

## Input and Output Budgets for Nitrogen of Paddy Field in South Korea

Goo-Bok Jung, Seung-Chang Hong\*, Min-Kyeong Kim, Myung-Hyun Kim, Soon-Kun Choi, and Kyu-Ho So

*National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju, 55365, Korea*

(Received: December 30 2015, Revised: January 20 2016, Accepted: February 26 2016)

The main objective of this research was to estimate the total mass of nitrogen discharged from various sources in paddy field area of South Korea in 2010 and 2013. Input and output budgets for nitrogen were estimated by mass balance approach. The mass balance approach reduces the effect of flow variations, and the large scale approach minimizes local effects, resulting in easier and faster establishment of strategy for nonpoint pollution problems. Nitrogen inputs were chemical fertilizer, compost, atmospheric deposition, biological fixation, and agricultural water, while crop uptake, denitrification, volatilization, and infiltration were nitrogen outputs. The estimated total nitrogen inputs for paddy field in South Korea were 266,211 ton yr<sup>-1</sup>, 260,729 ton yr<sup>-1</sup>, while those of total nitrogen outputs were 168,463 ton yr<sup>-1</sup>, 164,994 ton yr<sup>-1</sup> in 2010 and 2013, respectively. Annual amounts of potential nitrogen outflow from paddy field were 97,748 ton yr<sup>-1</sup>, 95,735 ton yr<sup>-1</sup> in 2010 and 2013. Also, annual rate of potential nitrogen outflow were 36.7%, 36.7% in 2010 and 2013, respectively.

**Key words:** Paddy field, Nitrogen budget, Input, Output, Mass balance approach

Annual amount of potential nitrogen outflow from paddy field were 97,748 ton yr<sup>-1</sup>, 95,735 ton yr<sup>-1</sup> in 2010 and 2013.

	Items	2010 (ton yr <sup>-1</sup> )	2013 (ton yr <sup>-1</sup> )
Input	Chemical fertilizer	88,573	86,749
	Compost	103,335	101,207
	Microbial Fixation	31,985	31,326
	Atmospheric deposition	8,857	8,675
	Irrigation	33,461	32,772
	<b>Total input (A)</b>	<b>266,211</b>	<b>260,729</b>
Output	Plant uptake	109,092	106,846
	Denitrification	39,120	38,314
	Volatilization	13,729	13,446
	Infiltration	6,522	6,388
	<b>Total output (B)</b>	<b>168,463</b>	<b>164,994</b>
<b>Potential N outflow (A-B)</b>		<b>97,748</b>	<b>95,735</b>
<b>Potential N outflow rate (%)</b>		<b>36.7</b>	<b>36.7</b>

\*Corresponding author: Phone: +82632382501, Fax: +82632383823, E-mail: schongcb@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ010063)", National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

벼농사는 많은 양의 관개용수가 지속적으로 들어오고 나가는 농업으로 주변 수계의 수질환경에 밀접한 관련이 있다. 벼를 재배하는 논에서는 질소, 인 등의 비료 성분이 다량으로 요구된다. 따라서, 토양이나 관개수 등 천연공급량으로는 우리가 필요로 하는 쌀 생산량을 얻을 수 없어 그 부족 양분을 비료로 투입하고 있다. 그러나 작물이 요구하는 질소의 양을 초과하여 투입하면 작물에 흡수되고 남은 양은 토양에 집적되거나 주변 수계로 유출되어 수질오염을 야기시키며 (Han, 2011; Nam et al., 2012; Roh et al., 2009), 온실가스의 형태로 대기로 배출되어 지구 온난화의 원인이 되기도 한다 (Leip et al., 2011; Nam et al., 2012; Shin et al., 2014).

농경지에서의 질소 유입 요인으로는 화학비료 및 부산물비료, 생물학적 고정량, 대기로부터의 건식 및 습식 질소 침적량, 농업용수 관개 등이 있으며, 유출 요인으로는 벼 작물 흡수량, 논 토양에서의 탈질 및 휘산량, 지하수로의 침투 유출량로 크게 구분할 수 있다 (Nam et al., 2012; Roh et al., 2005; Shin et al., 2014). 또한 농업생태계에서 질소는 질소기체 ( $N_2$ ), 암모늄 이온 ( $NH_4^+$ ), 암모니아 ( $NH_3$ ), 질산 ( $NO_3^-$ ), 아질산 ( $NO_2^-$ ) 등의 형태로 순환하고 있다 (Kyaw et al., 2005; Leip et al., 2011; Shin et al., 2014).

질소의 유입·유출 수지를 산정하는 방법은 물질수지 분석 방법과 실측산출 또는 원단위법으로 크게 나눌 수 있다. 물질수지 분석방법은 전 세계적으로 각 나라의 질소 순환을 이해하는데 많이 사용되고 있으며 (Nam et al., 2012; Shin et al., 2014; NIER, 2012), 기본 원리는 유입된 질소의 양과 배출 및 사용된 질소의 양은 동일하다는 것이므로 분석하고자 하는 공간적 영역의 설정에 따라 전체 질소의 양을 파악할 수 있는 효율적인 연구방법이다. 다른 한편으로 우리나라에서 주로 이용되는 방법으로, 직접 하천 등으로부터 바다로 유출되는 유량과 농도를 실측하여 산출하는 방법, 그리고 환경부의 원단위법을 이용하여 배출 부하량을 산정하는 방법이 있다 (Kyaw et al., 2005; Nam et al., 2011; Roh et al., 2005; Shin et al., 2014). 그러나 이러한 방법들은 현장에서 실측하는 장점은 있으나 작물의 생육 및 비료투입 시기 등의 영농특성, 토지 이용도, 강우 등으로 인한 질소의 유입·유출 부하량이 지역과 유역에 따라 편차가 크다는 단점이 있다 (Han, 2011; Kim et al., 2005; Roh et al., 2009; Song et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 우리나라 전체 논 질소수지를 물질수지 분석방법으로 산정하였으며, 질소 유입량은 화학비료 및 부산물비료, 생물학적 질소고정, 대기로부터의 침적, 농업용수 관개를 적용하였고, 질소 유출량은 작물의 흡수, 탈질 및 휘산, 지하침투량, 토양 유기화된 양을 적용하

여 평가하였다.

## Materials and Methods

우리나라 논 생태계의 질소 유입 및 유출량 산정을 위한 통계자료는 통계청의 국가통계포털 (Statistics Korea, 2014)을 활용하였다. 논 생태계 내 질소의 유입 및 유출량 산정을 정량화하기 위하여 기존에 보고된 적용 인자의 평균값을 사용하였다. 또한 총 질소 수지량의 기본 단위는 기존 연구에서 주로 사용하였던  $N\ kg\ ha\ yr^{-1}$ 와 총량은  $N\ ton\ yr^{-1}$ 로 나타내었다. Fig. 1은 논에서의 질소 유입 및 유출 수지에 대한 모식도를 표현한 것이다. 본 연구에서 질소 수지 산정을 위하여 유입 요인으로 화학비료 및 부산물비료, 생물학적 고정량, 건식 및 습식 질소 침적량, 농업용수 관개를, 유출 요인으로는 벼 작물 흡수량, 논 토양에서의 탈질량 및 휘산량, 지하수로의 유출량, 토양에 유기화되어 잔류되는 양을 평가하였다 (Leip et al., 2011; Nam et al., 2012; NIER, 2012; Roh et al., 2005).

**주요 통계 및 문헌자료** Table 1과 Table 2는 통계청 국가통계포털 (Statistics Korea, 2014)에 의한 농경지 면적과 농업용수 이용량을 나타낸 것이다. 2010년 농경지 총면적은 1,715,301 ha, 그 중 논이 984,140 ha로 57.4%였으며,

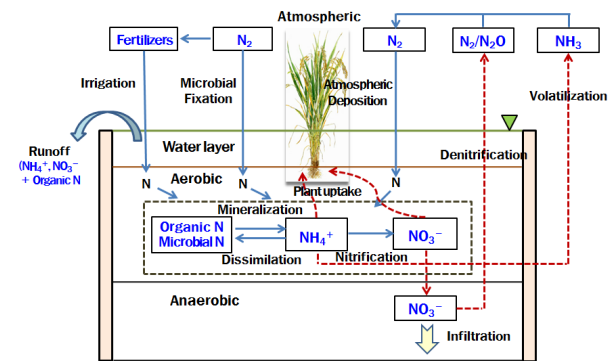


Fig. 1. Nitrogen balances for paddy field in Korea.

Table 1. Agricultural area statistics of South Korea in 2010 and 2013.

Item	2010(A)	2013(B)	B-A
Paddy (ha)	984,140	963,876	-20,264
Upland (ha)	731,161	747,560	16,399
Total (ha)	1,715,301	1,711,436	-3,865

Table 2. Agricultural water statistics of South Korea in 2011. (Unit : million ton)

Item	Total water	Paddy	Upland
Total water	33,300		
Agricultural water	15,984	13,267	2,717

**Table 3. Application rates for nitrogen input and output of paddy field area.**

	Item	Application rates	Reference
Input	Microbial Fixation	32.5 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> (30.0~35.0)	Nam et al. (2012) Roh et al. (2005)
	Atmospheric deposition	11.0 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Nam et al. (2012) Shin et al. (2014)
	N input amount of agricultural water	34.0 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> (24.2~43.8)	Nam et al. (2012) Roh et al. (2005)
	N average content of agricultural water	2.9 mg kg <sup>-1</sup> (2.8~3.0)	Nam et al. (2011) RDA-NAAS (2013)
Output	Plant uptake	110.85 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> (100.4~121.3)	Kim et al. (2005) Roh et al. (2005)
	Denitrification	39.75 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> (29.5~50.0)	Nam et al. (2012) Roh et al. (2005)
	Volatilization	15.5% (15.0~16.0)	Roh et al. (2005) Shin et al. (2014)
	Infiltration	2.45% (1.6~3.3 %)	Nam et al. (2012) Roh et al. (2009)
	Soil organization	34.2 kg ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Roh et al. (2005)

2013년에는 농경지 총면적 1,711,436 ha 중 논이 963,876 ha (56.3%)로, 논면적은 2010년과 비교하여 2.05%가 감소한 것으로 나타났다. 또한 관개용수에 의한 질소 유입량을 평가하기 위해 활용한 통계자료에서는 물 총 이용량 333억톤 중 농업용수 이용량이 48%인 159.8억톤, 그 중에서 논은 83%인 132.6억톤, 밭은 17%인 27.2억톤으로 나타났다 (Statistics Korea, 2014).

Table 3은 논 생태계의 질소 유입 및 유출량 산정을 위하여 적용한 질소수지 인자 값과 인용문헌을 나타낸 것이다. 질소 유입의 인자 값으로는 생물학적 질소고정량 32.5 (30.0~35.0) kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 대기 중으로부터 강우나 분진으로 침적되는 양 11 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 관개용수 중의 평균 질소농도 값 3.75 (2.8~4.7) mg kg<sup>-1</sup>, 관개용수에 의한 연간 총 질소 유입량 34.0 (24.2~43.8) kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>을 적용하였다. 또한 질소 유출의 인자 값으로는 벼 식물 흡수량 110.85 (100.4~121.3) kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 논에서 탈질되는 질소의 양 39.75 (29.5~50.0) kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, 논 질소질 화학비료 시용량 대비 휘발량 15.5 (15.0~16.0)%, 논토양 표면에서 지하수로 유출되는 평균 값 2.45 (1.6~3.3)%, 벼 재배 논에서 유입된 질소의 유기화량은 34.2 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>를 적용하였다.

## Results and Discussion

**질소유입량 산정** 우리나라 논 생태계에서 유입되는 질소는 화학비료, 가축분 퇴비, 생물학적 고정량, 강우나 분진으로 침적되는 양, 그리고 농업용수 관개에 의해 유입되는 양으로 산정한 결과는 Table 4와 같다.

본 연구에서 질소 유입량 산정은 Table 1의 우리나라 전체 논 면적 (Statistics Korea, 2014), 질소질 화학비료와 가축분퇴비 사용량은 논벼의 표준시비량 (RDA-NAAS, 2010)을 기준으로 하였다. 화학비료에 의한 질소 유입량은 논 면적 (2010년 984,140 ha, 2013년 963,876 ha), 논벼의 표준시비량인 90 kg ha<sup>-1</sup>을 적용하여 2010년과 2013년에 각각 88,573, 86,749 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 이와 관련하여 농가 현장에서 실제로 사용되는 질소의 관행시비량은 표준시비량보다 많을 것으로 예상되나 (Song et al., 2012), 2000년 이후 전국 통계자료가 전무한 상태이기 때문에 표준시비량을 적용하였다. 또한, 가축분퇴비에 의한 질소 유입량은 기존 보고자료 (Nam et al., 2012; Roh et al., 2005)을 근거로 한 가축분퇴비 중 질소함량을 0.7%와 표준시비량 1.5 ton ha<sup>-1</sup> (RDA-NAAS, 2010)를 적용하여 환산한 결과, 2010년에 103,335 ton yr<sup>-1</sup>, 2013년에 101,207 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다.

본 연구의 질소질 화학비료 및 퇴비 사용량은 실제로 농가에서 사용한 양을 적용하는 것이 올바른 방법일 것이다. 그러나 가장 최근의 전국단위 농가 시용량 (RDA-NAAS, 2001)은 2000년 이전에 조사된 것으로 질소질비료 154 kg ha<sup>-1</sup>, 부산물비료 9,010 kg ha<sup>-1</sup>가 유일하며, 2000년 이후에는 전국단위의 경작형태 및 비종별 농가 비료사용량 조사 통계자료는 전무한 실정이다.

우리나라 논에서의 생물학적 질소 고정량은 기존에 보고된 자료 (Nam et al., 2012; Roh et al., 2005)을 근거로 하여 적용 인자 값을 32.5 kg ha yr<sup>-1</sup>를 적용한 결과, 2010년 및 2013년에 각각 31,985, 31,326 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 대기로부터 유래되는 논 질소 침적량은 인자 값인 11 kg ha

**Table 4. Nitrogen input budget of paddy soil in 2010 and 2013.**

Items	2010 (ton yr <sup>-1</sup> )	2013 (ton yr <sup>-1</sup> )	Calculation basis
Chemical fertilizer	88,573	86,749	Paddy area (ha) N inputs (90 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Compost	103,335	101,207	Paddy area (ha) Compost inputs (15 ton ha yr <sup>-1</sup> ) N content (0.7%)
Biological fixation	31,985	31,326	Paddy area (ha) N application rates (32.5 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Atmospheric deposition	8,857	8,675	Paddy area (ha) N application rates (11 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Irrigation	33,461	32,772	Paddy area (ha) N application rates (34.0 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Total	266,211	260,729	

**Table 5. Nitrogen output budget of paddy soil in 2010 and 2013.**

Items	2010 (ton yr <sup>-1</sup> )	2013 (ton yr <sup>-1</sup> )	Calculation basis
Plant uptake	109,092	106,846	Paddy area (ha) N plant uptake rates (110.85 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Denitrification	39,120	38,314	Paddy area (ha) N denitrification rates (39.75 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Volatilization	13,729	13,446	Chemical fertilizer N (ton yr <sup>-1</sup> ) N volatilization rates (15.5%)
Infiltration	6,522	6,388	Total N inputs (ton yr <sup>-1</sup> ) N Infiltration rates (2.45%)
Soil organization	(33,658)	(32,965)	Paddy area (ha) N organization rates (34.2 kg ha yr <sup>-1</sup> )
Total	168,463	164,994	

yr<sup>-1</sup> (Nam et al., 2012; Shin et al., 2014)를 적용하여 2010년과 2013년에 각각 8,857, 8,675 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 본 연구에서 적용한 인자 값과 관련하여 Yan et al. (2011)이 중국의 광역논 (4,550 ha)에서 평가한 결과에서 생물학적 질소고정량은 19±2.9 kg ha yr<sup>-1</sup>, 대기 침적량은 39±8.5 kg ha yr<sup>-1</sup>로 보고하여 큰 차이를 보였다. 우리나라 논 전체 면적을 대상으로 연간 관개용수에 의한 질소 유입량 34.0 kg ha yr<sup>-1</sup> (Nam et al., 2012; Roh et al., 2005)으로 환산한 결과, 총 질소 유입량이 2010년과 2013년에 각각 33,461, 32,772 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 다른 한편으로 농업용수 중의 평균 질소함량인 2.9 mg L<sup>-1</sup> (Nam et al., 2011; RDA-NAAS, 2013)와 벼논의 농업용수 사용량 13,266 백만톤 (농업용수 15,984백만톤의 83%)을 기준으로 산정하면 관개에 의한 질소 유입량은 2010년과 2013년 모두 33,474 ton yr<sup>-1</sup>로 산정되었다.

**질소유출량 산정** 우리나라 논 생태계에서 유출되는 질소 양을 벼에 의해 흡수되는 양, 탈질 및 휘산에 의한 대기 유출량, 지하침투 유출량, 토양내 유입된 질소의 유기화

량으로 구분하여 산정한 결과는 Table 5와 같다. 벼 식물에 의한 흡수 유출량은 우리나라 총 논 면적 (ha)과 단위면적당 질소 흡수량인 110.85 kg ha<sup>-1</sup> (Kim et al., 2005; Roh et al., 2005)을 근거로 환산한 결과, 2010년 및 2013년에 각각 109,092, 106,846 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 이와 관련하여 Roh et al. (2009)은 쌀 수확량 5,000 kg ha<sup>-1</sup>, 도정률 0.75, 수확지수 0.45, 벼짚 N 0.5%, 정조 N 1.0%를 기준으로 하면 벼의 질소흡수량은 107 kg ha<sup>-1</sup>로 추정되어 질소수지 결정에 가장 중요한 요인이라고 하였다. 또한 Li et al. (2010)은 중국의 아열대 지역에서 벼의 질소흡수량이 91~116 kg ha<sup>-1</sup>으로 보고하여 본 연구의 적용 인자 값과 유사하였다. 논에서 탈질되는 질소는 논 면적과 단위면적당 탈질량인 39.75 kg ha yr<sup>-1</sup> (Nam et al., 2012; Roh et al., 2005)로 환산한 결과, 2010년 및 2013년에 각각 39,120, 38,314 ton yr<sup>-1</sup>로 나타났다. 이와 관련하여 Bashkin et al. (2002)이 보고한 질소질 화학비료 투입량의 32%를 근거로 환산된 논 탈질률은 2010년과 2013년에 각각 37,791, 33,928 ton yr<sup>-1</sup>으로 나타났다. 대기 중으로 방출되는 질소 휘산량은 질소질 화학비료 사용량을 90 kg ha<sup>-1</sup> 기준으로 하여 화학비료

N 총 유입량 ( $\text{ton yr}^{-1}$ )과 논에서 질소질 비료의 휘산률인 15.5% (Roh et al., 2005; Shin et al., 2014)를 적용하여 계산한 결과, 2010년 및 2013년에 각각 13,729, 13,446  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 다른 한편으로 Roh et al. (2005)이 제시한 논에서의 단위 면적당 질소 휘산량 16.4  $\text{kg ha}^{-1}$ 로 적용하여 환산하면 각각 16,140, 15,808  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 본 결과와 비교하여 Kyaw et al. (2005)은 일본 논에서 생물학적 질소고정량이 43  $\text{kg ha}^{-1}$ , 암모니아 휘산량이 11~14  $\text{kg ha}^{-1}$ 이었고, Yan et al. (2005)은 중국 논에서 질소 유출량은 총 투입량의 5.5%, 토양의 탈질량은 150  $\text{kg ha}^{-1}$ 로 보고하였다.

논에서 투입질소에 대한 지하침투 유출량은 총 질소 유입량 ( $\text{ton yr}^{-1}$ )과 논에서 총 유입 질소의 지하침투 비율인 2.45% (Nam et al., 2012; Roh et al., 2009)를 적용하여 환산한 결과, 2010년과 2013년에 각각 6,522 및 6,388  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 다른 한편으로 Kyaw et al. (2005)이 보고한 일본 논에서 지하침투량 평균 값인 6.0  $\text{kg ha}^{-1}$ 을 적용하면 5,905~5,783  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 계산되었다. 논 토양 내에서 유기화되어 잔류될 수 있는 질소의 양은 논 전체 면적과 단위 면적당 토양 유기화될 수 있는 양 34.2  $\text{kg ha}^{-1}$  (Roh et al., 2005)을 적용하면 2010년 및 2013년에 각각 33,658, 32,965  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 이와 관련하여 Roh et al. (2005)은 벼 논에서 유입된 총 질소의 유기화량은 20~34% 범위로 대부분이 유입 질소의 약 20%가 유기태질소로 토양에 잔류된다고 하였다. 또한 Roh et al. (2009)은 벼농사에서 질소수지에 가장 큰 영향을 주는 요인으로 질소시비량과 식물체에 의한 흡수량이며, 농업에 의한 환경부하 측면에서도 중요한 역할을 한다고 하였다. 또한 Kyaw et al. (2005)은 논 질소수지는 유입 요인으로는 비료, 농업용수 및 대기침적, 유출 요인으로는 벼의 질소흡수량, 휘산량 및 지표·지하 유출량에 큰 영향을 받는다고 하였다.

우리나라 전체 논 면적을 대상으로 한 질소의 유입 및 유출 수치 (Table 4 및 Table 5)를 종합하여 비교한 결과는 다음과 같다. 총 유입량은 2010년에 266,211  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년에 260,729  $\text{ton yr}^{-1}$ 이었고, 총 질소 유출량은 2010년에 168,463  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년에 164,994  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 따라서 우리나라 전체 논 면적에서 잠재적인 유출 가능 질소 잔존량은 2010년 97,748  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년 95,735  $\text{ton yr}^{-1}$ 으로 나타났고, 총 유입량에 대한 잔존 비율은 36.7%로 나타났다. 다른 한편으로 토양 내 잔존할 수 있는 질소 유기화량을 유출량에 포함시키면 잠재적인 유출가능 질소량은 2010년과 2013년에 각각 64,090, 62,770  $\text{ton yr}^{-1}$ 으로 나타나 잔존 비율은 모두 24.1%로 상대적으로 낮게 나타났다. 본 연구결과와 관련하여 Nam et al. (2011)은 물질수지 분석방법에 의해 농업지역의 질소 유입 및 유출량을 평가한 결과, 유입량이 600,254  $\text{ton yr}^{-1}$  및 유출량이 402,731  $\text{ton}$

$\text{yr}^{-1}$ 으로 질소 수지가 197,523  $\text{ton yr}^{-1}$ 으로 32.9%를 차지한다고 하였다. 또한 Kim et al. (2005)과 Roh et al. (2005)은 벼논 포장에서 질소 수지를 산정한 결과, 유입량에서 유출량을 뺀 잔존율의 비율이 약 25.6~29.4% 정도라고 보고하였다.

결론적으로 우리나라 전국 논 면적을 근거로 하여 질소에 대한 유입 및 유출량 수지를 산정한 결과, 논에 투입된 질소의 잠재적인 유출 가능비율이 24.1~36.7%로 나타나 논 생태계에 잔류한 질소가 축적, 그리고 외부 환경에 노출된다면 토양과 주변 수계의 영향을 줄 수 있을 것이다. 금후에도 본 연구 결과를 기초로 하여 온도 및  $\text{CO}_2$  농도 상승 등의 미래 기후변화 시나리오에 근거한 논 생태계의 질소순환 영향 인자 값을 정량화하고, 평가모델에 적용하여 질소수지 변동 예측과 적응 대책을 마련할 것이다.

## Conclusion

기후변화가 논 생태계 질소순환에 미치는 영향 평가의 기초 자료를 얻고자 본 연구에서는 우리나라 논 면적 전체를 대상으로 질소 유입 및 유출 수지를 산정하였다. 질소수지 산정은 전 세계적으로 각 나라의 질소 순환을 이해하는데 많이 사용하고 있는 물질수지 분석방법으로 평가하였다. 본 연구에서 논 질소 유입량은 화학비료 및 퇴비, 생물학적 질소고정, 대기로부터의 침적, 농업용수 관개량으로 산정하였고, 질소 유출량은 작물 흡수, 탈질 및 휘산 및 지하침투량으로 그 양을 산정하였다.

우리나라 논 전체 면적 (2010년 984,140 ha, 2013년 963,876 ha)을 대상으로 한 질소의 유입 및 유출 수지를 산정한 결과, 총 질소 유입량은 2010년 266,211  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년 260,729  $\text{ton yr}^{-1}$ 이었고, 총 질소 유출량은 2010년 168,463  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년 164,994  $\text{ton yr}^{-1}$ 로 나타났다. 따라서 우리나라 논에서 잠재적인 유출 가능 질소 잔존량은 2010년에 97,748  $\text{ton yr}^{-1}$ , 2013년에는 95,735  $\text{ton yr}^{-1}$ 으로 잔존비율은 총 유입량의 36.7%로 나타났다. 다른 한편으로 토양 내 잔존할 수 있는 질소 유기화량을 유출량에 포함시키면 잠재적인 유출가능 질소량은 2010년과 2013년에 각각 64,090, 62,770  $\text{ton yr}^{-1}$ 으로 나타나 잔존 비율은 모두 24.1%로 나타났다.

## References

- Bashkin, V.N., S.U. Park, M.S. Choi, and C.B. Lee. 2002. Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the Yellow Sea region. *Biogeochem.* 57(58):387-403.
- Han, K.H. 2011. Characteristics of Non-Point Sources Pollutant Loads at Paddy Plot Located at the Valley Watershed during Irrigation Periods. *Kor. Comm. Irrig. Drain.* 18(1):94-102.

- Kim, M.K., K.A. Roh, N.J. Lee, M.C. Seo, and M.H. Koh. 2005. Nutrient Load Balance in Large-Scale Paddy Fields during Rice Cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 38(3): 164-171.
- Kyaw, K.M., K. Toyota, M. Okazaki, T. Motobayashi, and H. Tanaka. 2005. Nitrogen balance in a paddy field planted with whole crop rice (*Oryza sativa* cv. Kusahonami) during two rice-growing seasons. *Biol. Fertil. Soils*. 42:72-82.
- Leip, A., W. Britz, F. Weiss, and W. Vries. 2011. Farm, land, and soil nitrogen budgets for agriculture in Europe calculated with CAPRI. *Environ. Pollut.* 159:3243-3253.
- Li, Z., M. Liu, X. Wua, F. Han, and T. Zhang. 2010. Effects of long-term chemical fertilization and organic amendments on dynamics of soil organic C and total N in paddy soil derived from barren land in subtropical China. *Soil Till. Res.* 106:268-274.
- Nam, Y.H., S.W. An, M.S. Jung, and J.W., Park. 2012. Nitrogen budgets of agriculture and livestock in South Korea at 2010. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 34:204-213.
- Nam, Y.H., S.W. An, and J.W. Park. 2011. Nitrogen Budget of South Korea in 2008: Evaluation of Non-point Source Pollution and N<sub>2</sub>O Emission. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 33(2):103-112.
- NIER(National Institute of Environmental Research). 2012. Nitrogen budget of south korea and management plan.
- RDA-NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2001. Evaluation study on environmental affects by fertilizer use in cultivation lands, Sam-Mi press. pp. 3-46.
- RDA-NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2010. Fertilizer application recommendations for crops. Sangrok press. pp.16-18.
- RDA-NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2013. Monitoring project on agri-environment quality. Sam-Mi press. pp.82-87.
- Roh, K.A., M.K. Kim, B.M. Lee, N.J. Lee, M.C. Seo, and M.H. Koh. 2005. Assessment of nitrogen impact on watershed by rice cultivation. *Korean J. Environ. Agric.* 24(3):270-279.
- Roh, K.A., M.K. Kim, B.G. Ko, G.Y. Kim, K.M. Shim, and D.B. Lee. 2009. Estimation of rice cultivation impacts on water environment with environmental characteristics and agricultural practices by nitrogen balances. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(6):439-446.
- Shin, J.H., C.W. Yoo, Y.S. An, J.W. Park. 2014. 2011 Nitrogen budget of South Korea including nitrogen oxides in gas phase, *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 36(2):75-83.
- Song, J.H., M.S. Kang, I.H. Song, and J.R. Jang. 2012. Comparing Farming Methods in Pollutant runoff loads from Paddy Fields using the CREAMS-PADDY Model. *Korean J. Environ. Agric.* 31(4):318-327.
- Statistics Korea. 2014. Korean Statistical Information Service.
- Yan, X., Z. Cai, R. Yang, C. Ti, Y. Xia, F. Li, J. Wang, and A. Ma. 2011. Nitrogen budget and riverine nitrogen output in a rice paddy dominated agricultural watershed in eastern China. *Biogeochem.* 106:489-501.