 8)을 곱해서 산정하였다. Yun et al. (2016)은 파종작물 중 밀, 곡류, 감자의 질소 함량계수 각각 4 kgN/ha/yr, 3 kgN/ha/yr, 8 kgN/ha/yr를 적용하였으며, 본 연구에서 적용한 OECD 평균값과 같거나 유사하였다.

작물 생산량은 A 지자체의 작물별 재배면적에 작물별 시비처방 기준(RDA, 2010)에서 제공하는 표준 작물시비량을 곱해서 산정하였다. Kang et al. (2015)은 정읍시와 김제시의 작물 생산량에 작물별 시비처방 기준(RDA, 2010)에서 제공하는 작물별 표준시비량과 토양 검정시비량을 적용하여 산정을 비교하였다. 산정 결과 정읍시의 경우 토양 검정시비량 대 작물별 표준시비량의 비가 평균 1.01이었으나 김제시의 경우 평균 1.15로 나타났다. 향후 토양 검정시비량 적용에 따른 산정 결과 차이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

한편 작물 생산량 기초자료로 본 연구에서는 A 지자체 내부자료를 이용하였으나 Kim, Jung et al. (2015)은 농업경영체등록 자료를 활용하였다. Kim, Lee et al. (2015)에 의하면 2014년 기준으로 농업경영체등록 자료의 A 지자체 농가수가 12,614호이었으나 통계청 농림어업총조사 자료에 의하면 2015년 기준으로 9,628호에 불과한 것으로 조사되었다(SK, 2015). 또한 본 연구에 사용된 지자체 내부자료에 의하면 2015년 기준으로 A 지자체의 작물 재배면적이 12,884 ha로 나타났으나 농업경영체 등록자료에는 작물 재배면적은 14,121.43 ha로 조사되었다(MAFRA, 2015). 즉, 일반적으로 작물 재배면적이 더 많고 다양한 농업경영체 등록자료를 적용하면 작물생산량이 더 많이 산정되므로 질소수지 산정에 중요한 항목이라고 판단된다.

가축분뇨 퇴비화과정에서 질소 손실량은 축종별 가축분뇨 발생량과 퇴비화 시 사용되는 깔짚 및 수분조절제 사용량을 합하고 여기에 퇴비화 시 중량 감소율을 곱한 후 질소 환산계수를 고려하여 산정하였으나(Won et al., 2015; You, 2016), 고정된 질소 손실율을 적용하여 산정한 경우도 있다(Hong and Song, 2006; Kim, Jung et al., 2015; Yun et al., 2008). 본 연구의 가축분뇨 퇴비 자원화 시 적용한 중량 감소율의 국내문헌 값은 국외문헌 값보다 높았으며, 가금류의 중량 감소율은 국내문헌 값만 있어서 비교할 수 없었다(Table 7). 이처럼 일부 제한적인 국내문헌 자료 사용 등 한계점이 있었다.

3.2 질소 유입

2013~2015년 광물 비료량은 각각 1,296 tonN/yr, 1,162 tonN/yr, 1,178 tonN/yr으로 2013년에 가장 많아 유입되었다. 2013년 가축분뇨 생산량은 7,123 ton/yr이었으며, 정화, 퇴비·액비처리로 가는 가축분뇨량은 각각 1,296 tonN/yr, 5,640 tonN/yr, 119 tonN/yr로 퇴비처리로 가는 가축분뇨량

이 가장 많았다. 2014년 가축분뇨 생산량은 7,552 tonN/yr이었으며, 정화, 퇴비·액비처리로 가는 가축분뇨량은 각각 1,317 tonN/yr, 5,971 tonN/yr, 263 tonN/yr이었다. 2015년 가축분뇨 생산량은 8,009 tonN/yr이었으며, 정화, 퇴비·액비처리로 가는 가축분뇨량은 각각 1,467 tonN/yr, 6,271 tonN/yr, 270 tonN/yr이었다. 2013~2015년 가축분뇨 퇴비·액비 반출입량은 가축분뇨 퇴비·액비 반입량보다 반출된 양이 더 많았으며 산정결과 각각 -126 tonN/yr, -133 tonN/yr, -111 tonN/yr로 2014년에 반출량이 더 많았다. 2013~2015년 가축분뇨를 제외한 기타 유기질 비료량은 각각 84 tonN/yr, 105 tonN/yr, 118 tonN/yr로 2014년에 유입이 더 많았다. 2013~2015년 생물학적 질소 고정량은 각각 21 tonN/yr, 26 tonN/yr, 34 tonN/yr로 2015년에 질소 고정량이 더 많았다. 2013~2015년 질소 대기 침적량은 각각 393 tonN/yr, 386 tonN/yr, 388 tonN/yr이었다. 2013~2015년 파종·식재용 재료를 통한 유입량은 각각 30 tonN/yr, 32 tonN/yr, 33 tonN/yr이었다.

2015년 기준으로 전체 유입되는 질소량 대비 각 항목별 질소 유입비율은 광물비료 12.2%, 가축분뇨 81.9%, 기타 유기질 비료 1.2%, 생물학적 질소 고정 0.4%, 질소 대기 침적 4.0%, 파종·식재용 재료 0.3%인 것으로 나타났다. 전체 질소 유입량 중 가축분뇨로부터 유입되는 질소 기여율이 가장 높은 것으로 분석되었다(Fig. 2). 가축분뇨 질소 유입량 중 퇴비 생산으로 반입되는 가축분뇨 질소 비율이 78.3%로 가장 높게 나타났다. 또한 퇴비 생산으로 반입되는 질소 유입량 중 자가 생산시설로 반입되는 가축분뇨 질소 비율이 94.3%로 전체 유입되는 질소량의 58.3%를 차지하는 것으로 나타났다.

3.3 질소 유출

2013~2015년 작물 생산량은 A 지자체 작물 재배면적에 작물별 표준시비량을 적용하여 산정한 결과 각각 988 tonN/yr,

1,050 tonN/yr, 1,175 tonN/yr이었으며, 사료작물은 각각 2 tonN/yr, 36 tonN/yr, 100 tonN/yr이었다. 2015년 기준으로 유출되는 질소의 경우 작물생산을 통한 질소 유출 비율이 91.4%로 대부분을 차지하였다(Fig. 2).

3.4 질소 잔고

대기 질소 잔고량은 정화처리시설에서 대기로 소실되는 질소량, 퇴비·액비 생산시설에서 소실되는 질소량의 합으로 산정되었다. 각각의 대기 질소 잔고량 산정 값은 Fig. 3에 나타내었다. 처리 방법별 대기로 소실되는 질소량을 분석한 결과 정화처리 24.6%, 퇴비처리 70.9%, 액비처리 4.5%로 나타났다. 대기로 소실되는 총 질소 중 퇴비로 생산되는 과정에서 대부분의 질소가 소실되었으며, 특히 자가처리에서 대기 질소 손실율이 96.2%로 가장 큰 것으로 분석되었다.

2015년 A 지자체의 질소 수지 산정결과를 Fig. 4에 나타내었다. A 지자체의 총 질소 유입량과 유출량은 각각 9,937 tonN/yr, 1,285 tonN/yr으로 산정되었으며 가축분뇨 질소량이 8,008 tonN/yr로 총 질소 유입량의 82%를 차지하였다. 광물비료, 대기로부터 질소 침적, 생물학적 질소 고정량, 기타 유기질비료, 파종·식재용 재료로 573 tonN/yr의 질소가 유입되었으며 유입 질소 중 가축분뇨의 정화처리 과정에서의 탈질과 퇴비·액비 과정에서 대기로 5,539 tonN/yr 질소가 손실되었다. 수계로 잠재적으로 유출되는 질소량은 2,824 tonN/yr으로 나타났다. 2013, 2014, 2015년도 A 지자체의 질소수지 산정을 비교 분석한 결과, 2014년 총 유입된 질소는 2013년보다 338 tonN/yr가 증가되었으며 2015년 총 유입된 질소는 2014년 질소수지보다 808 tonN/yr가 증가된 것으로 조사되었다. 이는 가축 사육두수의 증가로 인하여 가축분뇨의 질소 유입량이 증가되었으며, 광물비료와 기타 유기질 비료도 소폭 증가되었기 때문이다. 그러나 2013년 수계로 유출되는 질소량이 2,966 tonN/yr로 가장 높게 나왔다. 이는 작물 흡수에 의한 질소 유출량이 가장 낮았기 때

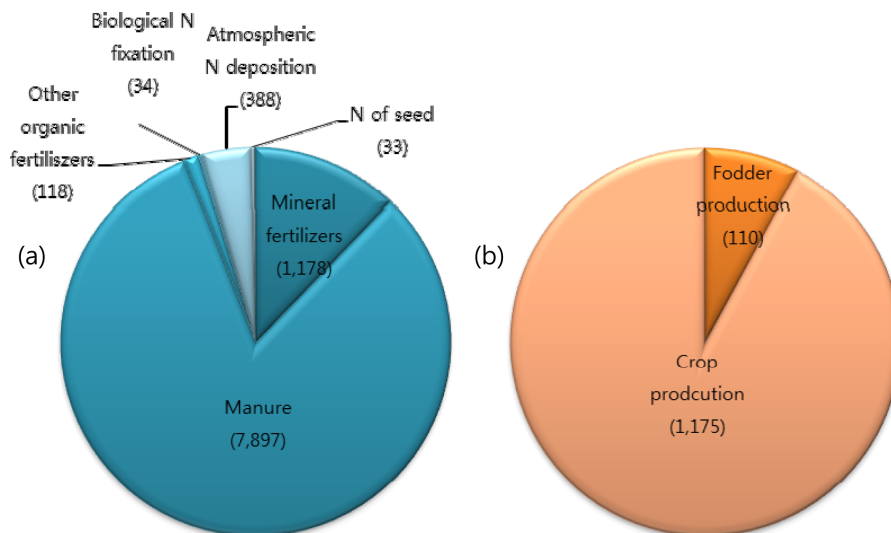


Fig. 2. The distribution of the nitrogen budget in 2015 for A region, Korea : (a) input; (b) output. (Unit : ton/yr).

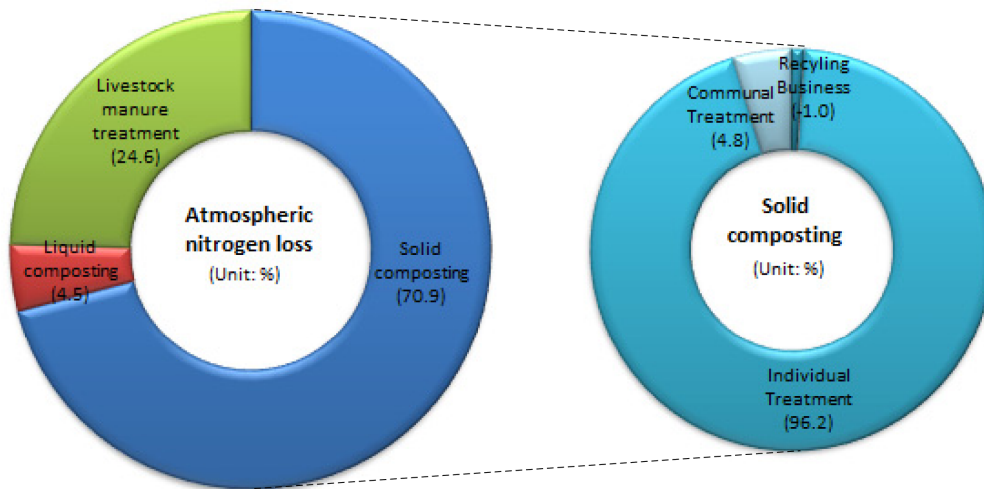


Fig. 3. The composition of atmospheric nitrogen losses for A region, Korea in 2015 during livestock wastewater treatment, solid and liquid composting.

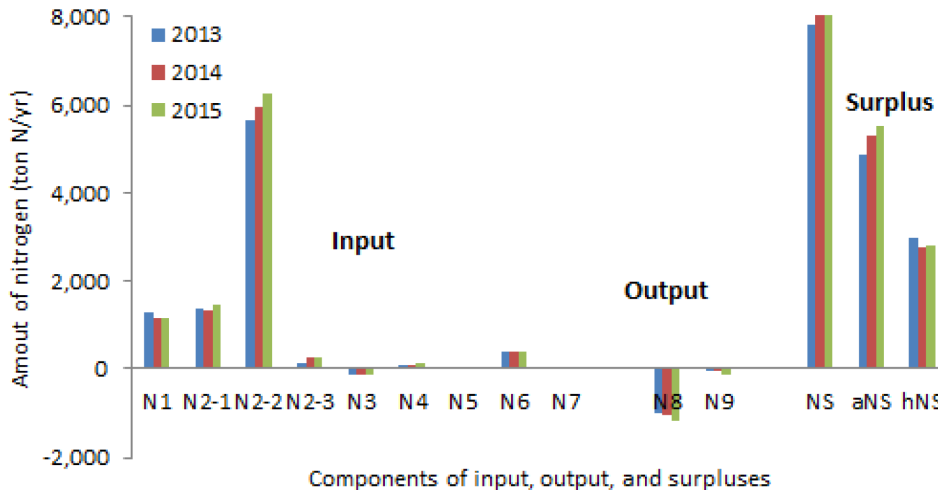


Fig. 4. Annual nitrogen budgets for A region, Korea from 2013 to 2015.

문이다. 2014년 기준 작물 재배면적당 수체 질소 초과량은 약 251 kg-N/ha로 우리나라 전체 질소 수지보다 약 2.4% 높게 나타났다(OECD, 2017).

4. Conclusion

본 연구는 OECD/Eurostat 산정법을 이용하여 가축분뇨를 퇴비·액비로 자원화하여 살포하는 국내 실정에 맞는 질소 산정법을 제시하고 이를 A 지자체에 적용하였다. 질소수지 산정 결과, 2015년 기준으로 A 지자체의 농경지에 유입되는 총 질소량 중 가축분뇨에 의한 질소 유입량이 8,008 tonN/yr로 총 질소 유입의 82%를 차지하였다. 그 중 퇴비 생산으로 반입되는 가축분뇨 질소 유입량이 6,271 tonN/yr로 가축분뇨 질소 유입량의 78.3%를 차지하였다. 또한 자가 퇴비생산시설로 가는 가축분뇨 질소유입량이 5,911 tonN/yr로 퇴비생산으로 유입되는 가축분뇨 질소량의 94.3%를 차지하였다. 한편 자가 퇴비생산시설에서 대기질소손실 손실량은 증량 감소율을 적용하여 산정한 결과 3,781 ton/yr로 총 대

기질소 손실량의 68%를 차지하였다. 이와 같이 자가퇴비 생산 및 질소 손실량이 질소 수지 산정결과에 중요한 요소로 분석되었다. 가축분뇨 관련 계수 산정 시 고려할 수 있는 국내 문헌 값이 제한적이기 때문에 향후 질소 수지 산정 방법의 신뢰도 제고를 위해 축종별 퇴비 생산 및 질소 손실 등에 사용된 계수, 연평균 가축 사육두수(AAP) 산정 등에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 질소 수지 산정 값은 지자체 내부자료, 통계청 자료, 전국오염원조사 자료, 농업경영등록체 자료 등 자료 출처 및 사용되는 계수에 따라 값이 크게 달라지므로 민감도 분석을 통한 비교 검토 연구가 필요하다고 사료된다.

References

Ahn, J. Y., Lee, S. D., Han, J. S., Choi, J. S., Sung, M. Y., Park, J. H., Son, J. S., and Hong, Y. D. (2014). *Study on the Characteristics of Regional Scale Wet and Dry Acid Deposition(I)*, NIER-RP2014-269, National Institute of Environment

- Research, 22-24. [Korean Literature]
- Bashkin, V. N., Park, S. U., Choi, M. S., and Lee, C. B. (2002). Nitrogen Budgets for the Republic of Korea and the Yellow Sea Region, *Biogeochemistry*, 57(58), 387-403.
- Bassanino, M., Sacco, D., Zavattaro, L., and Grignani, G. (2011). Nutrient Balance as a Sustainability Indicator of Different Agro-Environments in Italy, *Ecological Indicators*, 11, 715-723.
- Choi, E. and Kim, T. H. (2004). Estimated Nitrogen Discharge by Mass Balance Approach, *The Korean Association for Policy Studies*, 3(1-4), 95-117.
- Cooperband L. (2002). *The Art and Science of Composting: A Resource for Farmers and Compost Producers*, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, United States, 1-17.
- European Environment Agency (EEA). (2013). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*, <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guide-book-2013/>
- Hong, S. G. and Song, J. O. (2006). A Analysis of Nutrient Balance in Chungju Area, *Korean Journal of Agricultural Management and Policy*, 33(4), 1127-1150. [Korean Literature]
- Jeon, B. J., Lim, S. S., Lee, K. S., Lee, S. L., Ham, J. H., Yoo, S. H., Yoon, K. S., and 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. [Korean Literature]
- Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., and Christie, P. (2006). Nitrogen Balance and Groundwater Nitrate Contamination: Comparison among Three Intensive Cropping Systems on the North China Plain, *Environmental Pollution*, 143, 117-125.
- Kader, N. A. E., Robin, P., Pallat, J. M., and Leterme, P. (2007). Turning, Compacting and the Addition of Water as Factors Affecting Gaseous Emissions in Farm Manure Composting, *Bioresource Technology*, 98, 2619-2628.
- Kang, G. C., Kim, S. H., Lee, S. Y., Oho, G. W., and 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, 1-118.
- Kim, C. G., Jung, H. G., Kim, Y. H., Kim T. H., and Mun, D. H. (2011). *Establish of System of Managing Agri-Environmental Resource Using Agri-Environmental indicators*, C2011-28, Korea Rural Economic Institute, 10-16. [Korean Literature]
- Kim, C. G., Jung, H. G., Lim, P. E., and Kim, T. H. (2015). *Directions for Introducing Total Maximum Nutrient Loading System of Cultivated Land*, C2015-5, Korea Rural Economic Institute, 1-180. [Korean Literature]
- Kim, C. G., Kim, T. Y., and Shin, Y. K. (2005). *Implementation Program for Introducing Regional-Based Maximum Nutrient Loading System*, C2005-52, Korea Rural Economic Institute, 1-90. [Korean Literature]
- Kim, C. G., Kim, T. Y., and Jung, E. M. (2006). *Development and Assignment of Agri-Environmental Indicators Corresponding to Development Discussion of OECD Agriculture Environmental Indicators*, Korea Rural Economic Institute, 1-2. [Korean Literature]
- Kim, H. H., Lee, T. H., Nam, D. H., Yoo, A. M., and Min, J. K. (2015). *A Study of the Analysis and the Database Improvement by Using the Information on the Farm Manager Registration Program*, 11-1543000-000861-01, The Industry-Academic Cooperation Foundation of Seoul National University, 192-209. [Korean Literature]
- Kim, P. J., Lee, Y. B., Lee, Y., and 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., and 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.
- Larney, F. J., Buckley, K. E., Hao, X., and McCaughey, W. P. (2006). Fresh, Stockpiled, and Composted Beef Feedlot Manure: Nutrient Levels and Mass Balance Estimates in Alberta and Manitoba, *Journal of Environmental Quality*, 35, 1844-1854.
- Lee, C. S. (1998). *A Study of OECD Agricultural Environmental Indicators*, National Institute of Agricultural Sciences. [Korean Literature]
- Lee, Y. (2003). Nutrient Balances on Agricultural Land in Korea, *Soil and Fertilizer, Korea Society of Soil Science and Fertilizer*, 14, 28-39. [Korean Literature]
- Lee, Y., Kim, S. H., and Park, Y. H. (2002). *Development of Nutrient Balance Indicator*, National Institute of Agricultural Sciences. [Korean Literature]
- Lee, Y. H. (2002) *Estimation of Nitrogen Deposition in South Korea*, Ph. D. Dissertation, Seoul National University, 1-147. [Korean Literature]
- Leip, A., Britz, W., Weiss, F., and Veris, W. D. (2011). Farm, Land, and Soil Nitrogen Budgets for Agriculture in Europe Calculated with CAPRI, *Environmental Pollution*, 159, 3243-3253.
- Michel Jr., F. C., Pecchia, J. A., Rigot, J., and Keener, H. M. (2004). Mass and Nutrient Losses During the Composting of Dairy Manure Amended with Sawdust or Straw, *Compost Science & Utilization*, 12, 323-334.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MAFRA). (2017). Agriculture Integrated Information Excellent System (AGRIX), <http://agrix.go.kr/>.
- Ministry of Environment (MOE). (2008). *The unit of Load of Livestock Excreta in Korea*, Department of Aquatic Ecosystem Conservation. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE). (2017). *Environmental Statistics Yearbook 2016*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Nam, Y. H., An, S. W., and Park, J. W. (2011). Nitrogen Budget of South Korea in 2008: Evaluation of Non-point Source Pollution and N₂O Emission, *Korean Society of Environmental Engineers*, 33(2), 103-112. [Korean Literature]
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2013). *OECD Compendium of Agri-environmental Indicators*, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264181151-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2017). Agri-Environmental Indicators: Nutrients, <http://stats.oecd.org/>

- oecd.org/Index.aspx?datasetcode=AEI_NUTRIENTS
- Oenema, O., Kros, H., and Vries, W. D. (2003). Approaches and Uncertainties in Nutrient Budgets: Implications for Nutrient Management and Environmental Policies, *European Journal of Agronomy*, 20, 3-16.
- Panten, K., Rogasik, J., Godlinski, F., Funder, U., Greef, J. M., and Schnug, E. (2009). Gross Soil Surface Nutrient Balances: The OECD Approach Implemented under German Conditions, *Agriculture and Forestry Research*, 1(59), 19-28.
- Park, Y. H. (1997). *Interaction of Nitrogen Fixation*, (<http://www.rda.go.kr>).
- Statistics Korea (SK). (2015). *Korean Statistical Information Service (KOSIS)*. <http://kosis.kr/wnsearch/totalSearch.jsp/>.
- Tiqua, S. M., Richard T. L., and Honeyman, M. S. (2002). Carbon, Nutrient, and Mass Loss During Composting, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62, 15-24.
- 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.
- Won, S. G., You, B. G., and Ra, C. S. (2015). Investigation of Hanwoo Manure Management and Estimation of Nutrient Loading Coefficients on Land Application, *Journal of Animal Science and Technology*, 57(20), 1-8. [Korean Literature]
- Yun, D. M., Park, S. H., and Park, J. W. (2008). Nitrogen Budgets for South Korea in 2005, *Korean Society of Environmental Engineers*, 30(1), 97-105. [Korean Literature]
- Yun, Y. M., Kim, C. H., Koo, H. H., Oh, S. Y., Hong, J. M. Yun, S. H., Kim, C. G., and 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. [Korean Literature]
- You, B. G. (2016). *Investigation of Nutrient Loading Amount and Coefficient from Livestock Manure*, Master's Thesis, Kangwon National University, 30-57.