



## 영농기와 비영농기에 강우에 의해 논으로 유입되는 질소공급량 분석

The Analysis of Nitrogen Supply Amount in Paddy Fields by Rainfall During Cropping and Non-Cropping Period

최동호\* · 최순군\* · 허승오\* · 홍성창\* · 김민경\*\*,†

Choi, DongHo · Choi, Soon-Kun · Hur, Seung-Oh · Hong, Seung-Chang · Kim, Min-Kyeong

### Abstract

In this study, we conducted to analyze and quantify the amount of nitrogen supply into the rice paddies from the rainfall during cropping and non-crop periods. Rainfall monitoring conducted 85 times from June 2015 to December 2017. Nitrogen supply of cropping season ranged from 5.37 to 7.70 kg/ha, while non-cropping season were supplied from 3.97 to 4.42 kg/ha. The supply of T-N in the crop period was more than 60% of the total supply. And as a result of analyzing the correlation between the characteristics of rainfall and the supply amount, nitrogen concentrations in rainfall were decreased with increasing rainfall, but the supply amount was increased. Therefore, efforts should be made to increase the rainfall utilization and to increase the nitrogen supply of crops by increasing rainfall storage through drainage management.

Keywords: Rainfall;  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{NO}_3^-$ ; supply amount paddy

### 1. 서 론

대기 중의 이온들은 강우에 의해 지표면으로 하강하며, 강우에 포함된 다양한 이온 중  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  이온은 작물의 생육에 필수적인 요소이다. 하지만, 작물이 없거나 저류기능을 갖지 않는 토지이용에서는 강우량 및  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  이온의 활용성이 낮지만, 저류기능을 갖고 있는 논은 작물생육을 위한 양분으로의 이용이 가능하다. 최근 몇몇 연구자들은 강우에 의해 논으로 공급되는 질소량을 제시하였다(Kim et al., 2005; Kim et al., 2013; Ko et al., 2010). 하지만, 우리나라 기후의 특성(몬순기후)과 지형적 특성(동고서저)으로 지역적으로 발생하는 강우량과 발생빈도는 서로 다르게 나타나며, 인위적인 활동(차량 운행, 산업활동, 난방 등)이나 중국과 몽골 등 외부에서 유입되는 황사의 영향으로 대기 중의 이온 농도는 다르게 나타난다(Chung and Kim, 1991; Chun et al., 1994; Lee et al., 2008). 따라서, 강우에 의해 공급되는 질소의 양을 평가하기 위해서는 다양한 지역에서 장기적인 모니터링을 통한 자료 축적이 요구된다.

논에서는 작물생육을 위해 강우량과 관개량으로 필요한 수분을 공급하고 있으며, 이 중 강우량은 전체공급량(강우량+관개량)의 53~73%로 절반이상을 차지하고 있다(Choi et al., 2016; Jung et al., 2015; Kim et al., 2016). 하지만, 지역적으로 강우량의 편차가 크기 때문에 물이용의 어려움이 있다. 이러한 한계성을 극복하기 위해 국내의 수자원 정책은 지역별, 시기별 물 공급을 늘리는 방향으로 수행되었다(Chung, 2003). 충분한 관개는 논에서 심층답수(10cm)가 수행되었고, 이는 강우량 및 관개 이용의 효율성을 저하 시키는 원인이 되었다(Chung, 2003). Chung (2003)은 농업수자원의 효율적인 활용을 위해 물관리(천수관개, 극천수관개, 심수관개)에 따른 강우이용의 효율성을 증가시키기 위한 방안을 모색하였으며, 심수관개에서 강우의 이용효율이 낮고 천수관개와 극천수관개에서 강우 이용 효율이 높다고 보고하였다. 또한, Kim et al.(2016)은 중간낙수 전, 후의 물꼬관리를 통해 관개량을 저감할 수 있으며, 강우의 효율성을 높일 수 있다고 하였다. 따라서, 논에서 강우의 이용효율의 증대는 강우에 포함된 질소이온( $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ )의 활용성이 증가함을 의미하지만, 강우를 통해 논으로 유입되는 질소의 양을 정량화한 연구는 미미하였다.

본 연구에서는 전북 완주군에서 2015년 6월부터 2017년 11월까지 수집된 강우내 질소성분별( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) 농도와 강우량을 분석하여 영농기와 비영농기에 논으로 유입되는 질소공급량을 제시하였다.

\* Climate Change and Agroecology Division, National Institute of Agricultural Science

\*\* International Technology Cooperation Center(ITCC), Rural Development Administration(RDA)

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-1122 Fax:+82-63-238-1782

E-mail: kimmk72@korea.kr

Received: January 24, 2018

Revised: March 30, 2018

Accepted: April 3, 2018

## II. 재료 및 방법

### 1. 강수량 수집 및 강우 중 질소농도 분석

강수량 자료는 전라북도 완주군 이서면 국립농업과학원 (35°49'45"N, 127°02'27"E) 내에 위치한 농업기상정보시스템의 자료를 활용하였으며(Fig 1), 강우 모니터링은 총 85회 수행하였다. 강우 채취는 센서에 강우가 감지되면 자동으로 뚜껑이 열려 강우를 채수하는 wet sampling 방식의 강우자동채취기(AQUA Control, Japan)를 사용하였다.

강우의 화학성분은 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다.  $\text{NH}_4^+$ 는 차아염소산 이온의 공존하에서 페놀과 반응하여 생성되는 청색의 Indophenol을 640 nm에서 측정하는 Indophenol법,  $\text{NO}_3^-$ 는 1N-HCl로 hydroxide 와 carbonate에 의한 영향을 제거하고 흡광도를 측정하는 자외선 흡광광도법으로 측정하였다.

### 2. 질소공급량 산정

본 연구에서는 강우자동채취기를 통해 강우초기부터 강우종료시까지의 수질농도가 혼합된 강우량을 전량 수집하여 수질공정시험법에 따라 분석하였다. 월별 강우가중평균농도( $\text{EMC}_m$ )는 관측된 강우사상별 강우량과 농도를 곱하여 더한 후 월별 강우량으로 나누어 산정하였다(식 1). 월별 질소 공급량은 월별 강우량과 강우가중평균농도를 곱하여 산정하였다(식 2).

$$\text{EMC}_m(\text{mg/L}) = \frac{\sum_{x=1}^N (R_x \times C_x)}{\sum_{x=1}^N R_x} \quad (1)$$

$$\text{Load (kg/ha)} = \sum_{m=1}^N (R_m \times \text{EMC}_m) / 100 \quad (2)$$

여기서,  $\text{EMC}_m$ 은 월별 강우가중평균농도(mg/L) 이며,  $R_x$ 는 강우사상별 강우량(mm),  $C_x$ 는 강우사상별 질소농도(mg/L)이다. 또한, Load는 질소공급량(kg/ha)이며,  $R_m$ 는 월 강우량(mm/month), 100 은 단위환산 수치이다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 시기별 강수량 분석

인근 전주지방기상청의 30년 평균 강수량과 본 시험지역의 조사기간동안의 강수량을 비교분석하였다. 전주지역의 30년 평균 강수량은 1,313.2 mm 였으며, 시험지구의 2015년 총 강수량은 837.5 mm, 2016년 1,070 mm, 2017년 929.0 mm 였다. 조사기간의 년 강수량은 30년 평균 강수량보다 적은 것으로 나타났다. 본 연구기간인 2015년 6월부터 2017년 11월까지 강우량을 영농기(5월-9월)와 비영농기(1월~4월, 10월~12월)로 구분하여 살펴보면 2015년 384.5 mm와 265 mm 였으며, 2016년 583.5 mm, 486.5 mm, 2017년 752.5 mm, 172.0 mm 였다. 전 기간의 조사가 이루어졌던 2016년과 2017년의 영농기와 비영농기 강수량과 30년 평균 영농기와 비영농기의 강수량을 비교한 결과 영농기의 2016년과 2017년 강수량은 30년 평균 강수량보다 390 mm, 221 mm 가 적었으며, 비영농기는 2016년 147.4 mm 가 많고, 2017년 167.1 mm가 적었다(Fig 2).



(a)



(b)

Fig. 1 Rainfall measurement(a) and collection equipment(b) located in national academy of agricultural science in wanju, korea

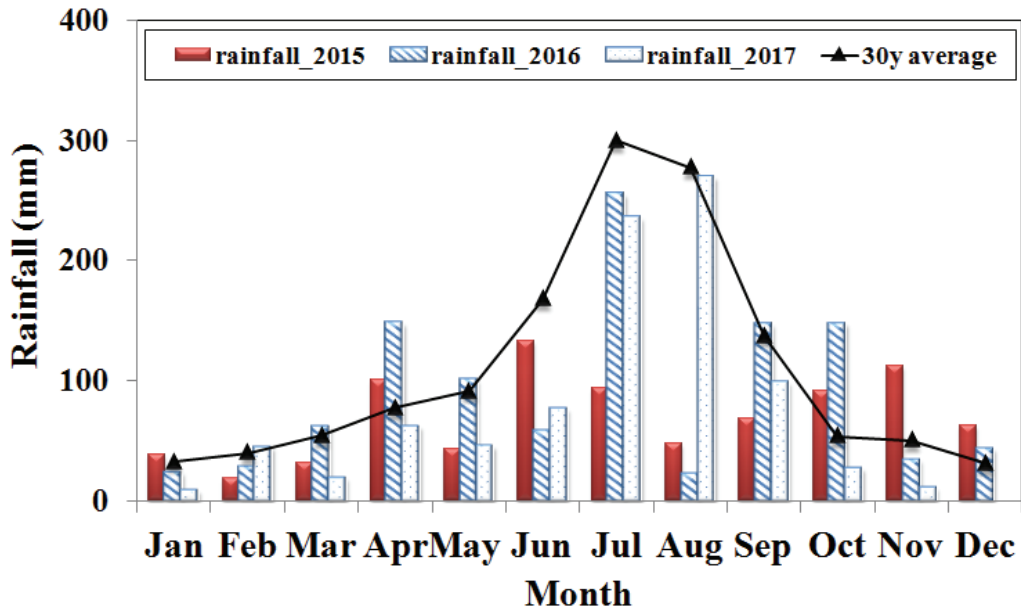


Fig. 2 Comparison of 30 years average and observed rainfall from June 2015 to December 2017

## 2. 강우량 내 $\text{NH}_4^+$ 와 $\text{NO}_3^-$ 농도 변화

연구지역에서 논에서  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 영농기와 비영기동안  $\text{EMC}_m$ 의 변화는 Fig 3과 같으며, 통계분석결과는 Table 1과 같다. 영농기와 비영농기의  $\text{NH}_4^+$ 의 평균  $\text{EMC}_m$ 은 각각 0.71 mg/L, 0.95 mg/L 였으며,  $\text{NO}_3^-$ 의 평균  $\text{EMC}_m$ 은 각각 0.61 mg/L와 0.75 mg/L 였다.  $\text{NH}_4^+$ 의 월별  $\text{EMC}_m$  변화를 살펴보면 영농기에는 6월에 1.42 mg/L로 높게 나타났으며, 비영농기에는 1월과 2월에 각각 1.92 mg/L, 1.73 mg/L로 높게 나타났다.  $\text{NO}_3^-$ 의 영농기 EMC 역시 6월에 0.90 mg/L로 높았으며, 1월과 2월에 각각 1.22 mg/L, 1.39 mg/L로 높게 나타났다. 비영농기에 농도가 높은 이유는 농업 활동보다는 다양한 외부요인(하

수처리, 폐기물 소각, 화석 연료의 연소, 다양한 산업 활동 및 가축사육장 등)의 영향으로 보고되고 있다(Choi, 2007). Kim et al.(2000)은 도시(서울)와 농촌(강원도 인제)에서 강우의 평균  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 농도를 제시한 결과 도시의 경우 0.92 mg/L, 1.01 mg/L 였으며, 농촌의 경우 0.47 mg/L, 0.74 mg/L로 제시 하였다. Choi(2005)은 전북지역의 7개 시/군에서 강우모니터링을 수행하였으며,  $\text{NH}_4^+$ 는 0.77~2.19 mg/L,  $\text{NO}_3^-$ 는 1.50~2.35 mg/L의 범위를 제시하였다. 특히, 완주지역의  $\text{NH}_4^+$  2.19 mg/L,  $\text{NO}_3^-$  2.06 mg/L로 본 연구결과(전북 완주군)와 비교하면  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$  농도는 높은 수치를 보였다.

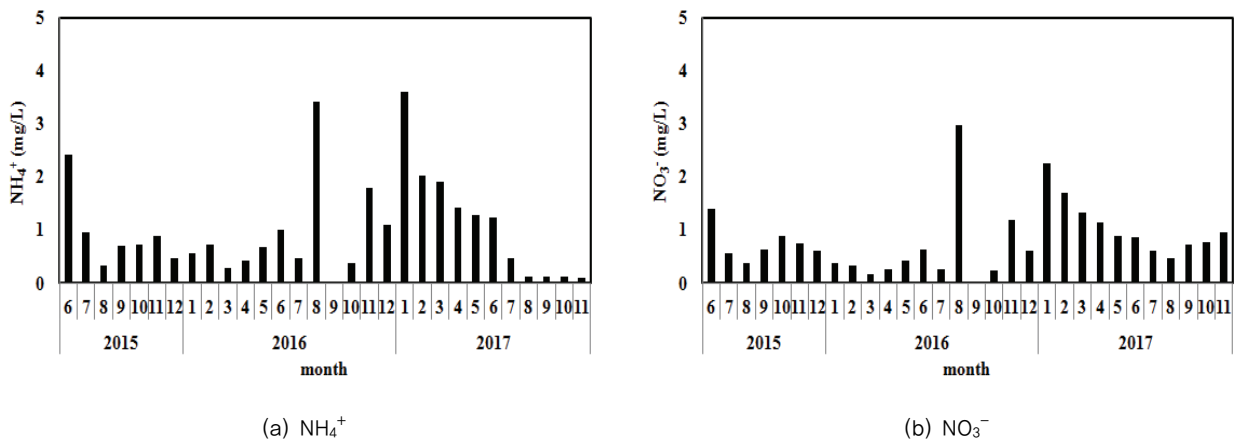


Fig. 3  $\text{EMC}_m$  variation of (a)  $\text{NH}_4^+$  and (b)  $\text{NO}_3^-$  as rainfall during the study period from June 2015 to November 2017

**Table 1** Minimum, maximum, average of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  of rainfall during cropping and non-cropping season in monitoring site during the study periods  
unit : mg/L

	cropping season			non-cropping season		
	min	max	average	min	max	average
$\text{NH}_4^+$	0,20	1,42	0,71	0,39	1,92	0,95
$\text{NO}_3^-$	0,47	0,90	0,61	0,36	1,39	0,75

**Table 2** Estimation of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  load by rainfall during crop growing and non-cropping season in this study

Year	Event	period (month)	Rainfall (mm)	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	T-N
				kg/ha		
2015	crop growing	6~9	342,0	4,73	2,97	7,7
	non-crop growing	10~12	265,0	1,95	2,02	3,97
	sum		607,0	6,68	4,99	11,67
2016	crop growing	5~9	436,5	3,22	2,15	5,37
	non-crop growing	1~4, 10~12	486,5	2,76	1,66	4,42
	sum		923,0	5,98	3,81	9,79
2017	crop growing	5~9	752,5	3,09	4,46	7,55
	non-crop growing	1~4, 10~11	172,0	2,49	2,23	4,72
	sum		924,5,0	5,58	6,69	12,27

### 3. 강우에 의한 질소 공급량 분석

강우로부터 논으로 공급되는  $\text{NH}_4^+$ 과  $\text{NO}_3^-$ 의 2015년부터 2017년까지 영농기의 공급량은 Table 2와 같다. 영농기의  $\text{NH}_4^+$ 과  $\text{NO}_3^-$ 의 2015년 공급량은 4.73 kg/ha, 2.97 kg/ha, 였으며, 2016년 3.22 kg/ha, 2.15 kg/ha, 2017년 3.09 kg/ha, 4.46 kg/ha로 나타났다.  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 시기별 공급량을 살펴보면 영농기에 약 60 %의 질소성분이 공급이 되는 것으로 나타났다. 논에 강우의 질소 공급량을 분석한 연구사례를 살펴보면 Ko et al.(2010)은 태안과 수원은 강우에 의해 매월 1-2 kg/ha의 총질소( $\text{NH}_4^+$ +  $\text{NO}_3^-$ )가 공급되며, 강우량이 많았던 7월에는 수원 6 kg/ha, 태안 3 kg/ha가 공급이 된다고 하였다. 특히, 수원에 내리는 강우는 태안 보다 무기성분의 함량이 큰 것으로 보고하였다. Kim et al.(2013)은 수원과 여주군에서 4월부터 11월까지 강우를 수집하고 분석한 결과 수원 15.6 kg/ha, 여주군 12.2 kg/ha의 총질소( $\text{NH}_4^+$ +  $\text{NO}_3^-$ )가 공급이 되며, Song et al.(2013)은 영농기에 강우에 의한 논의 총질소(Total Nitrogen) 공급량은 13.2 kg/ha와 12.9 kg/ha로 제시하였다. Yoon et al.(2003)은 여주군의 경우 7.97 kg/ha의 총질소가 영농기에 공급되며, Kim et al(2005)은 이천시의 경우 2002년과 2003년에 각각 총질소는 9.9 kg/ha, 15.8 kg/ha가 강우에 의해 영농기에 공급된다고 제시하였다. 앞선 선행연구의 대부분은 영농기의 논에서의 물질수지 분석을 위한 강우에 의한 질소

공급량을 분석하였다. 하지만, 최근 논에서는 영농기에는 비작물의 재배가 이루어지며, 비영농기에는 타작물의 재배가 이루어진다. 따라서, 영농기 뿐만아니라 비영농기의 강우에 의한 질소공급량 분석이 필요하다.

### 4. 강우량과 농도, 질소공급량과의 상관관계 분석

월별 강우량과  $\text{EMC}_m(\text{NH}_4^+$ 과  $\text{NO}_3^-)$ , 강우량과 공급량( $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ ) 사이의 상관관계는 Fig 4와 같다. 영농기에는 강우량이 증가할수록  $\text{NH}_4^+$ (n=13, r=-0.44, p=0.13)와  $\text{NO}_3^-$ (n=13, r=-0.41, p<0.05)의 농도는 낮아지는 음의 상관관계를 보였으며, 비영농기 역시 강우량이 증가할수록  $\text{NH}_4^+$ (n=16, r=-0.37, p=0.16)와  $\text{NO}_3^-$ (n=16, r=-0.49, p=0.05)의 농도는 낮아지는 음의 상관관계를 보였지만 유의수준이 0.05 이상으로 통계적으로 유의하지는 않았다. 강우량과 대기중의  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도 변화를 분석한 연구사례를 살펴보면, Bridgman (1991)은 강우량이 증가할수록  $\text{NO}_3^-$ (r=-0.57)와  $\text{NH}_4^+$ (r=-0.32)는 음의 상관관계를 보이며, 특히  $\text{NO}_3^-$ 의 감소폭이 크게 나타났다. Lee et al.(2009)은 강수량이 0.5 mm 이하에서  $\text{NO}_2$ 는 13.3%, 25 mm 이하에서는 32.4% 가 저감된다고 하였으며, Lim et al.(2012)은 강수세정과 바람분산 기여율을 분석한 결과 일 강수량이 5 mm 이하 시 12.8%, 50 mm 이상 시 29.8% 의 세정율을 보이며, 강수량과 농도 감소량 사이에

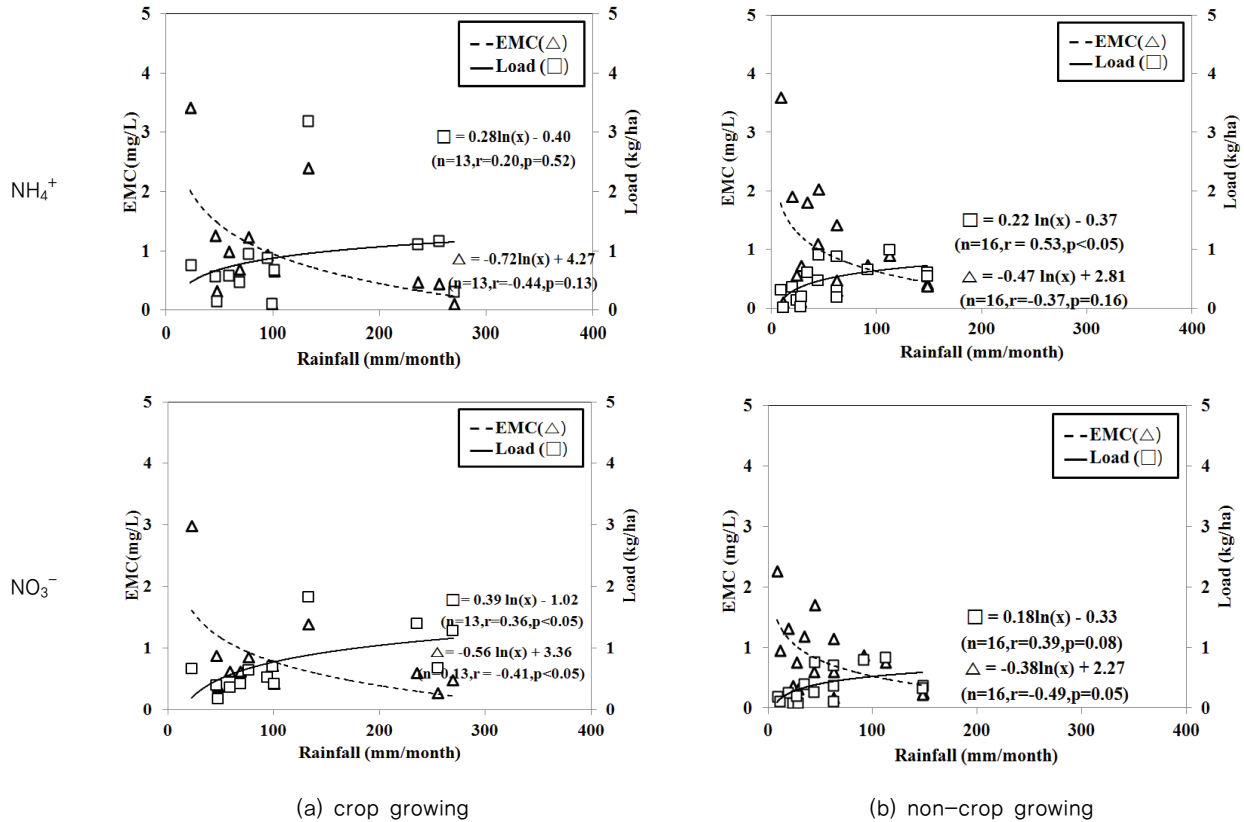


Fig. 4 Variation of concentrations and loads by rainfall for (a) cropping and (b) non-cropping period from June 2015 to December 2017

는 95% 에서 유의한 관계가 있다고 하였다. 본 연구결과 역시 강우량이 증가할수록  $\text{NO}_3^-$ 와  $\text{NH}_4^+$ 의 농도는 감소하는 결과를 보였다.

영농기의  $\text{NH}_4^+$ ( $n=13, r=0.20, p=0.52$ )와  $\text{NO}_3^-$ ( $n=13, r=0.36, p<0.05$ )의 공급량은 강우량과 정의 상관관계를 보였으며, 비영농기 역시 강우량이 증가할수록  $\text{NH}_4^+$ ( $n=16, r=0.53, p<0.05$ )와  $\text{NO}_3^-$ ( $n=16, r=0.39, p=0.08$ )의 공급량은 정의 상관관계를 보였다. 하지만 통계적으로 유의하지는 않았다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 영농기와 비영농기에 강우에 의한 질소공급량 분석을 위해 2015년 6월부터 2017년 11월까지 총 85회 강우모니터링을 수행하였다. 수집된 강우의 화학적 특성을 분석하였으며, 강우량과 농도를 이용하여 공급량을 산정하였다. 영농기의  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 월별 우량기중 평균 농도는 0.74 mg/L, 0.61 mg/L 였으며, 비영농기는 각각 0.96 mg/L, 0.76 mg/L 였다. 월평균 강우량과  $\text{EMC}_m$ 을 이용하여 산정된 영농기의 질소( $\text{NH}_4^+$ +  $\text{NO}_3^-$ ) 공급량은 2015년 공급량은 7.70 kg/ha, 2016년 5.37 kg/ha, 2017년 7.55 kg/ha 였으며, 비영농기의 질

소 공급량은 2015년 3.97 kg/ha, 2016년 4.42 kg/ha, 2017년 4.72 kg/ha로 영농기에 60 % 이상이 공급되는 것으로 나타났다.

영농기와 비영농기의 강우량과  $\text{NH}_4^+$ 농도와 부하량의 상관관계와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도와 부하량과의 상관관계를 분석한 결과 강우량과 농도( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), 강우량과 공급량( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) 모두 통계적으로 유의하지는 않지만 강우량이 증가함에 따라 영농기와 비영농기  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도는 감소하고  $\text{NH}_4^+$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 공급량은 증가하는 경향을 보였다.

논에서는 벼의 생육을 위해 단위면적당(ha) 당 90 kg~110 kg의 질소비료가 시비되며 강우시 강우와 비료에 의해 공급된 많은 부분의 질소가 손실되는 것으로 보고되고 있다. 따라서 많은 연구자들은 강우에 의한 유출을 줄이고 논으로 공급된 질소와 인을 최대한 활용하기 위한 다양한 연구(논물 얇게 대기, 천수관개)를 수행되고 있다. 하지만 본 연구결과는 이론적인 접근방법으로 실제 논에서의 물관리 특성에 따른 질소 공급량을 고려하지 못하고 있다. 따라서, 실제 논에서 강우 저류에 따른 질소의 이용량과 공급량, 그리고 주변 수계에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 담수에 따른 수질변화와 담수량의 변화, 강우시 유출수의 수질과 유출량 분석의 추가적인 조사와 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구 개발사업의 지원을 받아 연구되었음 (PJ01250504)

## REFERENCES

- Bridgman, H. A., 1991. Rainwater Acidity and Ion Concentration Correlations in a Midwest Storm System. *Journal of Atmospheric Chemistry* 12: 299-317.
- Choi, D. H., J. W. Jung, K. S. Yoon, W. J. Beak, and W. J. Choi, 2016. Farmer's Water Management Practice and Effective Rainfall and Runoff Ratio of Paddy Fields. *Irrigation and Drainage* 65: 66-71. doi:10.1002/ird.1962.
- Choi, S. J., 2007. A Study on Rainfall Acidity and Ion Composition of Jeonbuk Province. *Master's degree., Chonbuk National University* (in Korean).
- Chung, S. O., 2003. Development of Water Saving Irrigation Method in Paddy Fields. 1-148. *Ministry of Agriculture and Forestry* (in Korean).
- Chung, Y. S., and T. K. Kim, 1991. On the Sources of Acid Rain Observed in the West Coast of Korea. *Korea Society for Atmospheric Environment* 7(3): 203-207 (in Korean).
- Chun, Y. S., H. M. Cho, and W. T. Kwon, 1994. Trajectory Analysis on Acid Rain Observed in the Central Park of Korea During 1992 to 1993. *Korea Society for Atmospheric Environment* 10(3): 175-182 (in Korean).
- Jung, J. W., S. S. Lim, J. H. Kwak, H. J. Park, K. S. Yoon, H. Y. Kim, W. J. Baek, and W. J. Choi, 2015. Further Understanding of the Impacts of Rainfall and Agricultural Management Practices on Nutrient Loss from Rice Paddies in a Monsoon Area. *Water, Air, & Soil Pollution* 226-283. doi:10.1007/s11270-015-2551-y.
- Kim, J. Y., Y. S. Chun, H. M. Cho, J. C. Choi, J. C. Nam, S. Kim, 2000. Neutralization of Precipitation by Alkaline Ions in Urban and Rural Area. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Science* 36(1): 15-24 (in Korean).
- Kim, K. U., M. S. Kang, I. H. Song, J. H. Song, J. H. Park, S. M. Jun, J. R. Jang, and J. S. Kim, 2016. Effects of Controlled Drainage and Slow-release Fertilizer on Nutrient Pollutant Loads from Paddy Fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(1): 1-10. doi:10.5389/KASE.2016.58.1.001 (in Korean).
- Kim, M. K., K. A. Noh, N. J. Lee, M. C. Seo, and M. H. Koh, 2005. Nutrient Load Balance in Large-Scale Paddy Fields during Rice Cultivation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 38(3): 164-171 (in Korean).
- Kim, M. K., S. C. Hong, J. S. Lee, G. B. Jung, S. I. Kwon, M. J. Chae, S. G. Yun, and K. H. So, 2013. Chemical Properties and Nutrient Loadings of Rainwater during Farming Season. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 46(5): 386-390. doi:10.7745/KJSSF.2013.46.5.386 (in Korean).
- Ko, B. G., M. K. Kim, J. S. Lee, G. Y. Kim, S. J. Park, S. I. Kwon, G. B. Jung, and D. B. Lee, 2010. Chemical Properties and Nutrient Loadings of Rainwater during Farming Season. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 43(5): 456-461 (in Korean).
- Lim, D. Y., T. J. Lee, and D. S. Kim, 2012. Quantitative estimation of precipitation scavenging and wind dispersion contributions for PM10 and NO2 using long-term air and weather monitoring database during 2000~2009 in Korea. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 28(3): 325-347. doi:10.5572/KOSAE.2012.28.3.325 (in Korean).
- Lee, J. S., J. H. Kim, G. B. Jung, M. K. Kim, S. G. Yun, and S. I. Kwon, 2008. Chemical Characteristics of Rainwater in Suwon. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 27(3): 239-244. doi:10.5538/KJEA.2008.27.3.239 (in Korean).
- Lee, T. J., D. H. Shin, J. H. Cho, J. Y. Baek, and D. S. Kim, 2009. A Study on Air Pollutant Concentration Change Cause by Precipitation using Data of Air Pollution Monitoring System for 1998-2007. *Proceeding of the 49<sup>th</sup> Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment* 506-507 (in Korean).
- Song, J. H., M. S. Kang, I. H. Song, S. H. Hwang, J. H. Park, S. M. Jun, K. U. Kim, and J. R. Jang, 2013. Analysis of Nutrient Load Balance in the Reservoir Irrigated Paddy Block. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 55(6): 167-175. doi:10.5389/KASE.2013.55.6.167 (in Korean).
- Yoon, C. G., H. S. Hwang, J. H. Jeon, J. H. Ham, 2003. Analysis of Nutrients Balance during Paddy Rice Cultivation. *Korean Journal of Limnology* 36(1): 66-73 (in Korean).